

28 Der Krankenwagen trifft in 15 Minuten ein

Wie viele Krankenwagen werden benötigt, um sicherzustellen, dass niemand länger als 15 Minuten auf die Notfallversorgung warten muss? Ein mathematisches Modell von 1909 bietet eine Lösung für dieses Problem der Personaleinsatzplanung.



Bei dringenden und lebensbedrohlichen Situationen, wie Verkehrsunfällen und Herzinfarkten, muss innerhalb von fünfzehn Minuten nach der Meldung 112 ein Krankenwagen vor Ort sein. Für nicht lebensbedrohliche Situationen, wie z.B. ein gebrochenes Bein, gibt es eine maximale Annäherungszeit von einer halben Stunde.

Aber das ist alles leichter gesagt als getan. Wie viele Krankenwagen benötigt eine Stadt oder Region, um diese Anforderungen zu erfüllen? Wenn die Hälfte der Krankenwagen den ganzen Tag nichts zu tun hat, sind es eindeutig zu viele. Wenn aber die Hälfte der Krankenwagen standardmäßig zu spät kommt, gibt es eindeutig zu wenig Krankenwagen. Wo ist also das Optimum? Und wo können diese Krankenwagen am besten sein? Sicherlich nicht alle auf einem Haufen, aber vielleicht nicht alle so weit voneinander entfernt wie möglich.

Zeitlose Mathematik

Um die optimale Anzahl von Krankenwagen zu bestimmen, braucht man zwei wichtige Parameter. Dies ist die Anzahl der pro Minute eingegangenen Anrufe und die Dauer, die ein Krankenwagen zu einer bestimmten Tageszeit besetzt ist. Ambulanzdienste sammeln kontinuierlich Daten zu diesem Thema. Mathematiker können diese Daten nutzen, um die Ambulanzplanung zu optimieren.

Am einfachsten lässt sich die optimale Anzahl der Krankenwagen mit Hilfe einer Formel ermitteln, die der dänische Mathematiker Agner Erlang in zwei Artikeln 1909 und 1917 aufgestellt hat: der *Erlang-C-Formel*. Erlang entwarf mittels Wahrscheinlichkeitstheorie die Formel für die damals aufkommenden Festnetz-Telefondienste. In seiner ersten Arbeit 1909¹² wies er nach, dass zufällig verteilte Telefonanrufe dem *Poissonschen Verteilungsgesetz* folgen. Abhängig von der Anzahl der zu erwartenden Telefongespräche pro Minute und der durchschnittlichen Gesprächsdauer bestimmte er die Anzahl der benötigten Telefonleitungen so, dass die Wahrscheinlichkeit, dass jemand nicht anrufen kann, unter einem bestimmten Qualitätswert liegt. Seine zweite Arbeit¹³ enthielt Formeln für Verlust und Wartezeit („Erlang-B“ und „Erlang-C“), die heute in der Theorie des Telefonverkehrs bekannt sind.

Das Schöne ist, dass dieselbe Formel von 1909/1917 heute in vielen verschiedenen Bereichen angewendet werden kann: von der Bestimmung der Anzahl der in einem Mobilfunknetz benötigten Masten über die Bestimmung der Netzkapazität für Video-Streaming bis hin zur Bestimmung der optimalen Anzahl von Krankenwagen oder der Anzahl von Mitarbeitern in einem Call-Center, um ein maximal-akzeptable Wartezeit der Kunden (ein sog. Service-Level) zu garantieren. Dies zeigt auf wunderbare Weise die Zeitlosigkeit der Mathematik.

Schattenplanung

Forscher arbeiten eng mit den Menschen vor Ort zusammen: mit Rettungsdiensten, Feuerwehren und Polizeikräften. Sie haben eine Software gebaut, mit der sie ein Jahr lang einen Schattenplan führen konnten. In dieser Schattenplanung sahen sie ihre eigene manuelle Planung, unsere mathematisch berechnete Planung und den realen Einsatz von Krankenwagen. Nach einem Jahr kamen sie zu dem Schluss, dass ihre Planung genauer war als die der Rettungsdienste. Das bedeutet, dass sie mit der gleichen Anzahl von Krankenwagen und Personen mehr Qualität bieten oder die gleiche Qualität zu geringeren Kosten liefern können.

Die Wissenschaftler machen ihre mathematischen Modelle immer realistischer und ausgefeilter. Ein neuer Zweig dabei ist das dynamische Ambulanzmanagement. In der Regel kehren Krankenwagen nach einem dringenden Auftrag an einen festen Standort zurück. Im Allgemeinen ist es für das Dienstleistungsgewerbe besser, Krankenwagen nicht an einen festen Standort zurückzuschicken, sondern zu ermitteln, welcher der zu diesem Zeitpunkt günstigste vorübergehende Warteort ist. Dies hängt davon ab, wo sich die anderen Krankenwagen zu diesem Zeitpunkt befinden und von der zu erwartenden Anzahl von Katastrophen an einem bestimmten Ort.

Was mathematisch gesehen optimal ist, muss in der Praxis jedoch nicht immer machbar sein. Mathematisch gesehen müsste man alle Krankenwagen nach jedem Notruf ein

¹²A.K. Erlang, *The Theory of Probabilities and Telephone Conversations*, Nyt Tidsskrift for Matematik B, vol 20, 1909.

¹³A.K. Erlang, *Solution of some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges*, Elektroteknikerens, vol 13, 1917.

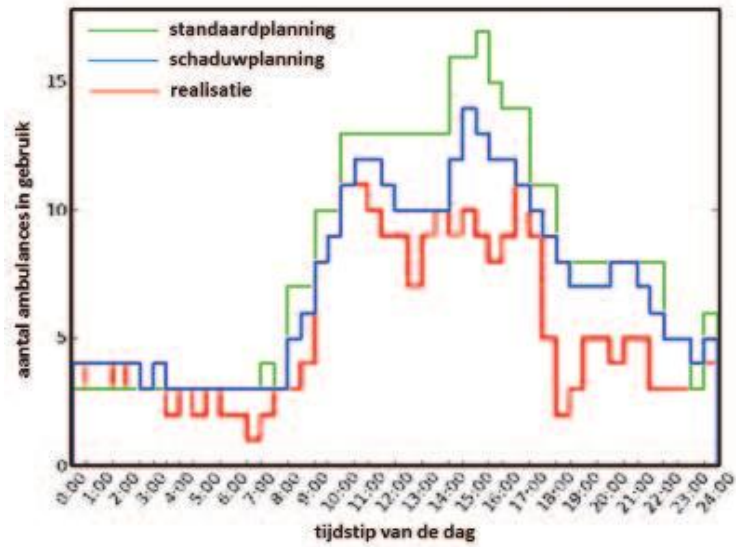


Abbildung 37: Die mathematisch berechnete Schattenplanung funktioniert besser als die in der Praxis verwendete Planung.

wenig zur Einsatzzentrale umziehen, aber das ist natürlich auch unerwünscht. Durch Rücksprache mit Menschen in der täglichen Praxis werden die Modelle so genau wie möglich auf deren Bedürfnisse, wie etwa Pausenzeiten, oder die Heterogenität der Mitarbeiter abgestimmt.