

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Hamburg**

Fakultät Life Sciences

**Methoden zur Effizienzsteigerung der Rettungsmit-
telvorhaltung am Modell der Landeshauptstadt Kiel**

Bachelorarbeit
im Studiengang Rettungsingenieurwesen
vorgelegt von

Florian Nitschke



Hamburg

am 06.12.2021

Die Bachelorarbeit wurde betreut und erstellt in Zusammenarbeit mit der
Feuerwehr Kiel

Gutachter: Prof. Dr. Boris Tolg (HAW Hamburg)
Arne Krüger, B. Eng. (Feuerwehr Kiel)

Diese Seite bleibt aus drucktechnischen Gründen frei

I Vorwort

Der Rettungsdienst in Deutschland steht vor großen Herausforderungen. Steigende Einsatzzahlen aufgrund des demographischen Wandels und zunehmender Zentralisierung des Gesundheitssystems, bei sich gleichzeitig zuspitzendem Fachkräftemangel, erfordern zeitgemäße und effiziente Lösungen. Im Mittelpunkt des Rettungsdienstes steht der Mensch, einerseits als Patient*in, andererseits als Mitarbeiter*in. Beide Interessen optimal zusammenzuführen und in ein nachhaltiges Gesamtkonzept zu integrieren, ist die Aufgabe unserer Zeit, um zukünftigen Entwicklungen zuvorzukommen.

Effizienz im Rettungsdienst leitet sich von den beiden Determinanten Leistungsfähigkeit und Ressourceneinsatz ab. Dem Effizienz-Begriff kommt in der Praxis eine negative Konnotation zu, da einer Effizienzsteigerung vielfach monetäre Absichten unterstellt werden. Eine differenzierte Betrachtung der Chancen und Risiken ist erforderlich. Auf der einen Seite darf eine Effizienzsteigerung nicht zu einer Minderung der Leistungsfähigkeit führen, auf der anderen Seite steht die Arbeitsplatzattraktivität vor dem Hintergrund des Fachkräftemangels besonders im Fokus.

Ziel der Bachelorarbeit ist es, geeignete Anknüpfungspunkte für eine Effizienzsteigerung der Rettungsmittelvorhaltung zu identifizieren, dabei allerdings die Risiken nicht aus dem Blick zu verlieren.

Ich möchte mich an dieser Stelle herzlich bei allen Beteiligten für die Betreuung, die Korrektur und die interessanten Diskussionen bedanken.

II Abstract

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, ein Verständnis für das Entstehen von Nachfrageschwankungen in den Leistungsbereichen Notfallrettung und Krankentransport zu erlangen. Das Verständnis wird genutzt, um das Vorhaltevolumen an die etwaigen Schwankungen anzupassen und mit Methoden der Rettungsmittelvorhaltung optimal zu verteilen.

Zunächst werden in einem Literaturreview Methoden und Prädiktoren gesammelt. Des Weiteren werden die Einsatzdaten des Rettungsdienstbereichs der Landeshauptstadt Kiel aus den Jahren 2016 - 2020 analysiert, wobei das erste Ziel in der Erfassung der Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes in der Landeshauptstadt Kiel liegt. Ausgewertet werden zum einen die durchschnittliche Eintreffzeit, der Erfüllungsgrad und die Auslastung der Rettungsmittel, zum anderen aber auch die Entwicklung von Einsatz- und Übergabezeiten. Im zweiten Teil der Datenanalyse werden die im Literaturreview gewonnenen Prädiktoren hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Einsatzaufkommen untersucht. Hierzu werden mehrere Varianzanalysen durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden im Anschluss diskutiert und in einen konzeptionellen Rahmen gefasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Rettungsdienst der Landeshauptstadt Kiel als sehr leistungsfähig anzusehen ist. Optimierungsbedarf hinsichtlich der Effizienz besteht am ehesten in einem verbesserten Ressourceneinsatz. Es ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen Einsatzaufkommen und der Saison, dem Wochentag sowie der Uhrzeit zu erkennen.

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass ein an saisonale Schwankung angepasstes Vorhaltevolumen die Effizienz steigern könnte. Zur Sicherung der operativen Stabilität können Verschiebepläne als Warnsystem auf Unterdeckungen im Rettungsdienstbereich hinweisen. Darüber hinaus kann ein optimierter Dispositionsalgorithmus der nicht-hilfsfristrelevanten Notfälle die Stabilität des Gesamtsystems zusätzlich erhöhen. Genaue Aussagen über die Auswirkungen auf das Gesamtsystem können in weiterführenden Arbeiten auf Grundlage einer Simulation erfolgen.

III Inhaltsverzeichnis

IV	Abbildungsverzeichnis	6
V	Tabellenverzeichnis	7
VI	Abkürzungsverzeichnis	8
1	Einleitung	9
1.1	Geografie und Infrastruktur der Landeshauptstadt Kiel	9
1.2	Charakteristika des Rettungsdienstes	10
1.2.1	Bundesrepublik Deutschland	10
1.2.2	Landeshauptstadt Kiel	12
1.3	Leistungsfähigkeit	13
1.4	Ressourcenplanung	16
1.4.1	Notfallvorhaltung	18
1.4.2	Krankentransportvorhaltung	21
1.4.3	Gesamtvorhaltung	21
2	Methoden	24
2.1	Literaturrecherche	24
2.2	Datengrundlage	24
2.3	Datenanalyse	29
2.3.1	Leistungsfähigkeit	29
2.3.2	Prädiktoren	30
3	Ergebnisse	31
3.1	Literaturreview	31
3.1.1	Methoden zur Effizienzsteigerung	31
3.1.2	Prädiktoren	34
3.2	Datenanalyse	37
3.2.1	Allgemeine Leistungsfähigkeit	37
3.2.2	Wetter	44
3.2.3	Saison	48
3.2.4	Wochentag	51
3.2.5	Uhrzeit	55
3.2.6	Verkehr	57
4	Diskussion	58
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	58

4.2 Interpretation der Ergebnisse	59
4.3 Konzeptionelle Ansätze.....	64
4.4 Beschränkungen der Arbeit	66
4.5 Empfehlung für weiterführende Forschung	69
4.6 Fazit	70
VII Literaturverzeichnis	71
VIII Eidesstattliche Erklärung	74
IX Anhang	75
Anhang 1: Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel.....	75
Anhang 2: Suchbegriffe Literaturrecherche	76
Anhang 3: Zur Verfügung stehende Daten.....	77
Anhang 4: Vorhalteplan 2018 - 2019	78
Anhang 5: Post-Hoc-Analysen	79
Anhang 5.1	79
Anhang 5.2	81
Anhang 5.3	83

IV Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typische zeitliche Abfolge eines Rettungsdiensteinsatzes in Anlehnung an die Eckpunktevereinbarung zwischen Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein von 2018.....	15
Abbildung 2: Berechnung der Rettungsmittelvorhaltung differenziert nach den beiden Leistungsbereichen.....	18
Abbildung 3: Beispielhaftes Ergebnis einer Bemessung eines RWVB nach Tageskategorie	22
Abbildung 4: Darstellung der Einsatzzahlen nach Monaten	28
Abbildung 5: Jährliche Einsatzzahlen, dezidiert nach den Leistungsbereichen Notfallrettung und Krankentransport.....	37
Abbildung 6: Boxplot der Eintreffzeiten nach Jahr (ohne Anzeige von Ausreißern)	39
Abbildung 7: Boxplot der Eintreffzeiten nach Leistungsbereichen (ohne Anzeige von Ausreißern)	39
Abbildung 8: Mittlere Auslastung der Rettungsmittel in den Jahren 2018 bis 2019	40
Abbildung 9: Entwicklung der Einsatzzeit	42
Abbildung 10: Entwicklung der Übergabezeit.....	42
Abbildung 11: RWVB Nord: Tägliche Einsatznachfrage im Verlauf der Woche ..	43
Abbildung 12: RWVB Mitte: Tägliche Einsatznachfrage im Verlauf der Woche ..	43
Abbildung 13: RWVB Ost: Tägliche Einsatznachfrage im Verlauf der Woche	44
Abbildung 14: NOTF - Wetter: Boxplot der Vergleichsgruppe	45
Abbildung 15: KT - Wetter: Boxplot der Vergleichsgruppen	46
Abbildung 16: Boxplot der Gruppen "Monate" im Leistungsbereich Notfallrettung	49
Abbildung 17: Boxplot der Gruppen "Monate im Leistungsbereich Krankentransport.....	50
Abbildung 18: Boxplot der Gruppen "Wochentage" im Leistungsbereich Notfallrettung	52
Abbildung 19: Boxplot der Gruppen „Wochentage“ im Leistungsbereich Krankentransport	54
Abbildung 20: Tagesganglinie Montag bis Freitag.....	56
Abbildung 21: Tagesganglinie Samstag	56
Abbildung 22: Tagesganglinie Sonntag	56
Abbildung 23: Tagesganglinie der Anfahrtszeiten bei hilfsfristrelevanten Notfalleinsätzen an einem durchschnittlichen Wochentag	57

V Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umsetzung der Anforderungen der Eckpunktevereinbarung (2018) zur Bereinigung von Einsatzdaten	26
Tabelle 2: Darstellung der bereinigten Ergebnisse	27
Tabelle 3: Vergleich der Daten mit den amtlichen Ergebnissen der Landeshauptstadt Kiel 2020	27
Tabelle 4: Übersicht über die Prädiktoren.....	36
Tabelle 5: Jährliche bemessungsrelevante Einsätze und Steigerung.....	37
Tabelle 6: Deskriptive Statistiken der Eintreffzeit bezogen auf das Jahr und den RWVB	38
Tabelle 7: Deskriptive Statistiken der Eintreffzeit bezogen auf das Einsatzstichwort über das gesamte Bemessungsintervall.....	39
Tabelle 8: Erfüllungsgrade nach verschiedenen Einsatzstichworten.....	40
Tabelle 9: Mittlere Auslastung und Einsatzzahlen der Rettungsmittel in den Jahren 2018 bis 2019	41
Tabelle 10: Anteil der Krankentransporte, die von RTW gefahren wurden.....	41
Tabelle 11: NOTF -Wetter: deskriptive Statistiken.....	45
Tabelle 12: NOTF -Wetter: Levene-Test der Varianzgleichheit.....	45
Tabelle 13: NOTF - Wetter: Welch´s ANOVA	45
Tabelle 14: KT - Wetter: Deskriptive Statistiken	46
Tabelle 15: KT – Wetter: Levene-Test der Varianzgleichheit.....	46
Tabelle 16: KT - Wetter: ANOVA	47
Tabelle 17: Deskriptiver Vergleich der Anfahrtszeiten in den drei Gruppen beim hilfsfristrelevanten Notfall.....	47
Tabelle 18: NOTF - Saison: Deskriptive Statistiken.....	48
Tabelle 19: NOTF - Saison: Levene-Test der Varianzgleichheit.....	49
Tabelle 20: NOTF - Saison: ANOVA.....	49
Tabelle 21: KT - Saison: Deskriptive Statistiken	50
Tabelle 22: KT - Saison: Levene-Test der Varianzgleichheit.....	51
Tabelle 23: KT - Saison: Welch´s ANOVA.....	51
Tabelle 24: NOTF - Wochentag: Deskriptive Statistiken.....	52
Tabelle 25: NOTF – Wochentag: Levene-Test der Varianzgleichheit.....	52
Tabelle 26: NOTF – Wochentag: ANOVA.....	53
Tabelle 27: KT – Wochentag: Deskriptive Statistiken	53
Tabelle 28: KT - Wochentag: Levene-Test der Varianzgleichheit.....	54
Tabelle 29: KT - Wochentag: ANOVA.....	54
Tabelle 30: Einfluss der Prädiktoren auf die Leistungsbereiche	59

VI Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variance
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSM	Double Standard Model
EK	Einsatzklasse
EM	Einsatzmittel
HF	Hilfsfrist
KT	Krankentransport
KTW	Krankentransportwagen
mDSM	modified Standard Double Model
MECRP	Maximal Expected Relocation Problem
MEXCLP	Maximum Expected Covering Location Model
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
NOTF	Notfalleinsatz
RDB	Rettungsdienstbereich
RTW	Rettungswagen
RW	Rettungswache
RWVB	Rettungswachenversorgungsbereich
SGB V	Fünftes Sozialgesetzbuch
SHRDG	Schleswig-Holsteinisches Rettungsdienstgesetz
SHRDG-DVO	Landesverordnung zur Durchführung des Schleswig-Holsteinischen Rettungsdienstgesetzes

1 Einleitung

1.1 Geografie und Infrastruktur der Landeshauptstadt Kiel

Kiel ist die Landeshauptstadt und gleichzeitig größte Stadt Schleswig-Holsteins. Die Lage an der Ostsee und der östlichen Mündung des Nord-Ostsee-Kanals macht Kiel zu einem maritimen Drehpunkt für Handel und Tourismus (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2019). Die östliche Grenze bildet der Kreis Plön, im Westen grenzt der Kreis Rendsburg-Eckernförde. Auf einer Gesamtfläche von 118,65 km² leben 247.863 Einwohner*innen (Landeshauptstadt Kiel Bürger- und Ordnungsamt 2021), das entspricht einer Bevölkerungsdichte von 2.089 Einwohner*innen pro km². Die größte Nord-Süd-Ausrichtung beträgt 20,3 km, die größte Ost-West-Ausrichtung 12,1 km (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2019).

Kiel verfügt über fünf Hochschulen mit über 36.000 Studierenden, was die Stadt zu einem bedeutenden Wissenschaftsstandort in Norddeutschland macht (Landeshauptstadt Kiel Bürger- und Ordnungsamt 2021). Die Ostseite der Kieler Förde ist im Wesentlichen industriell geprägt, während die Westseite das Stadtzentrum bildet und unter anderem touristisch genutzt wird.

2019 verzeichnete Kiel über 866.000 Hotelübernachtungen, mit einer deutlichen Zunahme in den Jahren vor Ausbruch der Coronavirus-Pandemie (Landeshauptstadt Kiel Bürger- und Ordnungsamt 2021). Mit jährlich über 1,5 Millionen Passagieren (2019) ist Kiel touristischer Knotenpunkt auf den Kreuzfahrt- und Fährverbindungen in Richtung Norwegen, Schweden und Litauen, mit einer deutlichen Zunahme in den Jahren vor Ausbruch der Pandemie (Landeshauptstadt Kiel Bürger- und Ordnungsamt 2021). Einige Großveranstaltungen runden das touristische Profil der Stadt ab. Hervorzuheben ist die jährlich im Sommer stattfindende Kieler Woche. Die Kieler Woche ist das größte Segelevent der Welt und mit ca. 3,5 Millionen Besuchern jährlich eines der größten Volksfeste im Norden Europas (Kieler Woche 2019).

Kiel besitzt einen Seehafen der nach der Klassifizierung der WHO im westlichen Ostseeraum der Bewältigung von gesundheitlichen Notlagen (z.B. Ausbruch von

Infektionskrankheiten) auf Schiffen dient (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2019).

Als Kern einer Großstadtregion ist Kiel ein attraktiver Standort für Firmenzentralen, Geschäfte und große Einkaufszentren. Das Pendlersaldo beträgt + 33.519 (Landeshauptstadt Kiel Bürger- und Ordnungsamt 2021). Darüber hinaus finden in der Landeshauptstadt regelmäßig Kundgebungen, Demonstrationen und politische Veranstaltungen mit schutzbedürftigen Besucher*innen und Amtsträger*innen statt (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2019).

Die 16 Krankenhäuser stellen insbesondere im Rahmen der fortschreitenden Zentralisierung von Kompetenzen im Gesundheitswesen ihre Kapazitäten und Expertise der gesamten Region zur Verfügung (Landeshauptstadt Kiel Bürger- und Ordnungsamt 2021). Mit dem Universitätsklinikum Schleswig-Holstein besitzt Kiel zudem einen Maximalversorger für die Versorgung mehrerer Schwerverletzter und -erkrankter Patient*innen.

1.2 Charakteristika des Rettungsdienstes

1.2.1 Bundesrepublik Deutschland

Der öffentliche Rettungsdienst in der Bundesrepublik Deutschland ist Teil der staatlichen Daseinsvorsorge. Der organisatorische Rahmen wird in den Rettungsdienstgesetzen der Länder gefasst und in Durchführungsverordnungen spezifiziert. Ziel ist es, der Bevölkerung Leistungen des Rettungsdienstes bedarfs- und fachgerecht zu tragbaren Kosten zur Verfügung zu stellen (§ 1 Absatz 1 SHRDG). Im Allgemeinen umfasst der Rettungsdienst die Leistungsbereiche Notfallrettung und Krankentransport sowie in einigen Bundesländern den Intensivtransport.

Als Notfallrettung wird die organisierte Hilfe bezeichnet, die zur Aufgabe hat, bei Notfallpatient*innen am Notfallort lebensrettende Maßnahmen oder Maßnahmen zur Verhinderung schwerer gesundheitlicher Schäden durchzuführen. Hinzu kommt gegebenenfalls die Herstellung der Transportfähigkeit und der anschließende Transport in eine geeignete Versorgungseinrichtung (DIN 13050:2015-04 2015). Zu

diesem Zweck kommen verschiedene Fahrzeuge, sogenannte Rettungsmittel zum Einsatz. Rettungswagen (RTW) dienen dem Transport von Patient*innen und sind für die erweiterte Behandlung und die Überwachung ausgestattet (DIN 13050:2015-04 2015). Sie werden mindestens von einem*einer Notfallsanitäter*in und einem*einer Fahrer*in besetzt. Notfallsanitäter*innen verfügen nach einer dreijährigen Ausbildung über ein umfangreiches Fachwissen zur medizinischen und psychosozialen Versorgung von Notfallpatient*innen.

Das Notarzteinsetzfahrzeug (NEF) ist mindestens notärztlich und in der überwiegenden Mehrheit der Bundesländer zudem mit einem*einer Fahrer*in besetzt. Entsprechend der ersten Einschätzung des Patient*innenzustandes durch die Rettungsleitstelle werden entweder RTW und NEF zeitgleich zum Notfallort entsendet oder bei Bedarf ein NEF vom RTW nachgefordert. Das Zusammentreffen von RTW und NEF am Notfallort wird als Rendezvous-System bezeichnet. Es existieren darüber hinaus weitere Systeme, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit allerdings von untergeordneter Bedeutung sind.

Anders als bei der Notfallrettung handelt es sich beim Krankentransport um den Transport von Erkrankten, Verletzten oder sonstigen hilfsbedürftigen Personen, die keine Notfallpatient*innen sind, aber dennoch eine medizinisch-fachliche Betreuung benötigen (DIN 13050:2015-04 2015). Hierzu werden Krankentransportwagen (KTW) vorgehalten, die mit mindestens einem*einer Rettungssanitäter*in und einem*einer Fahrer*in besetzt werden.

Strategisch kann es sinnvoll sein, dass RTW Aufgaben im Krankentransport übernehmen. Ist diese Doppelnutzung explizit gewünscht, ist auch von der sogenannten Mehrzweckfahrzeugstrategie die Rede. Besteht ein Zeitvorteil gegenüber einem RTW, ist es andererseits auch möglich, KTW zur Erstversorgung in die Notfallrettung einzubinden, bis ein freier RTW eintrifft.

Koordiniert wird die Arbeit des Rettungsdienstes von einer Leitstelle, zu deren Kernaufgaben die Annahme von Notrufen und Meldungen sowie das Alarmieren und Lenken von Einsatzkräften zählen (DIN 13050:2015-04 2015).

Der Finanzierung des öffentlichen Rettungsdienstes liegt eine komplizierte Dreiecksbeziehung aus Kostenträgern, Aufgabenträgern und Leistungserbringern

zugrunde (Lang und Ohl 2010). Grundlage ist das Sozialgesetzbuch V (SGB V), welches zudem explizit das Doppelgebot von Qualität und Wirtschaftlichkeit enthält. Kostenträger sind die gesetzlichen Krankenkassen, die privaten Krankenversicherungen und die gesetzliche Unfallversicherung.

Aufgabenträger werden in den Rettungsdienstgesetzen der Länder definiert, in aller Regel sind das die Kreise und kreisfreien Städte für den bodengebundenen Rettungsdienst (§ 3 Absatz 1 SHRDG). Die Aufgabenträger bestimmen den Leistungsumfang des Rettungsdienstes, beispielsweise durch die Vorhaltung von Personal und Rettungsmitteln oder Sonderfunktionen für Großschadenslagen (Lang und Ohl 2010). Die Leistung kann an eine Hilfsorganisation oder ein Unternehmen vergeben werden oder von den Kommunen bzw. der Stadt, z.B. der Feuerwehr, selbstständig erbracht werden. Die Leistungserbringer erhalten kontinuierliche Abschläge von den Aufgabenträgern, die wiederum in Entgeltverhandlungen mit den Kostenträgern gehen. Die Höhe der Benutzungsentgelte wird mit den Kostenträgern auf Basis eines Kosten-Leistungsnachweises jährlich verhandelt (§ 7 Absatz 3 SHRDG). Es existiert darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Finanzierungsmodelle, die allerdings im Verlauf dieser Arbeit nicht relevant sind.

1.2.2 Landeshauptstadt Kiel

Aufgabenträgerin des Rettungsdienstes ist nach § 10 SHRDG die Landeshauptstadt Kiel. Die Leistung wird größtenteils durch die Berufsfeuerwehr Kiel erbracht, in Teilen aber auch durch die beauftragten Hilfsorganisationen Arbeiter-Samariter-Bund, Deutsches Rotes Kreuz und Johanniter-Unfallhilfe.

Der Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel umfasst sowohl das gesamte Stadtgebiet als auch Randgebiete der angrenzenden Gebietskörperschaften der Kreise Plön und Rendsburg-Eckernförde (übertragene Gebiete). Es gibt zehn Rettungswachen (RW), die in die drei Rettungswachenversorgungsbereiche (RWVB) Nord, Mitte und Ost zusammengefasst werden. Anhang 1 veranschaulicht den Rettungsdienstbereich sowie die Standorte der Rettungswachen und Rettungswachenversorgungsbereiche.

Insgesamt werden im Regeldienst bis zu 34 Rettungsmittel vorgehalten, davon sind 21 RTW, drei NEF, neun KTW, sowie ein Intensivtransportwagen. Von 3.186 Rettungsmittelvorhaltestunden entfallen 2.716 Wochenstunden auf nicht-ärztlich und 470 Wochenstunden auf ärztlich besetzte Rettungsmittel (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2021).

Im Jahr 2020 wurden im Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel 67.797 Einsätze des Rettungsdienstes gezählt (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2021). Der Zuwachs in den Jahren 2016 bis 2020 entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Veränderungsrate von + 2,63 % (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2021). Im Einzelnen werden 27.149 Einsätze (40,04 %) dem Krankentransport, 33.377 Einsätze (49,23 %) der Notfallrettung und 7.271 Einsätze (10,72 %) den Notarzteinsätzen zugesprochen (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2021).

Die Landeshauptstadt Kiel ist Trägerin einer Integrierten Regionalleitstelle für Feuerwehr, Rettungsdienst und Katastrophenschutz. Neben dem Stadtgebiet ist die Leitstelle zuständig für die Annahme von Notrufen und Koordinierung von Einsatzkräften in den Kreisen Rendsburg-Eckernförde und Plön.

1.3 Leistungsfähigkeit

Im vorherigen Kapitel wurden die Grundlagen des Rettungsdienstsystems in Deutschland und in Kiel betrachtet. Es wurden verschiedene Rettungsmittel und die Aufgaben der Leitstelle erörtert sowie die Rollen von Kostenträger, Aufgabenträger, Leistungserbringer dargestellt.

Wird über die Leistung des Rettungsdienstes gesprochen, ist häufig von der Leistungsfähigkeit die Rede, die anhand von Kriterien bemessen wird. Leistungskriterien des Rettungsdienstes ergeben sich auf der einen Seite aus den Erwartungen der Bevölkerung und auf der anderen Seite aus den Anforderungen des Gesetzgebers.

Aus planerischer Sicht trifft ein leistungsfähiger Rettungsdienst im Leistungsbereich Notfallrettung mit den richtigen Rettungsmitteln schnell am Notfallort ein. Trotz einer hohen Nachfrage kann das gesamte Aufgabenspektrum zuverlässig wahrgenommen und die Bevölkerung unverzüglich mit rettungsdienstlichen Leistungen versorgt werden.

Der Krankentransport erfordert von den Leistungserbringern ein hohes Maß an Flexibilität. Krankenhäuser und Arztpraxen sind an zeitnahen Transporten interessiert, da die durch wartende Patient*innen belegten Kapazitäten nicht wirtschaftlich genutzt werden können. Auf der anderen Seite stehen Transporte zu festen Terminen an, die zuverlässig bedient werden müssen.

Geeignete Indikatoren operationalisieren die Leistungsfähigkeit eines Rettungsdienstes. Während Qualitätsindikatoren insbesondere auf die Qualität der medizinischen Versorgung abzielen, ermöglichen Indikatoren zur Bemessung der Leistungsfähigkeit die quantitative Bemessung eines Rettungsdienstsystems. Aussagekräftige Indikatoren lassen Rückschlüsse auf Verbesserungspotenziale zu und ermöglichen zudem die Vergleichbarkeit mit anderen Rettungsdiensten (Benchmark-Analysen). Ein guter Indikator erfüllt wissenschaftliche Gütekriterien: Er ist valide, reliabel und diskriminationsfähig (Lohs 2016). Im Folgenden werden wichtige Indikatoren genannt, die für die Planung des Rettungsdienstes, insbesondere im Bereich der Notfallrettung, von Bedeutung sind.

Ein typischer Rettungsdiensteinsatz setzt sich aus verschiedenen Phasen zusammen (Abbildung 1). Die Dauer der einzelnen Intervalle hat insofern einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes, als dass die Fahrzeuge im Einsatz gebunden sind und nicht für andere Einsätze zur Verfügung stehen. In einigen Ländern entwickeln sich bereits seit längerem durch die zunehmende Inanspruchnahme von Notaufnahmen stark verlängerte Übergabezeiten, was die Leistungsfähigkeit des dortigen Rettungsdienstes negativ beeinflusst (Channouf et al. 2007). Eine direkte Aussage über die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes trifft die Eintreffzeit mit den Komponenten Ausrückezeit und Fahrzeit. Die Ausrückezeit hängt wesentlich von den baulichen Gegebenheiten der Rettungswachen ab und liegt damit nicht im Fokus dieser Betrachtung. Die größte Variable der Eintreffzeit ist die Fahrzeit, die wesentlich vom Standort des Rettungsmittels bei der Alarmierung abhängt. Verlängerte Eintreffzeiten sind darauf zurückzuführen, dass die Anfahrten zu weit sind

oder sich beispielsweise durch Baustellen oder Wetterextreme verzögern. Auch eine dauerhaft erhöhte Nachfrage spiegelt sich in verlängerten Eintreffzeiten wider, da bei Nichtverfügbarkeit des nächsten Rettungsmittels ein Rettungsmittel von einer weiter entfernten Stelle alarmiert werden muss.

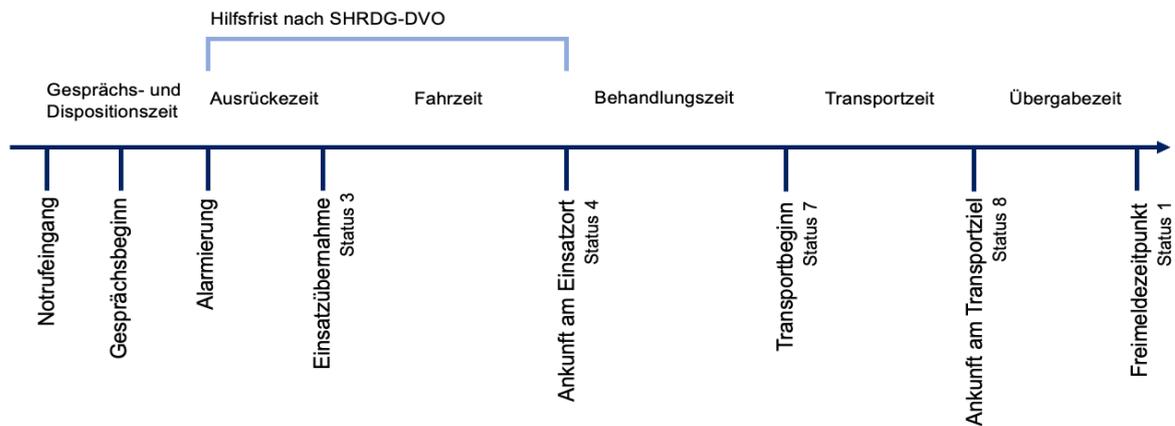


Abbildung 1: Typische zeitliche Abfolge eines Rettungsdiensteinsatzes in Anlehnung an die Eckpunktevereinbarung zwischen Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein von 2018

In den Ausführungen des jeweiligen Landerettungsdienstgesetzes, mittels Verordnung oder Erlass wird eine sogenannte Hilfsfrist als Leistungsvorgabe für die Notfallrettung angegeben. Als Beispiel soll an dieser Stelle die Definition der Hilfsfrist des Landes Schleswig-Holstein dienen, die § 2 Absatz 1 Satz 3 SHRDG-DVO zu entnehmen ist:

„Durch die Rettungsdienstträger ist die Versorgungsstruktur so zu gestalten, dass binnen zwölf Minuten der dem Einsatzort nächstgelegene über eine öffentliche Straße zugängliche Standort erreicht wird.“

Die Hilfsfrist beginnt mit der Alarmierung und endet mit dem Eintreffen des ersten geeigneten Rettungsmittels (§ 2 Absatz 1 Satz 1 SHRDG-DVO). Das IST-Perzentil der Einsätze, die innerhalb der Hilfsfrist erreicht werden, wird Erfüllungsgrad genannt. Gemäß § 2 Absatz 2 Satz 1 SHRDG-DVO muss der Erfüllungsgrad mindestens 90 % betragen. Der Aufgabenträger hat den Erfüllungsgrad jährlich zu prüfen und eventuell geeignete Korrekturmaßnahmen einzuleiten (§ 2 Absatz 3 SHRDG-DVO). Es sei erwähnt, dass die Definitionen der Hilfsfristen abhängig vom Bundesland stark variieren. Gerade in den Flächenländern Baden-Württemberg,

Brandenburg, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz stellt die bedarfsgerechte und wirtschaftliche Vorhaltung von Rettungsmitteln eine besondere Herausforderung dar, weshalb hier die längsten Hilfsfristen von bis zu 15 Minuten vorgegeben werden (Schehadat et al. 2017).

1.4 Ressourcenplanung

Bei der Planung der Ressourcen im Sinne von Rettungsmitteln rücken zwei Fragestellungen in den Fokus: An welchem Standort werden Ressourcen zur Verfügung gestellt und in welchem Ausmaß sind die Ressourcen bedarfsgerecht?

Die Frage des Standortes von Rettungs- und Notarztwachen ist ein strategisches Planungsproblem (Reuter-Oppermann et. al 2017a). Zu viele Rettungswachen verursachen hohe Kosten, die dem Wirtschaftlichkeitsgebot des SGB V und der Rettungsdienstgesetze nicht gerecht werden. Zu wenig oder ungünstig positionierte Rettungswachen führen zu verlängerten Eintreffzeiten und einer Abnahme des Erfüllungsgrades, was in der Folge die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes herabsetzt. In diesem Spannungsfeld eine optimale Standortplanung, unter den Einschränkungen des urbanen Bauens zu betreiben, ist nicht trivial. Verschiedene Modelle beschreiben das Problem mathematisch. Zahlreiche moderne Ansätze basieren auf dem Maximum Expected Covering Location Model (MEXCLP) von Daskin et al. aus dem Jahr 1983. Eine Übersicht bieten Reuter-Oppermann et al. (2017). In Deutschland ist häufig von der bedarfsgerechten Rettungswache die Rede (Behrendt und Schmiedel 2002). Dabei handelt es sich um das Gebiet, das von einem Rettungsmittel innerhalb der gesetzlichen Hilfsfrist erreicht werden kann, dem RWVB. Zur Validierung geeigneter Varianten können Simulationen hilfreich sein (Reuter-Oppermann und Wolff 2020).

Jeder RWVB bedarf einer spezifischen Anzahl an Rettungsmitteln, um die Nachfrage an rettungsdienstlichen Leistungen zu decken. Das Fundament bildet eine systematische Auswertung von Einsatzdaten und die anschließende Bemessung. Das Ergebnis wird häufig in einem Rettungsdienstbedarfsplan niedergeschrieben. Damit steigende Einsatzzahlen und sich verändernde Rahmenbedingungen Berücksichtigung finden, muss die Bemessung regelmäßig wiederholt werden. Über

die Methode der Bemessung und die Intervalle einer Neubemessung einigen sich Kostenträger und Aufgabenträger beispielsweise in einem Konsenspapier. In Schleswig-Holstein wurde 2018 zwischen den Landesverbänden und Kostenträgern des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein die Eckpunktevereinbarung zur Umsetzung der Vereinbarkeitslösung im Rettungsdienst Schleswig-Holstein nach § 7 Abs. 3 des Rettungsdienstgesetzes verfasst. Demnach soll die Rettungsmittelvorhaltung mindestens jährlich neu bemessen werden. Methodische Grundlage ist der Erwartungswert über die rettungsdienstliche Ereignishäufigkeit und die zugehörige mittlere Einsatzzeit von Notfällen und Krankentransporten, deren Berechnung von Behrend und Schmiedel 2002 dargelegt wurde. Während Notfälle in der vorgegebenen Hilfsfrist erreicht werden müssen, ist bei Krankentransporten eine maximale Wartezeit von 30 Minuten als Ziel zu berücksichtigen (Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein 2018). Eine Besonderheit ist der nicht hilfsfristrelevante Notfall (Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein 2018). Es handelt sich hierbei um ein Notfallbild mit einer Erkrankung oder Verletzung, die nicht unmittelbar lebensbedrohlich ist, jedoch eines RTW bedarf.

Um etwaige Nachfrageschwankungen, wie z.B. am Wochenende, zu berücksichtigen, werden die Daten den Tageskategorien Montag bis Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonntag/Wochenfeiertag zugeordnet (Behrend und Schmiedel 2002). Jede Tageskategorie wird in vier Schritten bemessen (Behrend und Schmiedel 2002): risikoabhängige Bemessung der Notfallvorhaltung, frequenzabhängige Bemessung RTW, frequenzabhängige Bemessung KTW, Gesamtvorhaltung (Abbildung 2). Bei der Planung des Bedarfs an Rettungsmitteln spielen NEF und Sonderfahrzeuge eine untergeordnete Rolle, da die Hilfsfrist in der überwiegenden Anzahl von Bundesländern durch das ersteintreffende Rettungsmittel markiert wird. Dies ist in aller Regel ein RTW. Notarztstandorte werden in Abhängigkeit von Verfügbarkeit und Krankenhausstruktur von Kostenträgern und Aufgabenträgern gemeinsam festgelegt (Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein 2018).

Im Folgenden wird ein Überblick über die Vorgehensweise der Bemessung der Notfall- und Krankentransportvorhaltung sowie der Zusammenführung in eine Gesamtvorhaltung nach Behrend und Schmiedel (2002) gegeben.

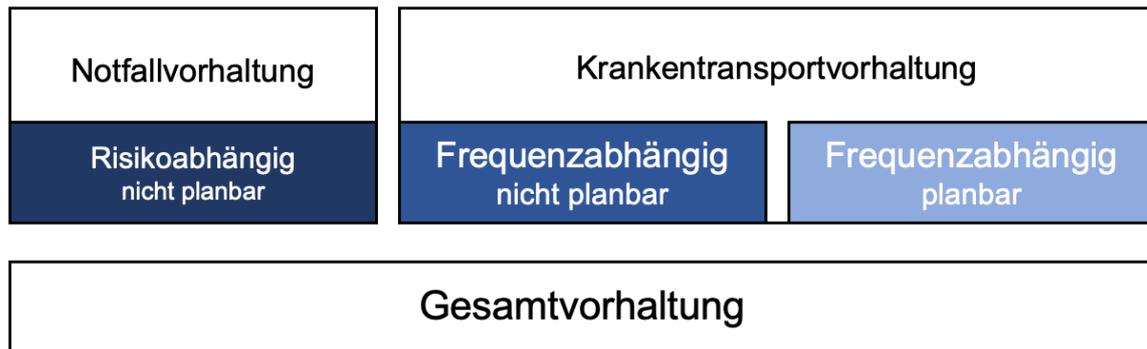


Abbildung 2: Berechnung der Rettungsmittelvorhaltung differenziert nach den beiden Leistungsbe-
reichen

1.4.1 Notfallvorhaltung

Ausgangspunkt der risikoabhängigen Bemessung ist die Bestimmung der Wahr-
scheinlichkeit mehrerer gleichzeitig auftretender Notfalleinsätze in einem RWVB un-
ter der Annahme einer wertdiskreten Wahrscheinlichkeitsfunktion nach Poisson
(Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein
2018). Die Hypothese einer Poisson-Verteilung wird dadurch begründet, dass die
Einsätze unabhängig voneinander und zufällig auftreten sowie die durchschnittliche
Anzahl der Ergebnisse, das Ergebnis einer großen Zahl von Ereignismöglichkeiten
und einer kleinen Ereigniswahrscheinlichkeit ist (Behrend und Schmiedel 2002). Der
statistische Nachweis, dass die empirischen Daten einer Poisson-Verteilung ent-
sprechen, ist beispielsweise mit dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test möglich (Behrend
und Schmiedel 2002).

Im ersten Schritt werden für jede Tageskategorie Schichten festgelegt. Die Eck-
punktevereinbarung (2018) setzt für die Bemessung ein Drei-Schicht-Betrieb je acht
Stunden voraus. Begründet wird dies in dem Papier dadurch, dass das Bemessungsergebnis dienstplanverträglich umgesetzt werden kann.

Im darauffolgenden Schritt erfolgt die konkrete Bemessung anhand der Poisson-
Wahrscheinlichkeitsfunktion für jede Tageskategorie und jede Schicht.

Die allgemeine Wahrscheinlichkeitsfunktion nach Poisson wird durch λ charakterisiert und lautet wie folgt:

$$P(x) = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!}$$

mit $\lambda = n \cdot x \cdot p > 0$ und $x \in \mathbb{N}$

m: Erfassungszeitraum in Minuten

k: Summe der Notfallfahrten im Erfassungszeitraum

p: Eintrittswahrscheinlichkeit von Notfallfahrten pro Minute $\frac{k}{m}$

n: Arithmetisches Mittel der Notfalleinsatzzeiten im Erfassungszeitraum

x: Anzahl gleichzeitiger Notfallfahrten innerhalb der mittleren Notfalleinsatzzeit, aus der die vorzuhaltende Anzahl an Rettungsmitteln ermittelt wird

e: Basis des natürlichen Logarithmus

Behrend und Schmiedel 2002

Es werden mehrere Einzelwahrscheinlichkeiten für $x = 0, 1, 2, \dots, n$ gleichzeitige Notfallfahrten berechnet. Daher kann die Berechnung über die Rekursionsformel erfolgen:

$$P(x + 1) = \frac{\lambda}{x + 1} P(x)$$

mit $P(0) = e^{-\lambda}$

Behrend und Schmiedel 2002

Ist die Anzahl an zeitgleichen Notfallfahrten X größer als die Anzahl an Rettungsmitteln x , so ist vom sogenannten Risikofall die Rede. Der RWVB ist vollständig ausgelastet und die Nachfrage müsste eventuell aus anderen RWVB gedeckt werden. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit $P(X > x)$ für den Risikofall errechnet sich wie folgt:

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

Behrend und Schmiedel 2002

Der Endwert des Summenzeichens gibt die Anzahl der zu bemessenen Rettungsmittel wieder.

Aufgrund der fehlenden Normierung auf die Länge des Bemessungsintervalls ist die alleinige Nutzung der Überschreitungswahrscheinlichkeit $P(X > x)$ bedenklich, weshalb die Nutzung von Schichten als Sicherheitsniveau empfohlen wird (Behrend und Schmiedel 2002). Die Wiederkehrzeit ist der zeitliche Abstand zwischen zwei Risikofällen, der als vertretbar angesehen wird. In Schleswig-Holstein ist dieses Sicherheitsniveau in der Eckpunktevereinbarung von 2018 definiert. Demnach liegt die Wiederkehrzeit in einem RWVB mit einem RTW bei mindestens zehn Schichten und mit mehr als einem RTW bei mindestens fünf Schichten. Die Wiederkehrzeit W wird wie folgt berechnet:

$$W = \frac{1}{P(X > x)} \cdot \frac{n}{d}$$

n : Arithmetisches Mittel der Notfalleinsatzzeiten im Erfassungszeitraum

d : Dauer des Bemessungsintervalls in Minuten $d = \frac{m}{\text{Anzahl der Tage}}$

Behrend und Schmiedel 2002

Ein Beispiel verdeutlicht die Bedeutung der Wiederkehrzeit

1 RTW ($x = 1$)	$W < 5$ Schichten
2 RTW ($x = 2$)	$W < 5$ Schichten
3 RTW ($x = 3$)	$W > 5$ Schichten

Unter der Annahme, dass das Sicherheitsniveau von mindestens fünf Schichten erreicht wird, sind drei RTW in diesem beispielhaften RWVB bedarfsgerecht.

1.4.2 Krankentransportvorhaltung

Die Bemessung von Rettungsmitteln zur Deckung der nicht hilfsfristrelevanten planbaren und nicht planbaren Nachfrage erfolgt unter Berücksichtigung der tageszeitlichen Nachfrageschwankung (Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein 2018). Die zwei zentralen Bemessungsparameter nach dem Verfahren von Behrend und Schmiedel (2002) sind der maximal bedienbare Einsatzzeitbedarf (Anzahl der Rettungsmittel x 60 min.) und der reale mittlere Einsatzzeitbedarf (stündlicher Alarmierungshäufigkeit x mittlerer Einsatzzeit). Ziel ist es, dass der maximal bedienbare Einsatzzeitbedarf innerhalb des betrachteten Stundenintervalls nach einer Wartezeit von maximal 30 Minuten bedient wird (Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein 2018). Liegt der reale mittlere Einsatzzeitbedarf innerhalb des maximal bedienbaren Einsatzzeitbedarfes, so ist die Anzahl der Rettungsmittel bedarfsgerecht. Liegt der reale mittlere Einsatzzeitbedarf darüber, ist zu prüfen, inwieweit die Differenz als Übertrag in das darauffolgende Stundenintervall überführt werden kann (Behrend und Schmiedel 2002). Ist der Übertrag nicht möglich, z.B. weil der Bedarf ähnlich hoch oder höher ist, ist ein zusätzliches Rettungsmittel erforderlich (Behrend und Schmiedel 2002). Die Bemessung erfolgt analog zur risikoabhängigen Bemessung einzeln für jeden RWVB und jede Tageskategorie. Besonders in ländlich geprägten Gebieten mit geringem Aufkommen an nicht hilfsfristrelevanten Einsätzen kann eine zentrale Bemessung über eine größere Region mit dezentraler Stationierung der Rettungsmittel zusätzliches Optimierungspotenzial bieten (Behrend und Schmiedel 2002).

1.4.3 Gesamtvorhaltung

Werden die Ergebnisse aus risiko- und frequenzabhängiger Bemessung zusammengeführt offenbaren sich Optimierungspotenziale sowohl aus dienstplanerischer als auch ökonomischer Sicht (Behrend und Schmiedel 2002). Wie der Bemessung Fahrzeuge zugeordnet werden, regelt in Schleswig-Holstein die Eckpunktevereinbarung zwischen den Landesverbänden und Kostenträgern des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein von 2018. Die aus der risikoabhängigen Bemessung

ermittelte Notfallvorhaltung wird aus RTW generiert. Frequenzabhängig bemessenes nicht planbares Aufkommen wird im Sinne einer Mehrzweckfahrzeugstrategie durch RTW gedeckt. Planbares Aufkommen kann entweder durch RTW oder durch KTW gedeckt werden, wobei bei der Umsetzung mit KTW mindestens ein Fahrzeug ein RTW sein muss. Die Absicht einer hohen Vorhaltung an RTW ist die Nutzung von Synergieeffekten zur Steigerung der Leistungsfähigkeit in der Notfallrettung.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Bemessung, dargestellt nach Tageskategorien, in Anlehnung an die Arbeit von Behrend und Schmiedel aus 2002.

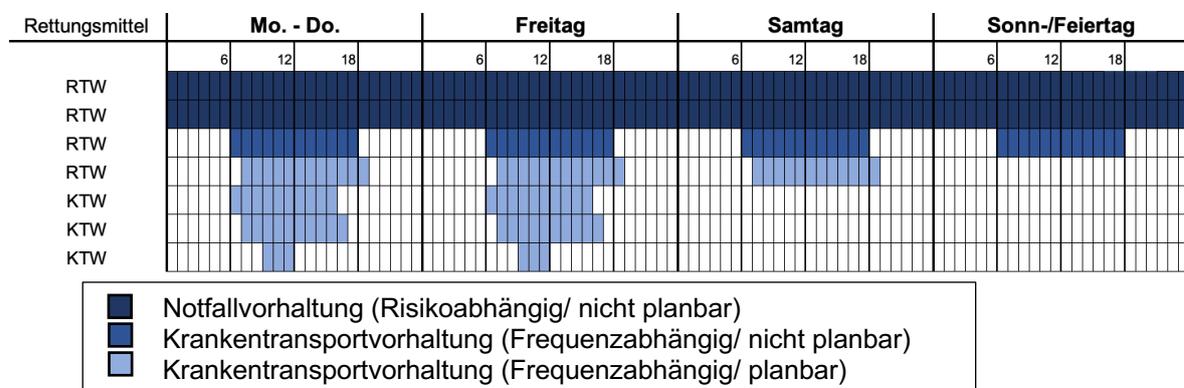


Abbildung 3: Beispielhaftes Ergebnis einer Bemessung eines RWVB nach Tageskategorie

Die aktuelle Methode gilt als Stand der Technik der bedarfsgerechten Bemessung, weist allerdings Schwächen auf. Tägliche Schwankungen werden lediglich außerhalb der Tageskategorien berücksichtigt und saisonale Effekte, wie man sie beispielsweise in einer touristisch geprägten Stadt wie Kiel vermuten würde, werden nicht abgebildet. Hinzu kommt, dass eventuelle kurzzeitige Nachfragespitzen in der frequenzabhängigen Bemessung zu kurzen und dienstplanunverträglichen Schichten führen würden. Die Alternative ist die Ausweitung der Dienstzeit, welche allerdings nicht einer bedarfsgerechten Vorhaltung entspricht.

Neben den Tageskategorien werden die Einsatzdaten in drei Schichten (7 bis 15 Uhr, 15 bis 23 Uhr und 23 bis 7 Uhr) ausgewertet. Es wird von einer zufälligen und unabhängigen Verteilung der Einsätze ausgegangen, die notwendige Voraussetzung für eine Verteilung nach Poisson ist. Es ist jedoch zweifelhaft, ob die Voraussetzungen erfüllt werden. Die Granulierung der Intervalle in Acht-Stunden Schichten

führt einerseits zu Pauschalisierungen über die gesamte Schichtlänge, die Einsatzspitzen unzureichend berücksichtigen. Andererseits bedeutet eine feinere Granulierung eine höhere Unsicherheit in der Verteilung, aufgrund geringerer Datenmenge.

Die Deckung des Krankentransportbedarfs im Sinne einer Mehrzweckfahrzeugstrategie offenbart den Wunsch nach einem maximal hohen Sicherheitsniveau und einer effizienten Fahrzeugauslastung. Viele bzw. über dem Bedarf vorgehaltene RTW erhöhen die Stabilität gegenüber operativen Schwankungen und Einsatzspitzen, führen jedoch unweigerlich zu höheren Vorhaltekosten. Darüber hinaus ergeben sich zunehmend Probleme bei der Akquise von Notfallsanitäter*innen und der Unterbringung von zusätzlichen Fahrzeugen und Personal. Eine zentrale Fragestellung lautet also, wie ein Rettungsdienst unter den Rahmenbedingungen Personal- und Raumknappheit und der zugleich steigenden Nachfrage an rettungsdienstlichen Leistungen effizient betrieben werden kann. Dabei gilt es den Sicherstellungsauftrag des Landesrettungsdienstgesetzes vollständig zu erfüllen und eine hohe Leistungsfähigkeit mit einem wirtschaftlichen Ressourceneinsatz zu verknüpfen. In der internationalen Literatur werden dazu Methoden beschrieben, die auf verschiedenen Planungsebenen die Verteilung von Rettungsmitteln optimieren. Darüber hinaus existieren Prädiktoren, die Einfluss auf das Einsatzgeschehen und in der Folge das Vorhaltevolumen nehmen können.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Verständnis für das Entstehen von Einsätzen und Einsatzspitzen zu entwickeln. Ein strukturiertes Literaturreview offenbart Methoden und Prädiktoren, die im Verlauf der Arbeit auf Basis einer Datenanalyse auf die Wirkung im Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel geprüft und bewertet werden. In der anschließenden Diskussion werden Risiken und Chancen verschiedener Systeme dargestellt.

2 Methoden

2.1 Literaturrecherche

Ein Literaturreview mit vorangegangener Literaturrecherche dient dem Überblick über sinnvolle Methoden und Prädiktoren. Ausgangslage der Recherche bildete ein Vorgespräch mit Frau Dr.-Ing. Reuter-Oppermann, die sich an der Technischen Universität Darmstadt den Forschungsgebieten Operations-Research, Healthcare-Logistics und Rettungsdienstbedarfsplanung widmet.

Den Ausführungen von Frau Dr.-Ing. Reuter-Oppermann folgend wurde eine Suche im Bibliothekskatalog der HAW Hamburg zu insgesamt 30 Begriffskombinationen durchgeführt (Anhang 2). Die Literatur wurde zunächst hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet. Entscheidende inhaltliche Kriterien der ersten Sichtung waren dabei der Bezug zum Thema in Titel, Einleitung und Ergebnisse. Relevante Literatur bezieht sich explizit auf logistische Probleme im Rettungsdienst und beinhaltet Ansätze und Strategien zu dessen Lösung, wobei Strategien anwendungsorientiert dargestellt werden und charakterisierbar sind. Zweiter Bewertungsmaßstab war die Qualität der Literatur. Die Quelle muss als seriös gelten und wissenschaftliche Gütekriterien erfüllen. Qualitativ hochwertige Publikationen wurden in Fachzeitschriften veröffentlicht, von ausgewiesenen Fachleuten verfasst und gelten als aktuell.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden in Kapitel 3 dieser Arbeit dargestellt.

2.2 Datengrundlage

Grundlage für die Überprüfung auf Relevanz der im Literaturreview ermittelten Methoden und Prädiktoren ist eine strukturierte Analyse der Einsatzdaten aus dem Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel. Rettungsdienstträger und Rettungsleitstellen in Schleswig-Holstein sind gemäß § 3 Abs. 2 SHRDG zur Dokumentation der von ihnen bearbeiteten Einsätze verpflichtet. Für die Datenanalyse sind die Eintragungen im Einsatzleitreechner der Rettungsleitstelle von besonderem Interesse. Alle Rettungsmittel sind mit Funkgeräten ausgestattet, die durch manuelles Betätigen zu den Zeitpunkten in Abbildung 1 digitale Zeitstempel setzen. Erfasst werden darüber hinaus Einsatzstichwörter, Alarmzeiten, Einsatzorte und weitere Daten, die

für die Betrachtung allerdings im Rahmen dieser Arbeit von untergeordneter Relevanz sind.

Jedes ausrückende Fahrzeug erhält einen eigenen Datensatz. Da mehrere Fahrzeuge einem Einsatz zugeordnet werden können, wird jeder Einsatz eindeutig durch eine Einsatznummer definiert. Zudem wird der Datensatz einer von neun Einsatzklassen (EK) zugeordnet. Die Einsatzklassen werden in der Eckpunktevereinbarung zwischen den Landesverbänden und Kostenträgern des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein von 2018 definiert und von der Analysesoftware InManSys (InManSys GmbH, Ludwigsburg, Deutschland) automatisiert zugeordnet:

EK 0: Nicht bemessungsrelevant

EK 1: Notarzaufkommen

EK 2: Hilfsfristrelevantes Notfallaufkommen

EK 3: Nicht hilfsfristrelevantes Notfallaufkommen

EK 4: Fernfahrtaufkommen

EK 5: Infektionsfahrtaufkommen

EK 6: Verlegungsfahrtaufkommen

EK 7: Entlassungsfahrtaufkommen

EK 8: Aufkommen von Fahrten von und zur ambulanten Regelbehandlung

EK 9: Allgemeines Krankentransportaufkommen

Die Daten wurden für einen Export in Excel (Microsoft® Excel 365 für Mac, Microsoft Corporation, Redmond, USA) vorbereitet und hinsichtlich der Rettungsdiensteinsätze und der RWVB Nord, Mitte, Ost und übertragener Gebiete gefiltert. Insgesamt stehen Daten aus den vergangenen fünf Jahren (01.01.2016 – 31.12.2020) zur Verfügung. Teile der Datensätze, die datenschutzrechtlich problematisch erschienen, wurden bereits vorab gelöscht. Eine Auflistung der zur Verfügung stehenden Daten ist Anhang 3 zu entnehmen.

Der Datenexport lieferte eine Excel-Datei mit 353.467 unbereinigten Datensätzen.

Die Bereinigung der Daten erfolgte anhand der in der Eckpunktevereinbarung vorgegebenen Kriterien (Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in

Schleswig-Holstein 2018). Die technische Umsetzung in Excel kann Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Umsetzung der Anforderungen der Eckpunktevereinbarung (2018) zur Bereinigung von Einsatzdaten

Nr.	Anforderung	technische Umsetzung
1	Einsatzort nicht im Rettungsdienstbereich (RDB)	Ausschluss bereits bei Export (InManSys)
2	Einsatzbeginnzeitpunkt (Alarmierung) außerhalb des Bemessungszeitpunktes	Ausschluss bereits bei Export (InManSys)
3	Einsatz storniert	WENN-Funktion und Filter (Excel): Ausschluss, wenn Status 3, aber kein Status 4,7 und 8
4	Dispositionstyp kein Rettungsmittel	Filter (Excel): Nur EM-Typ 83 (RTW) oder 85 (KTW)
5	Kein Einsatz im rettungsdienstlichen Zusammenhang	Filter (Excel): Ausschluss aller Einsätze der EK 0 und n.z. (nicht zuzuordnen)
6	Fehlende Zeitpunkte Alarmierung und Disposition oder Gesamteinsatzdauer < 3 Minuten	WENN-Funktion und Filter (Excel): Ausschluss, wenn Alarmierungszeit und Dispositionszeit fehlend oder Einsatzdauer < 3 Minuten
7	Einsatzort Gemeinde, Ort und Objekt fehlen	WENN-Funktion und Filter (Excel): Ausschluss, wenn Ort und Objekt fehlen
8	Der Datensatz wird ausgeschlossen, wenn kein Ort und Objekt vorhanden ist und keine Zuordnung des Leitstellensystems zu einem RWVB stattgefunden hat	Ausschluss durch Export (InManSys)
9	Einsatz wurde durch Luftrettungsmittel durchgeführt	Filter (Excel): Nur EM-Typ 83 (RTW) oder 85 (KTW)
10	Alle Datensätze eines dritten oder weiteren RTW oder KTW zu einem Einsatzanlass	WENN-Funktion und Filter (Excel): Ausschluss, wenn zwei Datensätze zuvor gleiche Einsatznummer
11	Wenn die Dauer eines Notfalleinsatzes die Zeitspanne von vier Stunden überschreitet, geht der Einsatz mit der mittleren Dauer der übrigen Notfalleinsätze in die Berechnung ein	Filter (Excel): Berechnung der durchschnittlichen Einsatzzeit der EK 1 + 2 ohne Ausreißer Wenn Einsatzzeit < 4 h, dann Einsatz der mittleren Einsatzzeit
12	Wenn die Dauer einer Fernfahrt die Zeitspanne von 12 Stunden überschreitet, geht der Einsatz mit der mittleren Dauer der übrigen Fernfahrten in die Berechnung ein	Filter (Excel): Berechnung der durchschnittlichen Einsatzzeit der EK 4 ohne Ausreißer Wenn Einsatzzeit < 12 h, dann Einsatz der mittleren Einsatzzeit

Die Bereinigung lieferte einen Ausschluss von 25,71 %. Das resultierende Datenpaket umfasst 281.173 Datensätze (Tabelle 2)

Tabelle 2: Darstellung der bereinigten Ergebnisse

	unbereinigt	bereinigt	Ausschuss
2016	66.262	53.084	24,82 %
2017	67.362	54.438	23,74 %
2018	70.297	55.808	25,96 %
2019	75.467	59.024	27,86 %
2020	74.079	58.819	25,94 %
Total	353.467	281.173	25,71 %

Die Güte der Bereinigung wurde anhand eines Vergleichs mit den amtlichen Ergebnissen 2020 der Landeshauptstadt Kiel bewertet (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2021). Die Abweichung in 2020 betrug - 2,82 %, was als akzeptabel angesehen wurde (Tabelle 3). Zum Teil variierte die Abweichung innerhalb der Einsatzklasse. Auffällig erschien die hohe Abweichung in der Einsatzklasse 4 (Fernfahrtenaufkommen). Fernfahrten werden häufig in weiter entfernte Gebiete geleistet. Es ist üblich, dass außerhalb des eigenen Rettungsdienstbereichs die Statuszeiten nicht durchgehend erfasst werden. Die Systematik der Plausibilitätsprüfung in Excel konnte aufgrund der vorliegenden Daten eine Stornierung der Fahrt nicht ausschließen, bzw. fehlen die nötigen Zeiten zur Erfassung der Einsatzzeit. Da die Anzahl sehr gering war, wurde der Einfluss auf das Gesamtergebnis als nicht relevant betrachtet.

Tabelle 3: Vergleich der Daten mit den amtlichen Ergebnissen der Landeshauptstadt Kiel 2020

	bereinigt	Jahresbericht	Abweichung
EK 2	25866	27119	-4,62 %
EK 3	6175	6259	-1,34 %
EK 4	25	29	-13,79 %
EK 5	1656	1690	-2,01 %
EK 6	2825	2894	-2,38 %
EK 7	5975	6038	-1,04 %
EK 8	12794	12934	-1,08 %
EK 9	3503	3564	-1,71 %
Total	58819	60527	-2,82 %

2.3.2 Einfluss der Pandemie 2020

Der Ausbruch der Coronavirus-Pandemie 2020 führte in der gesamten Bundesrepublik zu zahlreichen Einschränkungen des öffentlichen Lebens. Während sich auf der einen Seite Gesundheitsdienste auf eine Vielzahl an Intensivbehandlungen vorbereiteten, sanken in vielen Notaufnahmen im ersten Halbjahr die Fallzahlen (Stöwhas und Lippert 2021). Auch im Rettungsdienst machte sich die Angst vor einer Infektion bemerkbar. Kurzzeitig verstärkt wurde dieser Effekt im Krankentransport durch abgesagte Arzttermine und Operationen, die im Verlauf des Jahres nachgeholt wurden. Abbildung 4 zeigt die Veränderung der Einsatzzahlen im Jahresverlauf. Sowohl im Krankentransport als auch in der Notfallrettung erreichte die Nachfrage in den Monaten März, April und Mai nicht das im Rahmen der jährlichen Steigerung erwartbare Niveau. In den Sommermonaten stieg die Nachfrage hingegen wieder deutlich an.

Aufgrund der beschriebenen Auswirkungen ist das Jahr 2020 nur eingeschränkt repräsentativ, was im Verlauf der Arbeit weiter berücksichtigt wurde.

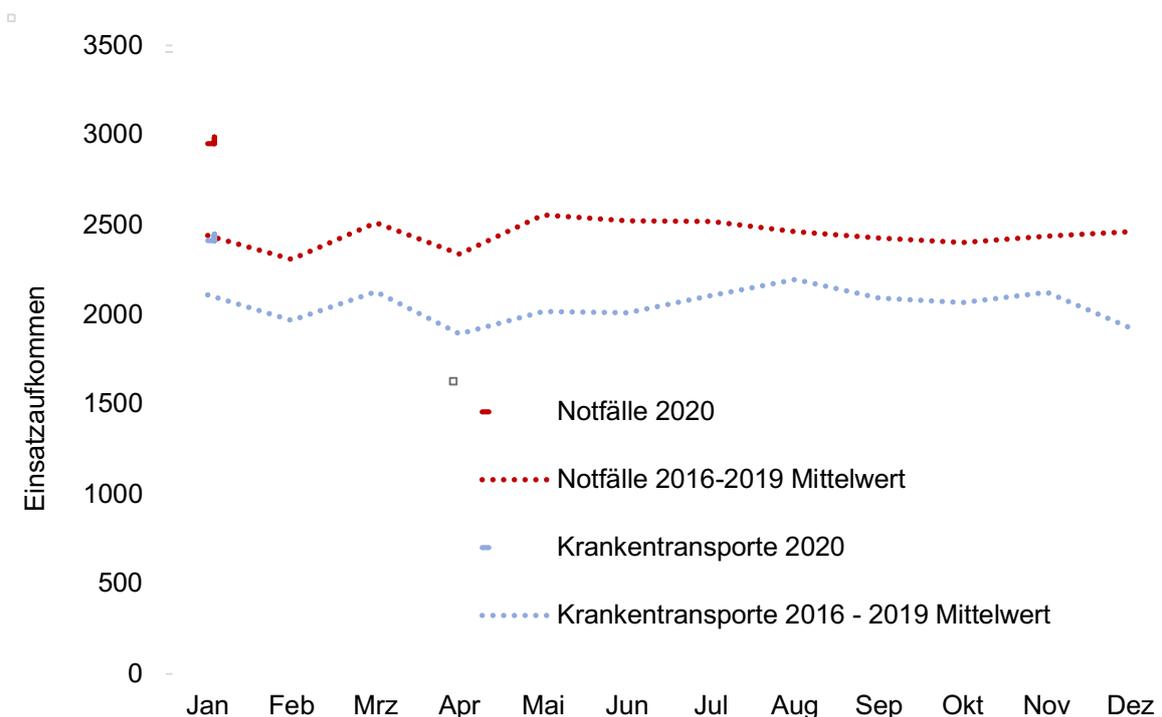


Abbildung 4: Darstellung der Einsatzzahlen nach Monaten

2.3 Datenanalyse

2.3.1 Leistungsfähigkeit

Ziel des ersten Teils der Datenanalyse ist es, die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes der Landeshauptstadt Kiel anhand der empirischen Daten zu erfassen und darzustellen. Relevante Indikatoren dabei sind die durchschnittliche Eintreffzeit, der Erfüllungsgrad und die Auslastung der Rettungsmittel. Darüber hinaus wurden weitere Kennzahlen dargelegt, die den Rettungsdienst der Landeshauptstadt Kiel vertiefend charakterisieren. Ermittelt wurden die Daten aus dem bereinigten Datensatz unter Nutzung verschiedener Filter in Excel. Differenziert wurden die Betrachtungen zum einen nach hilfsfristrelevantem und nichthilfsfristrelevantem Aufkommen (NOTF) und dem Krankentransport (KT).

Die Eintreffzeit ist erfahrungsgemäß durch eine Vielzahl von Ausreißern geprägt, was die Verarbeitung in einem robusten Boxplot sinnvoll erschienen ließ.

Der Erfüllungsgrad umfasst den prozentualen Anteil der hilfsfristrelevanten Notfall-Einsätze (EK 2), die innerhalb von zwölf Minuten bedient werden. Im Datensatz findet sich dazu die Hilfsfristzeit, die sich aus der Summe von Ausrücke- und Fahrzeit ergibt. Eine WENN-Funktion in Excel lieferte eine eins, wenn die Hilfsfrist unterschritten wird, andernfalls betrug der Wert null. Der Mittelwert aller Funktionsergebnisse ergab den Erfüllungsgrad.

Rückschlüsse auf die Effizienz eines Rettungsdienstsystems bietet die Auslastung der Rettungsmittel. Die Auslastung gibt den prozentualen Anteil der Zeit an, in dem das Rettungsmittel im Einsatz gebunden und somit nicht verfügbar ist. Datengrundlage für die Berechnung war die Zeit zwischen dem 02.01.2018 und dem 31.12.2019. Anhand der Vorhaltetabelle (Anhang 4) wurde für jedes Rettungsmittel separat die SOLL-Vorhaltezeit für den oben genannten Zeitraum bestimmt. Aus dem Datensatz wurde dann die Summe aller Einsatzzeiten des Rettungsmittels berechnet. Die Division durch die Soll-Vorhaltezeit ergibt die Auslastung des Rettungsmittels.

$$Auslastung = \frac{\sum Einsatzzeit}{SOLL - Vorhaltezeit} \cdot 100 \%$$

Aufgrund vorübergehender Änderungen in der Vorhaltung und der damit nicht eindeutigen Zuordnung im Datensatz, entfiel die Berechnung für den KTW 14/85/01 und den RTW 70/83/02.

Darüber hinaus wurde die Wochenvorhaltezeit differenziert nach den jeweiligen RWVB in einem Diagramm gegenüber einer Wochengangkurve dargestellt. Dies ermöglicht eine visuelle Einschätzung des Verhältnisses zwischen Bewältigungsaufwand und Vorhaltekapazität. Es wurde dabei von einer durchschnittlichen Woche über den Erfassungszeitraum 2018 bis 2019 ausgegangen. Feiertage wurden dabei nicht berücksichtigt.

Abgerundet wurde die Beurteilung der Leistungsfähigkeit, indem die Entwicklung der Einsatz- und Übergabezeiten ausgewertet und als Mittelwerte vergleichend dargestellt wurden.

2.3.2 Prädiktoren

Die Analyse des Einflusses der Prädiktoren aus dem Literaturreview bildet den zweiten Teil der Untersuchung. Hierzu stehen verschiedene Verfahren der induktiven Statistik zur Verfügung, dessen konkrete methodische Umsetzung sich aus den Prädiktoren selbst ergab und daher im Ergebnisteil noch einmal aufgegriffen wird. Umgesetzt wurde die Prüfung der Voraussetzungen, Berechnung und Post-Hoc-Analyse mit der Statistiksoftware DATAtab (DATAtab e.U., Seiersberg, Österreich).

Eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) prüft, ob sich mehrere Gruppen (>2) statistisch signifikant voneinander unterscheiden. Vier Voraussetzungen müssen für die Anwendung der ANOVA erfüllt sein (DATAtab Team 2021):

- Skalenniveau: Die abhängige Variable sollte metrisch skaliert, die unabhängige Variable nominalskaliert sein
- Unabhängigkeit: Die Gruppen müssen unabhängig voneinander sein.
- Homogenität: Die Varianzen der Gruppen sollten keine signifikanten Unterschiede aufweisen (Homoskedastizität). Die Voraussetzung wird mit dem Levene-Test auf Varianzgleichheit überprüft.

- Normalverteilung: Innerhalb der Gruppen sollten die Daten einer Normalverteilung entsprechen. Dies ergibt sich zum einen theoretisch aus den Gruppen und der Stichprobengröße (zentraler Grenzwertsatz) zum anderen durch die von DATAtab durchgeführte Prüfung der Voraussetzungen mit dem Kolmogoroff-Smirnoff-Test und dem Quantile-Quantile-Plot.

Bei fehlender Homoskedastizität wurde in der Arbeit auf die robustere Welch's-ANOVA zurückgegriffen.

Im Allgemeinen gliedert sich die Varianzanalyse in drei Schritte:

1. Streuung innerhalb der Gruppe (Fehlervarianz)
2. Streuung zwischen den Gruppen (Prädiktorvarianz)
3. F-Wert berechnen

Ein signifikanter F-Wert besagt, dass es einen Unterschied zwischen den Gruppen gibt, die Nullhypothese ist abzulehnen (globale Signifikanz).

Durch Post-Hoc-Analysen wurde sichtbar, welche Gruppenwertepaare am stärksten differieren. DATAtab berechnet standardmäßig den Post-Hoc-Test nach Scheffe und Fisher's Least Significant Difference (LSD).

3 Ergebnisse

3.1 Literaturreview

3.1.1 Methoden zur Effizienzsteigerung

Aus den vorherigen Kapiteln ist bekannt, dass die Rettungsmittelvorhaltung maßgeblich vom Einsatzaufkommen und der durchschnittlichen Einsatzzeit abhängt. Es wurde darüber hinaus hinterfragt, ob das Einsatzaufkommen wirklich zufällig verteilt

und unabhängig ist und die Einteilung in vier Tageskategorien ausreichend erscheint.

Veröffentlichungen aus dem Gebiet des Operation Research bieten verschiedene Möglichkeiten, Logistik-Probleme im Rettungsdienst zu lösen. Einen Überblick über gegenwärtige Methoden und mathematische Verfahren der Rettungsdienstplanung bieten Reuter-Oppermann et al. (2017a) und Bélanger et al. (2019). In ihrer Arbeit ordnen die Autor*innen verschiedenen Planungsprobleme den Planungsebenen strategisch, taktisch und operativ zu. Strategische Planung umfasst demnach Planung über einen Zeitraum von Jahren bis Jahrzehnten, beispielsweise den Bau einer Rettungswache. Taktische Planung wird durch einen wöchentlichen bis monatlichen Planungshorizont charakterisiert, dazu zählt zum Beispiel die Rettungsmittelvorhaltung (Reuter-Oppermann et al. 2017a). Am kurzfristigsten setzt die operative Planung an, die von der täglichen Planung in die Echtzeit-Planung übergeht (Reuter-Oppermann et al. 2017a).

Ein effizienter Rettungsdienst erreicht mit geringem Ressourceneinsatz eine gute Leistungsfähigkeit. Trotz einer strategisch wie taktisch bemessenen und ökonomisch ausgelasteten Grundvorhaltung, muss das System robust gegenüber operativen Schwankungen und Einsatzspitzen sein. Eine optimal an das Einsatzaufkommen angepasste und flexible Rettungsmittelvorhaltung kann die Effizienz des Rettungsdienstes steigern.

Multiperiodische Rettungsmittelverschiebungen setzen voraus, dass das Einsatzaufkommen über den Tag schwankt (Bélanger et al. 2016). Grund dafür können charakteristische zeitliche Schwankungen, aber auch Bevölkerungsströme, wie z.B. Pendler, sein. Den Ausführungen von Bélanger et al. (2016) folgend, wird der Tag in mehrere Perioden unterteilt. Am Ende einer Periode wechselt das Rettungsmittel den Standort und begibt sich in einen Bereich mit einer höheren Nachfrage. Diese Verschiebungen werden bereits im Vorfeld geplant. Mathematische Grundlage kann beispielsweise das Lösen eines Problems mit dynamischer Optimierung sein (Bélanger et al. 2016). Geeignet ist beispielsweise das Double Standard Model (DSM) von Gendreau et al. aus dem Jahr 1997, welches auf einer Abdeckung eines Gebietes durch zwei Standorte bzw. Rettungsmittel basiert. Weiterentwickelt ermöglicht ein modifiziertes DSM (mDSM) die Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit eines Einsatzes innerhalb einer Zone (Bélanger et al. 2016).

Einen dynamischeren Ansatz bietet nach Bélanger et al. (2016) die dynamische Neuverteilung von Rettungsmitteln. Dabei geht es darum, nach dem Freimelden dem Rettungsmittel einen neuen Standort zuzuweisen. Die Zuweisung kann sowohl im Vorfeld definiert werden als auch bedarfsorientiert erfolgen. Maxwell et al. (2009) verwendeten beispielsweise approximierete dynamische Programmierung, um den Erfüllungsgrad zu optimieren.

Ist eine Rettungsmittelverschiebung zu jedem Zeitpunkt erlaubt, ist von dynamischer Rettungsmittelverschiebung (Bélanger et al. 2016) oder Systemstatusmanagement die Rede. Rettungsmittel warten dazu beispielsweise an vorab definierten Stand-By-Positionen auf neue Aufträge. Das erste Modell zur dynamischen Verschiebung von Rettungsmitteln wurde von Gendreau et. al. 2001 veröffentlicht. Verschiedene Ansätze sind zwischenzeitlich in der Literatur beschrieben. Bélanger et al. (2016) passten beispielsweise das mDSM an, während Andersson Granberg und Vårbrand (2007) das Modell DYNAROC entwickelten. Dynamische Rettungsmittelverschiebungen werden in vielen Ländern praktiziert, beispielsweise in Großbritannien. Dort werden Rettungsmittel häufig in der Nähe von Zonen mit aktuell und erwarteter hoher Nachfrage platziert (Reuter-Oppermann 2017a). Dabei werden besonders nachgefragte Zonen priorisiert belegt, während andere Gebiete nach Verfügbarkeit nachbelegt werden. Der Bedarf an Rettungsmitteln ist jedoch regelmäßig so hoch, dass diese direkt nach dem Freimelden einen neuen Auftrag erhalten (Reuter-Oppermann 2017a).

Lam et al. untersuchten 2014 den Einfluss von dynamischer Einsatzplanung auf Basis eines Geoinformationssystems und mathematischer Programmierung. Diskrete Ereignissimulationen aus Singapur ergaben eine Verbesserung der Eintreffzeit um 44 Sekunden (Median).

Auch in den Niederlanden werden Rettungsmittel verschoben, jedoch nur, wenn dies aufgrund des Systemstatus erforderlich ist (Reuter-Oppermann 2017a). Einige Regionen verfügen über vorbestimmte Positionen, oftmals zwischen zwei Rettungswachen, an denen zeitweise Rettungsmittel günstig platziert werden. Häufig werden die Dispositionsentscheidungen anhand von vordefinierten Wenn-Dann-Szenarien getroffen (Reuter-Oppermann 2017a). Bélanger et al. (2019) sprechen in diesem Zusammenhang auch von sogenannten Compliance Table oder Verschiebeplänen, die den Vorteil haben, dass der Aufwand der Berechnung auch bei größeren

Problemen gering bleibt. Um einen Verschiebeplan zu generieren, sind im Vorfeld für jeden möglichen Systemstatus verschiedene Entscheidungen notwendig, die dann entsprechend abgerufen werden können. Einen mathematischen Ansatz liefern Gendreau et al. (2006) mit dem Maximal Expected Relocation Problem (ME-CRP), welcher den entsprechenden Verschiebeplan abhängig von der Anzahl der verfügbaren Rettungsmittel ermittelt.

Neben der Verschiebung hat auch die Disposition von Rettungsmitteln einen entscheidenden Einfluss auf die Eintreffzeit und damit die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes (Bélanger et al. 2019). Eine optimierte Dispositionsstrategie kann daher hilfreich sein, auch den zukünftigen Bedarf an Rettungsmitteln zu decken (Bélanger et al. 2019). Sowohl Bélanger et al. (2019) als auch Reuter-Oppermann et al. (2017b) heben hervor, dass die Disposition des nächstgelegenen Rettungsmittels zwar im Einzelfall die beste Lösung ist, für das Gesamtsystem allerdings häufig nicht optimal ist. Jagtenberg et al. (2016) zeigten am Beispiel des Rettungsdienstbereichs Utrecht (Niederlande), dass auf Grundlage eines Markow-Entscheidungsproblems der Erfüllungsgrad gegenüber der Nächstfahrzeugstrategie um bis zu 18 % und die durchschnittliche Eintreffzeit um 37 % verbessert werden konnte.

Eine effiziente Rettungsmittelvorhaltung hängt in besonderem Maße von einer zuverlässigen Prognose des Einsatzgeschehens ab. Grundsätzlich wirft das die Fragestellung auf, welche Prädiktoren das Einsatzgeschehen und damit den Bedarf an Rettungsmitteln beeinflussen. Diese Frage konnte bislang noch nicht abschließend beantwortet werden, jedoch werden in zahlreichen Publikationen Prädiktoren als Input-Parameter einer effizienten Rettungsdienstplanung untersucht (Reuter-Oppermann und Wolff 2020).

3.1.2 Prädiktoren

Neben zufälligen Komponenten nehmen auch Prädiktoren Einfluss auf das Einsatzgeschehen eines Rettungsdienstsystems. Prädiktoren erlauben es, Einsatzspitzen und Nachfrageschwankungen zu verstehen und mit einem entsprechend angepasstem Vorhaltevolumen die Effizienz des Rettungsdienstes zu steigern.

Wettereinflüsse können sowohl die Einsatzzeit als auch das Einsatzaufkommen beeinflussen. Mehrere empirische Studien, unter anderem aus Birmingham (Thornes et al 2013) und London (Mahmood et al. 2017), belegen den Einfluss des Wetters auf die beiden für die Bedarfsplanung relevanten Parameter. Eine Auswertung von Londoner Einsatzdaten aus 12 Jahren offenbarte die Zunahme der Eintreffzeiten bei Unterschreiten von 2 °C und dem Überschreiten von 20 °C (Mahmood et al. 2017). Dem zugrunde liegen zum einen ein erhöhtes Einsatzaufkommen an warmen Tagen und zum anderen die Fahrbahnbeschaffenheit an kalten Tagen (Mahmood et al. 2017). Den Autoren zufolge wird dieser Effekt durch den Klimawandel und extreme Wetterereignisse zukünftig verschärft. Unterstrichen wird die These durch aktuelle Erfahrungen aus Deutschland. Durch den starken Schneefall im Frühjahr 2021 und die Flutkatastrophe im darauffolgenden Sommer kam es zu einer massiven Störung der öffentlichen Infrastruktur mit weitreichenden Folgen für das Rettungsdienstsystem.

Die Verkehrslage nimmt Einfluss auf die Einsatzzeit des Rettungsdienstes und damit auf die direkte Leistungsfähigkeit. Reuter-Oppermann und Wolff (2020) fordern daher in ihren Ausfertigungen eine Berücksichtigung der Fahrstrecken bei der Planung des Rettungsdienstes.

Steins et al. (2019) werteten Einsatzdaten aus Schweden aus. Für ihr Prognosemodell verwendeten sie mehrere Variablen, gewichtet nach ihrem Einfluss auf die Einsatzzahlen. Verwendet wurden dabei die Anzahl der Personen in verschiedenen Altersgruppen, das mittlere Einkommen, Wochenend-Spots (Restaurants und Bars), die Fahrstrecke, der Wochentag sowie die Uhrzeit.

Von einer hohen zeitlichen Abhängigkeit des Einsatzgeschehens berichten Channouf et al. (2007). Sie beobachteten im kanadischen Calgary tägliche und saisonale Schwankungen, die sie mit Hilfe verschiedener Zeitreihenanalysen berechenbar machten. Dabei berücksichtigen Channouf et al. auch Feiertageffekte und ein langfristig zunehmendes Einsatzaufkommen. Darüber hinaus wird beobachtet, dass es vermehrt zu verlängerten Übergabephasen in den Krankenhäusern kommt, was sich negativ auf die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes auswirkt.

Vile et al. (2012) gelang es mittels einer singulären Spektralanalyse (SAA), Periodizitäten in der Nachfrage an rettungsdienstlichen Leistungen zu identifizieren.

Gegenüber anderen Modellen der Zeitreihenanalyse gibt die SAA präzisere Prognosen, empfohlen werden allerdings Prognosen über Schichten bzw. Tage.

Die Ergebnisse des Literaturreviews werden in Tabelle 4 zusammengefasst. Anhand der Ergebnisse wird davon ausgegangen, dass es regionale Unterschiede in den Auswirkungen und der Relevanz der Prädiktoren gibt. In der folgenden Datenanalyse wird daher ein Bezug zum Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel hergestellt.

Tabelle 4: Übersicht über die Prädiktoren

	Multiperiodische Verschiebung	Dynamische Neuverteilung	Dynamische Verschiebung	Verschiebepläne	optimierte Dispositionsstrategie	Wetter	Verkehr	Wochenendhotspots	Uhrzeit	Tag	Saison
Bélanger et al. 2016	x	x	x								
Maxwell et al. 2009		x									
Andersson Granberg und Värbrand 2007			x								
Lam et al. 2014											
Gendreau et. al. 2001			x								
Gendreau et al. 2006				x							
Jagtenberg et al. 2016					x						
Thornes et al 2013						x					
Mahmood et al. 2017						x					
Reuter-Oppermann und Wolff 2020							x				
Steins et al. 2019							x	x	x	x	
Channouf et. al. 2007									x	x	x
Vile et al. 2012									x	x	x

3.2 Datenanalyse

3.2.1 Allgemeine Leistungsfähigkeit

Im Zeitraum vom 01.01.2016 bis 31.12.2020 wurden im Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel 281.173 bemessungsrelevante Einsätze mit RTW und KTW bedient. Davon entfallen auf die Notfallrettung 155.796 (55,4 %) und auf den Krankentransport 125.377 Einsätze (44,6 %). Abbildung 5 stellt den Verlauf der jährlichen Einsatzzahlen dar. Das Maximum wurde im Jahr 2019 erreicht, die durchschnittliche Änderungsrate über das gesamte Bemessungsintervall betrug +2,62 % (Tabelle 5).

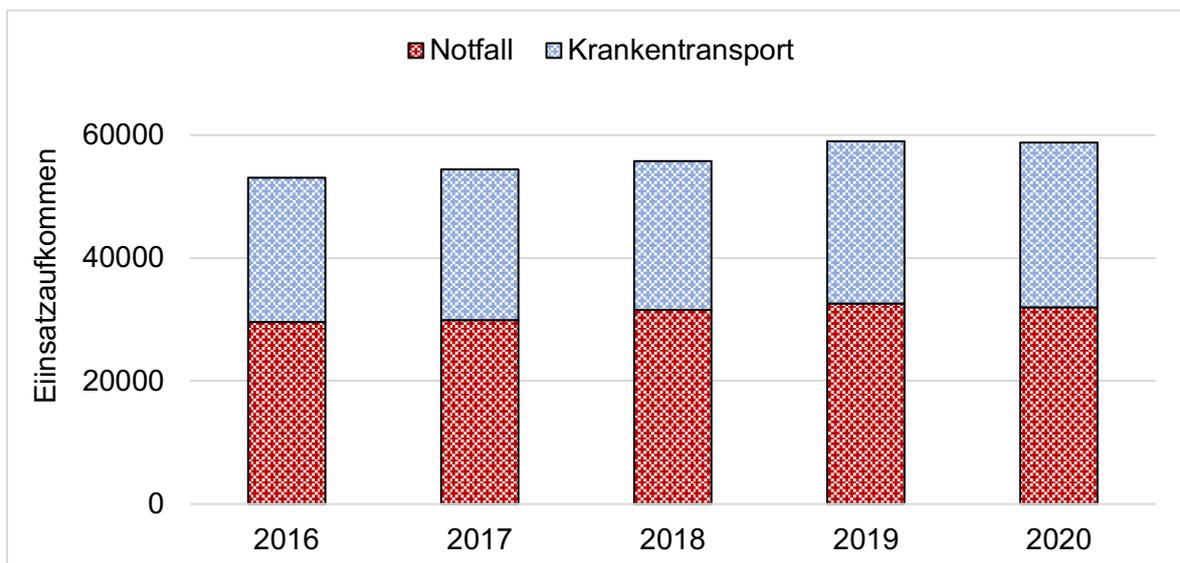


Abbildung 5: Jährliche Einsatzzahlen, dezidiert nach den Leistungsbereichen Notfallrettung und Krankentransport

Tabelle 5: Jährliche bemessungsrelevante Einsätze und Steigerung

	NOTF	Steigerung	KT	Steigerung	Gesamt	Steigerung
2016	29.628		23.456		53.084	
2017	29.933	1,03 %	24.505	4,47 %	54.438	2,55 %
2018	31.581	5,51 %	24.227	-1,13 %	55.808	2,52 %
2019	32.612	3,26 %	26.412	9,02 %	59.024	5,76 %
2020	32.041	-1,75 %	26.778	1,39 %	58.819	-0,35 %
Total	155.795		125.378		281.173	

Die mittlere Eintreffzeit bei einem Notfalleinsatz betrug im gesamten Bemessungsintervall 7:10 Minuten (SD = 3:49 min). Am schnellsten war der Rettungsdienst im RWVB Mitte (M = 7:11 min, SD = 4:13 min), gefolgt vom RWVB Ost (M = 7:26 min, SD = 3:54 min) und RWVB Nord (M = 8:27 min, SD = 4:22 min) (Tabelle 6 und Abbildung 6). Über den Bemessungszeitraum ist eine jährliche Veränderung der mittleren Eintreffzeit von durchschnittlich + 2,62 % zu beobachten. Ein nicht hilfsfristrelevanter Notfalleinsatz wurde in durchschnittlich 11:43 Minuten (SD = 5:38 min) bedient, ein Krankentransport in 15:06 Minuten (SD = 10:11 min) (Tabelle 7 und Abbildung 7).

Der Erfüllungsgrad der Hilfsfrist (HF) nach § 2 Absatz 1 SHRDG-DVO verhielt sich im gesamten Bemessungsintervall stabil (Tabelle 8). Ein jährlicher Erfüllungsgrad über 90 % im gesamten Rettungsdienstbereich ist Verordnungskonform und wurde durchweg erreicht. Im Jahr 2020 betrug der Erfüllungsgrad 94,09 %. In der Eckpunktevereinbarung zwischen den Landesverbänden und Kostenträgern des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein von 2018 wird für Krankentransporte eine maximale Wartezeit von 30 Minuten vorgegeben. Dieses Ziel wurde zuletzt in 91,63 % der Fälle erreicht. Nicht hilfsfristrelevante Notfalleinsätze wurden 2020 in 97,83 % der Fälle innerhalb von 30 Minuten mit einem RTW bedient.

Tabelle 6: Deskriptive Statistiken der Eintreffzeit bezogen auf das Jahr und den RWVB

	2016	2017	2018	2019	2020	Mitte	Nord	Ost
Minimum	0:00:03	0:00:03	0:00:04	0:00:03	0:00:05	0:00:05	0:00:06	0:00:07
Maximum	1:29:05	1:21:43	1:07:47	1:18:20	1:25:21	1:25:21	1:11:43	1:13:08
25%-Perzentil	0:04:38	0:04:45	0:05:02	0:05:07	0:05:11	0:04:50	0:06:11	0:05:19
Median	0:06:16	0:06:25	0:06:44	0:06:50	0:06:58	0:06:38	0:07:55	0:06:53
75%-Perzentil	0:08:11	0:08:21	0:08:47	0:08:52	0:08:59	0:08:41	0:10:06	0:08:44
Mittelwert	0:06:46	0:06:56	0:07:16	0:07:18	0:07:30	0:07:11	0:08:27	0:07:26
Standardabweichung	0:03:38	0:03:41	0:03:49	0:03:41	0:04:10	0:04:13	0:04:22	0:03:54

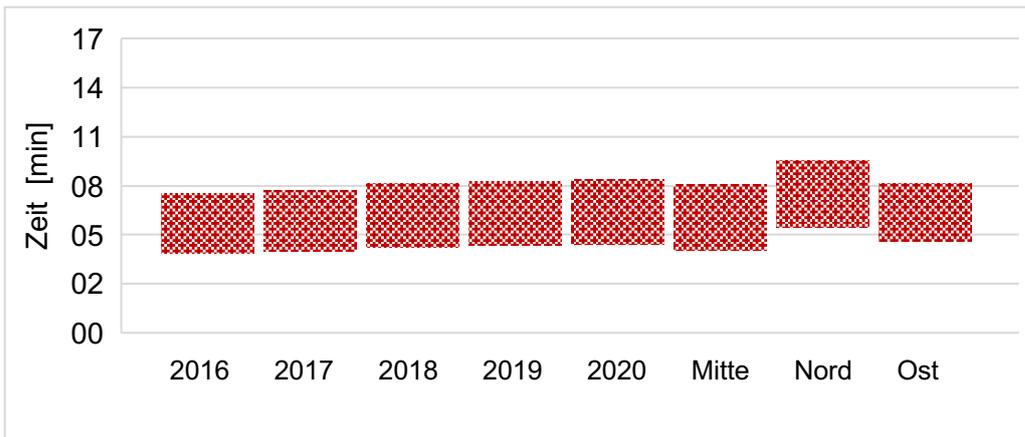


Abbildung 6: Boxplot der Eintreffzeiten nach Jahr (ohne Anzeige von Ausreißern)

Tabelle 7: Deskriptive Statistiken der Eintreffzeit bezogen auf das Einsatzstichwort über das gesamte Bemessungsintervall

	NOTF HF-Relevant	NOTF nicht HF-Relevant	KT
Minimum	0:00:03	0:00:03	0:00:02
Maximum	1:29:05	1:20:09	1:29:50
25%-Perzentil	0:04:56	0:07:54	0:07:58
Median	0:06:39	0:11:01	0:14:02
75%-Perzentil	0:08:39	0:14:31	0:20:43
Mittelwert	0:07:10	0:11:43	0:15:06
Standard- abweichung	0:03:49	0:05:38	0:10:11

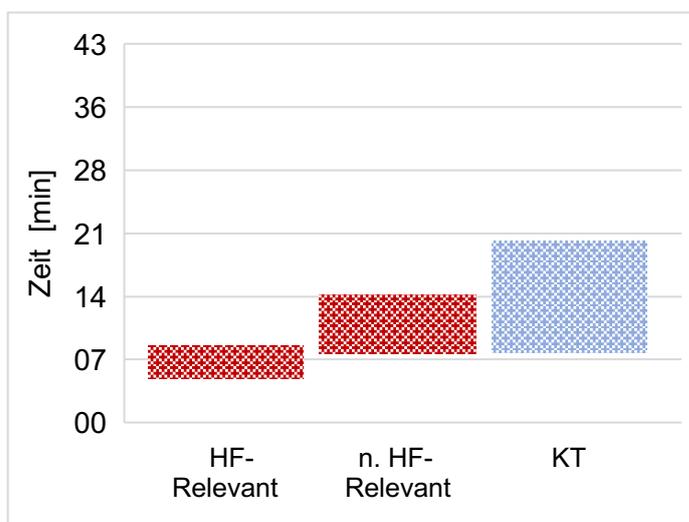


Abbildung 7: Boxplot der Eintreffzeiten nach Leistungsbereichen (ohne Anzeige von Ausreißern)

Tabelle 8: Erfüllungsgrade nach verschiedenen Einsatzstichworten

	HF-Relevant 12:00 min	n. HF-Relevant 30:00 min	KT 30:00 min
2020	94,09%	98,91%	93,09%
2019	94,16%	98,53%	93,70%
2018	94,28%	98,43%	92,96%
2017	95,00%	98,05%	92,87%
2018	95,67%	97,83%	91,63%

Abbildung 8 und Tabelle 9 zeigen die Auslastung und Einsatzzahlen der Rettungsmittel in den Jahren 2018 und 2019. Zum einen ist zu beobachten, dass die höchste Auslastung Fahrzeuge im RWVB Mitte besaßen (M = 62,96 %), gefolgt vom RWVB Ost (M = 45,54 %) und RWVB Nord (M = 33,30 %). Zum anderen war die Auslastung der Fahrzeuge im 24-Stunden-Dienst deutlich geringer. Die beiden KTW wiesen die höchste Auslastung auf (84,16 % und 78,41 %).

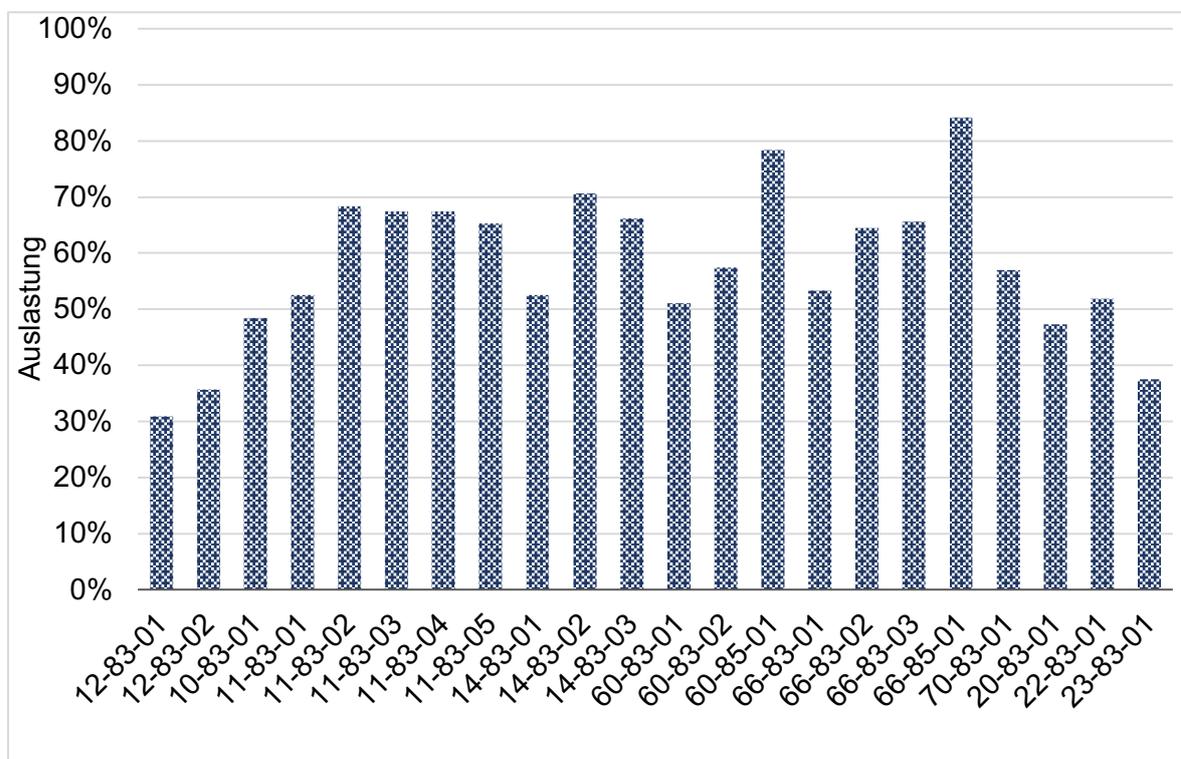


Abbildung 8: Mittlere Auslastung der Rettungsmittel in den Jahren 2018 bis 2019

Tabelle 9: Mittlere Auslastung und Einsatzzahlen der Rettungsmittel in den Jahren 2018 bis 2019

RWVB	Typ	Rettungsmittel	Vorhaltezeit [h]	Einsatzzeit [h]	Auslastung	Einsätze
Nord	RTW	12-83-01	17496	5407	30,90%	4529
Nord	RTW	12-83-02	15845	5655	35,69%	4401
Mitte	RTW	10-83-01	17496	8481	48,47%	8280
Mitte	RTW	11-83-01	17496	9194	52,55%	8391
Mitte	RTW	11-83-02	7194	4917	68,35%	41192
Mitte	RTW	11-83-03	5242	3536	67,46%	2980
Mitte	RTW	11-83-04	5244	3536	67,43%	2952
Mitte	RTW	11-83-05	5244	3424	65,29%	2848
Mitte	RTW	14-83-01	16545	8682	52,48%	7785
Mitte	RTW	14-83-02	4032	2848	70,63%	2423
Mitte	RTW	14-83-03	4032	2670	66,22%	2268
Mitte	RTW	60-83-01	10558	5392	51,07%	4397
Mitte	RTW	60-83-02	5164	2965	57,42%	2409
Mitte	KTW	60-85-01	3126	2451	78,41%	1644
Mitte	RTW	66-83-01	17496	9332	53,34%	9416
Mitte	RTW	66-83-02	9619	6200	64,46%	5463
Mitte	RTW	66-83-03	4032	2646	65,63%	2360
Mitte	KTW	66-85-01	4332	3646	84,16%	2223
Mitte	RTW	70-83-01	12615	7186	56,96%	6737
Ost	RTW	20-83-01	17496	8275	47,30%	7766
Ost	RTW	22-83-01	11647	6033	51,80%	4676
Ost	RTW	23-83-01	17496	6567	37,53%	5357

Im Rahmen einer Mehrzweckfahrzeugstrategie teilten sich die Einsätze der RTW in 63,24 % Notfalleinsätze und 36,76 % Krankentransporte auf. Der Anteil an Krankentransporten durch RTW ist im Jahr 2020 sprunghaft gesunken (Tabelle 10).

Tabelle 10: Anteil der Krankentransporte, die von RTW gefahren wurden

	Gesamt	Notfall	Krankentransport	Anteil Krankentransport
2016	47188	29629	17559	37,21%
2017	48421	29934	18487	38,18%
2018	51220	31582	19638	38,34%
2019	53368	32613	20755	38,89%
2020	49324	34042	15282	30,98%
Total	249521	157800	91721	36,76%

Während die Einsatzzeiten im Leistungsbereich Krankentransport über den Bemessungszeitraum weitgehend stabil blieben (M = 1:19 h, SD = 00:57 h), stieg diese im Leistungsbereich Notfallrettung 2020 um 10,60 % von 01:04 Stunde auf 01:11 Stunde plötzlich an (Abbildung 9). Mit Blick auf die Übergabezeiten lässt sich festhalten, dass es in den vergangenen Jahren zu einer konstanten Zunahme sowohl im Leistungsbereich Notfallrettung (2,80%) als auch im Krankentransport (2,14 %) kam (Abbildung 10).

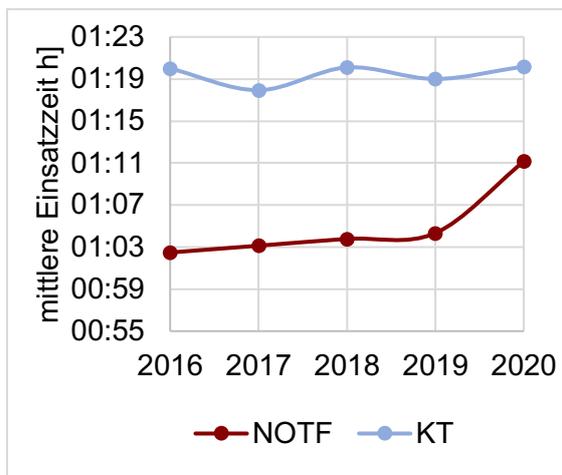


Abbildung 9: Entwicklung der Einsatzzeit

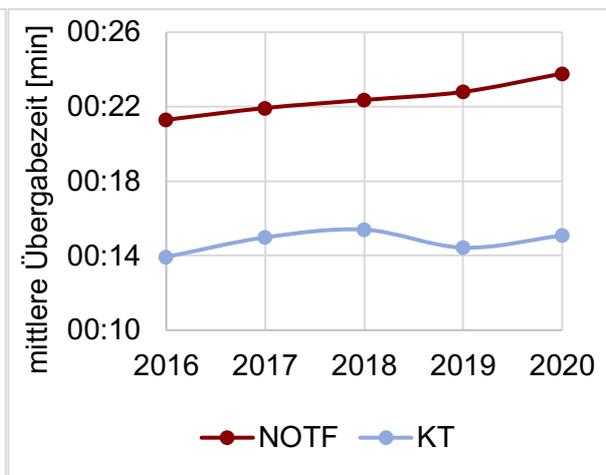


Abbildung 10: Entwicklung der Übergabezeit

Die unten stehenden Abbildungen zeigen den wöchentlichen Verlauf der stündlichen Einsatznachfrage (Notfall und Krankentransport) für die drei RWVB Nord (Abbildung 11) Mitte (Abbildung 12) und Ost (Abbildung 13) in den Jahren 2018 und 2019. Dem gegengezeichnet ist die stündliche Rettungsmittelvorhaltung. Zu sehen sind markante Einsatzspitzen an Wochentagen, die ihren Höhepunkt am Vormittag hatten. In den Nachtstunden nahm die Nachfrage deutlich ab. Die Wochenenden waren insgesamt niedriger ausgeprägt. Zeitliche Unterschiede in den Einsatzspitzen ergaben sich nicht. An Samstagen fiel die Einsatzkurve in den Nachtstunden im RWVB Mitte flacher ab.

Der überwiegende Teil der Einsätze fand im RWVB Mitte statt. Hier waren auch die meisten Rettungsmittel stationiert. Unter der Woche waren das in den Spitzenzeiten bis zu 19 Rettungsmittel, während im RWVB Ost bis zu drei und im RWVB Nord bis zu zwei Rettungsmittel stationiert waren.

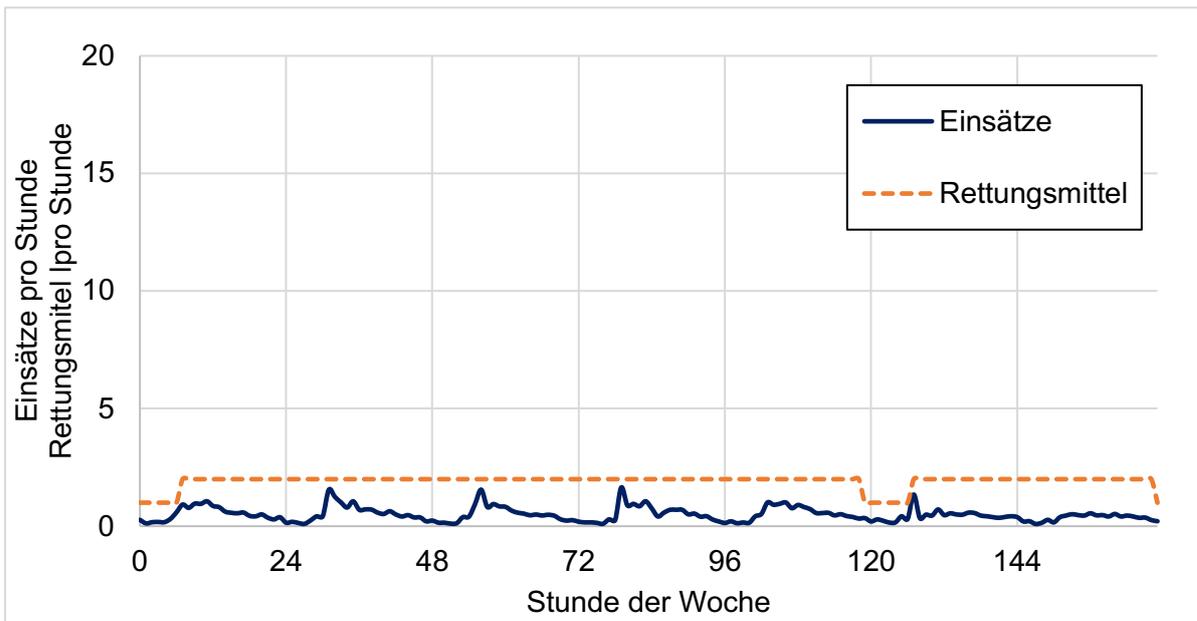


Abbildung 11: RWVB Nord: Tägliche Einsatznachfrage im Verlauf der Woche

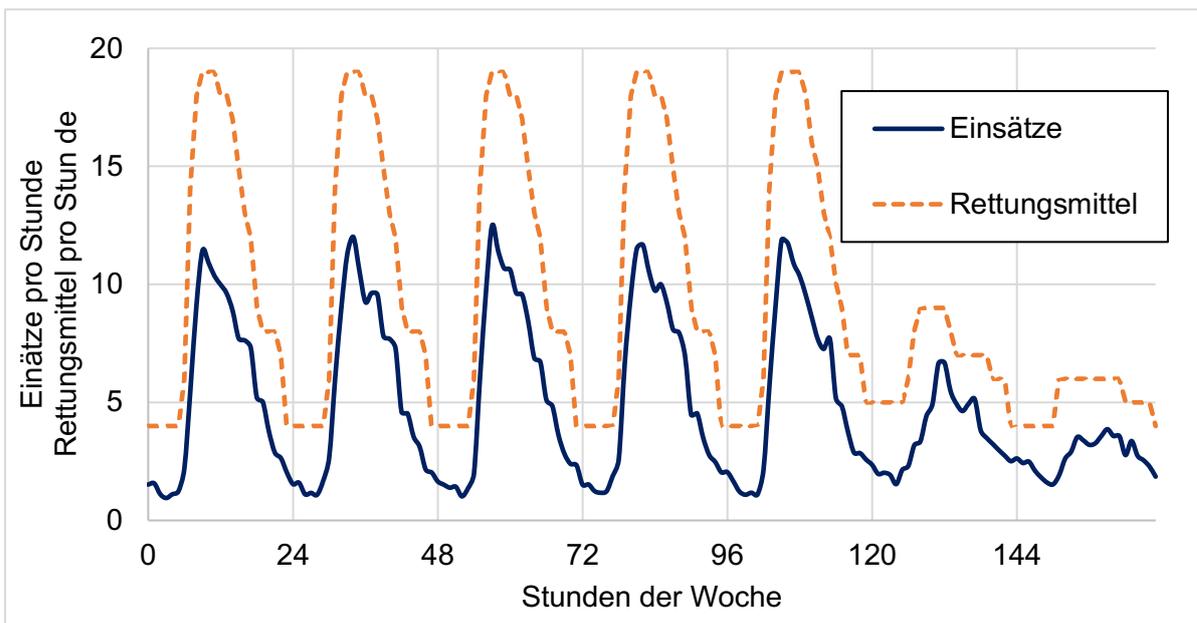


Abbildung 12: RWVB Mitte: Tägliche Einsatznachfrage im Verlauf der Woche

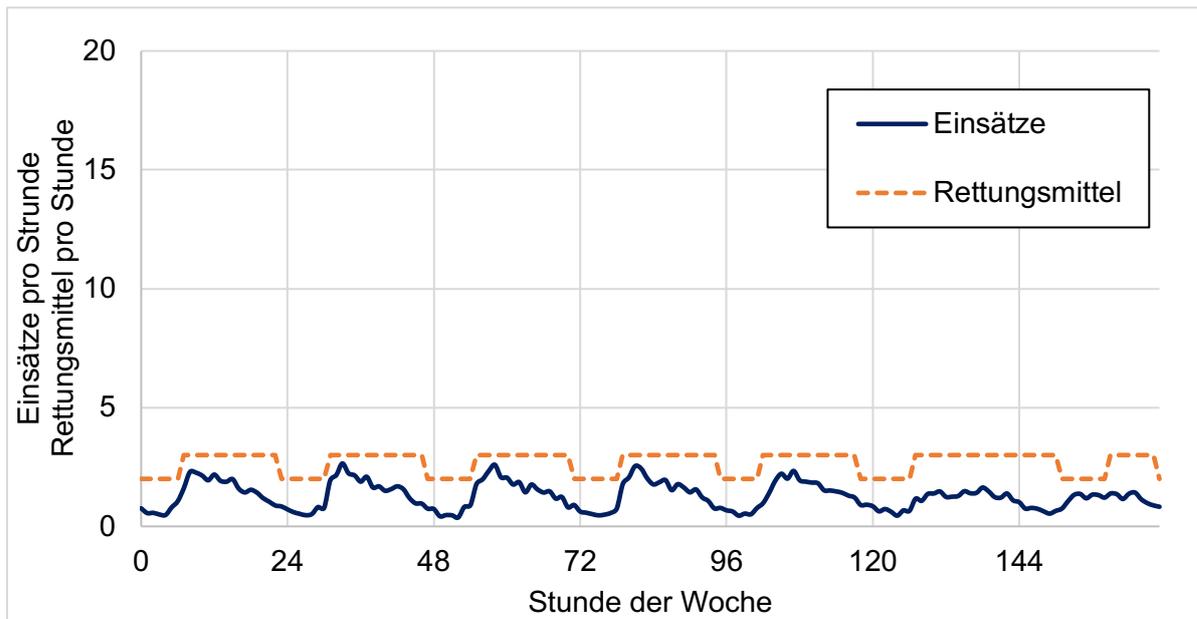


Abbildung 13: RWVB Ost: Tägliche Einsatznachfrage im Verlauf der Woche

3.2.2 Wetter

- Methode: ANOVA (DATAtab), deskriptive Statistiken (Excel)
- Datenbasis: 01.01.2016 – 31.12.2020
- Filter:
 - Tageskategorie: nur Wochentage
- Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen den Variablen
- Signifikanzniveau: 5 %

Das Unternehmen WetterKontor (WetterKontor GmbH, Ingelheim, Deutschland) stellt die Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes für die Jahre 2016 – 2020 zur Verfügung (WetterKontor, o.D.). Für die Leistungsbereiche Krankentransport und Notfallrettung wurden je drei unabhängige Gruppen gebildet. Tage mit Tagesmittelwerten unter 2°C wurden der Gruppe kalt zugeordnet, Tage über 20°C der Gruppe warm. Alle übrigen Tage bildeten die Vergleichsgruppe. Samstage, Sonntage und Feiertage wurden aufgrund der zu erwartenden Schwankung in den täglichen Einsatzzahlen nicht berücksichtigt (Tabelle 11).

Abbildung 14 zeigt die täglichen Einsatzzahlen der Vergleichsgruppen für den Leistungsbereich Notfallrettung als Boxplot. Die Voraussetzungen für die einfaktorielle Varianzanalyse wurden nicht erfüllt. Es liegt eine Heteroskedastizität vor (Tabelle 12), weshalb eine Welch's ANOVA durchgeführt wurde (Tabelle 13). Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Wetter und dem täglichen Notfallaufkommen ($F = 2,7$, $p = 0,071$).

Tabelle 11: NOTF -Wetter: deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Kalt	105	85,45	10,51
Vergleichsgruppe	1.102	86,26	11,39
warm	59	90,56	15,04
Total	1.266	86,39	11,54

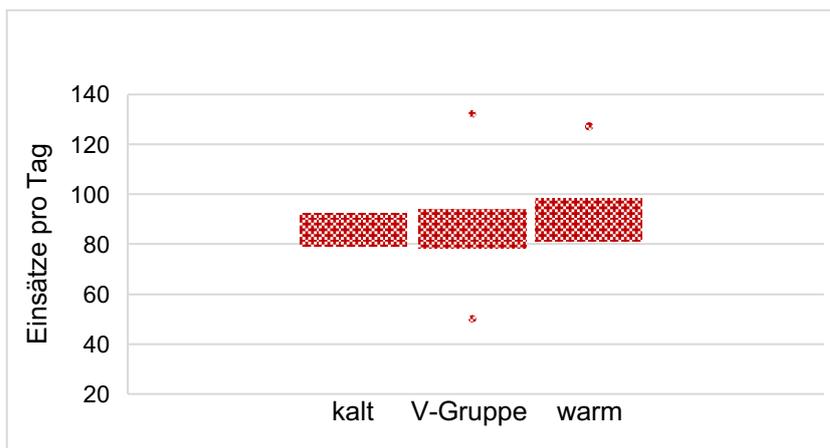


Abbildung 14: NOTF - Wetter: Boxplot der Vergleichsgruppe

Tabelle 12: NOTF -Wetter: Levene-Test der Varianzgleichheit

F	df1	df2	p-Wert
3,08	2	1263	0,046

Tabelle 13: NOTF - Wetter: Welch's ANOVA

	F	df1	df2	p-Wert
Welch-Test	2,7	2	110,34	0,071

Tabelle 14 zeigt die deskriptiven Daten der Vergleichsgruppen, Abbildung 15 die täglichen Einsatzzahlen der Vergleichsgruppen für den Leistungsbereich Krankentransport als Boxplot. Die Voraussetzungen für die einfaktorische Varianzanalyse wurden erfüllt (Tabelle 15). Tabelle 16 zeigte keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Wetter und den täglichen Einsatzzahlen im Leistungsbereich Krankentransport ($F = 2,02$, $p = 0.133$).

Tabelle 14: KT - Wetter: Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standardabweichung
kalt	105	84,84	12,24
Vergleichsgruppe	1.102	86,71	13,50
warm	59	89,15	12,27
Total	1.266	86,67	13,35

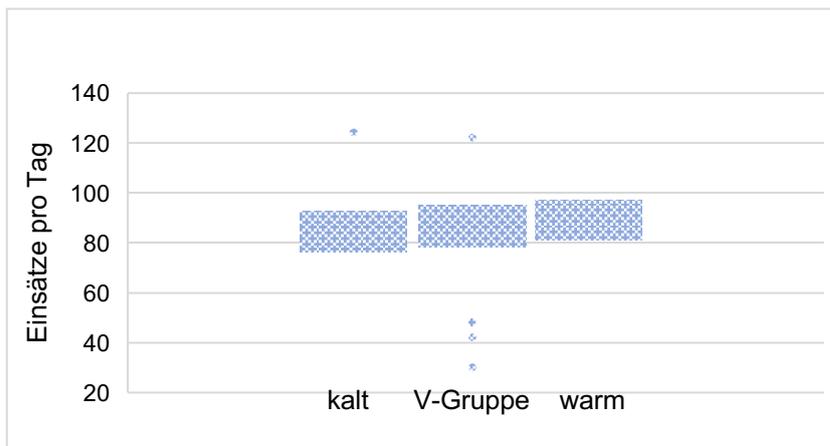


Abbildung 15: KT - Wetter: Boxplot der Vergleichsgruppen

Tabelle 15: KT – Wetter: Levene-Test der Varianzgleichheit

F	df1	df2	p-Wert
0,42	2	1263	0,656

Tabelle 16: KT - Wetter: ANOVA

	Summe der Quadrate	df	Mittelwert der Quadrate	F	p-Wert	Kritischer F-Wert
Zwischen den Gruppen	718,13	2	359,06	2,02	0,133	3
Innerhalb der Gruppen	224.836,83	1.263	178,02			
Total	225.554,96	1.265				

Eine Analyse der Anfahrtszeiten bei hilfsfristrelevanten Notfällen in den drei Gruppen offenbarte geringe Unterschiede (Tabelle 17). Am schnellsten war der Rettungsdienst in der Vergleichsgruppe (M = 06:17, SD = 05:15). Geringfügig langsamer war der Rettungsdienst an warmen Tagen (M = 06:10, SD = 04:56). An kalten Tagen war die Anfahrtszeit am längsten (M = 06:17, SD = 05:17).

Tabelle 17: Deskriptiver Vergleich der Anfahrtszeiten in den drei Gruppen beim hilfsfristrelevanten Notfall

	kalt	Vergleichsgruppe	warm
Minimum	0:00:01	0:00:01	0:00:01
Maximum	0:57:42	0:59:25	0:59:06
25%-Perzentil	0:03:38	0:03:34	0:03:33
Median	0:05:19	0:05:15	0:05:17
75%-Perzentil	0:07:12	0:07:13	0:07:20
Mittelwert	0:06:17	0:06:09	0:06:10
Standardabweichung	0:05:17	0:05:02	0:04:56

3.2.3 Saison

- Methode: ANOVA (DATAtab)
- Datenbasis: 01.01.2016 – 31.12.2019
- Filter:
 - Tageskategorie: keine Feiertage und Wochenenden
- Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen den unabhängigen Variablen
- Signifikanzniveau: 5 %

Zur Überprüfung des Datensatzes auf saisonale Effekte wurden zwölf unabhängige Gruppen Januar, Februar, März, April, Mai, Juni, Juli, August, September, Oktober, November, Dezember gebildet. In jede Gruppe wurden entsprechend der monatlichen Zuordnung die täglichen Einsatzzahlen integriert. Feiertage sowie das gesamte Jahr 2020 wurden dabei nicht berücksichtigt (Tabelle 18 und Tabelle 21).

Abbildung 16 zeigt die täglichen Einsatzzahlen der Vergleichsgruppen im Leistungsbereich Notfallrettung als Boxplot. Die Voraussetzungen für die einfaktorische Varianzanalyse im Leistungsbereich Notfallrettung wurden erfüllt (Tabelle 19). Tabelle 20 zeigt einen signifikanten Einfluss der Variablen Saison und Notfallaufkommen ($F = 5,49$, $p = <0,001$). Die Ergebnisse der Post-Hoc-Analyse können Anhang 5.1 entnommen werden.

Tabelle 18: NOTF - Saison: Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Jan	86	83,16	9,46
Feb	81	86,57	10,3
Mär	86	87,50	12,92
Apr	79	82,76	11,52
Mai	83	86,48	11,17
Jun	83	90,48	10,67
Jul	87	86,40	10,37
Aug	91	82,10	10,56
Sep	84	84,37	11,19
Okt	85	81,60	10,65

Nov	87	86,36	10,89
Dez	79	89,22	12,11
Total	1.011	85,55	11,27

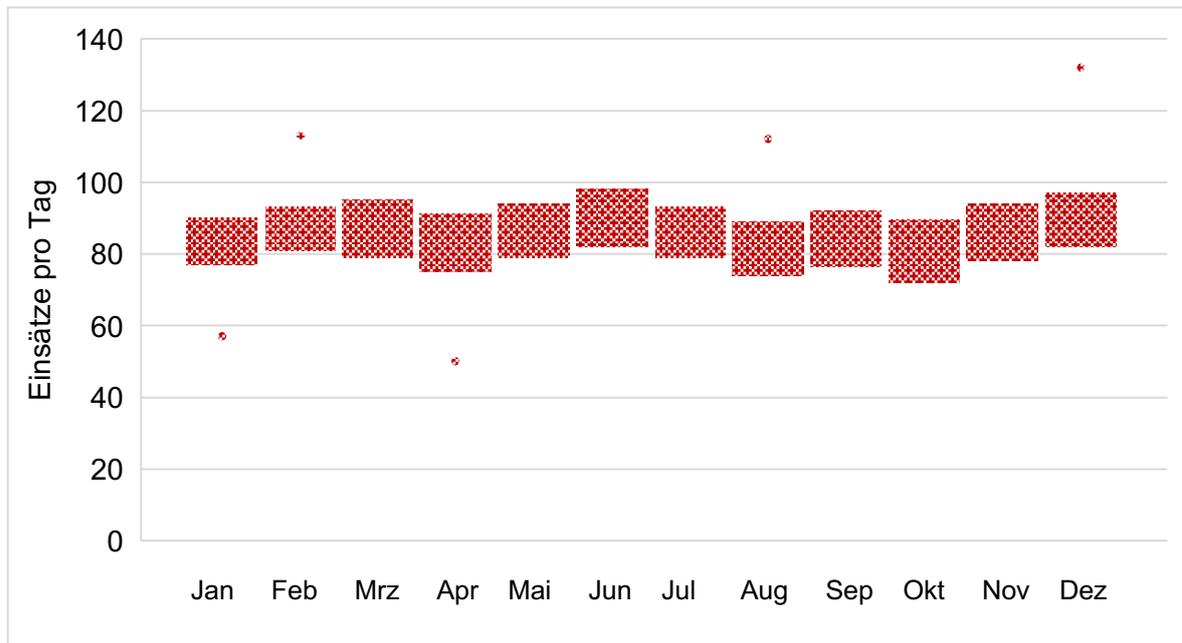


Abbildung 16: Boxplot der Gruppen "Monate" im Leistungsbereich Notfallrettung

Tabelle 19: NOTF - Saison: Levene-Test der Varianzgleichheit

F	df1	df2	p-Wert
0,78	11	999	0,665

Tabelle 20: NOTF - Saison: ANOVA

	Summe der Quadrate	df	Mittelwert der Quadrate	F	p-Wert	Kritischer F-Wert
Zwischen den Gruppen	7.315,35	11	665,03	5,49	<0,001	1,8
Innerhalb der Gruppen	121.049,26	999	121,17			
Total	128.364,61	1.010				

Abbildung 17 zeigt die täglichen Einsatzzahlen der Vergleichsgruppen im Leistungsbereich Krankentransport als Boxplot. Die Voraussetzungen für die einfaktorielle Varianzanalyse im Leistungsbereich Krankentransport wurden aufgrund einer Heteroskedastizität nicht erfüllt (Tabelle 22). Die Welch's ANOVA zeigte keinen signifikanten Zusammenhang der Variablen ($F = 1,64$, $p = 0,085$) (Tabelle 22).

Tabelle 21: KT - Saison: Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Jan	86	86,58	11,79
Feb	81	86,27	12,13
Mär	86	86,51	11,05
Apr	79	82,19	11,76
Mai	83	84,07	13,14
Jun	83	84,87	14,07
Jul	87	85,56	10,52
Aug	91	86,23	12,63
Sep	84	87,25	9,49
Okt	85	84,33	16,49
Nov	87	87,11	13,39
Dez	79	81,91	15,28
Total	1.011	85,29	12,82

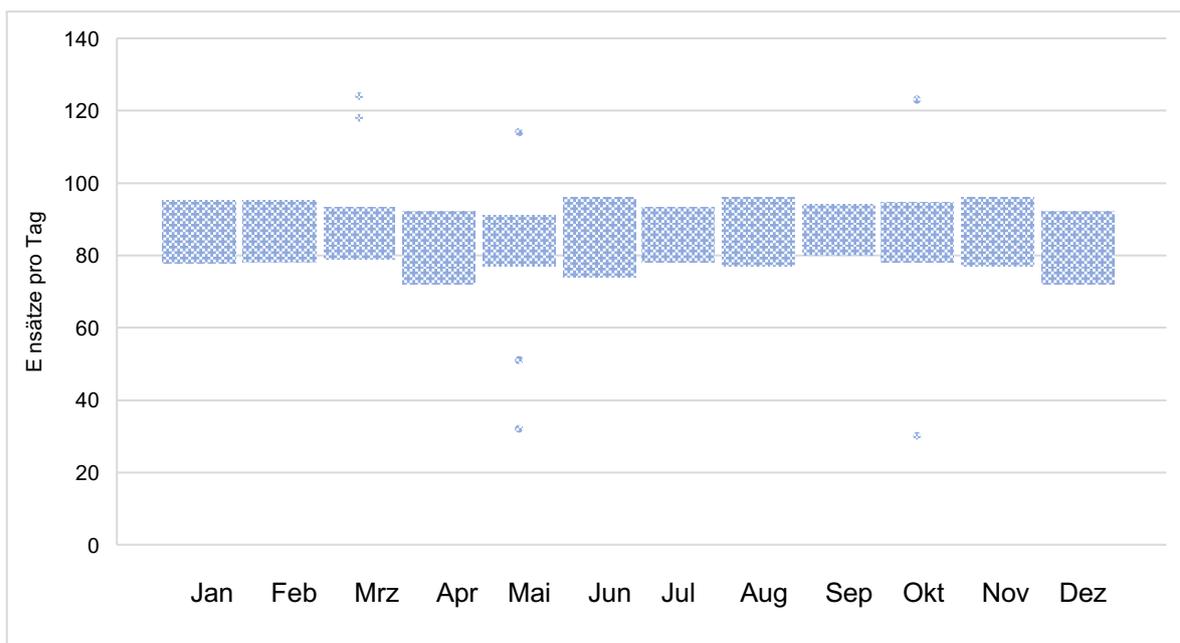


Abbildung 17: Boxplot der Gruppen "Monate im Leistungsbereich Krankentransport"

Tabelle 22: KT - Saison: Levene-Test der Varianzgleichheit

F	df1	df2	p-Wert
2,91	11	999	0,001

Tabelle 23: KT - Saison: Welch's ANOVA

	F	df1	df2	p-Wert
Welch-Test	1,64	11	392,34	0,085

3.2.4 Wochentag

- Methode: ANOVA (DATAtab)
- Datenbasis: 01.01.2016 – 31.12.2020
- Filter:
 - Tageskategorie: keine Feiertage
- Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen den unabhängigen Variablen
- Signifikanzniveau: 5 %

In diesem Teil der Arbeit wurden Unterschiede in den Wochentagen bezüglich der täglichen Einsatzzahlen in den Leistungsbereichen Notfallrettung und Krankentransport untersucht. Dazu wurden sieben unabhängige Gruppen Montag, Dienstag, Mittwoch, Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonntag gebildet. Den jeweiligen Tagen wurden Einsatzzahlen zugeordnet. Feiertage wurden ausgeschlossen (Tabelle 24).

Abbildung 18 zeigt die täglichen Einsatzzahlen der Vergleichsgruppen als Boxplot.

Die Voraussetzungen für die einfaktorielle Varianzanalyse im Leistungsbereich Notfallrettung wurden erfüllt (Tabelle 25). Tabelle 26 zeigt das Ergebnis der einfaktoriellen Varianzanalyse. Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen den

Variablen ($F = 12,67$, $p = <0,001$) festgestellt werden. Die Ergebnisse der Post-Hoc-Analyse können dem Anhang 5.2 entnommen werden.

Tabelle 24: NOTF - Wochentag: Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Mo	247	88,11	12,03
Di	256	84,46	12,11
Mi	257	85,50	11,67
Do	253	86,82	10,04
Fr	253	87,15	11,48
Sa	258	85,54	11,21
So	259	80,37	11,13
Total	1.783	85,39	11,62

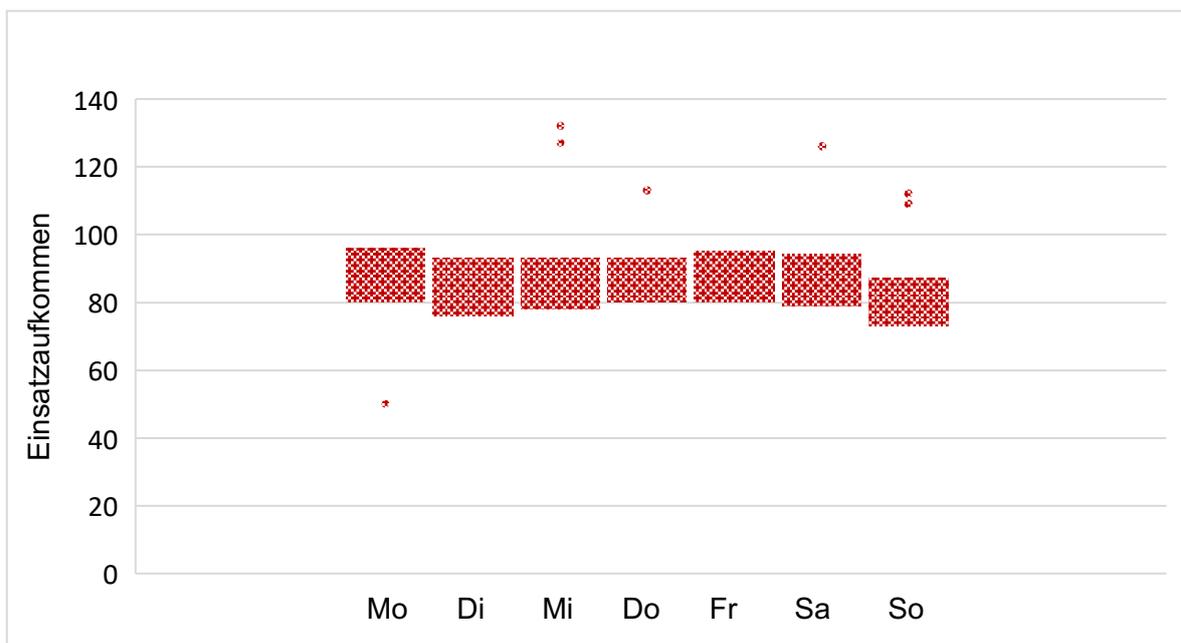


Abbildung 18: Boxplot der Gruppen "Wochentage" im Leistungsbereich Notfallrettung

Tabelle 25: NOTF – Wochentag: Levene-Test der Varianzgleichheit

F	df1	df2	p-Wert
1,65	6	1776	0,13

Tabelle 26: NOTF – Wochentag: ANOVA

	Summe der Quadrate	df	Mittelwert der Quadrate	F	p-Wert	Kritischer F-Wert
Zwischen den Gruppen	9.872,81	6	1.645,47	12,67	<0,001	2,1
Innerhalb der Gruppen	230.700,79	1.776	129,9			
Total	240.573,61	1.782				

Im Bereich Krankentransport wurden bereits bei der Betrachtung des Boxplots Unterschiede zwischen den Wochentagen Montag bis Freitag und Samstag und Sonntag deutlich (Abbildung 19). Daher wurde im Verlauf der Untersuchung der Fokus auf die Tage Montag bis Freitag gelegt (Tabelle 27).

Die Voraussetzungen für die einfaktorielle Varianzanalyse im Leistungsbereich Krankentransport wurden erfüllt (Tabelle 28). Tabelle 29 zeigt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Wochentag (Montag bis Freitag) und den täglichen Einsatzzahlen ($F = 3,54$, $p = 0,007$). Die Ergebnisse der Post-Hoc-Analyse können Anhang 5.3 entnommen werden.

Tabelle 27: KT – Wochentag: Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Mo	247	83,64	14,58
Di	256	88,04	12,9
Mi	257	86,47	13,64
Do	257	86,47	13,64
Fr	253	86,96	13,53
Total	1.270	86,33	13,72

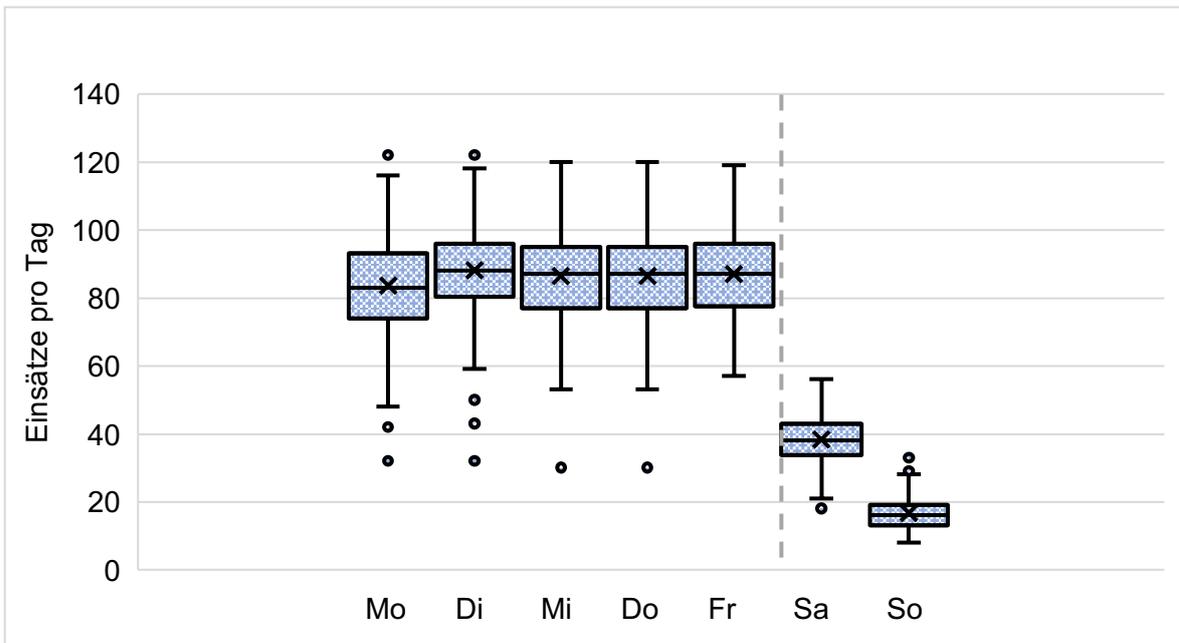


Abbildung 19: Boxplot der Gruppen „Wochentage“ im Leistungsbereich Krankentransport

Tabelle 28: KT - Wochentag: Levene-Test der Varianzgleichheit

F	df1	df2	p-Wert
1,27	4	1265	0,281

Tabelle 29: KT - Wochentag: ANOVA

	Summe der Quadrate	df	Mittelwert der Quadrate	F	p-Wert	Kritischer F-Wert
Zwischen den Gruppen	2.640,31	4	660,08	3,54	0,007	2,38
Innerhalb der Gruppen	236.077,8	1.265	186,62			
Total	238.718,11	1.269				

3.2.5 Uhrzeit

- Methode: Tagesganglinien (Excel)
- Datenbasis: 01.01.2016 – 31.12.2020
- Filter:
 - Tageskategorie: keine Feiertage

Ziel dieses Abschnittes ist es, die Unterschiede im Einsatzaufkommen abhängig von der Uhrzeit darzustellen. Abbildung 20 zeigt die Tagesgangkurve eines durchschnittlichen Wochentages. Bezüglich der Krankentransporte war in den Nachstunden von 20:00 bis 06:00 eine geringe Nachfrage zu beobachten. Um 04:00 Uhr erreichte sie ihr Minimum. Zwischen 06:00 und 09:00 Uhr stieg die Nachfrage rapide an, bis sie gegen 10:00 Uhr ihr Maximum erreichte. Über den Verlauf des Nachmittages kam es zu einem Rückgang der Nachfrage. Zu sehen war außerdem eine geringe Einschnürung in der Mittagszeit.

Die Nachfrage an Leistungen der Notfallrettung wies eine geringere Differenz zwischen Tag und Nacht auf als es beim Krankentransport der Fall war. Das Minimum wurde gegen 04:00 erreicht. Bis 09:00 stieg die Nachfrage stetig an, bis sie um 10:00 Uhr ihr Maximum erreichte. Zur Mittagszeit kam es zu einem leichten Plateau, worauf ein geringer Rückgang folgte. Am späten Nachmittag erhöhte sich die Nachfrage noch einmal leicht, bis sie in die Abend- und Nachtstunden hin abflachte.

An einem durchschnittlichen Samstag (Abbildung 21) war die Nachfrage im Krankentransport ebenfalls in den Nachtstunden niedrig, das Minimum war um 04:00 Uhr. Anschließend stieg die Nachfrage rasch an, um 07:00 Uhr wurde ein erster vorläufiger Höhepunkt erreicht, denn bis 08:00 Uhr sank die Nachfrage wieder rasch. Anschließend stieg sie wieder und erreichte das Tagesmaximum um 12:00 Uhr. Am Nachmittag sank die Nachfrage mit zwei kleineren Peaks um 16:00 und 19:00 Uhr.

Die Nachfrage in der Notfallrettung bewegte sich von einem niedrigeren Nachtniveau, mit einem Minimum um 05:00 Uhr, ab 6:00 Uhr auf ein stabiles Tagesniveau. Das Maximum wurde gegen 11:00 Uhr erreicht. In den Abendstunden bewegte sich die Nachfrage sehr langsam wieder in Richtung eines Nachtniveaus.

Der durchschnittliche Sonntag (Abbildung 22) war durch eine geringe Nachfrage an Leistungen des Krankentransportes gekennzeichnet. Das Minimum war um 06:00 Uhr. Von dort an steigt die Nachfrage nach Krankentransporten, bis sie um 10:00 Uhr ihr Maximum erreichte. Bis in die frühen Abendstunden bewegte sie sich auf einem stabilen Tagesniveau und sank erneut auf ein Nachtniveau.

Die Tagesgangkurve der Notfalleinsätze ähnelte stark der Nachfrage an einem durchschnittlichen Samstag. Das Minimum war um 06:00 Uhr, das Maximum um 16:00 Uhr. Im Gegensatz zum Samstag kam es zu einem schnelleren Rückgang der Nachfrage in den Abend- und Nachtstunden.

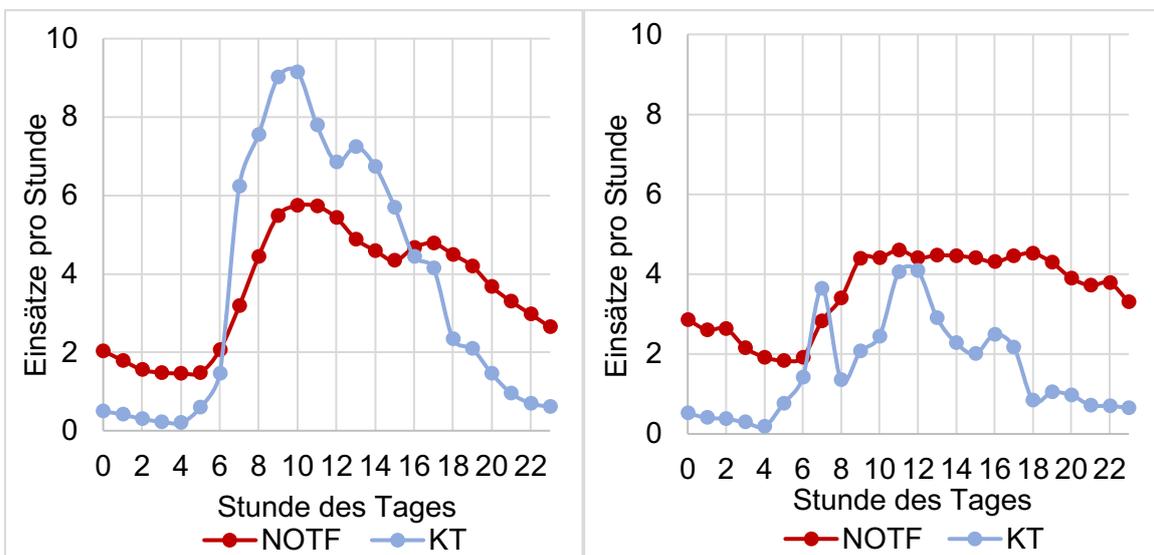


Abbildung 20: Tagesganglinie Montag bis Freitag **Abbildung 21:** Tagesganglinie Samstag

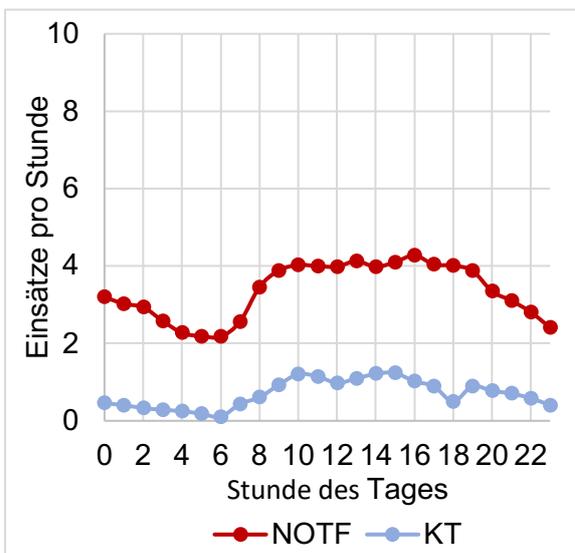


Abbildung 22: Tagesganglinie Sonntag

3.2.6 Verkehr

- Methode: Tagesganglinie Eintreffzeit (Excel)
- Datenbasis: 01.01.2016 – 31.12.2020
- Filter:
 - Tageskategorie: Wochentage
 - EK 1

Abbildung 23 zeigt den gegenüber Ausreißern und Extremwerten robusteren Median der stündlichen Anfahrtszeiten. In den frühen Morgenstunden stieg die Anfahrtszeit leicht an. In Stunde 6 benötigten die Rettungswagen am längsten (Median = 06:06 min, SD = 05:17 min). In Stunde 7 sank die Anfahrtszeit rasch auf einen stabilen tageswert von ca. 05:00 Minuten. Am schnellsten waren die RTW in Stunde 11 (Median = 04:56, SD = 05:11 min). In den Abendstunden nahm die Anfahrtszeit leicht zu und stieg in Stunde 23 auf ein Nachtniveau von ca. 05:40 Minuten.

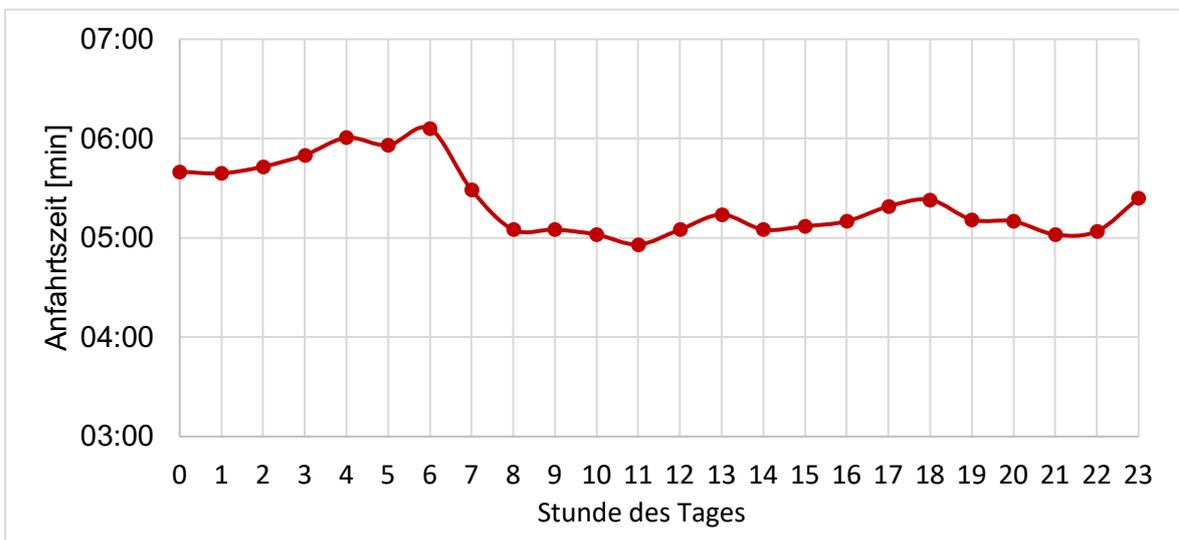


Abbildung 23: Tagesganglinie der Anfahrtszeiten bei hilfsfristrelevanten Notfalleinsätzen an einem durchschnittlichen Wochentag

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ziel der Arbeit ist das Identifizieren von Ansatzpunkten, um eine effizientere Rettungsmittelvorhaltung zu gestalten. Das Literaturreview offenbarte fünf Prädiktoren, die auf Ihren Einfluss im Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel untersucht wurden.

Die Ergebnisse der Datenanalyse zeigen Unterschiede zwischen den Leistungsbereichen Notfallrettung und Krankentransport. Im Leistungsbereich Notfallrettung gibt es signifikante Zusammenhänge zwischen den Variablen Saison, Wochentag und Uhrzeit. An Tagen mit Temperaturen über 20 °C steigt die Nachfrage an RTW um + 4,98 % (4,3 Einsätze pro Tag) gegenüber der Vergleichsgruppe (2 °C bis 20 °C). Der Anstieg ist statistisch nicht signifikant. Wesentlich verlängerte Anfahrtszeiten sind in der Gruppe unter 2°C nicht zu beobachten. Im Mittel beträgt die Abweichung acht Sekunden gegenüber der Vergleichsgruppe.

Darüber hinaus ist eine signifikante saisonale Schwankung um durchschnittlich bis zu 8,88 Notfalleinsätze pro Tag (+ 10,88 % gegenüber Minimum) zu beobachten. Höchste tägliche Einsatzzahlen weist der Monat Juni (M = 90,48, SD = 10,67) auf, die geringsten der Monat Oktober (M = 81,60, SD = 10,65). Die Schwankungen im Leistungsbereich Krankentransport sind nicht signifikant.

Um bis zu 7,74 Einsätze pro Tag (+ 9,63 % gegenüber Minimum) schwanken die Wochentage Montag bis Sonntag. Die höchste Nachfrage besteht montags (M = 88,11, SD = 12,03) und freitags (M = 87,15, SD = 11,48), die geringste sonntags (M = 80,37, SD = 11,13) und dienstags (M = 84,46, SD = 12,11). Im Leistungsbereich Krankentransport beträgt die Spannweite täglich 4,4 Einsätze (+ 5,27 % gegenüber Minimum). Nachfrageschwächster Tag ist der Montag (M = 83,64, SD = 14,58), am höchsten ist die Nachfrage am Dienstag (M = 88,04, SD = 12,9). Die im Allgemeinen nachfrageschwachen Wochenenden wurden nicht betrachtet.

Über den Tag schwankt die Nachfrage zwischen einem Tages- und einem Nachtniveau. An Wochenenden ist die Nachfrage etwas geringer und der Abfall auf das Nachtniveau flacher.

Die Anfahrtszeiten erreichen in Stunde 7 ihren Höhepunkt und verringern sich anschließend rapide. In den Nachtstunden ist die Anfahrtszeit im Mittel verlängert.

Im Leistungsbereich Krankentransport können keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Prädiktoren und dem täglichen Einsatzaufkommen erkannt werden. Wesentliche Unterschiede gibt es lediglich im Tagesverlauf. Während nachts nur eine geringe Nachfrage besteht, steigt diese im Verlauf des frühen Morgens rapide an.

Tabelle 30 fasst die Ergebnisse der Datenanalyse zusammen.

Tabelle 30: Einfluss der Prädiktoren auf die Leistungsbereiche

	Einfluss		strategisch	taktisch	operativ
	NOTF	KT			
3.2.2 Wetter	nicht signifikant	nicht signifikant		x	x
3.2.3 Saison	signifikant	nicht signifikant		x	
3.2.4 Wochentag	signifikant	nicht signifikant	x		
3.2.5 Uhrzeit	signifikant	nicht signifikant	x		
3.2.76 Verkehr	nicht signifikant	-			x

4.2 Interpretation der Ergebnisse

Über beide Leistungsbereiche hinweg ist eine Steigerung des Einsatzaufkommens zu beobachten. Dies entspricht dem Trend, den viele Rettungsdienst bundes- und weltweit bereits seit längerem beobachten (Reuter-Oppermann 2017). Dem Trend entgegen kam es 2020 zu einem leichten Rückgang, der sich vor allem aus der Notfallrettung ergibt. Zu begründen ist der Rückgang mit einer Infektionsangst, die besonders zu Beginn der Pandemie in den Monaten März, April und Mai zum Ausdruck kommt (Stöwhas und Lippert 2021).

Das Einsatzgeschehen unterscheidet sich in den RWVB deutlich. Eine überwiegende Mehrheit des Einsatzvolumens geht vom RWVB Mitte aus. Zum einen liegt das an einer größeren Bevölkerungsdichte, zum anderen aber auch an besonderen Objekten, wie dem Hauptbahnhof, der Innenstadt, einer Vielzahl von Pflegeheimen und Krankenhäusern. Dies führt zu einer entsprechend hohen Rettungsmittelvorhaltung. Zudem werden KTW im Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel zentral im RWVB Mitte vorgehalten.

Die Unterschiede in der Rettungsmittelvorhaltung zeigen sich außerdem bei der Betrachtung der durchschnittlichen Eintreffzeit. Während im RWVB Mitte der Rettungsdienst am schnellsten eintrifft, braucht er im RWVB Nord durchschnittlich mehr als eine Minute länger. Neben der geringeren Anzahl an Rettungsmitteln und dem folglich höheren Duplizitätsrisiko ist die geringere Einwohnerdichte mit längeren Fahrzeiten ein zweiter wichtiger Faktor.

In den vergangenen Jahren stieg die durchschnittliche Eintreffzeit leicht. Dies kann trotz regelmäßiger Anpassungen des Rettungsdienstbedarfsplans auf einem durch zunehmende Einsatzzahlen erhöhtem Duplizitätsrisiko basieren. Weitere Gründe könnten in der Veränderung von Infrastruktur oder der Verlagerung von Einsatzspitzen liegen.

Übereinstimmend mit der Tendenz der durchschnittlichen Eintreffzeit sinkt der Erfüllungsgrad im Bemessungszeitraum leicht um 1,58 Prozentpunkte. Insgesamt bewegen sich die Eintreffzeiten allerdings innerhalb des rechtlichen Rahmens. Der Verordnungsgeber sieht gemäß § 2 Absatz 1 SHRDG-DVO eine Hilfsfrist von maximal 12 Minuten vor, die in 90 % der jährlich eintretenden hilfsfristrelevanten Notfalleinsätzen erreicht werden muss. Zuletzt konnte in 94,09 % der Notfalleinsätze die Hilfsfrist eingehalten werden. Die Eckpunktevereinbarung von 2018 setzt die Zielmarke der Wartezeit von Krankentransporten bei maximal 30 Minuten (Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein 2018), welche 2020 in 93,09 % der Fälle erreicht werden konnte. Insgesamt ist eine steigende Tendenz als Folge eines intensiveren Einsatzes von zentralen KTW erkennbar. Im Rahmen des Mehrzweckfahrzeugsystems, in dem auch RTW regelhaft für Krankentransporte eingesetzt werden können, sinkt der Anteil an Krankentransporten, die durch RTW bedient werden. Das erhöht zum einen die Zuverlässigkeit, da ein RTW ggf. häufiger zu einem höher priorisierten Notfalleinsatz umdisponiert wird. Zum

anderen können KTW um einiges kosteneffizienter betrieben werden, da hinsichtlich Personal und Ausstattung geringere Anforderungen bestehen.

Die internationale Literatur berichtet von zunehmenden Einsatzzeiten als Problem der Rettungsdienstbedarfsplanung (Channouf et al. 2017). Im Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel kommt es in den vergangenen Jahren zu einem leichten kontinuierlichen Anstieg der Einsatzzeit. Auffällig ist die Zunahme um durchschnittlich ca. zehn Minuten im Jahr 2020, die mutmaßlich durch einen erhöhten Hygieneaufwand im Rahmen von Patient*innen mit Atemnot in der Covid-19-Pandemie zustande kommen. Auch wenn die zunehmende Einsatzzeit in den vergangenen Jahren in Teilen auf den Übergabezeiten basieren, haben die Einflüsse der Pandemie keine Wirkung darauf. Am ehesten ist das Phänomen durch hochausgelastete Notaufnahmen zu erklären.

Aus dem vergangenen Abschnitt wurde ersichtlich, dass die Leistungsfähigkeit angesichts der vorliegenden Daten als rechtskonform und sehr gut eingestuft werden kann. Um den Effizienzbegriff zu vervollständigen wird im Folgenden der Ressourceneinsatz bewertet.

In der Betrachtung der Auslastung wird eine große Varianz deutlich. Die niedrigsten Auslastungen besitzen die beiden Fahrzeuge im RWVB Nord, was das bereits erwähnte Duplizitätsrisiko relativiert, allerdings nicht vollständig mindert. Fahrzeuge, die im 24-Stunden-Dienst betrieben werden, haben eine deutlich geringere Auslastung als Fahrzeuge im Tagesdienst. Dies ist durch die niedrigere Nachfrage in den Nachtstunden zu erklären. Darüber hinaus besitzen die frequenzabhängig bemessenen KTW eine deutlich höhere Auslastung, da sie logistisch und ökonomisch sinnvoller disponiert werden können als es bei Fahrzeugen, die primär in der Notfallrettung eingesetzt werden, der Fall ist.

Aus rein ökonomischer Sicht kann der Blick auf die Auslastung nicht zufrieden stellen. Eine risikologische Betrachtung kommt hingegen zu dem Schluss, dass freie Kapazitäten die operative Stabilität gegenüber starken Schwankungen erhöhen. Dieses Spannungsfeld zu überbrücken ist Ziel einer Rettungsdienstbedarfsplanung. Effizienz bedeutet in diesem Kontext eine gute Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig angemessenem Ressourceneinsatz. Auf Seiten der Leistungsfähigkeit ist, zumindest aktuell, kein Handlungsbedarf erkennbar. Aus den Darstellungen wird deutlich,

wie eng die Rettungsmittelvorhaltung bereits mit der stündlichen Einsatznachfrage (Notfallrettung und Krankentransport) korreliert, in gemeinsamer Betrachtung mit der Auslastung mutmaßlich insbesondere im RWVB Mitte überproportioniert ist. Folgerichtig ist die Optimierung des Ressourceneinsatzes das entscheidende Instrument zur Steigerung der Effizienz des Rettungsdienstes.

Ein möglicher Ansatz der Effizienzsteigerung ist die Reduzierung des Vorhaltevolumens und eine gezieltere Nachbesetzung in nachfragestarken Perioden.

Für den Prädiktor Wetter konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen warmen Tagen und dem Einsatzaufkommen gezeigt werden. Gegenüber der Vergleichsgruppe ist das Aufkommen an einem warmen Tag im Durchschnitt nur leicht höher. Eine Gefährdung der operativen Stabilität allein aus diesem Grund ist unwahrscheinlich. Gründe für die leicht erhöhte Nachfrage können vermehrte Hilferufen aufgrund von hitzebedingten Erkrankungen, Tätigkeiten oder Sportunfällen sein. Auch saisonale Effekte könnten die Nachfrage beeinflussen.

An kalten Tagen konnte lediglich ein geringfügiger Einfluss auf die Eintreffzeit festgestellt werden. Im Durchschnitt sind Rettungswagen bei Temperaturen unter 2 °C acht Sekunden langsamer. Der Effekt fußt am ehesten auf einer langsameren Fahrweise bei Eis und Glätte, jedoch ist der Unterschied im innerstädtischen Bereich aufgrund der kürzeren Fahrstrecke und Fahrbahnbeschaffenheit weniger relevant.

Die täglichen Notfalleinsatzzahlen des Rettungsdienstes der Landeshauptstadt Kiel weisen eine Saisonalität auf. Nachfragestarke Tage sind vor allem im März, Juni und Dezember zu finden, während nachfrageschwache Tage vor allem den April, August und Oktober betreffen. Die Gründe für diese Periodizität sind multikausalen Ursprungs. Zum einen generieren Schulferien ein hohes Touristenaufkommen, besonders in den Sommermonaten. Ein höheres Personenvolumen führt folglich zu einer vermehrten Nachfrage. Zum anderen findet im Juni die alljährliche Kieler Woche statt, die zusätzlich Einfluss auf das Einsatzaufkommen nimmt. In der kalten Jahreshälfte können hingegen Erkältungswellen mit einem höheren Aufkommen an Atemwegserkrankungen gegenläufige Effekte bedingen und zu mehr Einsätzen führen.

Bezüglich der Wochentage fallen vor allem die Tage Dienstag und Sonntag als nachfrageschwächste Tage auf. Während die Gründe für das leichte Tief am

Dienstag nicht vollumfänglich zu erklären sind, ist die geringere Nachfrage am Sonntag am ehesten durch eine Inaktivität der Bevölkerung erklärbar. In Teilen bestehen Tendenzen, neu aufgetretene Symptome abzuwarten und ggf. erst in der neuen Woche abzuklären.

Schwankungen im Krankentransport ergeben sich in erster Linie aufgrund von Öffnungszeiten von Arztpraxen und Dialysen sowie dem Entlassmanagement der Kliniken. Weiterer Einflussfaktor sind Einweisungen durch den Kassenärztlichen Notdienst und Hausärzte, die auch am Wochenende eine Nachfrage generieren.

Das tägliche Notfalleinsatzaufkommen schwankt um ein Nacht- und ein Tagesniveau. Nachts passieren weniger Unfälle. Zu dem treten in Ruhe Beschwerden nicht auf oder bleiben unbemerkt. An einem durchschnittlichen Samstag ebbt das Einsatzgeschehen erst in der späten Nacht ab, dies ist durch die Aktivität der Bevölkerung und ggf. feiernde und alkoholisierte Personen zu erklären.

Der Verlauf an Krankentransporten nimmt an einem durchschnittlichen Montag bis Freitag am Morgen schlagartig zu. Dies geht einher mit dem Indienstgehen der KTW und weiterer Rettungsmittel. Gegen Mittag ist ein kleiner Einbruch der Nachfrage zu sehen, der mit den gesetzlichen Pausenzeiten der Rettungsmittel synchronisiert. An einem durchschnittlichen Samstag ist in Stunde sieben ein auffälliges Maximum zu sehen. Mutmaßlich fallen in der Nacht Krankentransporte an, wie beispielsweise Rücktransporte aus der Notaufnahme nach ambulanter Versorgung oder der Wechsel von Blasenkathetern, die erst nach der Schichtübergabe disponiert werden. Aufgrund der geschlossenen Arztpraxen und der geringen Nachfrage an Entlassungen fallen allerdings weniger neue Krankentransporte an. Sonntags verlaufen die Ganglinien von Krankentransport und Notfallrettung annähernd synchron. Arztpraxen und Dialysen sind in der Regel geschlossen. Es fallen analog zur Notfallrettung am ehesten zufällig Einweisungen oder Rücktransporte an.

Die Dauer der Anfahrtszeit zu einem Notfall hängt weniger vom Verkehr ab als von der Anzahl der vorgehaltenen Rettungsmittel. Zu sehen ist ein deutlicher Rückgang auf ein Tagesniveau in Stunde sieben, der durch das Indienstgehen weiterer Rettungsmittel zu erklären ist. Nach zwei kleineren Spitzen in den Stunden 13 und 18, die offenbar vom Berufsverkehr ausgehen, wird das Nachtniveau in Stunde 23 erreicht.

Über den Bemessungszeitraum hinweg ist festzustellen, dass die täglichen Einsatzzahlen im Krankentransport deutlich robuster gegenüber Schwankungen sind. Das Notfallaufkommen hingegen wird von äußeren Prädiktoren mehr oder weniger stark beeinflusst.

Beim Rettungsdienstsystem der Landeshauptstadt Kiel handelt es sich um ein statisches System. Rettungsmittel sind an Rettungswachen stationiert, werden von dort aus zu einem Einsatz geschickt und fahren dorthin nach einem Transport wieder zurück. Regelmäßig kommt es vor, dass Rettungsmittel schon auf der Rückfahrt einem neuen Einsatz zugeordnet werden. Die oben genannten Prädiktoren werden in der aktuellen strategischen und taktischen Bemessungsmethode lediglich in Tageskategorien und Schichten abgebildet, die Einflüsse der Wochentage und Uhrzeit nicht vollständig repräsentieren. Saisonale Effekte werden als Durchschnittswert über ein gesamtes Bemessungsintervall pauschalisiert. Das führt dazu, dass die operativen Reserven in nachfrageschwachen Perioden höher sind als in nachfragestarken. Die Auslastungsdaten weisen eher auf einen Zustand im Reservenüberschuss hin, Methoden zur Effizienzsteigerung der Rettungsmittelvorhaltung erscheinen sinnvoll.

Die Auswahl geeigneter Methoden ist alles andere als trivial, da sie Einfluss auf alle Planungsebenen des Rettungsdienstes nehmen. Im folgenden Abschnitt soll die im ersten Teil des Literaturreviews gewonnene Auswahl an Methoden diskutiert und konzeptionell erweitert werden.

4.3 Konzeptionelle Ansätze

Multiperiodische Verschiebungen setzen eine unterschiedliche zeitliche Verteilung der Einsätze in den drei RWVB voraus (Bélanger et al. 2016). Aus den Daten ergeben sich keine auffälligen asynchronen Veränderungen. Darüber hinaus befinden sich im RWVB Mitte mit Abstand die meisten Rettungsmittel, während in den RWVB Ost und Nord in erster Linie Fahrzeuge zur Abdeckung eines Grundrisikos für Notfälle vorgehalten werden. Eine Verschiebung würde in der Regel nur aus dem RWVB Mitte heraus sinnvoll sein.

Eine vollständig dynamische Vorhaltung ohne feste Wachen und mit jederzeit ausführbaren Verschiebungen würden den Ergebnissen verschiedener Studien zufolge (Lam et al. 2014) zu einer signifikanten Verbesserung der Leistungsfähigkeit führen. Der Logik folgend wird mit einer geringeren Anzahl an Rettungsmitteln die gleiche Leistungsfähigkeit dargestellt. In der rettungsdienstlichen Praxis birgt diese Art der Vorhaltung organisatorische und personalpolitische Risiken. Es sind praktikable Lösungen für das Nachfüllen von Material, die Desinfektion und Mittagspausen zu finden. Eine hohe soziale Kohäsion im Wachalltag könnte auch die Zusammenarbeit bei der Versorgung von Notfallpatient*innen optimieren. Bledsoe untersuchte bereits 2003 die Folgen der Einführung des System Status Managements in Großbritannien. Er fand heraus, dass die Mitarbeiterzufriedenheit abnimmt, Stress, körperliche Beschwerden und Mitarbeiterfluktuation zunehmen. Darüber hinaus steigen Wartungs- und Kraftstoffkosten um bis zu 46 % (Bledsoe 2003), wobei diese vor dem Hintergrund der Kostenanteile im Rettungsdienst beinahe vernachlässigbar sind.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Daten zeigen eine geringe operative Komponente. Vielmehr scheint die Dynamik im Einsatzgeschehen nach derzeitigen Erkenntnissen noch dem Zufall zu unterliegen und damit unvorhersehbar zu sein. Ein großer Vorteil dynamischer Vorhaltungsmethoden ist die flexiblere Reaktion mit geringerem Ressourceneinsatz auf unvorhersehbare Einsatzspitzen. Fraglich ist aber, ob der Rettungsdienstbereich Kiel ausreichend groß ist, um eine dynamische Vorhaltung effizient zu betreiben. Geeigneter erscheint ein größeres, ggf. regionales Bezugsgebiet, da ein höheres Rettungsmittelvolumen effizienter räumlich verteilt werden kann und örtliche Einsatzspitzen effektiver kompensiert werden können.

Eine weniger dynamische, dafür aber stabilisierende Methode sind Verschiebepläne. Vor dem Hintergrund von Ungleichgewichten in der Rettungsmittelvorhaltung zwischen den RWVB können beispielsweise systematisch bei Unterdeckung im RWVB Ost Rettungsmittel aus dem RWVB Mitte verschoben werden. Diese Verschiebung könnten zum einen davon abhängen, ob ein Rettungsmittel in nächster Zeit wieder verfügbar wird und zum anderen wie hoch die aktuelle Nachfrage in der Notfallrettung ist. Ein solches System könnte in die Leitstellensoftware implementiert werden und als Warnsystem auf Unterdeckungen aufmerksam machen, mit dem Ziel, Überschreitungen der Hilfsfrist entgegenzuwirken. Der Vorteil gegenüber

der dynamischen Vorhaltung besteht darin, dass Rettungsmittel weiterhin einer Rettungswache zugeordnet sind und nur verschoben werden, wenn der Systemstatus dies erfordert. Die Rettungsmittel könnten für die Zeit der Unterdeckung kurzfristig eine fremde Rettungswache besetzen und dort ihren Tätigkeiten nachgehen, wie z.B. Pausen, Dokumentation, Desinfektion, Fahrzeugpflege oder Ausbildung.

Aus dem Literaturreview geht die Möglichkeit hervor, die Dispositionsstrategie anzupassen, da die Nächstfahrzeugstrategie nicht immer optimal für das Gesamtsystem ist (Jagtenberg et al. 2016). Eine Anpassung der Dispositionsstrategie für den hilfsfristrelevanten Notfalleinsatz geht schwer mit dem gesetzlichen Sicherstellungsauftrag des Rettungsdienstes einher, Menschen individuell die schnellstmögliche Hilfe zukommen zu lassen. Eine juristische und ethische Betrachtung des Problems wäre erforderlich. Anders ist es bei der Disposition von nicht hilfsfristrelevanten Notfällen. Ein Dispositionsalgorithmus, der auf die Optimierung des Gesamtsystems abzielt, kann RTW so zuteilen, dass eine bessere räumliche Abdeckung besteht, die wiederum positiv die Eintreffzeit hilfsfristrelevanter Notfälle beeinflusst. Effizienzsteigernd ist in diesem Zusammenhang auch die Fragestellung, ob ein Fahrzeug auf der Anfahrt zu einem nicht hilfsfristrelevanten Notfall einem höher priorisierten Einsatz zugeordnet werden kann.

Prädiktoren können verwendet werden, um das Zustandekommen von Einsatzspitzen in Teilen zu verstehen und gezielt Vorhaltevolumen zu erhöhen. Aufgrund der hohen zufälligen Komponente sind allerdings Maßnahmen erforderlich, um unvorhersehbare Nachfragesteigerungen kurzfristig zu kompensieren.

4.4 Beschränkungen der Arbeit

Im bereinigten Datensatz kommt es zu einer Abweichung gegenüber der offiziellen Statistik aus dem Jahresbericht Rettungsdienst 2020 (Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz 2021) von - 2,82 %. Die Abweichung wird dadurch begründet, dass zwar die Bereinigungsgegenstände standardisiert sind (Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein 2018), aber die Methodik nicht eindeutig konkretisiert wird. Da

die Daten jedoch nur geringfügig voneinander abweichen, wird von einem aussagekräftigen Ergebnis ausgegangen.

Der bereinigte Datensatz nach der Eckpunktevereinbarung (2018) berücksichtigt keine Einsätze von NEF. Um Nachfrage in der Notfallrettung zu decken, werden RTW eingesetzt. Der Einsatz von NEF und weiteren Sonderfahrzeugen ist bei der Bedarfsplanung gesondert zu berücksichtigen.

Die Einflüsse der Coronavirus-Pandemie werden in den Daten von 2020 deutlich. Die bereits erwähnte Infektionsangst sowie abgesagte Transporte zu medizinischen Behandlungen führen in den beiden Leistungsbereichen Notfallrettung und Krankentransport zu Nachfrageschwankungen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Einfluss auf die Daten beschrieben und beurteilt. Das Design der Datenanalyse wurde so gestaltet, dass die nicht repräsentativen Daten aus 2020 zu keinem Bias führen.

Die Auswertung von Eintreff-, Anfahrts- und Einsatzzeiten ist durch eine Vielzahl von Ausreißern geprägt. Die Gründe für das Zustandekommen von Ausreißern sind in der Regel fehlerhafte oder vergessene Meldungen an die Leitstelle über den Funkmeldestatus. Ausreißer werden berücksichtigt, da eine Abgrenzung von tatsächlich außergewöhnlichen Zeiten im Nachhinein nicht vollständig möglich ist.

Ebenfalls zu Ausreißern kam es bei den täglichen Einsatzzahlen. Da es sich dabei nicht um Werte einer fremden Population handelt, werden diese ebenfalls nicht ausgeschlossen. Gründe für Ausreißer in den Einsatzzahlen können einerseits zufällig oder aber z.B. durch Großveranstaltungen verursacht werden.

Zur Berechnung der Auslastung wurden Daten auf Basis der Jahre 2018 bis 2019 verwendet. Die Rettungsmittelvorhaltung wurde in diesem Zeitraum nicht verändert, sodass Daten aus zwei Jahren die Validität gegenüber einer einjährigen Betrachtung erhöhen und Einflüsse der Pandemie nicht von Bedeutung sind. Problematisch bei der Betrachtung der Auslastung ist, dass SOLL-Vorhaltestunden IST-Einsatzzeiten gegenübergestellt werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Fahrzeuge aufgrund von Werkstattaufenthalten oder Desinfektionen die SOLL-Vorhaltestunden nicht erreichen, was zu einer Unterschätzung der Auslastung führt. Darüber hinaus stellt die Auslastung einen Vergleich der Rettungsmittel dar. Fahrzeuge im 24-Stunden-Dienst besitzen eine niedrigere Auslastung als Fahrzeuge im Tagdienst. Für eine Betrachtung der Auslastung im Sinne des Arbeitsaufkommens

ist eine Differenzierung nach Tag- und Nachtschichten erforderlich sowie die Dauer der Rückfahrt zur Wache einzubeziehen.

Das Diagramm der wöchentlichen Einsatznachfrage (Abbildung 11 bis Abbildung 13) gegenüber der Rettungsmittelvorhaltung lässt möglicherweise Fehlinterpretationen zu. Die Einheit Rettungsmittel pro Stunde und Einsätze pro Stunde sind nicht gleich skaliert, da ein RTW für einen Einsatz durchschnittlich länger als eine Stunde benötigt. Die Abbildung dient nicht dazu den Rettungsmittelbedarf abzulesen, sondern sie verdeutlicht die Vorhalteperioden in Relation zur Einsatznachfrage.

Im Rahmen der Arbeit wurden verschiedene Studien zu Einflussgrößen auf den Rettungsdienst aufgegriffen, mit dem Ziel, die Einflussgrößen konkret auf den Rettungsdienst der Landeshauptstadt Kiel zu beziehen. Um das Ziel im Umfang einer Bachelorarbeit abzubilden, wurde die Methode standardisiert und nicht auf die Methoden der einzelnen Arbeiten zurückgegriffen. Andere Methoden führen möglicherweise zu abweichenden Ergebnissen.

Bei der Betrachtung des Wetters wurden lediglich zwei Testgruppen gebildet. Extremwetter und Schneetage können aufgrund der geringen Datenlage nicht berücksichtigt werden. Die Eintreffzeiten werden durch eine Vielzahl von Ausreißern beeinflusst, die nicht vollständig auf lange Anfahrtszeiten zurückzuführen sind. Betrachtet wurde aus diesem Grund in erster Linie der gegenüber Ausreißern robustere Median. Eine größere Datenmenge erhöht zudem die Validität der Einflussnahme des Prädiktors Wetter.

Saisonale Effekte können nicht sicher auf die Saison zurückgeführt werden. Weitere Einflüsse, wie z.B. durch Großveranstaltungen, wurden nicht berücksichtigt.

Für Rückschlüsse auf systematische Auswirkungen der Prädiktoren bedarf es einer Simulation (Kergosien et al. 2015). Methoden der Effizienzsteigerung von Rettungsmitteln basieren auf einer zuverlässigen Rettungsdienstbedarfsplanung. Diese kann durch die Erkenntnisse der Arbeit unterstützt, aber nicht vollständig ersetzt werden. Ausprägungen der Prädiktoren können regional stark variieren. Eine allgemeingültige Lösung kann daher nicht abgeleitet werden.

Die verwendeten Methoden sind trotz der beschriebenen Einschränkungen geeignet das Forschungsziel zu erreichen. Die aus der Literatur entnommenen Prädiktoren beschreiben das Zustandekommen von Nachfrageschwankungen und den

Einfluss auf das Vorhaltevolumen. Methoden zur räumlichen Verteilung von Rettungsmitteln wurden in Bezug auf die Daten kritisch diskutiert sowie Vor- und Nachteile erläutert.

4.5 Empfehlung für weiterführende Forschung

Aus den Ergebnissen der Arbeit ergeben sich weiterführende Forschungsfragen und Schlussfolgerungen. Die aktuelle Methode der Bedarfsplanung auf Basis einer Poisson-Verteilung hat sich in den vergangenen Jahren zwar in weiten Teilen bewährt, ist aber hinsichtlich Effizienz und mathematischem Ansatz umstritten. Ein erster wichtiger Schritt ist die Überarbeitung der Eckpunktevereinbarung zwischen den Landesverbänden und Kostenträger des Rettungsdienstes, um die Tür für neue Ansätze der in der Rettungsdienstbedarfsplanung zu öffnen. Darüber hinaus ist zu klären, inwieweit eine Mehrzweckfahrzeugstrategie in städtischen Regionen sinnvoll ist. Möglicherweise kann die verstärkte Vorhaltung von KTW die Effizienz hinsichtlich der Vorhaltekosten optimieren.

Die Arbeit liefert einen ersten Ansatz über das Vorhandensein von Einflüssen auf das Einsatzaufkommen im Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel. Eine vertiefende Analyse, insbesondere mit weiterer Ausdifferenzierung in die RWVB offenbart möglicherweise praxisrelevante Erkenntnisse bezüglich einer multiperiodischen Vorhaltung.

Eine ereignisdiskrete Simulation kann verwendet werden, um zu überprüfen, wie sich ein reduziertes Vorhaltevolumen auf die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes auswirkt, wenn Nachfrageschwankungen und Methoden auf Basis der Ergebnisse dieser Arbeit berücksichtigt werden (Kergosien et al 2015). In der Folge ist eine aussagekräftige Kosten-Nutzen-Analyse möglich, auf dessen Basis vor dem Hintergrund des Grenzkosten-Prinzips eine geeignete Methode ausgewählt werden kann.

Den Daten ist zu entnehmen, dass die Schwankung der täglichen Einsatznachfrage einer großen zufälligen Komponente unterliegt. Es ist weitere Forschung

erforderlich, die das Zustandekommen von Einsatzspitzen detailliert untersucht, beispielsweise durch die Analyse besonders nachfragestarker bzw. -schwacher Tage. Veser et al. (2015) zeigten in ihrer Arbeit eine Korrelation zwischen Alter und Notfallaufkommen. Eine zunehmend alternde Bevölkerung stellen Gesundheits- und Sozialsysteme bereits heute vor große Herausforderungen. Dem zufolge wird in Bayern allein für die Zahl der Notarzt-Einsätze ein Anstieg von 21 % innerhalb von 20 Jahren prognostiziert (Veser et al. 2015). Es gilt zu klären, inwieweit der demographische Wandel zukünftig die Rettungsmittelvorhaltung und die Effizienz des Rettungsdienstes beeinflusst.

4.6 Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass den Methoden zur Effizienzsteigerung der Rettungsmittelvorhaltung verschiedene Ansätze zugrunde liegen. Multiperiodische Ansätze bedürfen starker lokaler Schwankungen im Rettungsdienstbereich, dynamische Ansätze hingegen ausgeprägte operative Komponenten sowie ein ausreichend großes Bezugsgebiet. Prädiktoren können dabei helfen, das Vorhaltevolumen an äußere Einflüsse anzupassen. Grundlagen für multiperiodische Ansätze konnten in dieser Arbeit nicht identifiziert werden. Die dynamische Rettungsmittelvorhaltung wurde kritisch diskutiert und in ein geeignetes Modell überführt, dass die operative Stabilität eines geringeren Vorhaltevolumens stärkt. Das Vorhaltevolumen könnte auf Grundlage verschiedener Prädiktoren angepasst werden, dessen Auswirkung auf das System in ereignisdiskreten Simulationen aber zunächst verifiziert und quantifiziert werden muss.

Darüber hinaus kann ein optimierter Dispositionsalgorithmus der nicht-hilfsfristrelevanten Notfälle die Stabilität des Gesamtsystems zusätzlich erhöhen.

Auch wenn der Effizienzbegriff in diesem Modell lediglich auf Seiten des Ressourceneinsatzes Optimierungspotenzial bietet, ist die Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes vor dem Hintergrund steigender Einsatzzahlen immer wieder neu zu beurteilen, um zukünftigen Entwicklungen vorbeugend Rechnung zu tragen.

VII Literaturverzeichnis

- Andersson T. und Värbrand P., 2007. Decision support tools for ambulance dispatch and relocation. *Journal of the Operational Research Society*, 58(2), S. 195–201.
- Bledsoe B., 2003. Searching for the Evidence Behind EMS. *Emergency Medical Service*, 32(1), S. 63–70.
- Behrendt H. und Schmiedel R., 2002. Ermittlung der bedarfsgerechten Fahrzeugvorhaltung im Rettungsdienst. *Notfall & Rettungsmedizin*, 5(3), S. 190–203.
- Bélangier V., Kergosien Y., Ruiz A. und Soriano P., 2016. An empirical comparison of relocation strategies in real-time ambulance fleet management. *Computers & Industrial Engineering*, 94, S. 216–229.
- Bélangier V., Ruiz A. und Soriano P., 2019. Recent optimization models and trends in location, relocation, and dispatching of emergency medical vehicles. *European Journal of Operational Research*, 272(1), S. 1–23.
- Brotcorne L., Laporte G. und Semet F., 2003. Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, 147(3), S. 451–463.
- Channouf N., L'Ecuyer P., Ingolfsson A. und Avramidis A. N., 2006. The application of forecasting techniques to modeling emergency medical system calls in Calgary, Alberta. *Health Care Management Science*, 10(1), S. 25–45.
- DATAtab Team, 2021: *Varianzanalyse* [online]. DATAtab. <https://datatab.de/tutorial/varianzanalyse> [abgerufen am 20.11.2021].
- Daskin M. S., 1983. A Maximum Expected Covering Location Model Formulation, Properties and Heuristic Solution. *Transportation Science*, 17(1), S. 48–70.
- DIN 13050:2015-04, Begreiffe im Rettungswesen (DIN 13050: 1996-06)
- Gendreau M., Laporte G. und Semet F., 2001. A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel Computing*, 27(12), S. 1641–1653.
- Gendreau M., Laporte G. und Semet F., 1997. Solving an ambulance location model by tabu search. *Location Science*, 5(2), S. 75–88.
- Gendreau M., Laporte G. und Semet F., 2006. The maximal expected coverage relocation problem for emergency vehicles. *Journal of the Operational Research Society*, 57(1), S. 22–28.
- Jagtenberg C. J., Bhulai S. und van der Mei R. D., 2016. Dynamic ambulance dispatching: is the closest-idle policy always optimal?. *Health Care Management Science*, 20(4), S. 517–531.

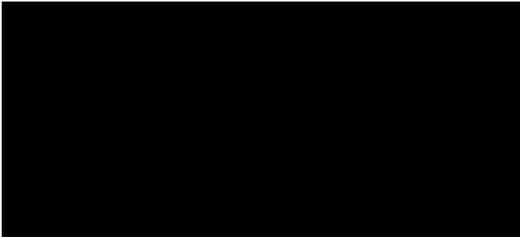
- Kergosien Y., Bélanger V., Soriano P., Gendreau M. und Ruiz A., 2015. A generic and flexible simulation-based analysis tool for EMS management. *International Journal of Production Research*, 53(24), S. 7299–7316.
- Kieler Woche, 2019. *Die 125. Kieler Woche in Zahlen*. [online]. Verfügbar unter <https://www.kieler-woche.de/de/medien/meldung.php?id=90291> [abgerufen am 04.10.2021].
- Lam S. S. W., Zhang J., Zhang Z. C., Oh H. C., Overton J., Ng Y.Y. und Ong M. E. H., 2015. Dynamic ambulance reallocation for the reduction of ambulance response times using system status management. *The American Journal of Emergency Medicine*, 33(2), S. 159–166.
- Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz, 2019. *Rettungsdienstbedarfsplanung für die Landeshauptstadt Kiel 2020*. [pdf]. Ratsinfo Kiel. Verfügbar unter: https://ratsinfo.kiel.de/bi/___tmp/tmp/45081036857563401/857563401/00729772/72.pdf [abgerufen am 10.10.2021].
- Landeshauptstadt Kiel Amt für Brandschutz, Rettungsdienst, Katastrophen- und Zivilschutz, 2021. *Rettungsdienst der Landeshauptstadt Kiel*. [pdf]. Kiel. Verfügbar unter: https://www.kiel.de/de/gesundheit_soziales/feuerwehr/rettungsdienst/Jahresbericht_Rettungsdienst_2020.pdf [abgerufen am 07.10.2021].
- Landeshauptstadt Kiel Bürger- und Ordnungsamt, 2021. *Kieler Zahlen: Statistischer Bericht Nr. 279*. [pdf]. Kiel. Verfügbar unter: https://www.kiel.de/de/kiel_zukunft/statistik_kieler_zahlen/_statistische_jahrbuecher/Statistischer_Bericht_Nr._279_-_Kieler_Zahlen_2020.pdf [abgerufen am 04.10.2021].
- Landesverbände und Kostenträger des Rettungsdienstes in Schleswig-Holstein, 2018. *Eckpunktevereinbarung zur Umsetzung der Vereinbarungslösung im Rettungsdienst Schleswig-Holstein nach § 7 Abs. 3 des Rettungsdienstgesetzes* [pdf]. Ratsinfo Kiel. Verfügbar unter: https://ratsinfo.kiel.de/bi/___tmp/tmp/45081036671774430/671774430/00670423/23.pdf [abgerufen am 10.10.2021].
- Lang, J. und Ohl G., 2010. Finanzen. In D. Bens Hrsg. *Rettungsdienst-Management*, Edewecht: Stumpf + Kossendey, S. 43–68.
- Lohs T., 2016. Qualitätsindikatoren für den Rettungsdienst in Baden-Württemberg. *Notfall + Rettungsmedizin*, 19(8), S. 625–631.
- Mahmood M., Thornes J., Pope F., Fisher P. und Vardoulakis S., 2017. Impact of Air Temperature on London Ambulance Call-Out Incidents and Response Times. *Climate*, 5(3), S. 61.
- Maxwell M. S., Henderson S. G. und Topaloglu H., 2009. Ambulance redeployment: An approximate dynamic programming approach. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, S. 1850–1860.

- Reuter-Oppermann M., van den Berg P. L. und Vile J. L., 2017a. Logistics for Emergency Medical Service systems. *Health Systems*, 6(3), S. 187–208.
- Reuter-Oppermann M., Morana S. und Hottum P., 2017b. Towards Designing an Assistant for Semi-Automatic EMS Dispatching. *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences (2017)*, S. 3556–3565.
- Reuter-Oppermann, M. und Wolff C., 2020. Towards a Unified Understanding of Data-Driven Support for Emergency Medical Service Logistics. *Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences*, S. 3669–3678.
- Schehadat, M. S., Groneberg D. A., Bauer J. und Bendels M. H. K., 2017. Hilfsfristen des Rettungsdienstes in den deutschen Bundesländern. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 67(5), S. 255–260.
- Steins K., Matinrad N. und Granberg T., 2019. Forecasting the Demand for Emergency Medical Services. *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, S. 1855–1864.
- Stöwhas, M. und Lippert H., 2021. Entwicklung der Notaufnahmefallzahlen eines Schwerpunktversorgers im Verlauf der Corona-Pandemie in Mecklenburg-Vorpommern. *Gesundheitswesen*, 83, S. 265–773.
- Thornes J. P., Fisher P. A., Rayment-Bishop T. und Smith C., 2013. Ambulance call-outs and response times in Birmingham and the impact of extreme weather and climate change. *Emergency Medicine Journal*, 31(3), S. 220–228.
- Veser A., Sieber F., Groß S. und Prückner S., 2015. The demographic impact on the demand for emergency medical services in the urban and rural regions of Bavaria, 2012–2032. *Journal of Public Health*, 23(4), S. 181–188.
- Vile J. L., Gillard J. W., Harper P. R. und Knight V. A., 2012. Predicting ambulance demand using singular spectrum analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 63(11), S. 1556–1565.
- WetterKontor, o.D.. *Rückblick für Kiel* [online]. WetterKontor. Verfügbar unter: <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/rueckblick.asp?id=100> [abgerufen am 01.11.2021]

VIII Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Textpassagen, die wörtlich oder dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Hamburg, 06.12.2021

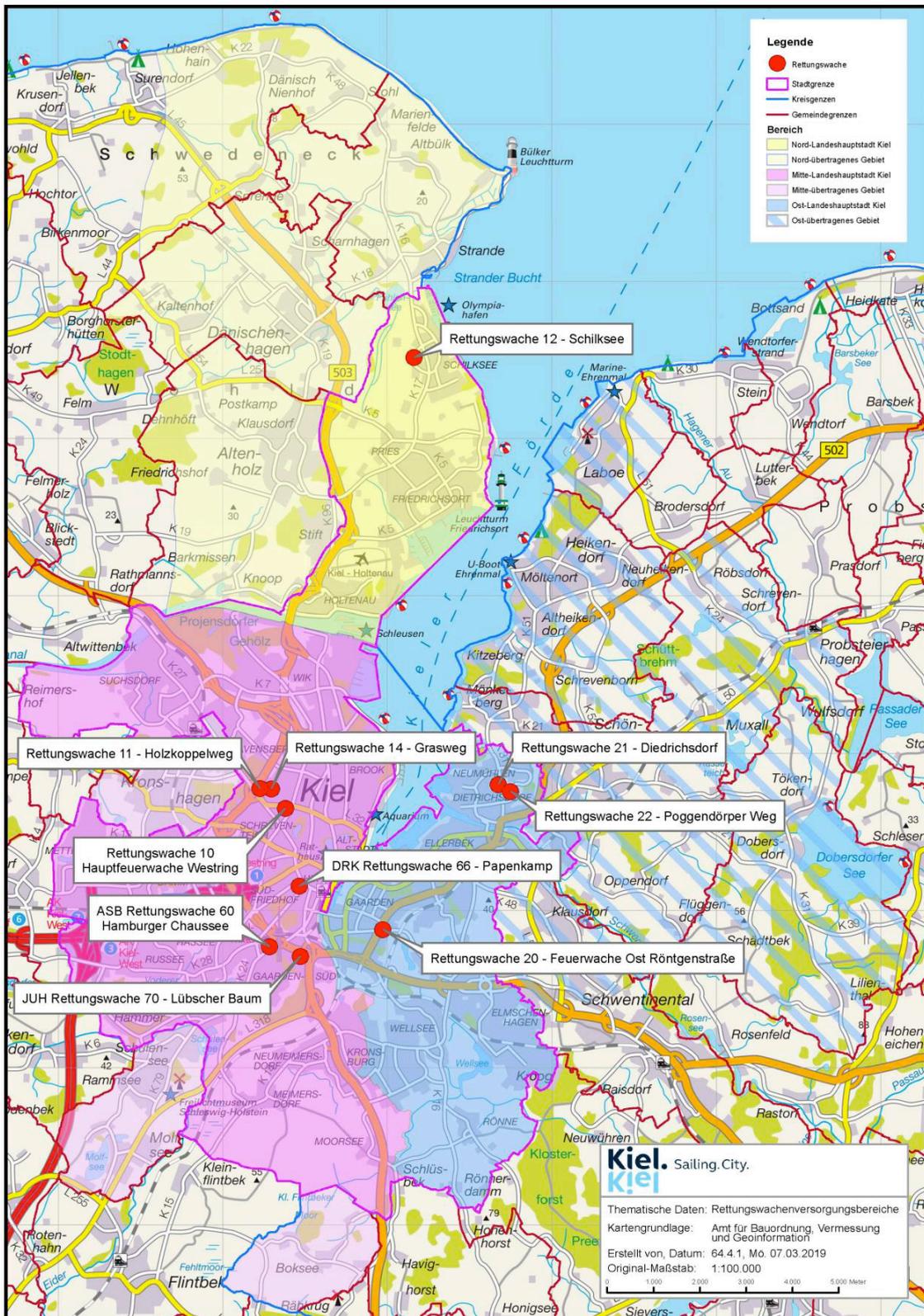


Florian Nitschke

IX Anhang

Anhang 1: Rettungsdienstbereich der Landeshauptstadt Kiel

Quelle: Feuerwehr Kiel



Anhang 2: Suchbegriffe Literaturrecherche

Suchbegriff	Treffer
prädiktive analysen rettungsdienst	0
vorhersage rettungsdienst	1
operative planung rettungsdienst	11
predicting emergency medical service	6076
forecasting emergency medical service	954
operations research emergency medical service	2688
netherlands emergency medical service	891
time series emergency medical service	1125
predict ambulance	2481
forecast ambulance	193
predicting ambulance demand	92
Zeitreihenanalyse Rettungsdienst	1
predictive dispatching Ambulance	116
predictive dispatching Emergency medical service	187
predictive analytics emergency medical services	122
predictive analytics ambulance	25
machine learning rettungsdienst	0
machine learning emergency medical service	286
machine learning ambulance	95
künstliche Intelligenz rettungsdienst	0
artificial intelligence emergency medical service	239
artificial intelligence ambulance	31
predictive rescueing	6920
forecasting techniques emergency medical service	58
dynamic ambulance	1009
ambulance reallocation	21
emergency relocation strategies	192
influence demand emergency medical service	335
influence demand ambulance	93
system status management ambulance	1435

Anhang 3: Zur Verfügung stehende Daten

Datenbezeichnung	nach Bereinigung
Einsatznr.	x
Datum	x
Tag	x
Monat	x
Uhrzeit	x
Tagestyp	x
CEDUS	
Einsatzklasse_SH	x
Einsatzmittel	x
EM-Typ	x
Objekt	x
PLZ	
Ort	x
Ortsteil	x
Straße	
ZielLon	
Transportziel	
Ziel-PLZ	
Zielort	
Zielstraße	
Alarmierung	
Ls.tsStatus1	
Ls.tsStatus 2	
Ls.tsStatus 3	
Ls.tsStatus4	
Ls.tsStatus7	
Ls.tsStatus8	
Ls.tsAlam.time	x
Leistungsbereich	x
Versorgungsbereich	x
Eintreffolge	
Hilfsfristzeit	x
Dispositionszeit	
Anfahrtzeit	x
Eintreffzeit	x
Versorgungszeit	
Transportzeit	x
Übergabezeit	x
Einsatzzeit	x
Prähospitalzeit	

Anhang 4: Vorhalteplan 2018 - 2019

Quelle: Feuerwehr Kiel

Übersicht Rettungsdienst Kiel 2018 gültig ab 2.1.2018, 07:00 Uhr
Stand 24.10.2017

BF	Wache	RWVB	RTW	Mo		Di-Do		Frei		Sa		So	
				von - bis	h	von - bis	h	von - bis	h	von - bis	h	von - bis	h
	Schilksee	Nord	12/83/01	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24
	Schilksee	Nord	12/83/02	07:00 - 24:00	17	00:00 - 24:00	24	00:00 - 23:00	23	07:00 - 24:00	17	00:00 - 23:00	23
	HW 1	Mitte	10/83/01	07:00 - 07:00	24	07:00 - 07:00	24	07:00 - 07:00	24	07:00 - 07:00	24	07:00 - 07:00	24
	HKW 1	Mitte	11/83/01	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24
	HKW 2	Mitte	11/83/02	07:00 - 19:00	12	07:00 - 19:00	12	07:00 - 18:00	11	08:00 - 20:00	12	-	0
	HKW 3	Mitte	11/83/03	07:00 - 18:00	11	08:00 - 18:00	10	07:00 - 18:00	11	-	0	-	0
	HKW 4	Mitte	11/83/04	08:00 - 18:00	10	08:00 - 18:00	10	08:00 - 20:00	12	-	0	-	0
	HKW 5	Mitte	11/83/05	07:00 - 17:00	10	07:00 - 17:00	10	08:00 - 20:00	12	-	0	-	0
	Grasweg 1	Mitte	14/83/01	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 23:00	23	07:00 - 24:00	17
	Grasweg 2	Mitte	14/83/02	07:00 - 15:00	8	07:00 - 15:00	8	08:00 - 16:00	8	-	0	-	0
	Grasweg 3	Mitte	14/83/03	06:00 - 14:00	8	06:00 - 14:00	8	06:00 - 14:00	8	-	0	-	0
	Grasweg 4*	Mitte	14/85/01*	08:00 - 18:00	10	08:00 - 18:00	10	09:00 - 19:00	10	-	0	-	0
	OW 1	Ost	20/83/01	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24
	D'dorf, Poggend. Weg	Ost	22/83/01	07:00 - 23:00	16	07:00 - 23:00	16	07:00 - 23:00	16	07:00 - 24:00	17	00:00 - 07:00 &	7
	D'dorf, Poggend. Weg	Ost	22/83/01									15:00 - 23:00	8
	D'dorf, Johannisb. Str.	Ost	23/83/01	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24
RTM-Wochenstunden					246		252		255		189		175
BF					1621								

* = KTW-Vorhaltung, vorübergehend mit RTW betrieben

Beamten-besetzt
TVöD-besetzt

HiOrg	Wache	RWVB	RTW	Mo		Di-Do		Frei		Sa		So	
				von - bis	h	von - bis	h	von - bis	h	von - bis	h	von - bis	h
	ASB	Mitte	60/83/01	07:00 - 23:00	16	07:00 - 23:00	16	07:00 - 24:00	17	00:00 - 23:00	23	-	0
	ASB	Mitte	60/83/02	08:00 - 16:00	8	07:00 - 16:00	9	07:00 - 16:00	9	06:00 - 13:00	7	-	0
	ASB	zentral	60/85/01	06:00 - 12:00	6	06:00 - 12:00	6	06:00 - 13:00	7	-	0	-	0
	DRK	Mitte	66/83/01	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24	00:00 - 24:00	24
	DRK	Mitte	66/83/02	08:00 - 23:00	15	08:00 - 23:00	15	08:00 - 23:00	15	07:00 - 14:00	7	07:00 - 18:00	11
	DRK	Mitte	66/83/03	07:00 - 15:00	8	07:00 - 15:00	8	07:00 - 15:00	8	-	0	-	0
	DRK	zentral	66/85/01	07:00 - 16:00	9	07:00 - 16:00	9	07:00 - 14:00	7	-	0	-	0
	JUH	Mitte	70/83/01	07:00 - 23:00	16	07:00 - 23:00	16	07:00 - 23:00	16	07:00 - 24:00	17	00:00 - 23:00	23
	JUH	Mitte	70/83/02*	09:00 - 22:00	13	09:00 - 22:00	13	07:00 - 17:00	10	-	0	-	0
RTM-Wochenstunden					115		116		113		78		58
HiOrg					712								

* zugleich letzter Reserve-RTW, ggf. vorübergehend ersetzt durch 70/85/01

gesamt 2333

Glossar

BF = Berufsfeuerwehr; D'dorf = Rettungswachen Kiel-Dietrichsdorf, Poggendorfer Weg und Johannisburger Straße
HiOrg = Hilfsorganisation; HKW = Rettungswache Holzkoppelweg, HW = Rettungswache Hauptfeuerwache; RWVB = Rettungswachenversorgungsbereich
OW = Rettungswache Ostfeuerwache

Anhang 5: Post-Hoc-Analysen

Anhang 5.1

Scheffe Pos-Hoc-Analyse Saison – NOTF

Kritischer Scheffe-Wert = 19,78

Variablen	Mittlere Differenz	F
Jan - Feb	-3,41	3,99
Jan - Mär	-4,34	6,68
Jan - Apr	0,4	0,06
Jan - Mai	-3,32	3,84
Jan - Jun	-7,32	18,67
Jan - Jul	-3,24	3,75
Jan - Aug	1,06	0,41
Jan - Sep	-1,21	0,51
Jan - Okt	1,56	0,86
Jan - Nov	-3,19	3,64
Jan - Dez	-6,05	12,45
Feb - Mär	-0,93	0,3
Feb - Apr	3,81	4,79
Feb - Mai	0,09	0
Feb - Jun	-3,91	5,18
Feb - Jul	0,17	0,01
Feb - Aug	4,47	7,06
Feb - Sep	2,2	1,65
Feb - Okt	4,97	8,45
Feb - Nov	0,21	0,02
Feb - Dez	-2,65	2,31
Mär - Apr	4,74	7,64
Mär - Mai	1,02	0,36
Mär - Jun	-2,98	3,1
Mär - Jul	1,1	0,43
Mär - Aug	5,4	10,64
Mär - Sep	3,13	3,44
Mär - Okt	5,9	12,28
Mär - Nov	1,14	0,47
Mär - Dez	-1,72	1
Apr - Mai	-3,72	4,63
Apr - Jun	-7,72	19,92
Apr - Jul	-3,64	4,53
Apr - Aug	0,66	0,15
Apr - Sep	-1,61	0,87
Apr - Okt	1,16	0,45
Apr - Nov	-3,6	4,42
Apr - Dez	-6,46	13,59
Mai - Jun	-4	5,48
Mai - Jul	0,08	0
Mai - Aug	4,38	6,88
Mai - Sep	2,11	1,54
Mai - Okt	4,88	8,26

Mai - Nov	0,13	0,01
Mai - Dez	-2,73	2,5
Jun - Jul	4,08	5,83
Jun - Aug	8,38	25,18
Jun - Sep	6,11	12,87
Jun - Okt	8,88	27,34
Jun - Nov	4,13	5,97
Jun - Dez	1,27	0,54
Jul - Aug	4,3	6,8
Jul - Sep	2,03	1,46
Jul - Okt	4,8	8,18
Jul - Nov	0,05	0
Jul - Dez	-2,81	2,7
Aug - Sep	-2,27	1,86
Aug - Okt	0,5	0,09
Aug - Nov	-4,26	6,65
Aug - Dez	-7,12	17,67
Sep - Okt	2,77	2,67
Sep - Nov	-1,99	1,39
Sep - Dez	-4,85	7,89
Okt - Nov	-4,76	8,03
Okt - Dez	-7,62	19,6
Nov - Dez	-2,86	2,79

Fisher's Least Significant difference

Variablen	Mittlere Differenz	t	p-Wert
Jan - Feb	-3,41	-2	0,046
Jan - Mär	-4,34	-2,58	0,01
Jan - Apr	0,4	0,24	0,814
Jan - Mai	-3,32	-1,96	0,05
Jan - Jun	-7,32	-4,32	<0,001
Jan - Jul	-3,24	-1,94	0,053
Jan - Aug	1,06	0,64	0,521
Jan - Sep	-1,21	-0,71	0,475
Jan - Okt	1,56	0,93	0,353
Jan - Nov	-3,19	-1,91	0,057
Jan - Dez	-6,05	-3,53	<0,001
Feb - Mär	-0,93	-0,55	0,585
Feb - Apr	3,81	2,19	0,029
Feb - Mai	0,09	0,05	0,96
Feb - Jun	-3,91	-2,28	0,023
Feb - Jul	0,17	0,1	0,922
Feb - Aug	4,47	2,66	0,008
Feb - Sep	2,2	1,28	0,2
Feb - Okt	4,97	2,91	0,004
Feb - Nov	0,21	0,12	0,901
Feb - Dez	-2,65	-1,52	0,129
Mär - Apr	4,74	2,76	0,006

Mär - Mai	1,02	0,6	0,548
Mär - Jun	-2,98	-1,76	0,079
Mär - Jul	1,1	0,66	0,512
Mär - Aug	5,4	3,26	0,001
Mär - Sep	3,13	1,85	0,064
Mär - Okt	5,9	3,5	<0,001
Mär - Nov	1,14	0,68	0,495
Mär - Dez	-1,72	-1	0,318
Apr - Mai	-3,72	-2,15	0,032
Apr - Jun	-7,72	-4,46	<0,001
Apr - Jul	-3,64	-2,13	0,033
Apr - Aug	0,66	0,39	0,696
Apr - Sep	-1,61	-0,93	0,351
Apr - Okt	1,16	0,67	0,5
Apr - Nov	-3,6	-2,1	0,036
Apr - Dez	-6,46	-3,69	<0,001
Mai - Jun	-4	-2,34	0,019
Mai - Jul	0,08	0,05	0,962
Mai - Aug	4,38	2,62	0,009
Mai - Sep	2,11	1,24	0,215
Mai - Okt	4,88	2,87	0,004
Mai - Nov	0,13	0,07	0,941
Mai - Dez	-2,73	-1,58	0,114
Jun - Jul	4,08	2,42	0,016
Jun - Aug	8,38	5,02	<0,001
Jun - Sep	6,11	3,59	<0,001
Jun - Okt	8,88	5,23	<0,001
Jun - Nov	4,13	2,44	0,015
Jun - Dez	1,27	0,73	0,464
Jul - Aug	4,3	2,61	0,009
Jul - Sep	2,03	1,21	0,228
Jul - Okt	4,8	2,86	0,004
Jul - Nov	0,05	0,03	0,978
Jul - Dez	-2,81	-1,64	0,1
Aug - Sep	-2,27	-1,36	0,173
Aug - Okt	0,5	0,3	0,764
Aug - Nov	-4,26	-2,58	0,01
Aug - Dez	-7,12	-4,2	<0,001
Sep - Okt	2,77	1,64	0,102
Sep - Nov	-1,99	-1,18	0,238
Sep - Dez	-4,85	-2,81	0,005
Okt - Nov	-4,76	-2,83	0,005
Okt - Dez	-7,62	-4,43	<0,001
Nov - Dez	-2,86	-1,67	0,095

Anhang 5.2

Scheffe Pos-Hoc-Analyse Wochentag - NOTF

Kritischer Scheffe-Wert = 12,62

Variablen	Mittlere Differenz	F
Mo - DI	3,64	12,85
Mo - Mi	2,6	6,57
Mo - Do	1,29	1,59
Mo - Fr	0,96	0,88
Mo - Sa	2,56	6,38
Mo - So	7,73	58,23
DI - Mi	-1,04	1,07
DI - Do	-2,36	5,44
DI - Fr	-2,69	7,06
DI - Sa	-1,08	1,16
DI - So	4,09	16,58
Mi - Do	-1,32	1,7
Mi - Fr	-1,64	2,65
Mi - Sa	-0,04	0
Mi - So	5,13	26,15
Do - Fr	-0,33	0,1
Do - Sa	1,28	1,6
Do - So	6,45	40,96
Fr - Sa	1,6	2,53
Fr - So	6,78	45,23
Sa - So	5,17	26,62

Fisher's Least Significant difference

Variablen	Mittlere Differenz	t	p-Wert
Mo - DI	3,64	3,59	<0,001
Mo - Mi	2,6	2,56	0,01
Mo - Do	1,29	1,26	0,207
Mo - Fr	0,96	0,94	0,347
Mo - Sa	2,56	2,53	0,012
Mo - So	7,73	7,63	<0,001
DI - Mi	-1,04	-1,03	0,301
DI - Do	-2,36	-2,33	0,02
DI - Fr	-2,69	-2,66	0,008
DI - Sa	-1,08	-1,08	0,282
DI - So	4,09	4,07	<0,001
Mi - Do	-1,32	-1,3	0,192
Mi - Fr	-1,64	-1,63	0,103
Mi - Sa	-0,04	-0,04	0,968
Mi - So	5,13	5,11	<0,001
Do - Fr	-0,33	-0,32	0,746
Do - Sa	1,28	1,26	0,206
Do - So	6,45	6,4	<0,001
Fr - Sa	1,6	1,59	0,112
Fr - So	6,78	6,73	<0,001

Sa - So	5,17	5,16	<0,001
----------------	------	------	--------

Anhang 5.3

Scheffe Pos-Hoc-Analyse Wochentag - NOTF
Kritischer Scheffe-Wert = 9,52

Variablen	Mittlere Differenz	F
Mo - DI	-4,4	16,88
Mo - Mi	-2,82	6,98
Mo - Do	-2,82	6,98
Mo - Fr	-3,32	9,56
Mo - Sa	45,29	1.799,24
Mo - So	67,01	3.945,68
DI - Mi	1,57	2,2
DI - Do	1,57	2,2
DI - Fr	1,08	1,03
DI - Sa	49,69	2.205,01
DI - So	71,4	4.562,4
Mi - Do	0	0
Mi - Fr	-0,49	0,22
Mi - Sa	48,11	2.071,73
Mi - So	69,83	4.372,26
Do - Fr	-0,49	0,22
Do - Sa	48,11	2.071,73
Do - So	69,83	4.372,26
Fr - Sa	48,61	2.097,83
Fr - So	70,32	4.399,37
Sa - So	21,72	423,66

Fisher's Least Significant difference

Variablen	Mittlere Differenz	t	p-Wert
Mo - DI	-4,4	-4,11	<0,001
Mo - Mi	-2,82	-2,64	0,008
Mo - Do	-2,82	-2,64	0,008
Mo - Fr	-3,32	-3,09	0,002
Mo - Sa	45,29	42,42	<0,001
Mo - So	67,01	62,81	<0,001
DI - Mi	1,57	1,48	0,138
DI - Do	1,57	1,48	0,138
DI - Fr	1,08	1,01	0,311
DI - Sa	49,69	46,96	<0,001
DI - So	71,4	67,55	<0,001
Mi - Do	0	0	1
Mi - Fr	-0,49	-0,46	0,642

Mi - Sa	48,11	45,52	<0,001
Mi - So	69,83	66,12	<0,001
Do - Fr	-0,49	-0,46	0,642
Do - Sa	48,11	45,52	<0,001
Do - So	69,83	66,12	<0,001
Fr - Sa	48,61	45,8	<0,001
Fr - So	70,32	66,33	<0,001
Sa - So	21,72	20,58	<0,001