

Nachfrageorientierte Steuerung von Rettungsdienstsystemen

Thomas KRAFFT, Axel KORTEVOSS, Carsten BUTSCH,
Tim TENELSEN und Alexandra ZIEMANN

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“
angenommen.*

Zusammenfassung

Geographische Informationssysteme sind ein wichtiges Instrument für die Planung und Steuerung von Rettungsdienstsystemen. Allerdings bestehen im internationalen Vergleich bei der Anwendung und konzeptionellen Weiterentwicklung noch erhebliche Unterschiede. Während in Deutschland die GIS-basierte Planung und Steuerung für die Notfallrettung und den Krankentransport noch am Anfang steht, sind insbesondere die so genannten ‚high Performance‘ Rettungsdienstsysteme in Großbritannien, in den USA oder in Skandinavien federführend bei der Entwicklung und Implementierung neuer Anwendungsmöglichkeiten. Ausgehend von der Darstellung von Forschungsergebnissen aus jüngeren Studien in ausgewählten Rettungsdienstbereichen, wird ein gemeinsam mit kommunalen Rettungsdienstträgern entwickeltes Konzept vorgestellt, das einen Stationierungsalgorithmus beinhaltet, der die Erreichbarkeit von Einsatzorten der Notfallrettung, basierend auf der Analyse der räumlich-zeitlichen Verteilung optimiert. Das Verfahren stellt eine leistungsfähige Alternative zu den bisher weitgehend auf Wahrscheinlichkeitsstatistik beruhenden Methoden der Bedarfsplanung dar. GIS-basierte Steuerungsalgorithmen ermöglichen eine Abstimmung der Systemleistung auf die tatsächliche Nachfrage und lassen sich in die Einsatzleitsysteme der Rettungsleitstellen integrieren. Die Anwendung von GIS leistet einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Hilfsfristerreichung, zur Optimierung der Systemauslastung und damit letztlich zur Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit notfallmedizinischer Systeme.

1 Hintergrund: Bedarfsbemessung im Rettungsdienst

Zentraler Leistungsparameter für die bodengebundene Notfallversorgung ist eine Eintreffzeit oder Hilfsfrist, die in Deutschland je nach Bundesland unterschiedlich normiert ist. Die Eintreffzeitvorgaben der Länder variieren innerhalb eines Korridors von 8 bis 15 Minuten und sind in Ausführungsverordnungen vielfach mit einem sog. Zielerreichungsgrad (z. B. Einhaltung der Hilfsfrist in mindestens 90 % der Notfalleinsätze) verknüpft. Die verantwortlichen Rettungsdienstträger (i. d. R. die Kreise und kreisfreien Städte) haben bei der vorbereitenden Planung und Steuerung ihrer Rettungsdienstsysteme die jeweilige Hilfsfrist und den ggf. vorgegebenen Zielerreichungsgrad zugrunde zu legen und deren Einhaltung regelmäßig nachzuweisen.

Für die Darstellung und Analyse der zeitlichen Auflösung rettungsdienstlicher Nachfrage werden im Rettungsdienst zzt. sehr unterschiedliche Methoden eingesetzt. Einen umfassenden

den Ansatz zur detaillierten Analyse des rettungsdienstlichen Einsatzgeschehens bietet das „System Status Management“, das aus Realzeitanalysen die Grundlagen für Ressourcenplanung und Einsatzpläne ableitet (STOUT 1995; OVERTON & STOUT 2002). Der Realzeitanalyse liegt die Annahme zugrunde, dass die unverfälschten Vergangenheitsdaten das beste Abbild für die zukünftige Nachfrage darstellen, da die Nachfrage im Rettungsdienst sowohl zeitlich als auch räumlich regelhaft ist und damit mess- und modellierbaren Einflussfaktoren unterliegt. Die Einsatzdaten der Vergangenheit werden in einem deskriptiven Verfahren auf der Basis von Zeitintervallen aufgelöst und die Anzahl der im Rettungseinsatz befindlichen Rettungsmittel pro Zeitintervall wird identifiziert, wobei der Umfang der Zeitintervalle frei wählbar ist.

Im Gegensatz dazu basieren die Verfahren, die derzeit von den meisten deutschen Rettungsdienststrägern angewandt werden, auf anderen Überlegungen. Die „risikoabhängige Fahrzeugbemessung“ geht von der Annahme aus, dass die zeitliche Verteilung von Notfallereignissen am besten über die Poisson-Verteilung abgebildet werden kann (BEHRENDT & SCHMIEDEL 2002). Dieses Verfahren ermittelt auf der Grundlage von Wahrscheinlichkeiten für den jeweils betrachteten Versorgungsbereich eine Mindestvorhaltung an Einsatzmitteln, die erforderlich ist, um den mittels Poisson-Berechnung geschätzten Eintritt eines „Systemversagens“ im Sinne eines Unterschreitens eines vorgegebenen Sicherheitsniveaus zu vermeiden bzw. innerhalb einer tolerierbaren Eintrittswahrscheinlichkeit zu halten. Im Vordergrund des Bemessungsverfahrens steht insoweit nicht der optimierte Ressourceneinsatz und die optimierte Steuerung, sondern die verlässliche Gewährleistung eines gleich bleibenden Sicherheitsniveaus. In der Praxis führt dies allerdings unter Umständen zu einer nicht wirtschaftlichen Vorhaltung von Einsatzmitteln. Eine weitere Methode der Bedarfsmessung basiert auf der Aggregation des Einsatzgeschehens in zeitlichen Clustern (RAU, KILL & REINHARD 2001), wodurch die tatsächlichen Spitzenbelastungen geglättet werden. Schließlich bietet das vom Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM) in München entwickelte Simulationsmodell SiMoN die Möglichkeit, für einen Rettungsdienstbereich das zeitliche Notfallaufkommen mittels einer stochastischen Simulation zu generieren (GAY CABRERA et al. 2006). Eine gute Übersicht über den internationalen Stand der Diskussion zur Entwicklung von Simulationsmodellen für den Rettungsdienst bieten CHANNOUF et al. (2007).

Die Realzeitanalyse bildet demgegenüber auch die Spitzenbelastungen als planungsrelevante Größe einschließlich des tatsächlichen Systemverhaltens genau ab, einschließlich der räumlichen Verknüpfung. Dies erfolgt durch die Ermittlung der maximalen Anforderung von Rettungsmitteln im zugrunde gelegten Beobachtungszeitraum (Vergangenheitsdaten) z.B. je Stundenintervall pro Wochentag. Hierfür wird das Einsatzgeschehen so abgebildet, dass für jeden Notfalleinsatz die Anzahl aller Rettungsmittel, die gleichzeitig für diesen Einsatz (nur Notfallrettung) gebunden waren, ausgewertet werden. Anschließend werden die Werte über den gesamten Beobachtungszeitraum für die betrachteten Intervalle (Stundenintervall) aggregiert. Dadurch ist sichergestellt, dass die tatsächlichen Einsatzdauern berücksichtigt werden können, womit das Heranziehen von statistischen Hilfsgrößen, wie einer durchschnittlichen Einsatzdauer, vermieden werden kann.

Die räumliche Auflösung des rettungsdienstlichen Einsatzgeschehens orientiert sich grundsätzlich an der Verteilung der Bevölkerung im Untersuchungsraum. Dabei bilden Siedlungsschwerpunkte und Verkehrswege zunächst auch die Einsatzschwerpunkte für den Rettungsdienst (Abbildung 1). In der Literatur finden sich verschiedene Beispiele, in denen

Allokationsmechanismen für das Problem der Stationierung von Rettungsmitteln genutzt werden. Für die Planung und Steuerung von Rettungsdienstsystemen fand das von CHURCH & REVELLE. (1974) vorgestellte „maximal covering location problem“ (MCLP) erstmals Anwendung bei der Planung des Rettungsdienstes in Austin (Texas, USA) (EATON et al. 1985). Hierbei sollten die optimalen Wachenstandorte für zwölf Rettungsmittel ermittelt werden. Dafür wurden in mehreren Testläufen jeweils 358 mögliche Standorte evaluiert, wobei in jedem Testlauf unterschiedliche Nachfragemuster zugrunde gelegt wurden. Diejenigen Standorte, die in der überwiegenden Zahl der Testläufe durch das Modell ausgewählt wurden, wurden tatsächlich für den Rettungsdienst übernommen. Insgesamt führte das Verfahren nach Angaben der Autoren zur Einsparung von 1,2 Millionen Dollar Unterhaltskosten pro Jahr bei gleichzeitiger Optimierung (=Verringerung) der durchschnittlichen Eintreffzeit der Rettungsmittel.

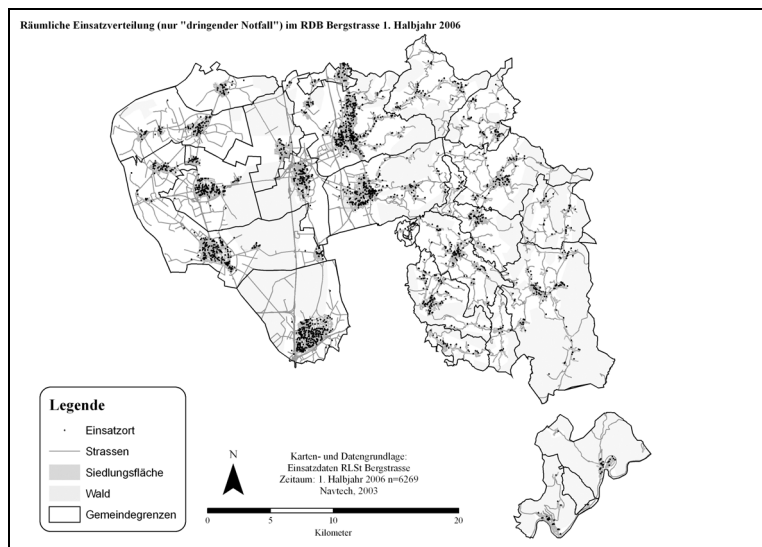


Abb. 1: Beispiel für die räumliche Verteilung von Notfalleinsätzen

ALSALLOUM & RAND (2006) haben die Lösung des „maximal covering location problem“ (MCLP) erweitert und zur Optimierung der rettungsdienstlichen Struktur in Riyadh (Saudi Arabien) verwendet. Erweitert wurde das Modell durch eine Wahrscheinlichkeitsfunktion, die ein Maß für die Abdeckung eines zu versorgenden Gebietes bildet. Durch die Vorgabe eines Sicherheitsniveaus für das gesamte Versorgungsgebiet ermittelt das Modell die Anzahl der vorzuhaltenden Fahrzeuge, die an den als optimal ermittelten Standorten zu positionieren sind. Es ergibt sich ein zweistufiges Modell, das zunächst für eine vorgegebene Zahl von Standorten die optimale Lage findet und dann auf der Grundlage der Versorgungswahrscheinlichkeit den identifizierten optimalen Standorten eine bestimmte Anzahl von Fahrzeugen zuweist.

Eine weitere Anwendung eines Optimierungsalgorithmus zur Stationierung von Rettungsmitteln wurde von TAVAKOLI & LIGHTNER (2004) beschrieben. Die Autoren nutzten das sog. MOFLEET Modell, um in einem ersten Durchlauf zu einer vorgegebenen Anzahl von

Rettungsmitteln und Standorten die optimale Lage der Standorte aus einer Menge von potentiellen Standorten zu finden, bei gleichzeitiger Zuordnung eines oder mehrerer Fahrzeuge zu den ermittelten Standorten. Dieser Vorgang wurde mit verschiedenen Kombinationen möglicher Stellplätze bei gleichzeitiger Variation der Anzahl der zur Verfügung zu stellenden Ressourcen wiederholt. Ziel war es, die Anzahl der Notfalleinsätze, die innerhalb eines Eintreffzeitintervalls von acht Minuten bedient werden könnten, zu maximieren. Die optimale Kombination aus Anzahl der Standorte und Anzahl der vorgehaltenen Rettungsmittel, die getestet wurden, wurde für den Rettungsdienst in Fayetteville (North Carolina, USA) übernommen.

2 Eigene Vorarbeiten: Von der Bedarfsbemessung zur optimierten Steuerung

Mit zunehmendem Kostendruck im Gesundheitssystem wächst auch der Bedarf an Methoden und Techniken, mit denen eine effizientere Nutzung der Rettungsmittel erreicht werden kann. Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Verbesserung der Leistungsfähigkeit sind dabei keine Gegensätze, sondern gleichberechtigte Zielvorgaben. In einer Reihe von Pilotstudien konnten unter verschiedenen raumstrukturellen und organisatorischen Bedingungen mittels Einsatz von GIS-basierten Methoden konkrete Handlungsoptionen für eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der jeweiligen Rettungsdienstsysteme entwickelt werden. Dabei wurde auch auf die Erfahrung aus der langjährigen Forschungszusammenarbeit mit international führenden Rettungsdienstsystemen in Europa und Nordamerika (vgl. FORSCHUNGSGRUPPE GEOMED 2006; S. 81 ff.) sowie auf jüngere Anwendungsbeispiele (vgl. ANDERSSON & VÄRBRAND 2006) aufgebaut. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz entsprechender GIS-basierter Herangehensweisen im Gegensatz zu den bislang praktizierten Planungs- und Steuerungskonzepten zu deutlich besseren Ergebnissen beitragen kann.

In einem Rettungsdienstbereich in ländlich-peripheren Lage mit entsprechend geringer Besiedlungs- und Bevölkerungsdichte sowie daraus resultierendem geringen Einsatzaufkommen bestand die Aufgabe, bei gleich bleibendem Ressourceneinsatz eine deutliche Verbesserung der Hilfsfristerreichung zu erzielen (FORSCHUNGSGRUPPE GEOMED 2003). Hierzu wurde erfolgreich, unter Nutzung von GIS-Anwendungen, ausgehend von einer Mindestanzahl von Rettungswachen in der Fläche eine Wachenabsicherungsstrategie entwickelt, bei der Rettungsmittel aus Bereichen mit einer (erwarteten) niedrigen Einsatzfrequenz systematisch zur befristeten Raumabdeckung in Bereiche mit einer (erwarteten) höheren Einsatzfrequenz verlegt werden. Deutlich weitergehend ist die Konzeption einer Strategie, die in einem Teilbereich eines Rettungsdienstbereiches eine Auflösung der etablierten Rettungswachenversorgungsbereiche vorsieht (FORSCHUNGSGRUPPE GEOMED 2001). Hierfür wurde für die Leitstelle ein Stationierungsalgorithmus entwickelt, mit dem die Disponenten in Abhängigkeit vom aktuellen Einsatzgeschehen eine Umverteilung der freien Ressourcen vornehmen. Durch die Anwendung der sog. „Mobile-Wachen-Strategie“ konnte eine Erhöhung des Hilfsfristniveaus von unter 85 % (vor Projektbeginn) auf knapp über 90 % bei gleichem Ressourceneinsatz erreicht werden. Einen umfassenderen Ansatz verfolgt die iterative Herleitung eines nachfrageorientierten Stationierungs- und Steuerungskonzeptes für einen gesamten Rettungsdienstbereich (FORSCHUNGSGRUPPE GEOMED 2005). Ausgehend von der (politisch gesetzten) Prämisse, dass die bestehenden Wachenstandorte beizubehalten waren und lediglich um temporäre Stellplätze erweitert werden

konnten, wurde mittels eines GIS berechnet, wie viele historische Einsatzereignisse von jedem Standort aus innerhalb der Hilfsfristvorgabe erreicht werden konnten. Auf dieser Grundlage wurde eine Priorisierung für die Besetzung von Stellplätzen in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit freier Rettungsmittel erarbeitet. Dieser variable Steuerungsalgorithmus wurde mit einer GIS-basierten Simulation mit realen Einsatzdaten getestet. Dabei konnte eine Signifikante Reduzierung des Anteils langer Fahrstrecken, sowie der Summe der Fahrstrecken bei gleichem Ressourceneinsatz nachgewiesen werden.

3 Methodische Grundlagen

Die in mehreren Rettungsdienstbereichen schrittweise erarbeiteten konzeptionellen Grundlagen werden in einem methodischen Gesamtkonzept (Abbildung 2) zusammengeführt, mit dem eine flächendeckende Umsetzung flexibilisierter Planungs- und Steuerungsmethoden unter den spezifischen Rahmenbedingungen des deutschen Rettungsdienstes erreicht werden kann.

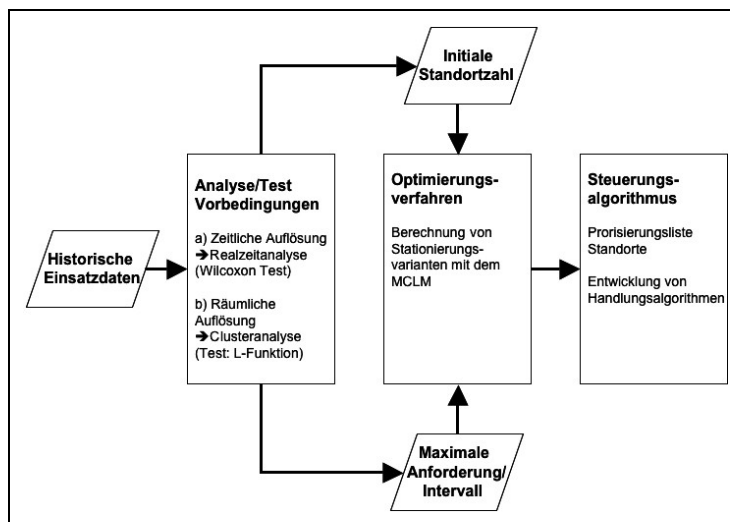


Abb. 2: Konzept für nachfrageorientierte Planungs- und Steuerungsmethoden

Der erste Schritt zur Entwicklung nachfrageorientierter Planungs- und Steuerungsmethoden besteht in einer Analyse historischer Einsatzdaten hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Verteilung. Hierfür werden die Daten in ein GIS integriert, das weitere Daten (Topographie, rettungsdienstliche Infrastruktur etc.) enthält und das für die Visualisierung und die Vorbereitung der Daten zur Nutzung in spezialisierter Software genutzt wird. Die Analyse beinhaltet auch den Test, ob die Voraussetzungen für die Entwicklung des Steuerungsalgorithmus erfüllt sind. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Einsatzereignisse geklustert sind und die zeitliche Verteilung der historischen Einsätze in der Vergangenheit für den zukünftigen Verlauf des Einsatzgeschehens den bestmöglichen Schätzer darstellen. Für eine Bewertung der Regelmäßigkeit der Einsatznachfrage werden historische Nachfragever-

läufe mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen auf ihren Zusammenhang getestet (SACHS 2002). Planungsgrundlage für Rettungsdienstsysteme ist die Ermittlung des maximalen Bedarfs zuzüglich eines von Fläche und Topographie abhängigen zusätzlichen Bedarfs (konstant). Zu überprüfen ist daher ob die Maxima eines Zeitraumes A in ihrem Verlauf (Wochentag und Stundenintervall) denen eines Zeitraums B annähernd entsprechen und somit Vergangenheitsdaten Rückschlüsse auf die Nachfrage in einem späteren Zeitraum zulassen. In einem ersten Schritt werden die Maxima für jedes Stundenintervall und jeden Wochentag im Jahresverlauf berechnet (Realzeitanalyse). Mittels des Paardifferenzen Tests werden anschließend die Verläufe der Maximalanforderung verglichen. Die mit der Realzeitanalyse ermittelten Maxima bilden darüber hinaus die initiale Anzahl der im Rettungsdienstbereich mittels Clusterzentrenanalyse zu verteilenden Rettungsmittelstandorte. Der Test auf Clusterung wird durch Berechnung der L-Funktion durchgeführt, einer Ableitung zu Ripleys K-Funktion (BAILEY & GATRELL 1995). Anschließend wird in einem iterativen Prozess mittels Clusterzentrenanalyse ein Standortmuster berechnet. Der Iterationsprozess ist beendet, wenn mit einer minimalen Anzahl von Standorten gewährleistet ist, dass der durch die Qualitätsnorm definierte Anteil historischer Einsatzorte von den gewählten Standorten aus erreicht werden kann. Die Integration der räumlich darstellbaren Ergebnisse der Analysephase in das GIS dient einerseits der Kontrolle und andererseits der weiteren Verarbeitung der Daten für das Optimierungsverfahren.

Im zentralen Modul wird unter Nutzung der Zwischenergebnisse ein praktikables Stationierungs- und Steuerungskonzept entwickelt. Das Optimierungsverfahren bedient sich dabei der Methoden und Modelle aus dem Bereich „Operations Research“. Die Basis für den Optimierungsalgorithmus bildet das beschriebene MCLP Modell, welches für eine vorgegebene Anzahl von Standorten, deren Position in einem Netzwerk so bestimmt, dass die den Netzknoten zugeordnete Nachfrage bestmöglich bedient wird. Hierbei wird implizit davon ausgegangen, dass an jedem ermittelten Standort jeweils ein Fahrzeug positioniert ist und jederzeit verfügbar ist. Für das Optimierungsverfahren wird auf die erweiterte MOFLEET Variante zurückgegriffen. Hiermit werden sowohl die Standorte als auch Anzahl der Fahrzeuge gleichzeitig optimiert, wobei auch berücksichtigt wird, dass die Fahrzeuge nicht zu jeder Zeit verfügbar sind. Dem Optimierungsverfahren werden normativ vorgegebene tageszeitliche Schichteinteilungen zugrunde gelegt, die durch die Ergebnisse der Realzeitanalyse in Abhängigkeit der tageszeitlich unterschiedlichen Nachfrage und der Verträglichkeit mit möglichen Personaleinsatzplänen ermittelt werden. Für jede der Schichten wird eine Priorisierung der mindestens zu besetzenden Anzahl von Standorten ermittelt, der Prämisse folgend, die Anzahl der nicht innerhalb der vorgegebenen Eintreffzeit abgedeckten Einsätze zu minimieren. Wird mit der mindestens zu besetzenden Standortanzahl die Qualitätsnorm nicht erreicht, wird in einem weiteren Iterationsschritt ein zusätzlicher Standort vorgegeben. Dieser Prozess wird wiederholt, bis die vorgegebene Qualitätsnorm erreicht werden kann. Ergebnis des Optimierungsalgorithmus ist eine nach Schichten getrennte Priorisierung der jeweils mindestens zu besetzenden Anzahl von Rettungsmittelstandorten. Die durch die hochspezialisierte Optimierungssoftware (Beschreibung des Algorithmus in AMPL, Berechnung durch den CPLEX Solver) ermittelten Standorte werden in das GIS übernommen und die Erreichbarkeiten historischer Einsatzorte über ein digitales Straßennetz berechnet.

Aus der Priorisierungsliste wird in der Folge eine Stationierungsstrategie entwickelt, die grundsätzlich davon ausgeht, dass jeweils derjenige Standort mit der höchsten Priorität, der

aktuell nicht besetzt ist, von einem Fahrzeug besetzt wird, dass an einem Standort mit der niedrigsten Priorität verfügbar ist. Um zu lange Wege bzw. Fahrzeiten zu vermeiden sind hier ggf. zusätzlich zur ermittelten Mindestanzahl weitere Rettungsmittel in einem zentralen oder dezentralen Fahrzeugpool in Bereitschaft zu halten. Die Auswirkungen auf die Fahrstrecken – und damit auf die Eintreffzeit – unter den veränderten Bedingungen werden mit einer GIS-gestützten Simulation des Steuerungsalgorithmus getestet bevor eine Implementierung erfolgt.

4 Anwendungsbeispiele & Umsetzung

Das hier vorgestellte umfassende methodische Konzept wird derzeit in einer Studie in Hessen im Auftrag der Sozialversicherungsträger und in Zusammenarbeit mit dem Hessischen Sozialministerium sowie ausgewählten kommunalen Trägern in zwei unterschiedlich strukturierten Rettungsdienstbereichen erprobt. Erste Ergebnisse beziehen sich auf die Ergebnisse der Analysephase.

Die Realzeitanalyse der Einsatzdaten zeigt einen charakteristischen Verlauf, der in den beiden Jahren 2005 und 2006 eine starke Übereinstimmung zeigt (Abb. 3).

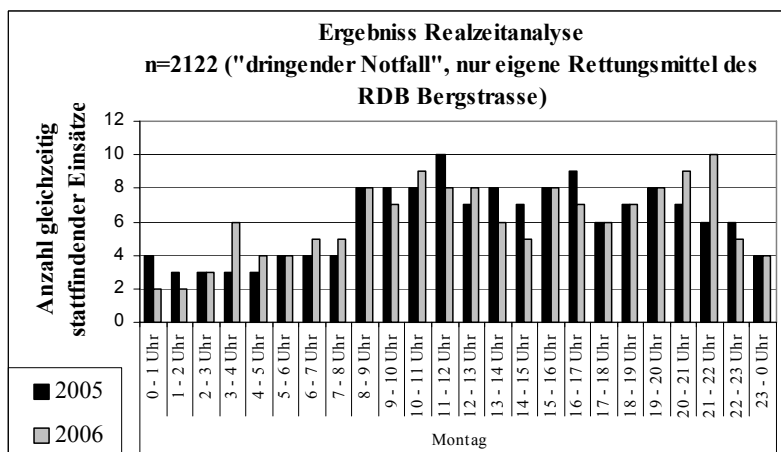


Abb. 3: Vergleich der maximalen Anforderung je Stundenintervall montags in den Jahren 2005 und 2006

Die Ergebnisse der Realzeitanalyse wurden mit dem Wilcoxon-Test, wie beschrieben, hinsichtlich ihrer Übereinstimmung untersucht. Die Berechnung wurde anhand der Einsatzdaten der Jahre 2005 bzw. 2006 (Januar bis Dezember, RDB Bergstrasse N=16.576) durchgeführt. Als Einschränkung wurde nur das ersteintreffende Rettungsmittel berücksichtigt und Fremdrettungsmittel ausgeschlossen. Ergebnis des Paardifferenzen Tests ist, dass auf sehr hohem Signifikanzniveau die Nullhypothese $H_0: F_1 = F_2$ beibehalten wird. Weiterhin wurde die räumliche Verteilung auf das Vorliegen von Clustern untersucht. Für die Auswertung wurden die Einsatzorte der Kategorie „dringender Notfall“ des ersten Halbjahres 2006 mit

der Software „CrimeStat III“ (LEVINE AND ASSOCIATES 2004) bearbeitet und die Ergebnisse in MS-Excel zur besseren Visualisierung übertragen (vgl. Abb. 4). Insgesamt standen die auswertbaren Koordinaten von 6269 Einsatzorten zur Verfügung. Die L-Funktion der tatsächlichen Verteilung liegt hierbei deutlich im positiven Bereich und weicht signifikant von dem, mittels Simulationen ermittelten Korridor ($L(t)$ min und $L(t)$ max) ab.

Die nächsten Schritte sind eine Clusterzentrenanalyse und basierend auf deren Ergebnis, sowie den vorgestellten Zwischenergebnissen die Durchführung des Optimierungsverfahrens und die Erstellung und Implementierung eines Steuerungsalgorithmus. Weitere Ergebnisse werden im Rahmen des Vortrages vorgestellt.

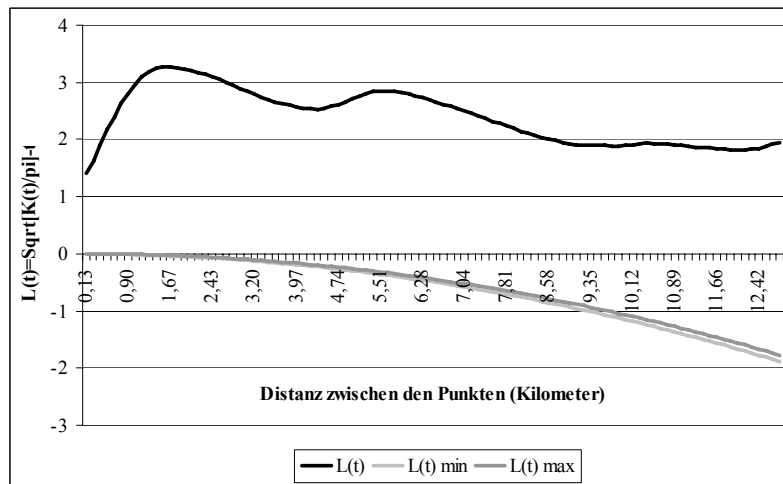


Abb. 4: L-Funktion

5 Fazit

Die Akzeptanz neuer Planungs- und Steuerungsmethoden in einem öffentlichkeitssensiblen Bereich wie der rettungsdienstlichen Versorgung der Bevölkerung benötigt transparente, nachvollziehbare und reproduzierbare Verfahren bei der Ermittlung der notwendigen Ressourcen und deren Steuerung. Mit den hier vorgestellten methodischen Modulen für eine nachfrageorientierte Planung und Steuerung von Rettungsdienstsystemen auf der Basis von raum-zeitlichen Methoden und Techniken bestehen erprobte und praktikable Grundlagen für ein solches Verfahren. GIS wird dabei als zentrale Schnittstelle genutzt, da die Datenvorbereitung und -haltung während des gesamten Prozesses hier erfolgt. Darüber hinaus findet eine kontinuierliche Überprüfung der Zwischenergebnisse und abschließend eine Quantifizierung des zu erwartenden Optimierungspotentials statt.

Literatur

- ALSALLOUM, O.I. & G.K. RAND (2006): Extensions to emergency vehicle location models. In: *Computers & Operations Research* Nr. 33, S. 2715-2743.
- ANDERSSON, T. & P. VÄRBRAND (2006): Decision support tools for ambulance dispatch and relocation. In: *Journal of the Operational Research Society*, S. 1-7.
- BAILEY, T. & A. GATRELL (1995): *Interactive Spatial Data Analysis*. Essex, England.
- BEHRENDT, H. & R. SCHMIEDEL (2002): Ermittlung der bedarfsgerechten Fahrzeugvorhaltung im Rettungsdienst. In: *Notfall & Rettungsmedizin* Nr. 5, S. 190-203.
- CHANNOUF, N., L'ECUYER, P., INGOLFSSON, A. & A.N. AVRAMIDIS (2007): The application of forecasting techniques to modeling emergency medical system calls in Calgary, Alberta. In: *Health Care Management Science* Nr. 10, S. 25-45.
- CHURCH, R.L. & C.S. REVELLE (1974): The maximal covering location problem. In: *Papers of the Regional Science Association* Nr. 32, S. 101-118.
- EATON, D. J., DASKIN, M.S., SIMMONS, D., BULLOCH, B. & G. JANSMA (1985): Determining Emergency Medical Service Vehicle Deployment in Austin, Texas. In: *Interfaces* Nr. 15, S. 96-108.
- FISCHER, M., KRAFFT, T., KREP, H., WIERICH, D., HEISTER, U., HOEFT, A., EDWARDS, S. & L. GARCIA CASTRILLO RIESGO (2003): Effektivitäts- und Effizienzvergleich der Rettungsdienstsysteme in Birmingham (UK) und Bonn (D). In: *Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie* Nr. 38, S. 630-642.
- FISCHER, M., KRAFFT, T., GARCÍA CASTRILLO-RIESGO, L., LIPPERT, F., OVERTON, J. & I. ROBERTSON-STEEL (2007): Emergency Medical Services Systems and Out-of-Hospital Cardiac Arrest. In: PARADIS, N.A., HALPERIN, H.R., KERN, K., WENZEL, V. & D. CHAMBERLAIN (Hg.): *Cardiac Arrest: The science and practice of resuscitation medicine*, 2. Ausgabe. Cambridge University Press. Cambridge. [im Druck]
- FORSCHUNGSGRUPPE GEOMED am Geographischen Institut der Universität Bonn (2001): Ermittlung der zweckmäßigsten Organisationsform für den Rettungsdienst in Hessen. Eine exemplarische Untersuchung am Beispiel des öffentlichen Rettungsdienstes im RDB Bergstrasse. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des Trägers des Rettungsdienstes im RDB Bergstrasse. Bonn.
- FORSCHUNGSGRUPPE GEOMED am Department für Geo- und Umweltwissenschaften der LMU München (2003): Notfallversorgung im ländlichen Raum: Effizienz gestaffelter Rettungssysteme bei der präklinischen Versorgung von Notfallpatienten. Durchführbarkeitsstudie im Auftrag der Verbände der Sozialversicherungsträger im Landkreis Waldeck-Frankenberg. München/Bonn
- FORSCHUNGSGRUPPE GEOMED am Department für Geo- und Umweltwissenschaften der LMU München (2005): Satellitengestützte Steuerung von Rettungsdienstsystemen. Pilotprojekt als Beitrag zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung des Rettungsdienstes im RDB Main-Kinzig-Kreis. Abschlussbericht im Auftrag der Verbände der Sozialversicherungsträger im Main-Kinzig-Kreis. München/Bonn.
- FORSCHUNGSGRUPPE GEOMED am Department für Geo- und Umweltwissenschaften der LMU München (2006): Rettungsdienst in Hessen. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag der Verbände der Krankenkassen in Hessen. München/Bonn.

- GAY CABRERA, A., GEHRING, CH., GROß, S., BURGHOFFER, K. & C.K. LACKNER (2006): SiMoN: Methodische Grundlage eines Simulationsmodells für die Notfallrettung. Neuentwicklung der Generierung des Einsatzaufkommens mittels stochastischer Verfahren. In: *Notfall und Rettungsmedizin* Vol. 9, Nr. 7, S. 611-618
- KRAFFT, T., CASTRILLO-RIESGO, L., EDWARDS, S., FISCHER, M., OVERTON, J., ROBERTSON-STEEL, I. & KÖNIG, A. (2003): European Emergency Data project (EED project). EMS data-based health surveillance system. In: *European Journal of Public Health* Nr. 13, Suppl. 3, S. 85-90.
- OVERTON, J. & J. STOUT (2002): System design. In: KUEHL, A. (Hrsg.): *Prehospital systems and medical oversight*, 3. Ausgabe. Dubuque, S. 114-131.
- RAU, M., KILL, C. & K. REINHARD (2001): Sicherheit und Risiko. In: *Notfall & Rettungsmedizin* Nr. 4, S. 246-253.
- SACHS, L. (2002): *Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden*. Berlin, Seiten: 411-412.
- STOUT, J. L. (1995): System Status Management: The Strategy of Ambulance Placement. In: FITSCH, J. J. (Hrsg.): *Prehospital Care Administration. Issues – Readings – Cases*. St-Louis, S. 168-181.
- TAVAKOLI, A. & C. LIGHTNER (2004): Implementing a mathematical model for locating EMS vehicles in Fayetteville, NC. In: *Computers & Operations Research* Nr. 31, S. 1549-1563.

Internetquellen

- LEVINE AND ASSOCIATES (2004): *Crimestat Manual*:
<http://www.icpsr.umich.edu/NACJD/crimestat.html> (Letzter Zugriff: 28.4.2007).