



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**

# **KYBERNETIK DES NOTFALLS**

**UNTERSUCHUNG VON EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE NOTFALLRETTUNG IN  
DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, HERLEITUNG EINES  
SYSTEMISCHEN BETRACHTUNGSANSATZES UND ENTWICKLUNG EINES  
SYSTEMDYNAMISCHEN PLANUNGSMODELLS**

**Dissertation  
zur Erlangung eines Doktorgrades**

in der  
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik  
der  
**Bergischen Universität Wuppertal**

vorgelegt von  
**Frederik Schütte**  
aus Winterberg

Wuppertal 2021





## Kurzfassung

Der Rettungsdienst und insbesondere die Notfallrettung sind in der Bundesrepublik Deutschland ein wichtiger Teil der Gesundheits- und Daseinsvorsorge. Es ist die Aufgabe der Notfallrettung, bei medizinischen Notfällen schnellstmöglich Hilfe vor Ort zu leisten. Diese Aufgabe macht die Planung der Notfallrettung zu einer besonderen Herausforderung, da Zeit und Ort des Auftretens eines spezifischen Notfalls nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden können (nicht-deterministische Eigenschaft), die Notwendigkeit sofort zu reagieren aber auch keine Disposition eines einmal aufgetretenen Notfalls zulässt (Hochverfügbarkeits-Eigenschaft).

Aktuell geschieht die Planung der Notfallrettung in Deutschland über ein gestuftes Vorgehen. Zunächst werden in einem Rettungsdienstbereich (z. B. Landkreis) Standorte von Einsatzmitteln der Notfallrettung (Rettungswachen) und damit Rettungswachenversorgungsgebiete festgelegt bzw. bestehende Standorte bestätigt oder verworfen. Aufbauend auf dieser Bereichsfestlegung erfolgt die Bemessung der bedarfsgerechten Ausstattung der einzelnen Bereiche mit Einsatzmitteln. Hierzu findet aktuell überwiegend die Methode der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung Anwendung. Schließlich erfolgt auf der Festlegung der bedarfsgerechten Menge an Einsatzmitteln die Planung des zur Besetzung erforderlichen Personals. Hierbei spielen auch Erwägungen zu einer dienstplangeeigneten Vorhaltung von Einsatzmitteln eine Rolle.

Ob ein Rettungsdienstbereich einen den Qualitätsansprüchen genügenden und damit leistungsfähigen Rettungsdienst unterhält, wird üblicherweise über die Einhaltung einer Hilfsfrist und den damit verbundenen Erreichungsgrad ermittelt. Obwohl Hilfsfristen und Erreichungsgrade in den meisten Bundesländern rechtlichen Vorgaben unterliegen, finden insbesondere im Rahmen der Einsatzmittelbemessung andere, rechtlich häufig nicht regulierte Parameter, wie z. B. die Wiederkehrzeit eines sogenannten Risikofalls, Anwendung.

Untersuchungen von Berichten zum Rettungsdienst sowie der mit diesen Berichten veröffentlichten Daten zeigen, dass trotz Anwendung der genannten Planungsverfahren häufig kein leistungsfähiger Rettungsdienst betrieben wird. Neben der Anwendung weitgehend nicht regulierter Planungsparameter verkennt das aktuelle Planungsvorgehen die systemischen Eigenschaften des Rettungsdienstes. Zuerst betrifft dies die Eigenschaft des Rettungsdienstes als Bediensystem und die damit verbundene konzeptionelle Trennung von auftretenden Ereignissen (Notfällen) und der Bedienung dieser Ereignisse (Einsätze). Allerdings unterliegt der Rettungsdienst weiteren systemischen Effekten. Eine umfassende Betrachtung als verlässliches soziotechnisches System ist daher zielführend. Zu den weiteren Einflussfaktoren zählen hier die demographische Entwicklung, der Klimawandel, die digitale Transformation, die Veränderung der Krankenhauslandschaft und der

Fachkräftemangel.

Mit den Methoden der Systemdynamik stehen Werkzeuge zur Verfügung, das rettungsdienstliche System adäquat zu modellieren. Das in dieser Arbeit vorgestellte Systemmodell ist geeignet, relevante Planungsaufgaben für den Rettungsdienst an diesem Modell durchzuführen. Zudem ist das Modell modular konstruiert, sodass eine spezifische Untersuchung von Richtlinien oder Szenarien möglich wird. Weiterhin ermöglicht die Art der Modellierung einen zielgerichteten Dialog über das rettungsdienstliche System selbst.

Die Anwendung des rettungsdienstlichen Systemmodells an einem Musterplanungsbe-  
reich zeigt, dass eine Ressourcenplanung des Bereichs anhand des Modells möglich  
ist. Zudem konnte nachgewiesen werden, dass die Umsetzung einer Vorhalte-Richtlinie  
sowie die Analyse eines Szenarios zur Zentralisierung der Krankenhausstruktur mittels  
des Systemmodells bewertet werden können.

## Abstract

The emergency medical service (EMS) is an essential part of public health and welfare in the Federal Republic of Germany. In the event of a medical emergency, it is the task of the EMS to provide help on-site as quickly as possible. However, this task makes the planning of EMS challenging since one cannot predict the time and place of a particular emergency with certainty (non-deterministic property), and the urgency does not permit the disposition of the emergency once it has occurred (high-availability property).

EMS planning in Germany currently follows a tiered approach. The first step is the definition of EMS stations, from which EMS operational areas are defined in a planning area (e.g. a district). During this step, existing locations may be confirmed or discarded. Then, based on this area definition, the necessary resources (vehicles) of the individual areas are defined. The method of risk-dependent vehicle resource dimensioning is currently mainly used for this task. Finally, based on the number of required vehicles, the necessary staff is determined. Considerations about duty rosters also play a role here.

Whether an emergency service area maintains an emergency service that meets the quality requirements and is therefore efficient is usually determined by observing the arrival time and the associated degree of attainment. Although assistance periods and degrees of achievement are subject to legal requirements in most federal states, other, often legally unregulated parameters, such as the return time of a so-called risk event, are used, particularly in the context of resource assessment.

Despite the planning procedures mentioned, investigations of reports on EMS and the data published with these reports show that EMS are often not operated according to quality standards. In addition to the use of largely unregulated planning parameters, the current planning process fails to recognise the systemic properties of EMS. First of all, this concerns the quality of EMS as a queueing system and the associated conceptual separation of occurring events (emergencies) and the handling of these events (operations). However, the rescue service is subject to other systemic effects. A comprehensive view as a reliable socio-technical system is therefore reasonable. Other influencing factors here include demographic development, climate change, digital transformation, changes in the hospital landscape and the shortage of skilled workers.

With the methods of system dynamics, tools are available to model the EMS system adequately. The system model presented in this thesis is suitable for performing relevant planning tasks for EMS. In addition, the model has a modular design so that a specific investigation of policies or scenarios is possible. In addition, the type of modelling enables a targeted dialogue about the EMS system itself.

The application of the EMS system model to a sample planning area shows that the model is sufficiently useful for EMS planning tasks. The thesis also demonstrates that implementing a resource policy and analysing a scenario for centralising the hospital structure can be assessed using the system model.

# Inhaltsübersicht

<b>Verzeichnis verwendeter Abkürzungen und Symbole</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	2
1.2 Zielsetzung . . . . .	4
1.3 Methode und Struktur der Arbeit . . . . .	8
1.4 Begriffsdefinitionen . . . . .	11
1.5 Einheiten und Dimensionsangaben in Gleichungen . . . . .	12
<b>2 Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland</b>	<b>13</b>
2.1 Grundlagen des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland . . .	14
2.2 Notfälle als zentrale Aspekte der rettungsdienstlichen Leistung . . . . .	21
2.3 Verfahren zur Rettungsdienstbedarfsplanung . . . . .	28
<b>3 Aktuelle Situation des Rettungsdienstes und zukünftige Herausforderungen</b>	<b>40</b>
3.1 Bevölkerungsstruktur . . . . .	40
3.2 Einsatzgeschehen . . . . .	42
3.3 Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes . . . . .	48
3.4 Personal und Qualifikation . . . . .	52
3.5 Technik . . . . .	53
3.6 Schnittstellen . . . . .	54
3.7 Finanzierung und Kosten . . . . .	54
3.8 Relevante gesellschaftliche Trends . . . . .	58
<b>4 Rettungsdienst als verlässliches soziotechnisches System</b>	<b>69</b>
4.1 Grundsätzliches zum Systembegriff . . . . .	70
4.2 Kennzeichen verlässlicher soziotechnischer Systeme . . . . .	71
4.3 Systemische Merkmale und Eigenschaften des Rettungsdienstes . . . . .	71
4.4 Komplexe und dynamische Aspekte des Systems Rettungsdienst . . . . .	87
<b>5 Rettungsdienstliche Systemplanung</b>	<b>93</b>
5.1 Grundlegende Systemmodellierung . . . . .	94

---

5.2	Systemdynamik . . . . .	98
5.3	Variablen des Systems Rettungsdienst . . . . .	107
5.4	Strukturelle Aspekte der Systemmodellierung für den Rettungsdienst . . . . .	113
5.5	Das rettungsdienstliche Systemmodell . . . . .	124
5.6	Validierung des Systemmodells . . . . .	130
<b>6</b>	<b>Anwendung der rettungsdienstlichen Systemplanung</b>	<b>136</b>
6.1	Planungsgrundlagen . . . . .	136
6.2	Modellierung des Muster-Planungsbereichs . . . . .	137
6.3	Systemplanung und Ergebnisse der Systemplanung . . . . .	140
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>148</b>
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>152</b>
<b>9</b>	<b>Ausblick</b>	<b>154</b>
	<b>Bildverzeichnis</b>	<b>156</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>A</b>	<b>Literatur</b>	<b>160</b>
<b>B</b>	<b>Anhang</b>	<b>177</b>
B.1	Zu Kapitel 2 . . . . .	177
B.2	Zu Kapitel 4 . . . . .	178
B.3	Zu Kapitel 5 . . . . .	183

Das in dieser Arbeit gewählte generische Maskulinum bezieht sich zugleich auf die männliche, die weibliche und andere Geschlechteridentitäten. Zur besseren Lesbarkeit wird auf die Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Alle Geschlechteridentitäten werden ausdrücklich mitgemeint.

# Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

$\Delta t_i$	Länge des Zeitraums $i$
$\Delta t_j$	Länge des zu bemessenden Zeitintervalls $j$
$\lambda$	Erwartungswert und Varianz der Poisson-Verteilung; Einsatzrate
$\mu$	Bedienrate eines Einsatzmittels
$\mu_{gesamt}$	Bedienrate aller Einsatzmittel
$\tau$	mittlere Bediendauer
A	Auftretenswahrscheinlichkeit des Fehlers (FMEA)
$A_{Aufnahme}$	Aufnahmebereich eines Krankenhauses
$A_{erreichbar}$	Durch ein Einsatzmittel erreichbare Fläche
ASB	Arbeiter-Samariter-Bund
B	Bedeutung der Fehlerwirkung (FMEA)
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BPMN	Business Process Model and Notation
$C_{ji}$	Steigerungsfaktor für Zeitschritt $j$ zum Zeitpunkt $i$
$D_{Anfahrt}$	Anfahrtsdauer
$D_{Ausruecken}$	Ausrückdauer
$D_{Disposition}$	Dispositionsdauer
$D_{Einruecken}$	Einrückdauer

---

$D_{TransportMax}$	Maximale Transportzeit für einen Krankenhaus-Aufnahmebereich
$D_{Transport}$	Transportdauer
$D_{VerweildauerEO}$	Verweildauer am Einsatzort
$D_{VerweildauerZO}$	Verweildauer am Zielort
Dmnl	Dimensionslos
DRK	Deutsches Rotes Kreuz
E	Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache (FMEA)
$E_i$	Stündliches Einsatzaufkommen zum Zeitpunkt $i$
$E_m$	Mittleres stündliches Einsatzaufkommen
$ED_i$	Mittlere Einsatzdauer im Zeitraum $i$
$EG_{Ziel}$	Ziel-Erreichungsgrad
$EH_i$	Einsatzhäufigkeit im Zeitraum $i$
EPC	Event-driven Process Chain, Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERC	European Resuscitation Council
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis / Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse
FwDV	Feuerwehr-Dienstvorschrift
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
GUV	Gesetzliche Unfallversicherung
IT	Informationstechnik
JUH	Johanniter-Unfall-Hilfe
KH	Krankenhaus
KTW	Krankentransportwagen
MANV	Massenanfall von Verletzten oder Erkrankten
MHD	Malteser Hilfsdienst
MZF	Mehrzweckfahrzeug
$N_{Einsatzmittel}$	Einsatzmittelmenge

---

$N_{\text{Rettungswachen}}$	Rettungswachenmenge
NotSanG	Notfallsanitätergesetz
NRW	Nordrhein-Westfalen
$P(x)$	Einzelwahrscheinlichkeit für $x$ Notfälle
$P(X > x)$	Wahrscheinlichkeit des Risikofalls
PDCA	Plan – Do – Check – Act / Planen – Umsetzen – Überprüfen – Handeln
PKV	Private Krankenversicherung
$R_{\text{Notfaelle}}$	Notfallrate einer Region
$R_{\text{Ueberschreitung}}$	Zulässige Anzahl der Hilfsfristüberschreitungen je Zeitraum / Zulässige Überschreitungsrage
RDB	Rettungsdienstbereich
RettG NRW	Gesetz über den Rettungsdienst sowie die Notfallrettung und den Krankentransport durch Unternehmer (Rettungsgesetz NRW)
RG	Regionsgrundtyp, siedlungsstruktureller Regionstyp
RPZ	Risikoprioritätszahl (FMEA)
RTW	Rettungswagen
RWVB	Rettungswachenversorgungsbereich
s	Anzahl der Einsatzmittel
SD	Systemdynamik (System Dynamics)
SGB V	Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V) - Gesetzliche Krankenversicherung
SQR-BW	Stelle zur trägerübergreifenden Qualitätssicherung im Rettungsdienst Baden-Württemberg
$T_{HF}$	Hilfsfrist
$T_H$	Fortlaufende Stunde im simulierten Zeitbereich
$V_{\text{Einsatzmittel}}$	Mittlere Geschwindigkeit eines Einsatzmittels
X	Anzahl gleichzeitig stattfindender Notfallereignisse

---

x	Anzahl vorgehaltener Einsatzmittel
ZSKG	Gesetz über den Zivilschutz und die Katastrophenhilfe des Bundes



# 1 Einleitung

## Inhalt

---

1.1	Problemstellung . . . . .	2
1.2	Zielsetzung . . . . .	4
1.3	Methode und Struktur der Arbeit . . . . .	8
1.4	Begriffsdefinitionen . . . . .	11
1.5	Einheiten und Dimensionsangaben in Gleichungen . . . . .	12

---

In der Bundesrepublik Deutschland ist der Rettungsdienst integraler Bestandteil der Gesundheitsfürsorge und als solcher Gegenstand einer fortgesetzten politischen und fachlichen Diskussion. Beispiele hierfür sind Diskussionen zur Leistungsfähigkeit im Rettungsdienst (vgl. z. B. S+K Verlag, 2018b; Thüringer Ministerium für Inneres und Kommunales, 2018; WDR, 2020) oder die fortschreitende Professionalisierung im Rettungsdienst (vgl. Pfütsch, 2020). Die Basis der Gestaltung des Rettungsdienstes bilden die Rettungsgesetze der 16 Bundesländer, welche zum überwiegenden Teil die Träger des Rettungsdienstes zu einer strategischen Planung – der *Rettungsdienstbedarfsplanung* – verpflichten. Gegenstand der Rettungsdienstbedarfsplanung sind vornehmlich Fragen zur Ressourcenausstattung des Rettungsdienstes, wie z. B. zu Standorten, Einsatzmitteln (Fahrzeugen) und dem notwendigen Personal (vgl. Schmiedel, Behrendt und Betzler, 2012). Im Zuge rettungsdienstlicher Planungen wird häufig der Begriff der *bedarfsgerechten* Planung verwendet. Dies impliziert, dass es zum einen einen (objektiven) Bedarf an rettungsdienstlichen Leistungen gibt und zum anderen, dass diesem Bedarf auch gerecht werden kann. Es ist leicht ersichtlich, dass sowohl zur Frage des Bedarfs als auch zur Frage dazu, wie diesem Bedarf gerecht zu werden ist, Dissens entstehen kann. Dieser Dissens entsteht auch vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die Finanzierung des Rettungsdienstes von der Leistungserbringung entkoppelt ist, da Leistungsträger und Kostenträger des Rettungsdienstes unterschiedliche Organisationen darstellen. Weiter verschärfend wirkt, dass zwar das zu erreichende Leistungsniveau im Rettungsdienst in vielen Bundesländern normativ geregelt ist, die Finanzierung dieses Leistungsniveaus jedoch nur dahingehend vorgegeben ist, dass sie wirtschaftlich sein muss (vgl. § 12 SGB V). Schließlich muss Sicherheit als ein Kontinuum verstanden werden, welches sich in Raum und Zeit dynamisch

verändert. Diese Veränderung geschieht in Abhängigkeit einer konkreten oder abstrakten Gefährdungslage, woraus sich schwer zu definierende Grauzonen ergeben. Ein Beispiel hierfür ist die Abgrenzung von Einsätzen des Krankentransports (ohne Verordnung) zu Notfalleinsätzen. Diese Abgrenzung ist häufig nicht leicht und teilweise erst am Einsatzort vollständig möglich, hat jedoch weitreichende Konsequenzen für die rettungsdienstliche Bedarfsplanung.

Über die oben genannten Punkte hinaus ist zu berücksichtigen, dass der Rettungsdienst in vielen Bundesländern als Einheit von Krankentransport und Notfallrettung verstanden wird (vgl. Ahnefeld, 1998, oder auch § 6 RettG NRW). Bezogen auf die obigen Ausführungen ist allerdings allen voran die Notfallrettung der Teilaspekt des Rettungsdienstes, welcher hinsichtlich des *Schaffens von Sicherheit* relevant ist. In seiner Ausprägung als finaler präklinischer Teil der Rettungskette ist der Rettungsdienst damit die konsequente Fortsetzung der sicherheitstechnischen Betrachtungsweisen hinsichtlich des Ursache-Wirkungs-Prinzips und dessen Realisierung in Form von Unfällen. In dieser Arbeit erfolgt daher eine Verallgemeinerung des Unfallbegriffs zum Notfall und damit eine Formulierung der Zielsetzung zur Vermeidung der ultimativen Wirkung, des Todes eines Menschen.

## 1.1 Problemstellung

Strategische Planungen im Rettungsdienst geschehen aktuell vornehmlich retrospektiv auf statistischer Basis mit statistischen Methoden (vgl. Behrendt und Schmiedel, 2002). Als stereotype Planungsmethode sei hier die *risikoabhängige Fahrzeugbemessung* erwähnt, welche die Menge der notwendigen Einsatzmittel eines Rettungswachenversorgungsbezirks nach dem Risiko gleichzeitig stattfindender Einsatzereignisse statistisch ermittelt (vgl. ebd.). Die Gesamt-Ressourcenstruktur des Rettungsdienstes ergibt sich dann aus der summativen Kombination verschiedener Verfahren zu verschiedenen Ressourcentypen und ggf. einem finalen Optimierungsschritt. Im Allgemeinen kann das aktuelle Planungsvorgehen als das Zusammenfügen von Einzelkomponenten gesehen werden. Die bereits oben erwähnten Berichte und Diskussionen zur Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes lassen jedoch den Schluss zu, dass der Anspruch der Bedarfsgerechtigkeit nicht immer vollumfänglich erfüllt wird.

Bereits die Art der aktuellen Rettungsdienstbedarfsplanung in Form einer retrospektiven Planung stellt eine defizitäre Vorgehensweise dar. Die Iterationsschritte der Planung, häufig in Intervallen von vier oder fünf Jahren, stellen den Planer und den Ausführenden vor das Problem, dass die Planung im schlechtesten Fall eine Ausstattung basierend auf Daten aus der Vergangenheit vorsieht und im besten Fall auf in die Zukunft extrapolierten Daten

(einfache Vorhersagemodelle). Allerdings ist nicht belegt, dass die Entwicklung einfacher Vorhersagemodelle, zum Beispiel als lineares Modell, die komplexen Einflussgrößen u.a. hinsichtlich des Einsatzaufkommens, ausreichend berücksichtigen kann. Angesichts der genannten Planungsintervalle ist davon auszugehen, dass die aktuellen Planungsmethoden in der Regel einen Rettungsdienst schaffen, welcher den tatsächlichen Anforderungen nicht vollumfänglich gewachsen ist. Eine spezielle Ausprägung dieses Effekts ist eine unzureichende Berücksichtigung saisonaler Effekte im Planungsprozess, was zu Unterversorgung innerhalb einer Saison (z. B. in einem Wintersportgebiet) und zu Überversorgung bzw. Unwirtschaftlichkeit außerhalb der Saison führt. Folglich müssen zeitliche und örtliche Notfallpotentiale in Abhängigkeit ihrer Dynamik berücksichtigt werden.

Zu der grundsätzlichen Verwendung korrekter Verfahren zur Ressourcenplanung sind weitere Herausforderungen zu berücksichtigen. Hierzu zählen unter anderem der demographische Wandel und der Klimawandel, welche beide Auswirkungen auf das Einsatzgeschehen im Rettungsdienst haben (vgl. Behrendt und Runggaldier, 2009; Jones u. a., 2017; Lowthian u. a., 2011; Platts-Mills u. a., 2010; Hess u. a., 2009; Pan, Chiu und Wen, 2014) sowie Veränderungen in der organisatorischen Struktur des Rettungsdienstes wie z. B. die Schaffung des Berufsbildes des Notfallsanitäters (vgl. NotSanG (Notfallsanitätergesetz)) oder die (flächendeckende) Einführung von Telenotarztsystemen (S+K Verlag, 2019t; S+K Verlag, 2019c; S+K Verlag, 2017a).

Allerdings stellt die Struktur des Rettungsdienstes selbst auch eine Herausforderung für die Planung dar. So sind im Rahmen einer ganzheitlichen Planung auch Schnittstellen und Wechselwirkungen zu berücksichtigen. Diese können sich sowohl negativ als auch positiv auf die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes auswirken. So ist z. B. zu vermuten, dass Einsatzdauern verlängert werden, wenn an der Schnittstelle Rettungsdienst – Krankenhaus keine ausreichenden Aufnahmekapazitäten vorhanden sind. Ein möglicher positiver Effekt ergibt sich aus der isolierten Planung von Rettungswachenversorgungsbereichen (RWVB) mit räumlicher Überschneidung. Hier erhöht sich möglicherweise das Sicherheitsniveau im Schnittstellenbereich. Zudem bestehen auch Redundanzen in Einsatzmitteltypen, da zum Beispiel ein Rettungswagen (RTW) auch anstelle eines Krankentransportwagens (KTW) im Krankentransport eingesetzt werden kann (Mehrzweckfahrzeug-Strategie (MZF-Strategie)) (vgl. Landesausschuss „Rettungsdienst“ nach § 13 NRettDG, 2013).

Auch das operativ-taktische Vorgehen im Rettungsdienst muss im Rahmen einer zielführenden Planung berücksichtigt werden. Hier ergeben sich Einflussgrößen aus den täglichen Bedarfen, denen sich der Rettungsdienst gegenüberstellt. Es ist zu vermuten, dass Strategien wie die bereits erwähnte MZF-Strategie oder auch die Nächste-Fahrzeug-Strategie (vgl. Wehry, 2018) Dynamiken erzeugen, die mittels aktueller Planungsmethoden nur schwer abzubilden sind. So kann z. B. die Nächste-Fahrzeug-Strategie in einem Rettungsdienstbe-

reich mit zentralisierten Aufnahmeeinrichtungen und heterogenen Versorgungsbereichen dazu führen, dass Einsatzmittel in Bereichen mit hoher Einsatzlast konzentriert werden und so nicht mehr für Einsätze in ihrem Ursprungsbereich zur Verfügung stehen. Diese Dynamiken werden durch die Veränderung der Krankenhauslandschaft (vgl. Böcken, 2019) und die damit einhergehenden Transporterfordernisse im Rettungsdienst verstärkt.

Die oft komplexen Wechselwirkungen der Akteure im Rettungsdienst müssen ebenso Berücksichtigung finden. So sind z. B. politische Zwänge beim Erhalt einer Rettungswache, die Arbeitsmarktsituation bei der Personalplanung und der Abstimmungsprozess zwischen Leistungs- und Kostenträgern bei der Fahrzeugplanung real existierende Zwänge, welche im Rahmen einer Planung berücksichtigt werden müssen. Hierunter ist auch die Einstellung der Bevölkerung zum Rettungsdienst im Allgemeinen zu fassen, welche unter anderem über die Berichterstattung zum Rettungsdienst beeinflusst wird.

Vor dem Hintergrund der erläuterten Herausforderungen ist es fraglich, in welchem Umfang isolierte Methoden und Betrachtungsweisen zur Planung des Rettungsdienstes in Zukunft in der Lage sein werden, die Herausforderungen, denen sich der Rettungsdienst gegenüber sieht, ausreichend in der Planung zu berücksichtigen. Sterman geht sogar einen Schritt weiter, indem er unterstellt, dass wir aufgrund von Veränderungen mittels starrer Planungsmethoden nicht nur an der Problemlösung scheitern, sondern sogar neue Probleme entstehen lassen (vgl. Sterman, 2002, S. 504).

Die oben erläuterten Aspekte verdeutlichen, dass zu deren Integration in die Rettungsdienstbedarfsplanung zunächst eine konkrete Vorstellung von den Abhängigkeiten, Wechselwirkungen und Dynamiken im Bereich des Rettungsdienstes erforderlich ist. Die hierbei relevanten Parameter sind aktuell zumindest in weiten Teilen nicht bekannt. Darauf aufbauend können dann neue Planungsverfahren entwickelt werden, welche diese Abhängigkeiten, Wechselwirkungen und Dynamiken berücksichtigen.

Die vorliegende Arbeit widmet sich den o. g. Herausforderungen ausschließlich für den Bereich der Notfallrettung, da dieser Teil des Rettungsdienstes, wie schon erläutert, der sicherheitsrelevante Teil ist.

## 1.2 Zielsetzung

Wie oben beschrieben unterliegt der Rettungsdienst und im Speziellen die Notfallrettung unterschiedlichen Abhängigkeiten, Wechselwirkungen und Dynamiken, welche im Rahmen einer Rettungsdienstbedarfsplanung berücksichtigt werden müssen, um den aus der Planung resultierenden Rettungsdienst bedarfsgerecht aufzustellen. Die aktuell ver-

wendeten Methoden der Rettungsdienstbedarfsplanung können diese Komplexität nicht so abbilden, dass die Planung eines leistungsfähigen, rechtskonformen und nachhaltigen Rettungsdienstes langfristig möglich ist. Hieraus folgt das Ziel der vorliegenden Arbeit, ein Planungssystem zu entwerfen, welches diese Aspekte in ausreichendem Maße berücksichtigt. Hierzu sollen die folgenden drei Leitaspekte Verwendung finden:

**Rechtskonformer Rettungsdienst** Der Rettungsdienst soll in seiner gesamten Ausprägung rechtskonform sein, also geltenden Gesetzen und nachgelagerten Vorschriften und Normen nicht widersprechen.

**Leistungsfähiger Rettungsdienst** Zwar stellt die Rechtskonformität des Rettungsdienstes bereits in weiten Teilen auch dessen Leistungsfähigkeit sicher, dennoch soll die Leistungsfähigkeit auch über das gesamte Planungsintervall erhalten bleiben und auf Veränderungen, z. B. in den ERC-Guidelines, angemessen reagieren können.

**Nachhaltiger Rettungsdienst** Die Berücksichtigung der Nachhaltigkeit des Rettungsdienstes in der Planung adressiert die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Aspekte dergestalt, dass der Betrieb des Rettungsdienstes die Faktoren Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Gesellschaft vereint.

Um diese Leitaspekte im Rahmen einer Rettungsdienstbedarfsplanung in ausreichendem Maße einzubeziehen ist es notwendig, dass die Komplexität des Rettungsdienstes zunächst erfasst und definiert wird. Aus den im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Herausforderungen wird ersichtlich, dass eine alleinige Erweiterung der rettungsdienstlichen Bedarfsplanung um neue Komponenten nicht ausreichend ist, die aufgezeigten Aspekte im ausreichenden Maße zu adressieren.

Spaite et al. stellen fest, dass die durch sie definierte komponentenbasierte Planung nur in kontrollierten Umgebungen funktioniert, allerdings nicht in weniger kontrollierten oder unkontrollierbaren Umgebungen (vgl. Spaite u. a., 1995, S. 147). Sie schlagen deshalb systembasierte Untersuchungen vor, stellen aber auch fest, dass die Literatur hierzu nicht sehr umfangreich ist (vgl. ebd., S. 147). Tabelle 1.1 zeigt die durch Spaite et al. definierten Unterschiede der beiden Ansätze (vgl. ebd., S. 147).

Tabelle 1.1: PLANUNGSANSÄTZE Vergleich von Komponentenplanung und Systemplanung

Bereich	Komponenten-Planung	System-Planung
Untersuchungsfragen	fokussiert, gerichtet	komplex, miteinander verbunden

Fortsetzung auf Folgeseite

Fortsetzung von Vorseite

Bereich	Komponenten-Planung	System-Planung
Daten	wenige, einfach, leicht beschaffbar, genau	viele, divers, schwer mit Genauigkeit zu beschaffen
datenerhebende Stellen	geringe Zahl, Untersucher involviert	viele, Untersucher selten involviert
Beteiligte	eine einzige Organisation(seinheit), monodisziplinär	Vielzahl von Organisationen, multidisziplinär
Ergebnis-Parameter	einfach zu definieren, stützen sich auf wenige Annahmen	komplex, stützen sich auf viele Annahmen
Datenanalyse	einfache statistische Modelle	komplexe mathematische Modelle

Hieraus folgt, dass ein systemischer Betrachtungsansatz für die rettungsdienstliche Bedarfsplanung, oder besser die *rettungsdienstliche Systemplanung*, zielführend ist. Hierzu ist allerdings zunächst ein grundlegendes Verständnis des zu untersuchenden Systems erforderlich. Erstes Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die *Herleitung eines Verständnisses des Rettungsdienstes als dynamisches soziotechnisches System*.

Die bereits mehrfach erwähnte Komplexität des Rettungsdienstes muss strukturiert erfasst werden. Hierzu müssen die Dimensionen dieser Komplexität zunächst definiert werden, um sodann feststellen zu können, in welchen Aspekten der Komplexität des *Systems Rettungsdienst* besondere Herausforderungen liegen. Im Rahmen der Systemdefinition werden die Ziele des *Systems Rettungsdienst* sowie dessen Einflussgrößen und externe Faktoren identifiziert und definiert. Außerdem ist es notwendig, im Rahmen der Systemdefinition die Systemgrenzen sowie Schnittstellen und Interaktionen zu definieren, um eine klare Planungsstruktur schaffen zu können. Schließlich dient die Akteursanalyse dazu, die *Handelnden* im *System Rettungsdienst* zu identifizieren und in das System einzuordnen. Akteure können in diesem Zusammenhang nicht nur Personen sein, sondern auch Organisationen bzw. Einrichtungen oder auch ganze Gesellschaftsgruppen. Es ist wichtig, dass diese Akteure nicht nur identifiziert werden, sondern dass jeder einzelne auch einer Analyse hinsichtlich der Handlungsgrundlagen und Beweggründe im *System Rettungsdienst* unterzogen wird. Dies insbesondere vor dem Hintergrund des Leitaspekts *Nachhaltiger Rettungsdienst*.

Mit den Methoden der *Systemdynamik* (Forrester, 2013) liegen Vorgehensweisen und

Modelle vor, welche eine Untersuchung des definierten soziotechnischen *Systems Rettungsdienst* ermöglichen. Dabei erlauben die Methoden der *Systemdynamik* insbesondere durch die Integration von Simulationen eine *in-silico* Untersuchung des Systems. Dies bietet große Vorteile, da Experimente im Feld (in-situ) im Rettungsdienst aufwändig und schwer zu realisieren sind. Der Notfalleinsatz stellt schon aus ethischen Gründen, aber auch aus rein praktischen Erwägungen, keine Basis für experimentelle Untersuchungen dar. In eigens geplanten Übungen jedoch besteht Übungskünstlichkeit, was das Übertragen von experimentellen Ergebnissen in die Realität fraglich macht. Eine in-silico Experimentierumgebung, welche über die Methoden der Systemdynamik definiert und über verfügbare in-situ Daten konfiguriert wird, vereinheitlicht daher beide Welten zu einer integrierten Planungsumgebung. Es ist deshalb das zweite Ziel der vorliegenden Arbeit, *Methoden zur Analyse des beschriebenen rettungsdienstlichen Systems zum Zweck der Identifikation der relevanten Systemkomponenten, ihrer Eigenschaften und Beziehungen, herzuleiten.*

Ein systemisches Verständnis des Rettungsdienstes allein reicht allerdings nicht aus, um die oben aufgeführten Leitaspekte in einer Planung ausreichend abzubilden. Hierzu müssen aus dem bzw. den Systemmodell(en) Planungsmethoden abgeleitet werden. Das dritte Ziel dieser Arbeit ist daher *die Bereitstellung von Werkzeugen, um ein rettungsdienstliches System in einer optimalen Weise zu planen oder ein bestehendes System zu verbessern.* Das Systemmodell dient dabei als übergeordneter Kontext, in welchen die einzelnen Planungsmethoden und deren Ergebnisse eingeordnet werden, um eine ganzheitliche Systemplanung zu ermöglichen.

Die bereits erläuterten Ziele münden in dem übergeordneten Ziel dieser Arbeit. Hierbei handelt es sich um die Herleitung eines neuen, ganzheitlichen Verständnisses des Rettungsdienstes, um von einer komponentenbasierten zu einer ganzheitlichen Systembetrachtung überzuleiten, um auf diese Weise eine nachhaltige und zukunftsorientierte Planung unter Berücksichtigung der o. s. Leitaspekte zu ermöglichen. Dieser systemische Ansatz ist zutiefst sicherheitswissenschaftlich. Compes spricht in seiner Habilitationsschrift (Compes, 1970) von *Nexen*, also von Gefügen. Daher gerade *nicht* von einfachen Wirkzusammenhängen, sondern von komplexen Abhängigkeiten, mithin einem System, welches Gegenstand sicherheitswissenschaftlicher Betrachtungen ist.

Als weiteres Zielfeld ist die wachsende Möglichkeit zur Sammlung und Auswertung von Daten im Rettungsdienst zu nennen, da auch vor dem Rettungsdienst der Megatrend *Digitalisierung* nicht Halt macht. Vor diesem Hintergrund ist es umso wichtiger zu verstehen, welche Bestandteile des rettungsdienstlichen Systems relevante Auswirkungen auf das Systemverhalten haben und daher anhand von Daten einer Überwachung unterliegen sollten. Ein Systemmodell des Rettungsdienstes kann Hinweise auf diese, möglicherweise wenigen, relevanten Kernelemente geben. Dies betrifft nicht zuletzt auch Parameter,

welche mit einer gewissen Verzögerung Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes haben. So ist möglicherweise die Überwachung der Entwicklung der Personalsituation und der damit verbundenen Maßnahmen als prospektiver Indikator ein besseres Mittel zum Erhalt der Leistungsfähigkeit als die retrospektive Analyse des Einsatzgeschehens. Hierzu muss allerdings der Einfluss der Personalsituation auf das Einsatzgeschehen und die Leistungsfähigkeit bekannt sein.

Die Anwendung einer Bedarfsplanung in Schritten von einem Jahr oder sogar weniger kann zur Folge haben, dass festgelegte Maßnahmen innerhalb des Planungszeitraums noch keine Wirkung entfalten können und daher die Maßnahme als solche ggf. fälschlicherweise als unwirksam angesehen wird. Die Planung mittels eines dynamischen Systemmodells erlaubt es, diese Verzögerungseffekte zu identifizieren und in den Planungsschritten entsprechend zu berücksichtigen.

### **1.3 Methode und Struktur der Arbeit**

Um die im Abschnitt 1.2 definierten Ziele dieser Arbeit zu realisieren, erfolgt in Kapitel 2 zunächst eine Darstellung der rechtlichen Grundlagen des Rettungsdienstes, eine Analyse des Notfalls als zentrales Element des rettungsdienstlichen Handelns und eine Untersuchung der aktuellen Verfahren und Methoden der Rettungsdienstbedarfsplanung.

In Kapitel 3 erfolgt eine Untersuchung der aktuellen Situation des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland. Diese Untersuchung gliedert sich nach für den Rettungsdienst relevanten Aspekten. Die Erkenntnisse dieses Kapitels bilden die Grundlage zur Herleitung eines Systemverständnisses des Rettungsdienstes, da aus den Abschnitten dieses Kapitels relevante Akteure und Parameter hervorgehen.

Mittels Analogieschluss können Ähnlichkeiten zwischen einem prototypischen Bediensystem – einem Callcenter – und dem Rettungsdienst gefunden werden. Dies gilt insbesondere, wenn man die Betrachtung auf die Leitstelle als Teil der Rettungskette ausweitet. Für den Bereich der Callcenter bestehen bereits bewährte Systembeschreibungen und analytische Verfahren zur Untersuchung dieser Systeme, welche auf den Rettungsdienst übertragbar sind, wie in Kapitel 5 gezeigt wird. Im Fall des Rettungsdienstes gilt es, ähnlich wie im Callcenter, einem zufällig auftretenden Bedarf an Ereignissen eine adäquate Menge an Bedien-Ressourcen gegenüberzustellen. Allerdings liegt es auf der Hand, dass die hierbei geltenden Rahmenbedingungen andere sein müssen.

Basierend auf den Erkenntnissen von Spaite et al. (Spaite u. a., 1995) erfolgt in Kapitel 4 eine Herleitung der Systemeigenschaften des Rettungsdienstes. Hierbei werden zunächst

unterschiedliche Systemdefinitionen vorgestellt, um schließlich eine für den Rettungsdienst geeignete Systemdefinition festzulegen. Zudem erfolgt eine Untersuchung der komplexen und dynamischen Eigenschaften des *Systems Rettungsdienst*.

Die oben beschriebenen Herausforderungen und die darauf aufbauenden Zielsetzungen zeigen, dass eine bloße Beschreibung des Rettungsdienstes als *System Rettungsdienst* nicht ausreichend ist. Die Systembeschreibung muss es vielmehr auch erlauben, aufbauend auf der Beschreibung szenariobasierte Planungen durchzuführen. Wesentlich ist daher die Steuerungsmöglichkeit, welche dem Begriff der *Kybernetik* immanent ist (vgl. Baetge, 1974, S. 23). In Kapitel 5 wird daher, ausgehend von den Ergebnissen aus Kapitel 4, eine *rettungsdienstliche Systemplanung* entwickelt. Im Rahmen dieses Kapitels erfolgt eine Analyse von Modellierungsmöglichkeiten des rettungsdienstlichen Systems hinsichtlich deren Eignung zur Systemplanung. Hierbei spielt es auch eine Rolle, ob und wie das Systemmodell Einsichten in das System Rettungsdienst erlaubt. Die Modellierung des rettungsdienstlichen Systems erfolgt schließlich mittels Methoden der Systemdynamik, wie sie von Forrester (Forrester, 2013) und Sterman (Sterman, 2000) beschrieben wurden. Mittels bewährter Methoden zur Systemvalidierung erfolgt zudem eine Validierung des entwickelten Systemmodells.

Kapitel 6 ist der Anwendung der *rettungsdienstlichen Systemplanung* auf eine Modellregion gewidmet. Hierzu werden zunächst die relevanten Planungsgrundlagen definiert. Anschließend findet eine Definition der Modellregion anhand der festgelegten Planungsgrundlagen bzw. Parameter statt. Daraufhin wird eine Systemplanung durchgeführt. Die Ergebnisse werden schließlich hinsichtlich ihrer Eignung im Vergleich zu den Ergebnissen herkömmlicher Planungsmethoden evaluiert.

Im Kapitel 7 werden die Erkenntnisse der vorangegangenen Kapitel, insbesondere des Kapitels 6, diskutiert.

Darauf folgend werden im Kapitel 8 die Zielsetzung der Arbeit in Form eines Fazits reflektiert und die wesentlichen Erkenntnisse zu den einzelnen Zielpunkten aufgezeigt.

Die Arbeit schließt in Kapitel 9 mit einem Ausblick hinsichtlich möglicher weiterer Anwendungsgebiete der hier vorgestellten Systemplanung sowie möglicher Unterstützungsmethoden und weiterer Forschungsbedarfe.

Bild 1.1 fasst die in diesem Abschnitt erläuterten Bereiche methodisch zusammen.

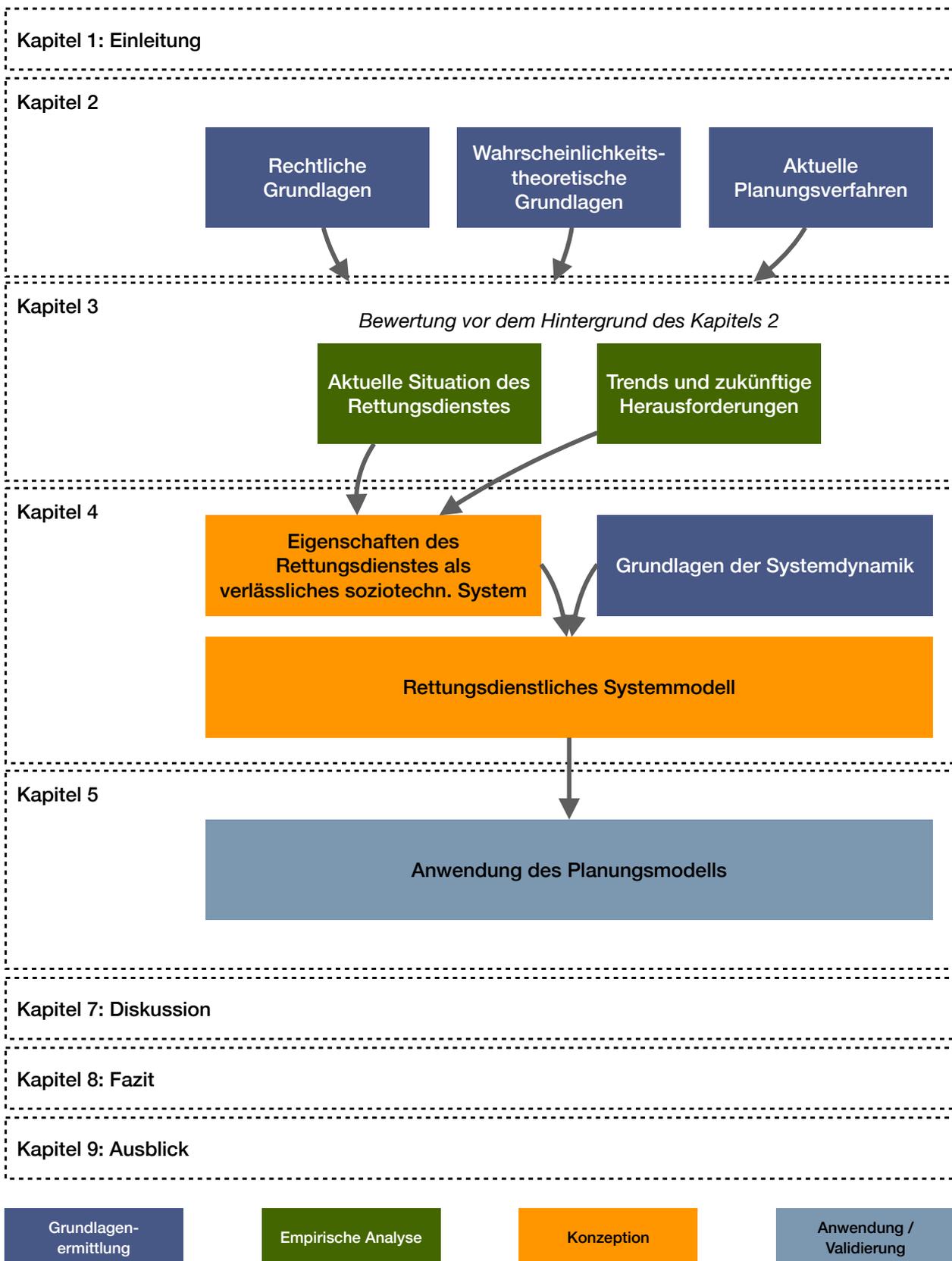


Bild 1.1: STRUKTUR UND METHODE der vorliegenden Arbeit

## 1.4 Begriffsdefinitionen

Um ein einheitliches Verständnis der Ergebnisse dieser Arbeit zu erreichen werden nachfolgend Begriffen definiert, welche hinsichtlich der Inhalte dieser Arbeit von zentraler Bedeutung sind. Die Begriffe werden dabei in der Reihenfolge beschrieben, wie sie im Verlauf der Arbeit Relevanz entfalten.

**Notfallrettung** Für diese Arbeit soll für den Begriff der Notfallrettung die Definition der DIN 13050 gelten: „organisierte Hilfe, die die Aufgabe hat, bei Notfallpatienten am Notfallort lebensrettende Maßnahmen oder Maßnahmen zur Verhinderung schwerer gesundheitlicher Schäden durchzuführen, gegebenenfalls ihre Transportfähigkeit herzustellen und diese Personen – gegebenenfalls unter Aufrechterhaltung der Transportfähigkeit und Vermeidung weiterer Schäden – in eine geeignete medizinische Versorgungseinrichtung zu befördern“.

**Ereignis, Notfall und Hilfeersuchen** Diese Begriffe werden im Kontext dieser Arbeit Synonym verwendet. Auch hier soll die Definition des Begriffs *Notfall* der DIN 13050 gelten: „plötzlich eingetretenes Ereignis, das eine unmittelbare Gefahr für Leben und/oder Gesundheit des Patienten bedeutet, wobei die vitalen Funktionen durch Verletzung oder akute Erkrankung bedroht, gestört oder ausgefallen sind“.

**Einsatz** Der Einsatz stellt die Reaktion der Notfallrettung auf einen Notfall dar. Hinsichtlich seiner Definition kann diese auf die Definition des *Primäreinsatzes* gem. DIN 13050 festgelegt werden: „Einsatz zur Versorgung von Patienten am Einsatzort, schließt gegebenenfalls den Transport ein“.

**System** Ein System im Sinne dieser Arbeit erfüllt die Systemdefinition von Haberfellner (Haberfellner u. a., 2012, S. 34): „Bei einem System handelt es sich um eine Ansammlung miteinander in Beziehung stehender Elemente, welche Eigenschaften und Funktionen besitzen und somit innerhalb des Systems einen Zweck erfüllen. Jedes der Elemente eines Systems kann wiederum ein System sein (Subsystem).“

**Kybernetik** Baetge definiert den Begriff der Kybernetik nach Flechtner wie folgt: „[...] die allgemeine, formale Wissenschaft von der Struktur dynamischer Systeme, den in ihnen bestehenden Beziehungen und ihrem Verhalten. Kybernetik umfasst neben der Informationstheorie die Lehre von der Steuerung, Regelung und Anpassung dynamischer Systeme mit Hilfe von Instrumenten, die einen gewünschten Zustand dadurch herbeizuführen trachten, dass bei Störungen des Systems zielkonforme Reaktionen ausgelöst werden“ (Baetge, 1974, S. 11). Diese Definition bezieht zum einen den dynamischen Systembegriff ein, zum anderen berücksichtigt sie die Notwendigkeit der Steuerung eines solchen Systems, weswegen diese Definition auch

für die vorliegende Arbeit gelten soll.

## 1.5 Einheiten und Dimensionsangaben in Gleichungen

Zur besseren Lesbarkeit werden Größengleichungen nicht als auf Einheiten zugeschnittene Größengleichungen (vgl. DIN 1313) dargestellt. Um dennoch Konformität zur DIN 1313 herzustellen, wird die Dimension der jeweiligen Größe in eckigen Klammern in den Erläuterungen zur Gleichung angegeben, sofern diese sich nicht direkt aus der Bezeichnung der Größe (z.B. -dauer) ergibt (Beispiel zu einer Größe der Dimension Zeit:  $[T]$ ). Die Angabe der Dimension erfolgt dabei nach den Festlegungen des internationalen Einheitensystems (SI). Größen der Dimension Zahl (früher: dimensionslose Größen) werden mit  $[1]$  gekennzeichnet.

---

## 2 Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland

### Inhalt

---

2.1	Grundlagen des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland . . . . .	14
2.1.1	Übersicht über den Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland . . . . .	14
2.1.2	Rechtliche Grundlagen der Durchführung des Rettungsdienstes . . . . .	16
2.1.3	Ausgestaltung des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland . . . . .	18
2.2	Notfälle als zentrale Aspekte der rettungsdienstlichen Leistung . .	21
2.2.1	Einordnung des Rettungsdienstes in das Gefahrenabwehrkontinuum . . . . .	21
2.2.2	Unfälle und Notfälle . . . . .	21
2.2.3	(Notfall-)Ereignisse als zentrale Parameter . . . . .	23
2.3	Verfahren zur Rettungsdienstbedarfsplanung . . . . .	28
2.3.1	Relevante Planungsparameter . . . . .	29
2.3.2	Planungsvorgehen . . . . .	34
2.3.3	Konstante Parameter als Anforderung an die Modellierung	38

---

Dieses Kapitel behandelt zunächst die rechtlichen Grundlagen des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland sowie nachgelagerte Normen und Vorschriften. Hierauf aufbauend wird erläutert, in welchen Ausgestaltungsvarianten der Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt wird.

Anschließend werden die relevanten Methoden der Rettungsdienstbedarfsplanung in der Bundesrepublik Deutschland aufgezeigt und erläutert.

Schließlich erfolgt eine Beleuchtung der aktuellen Situation des Rettungsdienstes anhand von Berichten und Planungsunterlagen, um einerseits Herausforderungen und mögli-

che Planungsdefizite aufzuzeigen und andererseits relevante Daten zum Rettungsdienst darzustellen.

Dieses Kapitel, wie auch die nachfolgenden, fokussieren den Notfall und die Notfallrettung aufgrund der besonderen Relevanz für das Gesundheitswesen in Deutschland. Belange des Krankentransportes werden erörtert, sofern dies zu Zwecken der Vollständigkeit erforderlich ist.

## **2.1 Grundlagen des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland**

Die nachfolgenden Abschnitte geben zuerst eine Übersicht über den Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland, gefolgt von einer Darlegung der rechtlich Grundlagen des Rettungsdienstes. Daran anknüpfend erfolgt eine Darstellung der Ausgestaltungsmöglichkeiten des Rettungsdienstes.

### **2.1.1 Übersicht über den Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland**

Als Rettungsdienst wird in der Bundesrepublik Deutschland die öffentliche Aufgabe der Gesundheitsvorsorge und der Abwehr medizinischer Gefahren (DIN 13050, 3.55) verstanden. Der Rettungsdienst wird in die Bereiche Notfallrettung und Krankentransport gegliedert (a. a. O.). Hierbei ist, je nach Rettungsgesetz, zu unterscheiden zwischen dem bodengebunden Rettungsdienst, der Luftrettung, der Bergrettung, der Höhlen- bzw. Grubenrettung und der Wasserrettung.

Hinzu kommen Suborganisationsformen zum Transport besonderer Patientenklassen wie z. B. infektiöser Patienten, sehr adipöser Patienten oder intensivpflichtiger Patienten (vgl. z. B. § 3 Abs. 4 RettG NRW).

Die einzelnen Einsatzbereiche arbeiten eng zusammen. Durch Einheiten anderer Fachdienste, wie z. B. der Feuerwehr oder der Berg- oder Wasserrettung, erfolgt häufig eine Übergabe des Patienten an den (bodengebundenen) Rettungsdienst, da nur dieser über die notwendigen Transportkapazitäten verfügt, um den Patienten in eine geeignete Einrichtung zu transportieren.

Die Notfallrettung wird in verschiedenen Formen betrieben. Allen gemein ist die Vorhaltung einer Komponente zur nichtärztlichen Versorgung und zum Transport des Patienten

sowie einer Komponente zur ärztlichen Versorgung des Patienten, meistens in Form der Zubringung eines Notarztes (vgl. z. B. § 3 RettG NRW). Die beiden Komponenten können auch kombiniert auftreten, wie es z. B. in der Luftrettung der Fall ist.

Der Rettungsdienst verfolgt in seinem Einsatz stets drei in Bild 2.1 gezeigten, aufeinander aufbauende Ziele (vgl. Kühn, Luxem und Runggaldier, 2010, S. 690; Schaller, 2014, S. 43):

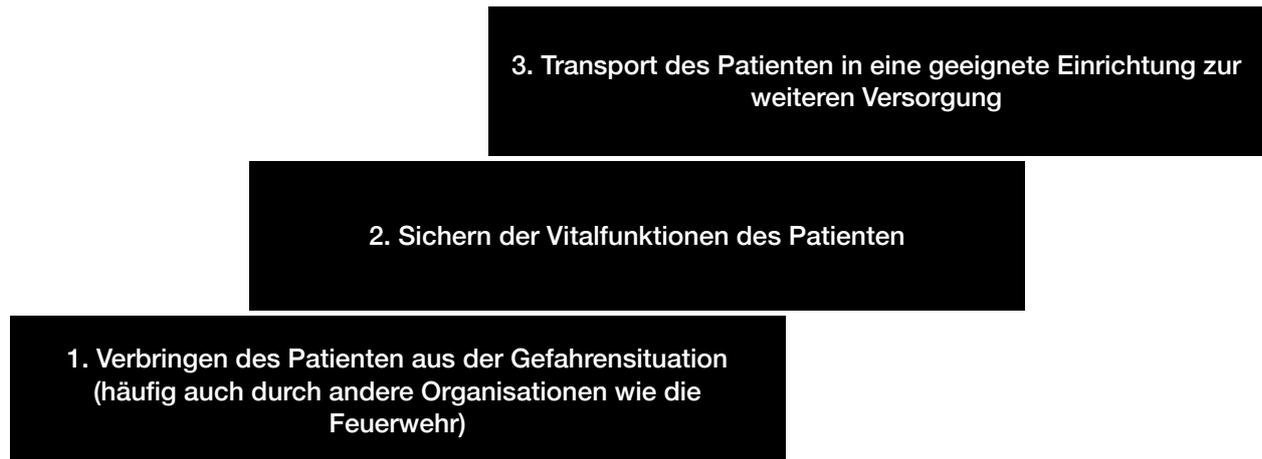


Bild 2.1: ZIELE des rettungsdienstlichen Handelns

Damit wird grundsätzlich dem Ansatz *Stay-and-Play* (bleiben und handeln, umfassende Versorgung vor Ort) (vgl. Pfütsch, 2020, S. 10) gefolgt, was bedeutet, dass vor einem Transport zunächst ein sicherer bzw. stabiler Zustand des Patienten erreicht wird. Dieser Ansatz steht im Gegensatz zum Ansatz *Load and Go* (einladen und fahren, sofortiger Transport) (vgl. ebd., S. 10), welcher einen sofortigen Transport des Patienten vorsieht. In der Regel wird jedoch in besonderen Einsatzlagen (z. B. MANV) der *Load-and-Go-Ansatz* verfolgt, z. B. wenn in solchen Situationen keine Individualversorgung vor Ort möglich ist.

Der Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland ist in seiner alltäglich Aufbau- und Ablauforganisation auf die individuelle Behandlung einzelner Patienten ausgerichtet. Besondere Einsatzlagen mit einer Vielzahl an verletzten oder erkrankten Personen (MANV) können es notwendig machen, aufgrund der ereignisimmanenten Ressourcenknappheit die Aufbau- und Ablauforganisation temporär so umzugestalten, dass eine Priorisierung der Patienten hinsichtlich Behandlung und Transport möglich wird. Hierfür werden bei den zuständigen Trägern des Rettungsdienstes eigene Konzepte vorgehalten (vgl. z. B. § 7 Abs. 4 RettG NRW).

Der Ablauf von der Entdeckung eines Notfalls bis zur Versorgung im Krankenhaus wird häufig über die Rettungskette (vgl. Abbildung 2.2) dargestellt (vgl. Schaller, 2014, S. 43). Hierbei ist zu beachten, dass die Rettungskette bereits eine Vielzahl von Schnittstellen enthält. So zum Beispiel die Schnittstelle *Bürger - Leitstelle* beim Notruf, die Schnittstelle

*Leitstelle - Rettungsdienst* bei der Entsendung von Einsatzmitteln und die Schnittstelle *Rettungsdienst - Krankenhaus* bei der Übergabe des Patienten.

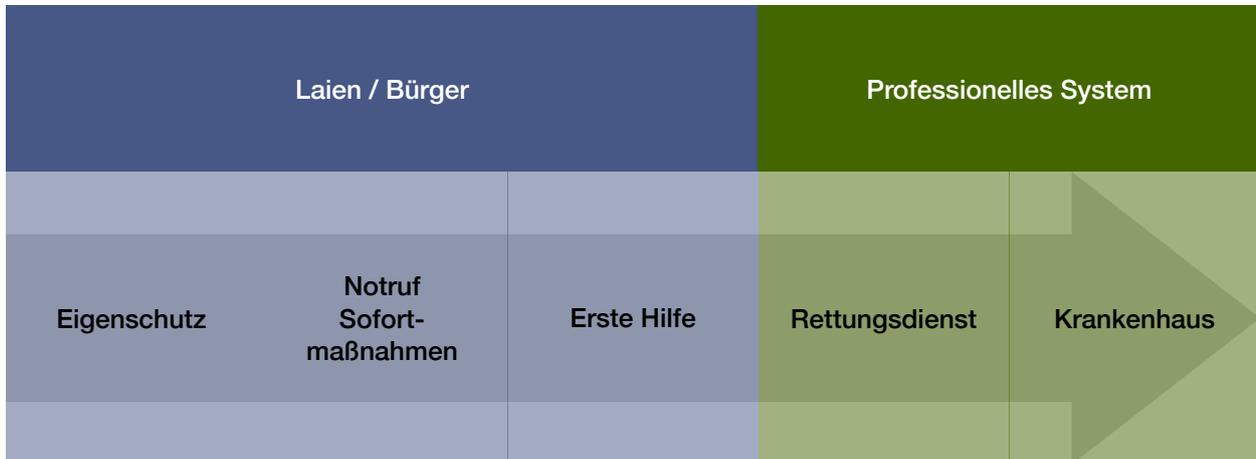


Bild 2.2: RETTUNGSKETTE von der Entdeckung des Notfalls bis zur Versorgung im Krankenhaus

Die Rettungskette wird im Verlauf dieser Arbeit immer wieder als Referenzpunkt für die Ableitung von relevanten Systemaspekten dienen.

## 2.1.2 Rechtliche Grundlagen der Durchführung des Rettungsdienstes

Die Durchführung des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland unterliegt einer umfassenden rechtlichen Grundlage, welche nachfolgend näher betrachtet wird.

### 2.1.2.1 Ableitung aus dem Grundgesetz und der Landesgesetzgebung

Die Verpflichtung des Staates zur Gestellung einer Gesundheitsvorsorge – worunter auch der Rettungsdienst fällt – leitet sich aus Artikel 2 Absatz 2 Satz 1 des Grundgesetzes für die Bundesrepublik Deutschland ab. Hier heißt es:

„Jeder hat das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit.“

Für den Rettungsdienst bedeutet das, dass er eingreift, wo der Bürger selbst dieses Recht nicht mehr ausüben kann, wo also dessen eigene Grenzen überschritten werden. Es ist Gegenstand einer fortgesetzten Diskussion, wo und wann dieser Zustand eintritt und somit eine Zuständigkeit des Rettungsdienstes gegeben ist (vgl. Lechleuthner, 2018). Es ist leicht verständlich, dass diese Diskussion brisant ist, denn einerseits soll jeder Bürger sich auf eine schnelle und professionelle Hilfe im Notfall verlassen können, andererseits muss der *Notfall* auch so streng definiert werden, dass sich die Kosten des Rettungsdienstes in einem vertretbaren Rahmen bewegen (vgl. hierzu § 12 SGB V).

Die Übertragung der sich aus den voranstehenden Ausführungen ergebenden Pflichten ist Aufgabe der Bundesländer gemäß Artikel 30 des Grundgesetzes für die Bundesrepublik Deutschland:

„Die Ausübung der staatlichen Befugnisse und die Erfüllung der staatlichen Aufgaben ist Sache der Länder [...]“

Hieraus ergibt sich die Verpflichtung der 16 Bundesländer zur Sicherstellung einer Gesundheitsfürsorge. Für den Rettungsdienst findet dies Konkretisierung in den 16 Rettungsgesetzen der Bundesländer, welche den Rettungsdienst weitgehend einheitlich gemäß der in Abschnitt 2.1.1 erläuterten Grundlagen definieren. Tabelle B.1 im Anhang gibt eine Übersicht über die Rettungsgesetze der 16 Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland.

### **2.1.2.2 Verpflichtung zur Rettungsdienstbedarfsplanung**

In 14 von 16 Landesrettungsdienstgesetzen (Ausnahmen bilden Berlin und Hamburg) ist die Verpflichtung zur Rettungsdienstbedarfsplanung explizit geregelt.

Die Aufgabe der Planung fällt dabei unterschiedlichen Hierarchieebenen zu. In vielen Rettungsdienstgesetzen ist eine zweistufige Planungsstruktur vorgesehen. In dieser zweistufigen Struktur wird durch das jeweilige Bundesland zunächst eine (Rahmen-)Planung erstellt, welche dann durch die jeweiligen Träger des Rettungsdienstes in Bereichsplanungen konkretisiert wird. Gegenstand dieser Staffelung ist es, dass das jeweilige Bundesland Vorgaben zur landesweiten Struktur machen kann. Hierunter fällt unter anderem die Luftrettung und die Einteilung des Landes in Rettungsdienstbereiche. In einigen Fällen werden im Rahmen der Erstellung der Rahmenplanung auch konkrete Vorgaben zur individuellen Bereichsplanung gemacht (vgl. z. B. Hessisches Ministerium für Soziales und Integration, 2016).

In anderen Bundesländern, so zum Beispiel in Nordrhein-Westfalen, entfällt die genannte gestaffelte Planung und die Aufgabe der Bedarfsplanung wird direkt den Landkreisen und kreisfreien Städten zugewiesen.

Es ist auffällig, dass insbesondere in den Stadtstaaten Berlin und Hamburg keine explizite Verpflichtung zur Bedarfsplanung besteht. Ursache hierfür ist möglicherweise, dass eine explizite Festlegung aufgrund der Organisationseinheit von Aufsicht und Träger nicht als notwendig gesehen wird (vgl. S+K Verlag, 2019j).

Es muss zudem festgehalten werden, dass aus allen Rettungsdienstgesetzen zumindest eine implizite Planungspflicht abgeleitet werden kann, da alle Gesetze Hinweise auf das

Gebot der Wirtschaftlichkeit enthalten und auch grundsätzliche Aussagen dazu treffen, dass Standorte und deren Ausstattung festgelegt werden müssen.

### 2.1.3 Ausgestaltung des Rettungsdienstes in der Bundesrepublik Deutschland

Die Durchführung des Rettungsdienstes unterliegt in der Bundesrepublik Deutschland in Abhängigkeit der jeweiligen Ländergesetzgebung unterschiedlichen Ausgestaltungen. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen der Durchführung des Rettungsdienstes durch den Träger, der Beauftragung eines Dritten mit der Durchführung (Submissionsmodell) und der Erteilung einer Erlaubnis zur Durchführung des Rettungsdienstes an einen Dritten (Konzessionsmodell) (vgl. Lüder, 2014, S. 127).

#### 2.1.3.1 Akteure der rettungsdienstlichen Leistungserbringung

Die vollständige Leistungserbringung im Rettungsdienst erfolgt durch unterschiedliche Akteure, deren Zusammensetzung sich je nach Art der länderspezifischen Durchführung unterscheiden kann. Aus diesem Grund soll hier einführend eine Übersicht über die einzelnen möglichen Akteure gegeben werden, um so in den nachfolgenden Abschnitten ein leichteres Verständnis der einzelnen Durchführungsvarianten zu erzielen.

**Träger des Rettungsdienstes** Der Träger des Rettungsdienstes ist die Organisation oder öffentliche Einrichtung, welche per Gesetz mit der Wahrnehmung der Aufgaben des Rettungsdienstes in einem Rettungsdienstbereich betraut ist.

**Leistungserbringer** Der oder die Leistungserbringer sind die Organisationen, welche tatsächlich die operativen Leistungen des Rettungsdienstes in einem bestimmten Bereich erbringen.

**Kostenträger** Da der Rettungsdienst eine aus dem sozialen Sicherungssystem refinanzierte Einrichtung ist, unterliegt er dem Wirtschaftlichkeitsgebot gemäß §12 SGB V und somit einer Kontrolle durch die Kostenträger, also die Träger der Sozialversicherung. Dies schlägt sich in den Rettungsgesetzen durch die Einräumung von Zustimmungs- und Einspruchsrechten im Rahmen der Rettungsdienstbedarfsplanung nieder. Konflikte im Rahmen dieser Abstimmungsprozesse sind durch die Aufsichtsbehörden beizulegen.

### 2.1.3.2 Eigene Durchführung

Für viele Träger des Rettungsdienstes stellt die eigene Durchführung der sich aus dem jeweiligen Rettungsgesetz ergebenden Aufgaben die favorisierte Art der Durchführung des Rettungsdienstes dar. In diesem Fall ist der Träger des Rettungsdienstes gleichzeitig auch der Leistungserbringer. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn Landkreise eigene Abteilungen oder Betriebe für den Rettungsdienst unterhalten oder die Berufsfeuerwehr einer kreisfreien Stadt den Rettungsdienst durchführt.

Die eigene Durchführung des Rettungsdienstes stellt hinsichtlich der Qualitätssicherung die einfachste Variante dar, da Regelungen zur Qualität des Rettungsdienstes nur innerorganisatorisch durchgesetzt werden müssen.

### 2.1.3.3 Beauftragung Dritter

Neben der eigenen Durchführung des Rettungsdienstes ist die Beauftragung eines oder mehrerer Dritter für den Träger des Rettungsdienstes eine weitere Möglichkeit, den Aufgaben aus dem jeweiligen Rettungsgesetz nachzukommen. In diesem Fall sind Träger des Rettungsdienstes und Leistungserbringer unterschiedliche Organisationen. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn eine anerkannte Hilfsorganisation (z. B. DRK, ASB, JUH, MHD) durch den Träger des Rettungsdienstes mit der Leistungserbringung beauftragt wird oder die Feuerwehr einer kreisangehörigen Stadt eine Rettungswache betreibt.

Die Beauftragung Dritter stellt für den Träger des Rettungsdienstes unter anderem hinsichtlich der Qualitätsüberwachung eine Herausforderung dar, da hier interorganisationale Abstimmungsprozesse berücksichtigt werden müssen. Diese können zum einen zwischen einem Träger des Rettungsdienstes und mehreren Leistungserbringern erfolgen, aber auch zwischen einem Leistungserbringer und mehreren Trägern des Rettungsdienstes, sofern der betreffende Leistungserbringer in mehreren Rettungsdienstbereichen tätig ist. Insbesondere die Vergabe der rettungsdienstlichen Leistungserbringung an private Unternehmen wurde in der Vergangenheit hinsichtlich der damit möglicherweise verbundenen Minderung der Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes diskutiert (vgl. Baumann, 2019).

Hinsichtlich der Ausgestaltung der Beauftragung Dritter mit der Leistungserbringung im Rettungsdienst sind das Submissionsmodell und das Konzessionsmodell zu unterscheiden.

**Submissionsmodell** Dem Submissionsmodell liegt – wie der Name erahnen lässt – ein Submissionsverfahren zugrunde. Das bedeutet, dass der Auftrag zur Erbringung rettungsdienstlicher Leistungen im Rahmen eines öffentlichen Vergabeverfahrens vom Träger des Rettungsdienstes an einen oder mehrere Dritte vergeben wird.

Über die Kosten- und Leistungsstruktur verhandelt in diesem Modell der Träger des Rettungsdienstes eine Gebühr mit den Kostenträgern. Die Finanzierung der Leistungserbringer wird jedoch im Rahmen der erwähnten öffentlichen Ausschreibung durch die Abgabe von Angeboten und die Beauftragung der erfolgreichen Bieter vertraglich geregelt.

In der Vergangenheit waren im Rahmen dieses Modells häufig Diskussionen zu beobachten, welche sich mit der Frage beschäftigten, in welcher Form die Leistung des Rettungsdienstes ausgeschrieben werden muss (vgl. Süddeutsche Zeitung, 2019; Baumann, 2019). Hintergrund dieser Diskussionen war und ist häufig die Absicht des Trägers des Rettungsdienstes, im ZSKG anerkannte Hilfsorganisationen zu stärken, da diese unter anderem im Katastrophenfall durch ihre Leistungsfähigkeit im Katastrophenschutz ein wesentlicher Bestandteil des Bevölkerungsschutzes sind. Strittig ist daher, ob und wie ggf. eine Bevorzugung dieser Hilfsorganisationen gegenüber anderen – insbesondere privaten – Bietern erfolgen kann.

Dadurch, dass der Träger des Rettungsdienstes mit den Kostenträgern eine Gebühr vereinbart und diese durchsetzen kann, genießen die Leistungserbringer einen gewissen Schutz hinsichtlich einer kostendeckenden Leistungserbringung.

**Konzessionsmodell** Beim Konzessionsmodell ist die Natur des Modells ebenfalls bereits im Namen enthalten. In diesem Modell erteilt der Träger des Rettungsdienstes einem oder mehreren Leistungserbringern die Erlaubnis (Konzession) zur Durchführung des Rettungsdienstes. Auch hier erfolgt in der Regel eine öffentliche Ausschreibung (Konzessionsvergabe), obwohl keine Beauftragung im Sinne des Einkaufens einer Leistung durch den Träger des Rettungsdienstes erfolgt. Allerdings legt der Träger des Rettungsdienstes fest, welche Marktteilnehmer in seinem Zuständigkeitsbereich den Rettungsdienst durchführen und somit Gebühren verhandeln dürfen. Zudem erfolgt eine Überwachung der Leistungserbringer durch den Träger des Rettungsdienstes.

Hinsichtlich der Kostenstruktur verhandeln in diesem Modell die einzelnen Leistungserbringer individuell Kostensätze mit den Kostenträgern. Dadurch, dass die Leistungserbringer mitunter diesbezüglich weniger Rechtsschutz genießen als die Träger des Rettungsdienstes und ggf. kleine Organisationen weniger Verhandlungsmacht besitzen, ist in diesem Modell ein höherer Kostendruck auf die Leistungserbringer zu erwarten.

## 2.2 Notfälle als zentrale Aspekte der rettungsdienstlichen Leistung

In diesem Abschnitt erfolgt zunächst eine Einordnung des Rettungsdienstes in das Gefahrenabwehrkontinuum. Hierauf aufbauend wird ein Zusammenhang zwischen dem sicherheitswissenschaftlichen Begriff des Unfalls und dem medizinisch-rettungsdienstlichen Begriff des Notfalls hergeleitet. Schließlich erfolgt eine Diskussion der Eigenschaft des Notfalls als zentraler rettungsdienstlicher Parameter.

### 2.2.1 Einordnung des Rettungsdienstes in das Gefahrenabwehrkontinuum

Der Rettungsdienst existiert nicht isoliert, sondern ist Teil einer Maßnahmenkette (vgl. hierzu Abschnitt 2.1.1), deren Anfang sich bereits in der Verhinderung von Schadensfällen im Sinne der Sicherheitstechnik finden lässt.

Compes definiert das Ziel der Sicherheitstechnik wie folgt:

„[...] mit geeigneter Technik Sicherheit zu schaffen, zu erhalten oder zu vergrößern [...]“ (Compes, 1970, S. 1)

Es ist unschwer zu erkennen, dass für den Rettungsdienst grundsätzlich die gleichen Anforderungen definiert werden können. Auch hier soll durch geeignete Technik (Fahrzeuge und medizinische Geräte), aber darüber hinaus auch durch fachkundiges Personal, Sicherheit geschaffen, erhalten und vergrößert werden. Dies ist logisch ersichtlich, denn andernfalls wäre der Rettungsdienst nicht im Bereich der Sicherheit angesiedelt oder sein Zweck wäre ein anderer als das Schaffen, Erhalten oder Vergrößern von Sicherheit, was die Daseinsgrundlage des Rettungsdienstes in Frage stellen würde.

Auch hinsichtlich der Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte zeigen sich Parallelen. So wurde bereits erläutert, dass alle Rettungsdienstgesetze den Aspekt der Wirtschaftlichkeit besonders betonen. Compes (ebd., S. 1) bezeichnet gar das „totale Ausführen der Unfallverhütung“ gegen das „Regulativ der Wirtschaftlichkeit“ als „unmenschlich“.

### 2.2.2 Unfälle und Notfälle

Das Wesen des Unfalls, definiert über die Eigenschaften *Plötzlichkeit* und *Schädlichkeit* (vgl. ebd., S. 5), ist ebenso im Bereich des Rettungsdienstes wiederzufinden. Hier ist jedoch die Bezeichnung eine andere und man spricht vom *Notfall*, der natürlich auch ein Unfall sein

kann, aber nicht muss. Das Wesen aus *Plötzlichkeit* und *Schädlichkeit* ist jedoch identisch. Ebenso ist die von Compes erwähnte Naturgesetzlichkeit *nihil sine causa* auf den Notfall ohne Weiteres anwendbar. Allerdings bleibt zu beachten, dass eine Ursachenforschung mit Relevanz zum akuten Einsatzgeschehen des Rettungsdienstes fruchtlos bleiben muss, da Einwirkungsmöglichkeiten fehlen. Vielmehr muss genau betrachtet werden, wie ein wohldosierter (im Sinne des „goldenen Mittelwegs“ (vgl. Compes, 1970, S. 2)) Einsatz des Rettungsdienstes ohne Detailkenntnis der Ursachen erfolgen kann. Compes erläutert ebenfalls, dass das Zustandekommen von Unfällen auch als Zufall betrachtet werden kann (vgl. ebd., S. 7).

Die Unterscheidung zwischen *Unfallvorkommen* als Menge von Unfällen und *Unfallgeschehen* (vgl. ebd., S. 7) als singuläres Ereignis kann exakt auf den Notfall als *Notfallaufkommen* und *Notfallgeschehen* übertragen werden.

### 2.2.2.1 Unfallverhütung und Rettungsdienst

Compes definiert die Unfallverhütung wie folgt:

„Unfallverhütung ist die Gesamtheit aller planmäßigen, zweckgerichteten Maßnahmen zum Vermeiden von Unfallgefahren oder zum völligen Auflösen oder wenigstens teilweisen Unterbrechen aller oder einzelner Wirkzusammenhänge zwischen Gefahr(en) und deren Auswirkung(en) – Koinzidenz –, so daß Personen (Sachen) nicht geschädigt werden.“ (ebd., S. 8)

Die Parallelen zu den Aufgaben des Rettungsdienstes sind nicht von der Hand zu weisen. Auch hier ist das Ziel die Herstellung eines für den Patienten wenigstens temporär sicheren Zustandes. Der grundsätzliche Unterschied ist jedoch, dass das auslösende Schadensereignis, der Notfall (nach Compes der *Unfall*), bereits eingetreten ist und nicht mehr verhindert werden kann. Was allerdings verhindert werden soll, ist eine *Eskalation* der Situation.

Der durch Compes definierte *Sicherheitsgrad* (vgl. ebd., S. 8) findet sich als *Sicherheitsniveau* ebenfalls im Rettungsdienst. Die von Compes angeführte Prozentskala von 0 % bis 100 % findet ebenso hier Anwendung.

### 2.2.2.2 Kausalität und Finalität

Compes definiert mögliche Unfallhergänge als Unfall-Kausalnexen, also eine Vielzahl von möglichen Kausalsträngen, auf welche entsprechende Sicherungs-Finalnexen angewendet werden müssen (vgl. ebd., S. 19). Das bedeutet konkret, dass auf eine potentiell unendliche

Menge an Unfallursachen eine endliche (vgl. Aspekt der Wirtschaftlichkeit weiter oben) Menge an Sicherheitslösungen angewendet werden sollen, um ein möglichst sicheres Umfeld zu schaffen.

Hinsichtlich der Sicherheitstechnik, der Unfallverhütung oder ganz allgemein der Schadenvermeidung stellt sich jedoch die Frage, wie auf Ereignisse reagiert wird, welche im Sinne der Sicherheitstechnik als *Dennoch-Ereignisse* eingestuft werden müssen, bei denen sich folglich der Unfall trotz aller Verhütungsmaßnahmen realisiert hat. Genau in dieser Situation wird der Unfall (und jede damit analog zu verstehende Situation) zum Notfall. Es müssen nun Prozesse greifen, die nicht mehr verhindernder, sondern mitigierender Natur sind. Das eingetretene schädigende Ereignis soll nicht ungehindert eskalieren. Damit ist der Rettungsdienst die konsequente Fortführung der sicherheitstechnischen Maßnahmen über den Punkt des dennoch-stattfindenden Unfalls hinaus im Bereich des Notfalls. Der Wirkprozess ist jedoch identisch. Auf die möglichen Notfall-Kausalnexen ist zielgerichtet mittels Gefahrenabwehr-Finalnexen zu reagieren.

Verhütende und mitigierende (mithin auch als abwehrend bezeichnete) Maßnahmen bilden zusammen ein Gefahrenabwehrkontinuum; ein zielgerichtetes und fortlaufend adaptiertes System zur Sicherstellung eines Sicherheitsniveaus. Bezogen auf den Menschen als höchstes Schutzgut und Gegenstand der rettungsdienstlichen Tätigkeit muss abschließend festgehalten werden, dass die Eskalationskette, welche durch rettungsdienstliche Maßnahmen unterbrochen werden soll, natürlicherweise spätestens mit dem Tod der betroffenen Person endet.

Bild 2.3 stellt die oben erläuterten Zusammenhänge grafisch dar.

### 2.2.3 (Notfall-)Ereignisse als zentrale Parameter

Es ist aus den Ausführungen der voranstehenden Abschnitte ersichtlich, dass der Rettungsdienst als ein Bediensystem verstanden werden kann. Das bedeutet, dass Ressourcen vorgehalten werden, um Ereignisse zu bedienen. Aufgrund der Natur des Rettungsdienstes handelt es sich bei diesen Ereignissen um medizinische Hilfeersuchen, welche dringlich sein können (Notfälle) oder auch eine gewisse Wartezeit tolerieren (z. B. Krankentransporte). Aufgrund der in Abschnitt 2.2.1 erläuterten Sachverhalte muss grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass beide Arten von Ereignissen nicht im Sinne eines deterministischen Prozesses planbar sind.

Die Betrachtung von Ereignissen, welche einen Rettungsdiensteinsatz auslösen sowie deren Bedienung durch den Rettungsdienst, geht von der Grundannahme aus, dass diese Ereignisse zufällig im Zeitverlauf geschehen. Dabei ist zu beachten, dass der Begriff *zufällig*

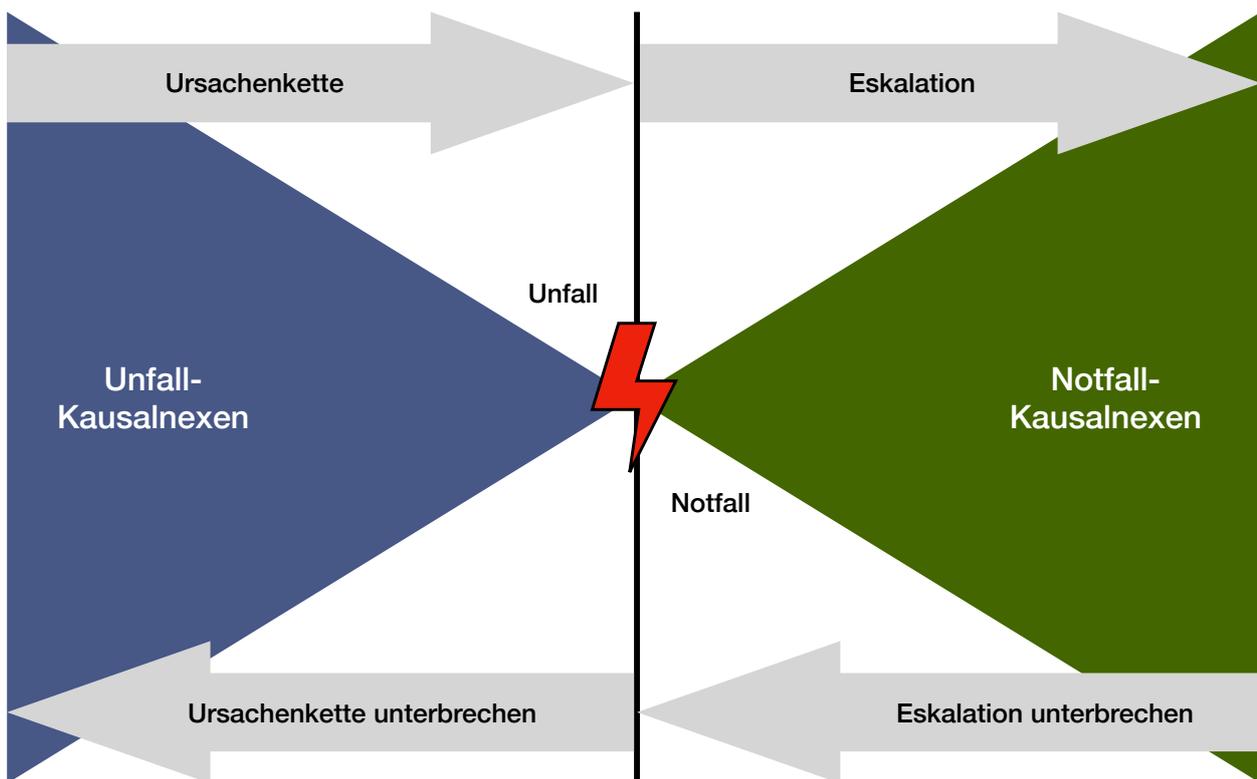


Bild 2.3: FORTFÜHRUNG der Sicherheitstechnik durch rettungsdienstliches Handeln

bedeutet, dass bisher kein Determinismus zur exakten Vorhersage des Auftretens solcher Ereignisse gefunden wurde (vgl. Briggs, 2016, S. 87). In Abgrenzung zu diesen zufälligen Ereignissen sind auch semi-zufällige Ereignisse zu bedienen. Als semi-zufällige Ereignisse sollen solche Ereignisse bezeichnet werden, deren Auftreten zwar zufällig ist, wo aber der Zeitpunkt der Bedienung in einem vernünftigen Maße bestimmt werden kann (z. B. bei der Disposition von Krankentransporten). Vor dem Hintergrund der Zielsetzung dieser Arbeit werden nachfolgend zufällige Ereignisse betrachtet. Außerdem erfolgt eine Ableitung wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlagen zur Modellierung solcher Ereignisse.

### 2.2.3.1 Zufällige Ereignisse

Es ist die Aufgabe der Bedarfsplanung im Rettungsdienst, Ereignisse, deren Auftreten nicht vollständig vorhergesagt werden kann, zu bewerten und hieraus eine adäquate Fahrzeugvorhaltung sowie weitere Ressourcen abzuleiten. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Art dieser zufälligen Ereignisse sowie ihrer Bedienung durch den Rettungsdienst.

Grundsätzlich wird, wie oben erläutert, davon ausgegangen, dass Hilfeersuchen im Rettungsdienst zufällig im Zeitverlauf geschehen. Das bedeutet, dass nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden kann, wann ein Hilfeersuchen stattfinden wird. Hierbei ist zu beachten, dass nicht der Zufall selbst die Ursache des Hilfeersuchens ist (vgl. ebd., S. 87). Für

den Fall, dass alle auslösenden Parameter bekannt und beobachtbar wären, würde jedes zukünftige Hilfeersuchen auch mit Sicherheit vorhergesagt werden können. Der Zufall stellt folglich ein Maß des Wissens über die auslösenden Gründe dar (vgl. ebd., S. 39).

Ausgehend von der Annahme, dass Hilfeersuchen im Rettungsdienst zufällig auftreten, lassen sich zwei für die Bedarfsplanung wesentliche Aspekte ableiten:

- Die Menge der Hilfeersuchen (je Zeiteinheit).
- Das Zeitintervall (Dauer,  $[T]$ ), in welchem ein Hilfeersuchen bedient werden kann.

Für eine spätere Modellierung ist es zudem hilfreich zu verstehen, dass die Menge der Hilfeersuchen in einem definierten Zeitintervall ( $Rate \left[\frac{1}{T}\right]$ ) auch als Zeit, die zwischen zwei Hilfeersuchen vergeht, ausgedrückt werden kann. So vergeht bei einem mittleren Aufkommen von zwei Ereignissen pro Stunde im Mittel 0,5 Stunden zwischen zwei Ereignissen ( $\frac{1}{Rate} [T]$ ).

### 2.2.3.2 Wahrscheinlichkeitstheoretische Grundlagen

Um die in den vorstehenden Abschnitten erläuterten Aspekte in Planungsmodelle fassen zu können, müssen wahrscheinlichkeitstheoretische Grundlagen erläutert werden, da Zufallsereignisse Gegenstand der Betrachtung sind.

Ausgehend von der Eigenschaft eines Hilfeersuchens als zufälliges Ereignis stellt dessen Realisierung im Zeitverlauf in seiner einfachsten Form ein Bernoulli-Experiment dar. Zu jedem gegebenen Zeitpunkt ist ein Hilfeersuchen entweder realisiert oder nicht. Es handelt sich folglich um einen stochastischen Prozess (vgl. Zimmermann, 2008, S. 404), dessen Zuwächse im zeitlich geordneten Verlauf einzelne Hilfeersuchen sind.

Da sich im Grunde zu jedem beliebigen Zeitpunkt ein Hilfeersuchen realisieren kann, darf angenommen werden, dass eine tatsächliche Realisierung bezogen auf z. B. alle Sekunden eines Tages selten ist. Außerdem darf angenommen werden, dass ein Hilfeersuchen nicht ein anderes bedingt, die Ereignisse folglich unabhängig voneinander sind. Von dieser Annahme gibt es Ausnahmen, die später erläutert werden sollen.

Seltene und voneinander unabhängige Ereignisse können als poisson-verteilt angenommen werden (vgl. Bulmer, 1979, S. 90; Hedderich und Sachs, 2012, S. 214). Das bedeutet, dass ihre statistische Verteilung über eine Poisson-Verteilung modelliert werden kann. Darüber hinaus kann jede Abfolge von Ereignissen auch über die Zeit beschrieben werden, die im Mittel zwischen zwei Ereignissen vergeht (*Zwischenankunftszeit*  $[T]$ ). Diese Zeitintervalle als stetige Variablen können als exponentialverteilt angenommen und so

über eine Exponentialverteilung modelliert werden (vgl. Bulmer, 1979, S. 98; Hedderich und Sachs, 2012, S. 255).

Die Tatsache, dass die Zwischenankunftszeiten exponentialverteilt sind, bedingt auch, dass die Wartezeit bis zum nächsten Hilfeersuchen gedächtnislos ist (vgl. Zimmermann, 2008, S. 410). Das bedeutet, dass die Restwartezeit bis zum nächsten Hilfeersuchen unabhängig von der bisher verstrichenen Wartezeit ist.

Bild 2.4 zeigt zwei Beispiele für eine exponentialverteilte Zwischenankunftszeit. Hierbei ist zu beachten, dass die angegebenen Ankunftsrate auch als Zeitintervalle angegeben werden können. Aus Bild 2.4 ist zu erkennen, dass erwartungsgemäß kurze Zeiten zwischen zwei Ereignissen bei hohen Ankunftsrate wahrscheinlicher sind.

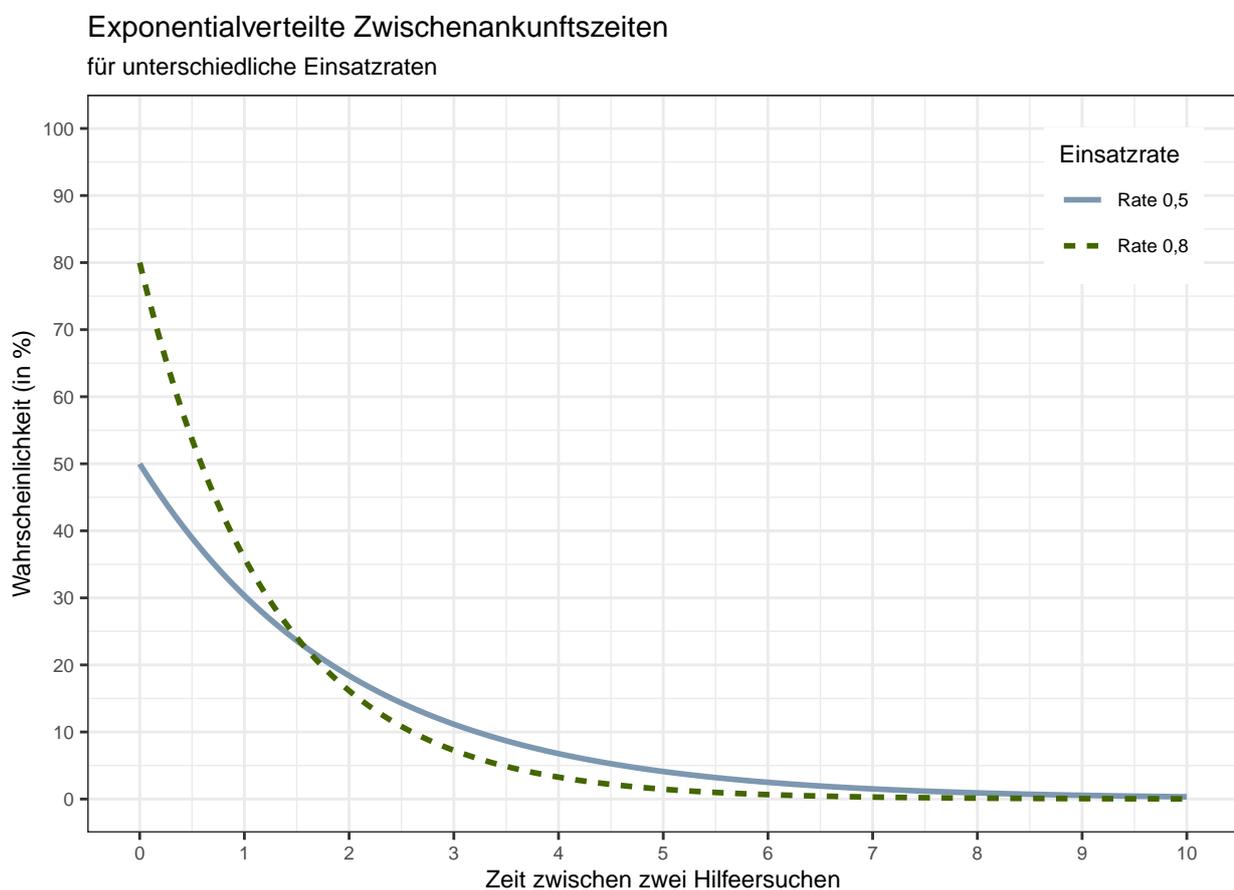


Bild 2.4: EXPONENTIALVERTEILUNG Wahrscheinlichkeitsdichte für Zwischenankunftszeiten bei Ankunftsrate von 0,5 und 0,8 pro Zeitintervall

Die folgenden Formeln definieren den Zusammenhang zwischen Ankunftsrate  $[\frac{1}{T}]$  und Zwischenankunftszeiten  $[T]$ :

$$\frac{1}{\text{Ankunftsrate}} = \text{Zwischenankunftszeit} \quad (2.1)$$

$$\frac{1}{\text{Zwischenankunftszeit}} = \text{Ankunftsrate} \quad (2.2)$$

Der Zusammenhang zwischen Ankunftsrate und Zwischenankunftszeit ist einleuchtend, wenn man sich vor Augen führt, dass beiden Werten die Annahme zugrunde liegt, dass die Hilfersuchen je Zeitintervall gleich-verteilt (in gleichen Abständen) auftreten.

Da die Zeit eine kontinuierliche Größe ist (d.h. nicht abzählbar), findet für die Zwischenankunftszeiten die Exponentialverteilung als kontinuierliche Verteilung Anwendung. Die Anzahl der tatsächlich stattfindenden Hilfersuchen (in Abgrenzung zur Ereignisrate, welche einen Mittelwert je Zeitintervall darstellt), ist allerdings eine diskrete (d.h. abzählbare) Größe. Hier findet die Poissonverteilung als diskrete Verteilung Anwendung.

Bild 2.5 zeigt die bereits in Bild 2.4 verwendeten Beispiele der beiden Ankunftsrate von 0,5 und 0,8 je Zeitintervall mit den entsprechenden poissonverteilten Wahrscheinlichkeiten für die Anzahl der Hilfersuchen, die im entsprechenden Zeitintervall auftreten.

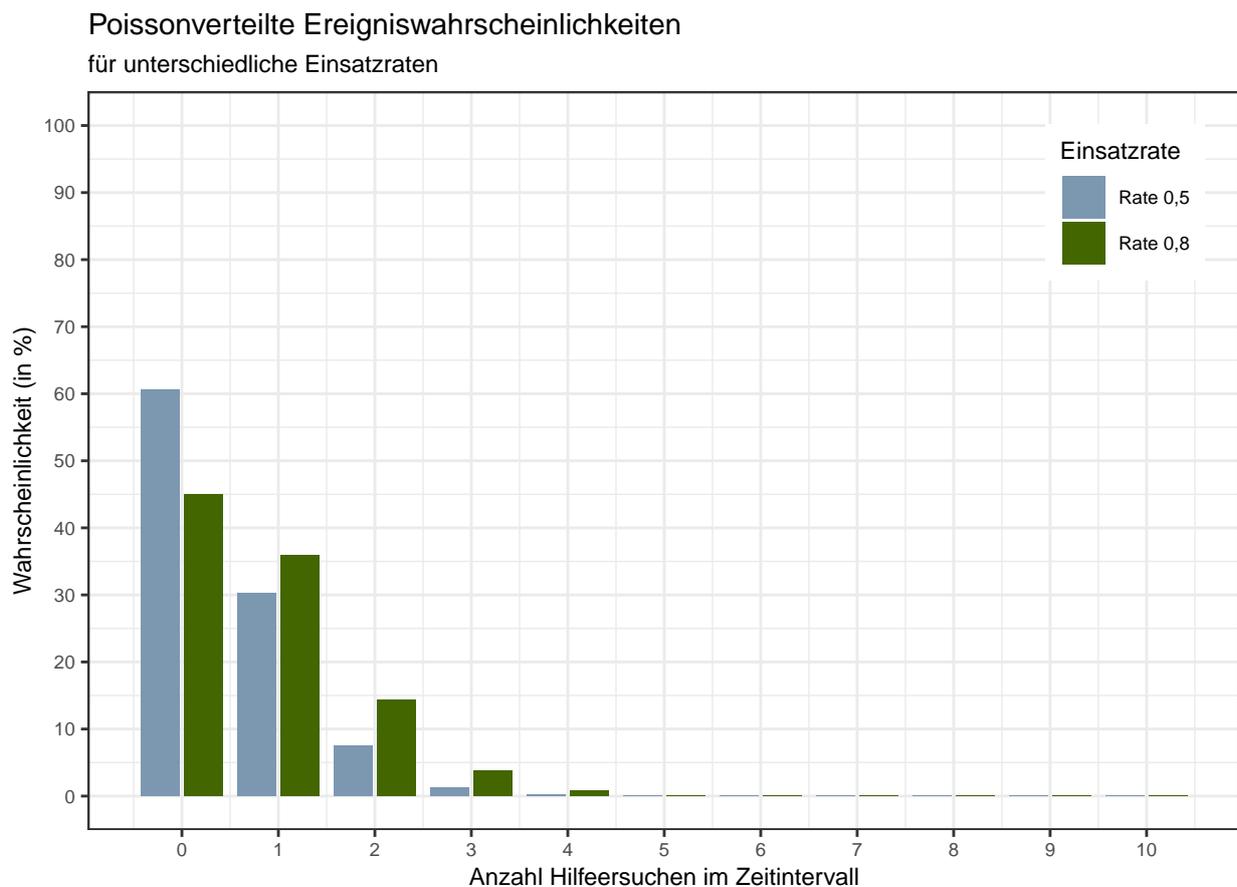


Bild 2.5: POISSONVERTEILUNG Wahrscheinlichkeit für Ereignisse im Zeitintervall bei Ankunftsrate von 0,5 und 0,8 pro Zeitintervall

Aus dem Bild ist zu erkennen, dass erwartungsgemäß mehr Hilfersuchen je Zeitintervall

bei hohen Ankunftsdaten wahrscheinlicher sind.

Zur Erläuterung ein Beispiel:

In einem Rettungswachenversorgungsbereich werden aus der Einsatzdokumentation des vergangenen Jahres eine mittlere Einsatzhäufigkeit von 0,5 Einsätzen für den Zeitraum von 14:00 Uhr bis 15:00 Uhr (Intervall 1 Stunde) ermittelt. Die Einsatzrate  $\lambda$  in diesem Zeitintervall beträgt folglich 0,5/h.

Unter Anwendung der o. s. Formeln lässt sich die mittlere Zeit zwischen zwei Einsätzen errechnen:  $1 \text{ h} / 0,5 = 2 \text{ h}$ . Hierbei ist zu beachten, dass die Zeiteinheit konsistent verwendet werden muss. Da die Angabe der Einsatzrate in 1/h erfolgt, ist das Ergebnis der Formel auch in Stunden zu interpretieren. Im Mittel vergehen also zwei Stunden zwischen zwei Einsätzen *in diesem Zeitintervall*.

Aus Bild 2.5 ist abzulesen, dass bei dieser Einsatzrate in 61 % der Zeitintervalle kein Ereignis geschieht. In 30 % der Zeitintervalle geschieht genau ein Ereignis usw. Anders ausgedrückt: Von 100 Stunden geschieht in 61 Stunden kein Einsatz, in 30 Stunden ein Einsatz, in 8 Stunden zwei Einsätze und in einer Stunde drei Einsätze.

Zusammenfassend können Hilfeersuchen im Rettungsdienst als ein stochastischer Prozess, genauer gesagt als ein Poisson-Prozess (vgl. Zimmermann, 2008, S. 410), verstanden werden. Die Intensität dieses Prozesses wird durch die im Mittel in einem Zeitintervall zu erwartenden Zuwächse (Hilfeersuchen)  $\lambda$  ausgedrückt. Diese Zuwächse werden durch Einsatzreaktionen (Einsätze) des Rettungsdienstes kompensiert. Dementsprechend machen höhere Intensitäten des Prozesses ein höheres Kompensationsbestreben notwendig.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die oben stehenden Ausführungen sich allein auf das Auftreten von (Notfall-)Ereignissen beziehen. Das erwähnte Kompensationsbestreben des Rettungsdienstes ist hier noch nicht erörtert worden.

In den nachfolgenden Abschnitten wird nun erläutert, wie diese Eigenschaften des Notfalls im Rahmen der Rettungsdienstbedarfsplanung berücksichtigt werden.

## 2.3 Verfahren zur Rettungsdienstbedarfsplanung

In diesem Abschnitt wird erörtert, welche Grundlagen und Aspekte Gegenstand der Methode der Rettungsdienstbedarfsplanung sind. Dabei ist grundsätzlich davon auszugehen, dass ein rettungsdienstliches System mindestens aus Standorten, Einsatzmitteln und Einsatzpersonal bestehen muss (vgl. Schmiedel, Behrendt und Betzler, 2012, S. 33 ff.).

Die beiden Parameter *Hilfsfrist* und *Erreichungsgrad* beinhalten die beiden wesentlichen Aspekte der Planung des Rettungsdienstes: Zeiten und Häufigkeiten. Da Ort und Zeit eines Notfalls im Vorfeld unbekannt sind, bleibt mittels aktueller Methoden allein eine retrospektive Betrachtung, um Einsatzrisiken in verschiedenen Zeitbereichen zu ermitteln. Gegenstand der Planung ist es dann, die Struktur des Rettungsdienstes nach Ort (Rettungswachen) und Ressourcen-Menge so zu gestalten, dass eine den Planungszielen adäquate Leistungsfähigkeit möglich ist. Gegenstand der Optimierung ist folglich der Erreichungsgrad. Allerdings werden auch andere Zeitintervalle wie z. B. das Prähospitalzeitintervall als relevante Planungsintervalle diskutiert (vgl. PrimAIR-Konsortium, 2016). Schließlich muss berücksichtigt werden, dass es sich bei einem Erreichungsgrad um einen Wert handelt, der aus einer Stichprobe ermittelt wurde (die Einhaltung der Planungsziele in einem Einsatz kann als mögliche Realisierung eines Bernoulli-Experiments gesehen werden). Folglich sollte mindestens auch ein Konfidenzintervall angegeben werden, was bisher in der rettungsdienstlichen Bedarfsplanung nicht geschieht.

### 2.3.1 Relevante Planungsparameter

Bild 2.6 zeigt die Dimensionen der Qualität im rettungsdienstlichen System. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine Planung des Rettungsdienstes, welche sich an einem PDCA-Kreis (vgl. Hellmich, 2010, S. 29) orientiert, nicht ohne das Fundament normativer Vorgaben möglich ist. Erst diese Vorgaben erlauben eine Planung, welche zielgerichtet und wirtschaftlich ist.

Bild 2.6 zeigt auch die sich aus dem PDCA-Kreis ergebenden Feedback-Mechanismen in einem solchen Planungssystem. Jede Ebene, mit Ausnahme der normativen Vorgaben, kann und muss vor dem Hintergrund der Performanz der ihr übergeordneten Ebenen optimiert werden. Die normativen Vorgaben allerdings sollten lediglich bei Abweichungen der Ergebnisqualität einer Anpassung unterliegen.

In vielen Bundesländern erstrecken sich die normativen Vorgaben auf die einzuhaltende Hilfsfrist, den damit verbundenen Zielerreichungsgrad sowie die Art der einzusetzenden Einsatzmittel und damit implizit der Qualifikation des eingesetzten Personals.

In einer verallgemeinerten Form kann daher unterstellt werden, dass der Rettungsdienst hinsichtlich vier sich bedingender Parameter geplant werden kann. Hierbei handelt es sich um:

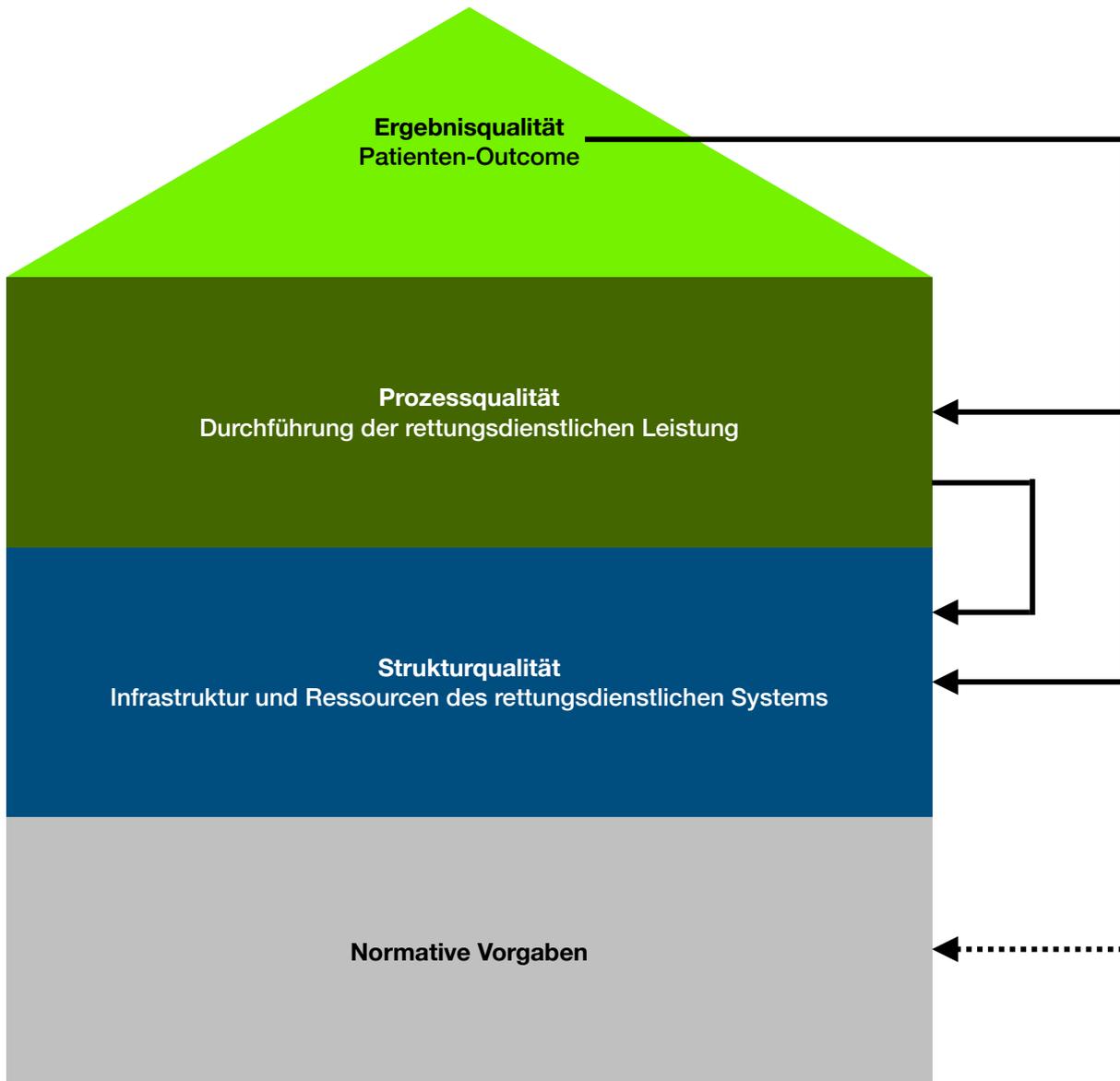


Bild 2.6: DIMENSIONEN der Qualität (Eigene Darstellung auf Basis von (Hellmich, 2010, S. 20))

- Die zur Bedienung (i. S. v. Erreichung) eines Einsatz zur Verfügung stehende Zeit (Hilfsfrist).
- Der Erreichungsgrad der Einhaltung der Hilfsfrist.
- Die Standorte des Rettungsdienstes.
- Die Einsatzmittel des Rettungsdienstes.

Alle weiteren Parameter, wie z. B. das Personal (inkl. Qualifikation) oder die Ausstattung von Einsatzmitteln, können als nachgelagert gesehen werden, da diese sich aus den

Ergebnissen zur Planung der o. s. Parameter ableiten lassen.

### 2.3.1.1 Hilfsfrist

„Die Hilfsfrist stellt als Planungsmaß (Soll-Wert) für die Strukturqualität einen wesentlichen Parameter für die Bedarfsplanung im Rettungsdienst dar. Sie definiert den Ausbaustandard der bedarfsgerechten rettungsdienstlichen Standortinfrastruktur (Netzdichte der bedarfsgerechten Rettungswachen). Die Hilfsfrist muss planerisch im Bedarfsplan berücksichtigt (Strukturqualität), ihre Einhaltung muss durch geeignete organisatorische Maßnahmen ermöglicht und vom Aufgabenträger überprüft werden (Durchführungs- oder Prozessqualität).“ (Schmiedel und Behrendt, 2019, S. 49)

Als Hilfsfrist werden in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Zeitabschnitte bezeichnet. Allen gleich ist der Endzeitpunkt, nämlich das Eintreffen am Einsatzort. Unterschiede ergeben sich hinsichtlich des Startzeitpunktes. In den meisten Fällen beginnt die Hilfsfrist mit oder kurz nach Eingang des Notrufs in der Leitstelle (Baden-Württemberg, Brandenburg, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein, Thüringen). In Bayern, Bremen, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen gelten der Alarmzeitpunkt (Bremen, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen) bzw. der Fahrtbeginn (Bayern) als Beginn der Hilfsfrist. Konkrete Vorgaben zur Hilfsfrist reichen von 5 bis 15 Minuten. Die Struktur der Rettungswachen, von denen ein Einsatzmittel ausrückt, ist folglich so zu planen, dass Einsatzorte innerhalb dieser Zeit von dort aus erreicht werden können.

Neben der Hilfsfrist wird auch die *Prähospitalzeit*, also die Zeit, welche der Patient außerhalb einer definitiven klinischen Versorgung verbringt, als relevantes Planungskriterium gefordert und mit einer zulässigen Zeitspanne von 60 Minuten angegeben (vgl. Fischer u. a., 2016, S. 391). Aktuell ist dieses Zeitkriterium jedoch noch nicht im Rahmen normativer Vorgaben als Planungsparameter festgelegt.

### 2.3.1.2 Erreichungsgrad

Der Erreichungsgrad beschreibt, in wie vielen der einschlägigen Notfälle (= hilfsfristrelevante Fälle) die Hilfsfrist eingehalten werden soll bzw. eingehalten wurde. Er stellt folglich ein Sicherheitsniveau dar. Im Rahmen der Leistungsanalyse des Rettungsdienstes durch die Bundesanstalt für Straßenwesen wird der Erreichungsgrad als ein Maß zur Überprüfung der Prozess- bzw. Durchführungsqualität im Rettungsdienst definiert (vgl. Schmiedel und Behrendt, 2019, S. 49). Hinsichtlich der Eignung als Planungsparameter ist dort erläutert:

„Der Zielerfüllungsgrad der Hilfsfrist ist daher kein Planungsmaß, sondern ein Überprüfungsmaß zur Sicherung der Durchführungsqualität [Prozessqualität, d. Autor], anhand dessen die Summe der Wirkungen der realen Abläufe innerhalb eines Notfallversorgungssystems im Hinblick auf die Einhaltung der Landesnorm als Prozessergebnis messbar ist.“ (ebenda)

Die Erreichungsgrad-Vorgaben der einzelnen Bundesländer bewegen sich zwischen 90 % und 95 %, sofern konkrete Werte gefordert werden. Dies ist konform zur bereits erläuterten Tatsache, dass vollständige Sicherheit (also ein Erreichungsgrad von 100 %) nicht tragfähig ist (vgl. Abschnitt 2.2.1). In einigen Bundesländern wird gefordert, dass die vorgegebene Hilfsfrist „in der Regel“ erreicht wird. Auch hier ist davon auszugehen, dass dies einen Erreichungsgrad von 90 % bis 95 % bedeutet. In Mecklenburg-Vorpommern ist ein zweistufiger Erreichungsgrad von 50 % (Hilfsfrist 10 Minuten) und 90 % bzw. 95 % (ländlich, städtisch, Hilfsfrist 15 Minuten) vorgesehen.

Aus Bild 2.6 wird ersichtlich, dass das Argument, es handle sich beim Erreichungsgrad allein um ein Überprüfungsmaß, nicht haltbar ist. Jedes Überprüfungsmaß ist innerhalb eines Regelkreises auch ein Planungsmaß (vgl. Zacher und Reuter, 2017, S. 6 und 8). Dass es sich bei der Überprüfung des Erreichungsgrades um einen Regelkreis handelt, kann bereits daraus abgeleitet werden, dass andernfalls eine Erhebung des Erreichungsgrades mit dem bloßen Zweck der Informationsgewinnung keinen Nutzen hätte. Der Erreichungsgrad ist folglich ein Steuerinstrument mit zwei wesentlichen Eigenschaften:

- Der Ziel-Erreichungsgrad als zu erreichende normative Soll-Größe.
- Der Ist-Erreichungsgrad als aktuelle Messgröße (Überprüfungsmaß).

Bild 2.7 veranschaulicht den Zusammenhang dieser beiden Erreichungsgrade. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den im Diagramm dargestellten Jahresangaben nicht um Kalenderjahre, sondern die fortlaufende Zählung der Jahre handelt.

In den Jahren 1 bis 9 sowie 14 bis 17 sind Maßnahmen zu implementieren, welche den Ist-Erreichungsgrad verbessern können. In den Jahren 11, 19 und 20 hingegen muss das rettungsdienstliche System aufgrund der Anforderung der wirtschaftlichen Leistungserfüllung überprüft werden.

### 2.3.1.3 Standorte

Als Kernbestandteil der Strukturqualität des Rettungsdienstes wird über die Standortstruktur die notwendige Erreichbarkeit des zu versorgenden Bereichs innerhalb der vorgegebenen Hilfsfrist abgebildet (vgl. Schmiedel, Behrendt und Betzler, 2012, S. 37 ff.). Hierbei ist

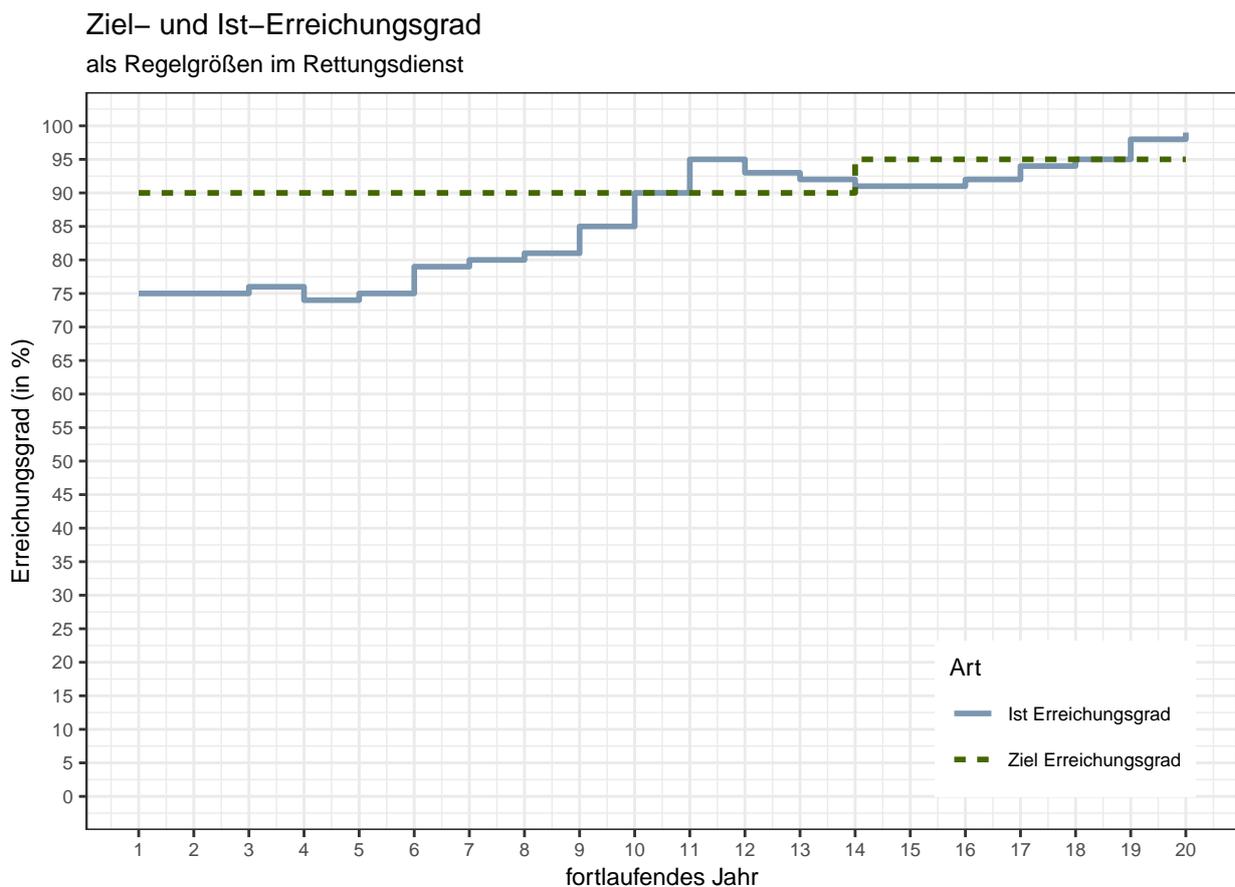


Bild 2.7: ERREICHUNGSGRADE als Regelgrößen im Rettungsdienst

implizit Voraussetzung, dass die Einsatzmittel auch von den ihnen zugewiesenen Standorten aus den Einsatz bedienen, um die geplanten Fahrzeiten einhalten zu können. Für den Bereich der Notfallrettung bedeutet dies, dass ein Einsatzmittel nach Beendigung eines Einsatzes zu dem ihm zugewiesenen Standort zurückkehren muss.

Die Lage der Standorte des Rettungsdienstes innerhalb eines Rettungsdienstbereiches beeinflusst die Einsatzdauer hinsichtlich der Fahrzeit zum Einsatzort, der Transportzeit zum Zielort (Krankenhaus) sowie der Einrückzeit vom Zielort zum Standort (vgl. Wehry, 2018, S. 2). Hierbei unterliegt allein die Fahrzeit zum Einsatzort aufgrund der rechtlichen Vorgaben zur Hilfsfrist in den Bundesländern einer normativen Beschränkung. Die Transportzeit wie auch die Einrückzeit sind nicht normiert und hängen von der Lage der Einsatzstelle zum Zielort und der Lage des Zielortes zum Standort des Einsatzmittels ab.

Da über die Lage der Standorte die Einsatzdauer beeinflusst werden kann, hat diese auch Auswirkungen auf die vorzuhaltenden Einsatzmittel, da längere Einsatzdauern naturgemäß mit einer höheren Vorhaltung einhergehen. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass je Standort mindestens ein Einsatzmittel vorgehalten werden muss. Insofern besteht kein linearer Zusammenhang der Anzahl der Standorte zur Einsatzmittelvorhaltung.

#### 2.3.1.4 Einsatzmittel

Ein weiterer relevanter Bestandteil der Strukturqualität des Rettungsdienstes sind die Einsatzmittel, da mit diesen die entsprechenden Hilfeersuchen bedient werden (vgl. Schmiedel, Behrendt und Betzler, 2012, S. 50 ff.). Neben einer günstigen Positionierung der Einsatzmittel (siehe Abschnitt oben) ist die Anzahl der Einsatzmittel ausschlaggebend für die zeitgerechte Bedienung von zufällig auftretenden Notfall-Ereignissen.

Ein Einsatz im jeweiligen Rettungswachenversorgungsbereich kann nur dann verlässlich zeitgerecht bedient werden, wenn bei dessen Auftreten auch ein Einsatzmittel an der entsprechenden Rettungswache verfügbar ist. Sollte dies nicht der Fall sein, muss der Einsatz durch ein Einsatzmittel bedient werden, welches nicht dem betreffenden Rettungswachenversorgungsbereich zugeordnet ist (Eskalation).

Die Situation, dass ein weiteres Notfallereignis in einem Rettungswachenversorgungsbereich geschieht und zur gleichen Zeit alle geeigneten Einsatzmittel des Rettungswachenversorgungsbereichs nicht verfügbar sind, wird in der Literatur als *Risikofall* bezeichnet (vgl. Behrendt und Schmiedel, 2002). Diese Definition des Risikofalls wurde in der Vergangenheit bereits diskutiert (vgl. Gay Cabrera und Groß, 2002). Gegenstand der Diskussion war unter anderem die Frage, ob bereits die Tatsache, dass alle Einsatzmittel eines Rettungswachenversorgungsbereichs im Einsatz gebunden sind (Risikofall 1), einen Risikofall darstellt, oder erst das Auftreten eines Notfallereignisses zusätzlich zu dieser Situation den Risikofall kennzeichnet (Risikofall 2). Diese Diskussion verdeutlicht die fehlende Wahrnehmung für den Bedienprozess, welcher im Rettungsdienst stattfindet. Hierbei sind der Anteil der Ereignisse, welche auf ein System treffen, in dem alle Bedienstellen belegt sind (Risikofall 2) und der Anteil der Zeit, in welchem sich dieses System in Vollauslastung befindet (Risikofall 1) identisch, wie von Wolff nachgewiesen wurde (vgl. Wolff, 1982).

### 2.3.2 Planungsvorgehen

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Verfahren erläutert, die im Rahmen einer Rettungsdienstbedarfsplanung zur Planung bzw. Optimierung der o. s. Parameter zum Einsatz kommen.

#### 2.3.2.1 Vorgehen zur Ermittlung der Standortstruktur

Wie schon erläutert, kommt der Standortstruktur eine wichtige Bedeutung hinsichtlich der Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben an den Rettungsdienst zu. Nur durch ein ausreichend dichtes Netz an Rettungswachen ist es zu erreichen, dass Notfallereignisse innerhalb der vorgegebenen Hilfsfrist bedient werden können.

Einschlägige Literatur zur Standortplanung speziell für den Rettungsdienst in Deutschland beschränkt sich auf die Ausführungen in (Schmiedel, Behrendt und Betzler, 2012, S. 147ff.). Hier wird ein mehrstufiges Verfahren zur Auswahl geeigneter Standorte beschrieben (vgl. ebd., S. 157):

- In der ersten Stufe werden in einem Rettungsdienstbereich Städte aufgrund von siedlungsstrukturellen Merkmalen und dem Vorhandensein von Notfallschwerpunkten als Standorte von Rettungswachen ausgewählt.
- In der zweiten Stufe werden über die Parameter *gleichmäßige flächendeckende Versorgung, Lage der Standorte aus Stufe 1, weitere bereits bestehende Standorte* sowie *Bevölkerungs- und Notfallschwerpunkte* weitere Standorte von Rettungswachen in den Bereichen des Rettungsdienstbereichs festgelegt, welche nicht in der ersten Stufe abgedeckt wurden.

Das dargestellte Vorgehen enthält keine wesentlichen Angaben dazu, wie zu den o. g. Parametern innerhalb der zu untersuchenden Gebiete optimale Standorte gefunden werden können. Bei einer anzunehmenden Hilfsfrist von 10 Minuten abzüglich einer repräsentativen Ausrückzeit von 1,5 Minuten verbleiben als Fahrzeit zur Abdeckung eines Einsatzgebietes einer Rettungswache 8,5 Minuten. Dieser Zeitbereich ist ausreichend klein, um leicht zu erkennen, dass ein einfaches „Platzieren“ eines Standortes z. B. innerhalb einer städtischen Struktur (Stufe 1) nur mit viel Glück einen optimalen Standort darstellt. Zudem wird mit der erläuterten Methode nicht nachgewiesen, dass für Siedlungsstrukturen, auf welche die Phase 1 angewendet wird, tatsächlich ein Standort zur Versorgung ausreichend ist.

In der internationalen Literatur wird hinsichtlich der Wahl des Standortes einer Rettungswache bzw. eines Rettungsmittels zwischen der Standortwahl (Location) und der Gebietsabsicherung (Relocation) unterschieden (vgl. Aringhieri u. a., 2017).

Zur Standortwahl werden unterschiedliche Ansätze in der Literatur diskutiert. Eine Übersicht über die dabei verwendeten Grundlagen und Parameter präsentieren Başar et al. in Form einer Taxonomie (Başar, Çatay und Ünlüyurt, 2012). Hervorzuheben sind Ansätze, welche auf eine gerechte Verteilung rettungsdienstlicher Leistungen abzielen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Gerechtigkeitsbegriff in diesem Kontext keineswegs eindeutig definiert ist. Ein gerechter Zugang zu rettungsdienstlichen Leistungen im Sinne einer gleich schnellen Bedienung in städtischen und ländlichen Gebieten hat eine heterogene Kostenstruktur zur Folge, da zur Herstellung dieser Leistungsqualität in ländlichen Regionen mitunter höhere Ausgaben erforderlich sind als in städtischen Regionen. Dies bedeutet allerdings auch, dass dem Menschenleben in diesen Regionen ein unterschiedlicher Wert beigemessen wird (vgl. Erkut, Ingolfsson und Erdoğan, 2008, S. 43).

Die Struktur eines Rettungsdienstbereichs ist zudem stark pfadabhängig (vgl. Durlauf, 2008; Sterman, 2000, S. 349 ff.). Das bedeutet, dass ein einmal eingeschlagener Weg nicht einfach wieder verlassen werden kann (z. B. Verlegung aller Rettungswachen). Dies ist im Rahmen einer konkreten Planung stets zu berücksichtigen. Daraus folgt, dass die individuelle Pfadabhängigkeit, oder vielmehr der Pfad selbst, im Planungsprozess untersucht werden muss, um die besten Steuerungsvarianten zu identifizieren.

### 2.3.2.2 Vorgehen zur Ermittlung der Einsatzmittelvorhaltung

Die allgemeine Planungsgrundlage zur Ermittlung der Einsatzmittelvorhaltung bildet das Aufkommen an Hilfeersuchen im betrachteten Rettungswachenversorgungsbereich, welches bedient werden muss. Bei diesen Hilfeersuchen kann es sich entsprechend der beiden Einsatzarten des Rettungsdienstes um Notfälle oder um Anfragen zum Krankentransport handeln.

Aus einem Hilfeersuchen entsteht ein Einsatz, wenn der zuständige Disponent in der Leitstelle entscheidet, dass ein Einsatz erforderlich ist.

Im Allgemeinen kann unterschieden werden in Hilfeersuchen, deren Auftreten zufällig ist (oder besser gesagt, die nicht vorhersagbar sind, so zum Beispiel Notfalleinsätze) und solche, die im voraus geplant werden können (zum Beispiel vorbestellte Krankentransporte).

Aktuell werden in Deutschland zwei Methoden zur Ermittlung der Einsatzmittelvorhaltung unterschieden. Hierbei handelt es sich um:

- Die risikoabhängige Fahrzeugbemessung (vgl. Schmiedel, Behrendt und Betzler, 2012, S. 172ff.) zur Ermittlung der Einsatzmittelvorhaltung in der Notfallrettung und
- die frequenzabhängige Fahrzeugbemessung (vgl. ebd., S. 180ff.) zur Ermittlung der Einsatzmittelvorhaltung im Krankentransport.

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung dieser Arbeit wird nachfolgend die Methode der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung erläutert.

Die risikoabhängige Fahrzeugbemessung adressiert die Einsatzmittelvorhaltung für die Notfallrettung und leitet ihren Namen aus dem Risikofall (s. o.) als Planungsgrundlage ab. Es ist folglich das Ziel, so viele Einsatzmittel vorzuhalten, dass das Risiko des Eintretens des Risikofalls auf ein zulässiges Maß reduziert wird.

Zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des Risikofalls erfolgt eine Modellierung mittels der Poisson-Verteilung wie folgt (vgl. ebd., S. 174):

$$P(X > x) = 1 - \sum_{x=0}^n P(x) \quad (2.3)$$

mit:

$X$  = Anzahl gleichzeitig stattfindender Notfallereignisse [1]

$x$  = Anzahl vorgehaltener Einsatzmittel [1]

Hierbei beginnt die Summe in Formel 2.3 bei  $x = 0$ , da die Formel bei  $x = 0$  die Wahrscheinlichkeit errechnet, dass mehr als 0 – also mindestens 1 – Notfall stattfindet. Da jedoch eine bedarfsgerechte Rettungswache unter anderem durch die Vorhaltung mindestens eines geeigneten Rettungsmittels definiert ist, sollte die Formel bei  $x = 1$  beginnen.

Die Einzelwahrscheinlichkeiten  $P(x)$  errechnen sich wie folgt (vgl. ebd., S. 172):

$$P(x) = \frac{\lambda^x * e^{-\lambda}}{x!} \quad (2.4)$$

mit:

$$\lambda = \frac{ED_i * EH_i}{\Delta t_i} [1]$$

$ED_i$  = Mittlere Einsatzdauer im Zeitraum  $i$  [T]

$EH_i$  = Einsatzhäufigkeit im Zeitraum  $i$  [1]

$\Delta t_i$  = Länge des Zeitraums  $i$  [T]

Hierbei ist hinsichtlich der mittleren Einsatzdauer und der Länge des Zeitraums auf kongruente Einheiten (z. B. Minuten) zu achten.

Die konkrete Planung der erforderlichen Einsatzmittel erfolgt schließlich über die Ermittlung der Wiederkehrzeit  $W$  des Risikofalls wie folgt (vgl. ebd., S. 174):

$$W = \frac{1}{P(X > x)} * \frac{ED_i}{\Delta t_j} \quad (2.5)$$

mit:

$\Delta t_j$  = Länge des zu bemessenden Zeitintervalls  $j$  [T]

Die als bedarfsgerecht zugrundezulegende maximale Wiederkehrzeit des Risikofalls ist dabei nicht einheitlich festgelegt. Schmiedel et al. definieren eine Wiederkehrzeit von 10 Schichten für das Einsatzmittel RTW in einem 3-Schicht-System (8-Stunden-Schichten)

als „maßvolles Sicherheitsniveau“ (vgl. ebd., S. 175). Das Land Hessen legt eine Wiederkehrzeit von mindestens 15 Schichten normiert auf eine mittlere Zeitintervalllänge von 12 Stunden fest (vgl. Hessisches Ministerium für Soziales und Integration, 2016, S. 15). Konkretisiert wird diese Angabe durch die Nennung einer maximal zulässigen Anzahl von 48,7 Risikofällen<sup>1</sup> pro Jahr über alle Schichten (ebenda).

Anhand der o. g. Beispiele wird deutlich, dass die Wiederkehrzeit neben den o. g. Qualitätsparametern im Rettungsdienst als Planungsgröße existiert, deren Festlegung, anders als der Erreichungsgrad, nicht immer einem politischen Willensbildungsprozess unterliegt. Dass die Wiederkehrzeit und der Erreichungsgrad zwei voneinander getrennte Parameter sind, wird deutlich, vergleicht man das Beispiel aus dem Land Hessen mit den Ausführungen zum Erreichungsgrad in Abschnitt 2.3.1.2. Hier fällt auf, dass der Planungsparameter *Wiederkehrzeit* nicht im Einklang mit dem Parameter *Erreichungsgrad* steht, da die Einsatzfrequenz im Parameter *Wiederkehrzeit* nicht berücksichtigt ist. Die Definition des Risikofalls soll hier noch einmal herangezogen werden:

„[...] die aktuelle Nachfrage überschreitet die dienstplanmäßige Regelvorgangshaltung.“ (vgl. Schmiedel, Behrendt und Betzler, 2012, S. 174; Behrendt und Schmiedel, 2002, S. 193)

Diese Definition enthält keine Intensität der beschriebenen Nachfrageüberschreitung. Es wird an dieser Stelle daher zunächst von einer Überschreitung von 1 ausgegangen, da eine Überschreitung von  $> 1$  die o. s. Definition nicht erfüllt, denn es handelt sich in diesem Fall lediglich um die Fortsetzung des Risikofalls, nicht dessen Eintreten.

Unter Berücksichtigung der o. s. Erläuterungen ergeben sich bei maximal 48,7 Risikofällen im Jahr unterschiedliche Erreichungsgrade für Rettungswachenversorgungsbereiche mit unterschiedlichen Einsatzhäufigkeiten.

### 2.3.3 Konstante Parameter als Anforderung an die Modellierung

Die oben erläuterten wahrscheinlichkeitstheoretischen Grundlagen sowie die darauf aufbauenden Methoden erfordern zur Berechnung konkreter Werte stets einen konstanten Parameter, so zum Beispiel bei der Poisson-Verteilung den Parameter  $\lambda$ , welcher den Erwartungswert darstellt. Diese Parameter fassen einen Sachverhalt, so zum Beispiel das Aufkommen an Hilfeersuchen in einem Zeitintervall, zu einem charakteristischen Wert zusammen. Hierfür wird beispielsweise das arithmetische Mittel der Einsatzhäufigkeiten eines Jahres in dem zu betrachtenden Zeitintervall sowie die mittlere Einsatzdauer verwendet. Diese Tatsache hat zwei für die Planung relevante Konsequenzen:

<sup>1</sup>Herleitung:  $\frac{(24/12)*365,25}{15}$

- Eventuell vorhandene Volatilität in dem zu repräsentierenden Wert innerhalb des betrachteten Zeitintervalls wird nicht berücksichtigt.
- Die Planung muss für isolierte Zeitintervalle (z. B. 8 oder 12 Stunden) erfolgen. Effekte durch Änderungen in den Einsatzraten oder -dauern können daher nicht berücksichtigt werden.

Zur Erläuterung dient Bild 2.8. Die hier dargestellten relativen Einsatzhäufigkeiten der Stundenwerte basieren auf Angaben in (SQR-BW, 2019, S. 17).

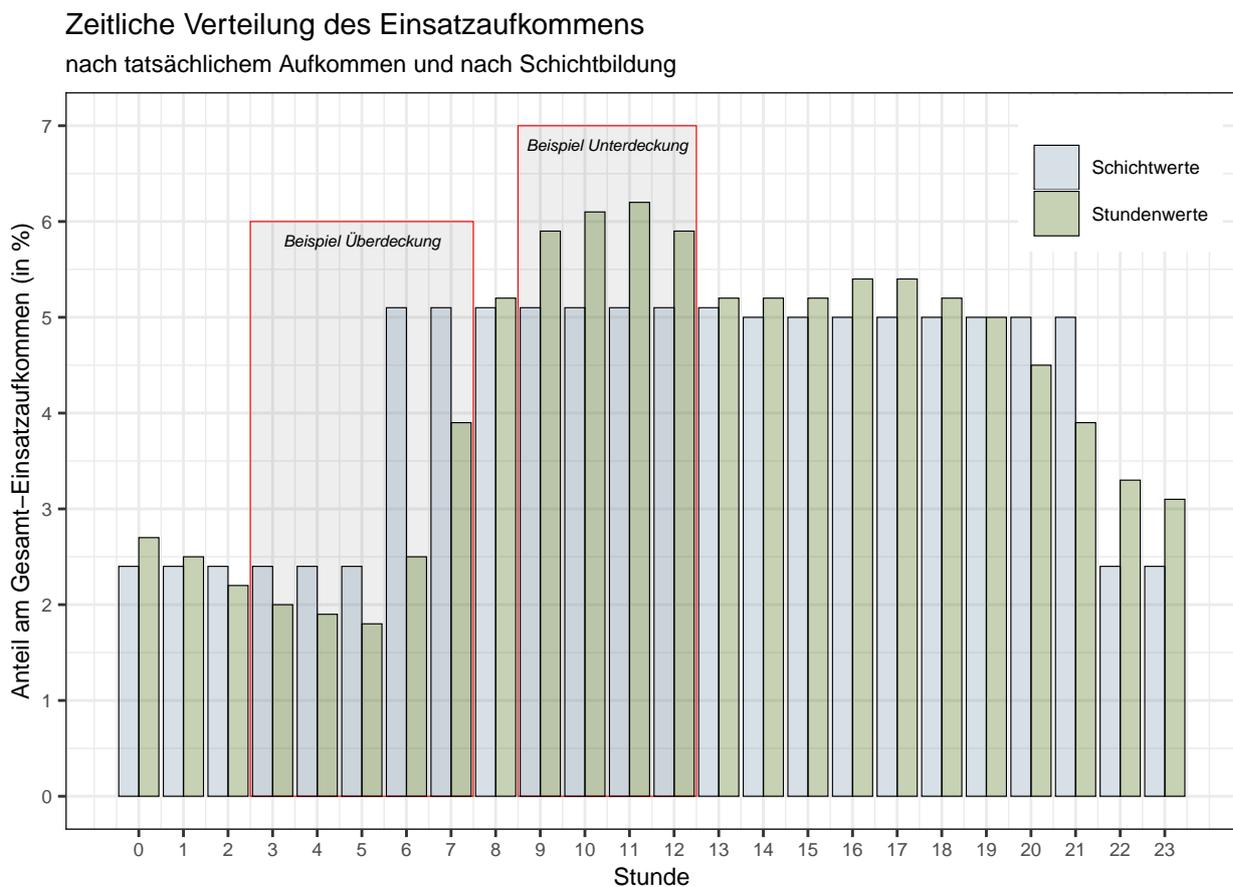


Bild 2.8: VERGLEICH von stundenweisen und schichtweisen relativen Einsatzhäufigkeiten

Ergänzt wurden die jeweiligen Mittelwerte für ein 3-Schicht-System mit Schichten von 06:00 Uhr - 14:00 Uhr, 14:00 Uhr - 22:00 Uhr und 22:00 Uhr - 06:00 Uhr. Wie erläutert verwenden die o. s. Planungsmethoden für die angegebenen Schichten konstante Werte für die Einsatzhäufigkeit und auch die Einsatzdauer. Aus Bild 2.8 ist deutlich zu erkennen, dass hieraus in einigen Zeitbereichen Unter- bzw. Überversorgungen resultieren können. So z. B. in der Zeit von 02:00 Uhr bis 06:00 Uhr oder in der Zeit von 09:00 Uhr bis 13:00 Uhr. Insbesondere die Unterversorgung während der Einsatzspitze am späten Vormittag kann hier zu reduzierten Erreichungsgraden führen.

# 3 Aktuelle Situation des Rettungsdienstes und zukünftige Herausforderungen

## Inhalt

---

3.1	Bevölkerungsstruktur . . . . .	40
3.2	Einsatzgeschehen . . . . .	42
3.3	Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes . . . . .	48
3.4	Personal und Qualifikation . . . . .	52
3.5	Technik . . . . .	53
3.6	Schnittstellen . . . . .	54
3.7	Finanzierung und Kosten . . . . .	54
3.8	Relevante gesellschaftliche Trends . . . . .	58
3.8.1	Demographischer Wandel . . . . .	59
3.8.2	Klimawandel . . . . .	60
3.8.3	Digitale Transformation / Telemedizin . . . . .	63
3.8.4	Veränderung der Krankenhauslandschaft . . . . .	64
3.8.5	Professionalisierung . . . . .	65
3.8.6	Ergänzende Systeme . . . . .	67

---

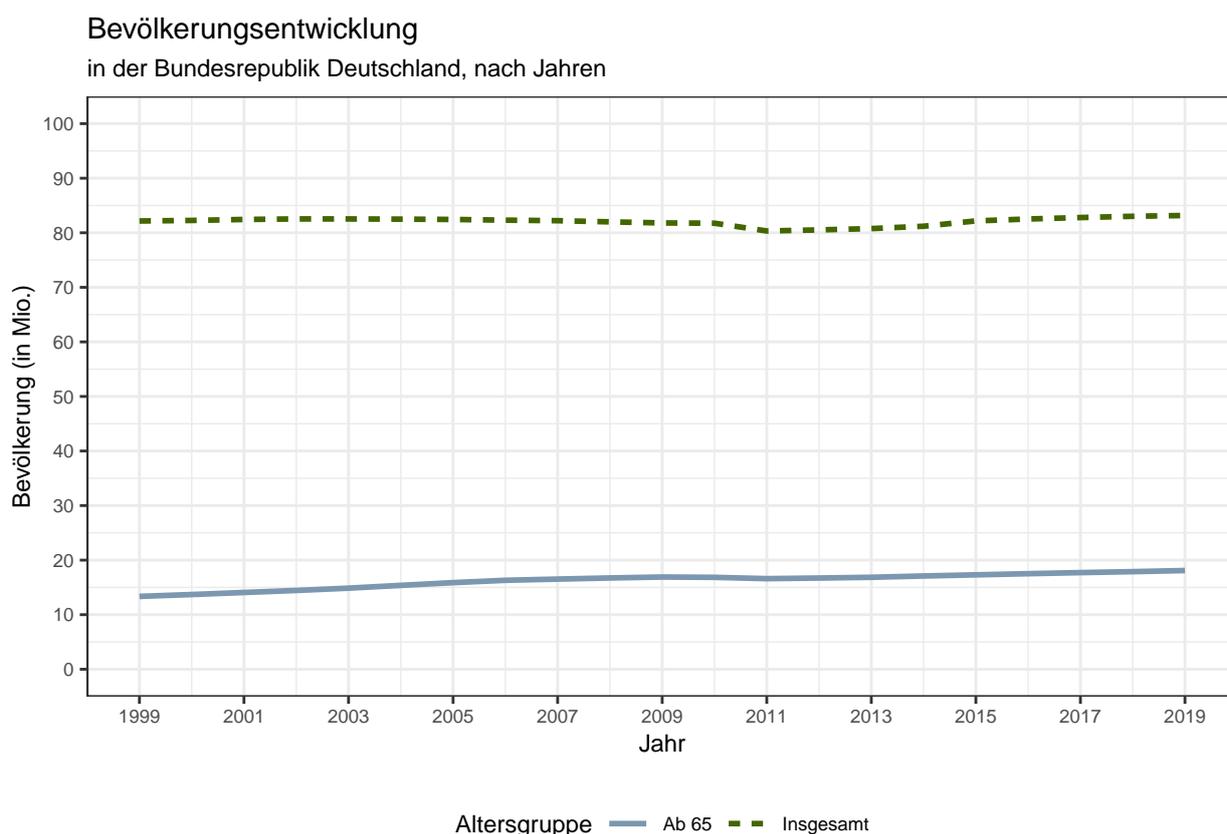
Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln auf die rechtlichen Grundlagen sowie die Planungsverfahren im Rettungsdienst eingegangen wurde, wird in diesem Kapitel die aktuelle Situation des Rettungsdienstes nach verschiedenen Aspekten analysiert.

### 3.1 Bevölkerungsstruktur

Da der Rettungsdienst eine Dienstleistung am Menschen ist, ist die Bevölkerungsstruktur, in welcher der Rettungsdienst durchgeführt wird, von Bedeutung. Es kann grundsätzlich

angenommen werden, dass mit steigender Bevölkerungszahl auch die Zahl der Einsätze des Rettungsdienstes steigt.

Bild 3.1 zeigt die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland von 1999 bis 2019 für die Gesamtbevölkerung sowie für die Bevölkerungsgruppe der Personen mit 65 Lebensjahren oder mehr (Datenquelle: Statistisches Bundesamt, 2021a).



Datenquelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021 | Stand: 29.01.2021

Bild 3.1: BEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG in Deutschland von 1999 bis 2019

Es ist gut zu erkennen, dass die Gesamt-Bevölkerungszahl von 1999 bis 2019 nahezu konstant geblieben ist. Allerdings zeigt sich eine konstante Steigerung in der Gruppe der Personen mit 65 Lebensjahren oder mehr. Dies bedeutet, dass die Bevölkerung im dargestellten Zeitverlauf immer älter wird. Tatsächlich verändert sich das mittlere Alter der Bevölkerung von 38,8 Jahren (1990) zu 43,9 Jahren (2019) mit einer mittleren Alterung von 0,18 Jahren je Jahr (vgl. ebd.).

Die Abgrenzung der Altersgruppe der Personen mit 65 Lebensjahren oder mehr ist deshalb für den Rettungsdienst relevant, da ältere Menschen häufiger auf die Leistungen des Rettungsdienstes zurückgreifen als jüngere Menschen (vgl. Jones u. a., 2017; Lowthian u. a., 2011; Platts-Mills u. a., 2010; Behrendt und Runggaldier, 2009). Näheres zu den Auswirkungen des demographischen Wandels wird in Abschnitt 3.8.1 erörtert.

## 3.2 Einsatzgeschehen

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) führt in einem Rhythmus von vier Jahren eine Replikationsstudie mit dem Titel *Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst* durch. Im Rahmen dieser Studie wird die Einsatzdokumentation ausgewählter Rettungsdienstbereiche für zwei zurückliegende Jahre erhoben, ausgewertet und auf das Bundesgebiet hochgerechnet. Die Ergebnisse dieser Studie bilden somit eine gute empirische Grundlage zur Gestaltung einer rettungsdienstlichen Systemplanung. Die *Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst* wurde zuletzt für die Jahre 2016 und 2017 (Schmiedel und Behrendt, 2019) durchgeführt und wird somit für die Jahre 2020 und 2021 erneut durchgeführt werden.

Die *Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst* teilt die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes in die Aspekte

- Einsatzablauf und
- Einsatzaufkommen

auf (vgl. ebd., S. 12). Unter dem Aspekt *Einsatzablauf* wird dabei die Schnelligkeit und die Bedienqualität des Rettungsdienstes subsummiert. Aus der Einteilung in die beiden genannten Aspekte wird ersichtlich, dass zum einen zeitliche Parameter und zum anderen Häufigkeitsparameter gemäß der genannten Studie die kennzeichnenden Parameter eines rettungsdienstlichen Systems sind.

Untersuchungsgegenstand der *Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst* ist die Einsatzfahrt (vgl. ebd., S. 14), welche sich auf ein einzelnes Einsatzmittel bezieht. Hierbei ist zwischen der Einsatzfahrt und dem Einsatz zu unterscheiden. Grundsätzlich besteht ein Einsatz aus mindestens einer und bis zu beliebig vielen Einsatzfahrten. Die notwendige Anzahl an Einsatzfahrten ergeben sich aus dem Lagebild. Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, dass eine klare Trennung von Einsätzen nicht immer gewährleistet ist. Ein gutes Beispiel hierfür ist ein Massenanfall von Verletzten und Erkrankten (MANV). Dieser bildet aus rettungsdienstlicher Sicht einen einzelnen Einsatz, allerdings ist es auch möglich, jede Transportfahrt und die damit verbundenen Leistungen als einen Einsatz zu betrachten. Im Fall eines MANV würde dies bedeuten, dass ein MANV aus mehreren Einsätzen besteht.

Die für die *Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst* relevanten Daten werden nach den siedlungsstrukturellen Regionstypen erhoben, welche vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) definiert werden (Bundesinstitut für Stadt-, -Bau- und Raumforschung, 2019). Anhand dieser Regionstypen lässt sich das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte in die folgenden

drei Typen unterteilen:

- Regionstyp 1: Städtische Regionen
- Regionstyp 2: Regionen mit Verstärkeransätzen
- Regionstyp 3: Ländliche Regionen

Die räumliche Verteilung dieser Regionstypen auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte ist Bild 3.2 zu entnehmen.

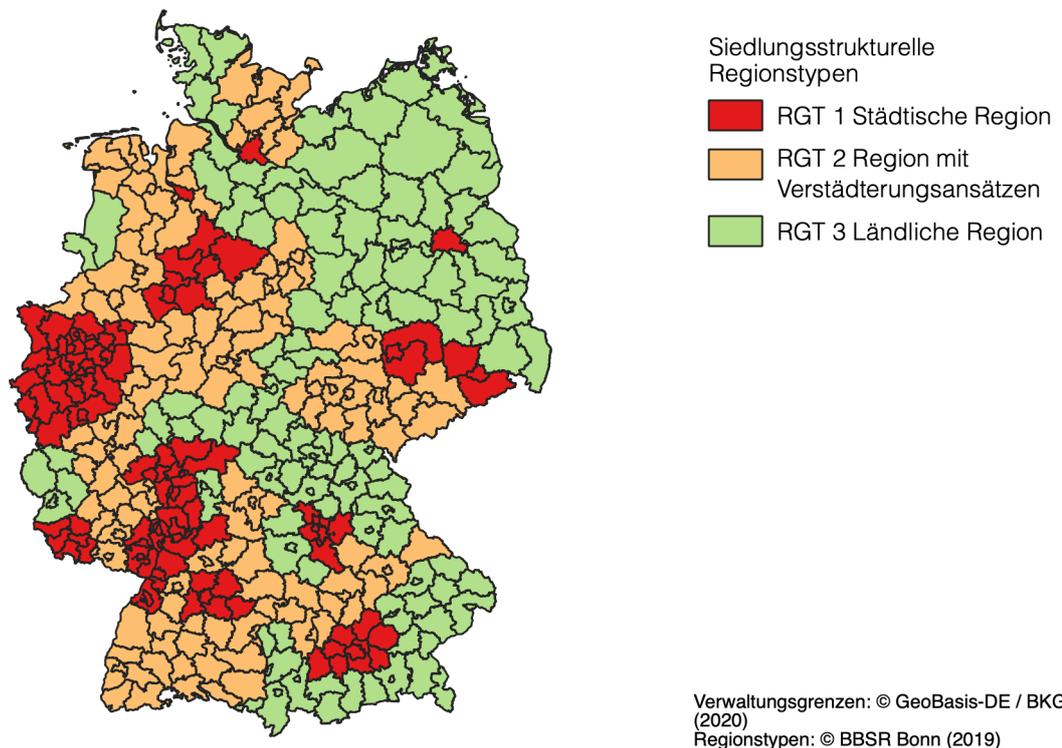


Bild 3.2: Siedlungsstrukturelle REGIONSTYPEN des BBSR

Die Typisierungsmerkmale beziehen sich dabei auf die räumliche Verteilung der Bevölkerung, die Einwohnerdichte und das Vorhandensein und die Größe einer Großstadt. Bis auf die Parameter zum Vorhandensein und der Größe einer Großstadt bilden also allein Informationen zur Bevölkerung die Typisierungsmerkmale.

Vor dem Hintergrund dieser Einteilung werden zur Analyse Daten erhoben, die sich auf insgesamt rund 22 % der Fläche des Bundesgebiets und 25 % der Einwohner der Bundesrepublik Deutschland beziehen.

Eine ggf. vorhandene Über- bzw. Unterrepräsentanz der erhobenen Daten wird im Rahmen der Studie mittels Gebiets- und Korrekturfaktoren bei der Hochrechnung ausgeglichen (vgl. Schmiedel und Behrendt, 2019, S. 20). Diesem Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass die Verteilung der Einwohnerzahlen und die Verteilung der Einsatzhäufigkeiten

nach den Regionstypen nahezu identisch sein müssen. Eine Begründung hierfür wird nicht angeführt. So ist es im Gegensatz dazu beispielsweise auch vorstellbar, dass städtische Regionen unfallträchtiger sind und daher in diesen Bereichen – bezogen auf die Bevölkerung – mehr rettungsdienstliche Einsätze geschehen, als in ländlichen Regionen.

Bild 3.3 zeigt das jährliche bundesweite Fahrtaufkommen im Rettungsdienst nach Regionstyp (RGT) und Einsatzmittel (Datenquelle: Schmiedel und Behrendt, 2019, S. 22).

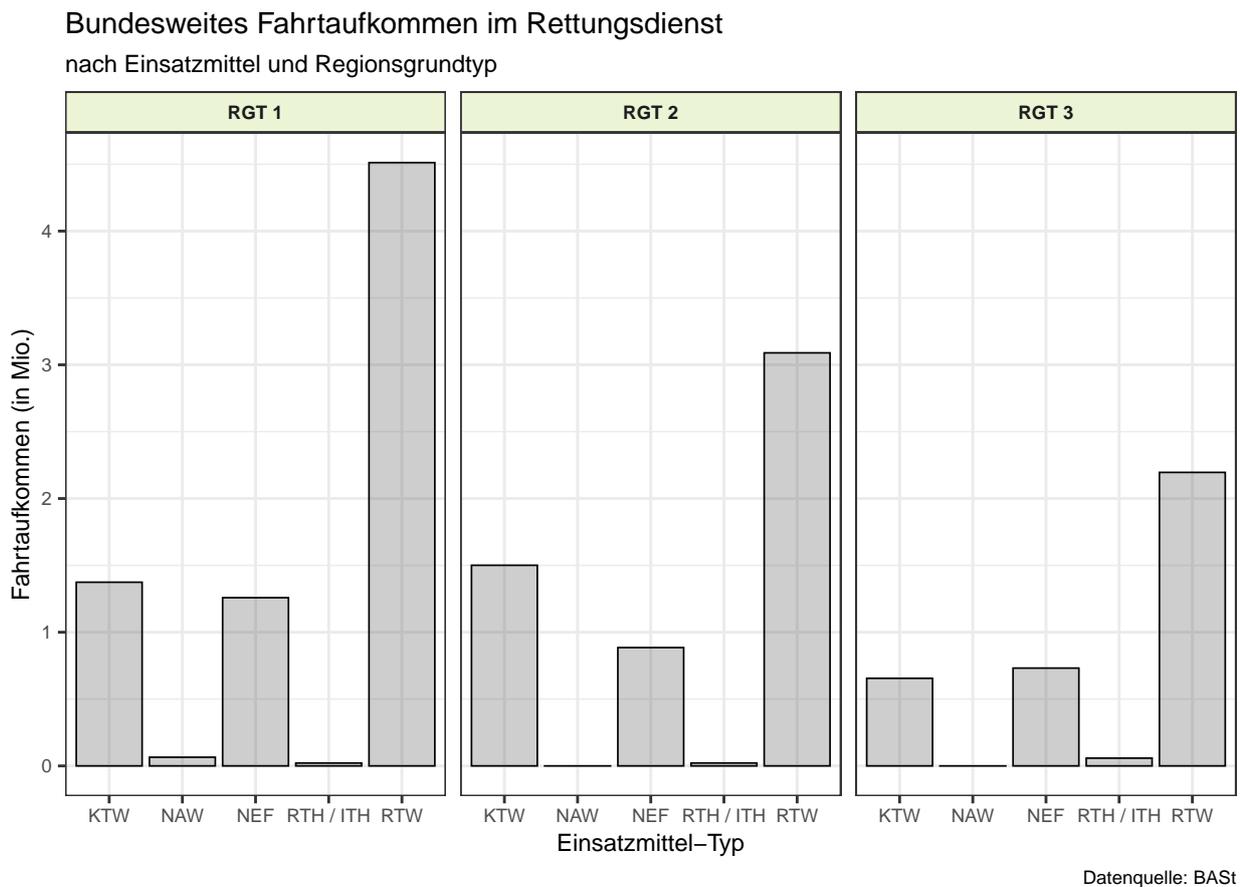


Bild 3.3: Jährliches FAHRtaufKOMMEN im Rettungsdienst nach Einsatzmittel (bundesweit, 2016/17)

Gut zu erkennen ist, dass das Einsatzmittel Rettungswagen (RTW) den überwiegenden Teil der Einsatzfahrten in allen Regionstypen bedient.

Vor dem Hintergrund der Annahme der *Leistungsanalyse*, dass eine starke Korrelation zwischen der Bevölkerung einer Region und der Anzahl der Rettungsdiensteinsätze in der jeweiligen Region besteht, ist das in Bild 3.3 zu sehende Gefälle von RGT 1 zu RGT 3 nachvollziehbar. Hervorzuheben ist jedoch die im Vergleich zu den übrigen Regionstypen erhöhte Anzahl an KTW-Fahrten im Regionstyp 2 (Region mit Verstärkeransätzen).

Bild 3.4 zeigt die Verteilung des bundesweiten Fahrtaufkommens im Rettungsdienst nach Einsatzmittel und Regionstyp.

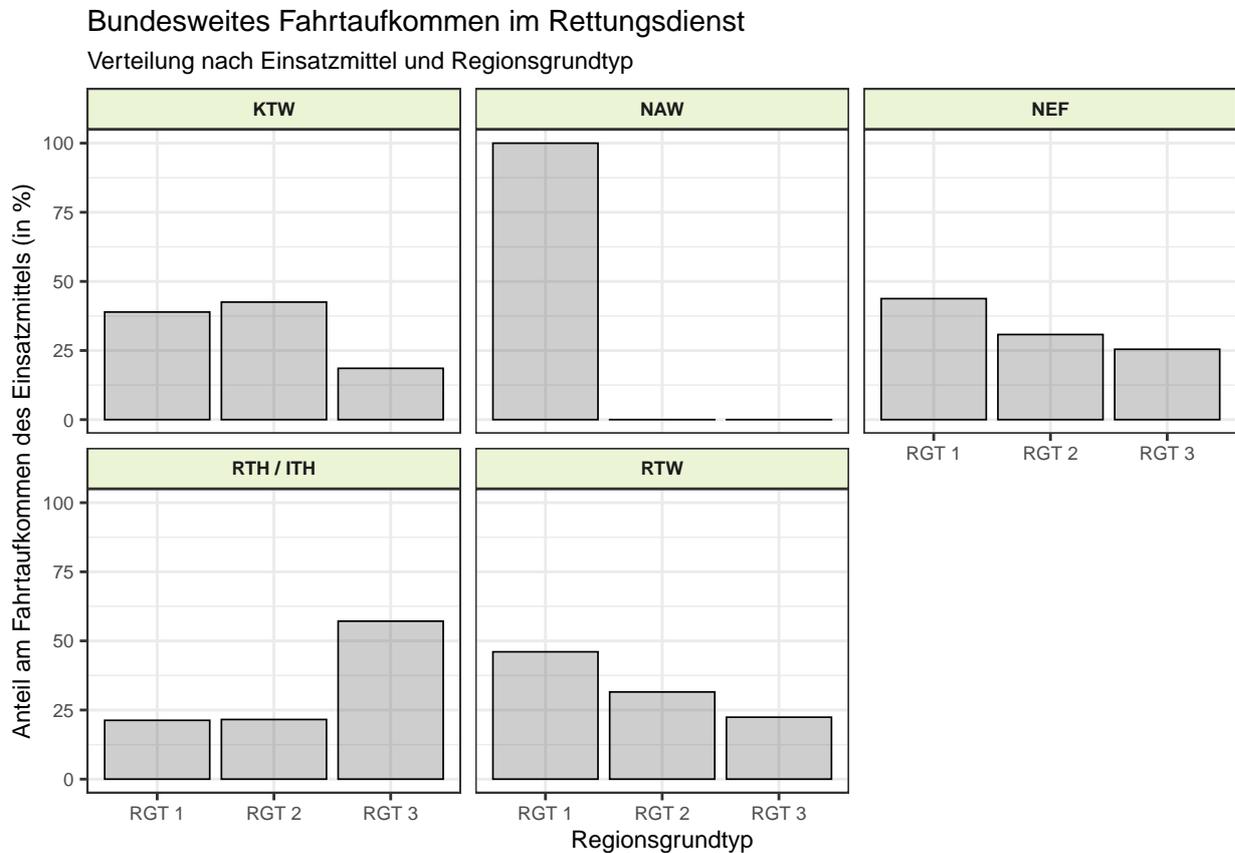


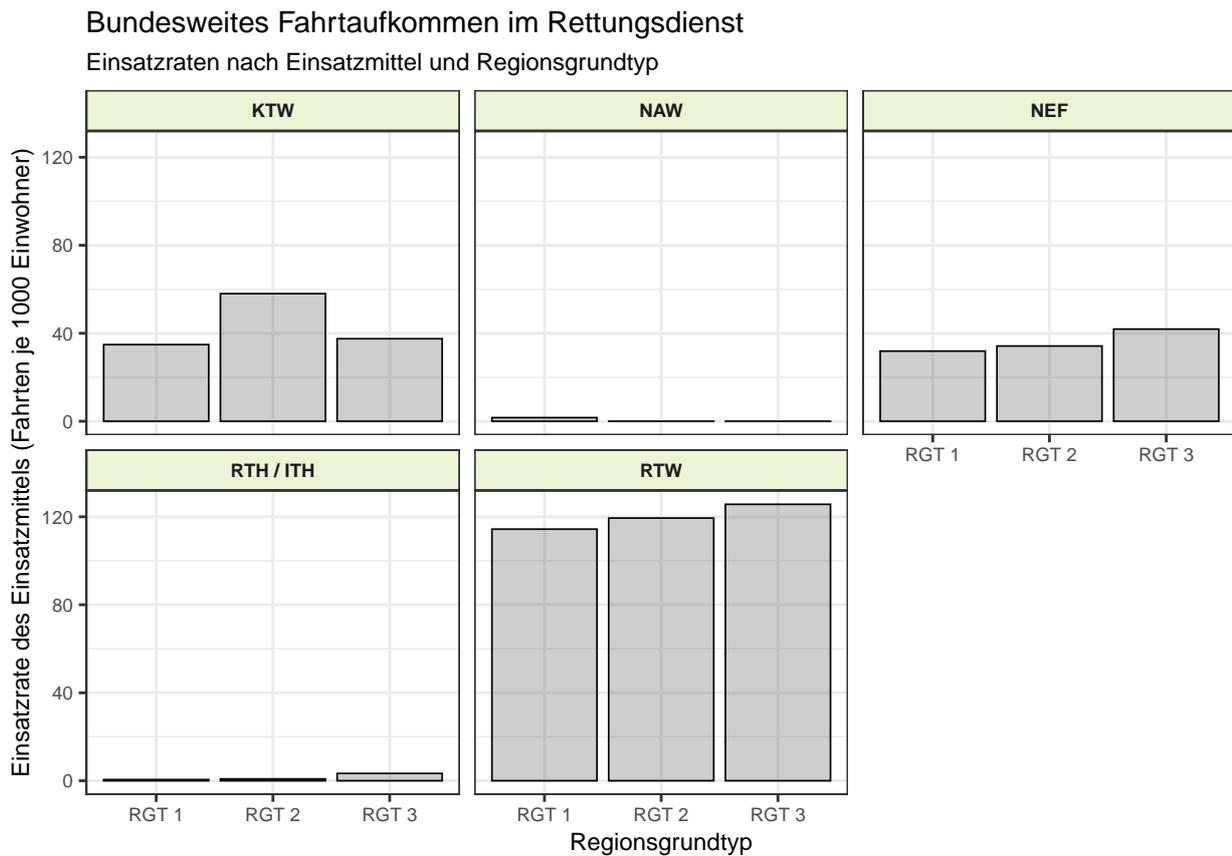
Bild 3.4: VERTEILUNG des Fahrtaufkommens im Rettungsdienst nach Einsatzmittel und Regionstyp (bundesweit, 2016/17)

Für die Einsatzmittel *RTW* und *NEF* ist ein sinkender Anteil vom RGT 1 zum RGT 3 zu sehen. Dies korreliert mit der Feststellung, dass in ländlichen Regionen grundsätzlich mit einer geringeren Anzahl von Notfällen zu rechnen ist.

Wie schon weiter oben festgestellt, ist für den RGT 2 der höchste Anteil an Fahrten für den KTW dokumentiert. Die *Leistungsanalyse* lässt jedoch keine Rückschlüsse auf die Ursache hierfür zu.

Der Anteil der Einsatzflüge des *RTH/ITH* steigt vom RGT 1 zum RGT 3. Dies ist plausibel, berücksichtigt man die grundsätzlich weniger dichte rettungsdienstliche und klinische Infrastruktur in ländlichen Regionen.

Während Bild 3.4 einen absoluten Vergleich zwischen den Regionstypen ermöglicht zeigt Bild 3.5 die Einsatzraten je 1.000 Einwohner nach Einsatzmittel und Regionstyp und lässt so einen Vergleich zwischen den Regionstypen und den Einsatzmitteln zu.



Datenquelle: BASt

Bild 3.5: EINSATZRATEN im Rettungsdienst nach Einsatzmittel und Regionstyp (bundesweit, 2016/17)

Im Vergleich zu den Fahrtanteilen aus Bild 3.4 ist erkennbar, dass das Einsatzmittel RTW am häufigsten eingesetzt wird. Außerdem sind für die Einsatzmittel NEF und RTW steigenden Einsatzraten vom RGT 1 zum RGT 3 zu sehen. Im Kontext zu Bild 3.4 bedeutet dies, dass zwar insgesamt weniger Fahrten im RGT 3 als im RGT 1 stattfinden, dafür aber die Bevölkerung im RGT 3 bezogen auf 1.000 Einwohner häufiger diese Einsatzmittel in Anspruch nimmt als in den RGT 1 oder 2. Auch hier lässt die *Leistungsanalyse* keine Rückschlüsse auf die Ursachen zu. Eine mögliche Ursache sind die unterschiedlichen demographischen Strukturen in den Regionstypen (zu demographischen Effekten vgl. Abschnitt 3.8.1).

Bild 3.6 zeigt das jährliche bundesweite Einsatzaufkommen im Rettungsdienst nach Regionstyp und Einsatzart (Datenquelle: Schmiedel und Behrendt, 2019, S. 29).

Bundesweit macht das Notfalleinsätze im RGT 1 den größten Anteil der Einsätze des Rettungsdienstes aus. Bemerkenswert ist, dass für die RGT 2 und 3 die Anzahl der Notfalleinsätze und die Anzahl der Notarzteinsätze nahezu identisch ist. Dies ist nicht der Fall für den RGT 1, bei dem die Anzahl der Notfalleinsätze um den Faktor zwei höher liegt

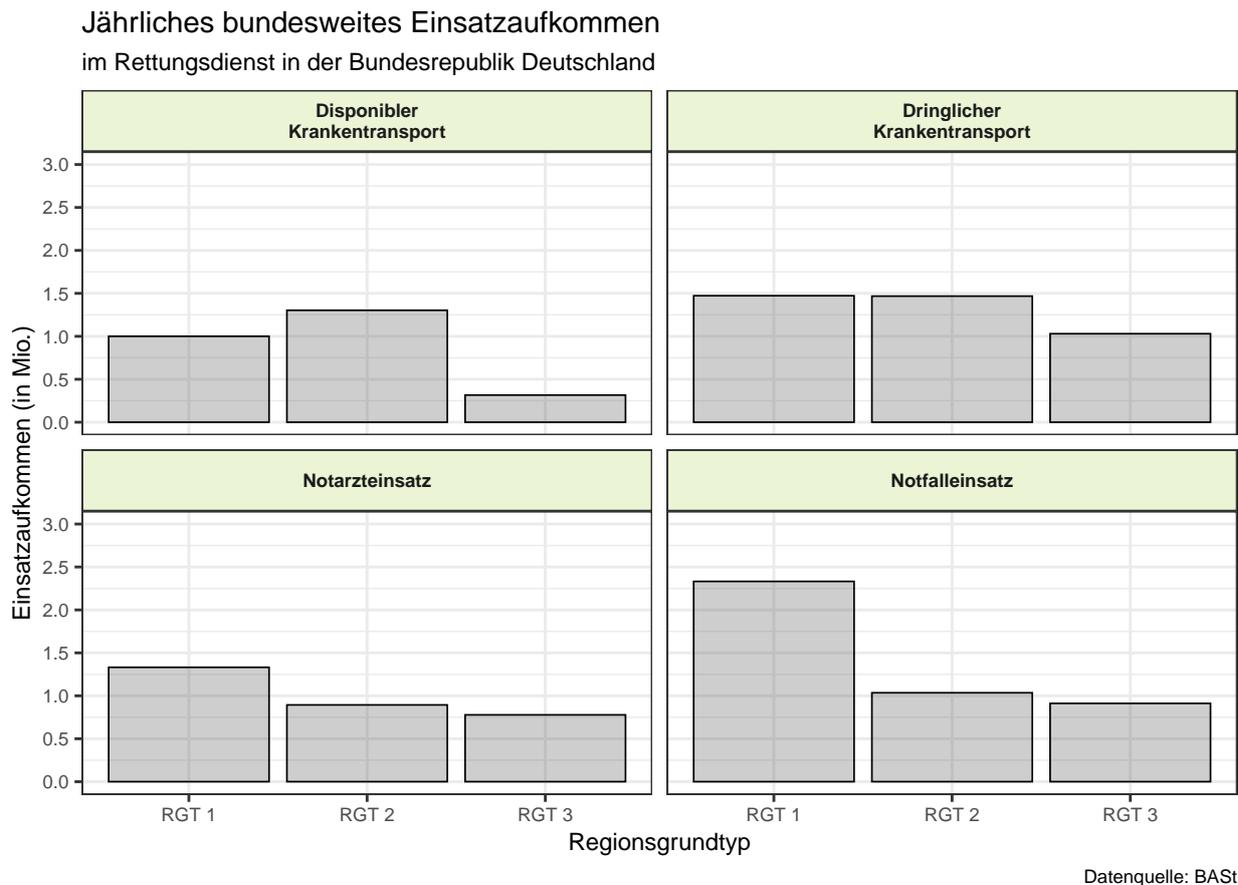


Bild 3.6: Jährliches EINSATZAUFKOMMEN im Rettungsdienst nach Einsatzart (bundesweit, 2016/17)

als die Anzahl der Notarzteinsätze.

Auch in Bild 3.6 ist das überproportionale Fahrtaufkommen im (disponiblen) Krankentransport für den RGT 2 zu erkennen, welches bereits weiter oben beschrieben wurde.

Bild 3.7 zeigt die bundesweite zeitliche Verteilung des Einsatzaufkommens im Rettungsdienst im Wochenverlauf (Datenquelle: Ebd., S. 28). Gut zu erkennen ist eine tägliche Periode mit einem Minimum in den frühen Morgenstunden und einem Maximum am späten Vormittag. Zudem ist festzustellen, dass das Einsatzaufkommen von Montag bis Freitag nahezu identisch ist. Es zeigen sich allerdings Unterschiede freitagnachts am Übergang zum Samstagmorgen sowie in der Nacht von Samstag auf Sonntag (erhöhtes Einsatzaufkommen im Vergleich zu den übrigen Nächten der Woche). Das Wochenende ist von einer um ca. 1/3 geringeren Einsatzintensität geprägt, der periodische Verlauf bleibt jedoch erhalten, wenn auch mit einer geringeren Regelmäßigkeit.

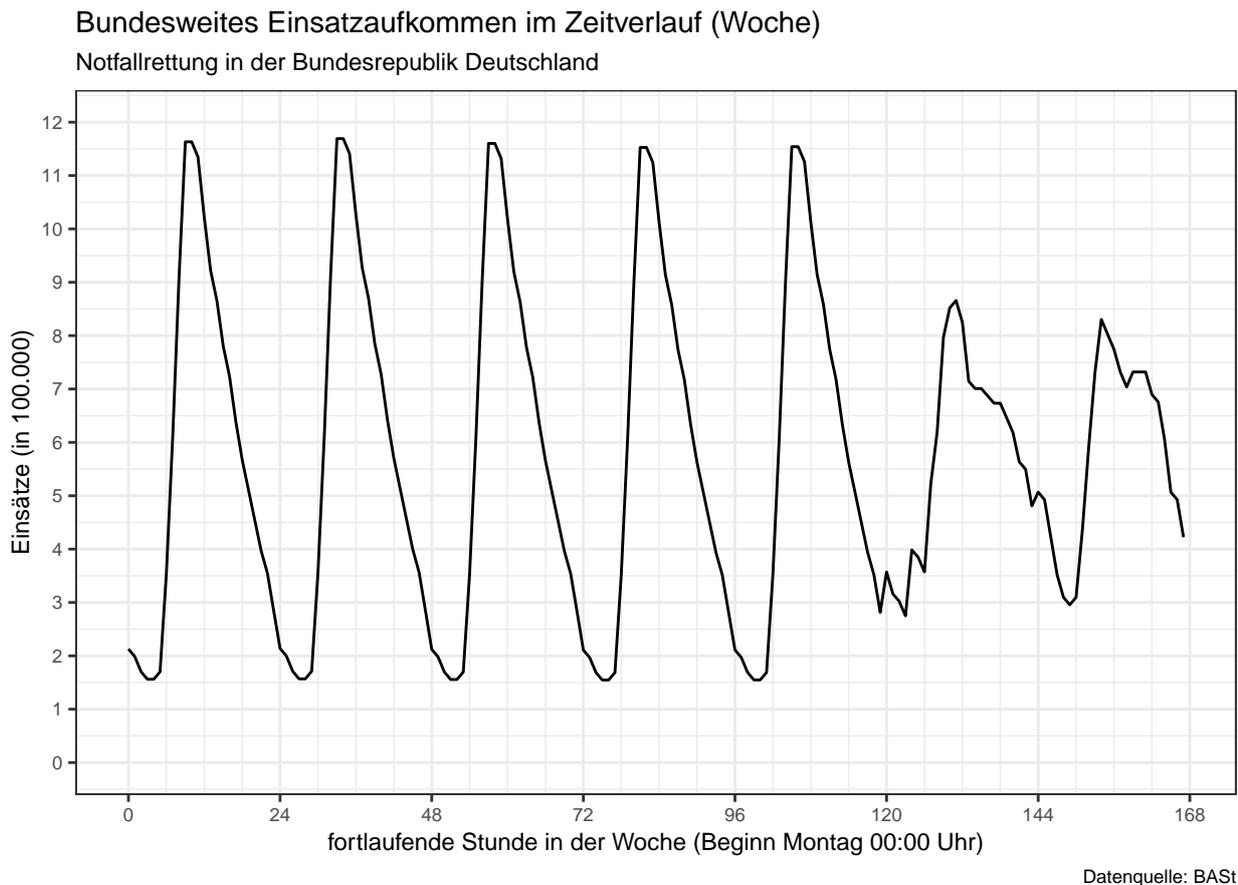


Bild 3.7: ZEITLICHE VERTEILUNG des Einsatzaufkommens im Rettungsdienst im Wochenverlauf (bundesweit, 2016/17)

### 3.3 Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes

Kernparameter jedes rettungsdienstlichen Systems ist dessen Leistungsfähigkeit, auf welche sich die entsprechenden Planungen beziehen müssen. Das Wirtschaftlichkeitsgebot aus § 12 SGB V ist dann erfüllt, wenn die gebotene Leistungsfähigkeit in Form des vorgegebenen Erreichungsgrades mit den geringstmöglichen Mitteln erzielt wird.

Die *Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst* untersucht neben Einsatzhäufigkeiten auch Einsatzteilzeiten und hierunter auch die Hilfsfrist inklusive dem damit verbundenen tatsächlichen bundesweiten Erreichungsgrad (vgl. Schmiedel und Behrendt, 2019, S. 49). Aus der Studie geht hervor, dass bundesweit 90,0 % der Notfälle innerhalb von 15 Minuten und 95 % der Notfälle innerhalb von 17,7 Minuten bedient wurden. Im Vergleich zu den Vorgaben der Bundesländer zur Hilfsfrist sowie dem Erreichungsgrad bedeutet dies, dass wahrscheinlich in vielen Rettungsdienstbereichen die Vorgaben zur Hilfsfrist nicht eingehalten werden und somit der Rettungsdienst vorgabegemäß nicht leistungsfähig ist. Dennoch wird solch ein Rettungsdienst zu einer (praktischen) Leistung fähig sein.

Zur Interpretation der nachfolgenden Bilder erläutert Bild 3.8 die in einer Boxplot- und Violinplot-Darstellung gezeigten Werte.

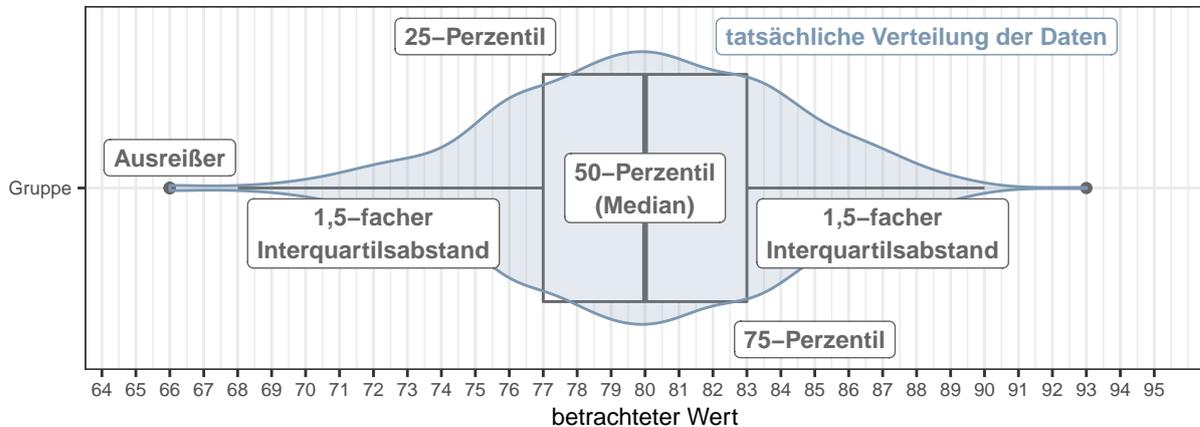


Bild 3.8: ERLÄUTERUNG der Werte in einer Boxplot- und Violinplot-Darstellung

Bild 3.9 zeigt eine vom Verfasser durchgeführte Analyse des Erreichungsgrades für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2010 bis 2016 auf Basis von Daten, welche durch das Land Thüringen veröffentlicht wurden (Thüringer Ministerium für Inneres und Kommunales, 2018).

Deutlich zu erkennen ist ein Abwärtstrend in den Erreichungsgraden nach 2012. Während im Jahr 2010 der weitaus größte Teil der Rettungsdienstbereiche noch Erreichungsgrade von über 95 % erreichen konnte, fällt zum einen der Median der Erreichungsgrade bis zum Jahr 2016 auf unter 95 % ab, zum anderen ergibt sich aber auch eine wesentlich größere Streuung der Erreichungsgrade.

Bild 3.10 zeigt die Anzahl der Notfälle je 1.000 Einwohner für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2010 bis 2016 (Datenquelle: Ebd.).

Auch wenn anhand der Medianwerte keine exakte Steigerung der Notfallzahlen festzustellen ist, zeigt sich doch anhand der Streuungen und insbesondere am 75-Perzentil eine klare Zunahme von Notfallzahlen je 1.000 Einwohner von 2012 bis 2016. Vergleicht man die Daten auf Bild 3.10 mit denen in Bild 3.9 ist festzustellen, dass das Abfallen der Erreichungsgrade ebenfalls auf diesen Zeitraum fällt.

Bild 3.11 zeigt die Auslastung von Einsatzmitteln für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2015 bis 2016 (Datenquelle: Ebd.).

Aufgrund des bereits erläuterten Zeitverlaufs in der Einsatzhäufigkeit ist die Auslastung erwartungsgemäß in den Tagstunden größer als in der Nacht. Für das Einsatzmittel RTW steigt die maximale Auslastung von 2015 bis 2016 um ca. 5 % auf insgesamt ca. 60 % am Tag. Die mittlere Auslastung sowie das 25- und 75-Perzentil steigen jedoch nur leicht an.

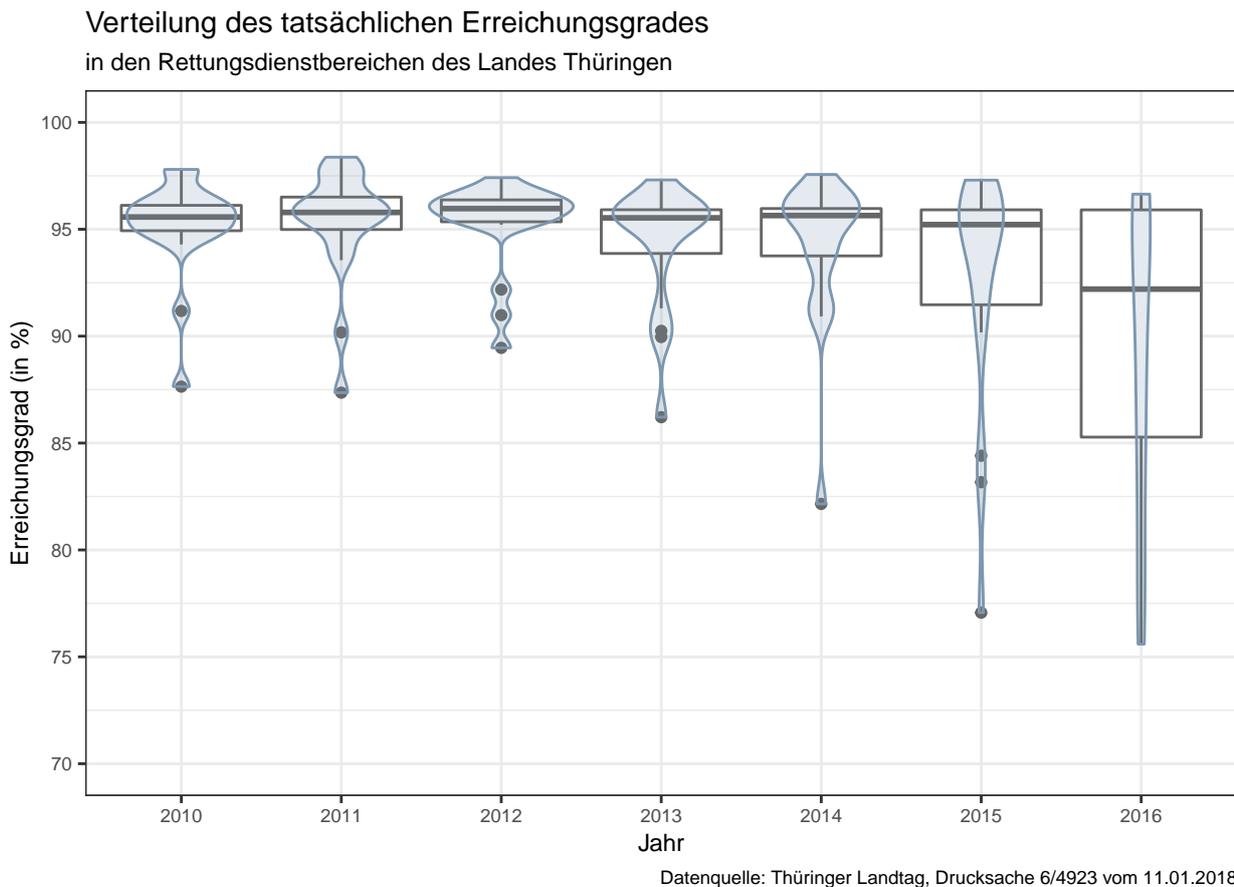


Bild 3.9: Verteilung des ERREICHUNGSGRADES für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2010 bis 2016

Die oben erläuterte Situation im Land Thüringen setzt sich fort und wird auch medial diskutiert (vgl. S+K Verlag, 2018f; T., 2020).

Die hier am Beispiel des Landes Thüringen im Detail dargestellte Situation findet sich in vielen Bundesländern in ähnlicher Weise wieder. Der SWR hat im Jahr 2018 eine umfassende Analyse von Einsatzdaten aus den Bundesländern Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz veröffentlicht und große mediale Aufmerksamkeit auf eine unzureichende Einhaltung der Hilfsfristvorgaben erzeugt (vgl. S+K Verlag, 2018b; Müller, 2018; S+K Verlag, 2018c). Auch andere Berichte aus Baden-Württemberg (S+K Verlag, 2019l) und Rheinland-Pfalz (S+K Verlag, 2017b) stützen die Erkenntnisse des SWR. Für die Länder Brandenburg (Märkische Allgemeine, 2019b; Märkische Allgemeine, 2019a), Sachsen (Redaktion Rettungsdienst, 2008), Sachsen-Anhalt (Seppelt, 2020; S+K Verlag, 2016b), Schleswig-Holstein (S+K Verlag, 2019k), Mecklenburg-Vorpommern (S+K Verlag, 2019r) und Nordrhein-Westfalen (WDR, 2020) finden sich ähnliche Berichte.

Als Ursachen für die Nicht-Einhaltung der Hilfsfrist werden beispielsweise steigende Einsatzzahlen (S+K Verlag, 2019f), ein unzureichendes Ausrückverhalten (S+K Verlag, 2017b),

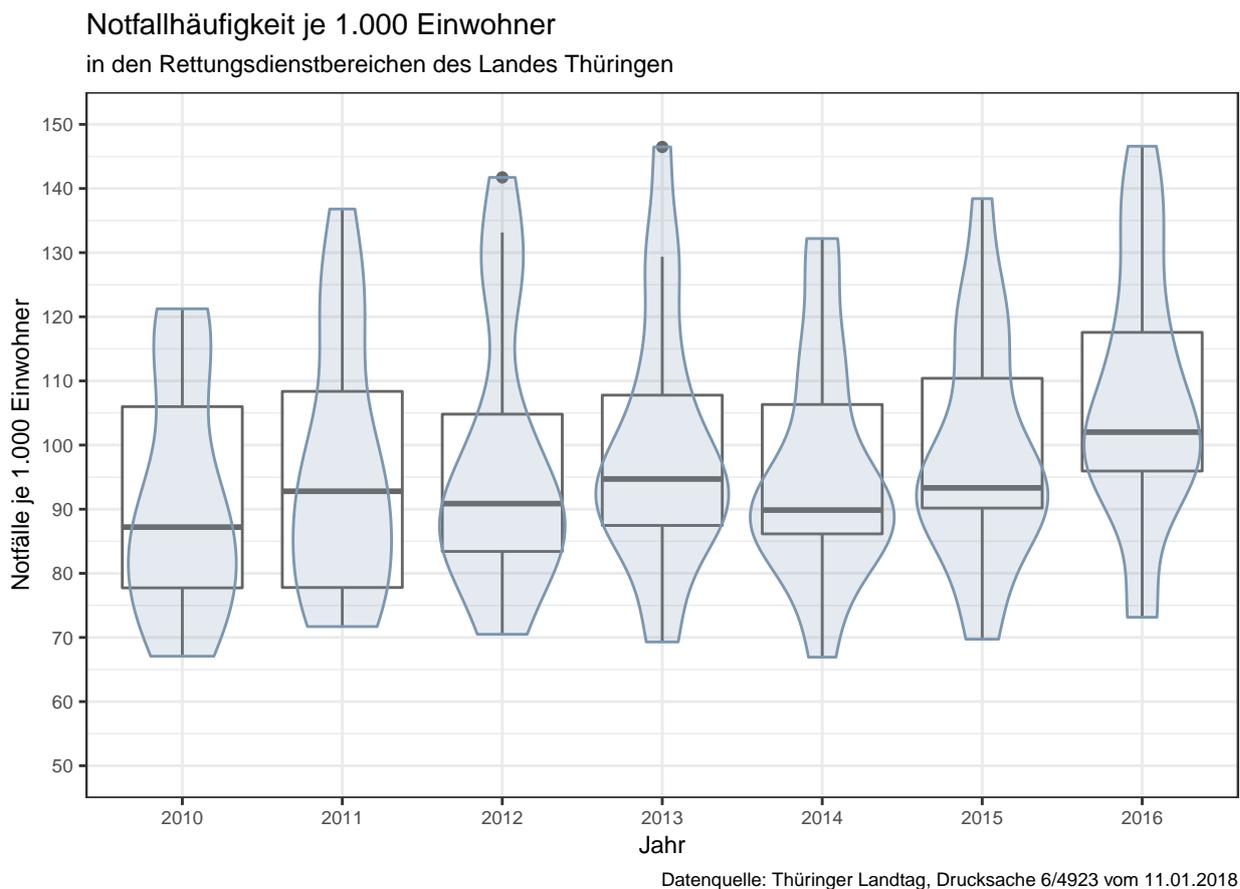


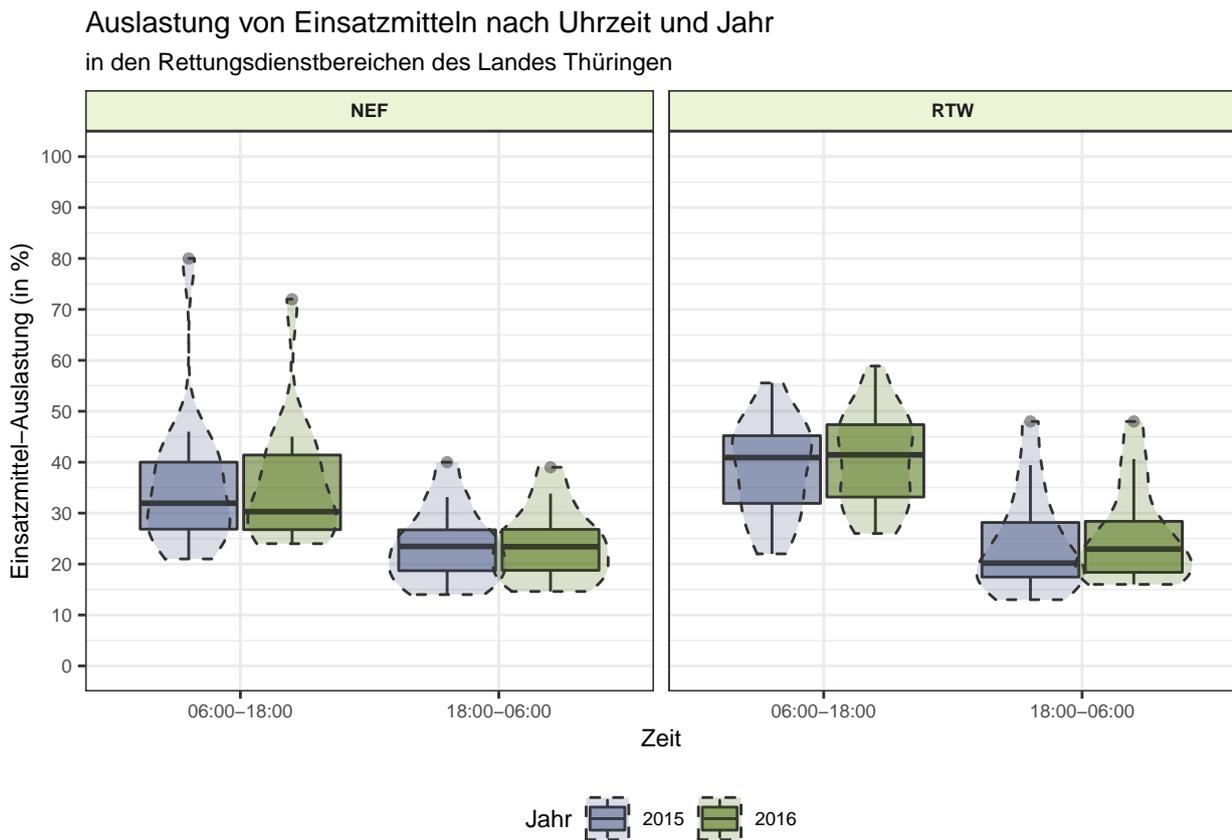
Bild 3.10: NOTFÄLLE je 1.000 Einwohner für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2010 bis 2016

Baustellen (Bayerisches Rotes Kreuz, 2019) und das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer (S+K Verlag, 2017c; S+K Verlag, 2016c) genannt.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass nur selten konkrete Ursachen für mangelnde Leistungsfähigkeit berichtet werden. Vielmehr werden Effekte in den einzelnen Einsatzteilzeiten angeführt, so zum Beispiel lange Alarmierungs- oder Ausrückzeiten oder auch lange Fahrzeiten im ländlichen Raum. Daneben wird teilweise eine nicht ausreichende Vorhaltung an Rettungsmitteln angeführt, was im Falle von Einsatzduplizitäten eine verzögerten Bedienung zur Folge haben kann.

Abschließend bleibt anzumerken, dass Hilfsfristerreichungsgrade nicht nur in Deutschland für den Rettungsdienst relevant sind, wie Cabral et al. daran zeigen, dass die Zahl der internationalen Veröffentlichungen alleine zum Thema *Hilfsfrist* bzw. *Eintreffzeit* des Rettungsdienstes von 1970 bis 2017 erheblich gestiegen ist (vgl. Cabral u. a., 2018, S. 1114).

Hinsichtlich der zukünftigen Herausforderungen des Rettungsdienstes mit Bezug zur Leistungsfähigkeit muss eine weiter gefasste Definition dieser Leistungsfähigkeit genannt



Datenquelle: Thüringer Landtag, Drucksache 6/4923 vom 11.01.2018

Bild 3.11: AUSLASTUNG von Einsatzmitteln für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2015 bis 2016

werden. Der Krankenhausreport 2018 führt hierzu das Ziel an, nicht nur bundesweit einheitliche Hilfsfristen zu definieren, sondern grundsätzlich Versorgungsfristen im Rettungsdienst zu etablieren (vgl. Barth, 2018, S. 253).

### 3.4 Personal und Qualifikation

Zentraler Inhalt vieler Berichte zum Rettungsdienst mit einem Bezug zur Qualifikation des Personals ist die Ausbildung von Notfallsanitätern und die damit einhergehenden Herausforderungen.

Grundsätzlich wurde von Seiten des Gesetzgebers eine Notwendigkeit zur Steigerung des Professionalisierungsgrades des nicht-ärztlichen Personals im Rettungsdienst gesehen. Dies zeigt nicht zuletzt die Einführung des Berufsbildes *Notfallsanitäter* mit dem Notfallsanitätergesetz (NotSanG) in 2013. Mit dieser Professionalisierung gehen jedoch auch Vorbehalte aus den Reihen der Ärzte einher, welche Schwierigkeiten in der Übertragung von ärztlichen Kompetenzen (z. B. Verabreichung von Schmerzmitteln) auf nicht-ärztliches

Personal sehen (vgl. S+K Verlag, 2016a; Bundesärztkammer, 2020, S. 6). Demgegenüber zeigen Berichte auf, dass teilweise kein ärztliches Personal verfügbar ist (vgl. Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz, 2019; Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz, 2020).

Darüber hinaus adressieren andere Berichte Herausforderungen bei der Ausbildung von Notfallsanitätern, welche aktuell zu einem Personalnotstand im Rettungsdienst führen. Die *Landesberichterstattung Gesundheitsberufe Nordrhein-Westfalen 2017* nennt den Rettungsdienst unter den „Berufen mit Nachfragedruck und hohem Beschäftigungsvolumen“ (Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, 2017, S. 86). Im Allgemeinen finden sich auch eine Vielzahl von Berichten, welche einen Fachkräftemangel im Rettungsdienst beklagen (Landesregierung NRW, 2019; Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft (ver.di), 2018; Jachmann, 2019). Dem gegenüber stehen Berichte, welche keine Handlungsnotwendigkeit berichten (S+K Verlag, 2018d; S+K Verlag, 2019q) und ein Bericht, welcher mehr Arbeitslose als offene Stellen im Rettungsdienst berichtet (S+K Verlag, 2019o).

Schließlich werden auch Diskussionen mit den Kostenträgern zur Finanzierung der Ausbildung von Notfallsanitätern berichtet (vgl. S+K Verlag, 2019j; Verband der Ersatzkassen e.V. u. a., 2019). In diesen Diskussionen stellt sich häufig die Frage nach der Finanzierung der Mehrkosten bei der Ausbildung von Notfallsanitätern, welche sich zum einen aus der Ausbildung selbst, aber auch aus dem damit verbundenen Personalmehrbedarf ergeben.

Des Weiteren findet sich der Einsatz von neuen Qualifikationen z. B. in Form von Gemeindenotfallsanitätern (vgl. Seeger u. a., 2021a; Seeger u. a., 2021b) in Berichten wieder. Diese Qualifikationen sollen niederschwellig Hilfeersuchen direkt vor Ort bedienen und so die Schwelle zur Alarmierung des Rettungsdienstes erhöhen. Hierzu ist unter anderem eine enge Zusammenarbeit mit anderen Diensten (z. B. dem Kassenärztlichen Notdienst) erforderlich.

## 3.5 Technik

Aus den untersuchten Berichten geht hervor, dass häufig versucht wird, die weiter oben beschriebenen Defizite, insbesondere bei der Hilfsfristerreichung, aber auch bei personellen Engpässen, durch technisch-konzeptionelle Maßnahmen zu kompensieren. So werden z. B. vereinzelt neue Entwicklungen wie z. B. neue Fahrzeugklassen vorgestellt, welche durch Bedienung von z. B. Krankentransporten den Rettungsdienst entlasten sollen (vgl. S+K Verlag, 2019p). Andere Konzepte setzen eher auf eine Bedienung von Notfallereignissen durch neue Einsatzmittel, welche mit weniger Personal ausgestattet sind (vgl.

Nakstad, Bjelland und Sandberg, 2009). Dies hat zum Ziel, den Einsatz mit qualifiziertem Personal innerhalb der Hilfsfrist zu bedienen und somit die notwendige, aber kostenintensive Transportkomponente einer weniger strikten zeitlichen Qualitätsanforderung zu unterwerfen.

Zur Entlastung der notärztlichen Versorgung finden sich Berichte über die Einführung von Telenotarztsystemen (vgl. Koncz u. a., 2019). Hier findet keine notärztliche Versorgung an der Einsatzstelle statt. Vielmehr werden relevante Daten des Patienten an eine zentrale Stelle übertragen und dort von einem diensthabenden Arzt beurteilt (dem Telenotarzt). Dieser steht dann dem nicht-ärztlichen Personal vor Ort beratend zur Seite.

### 3.6 Schnittstellen

Einer der zentralen Inhalte von vielen untersuchten Berichten ist die Schnittstelle vom Rettungsdienst zum Krankenhaus bzw. zur aufnehmenden Einrichtung. Hier wird insbesondere über unzureichende Aufnahmekapazitäten berichtet (vgl. S+K Verlag, 2018e). Dies kann zur Folge haben, dass Einsätze des Rettungsdienstes nicht beendet werden können, weil keine Möglichkeit besteht, den Patienten aktuell einer aufnehmenden Einrichtung zuzuführen.

Die zweite relevante Schnittstelle ist die Leitstelle als Organisationseinheit, welche den Einsatz des Rettungsdienstes auslöst (vgl. Schaller, 2014, S. 46). Die Leitstelle ist Kernbestandteil der Rettungskette. Defizite bei der Bearbeitung von Hilfeersuchen können direkten Einfluss auf die Qualität des Rettungsdienstes haben (vgl. S+K Verlag, 2019g).

Nicht zuletzt adressieren einige Berichte die Schnittstelle zu anderen Fachdiensten, wie z. B. der (Freiwilligen) Feuerwehr, welche im Rahmen von Unterstützungsanforderungen (z. B. zur Türöffnung oder zur Tragehilfe) vom Rettungsdienst angefordert werden (vgl. Landtag von Sachsen-Anhalt, 2017; Landtag von Sachsen-Anhalt, 2018; Landtag von Sachsen-Anhalt, 2019).

### 3.7 Finanzierung und Kosten

Die Finanzierung des Rettungsdienstes geschieht, wie schon erläutert, über zwei Wege. Zum einen tragen die Länder und die Kommunen die Finanzierungsverantwortung für den Rettungsdienst gem. Art. 104a Abs.1 GG. Ergänzend hierzu übernehmen die Krankenkassen die Fahrtkosten des Rettungsdienstes für ihre Versicherten gem. § 60 Abs. 1 SGB V. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Begriff der *Fahrtkosten* nicht näher definiert ist.

Insbesondere ist nicht geregelt, wie Fahrtkosten von andern Kosten im Rettungsdienst abgegrenzt sind (vgl. Bundesrechnungshof, 2018, S. 7). Es handelt sich daher um einen unbestimmten Rechtsbegriff.

Im Vergleich zur Feuerwehr stellt sich eine andere Definitionssituation hinsichtlich der Leistungs- und Finanzierungsdefinitionen dar, wie in Tabelle 3.1 dargestellt ist.

Tabelle 3.1: VERGLEICH von Leistungs- und Finanzierungsdefinitionen im Rettungsdienst und in der Feuerwehr

	<b>Rettungsdienst</b>	<b>Feuerwehr</b>
<b>Leistungsfähigkeit</b>	Klare Definition über Vorgaben zu Erreichungsgraden.	Häufig unklarer Rechtsbegriff der leistungsfähigen Feuerwehr.
<b>Finanzierung</b>	Unklare Zuständigkeiten durch Übernahme nicht klar definierter Fahrtkosten durch die Krankenkassen.	Klare Finanzierungszuständigkeit der Kommunen.

Der Bundesrechnungshof hat diese Situation im Jahr 2018 gegenüber dem Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages bemängelt (Bundesrechnungshof, 2018; S+K Verlag, 2018a). Konkret wird im Bericht des Bundesrechnungshofes darauf hingewiesen, dass die Krankenkassen den überwiegenden Teil der Kosten des Rettungsdienstes zu tragen haben und dass diese Kosten in den letzten Jahrzehnten erheblich gestiegen sind (vgl. hierzu auch: S+K Verlag, 2019b).

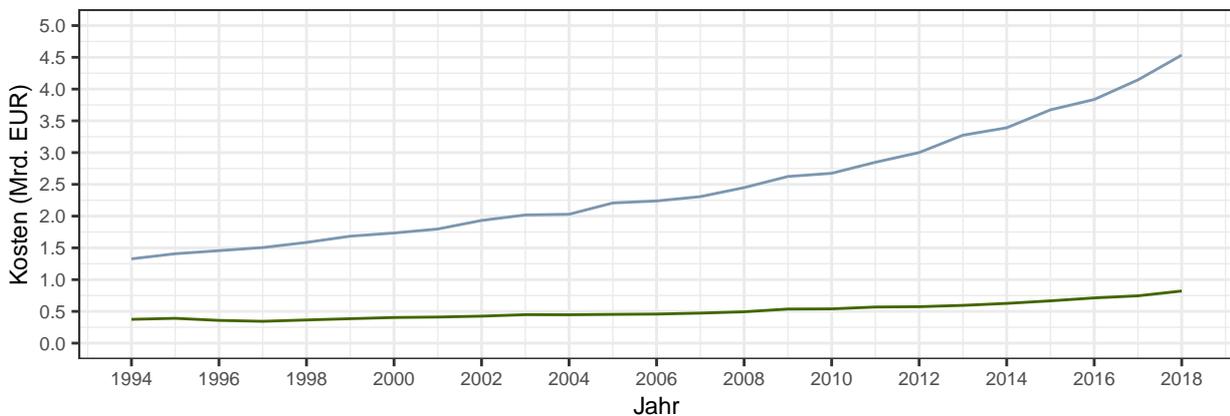
Bild 3.12 zeigt die Ausgaben für Leistungen des Rettungsdienstes nach Jahren (Datenquelle: Statistisches Bundesamt, 2020).

Der Umstand der steigenden Kosten im Rettungsdienst sowie der kontinuierlich steigende Anteil der Kosten, welcher durch die gesetzlichen Krankenversicherungen (GKV) getragen wird, ist klar zu erkennen.

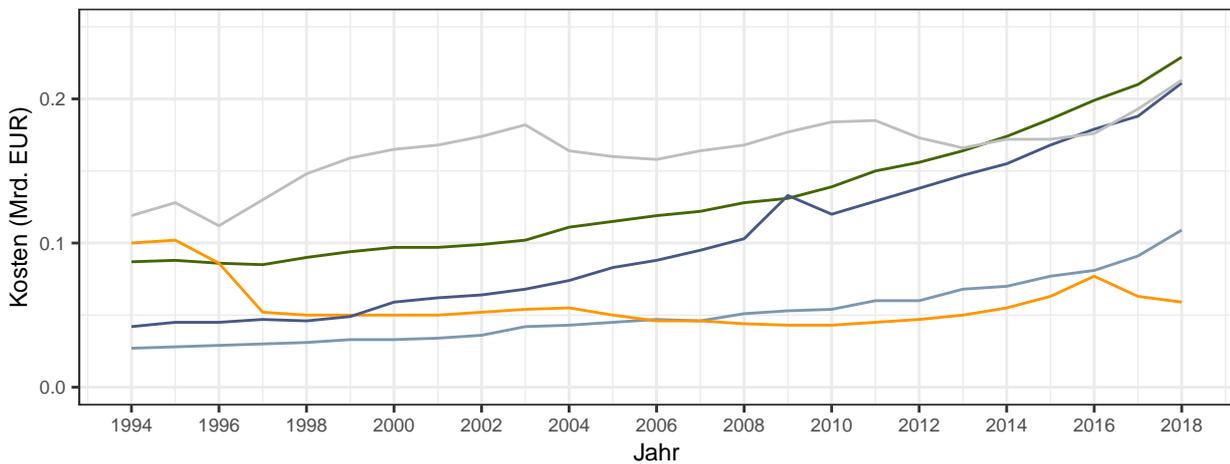
Aus dem Bericht des Bundesrechnungshofes geht außerdem hervor, dass eine Ursache für steigende Kosten im Rettungsdienst die Entkopplung der Leistungs- und Kostenträger ist. Konkret wird dargelegt, dass Leistungsträger ansonsten vorhandene Wirtschaftlichkeits-Kriterien im Rettungsdienst ignorieren, da der Rettungsdienst durch die Krankenversicherungen refinanziert ist (vgl. Bundesrechnungshof, 2018, S. 28). Diese Entkopplung hat zur Folge, dass die Finanzmittel im Rettungsdienst zu einem Allgemeingut werden und damit der Allmendenproblematik unterliegen, welche 1968 von Hardin beschrieben wurde (Hardin, 1968).

Da die Kosten des Rettungsdienstes in weiten Teilen über die Transportgebühren refinan-

Gesamtkosten des Rettungsdienstes  
nach Kostenträgern



Kostenträger — GKV — übrige Kostenträger



übrige Kostenträger — Arbeitgeber — GUV — Öffentlich — PKV — Privat

Datenbasis: Gesundheitsausgabenrechnung (GAR), Statistisches Bundesamt

Bild 3.12: AUSGABEN für Leistungen des Rettungsdienstes nach Jahren

ziert werden, ist auch eine Steigerung in den mittleren bundesweiten Transportkosten für einen Transport zu beobachten, wie in Bild 3.13 zu sehen ist.

Der beschriebene Effekt ist darauf zurückzuführen, dass die Träger des Rettungsdienstes bei steigenden Einsatzzahlen auch die damit verbundenen Gebühren erhöhen (vgl. S+K Verlag, 2019f). Dies lässt sich nur darüber erklären, dass die Kostenfunktion für die Gesamtkosten des Rettungsdienstes mit der Einsatzzahl nicht linear steigt, da ansonsten die Kosten einer einzelnen Fahrt konstant bleiben müssten. Es kommt folglich zu systemischen Wechselwirkungen basierend auf der Anzahl der Fahrten.

Zur Verdeutlichung berücksichtigt Formel 3.1 vereinfachend für die Kosten der Fahrt eines

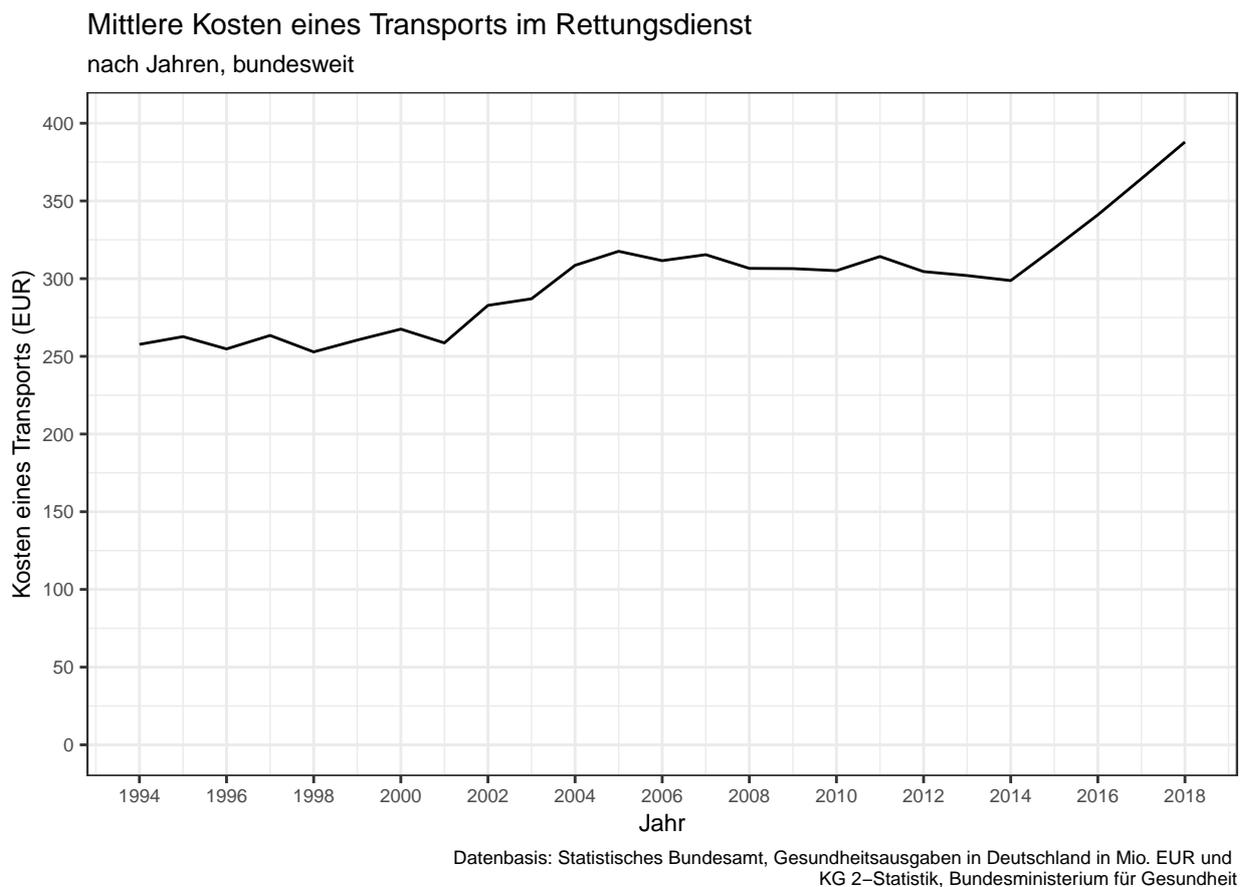


Bild 3.13: Mittlere TRANSPORTKOSTEN eines Transports im Rettungsdienst nach Jahren

RTW ( $K_{Fahrt}$  [EUR]) allein die Anzahl der Fahrten ( $N_{Fahrten}$  [1]), die Anzahl der Fahrten pro RTW ( $N_{FahrtenRTW}$  [1]) sowie die Kosten eines RTW ( $K_{RTW}$  [EUR]).

$$K_{Fahrt} = \frac{\frac{N_{Fahrten}}{N_{FahrtenRTW}} * K_{RTW}}{N_{Fahrten}} \quad (3.1)$$

Aus Formel 3.1 wird ersichtlich, dass die Kosten einer Fahrt ( $K_{Fahrt}$ ) von Anzahl der Fahrten ( $N_{Fahrten}$ ) unabhängig sind, da diese sich aus der Formel herauskürzen. Folglich können überproportionale Kostensteigerungen, welche mit der Steigerung von Kosten *je Fahrt* in Verbindung stehen, nur auf zwei Aspekte zurückzuführen sein:

- Die Kosten des Einsatzmittels (hier RTW) steigen ebenfalls: Dies kann auf allgemeine Kostensteigerungen bei Personal und Technik und auf systembedingte Mehrkosten durch Verbesserungen in der Qualifikation des Personals oder der technischen Ausstattung zurückzuführen sein. Allerdings ist hier auch der Fall enthalten, dass ggf. mit der Indienststellung weiterer RTW auch neue Rettungswachen gebaut werden müssen.

- Die Anzahl der Fahrten, die ein Einsatzmittel bedienen kann bzw. bedient, sinkt: Ursache hierfür kann zum einen eine längere Einsatzdauer sein, welche z. B. auf steigende Anforderungen im Einsatz, aber auch auf längere Fahrtwege zurückzuführen sein kann. Zudem anderen ist zu berücksichtigen, dass mit einer Erhöhung der Vorhaltung nicht immer die maximale Menge an bedienbaren Fahrten ( $N_{FahrtenRTW}$ ) durch einen RTW bedient wird. Die tatsächlich bediente Menge kann hinter der bedienbaren Menge zurückbleiben. Dies ist allerdings abhängig von der Anfrage- und Verfügbarkeits-Situation. Eine höhere Verfügbarkeit von RTW kann auch zur Folge haben, dass diese häufiger durch die Leitstelle eingesetzt werden (z. B. für Bagatell-Einsätze), da die Befürchtung reduziert wird, eine knappe Ressource unnötig zu binden.

Ein vergleichbarer Effekt zeigt sich bei einer Reduktion der Einsatzfahrten, welche für den betroffenen Leistungserbringer in Abhängigkeit seiner Fixkosten ein Defizit zur Folge haben muss (vgl. S+K Verlag, 2019e).

Ob und in welchem Maße Kosten für die Struktur des Rettungsdienstes durch die Krankenversicherungen zu tragen sind, wird in einigen Bereichen diskutiert. So zum Beispiel hinsichtlich der Finanzierung der Ausbildung von Notfallsanitätern in NRW (vgl. S+K Verlag, 2019j; S+K Verlag, 2019h).

Um die erläuterten Defizite bei der Finanzierung des Rettungsdienstes zu beheben, wurden Gesetzesinitiativen angestoßen, um die rechtliche Stellung des Rettungsdienstes sowie das Mitspracherecht der Kostenträger zu verbessern (vgl. S+K Verlag, 2019s; S+K Verlag, 2019a; S+K Verlag, 2019n). Diese Initiativen sind jedoch nicht auf fruchtbaren Boden gefallen, weswegen aktuell davon ausgegangen werden muss, dass die beschriebene Situation weiterhin ungelöst bleibt (vgl. S+K Verlag, 2019d; S+K Verlag, 2019m).

### 3.8 Relevante gesellschaftliche Trends

Für den Rettungsdienst relevante gesellschaftliche Trends sind vornehmlich solche, welche Auswirkungen auf das Einsatzaufkommen oder die Verfügbarkeit von Ressourcen haben. Nachfolgend werden daher solche Trends betrachtet, aber auch jene einbezogen, welche Veränderungen in der Personalstruktur, den Zielsystemen (Kliniken), oder dem Vorgehen im Rettungsdiensteinsatz auslösen.

### 3.8.1 Demographischer Wandel

Unter dem Begriff *Demographischer Wandel* wird in erster Linie eine Reduktion der Bevölkerung bei gleichzeitigem Anstieg des mittleren Alters in der Bevölkerung (Überalterung) verstanden (vgl. Fendrich u. a., 2010, S. 479). Für den Rettungsdienst ist dies relevant, da das Alter eines Menschen Auswirkungen darauf hat, wie häufig dieser statistisch gesehen den Rettungsdienst in Anspruch nimmt (vgl. Platts-Mills u. a., 2010; Lowthian u. a., 2011; Jones u. a., 2017). Dem folgend ist davon auszugehen, dass die Häufigkeit der Nutzung des Rettungsdienstes mit höherem Alter zunimmt (vgl. Behrendt und Runggaldier, 2009; Platts-Mills u. a., 2010; Lowthian u. a., 2011; Jones u. a., 2017).

Während Behrend et al. einen überproportionalen Anstieg der Einsatzhäufigkeit mit steigendem Alter berichten, wird diese Erkenntnis nicht von allen Untersuchungen gedeckt (vgl. Jones u. a., 2017, S. 262). Allerdings konnten Jones et al. nachweisen, dass selbst bei Elimination von Störfaktoren wie z. B. chronischen Erkrankungen das Alter allein einen Einfluss auf die Häufigkeit der rettungsdienstlichen Alarmierungen hat (vgl. ebd., S. 267).

Bisher wird der Einfluss des Alters der Bevölkerung in der rettungsdienstlichen Planung nicht berücksichtigt. Es sind daher neue Planungsmethoden und eine systemische Betrachtungsweise notwendig (vgl. Behrendt und Runggaldier, 2009, S.49; Lowthian u. a., 2011, S. 576).

Bild 3.14 zeigt die von Behrendt und Runggaldier ermittelten altersspezifischen Notarztraten (Behrendt und Runggaldier, 2009, S.49). Die Darstellung wurde ergänzt um eine Klassifizierung der Notarztraten in die Klassen *1-erhöht* und *2-regulär*. Diese Trennung geschieht ab einer Notarztrate von 40 Einsätzen je 1.000 Einwohnern, da ab diesem Wert erstmals ein deutlicher Anstieg der Notarztrate zu erkennen ist.

Bild 3.15 zeigt die mittels der in Bild 3.14 dargestellten Notarztraten errechnete Prognose der Entwicklung des notärztlichen Einsatzaufkommens bis zum Jahr 2060. Grundlage der Berechnung ist Variante 2 der koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Statistisches Bundesamt, 2021b).

Erkennbar ist der Anstieg der Einsatzzahlen im Zeitverlauf, welcher beim Blick auf die oben erläuterte Klassifizierung auf einen Anstieg der Bevölkerung in der Klasse mit erhöhtem Einsatzaufkommen (1) zurückzuführen ist. Die Einsatzzahlen in der Klasse mit regulärem Einsatzaufkommen (2) sind hingegen rückläufig.

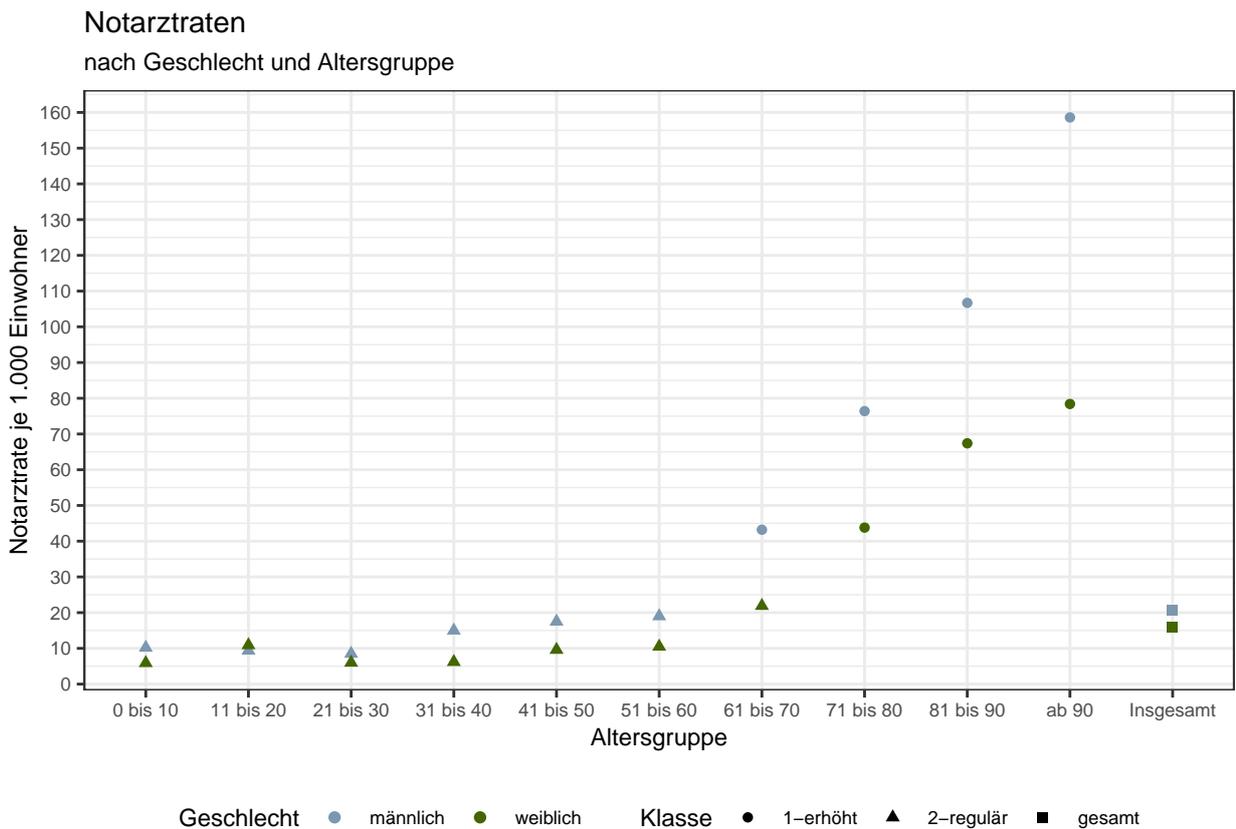


Bild 3.14: EINSATZRATEN für den Notarzt nach Altersgruppen

### 3.8.2 Klimawandel

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat den Klimawandel als eines der wichtigsten globalen Gesundheitsprobleme identifiziert (vgl. Hess u. a., 2009, S. 783). In Deutschland werden insbesondere steigende Temperaturen und auch der steigende Meeresspiegel in den Küstenregionen Auswirkungen auf das tägliche Leben haben (vgl. ebd.).

Auch der Rettungsdienst wird in vielen Bereichen von den Folgen des Klimawandels betroffen sein. Dies gilt sowohl für das Einsatzaufkommen bzw. die Zahl der Notfälle als auch für den Einsatzablauf bzw. die Notfallbilder.

Hess et al. haben insgesamt vier Bereiche identifiziert, in welchen der Klimawandel aus medizinischer Sicht Auswirkungen auf die Notfallversorgung der Bevölkerung haben wird (vgl. ebd., S. 783 ff.):

- Der Klimawandel wird sehr wahrscheinlich die Inzidenz vieler Notfall-Krankheitsbilder erhöhen.
- Patienten, welche stark auf den Rettungsdienst bzw. eine Notfallversorgung angewie-

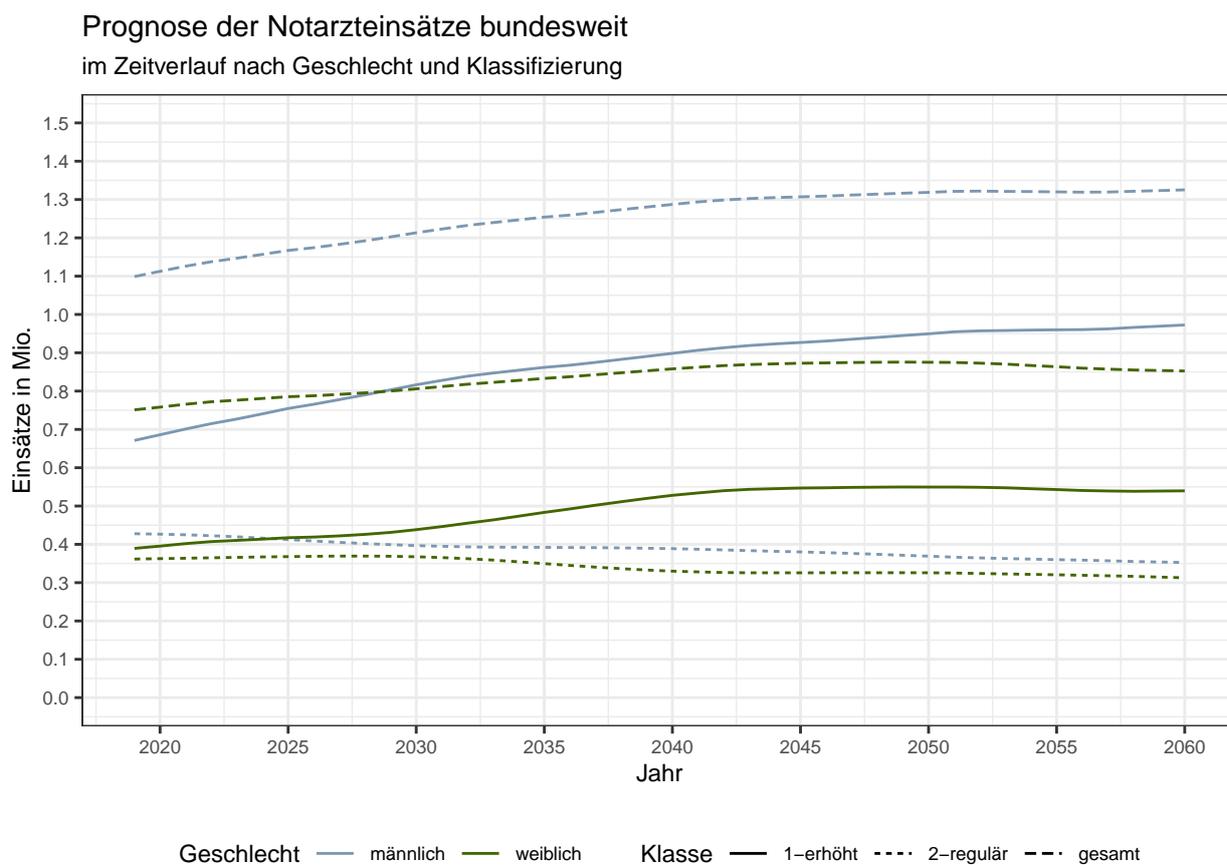


Bild 3.15: PROGNOSE der Notarzteinsätze nach Geschlecht und Klassifizierung

sen sind, sind auch besonders vulnerabel gegenüber den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels.

- Der Klimawandel wird die Intensität von Umwelteinflüssen auf Individuen (z. B. Ozon, Hitze) und damit verbundene Krankheitsausbrüche verstärken.
- (Neue) Krankheiten werden in Bereichen ausbrechen, in denen diese bislang unbekannt sind.

Alle vier genannten Aspekte haben zur Folge, dass die Einsatzzahlen im Rettungsdienst im Bereich der Notfallrettung, aber auch im Krankentransport, steigen werden. Im Bereich der Notfallrettung betrifft dies insbesondere Notfallbilder, welche hitzesensitiv sind, wie z. B. Herzinfarkte und pulmonare Erkrankungen. Aber auch im Krankentransport ist damit zu rechnen, dass die Transportzahlen u. a. aufgrund steigender chronischer Erkrankungen steigen werden. Zudem sind sozial und wirtschaftlich marginalisierte Bevölkerungsgruppen stärker vom Klimawandel betroffen. Diese Bevölkerungsgruppen stellen darüber hinaus eine Schwerpunktgruppe für den Rettungsdienst dar (vgl. ebd., S. 785).

Die COVID-19 Pandemie in 2020 hat gezeigt, dass der Ausbruch neuer Krankheiten

schnell zu einer Krise im Gesundheitssystem führen kann. Es ist daher unerlässlich, dass in der Ausbildung der Einsatzkräfte die Möglichkeiten des Auftretens neuer Krankheiten und ein adäquater Umgang hiermit berücksichtigt werden.

Durch den Klimawandel häufiger werdende Naturereignisse wie z. B. Starkregen oder Sturm können zum einen zu einer Zunahme von Notfalleinsätzen führen, erfordern zum anderen aber auch eine bewusste Planung des rettungsdienstlichen Systems, um z. B. bei Infrastrukturschäden die Leistungen des Rettungsdienstes weiterhin sicherstellen zu können. Hierzu gehören sowohl die strategische Positionierung von Rettungswachen als auch eine adäquate Notstromversorgung.

Zudem ist zu beachten, dass der Klimawandel zu einer Veränderung im Tourismusverhalten führen kann. Beispielsweise werden Regionen, welche bisher eher durch Wintertourismus geprägt waren (Mittelgebirge und die Alpenregionen), vermehrt Sommertourismus und die damit verbundenen rettungsdienstlichen saisonalen Effekte erleben.

Bezüglich des Einsatzablaufs muss berücksichtigt werden, dass ein Rettungsdiensteinsatz - anders als z. B. eine Behandlung in einer Klinik - unter vollständiger Klimaexposition stattfindet. Das bedeutet, dass z. B. mit starken Temperaturschwankungen gerechnet werden muss. Dies wiederum hat Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Einsatzpersonals, aber auch auf technische Aspekte wie die Verfügbarkeit von Geräten und Medikamenten.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Rettungsdienst werden nicht in allen Bereichen der Bundesrepublik Deutschland gleichermaßen zu beobachten sein. Insbesondere städtische Regionen sowie die Küstengebiete werden besonders von den Auswirkungen betroffen sein (vgl. Hess u. a., 2009, S. 783).

Schließlich ist zu berücksichtigen, dass der Rettungsdienst selbst zum Klimawandel beiträgt, da die eingesetzten Einsatzmittel CO<sub>2</sub>-Emissionen erzeugen (vgl. ebd., S. 788). Die Anforderungen an die rettungsdienstliche Leistung (z. B. Hochverfügbarkeit und Einsatz vor Ort) macht es jedoch nicht einfach, diese Emissionen zu verhindern. Aus diesem Grund müssen sowohl die eingesetzte Technik wie auch die angewandten Einsatzstrategien unter dem Aspekt des Klimawandels kritisch geprüft werden.

Hess et al. empfehlen hinsichtlich des Umgangs mit den Herausforderungen des Klimawandels für den Rettungsdienst unter anderem szenariobasierte Planungen, die Planung für ein Multisystemversagen und prädiktive Modelle (vgl. ebd., S. 788). Die bisherigen Planungsverfahren für die Rettungsdienstbedarfsplanung können diese Aspekte nicht abbilden. Eine rettungsdienstliche Systemplanung kann hingegen die genannten Aspekte im Systemmodell berücksichtigen und so zum Gegenstand der Planung machen.

Natürlich sind in Folge des Klimawandels auch bedarfs-senkende Effekte denkbar, so z. B.

die Reduktion von Einsätzen, die auf Kälte zurückzuführen sind (z. B. Erfrierungen u. ä.). Hierzu gibt es jedoch in der zitierten Literatur keine Hinweise. Zudem ist zu vermuten, dass diese bedarfs-senkende Effekte angesichts der erheblichen bedarf-steigernden Effekte, welche sich auf die Gesamtbevölkerung beziehen, zurückbleiben.

### 3.8.3 Digitale Transformation / Telemedizin

Als *Digitale Transformation* wird die in vielen Bereichen der Gesellschaft stattfindende Wandlung hin zu IT-gestützten Prozessen verstanden. Miebach definiert *Digitale Transformation* als die Erwartung, dass durch die Nutzung digitaler Systeme „der Alltag von Individuen, die Geschäftsmodelle und Prozesse in Organisationen sowie die gesellschaftlichen Systeme und Wertvorstellungen grundlegend verändert werden“ (Miebach, 2020, S. 2).

Für den Rettungsdienst bedeutet die Digitale Transformation insbesondere eine Transformation in den Informationsprozessen, da der Kernprozess der medizinischen Notfallhilfe am Patienten nicht digitalisierbar ist. Hierbei muss die Digitalisierung, wie sie in allen Bereichen der Gesellschaft stattfindet (z. B. als Wandel von analoger zur digitalen Dokumentation von Sachverhalten), grundsätzlich im Rahmen des rettungsdienstlichen Systems berücksichtigt werden, sie stellt aber keinen Aspekt mit besonderer Relevanz für das rettungsdienstliche System dar.

Bezüglich einer Digitalisierung der Kommunikations- und Informationsprozesse stellt allerdings die Telemedizin aktuell einen für den Rettungsdienst besonders relevanten Technologiebereich dar. Insbesondere in der Ausprägung als Telenotarzt werden mit der Telemedizin Erwartungen an eine effizientere rettungsdienstliche Leistung verbunden, welche gleichzeitig das Sicherheitsniveau erhöhen kann (vgl. Koncz u. a., 2019, S. 683; Rossaint u. a., 2017, S. 410).

Die Telemedizin und der Telenotarzt sind deswegen für das System Rettungsdienst besonders relevant, da durch eine effizientere Informationsübermittlung die Übergabe des Patienten an der Schnittstelle zum Krankenhaus möglicherweise schneller durchgeführt werden kann, da Übergabeinformationen vorab verfügbar sind. Ebenso besteht die Vermutung, dass durch die Nutzung eines Telenotarztsystems eine Entlastung der Ressource *Notarzt* im rettungsdienstlichen System möglich wird (vgl. Brokmann u. a., 2015, S. 441). Ob jedoch tatsächlich auch Einsparpotentiale für diese Ressource realisiert werden können, ist bislang ungeklärt, insbesondere, da ein Telenotarztsystem keinen Ersatz für einen Notarzt darstellt (vgl. Rossaint u. a., 2017).

### 3.8.4 Veränderung der Krankenhauslandschaft

Die Veränderung der Krankenhauslandschaft kann in die beiden Effekte *Spezialisierung* und *Zentralisierung* gegliedert werden, welche sich gegenseitig bedingen. Für den Rettungsdienst ist dies relevant, da sich aus diesen Entwicklungen eine Ausdünnung der Krankenhauslandschaft, veränderte Zielzuweisungen und somit insgesamt längere Transportwege ergeben.

#### 3.8.4.1 Spezialisierung

Gegenstand einer zu beobachtenden Spezialisierung im Gesundheitswesen ist eine zunehmende Abkehr von der Mengenorientierung hin zu einer Patientenorientierung in der stationären Behandlung von Patienten (vgl. Zielke, 2016). Das bedeutet, dass weniger die Zahl der behandelten Patienten und eine standardisierte Qualitätssicherung im Vordergrund steht, sondern vielmehr der Nutzen für den einzelnen Patienten und eine Qualitätssicherung, die sich hieran messen lassen muss. Dieser Qualitätsanspruch steht auch im Fokus des Krankenhausstrukturgesetzes und schlägt sich in einer Zunahme der Spezialisierung von Krankenhäusern nieder. Diese Spezialisierungen fokussieren einzelne oder sehr zusammenhängende Krankheitsbilder in einem interdisziplinären Ansatz. Hierbei wird der medizinische Zustand des Patienten als Maßeinheit für die Wertschöpfung herangezogen (vgl. Porter, 2010). Grundsätzlich kann diese Spezialisierung als die Umsetzung des Value-Chain Ansatzes im klinischen Bereich gesehen werden. Für die Betreiber von Krankenhäusern ergeben sich hieraus neben den Qualitätsvorteilen auch finanzielle Vorteile, welche darauf zurückzuführen sind, dass keine Overheadkosten zum Ausgleich einer Fragmentierung der Behandlungskette entstehen.

Aus rettungsdienstlicher Sicht gestaltet sich die Spezialisierung der Krankenhauslandschaft allerdings als Herausforderung. Der rettungsdienstliche Einsatz ist darauf ausgelegt, einen Notfallpatienten an einem Notfallort erstzuversorgen und dann schnellstmöglich einer weiterbehandelnden Einrichtung zuzuführen. Dieser Ansatz hat den Hintergrund, dass nur in einem klinischen Umfeld eine adäquate Versorgung von Notfallpatienten erfolgen kann. Vor dem Hintergrund spezialisierter Krankenhäuser und Kliniken ergeben sich für den Rettungsdienst drei wesentliche Szenarien:

- Der Patient muss in eine auf dessen Zustand spezialisierte Einrichtung transportiert werden, welche weiter entfernt liegt als die nächstgelegene Einrichtung zur Aufnahme von Notfallpatienten (Primärtransport-Szenario).
- Der Patient wird in die nächstgelegene Einrichtung zur Aufnahme von Notfallpatienten transportiert und muss anschließend in eine auf dessen Zustand spezialisierte

Einrichtung transportiert werden (Sekundärtransport-Szenario).

- Die nächstgelegene Einrichtung und die auf den Zustand des Patienten spezialisierte Einrichtung sind identisch, woraus sich keine erhöhten Transportanforderungen ergeben (Optimal-Szenario).

Aus zwei der oben dargestellten drei Szenarien (Primärtransport- und Sekundärtransport-Szenario) ergeben sich verlängerte Transportzeiten für den Rettungsdienst aufgrund der Spezialisierung in der Krankenhauslandschaft. Dieser Effekt wird durch eine zunehmende Zentralisierung der Krankenhausstruktur weiter verstärkt, was zu einer Anpassungsnotwendigkeit in der rettungsdienstlichen Einsatzmittelvorhaltung führt.

#### 3.8.4.2 Zentralisierung

Der Trend zur Zentralisierung ist im Rettungsdienst insbesondere im Bereich der Krankenhausstrukturen relevant. Die Kostenträger des Gesundheitssystems fordern bereits seit einigen Jahren, dass die Krankenhausstrukturen in Deutschland zentralisiert werden müssen (vgl. Barth, 2018). Hintergrund dieser Forderung sind in erster Linie wirtschaftliche bzw. finanzielle Erwäggründe. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass eine Zentralisierung der Krankenhausstruktur auch eine Verbesserung der Versorgungsqualität *je Haus* bedeutet. Denn die Zentralisierung der Krankenhausstruktur heißt nicht anderes, als einen Systemwechsel weg von einer dezentralen Struktur mit vielen Einrichtungen, welche eine Grundversorgung sicherstellen können, hin zu wenigen Einrichtungen, welche eine Maximal- bzw. Optimalversorgung gewährleisten.

Häufig unberücksichtigt bei diesen Planungen bleiben die an das *System Krankenhaus* angrenzenden Systeme, darunter auch der Rettungsdienst. Wie schon erläutert endet der rettungsdienstliche Einsatz mit der Übergabe eines Patienten in einer aufnehmenden Einrichtung. Es ist leicht ersichtlich, dass eine Ausdünnung dieser Einrichtungen, wie sie insbesondere im ländlichen Raum stattfindet, verlängerte Transportzeiten zur Folge hat. Diese verlängerten Transportzeiten führen wiederum zu verlängerten Einsatzdauern und somit zu einer Erhöhung der Vorhaltung an Rettungsmitteln, um das Sicherheitsniveau aufrecht halten zu können. Es ist ebenfalls leicht ersichtlich, dass dieser Effekt insbesondere in solchen Regionen relevant ist, in welchen bisher Krankenhäuser der Grundversorgung als Anlaufstellen für den Rettungsdienst gedient haben.

#### 3.8.5 Professionalisierung

Der Beginn der Professionalisierung im Rettungsdienst kann auf die in den 1960er Jahren geführte Diskussion über den Übergang vom *Load and Go Prinzip* (Einladen und Fahren)

zum *Stay and Play Prinzip* (Versorgung vor Ort) festgelegt werden (vgl. Pfütsch, 2020, S. 10).

Mit der Einführung von Rettungsgesetzen in den Bundesländern in den 1970er Jahren wurde der Weg hin zu einem einheitlichen Berufsbild im Rettungsdienst geebnet (vgl. ebd., S. 13). Die Notwendigkeit dieses Berufsbildes entstand aus der Erkenntnis, dass eine professionelle medizinische Versorgung von Notfallpatienten vor Ort unabdingbar für ein gutes Outcome des Patienten ist. Gegenargumente gegen diese erste Professionalisierung im Rettungsdienst waren finanzieller Natur, da noch in den 1970er Jahren der überwiegende Teil der Einsatzkräfte im Rettungsdienst ehrenamtlich tätig war. Diese Mitarbeiter durch hauptamtliches Personal zu ersetzen, stellte einen erheblichen Kostenfaktor dar. Man beschränkte sich daher zunächst auf eine Ausweitung der Ausbildungsinhalte für die ehrenamtlichen Einsatzkräfte.

Aufgrund des Ausbaus des rettungsdienstlichen Systems in den 1970er und 80er Jahren wurde neben der weiter geführten Diskussion zum Berufsbild im Rettungsdienst auch die nicht mehr allein ehrenamtlich zu bewältigende Einsatzleistung ein Auslöser für eine weiter voranschreitende Hauptamtlichkeit im Rettungsdienst.

Das Berufsbild des Rettungsassistenten bzw. der Rettungsassistentin wurde schließlich im Jahr 1989 gesetzlich eingeführt, womit die erste Professionalisierungsstufe im Rettungsdienst abgeschlossen war.

Gegenstand der fortgesetzten Diskussion zu Kompetenzen des nicht-ärztlichen Personals im Rettungsdienst waren in den 1990er und 2000er Jahren Fragen zur *Notkompetenz*, welche der Tatsache Rechnung tragen sollten, dass gut ausgebildetes nichtärztliches Personal häufig lange vor einem Notarzt an einer Einsatzstelle eintrifft.

Schließlich fanden erneut die Diskussionen zu Kompetenzen von nicht-ärztlichem Personal im Rettungsdienst ihre Ausprägung in der Schaffung eines neuen Gesetzes, in diesem Fall des Notfallsanitätärgesetzes, welches im Kern eine dreijährige Ausbildung regelt. Im Rahmen des sogenannten *Pyramidenprozesses* wurden damit verbundene Therapiemaßnahmen und Notfallmedikamente, die Notfallsanitäter erlernen bzw. anwenden sollen, abgestimmt.

Der skizzierte Ablauf zeigt, dass zunächst finanzielle Gründe gegen eine erste Professionalisierung angeführt wurden, schließlich dann aber fachliche Gründe für eine immer weiter vertiefte Ausbildung von nichtärztlichem Personal im Rettungsdienst sprachen. Diese Entwicklung wird heute durch den bereits diskutierten Fachkräftemangel, der auch die Ärzteschaft betrifft, die demographische Entwicklung und die Fortschritte in der Medizin vorangetrieben. Dennoch verbleiben Vorbehalte hinsichtlich der Durchführung ärztlicher

Aufgaben durch Notfallsanitäter (vgl. S+K Verlag, 2016a). Die Einführung von Telenot- arztssystemen kann die Delegation ärztlicher Maßnahmen in diesem Rahmen erleichtern, sofern das durchführende Personal (hier Notfallsanitäter) gut ausgebildet ist.

Aus planerischer Sicht ist anzunehmen, dass die Professionalisierung im Rettungsdienst grundsätzlich auch mit einer Kostensteigerung und einer Steigerung der Qualität der rettungsdienstlichen Leistung einhergeht.

### 3.8.6 Ergänzende Systeme

Zur Unterstützung bzw. Entlastung des Rettungsdienstes haben sich in der Vergangenheit unterschiedliche ergänzende Systeme gebildet, welche allgemein in die folgenden Bereiche getrennt werden können:

- First Responder
- Mobile Retter (und vergleichbare Lösungen)
- Gemeindenotfallsanitäter

Das First-Responder System (vgl. z. B. Feuerwehr Dortmund, 2021) baut auf der Organi- sation einer Notfallhilfe auf, welche parallel mit dem Rettungsdienst alarmiert wird. Vorteile ergeben sich unter anderem durch eine möglicherweise kürzere Distanz zum Notfallort, insbesondere in ländlichen Bereichen, und durch eine Alarmierung in dem Fall, dass kein Rettungsmittel unmittelbar verfügbar ist. Ziel des Einsatzes eines First Responder Systems ist die Verkürzung des therapiefreien Intervalls insbesondere bei Notfällen, welche eine Reanimation notwendig machen. Bei der Alarmierung wird häufig auf bestehende Alarmie- rungssysteme zurückgegriffen, weswegen sich First-Responder-Einheiten vorzugsweise bei Freiwilligen Feuerwehren und anerkannten Hilfsorganisationen bilden.

Das System *Mobile Retter* (vgl. Lünsmann, 2021) (und vergleichbare Lösungen) ist mit dem System *First-Responder* in weiten Teilen vergleichbar. Allerdings wird hier nicht eine Einheit einer Organisation alarmiert, sondern Einzelpersonen, welche zuvor einen Registrierungsprozess und eine Schulung durchlaufen müssen. Da die Alarmierung über Mobilfunkgeräte geschieht, auf welchen eine entsprechende Applikation installiert ist, können Mobile Retter in der Nähe eines Notfalls gezielt alarmiert werden, was Zeitvorteile schafft. Auch hier ist die Verkürzung des therapiefreien Intervalls Ziel des Systems.

Im Gegensatz zu den voranstehenden Systemen handelt es sich bei dem Konzept *Ge- meindenotfallsanitäter* (vgl. Seeger u. a., 2021a) nicht ausschließlich um ein System zur Verkürzung des therapiefreien Intervalls. Zwar hat ein Gemeindenotfallsanitäter auch den Zweck, bei Notfällen schnell professionelle Hilfe leisten zu können, sein Zweck erschöpft

sich hierin aber nicht. Vielmehr soll durch den Einsatz von Gemeindenotfallsanitätern eine Möglichkeit geschaffen werden, Hilfeersuchen unterhalb der Notfallschwelle professionell vor Ort versorgen zu können, um hierzu keine Ressourcen des Rettungsdienstes binden zu müssen.

Bezogen auf die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes hat allein das System *Gemeindenotfallsanitäter* relevante Eigenschaften. Dies liegt darin begründet, dass die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes am Eintreffen eines geeigneten Rettungsmittels gemessen wird. Diesen Aspekt kann allein das System *Gemeindenotfallsanitäter* beeinflussen, da dieses System das Potential hat, eine Bindung rettungsdienstlicher Ressourcen zu verhindern.

## 4 Rettungsdienst als verlässliches soziotechnisches System

### Inhalt

---

4.1	Grundsätzliches zum Systembegriff . . . . .	70
4.2	Kennzeichen verlässlicher soziotechnischer Systeme . . . . .	71
4.3	Systemische Merkmale und Eigenschaften des Rettungsdienstes .	71
4.3.1	Die soziotechnische Systemeigenschaft des Rettungsdienstes . . . . .	72
4.3.2	Die Verlässlichkeitseigenschaft des Rettungsdienstes . . .	72
4.3.3	Technische und organisationale Aspekte des soziotechnischen Systems Rettungsdienst . . . . .	78
4.3.4	Schnittstellen und Querschnittsfaktoren . . . . .	82
4.3.5	Modellierung der Verlässlichkeit des soziotechnischen Systems Rettungsdienst . . . . .	83
4.4	Komplexe und dynamische Aspekte des Systems Rettungsdienst .	87
4.4.1	Grundlegende Eigenschaften dynamischer Systeme . . . .	87
4.4.2	Dynamisch-komplexe Eigenschaften des Systems Rettungsdienst . . . . .	89

---

Vor dem Hintergrund der in den voranstehenden Kapiteln beschriebenen Sachverhalte ist eine umfassende Sichtweise auf den Rettungsdienst unumgänglich, um ganzheitliche Lösungsansätze schaffen zu können. Aus diesem Grund erfolgt in diesem Kapitel eine Darstellung des Rettungsdienstes als verlässliches soziotechnisches System. Hierzu werden zunächst die Grundlagen des Systembegriffs erörtert, um diese dann um die soziotechnischen Merkmale des Rettungsdienstes zu ergänzen. Schließlich werden die komplexen und dynamischen Eigenschaften des soziotechnischen Systems Rettungsdienst erläutert.

## 4.1 Grundsätzliches zum Systembegriff

Nach Charles Perrow werden Systeme und deren Elemente „in vier Ebenen unterschiedlicher Komplexität eingeteilt: Teile, Einheiten, Subsystem und System“ (Perrow, 1992, S. 105). Ein solches System kann dabei linear oder komplex sein (vgl. ebd., S. 128 ff.) und hinsichtlich der Beziehungen der Elemente untereinander eine lose oder enge Kopplung aufweisen (vgl. ebd., S. 131 ff.).

Eine umfassende ingenieurwissenschaftliche Definition eines *Systems* sowie dessen Komponenten ist bei Haberfellner (vgl. Haberfellner u. a., 2012, S. 34) zu finden. Wesentliche Eigenschaft ist dabei die Konnektivität der Teile eines Systems, also der (Wirk-)Beziehungen der einzelnen Systemkomponenten untereinander. Haberfellner unterscheidet hier die folgenden Teile:

- Elemente im Sinne von Komponenten.
- Eigenschaften und Funktionen der Elemente, wobei jedes Element auch wieder ein System sein kann.
- Beziehungen der Elemente untereinander.

Systeme existieren nicht isoliert, sondern stets innerhalb eines System-Umfeldes (vgl. Haberfellner u. a., 2012, S. 35; Vester, 2015, S. 100 ff.). Der Definition dieses System-Umfeldes kommt bei der Abbildung eines Systems eine wesentliche Bedeutung zu, da durch Einbeziehung oder Ausschluss relevanter Aspekte die Leistungsfähigkeit eines Systemmodells erheblich verändert werden kann. Dabei kann die Definition der Systemgrenze durch logische oder physische Abgrenzung im Sinne einer Definition von Unter- und Übersystemen geschehen (vgl. Haberfellner u. a., 2012, S. 36 ff.), woraus sich eine Hierarchie von Systemen ergibt (vgl. ebd., S. 38). Eine andere Herangehensweise ist die Definition der wesentlichen Elemente (Variablen) eines zu betrachtenden Sachverhaltes, welche dann in ihrem Zusammenhang als System gesehen werden (vgl. Vester, 2015, S. 213 ff. Stermann, 2000, S. 86).

Für eine nutzbringende Analyse eines Systems sind die Wirkbeziehungen zwischen den einzelnen Systemkomponenten sowie die Möglichkeiten zum Einfluss auf selbige von erheblicher Bedeutung. Die Idee, Objekte und deren Teile als System zu betrachten und in diesem System (Regel-)Abläufe zu finden, zu untersuchen und für das System zu entwerfen, geht unter anderem zurück auf Norbert Wiener, welcher nach Ende des Zweiten Weltkriegs den Begriff der Kybernetik geprägt hat (vgl. Wiener, 1985). Diese Erkenntnisse sind Ergebnis der interdisziplinären Macy-Konferenzen, welche von 1947 bis 1953 stattfanden (vgl. Pias, 2016). Ausgangspunkt dieser Betrachtungen war die Beobachtung von Organismen (auch des Menschen) als System, welches über Regelkreise

gesteuert wird. Aus dieser Betrachtungsweise wurden im Verlauf der o. g. Konferenzen Adaptionen in andere (z. B. technische) Bereiche vorgenommen. Auch Perrow weist mit dem Konzept der losen oder engen Kopplung in Systemen (vgl. Perrow, 1992, S. 131 ff.) darauf hin, dass nicht nur die Systemkomponenten selbst, sondern auch deren Verhalten unter- und zueinander für die Wirkweise eines Systems eine erhebliche – wenn nicht sogar systemdefinierende – Rolle spielen.

Von soziologischer Seite näherte sich Jay Forrester in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts dem Systembegriff und prägte das Feld der Systemdynamik (Forrester, 1971). Wesentliche Erkenntnis von Forrester war es, dass sich soziotechnische Systeme häufig gegen die Intuition entwickeln, was dazu führt, dass die Akteure innerhalb eines Systems keine rationalen Entscheidungen treffen (ebd.).

## 4.2 Kennzeichen verlässlicher soziotechnischer Systeme

Bertsche et al. stellen in „Integrative Theorie der Verlässlichkeit (iTV) für soziotechnische Systeme (STS)“ (Bertsche u. a., 2018) fest, „dass es keine systemische integrative Sichtweise auf Wechselwirkungen zwischen Technik, Organisation und soziokulturellem Kontext zur Gewährleistung von Verlässlichkeit gibt“ (ebd., S. 59). Aus diesem Grund definieren Bertsche et al. das RAMSS-Konstrukt, welches sich aus den folgenden Verlässlichkeitsaspekten soziotechnischer Systeme zusammensetzt (vgl. ebd., S. 60):

- Zuverlässigkeit (Reliability)
- Instandhaltbarkeit (Maintainability)
- Verfügbarkeit (Availability)
- Sicherheit (Safety und Security)

Diese Aspekte finden im Rahmen der integrativen Theorie der Verlässlichkeit für soziotechnische Systeme Anwendung auf die Systemelemente *Mensch, Maschine* und *Kontext* sowie auf die Beschreibungsebenen *Modelle, Skalen* und *Deskription* (vgl. ebd.).

## 4.3 Systemische Merkmale und Eigenschaften des Rettungsdienstes

Mit Blick auf den Rettungsdienst und mit Bezug zu den in den voranstehenden Kapiteln gemachten Feststellungen ist der Aspekt *Verlässlichkeit* im Kontext von Technik, Organisation und soziokulturellem Umfeld ebenfalls von herausragender Bedeutung. Auch hier wird ein „System Rettungsdienst“ im technischen, organisationellen und soziokulturellen Umfeld

eingesetzt, welches die o. g. Verlässlichkeitskriterien erfüllen muss. In welcher Art und Weise die unterschiedlichen Aspekte eines verlässlichen soziotechnischen Systems durch den Rettungsdienst abgebildet werden, soll in den nachfolgenden Abschnitten erläutert werden. Dabei liegt der Fokus auf der Betrachtung des operativen Systems Rettungsdienst. Soziokulturelle Aspekte und die Frage nach der Rolle des Rettungsdienstes in der Gesellschaft sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

### 4.3.1 Die soziotechnische Systemeigenschaft des Rettungsdienstes

Der Rettungsdienst stellt mit seinen einzelnen Komponenten eine Organisationseinheit dar, welche ein definiertes Ziel bzw. definierte Ziele, verfolgt. Dies macht den Rettungsdienst zu einem System nach den o. s. Definitionen. Darüber hinaus ist zur Erfüllung der Ziele des Rettungsdienstes, welche sich aus dem gesetzlichen Auftrag ableiten, das Zusammenspiel von Mensch (Einsatzkräfte) und Technik (Einsatzmittel und -geräte) notwendig. Allgemein wird in der Gefahrenabwehr auch von der *Einheit* als Zusammenschluss von Mannschaft und Gerät gesprochen (vgl. z. B. FwDV 3 oder BBK-Glossar). Hieraus lässt sich begründen, dass es sich beim Rettungsdienst um ein soziotechnisches System handelt. Als soziotechnisches System sind die Aspekte

- Technik,
- Mensch und
- Kontext

genauer zu beleuchten (vgl. Bertsche u. a., 2018, S. 61).

### 4.3.2 Die Verlässlichkeitseigenschaft des Rettungsdienstes

Aufgrund der herausragenden Bedeutung der Sicherheitsleistung des Rettungsdienstes im gesellschaftlichen Kontext muss das soziotechnische System Rettungsdienst auch im besonderen Maße verlässlich sein. Bertsche et al. weisen darauf hin, dass bislang keine Arbeiten bekannt sind, welche das von ihnen vorgestellte und oben bereits erläuterte *RAMSS-Konstrukt* integrativ betrachten (vgl. ebd.).

Die in Abschnitt 4.2 bereits genannten Aspekte machen nach Bertsche et al. die Verlässlichkeitseigenschaft eines Systems aus und sollen im Folgenden im Kontext des Rettungsdienstes näher beleuchtet werden.

#### 4.3.2.1 Zuverlässigkeit

Der Aspekt der Zuverlässigkeit adressiert im rettungsdienstlichen Kontext eine erwartete Leistungsqualität, z. B. im Sinne eines medizinischen Standards. Er hat für das System Rettungsdienst einen signifikanten Stellenwert, da nur ein zuverlässiger Rettungsdienst auch ein vertrauenswürdiger Rettungsdienst ist. Diese Vertrauenswürdigkeit wiederum ist es, die die Aufrechterhaltung des Rettungsdienstes als öffentliche Einrichtung mit öffentlichen Mitteln rechtfertigt. Fehlt diese Vertrauenswürdigkeit, fehlt also die Zuverlässigkeit, muss der Rettungsdienst konsequent so angepasst werden, dass diese Aspekte wiederhergestellt werden.

Entlang der Rettungskette existieren eine Vielzahl von Punkten, welche relevant für den Aspekt der Zuverlässigkeit sind:

**Bürger** Ergänzend zur Meldung eines Notfalls können Bürger die Zuverlässigkeit des Rettungsdienstes erhöhen, indem diese z. B. Erste-Hilfe-Maßnahmen durchführen oder einen AED anwenden. Durch diese Maßnahmen kann das therapiefreie Intervall ggf. verkürzt und so eine Zuverlässigkeitssteigerung erreicht werden.

**Leitstelle** Das Meldebild muss zuverlässig korrekt erkannt werden, um eine adäquate Alarmierung zu gewährleisten.

**Rettungsdienst** Das Personal muss adäquat ausgebildet sein, um das jeweilige Notfallbild bestmöglich bearbeiten zu können. Hierzu zählt auch der korrekte Umgang mit den entsprechenden Einsatzgeräten. Die Geräte und Fahrzeuge müssen adäquat gewartet sein, um Ausfälle zu verhindern.

**Krankenhaus** Die Übernahme des Patienten im Zielkrankenhaus muss strukturiert erfolgen, um Informationsverluste zu vermeiden. Es muss zudem sichergestellt sein, dass der Patient in ein geeignetes Zielkrankenhaus verbracht wird.

Aus den oben genannten Punkten wird ersichtlich, dass hinsichtlich des Aspekts der Zuverlässigkeit insbesondere die Ausbildung im Rettungsdienst und der angrenzenden Systeme eine Rolle spielt. Die bereits diskutierte fortschreitende Professionalisierung im Rettungsdienst trägt der Tatsache Rechnung, dass der Aspekt der Zuverlässigkeit im rettungsdienstlichen Kontext von großer Bedeutung ist.

#### 4.3.2.2 Verfügbarkeit

Unter Verfügbarkeit kann das abrufbereite Vorhalten des rettungsdienstlichen Systems unter der Voraussetzung sich zufällig ereignender Hilfeersuchen verstanden werden. Dieser Aspekt ist heute bereits zentraler Planungsparameter, wie bereits erläutert wurde. Der

starke Fokus aktueller Planungsmethoden auf der Verfügbarkeit zeigt die eindimensionale Betrachtungsweise der rettungsdienstlichen Bedarfsplanung, welche die übrigen Aspekte in Teilen zwar erwähnt, aber nicht in einem integrierten Planungsmodell berücksichtigt. Aus diesem Grund belaufen sich Diskussionen zur Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes aktuell allein auf die Aspekte *Eintreffzeit*, *Erreichungsgrad* und *Kosten* (vgl. Abschnitt 3).

Der Aspekt der *Verfügbarkeit* im soziotechnischen System Rettungsdienst bedeutet, dass die Leistungen des Rettungsdienstes abrufbar sind, wenn sie benötigt werden. Für die Notfallrettung heißt dies, dass adäquate Einsatzressourcen unmittelbar für einen Notfall bereitstehen.

Für den Aspekt der Verfügbarkeit existieren entlang der Rettungskette ebenfalls Punkte, welche die Verfügbarkeit des rettungsdienstlichen Systems beeinflussen:

**Bürger** Die Verfügbarkeit des Rettungsdienstes beginnt bei der Verfügbarkeit von Meldeeinrichtungen. Hierzu zählt allen voran die Kenntnis über die einheitliche Notfall-Rufnummer 112. Allerdings beeinflussen auch andere Meldewege, wie z. B. die automatische Meldung aus KFZ (vgl. Europäische Union, 2020) die Verfügbarkeit.

**Leitstelle** Die Anzahl der besetzten Einsatzleitplätze definiert, wie viele Notrufe parallel bearbeitet werden können. Zudem muss eine Einsatzbearbeitung durch die Disponenten der Leitstelle erfolgen. Auch hierfür sind Kapazitäten sowie eine Erreichbarkeits-Infrastruktur einzuplanen.

**Rettungsdienst** Die Verfügbarkeit des Rettungsdienstes richtet sich in erster Linie nach der Anzahl der Rettungswachen und der dort vorgehaltenen Einsatzmittel. Im Sinne einer Rückfallebene bzw. einer „Verfügbarkeit ohne Qualität“ kann grundsätzlich ein geringer-qualifiziertes Einsatzmittel (z. B. KTW) zu einem Notfall alarmiert werden. Dies mindert jedoch den oben beschriebenen Aspekt der Zuverlässigkeit.

**Krankenhaus** Die zentralen Verfügbarkeitsaspekte von Krankenhäusern in Relation zum Rettungsdienst sind die Aufnahmekapazität des jeweiligen Krankenhauses und dessen Nähe zum Notfallort. Das Krankenhaus muss in der Lage sein, einen Notfallpatienten ohne unzumutbare Wartezeiten aufzunehmen und weiterzubehandeln. Hierbei ist auch von Relevanz, ob ein Krankenhaus in der Lage ist, einen Patienten dauerhaft aufzunehmen, oder ob aufgrund von Kapazitätsengpässen oder unzureichender Versorgungsmöglichkeiten eine dem Einsatz nachgelagerte Verlegung des Patienten erforderlich wird (Sekundäreinsatz, vgl. DIN 13050 3.75).

Aus den oben erläuterten Punkten wird ersichtlich, dass die Verfügbarkeit im Rettungsdienst in erster Linie eine Ressourcenfrage ist, da Verfügbarkeit allein über Redundanzvorhaltung abgebildet werden kann.

### 4.3.2.3 Instandhaltbarkeit

Die DIN IEC 60300-3-10 definiert den Begriff der *Instandhaltbarkeit* wie folgt:

„Fähigkeit einer Einheit, unter gegebenen Anwendungsbedingungen in einem Zustand erhalten bzw. in ihn zurückversetzt werden zu können, in dem sie eine geforderte Funktion erfüllen kann, wobei vorausgesetzt wird, dass die Instandhaltung unter den gegebenen Bedingungen mit den vorgeschriebenen Verfahren und Hilfsmitteln durchgeführt wird.“

Der Aspekt der *Instandhaltbarkeit* erfordert folglich zunächst die Definition von Anwendungsbedingungen, in welchen die Einheit - oder in diesem Fall das System - im Normalfall operiert. Außerdem muss gewährleistet sein, dass das System entweder seinen Normalzustand nicht verlässt oder in diesen zurückversetzt werden kann. Die damit verbundenen Maßnahmen müssen zudem vorgeschriebene, also vorab definierte, Verfahren sein und Hilfsmittel vorgeben.

Zunächst sind die Anwendungsbedingungen des rettungsdienstlichen Systems zu definieren. Diese sind gesetzlich verankert und können in die Anwendungsbedingungen *Notfallrettung* und *Krankentransport* unterschieden werden, wie bereits erörtert wurde. Hierbei sind die Anwendungsbedingungen in der Notfallrettung aufgrund der dort vorgegebenen zeitlichen Restriktionen strenger auszulegen als im Krankentransport. Grundsätzlich kann eine allgemeine Anwendungsbedingung wie folgt definiert werden:

Ein zu diesem Zweck vorgehaltenes Einsatzmittel wird zur Bedienung eines Einsatzes herangezogen mit dem Ziel, den Einsatz schnellstmöglich unter Einhaltung der anerkannten medizinischen Qualitätsparameter zu beenden.

Hierbei ist Folgendes zu beachten:

- Das Einsatzmittel muss *zu diesem Zweck* vorgehalten und entsprechend eingesetzt werden. Der Einsatz eines KTW für die Notfallrettung stellt damit keine gültige Anwendungsbedingung dar.
- Ein Einsatz muss schnellstmöglich beendet werden. Dieser Teil der Definition impliziert, dass alle Zeitbereiche des Einsatzes, welche beeinflusst werden können, möglichst schnell durchlaufen werden.
- Ein Einsatz muss unter Einhaltung anerkannter medizinischer Qualitätsparameter bearbeitet werden. Diese Einschränkung stellt sicher, dass nicht zugunsten der schnellen Einsatzbearbeitung die Qualität der medizinischen Leistung außer Acht gelassen wird.

Der hier dargestellte Anwendungsbereich sollte unter dem Aspekt der Instandhaltbarkeit nicht verlassen werden oder es muss möglich sein, in diesen zurückzukehren. Das bedeutet, dass ein Gleichgewicht zwischen Einsatzanfragen und den dafür vorgehaltenen Einsatzressourcen hergestellt werden muss. Unzulässig gem. der o. s. Definitionen wäre eine Vorhaltung, welche eine Bearbeitung von Einsätzen unmöglich macht. Dies ist z. B. bei einer Vorhaltung von 0 Einsatzmitteln der Fall. Es ist aber auch dann der Fall, wenn die Anzahl der vorgehaltenen Einsatzmittel so gering ist, dass die sich ergebenden Wartezeiten theoretisch unendlich verlängert werden. Dies liegt vor, wenn die vorgehaltene Bedienkapazität geringer als die zu bedienende Einsatzlast ist. Vor diesem Hintergrund muss der Begriff der *Instandhaltbarkeit* auch als *Fähigkeit zur Aufrechterhaltung* verstanden werden.

Die Einschränkung auf *vorgeschriebene Verfahren und Hilfsmittel* setzt voraus, dass zum Erhalt oder zur Wiederherstellung des Normalbetriebs keine improvisierten Verfahren erforderlich sind. Es müssen folglich Verfahren definiert werden, welche für den Fall des Verlassens des Normalzustands bzw. des Anwendungsbereichs eine Rückkehr in selbige erlauben.

Der Aspekt der Instandhaltbarkeit muss im rettungsdienstlichen Kontext zudem um den Begriff der Nachhaltigkeit erweitert und so verstanden werden, dass nicht heute hohe Sicherheit auf Kosten der Zukunft erzeugt wird. Dies stellt einen einschränkenden Faktor für die genannten Aspekte der Schnelligkeit und der medizinischen Qualität dar. Allerdings hat dieser Faktor der Nachhaltigkeit durchaus seine Berechtigung im Kontext des Aspekts der Instandhaltbarkeit.

Anders als Systeme, welche dem freien Wettbewerb unterworfen sind, operieren öffentliche Leistungen ohne die wettbewerbliche Komponente. So wird der Preis für rettungsdienstliche Leistungen nicht aus Angebot und Nachfrage bestimmt, denn das Angebot unterliegt keinem Wettbewerb. Das bedeutet, dass die Nachfrage nicht auf unterschiedliche Anbieter verteilt werden kann. Im Unterschied zu einem Monopol hat der „Kunde“ zudem nicht die Wahl, das Angebot nicht in Anspruch zu nehmen, da – zumindest im Bereich der Notfallrettung – die Konsequenzen gesundheits- oder gar lebensbedrohlich wären. Aus diesen Punkten leitet sich ab, dass auf den Aspekt der Nachhaltigkeit besonderes Augenmerk gelegt werden muss. Konkret bedeutet dies, dass der oben beschriebene Anwendungsbereich zu den geringstmöglichen Kosten aufrechterhalten werden sollte. Das Wirtschaftlichkeitsgebot in § 12 Abs 1 SGB 5 formuliert hierzu konkret:

„Die Leistungen müssen ausreichend, zweckmäßig und wirtschaftlich sein; sie dürfen das Maß des Notwendigen nicht überschreiten.“

Diese Einschränkung ist zwingend notwendig, da ansonsten die o. s. allgemeine Anwendungsbedingung dazu führen würde, dass Handlungsschnelligkeit und medizinische

Qualität ohne Berücksichtigung der damit verbundenen Kosten ansteigen. Dies muss zwangsläufig zu einer finanziellen Unterversorgung in anderen Bereichen und schließlich zu einem Zusammenbruch des Systems führen, wenn Pufferkapazitäten erschöpft sind.

#### 4.3.2.4 Sicherheit

Schließlich bleibt der Aspekt der *Sicherheit* als Sicherheit vor absichtlich herbeigeführten Gefährdungen oder Schäden (des Systems und/oder dessen Komponenten) oder vor zufällig auftretenden Schäden im Sinne von Unfällen.

Der Aspekt der Sicherheit wechselwirkt aufgrund der Dringlichkeit eines rettungsdienstlichen Einsatzes mit den übrigen genannten Verlässlichkeitsaspekten. So ist zum Beispiel bei einer Fahrt unter Nutzung von Sonder- und Wegerechten gem. §§ 35 und 38 StVO stets zwischen der gebotenen Schnelligkeit und der damit verbundenen Gefährdung übriger Verkehrsteilnehmer und der Besatzung des Einsatzmittels abzuwägen.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der bereits beschriebenen Verlässlichkeitsaspekte einen überwiegend positiven Einfluss auf die Sicherheit des rettungsdienstlichen Systems haben. So erzeugen standardisierte Verfahren, eine adäquate Ausbildung sowie eine ausreichende Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit das Sicherheitsniveau des Systems Rettungsdienst. Je besser diese Aspekte funktionieren, umso höher kann das Sicherheitsniveau angenommen werden.

Allerdings sind auch absichtlich herbeigeführte Gefährdungen oder Schäden im rettungsdienstlichen Alltag nicht auszuschließen. Eine Betrachtung von in diesem Kontext erforderlichen Maßnahmen adressiert jedoch nicht mehr das Thema dieser Arbeit.

#### 4.3.2.5 Zusammenwirken der Verlässlichkeits-Aspekte

Die vier Verlässlichkeits-Aspekte *Zuverlässigkeit*, *Verfügbarkeit*, *Instandhaltbarkeit* und *Sicherheit* sowie deren oben erläuterte Ausprägungen im rettungsdienstlichen Kontext sind Aspekte, welche sich gegenseitig beeinflussen. Das bedeutet, dass Änderungen in oder an einem der Aspekte grundsätzlich auch zu Änderungen an den anderen Aspekten führen können. Ein einfaches Beispiel ist die „Verbesserung“ des Aspekts Verfügbarkeit durch die Maßnahme „schneller fahren“. Diese Maßnahme hat sicher eine gesteigerte Verfügbarkeit zur Folge, da Einsätze schneller bearbeitet werden und so Einsatzmittel für mehr Einsätze verfügbar sind. Allerdings erhöht diese Maßnahme auch die Gefahr von Unfällen im Straßenverkehr, was sich negativ auf den Aspekt der Sicherheit auswirkt. Auch Auswirkungen auf den Aspekt der Instandhaltbarkeit sind zu diskutieren, da zum einen ein schneller Fahrstil zu einem frühzeitigen Verschleiß von Einsatzmitteln führen kann und

zum anderen im Fall eines Unfalls ein Einsatzmittel nicht mehr zur Verfügung steht und durch ein anderes ersetzt werden muss. Hier wiederum zeigt sich, wie der Aspekt der Sicherheit positive Auswirkungen auf die Instandhaltbarkeit haben kann.

Das oben erläuterte Beispiel zeigt, dass es eine Vielzahl von Wechselwirkungen gibt, sobald mehr als einer der Verlässlichkeits-Aspekte Gegenstand des Planungshandelns wird. Die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Aspekten sind nicht linear, was das daraus entstehende System zu einem komplexen und dynamischen System werden lässt. Es muss folglich das Ziel einer rettungsdienstlichen Systemplanung sein, diese Dynamik in ausreichendem Maße abzubilden und Planungsentscheidungen hierauf aufzubauen.

Bertsche et al. identifizieren die folgenden Handlungsbedarfe (vgl. Bertsche u. a., 2018, S. 65):

- Schaffung einer [...] Beschreibung relevanter Sachverhalte, Zusammenhänge und Wirkmechanismen [...],
- Zusammenführung, Weiterentwicklung und Nutzung etablierter Beschreibungsmittel, Skalen, Modelle und Methoden für die Analyse von Systemen [...] sowie die Optimierung bestehender und der Entwurf (Synthese) neuer Systeme [...],
- Quantifizierung RAMSS-bezogener Aspekte.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird im Kapitel 5 ein systemischer Betrachtungsansatz gewählt.

### **4.3.3 Technische und organisationale Aspekte des soziotechnischen Systems Rettungsdienst**

Technik und Organisation sind im rettungsdienstlichen System nicht voneinander zu trennen. Nachfolgend werden daher technische und organisationale Aspekte des soziotechnischen Systems Rettungsdienst beleuchtet, welche einen systemischen Einfluss haben.

#### **4.3.3.1 Einsatzmittelentscheidung**

In der rettungsdienstlichen Einheit, welche aus Mannschaft und Gerät besteht, beziehen sich die technischen Aspekte des soziotechnischen Systems Rettungsdienst auf den Bereich *Gerät*. Allerdings ist der Begriff des Geräts in diesem Kontext, und insbesondere im Kontext einer strategischen Planung, als Einsatzmittel im Allgemeinen, also Einsatzfahrzeuge und die im Einsatz verwendeten Geräte, zu fassen.

Die Entscheidung, welches Einsatzmittel zum Einsatz kommt (Rettungswagen, Notarzteinsetzfahrzeug etc.), ist aus systemischer Sicht sowohl eine organisatorische als auch eine technische Entscheidung. Aus organisatorischer Sicht beeinflussen die auf den einzelnen Einsatzmitteln eingesetzten Qualifikationen (z. B. Notfallsanitäter oder Notarzt) die Einsatzentscheidung. Aus technischer Sicht muss der Rettungswagen als zentrales Einsatzmittel gesehen werden, welches für die Bedienung des überwiegenden Teils von Notfallereignissen ausgestattet ist. Die Einsatzmittelentscheidung wird hinsichtlich der technischen Aspekte eher durch die verfügbare Infrastruktur geprägt. So hat z. B. ein Rettungshubschrauber erhebliche Transportvorteile, da er nicht die Infrastruktur *Straße* nutzen muss.

#### 4.3.3.2 Rettungsdienstliche Infrastruktur

Der Einsatz von Mannschaft und Gerät (inkl. Fahrzeugen) kann nur auf einer rettungsdienstlichen Infrastruktur erfolgen. Hierzu gehören insbesondere die Standorte des Rettungsdienstes (Rettungswachen) als Ausgangspunkte der rettungsdienstlichen Leistung.

Die Standorte des Rettungsdienstes definieren über die Erreichbarkeit von Einsatzstellen die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes auf einem bestehenden Verkehrsnetz, welches ebenfalls Teil der rettungsdienstlichen Infrastruktur ist. Dieses Verkehrsnetz ist aber auch Teil einer Vielzahl von weiteren Infrastrukturen, so dem Individualverkehr, dem ÖPNV und weiterer öffentlicher und privater Dienste.

Weiter zählen zur rettungsdienstlichen Infrastruktur auch die möglichen Einsatzorte als *Patienten-Quellen*, welche in Abhängigkeit der Infrastruktur entweder gut oder schlecht innerhalb der vorgegebenen Zeit erreicht werden können.

Schließlich sind die aufnehmenden Einrichtungen, also z. B. die Krankenhäuser, als *Patienten-Senken* Teil der rettungsdienstlichen Infrastruktur. Auch hier spielt die Erreichbarkeit der aufnehmenden Einrichtung im Verhältnis zum Einsatzort und zum Standort des Rettungsdienstes eine wesentliche Rolle hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes.

Bild 4.1 verdeutlicht die oben beschriebenen infrastrukturellen Komponenten.

Es wird ersichtlich, dass das Verkehrsnetz als Teil der rettungsdienstlichen Infrastruktur in die drei Komponenten

- Zugangs-Infrastruktur
- Transport-Infrastruktur und

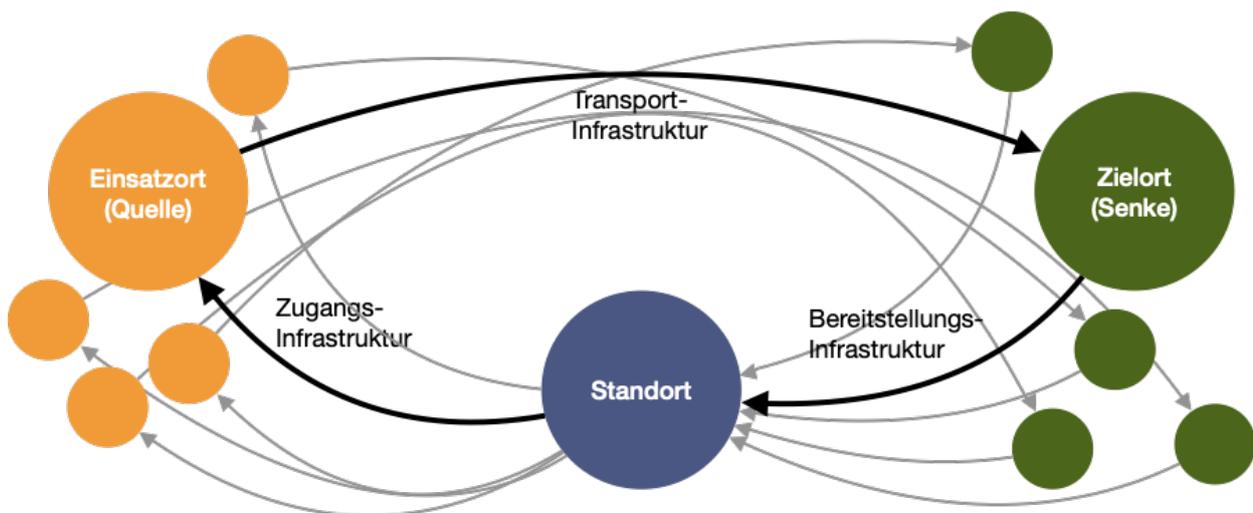


Bild 4.1: INFRASTRUKTUR des soziotechnischen Systems Rettungsdienst mit unterschiedlichen Typen von Verkehrs-Infrastruktur

- Bereitstellungs-Infrastruktur

eingeteilt werden kann. Bezogen auf die unterschiedlichen Einsatzteilzeiten auf dem Verkehrsnetz (Zugang, Transport und Bereitstellung) kann die Leistungsfähigkeit des rettungsdienstlichen Systems über das Verhältnis dieser Zeiten definiert werden. Eine theoretisch optimale Leistung wird erreicht, wenn Einsatzort, Zielort und Standort über Infrastruktur mit einer jeweiligen Einsatzteilzeit von 0 Zeiteinheiten verbunden sind. Ein praktisches Beispiel für eine solche Situation wäre ein Notfall in einem Krankenhaus, in welchem auch eine Rettungswache untergebracht ist.

Es entsteht Komplexität aus der Tatsache, dass insbesondere die Einsatzorte, aber auch die Zielorte, im definierten Einsatzbereich verteilt sind. Zudem besteht die Möglichkeit, dass die Zielorte auch außerhalb des definierten Einsatzbereiches liegen können.

Aus Bild 4.1 ist ersichtlich, dass eine Optimierung der Leistungsfähigkeit umso schwieriger wird, je weiter Einsatzorte und Zielorte gestreut sind. Den Idealfall stellt ein einziger Einsatzort und ein einziger Zielort dar, da für diese Kombination leicht eine optimale Lösung hinsichtlich der erläuterten Zeiten auf der Verkehrsinfrastruktur gefunden werden kann.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Rettungsmittel unterschiedliche Infrastrukturen nutzen. So nutzt ein Rettungswagen die Straßenverkehrs-Infrastruktur, ein Rettungshubschrauber jedoch die Luftverkehrs-Infrastruktur. Aus der Tatsache, dass diesen beiden Infrastruktur-Typen unterschiedliche Weg-Zeit-Funktionen zugrunde liegen, ergeben sich Optimierungspotentiale, z. B. im Zusammenspiel der genannten Einsatzmittel.

### 4.3.3.3 Akteure entlang der Rettungskette

Der Patient ist das zentrale Wirkziel des rettungsdienstlichen Systems und der Rettungskette und stellt deren Daseinsberechtigung dar. Viele organisationsbezogene Aspekte im rettungsdienstlichen System richten sich am Patienten aus. Beispielhaft seien hier Reanimationsleitlinien des European Resuscitation Council (ERC) genannt (Perkins u. a., 2021).

Der *Bürger* als allgemeine Bezeichnung für alle Personen, welche nicht Personal des Rettungsdienstes sind, nimmt im rettungsdienstlichen System unterschiedliche Rollen ein.

Als Patient ist der Bürger das Wirkziel der Rettungskette und die Daseinsberechtigung des Rettungsdienstes. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Organisation des Rettungsdienstes nicht auf einen einzelnen Patienten ausgerichtet sein kann, sondern auf die Vielzahl aller Patienten in einem zu versorgenden Gebiet. So müssen z. B. einzelne Patienten eine längerer Eintreffzeit in Kauf nehmen, damit die mittlere Eintreffzeit für alle Patienten im jeweiligen Gebiet innerhalb der gewünschten Parameter bleibt.

Der Bürger ist aber auch Teil der Rettungskette, in erster Linie durch dessen Funktion als *Melder eines Notfalls*. Typischerweise wird ein Bürger anschließend auch zum Ersthelfer.

Je nach Verfügbarkeits- und Instandhaltungszustand des rettungsdienstlichen Systems werden Bürger im Rahmen von ergänzenden Systemen (vgl. Abschnitt 3.8.6) eingesetzt. Häufig werden Personen in diesen Systemen herangezogen, welche erweiterte Kenntnisse in Erster Hilfe (z. B. aus Freiwilligen Feuerwehren) oder sogar Notfallmedizin (z. B. dienstfreies Rettungsdienstpersonal) haben (vgl. Feuerwehr Dortmund, 2021; Seeger u. a., 2021a).

Als Gegenüber des Patienten kann das Rettungsdienstpersonal gesehen werden, worunter neben dem nichtärztlichen Personal auch die Notärzte zu zählen sind. Ein wesentlicher Faktor mit Bezug zur Leistungsfähigkeit des rettungsdienstlichen Systems ist die Wechselwirkung zwischen Qualifikation und Personalverfügbarkeit. Hier ist zu berücksichtigen, dass weder hoch qualifiziertes Personal ohne Verfügbarkeit noch gering qualifiziertes Personal mit hoher Verfügbarkeit geeignete Kombinationen sind, um einen leistungsfähigen Rettungsdienst aufrecht erhalten zu können. Im Kontext der festgestellten Professionalisierung (vgl. Abschnitt 3.8.5) kommt einer wirksamen Personalplanung, aber auch einer zielgerichteten Personalakquise und -bindung, eine besondere Bedeutung zu.

An den Grenzen des Systems Rettungsdienst sind die Leitstellen als Einsatz-Quellen und die Krankenhäuser als Einsatz-Senken verortet. Auch diese Akteure haben einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Systems Rettungsdienst, da sie Eingaben in den rettungsdienstlichen Prozess tätigen (Alarmierung von Einsatzmitteln) und die Beendi-

gung des Prozesses ermöglichen (Aufnahme von Notfallpatienten). Funktionieren diese beiden Schnittstellen nicht einwandfrei, kann das System Rettungsdienst nicht bestmöglich effizient arbeiten.

#### **4.3.4 Schnittstellen und Querschnittsfaktoren**

Schnittstellen im rettungsdienstlichen System ergeben sich insbesondere entlang der Rettungskette und des Einsatzablaufs bei der Übergabe eines Hilfeersuchens von der Leitstelle zum Rettungsdienst in Form der Alarmierung, bei der Übernahme des Patienten an der Einsatzstelle und bei der Übergabe eines Patienten vom Rettungsdienst an eine aufnehmende Einrichtung, z. B. ein Krankenhaus. Diese Schnittstellen sind unterschiedlich gut definiert. Grundsätzlich stellt der Alarmierungsprozess die am besten strukturierte Schnittstelle dar. Im Allgemeinen nur sehr grob strukturiert ist die Übernahme des Patienten an der Einsatzstelle, da hier auf eine Vielzahl unterschiedlicher Situationen reagiert werden muss. Um diesen Prozess besser zu strukturieren, wurden z. B. Standard-Einsatzregeln oder Standard-Arbeitsanweisungen entwickelt. Sehr individuell strukturiert verläuft die Übergabe des Patienten in der aufnehmenden Einrichtung, was zu Verzögerungen im Einsatzablauf führen kann. Dies betrifft in erster Linie die Möglichkeit, einen Patienten überhaupt übergeben zu können.

Als Querschnittsfaktoren des Systems gelten solche Faktoren, welche alle Bereiche des Systems betreffen. Den wesentlichen Querschnittsfaktor des Systems Rettungsdienst stellt der Patient dar, welcher in allen Aspekten des Systems im Vordergrund stehen muss, allerdings eher unter die menschlich-organisationalen Aspekte zu zählen ist. Als weiterer wichtiger Querschnittsfaktor sind Informationen zum Notfall bzw. Hilfeersuchen zu nennen. Diese Informationen, welche zu Beginn eines rettungsdienstlichen Einsatzes erstmals entstehen, im Verlauf des Einsatzes angereichert und ggf. korrigiert werden und schließlich an die aufnehmende Einrichtung weitergegeben werden, sind deshalb von großer Bedeutung, da sich die Handlungsoptionen entlang der Rettungskette an diesen Informationen ausrichten. Im Extremfall entstehen durch Nicht-Entdecken eines Notfalls keine Informationen, was zur Folge hat, dass keine Hilfe geleistet wird. Effektive und effiziente Hilfe kann hingegen nur dann geleistet werden, wenn die Informationen zum Notfall an allen Punkten der Rettungskette mit hoher Qualität erhoben und an nachfolgende Stellen kommuniziert werden.

### 4.3.5 Modellierung der Verlässlichkeit des soziotechnischen Systems Rettungsdienst

Das soziotechnische System Rettungsdienst kann, wie schon erläutert, als Bediensystem verstanden werden. Das bedeutet, dass der Rettungsdienst mit Leistungsanfragen konfrontiert wird und diese nach vorgegebenen Qualitätsansprüchen bedienen muss. Die Qualitätsansprüche unterscheiden sich z. B. zwischen den Bedarfsarten *Notfallrettung* und *Krankentransport*.

Die Eigenschaft als Bediensystem legt eine Systemmodellierung als Kette von Ereignissen und darauf folgenden Tätigkeiten nahe. Zur Analyse der Verlässlichkeit des soziotechnischen Systems Rettungsdienst muss daher diese Ereignis- bzw. Prozesskette modelliert und anschließend einer Verlässlichkeitsanalyse unterzogen werden.

Die Object Management Group stellt mit der Spezifikation *Business Process Model and Notation (BPMN)* (Object Management Group, 2021) ein Modellierungswerkzeug für Geschäftsprozesse zur Verfügung, welches auch zur Modellierung des rettungsdienstlichen Prozesses im Rahmen einer Analyse der Verlässlichkeit des soziotechnischen Systems Rettungsdienst genutzt werden kann.

Mock und Corvo stellen eine Methode zur Risikoanalyse vor, welche sie auf ereignisgesteuerte Prozessketten (EPC) für Informationssysteme anwenden (Mock und Corvo, 2005). Die Anwendung einer anderen Modellierungs-Spezifikation (EPC statt BPMN) ist jedoch kein Hinderungsgrund, dieses Vorgehen nicht auch im Rahmen einer Verlässlichkeitsanalyse des soziotechnischen Systems Rettungsdienst zu nutzen. Im Fokus der Methode steht eine FMEA (Hering und Schloske, 2019) der einzelnen Funktionen einer ereignisgesteuerten Prozesskette. Dieser grundlegende Ansatz lässt sich auf eine Modellierung mit dem BPMN-Standard übertragen.

Bild B.1 im Anhang zeigt das BPMN-Modell des rettungsdienstlichen Prozesses in Anlehnung an die bereits weiter oben erläuterte Rettungskette.

Die Methode von Mock und Corvo erlaubt es, anhand dieses Modells eine Risikoanalyse durchzuführen und somit die gewünschte Verlässlichkeit des soziotechnischen Systems Rettungsdienst zu analysieren. Um die Anwendung der Methode zu erleichtern, wurde jeder Prozess (Mock und Corvo sprechen von *Funktion*) in Bild B.1 mit einer eindeutigen Kennung versehen, welche im Folgenden verwendet wird, um auf diese Prozesse Bezug zu nehmen.

Tabelle B.2 im Anhang zeigt das Ergebnis der FMEA des rettungsdienstlichen Prozesses. Ursachen wurden nur dann dokumentiert, wenn es sich um einen ebenfalls dokumentierten Fehler handelt. Die Tabelle macht die Komplexität des rettungsdienstlichen Systems

deutlich, da Fehlerfolgen aus der Tabelle nur schwer zu erkennen sind. Es ist daher sinnvoll, dieser Komplexität durch eine geeignete Modellierung Rechnung zu tragen. Zu diesem Zweck wurde eine Modellierung der identifizierten Fehler als gerichteter Graph gewählt (vgl. O'Halloran u. a., 2021).

Bilder 4.2 und 4.3 zeigen das Ergebnis der FMEA des rettungsdienstlichen Prozesses als gerichteter Graph. Sofern ein identifizierter Fehler als Ursache eines anderen identifizierten Fehlers definiert wurde, werden diese Fehler über einen Pfeil mit Wirkrichtung (Ursache → Wirkung) verbunden.

Die Knoten des in Bild 4.2 dargestellten gerichteten Graphen sind gemäß der RPZ eingefärbt. Dabei bedeuten blaue und grüne Farbtöne eine geringe RPZ und orange und rote Farbtöne eine hohe RPZ. Die Größe der Knoten ist über den Ausgangsgrad des jeweiligen Knotens skaliert. Das bedeutet, dass Knoten mit einem höheren Ausgangsgrad größer dargestellt sind. Die Kanten des Graphen zeigen neben der Wirkrichtung des Fehlers auf dessen Nachfolger auch die mit dem Ursachen-Fehler verbundene RPZ, indem die betreffende Kante die gleiche Farbe wie der Ausgangsknoten hat.

Eine Möglichkeit zur Beurteilung der Bedeutung eines Fehlers innerhalb des dargestellten Netzwerks ist die Betweenness-Zentralität (vgl. Freeman, 1977) eines einzelnen Fehlers. Bild 4.3 zeigt den bereits erläuterten Graphen, nun jedoch sind die Knoten nach deren Betweenness-Zentralität im Netzwerk eingefärbt und größenskaliert.

Die beiden dargestellten Graphen verdeutlichen die Komplexität des rettungsdienstlichen Systems, machen aber gleichzeitig auch Kernaspekte der Verlässlichkeit dieses Systems deutlich. Ein wesentlicher Prozessschritt im System ist die Aufnahme von Informationen in der Leitstelle (L2-F1). Fehlerhafte Informationen können dazu führen, dass der rettungsdienstliche Einsatz mit falschen Angaben (R2-F1) und dadurch mit Verzögerungen (R3-F5) durchgeführt wird. Die gleiche Fehlerkette spannt sich bei der Anfahrt zum Zielort auf (R5-F5, R6-F4). Fehlübermittlung von Informationen können zudem dafür sorgen, dass die aufnehmende Einrichtung nicht adäquat vorbereitet ist (K1-F1) und daher die Übernahme des Patienten insgesamt verzögert wird (K2-F3).

Die oben stehende Analyse zeigt, dass die Verlässlichkeit des Systems Rettungsdienst im erheblichen Umfang von dessen Schnittstellen zur Leitstelle und zur aufnehmenden Einrichtung abhängig ist. Wesentlich ist dabei der Informationsfluss zwischen den einzelnen Akteuren. Außerdem ist zu beobachten, dass sich Fehler innerhalb der rettungsdienstlichen Prozesskette fortsetzen, sofern diese einmal in den Prozess eingebracht wurden. Ein gutes Beispiel hierfür ist eine früh im Prozess eingebrachte Verzögerung (z. B. durch eine Fehleinschätzung der Situation) und eine damit verbundene verzögerte Versorgung des Patienten in der aufnehmenden Einrichtung.

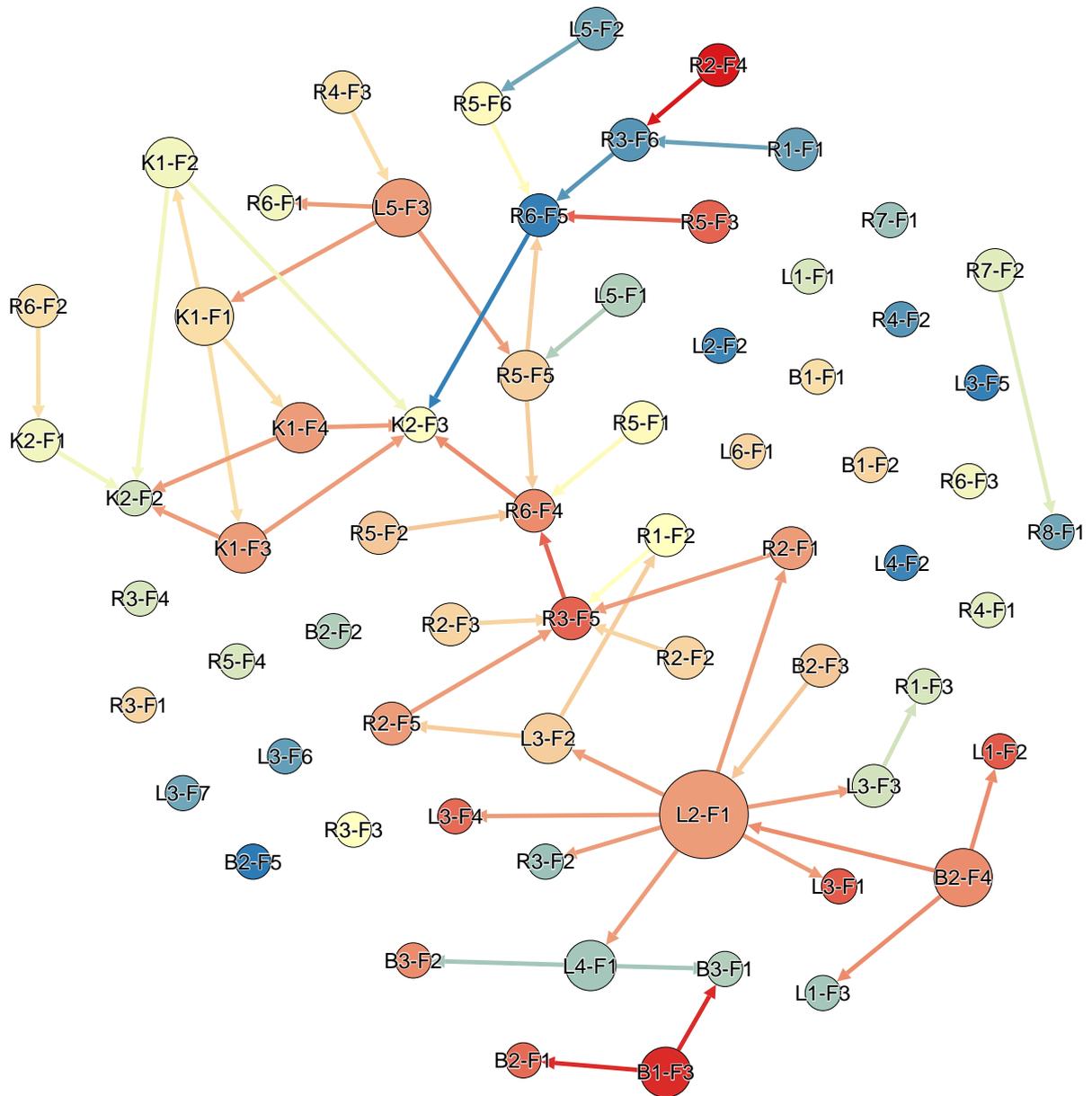


Bild 4.2: GRAPH des Ergebnisses der FMEA Analyse des rettungsdienstlichen Prozesses (eingefärbt nach RPZ, Knotengröße nach Ausgangsgrad: Blau = geringe RPZ, Rot = hohe RPZ, klein = geringer Ausgangsgrad, groß = hoher Ausgangsgrad)

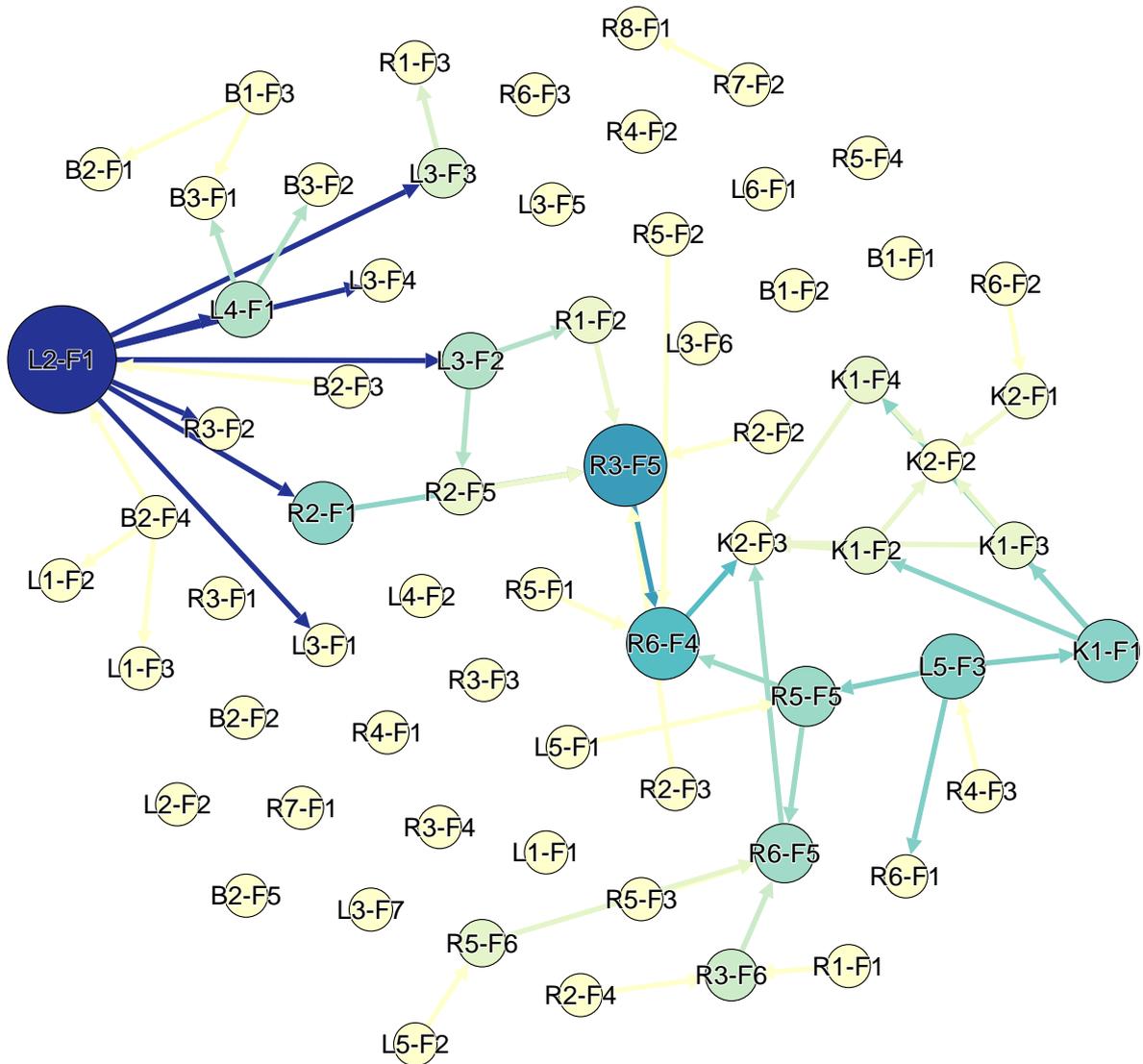


Bild 4.3: GRAPH des Ergebnisses der FMEA Analyse des rettungsdienstlichen Prozesses (Einfärbung und Knotengröße nach Betweenness-Zentralität: hell/klein = geringe Zentralität, dunkel/groß = hohe Zentralität)

## 4.4 Komplexe und dynamische Aspekte des Systems Rettungsdienst

Der im Abschnitt 4 dargestellte Systembegriff des Rettungsdienstes als soziotechnisches System ist geeignet, die unterschiedlichen Komponenten des rettungsdienstlichen Systems zu erfassen und kontextuell einzuordnen. Hieraus ergeben sich bereits erste Hinweise auf eine mögliche Komplexität des Systems Rettungsdienst. Die bisherigen Darstellungen adressieren jedoch noch nicht die Dynamik, welche diesem System zu eigen ist. Aus diesem Grund erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten eine Darstellung mit dem Fokus auf den Eigenschaften als dynamisches, komplexes System.

Die Wechselwirkung von Komplexität und Dynamik in einem System wird durch den von Heijo Rieckmann geprägten Begriff der *Dynaxity* (vgl. Rieckmann, 1992, S. 18) oder *Dynaxität* bezeichnet. Mit steigender Dynaxität wird ein System schwerer oder garnicht mehr mit klassischen Management-Methoden handabbar. Es braucht daher die ebenfalls von Rieckmann geprägte *Dynaxibility* (vgl. ebd., S. 19), um in Systemen mit hoher Dynaxität handlungsfähig zu bleiben. Rieckmann empfiehlt im Umgang mit Systemen hoher Dynaxität „Denken und Planen in größeren [...] Zusammenhängen sowie in rückbezüglichen, und kybernetischen Kausalnetzen und Prozessen“ (ebd., S. 24). Um dies zu ermöglichen müssen die komplexen und dynamischen Eigenschaften des *Systems Rettungsdienst* zunächst bekannt sein.

### 4.4.1 Grundlegende Eigenschaften dynamischer Systeme

Die Kerneigenschaft eines dynamischen Systems ist, dass sich sein Systemzustand mit der Zeit verändert (vgl. Zacher und Reuter, 2017, S. 15 ff.). Dies trifft vollumfänglich auf den Rettungsdienst zu, welcher z. B. unterschiedliche Systemzustände gemessen an der Anzahl der aktuell in Bedienung befindlichen Hilfeersuchen durchläuft. Neben diesen kleingliedrigen, mikroskopischen Effekten existieren jedoch auch makroskopische Dynamiken, welche entweder dem System Rettungsdienst selbst zu eigen sind, oder aber diese beeinflussen. Hierzu zählt allen voran die Entwicklung der Einsatzhäufigkeiten im Verlauf mehrerer Jahre. Diese wiederum werden von anderen dynamischen Effekten, wie z. B. der Selbsthilfefähigkeit der Bevölkerung, der allgemeinen Sicherheit im Straßenverkehr oder auch der Wirksamkeit von medizinischen Präventionsmaßnahmen beeinflusst.

Über die einfache Veränderung im Zeitverlauf hinaus verfügen komplexe dynamische Systeme über Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Systemkomponenten, welche unter anderem zwei kennzeichnende Formen von Regelkreisen bilden können. Hierbei handelt es sich um selbstverstärkende Regelkreise (positives Feedback) und dämpfende

Regelkreise (negatives Feedback) (vgl. Sterman, 2000, S. 13).

Bild 4.4 zeigt ein Beispiel für verstärkende und dämpfende Regelkreise am Beispiel des Rettungsdienstes.

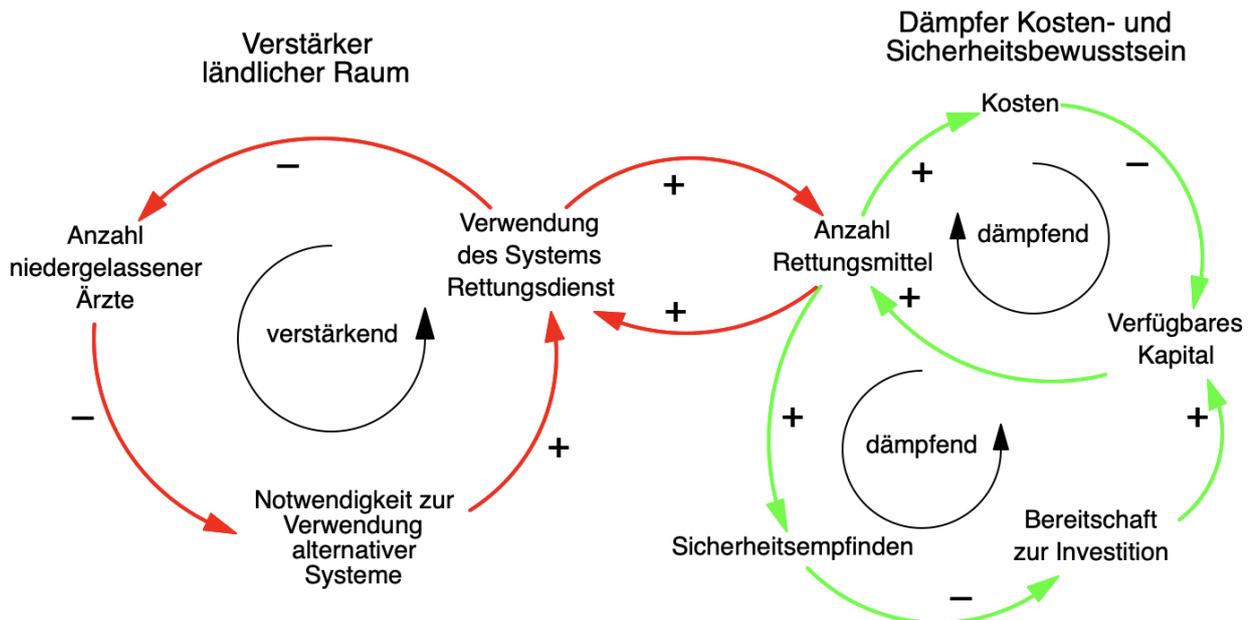


Bild 4.4: FEEDBACK als verstärkende und dämpfende Komponente im System Rettungsdienst

Im Bereich *Verstärker ländlicher Raum* kommt es durch eine Reduktion der Anzahl niedergelassener Ärzte für die Bevölkerung zu einem Anstieg der Notwendigkeit, alternative Systeme zu nutzen. Ein Teil der Bevölkerung wird hierbei sicherlich auf das System Rettungsdienst ausweichen, was dessen Verwendung intensiviert. Diese intensivere Verwendung des Systems Rettungsdienst führt hingegen dazu, dass weniger Patienten die Angebote niedergelassener Ärzte nutzen und daher die Zahl dieser Ärzte weiter sinkt. Somit ist der Regelkreis geschlossen.

Es zeigt sich ein zweiter verstärkender Prozess in der Vermutung, dass durch die Verfügbarkeit von mehr Rettungsmitteln grundsätzlich auch die Verwendung des Systems Rettungsdienst steigt.

Im Bereich *Dämpfer Kosten- und Sicherheitsbewusstsein* kommt es zu den für das System lebenswichtigen dämpfenden Prozessen. In diesem Beispiel sind zwei miteinander verbundene Prozesse dargestellt, welche beide die zentrale Variable *Verfügbares Kapital* beinhalten. Zum einen erfolgt eine Dämpfung über die Kosten des rettungsdienstlichen Systems, welche das verfügbare Kapital reduzieren und so die Anzahl der Rettungsmittel begrenzen. Kurz: Es kann kein Rettungsmittel mehr gekauft werden, wenn kein Geld

vorhanden ist. Darüber hinaus erfolgt eine weitere Dämpfung über das Sicherheitsempfinden in der Bevölkerung, welches mit der Anzahl der Rettungsmittel steigt. Je größer das Gefühl der Sicherheit ist, umso geringer ist die Bereitschaft, in ein Sicherheitssystem zu investieren. Dies wiederum beschränkt das verfügbare Kapital.

Obwohl das Beispiel die Situation stark vereinfacht, wird ersichtlich, dass eine Investition in das System Rettungsdienst möglicherweise nicht in der Lage ist, die Situation zu lösen. Es ist zudem zu erwarten, dass eine unbegrenzte Kapitalisierung des Systems über das Sicherheitsempfinden gestoppt wird. Ansatzpunkte zur Systemoptimierung bietet in diesem Beispiel eher die Situation der niedergelassenen Ärzte.

#### 4.4.2 Dynamisch-komplexe Eigenschaften des Systems Rettungsdienst

Die wesentlichen Eigenschaften linearer und damit nicht-dynamischer Systeme fasst Strogatz wie folgt zusammen (vgl. Strogatz, 2019, S. 279):

- Proportionalität zwischen Ursache und Wirkung.
- Die Gesamtheit des Systems entspricht der Summe der Teile des Systems.

Ein dynamisches, nicht-lineares System verfügt folglich eben nicht über die o. g. Eigenschaften.

Beide der o. g. genannten Eigenschaften können für das System Rettungsdienst nicht angenommen werden, was nachfolgend weiter erläutert wird. Bild 4.5 zeigt das resultierende Sicherheitsniveau als Anteil sofort bedienbarer Hilfeersuchen für unterschiedliche Einsatzmittelmengen und unterschiedliche Notfallraten. Zur Ermittlung des Sicherheitsniveaus wurde ein Erlang-Verlust-System (vgl. Cooper, 1981, S. 79) angenommen. Der angegebene *Faktor NR* ist der Faktor, mit welchem die Basis-Notfallrate *NR* multipliziert wurde, um die dargestellten Notfallraten zu errechnen.

Die Nichtlinearität des Sicherheitsniveaus bei linearen Zuwächsen an Einsatzmitteln ist bei geringen Notfallraten gut zu erkennen. Allerdings zeigt sich auch, dass sich das Sicherheitsniveau bei steigenden Notfallraten einer Proportionalität zur Einsatzmittelmenge und damit einem linearen Verhalten annähert.

Bild 4.6 zeigt den Zuwachs des Sicherheitsniveaus durch Vorhaltung eines weiteren Einsatzmittels für eine Notfallrate von 0,68 1/h und einer Einsatzdauer von 0,98 h.

Der Zuwachs des Sicherheitsniveaus ist in der Stufe von einem zu einem zweiten Einsatzmittel am größten und nimmt dann weiter ab. Dieser Effekt ist einleuchtend, da die

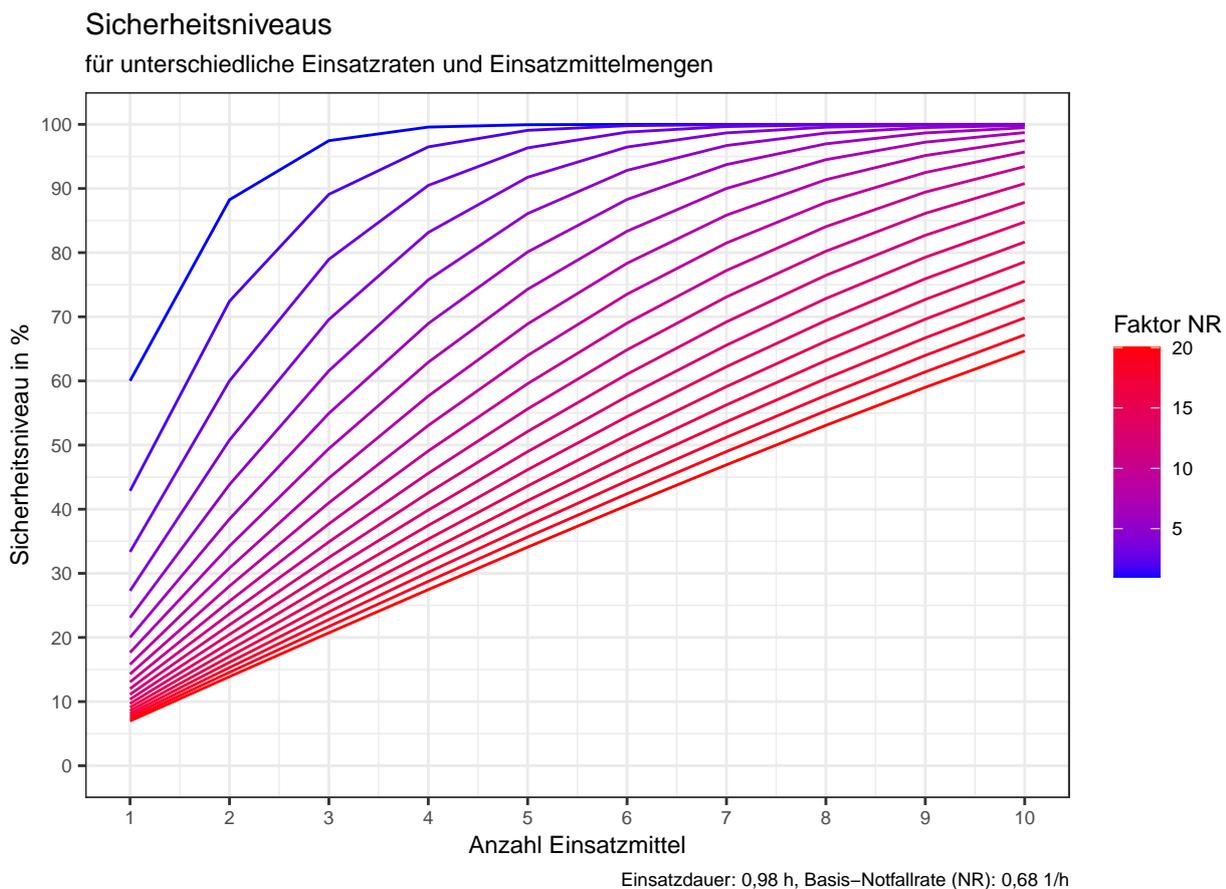


Bild 4.5: NICHTLINEARITÄT des Systems Rettungsdienst illustriert am Beispiel des Sicherheitsniveaus

Vorhaltung von nur einem Einsatzmittel keine Redundanzen im System bedeutet. Hier zeigt sich, dass das Gesamtsystem Rettungsdienst nicht die Summe seiner Teile ist.

Die Möglichkeit, Redundanzen zu nutzen, erzeugt im rettungsdienstlichen System die Eigenschaft, dass das Gesamtsystem leistungsfähiger ist, als die Summe der Einzelkomponenten des Systems. Wenn ein Einsatzmittel alleine eine Einsatzmenge von  $N$  Notfällen sofort und damit qualitätsgerecht bedienen kann, so können zwei Einsatzmittel mehr als  $2 * N$  Notfälle sofort bedienen. Dieser Effekt ist in Bild 4.7 dargestellt. Für dieses Beispiel wurde eine Einsatzdauer von 0,98 h angenommen.

Erwartungsgemäß zeigt sich mit steigender Einsatzmittelmenge auch eine im Vergleich zum linearen Modell (Ratentyp *Linear*) wachsende Kapazität zur Bedienung von Notfällen unter einem einzuhaltenden Sicherheitsniveau.

Bei hohen Einsatzmittelmengen ist ein zwar überproportionales, aber dennoch nahezu lineares Anwachsen der Bedienkapazität festzustellen (graue Linie). Bis zu einer Einsatzmittelmenge von ca. 4 Einsatzmitteln zeigt sich kein lineares Verhalten. Dieser Bereich der Einsatzmittelmenge ist allerdings für eine Vielzahl von Rettungswachen, insbesondere im

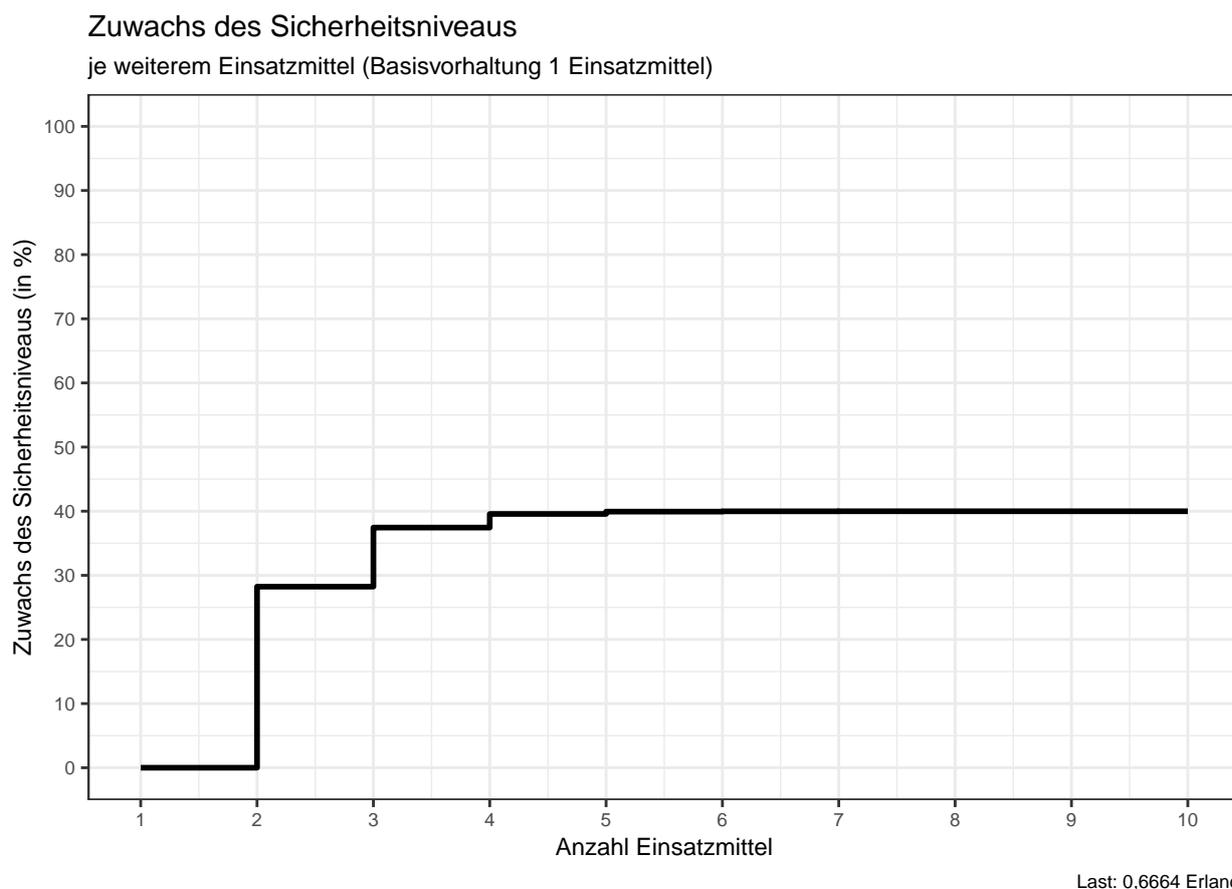


Bild 4.6: NICHTLINEARITÄT des Systems Rettungsdienst illustriert am Beispiel des Zuwachses des Sicherheitsniveaus je Einsatzmittel

ländlichen Raum, interessant.

Ein ähnlicher Effekt ist hinsichtlich der Kosten im Verhältnis zum Sicherheitsniveau festzustellen. Bild 4.6 verdeutlicht, dass der Zuwachs an Sicherheit nicht proportional mit jedem Einsatzmittel steigt, sondern sich asymptotisch einem Grenz-Sicherheitsniveau annähert. Im Allgemeinen kann jedoch für den Bau von Rettungswachen und die Beschaffung von Einsatzmitteln vereinfachend ein linearer Zusammenhang unterstellt werden. Das bedeutet, dass die Kosten je Prozentpunkt-Steigerung des Sicherheitsniveaus überproportional mit der Menge der vorgehaltenen Infrastruktur steigen. Jede weitere Rettungswache und jedes weitere Einsatzmittel erzeugt also bei linearer Steigerung der Kosten eine weniger als lineare Steigerung des Sicherheitsniveaus. Den „besten“ Kosten-Nutzen-Effekt erzeugt dabei die Einrichtung der ersten Rettungswache und die Indienststellung des ersten Einsatzmittels, da diese überhaupt erst ein Sicherheitsniveau erzeugen.

Vor dem Hintergrund der komplexen und dynamischen Eigenschaften des Systems Rettungsdienst ist eine systemische Betrachtungsweise auch hilfreich, um Systemfehler identifizieren und abstellen zu können (vgl. Perrow, 1992, S. 95 ff.).

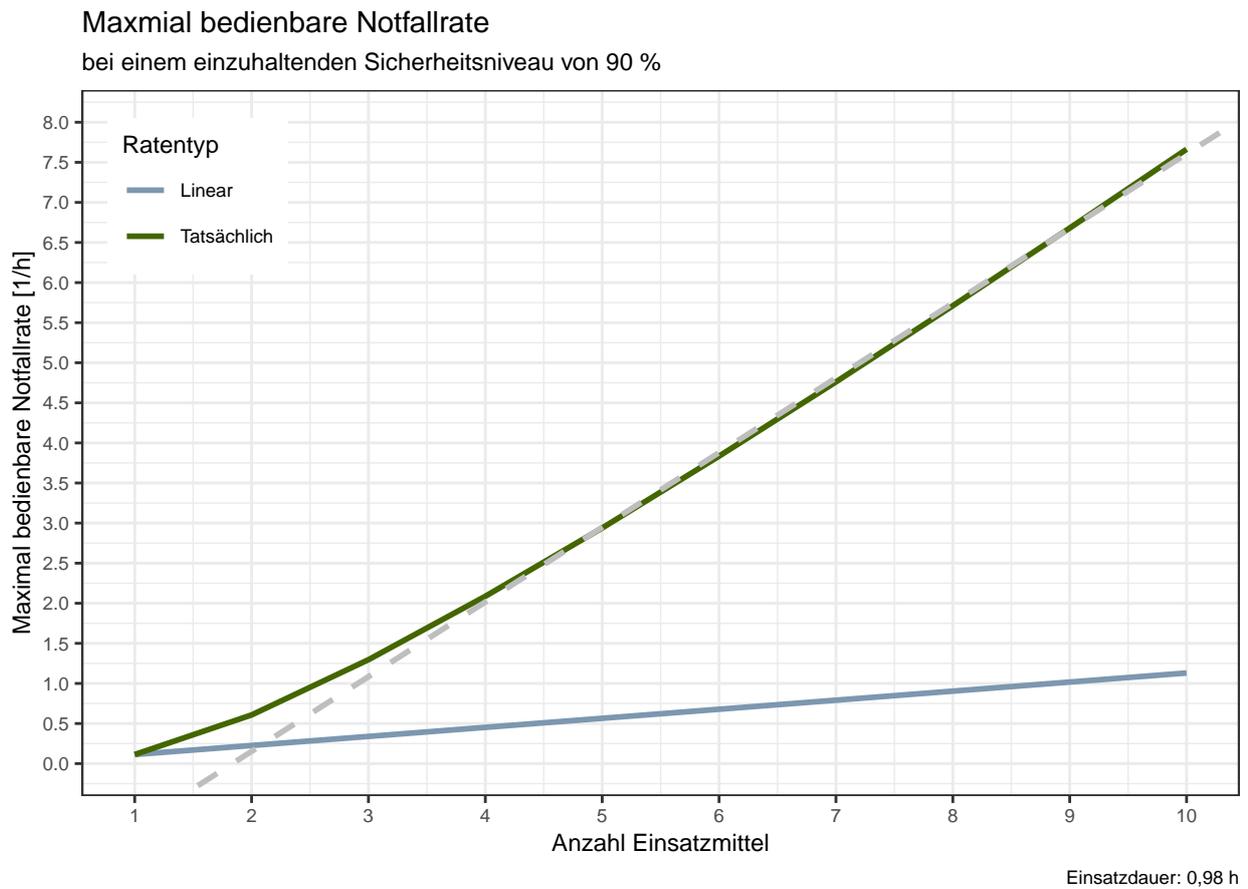


Bild 4.7: NICHTLINEARITÄT des Systems Rettungsdienst illustriert am Beispiel der maximal bedienbaren Notfälle bei 90% Sicherheitsniveau (graue Linie: Referenz lineare Steigung, Ratentyp *Tatsächlich*)

# 5 Rettungsdienstliche Systemplanung

## Inhalt

5.1	Grundlegende Systemmodellierung . . . . .	94
5.1.1	Bediensysteme als Werkzeug zur Ermittlung der Ressourcenausstattung . . . . .	95
5.1.2	Simulation des rettungsdienstlichen Systems . . . . .	97
5.2	Systemdynamik . . . . .	98
5.2.1	Grundlegende Elemente eines dynamischen Systemmodells	100
5.2.2	Qualitative Systemmodelle . . . . .	100
5.2.3	Quantitative Systemmodelle . . . . .	101
5.2.4	Herleitung und Notwendigkeit des systemischen Betrachtungsansatzes . . . . .	105
5.3	Variablen des Systems Rettungsdienst . . . . .	107
5.3.1	Grundsätzliches zur Variablendefinition . . . . .	107
5.3.2	Exogene Variablen . . . . .	108
5.3.3	Endogene Variablen . . . . .	110
5.3.4	Zusammenfassung des Variablensatzes . . . . .	111
5.4	Strukturelle Aspekte der Systemmodellierung für den Rettungsdienst	113
5.4.1	Betrachtungsebenen der Systemmodellierung . . . . .	114
5.4.2	Zeitliche Granularität und Betrachtungszeitraum des Modells	120
5.4.3	Räumliche Dimension der Systemmodellierung . . . . .	122
5.4.4	Berücksichtigung der zufälligen Natur von Notfallereignissen	123
5.4.5	Synthese der strukturellen Aspekte . . . . .	123
5.5	Das rettungsdienstliche Systemmodell . . . . .	124
5.5.1	Rettungsdienstliches Systemmodell . . . . .	124
5.5.2	Konnektoren und Modularisierung . . . . .	125
5.5.3	Ereignis-Seite des Modells . . . . .	125
5.5.4	Bedien-Seite des Modells . . . . .	128
5.6	Validierung des Systemmodells . . . . .	130
5.6.1	Validierung der Modellstruktur . . . . .	130

## 5.6.2 Validierung des Modellverhaltens . . . . . 132

Aufbauend auf den voranstehenden Kapiteln wird in diesem Kapitel ein Planungssystem entworfen, welches die systemischen Eigenschaften des Rettungsdienstes berücksichtigt. Hierzu werden zunächst Grundlagen der Systemmodellierung erläutert. Anschließend erfolgt die Auswahl eines geeigneten Modellierungsansatzes und die Modellierung des Systems. Das Kapitel schließt mit einer Validierung des Systemmodells.

## 5.1 Grundlegende Systemmodellierung

Die in Abschnitt 2.3.2 erläuterten Verfahren stellen analytische Verfahren zur Planung isolierter Bereiche des Rettungsdienstes (z. B. der Einsatzmittelvorhaltung) dar. Grundsätzlich kann der Rettungsdienst aber als ein System verstanden werden, welches auf Anfragen (Notfälle) sofort reagieren (also diese bedienen) muss. Insofern handelt es sich um ein Bediensystem (vgl. Cooper, 1981), wie es in Bild 5.1 dargestellt ist.

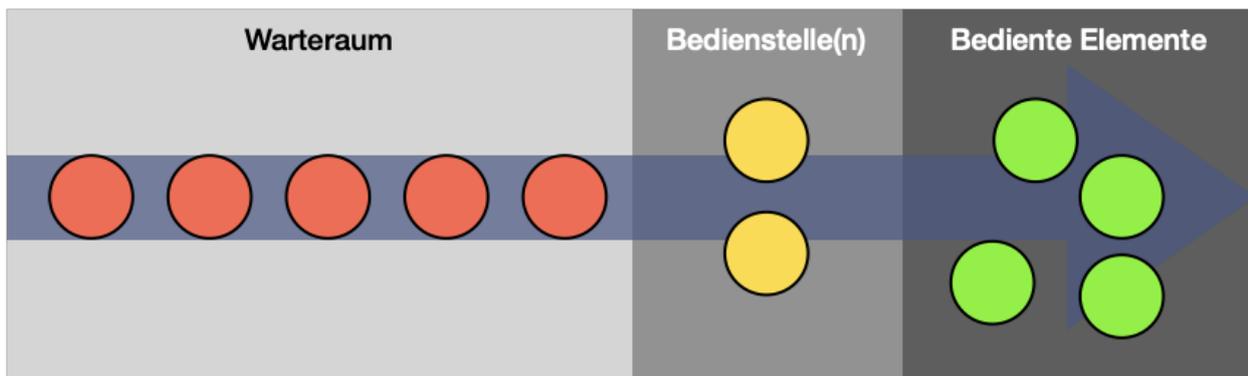


Bild 5.1: Beispiel für ein Modell eines BEDIENSYSTEMS

Der lineare Ablauf eines solchen Systems weckt Assoziationen mit der in Abschnitt 2.1 erläuterten Rettungskette.

Die Planungsherausforderung wäre umso geringer, würden Notfälle nicht zufällig im Zeitverlauf auftreten. Wie bereits im Abschnitt 2.2.3 erläutert, ist das zufällige Auftreten von Hilfeersuchen daher die zentrale Planungsherausforderung für den Rettungsdienst. Es wird nachfolgend zunächst auf analytische Methoden eingegangen, welche geeignet sind, das oben stehende, grundlegende Systemmodell abzubilden.

Bild 5.2 veranschaulicht den Effekt zufällig auftretender Ereignisse anhand deren Ankunfts- und Bedienzeitpunkten.

Eine aktuelle Übersicht über die aktuellen wissenschaftlichen Entwicklungen im Bereich

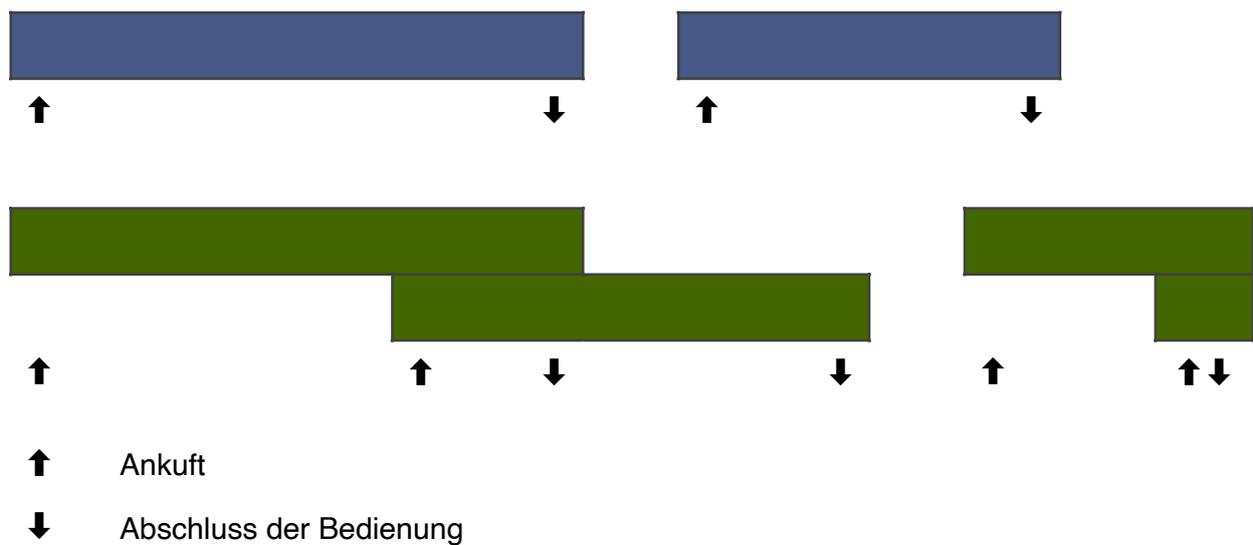


Bild 5.2: BEDIENUNG VON EREIGNISSEN Verschiedene Szenarien von Ankünften und Bedienungen

der Planung für den Rettungsdienst im internationalen Kontext geben Bélanger et al. (vgl. Bélanger, Ruiz und Soriano, 2019).

Es ist wichtig an dieser Stelle hervorzuheben, dass Spaite et al. bereits 1995 feststellen, dass weniger eine komponentenbasierte Planung als vielmehr eine systembasierte Planung im Bereich der Präklinik zielführend ist (vgl. Spaite u. a., 1995). Dennoch stellt selbst die aktuelle Zusammenstellung von Bélanger et al. (vgl. Bélanger, Ruiz und Soriano, 2019) keine konkreten Systemansätze vor. Vielmehr geschieht auch dort eine Zerlegung des Systems Rettungsdienst in einzeln zu planende Komponenten (vgl. ebd., S. 2).

### 5.1.1 Bediensysteme als Werkzeug zur Ermittlung der Ressourcenausstattung

In Abschnitt 2.2.3.2 wurde erläutert, dass das Aufkommen an Hilfeersuchen als ein Poisson-Prozess verstanden werden kann. Ziel des Einsatzes des Rettungsdienstes ist es, diesen Prozess zu kompensieren und das *System Rettungsdienst* in einen Zustand zu bringen, in welchem kein unbedientes Hilfeersuchen stattfindet.

Für einen analytischen Zugang ist es von großer Bedeutung, dass das betrachtete System sich in einem Gleichgewichtszustand befindet. Das bedeutet, dass Zuwächse und Abflüsse aus dem System über den Zeitverlauf stabil sind (der Prozess also stationär ist (vgl. Cooper, 1981, S. 19)).

Alle voranstehenden Aspekte vorausgesetzt, kann das Auftreten von Hilfeersuchen und

deren Bedienung durch den Rettungsdienst als ein Warteschlangensystem betrachtet werden. Wesentliche Parameter eines solchen Systems sind die folgenden (vgl. Cooper, 1981; Cooper, 2011)):

- Der Ankunftsprozess
- Die Kapazität der Warteschlange
- Der Bedienprozess bzw. die Verteilung der Bedienzeit
- Die Population (mögliche Hilfsersuchen)
- Die Anzahl der Bedienstellen
- Die Schlangendisziplin

Für den Anwendungsfall Notfallrettung können die folgenden Grundvoraussetzungen angenommen werden:

- Ankunftsprozess: Poisson-Verteilt
- Kapazität der Warteschlange: Unendlich
- Bedienprozess: Exponential-Verteilt
- Population: Unendlich
- Anzahl der Bedienstellen: Zu ermitteln
- Schlangendisziplin: FCFS (First Come First Serve)

Da Notfälle grundsätzlich keine Wartezeiten aufweisen sollten, ist es sinnvoll, die Kapazität der Warteschlange mit 0 anzunehmen.

Einer der Kernelemente der Bedientheorie ist der Ankunftsprozess, welcher über die Ankunftsrate  $\lambda$  (Beispiel:  $\lambda = 5 \frac{1}{h}$ ) parameterisiert wird (vgl. Cooper, 1981, S. 3).

Neben der Frage, wann und wie häufig Hilfsersuchen auftreten, ist für den Rettungsdienst auch deren Bedienung von großem Interesse. Schließlich ist es das Ziel der rettungsdienstlichen Bedarfsplanung der Fahrzeugvorhaltung zu ermitteln, wie viele Ressourcen zur Bedienung des Aufkommens der Hilfsersuchen angemessen sind. Aus diesem Grund ist auch die Bediendauer  $\tau$  (z. B. in Minuten) (vgl. ebd., S. 3) von großer Bedeutung.

Bei den Berechnungen unter Anwendung der Bedientheorie ist zwingend darauf zu achten, dass die Zeiteinheiten der Ankunftsrate  $\lambda$  und der Bediendauer  $\tau$  konsistent sind. Das bedeutet, dass bei einer Ankunftsrate von z. B. 5 pro Stunde auch Bediendauern in Stunden zur Berechnung verwendet werden müssen.

Da Notfälle unmittelbar bedient werden müssen, kann das beschriebene Systemmodell durch ein Erlang-Verlust-System wie folgt modelliert werden (vgl. Cooper, 1981, S. 81; Hillier, Lieberman und Bauer, 2002, S. 521 ff. Zimmermann, 2008, S. 415 ff.):

$$B(s, a) = \frac{\frac{a^s}{s!}}{\sum_{i=0}^s \frac{a^i}{i!}} \quad (5.1)$$

mit:

$$a = \lambda * \tau [1]$$

$$s = \text{Anzahl Bedienstellen [1]}$$

Die Blockierwahrscheinlichkeit  $B(s, a)$  gibt dabei den Anteil der nicht sofort bedienbaren Ereignisse und somit auch den Anteil der Zeit an, in welchem sich das System in Volllast befindet (vgl. Wolff, 1982). Folglich ist eine solche Modellierung geeignet, eine Planung anhand des Erreichungsgrades abzubilden.

### 5.1.2 Simulation des rettungsdienstlichen Systems

Neben einem analytischen Zugang zur Ermittlung der notwendigen und bedarfsgerechten Ausstattung des Rettungsdienstes kann ein rettungsdienstliches System auch mittels Simulation auf geeignete Parameter untersucht werden. Hierzu ist es allerdings zunächst erforderlich, ein geeignetes Modell zu erstellen, welches die beiden folgenden Kernaspekte adressiert:

- Die sinnvolle Modellierung des zugrunde liegenden Prozesses (zum Beispiel eines Einsatzablaufs).
- Die Modellierung des Zufalls als Kernaspekt der Planung (vgl. Abschnitt 2.2.3.1).

Um das Ziel der Modellierung des Zufalls zu erreichen, eignet sich das **Monte-Carlo-Verfahren** (vgl. Lemieux, 2009, S. 1). Bei diesem Verfahren werden die dem Zufall unterliegenden Parameter (z. B. die Zeit bis zum Eintreten des nächsten Hilfeersuchens) in der Simulation je Einzeldurchlauf mittels eines (Pseudo-)Zufallsgenerators erzeugt. Da jeder Einzeldurchlauf so nur eine mögliche Realisation des Prozesses darstellt, muss die Simulation häufig wiederholt werden, um z. B. über Mittelwertberechnungen Aussagen über die Zielparameter treffen zu können.

Die Abbildung des Prozesses selbst kann über eine **ereignisdiskrete Simulation** erfolgen (vgl. Gay Cabrera u. a., 2006; Rüttimann und Bildstein, 2012). Bei dieser Simulationsmethode werden die relevanten Zeitschritte eines Prozesses nacheinander durchlaufen. Zu jedem Zeitschritt wird dabei der Zustand aller Prozessparameter geprüft und ggf. neu berechnet. Hierzu ein Beispiel:

Der Prozess beginnt mit der Ankunft eines Hilfeersuchens [Ereignis 1]. Gleichzeitig wird die Ankunft des nächsten Hilfeersuchens [Ereignis 2] in 20 Minuten

gespeichert. Das aktuelle Hilfeersuchen wird sofort vom einzigen vorhandenen Einsatzmittel bedient und die Wartezeit mit 0 Sekunden gespeichert. Die Bedienung [Ereignis 3] wird mit 80 Minuten gespeichert. Anschließend springt die Simulation zum Ereignis 2, es vergehen folglich unmittelbar 20 Minuten. Nun wird geprüft, ob das Einsatzmittel verfügbar ist. Da noch 60 Minuten Bedienzeit für das erste Hilfeersuchen zu leisten sind, springt die Simulation zum Ereignis 3 und die Wartezeit des zweiten Hilfeersuchens wird mit 60 Minuten gespeichert. Anschließend wird das zweite Hilfeersuchen bedient.

Aus oben stehendem Beispiel ist bereits ersichtlich, wie Bemessungsparameter (hier z. B. die Wartezeiten) aus der Simulation extrahiert und eine Kombination mit dem Monte-Carlo-Verfahren stattfinden kann.

Anders als bei der Verwendung analytischer Verfahren sind hier keine Beschränkungen z. B. durch einen notwendigen stationären Prozess erforderlich. Die per Zufallsgenerator ermittelten Zwischenankunftszeiten können beliebig variieren. Außerdem können beliebige Abläufe simuliert werden. So kann zum Beispiel eine Strategie abgebildet werden, bei der Krankentransportwagen zunächst einen Notfalleinsatz bedienen bis ein geeignetes Rettungsmittel (z. B. Rettungswagen) verfügbar ist. Über diesen Umstand können dann auch Messwerte erhoben werden.

Listing B.1 im Anhang zeigt ein grundlegendes Beispiel für eine mögliche Simulation der Bedienung von Hilfeersuchen im Zeitverlauf. Hierbei ist zu beachten, dass die Ergebnisse der Simulation aus Listing B.1 mit denen der analytischen Lösung, wie sie weiter oben beschrieben ist, übereinstimmen.

Die Simulation mittels ereignisdiskreter Methoden stellt eine gute Alternative zu den beschriebenen analytischen Methoden dar, da die Parameter der Simulation sowie die in der Simulation berücksichtigten Prozesse theoretisch beliebig wählbar sind. Listing B.1 verdeutlicht aber auch, dass die Verständlichkeit einer solchen Simulation bei komplexeren Sachverhalten erheblich eingeschränkt sein kann (vgl. hierzu auch Tako und Robinson, 2009). Dies steht allerdings im Widerspruch dazu, dass eine rettungsdienstliche Systemplanung Verständnis für das System schaffen soll, um allen Beteiligten tragbare Lösungen präsentieren zu können.

## 5.2 Systemdynamik

Eine Alternative zu ereignisdiskreten Simulationsverfahren stellt die Systemdynamik dar. In dieser von Jay Forrester begründeten Methode (vgl. Forrester, 1972) steht insbesondere

das Langzeitverhalten eines dynamischen Systems im Vordergrund. Systeme in der Systemdynamik sind geprägt von unterschiedlichen Wechselwirkungen, welche sich aus einer Verkettung von sog. *Leveln* (mitunter auch als Stack oder Stock bezeichnet) und *Flows* (mitunter auch als Rate bezeichnet) ergeben. Die Level eines solchen Systems stellen (mitunter zeitdiskrete) Systemzustände dar, welche eine Untersuchung des Systems zu unterschiedlichen Zeitpunkten möglich machen (vgl. Sterman, 2000, S. 191). Die Flows hingegen stellen Zu- und Abflüsse für die Level zur Verfügung. Entscheidungen, welche das System betreffen, werden in den Zufluss- und Abflussraten abgebildet (vgl. ebd., S. 191).

Vester stellt mit seinem Sensitivitätsmodell (vgl. Vester, 2015) einen ähnlichen Ansatz dar. Allerdings unterscheidet er nicht zwischen unterschiedlichen Typen von Variablen innerhalb des modellierten Systems. Der Ansatz ist somit vergleichbar mit dem der qualitativen Systemmodelle, wie er in Abschnitt 5.2.2 noch beschrieben wird.

Tako und Robinson vergleichen den Ansatz der Systemdynamik (System Dynamics) mit dem der ereignisdiskreten Simulation (vgl. Tako und Robinson, 2009), wie er z. B. von Cabrera et al. zu Zwecken der Rettungsdienstbedarfsplanung vorgeschlagen wird (vgl. Gay Cabrera u. a., 2006). Tabelle 5.1 zeigt die von Tako et al. identifizierten Unterschiede zwischen einem ereignisdiskreten und einem dynamischen Systemmodell (vgl. Tako und Robinson, 2009, S. 6). Als Gemeinsamkeiten werden sowohl die Glaubhaftigkeit der Modelle als auch deren Eignung als Kommunikationswerkzeug herausgestellt.

Tabelle 5.1: VERGLEICH der ereignisdiskreten Simulation mit der Systemdynamik

<b>Nutzen</b>	<b>Ereignisdiskrete Simulation</b>	<b>Systemdynamik</b>
Modellverständnis	Zugrundeliegende Mechanik schwer verständlich.	Transparentes Modell.
Animation	Animationen und Grafikwerkzeuge helfen beim Verständnis.	Keine Animation. Visuelle Darstellung des Modells hilft beim Verständnis.
Detailltiefe	Fokus auf (komplexen) Details.	Fokus auf der Dynamik des Modells.
Feedback	Keine expliziten Feedback-Mechanismen.	Feedback-Mechanismen werden offensichtlich.
Lernwerkzeug	Weniger als Lernwerkzeug eingesetzt.	SD-Modelle können als Lernlabore dienen.

Fortsetzung auf Folgeseite

Fortsetzung von Vorseite

Nutzen	Ereignisdiskrete Simulation	Systemdynamik
Strategisches Denken	Überwiegend als operativ/taktische Werkzeuge eingesetzt.	Als strategische Werkzeuge eingesetzt.
Art der Ergebnisse	Statistisch valide Werte zur Systemperformanz	Gesamtbild des Systems. Modellergebnisse fördern das konzeptionelle Lernen.
Interpretation der Ergebnisse	Schwierig, da der Nutzer statistisches Verständnis haben muss.	Leicht zu interpretieren.
Ergebnisse	Zufällige Variation der Ergebnisse wird offensichtlich.	Grundsätzlich deterministische Ergebnisse, welche die Wirkbeziehungen unter den Systemelementen beinhalten.

### 5.2.1 Grundlegende Elemente eines dynamischen Systemmodells

Die grundlegenden Elemente eines dynamischen Systems bilden Variablen und deren Zusammenhänge bzw. gegenseitige Beeinflussungen. Dadurch, dass Kreisbeziehungen erkannt und modelliert werden können, können auch nicht-lineare Beziehungen von Variablen untereinander abgebildet werden. Auf diese Weise entstehen unterschiedliche Effekte, wie z. B. Regelkreise, eskalative Prozesse oder Verzögerungen im System (vgl. Sterman, 2000, S. 108 ff.).

Systemmodelle in der Systemdynamik werden in qualitative (Causal-Loop) (vgl. ebd., S. 137 ff.) und quantitative (Stock-and-Flow) Modelle (vgl. ebd., S. 191 ff.) unterschieden.

### 5.2.2 Qualitative Systemmodelle

Der Zweck eines qualitativen Modells ist es, zunächst das Wesen des zu modellierenden Systems inkl. der kennzeichnenden Wechselwirkungen zu verstehen. Wie schon erläutert, wurde dieser Ansatz unter anderem von Vester in seinen Arbeiten verwendet (Vester, 1990; Vester, 2015). Ein qualitatives Systemmodell wird als *Causal-Loop-Diagramm* bezeichnet, da Ursache-Wirkungs-Beziehungen auf einer allgemeinen Ebene modelliert werden (vgl. Sterman, 2000, S. 137 ff.).

Die für ein qualitatives Systemmodell identifizierten Variablen werden über Pfeile miteinander verbunden, welche die Wirkbeziehung bzw. die Ursache-Wirkungs-Richtung angeben. Die Tatsache, dass ein solches Modell eine Ursache-Wirkungs-Richtung abbilden kann, ist ein wesentlicher Vorteil bei der Modellierung und unterscheidet dieses Vorgehen erheblich von Methoden wie z. B. dem Maschinen-Lernen, welches bislang nicht in der Lage ist, Ursache-Wirkungs-Richtungen zu erkennen (vgl. Pearl und Mackenzie, 2018, S. 36 ff.). Die Ursache-Wirkungs-Richtung kann weiter qualifiziert werden, indem festgelegt wird, ob die beiden verbundenen Variablen sich paarläufig oder gegenläufig verhalten (vgl. Sterman, 2000, S. 139).

Ein Beispiel für paarläufiges Verhalten ist die Ursache-Wirkungs-Beziehung der Variablen *Anzahl Einsatzmittel* und *Sicherheitsniveau*. Je mehr Einsatzmittel vorgehalten werden, umso höher ist das entsprechende Sicherheitsniveau. Gegenläufiges Verhalten in der Ursache-Wirkungs-Beziehung zeigt sich jedoch bei den Variablen *Kosten* und *Anzahl Einsatzmittel*. Je höher die Kosten sind, umso geringer muss die Anzahl der Einsatzmittel sein. In der Realität pendelt sich die Anzahl der Einsatzmittel bei einem für das System typischen Wert ein. Dies gilt allerdings nur unter der realistischen Annahme, dass die Kosten nicht unendlich steigen dürfen. Aus diesem Grund müssen zur transparenten Modellierung des Modells weitere Variablen, nämlich die *verfügbaren Mittel* (gegenläufig zu den Kosten) und die *Beschaffung neuer Einsatzmittel* (paarläufig zu den verfügbaren Mitteln und der Anzahl der Einsatzmittel) berücksichtigt werden.

Bild 5.3 zeigt ein Beispiel für ein qualitatives Causal-Loop-Modell, in welchem die oben beschriebenen Wechselwirkungen dargestellt sind. Aus diesem Beispiel wird ersichtlich, wie mittels eines qualitativen Causal-Loop-Modells der Einfluss von Kosten und Budgets auf das Sicherheitsniveau im Rettungsdienst modelliert werden kann.

Der Vorteil eines qualitativen Systemmodells liegt insbesondere darin, dass ein tieferes Verständnis für das System selbst und die im System wirkenden Prozesse geschaffen wird. In o. s. Beispiel sind so z. B. Möglichkeiten ableitbar, welche dennoch eine Steigerung des Sicherheitsniveaus ermöglichen würden. So können z. B. die verfügbaren Mittel aus anderen Quellen erhöht oder die mit der Vorhaltung von Einsatzmitteln verbundenen Kosten reduziert werden.

### 5.2.3 Quantitative Systemmodelle

Ein qualitatives Modell kann in ein quantitatives Modell übersetzt werden. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn tiefere Systemanalysen durchgeführt werden sollen und quantitative Aussagen zum Systemverhalten und dessen Einflussfaktoren gewünscht sind.

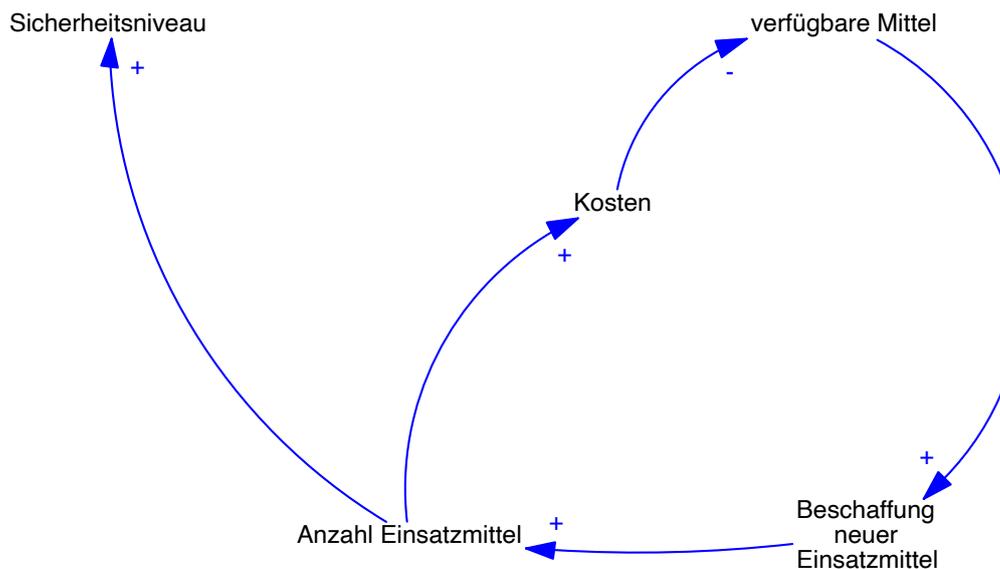


Bild 5.3: BEISPIEL für ein einfaches qualitatives Causal-Loop Modell

Am Beispiel in Bild 5.3 wird klar, dass es wünschenswert ist, festzustellen, in welchem Ausmaß eine Veränderung der Anzahl der Einsatzmittel einen Einfluss auf das Sicherheitsniveau und die Kosten hat. Über diese Kenntnisse wäre es dann möglich, die mit einem Ziel-Sicherheitsniveau verbundenen Kosten zu identifizieren und so die notwendigen verfügbaren Mittel abzuleiten.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird das Modell in Form eines Gleichungs-Systems abgebildet. Die Modellierung beinhaltet die hierzu erforderlichen Elemente (vgl. Sterman, 2000, S. 194; Forrester, 2013, S. 73 ff.).

### 5.2.3.1 Elemente des quantitativen Modells

Die beiden wesentlichen Kernelemente eines quantitativen dynamischen Systemmodells sind *Levels* (Lager) und *Flows* (Flussraten) (vgl. Sterman, 2000, S. 191). Im Rahmen der Modellierung ist ein Augenmerk darauf zu legen, dass die zu modellierenden Variablen korrekt als Flow oder Level abgebildet werden. Der Grund hierfür liegt in der Simulation des Zeitverlaufs, welche zentraler Gegenstand des Modells ist. Daher muss streng unterschieden werden, welche der Variablen eines Modells im Zeitverlauf Werte akkumulieren (Level) und welche der Variablen im Zeitverlauf diese Akkumulation beeinflussen (Flow) (vgl. ebd., S. 191).

Ein Level repräsentiert einen Systemzustand zu einem beliebigen Zeitpunkt  $T$  und kann ausschließlich über Flows kontrolliert werden, welche den Zu- und Abfluss von beliebigen Artefakten (z. B. Objekten, Informationen, Personen, Einsätzen) in den Level sicherstellen (vgl. ebd., S. 204). Anschaulich formuliert handelt es sich bei einem Level um eine „Ba-

dewanne“, deren Wasserstand über einen Zu- und Abfluss gesteuert wird (vgl. ebd., S. 194). Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass ein Level grundsätzlich auch negative Werte annehmen kann (z. B. bei der Modellierung eines Kontostandes). Im Beispiel in Bild 5.3 sind die *Anzahl der Einsatzmittel* und die *verfügbaren Mittel* Levels, welche in einem quantitativen System enthalten sein müssen.

Anders als ein Level hat ein Flow keinen gültigen Wert zu einem beliebigen Zeitpunkt  $T$ . Es handelt sich vielmehr um die Repräsentation einer Zufluss- bzw. Abflussrate (vgl. ebd., S. 197 ff.). Allerdings kann auch ein Flow beliebige Artefakte in Form einer Rate abbilden (z. B. Objekte/Woche, Informationen/Tag, Personen/Jahr oder Einsätze/Stunde). Bei der Modellierung ist darauf zu achten, dass die gewählten Einheiten für die verbundenen Flows und Levels hinsichtlich ihrer zeitlichen Dimension kongruent sind (vgl. ebd., S. 198). Im Beispiel in Bild 5.3 sind die *Beschaffung neuer Einsatzmittel* sowie die *Kosten* Flows, da diese einen Zufluss an Einsatzmitteln bzw. einen Abfluss an Geld je Zeitschritt erzeugen.

Bild 5.4 zeigt ein Beispiel für ein einfaches Stock-and-Flow-Modell, welches aus zwei Flows und einem Level besteht (vgl. ebd., S. 193).

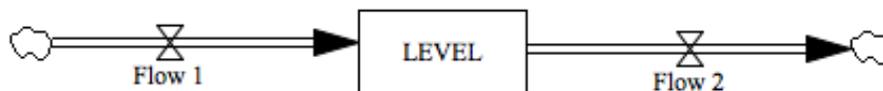


Bild 5.4: BEISPIEL für ein einfaches quantitatives Stock-and-Flow-Modell

Neben Levels und Flows stellen Variablen ein weiteres wichtiges Element von quantitativen Systemmodellen dar (vgl. Forrester, 2013, S. 83). Anders als Level können Variablen keine Werte im Zeitverlauf ansammeln und anders als Flows können Variablen auch keinen Zu- oder Abfluss im Zeitverlauf erzeugen (vgl. Sterman, 2000, S. 202 ff.). Dennoch beeinflussen Variablen in erheblichem Maße die Wirkweise eines Systemmodells und können ebenfalls über andere Variablen, Level oder Flows im Modell beeinflusst werden. Im Beispiel in Bild 5.3 ist das Sicherheitsniveau eine Variable, welche im Zeitverlauf einen spezifischen Wert annimmt. Dieser Wert lässt sich allerdings nicht allein aus der Anzahl der Einsatzmittel ermitteln, sondern muss über weitere Systemkomponenten abgebildet werden. Das Sicherheitsniveau wird hier definiert als der Quotient aus der Anzahl der zeitgerecht erreichten Einsätze und aller Einsätze eines Zeitraums. Hierbei beeinflusst die Anzahl der Einsatzmittel die Anzahl der zeitgerecht erreichten Einsätze.

Bild 5.5 zeigt das in Bild 5.3 dargestellte Beispiel als Stock-and-Flow-Modell. Es wird direkt ersichtlich, dass die Komplexität des Modells zugenommen hat, um die korrekten, im Causal-Loop-Modell nur skizzierten, Beziehungen zu modellieren.

Die bereits erwähnten Level und Flows sind im Diagramm gut ersichtlich. Es fällt zudem auf,



zu verstehen.

### 5.2.3.2 Dynamische Systeme als Gleichungs-Systeme

Um quantitative Aussagen über einen Systemzustand über einen Zeitverlauf treffen zu können, müssen die im System enthaltenen Variablen und Beziehungen in Gleichungssysteme übersetzt werden. Auf diese Weise können für die einzelnen zu simulierenden Zeitschritte Aussagen über den jeweiligen quantitativen Systemzustand getroffen werden (vgl. ebd., S. 195).

Im Gegensatz zu vielen anderen Simulationsmethoden werden in der Systemdynamik keine diskreten Zeitschritte, sondern eine kontinuierlich fortlaufende Zeit verwendet. Dennoch muss die Berechnung der unterschiedlichen Systemzustände in diskreten Intervallen  $dt$  erfolgen. Um hierbei die Werte für einen Level korrekt ermitteln zu können, ohne die kontinuierliche Zeiteigenschaft zu verlieren, werden die Level in Abhängigkeit der Zu- und Abflüsse als Integrale errechnet: (vgl. Forrester, 2013, S. 73; Sterman, 2000, S. 194)

$$Level = \int_0^t (Flow_{in} - Flow_{out}) dt \quad (5.2)$$

Um für jeden Zeitschritt das Gleichungssystem korrekt zu lösen, ist es erforderlich, dass eine korrekte Berechnungssequenz eingehalten wird. Diese lautet wie folgt:

- Berechnung der Level mittels Integration (s. o.) zum Zeitpunkt  $J$
- Berechnung der Variablen zum Zeitpunkt  $J$
- Berechnung der notwendigen Änderungen an den Flows.
- Berechnung der Level zum Zeitpunkt  $J + dt$
- ...

### 5.2.4 Herleitung und Notwendigkeit des systemischen Betrachtungsansatzes

In den voranstehenden Kapiteln wurde bereits erläutert, auf welche Weise der Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland aktuell geplant wird, wie diese Planungen auf die tatsächlichen Gegebenheiten reagieren und was den Rettungsdienst zu einem soziotechnischen System macht.

Zur Betrachtung eines solchen Systems können drei Ebenen herangezogen werden (vgl. Senge, 2017, S. 69):

- Einzelne Ereignisse (aktuelle Situation)
- Erkennbare Verhaltensmuster (Trends, Saisonalität etc.)
- Das zugrundeliegende System (Ursachen)

Aktuelle Planungen im Rettungsdienst geschehen vornehmlich auf der Ebene einzelner Ereignisse (z. B. das Einsatzgeschehen eines Jahres). Hierauf bauen Entscheidungen auf, z. B. ob eine Anpassung der Einsatzmittelvorhaltung und somit des Personalstamms erforderlich ist oder ob neue Rettungswachen gebaut werden sollten.

Selten werden Verhaltensmuster in die Planung mit einbezogen (vgl. Abschnitt 2.3). Bei einer Planung über einen 5-Jahres-Zeitraum ist es zum Beispiel interessant, wie sich die Einsatzhäufigkeit über diesen Zeitraum entwickeln wird (Trend) oder ob zu bestimmten Jahreszeiten eine Anpassung der Vorhaltung erfolgen muss (Saisonalität). Die Berücksichtigung solcher Effekte geschieht auf der Ebene von Verhaltensmustern.

Bisher gänzlich unbeachtet in den Planungen bleibt die Systemebene (vgl. Abschnitt 2.3), obwohl sie hinsichtlich einer nachhaltigen Planung die relevanteste Ebene darstellt. Eine Planung auf der Systemebene berücksichtigt z. B. Effekte durch die Schließung von Krankenhäusern im ländlichen Raum. Solche Effekte lassen sich weder auf der Ereignis-Ebene noch auf der Ebene der Verhaltensmuster erkennen, da sie nämlich noch nicht eingetroffen sind. Dennoch ist leicht ersichtlich, dass mögliche Auswirkungen einfach abgeleitet werden können. So führt z. B. besagte Schließung von Krankenhäusern zwangsläufig zu einer Verlängerung der Transportdauern in den betroffenen Bereichen (vorausgesetzt, es werden keine alternativen Transportlösungen gefunden).

Die rettungsdienstliche Systemplanung muss auf allen drei der genannten Ebenen stattfinden. Die Betrachtung des Systems gibt Auskunft über komplexe Zusammenhänge und Dynamiken, welche Trends und Entwicklungen auf der Verhaltensmuster-Ebene beeinflussen. Jedoch müssen auch Verhaltensmuster berücksichtigt werden, welche nicht aus der Systembeschreibung heraus erklärt werden können. Beispiele hierfür sind die Verhaltensmuster aufgrund der Einflussfaktoren *Demographischer Wandel* und *Klimawandel*, welche eigenen komplexen Systemen unterliegen. Gegenstand der Implementierung einer Systemkonfiguration ist schließlich die Ereignis-Ebene, wobei jedoch durch Berücksichtigung der anderen Ebenen diese implizit in der unterstellten Ereignis-Situation enthalten ist. Dieser Rückfall auf die Ereignis-Ebene ist jedoch notwendig, um konkrete Maßnahmen ableiten zu können. So muss zur Bemessung notwendiger Einsatzmittel eine (!) Einsatzlast unterstellt werden (vgl. Abschnitt 2.3.3).

## 5.3 Variablen des Systems Rettungsdienst

Aus den Ausführungen in Kapitel 2 zu den Grundlagen des Rettungsdienstes und Kapitel 3 zur aktuellen Situation des Rettungsdienstes lassen sich Variablen ableiten, die für die Planung des Rettungsdienstes relevant sind. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen exogenen und endogenen Variablen. Während exogene Variablen im Rahmen der Planung nicht beeinflusst werden können (z. B. Vorgaben zur Hilfsfristerreichung oder die demographische Situation im Planungsbereich), kann auf endogene Variablen Einfluss genommen werden (z. B. die Anzahl der vorzuhaltenden Einsatzmittel). Das Ziel der Planung muss es somit sein, die endogenen Variablen so einzustellen, dass der Rettungsdienst leistungsfähig und wirtschaftlich betrieben werden kann.

### 5.3.1 Grundsätzliches zur Variablendefinition

Für das Verständnis eines Systemmodells sowie der Variablen, welche dieses Modell bedingen und der Rückschlüsse, welche aus dem Modell gezogen werden, sind eindeutige Bezeichnungen der verwendeten Variablen, aber auch der Variablen-Typen wichtig. Als Beispiel ist die Variablenbezeichnung *Eintreffzeit* ohne weitere Typisierung der Bezeichnung mehrdeutig, denn sie kann sowohl den Zeitpunkt des Eintreffens als auch die Zeit, welche ab einem Startzeitpunkt bis zum Eintreffen vergeht, bezeichnen. Um diesen Mehrdeutigkeiten vorzubeugen, werden nachfolgend Bezeichnungsregeln zur Typisierung von Variablen zur Planung des Rettungsdienstes definiert.

#### 5.3.1.1 Zeitpunkte

Die Silbe *-zeit* bezeichnet einen Zeitpunkt. Im oben stehenden Beispiel kennzeichnet nach dieser Regel die *Eintreffzeit* den Zeitpunkt des Eintreffens eines Einsatzmittels am Einsatzort.

#### 5.3.1.2 Dauern

Die Silbe *-dauer* bezeichnet eine Zeitspanne, welche zwischen zwei Zeitpunkten vergeht. Die Dauer von der Alarmierung eines Einsatzmittels bis zu seinem Eintreffen am Einsatzort wird folglich als *Eintreffdauer* bezeichnet.

### 5.3.1.3 Fristen

Die Silbe *-frist* bezeichnet zeitliche Zielvorgaben, welche sich auf eine Dauer beziehen. Ein Beispiel hierfür ist die Hilfs*frist*, welche eine rechtlich normierte Zielvorgabe für das Eintreffen des Rettungsdienstes in der Notfallrettung darstellt.

### 5.3.1.4 Mengen

Die Silbe *-menge* bezeichnet die Anzahl von etwas zu einem bestimmten Zeitpunkt, so zum Beispiel die Notfall*menge*, welche sich zum aktuellen Zeitpunkt in Bedienung befindet oder die Menge an Rettungswachen, Einsatzmitteln und Krankenhäusern, welche das System Rettungsdienst ausmachen.

### 5.3.1.5 Raten

Die Silbe *-rate* bezeichnet eine Menge pro Zeitintervall, so gibt zum Beispiel die Notfall*rate* Notfälle je Stunde wieder.

### 5.3.1.6 Zusammenhänge zwischen Raten, Dauern und Erreichungsgraden

Sofern sie sich auf den gleichen Sachverhalt beziehen, können Raten und Dauern als unterschiedliche Darstellungen des gleichen Sachverhalts gesehen werden. Die Rate  $0,5 \frac{1}{\text{Stunde}}$  ist der Kehrwert der Dauer 2 Stunden ( $\frac{1}{2} = 0,5$ ). Das bedeutet, dass zwischen zwei Ereignissen mit einer Rate von  $0,5 \frac{1}{h}$  im Mittel zwei Stunden vergehen.

Sofern die Ereignisse, welche durch unterschiedliche Raten beschrieben werden, voneinander unabhängig sind, können die Raten dieser Ereignisse addiert bzw. subtrahiert werden (vgl. Mochon, 1993). Das bedeutet, dass die zulässige Rate von Notfallereignissen, welche nach den Qualitätsvorgaben bedient werden muss, als Produkt der Notfallrate und des Ziel-Erreichungsgrades errechnet werden kann.

## 5.3.2 Exogene Variablen

Exogene Variablen sollen solche Variablen sein, welche nicht innerhalb des definierten Systems verändert werden können und somit eine Stellgröße für das Modell darstellen.

### 5.3.2.1 Notfallrate einer Region

Bei dieser Variable handelt es sich um eine exogene Variable, da seitens des Rettungsdienstes keine Möglichkeit besteht, die Notfallrate zu beeinflussen. Die Notfallrate unterliegt räumlichen und zeitlichen Schwankungen, weswegen eine regionale Darstellung (z. B. auf der Ebene eines Rettungswachenversorgungsbereiches) und eine zeitliche Auflösung im Stundenverlauf sinnvoll sind.

Die Variable *Notfallrate einer Region* ( $R_{Notfaelle}$ ) hat die Dimension  $[\frac{1}{T}]$ .

### 5.3.2.2 Hilfsfrist, Ziel-Erreichungsgrad und zulässige Anzahl der Hilfsfristüberschreitungen

Sowohl die Hilfsfrist als auch der Ziel-Erreichungsgrad werden in den meisten Bundesländern gesetzlich vorgegeben. Teilweise finden sich auch gestaffelte Anforderungen, wie zuvor z. B. für das Land Mecklenburg-Vorpommern erläutert wurde.

Sowohl bei der Variable *Hilfsfrist* als auch bei der Variable *Ziel-Erreichungsgrad* handelt es sich um Planungsziele, welche durch das Planungsvorgehen und die anschließende Umsetzung der Planung erreicht werden sollen. Eine Änderung der vorgegebenen Werte im Rahmen der Planung ist nicht zulässig, weswegen diese Variablen als exogen definiert werden.

Die Variable *Hilfsfrist* ( $T_{HF}$ ) hat die Dimension *Zeit* [T].

Die Variable *Ziel-Erreichungsgrad* ( $EG_{Ziel}$ ) hat die Dimension *Zahl* [1] und bezeichnet den Anteil aller relevanten Einsätze einer Region und eines Zeitbereichs, bei welchem die vorgegebene Hilfsfrist mit einem geeigneten Einsatzmittel eingehalten wurde.

Aus der Variable *Ziel-Erreichungsgrad* kann die exogene Variable *Zulässige Anzahl der Hilfsfristüberschreitungen je Zeitraum* ( $R_{Ueberschreitung}$ ) wie folgt berechnet werden:

$$R_{Ueberschreitung} = 1 - (EG_{Ziel} * N_{Notfaelle}) \quad (5.3)$$

### 5.3.2.3 Dispositionsdauer

Die Dispositionsdauer ( $D_{Disposition}$ ) bezeichnet die Dauer vom Eingang eines Notrufs bis zur Alarmierung des Einsatzmittels. Diese Variable kann zwar durch die Leitstelle, nicht jedoch durch anderen Komponenten des Rettungsdienstes beeinflusst werden.

Die Variable *Dispositionsdauer* ( $D_{Disposition}$ ) hat die Dimension *Zeit* [T].

#### 5.3.2.4 Anfahrdauer, Transportdauer und Einrückdauer

Die Variablen *Anfahrdauer*, *Transportdauer* und *Einrückdauer* sind sämtlich von der Infrastruktur im betrachteten Bereich abhängig. Hierzu zählt neben der Verkehrsinfrastruktur auch die notfallmedizinische Infrastruktur in Form von Rettungswachen und Krankenhäusern, wie Bild 4.1 auf Seite 80 verdeutlicht.

Die Variablen *Anfahrdauer* ( $D_{Anfahrt}$ ), *Transportdauer* ( $D_{Transport}$ ) und *Einrückdauer* ( $D_{Einruecken}$ ) haben jeweils die Dimension *Zeit* [T].

#### 5.3.2.5 Verweildauer am Zielort

Die Variable *Verweildauer am Zielort* bezeichnet das Zeitintervall, welches ein Einsatzmittel am Zielort, im überwiegenden Teil der Fälle dem Krankenhaus, verbringt. Diese Variable ist abhängig von der Art des Notfalls (komplexere Notfälle benötigen mitunter längere Übergabegespräche) und der Aufnahmekapazität der aufnehmenden Einrichtung (muss z. B. auf einen verantwortlichen Arzt gewartet werden).

Die Variable *Verweildauer am Zielort* ( $D_{VerweildauerZO}$ ) hat die Dimension *Zeit* [T].

### 5.3.3 Endogene Variablen

Endogene Variablen sollen solche Variablen sein, welche innerhalb des Systems beeinflusst werden können. Das Ziel einer Systemplanung ist es dann, optimale Größen für diese Variablen zu finden.

#### 5.3.3.1 Rettungswachenmenge (Anzahl der Rettungswachen)

Die Variable *Rettungswachenmenge* bezeichnet die Anzahl der Rettungswachen in einer Region. Da für jede Rettungswache mindestens ein Einsatzmittel vorgesehen sein sollte, beeinflusst diese Variable auch die Einsatzmittelmenge. Ebenso ist die Rettungswachenmenge eine wichtige Variable zur Definition der rettungsdienstlichen Infrastruktur und beeinflusst so relevante Fahrzeiten wie die Anfahrdauer und die Einrückdauer.

Die Variable *Rettungswachenmenge* ( $N_{Rettungswachen}$ ) hat die Dimension *Zahl* [1].

#### 5.3.3.2 Einsatzmittelmenge (Anzahl der vorgehaltenen Einsatzmittel)

Die Variable *Einsatzmittelmenge* bezeichnet die Anzahl der vorgehaltenen Einsatzmittel und ist somit die Kernvariable zur Beschreibung der rettungsdienstlichen Reaktionsfä-

higkeit. Da je Rettungswache mindestens ein Einsatzmittel vorgehalten werden soll, kann die Einsatzmittelmege aus der Rettungswachenmenge über die Formel  $N_{Einsatzmittel} = N_{Rettungswachen} * (1 + c)$  errechnet werden. Hierbei gilt, dass  $c > 0$ , wenn auf mindestens einer Rettungswache mehr als ein Rettungsmittel vorgehalten wird.

Die Variable *Einsatzmittelmenge* ( $N_{Einsatzmittel}$ ) hat die Dimension Zahl [1].

### 5.3.3.3 Ausrückdauer

Die Variable *Ausrückdauer* bezeichnet das Zeitintervall von der Alarmierung des Einsatzmittels bis zu seinem Ausrücken. Diese Variable wird als endogene Variable klassifiziert, da die Ausrückdauer in weiten Teilen von der Struktur einer Rettungswache und der Alarmierungswege abhängt.

Die Variable *Ausrückdauer* ( $D_{Ausruecken}$ ) hat die Dimension *Zeit* [T].

### 5.3.3.4 Verweildauer am Einsatzort

Die Variable *Verweildauer am Einsatzort* bezeichnet das Zeitintervall, welches ein Einsatzmittel an einer Einsatzstelle verbringt. Diese Variable ist abhängig von anzuwendenden Vorgaben (z. B. Behaltungsstandards), der Qualifikation der Einsatzkräfte und dem Einsatzbild inklusive der Situation vor Ort.

Die Variable *Verweildauer am Einsatzort* ( $D_{VerweildauerEO}$ ) hat die Dimension *Zeit* [T].

## 5.3.4 Zusammenfassung des Variablensatzes

Bild 5.6 zeigt eine Übersicht über die oben beschriebenen Variablen und deren Zusammenhänge.

Aus Bild 5.6 wird bereits die dynamische Struktur des Systems Rettungsdienst deutlich. Hierbei ist zu beachten, dass die dargestellten Variablen lediglich die im System enthaltenen Variablen sind. Im nachfolgenden Abschnitt wird daher die aktuelle Situation des Rettungsdienstes in einem weiteren Kontext beleuchtet, um Einflussfaktoren auf den gezeigten Variablensatz zu definieren.

Zentrale Leistungsparameter sind die Reaktionszeiten im Rettungsdienst, allen voran die Hilfsfrist. In engem Zusammenhang hiermit steht der Erreichungsgrad, also der Anteil der Einsätze, in welchem die zeitliche Vorgabe durch ein geeignetes Einsatzmittel erfüllt wurde.

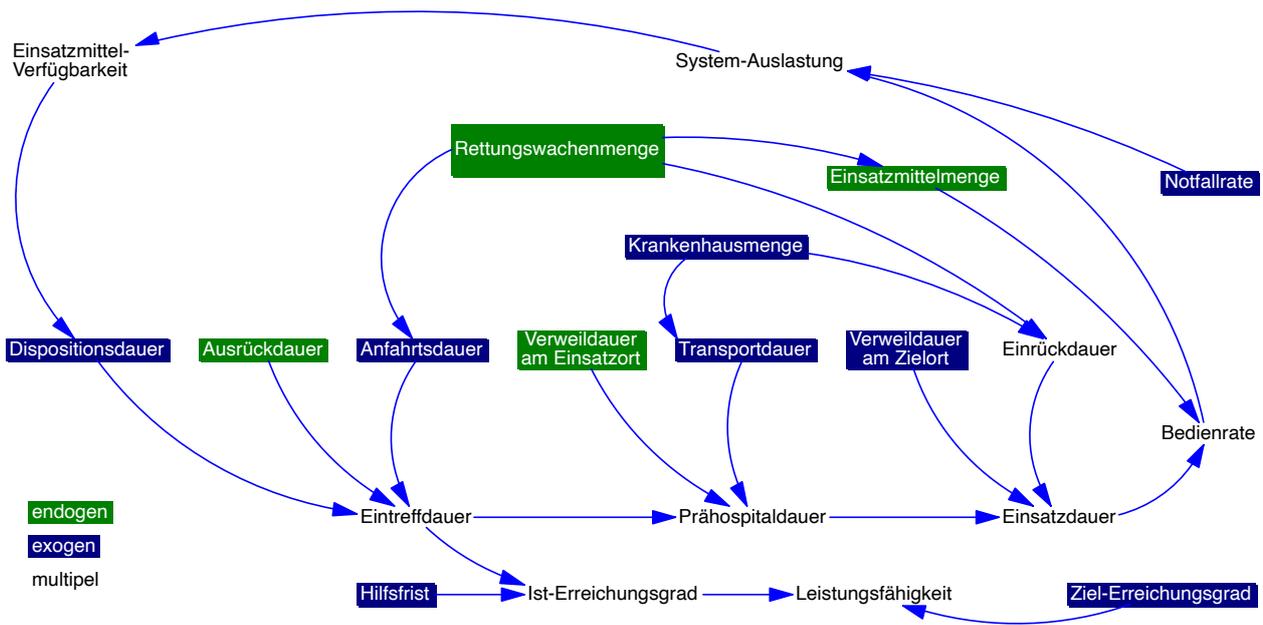


Bild 5.6: VARIABLENSATZ der Regelgrößen im Rettungsdienst

Es fällt auf, dass die Bewertung der Leistungsfähigkeit nicht bivalent ist. Zwar werden Zielerreichungsgrade genannt, ab welchem ein Rettungsdienst als ausreichend leistungsfähig gilt (z. B. 90 %), dennoch erfolgt auch eine Bewertung der tatsächlichen Erreichungsgrade in verschiedenen Abstufungen, so z. B. durch Bildung von Rangfolgen anhand tatsächlicher Erreichungsgrade. Dieser Effekt lässt den Schluss zu, dass das rettungsdienstliche System möglicherweise nicht trivial in die Klassen *leistungsfähig* und *nicht-leistungsfähig* eingeteilt werden kann, sondern Verfahren gefunden werden müssen, welche weitere Abstufungen erlauben. Es ist dann zu klären, wie diese Abstufungen in die bivalente Entscheidungssituation *Handeln oder Nicht-Handeln* übersetzt werden kann.

Der Aspekt der Leistungsfähigkeit, wie er in vielen der Rettungsgesetze und der nachgeordneten Rechtsvorschriften formuliert ist, impliziert eine Gleichverteilung rettungsdienstlicher Leistungen über den gesamten zu planenden Bereich, also den Rettungsdienstbereich. Eine Ungleichheit ergibt sich allerdings bei der Betrachtung nach den Parametern *tatsächliche Eintreffzeit* und *Leistung je Euro*. Der Parameter *tatsächliche Eintreffzeit* berücksichtigt, ob eine Rettungswache zentral oder dezentral innerhalb eines besiedelten Bereichs positioniert ist. Der Parameter *Leistung je Euro* betrachtet die Gleichverteilung der Kosten des Rettungsdienstes auf die Bevölkerung. Nach dieser Sichtweise sind Menschen in dünn besiedelten Gebieten bei gleicher Leistung des Rettungsdienstes besser gestellt als Menschen in Städten, da in dünn besiedelten Gebieten – im Vergleich zu Städten – mehr Kosten je Einwohner in Kauf genommen werden.

Im Bereich der Qualifizierung ist zu berücksichtigen, dass in einigen Bereichen eine Aufweicheung der Qualifikationsanforderungen zugunsten einer Entlastung des Rettungsdienstes

als zulässig angesehen oder zumindest diskutiert wird. Dies betrifft allen voran die Diskussion um die Durchführung von ärztlichen Maßnahmen durch Notfallsanitäter, erstreckt sich aber auch auf Unterstützung durch besonders qualifizierte Ersthelfer wie die Mobilen Retter oder die Gemeindenotfallsanitäter.

Analog der für die Qualifizierung erläuterten Aspekte wird auch im technischen Bereich das Ziel verfolgt, eine Entlastung des Rettungsdienstes durch neue Konzepte zu schaffen. Hierbei wird in der Notfallrettung angestrebt, durch weniger personalintensive Konzepte eine schnelle Versorgung von Patienten zu erreichen. Der Begriff *weniger personalintensiv* kann sich dabei auf die Anzahl der Einsatzkräfte oder auch auf deren Qualifikation beziehen.

Eine vollständige und robuste rettungsdienstliche Planung sollte zudem eine Betrachtung der relevanten Schnittstellen beinhalten. Hier ist insbesondere hervorzuheben, welche Effekte eine mangelnde Performanz einer vor- oder nachgelagerten Schnittstelle auf den Rettungsdienst haben kann. So können mangelnde Aufnahmekapazitäten in Krankenhäusern aktuell zu längeren Einsatzzeiten und somit zu einer Vorhalteerhöhung führen.

Sicherheitsaspekte im rettungsdienstlichen Einsatz sind zunächst taktischer Natur und im Rahmen einer strategischen Planung nur beschränkt zu berücksichtigen. Allerdings sollten strategische Maßnahmen etabliert sein, um Ausfälle bei Versagen der taktischen Maßnahmen (z. B. bei psychischer Überlastung eines Mitarbeiters) kompensieren zu können.

Schließlich stellen die Kosten des rettungsdienstlichen Systems einen weiteren relevanten Faktor dar. Die berichteten Kostensteigerungen (vgl. Abschnitt 3.7) stehen im Konflikt mit der aus den Berichten abgeleiteten These, dass eine charakteristische Einsatzlast angeboten werden muss, um einen Rettungsdienst wirtschaftlich betreiben zu können (vgl. S+K Verlag, 2019e). Dies kann bedeuten, dass Steigerungen in der Einsatzlast zwar über Kostensteigerungen abgefangen werden, Reduktionen in der Einsatzlast demgegenüber jedoch zum Kollaps des Systems führen können.

## 5.4 Strukturelle Aspekte der Systemmodellierung für den Rettungsdienst

Die Modellierung des rettungsdienstlichen Systemmodells kann nicht als ein Gesamtmodell erfolgen, da die Wirkebenen des Systems unterschiedlich sind. Wie ein Schiff, welches durch einen Sturm navigiert, müssen taktische Aufgaben (Wasser schöpfen) von strategischen Aufgaben (das Schiff aus dem Sturm herausfahren) getrennt werden.

Von taktischer Art sind solche Systemkomponenten oder Teilsysteme, welche sich mit dem täglichen rettungsdienstlichen Geschehen beschäftigen. Hierzu zählt auch die regelmäßige Bemessung der notwendigen Einsatzmittelvorhaltung. Von strategischer Art hingegen sind die Teilsysteme, welche einen Einfluss auf das langfristige rettungsdienstliche Geschehen haben. Hierzu zählen politische Entscheidungen und Vorgaben, Aus- und Fortbildung, Beschaffung, Kooperation und auch die Wahrnehmung des Rettungsdienstes in der Öffentlichkeit sowie die Ausrichtung am Stand von Wissenschaft und Technik.

### 5.4.1 Betrachtungsebenen der Systemmodellierung

Systeme und ihre Komponenten agieren und interagieren auf verschiedenen Ebenen und in verschiedenen Detaillierungsgraden (vgl. Haberfellner u. a., 2012, S. 38). Je nach Zielsetzung der Analyse ist es erforderlich, dass zunächst ein geeigneter Detaillierungsgrad der Systemmodellierung in Form einer geeigneten Betrachtungsebene gewählt wird.

Um eine vollständige Analyse des Systems Rettungsdienst zu gewährleisten, wird in den nachfolgenden Abschnitten ein Systemmodell vorgestellt, welches aus drei Betrachtungsebenen besteht, welche für sich wiederum eigene Systemmodelle darstellen.

Bild 5.7 zeigt die Zusammenhänge der einzelnen Betrachtungsebenen des Systemmodells.

Jede Ebene für sich beleuchtet einen anderen Aspekt des gleichen übergeordneten Systems. Das Systemmodell erster Ebene veranschaulicht die Interaktionen unterschiedlicher Akteure und ihre Handlungen und gliedert den Rettungsdienst als Akteur in eine Kette von Akteuren und deren Handlungen ein. Aus einer Detailbetrachtung des Handelns des Akteurs Rettungsdienst resultiert das Systemmodell zweiter Ebene, welches die Handlungen des Rettungsdienstes innerhalb der Handlungskette des Systemmodells erster Ebene betrachtet. Das Systemmodell dritter Ebene schließlich führt unterschiedliche Aspekte der Systemmodelle erster und zweiter Ebene zusammen. Der Fokus des Systemmodells dritter Ebene liegt auf dem Rettungsdienst als Akteur. Hierzu werden die Interaktionen aus dem Systemmodell erster Ebene und die Handlungsziele und -einflüsse aus dem Systemmodell zweiter Ebene einer Detailbetrachtung unterzogen.

Für die erste Betrachtungsebene des Systems Rettungsdienst existiert bereits eine anschauliche Darstellung in Form der Rettungskette. Diese ist Grundlage der in Bild 5.8 dargestellten ersten Betrachtungsebene. Diese Betrachtungsebene verortet den Rettungsdienst im Gesamtsystem der Patientenversorgung, welches als ein Prozess zur Behandlung und zum Transport eines Patienten verstanden werden kann.

Die zweite Betrachtungsebene des System-Modells (Bild 5.9) fokussiert die bisherige Grundlage der rettungsdienstlichen Planung, nämlich den einzelnen Einsatz im Rettungs-

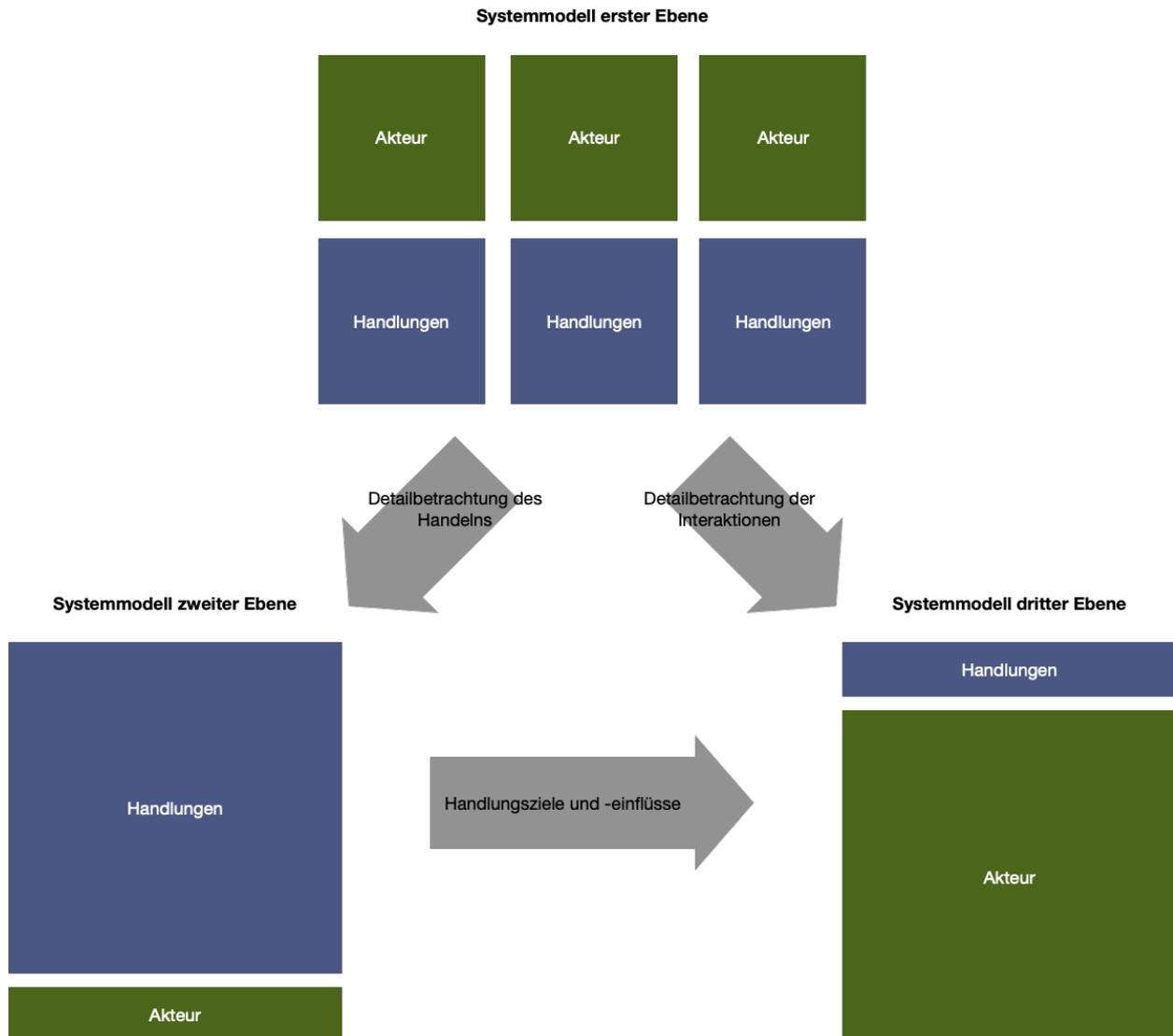
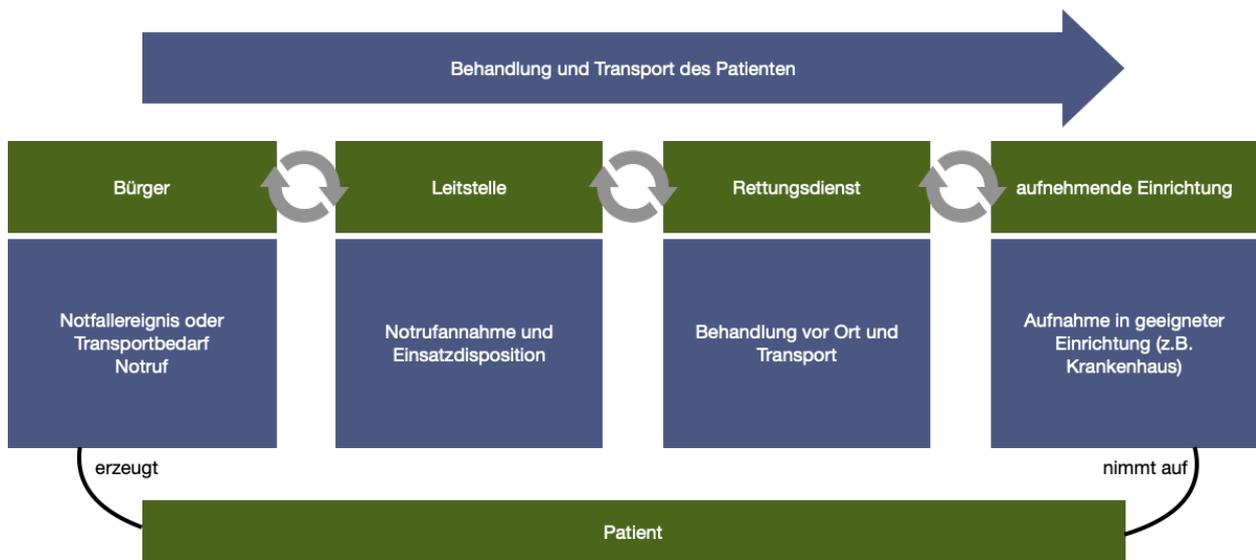


Bild 5.7: SYSTEMMODELL Zusammenhänge der Betrachtungsebenen des Systemmodells

dienst. Wie weiter oben bereits erläutert, basieren aktuell die wesentlichen Planungsparameter des rettungsdienstlichen Systems (wie Standorte und Einsatzmittel) auf der Betrachtung einzelner Einsatzereignisse sowie auf deren zeitlichen und räumlichen Verortung. Diese Betrachtungsebene bietet daher, neben der Rettungskette, eine gute Grundlage für die Modellierung des dynamischen Systemmodells.

Aus den Prozessmodellen in den Bildern 5.8 und 5.9 sind drei Interaktionsereignisse bzw. Schnittstellen bereits direkt ablesbar:

- Die Interaktion des Bürgers mit der Leitstelle in Form eines Notrufs bzw. Anrufs
- Die Interaktion der Leitstelle mit dem Rettungsdienst in Form der Disposition und Alarmierung



Interaktion im Prozessverlauf

Bild 5.8: SYSTEMMODELL Erste Betrachtungsebene des Systemmodells

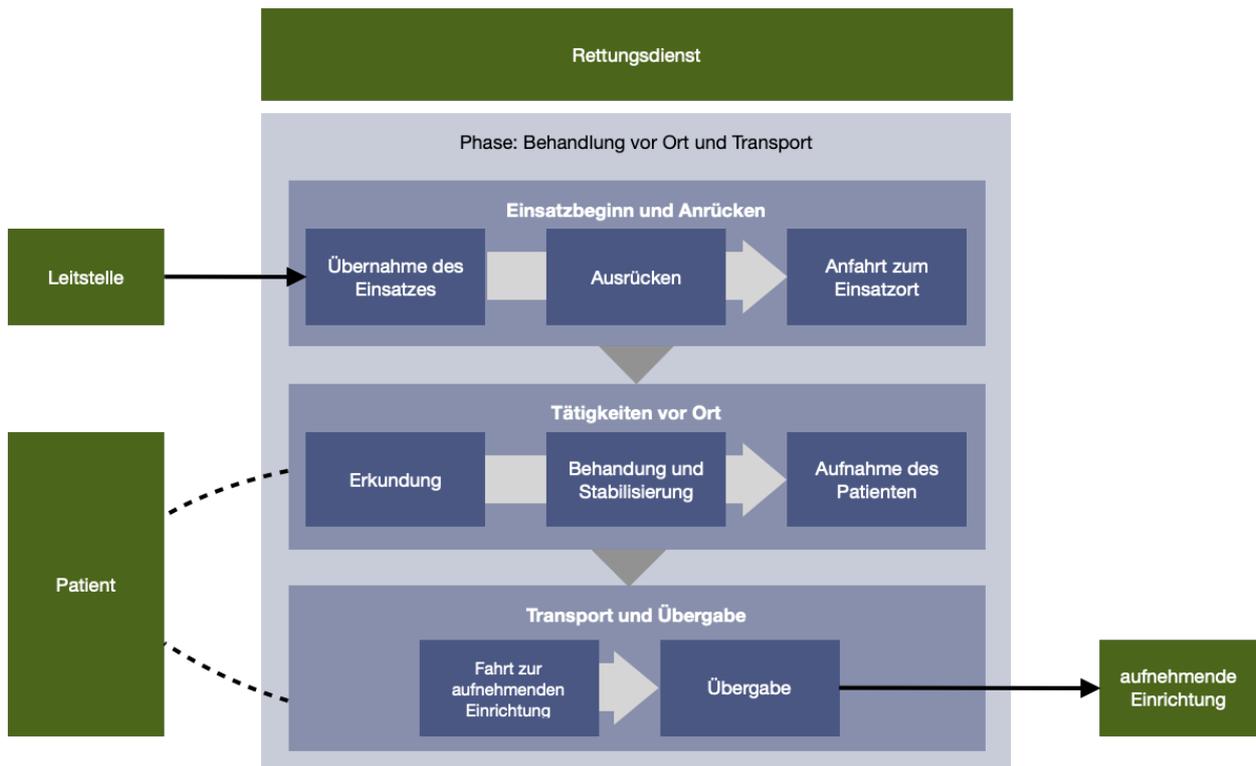


Bild 5.9: SYSTEMMODELL Zweite Betrachtungsebene des Systemmodells

- Die Interaktion des Rettungsdienstes mit der aufnehmenden Einrichtung in Form der Übergabe

An diesen Schnittstellen können Engpässe im Prozessablauf entstehen, da Übergaben in

andere Systemteile erfolgen müssen (z. B. Anfrage von Einsatzmitteln oder Anfrage freier Krankenhauskapazitäten).

Hinsichtlich weiterer Interaktionsereignisse ist zwingend zu berücksichtigen, dass während jeder der dargestellten Prozessablaufstufen eine Interaktion des jeweils handelnden Akteurs mit dem Patienten erfolgt. Vor diesem Hintergrund ist eine Informationsübermittlung in den Interaktionsereignissen von hoher Qualität erforderlich. Für die weitere Modellierung ist zu berücksichtigen, dass der Rettungsdienst zwar ein großes Interesse an den Informationen hat, welche in der Prozessablaufstufe *Notfallereignis oder Transportbedarf* erhoben und in der Notruf- bzw. Anrufinteraktion übergeben werden, allerdings auf eine Weitergabe durch die Leitstelle angewiesen ist, wie aus der zweiten Betrachtungsebene des Systemmodells zu erkennen ist.

Zwar scheint das in Bild 5.9 vorgestellte Systemmodell erster Ebene ein rein lineares Prozessmodell zu sein, allerdings finden sich bereits hier kybernetische Systemeigenschaften, welche insbesondere in den erörterten Interaktionen zu finden sind. Ähnlich wie Siebert den Mensch als Empfänger und Verarbeiter von Informationen in einem kybernetischen Regelkreis sieht (Siebert, 1979), haben die handelnden Akteure in diesem Systemmodell erster Ordnung regelnden Einfluss auf das System. So melden zum Beispiel die aufnehmenden Stellen Kapazitäten an die Leitstellen und die Leitstellen filtern Notrufe und Anrufe hinsichtlich Art und Dringlichkeit.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass der dargestellte lineare Ablauf ein Idealbild der Situation darstellt, welches davon ausgeht, dass alle notwendigen Ressourcen (Disponent, Einsatzmittel, Aufnahmekapazität) stets im erforderlichen Maß vorhanden sind.

Zur Modellierung der dritten Betrachtungsebene des Systemmodells erfolgt erneut eine Detailbetrachtung des vorangegangenen Systemmodells, in diesem Fall des Systemmodells zweiter Ebene. Gegenstand der Betrachtung ist nun aber weniger eine Detailbetrachtung der Handlungen als vielmehr eine Betrachtung des Akteurs *Rettungsdienst* und dessen Umgebung hinsichtlich relevanter Handlungsfelder und Interaktionen mit weiteren Akteuren sowie Einflussgrößen.

Bild 5.10 zeigt die dritte Betrachtungsebene der Systemmodellierung für das kybernetische System Rettungsdienst. Ergänzend zu den vorangegangenen Ebenen werden in dieser Betrachtungsebene Einflussgrößen (grau) eingeführt.

Im Zentrum dieser Betrachtungsebene steht der Rettungsdienst als zentraler Akteur, wie er auch schon in den vorangegangenen Systemmodellen der ersten und zweiten Ebene zu finden ist. Aus räumlich-topologischer Sicht ist zu berücksichtigen, dass nicht *ein* Rettungsdienst existiert, sondern viele Rettungsdienstbereiche, welche aneinander

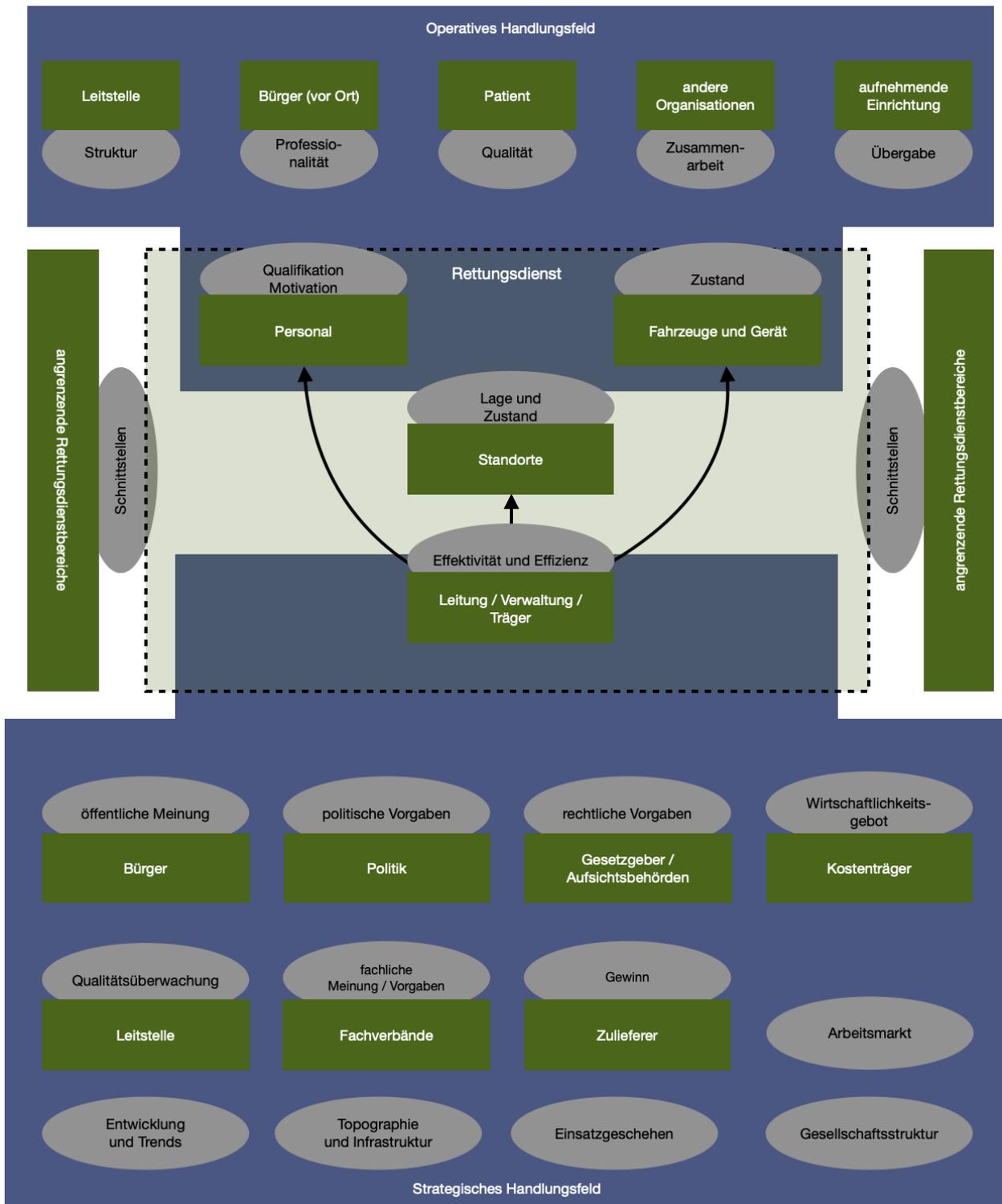


Bild 5.10: SYSTEMMODELL Dritte Betrachtungsebene des Systemmodells

angrenzen. Hier findet sowohl Austausch als auch gegenseitige Hilfe, zum Beispiel im Fall der Übernahme eines Einsatzes im angrenzenden Rettungsdienstbereich, statt. Insofern sind hier *Schnittstellen* als Einflussgrößen relevant.

Im Unterschied zu den übrigen Betrachtungsebenen stellt in dieser Betrachtungsebene

der Rettungsdienst keine *Black Box* (vgl. Haberfellner u. a., 2012, S. 38 ff.) dar, sondern ist untergliedert in einzelne Akteure. Die nach außen sichtbaren Komponenten sind die Akteure *Personal* sowie *Fahrzeuge und Gerät*. Diese, wie in Bild 5.10 zu erkennen, handeln im operativen Handlungsfeld des Rettungsdienstes, dem Einsatz, und treten dort in Interaktion zu unterschiedlichen Akteuren. Die *Leitstelle* wirkt im operativen Handlungsfeld als strukturgebende Komponente, indem sie den Einsatz steuert. Der *Bürger*, welcher den Rettungsdienst erlebt, sofern er sich (nicht als Patient) vor Ort befindet, wirkt insbesondere durch die Beurteilung der Professionalität des Rettungsdienstes, was sich wiederum im Rahmen des strategischen Handlungsfeldes in der öffentlichen Meinung widerspiegelt<sup>1</sup>. Der *Patient* ist in erster Linie an einer hohen Qualität der rettungsdienstlichen Leistung interessiert. Im Rahmen der Zusammenarbeit an der Einsatzstelle werden auch *andere Organisationen* gemeinsam mit dem Rettungsdienst tätig. Diese anderen Organisationen können natürlich auch Rettungsdienste aus der Umgebung sein, welche im Rahmen der operativen Handlungen an der Einsatzstelle zusammenarbeiten. Die *aufnehmende Einrichtung* schließlich stellt mit der Übergabe in selbiger das Ende des operativen Prozesses dar (vgl. hierzu auch Abbildung 5.8).

Das *Personal* des Rettungsdienstes sowie die *Fahrzeuge und Geräte* sind auf *Standorten* stationiert. Die Organisation *Rettungsdienst* wird durch einen Akteur *Leitung/Verwaltung* gesteuert, welcher sich in einem strategischen Handlungsfeld befindet. Neben der offensichtlichen operativen Handlung des Personals sind dessen Motivation und Qualifikation wichtige Einflussgrößen. Trotz der Eigenschaft der Fahrzeuge und Geräte als passive Gegenstände wirken diese dennoch durch ihren Zustand auf das System ein. Gleiches gilt für die Standorte, welche zudem auch über ihre Lage einen strategischen Wert erhalten. Die *Leitung/Verwaltung* des Rettungsdienstes stellt die Schnittstelle zum strategischen Handlungsfeld dar und ist in erster Linie an einer effektiven und effizienten Durchführung des Rettungsdienstes interessiert.

Die Akteure und Einflussgrößen des strategischen Handlungsfeldes wirken auf den Rettungsdienst, genauer dessen *Leitung / Verwaltung*, ein. Durch Umsetzung dieser Einwirkungen auf Standorte, Personal sowie Fahrzeuge und Gerät werden die Einflussgrößen des strategischen Handlungsfeldes in das operative Handlungsfeld übertragen.

Im strategischen Handlungsfeld wiederum finden sich eine Vielzahl von Akteuren und Einflussgrößen, welche im Rahmen einer Systembetrachtung berücksichtigt werden müssen. Hervorzuheben ist zunächst, dass der *Bürger* als Akteur sowohl in diesem Handlungsfeld, als auch im operativen Handlungsfeld zu finden ist. Die Einflussgröße des Bürgers ist die öffentliche Meinung, welche sich ggf. direkt auf den Rettungsdienst auswirken kann, oder über den Einfluss der Politik ihre Wirkung entfaltet. Der Akteur *Politik* stellt einen

<sup>1</sup>Hier werden eigene Erfahrung und öffentliche Berichterstattung zugrunde gelegt.

steuernden Akteur im Rahmen des politischen Prozesses dar und wirkt durch Gesetzgebungsprozesse – aber teilweise auch direkt – auf den Rettungsdienst. Es ist die Aufgabe der *Aufsichtsbehörden*, die Einhaltung der im Rahmen des politischen Gesetzgebungsprozesses beschlossenen rechtlichen Vorgaben zu überwachen. Dies gilt sowohl für fachliche, als auch für wirtschaftliche Belange. Aufsichtsbehörden stellen in diesem Sinne daher nicht nur klassische Aufsichtsbehörden dar, sondern auch in verschiedenen Prozessen beteiligte nebengelagerte Behördenteile, wie zum Beispiel die Vergabestelle oder das Rechnungsprüfungsamt. Da der Rettungsdienst aus dem sozialen Sicherungssystem refinanziert wird, unterliegt er dem Wirtschaftlichkeitsgebot gemäß §12 SGB V. Hieraus leitet sich der Einfluss der *Kostenträger* ab, welcher auch in den Ländergesetzgebungen zum Rettungsdienst zu finden ist. Im Rahmen des strategischen Handlungsfeldes ist die *Leitstelle* durch die Einflussgröße der Qualitätsüberwachung eingebunden, da nur hier üblicherweise Daten zur Qualitätsüberwachung gesammelt und zum Teil ausgewertet werden. Die Qualitätsüberwachung ist insbesondere zur Einhaltung der fachlichen Vorgaben von *Fachverbänden* relevant. Zu diesen Fachverbänden zählen nicht nur medizinische Verbände, sondern auch Berufsverbände. Schließlich stellen *Zulieferer* für Fahrzeuge, Geräte, Verbrauchsmaterial etc. einen weiteren wichtigen Akteur in diesem Handlungsfeld dar. Die Einflussgröße oder das Interesse des Zulieferers ist in erster Linie die Gewinnerzielung bzw. der Preis der Leistung.

Im strategischen Handlungsfeld existieren außerdem Einflussgrößen, welche nicht direkt an einen Akteur gebunden sind. Hierzu zählen die *Topographie und Infrastruktur* sowie die *Gesellschaftsstruktur*, welche maßgeblich das *Einsatzgeschehen* beeinflussen. Außerdem unterliegen diese Einflussgrößen jederzeit einer *Entwicklung* bzw. einem *Trend*, was sich wiederum auf das *Einsatzgeschehen* auswirkt.

#### 5.4.2 Zeitliche Granularität und Betrachtungszeitraum des Modells

Im Rahmen der systemdynamischen Modellierung des Systemmodells Rettungsdienst spielen Betrachtungszeiträume und deren Granularität eine wesentliche Rolle. Grundsätzlich sollte das Lösungsintervall  $DT$  ausreichend klein sein, sodass verlässliche Lösungen aus der Simulation abgeleitet werden können. Auf der anderen Seite sollte das Intervall allerdings auch nicht zu klein sein, um unnötige Rechenoperationen zu vermeiden und das Modell „handhabbar“ zu machen (vgl. Forrester, 2013, S. 79). Im Allgemeinen gilt: Das Lösungsintervall muss kürzer als die Länge jeder Verzögerung erster Ordnung und sollte kürzer als die halbe Verzögerungslänge sein (vgl. ebd., S. 79). Allerdings muss die geeignete Länge des Lösungsintervalls über Experimente mit dem Systemmodell ermittelt werden.

Für die Modellierung des rettungsdienstlichen Systems eignet sich grundsätzlich die Betrachtung auf der Ebene einzelner Stunden, da das Einsatzaufkommen vornehmlich einer stundenweisen Schwankung unterworfen ist (vgl. Abschnitt 3.2). Dieses Vorgehen wird auch von Voyer angewendet (Voyer, 2020). Hierbei stehen aufgrund der zeitlichen und räumlichen Dynamik im Rettungsdienst grundsätzlich mehrere Betrachtungsweisen zur Auswahl:

- Modellierung des tatsächlichen Zeitablaufs unter Einbeziehung räumlicher und zeitlicher Dynamik. Diese Variante beinhaltet die Abbildung mehrerer Einsatzbereiche, sowie Unterschiede in stündlichen und wochentäglichen Einsatzlast-Verläufen.
- Modellierung des tatsächlichen Zeitablaufs eines Einsatzbereichs. Diese Variante vereinfacht die erste Variante, indem sie die Interaktion mehrerer Einsatzbereiche ignoriert. Unter anderem Larson (Larson, 1974) hat allerdings nachgewiesen, dass die Interaktion mehrerer Einsatzbereiche die Performanz des Gesamtsystems erhöhen kann (z. B. durch gegenseitige Absicherung).
- Modellierung der Charakteristika eines fest definierten Zeitbereichs (z. B. einer Stunde) über einen längeren Zeitraum. Diese Variante entspricht dem aktuellen Planungsvorgehen bei der Rettungsdienstbedarfsplanung. Ignoriert wird hier, neben der Interaktion unterschiedlicher Wachbereiche, auch der Übergang tageszeitlicher und wochentäglicher Lastwechsel (vgl. Abschnitt 2.3).

Hinsichtlich des Betrachtungszeitraums empfiehlt sich eine Anlehnung an die bisherigen Planungsmethoden, in welchen eine repräsentative Woche geplant wird. Da der Wochenverlauf das rettungsdienstliche Einsatzgeschehen im Wesentlichen prägt, wird auch für das rettungsdienstliche Systemmodell der Grund-Betrachtungszeitraum einer Woche gewählt. Das Systemmodell erlaubt jedoch die fortlaufende Planung einer Woche (Punkt 2) im Gegensatz zu den bisherigen Methoden (Punkt 3).

Da die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes auf der Ebene von Minuten und Sekunden betrachtet wird, wird als Zeitintervall des Modells die Minute gewählt. Dieses Vorgehen erlaubt es auch, durch Einstellen des Zeitschritts kleinere Intervalle zu betrachten und Werte auf größere Intervalle (z. B. Stunden) zu glätten.

Um Effekte am Übergang der Wochenenden erkennen zu können, wird der Gesamt-Betrachtungszeitraum auf vier Wochen ausgedehnt. Hieraus ergibt sich ein Gesamt-Betrachtungszeitraum von 40.320 fortlaufenden Minuten.

### 5.4.3 Räumliche Dimension der Systemmodellierung

Neben den Betrachtungsebenen sowie den Betrachtungszeiträumen spielen räumliche Aspekte eine große Rolle bei der Modellierung des rettungsdienstlichen Systems. Bisherige Planungsverfahren umgehen räumliche Aspekte über die Annahme, dass ein Rettungswachenversorgungsbereich isoliert betrachtet werden kann und somit Interaktionen zwischen den Rettungswachenversorgungsbereichen eines Rettungsdienstbereichs ignoriert werden können. Dies äußert sich unter anderem darin, dass jeder Rettungswachenversorgungsbereich einzeln geplant wird (vgl. Abschnitt 2.3).

Aus den o. s. Erläuterungen zum rettungsdienstlichen System ist jedoch ersichtlich, dass es sehr wohl Interaktionen zwischen den einzelnen Rettungswachenversorgungsbereichen gibt. Schließlich gehen auch die bisherigen Planungsverfahren davon aus, dass Einsatzmittel eines Rettungswachenversorgungsbereiches zur Unterstützung in einem anderen Rettungswachenversorgungsbereich eingesetzt werden können. Dispositionsverfahren wie die *Nächste-Fahrzeug-Strategie* (vgl. Wehry, 2018, S. 5) sehen ebenfalls eine Durchlässigkeit bis hin zur Auflösung fester Einsatzbereiche vor.

BenDor und Kaza erweitern das Konzept der Systemarchetypen (vgl. Senge, 2017, S. 451 ff.) um eine räumlich Komponenten (BenDor und Kaza, 2012). Nach dieser Theorie muss mit Blick auf das rettungsdienstliche System in die folgenden räumlichen Komponenten unterschieden werden:

- Der Rettungswachenversorgungsbereich als *vorgesehener* Einsatzbereich (Zuständigkeitsbereich) eines Einsatzmittels und Bezugsrahmen für das rettungsdienstliche Einsatzgeschehen.
- Das Einsatzmittel als räumlich dynamisches Objekt, welches sich innerhalb des Raums bewegen kann und so in unterschiedlichen Rettungswachenversorgungsbereichen einsetzbar ist.

Vor dem Hintergrund der Struktur des Rettungsdienstes in Deutschland mit Rettungswachen als festen Stationen ist es sinnvoll, eine enge Bindung der Einsatzmittel an einen Rettungswachenversorgungsbereich abzubilden. Dennoch muss das Systemmodell in der Lage sein, Unterversorgungen in einem Rettungswachenversorgungsbereich durch Einsatzmittel eines anderen Bereichs zu kompensieren, wie es auch in der Realität der Fall ist.

Da gegenseitige Unterstützung nur bei geeigneter räumlicher Nähe zielführend ist, muss eine geeignete Distanzmetrik zwischen den Rettungswachenversorgungsbereichen untereinander als auch zwischen den Rettungswachenversorgungsbereichen und den Einsatzmitteln modelliert werden.

#### 5.4.4 Berücksichtigung der zufälligen Natur von Notfallereignissen

Wie bereits in Abschnitt 2.2.3 erläutert, ist das zufällige Auftreten von Notfällen eine wesentliche Eigenschaft des rettungsdienstlichen Systems. Würden Notfälle zeitlich wohlgeordnet auftreten, würde dies für den Rettungsdienst bedeuten, dass weniger Ressourcen für den Fall von Parallelereignissen vorgehalten werden müssten.

Diese Zufallseigenschaft des Notfalls muss sich folglich im rettungsdienstlichen Systemmodell wiederfinden. Um dies zu erreichen, muss daher die tatsächliche aktuelle Notfallrate ( $\Lambda$ ) einer Zufallsverteilung mit der mittleren Notfallrate ( $\lambda$ ) als Parameter unterworfen werden. Hierzu geeignet ist die Poisson-Verteilung (vgl. hierzu Abschnitt 2.2.3.2).

#### 5.4.5 Synthese der strukturellen Aspekte

Die oben beschriebenen strukturellen Aspekte des Systems Rettungsdienst müssen sich in einem ganzheitlichen Systemmodell wiederfinden oder das Modell muss in der Lage sein, diese modular zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass, wenn keine direkte Berücksichtigung im Modell möglich oder sinnvoll ist, eine Schnittstelle geschaffen werden muss, um die Auswirkungen der fraglichen Aspekte auf das Modell zu analysieren.

Der im Abschnitt 5.4.1 beschriebene lineare Ablauf entlang der Rettungskette eignet sich für eine quantitative systemdynamische Modellierung, da Notfallereignisse durch die einzelnen Phasen der Rettungskette wandern. Die zweite und dritte Betrachtungsebene werden dabei herangezogen, um relevante Steuerungsparameter im Modell zu ergänzen.

Wie schon im Abschnitt 5.4.2 erläutert, erfolgt die zeitliche Dimensionierung des Modells in Schritten von einer Minute für eine Dauer von insgesamt vier Wochen.

Eine erschöpfende räumliche Modellierung wie in Abschnitt 5.4.3 erläutert, würde dem modularen Gedanken des Modells widersprechen. Vielmehr ist es sinnvoll, das Systemmodell so auszulegen, dass jedes Modell für sich einen Rettungswachensversorgungsbereich abbildet, jedoch Interaktionen zwischen Bereichen möglich sind.

Schließlich werden Ereignis- und Bedienraten geeigneten Zufallsverteilungen unterworfen, um die im Abschnitt 5.4.4 erläuterten stochastischen Aspekte in den Zu- und Abflüssen zu den Levels des Modells adäquat zu berücksichtigen.

## 5.5 Das rettungsdienstliche Systemmodell

Die oben beschriebenen Betrachtungsebenen der rettungsdienstlichen Systemplanung können zu einem einheitlichen Planungsmodell zusammengeführt werden. Die jeweiligen Modellebenen entsprechen dabei grundsätzlich unterschiedlichen Planungshorizonten. Allerdings ist zu beachten, dass sich die einzelnen Ebenen untereinander bedingen. Das Systemmodell muss diese Eigenschaft berücksichtigen, um sowohl akute Planungsaufgaben lösen zu können als auch langfristige Szenarienbetrachtungen möglich zu machen. Die nachfolgenden Abschnitte erläutern dieses Systemmodell.

### 5.5.1 Rettungsdienstliches Systemmodell

Wie bereits in vorangegangenen Abschnitten beschrieben sollte ein rettungsdienstliches Systemmodell die relevante Trennung in Ereignisse und deren Bedienung abbilden. Um zudem im Rahmen einer Planung die Entwicklung des Einsatzaufkommens prognostisch berücksichtigen zu können und steuernd auf die Einflussgrößen der Bedienkapazität Einfluss zu nehmen, ist es sinnvoll, das Systemmodell in Stufen entlang der Rettungskette einzuteilen.

Bild 5.11 zeigt das mit VENSIM modellierte dynamische Systemmodell gemäß der in Abschnitt 5.4 beschriebenen strukturellen Aspekte.

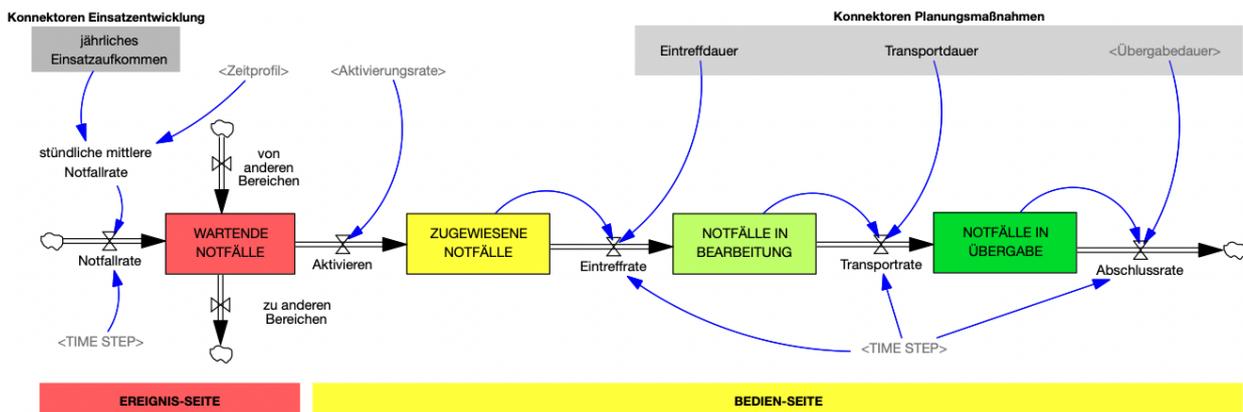


Bild 5.11: Dynamisches SYSTEMMODELL Rettungsdienst

Eine Dokumentation aller Einzelkomponenten des dynamischen Systemmodells ist im Anhang zu finden.

Wie zuvor erläutert, ist dieses Modell in den Bereich der auftretenden Notfälle und den Bereich der Bedienung dieser Notfälle geteilt. Somit ist bereits an dieser Stelle der Grundstein für eine korrekte Modellierung gelegt, da hier, anders als die bisher zur Rettungsdienstbedarfsplanung verwendeten Methoden, die notwendige Unterscheidung zwischen

auf tretenden Ereignissen und deren Bedienung geschieht. Ziel der Planung wird es dann sein, die beiden Modell-Seiten so aufeinander einzustellen, dass ein systemisches Gleichgewicht (Goal-Seeking) entsteht. Die Art dieses Gleichgewichts gibt dabei Auskunft über die Qualität der rettungsdienstlichen Leistung. Eskalierende Prozesse, welche sich in diesem Modell aus einem zu viel oder zu wenig an Bedienleistung ergeben können, sind hingegen Ausdruck eines nicht nachhaltigen Systems und somit zu vermeiden.

### 5.5.2 Konnektoren und Modularisierung

Sowohl die Ereignis-Seite als auch die Bedien-Seite des Modells verfügen über Variablen, welche als Konnektoren dienen, um beliebige Szenarien zu betrachten.

Mittels der Konnektoren wird es möglich, unterschiedliche Einflüsse auf den Rettungsdienst zu analysieren. So können zum Beispiel Modelle zur Analyse der Demographie im Kontext zum Einsatzgeschehen genutzt werden, um Einflüsse auf das jährliche Einsatzaufkommen zu untersuchen. Unterschiedliche Standortstrukturen, Behandlungsstandards und Übergabe-Strategien können mittels der Konnektoren für Planungsmaßnahmen untersucht werden.

Das dynamische Systemmodell des Rettungsdienstes wird auf diese Weise modular. Dadurch, dass jede der Konnektor-Variablen definiert ist, bietet das Modell zudem standardisierte Schnittstellen.

### 5.5.3 Ereignis-Seite des Modells

Die Ereignis-Seite des Systemmodells ist durch den Rettungsdienst bzw. den Planer nicht zu beeinflussen.

Wesentliche Aspekte der Ereignis-Seite sind das *jährliche Einsatzaufkommen* als Konnektor für die Einsatzentwicklung sowie das *Zeitprofil*, welchem dieses Aufkommen unterworfen wird. Das jährliche Einsatzaufkommen dient als Einflussgröße für die *Notfallrate*, welche den wesentlichen Zufluss in den Level *WARTENDE NOTFÄLLE* darstellt. Die Zu- bzw. Abflüsse *von anderen Bereichen* und *zu anderen Bereichen* dienen zur Abbildung der Interaktion zwischen angrenzenden Planungsbereichen.

Bild 5.12 zeigt die Modellierung der Variable *Zeitprofil*.

Da der Nachweis der rettungsdienstlichen Leistungsfähigkeit auf der Ebene einzelner Einsätze geschieht, ist es erforderlich, den zeitlichen Ablauf dieser Einsätze zu modellieren. Grundsätzlich stehen die folgenden Einteilungen des Zeitverlaufs zur Verfügung:

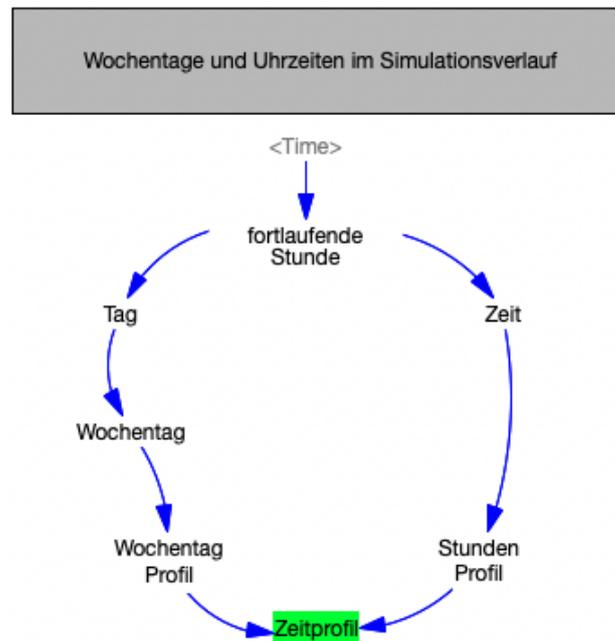


Bild 5.12: SYSTEMMODELL Modellierung des Zeitprofils

- stündlich (tageszeitlich)
- monatlich
- wochentäglich
- jährlich

Andere Einteilungen ergeben sich aus einer beliebigen Kombination dieser Einteilungsoptionen.

Zum Zweck der Modellierung des zeitlichen Verlaufs der Einsatzhäufigkeiten (und -dauern) müssen die o. g. Effekte kombiniert werden. So soll z. B. das Einsatzaufkommen am frühen Sonntagmorgen wesentlich geringer sein als am Vormittag eines Donnerstages.

Das Vorgehen zur Modellierung ist für alle zeitlichen Betrachtungsebenen – bis auf die jährliche Ebene aus o. g. Gründen – identisch: Aus der Einsatzdokumentation oder aus Vergleichswerten sind charakteristische Steigerungen und Reduktionen des Einsatzaufkommens bezogen auf das jeweilige mittlere Einsatzaufkommen abzuleiten (vgl. Abschnitt 3.2). Die Summe der einzelnen Effekte wird dann mit dem jährlichen mittleren Einsatzaufkommen multipliziert, um den repräsentativen Wert für die Einsatzmenge zu ermitteln. Formel 5.4 fasst dieses Vorgehen zusammen.

$$E_i = E_m \prod_{j=1}^n C_{ji} \quad (5.4)$$

mit:

$E_i$  = Stündliches Einsatzaufkommen zum Zeitpunkt  $i$  [1]

$E_m$  = Mittleres stündliches Einsatzaufkommen [1]

$C_{ji}$  = Steigerungsfaktor für Zeitschritt  $j$  zum Zeitpunkt  $i$  [1]

Da das System als kontinuierlicher Ablauf von Zeitschritten  $T_H$  modelliert wird, ist zudem zu definieren, wie Tageszeiten, Wochentage und Monate aus dem kontinuierlichen Ablauf der Stunden ( $T_H$ ) abgeleitet werden können (vgl. Formeln 5.5 und 5.6).

$$\text{Stunde} = T_H - (24 * \lfloor \frac{T_H}{24} \rfloor) \quad (5.5)$$

$$\text{Wochentag} = (\lfloor \frac{T_H}{24} \rfloor + 1) - (7 * \lfloor \frac{(\lfloor \frac{T_H}{24} \rfloor + 1)}{7} \rfloor) \quad (5.6)$$

Der Abruf der jeweiligen Steigerungsfaktoren  $C$  erfolgt nach Bestimmung der Stunde bzw. des Wochentags aus einer LOOKUP-Funktion, welche die einzelnen Steigerungs- bzw. Reduktionswerte für eine Stunde (0 bis 24) bzw. einen Wochentag (1 bis 7) zurückgibt.

Bild 5.13 fasst das oben beschriebene Vorgehen grafisch zusammen.

Zu beachten ist, dass der Sonntag in diesem Modell nicht mit der Zahl 7 sondern der Zahl 0 wiedergegeben wird. Sofern dieser Umstand bei der Festlegung der einzelnen wochentäglichen Steigerungs- bzw. Reduktionswerte berücksichtigt wird, hat dies keine Auswirkungen auf das Modell.

Der Effekt der Wochentage (hier insbesondere Samstag und Sonntag) ist in der entsprechenden LOOKUP Funktion nicht besonders groß, wird aber im wochentäglichen Vergleich der ermittelten Einsatzmengen deutlich.

Bei den unter Verwendung der oben erläuterten Methode ermittelten Einsatzmengen handelt es sich noch immer um Mittelwerte, welche über die entsprechenden Transformationen auf das tageszeitliche und wochentägliche Geschehen angepasst werden. Wie jedoch schon in Kapitel 2 erläutert, geschehen Notfälle zufällig im Zeitverlauf und können über eine Poisson-Verteilung gut modelliert werden. Die Notfallrate als Ergebnis der Ereignis-Seite des Systemmodells lässt sich folglich aus der Kombination der ermittelten mittleren Einsatzmengen ( $E_i$ ) mit der Poisson-Verteilung abbilden. Die Notfallrate je Zeitschritt ist daher definiert als eine Zufallsziehung einer poisson-verteilten Zufallsvariablen mit dem Parameter  $\lambda = E_i$ .

Die Ereignis-Seite des Modells mündet in ein Level, welches die aktuell wartenden Notfälle sammelt. Es ist das Ziel der Planung, die Menge der Notfälle in diesem Level klein zu halten.

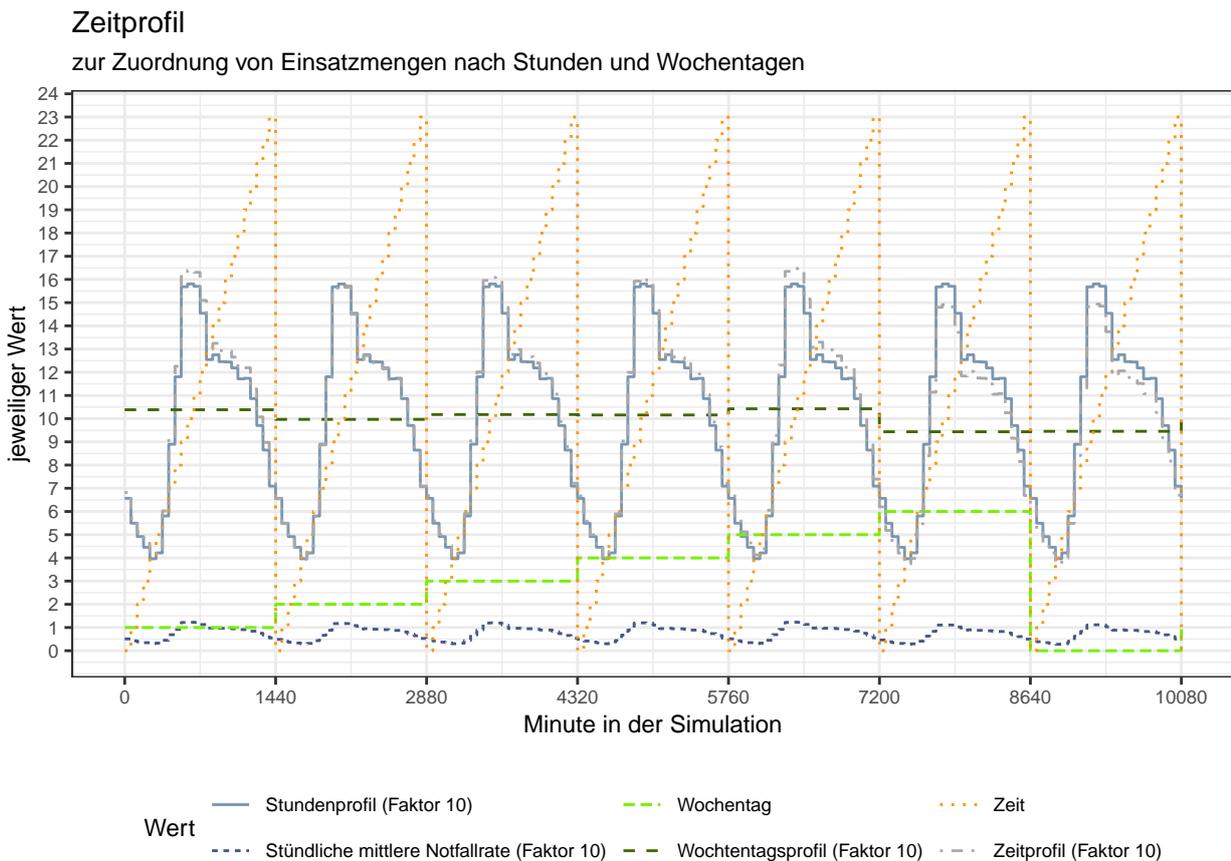


Bild 5.13: ZEITPROFIL zur Zuordnung von Einsatzmengen nach Stunden und Wochentagen

### 5.5.4 Bedien-Seite des Modells

Im Gegensatz zur Ereignis-Seite des Modells ist die Bedien-Seite des Modells durch den Planer beeinflussbar. Hier wird die *Reaktion* des Systems Rettungsdienst auf die auftretenden Ereignisse modelliert. Im Wesentlichen zeigt sich diese Reaktion in der Variable *Aktivierungsrate*. Die Modellierung dieser Variable ist in Bild 5.14 dargestellt.

Grundsätzlich steht der *Notfallrate* als Zufluss zum Level *WARTENDE NOTFÄLLE* die *Bedienrate* als Abfluss aus diesem Level gegenüber. Die Bedienrate  $\mu \left[ \frac{1}{T} \right]$  eines einzelnen Einsatzmittels errechnet sich dabei als der Kehrwert der mittleren Einsatzdauer (hier in Stunden):

$$\mu = \frac{1}{\text{mittlereEinsatzdauer}} \quad (5.7)$$

Die Bedienrate aller verfügbaren Einsatzmittel  $s [1]$  errechnet sich damit wie folgt:

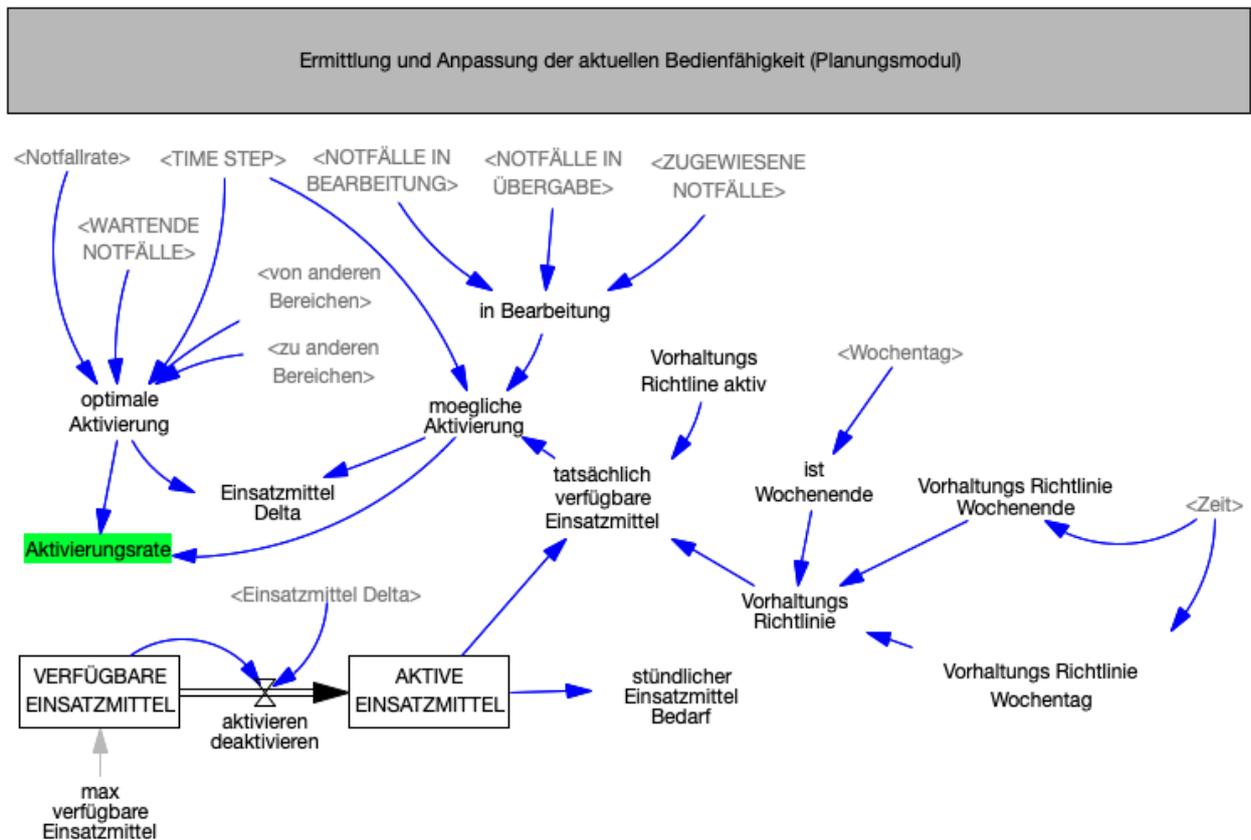


Bild 5.14: SYSTEMMODELL Rettungsdienst: Verfügbare Bedienkapazität sowie deren Anpassung

$$\mu_{gesamt} = \mu * s \quad (5.8)$$

Aus Bild 5.14 wird ersichtlich, dass alle Level der Bedien-Seite des Modells und somit auch alle zeitlichen Variablen (z. B. die Eintreffzeit) Einfluss auf die Aktivierungsrate und somit die Bedienrate haben. Da die jeweiligen zeitlichen Variablen beliebig modelliert werden können, bildet das modellierte Bediensystem ein  $M/G/s$  Bediensystem (Kendall-Notation, M: Poisson-Verteilte Ankünfte, G: beliebig verteilte Bediendauern, s: Systemkapazität) (vgl. Cooper, 2011, S. 2) mit poissonverteilten Zuwächsen und beliebig verteilten Bedienzeiten ab.

Da die Notfallrate  $\lambda$  und die Bedienrate  $\mu_{gesamt}$  die einzigen Einflussfaktoren des Levels *WARTENDE NOTFÄLLE* sind (vgl. Bild 5.11), ist leicht ersichtlich, dass es das Ziel der Planung auf dieser Ebene sein muss, ein statistisches Gleichgewicht zwischen diesen Werten zu erzielen. Dies ist Gegenstand des Teil-Modells, welches in Bild 5.14 dargestellt ist. Dieses Teil-Modell analysiert zu jedem Zeitschritt die verfügbaren und benötigten Einsatzmittel und aktiviert bzw. deaktiviert Einsatzmittel nach Bedarf. Die Variable *stündlicher Einsatzmittel Bedarf* gibt dann Auskunft über die notwendige Einsatzmittelvorhaltung.

## 5.6 Validierung des Systemmodells

Um die Leistungsfähigkeit des rettungsdienstlichen Systemmodells im Rahmen des Planungsprozesses beurteilen zu können, müssen Validierungskriterien für das Systemmodell definiert werden. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen der Validierung des Modells, also der Prüfung, ob das Modell grundsätzlich korrekt ist, und der Evaluation des Modells, also der Prüfung, ob das Modell sinnvolle Ergebnisse erzeugt und wie diese Ergebnisse zu interpretieren sind. In diesem Abschnitt erfolgt eine Modellvalidierung.

Forrester und Senge betonen, dass es keinen standardisierten Prozess zur Validierung eines systemdynamischen Modells geben kann (Forrester und Senge, 1980). Grundlegende Validität erhält ein Modell daher durch einen rationalen Konsens unterschiedlicher Betrachter. Auch Sterman äußert sich ähnlich (vgl. Sterman, 2000, S. 846). Ungeachtet dessen haben sowohl die genannten Autoren als auch weitere eine Vielzahl von Validierungsmethoden veröffentlicht. Eine Übersicht ist in Tabelle B.3 im Anhang dargestellt.

Die Anwendung dieser Methoden kann nach (Schwaninger und Groesser, 2009, S. 9001) auf verschiedenen Ebenen erfolgen: Wie in Tabelle B.3 im Anhang zu sehen, kann sich die Validierung eines Systemmodells auf dessen Struktur, dessen Verhalten oder dessen Kontext beziehen. Zudem kann eine Validierung auf der Mikro-, Meso- oder Makroebene geschehen. Schließlich können die Erkenntnisse aus der Validierung epistemologischer oder methodologischer Natur sein.

Für die grundsätzliche Validierung des dynamischen Systemmodells sind die Validierung der Modellstruktur sowie eine Validierung des Modellverhaltens wesentlich. Weitere Validierungsschritte erfolgen im Rahmen der Anwendung des Modells am Muster-Planungsbereich.

### 5.6.1 Validierung der Modellstruktur

Die Modellstruktur sowie die Modellparameter wurden in den voranstehenden Kapiteln detailliert hergeleitet, sodass deren Validität unterstellt werden kann.

Extreme Bedingungen kann das Modell im Einsatz aufkommen, in den unterschiedlichen Dauern und in der Einsatzmittel-Vorhaltung annehmen. Als extrem sollen dabei die folgenden Werte gelten:

- Sehr hohe Werte
- Wert = 0
- Sehr geringe Werte
- negative Werte

Für alle oben genannten Variablen wurden diese Extrembedingungen simuliert. Beispielhaft zeigt Bild 5.15 den Vergleich zwischen einer normal-langen Einsatzdauer und einer sehr langen Einsatzdauer (1.000 Minuten Eintreffzeit) bezüglich der Auswirkungen auf die Variable *WARTENDE NOTFÄLLE*.

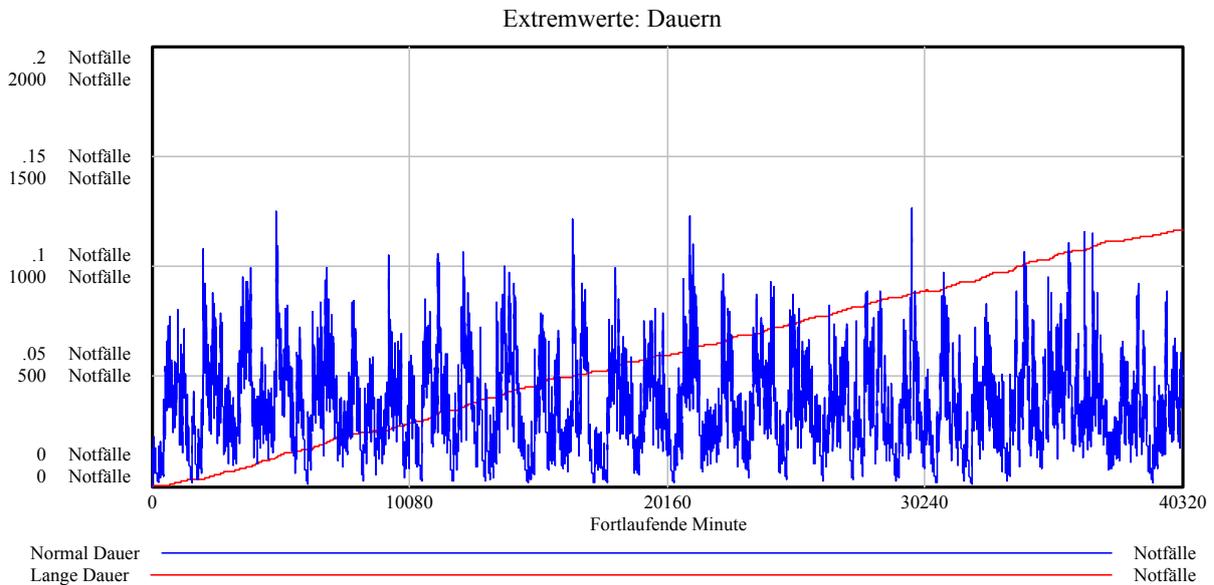


Bild 5.15: VALDIERUNG Simulation von Extremwerten für Dauern im Einsatzverlauf

Erwartungsgemäß reagiert das Modell bei sehr langen Dauern mit einer Eskalation im Level *WARTENDE NOTFÄLLE*.

Bild 5.16 zeigt den Vergleich zwischen einer normalen, einer geringen und einer fehlenden Einsatzmittelvorhaltung bezüglich der Auswirkungen auf die Variable *WARTENDE NOTFÄLLE*.

Auch hier reagiert das Modell erwartungsgemäß mit Stabilität bei einer ausreichend hohen Vorhaltung, mit Eskalation bei einer fehlenden Vorhaltung und mit hohen Mengen wartender Notfälle bei einer geringen Vorhaltung.

Für Variablen-Werte = 0 in den genannten Variablen zeigen sich die folgenden Ergebnisse:

- Einsatzaufkommen: Kein Notfallgeschehen und kein Einsatzgeschehen. Folglich korrektes Modellverhalten.
- Dauern: Dauern = 0 müssen im Modell vermieden werden, da die Ermittlung der Bedienrate mittels Formel 5.7 andernfalls nicht definiert ist.
- Einsatzmittel-Vorhaltung: Das Notfallgeschehen gelangt erwartungsgemäß nicht über die Bedienschwelle (vgl. Bild 5.16, keine Einsatzmittel).

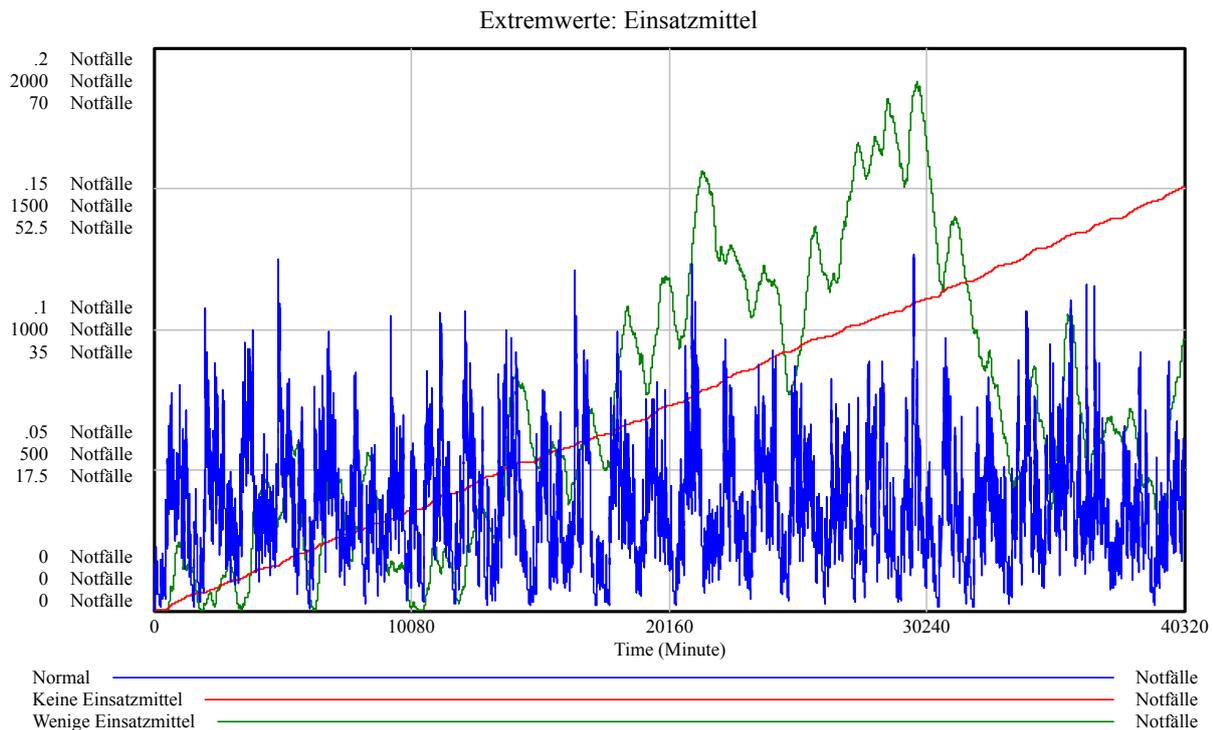


Bild 5.16: VALDIERUNG Simulation von Extremwerten für die Anzahl der Einsatzmittel

Die Wahl der Systemgrenzen wurde in den voranstehenden Kapiteln und Abschnitten ausführlich hergeleitet. Aus diesem Grund können die gewählten Systemgrenzen als valide angesehen werden.

Das Modellierungswerkzeug Vensim stellt eine Funktion zur Prüfung der Einheiten und deren Dimensionen zur Verfügung. Diese Prüfung wurde für das vorgestellte Modell ohne Fehler abgeschlossen. Details zu den Einheiten und den Dimensionen sind in der Dokumentation des Modells im Anhang zu finden.

### 5.6.2 Validierung des Modellverhaltens

Zur Validierung der Reproduzierbarkeit des Modellverhaltens wurde mittels gleicher Eingangsgrößen eine Bemessung der notwendigen Einsatzmittelvorhaltung für die Sicherheitsniveaus von 90 % und 95 % mittels eines Erlang-Verlust-Systems durchgeführt. Die Ergebnisse der Bemessung im Vergleich zur Variablen *AKTIVE EINSATZMITTEL* des Systemmodells (jeweils 90- und 95-Perzentil der aktiven Einsatzmittel je Wochentag und Stunde) sind in Bild 5.17 dargestellt.

Im Allgemeinen ist eine große Übereinstimmung der Ergebnisse erkennbar. Das Modell kann somit Planungsergebnisse verlässlich reproduzieren. Bei der Interpretation der Ergebnisse aus Bild 5.17 ist jedoch zu beachten, dass das analytische Erlang-Verlust-System

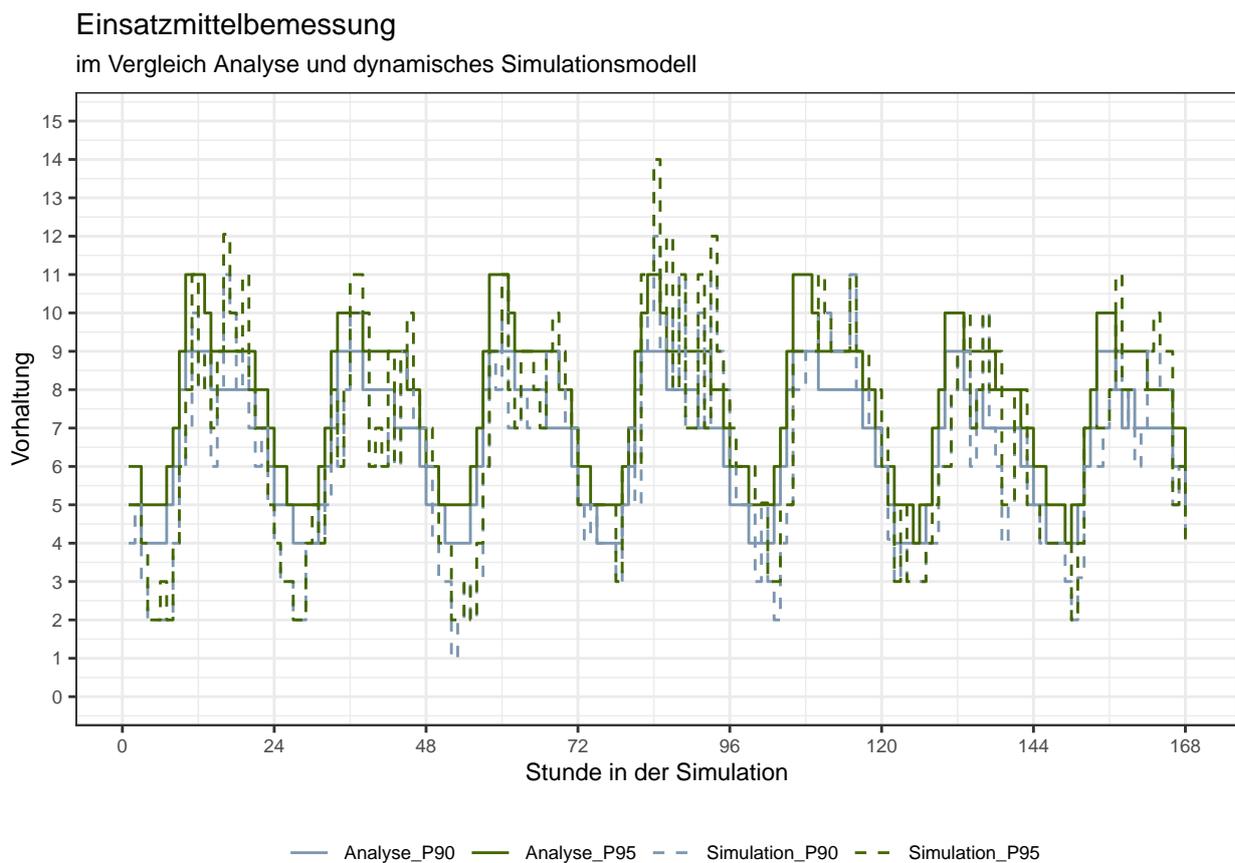


Bild 5.17: VALDIERUNG Reproduzierbarkeit der Modellergebnisse mit analytischen Methoden

nicht wie das dynamische Systemmodell alle Notfälle einer Bedienung zuführt. Es sind folglich für die analytische Vorhaltung Wartezeiten zu unterstellen, welche für das dynamische Systemmodell nicht gelten. Die mittleren Wartezeiten bei Einsatzmittelvorhaltung gemäß der analytischen Lösung können Bild 5.18 entnommen werden.

Es ist gut zu erkennen, dass die Wartezeiten eines Notfalls im dynamischen Simulationsmodell erheblich kürzer sind als für die analytische Lösung. Dieses Verhalten ist gewünscht, da das Modell die Vorhaltung so anpasst, dass Notfälle nahezu unmittelbar bedient werden können.

Das Verhalten des Modells ist zudem bei gleichen Eingangsgrößen reproduzierbar. Anomales Verhalten konnte nicht festgestellt werden.

Bild 5.19 zeigt das Ergebnis von 200 Simulationen, in welchen das jährliche Einsatzaufkommen zwischen 0 und 100.000 Notfällen gleichverteilt variiert wurde (Sensitivitätsanalyse). Zu erkennen ist ein zu erwartendes Verhalten.

Bild 5.20 zeigt das Ergebnis von 200 Simulationen, in welchen die maximal verfügbare

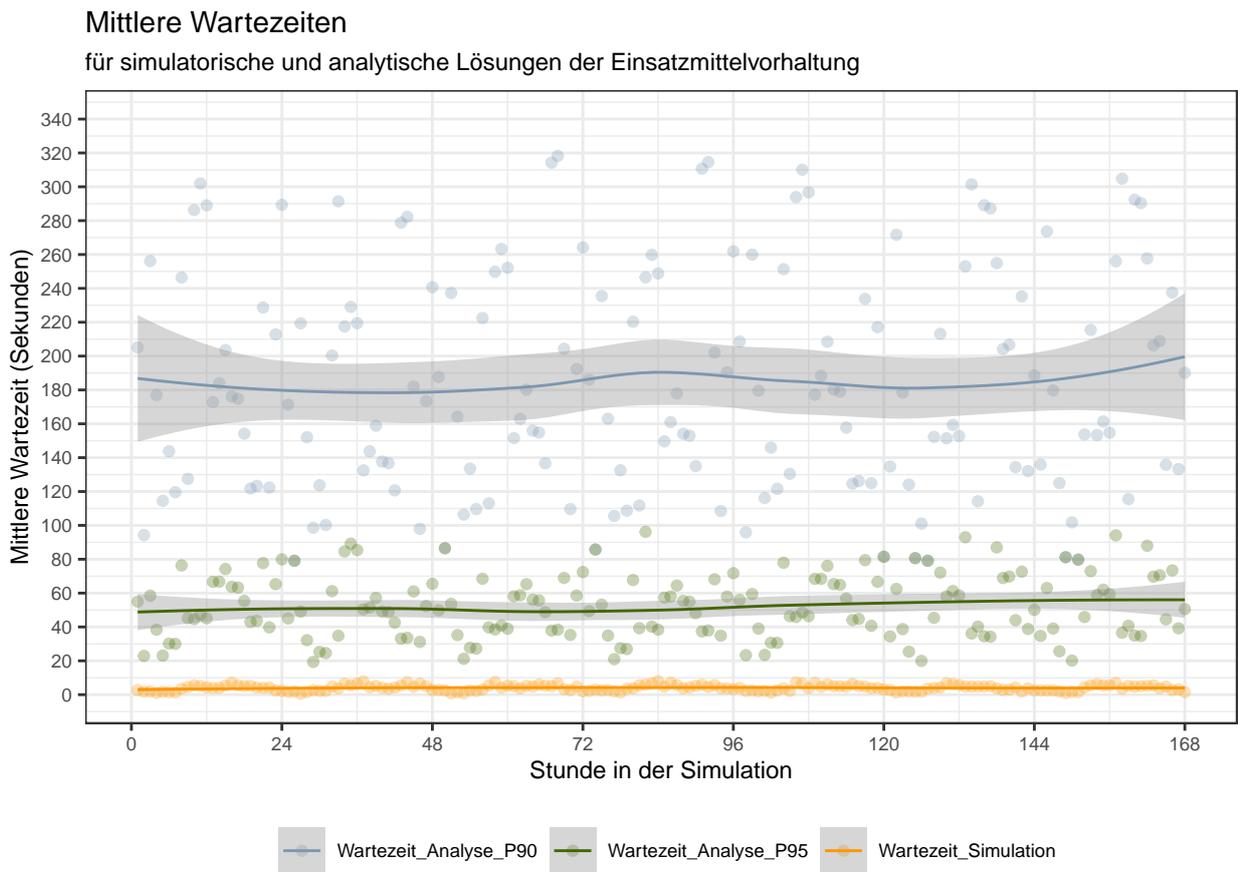


Bild 5.18: VALDIERUNG Wartezeiten der analytischen Lösung

Menge an Einsatzmitteln zwischen 1 und 10 Einsatzmitteln gleichverteilt variiert wurde. Auch hier ist ein zu erwartendes Verhalten zu erkennen.

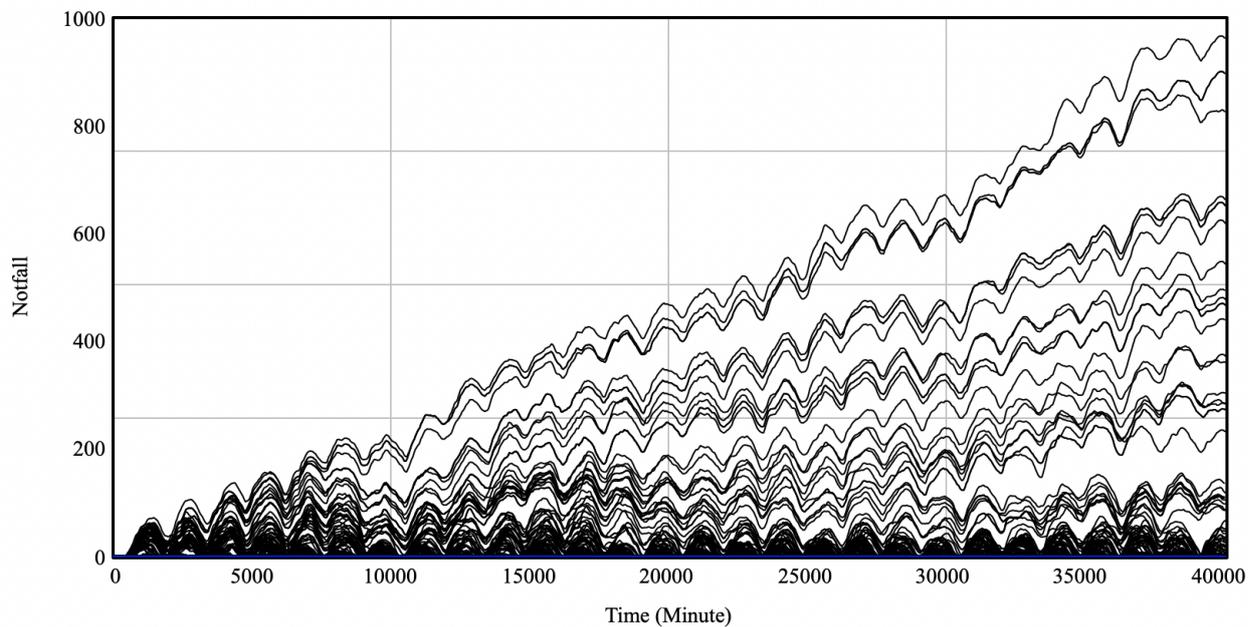


Bild 5.19: VALDIERUNG Sensitivität der wartenden Notfälle auf die jährliche Einsatzmenge

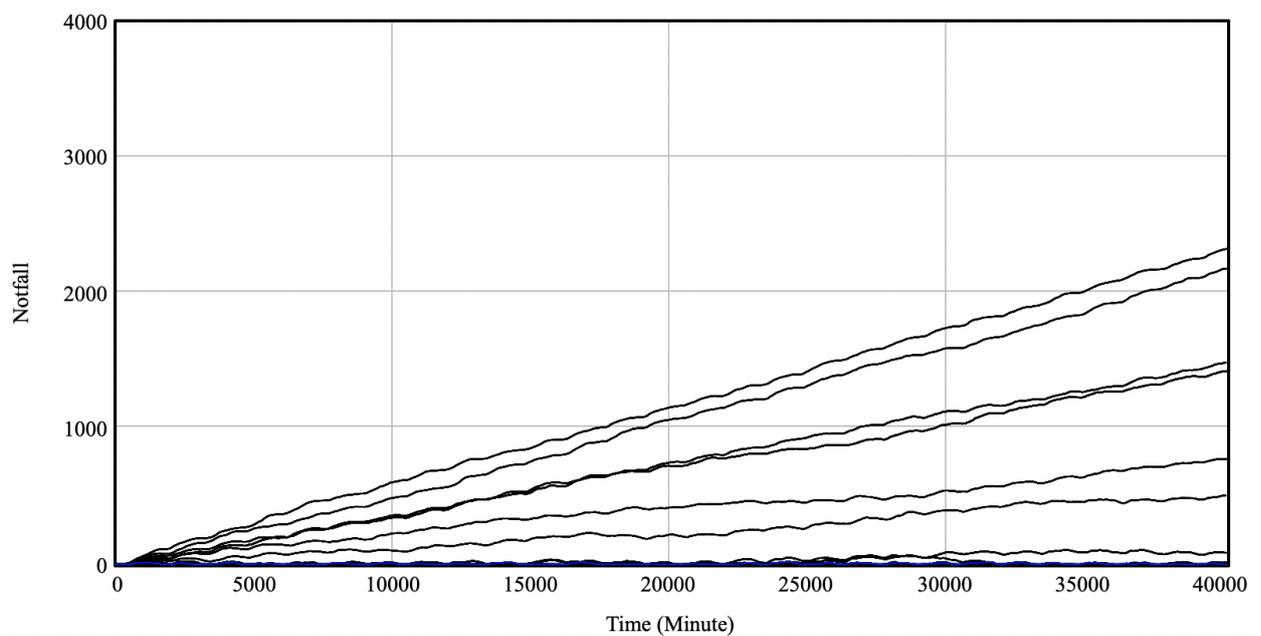


Bild 5.20: VALDIERUNG Sensitivität der wartenden Notfälle auf die Einsatzmittelvorhaltung

# 6 Anwendung der rettungsdienstlichen Systemplanung

## Inhalt

---

6.1	Planungsgrundlagen . . . . .	136
6.2	Modellierung des Muster-Planungsbereichs . . . . .	137
6.3	Systemplanung und Ergebnisse der Systemplanung . . . . .	140
6.3.1	Notfallereignisse . . . . .	140
6.3.2	Basisszenario . . . . .	141
6.3.3	Umsetzung einer Vorhaltungs-Richtlinie . . . . .	144
6.3.4	Szenario Zentralisierung der Krankenhauslandschaft . . . . .	145

---

In diesem Kapitel wird an einem Muster-Planungsbereich die Anwendung des *kybernetischen Modells des Systems Rettungsdienst* sowie der *rettungsdienstlichen Systemplanung* durchgeführt. Hierzu wird zunächst der Muster-Planungsbereich hinsichtlich der wesentlichen Faktoren vorgestellt. Anschließend wird das Systemmodell auf den Muster-Planungsbereich angepasst und somit ein Basis-Modell erstellt. Schließlich erfolgt die Umsetzung einer Vorhalte-Richtlinie im Modell sowie die Analyse der Auswirkungen eines Beispiel-Szenarios.

## 6.1 Planungsgrundlagen

Grundlage der rettungsdienstlichen Systemplanung ist eine Erhebung der Ist-Situation des Rettungsdienstes im betreffenden Planungsbereich. Hierbei sind insbesondere empirische Daten zu den einzelnen Variablen des Systemmodells relevant.

Dem Autor sind die politischen Auswirkungen einer rettungsdienstlichen Planung vollumfänglich bewusst. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle kein realer Planungsbereich für die Anwendung der rettungsdienstlichen Systemplanung herangezogen. Vielmehr werden valide Daten für die zugrundeliegenden Variablen aus der Literatur abgeleitet. Grundla-

ge hierfür ist die Leistungsanalyse des Rettungsdienstes (vgl. Schmiedel und Behrendt, 2019).

Ergänzend hierzu erfolgt eine vereinfachende und anschauliche Modellierung des Planungsbereichs, um die für die Planung verwendeten Parameter in einen sinnvollen Kontext zu setzen.

## 6.2 Modellierung des Muster-Planungsbereichs

Zur Modellierung des Muster-Planungsbereichs werden empirische Daten aus Rettungsdienstbereichen in der Bundesrepublik Deutschland herangezogen, um aus diesen valide Daten für den Muster-Planungsbereich abzuleiten.

Tabelle 6.1 zeigt Daten aus insgesamt 11 Rettungsdienstbedarfsplanungen (Literatur beim Autor) mit den für die Modellierung relevanten Angaben.

Tabelle 6.1: DATENGRUNDLAGE zur Bereichsdefinition auf Basis von Daten aus Rettungsdienstbedarfsplänen

Bereich	Einwohner (EW)	Fläche (km <sup>2</sup> )	Bev.dichte (EW/km <sup>2</sup> )	Anzahl Rettungswachen	Anzahl RTW
B1	443.374	1.792,6	247,3	14	19
B2	591.000	217,0	2.723,5	14	25
B3	557.026	707,0	787,9	9	13
B4	277.783	1.317,0	210,9	14	17
B5	600.764	1.153,2	521,0	17	34
B6	163.838	78,9	2.077,8	7	8
B7	370.676	1.418,0	261,4	11	16
B8	410.222	1.061,1	386,6	12	23
B9	354.382	168,4	2.104,4	9	19
B10	394.891	543,2	727,0	13	21
B11	485.684	407,1	1.193,0	13	25

Zur Definition der Einwohnerzahl und der Fläche des Muster-Planungsbereichs werden die Mittelwerte der Einwohnerzahlen und der Gebietsflächen aus Tabelle 6.1 verwendet. Hieraus ergeben sich die folgenden Daten:

- Einwohner: 422.695
- Fläche (km<sup>2</sup>): 805,8

Aus diesen Werten errechnet sich eine Bevölkerungsdichte von 524,6 Einwohnern/km<sup>2</sup>

Der Leistungsanalyse des Rettungsdienstes für die Jahre 2016 und 2017 können Daten zum Notfallaufkommen je 1.000 Einwohner und Jahr getrennt nach den siedlungsstrukturellen Regionstypen entnommen werden (vgl. Schmiedel und Behrendt, 2019, S 58):

- RGT 1: 93,0 Notfälle je 1.000 Einwohner und Jahr
- RGT 2: 75,8 Notfälle je 1.000 Einwohner und Jahr
- RGT 3: 91,6 Notfälle je 1.000 Einwohner und Jahr

Um dem Muster-Planungsbereich einen siedlungsstrukturellen Regionstyp zuzuordnen zu können, ist es erforderlich, dass eine Zuweisung anhand der aktuellen Festlegung der Regionstypen für reale Landkreise und kreisfreie Städte (Bundesinstitut für Stadt-, - Bau- und Raumforschung, 2019) erfolgt. Auf der Basis dieser Daten wurde das in Bild 6.1 dargestellte Klassifikationsmodell entwickelt.

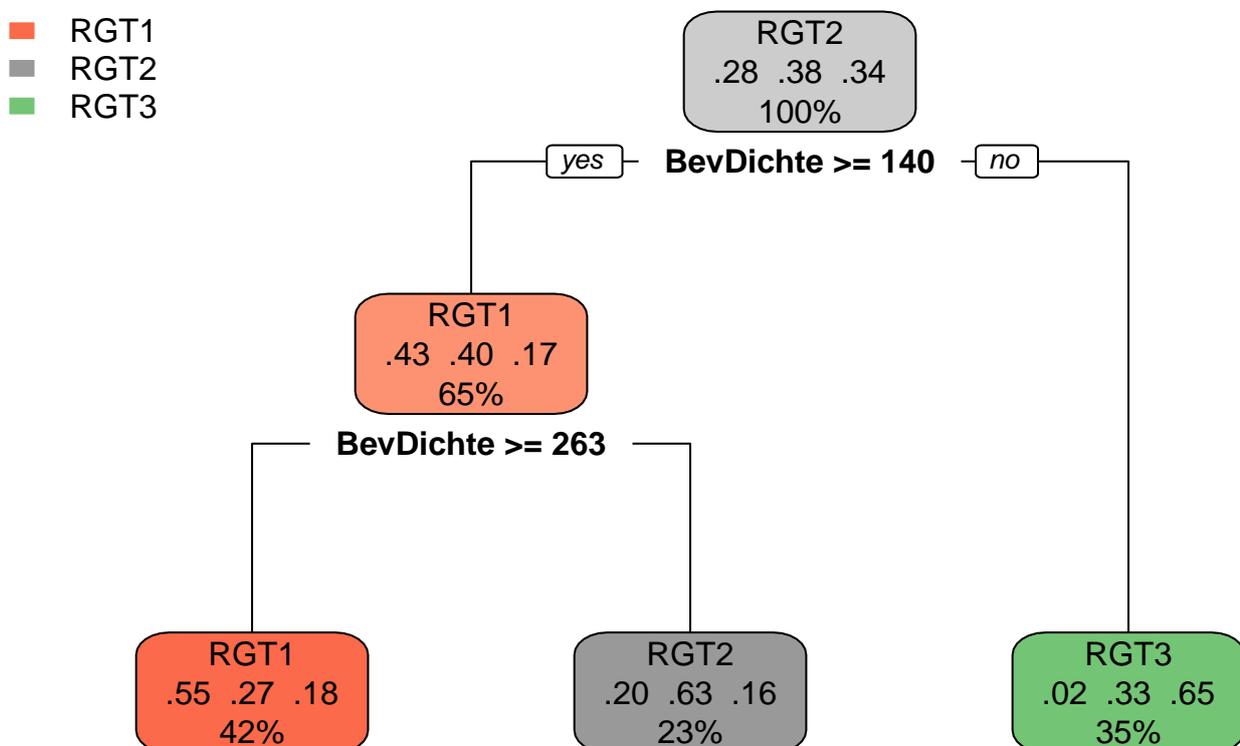


Bild 6.1: KLASSIFIKATOR zur Festlegung des siedlungsstrukturellen Regionstyps einer Region nach Einwohnerdichte

Vor dem Hintergrund dieses Modells ist der Muster-Planungsbereich dem siedlungsstrukturellen Regionstyp 1 (städtischer Raum) zuzuordnen. Dieses Ergebnis ist konsistent zu dem

Ergebnis des in Bild B.2 im Anhang dargestellten Klassifikators nach Zahl der Einwohner und der Gebietsfläche. Dieser Klassifikator ist zudem geeignet, Muster-Planungsbereiche gezielt für einen siedlungsstrukturellen Regionstyp zu entwerfen.

Nach Zuordnung des Muster-Planungsbereichs zum RGT 1 lässt sich mittels der oben angegebenen Notfallraten eine Notfallrate für den Muster-Planungsbereich von 39.311 Notfällen pro Jahr errechnen.

Unter der vereinfachenden Annahme euklidischer Distanzen kann die durch ein Einsatzmittel innerhalb einer Eintreffdauer  $d_{Eintreffen}$  [T] erreichbare kreisförmige Fläche  $A_{erreichbar}$  [L<sup>2</sup>] bei einer angenommenen mittleren Geschwindigkeit  $v_{Einsatzmittel}$  [ $\frac{L}{T}$ ] nach Formel 6.1 berechnet werden.

$$A_{erreichbar} = \pi * (d_{Eintreffen} * v_{Einsatzmittel})^2 \quad (6.1)$$

Für die mittlere Geschwindigkeit eines RTW können 41,3 km/h angenommen werden (Leitstelle Lausitz, 2021). Bei einer Hilfsfrist von 10 Minuten inklusive einer Dispositions- und Ausrückdauer von zwei Minuten verbleiben 8 Minuten für die Eintreffdauer. Hieraus errechnet sich nach Formel 6.1 eine Fläche  $A_{erreichbar}$  von 95,3 km<sup>2</sup>, welche durch eine Rettungswache innerhalb der vorgegebenen Eintreffzeit zu erreichen ist. Somit sind 9 Rettungswachen zur vollständigen Abdeckung des Muster-Planungsbereichs erforderlich.

Im Muster-Planungsbereich werden zwei Krankenhäuser angenommen, welche beide geeignet sind, Notfallpatienten aufzunehmen. Jedes dieser Krankenhäuser hat somit einen Aufnahmebereich  $A_{Aufnahme}$  von 402,9 km<sup>2</sup>. Unter der Annahme eines Transports ohne Nutzung von Sonder- und Wegerechten gem. §§ 35 und 38 StVO mit einer Fahrgeschwindigkeit von 30,4 km/h (ebd.) kann die maximale Transportzeit  $D_{TransportMax}$  je Bereich nach Formel 6.2 berechnet werden.

$$D_{TransportMax} = \frac{\sqrt{\frac{A_{Aufnahme}}{\pi}}}{v_{Einsatzmittel}} \quad (6.2)$$

Die maximale Transportzeit je Aufnahmebereich beträgt somit 22,4 Minuten.

Bild 6.2 fasst die Modellierung des Muster-Planungsbereichs zusammen.

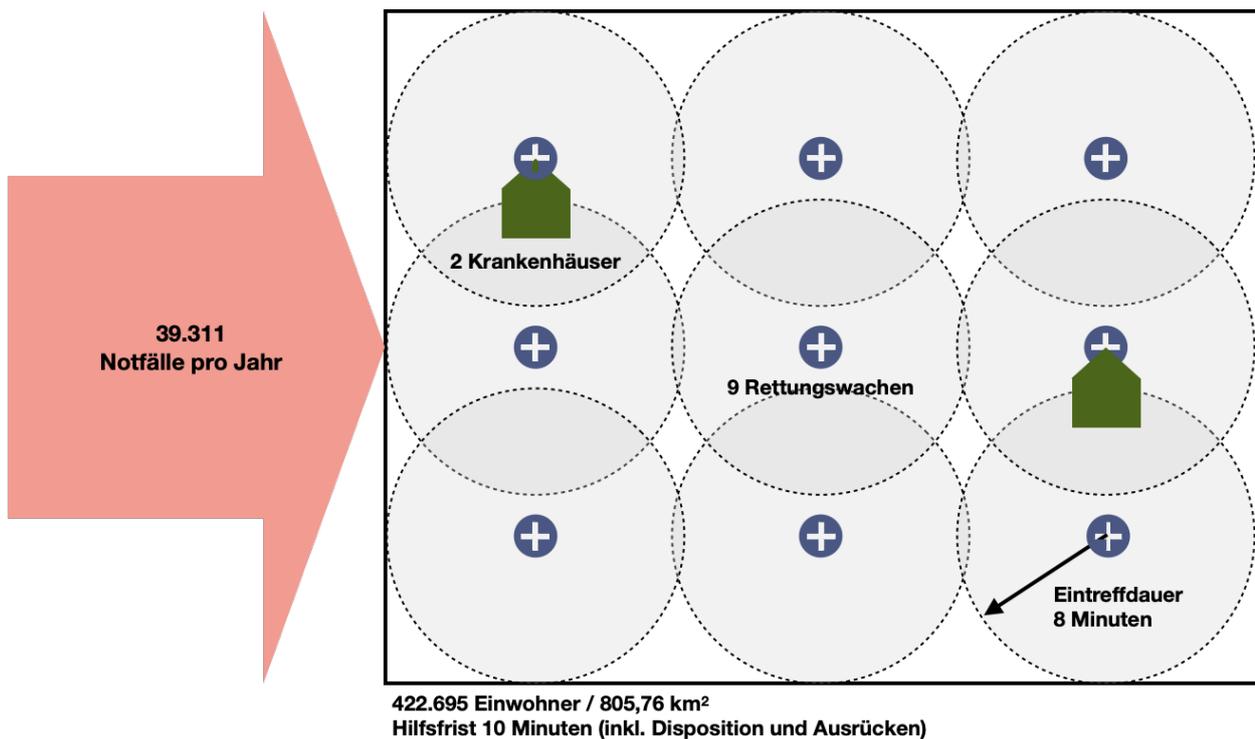


Bild 6.2: MUSTER-PLANUNGSBEREICH für die rettungsdienstliche Systemplanung

## 6.3 Systemplanung und Ergebnisse der Systemplanung

In den nachfolgenden Abschnitten wird die rettungsdienstliche Systemplanung auf den oben definierten Planungsbereich angewendet. Hierzu wird zunächst die Validität der simulierten Notfallereignisse nachgewiesen. Anschließend erfolgt die Definition des Basisszenarios. Schließlich wird exemplarisch der Nutzen des Modells zur Untersuchung von Richtlinien-Auswirkungen und für die Szenariobetrachtung dargelegt.

### 6.3.1 Notfallereignisse

Bild 6.3 zeigt das der Simulation zugrundeliegende mittlere stündliche Einsatzaufkommen (Notf.) sowie die daraus resultierende stündliche Notfallrate (Notf./h).

Der in Abschnitt 5.5.3 erläuterte Wochenverlauf ist für das mittlere stündliche Notfallaufkommen gut zu erkennen. Die 39.311 Notfälle pro Jahr werden folglich in korrekter Folge der Simulation zugeführt. Zu Zwecken der Anschaulichkeit wurde für die Darstellung der gesamte Jahreszeitraum zu einem typischen Wochenverlauf zusammengefasst. Tag- und Nacht-Effekte sowie die Reduktion des Einsatzaufkommens am Wochenende sind gut zu erkennen.

Die dargestellte Notfallrate als realisiertes Notfallaufkommen folgt erwartungsgemäß dem

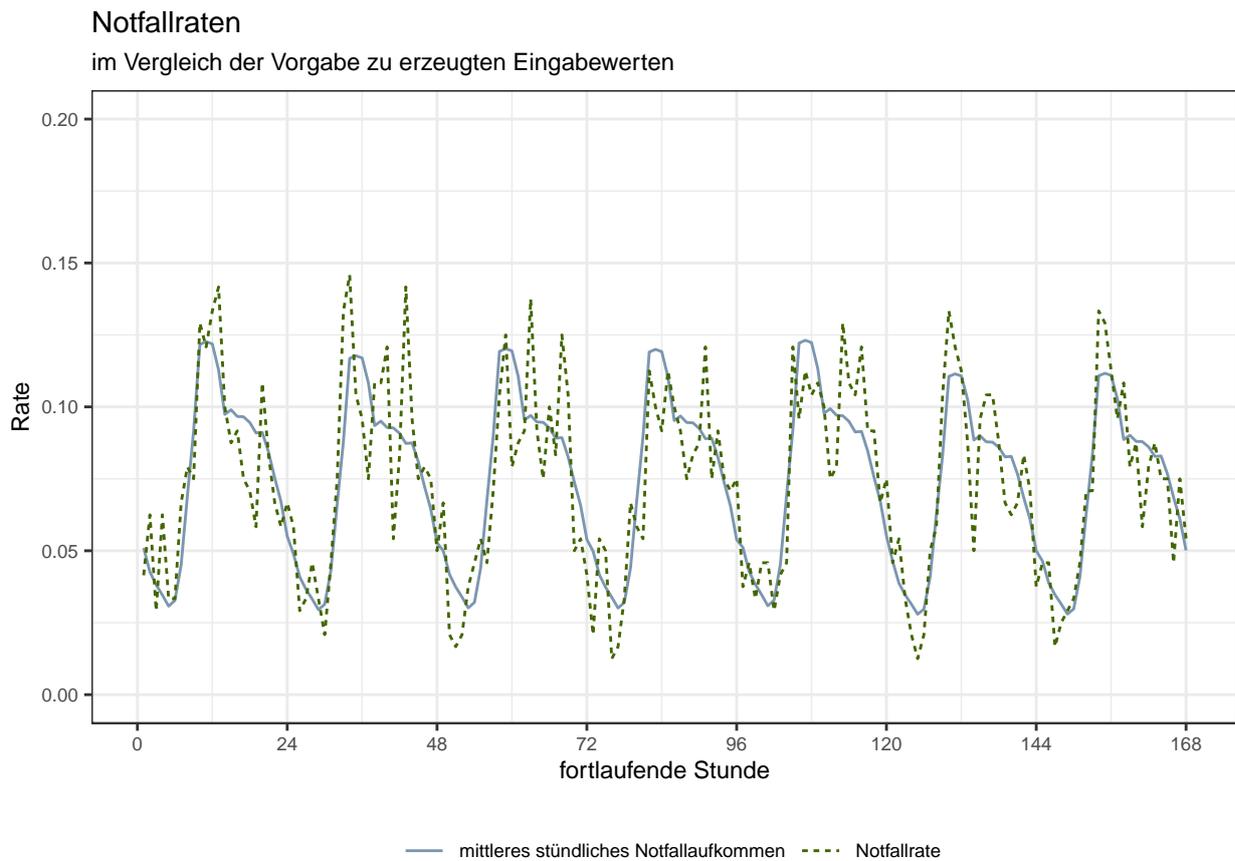


Bild 6.3: NOTFALLEREIGNISSE im zeitlichen Verlauf

mittleren stündlichen Notfallaufkommen. Diese Notfallrate stellt die Eingabe von Notfällen in den rettungsdienstlichen Prozess dar.

Für den zu betrachtenden Rettungsdienstbereich wurde ein Notfallaufkommen von 39.311 Notfällen pro Jahr definiert. Bild 6.4 zeigt den Vergleich dieses jährlichen Notfallaufkommens mit dem Anwachsen der simulierten Notfälle über den Betrachtungszeitraum von vier Wochen, auf welchen 3.014 Notfallereignisse entfallen.

Bild 6.4 ist zu entnehmen, dass zum einen das Notfallaufkommen über den gesamten Zeitraum linear anwächst und zum anderen, dass über den gesamten Zeitraum die korrekte Zahl von Notfällen simuliert wird.

### 6.3.2 Basisszenario

Die Simulation des Basisszenarios sieht zunächst keine Veränderungen am Modell vor. Hintergrund hierfür ist, dass durch dieses Vorgehen eine Vergleichsbasis zu einer optimalen Situation für alle anschließend zu betrachtenden Szenarien erzeugt wird.

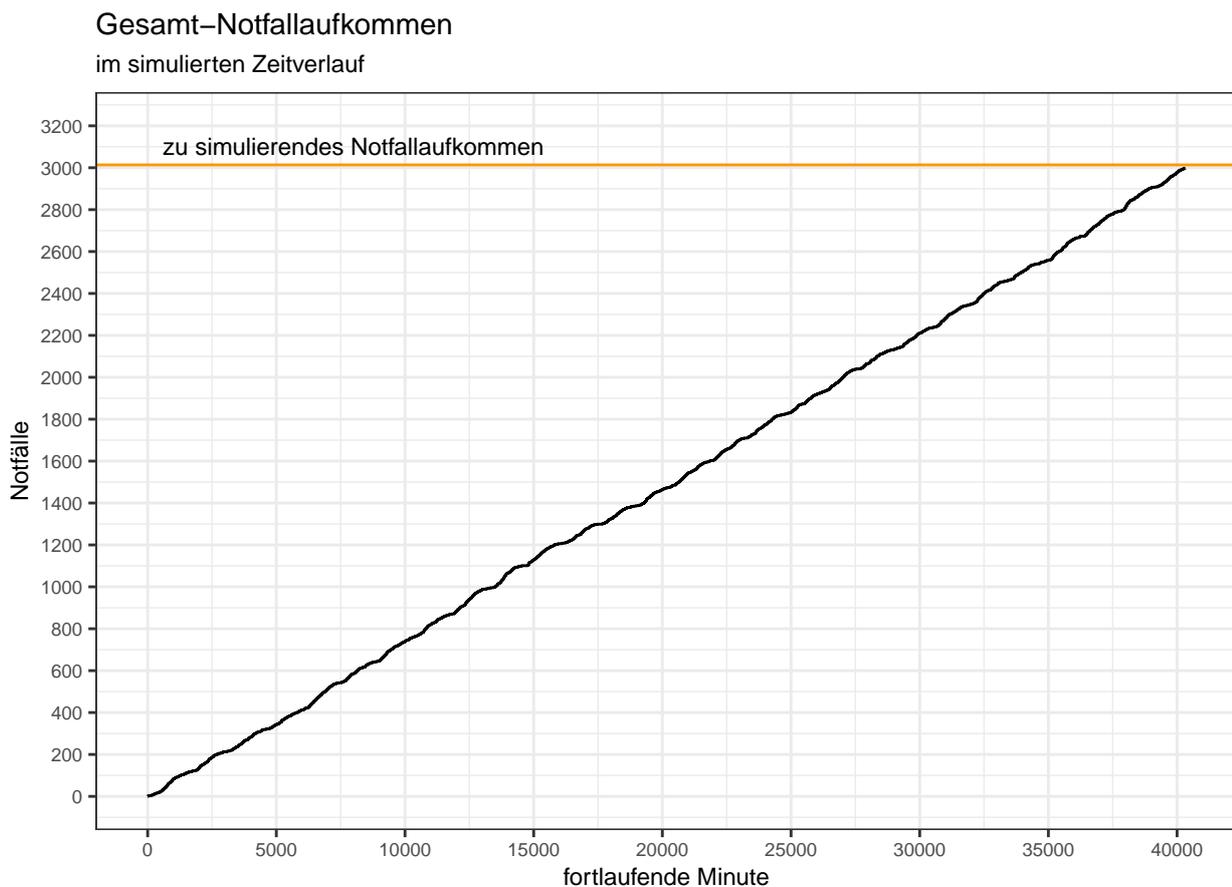


Bild 6.4: GENERIERUNG von Notfallereignissen über den gesamten Betrachtungszeitraum von vier Wochen

Die im vorhergehenden Schritt simulierten Notfälle durchlaufen folglich die Bedienseite des Modells (vgl. Abschnitt 5.5.4) ohne Einschränkungen. Als Stellgröße kann in diesem Fall allein die maximal verfügbare Menge an Einsatzmitteln verwendet werden. Um eine optimale Planung zu erreichen, wird die Menge der maximal verfügbaren Einsatzmittel auf 100 festgesetzt, sodass stets ausreichend Einsatzmittel zur Verfügung stehen.

Den Basis-Einsatzteilzeiten liegen die folgenden Werte zugrunde:

- Dispositionsdauer: 2 Minuten (vgl. Schmiedel und Behrendt, 2019, S.39)
- Ausrückdauer: 1 Minute
- Fahrdauer zum Einsatzort: 3,5 Minuten (zur Einhaltung der Hilfsfrist von 10 Minuten verbleiben 7 Minuten maximale Fahrzeit. Angenommen wird eine Gleichverteilung der Einsatzorte im Einsatzgebiet.)
- Behandlungsdauer vor Ort: 20 Minuten (vgl. ebd., S.41)
- Transportdauer: 11,18 Minuten

- Übergabedauer: 20 Minuten

Hieraus errechnet sich eine Gesamt-Einsatzdauer von 64 Minuten.

Bild 6.5 zeigt die Anzahl der Notfälle in den jeweiligen Bedienstufen des rettungsdienstlichen Systemmodells.

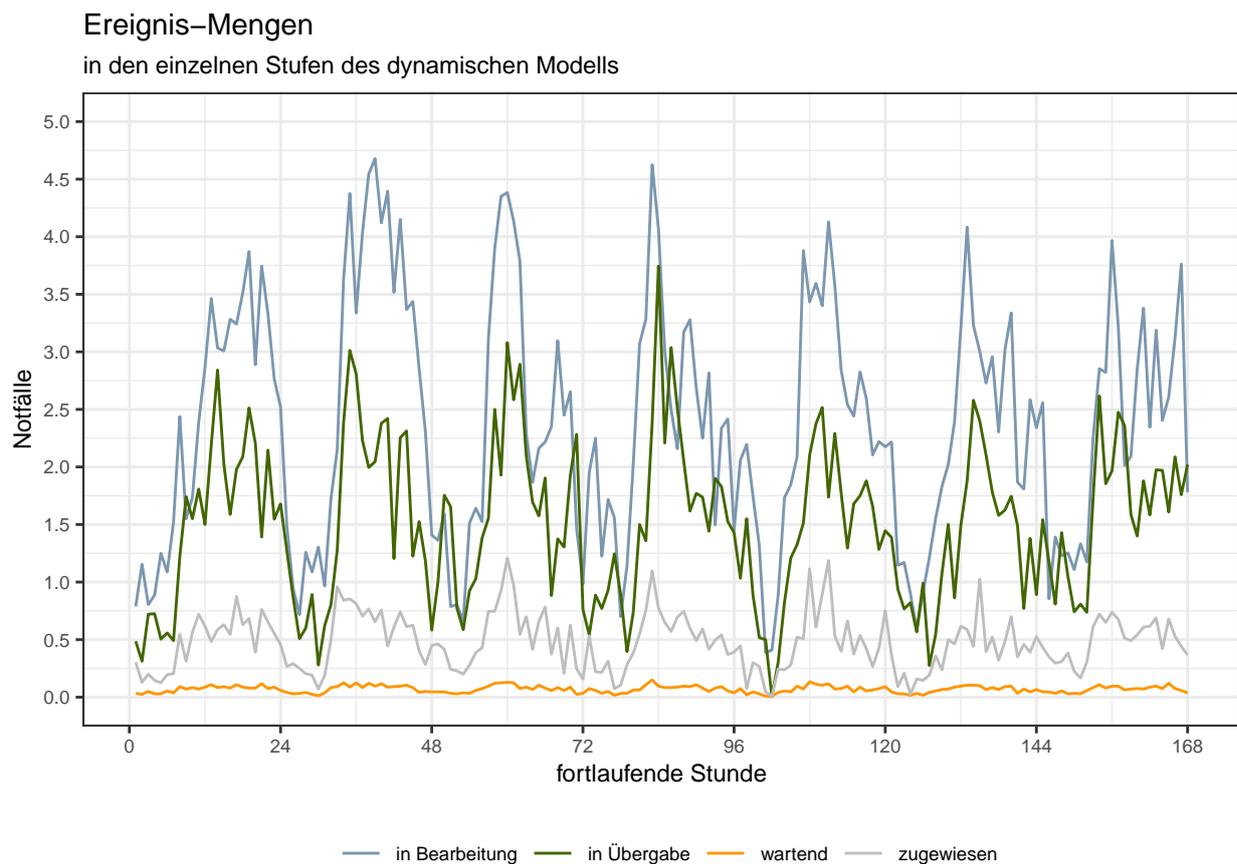


Bild 6.5: NOTFÄLLE in den einzelnen Bedienstufen des Modells im Einsatzverlauf

Für alle Bedienstufen ist eine Tagesgangkurve gut zu erkennen. Zudem ist die Verweildauer in den einzelnen Bedienstufen zu ablesbar. Die Anzahl der Notfälle in der Bedienstufe *ZUGEWIESENE NOTFÄLLE* ist am geringsten, da diese Bedienstufe durch die Eintreffzeit gesteuert wird und diese im Vergleich zu den übrigen Einsatzzeitzeiten geringer ist. Die längste Einsatzzeitzeit, die Bediendauer, welche auch den Transport beinhaltet, beeinflusst die Bedienstufe *NOTFÄLLE IN BEARBEITUNG*, daher ist die Anzahl der Notfälle in dieser Stufe am höchsten.

Gemäß des Planungsziels ist die Anzahl der wartenden Notfälle stets nahezu 0.

Die notwendige Vorhaltung (*AKTIVE EINSATZMITTEL*) zur unmittelbaren Bedienung des simulierten Notfallaufkommens ist Bild 6.6 zu entnehmen.

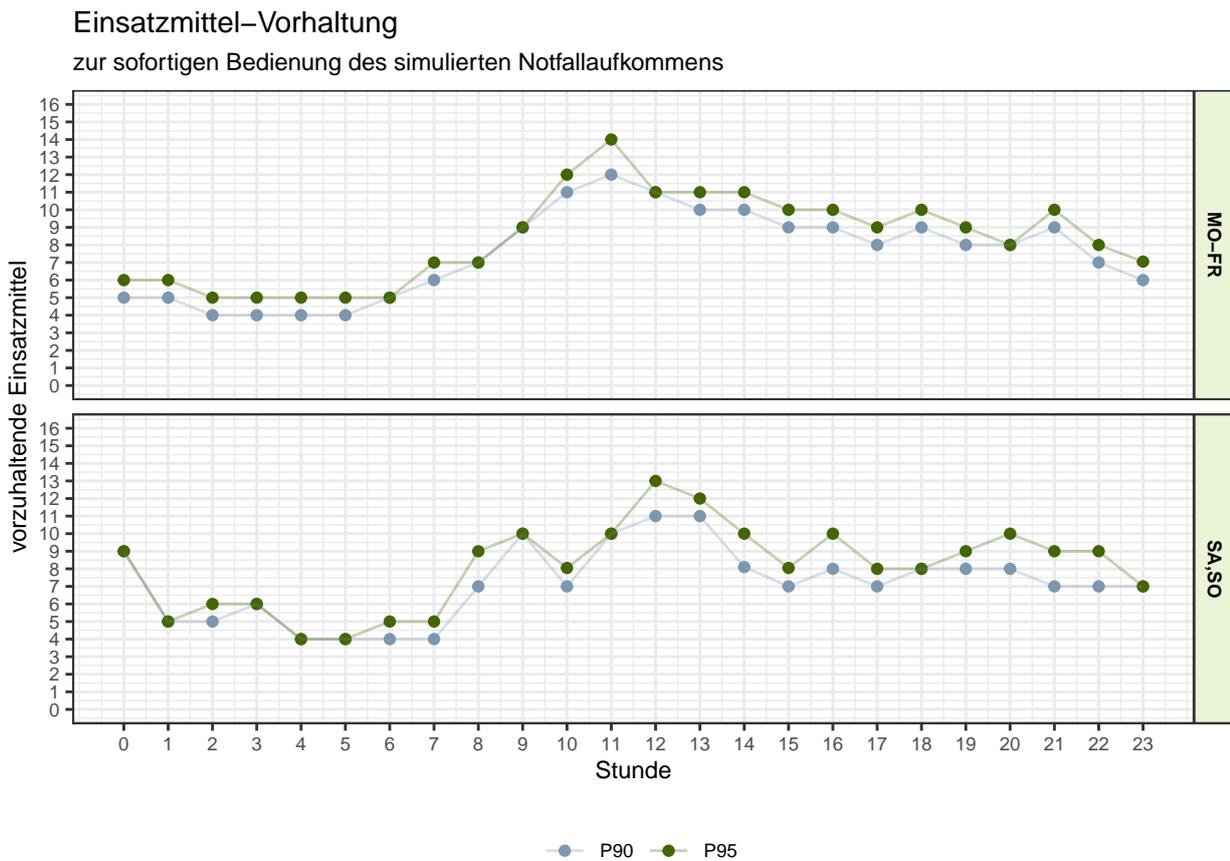


Bild 6.6: VORHALTUNG von Einsatzmitteln im Tagesverlauf ohne Restriktionen

### 6.3.3 Umsetzung einer Vorhaltungs-Richtlinie

Die in Bild 6.6 gezeigte Vorhaltung von Einsatzmitteln ist zwar geeignet, auf Schwankungen im Einsatzaufkommen exakt zu reagieren, allerdings lassen sich Einsatzmittel im Tagesverlauf nicht beliebig aktivieren und deaktivieren. Aus diesem Grund ist eine dienstplangeeignete Vorhaltungs-Richtlinie auf Basis von 8-Stunden-Schichten erforderlich. Bild 6.7 zeigt diese Vorhaltungs-Richtlinie, für welche die Vorhaltung aus dem Basis-Modell jeweils für die Zeitbereiche 07:00 Uhr bis 13:00 Uhr, 13:00 Uhr bis 21:00 Uhr und 21:00 Uhr bis 07:00 Uhr gemittelt wurde.

Die Integration dieser Richtlinie in das dynamische Systemmodell und damit die Restriktion der Einsatzmittel-Vorhaltung hat Auswirkungen auf die Wartezeiten zur Bedienung eines Notfalls, wie aus Bild 6.8 zu entnehmen ist.

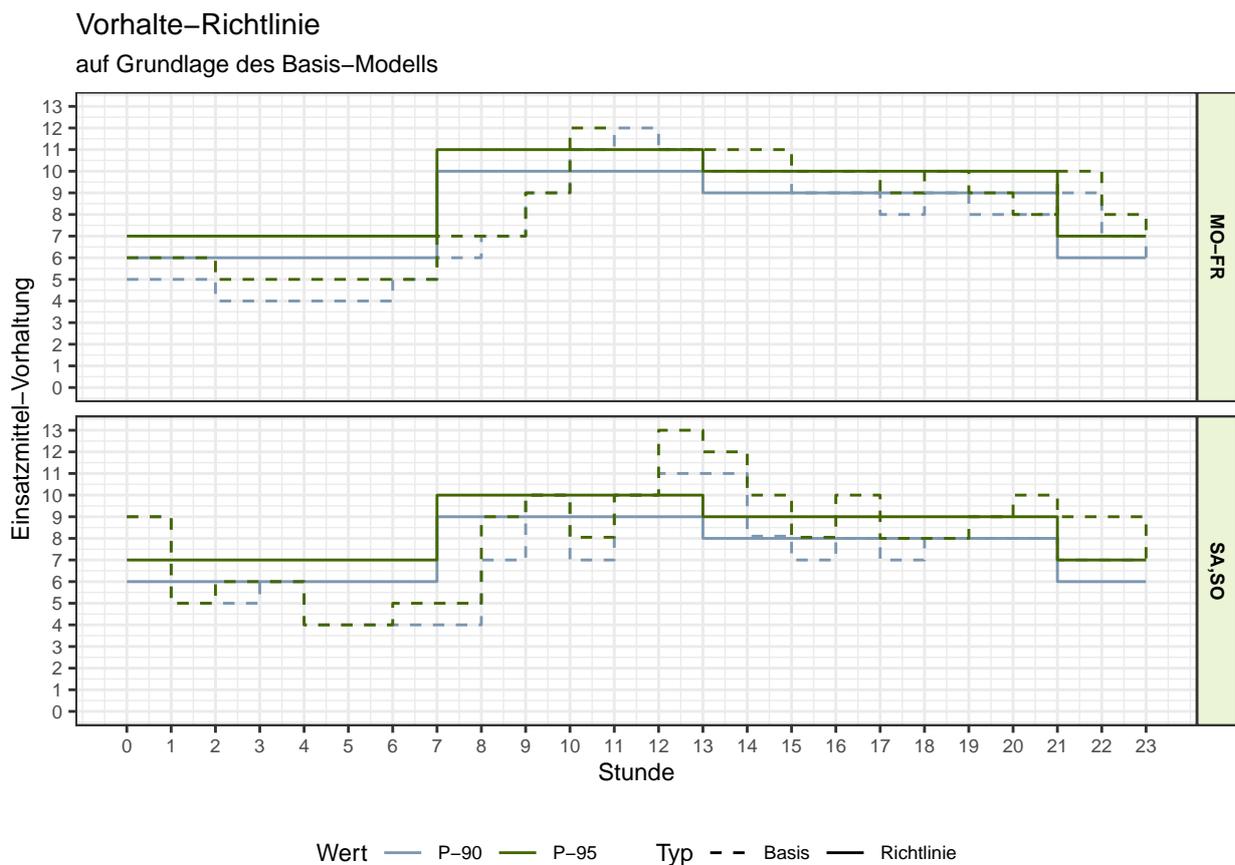


Bild 6.7: RICHTLINIE zur Steuerung der Einsatzmittel-Vorhaltung auf Grundlage des Basis-Modells

### 6.3.4 Szenario Zentralisierung der Krankenhauslandschaft

Die in Abschnitt 3.8.4 beschriebenen Zentralisierungstendenzen in der Krankenhauslandschaft werden in diesem Szenario untersucht. Hierzu wird angenommen, dass von den bisher zwei aufnehmenden Krankenhäusern in der Planungsregion eines geschlossen wird. Dies hat zwei Auswirkungen, welche sich im Modell niederschlagen:

- Die Transportdauern verlängern sich.
- Die Übergabedauern unterliegen einer Auslastung der aufnehmenden Einrichtung, da keine Ausweich-Einrichtungen verfügbar sind.

Die neue mittlere Transportdauer beträgt nach Anwendung von Formel 6.2 15,8 Minuten.

Für die Analyse wird die oben beschriebene Vorhalte-Richtlinie weiter angewendet.

Zur Abbildung des Effekts der Auslastung der aufnehmenden Einrichtung wird die modulare Eigenschaft des Systemmodells genutzt. Die Konnektor-Variable *Übergabedauer* wird wie in Bild 6.9 dargestellt um ein Auslastungsmodul ergänzt. Der Effekt der Auslastung auf die

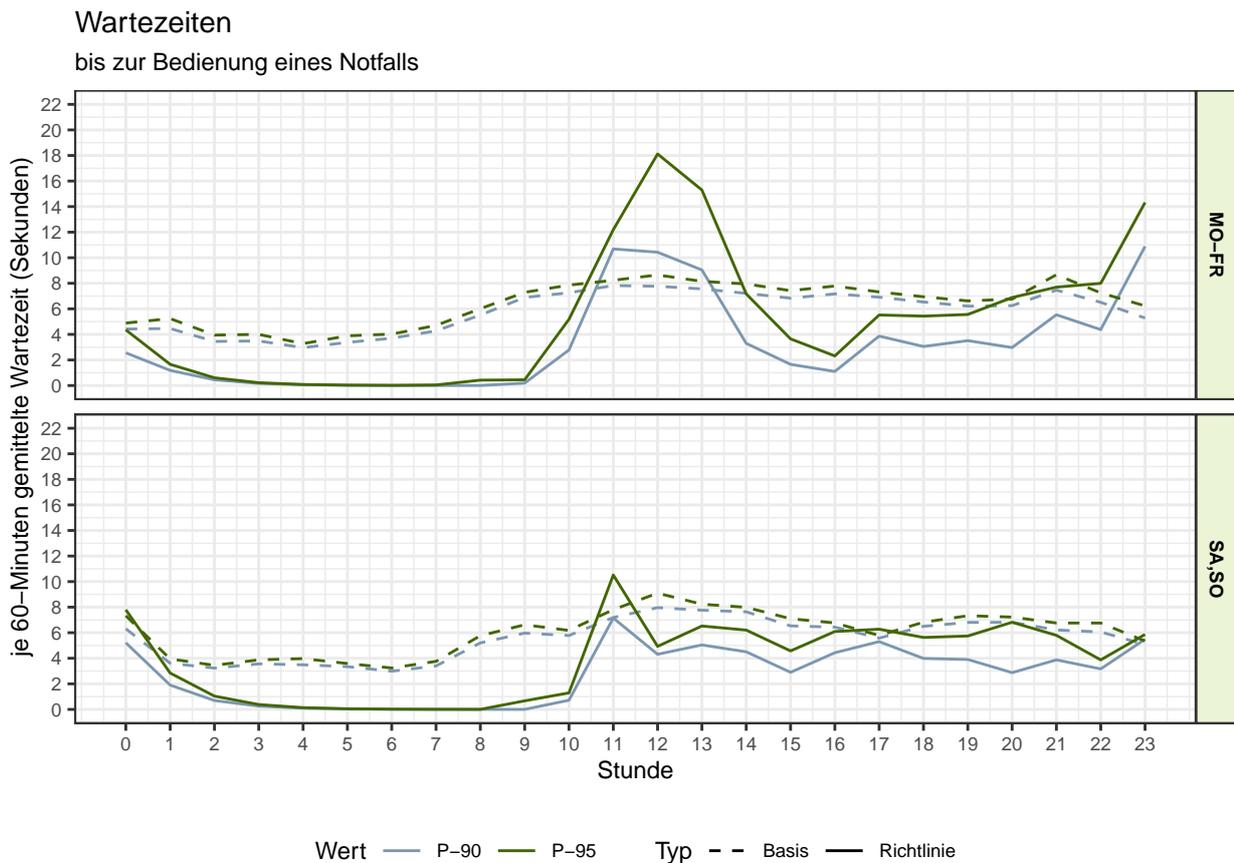


Bild 6.8: RICHTLINIE: Vergleich der Wartezeiten zwischen dem Basis-Modell und der Richtlinienanwendung

Übergabedauer kann der Dokumentation im Anhang entnommen werden.

Die Auswirkungen der in diesem Szenario betrachteten Zentralisierung im Krankenhaus-sektor auf die Wartezeiten bis zur Bedienung eines Notfalls sind in Bild 6.10 dargestellt.

Es ist gut zu erkennen, dass in Zeiten mit vergleichsweise hohem Notfallaufkommen (ab Mittag bis in den späten Abend) erhöhte Wartezeiten auftreten. Im Rahmen der Planung müsste nun in einem nächsten Schritt die Anpassung der Vorhalte-Richtlinie an die neuen Gegebenheiten erfolgen.

Abschließend ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass in diesem Szenario die Variable *Übergabedauer* vom Level *NOTFÄLLE IN ÜBERGABE* beeinflusst wird und umgekehrt. Diese Konstellation kann bei hoher Auslastung oder grundsätzlich hoher Übergabedauer eine eskalative Entwicklung zeigen. Das Szenario ist in diesem Fall jedoch so eingestellt, dass eine solche Eskalation vermieden wird.

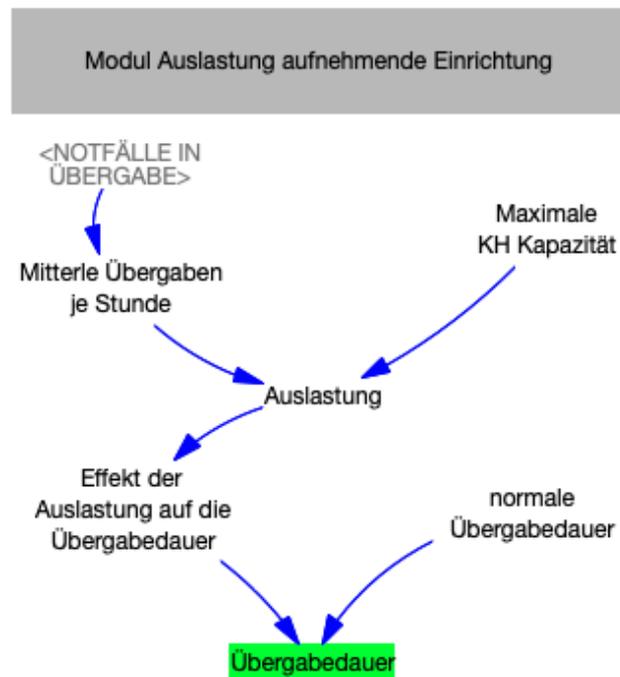


Bild 6.9: SZENARIO: Modellbeschreibung des Moduls *Auslastung aufnehmende Einrichtung*

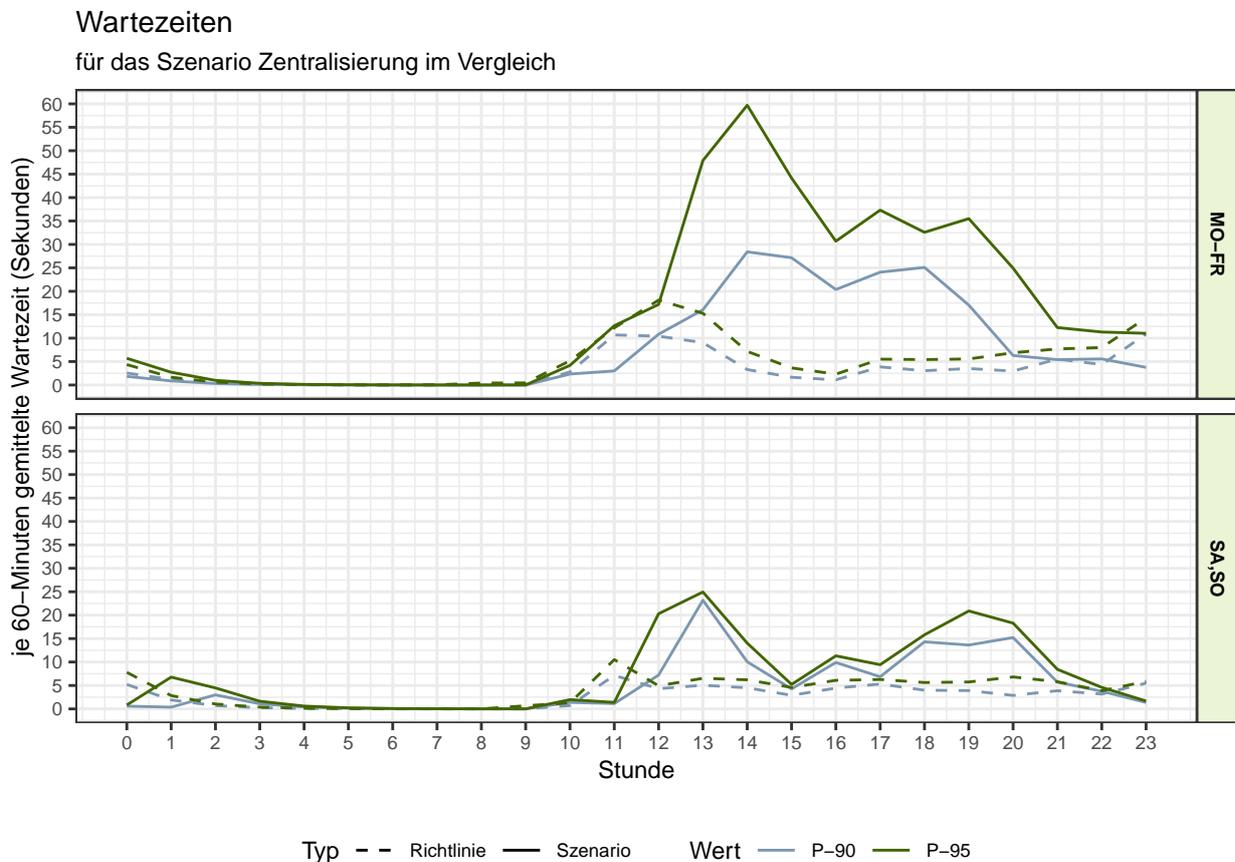


Bild 6.10: SZENARIO: Vergleich der Wartezeiten zwischen dem Szenario und der Richtlinienanwendung ohne Szenario

## 7 Diskussion

In den voranstehenden Kapiteln wurde

- ein systemdynamischer Betrachtungs- und Planungsansatz für die Notfallrettung hergeleitet
- ein darauf aufbauendes Systemmodell modelliert und
- dieses Systemmodell im Rahmen einer Muster-Planung angewendet

Hierzu wurden zunächst wesentliche Einflussfaktoren auf den Rettungsdienst identifiziert, anschließend die Systemeigenschaft des Rettungsdienstes hergeleitet und schließlich eine Systemmodellierung durchgeführt.

Die wesentliche Eigenschaft des Rettungsdienstes und im Speziellen der Notfallrettung besteht in der Bedienung von Notfällen, welche räumlich und zeitlich zufällig auftreten. Um eine hohe Bediensicherheit zu gewährleisten, muss die Ressourcenvorhaltung diesen stochastischen Eigenschaften des Notfalls im Sinne eines stochastischen Prozesses Rechnung tragen. Hierzu ist eine konzeptionelle Trennung von auftretenden Ereignissen (hier Notfällen) und der Bedienung dieser Ereignisse (hier Einsätze) erforderlich (Cooper, 1981). In einem leistungsfähigen Bediensystem muss die Bedien-Seite des Systems so gut auf die Ereignis-Seite des Systems abgestimmt sein, dass die an das System gestellten Leistungsziele mit möglichst geringem Ressourceneinsatz erfüllt werden. § 12 SGB V fasst diese Anforderung für das System Rettungsdienst im Wirtschaftlichkeitsgebot zusammen.

Bisherige Planungsverfahren (vgl. Kapitel 2), welche für den Rettungsdienst in Deutschland angewandt werden (vgl. z. B. Schmiedel, Behrendt und Betzler, 2012), betrachten den Rettungsdienst komponentenbasiert und berücksichtigen keine Wechselwirkungen von Systemkomponenten untereinander. Zudem erfolgt bislang keine Betrachtung von Schnittstellen, insbesondere an den schon erwähnten kritischen Systemgrenzen *Leitstelle* und *Krankenhaus*. Zudem fehlt in der deutschsprachigen Literatur aktuell die erwähnte konzeptionelle Trennung von Notfällen und Einsätzen, welche bisher vornehmlich als ganzheitliches Konzept gesehen werden. Diese Trennung findet sich jedoch in der internationalen Literatur (vgl. z. B. Larson, 1974). Allerdings fehlt auch hier die Möglichkeit, Wechselwirkungen innerhalb des Systems zu berücksichtigen.

Die Analyse der aktuellen Situation des Rettungsdienstes sowie dessen Einflussfaktoren (vgl. Kapitel 3) hat gezeigt, dass trotz Anwendung der bisherigen Planungsverfahren die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes häufig hinter der gewünschten Leistungsfähigkeit zurückbleibt. Zudem besteht aktuell keine Möglichkeit, die Auswirkungen relevanter Trends auf den Rettungsdienst, wie z. B. den Klimawandel, die demographische Entwicklung, Veränderungen in der Krankenhauslandschaft oder die digitale Transformation, strukturiert in der Planung zu berücksichtigen.

Kapitel 4 zeigt, dass der Rettungsdienst und insbesondere die Notfallrettung als ein verlässliches soziotechnisches Bedien-System mit entsprechenden Wechselwirkungen innerhalb des Systems und an den Systemgrenzen betrachtet werden kann. Die Verlässlichkeitseigenschaften solcher Systeme (vgl. Bertsche u. a., 2018, S. 60) sind dabei auf die Notfallrettung anwendbar. Eine Modellierung dieser Verlässlichkeit mittels FMEA auf Basis einer Methode von Mock und Corvo (Mock und Corvo, 2005) hat gezeigt, dass systemkritische Aspekte an vielen Punkten entlang der Rettungskette, insbesondere aber an den Systemschnittstellen *Leitstelle* und *Krankenhaus* auftreten. Diese Erkenntnis stützt den Eindruck, dass bislang Schnittstellenbetrachtungen bei der Planung des Rettungsdienstes eine untergeordnete Rolle gespielt haben.

Die Modellierung des rettungsdienstlichen Systems erfolgte mittels der Methoden der Systemdynamik (Forrester, 2013). In ihrer quantitativen Ausprägung betrachtet die Systemdynamik ein System als ein Netz aus Zu- und Abflüssen (Flow) in Lager (Level), welches um Steuerungsvariablen ergänzt wird. Es konnte im Rahmen dieser Arbeit nachgewiesen werden, dass sich diese Betrachtungsweise für das rettungsdienstliche System besonders eignet, da mit der bereits erwähnten Rettungskette ein Systemschema vorliegt, welches den Fluss von Patienten durch eine Folge von Versorgungspunkten abbildet. Es ist daher naheliegend, dieses Konzept in ein quantitatives systemdynamisches Modell zu übertragen. Das in dieser Arbeit entwickelte rettungsdienstliche Systemmodell folgt dabei schematisch der bekannten Rettungskette, bildet so den rettungsdienstlichen Einsatzablauf ab und implementiert die wesentlichen Eigenschaften des verlässlichen soziotechnischen Systems. Gleichzeitig enthält das Modell die erwähnte Trennung in eine Ereignis-Seite und eine Bedien-Seite und bildet somit auch die Eigenschaften eines Bediensystems ab. Aktuell existieren nur zwei Anwendungen dieser Modellierungsmethode auf den Rettungsdienst für isolierte Szenarien (Martin und Bacaksizlar, 2017; Voyer, 2020). Eine umfassende Modellierung der Notfallrettung existiert bislang nicht.

Die Modellierung entlang der Rettungskette bietet den Vorteil, dass eine einsatzbezogene Simulation erreicht wird. Da auch die aktuellen Qualitätsparameter wie z. B. die Hilfsfrist und der Erreichungsgrad, einsatzbezogen sind, können entsprechende Parameter aus der Simulation abgeleitet werden. Hierbei ist auch von Vorteil, dass aus dem Modell beliebige

Parameter ableitbar sind. Anders als bei herkömmlichen Planungsmethoden wird der Anwender durch die Simulation in die Lage versetzt, zu erwartende Auswirkungen der Planung direkt beurteilen zu können. Dies ist mit herkömmlichen Methoden bisher nicht oder nur sehr schwer möglich, da stets aktuelle Realdaten für die Planung verwendet werden müssen.

Vor dem Hintergrund der Erläuterungen in Abschnitt 5.4 muss eine Ergänzung des Modells um Effekte, welche wesentlich länger wirken als die Dauer eines Einsatzes (z. B. Veränderungen in der Bevölkerung), sehr vorsichtig angegangen werden. Hier ist es empfehlenswert, das vorgestellte Modell und das Ergänzungsmodul parallel mit unterschiedlichen Zeiteinheiten (z. B. Minuten und Tage) laufen zu lassen. Das rettungsdienstliche Systemmodell würde dann in regelmäßigen Abständen Werte aus dem Langzeit-Modul übernehmen.

Die systemdynamische Modellierung bietet neben einem umfassenden analytischen Zugang den Vorteil, dass das Modell selbst Verständnis über das System erzeugen kann. Die grafische Repräsentation der einzelnen Variablen des Modells ist gut geeignet, interdisziplinäre Diskussionen um das rettungsdienstliche System zu stützen und so Verbesserungen in den einzelnen Systemkomponenten zu ermöglichen. Schon die Analogie der Rettungskette und deren Abbildung im rettungsdienstlichen Systemmodell zeigen, dass mittels der systemdynamischen Modellierung bereits vor einer Simulation Einsichten in das System und damit Systemverbesserungen möglich sind. Mittels qualitativer Modelle (vgl. Abschnitt 5.2.2), welche aufgrund der erforderlichen quantitativen Natur der rettungsdienstlichen Leistungsparameter in dieser Arbeit nicht umfassend dargestellt wurden, können bereits ohne Kenntnis exakter Daten zielgerichtet Systemmodelle erstellt werden, welche dann in quantitative Modelle für eine exakte Planung überführt werden können.

Der vergleichsweise einfache Zugang zum systemdynamischen Modell stellt einen erheblichen Vorteil zu anderen Simulationsmethoden dar, wie z. B. der in dieser Arbeit vorgestellten Methode der ereignisdiskreten Simulation (vgl. Abschnitt 5.1.2). Neben einer besseren interdisziplinären Arbeit an einem solchen Modell stellt ein einfacher Zugang auch immer eine geringere Fehleranfälligkeit sicher.

Die Validierung des rettungsdienstlichen Systemmodells hat gezeigt, dass mittels des Systemmodells Planungsergebnisse erzielt werden können, welche mit analytischen Methoden zur Planung von Bediensystemen (Cooper, 1981) vergleichbar sind. Das rettungsdienstliche Systemmodell bietet jedoch den Vorteil, dass Einflussgrößen direkt ersichtlich werden und so eine Planung stattfinden kann, welche unterschiedliche Wechselwirkungen berücksichtigt.

Schließlich hat die modulare Natur des rettungsdienstlichen Systemmodells es möglich

gemacht, dass sowohl Richtlinien als auch Szenarien mittels des Modells planbar sind (vgl. Abschnitt 6.3). Diese Eigenschaft bietet erhebliche Vorteile in der Bedarfsplanung, da einzelne Komponenten bzw. Verbesserungsansätze des rettungsdienstlichen Systems isoliert betrachtet werden können.

## 8 Fazit

Der Rettungsdienst stellt einen wichtigen Teil zur Aufrechterhaltung einer modernen Gesellschaft dar. Er folgt einem Ansatz der Spezialisierung, bei welchem Fortschritt unter anderem dadurch erzielt wird, dass nicht jedes Mitglied einer Gesellschaft alle Tätigkeiten ausführen kann, sondern einzelne Mitglieder in hoch spezialisierten Bereichen arbeiten und Fortschritt durch die Zusammenarbeit dieser Bereiche erzielt wird. Bezogen auf den Rettungsdienst bedeutet das, dass die Versorgung von akuten Erkrankungen und anderen Notfällen nicht mehr im Verantwortungsbereich eines jeden Bürgers liegt, sondern über die Institution Rettungsdienst an hierfür speziell ausgebildete und ausgerüstete Kräfte delegiert wird. Dies führt zu einer enormen Steigerung von Effektivität und Effizienz nicht nur in der Notfallversorgung, sondern auch in allen anderen Bereichen, da andere Mitglieder der Gesellschaft über die Erste Hilfe hinaus keine Ressourcen auf eine adäquate Notfallversorgung verwenden müssen.

Als Teil der Daseinsvorsorge kann der Rettungsdienst nicht – wie Wirtschaftsbetriebe – typischen Gesetzmäßigkeiten eines Marktes unterliegen. Die Kosten für die Notfallrettung können schon allein aus moralischen Gründen nicht über Angebot und Nachfrage gesteuert werden. Das bedeutet aber auch, dass die Kosten des Systems Rettungsdienst nicht wie Wirtschaftsbetriebe dem Korrektiv des Marktes unterliegen. Ausufernde Kosten aufgrund von falschem Wirtschaften können nicht in der Insolvenz des Rettungsdienstes als Institution münden. Auch die Nichtberücksichtigung von Trends wie z. B. der Veränderung der Krankenhauslandschaft hat zunächst allein Auswirkungen auf die Kosten des Rettungsdienstes und bleibt ohne gezielte Betrachtung unentdeckt. Aus diesem Grund ist eine umfassende und zielgerichtete Planung des Rettungsdienstes sehr wichtig. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Planung der Notfallrettung, nicht zuletzt aufgrund der mit einem Notfall verbundenen Emotionen, welche sich in Diskussionen zur Ausgestaltung des Rettungsdienstes wiederfinden können.

Die Wahrnehmung und Analyse des Rettungsdienstes und insbesondere der Notfallrettung als verlässliches soziotechnisches System (vgl. Abschnitt 4) erfüllt das erste Ziel dieser Arbeit, die Herleitung eines Verständnisses des Rettungsdienstes als dynamisches soziotechnisches System. Es konnte gezeigt werden, dass sowohl die Verlässlichkeitsaspekte als auch die dynamisch-komplexen Eigenschaften dieses Systems Rettungsdienst

in dessen Planung von großer Bedeutung sind.

Die durch Bertsche et al. definierten Kennzeichen verlässlicher soziotechnischer Systeme (vgl. 4.2) konnten erfolgreich zur Analyse des rettungsdienstlichen Systems zum Zweck der Identifikation der relevanten Systemkomponenten, deren Eigenschaften und Beziehungen angewandt werden. Über die Ableitung der Verlässlichkeitseigenschaften des Rettungsdienstes, der relevanten Akteure und schließlich der relevanten Systemvariablen konnte so das zweite Ziel der Arbeit, eine Herleitung von Methoden zur Analyse des beschriebenen rettungsdienstlichen Systems zum Zweck der Identifikation der relevanten Systemkomponenten, deren Eigenschaften und Beziehungen, erreicht werden.

Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten systemdynamischen Modell liegt erstmals ein Werkzeug vor, welches es ermöglicht den Rettungsdienst als System in einer optimalen Weise zu planen und zu verbessern, womit auch das dritte Ziel dieser Arbeit erreicht wurde. Dies wird nicht alleine durch die Anwendung des Modells erreicht, sondern auch durch die Möglichkeit, anhand des Modells das *System Rettungsdienst* einer fachlichen Diskussion zuzuführen. Ergänzend können durch die definierten Konnektoren angrenzende Systeme und Variablen im Detail modelliert werden, um so zu einer ganzheitlichen Verbesserung des Gesundheitssystems im präklinischen Bereich beizutragen.

Über den in dieser Arbeit vorgestellten systemdynamischen Planungsansatz für die Notfallrettung werden Planer in die Lage versetzt, den Blick weg von Wirkungen hin zu den Ursachen der Veränderung im Rettungsdienst zu richten. Erstmals wird es so möglich, Veränderungen zu Beginn der Rettungskette (mehr Einsatzmittel trotz gleichbleibender Notfallmengen) auf Ursachen am Ende der Kette (Reduktion von Krankenhäusern und längere Transportzeiten) zurückzuführen und in einem ganzheitlichen Planungsmodell zu berücksichtigen. Auf diese Weise wird ein neues, ganzheitliches Verständnis des Rettungsdienstes mit seinen Ursachen-Wirkungs-Beziehungen möglich. Das systemdynamische Modell der Notfallrettung ist dabei geeignet, eine ganzheitliche – im Gegensatz zu einer komponentenbasierten – Systembetrachtung zu ermöglichen. Somit wurde auch das übergeordnete Ziel der Arbeit erreicht. Zwar ermöglicht das Modell eine nachhaltige und zukunftsorientierte Planung, ob diese aber in der Realität auch nachhaltige und zukunftsorientiert ist, liegt natürlich beim Anwender.

## 9 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde nachgewiesen, dass mittels der Methoden der Systemdynamik eine rettungsdienstliche Systemplanung möglich ist und dass diese Planungsmethode den bisherigen in Deutschland angewendeten Verfahren überlegen ist. Diese Überlegenheit rührt nicht zuletzt aus der Tatsache, dass das Modellierungsverfahren ein ganzheitliches Bild des rettungsdienstlichen Systems erlaubt und das Vorgehen bei der Modellierung über die unterschiedlichen Modellarten (qualitativ und quantitativ) geeignet ist, Erkenntnisse aus unterschiedlichen Ebenen des Rettungsdienstes zu berücksichtigen. So können z. B. neue Vorgehensweisen über Interviews vor Ort identifiziert, schnell als Modell skizziert und später in Form eines quantitativen Modells formalisiert und validiert werden.

Die Verwendung von dynamischen Systemmodellen kann dazu führen, dass die Beteiligten im Rettungsdienst, Leistungserbringer, Träger, Kostenträger und Planer, ein einheitlicheres Verständnis von den komplexen Abläufen im und Einflüssen auf den Rettungsdienst erhalten und so gemeinsam zu besseren und nachhaltigeren Lösungen kommen. Die einfache Art Lösungen zu skizzieren, kann hierbei nur hilfreich sein.

Die Art der Modellierung eines dynamischen Systemmodells eröffnet neue Möglichkeiten der Forschung im Bereich des rettungsdienstlichen Systems. Die mit dieser Arbeit geschaffene Grundlage kann einerseits in ihren Einzelheiten weiterentwickelt werden. Dies kann zum Beispiel darüber geschehen, dass Variablen wie die Bevölkerung in detailliertere Modelle überführt werden. Zum anderen ist es aber auch möglich, ganze Systemteile in modularer Form abzubilden und so austauschbar zu machen. Dieses Verfahren kann ähnlich verstanden werden, wie die Modularisierung von Computercode. Auf diese Weise können Bibliotheken von Systemmodulen des rettungsdienstlichen Systems geschaffen werden, welche von Wissenschaftlern wie Planern dazu verwendet werden können, bestehende Systeme standardisiert abzubilden, zu untersuchen und zu verbessern.

Zudem ist das in dieser Arbeit vorgestellte Modell vollumfänglich in IT-Systeme integrierbar. Das bedeutet, dass die Ergebnisse der Modellierung auch Anwendern zur einfachen Bedienung zur Verfügung gestellt werden können. Ein Beispiel hierfür wäre eine Webapplikation, welche es dem Nutzer ermöglicht, die Stellgrößen des Systems an seine

eigenen Gegebenheiten anzupassen und so eine Simulation „seines“ Rettungsdienstes durchzuführen.

Die vollständige Integration in IT-Systeme hat zudem den Vorteil, dass auch andere Werkzeuge in den Untersuchungs- und Planungsprozess eingebunden werden können. Ein dynamisches Systemmodell kann auf diese Weise zum Beispiel mit Werkzeugen des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz ergänzt werden, um bessere Annahmen zu den enthaltenen Variablen zu finden. Ein auf diese Weise integriertes Modell kann so z. B. in einem Live-Betrieb nicht nur zu Planungszwecken, sondern auch zu Prognosezwecken verwendet werden, um kritische Systemzustände vorherzusagen und so zu vermeiden. Auch hier kann eine Integration in andere IT-Systeme den gesamten Prozess weiter automatisieren, indem z. B. automatisiert der Einsatz von RTW als KTW im Einsatzleitsystem verhindert wird, sobald das Modell eine unzulässig lange Wartezeit bei Notfalleinsätzen prognostiziert. Das Modell stellt somit einen ersten Schritt in zu einer möglichen Weiterentwicklung zu einem digitalen Zwilling des rettungsdienstlichen Geschehens dar.

Schließlich können die aus dem Systemmodell und dessen zukünftigen Verbesserungen gewonnenen Einsichten dazu führen, dass die aktuell auf den Erreichungsgrad und die Kosten beschränkten Planungsparameter im Rettungsdienst um weitere Faktoren und Parameter ergänzt werden.

Allerdings ist bei der Planung mit dem Modell zu berücksichtigen, dass es bislang an standardisierten Planungsverfahren für den Rettungsdienst unter Anwendung eines systemdynamischen Modells fehlt. Eine breite Bereitstellung des Modells, z. B. in Form der Aufnahme des Modells in die KGSt-Prozessbibliothek, kann zu einer Standardisierung des rettungsdienstlichen Prozesses beitragen und die Systematik des Modells für alle Beteiligten nutzbar machen. Auf diese Weise würde nicht nur ein wesentlicher Beitrag zur Standardisierung erfolgen, sondern auch eine erhebliche Steigerung des Nutzwertes des vorgestellten Modells die Folge sein.

Abschließend sei auf die Übertragbarkeit des vorgestellten Ansatzes in andere Bereiche, welche an das System Rettungsdienst angrenzen, hingewiesen. Die Ergebnisse dieser Arbeit können herangezogen werden, um Systemmodelle für Leitstellen und Krankenhäuser oder auch für Feuerwehren zu entwickeln. Unter der Voraussetzung, dass ein einheitliches systemdynamisches Verständnis von sicherheitsrelevanten soziotechnischen Systemen erzielt werden kann, könnten diese Modelle auch miteinander interagieren bis hin zu einem digitalen Zwilling der Sicherheitslandschaft.

# Bildverzeichnis

1.1	STRUKTUR UND METHODE der vorliegenden Arbeit . . . . .	10
2.1	ZIELE des rettungsdienstlichen Handelns . . . . .	15
2.2	RETTUNGSKETTE von der Entdeckung des Notfalls bis zur Versorgung im Krankenhaus . . . . .	16
2.3	FORTFÜHRUNG der Sicherheitstechnik durch rettungsdienstliches Handeln	24
2.4	EXPONENTIALVERTEILUNG Wahrscheinlichkeitsdichte für Zwischenankunftszeiten bei Ankunftsraten von 0,5 und 0,8 pro Zeitintervall . . . . .	26
2.5	POISSONVERTEILUNG Wahrscheinlichkeit für Ereignisse im Zeitintervall bei Ankunftsraten von 0,5 und 0,8 pro Zeitintervall . . . . .	27
2.6	DIMENSIONEN der Qualität (Eigene Darstellung auf Basis von (Hellmich, 2010, S. 20)) . . . . .	30
2.7	ERREICHUNGSGRADE als Regelgrößen im Rettungsdienst . . . . .	33
2.8	VERGLEICH von stundenweisen und schichtweisen relativen Einsatzhäufigkeiten . . . . .	39
3.1	BEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG in Deutschland von 1999 bis 2019 . . .	41
3.2	Siedlungsstrukturelle REGIONSTYPEN des BBSR . . . . .	43
3.3	Jährliches FAHRTAUFKOMMEN im Rettungsdienst nach Einsatzmittel (bundesweit, 2016/17) . . . . .	44
3.4	VERTEILUNG des Fahrtaufkommens im Rettungsdienst nach Einsatzmittel und Regionstyp (bundesweit, 2016/17) . . . . .	45
3.5	EINSATZRATEN im Rettungsdienst nach Einsatzmittel und Regionstyp (bundesweit, 2016/17) . . . . .	46
3.6	Jährliches EINSATZAUFKOMMEN im Rettungsdienst nach Einsatzart (bundesweit, 2016/17) . . . . .	47
3.7	ZEITLICHE VERTEILUNG des Einsatzaufkommens im Rettungsdienst im Wochenverlauf (bundesweit, 2016/17) . . . . .	48
3.8	ERLÄUTERUNG der Werte in einer Boxplot- und Violinplot-Darstellung . .	49
3.9	Verteilung des ERREICHUNGSGRADES für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2010 bis 2016 . . . . .	50

---

3.10 NOTFÄLLE je 1.000 Einwohner für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2010 bis 2016 . . . . .	51
3.11 AUSLASTUNG von Einsatzmitteln für alle Rettungsdienstbereiche im Land Thüringen von 2015 bis 2016 . . . . .	52
3.12 AUSGABEN für Leistungen des Rettungsdienstes nach Jahren . . . . .	56
3.13 Mittlere TRANSPORTKOSTEN eines Transports im Rettungsdienst nach Jahren . . . . .	57
3.14 EINSATZRATEN für den Notarzt nach Altersgruppen . . . . .	60
3.15 PROGNOSE der Notarzteinsätze nach Geschlecht und Klassifizierung . . .	61
4.1 INFRASTRUKTUR des soziotechnischen Systems Rettungsdienst mit unterschiedlichen Typen von Verkehrs-Infrastruktur . . . . .	80
4.2 GRAPH des Ergebnisses der FMEA des rettungsdienstlichen Prozesses (eingefärbt nach RPZ, Knotengröße nach Ausgangsgrad) . . . . .	85
4.3 GRAPH des Ergebnisses der FMEA des rettungsdienstlichen Prozesses (Einfärbung und Knotengröße nach Betweenness-Zentralität) . . . . .	86
4.4 FEEDBACK als verstärkende und dämpfende Komponente im System Rettungsdienst . . . . .	88
4.5 NICHTLINEARITÄT des Systems Rettungsdienst illustriert am Beispiel des Sicherheitsniveaus . . . . .	90
4.6 NICHTLINEARITÄT des Systems Rettungsdienst illustriert am Beispiel des Zuwachses des Sicherheitsniveaus je Einsatzmittel . . . . .	91
4.7 NICHTLINEARITÄT des Systems Rettungsdienst illustriert am Beispiel der maximal bedienbaren Notfälle bei 90% Sicherheitsniveau . . . . .	92
5.1 Beispiel für ein Modell eines BEDIENSYSTEMS . . . . .	94
5.2 BEDIENUNG VON EREIGNISSEN Verschiedene Szenarien von Ankünften und Bedienungen . . . . .	95
5.3 BEISPIEL für ein einfaches qualitatives Causal-Loop Modell . . . . .	102
5.4 BEISPIEL für ein einfaches quantitatives Stock-and-Flow-Modell . . . . .	103
5.5 UMSETZUNG des Causal-Loop-Beispiels als Stock-and-Flow-Modell . . .	104
5.6 VARIABLENSATZ der Regelgrößen im Rettungsdienst . . . . .	112
5.7 SYSTEMMODELL Zusammenhänge der Betrachtungsebenen des Systemmodells . . . . .	115
5.8 SYSTEMMODELL Erste Betrachtungsebene des Systemmodells . . . . .	116
5.9 SYSTEMMODELL Zweite Betrachtungsebene des Systemmodells . . . . .	116
5.10 SYSTEMMODELL Dritte Betrachtungsebene des Systemmodells . . . . .	118
5.11 Dynamisches SYSTEMMODELL Rettungsdienst . . . . .	124
5.12 SYSTEMMODELL Modellierung des Zeitprofils . . . . .	126

5.13 ZEITPROFIL zur Zuordnung von Einsatzmengen nach Stunden und Wochentagen . . . . .	128
5.14 SYSTEMMODELL Rettungsdienst: Verfügbare Bedienkapazität sowie deren Anpassung . . . . .	129
5.15 VALDIERUNG Simulation von Extremwerten für Dauern im Einsatzverlauf .	131
5.16 VALDIERUNG Simulation von Extremwerten für die Anzahl der Einsatzmittel	132
5.17 VALDIERUNG Reproduzierbarkeit der Modellergebnisse mit analytischen Methoden . . . . .	133
5.18 VALDIERUNG Wartezeiten der analytischen Lösung . . . . .	134
5.19 VALDIERUNG Sensitivität der wartenden Notfälle auf die jährliche Einsatzmenge . . . . .	135
5.20 VALDIERUNG Sensitivität der wartenden Notfälle auf die Einsatzmittelvorhaltung . . . . .	135
6.1 KLASSIFIKATOR zur Festlegung des siedlungsstrukturellen Regionstyps einer Region nach Einwohnerdichte . . . . .	138
6.2 MUSTER-PLANUNGSBEREICH für die rettungsdienstliche Systemplanung	140
6.3 NOTFALLEREIGNISSE im zeitlichen Verlauf . . . . .	141
6.4 GENERIERUNG von Notfallereignissen über den gesamten Betrachtungszeitraum von vier Wochen . . . . .	142
6.5 NOTFÄLLE in den einzelnen Bedienstufen des Modells im Einsatzverlauf .	143
6.6 VORHALTUNG von Einsatzmitteln im Tagesverlauf ohne Restriktionen . . .	144
6.7 RICHTLINIE zur Steuerung der Einsatzmittel-Vorhaltung auf Grundlage des Basis-Modells . . . . .	145
6.8 RICHTLINIE: Vergleich der Wartezeiten zwischen dem Basis-Modell und der Richtlinienanwendung . . . . .	146
6.9 SZENARIO: Modellbeschreibung des Moduls <i>Auslastung aufnehmende Einrichtung</i> . . . . .	147
6.10 SZENARIO: Vergleich der Wartezeiten zwischen dem Szenario und der Richtlinienanwendung ohne Szenario . . . . .	147
B.1 BPMN-MODELL des rettungsdienstlichen Prozesses . . . . .	179
B.2 KLASSIFIKATOR zur Festlegung des siedlungsstrukturellen Regionstyps einer Region nach Zahl der Einwohner und der Gebietsfläche . . . . .	187

# Tabellenverzeichnis

1.1	PLANUNGSANSÄTZE Vergleich von Komponentenplanung und Systemplanung . . . . .	5
3.1	VERGLEICH von Leistungs- und Finanzierungsdefinitionen im Rettungsdienst und in der Feuerwehr . . . . .	55
5.1	VERGLEICH der ereignisdiskreten Simulation mit der Systemdynamik . . .	99
6.1	DATENGRUNDLAGE zur Bereichsdefinition auf Basis von Daten aus Rettungsdienstbedarfsplänen . . . . .	137
B.1	RETTUNGSGESETZE Die Rettungsgesetze der 16 Bundesländer . . . . .	177
B.2	FMEA des rettungsdienstlichen Prozesses . . . . .	180
B.3	Ansätze zur VALIDIERUNG von Systemmodellen . . . . .	185

## A Literatur

- Ahnefeld, F. W. (Juli 1998). „Grundlagen und Grundsätze zur Weiterentwicklung der Rettungsdienste und der notfallmedizinischen Versorgung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland“. In: *Intensivmedizin und Notfallmedizin* 35.5, S. 342–348. ISSN: 0175-3851, 1435-1420. DOI: 10.1007/s003900050158. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s003900050158>.
- Aringhieri, R. u. a. (Feb. 2017). „Emergency Medical Services and beyond: Addressing New Challenges through a Wide Literature Review“. In: *Computers and Operations Research* 78, S. 349–368. DOI: 10.1016/j.cor.2016.09.016.
- Baetge, Jörg (1974). *Betriebswirtschaftliche Systemtheorie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. ISBN: 978-3-531-11178-0.
- Barth, Alexander (2018). *Krankenhaus-Report 2018: Schwerpunkt Bedarf und Bedarfsgerechtigkeit*. Hrsg. von Jürgen Klauber u. a. Krankenhaus-Report 2018. Stuttgart: Schattauer. ISBN: 978-3-7945-9119-0 978-3-7945-3287-2.
- Başar, Ayfer, Bülent Çatay und Tonguç Ünlüyurt (Aug. 2012). „A Taxonomy for Emergency Service Station Location Problem“. In: *Optimization Letters* 6.6, S. 1147–1160. ISSN: 1862-4472, 1862-4480. DOI: 10.1007/s11590-011-0376-1. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s11590-011-0376-1>.
- Baumann, Daniel (März 2019). *Rettungsdienste: Erst die Hilfe, dann das Geld*. URL: <https://www.fr.de/wirtschaft/rettungsdienste-erst-hilfe-dann-geld-11874611.html> (besucht am 05.01.2021).
- Bayerisches Rotes Kreuz (Aug. 2019). *Baustellen fordern Hilfsfrist: Rettungsdienst durch inflationäre Baustellen in Bayern stark behindert*. URL: <https://www.brk.de/aktuell/presse/meldung/baustellen-fordern-hilfsfrist-rettungsdienst-durch-inflationaere-baustellen-in-bayern-stark-behinder/> (besucht am 26.01.2021).
- Behrendt, H. und K. Runggaldier (Feb. 2009). „Ein Problemaufriss über den demographischen Wandel in der Bundesrepublik Deutschland: Auswirkungen auf die präklinische Notfallmedizin“. In: *Notfall + Rettungsmedizin* 12.1, S. 45–50. ISSN:

- 1434-6222, 1436-0578. DOI: 10.1007/s10049-008-1082-0. URL:  
<http://link.springer.com/10.1007/s10049-008-1082-0>.
- Behrendt, H. und R. Schmiedel (Mai 2002). „Ermittlung der bedarfsgerechten Fahrzeugvorhaltung im Rettungsdienst“. In: *Notfall & Rettungsmedizin* 5.3, S. 190–203. ISSN: 1434-6222, 1436-0578. DOI: 10.1007/s10049-002-0441-5. URL:  
<http://link.springer.com/10.1007/s10049-002-0441-5>.
- Bélanger, V., A. Ruiz und P. Soriano (Jan. 2019). „Recent Optimization Models and Trends in Location, Relocation, and Dispatching of Emergency Medical Vehicles“. In: *European Journal of Operational Research* 272.1, S. 1–23. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.02.055.
- BenDor, Todd K. und Nikhil Kaza (Apr. 2012). „A Theory of Spatial System Archetypes: System Dynamics Review“. In: *System Dynamics Review* 28.2, S. 109–130. ISSN: 08837066. DOI: 10.1002/sdr.1470. URL:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sdr.1470>.
- Bertsche, Bernd u. a. (2018). „Integrative Theorie Der Verlässlichkeit (iTV) Für Soziotechnische Systeme (STS)“. In: *Beiträge Zu Einer Systemtheorie Sicherheit*. Hrsg. von Jürgen Beyerer und Petra Winzer, S. 59–72. ISBN: 978-3-8316-4624-1. URL:  
[http://web.archive.org/web/20181117000045/http://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/10/acatech\\_DISKUSSION\\_Systemtheorie\\_WEB.pdf](http://web.archive.org/web/20181117000045/http://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/10/acatech_DISKUSSION_Systemtheorie_WEB.pdf).
- Böcken, Jan (2019). *Spotlight Gesundheit: Neuordnung Der Krankenhauslandschaft: Eine Bessere Versorgung Ist Nur Mit Weniger Kliniken Möglich*. Techn. Ber. 2. Bertelsmann Stiftung. URL: [https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/VV\\_SG\\_Krankenhaus-Landschaft\\_final.pdf](https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/VV_SG_Krankenhaus-Landschaft_final.pdf) (besucht am 05.01.2021).
- Briggs, William (2016). *Uncertainty: The Soul of Modeling, Probability and Statistics*. New York: Springer. ISBN: 978-3-319-39755-9.
- Brokmann, J.C. u. a. (Juni 2015). „Potenzial und Wirksamkeit eines telemedizinischen Rettungsassistenzsystems: Prospektive observationelle Studie zum Einsatz in der Notfallmedizin“. In: *Der Anaesthesist* 64.6, S. 438–445. ISSN: 0003-2417, 1432-055X. DOI: 10.1007/s00101-015-0039-1. URL:  
<http://link.springer.com/10.1007/s00101-015-0039-1>.
- Bulmer, M. G. (1979). *Principles of Statistics*. New York: Dover Publications. ISBN: 978-0-486-63760-0.
- Bundesärztkammer (Aug. 2020). *Stellungnahme Der Bundesärztekammer Zum Referentenentwurf Des Gesetzes Zur Reform Der Technischen Assistenzberufe In Der Medizin Und Zur Änderung Weiterer Gesetze (MTA-Reform-Gesetz) Des*

- Bundesministeriums Für Gesundheit Vom 31.07.2020*. Stellungnahme. Berlin: Bundesärztekammer. URL: [https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3\\_Downloads/Gesetze\\_und\\_Verordnungen/Stellungnahmen\\_WP19/MTAG/Stellungnahme\\_BAEK.pdf](https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/Gesetze_und_Verordnungen/Stellungnahmen_WP19/MTAG/Stellungnahme_BAEK.pdf) (besucht am 14. 12. 2020).
- Bundesinstitut für Stadt-, - Bau- und Raumforschung (2019). *Laufende Raumbearbeitung – Raumabgrenzungen: Siedlungsstrukturelle Regionstypen*. URL: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbearbeitung/Raumabgrenzungen/deutschland/regionen/siedlungsstrukturelle-regionstypen/regionstypen.html> (besucht am 19. 12. 2019).
- Bundesrechnungshof (Aug. 2018). *Bericht an den Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages nach § 88 Abs. 2 BHO über die Finanzierung der Versorgung mit Rettungsfahrten und Flugrettungstransporten*. Techn. Ber. IX 1 - 2017 - 0798. Potsdam: Bundesrechnungshof, S. 18. URL: <https://www.bundesrechnungshof.de/de/veroeffentlichungen/produkte/beratungsberichte/langfassungen/langfassungen-2018/2018-bericht-finanzierung-der-versorgung-mit-rettungsfahrten-und-flugrettungstransporten-pdf> (besucht am 24. 01. 2021).
- Cabral, Eric Lucas dos Santos u. a. (Dez. 2018). „Response Time in the Emergency Services. Systematic Review“. In: *Acta Cirurgica Brasileira* 33.12, S. 1110–1121. DOI: 10.1590/s0102-865020180120000009.
- Compes, Peter C. (Sep. 1970). „Sicherheitstechnisches Gestalten“. Paperback. Köln: RWTH Aachen.
- Cooper, Robert B. (1981). *Introduction to Queueing Theory*. 2d ed. New York: North Holland. ISBN: 978-0-444-00379-9.
- (Feb. 2011). „Queueing Notation“. In: *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., eorms0702. ISBN: 978-0-470-40053-1. DOI: 10.1002/9780470400531.eorms0702. URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470400531.eorms0702>.
- Durlauf, Steven N. (2008). „Path Dependence“. In: *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Hrsg. von Palgrave Macmillan. London: Palgrave Macmillan UK, S. 1–4. ISBN: 978-1-349-95121-5. DOI: 10.1057/978-1-349-95121-5\_2583-1. URL: [http://link.springer.com/10.1057/978-1-349-95121-5\\_2583-1](http://link.springer.com/10.1057/978-1-349-95121-5_2583-1).
- Erkut, Erhan, Armann Ingolfsson und Güneş Erdoğan (Feb. 2008). „Ambulance Location for Maximum Survival: Ambulance Location for Maximum Survival“. In: *Naval Research*

*Logistics (NRL)* 55.1, S. 42–58. ISSN: 0894069X. DOI: 10.1002/nav.20267. URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/nav.20267>.

Europäische Union (Okt. 2020). *eCall 112-Based Emergency Assistance from Your Vehicle*. URL: [https://europa.eu/youreurope/citizens/travel/security-and-emergencies/emergency-assistance-vehicles-ecall/index\\_en.htm](https://europa.eu/youreurope/citizens/travel/security-and-emergencies/emergency-assistance-vehicles-ecall/index_en.htm) (besucht am 31.01.2021).

Fendrich, K. u. a. (Mai 2010). „Demografischer Wandel: Anforderungen an das Versorgungssystem und Lösungsansätze am Beispiel Mecklenburg-Vorpommern“. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 53.5, S. 479–485. ISSN: 1436-9990, 1437-1588. DOI: 10.1007/s00103-010-1051-x. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s00103-010-1051-x>.

Feuerwehr Dortmund (2021). *First Responder ergänzen den Rettungsdienst in Dortmund*. URL: [https://www.dortmund.de/de/leben\\_in\\_dortmund/sicherheit\\_und\\_recht/feuerwehr/ueber\\_uns\\_fw/rettungsdienste\\_fw/first\\_responder/index.html](https://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/sicherheit_und_recht/feuerwehr/ueber_uns_fw/rettungsdienste_fw/first_responder/index.html) (besucht am 02.10.2021).

Fischer, M. u. a. (Aug. 2016). „Eckpunktepapier 2016 zur notfallmedizinischen Versorgung der Bevölkerung in der Prähospitalphase und in der Klinik“. In: *Notfall + Rettungsmedizin* 19.5, S. 387–395. ISSN: 1434-6222, 1436-0578. DOI: 10.1007/s10049-016-0187-0. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10049-016-0187-0>.

Forrester, Jay Wright (Dez. 1971). „Counterintuitive Behavior of Social Systems“. In: *Theory and Decision* 2.2, S. 109–140. ISSN: 0040-5833, 1573-7187. DOI: 10.1007/BF00148991. URL: <http://link.springer.com/10.1007/BF00148991>.

– (1972). *Grundzüge Einer Systemtheorie*. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN: 978-3-663-02095-0.

– (2013). *Industrial Dynamics*. Reprint of first ed. 1961. Mansfield Centre, Conn: Martino Publ. ISBN: 978-1-61427-533-6.

Forrester, Jay Wright und Peter Senge (1980). „Tests for Building Confidence in System Dynamics Models“. In: *TIMS Studies in the Management Sciences* 14, S. 209–228. URL: <https://www.albany.edu/faculty/gpr/PAD724/724WebArticles/ForresterSengeValidation.pdf>.

Freeman, Linton C. (März 1977). „A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness“. In: *Sociometry* 40.1, S. 35. ISSN: 00380431. DOI: 10.2307/3033543. URL: <https://www.jstor.org/stable/3033543?origin=crossref>.

- Gay Cabrera, A. und S. Groß (Dez. 2002). „Bedarfsgerechte Fahrzeugvorhaltung in der Diskussion“. In: *Notfall & Rettungsmedizin* 5.8, S. 625–629. ISSN: 1434-6222, 1436-0578. DOI: 10.1007/s10049-002-0510-9. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10049-002-0510-9>.
- Gay Cabrera, A. u. a. (Nov. 2006). „SiMoN: Methodische Grundlage eines Simulationsmodells für die Notfallrettung: Neuentwicklung der Generierung des Einsatzaufkommens mittels stochastischer Verfahren“. In: *Notfall + Rettungsmedizin* 9.7, S. 611–618. ISSN: 1434-6222, 1436-0578. DOI: 10.1007/s10049-006-0844-9. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10049-006-0844-9>.
- Haberfellner, Reinhard u. a. (2012). *Systems Engineering*. Twelfth. Zürich: orell füssli Verlag. ISBN: 978-3-280-04068-3.
- Hardin, Garret (Dez. 1968). „The Tragedy of the Commons“. In: *Science* 162.3859, S. 1243–1248. ISSN: 0036-8075, 1095-9203. DOI: 10.1126/science.162.3859.1243. URL: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.162.3859.1243>.
- Hedderich, Jürgen und Lothar Sachs (2012). *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R*. 14., überarb. und erg. Aufl. Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3-642-24400-1 978-3-642-24401-8.
- Hellmich, Christian (2010). *Qualitätsmanagement Und Zertifizierung Im Rettungsdienst: Grundlagen - Techniken - Modelle - Umsetzung*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. ISBN: 978-3-642-02169-5.
- Hering, Ekbert und Alexander Schloske (2019). *Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse: Methode zur vorbeugenden, systematischen Qualitätsplanung unter Risikogesichtspunkten*. essentials. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-25762-0 978-3-658-25763-7. DOI: 10.1007/978-3-658-25763-7. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-25763-7>.
- Hess, Jeremy J. u. a. (Aug. 2009). „Climate Change and Emergency Medicine: Impacts and Opportunities“. In: *Academic Emergency Medicine* 16.8, S. 782–794. ISSN: 10696563, 15532712. DOI: 10.1111/j.1553-2712.2009.00469.x. URL: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1553-2712.2009.00469.x>.
- Hessisches Ministerium für Soziales und Integration (2016). *Rettungsdienstplan Des Landes Hessen*. Rettungsdienstplan. Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Soziales und Integration, S. 33. URL: [https://soziales.hessen.de/sites/default/files/media/hsm/rettungsdienstplan\\_final\\_2016-stand\\_06.09.2016.pdf](https://soziales.hessen.de/sites/default/files/media/hsm/rettungsdienstplan_final_2016-stand_06.09.2016.pdf) (besucht am 28.01.2021).

- Hillier, Frederick S., Gerald J. Lieberman und Gabriele Bauer (2002). *Operations Research: Einführung*. 5. Aufl., (unveränd. Nachdr. der 4. Aufl.) Internationale Standardlehrbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. München: Oldenbourg. ISBN: 978-3-486-23987-4.
- Jachmann, Ines (Feb. 2019). *Rettungsdienst Vor Dem Kollaps? Personelle Probleme Im Kreis Gießen*. Tageszeitung. URL: [https://www.giessener-anzeiger.de/lokales/kreis-giessen/landkreis/rettungsdienst-vor-dem-kollaps-personelle-probleme-im-kreis-giessen\\_19953320](https://www.giessener-anzeiger.de/lokales/kreis-giessen/landkreis/rettungsdienst-vor-dem-kollaps-personelle-probleme-im-kreis-giessen_19953320) (besucht am 04.03.2021).
- Jones, Courtney M.C. u. a. (Juni 2017). „The Effect of Older Age on EMS Use for Transportation to an Emergency Department“. In: *Prehospital and Disaster Medicine* 32.3, S. 261–268. ISSN: 1049-023X, 1945-1938. DOI: 10.1017/S1049023X17000036. URL: [https://www.cambridge.org/core/product/identifizier/S1049023X17000036/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifizier/S1049023X17000036/type/journal_article).
- Koncz, Viola u. a. (Sep. 2019). „Telenotarzt: Neues Versorgungskonzept in der Notfallmedizin“. In: *Der Unfallchirurg* 122.9, S. 683–689. ISSN: 0177-5537, 1433-044X. DOI: 10.1007/s00113-019-0679-8. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s00113-019-0679-8>.
- Kühn, Dietmar, Jürgen Luxem und Klaus Runggaldier, Hrsg. (2010). *Rettungsdienst heute*. 5. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer. ISBN: 978-3-437-46193-4.
- Landesausschuss „Rettungsdienst“ nach § 13 NRettDG (Nov. 2013). *Strukturpapier zur Bedarfsplanung, deren Umsetzung und Analyse im Rettungsdienst*. Techn. Ber. Bek. d. MI v. 6.7.2016 – 35.22 - 41576-10-13/0 –. Hannover: Landesausschuss „Rettungsdienst“ nach § 13 NRettDG, S. 4. URL: [file:///Users/frederikschutte/Downloads/20160706\\_Strukturpapier\\_zur\\_Bedarfsplanung.pdf](file:///Users/frederikschutte/Downloads/20160706_Strukturpapier_zur_Bedarfsplanung.pdf).
- Landesregierung NRW (Aug. 2019). *Fachkräftemangel Im Gesundheitswesen*. Drucksache 17/7126. Düsseldorf: Landesregierung NRW, S. 105.
- Landtag von Sachsen-Anhalt (Jan. 2017). *Drucksache 7/789*. Antwort auf kleine Anfrage 7/789. Magdeburg: Landtag von Sachsen-Anhalt, S. 4.
- (Apr. 2018). *Drucksache 7/2728*. Antwort auf kleine Anfrage 7/2728. Magdeburg: Landtag von Sachsen-Anhalt, S. 3.
- (Apr. 2019). *Drucksache 7/4232*. Antwort auf kleine Anfrage 7/4232. Magdeburg: Landtag von Sachsen-Anhalt, S. 3.

- Larson, Richard C. (März 1974). „A Hypercube Queuing Model for Facility Location and Redistricting in Urban Emergency Services“. In: *Computers & Operations Research* 1.1, S. 67–95. DOI: 10.1016/0305-0548(74)90076-8.
- Lechleuthner, Alex (Okt. 2018). *Neuorganisation Präklinischer Notfallversorgung*. Düsseldorf. URL: [https://www.mags.nrw/sites/default/files/asset/document/4\\_symposium\\_rw\\_2018\\_lechleuthner.pdf](https://www.mags.nrw/sites/default/files/asset/document/4_symposium_rw_2018_lechleuthner.pdf) (besucht am 16. 08. 2020).
- Leitstelle Lausitz (2021). *Häufig gestellte Fragen | Leitstelle Lausitz*. URL: <https://www.leitstelle-lausitz.de/leitstelle/haeufig-gestellte-fragen/> (besucht am 05. 06. 2021).
- Lemieux, Christiane (2009). *Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Sampling*. Springer Series in Statistics. New York, NY: Springer New York. ISBN: 978-0-387-78164-8 978-0-387-78165-5. DOI: 10.1007/978-0-387-78165-5. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-78165-5>.
- Lowthian, Judy A u. a. (Juni 2011). „The Challenges of Population Ageing: Accelerating Demand for Emergency Ambulance Services by Older Patients, 1995–2015“. In: *Medical Journal of Australia* 194.11, S. 574–578. ISSN: 0025-729X, 1326-5377. DOI: 10.5694/j.1326-5377.2011.tb03107.x. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.5694/j.1326-5377.2011.tb03107.x>.
- Lüder, Sascha Rolf (2014). *Recht und Praxis der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr*. 4. Aufl. Berlin: Berliner Wiss.-Verl. ISBN: 978-3-8305-3409-9.
- Lünsmann, Markus (2021). *Mobile Retter - Das Smartphone-basierte Alarmierungssystem*. URL: <http://www.medgineering.de/> (besucht am 02. 10. 2021).
- Märkische Allgemeine (Okt. 2019a). *Brandenburger Rettungswagen halten Hilfsfristen nicht ein*. URL: <https://www.maz-online.de/Brandenburg/Brandenburger-Rettungswagen-halten-Hilfsfristen-nicht-ein> (besucht am 02. 06. 2020).
- (Sep. 2019b). *Notstand im Rettungsdienst: 15 Minuten-Hilfsfrist wird oft nicht geschafft*. URL: <https://www.maz-online.de/Lokales/Havelland/Notstand-im-Rettungsdienst-Havelland-15-Minuten-Hilfsfrist-wird-oft-nicht-geschafft> (besucht am 26. 01. 2021).
- Martin, Richard Justin und N Gizem Bacaksizlar (Juni 2017). „Modeling the Dynamics of an Urban Emergency Medical Services System“. In: *Proceedings of the 35th International Conference of the System Dynamics Society*. Cambridge (MA): System Dynamics Society. URL: <https://proceedings.systemdynamics.org/2017/proceed/papers/P1366.pdf>.

- Martis, Morvin Savio (2006). „Validation of Simulation Based Models: A Theoretical Outlook“. In: *The Electronic Journal of Business Research Methods* 4.1, S. 39–46. URL: <https://academic-publishing.org/index.php/ejbrm/article/view/1204/1167>.
- Miebach, Bernhard (2020). *Digitale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft: Wie KI, Social Media und Big Data unsere Lebenswelt verändern*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-02748-3 978-3-658-02749-0. DOI: 10.1007/978-3-658-02749-0. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-02749-0>.
- Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz (Apr. 2019). *Drucksache 17/8744*. Antwort auf kleine Anfrage 17/8744. Mainz: Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz. URL: <https://dokumente.landtag.rlp.de/landtag/drucksachen/8744-17.pdf> (besucht am 10.10.2021).
- (Sep. 2020). *Drucksache 17/10117*. Antwort auf kleine Anfrage 17/10117. Mainz: Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz. URL: <http://dokumente.landtag.rlp.de/landtag/drucksachen/10117-17.pdf>.
- Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen (2017). *Landesberichterstattung Gesundheitsberufe Nordrhein-Westfalen 2017. Situation Der Ausbildung Und Beschäftigung*. Techn. Ber. Düsseldorf: Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, S. 360.
- Mochon, Simon (1993). „When Can You Meaningfully Add Rates, Ratios and Fractions?“ In: *For the Learning of Mathematics* 13.3, S. 16–21. ISSN: 0228-0671. URL: <https://www.jstor.org/stable/40248090>.
- Mock, Ralf und Maurizio Corvo (2005). „Risk Analysis of Information Systems by Event Process Chains“. In: *International Journal of Critical Infrastructures* 1.2/3, S. 247–12. DOI: 10.1504/IJCIS.2005.006121.
- Müller, Sebastian (Jan. 2018). *SWR Doku enthüllt Probleme beim Rettungsdienst in Baden-Württemberg: Ist auch Freiburg betroffen?* Blog. URL: <https://sbamueller.com/2018/01/30/swr-doku-enthueellt-probleme-beim-rettungsdienst-in-baden-wuerttemberg-ist-auch-freiburg-betroffen/> (besucht am 22.10.2019).
- Nakstad, Anders, Bjørn Bjelland und Mårten Sandberg (2009). „Medical Emergency Motorcycle – Is It Useful in a Scandinavian Emergency Medical Service?“ In: *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 17.1, S. 9.

- ISSN: 1757-7241. DOI: 10.1186/1757-7241-17-9. URL:  
<http://sjtrem.biomedcentral.com/articles/10.1186/1757-7241-17-9>.
- O'Halloran, Bryan M. u. a. (Feb. 2021). „A Graph Theory Approach to Predicting Functional Failure Propagation during Conceptual Systems Design“. In: *Systems Engineering* 24.2, S. 100–121. ISSN: 1098-1241, 1520-6858. DOI: 10.1002/sys.21569. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sys.21569>.
- Object Management Group (2021). *BPMN Specification - Business Process Model and Notation*. URL: <https://www.bpmn.org/> (besucht am 04. 06. 2021).
- Pan, Chih-Long, Chun-Wen Chiu und Jet-Chau Wen (Dez. 2014). „Adaptation and Promotion of Emergency Medical Service Transportation for Climate Change.“ In: *Medicine* 93.27, e186. ISSN: 0025-7974. DOI: 10.1097/MD.000000000000186. URL: <http://journals.lww.com/00005792-201412020-00019>.
- Pearl, Judea und Dana Mackenzie (2018). *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. New York: Basic Books. ISBN: 978-0-465-09761-6.
- Perkins, Gavin D. u. a. (Apr. 2021). „European Resuscitation Council Guidelines 2021: Executive Summary“. In: *Resuscitation* 161, S. 1–60. ISSN: 03009572. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.003. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300957221000551>.
- Perrow, Charles (1992). *Normale Katastrophen: die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik*. 2. Aufl. Reihe Campus 1028. Frankfurt/Main: Campus-Verl. ISBN: 978-3-593-34125-5.
- Pfüttsch, Pierre (2020). *Notfallsanitäter als neuer Beruf im Rettungsdienst: Ein Überblick über Entwicklungen und Tendenzen*. essentials. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-30741-7 978-3-658-30742-4. DOI: 10.1007/978-3-658-30742-4. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-30742-4>.
- Pias, Claus (März 2016). *Cybernetics: The Macy Conferences 1946-1953*. Diaphanes. ISBN: 978-3-03734-598-6.
- Platts-Mills, Timothy F. u. a. (Mai 2010). „Emergency Medical Services Use by the Elderly: Analysis of a Statewide Database“. In: *Prehospital Emergency Care* 14.3, S. 329–333. ISSN: 1090-3127, 1545-0066. DOI: 10.3109/10903127.2010.481759. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/10903127.2010.481759>.
- Porter, Michael E. (Juni 2010). *Value-Based Health Care Delivery: Integrated Practice Units, and Outcome and Cost Measurement*. Vortrag.

- PrimAIR-Konsortium, Hrsg. (2016). *Die PrimAIR-Luftrettung als Zukunft der Notfallrettung im dünn besiedelten Raum: Ergebnisse - Simulation einer Umstrukturierung*. 1. Auflage. Berlin: Pro BUSINESS GmbH. ISBN: 978-3-86460-257-3.
- Redaktion Rettungsdienst (Aug. 2008). *Sachsen: Streit Um Hilfsfristen / Rettungsdienst.De*. URL:  
<https://www.rettungsdienst.de/news/sachsen-streit-um-hilfsfristen-2300>  
(besucht am 26.01.2021).
- Rieckmann, Heijo (1992). „Dynaxibility - oder wie “systemisches“ Management in der Praxis funktionieren kann“. In: *Methodik und Praxis der Komplexitätsbewältigung*. Hrsg. von Klaus Henning und Bertram Harendt, S. 17–39. ISBN: 3-428-07569-2.
- Rossaint, R. u. a. (Aug. 2017). „Indikationen und Grenzen des Telenotarztsystems“. In: *Notfall + Rettungsmedizin* 20.5, S. 410–417. ISSN: 1434-6222, 1436-0578. DOI: 10.1007/s10049-016-0259-1. URL:  
<http://link.springer.com/10.1007/s10049-016-0259-1>.
- Rüttimann, Jonas und Günter Bildstein (2012). „Simulationsmodell Zur Verkürzung Der Hilfsfristen Bei Gleichblei-Bender Anzahl Der Einsatzmittel“. In: *Rettungsdienst* 35.3, S. 236–241.
- S+K Verlag (Feb. 2016a). *Delegation Ärztlicher Maßnahmen an Notfallsanitäter Kritisch Überdenken*. Article. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/delegation-aerztlicher-massnahmen-an-notfallsanitaeter-kritisch-ueberdenken.html>  
(besucht am 22.03.2019).
- (Jan. 2016b). *Kein Landkreis in Sachsen-Anhalt Hält Die Hilfsfrist Im Rettungsdienst Ein*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/kein-landkreis-in-sachsen-anhalt-haelt-die-hilfsfrist-im-rettungsdienst-ein.html> (besucht am 17.09.2020).
- (Jan. 2016c). *Rettungsdienste Informieren Über Rückstaus Vor Unfallstellen*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/rettungsdienste-informieren-ueber-rueckstaus-vor-unfallstellen.html> (besucht am 18.12.2019).
- (Feb. 2017a). *Aachen passt den Rettungsdienst an*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/aachen-passt-den-rettungsdienst-an.html> (besucht am 31.01.2021).

- S+K Verlag (Jan. 2017b). *Rettungsdienst in Rheinland-Pfalz Rückt Zu Langsam Aus*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/rettungsdienst-in-rheinland-pfalz-rueckt-zu-langsam-aus.html> (besucht am 04. 08. 2020).
- (Jan. 2017c). *Rettungsdienst Kritisiert Andere Verkehrsteilnehmer - S+K Verlag Für Notfallmedizin*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/rettungsdienst-kritisiert-andere-verkehrsteilnehmer.html> (besucht am 30. 01. 2020).
- (März 2018a). *Bundesrechnungshof kritisiert Rettungsdienst-Entgelt- und Gebührensätze*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/bundesrechnungshof-kritisiert-rettungsdienst-entgelt-und-gebuehrensaetze.html> (besucht am 30. 01. 2021).
- (Dez. 2018b). *Datenanalyse zum Rettungsdienst in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/datenanalyse-zum-rettungsdienst-in-baden-wuerttemberg-und-rheinland-pfalz.html> (besucht am 31. 01. 2021).
- (Jan. 2018c). *Innenministerium Rheinland-Pfalz Reagiert Vorab Auf Rettungsdienst-Reportage Des SWR*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/innenministerium-rheinland-pfalz-reagiert-vorab-auf-rettungsdienst-reportage-des-swr.html> (besucht am 15. 09. 2020).
- (Feb. 2018d). *Keine Personalengpässe Beim Rettungsdienst in Mecklenburg-Vorpommern*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/keine-personalengpaesse-beim-rettungsdienst-in-mecklenburg-vorpommern.html> (besucht am 30. 01. 2021).
- (Feb. 2018e). *Überlastete Notaufnahmen – fehlgeleitete Patienten*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/ueberlastete-notaufnahmen-fehlgeleitete-patienten.html> (besucht am 24. 05. 2021).
- (Jan. 2018f). *Zahl Der Hilfsfristüberschreitungen in Thüringen Eklatant Gestiegen*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/zahl-der-hilfsfristueberschreitungen-in-thueringen-eklatant-gestiegen.html> (besucht am 30. 01. 2021).

- 
- (Okt. 2019a). *Anerkennung der Notfallversorgung als eigenständiger Leistungsbereich?* URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/erkennung-der-notfallversorgung-als-eigenstaendiger-leistungsbereich.html> (besucht am 30.01.2021).
  - (Feb. 2019b). *Ausgaben für den Rettungsdienst haben sich verdoppelt.* URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/ausgaben-fuer-den-rettungsdienst-haben-sich-verdoppelt.html> (besucht am 30.01.2021).
  - (Nov. 2019c). *Baden-Württemberg will Ärztliche Leiter und Telenotarzt gesetzlich verankern.* URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/baden-wuerttemberg-will-aerztliche-leiter-und-telenotarzt-gesetzlich-verankern.html> (besucht am 31.01.2021).
  - (Juli 2019d). *Bayern kritisiert Eingriff in Rettungsstrukturen der Länder.* URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/bayern-kritisiert-eingriff-in-rettungsstrukturen-der-laender.html> (besucht am 30.01.2021).
  - (Sep. 2019e). *Defizit durch weniger Rettungsdiensteinsätze beim DRK Hamburg-Harburg.* URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/defizit-durch-weniger-rettungsdiensteinsaetze-beim-drk-hamburg-harburg.html> (besucht am 30.01.2021).
  - (Okt. 2019f). *Düsseldorf Erhöht Rettungsdienstgebühren Und Zahl Der Fahrzeuge.* URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/duesseldorf-erhoeht-rettungsdienstgebuehren-und-zahl-der-fahrzeuge.html> (besucht am 30.01.2021).
  - (Jan. 2019g). *Eingeschränktes Weisungsrecht Der Leitstelle Für Nicht-Ärztliches Personal.* URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/eingeschraenktes-weisungsrecht-der-leitstelle-fuer-nicht-aerztliches-personal.html> (besucht am 10.10.2021).
  - (Feb. 2019h). *Finanzierung der Notfallsanitäter-Ausbildung in NRW geregelt.* URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/finanzierung-der-notfallsanitaeter-ausbildung-in-nrw-geregelt.html> (besucht am 30.01.2021).

- S+K Verlag (Jan. 2019i). *Finanzierung Der Notfallsanitäter-Ausbildung in NRW Weiterhin Nicht Geregelt*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/finanzierung-der-notfallsanitaeter-ausbildung-in-nrw-weiterhin-nicht-geregelt.html>.
- (Aug. 2019j). *Hamburg Lehnt Hilfsfrist Im Rettungsdienst Ab*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/hamburg-lehnt-hilfsfrist-im-rettungsdienst-ab.html> (besucht am 30.01.2021).
- (Jan. 2019k). *Hilfsfristeinhaltung Im Kreis Herzogtum Lauenburg Unter 90% - S+K Verlag Für Notfallmedizin*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/hilfsfristeinhaltung-im-kreis-herzogtum-lauenburg-unter-90.html> (besucht am 30.01.2021).
- (Jan. 2019l). *Hilfsfristeinhaltung in Karlsruhe Deutlich Gesunken*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/hilfsfristeinhaltung-in-karlsruhe-deutlich-gesunken.html> (besucht am 30.01.2021).
- (Dez. 2019m). *Innenministerkonferenz lehnt Reformentwurf des Bundes zur Notfallversorgung ab*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/innenministerkonferenz-lehnt-reformentwurf-des-bundes-zur-notfallversorgung-ab.html> (besucht am 30.01.2021).
- (Dez. 2019n). *Krankenkassen sollen an Rettungsdienst-Planungen beteiligt werden*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/krankenkassen-sollen-an-rettungsdienst-planungen-beteiligt-werden.html> (besucht am 30.01.2021).
- (Aug. 2019o). *Mehr Arbeitslose Als Offene Stellen Im Rettungsdienst NRW*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/mehr-arbeitslose-als-offene-stellen-im-rettungsdienst-nrw.html> (besucht am 30.01.2021).
- (Mai 2019p). *Neues Verlegungsarzteeinsatzfahrzeug in Itzehoe Im Dienst*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/neues-verlegungsarzteeinsatzfahrzeug-in-itzehoe-im-dienst.html> (besucht am 17.09.2020).
- (Jan. 2019q). *Niedersachsen Sieht Keinen Handlungsbedarf Für Verlängerung Der Übergangsfrist*. URL:  
<https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/niedersachsen->

sieht-keinen-handlungsbedarf-fuer-verlaengerung-der-uebergangsfrist.html (besucht am 15.04.2020).

– (Apr. 2019r). *Schlechte Rettungsdienst-Zahlen in Mecklenburg-Vorpommern*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/schlechte-rettungsdienst-zahlen-in-mecklenburg-vorpommern.html> (besucht am 31.01.2021).

– (Feb. 2019s). *Spahn fordert Grundgesetzänderung für den Rettungsdienst*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/spahn-fordert-grundgesetzänderung-fuer-den-rettungsdienst.html> (besucht am 30.01.2021).

– (Okt. 2019t). *Telenotarzt ist Berater der Notfallsanitäter*. URL: <https://www.skverlag.de/rettungsdienst/meldung/newsartikel/telenotarzt-ist-berater-der-notfallsanitaeter.html> (besucht am 31.01.2021).

Schaller, Franz, Hrsg. (2014). *Notfallsanitäter: Lehrbuch für den Rettungsdienst*. 1. Auflage. Berlin: Cornelsen. ISBN: 978-3-06-451000-5.

Schmiedel, Reinhard und Holger Behrendt (2019). *Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2016 und 2017*. Hrsg. von Bundesanstalt für Straßenwesen. Bd. M 290. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen: Mensch und Sicherheit. Bergisch-Gladbach: Fachverlag NW. ISBN: 978-3-95606-471-5.

Schmiedel, Reinhard, Holger Behrendt und Emil Betzler (2012). *Regelwerk zur Bedarfsplanung Rettungsdienst*. Witten: Mendel Verlag. ISBN: 978-3-943011-05-0.

Schwaninger, Markus und Stefan Groesser (2009). „System Dynamics Modeling: Validation for Quality Assurance“. In: *Complex Systems in Finance and Econometrics*. Hrsg. von Robert A. Meyers. New York, NY: Springer New York, S. 767–781. ISBN: 978-1-4419-7700-7 978-1-4419-7701-4. DOI: 10.1007/978-1-4419-7701-4\_42. URL: [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-7701-4\\_42](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-7701-4_42).

Seeger, I. u. a. (Mai 2021a). „Gemeindenotfallsanitäter als innovatives Einsatzmittel in der Notfallversorgung – erste Ergebnisse einer Beobachtungsstudie“. In: *Notfall + Rettungsmedizin* 24.3, S. 194–202. ISSN: 1434-6222, 1436-0578. DOI: 10.1007/s10049-020-00715-6. URL: <https://link.springer.com/10.1007/s10049-020-00715-6>.

Seeger, Insa u. a. (Sep. 2021b). „Versorgung älterer Patienten durch Gemeindenotfallsanitäter: Vergleich der Einsätze im Pflegeheim und in der Häuslichkeit“. In: *Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin*. ISSN: 2193-6218, 2193-6226. DOI: 10.1007/s00063-021-00863-8. URL: <https://link.springer.com/10.1007/s00063-021-00863-8>.

- Senge, Peter M. (2017). *Die fünfte Disziplin: Kunst und Praxis der lernenden Organisation*. Übers. von Maren Klostermann und Hans Freundl. 11., völlig überarbeitete und aktualisierte Auflage 2011, Sonderausgabe; Unveränderter Nachdruck. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag. ISBN: 978-3-7910-4030-1.
- Seppelt, Enrico (Okt. 2020). *Warten Auf Den Krankenwagen: Rettungsdienst in Halle Kommt Oft Viel Zu Spät – Hilfsfrist Wird in Jedem Fünften Fall Nicht Erreicht – Du Bist Halle*. URL: <https://dubisthalle.de/warten-auf-den-krankenwagen-rettungsdienst-in-halle-kommt-oft-viel-zu-spaet-hilfsfrist-wird-in-jedem-fuenften-fall-nicht-erreicht> (besucht am 26. 01. 2021).
- Siebert, D. (Juni 1979). „Sicherheitwissenschaftliche Aspekte Zu Kybernetischen Systembetrachtungen - Dargestellt Am Beispiel Des Reglers Mensch“. In: Bd. 2. GfS Gesellschaft für Sicherheitswissenschaft, S. 3–8.
- Spaite, Daniel W. u. a. (Aug. 1995). „Emergency Medical Service Systems Research: Problems of the Past, Challenges of the Future“. In: *Annals of Emergency Medicine* 26.2, S. 146–152. DOI: 10.1016/S0196-0644(95)70144-3.
- SQR-BW (2019). *Qualitätsbericht Rettungsdienst Baden-Württemberg: Berichtsjahr 2019*. Techn. Ber. 2019. SQR-BW. URL: [https://www.sqrbw.de/fileadmin/SQRBW/Downloads/Qualitaetsberichte/SQRBW\\_Qualitaetsbericht\\_2019.pdf](https://www.sqrbw.de/fileadmin/SQRBW/Downloads/Qualitaetsberichte/SQRBW_Qualitaetsbericht_2019.pdf) (besucht am 28. 01. 2021).
- Statistisches Bundesamt (2020). *Gesundheitsausgaben in Deutschland in Mio. €*. *Gliederungsmerkmale: Jahre, Art Der Einrichtung, Art Der Leistung, Ausgabenträger*. URL: [https://www.gbe-bund.de/gbe/pkg\\_olap\\_tables.prc\\_sort\\_ind?p\\_uid=gast&p\\_aid=55753702&p\\_sprache=D&p\\_help=2&p\\_indnr=322&p\\_ansnr=23086710&p\\_version=7&p\\_sortorder=d&p\\_dim\\_1=D.000&p\\_dw\\_1=3](https://www.gbe-bund.de/gbe/pkg_olap_tables.prc_sort_ind?p_uid=gast&p_aid=55753702&p_sprache=D&p_help=2&p_indnr=322&p_ansnr=23086710&p_version=7&p_sortorder=d&p_dim_1=D.000&p_dw_1=3) (besucht am 12. 04. 2020).
- (Jan. 2021a). *Bevölkerung: Deutschland, Stichtag, Altersjahre*. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1611934358908&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=12411-0005&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb> (besucht am 26. 01. 2021).
- (Aug. 2021b). *Ergebnisse Der 14. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Basis: 31.12.2018): BEV-VARIANTE-02 Geburten, LE Und WS Moderat (G2L2W2)*. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=1&step=1&titel=Ergebnis&levelid=1630256519728&acceptscookies=false#abreadcrumb> (besucht am 29. 08. 2021).

- Sterman, John D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin/McGraw-Hill. ISBN: 978-0-07-117989-8.
- (2002). „All Models Are Wrong: Reflections on Becoming a Systems Scientist“. In: *System Dynamics Review* 18.4, S. 501–531. ISSN: 0883-7066, 1099-1727. DOI: 10.1002/sdr.261. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sdr.261>.
- Strogatz, Steven (2019). *Infinite Powers: The Story of Calculus, the Language of the Universe*. London: Atlantic Books. ISBN: 978-1-78649-295-1.
- Süddeutsche Zeitung (März 2019). *Private Anbieter Drängen Auf Milliardenmarkt Rettungsdienst*. URL: <https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/gesundheit-private-anbieter-draengen-auf-milliardenmarkt-rettungsdienst-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-190321-99-477224> (besucht am 30. 01. 2020).
- T., Andrea (Dez. 2020). *9.423-mal Hilfsfrist bei Notfalleinsätzen überschritten*. URL: <https://www.eisenachonline.de/thueringen/9-423-mal-hilfsfrist-bei-notfalleinsaetzen-ueberschritten-106016> (besucht am 26. 01. 2021).
- Tako, A A und S Robinson (März 2009). „Comparing Discrete-Event Simulation and System Dynamics: Users’ Perceptions“. In: *Journal of the Operational Research Society* 60.3, S. 296–312. ISSN: 0160-5682, 1476-9360. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2602566. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1057/palgrave.jors.2602566>.
- Thüringer Ministerium für Inneres und Kommunales (Jan. 2018). *Drucksache 6/4923 Einsätze und Hilfsfristen des Rettungsdienstes in Thüringen seit dem Jahr 2010*.
- Verband der Ersatzkassen e.V. u. a. (Feb. 2019). *Gemeinsam Presseerklärung: Gesetzliche Krankenkassen in NRW beenden Auseinandersetzung um Ausbildungskosten für Notfallsanitäter*. Presseerklärung. Düsseldorf: Verband der Ersatzkassen e.V. URL: [https://www.vdek.com/LVen/NRW/Presse/Pressemitteilungen/2019/26-02-2019-notfallsanitaeter/\\_jcr\\_content/par/download/file.res/Gemeinsame%20PM%20Notfallsanit%c3%a4ter.pdf](https://www.vdek.com/LVen/NRW/Presse/Pressemitteilungen/2019/26-02-2019-notfallsanitaeter/_jcr_content/par/download/file.res/Gemeinsame%20PM%20Notfallsanit%c3%a4ter.pdf) (besucht am 30. 01. 2021).
- Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft (ver.di) (Mai 2018). *Fachkräftemangel im Rettungsdienst?* URL: <https://gesundheit-soziales.verdi.de/themen/fachkraeftemangel/++co++ad02b49e-58f1-11e8-b5f6-525400f67940> (besucht am 24. 05. 2021).
- Vester, Frederic (1990). *Ausfahrt Zukunft: Strategien Für Den Verkehr von Morgen; Eine Systemuntersuchung*. München: Heyne. ISBN: 3-453-03983-1.

- Vester, Frederic (2015). *Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität ; ein Bericht an den Club of Rome ; [der neue Bericht an den Club of Rome]*. 10. Aufl. dtv Wissen 33077. München: Dt. Taschenbuch-Verl. ISBN: 978-3-423-33077-0.
- Voyer, John J (Juli 2020). „Emergency Medical Services in Maine: Rural Vs Urban Systems“. In: *38th International Conference of the System Dynamics Society*. Bergen: System Dynamics Society, S. 487–506. ISBN: 978-1-71382-021-5. URL: <https://proceedings.systemdynamics.org/2020/papers/P1055.pdf>.
- WDR (März 2020). *Aktuelle NRW-Zahlen: Verspätung bei Rettungsdiensten*. URL: <https://www1.wdr.de/verbraucher/gesundheit/rettungsdienst-hilfsfrist-100.html> (besucht am 26. 01. 2021).
- Wehry, Paul (Dez. 2018). *Disposition des nächstgelegenen Rettungsmittels*. Facharbeit. Institut der Feuerwehr NRW. URL: [https://lernkompass.idf.nrw/goto.php?target=file\\_2200\\_download&client\\_id=Feuer](https://lernkompass.idf.nrw/goto.php?target=file_2200_download&client_id=Feuer) (besucht am 02. 10. 2021).
- Wiener, Norbert (1985). *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Fourth. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T Press.
- Wolff, Ronald W. (1982). „Poisson Arrivals See Time Averages“. In: *Operations Research* 30.2, S. 223–231. DOI: 10.1287/opre.30.2.223.
- Zacher, Serge und Manfred Reuter (Mai 2017). *Regelungstechnik Für Ingenieure*. 15. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-17631-0 978-3-658-17632-7. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-658-17632-7>.
- Zagonel, Aldo (2006). „Levels of Confidence in System Dynamics Modeling:“ In: *Proceedings of the 24th International Conference of the System Dynamics Society*. Nijmegen: The System Dynamics Society, S. 21. URL: <https://proceedings.systemdynamics.org/2006/proceed/papers/ZAGON374.pdf>.
- Zielke, Andreas (Nov. 2016). „Spezialisierung fordert Wirtschaftlichkeit im Krankenhaus“. In: *Passion Chirurgie* 6.11. URL: <https://www.bdc.de/spezialisierung-fordert-wirtschaftlichkeit-im-krankenhaus/> (besucht am 31. 01. 2021).
- Zimmermann, Hans-Jürgen (2008). *Operations Research: Methoden und Modelle für Wirtschaftsingenieure, Betriebswirte, Informatiker*. 2., aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg. ISBN: 978-3-8348-0455-6.

## B Anhang

### B.1 Zu Kapitel 2

Tabelle B.1: RETTUNGSGESETZE Die Rettungsgesetze der 16 Bundesländer

Bundesland	Gesetz	vom
Baden- Württemberg	Gesetz über den Rettungsdienst (Rettungsdienstgesetz - RDG)	08.02.10
Bayern	Bayerisches Rettungsdienstgesetz (BayRDG) geändert durch Gesetz zur Änderung des Bayerischen Rettungsdienstgesetzes	22.07.08 20.03.13
Berlin	Gesetz über den Rettungsdienst für das Land Berlin Verordnung über den Notarzdienst (Notarzdienstverordnung – NADV)	04.03.05
Brandenburg	Gesetz über den Rettungsdienst im Land Brandenburg (BbgRettG)	14.07.08
Bremen	Bremer Hilfeleistungsgesetz (BremHilfeG)	19.03.09
Hamburg	Hamburgisches Rettungsdienstgesetz (HmbRDG)	19.04.11
Hessen	Hessisches Rettungsdienstgesetz (HRDG)	16.12.10
Mecklenburg- Vorpommern	Gesetz über den Rettungsdienst für das Land Mecklenburg-Vorpommern (RDGM-V)	
Niedersachsen	Niedersächsisches Rettungsdienstgesetz (Nds. RettDG)	02.10.07
Nordrhein- Westfalen	Gesetz über den Rettungsdienst sowie die Notfallrettung und den Krankentransport durch Unternehmer	01.01.16
Rheinland- Pfalz	Landesgesetz über den Rettungsdienst sowie den Notfall- und Krankentransport (RettDG)	23.12.10
Saarland	Saarländisches Rettungsdienstgesetz (SRettG)	
Sachsen	Sächsisches Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz (SächsBRKG)	01.01.11
Sachsen- Anhalt	Rettungsdienstgesetz des Landes Sachsen-Anhalt (RettDG LSA)	18.12.12

Fortsetzung auf Folgeseite

Fortsetzung von Vorseite

<b>Bundesland</b>	<b>Gesetz</b>	<b>vom</b>
Schleswig-Holstein	Gesetz über die Notfallrettung und den Krankentransport (Rettungsdienstgesetz – RDG)	29.11.91
Thüringen	Thüringer Rettungsdienstgesetz (ThüRettG)	10.06.14

---

## **B.2 Zu Kapitel 4**

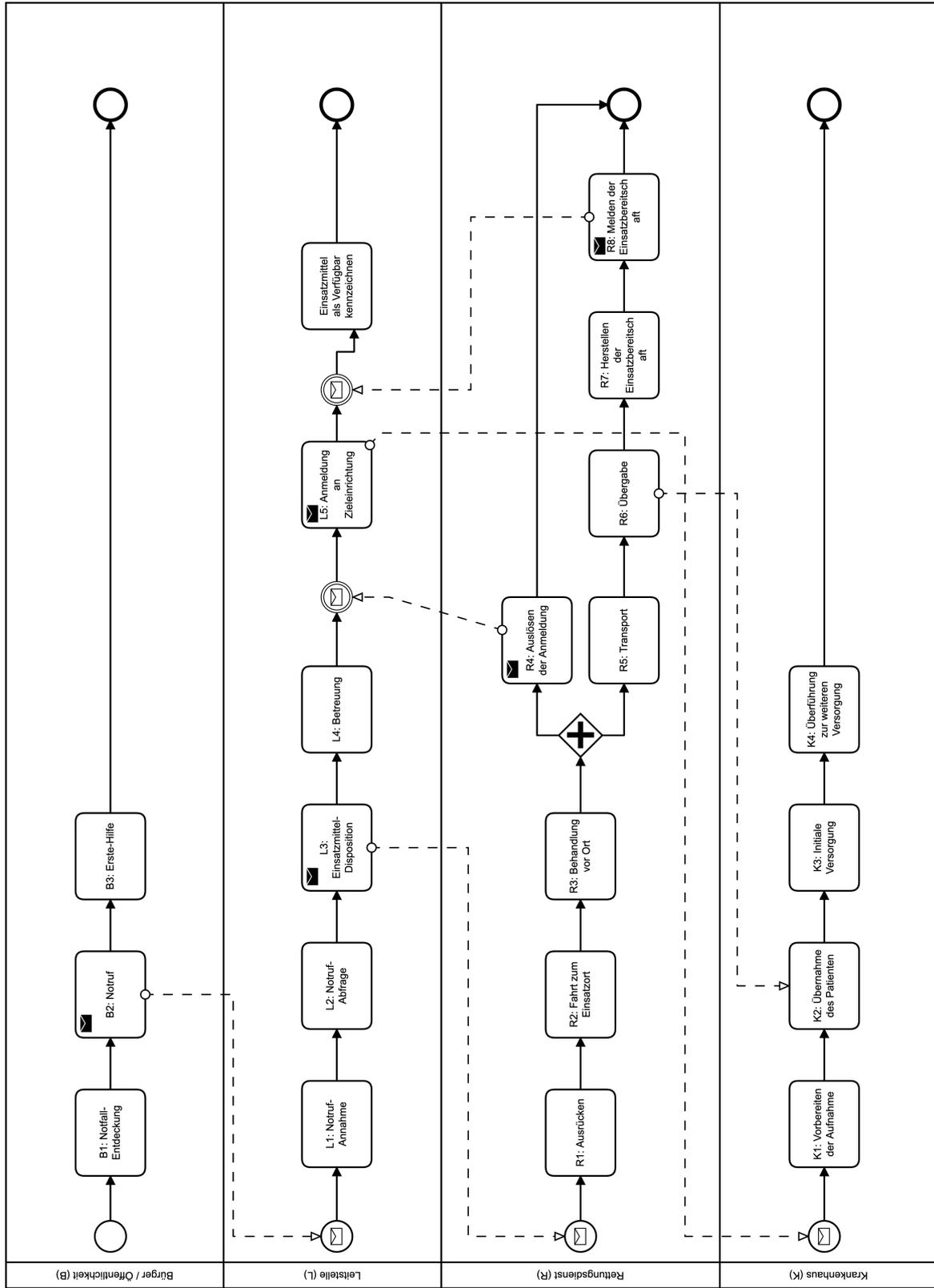


Bild B.1: BPMN-MODELL des rettungsdienstlichen Prozesses

Tabelle B.2: FMEA des rettungsdienstlichen Prozesses

<b>Funktion</b>	<b>Fehler</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>E</b>	<b>RPZ</b>	<b>Ursache</b>
B1	B1-F1 Dringlichkeit zu gering eingeschätzt	4	7	5	140	
B1	B1-F2 Dringlichkeit zu hoch eingeschätzt	6	3	8	144	
B1	B1-F3 Keine Entdeckung des Notfalls	3	9	8	216	
B2	B2-F1 Kein Notruf	3	9	7	189	B1-F3
B2	B2-F2 Falsche Notruf-Nummer	5	3	6	90	
B2	B2-F3 Fehlerhafte Verständigung	5	5	6	150	
B2	B2-F4 Fehlerhafte Informationen zur Situation	5	5	7	175	
B2	B2-F5 Trennung des Notrufs	2	7	2	28	
B3	B3-F1 Keine Maßnahmen	3	6	5	90	L4-F1/B1-F3
B3	B3-F2 Falsche Maßnahmen	5	5	7	175	L4-F1
L1	L1-F1 Kein Disponent verfügbar	3	9	4	108	
L1	L1-F2 Dringlichkeit zu gering eingeschätzt	4	7	7	196	B2-F4
L1	L1-F3 Dringlichkeit zu hoch eingeschätzt	4	3	7	84	B2-F4
L2	L2-F1 Fehlerhafte Abfrage von Informationen	4	6	7	168	B2-F3/B2-F4
L2	L2-F2 Trennung des Notrufs	2	9	2	36	
L3	L3-F1 Falsches Einsatzmittel	4	7	7	196	L2-F1
L3	L3-F2 Dringlichkeit zu gering eingeschätzt	3	7	7	147	L2-F1
L3	L3-F3 Dringlichkeit zu hoch eingeschätzt	5	3	7	105	L2-F1
L3	L3-F4 Falscher Einsatzort	3	9	7	189	L2-F1
L3	L3-F5 Einsatzmittel nicht erreichbar	2	8	2	32	
L3	L3-F6 Kein Einsatzmittel verfügbar	3	9	2	54	
L3	L3-F7 Zuständiges Einsatzmittel nicht verfügbar	5	6	2	60	

Fortsetzung auf Folgeseite

Fortsetzung von Vorseite

<b>Funktion</b>	<b>Fehler</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>E</b>	<b>RPZ</b>	<b>Ursache</b>
L4	L4-F1 Fehlerhafte Anweisungen	3	4	7	84	L2-F1
L4	L4-F2 Abbruch der Betreuung	3	6	2	36	
L5	L5-F1 Anmeldung vergessen	3	5	6	90	
L5	L5-F2 Einrichtung nicht erreichbar	4	5	3	60	
L5	L5-F3 Fehlerhafte Informationen übermittelt	4	6	7	168	R4-F3
L6	L6-F1 Kennzeichnung vergessen	4	6	6	144	
R1	R1-F1 Wegeunfall	4	7	2	56	
R1	R1-F2 Dringlichkeit zu gering eingeschätzt	3	7	6	126	L3-F2
R1	R1-F3 Dringlichkeit zu hoch eingeschätzt	4	3	9	108	L3-F3
R2	R2-F1 Falscher Einsatzort	3	8	7	168	L2-F1
R2	R2-F2 Fehler bei der Wegfindung	4	6	6	144	
R2	R2-F3 Versperrte Wege (inkl. Stau)	6	6	4	144	
R2	R2-F4 Fahrfehler, Unfall	4	8	7	224	
R2	R2-F5 Falsche Priorität (kein Sondersignal)	4	6	7	168	L3-F2
R3	R3-F1 Behandlungsfehler	4	6	6	144	
R3	R3-F2 Andere Situation vor Ort als erwartet	5	4	4	80	L2-F1
R3	R3-F3 Fehlerhafte Einschätzung der Transportfähigkeit	3	6	7	126	
R3	R3-F4 Fehlerhafte Sicherung des Patienten	3	6	6	108	
R3	R3-F5 Verzögertes Eintreffen am Einsatzort	4	6	8	192	R1-F2/R2-F1/R2-F2/R2-F3/R2-F5
R3	R3-F6 Kein Eintreffen am Einsatzort	3	8	2	48	R1-F1/R2-F4
R4	R4-F1 Anmeldung vergessen	4	4	7	112	
R4	R4-F2 Keine Zeit zur Anmeldung	4	4	3	48	

Fortsetzung auf Folgeseite

Fortsetzung von Vorseite

<b>Funktion</b>	<b>Fehler</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>E</b>	<b>RPZ</b>	<b>Ursache</b>
R4	R4-F3 Fehlerhafte Informationen übermittelt	4	5	7	140	
R5	R5-F1 Fehler bei der Wegfindung	4	4	8	128	
R5	R5-F2 Versperrte Wege (inkl. Stau)	5	5	6	150	
R5	R5-F3 Fahrfehler, Unfall	3	8	8	192	
R5	R5-F4 Beeinträchtigung des Patienten	3	6	6	108	
R5	R5-F5 Falsches Transportziel	3	7	7	147	L5-F1/L5-F3
R5	R5-F6 Fehlendes Transportziel	4	8	4	128	L5-F2
R6	R6-F1 Übergabe an falsche Stelle	4	5	6	120	L5-F3
R6	R6-F2 Mangelhafte Übergabe von Informationen	4	5	7	140	
R6	R6-F3 Fehlerhaftes Handling	4	5	6	120	
R6	R6-F4 Verzögertes Eintreffen am Zielort	5	5	7	175	R3-F5/R5-F1/R5-F2/R5-F5
R6	R6-F5 Kein Eintreffen am Zielort	2	8	2	32	R3-F6/R5-F3/R5-F5/R5-F6
R7	R7-F1 Material nicht ausreichend	4	4	5	80	
R7	R7-F2 Personal überlastet	4	4	7	112	
R8	R8-F1 Meldung erfolgt nicht	3	5	4	60	R7-F2
K1	K1-F1 Falsche Einschätzung der Situation	4	5	7	140	L5-F3
K1	K1-F2 Fehlende Ausstattung	3	5	8	120	K1-F1
K1	K1-F3 Fehlendes Personal	4	7	6	168	K1-F1
K1	K1-F4 Fehlende Räumlichkeiten	4	7	6	168	K1-F1
K2	K2-F1 Fehlerhafte Informationen	4	5	6	120	R6-F2
K2	K2-F2 Fehlerhaftes Handling	3	5	7	105	K2-F1/K1-F2/K1-F3/K1-F4

Fortsetzung auf Folgeseite

Fortsetzung von Vorseite

Funktion	Fehler	A	B	E	RPZ	Ursache
K2	K2-F3 Verzögerung bei der Übernahme	5	5	5	125	R6-F4/R6- F5/K1-F4/K1- F3/K1-F2

## B.3 Zu Kapitel 5

```

1000 '''
1001 Simulation eines Bedienprozesses vergleichbar
1002 mit der Bedienung von Hilfeersuchen im Rettungsdienst.
1003 Nicht sofort bedienbare Hilfeersuchen gehen verloren.
1004 '''
1005
1006 import random
1007
1008 def get_zwischenankunft(rate):
1009     '''Zwischenankunftszeiten sind exponentialverteilt.'''
1010     return random.expovariate(rate)
1011
1012 def get_dauer(dauer):
1013     '''Bediendauern sind ebenfalls exponentialverteilt'''
1014     return random.expovariate(1.0/dauer)
1015
1016 def customers_cleared(rate, dauer, stellen, anzahl_erg = 10000):
1017     '''
1018     Berechnet die Verlust-Wahrscheinlichkeit mit
1019     rate: Ankuenfte pro Zeitintervall
1020     dauer: Mittlere Bediendauer in Zeiteinheit
1021     stellen: Anzahl der Bedienstellen
1022     anzahl_erg: Anzahl der zu simulierenden Ereignisse (Standard 10.000)
1023     '''
1024     # ----- Initialisierung
1025     dauer = float(dauer) # mittlere Dauer des Bedienprozesses
1026     stelle_belegt_bis = [0] * stellen # Liste der Belegtzeiten
1027     nicht_bedient = 0 # Zaehler der nicht bedienten Ereignisse
1028     jetzt = 0
1029     # ----- Beginn der Simulation
1030     for ereignis in range(anzahl_erg):
1031         zwischenankunft = get_zwischenankunft(rate)
1032         jetzt = jetzt + zwischenankunft

```

```
1034     for stellen_id in range(stellen + 1):
1036         if stellen_id == stellen: # Keine Stelle verfuegbar
            nicht_bedient += 1
            break
1038         if jetzt < stelle_belegt_bis[stellen_id]:
            # Bedienstelle ist noch belegt
            continue # Naechste Bedienstelle
1040         # Bedienstelle verfuegbar
            bediendauer = get_dauer(dauer)
1042         server_belegt_bis[stellen_id] = jetzt + bediendauer
            break
1044     return float(nicht_bedient) / anzahl_erg # Anteil der nicht bedienten
Ereignisse
```

Listing B.1: SIMULATION der Bedienung von Hilfeersuchen im Zeitverlauf

Tabelle B.3: Ansätze zur VALIDIERUNG von Systemmodellen

Bereich	Validierungsmethode
Modellstruktur	<p>Verifizierung der Modellstruktur (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006)</p> <p>Verifizierung der Modellparameter (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006)</p> <p>Extreme Bedingungen (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Angemessenheit der Systemgrenzen (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Konsistente Dimensionen (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Wiedererkennbarkeit des realen Systems (Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Valide Entscheidungsregeln (Zagonel, 2006)</p> <p>Integrationsfehler (Sterman, 2000)zagonelLevelsConfidenceSystem2006</p>
Modellverhalten	<p>Reproduzierbares Verhalten (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Vorhersehbares Verhalten (Forrester und Senge, 1980)martisValidationSimulationBased2006azagonelLevelsConfidenceSystem2006</p> <p>Anomales Verhalten (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Modellfamilie(n) (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Überraschendes Verhalten (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Extreme Richtlinien (Forrester und Senge, 1980)martisValidationSimulationBased2006a</p> <p>Angemessenheit der Systemgrenzen (ebd.)martisValidationSimulationBased2006a</p> <p>Sensitivitätsanalyse (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006; Martis, 2006; Zagonel, 2006)</p> <p>Strukturelle Sensitivität (Martis, 2006)</p> <p>Parameter Sensitivität (ebd.)</p>

Fortsetzung auf Folgeseite

Fortsetzung von Vorseite

<b>Modellbereich</b>	<b>Validierungsmethode</b>
Richtlinien-Auswirkung	System-Verbesserung (Forrester und Senge, 1980; Sterman, 2000; Martis, 2006) Vorhersagen von geändertem Verhalten (Forrester und Senge, 1980; Martis, 2006; Zagonel, 2006) Angemessenheit der Systemgrenzen (Forrester und Senge, 1980; Martis, 2006; Zagonel, 2006) Richtlinien-Sensitivitätsanalyse (Forrester und Senge, 1980; Martis, 2006; Zagonel, 2006)
Nutzen	Angemessenheit für die Zielgruppe (Martis, 2006) Kontraintuitives Verhalten (ebd.) Umsetzbare Richtlinien (ebd.)



## Dokumentation der Variablen des dynamischen Systemmodells

Modellierung mittels VENSIM.

(01) Abschlussrate=  
 RANDOM BINOMIAL(0, NOTFÄLLE IN ÜBERGABE , TIME STEP/Übergabedauer ,  
 NOTFÄLLE IN ÜBERGABE , 0 , 1 , 0 )  
 /TIME STEP

Units: Notfall/Minute

Definition: Minütliche Rate des Abschlusses der Übergabe.

(02) AKTIVE EINSATZMITTEL= INTEG (   
 aktivieren deaktivieren,  
 0)

Units: Einsatzmittel [0,100]

Definition: Anzahl der aktuell für einen Einsatz aktivierbaren  
 Einsatzmittel.

(03) Aktivieren=  
 Aktivierungsrate

Units: Notfall/Minute

Definition: Minütliche Übergangsrate von wartenden Notfällen  
 zu solchen in Bedienung.

(04) aktivieren deaktivieren=  
 MIN(VERFÜGBARE EINSATZMITTEL, Einsatzmittel Delta)

Units: Einsatzmittel/Minute

Definition: Rate der Einsatzmittel, welche pro Zeiteinheit  
 aktiviert werden. Negative Werte = Deaktivierung.

(05) Aktivierungsrate=  
 MIN(moegliche Aktivierung,optimale Aktivierung)

Units: Notfall/Minute

Definition: Rate der möglichen Bedienungen je Zeitintervall.

(06) Auslastung=  
 Mitterle Übergaben je Stunde/Maximale KH Kapazität

Units: Dmnl

Definition: Auslastung aller verfügbaren Übergabepunkte.

- (07) Effekt der Auslastung auf die Übergabedauer = WITH LOOKUP ( Auslastung,  $[(0,0)-(10,10)], (0,1), (0.25,1), (0.5,1), (0.75,0.8), (1,0.6), (1.25,0.4), (1.5,0.2), (1.75,0.1), (2,0.05) )$ )  
 Units: Dmnl  
 Definition: Erhöhung der Übergabedauer bei höherer Auslastung.
- (08) Einsatzmittel Delta=  
 optimale Aktivierung-moegliche Aktivierung  
 Units: Einsatzmittel/Minute  
 Definition: Differenz von gewünschter zu möglicher Aktivierung von Einsatzmitteln.
- (09) Eintreffdauer=  
 $2+1+3.5$   
 Units: Minute  
 Definition: Disposition, Ausrücken und Anfahrt zum Einsatzort.
- (10) Eintreffrate=  
 $\text{RANDOM BINOMIAL}(0, \text{ZUGEWIESENE NOTFÄLLE}, \text{TIME STEP}/\text{Eintreffdauer}, \text{ZUGEWIESENE NOTFÄLLE}, 0, 1, 0)$   
 $/\text{TIME STEP}$   
 Units: Notfall/Minute  
 Definition: Minütliche Rate des Eintreffens am Einsatzort.
- (11) FINAL TIME = 40320  
 Units: Minute  
 The final time for the simulation. Endzeit der Simulation.
- (12) fortlaufende Stunde=  
 $\text{INTEGER}(\text{Time}/60)$   
 Units: Stunde  
 Definition: Simulationszeit als Stunde.
- (13) Gesamtdauer=  
 Transportdauer+Eintreffdauer+Übergabedauer  
 Units: Minute

Definition: Gesamtdauer eines Einsatzes

- (14) in Bearbeitung=  
NOTFÄLLE IN BEARBEITUNG+NOTFÄLLE IN ÜBERGABE+ZUGEWIESENE NOTFÄLLE

Units: Notfall

Definition: Summe alle aktuell in Bbearbeitung befindlichen  
Notfälle.

- (15) INITIAL TIME = 0

Units: Minute

The initial time for the simulation. Startzeit der Simulation.

- (16) ist Wochenende = WITH LOOKUP (  
Wochentag,  
((0,0)-(10,10)], (0,1), (1,0), (2,0), (3,0), (4,0), (5,0), (6,1) ))

Units: Dmnl

Definition: Wahrheitswert, ob aktueller Simulationstag ein  
Wochenende ist.

- (17) jährliches Einsatzaufkommen=  
39311

Units: Notfall

Definition: Notfallaufkommen im Jahr im zu planenden Bereich.

- (18) KUMULIERTE NOTFÄLLE= INTEG (  
Notfallrate,  
0)

Units: Notfall

Definition: Sammlung aller stattgefundenen Notfälle.

- (19) max verfügbare Einsatzmittel=  
100

Units: Einsatzmittel

Definition: Anzahl der maximal verfügbaren Einsatzmittel.

- (20) Maximale KH Kapazität=  
5

Units: Notfall/Stunde

Definition: Kapazität der je Stunde in allen Krankenhäusern aufnehmbaren Notfälle.

(21) Mitterle Übergaben je Stunde=  
SMOOTH(NOTFÄLLE IN ÜBERGABE,60)

Units: Notfall/Stunde

Definition: Mittlere stündliche Übergaben in allen Krankenhäusern.

(22) moegliche Aktivierung=  
MAX(0, tatsächlich verfügbare Einsatzmittel - in Bearbeitung)/TIME STEP

Units: Einsatzmittel/Minute

Definition: Anzahl der aktivierbaren Einsatzmittel.

(23) normale Übergabedauer=  
20

Units: Minute

Definition: Mittlere Dauer einer normalen Übergabe im Krankenhaus.

(24) Notfallrate=  
RANDOM POISSON( 0 , 100 , stündliche mittlere Notfallrate\*TIME STEP , 0 , 1 , 0)/TIME STEP

Units: Notfall/Minute

Definition: Minütliche Notfallrate.

(25) NOTFÄLLE IN BEARBEITUNG= INTEG ( Eintreffrate-Transportrate, 0)

Units: Notfall

Definition: Anzahl der Notfälle, welche vor Ort behandelt werden oder sich im Transport befinden.

(26) NOTFÄLLE IN ÜBERGABE= INTEG ( Transportrate-Abschlussrate, 0)

Units: Notfall

Definition: Anzahl der Notfälle, welche sich in der Übergabe

am Zielort befinden.

- (27) optimale Aktivierung=  
 Notfallrate + von anderen Bereichen - zu anderen Bereichen +  
 WARTENDE NOTFÄLLE/TIME STEP  
 Units: Einsatzmittel/Minute  
 Definition: Bedarf an Einsatzmitteln im Zeitintervall.
- (28) SAVEPER =  
 TIME STEP  
 Units: Minute [0,?]  
 The frequency with which output is stored. Speicherfrequenz von Ergebnissen.
- (29) Stunden Profil = WITH LOOKUP (  
 Zeit,  
 [(0,0)-(23,1)],  
 (0,0.656762),  
 (1,0.549469),  
 (2,0.491669),  
 (3,0.445789),  
 (4,0.396297),  
 (5,0.421585),  
 (6,0.580537),  
 (7,0.889772),  
 (8,1.18058),  
 (9,1.56821),  
 (10,1.58049),  
 (11,1.57038),  
 (12,1.45405),  
 (13,1.25464),  
 (14,1.27559),  
 (15,1.24561),  
 (16,1.24416),  
 (17,1.21851),  
 (18,1.17155),  
 (19,1.17408),  
 (20,1.08629),  
 (21,0.970332),

(22,0.864484),  
 (23,0.709144))

Units: Dmnl

Definition: Reduktion oder Erhoehung der Einsatzmenge nach  
 Stunde.

(30) stündliche mittlere Notfallrate=  
 (jährliches Einsatzaufkommen / (365.25 \* 24 \* 60)) \* Zeitprofil

Units: Notfall

Definition: Verteilung des jährlichen Notfallaufkommens auf  
 alle Stunden eines Jahres mittels des Zeitprofils.

(31) stündlicher Einsatzmittel Bedarf=  
 INTEGER(SMOOTH(AKTIVE EINSATZMITTEL,60))

Units: Einsatzmittel/Stunde

Definition: Mittlerer stündlicher Bedarf an Einsatzmitteln.

(32) Tag=  
 (INTEGER( fortlaufende Stunde / 24 )) + 1

Units: Tag

Definition: Fortlaufender Tag

(33) tatsächlich verfügbare Einsatzmittel=  
 IF THEN ELSE(Vorhaltungs Richtline aktiv = 1, Vorhaltungs Richtlinie,  
 AKTIVE EINSATZMITTEL)

Units: Einsatzmittel

Definition: Für den Einsatz verfügbare Einsatzmittel.

(34) TIME STEP = 1

Units: Minute [0,?]

The time step for the simulation. Zeitschritt der Simulation.

(35) Transportdauer=  
 20+15.8

Units: Minute

Definition: Behandeln vor Ort und Transport zum Zielort

(36) Transportrate=

RANDOM BINOMIAL(0, NOTFÄLLE IN BEARBEITUNG , TIME STEP/Transportdauer ,  
 NOTFÄLLE IN BEARBEITUNG , 0 , 1 , 0 )  
 /TIME STEP

Units: Notfall/Minute

Definition: Minütliche Rate des Eintreffens am Zielort.

- (37) Übergabedauer=  
 normale Übergabedauer / Effekt der Auslastung auf die Übergabedauer  
 Units: Minute  
 Definition: Tatsächliche mittlere Übergabedauer im Krankenhaus.

- (38) VERFÜGBARE EINSATZMITTEL= INTEG (   
 -aktivieren deaktivieren,  
 max verfügbare Einsatzmittel)  
 Units: Einsatzmittel  
 Definition: Für die Aktivierung verfügbare Einsatzmittel.

- (39) von anderen Bereichen=  
 0  
 Units: Notfall/Minute  
 Definition: Minütliche Zuwächse an Notfällen aus anderen  
 Bereichen.

- (40) Vorhaltungs Richtlinie aktiv=  
 1  
 Units: Dmnl  
 Definition: Wahrheitswert zur Aktivierung der  
 Vorhaltungs-Richtlinie.

- (41) Vorhaltungs Richtlinie=  
 IF THEN ELSE(ist Wochenende = 1, Vorhaltungs Richtlinie Wochenende,  
 Vorhaltungs Richtlinie Wochentag)  
 Units: Dmnl  
 Definition: Wahrheitswert zur Aktivierung der Wochentags- und  
 Wochenende-Vorhaltungsrichtlinie.

- (42) Vorhaltungs Richtlinie Wochenende = WITH LOOKUP (   
 Zeit,

([(0,0)-(23,20)],(0,7),(1,7),(2,7),(3,7),(4,7),(5,7),(6,7),(7,10),(8,10),  
(9,10),(10,10),(11,10),(12,10),(13,9),(14,9),(15,9),(16,9),(17,9),(18,9),  
(19,9),(20,9),(21,7),(22,7),(23,7) ))

Units: Dmnl

Definition: Vorhaltung am Wochenende.

(43) Vorhaltungs Richtlinie Wochentag = WITH LOOKUP ( Zeit,

([(0,0)-(23,20)],(0,7),(1,7),(2,7),(3,7),(4,7),(5,7),(6,7),(7,10),(8,10),  
(9,10),(10,10),(11,10),(12,10),(13,9),(14,9),(15,9),(16,9),(17,9),(18,9),  
(19,9),(20,9),(21,7),(22,7),(23,7) ))

Units: Dmnl

Definition: Vorhaltung am Wochentag.

(44) WARTENDE NOTFÄLLE= INTEG ( Notfallrate+von anderen Bereichen-Aktivieren-zu anderen Bereichen,  
0)

Units: Notfall

Definition: Anzahl der Notfälle, welche auf Bedienung warten.

(45) wartende Notfälle je Stunde=  
SMOOTH(WARTENDE NOTFÄLLE, 60)

Units: Notfall

Definition: Mittlere Anzahl wartender Notfälle je Stunde.

(46) Wartezeit=  
IF THEN ELSE(Aktivieren=0, 0, WARTENDE NOTFÄLLE/Aktivieren)

Units: Minute

Definition: Mittlere Wartezeit eines Notfalls.

(47) Wartezeit je Stunde=  
SMOOTH(Wartezeit,60)

Units: Minute

Definition: Mittlere Wartezeit eines Notfalls je Stunde.

(48) Wochentag=  
Tag-(7\*INTEGER( Tag / 7 ))

Units: Wochentag

Definition: Tage der Woche mit Sonntag = 0, Montag = 1 etc.

(49) Wochentag Profil = WITH LOOKUP (  
 Wochentag,  
 [(0,0)-(6,1)],  
 (0,0.945345),  
 (1,1.03838),  
 (2,0.996869),  
 (3,1.01773),  
 (4,1.01573),  
 (5,1.04239),  
 (6,0.943554)))

Units: Dmnl

Definition: Reduktion oder Erhoehung des Einsatzaufkommens nach  
 Wochentag

(50) Zeit=  
 fortlaufende Stunde - (24 \* INTEGER(fortlaufende Stunde / 24 ))

Units: Stunde

Definition: Fortlaufende Stunde.

(51) Zeitprofil=  
 (Stunden Profil \* Wochentag Profil)

Units: Dmnl

Definition: Auswirkung von Wochentag und Stunde auf das  
 Notfallaufkommen.

(52) zu anderen Bereichen=  
 0

Units: Notfall/Minute

Definition: Minütlicher Abfluss von Notfällen in andere  
 Bereiche.

(53) ZUGEWIESENE NOTFÄLLE= INTEG (  
 Aktivieren-Eintreffrate,  
 0)

Units: Notfall

Definition: Anzahl der Notfälle, denen ein freies Einsatzmittel

zugewiesen wurde.