

Notfalllogistik in Deutschland – Modelle und Verfahren

Stochastische Programmierung für die Standortwahl von Rettungswagen

Stefan Nickel, Melanie Reuter, Hans-Peter Ziegler

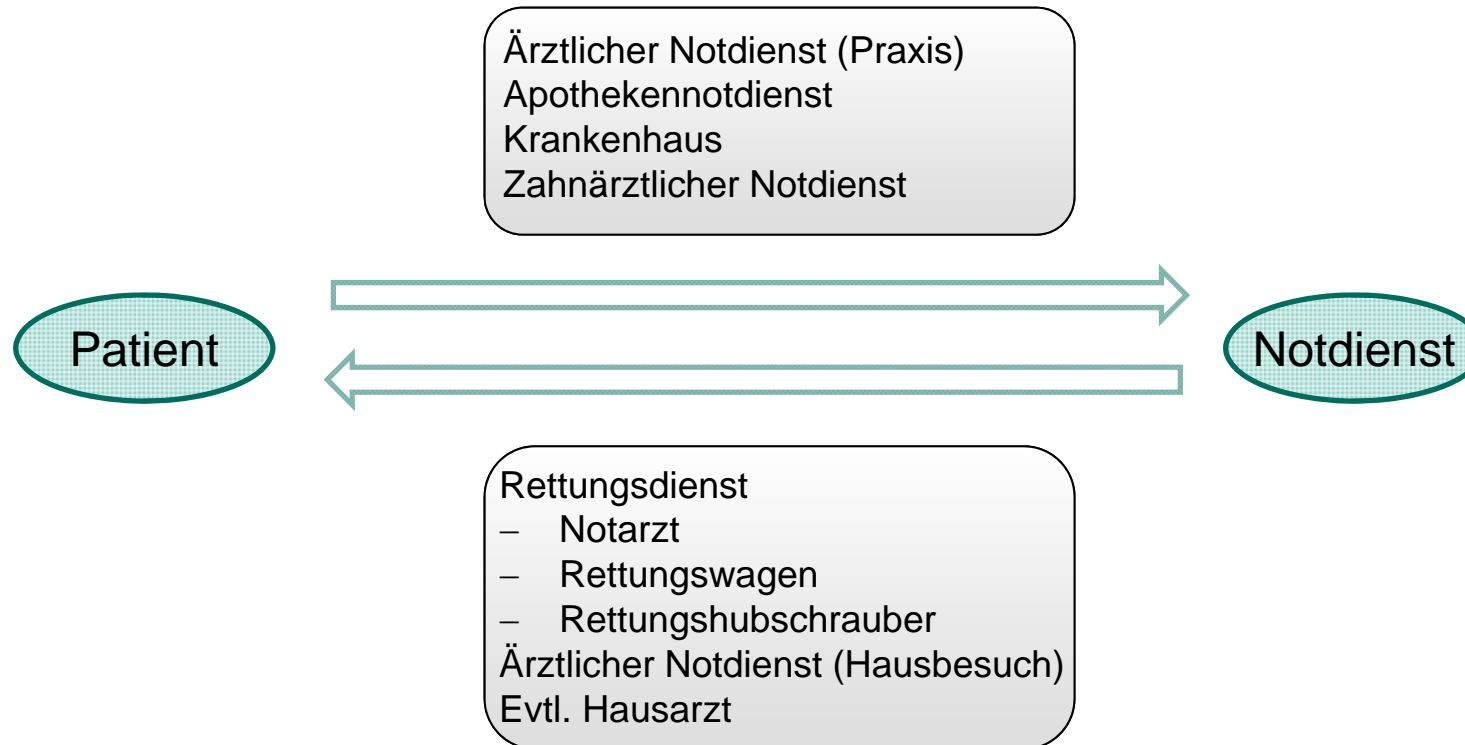
Lehrstuhl für Diskrete Optimierung und Logistik, Institut für Operations Research



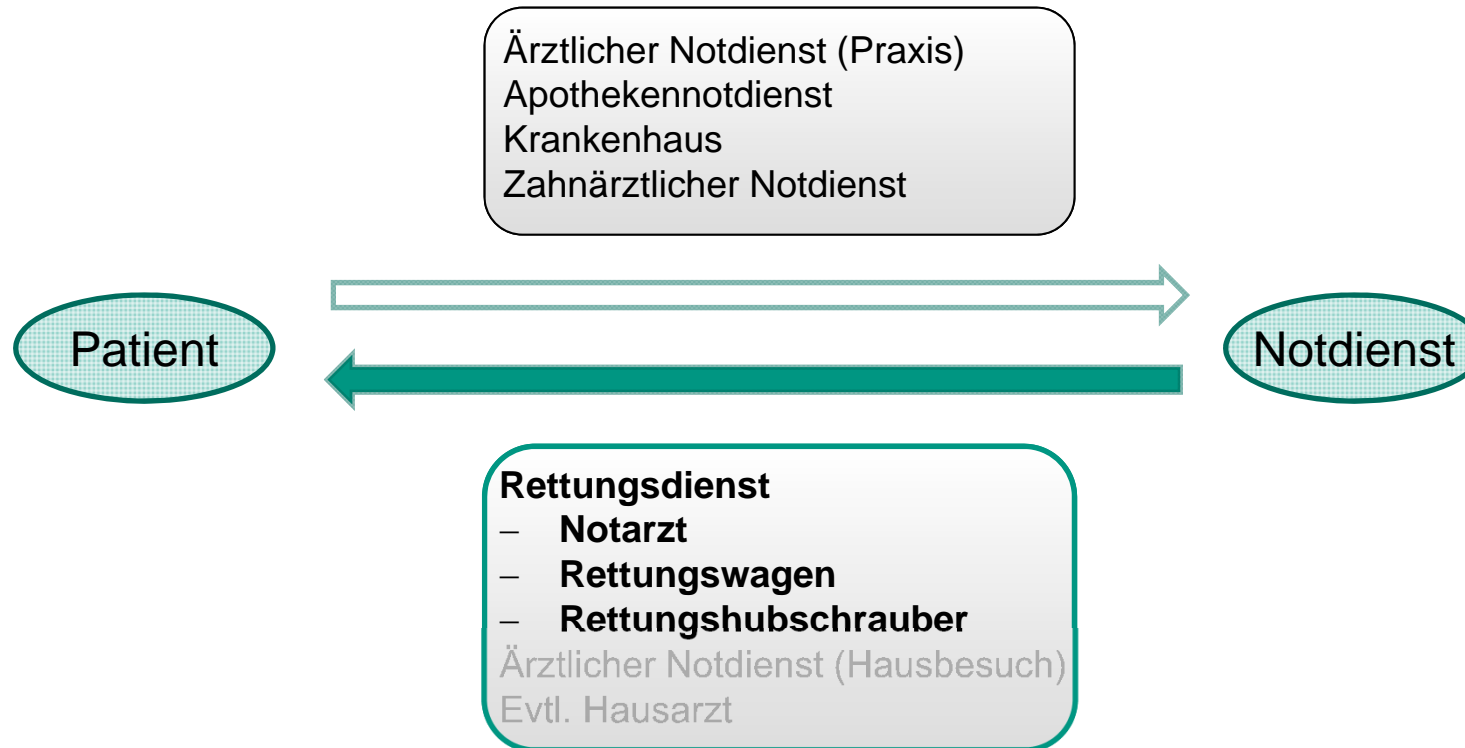
Übersicht

1. Einführung
 - Notfalllogistik
 - Rettungsdienst
2. Rettungsdienst in Baden-Württemberg
3. Fragestellungen der Rettungsdienstplanung
 - Standortplanung
 - Standortplanung mit stochastischer Programmierung
 - Zuordnung
 - Standortwechsel

Notfalllogistik



Notfalllogistik



Rettungsdienst

- Länderhoheit:
 - „Öffentliche Aufgabe der Gesundheitsversorgung“ (Qualitätsbericht Rettungsdienst Baden-Württemberg“, 2009)
 - Jedes Bundesland hat ein eigenes Rettungsdienstgesetz

- Organisation:
 - Einteilung in Rettungsdienstbereiche
 - Lenkung durch Leitstelle (z.T. Integrierte Leitstellen)
 - Ausführung durch Hilfsorganisationen und Rettungsdienstunternehmen

Grundlagen

- Notfallrettung – Krankentransport
 - Rettungsdienst hat beide Verantwortlichkeiten
 - Nur die Notfallrettung ist zeitkritisch, Krankentransporte können geplant werden

- Hilfsfrist
 - Maximale Zeit zwischen Eintreffen der Notfallmeldung und Ankunft am Notfallort
 - In Deutschland zwischen 5 und 15 Minuten

- „Rendez-vous“-System
 - Rettungswagen und Notarzt fahren getrennt zum Notfall

Rettungsdienst in Baden-Württemberg

- 37 Rettungsdienstbereiche
 - in der Regel Stadt- und Landkreise

- Hilfsfrist
 - max. 15 min für Rettungswagen und Notarzt
 - einzuhalten in 95% der Fälle

- Planung durch FORPLAN GmbH, kein Einsatz von OR-Methoden

- Seit 1976 übertragen auf
 - Arbeiter-Samariter-Bund
 - Deutsches Rotes Kreuz
 - Malteser Hilfsdienst
 - Die Johanniter Unfall-Hilfe

Fragestellungen

- Standortplanung
 - Welche Standorte für Rettungswagen und -wachen?
 - Überprüfung der aktuellen Standorte
 - Planung neuer Standorte

- Zuordnung von Rettungswagen zu Einsätzen
 - Wenn mehr als ein Rettungswagen in Frage kommt, welcher wird dann eingesetzt?

- Standortwechsel
 - Wann ist eine Umplatzierung von Rettungswagen sinnvoll bzw. wie kann sie sinnvoll umgesetzt werden?

ALWUD (Ambulance Location With Uncertain Demand)

■ Notfälle / Einsätze

- nicht vorhersehbar \Rightarrow Modellierung mit stochastischen Elementen
- i.d.R. unabhängig voneinander, nicht aber bei größeren Unfällen

■ Szenarien

- Entwickelt aus den Einsatzdaten vergangener Jahre
- Szenarien als Abbildung möglicher Notfallkonstellationen
- Beobachtete Häufigkeit der Notfallkonstellationen als Wahrscheinlichkeiten für Szenarien

■ Ansatz

- 2-stufiges Modell der stochastischen Programmierung:
 - 1. Stufe: Platziere Rettungswagen
 - 2. Stufe: Ordne Rettungswagen den in Szenarien auftretenden Notfällen zu

Modell (1)

■ Graph V

- N : Menge von Knoten
- E : Menge von Kanten
- $d_{i,j}$: Entfernung zwischen zwei Knoten

■ T : maximale Fahrzeit (Hilfsfrist)

■ $c_{i,j}$: Abdeckung, $c_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } d_{i,j} \leq T \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$

■ α : min Anteil der Notfälle, die rechtzeitig erreicht werden sollen

Modell (2)

- S : Menge Szenarien
- P^s : Wahrscheinlichkeit von Szenario s
- e_j^s : stochastische Anzahl von Notfällen in Knoten j , wenn Szenario s beobachtet wird
- Entscheidungsvariablen:
 - y_i : Anzahl Rettungswagen in Knoten i ;
 - $x_{i,j}^s$: Anzahl der Rettungswagen aus i , die Knoten j in Szenario s bedienen

Modell (3)

$$\min \sum_{i=1}^n y_i$$

u.d.N

$$x_{i,j}^s \leq c_{i,j} y_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \forall j \in \{1, \dots, N\}, \forall s \in \{1, \dots, S\} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j}^s \leq y_i \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \forall s \in \{1, \dots, S\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j}^s \leq e_j^s \quad \forall j \in \{1, \dots, N\}, \forall s \in \{1, \dots, S\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^S p^s x_{i,j}^s \geq \alpha \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^S p^s e_j^s \quad (4)$$

$$y_i \in \mathbb{N} \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (5)$$

$$x_{i,j} \in \mathbb{N} \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, \forall j \in \{1, \dots, N\}, \forall s \in \{1, \dots, S\} \quad (6)$$

Zuordnung von Rettungswagen zu Notfällen

■ Ausgangssituation

Mindestens 2 Rettungswagen können einen Notfall in der vorgegebenen Hilfsfrist erreichen

■ Frage

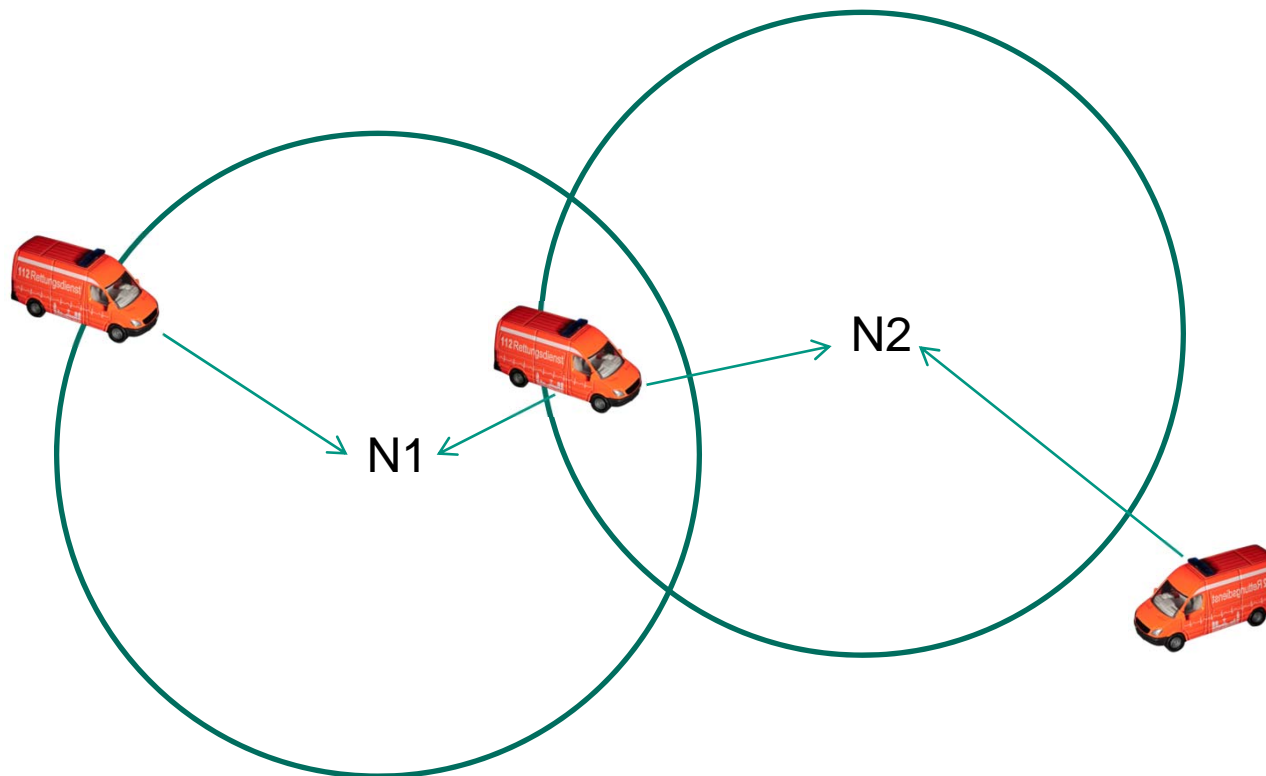
Welche Zuordnung ist für das gesamte System am besten und für den einzelnen Patienten vertretbar?

■ Vermutung

Immer den nächsten Rettungswagen zuzuordnen führt für das gesamte System nicht zur besten Lösung

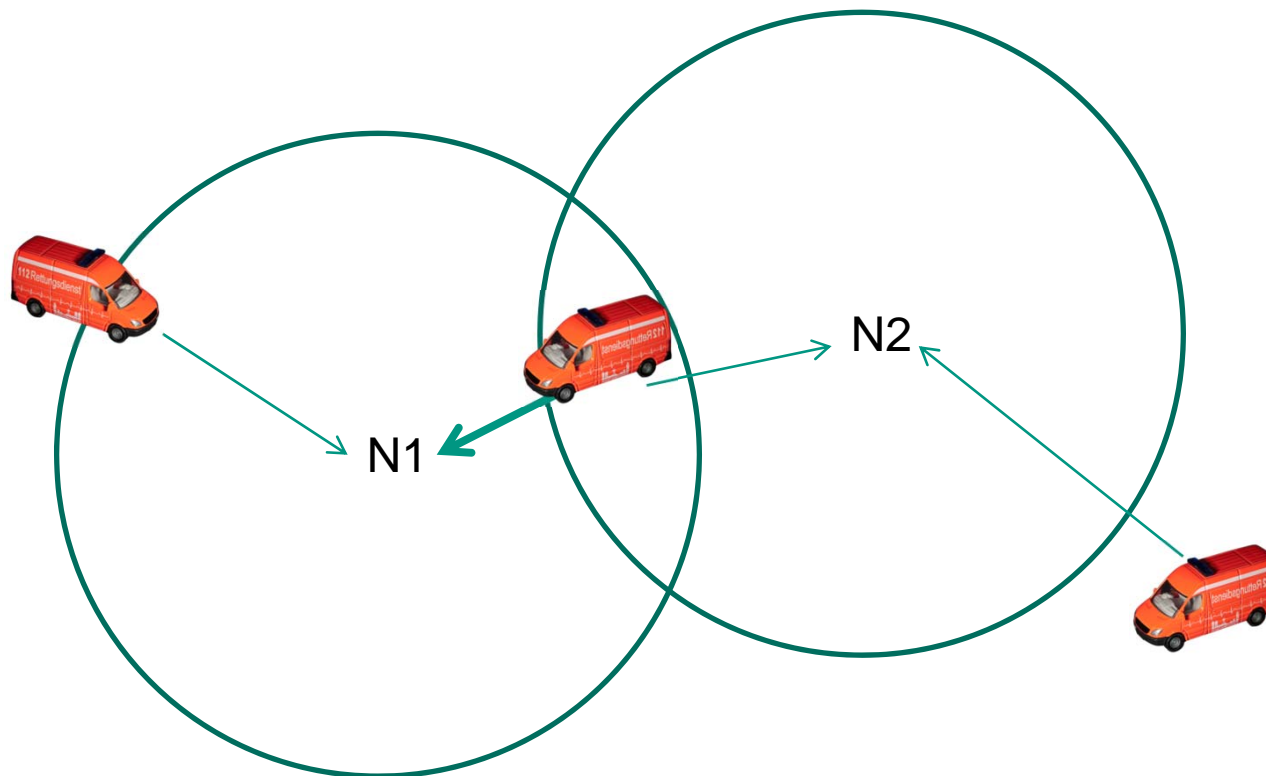
Beispiel (1)

- Bei zwei oder mehr Notrufen parallel: Summe der Fahrzeiten minimal und beide in Hilfsfrist erreicht



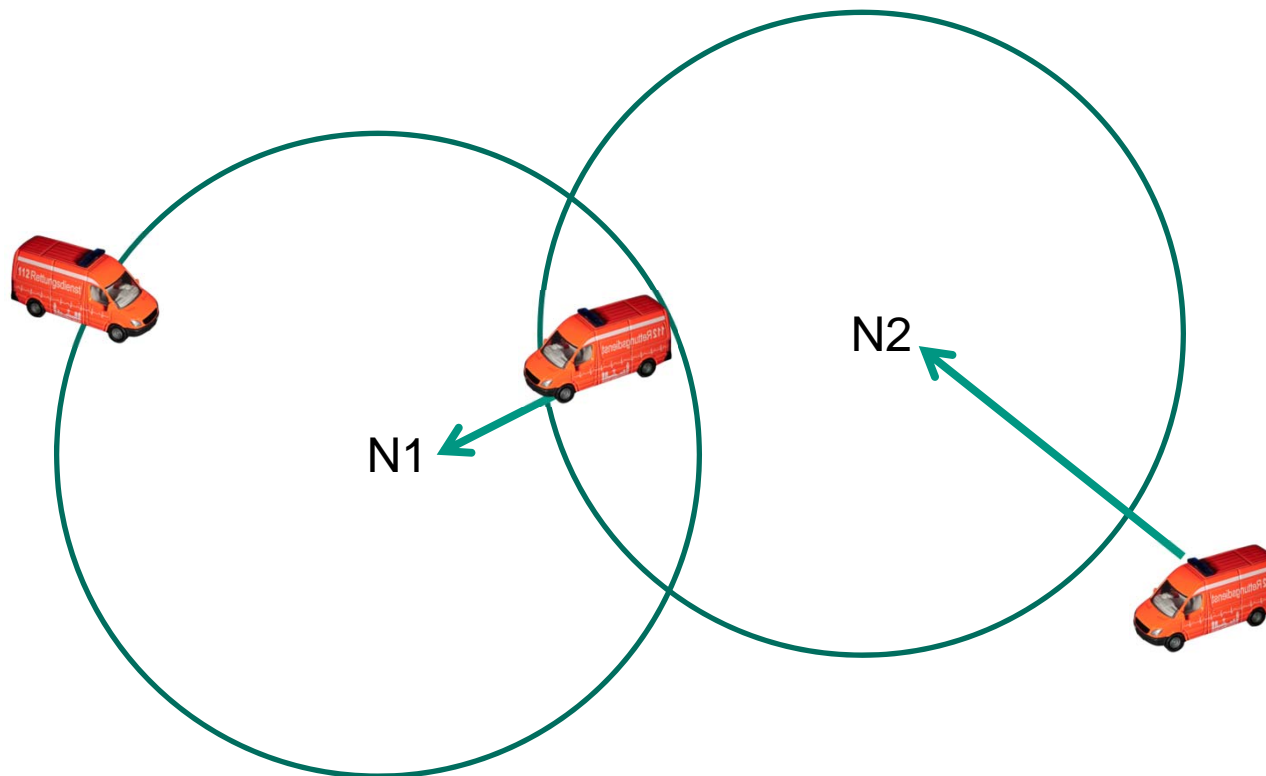
Beispiel (1)

- Bei zwei oder mehr Notrufen parallel: Summe der Fahrzeiten minimal und beide in Hilfsfrist erreicht



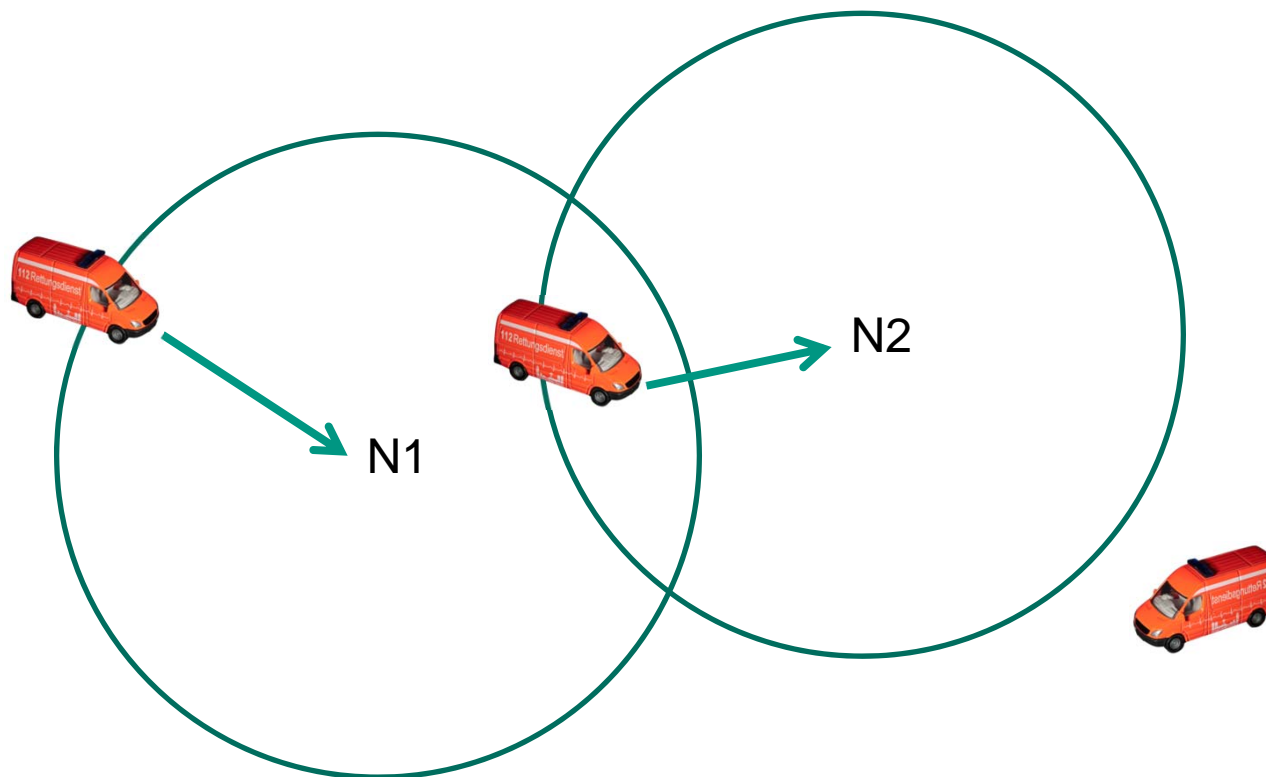
Beispiel (1)

- Bei zwei oder mehr Notrufen parallel: Summe der Fahrzeiten minimal und beide in Hilfsfrist erreicht



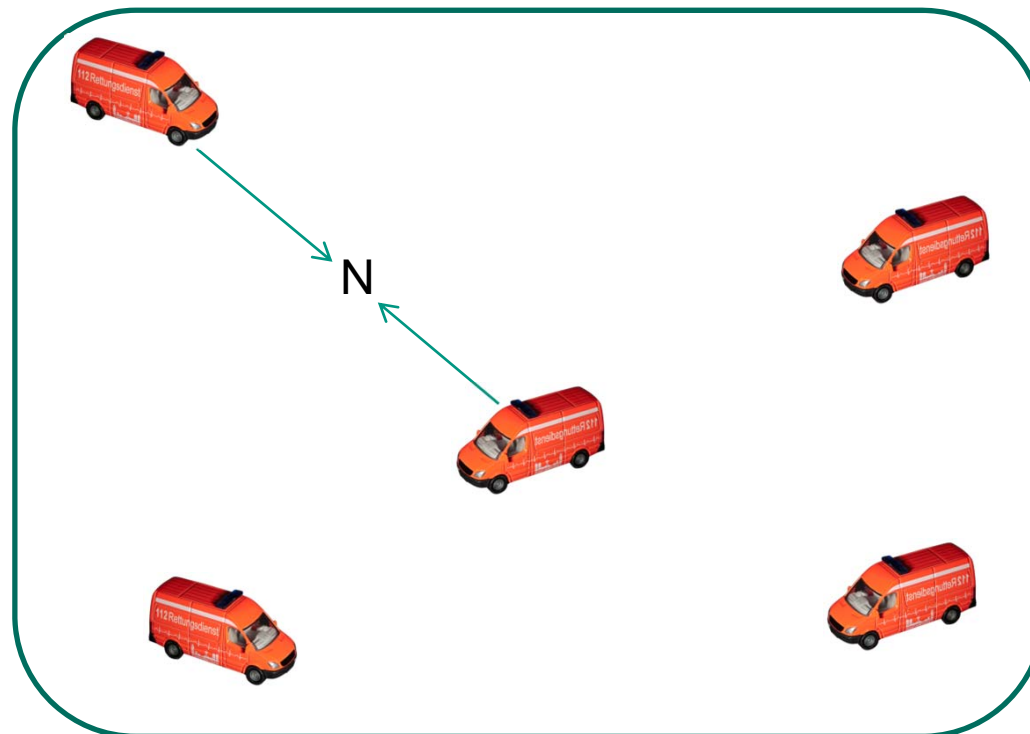
Beispiel (1)

- Bei zwei oder mehr Notrufen parallel: Summe der Fahrzeiten minimal und beide in Hilfsfrist erreicht



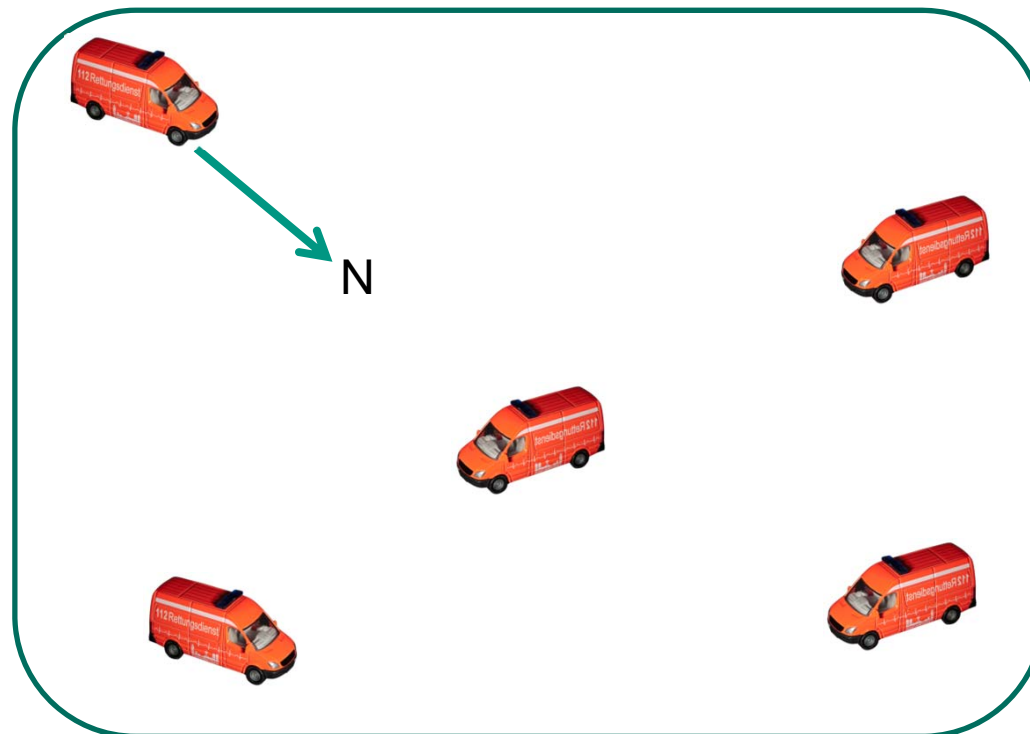
Beispiel (2)

- Zuordnung so, dass allgemeine Abdeckung am wenigsten verschlechtert wird



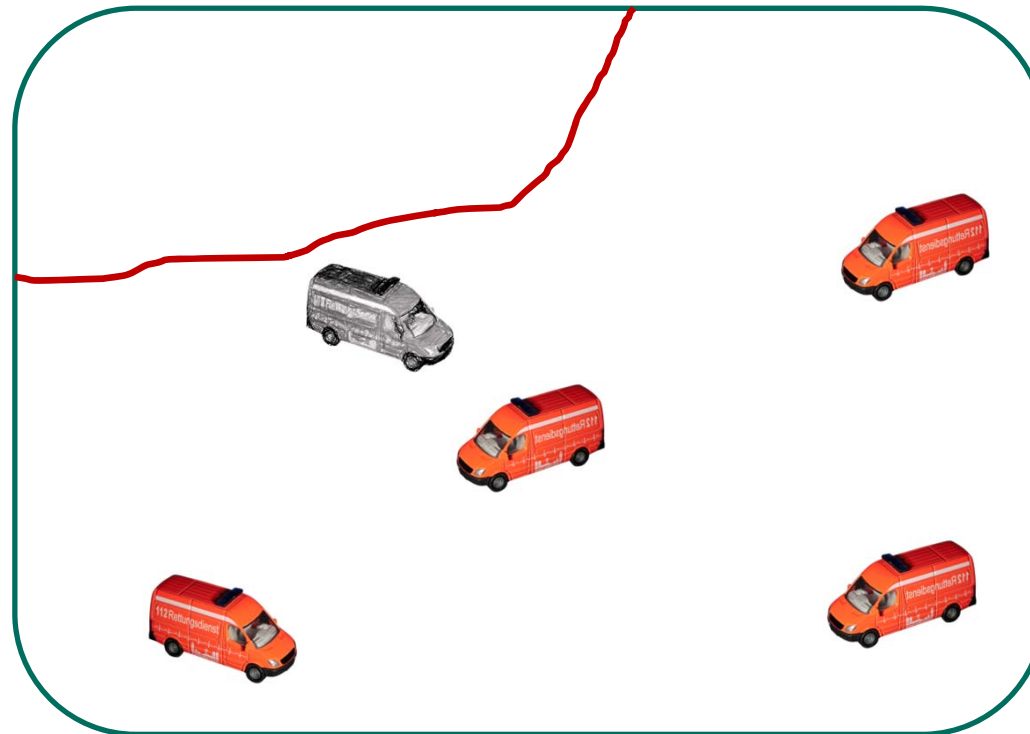
Beispiel (2)

- Zuordnung so, dass allgemeine Abdeckung am wenigsten verschlechtert wird



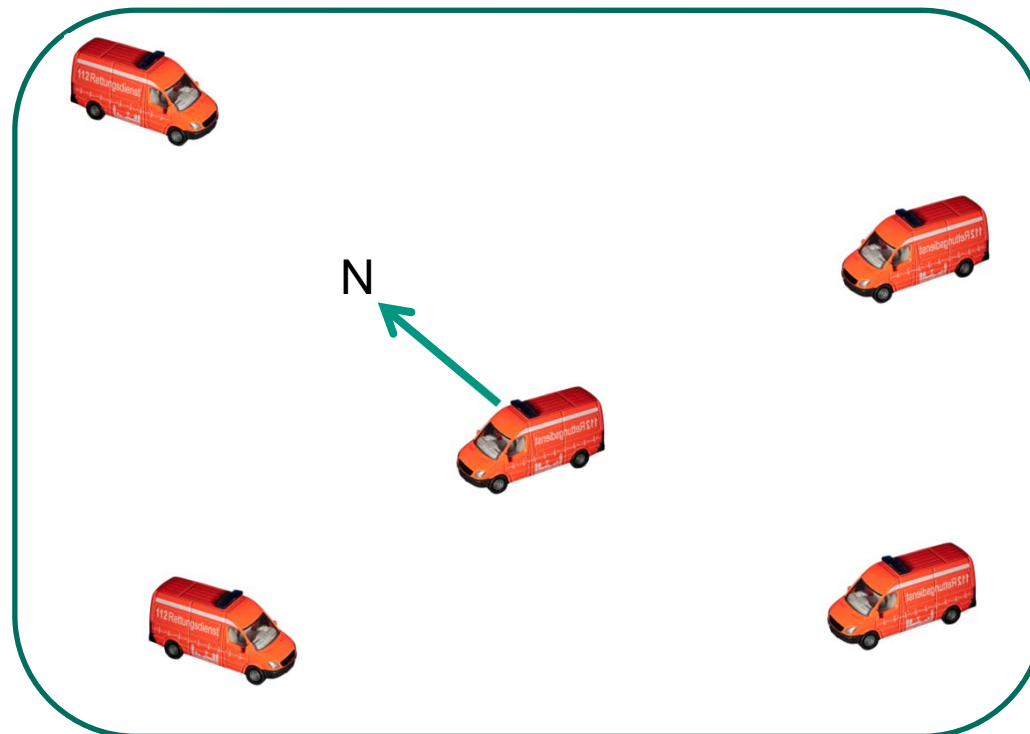
Beispiel (2)

- Zuordnung so, dass allgemeine Abdeckung am wenigsten verschlechtert wird



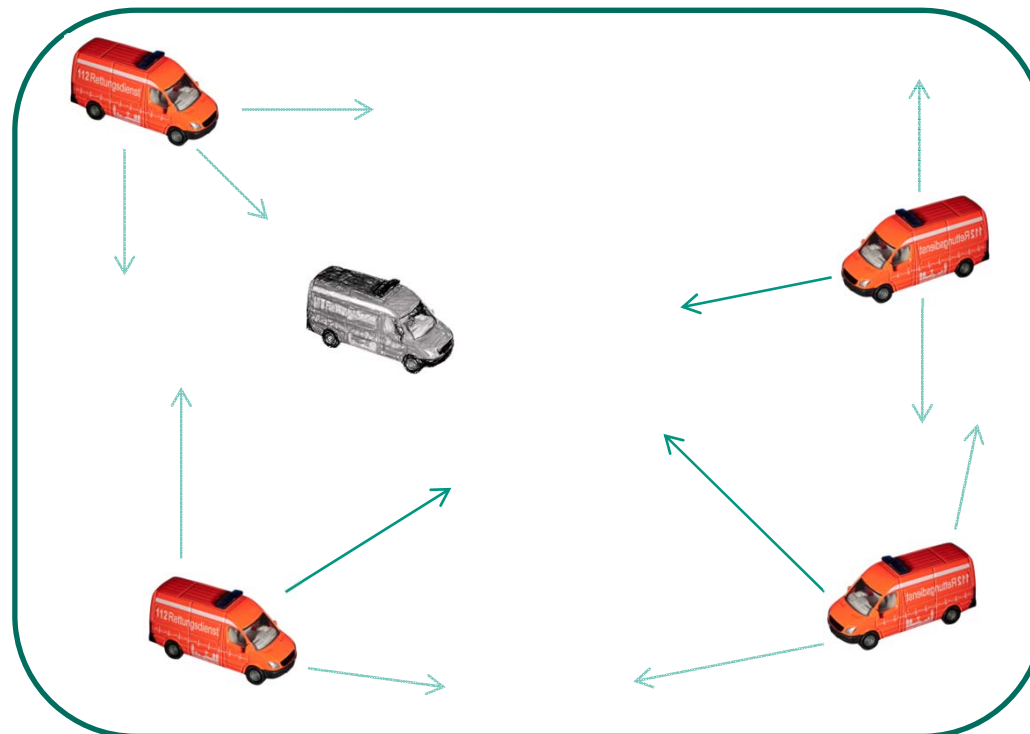
Beispiel (2)

- Zuordnung so, dass allgemeine Abdeckung am wenigsten verschlechtert wird



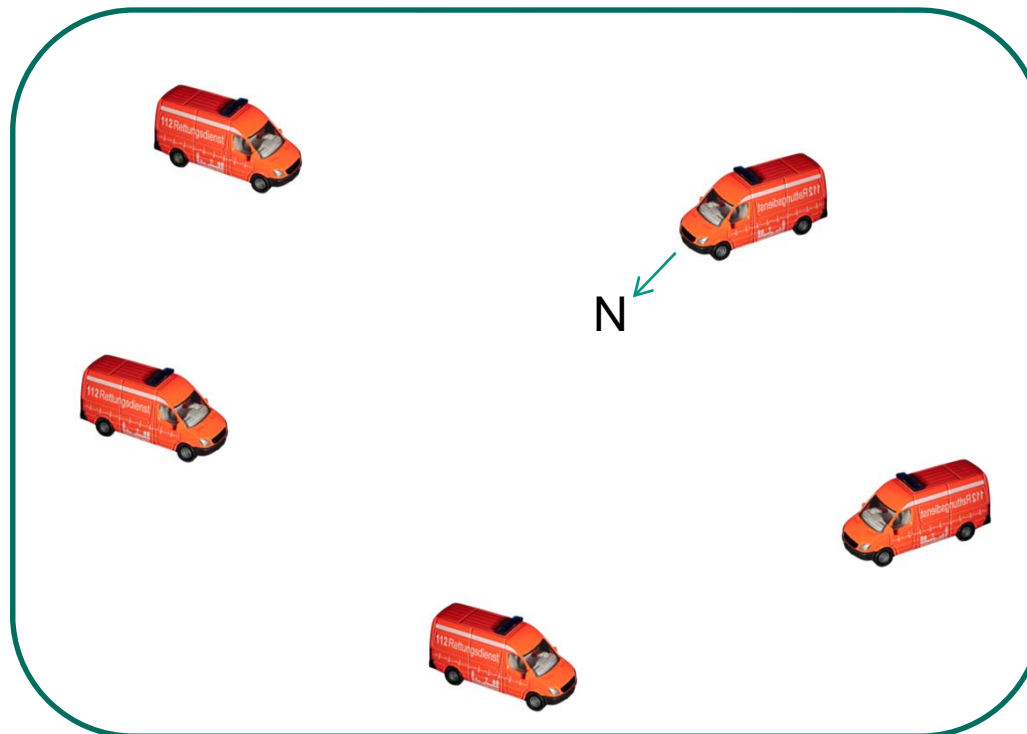
Beispiel (2)

- Zuordnung so, dass allgemeine Abdeckung am wenigsten verschlechtert wird



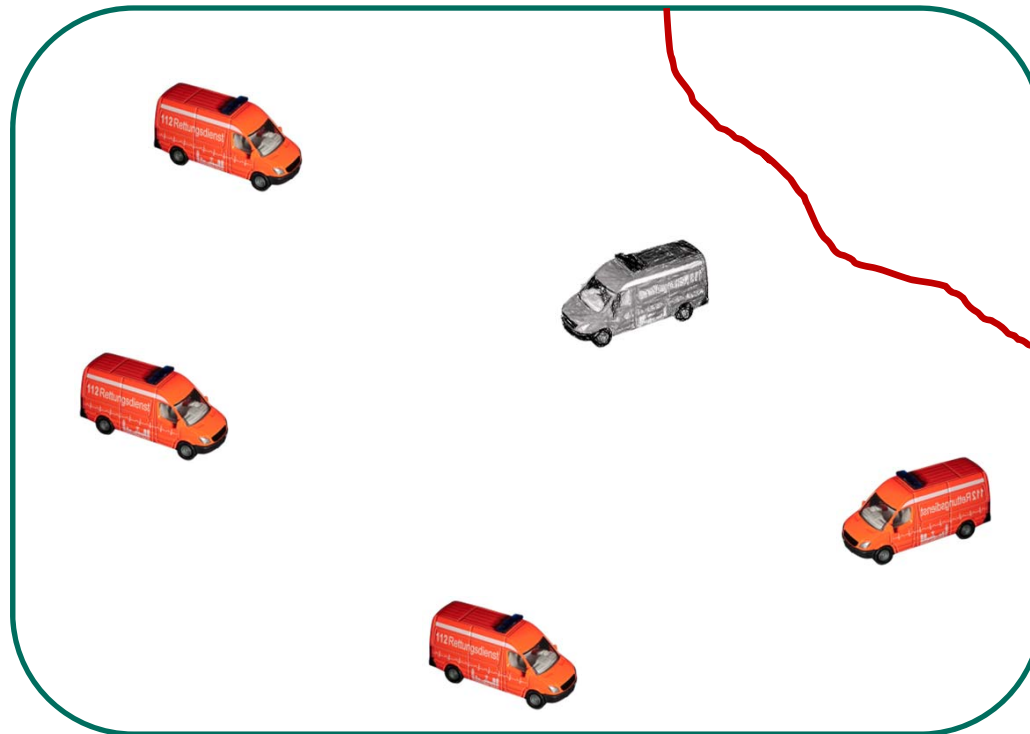
Standortwechsel

- Allgemeiner Ansatz
 - Zuordnung eines Rettungswagens kann Umplatzierung eines anderen im Hinblick auf die Gesamtabdeckung bedingen



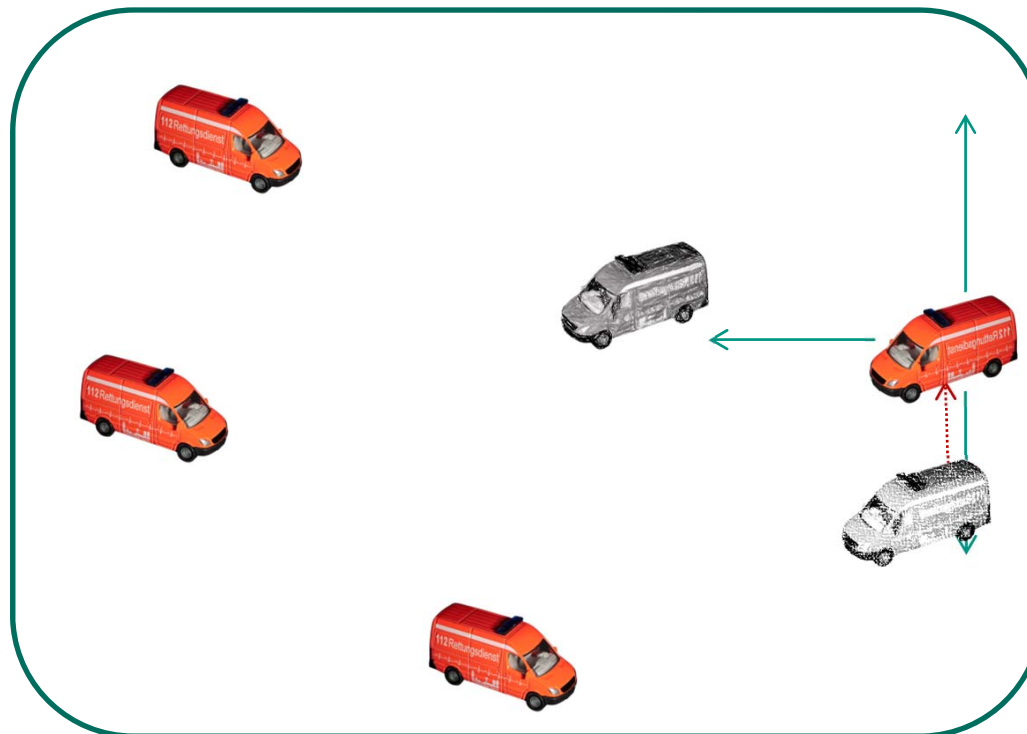
Standortwechsel

- Allgemeiner Ansatz
 - Zuordnung eines Rettungswagens kann Umplatzierung eines anderen im Hinblick auf die Gesamtabdeckung bedingen



Standortwechsel

- Allgemeiner Ansatz
 - Zuordnung eines Rettungswagens kann Umplatzierung eines anderen im Hinblick auf die Gesamtabdeckung bedingen



Standortwechsel

- Idee

- Ort häufig auftretender Notfälle für bestimmte Zeit als Standort wählen



Standortwechsel

- In Ländern wie Kanada bereits umgesetzt, erste Ansätze auch in Deutschland (Hessen)

- Frage
 - Lässt es sich auf ganz Deutschland übertragen oder ist das System mit festen Standorten (hier) besser?

Zusammenfassung

- Einblick in das System Rettungsdienst am Beispiel Baden-Württemberg

- Rettungsdienstplanung
 - 3 große Teilprobleme betrachtet
 - Einsatz von OR-Methoden möglich

- Standorte von Rettungswagen können mit stochastischer Programmierung bestimmt werden

- Wichtig für die Zukunft
 - Auf Zusammenarbeit mit Leitstellen und Verantwortlichen angewiesen

Literatur

- Qualitätsbericht Rettungsdienst Baden-Württemberg, 2009.
- Rettungsdienstgesetz Baden-Württemberg, Fassung vom 8.2.2010.
- L. Brotcorne, G. Laporte, F. Semet, „Ambulance location and relocation models“, European Journal of Operational Research 147 (2003) 451–463.
- V. Marianov, S. ReVelle, „Siting emergency services“, in: Z. Drezner (Ed.), Facility Location: A Survey of Applications and Methods, Springer, Heidelberg, 1995, pp. 199–223.
- H. Behrendt, R. Schmiedel, „Ermittlung der bedarfsgerechten Fahrzeugvorhaltung im Rettungsdienst“, Notfall & Rettungsmedizin 5 (2002) 190–203.
- Toregas, C.R., Swain, R., ReVelle, C.S., Bergman, L., „The location of emergency service facilities“, Operations Research 19 (1971) 1363–1373.

Standortplanung

■ Literatur

■ Deterministische Modelle

- Einfache Abdeckung
- Mehrfache Abdeckung

■ Probabilistische Modelle

- Häufig: Rettungswagen ist mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit bereits im Einsatz und kann so nicht zugeordnet werden

■ Aktuelle Planung in Baden-Württemberg

■ Standortbestimmung

- Einfache Abdeckung

■ Festlegung Anzahl Rettungswagen

- Poisson-Verteilung
- „Extremfälle“ mit bestimmter Wahrscheinlichkeit abgedeckt