



Springer

Dear Author:

Please find attached the final pdf file of your contribution, which can be viewed using the Acrobat Reader, version 3.0 or higher. We would kindly like to draw your attention to the fact that copyright law is also valid for electronic products. This means especially that:

- You may not alter the pdf file, as changes to the published contribution are prohibited by copyright law.
- You may print the file and distribute it amongst your colleagues in the scientific community for scientific and/or personal use.
- You may make an article published by Springer-Verlag available on your personal home page provided the source of the published article is cited and Springer-Verlag is mentioned as copyright holder. You are requested to create a link to the published article in LINK, Springer's internet service. The link must be accompanied by the following text: The original publication is available on LINK **<http://link.springer.de>**. Please use the appropriate URL and/or DOI for the article in LINK. Articles disseminated via LINK are indexed, abstracted and referenced by many abstracting and information services, bibliographic networks, subscription agencies, library networks and consortia.
- You are not allowed to make the pdf file accessible to the general public, e.g. your institute/your company is not allowed to place this file on its homepage.
- Please address any queries to the production editor of the journal in question, giving your name, the journal title, volume and first page number.

Yours sincerely,

Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Sicherheit und Risiko

Ein methodenorientierter Beitrag zur risikoabhängigen Fahrzeugbemessung für die Notfallversorgung

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersucht die Validität des Verfahrens der so genannten risikoabhängigen Fahrzeugbemessung, mit dessen Hilfe regelmäßig die bedarfsgerechte Rettungsmittelvorhaltung für die Notfallversorgung ermittelt wird. Über 3 Jahre wurden Einsatzdaten eines städtischen Versorgungsbereiches (7.801 Einsatzfahrten) erhoben. Die mittels risikoabhängiger Fahrzeugbemessung auf Basis der Poisson-Verteilung ermittelten Kennwerte der Bediensicherheit wurden mit dem in diesem Zeitraum tatsächlich beobachteten Sicherheitsniveau auf der Grundlage der Realdaten in den Zeitkategorien mit hoher und niedriger Einsatzintensität verglichen. In den Zeiträumen hoher wie auch niedriger Einsatzintensität überschätzt das mittels risikoabhängiger Fahrzeugbemessung ermittelte Sicherheitsniveau das empirisch mittels Realdaten erfasste Sicherheitsniveau signifikant. Die Methodenanalyse der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung belegt einen systematischen Fehler bei zeitintervallüberschreitender Einsatzdauer. Daraus kann gefolgert werden, dass nur durch einen Multi-Methoden-Ansatz die Defizite theoretisch-mathematischer Modelle überwunden und unrealistische Prognosen, die zu einem zu geringen Sicherheitsniveau führen, vermieden werden können.

Schlüsselwörter

Risikoabhängige Fahrzeugbemessung · Validität · Simulation · Poisson-Verteilung

Rettungswesen und Notfallmedizin haben in den vergangenen Jahren weitreichende Änderungen erfahren. Dabei ist vor allem die Notwendigkeit zum Kompromiss zwischen der Maximalforderung an Ausstattung, Personal und Qualifikation und dem finanziell Mach- bzw. Vertretbaren in den Vordergrund gerückt. Vor diesem Hintergrund erhält die Validität der Methoden zur Bemessung von Human- und Kapitalressourcen eine besondere Bedeutung. Konkret bezieht sich das auf die Frage nach der Anzahl der vorzuhaltenden Rettungsmittel oder die Bemessung von Planstellen.

„Die Rettungsmittelvorhaltung muss sich nicht am durchschnittlichen Einsatzaufkommen, sondern an der Spitzenbelastung orientieren.“

Mittlerweile ist unbestritten, dass sich die Bemessung der Rettungsmittelvorhaltung für die Notfallversorgung nicht am durchschnittlich zu erwartenden Einsatzaufkommen orientieren darf. Aus der Aussage, dass täglich im Durchschnitt x Einsätze eintreten, lassen sich keine begründeten Sollkonzeptionen für die Bemessung ableiten. Wichtiger als die Berücksichtigung des durchschnittlichen Einsatzgeschehens ist nach dieser Ansicht die der Spitzenbelastung, bei der das Auftreten mehrerer zeitgleicher Einsätze – der so genannte *Duplizitäts-* bzw. *Simultanitätsfall* – zu bewältigen ist [10]. Das entspricht der Forderung, auch die Besetzung der Leitstellen nicht ausschließlich unter Zugrundelegung des

Normal- bzw. Regelfalls, sondern unter Berücksichtigung von Sonderfällen zu planen [7].

Das im Handbuch des Rettungswesens beschriebene Verfahren zur bedarfsgerechten Bemessung der Rettungsmittelvorhaltung für die Notfallversorgung geht davon aus, dass der Umfang der gleichzeitigen Verfügbarkeit an Notfallrettungsmitteln für verschiedene Sicherheitsniveaus anhand statistischer Gesetzmäßigkeiten bestimmt werden kann und legt dabei standardmäßig die diskrete Verteilungsfunktion nach Poisson zugrunde [10]. Auf diese Methode der so genannten *risikoabhängigen Fahrzeugbemessung* wird auch in dem Nachweisverfahren zur zweckmäßigsten Organisationsform verwiesen, das im vorläufigen Rettungsdienstplan des Landes Hessen formuliert ist [12].

Ziel der vorliegenden Studie ist es, dieses Verfahren zur Bemessung der Rettungsmittelvorhaltung einer Prüfung zu unterziehen. Dazu wurden die Einsatzdaten eines Rettungsdienstbereiches über 3 Jahre vollständig ausgewertet. Nach der Darstellung des methodischen Vorgehens, in der auch die theoretischen Grundlagen der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung beschrieben werden, werden die über dieses Verfahren ermittelten Kennwerte mit den empirischen Kennwerten verglichen.

Michael Rau
RUN – Rettungswesen und Notfallmedizin
GmbH, Schulstraße 10, 35037 Marburg,
E-Mail: rau@run-gmbh.de

The validity of the method of risk-dependent calculation of emergency response units

Abstract

The study was designed to examine the validity of the so-called method of risk-dependent calculation of emergency response units. This method has often been used for estimating the number of EMS units required. Over a three-year period all emergency responses in an urban district were evaluated. The level of safety was calculated by the method of risk-dependent calculation of emergency response units, based upon the Poisson distribution. Two different clusters of high and low intensity of EMS calls were chosen to compare them theoretically to the empirically derived distributions. The results from the method of risk-dependent calculation of emergency response units significantly overestimated the level of safety in both clusters. When analysing the method of risk-dependent calculation of emergency response units, a systematic failure caused by time-intervals exceeding responses was found. In conclusion only a combination of different methods provides a realistic prognoses for the number of EMS units required and helps to avoid low levels of safety.

Keywords

Risk-dependent calculation ·
Emergency response units · Validity ·
Poisson distribution · Simulation

Methode

Datengrundlage

Von Mai 1996 bis Mai 1999 wurden die Daten eines bundesdeutschen Rettungsdienstbereiches mit insgesamt 1.263 km² Fläche und ca. 253.000 Einwohnern vollständig erhoben (Bevölkerungsdichte \approx 200 EW/km²). Gemäß der Klassifizierung der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung ist die betreffende Region als *verstädterter Raum mittlerer Dichte ohne große Oberzentren* einzustufen [2].

Für die risikoabhängige Bemessung der Rettungsmittelvorhaltung werden ausschließlich Notfalleinsätze berücksichtigt, bei denen die Anfahrt unter Verwendung von Sonderrechten erfolgt ist. Nur diese Einsätze müssen unmittelbar bedient werden, sodass sich die entsprechende Rettungsmittelvorhaltung in einem ersten Schritt auch nur an diesen Anforderungen orientieren muss. Die Bemessung der bedarfsgerechten Rettungsmittelvorhaltung zur Durchführung von Notfalleinsätzen ohne Sonderrechte und von Krankentransporten erfolgt frequenzabhängig [8]. Die frequenzabhängige Rettungsmittelbemessung orientiert sich nicht am Simultanitätsfall, sondern am innerhalb eines Zeitintervalls maximal zu bedienenden Einsatzaufkommen.

Die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsmodelle werden für die konkrete Planung der Vorhaltung zusammenfassend bewertet. Da die vorliegende Studie auf die Validität der risikoabhängigen Berechnungsvorschrift fokussiert, bleiben an dieser Stelle konkrete Fragen der Rettungsmittelvorhaltung und damit die frequenzabhängige Bemessung unberücksichtigt.

Für die Erhebung wurde auf die Daten des Einsatzleitrechners der zuständigen zentralen Rettungsleitstelle zugegriffen. Dort werden sämtliche Einsatzfahrten im Rahmen von Notfallversorgung und Krankentransport dokumentiert. Die für die vorliegende Untersuchung relevanten Merkmale wurden für den genannten Zeitraum exportiert. Dazu zählen *Einsatzdatum*, *Alarmierungs-*, *Ausrück-* und *Ankunftszeiten*. Diese werden vom Einsatzleitrechner anhand der entsprechenden mittels FMS übermittelten Statusmeldungen der Rettungsmittel aufgezeichnet.

In die Analyse gehen ausschließlich Notfalleinsätze mit Sonderrechten auf der Anfahrt ein, deren Einsatzorte in einem ausgewählten Versorgungsbereich stattgefunden haben. Diese Einschränkung wurde anhand der Merkmale *Einsatzort*, *Anfahrt mit Sondersignal* und *Rettungsmitteltyp* spezifiziert. Als Versorgungsbereich wurde ein Stadtgebiet ausgewählt (ca. 80.000 Einwohner auf 124 km² Fläche, Bevölkerungsdichte \approx 625 EW/km²).

Da die Einsatzintensität über Wochentage und Tageszeiten stark schwankt, werden vor Analyse der Bediensicherheiten mit Hilfe clusteranalytischer Methoden Wochentags- und Tageszeitkategorien mit möglichst homogenem Einsatzgeschehen gebildet. Für jedes dieser Cluster werden die empirischen und theoretischen Kennwerte der Bediensicherheit getrennt ermittelt. Unter dem Begriff der *Bediensicherheit* wird dabei der Anteil der angeforderten Rettungsmittel verstanden, der mit einer definierten Anzahl vorgehaltener Rettungsmittel unmittelbar bedient werden kann. Die Begriffe *Bediensicherheit* und *Sicherheitsniveau* werden synonym gebraucht.

Bemessungsrelevantes Kriterium der Fahrzeugvorhaltung ist die Anzahl der für die Gewährleistung einer ausreichenden notfallmedizinischen Versorgung der Bevölkerung notwendigen Notfallrettungsmittel. Aus diesem Grund bildet in den jetzt folgenden Betrachtungen die *Einsatzfahrt* die Untersuchungseinheit.

Das Modell der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung

Die Berechnungsvorschrift der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung orientiert sich an den mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Poisson-Verteilung. Die Poisson-Verteilung ist die Verteilung seltener Ereignisse. Sie beschreibt die Wahrscheinlichkeit des x -maligen Eintretens eines Ereignisses innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls, wenn die einzelnen Ereignisse zufällig erfolgen. Die Wahrscheinlichkeit für den Fall, dass k Ereignisse in einem fest umschriebenen Zeitintervall eintreten, lässt sich danach mit der in Abb. 1 dargestellten Formel bestimmen.

Die Wahrscheinlichkeiten, dass $k=0, 1, 2, 3$ usw. Ereignisse im Zeitinter-

$$P(k) = \frac{\lambda^k \cdot e^{-\lambda}}{k!} \quad \text{mit } e = \text{natürl. Log. zur Basis } 2,718$$

Die Parameter k und λ sind:

- k = Anzahl der Ereignisse im Zeitintervall
- λ = Ereignisintensität

vall angefordert werden, kann damit allein durch den Parameter λ bestimmt werden. Der Parameter λ ist gleichzeitig Mittelwert und Varianz einer poissonverteilten zufälligen Variable. Treten z. B. durchschnittlich 12 Ereignisse am Tag auf, so ergibt sich pro Stunde eine Ereignisrate von $\lambda=0,5$.

Wichtig zu beachten ist an dieser Stelle, dass noch keine Aussagen über das *gleichzeitige* Auftreten der Ereignisse gemacht wurden. Mehrmaliges Auftreten ist zu unterscheiden von gleichzeitigem Auftreten. Mehrmaliges Auftreten beinhaltet nicht notwendiger Weise den Fall, dass die Ereignisse sich überlappen. Das Zeitintervall innerhalb dessen mehrere Ereignisse als *gleichzeitig* gelten sollen, wird Gleichzeitigkeitsintervall genannt. Als Intervallgröße wird die durchschnittliche Einsatzdauer der Notfalleinsätze herangezogen. Indem dieses Gleichzeitigkeitsintervall gleich der durchschnittlichen Einsatzdauer gesetzt wird, soll sichergestellt werden, dass die Wahrscheinlichkeitswerte der Poisson-Verteilung den Simultanitätsfall abschätzen:

Wie wahrscheinlich ist es, dass ein oder mehrere Einsätze angefordert werden, solange ein Einsatz noch bedient werden muss?

Ergebnisse

In dem Erhebungszeitraum wurden durch das Einsatzleitsystem insgesamt 91.231 RTW-, KTW- und NEF-Einsatzfahrten dokumentiert. Davon waren 16.067 Fahrten von NEF. Von den verbleibenden 75.164 Fällen waren 20.388 Einsatzfahrten mit Sonderrechten, von denen wiederum 7.846 in dem ausgewählten Stadtgebiet stattgefunden haben. In 45 Fällen war die Einsatzdauer nicht dokumentiert. In den verbleibenden 7.801 verwertbaren Fällen beträgt die durchschnittliche Einsatzdauer vom Zeitpunkt des Ausrückens bis zum Status Freimeldung 64,8 min ($s=43,8$).

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Clusteranalyse zur Bildung der Wochentags- und Tageszeitkategorien dargestellt. Anschließend werden die Resultate der risikoabhängigen

Fahrzeugbemessung aufgezeigt und mit den empirisch beobachteten Häufigkeiten simultaner Einsatzereignisse verglichen.

Ergebnisse der Clusteranalyse

Mithilfe der Methode der Clusteranalyse wurden die Stundenintervalle 0:00–0:59, 1:00–1:59, 2:00–2:59 usw. für jeden Wochentag in Gruppen ähnlicher Einsatzintensität zusammengefasst. Darüber hinaus wurden Clusteranalysen berechnet, in denen neben der Einsatzintensität das Merkmal *Einsatzdauer* als Klassifikationsvariable berücksichtigt wurde. Da die Ergebnisse nahezu deckungsgleich ausfallen, haben wir uns an dieser Stelle für die Darstellung der einfacheren Lösung mit nur einer Klassifikationsvariablen (Einsatzintensität) entschieden.

Aus 7 Wochentagen, der Tageskategorie Feiertag und 24 Stundenintervallen pro Tag resultieren insgesamt 192 Stundenintervalle. Als clusteranalytisches Verfahren wurde die Ward-Methode gewählt, die als hierarchisch-agglomeratives Verfahren von der kleinsten Partitionierung ausgehend – jedes Stundenintervall bildet eine Gruppe – die Anzahl der Gruppen schrittweise verringert, bis alle Stundenintervalle in ei-

ner Gruppe zusammengefasst sind [5,11]. In jedem dieser Schritte werden jeweils diejenigen Stundenintervalle zusammengefasst, die sich hinsichtlich ihrer Einsatzintensität am ähnlichsten sind.

Die zunehmend geringere Differenzierung der Gruppen lässt sich zahlenmäßig abbilden und dient als Entscheidungskriterium für eine geeignete Anzahl von Clustern: ein „Knick“ in dem Fehlerzuwachs markiert Fusionsstufen, die mit einem vergleichsweise hohen Verlust an Homogenität verbunden sind. In Abbildung 2 wird deutlich, dass der Verlauf des Fehlers die 2-, 3- oder 5-Clusterlösung nahe legt. Aus Gründen der besseren Übersicht wurde die 3-Clusterlösung als geeignete Einteilung gewählt, die einen Kompromiss zwischen der zu groben 2- und der zu unübersichtlichen 5-Clusterlösung darstellt.

Die 3-Clusterlösung weist die in Tabelle 1 angeführten Kennwerte auf. Die weitere Darstellung beschränkt sich auf die Wochentage Montag bis Freitag. Aus der zeitlichen Verteilung der Cluster über diese Tage wird deutlich, dass insbesondere die Tagesintervalle 10:00–20:59 Uhr und 1:00–6:59 Uhr große Gruppen homogener Einsatzintensitäten darstellen (Abb. 3). Die folgende Gegenüberstellung der über die Poisson-Verteilung ermittelten theoretischen Kennwerte der Bediensicherheit mit den real beobachteten Häufigkeiten simultaner Einsätze konzentriert sich deshalb auf diese beiden Tageszeitintervalle mit niedriger (Cluster 1) und hoher (Cluster 3) Einsatzintensität.

Abb.1 ◀ **Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens von k Ereignissen nach der Poisson-Verteilung**

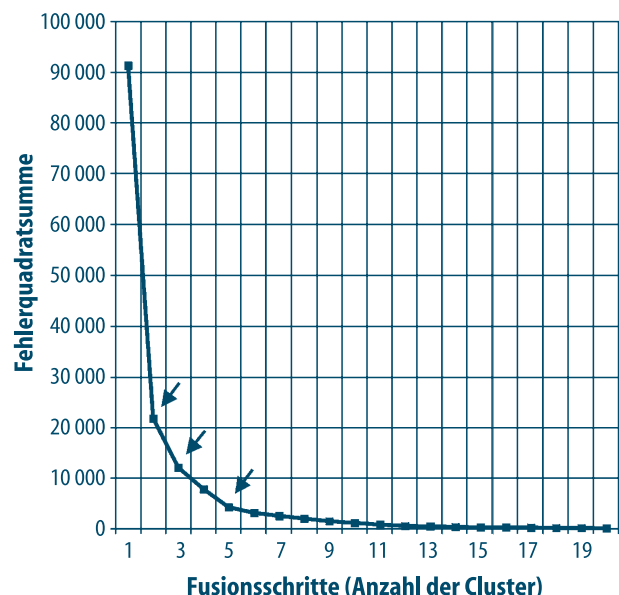


Abb.2 ▶ **Fehlerverlauf der Fusionsschritte 20 bis 1**

Tabelle 1

Kennwerte der 3-Clusterlösung

Cluster	Intensität	Durchschnittliche Einsätze [/h]	Einsatzzahl	Durchschnittliche Einsatzdauer [h]	Intervalle
1	Niedrig	16,6	1230	1,1	74
2	Mittel	41,4	1409	1,2	34
3	Hoch	61,5	5162	1,0	84
Total		40,6	7801	1,1	192

Risikoabhängige Fahrzeugbemessung – theoretische Häufigkeiten simultaner Einsätze

In der Kategorie Werktag, 10:00–20:59 Uhr mit hoher Einsatzintensität haben insgesamt 3.558 Einsatzfahrten stattgefunden. Mit 775 Werktagen im Beobachtungszeitraum entspricht das einer Einsatzintensität von 0,42 Fahrten pro Stunde. Die durchschnittliche Einsatzdauer beträgt 62,9 min. Daraus resultiert ein Parameter $\lambda=0,4374$ im Gleichzeitigkeitsintervall. In der Kategorie niedriger Einsatzintensität haben 678 Einsatzfahrten stattgefunden. Aus einer durchschnittlichen Einsatzdauer von 66,5 min resultiert ein Parameter $\lambda=0,1385$ Einsätze im Gleichzeitigkeitsintervall.

Mit diesen Parametern wurde die Bediensicherheit berechnet, d. h. der Anteil der Einsätze, die mit einer festgesetzten Anzahl von $x=k$ Rettungsmitteln ohne Wartezeit bedient werden können. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt.

Vergleich der theoretischen mit den empirischen Häufigkeiten simultaner Einsätze

Zur Bestimmung der Validität der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung wurden die tatsächlichen Häufigkeiten simultaner Einsatzfahrten in dem Beob-

achtungszeitraum bestimmt. Mithilfe eines speziellen Auswertungsmoduls wurden dazu die Notfalleinsätze aller Wochentags- und Tageszeitkategorien in der Reihenfolge ihres zeitlichen Auftretens geordnet und hinsichtlich ihrer Simultanität analysiert. Dabei wurde die Einsatzdauer jedes Einsatzes vom Zeitpunkt des Ausrückens bis zum Status der Freimeldung zugrunde gelegt.

Die absolute Anzahl simultaner Einsatzanforderungen ist der grundlegende Parameter der Bemessung der Bediensicherheit. Als simultan gelten Einsatzanforderungen, die eintreffen solange ein oder mehrere Einsätze noch nicht abgeschlossen wurden.

Für die gegenüberstellende Bewertung der Häufigkeit simultaner Einsatzfahrten wurden anschließend nur die beschriebenen Wochentags- und Tageszeitkategorien berücksichtigt. Tabelle 2 enthält die empirischen Häufigkeiten in den betrachteten Kategorien hohe und niedrige Einsatzintensität.

Bevor die empirischen Kennwerte simultaner Einsatzfahrten mit den theoretischen Kennwerten der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung verglichen werden, wurde geprüft, ob die empirischen Daten tatsächlich einer Poisson-Verteilung entstammen. Für beide Einsatzkategorien widerspricht der Chi²-Anpassungstest dieser Annahme (hohe Einsatzintensität mit den Kategorien

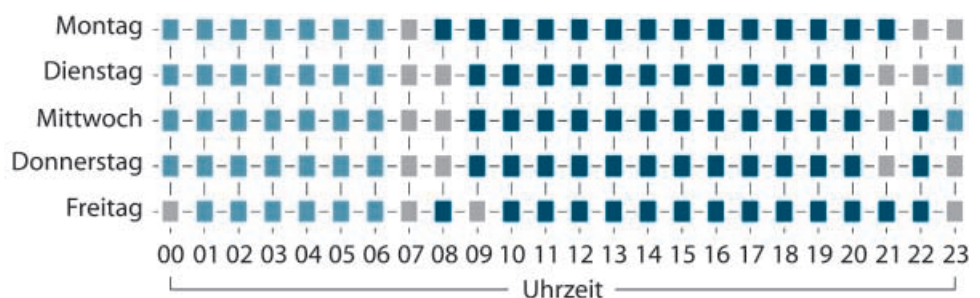
$x=1, x=2, x=3, x=4$ und $x \geq 5$ gleichzeitige Einsätze: $\text{Chi}^2=98,8; \text{df}=3; p<0,001$ und niedrige Einsatzintensität mit den Kategorien $x=1, x=2$ und $x \geq 3$ gleichzeitige Einsätze: $\text{Chi}^2=6,7; \text{df}=1; p<0,01$).

Ungeachtet dieses Ergebnisses, das gegen die Berechnungsvorschrift der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung spricht, stellen wir in Abb. 4 die empirisch ermittelten Kennwerte den theoretischen Kennwerten der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung gegenüber. Die Häufigkeiten simultaner Notfallfahrten sind dabei kumuliert und in Prozent der Gesamteinsatzzahl ausgedrückt. Dieser Kennwert repräsentiert den Anteil des durch $x \leq k$ Rettungsmittel zu bewältigenden Einsatzaufkommens (Bediensicherheit).

Wie aus der Darstellung ersichtlich wird, überschätzt die risikoabhängige Fahrzeugbemessung über die Poisson-Verteilung zwar geringfügig aber systematisch die Bediensicherheit. Diese Unterschiede zwischen theoretischer und empirischer Verteilung sind statistisch signifikant (hohe Einsatzintensität mit den Kategorien $x=1, x=2, x=3$ und $x \geq 4$ gleichzeitige Einsätze: $\text{Chi}^2=167,9; \text{df}=2; p<0,001$ und niedrige Einsatzintensität mit den Kategorien $x=1, x=2$ und $x \geq 3$ gleichzeitige Einsätze: $\text{Chi}^2=19,4; \text{df}=1; p<0,001$).

So wird für die Zeitintervalle mit hoher Einsatzintensität eine empirische Bediensicherheit von 99% mit 4 Rettungsmitteln erreicht. Um 99% aller Notfalleinsätze unmittelbar zu bedienen, bedarf es in der Realität also 4 Fahrzeuge. Nach der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung wird dieses Niveau theoretisch bereits mit 3 Rettungsmitteln erreicht. Analog verhält es sich in der Kategorie niedriger Einsatzintensität. Nach der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung genügen 2 Fahrzeuge. Die realen Gegebenheiten zeigen jedoch, dass 99% aller Einsätze erst mit

Abb.3 ► Cluster 1 mit niedrigen (hellblau), Cluster 2 mit mittleren (grau) und Cluster 3 (dunkelblau) mit hohen Einsatzintensitäten an Werktagen



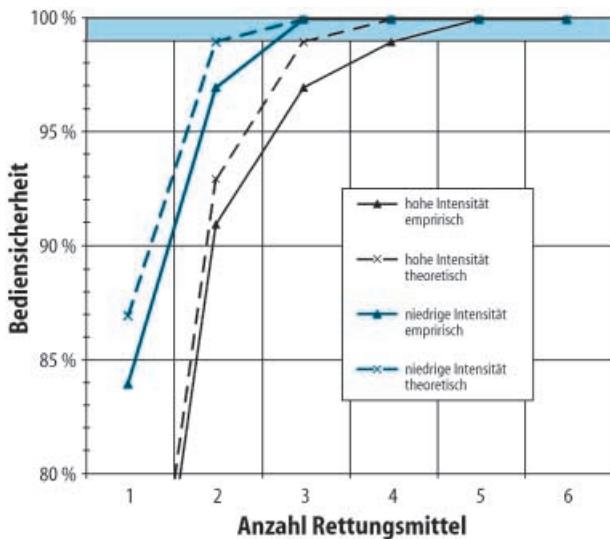


Abb. 4 ◀ Vergleich der empirischen mit den theoretisch ermittelten Sicherheitsniveaus

3 Fahrzeugen unmittelbar bedient werden können.

Diskussion

In einem ausgewählten Versorgungsbe-
reich wurde der auf Basis der Parameter
Einsatzintensität und Einsatzdauer über
die Poisson-Verteilung ermittelte Kenn-
wert der Bediensicherheit mit dem rea-
len Sicherheitsniveau verglichen. Als
Grundlage wurden Einsatzdaten über ein-
en Zeitraum von insgesamt 36 Mona-
ten herangezogen.

**„Auch geringe Unterschiede
zwischen theoretischer Be-
darfsermittlung und realen
Gegebenheiten haben weitrei-
chende Konsequenzen.“**

In einem ersten Schritt wurden da-
zu Wochentags- und Tageszeitkatego-
rien gebildet, innerhalb derer die Einsatz-
intensität ähnlich ausgeprägt ist. Die Bil-
dung solcher Kategorien geschieht oft
nach Augenschein oder orientiert sich
an Schichtzeiten, dem Wechsel von Tag
und Nacht oder lässt die Variabilität der
Einsatzintensität vollkommen unbe-
rücksichtigt. Dieses Vorgehen grenzt in
seiner Willkür die Vorhersagegenauig-
keit der Bemessung jedoch ein, da klei-
ne Veränderungen der Kategorien zu
deutlichen Veränderungen in den Er-
gebnissen führen können. Sinnvolle Ka-
tegorien müssen das reale Einsatzge-
schehen abbilden. Die in dieser Arbeit
verwendete Methode der Clusteranaly-
se stellt ein geeignetes empirisches Ver-

fahren zur Bildung solcher Wochentags-
und Tageszeitkategorien dar.

Diese Methode hat innerhalb ver-
schiedener Forschungsdisziplinen kon-
tinuierlich an Bedeutung gewonnen[1].
Bei praktischen Fragestellungen werden
solche und ähnliche Verfahren zur Diffe-
renzierung des zeitlich und räumlich
u. U. stark gegliederten Einsatzgesche-
hens aus unserer Sicht jedoch viel zu sel-
ten angewandt. In der Konsequenz bil-
den inhomogene Datensätze die Grund-
lage zur Berechnung verschiedenster Ef-
fektivitäts- und Effizienzparameter. Die
Analyse homogener und vor allem auf
empirischer Basis gebildeter Untergrup-
pen resultiert demgegenüber in diffe-
renzierten, realitätsgetreuen Ergebnis-
sen, die in der Konsequenz zu sehr viel
zuverlässigeren Ableitungen und Schluss-
folgerungen führen.

Der in der vorliegenden Untersu-
chung durchgeführte Vergleich zwi-
schen theoretischem und realem Siche-
ritätsniveau konzentrierte sich anschlie-
ßend auf 2 Zeitintervalle mit hoher re-
spektive niedriger Einsatzintensität. Für
beide Zeitintervalle wurde dabei ein sta-
tistisch signifikanter Unterschied zwi-
schen theoretisch ermittelten und tat-
sächlich beobachtetem Sicherheitsni-
veau gefunden.

In Anbetracht der hohen Fallzahlen
und der damit verbundenen statisti-
schen Teststärke bedarf es einer einge-
henden Analyse der praktischen Rele-
vanz der Unterschiede. Diese wird deut-
lich, wenn man sich das Vorgehen bei
der Entscheidung über den Bedarf ver-
gegenwärtigt. Danach sind die Unter-
schiede nur augenscheinlich als zu ver-
nachlässigen zu beurteilen. In der Ent-
scheidung für oder gegen mehr/weniger
Ressourcen werden die Planer selten Be-
diensicherheiten unterhalb der 80%-
Marke betrachten, sondern überwie-
gend auf den Bereich zwischen 90%
und 100% fokussieren. Diese aufgrund poli-
tischer gegenüber wirtschaftlichen Ge-
sichtspunkten hoch anzusetzende Be-
diensicherheit hebt die besondere Be-
deutung der Diskrepanzen hervor. In-
nerhalb dieser Grenzen haben nämlich
auch geringe Unterschiede zwischen
theoretischer Bedarfsermittlung mittels
Poisson-Verteilung und den realen Ge-
gebenheiten, die wie dargestellt mehre-
re Prozentpunkte betragen, weitreichen-
de Konsequenzen.

Vor dem Hintergrund der umfang-
reichen und damit sicheren Daten-

Tabelle 2
Empirische Häufigkeiten simultaner Einsatzfahrten

Anzahl gleichzeitiger Einsätze	Hohe Einsatzintensität	Niedrige Einsatzintensität
1	2264	568
2	965	92
3	238	15
4	62	1
5	15	1
6	5	1
7	3	
8	2	
9	1	
Summe	3556	678

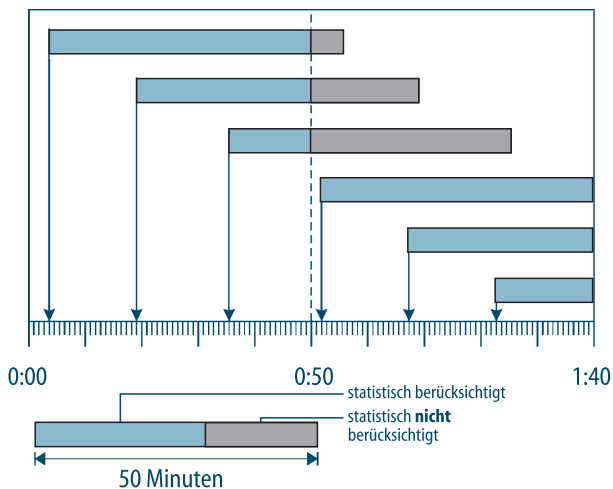


Abb. 5 ◀ Die Problematik unberücksichtigter Einsatzereignisse an den Grenzen des Gleichzeitigkeitsintervalls

grundlage und der Systematik, mit der die risikoabhängige Berechnungsvorschrift die Bediensicherheit überschätzt, bedarf es deshalb der eingehenden Ursachenklärung für die geringe Validität der Ergebnisse der risikoabhängigen Berechnungsvorschrift.

Ursachen für Diskrepanzen zwischen theoretischer und empirischer Bediensicherheit

Der für die risikoabhängige Bedarfsermittlung grundlegende Parameter ist die durchschnittliche Einsatzhäufigkeit im so genannten Gleichzeitigkeitsintervall (= Einsatzdauer). Die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Einsatzes innerhalb dieses Intervalls ist gleich verteilt. Das heißt, dass ein Einsatz zu allen Zeitpunkten des Gleichzeitigkeitsintervalls mit der gleichen Wahrscheinlichkeit auftreten kann. Alle Einsätze, die nicht punktgenau am Beginn des Intervalls liegen, reichen mit ihrer Einsatzdauer jedoch in das nächste Intervall hinein. Insofern erhöhen sie die Wahrscheinlichkeiten gleichzeitiger Einsätze im nachfolgenden Intervall, ohne statistisch mitberücksichtigt zu werden. Der Poisson-Prozess lässt die Einsätze aus dem „vorangehenden Intervall“ unberücksichtigt. In Abbildung 5 wird dieser Sachverhalt exemplarisch dargestellt.

Auch wenn die linkssteile Verteilung der Einsatzdauer diesem Effekt entgegenwirkt (kürzere Einsatzzeiten treten häufiger auf als längere Einsatzzeiten), fällt die Berechnung der kritischen Bediensicherheit nach diesem Prinzip immer optimistischer als in der Realität aus.

Neben der Problematik unberücksichtigter Einsatzereignisse an den Grenzen des Gleichzeitigkeitsintervalls sprechen weitere und ebenso grundsätzliche Überlegungen gegen die Anwendung der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung. Als zentraler Punkt ist dabei zu nennen, dass die Benutzung von Einsätzen als Untersuchungseinheit einer wichtigen Annahme der Poisson-Verteilung widerspricht. Diese besagt, dass die betrachteten Ereignisse voneinander unabhängig sein müssen. Notfalleinsätze sind ungeplante, zufällige und deshalb voneinander unabhängige Ereignisse. Bei Einsatzfahrten kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass diese in ihrer Gesamtheit voneinander unabhängig sind. Die zwar inhaltlich plausible Analyse der Fahrzeuganforderung als bemessungsrelevante Größe widerspricht also einer methodischen Voraussetzung zur Anwendung der Poisson-Verteilung.

Darüber hinaus konnte anhand des Chi²-Anpassungstests die Annahme nicht bestätigt werden, dass die empirischen Häufigkeiten simultaner Notfalleinsätze der Poisson-Verteilung folgen. Obwohl hier wie oben die großen Fallzahlen auch kleine Unterschiede zwischen empirischer und theoretischer Verteilung signifikant werden lassen, spricht dieses Ergebnis ebenfalls gegen die Berechnungsvorschrift der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung.

Lösungen und Alternativen

Die genannten Schwierigkeiten begründen die Ergebnisse und zeigen, dass die bedarfsnotwendige Bemessung der Ret-

tungsmittelvorhaltung in dieser Form nicht unproblematisch ist. Im letzten Abschnitt dieser Arbeit werden deshalb mögliche Lösungen und Alternativen der Fahrzeugbemessung vorgestellt und diskutiert.

Einführung von Korrekturfaktoren

Eine zunächst einfache und plausibel erscheinende Lösung der Problematik ist die Einführung eines zusätzlichen Parameters, der die Basiswerte der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung weniger optimistisch macht und in diesem Sinne korrigierend einwirkt. Indem entweder die Einsatzintensität oder alternativ die Einsatzdauer um einen zu definierenden Faktor erhöht wird, fällt die Rettungsmittelbemessung weniger optimistisch und damit tendenziell realistischer aus.

Dieses Vorgehen kann in seiner Willkür jedoch den umgekehrten Effekt haben, dass durch die Definition eines im Vergleich zur tatsächlichen Einsatzdauer übermäßig vergrößerten Gleichzeitigkeitsintervalls die Ergebnisse letztlich zu pessimistisch ausfallen und damit die eigentliche Problematik zu optimistischer Ergebnisse konterkariert wird.

Modelle der Bedienungstheorie

Die Bedienungstheorie beschreibt mathematische Verfahren, um Effektivitätsmaße einer Bedienungseinrichtung zu bestimmen, die von mehreren stochastischen Prozessen abhängig sind. Die Bedienungseinrichtung Notfallversorgung entspricht einem Bedienungsmodell mit mehreren parallelen Bedienungseinheiten (Rettungsmitteln), wobei keine Forderung (Notfalleinsatz) abgewiesen wird und bis zum Abschluss der Bedienung im System verbleibt.

Die Verwendung eines solchen analytischen Modells ist jedoch an die Gültigkeit von Prämissen über die Eigenschaften der Ankunfts- und Abfertigungsprozesse gebunden, die bei realen Fragestellungen nur selten erfüllt sind und vielfach überhaupt nicht oder nur sehr ungenau durch die Methoden approximiert werden können. Dadurch gelingt es oftmals nicht, mit den in der Bedienungstheorie vorhandenen Ansätzen analytische Lösungen zu finden, ohne dass man derart komplexe mathematische Ausdrücke erhält, die eine Auswer-

tung aufgrund der Vielzahl von Parametern unpraktikabel oder sogar unmöglich machen [3].

Monte-Carlo-Studien

Das Wesen der Monte-Carlo-Simulation ist die Algorithmierung der Prozesse eines Bedienungssystems und dem wiederholten Ablaufen des Bedienungsvorgangs unter Verwendung von Zufallszahlen als Realisierungen der zugrundeliegenden Systemparameter [4]. Die Nachbildung der wesentlichen Systemeigenschaften in einem Simulationsmodell kommt damit einem wissenschaftlichen Experiment nahe [6]. Für die Fragestellung der Bediensicherheit muss dabei nicht notwendigerweise auf ein mikroskopisches Simulationsmodell zurückgegriffen werden, in dem Bedieneinheiten und Infrastruktur in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung realitätsgetreu nachgebildet werden. Es genügt die Implementierung eines makroskopischen Modells, das von der individuellen Einsatzbedienung abstrahiert und damit die Notfallversorgung durch quantitative Zusammenhänge zwischen den Parametern Tageszeit, Einsatzintensität und Bedienzeit beschreibt [9].

Die zentralen Eingangsparameter in ein solches Simulationsmodell sind die empirisch ermittelten Zwischenankunfts- (Zeitintervall zwischen 2 aufeinanderfolgenden Einsätzen) und Bedienzeiten (Einsatzdauer), deren Häufigkeitsverteilungen die Grundlage für die Generierung von zufälligen Einsatzeignissen darstellen. Mit diesen Kennwerten lässt sich das Bediensystem Notfallversorgung über einen beliebig langen Zeitraum simulieren.

Wir betonen, dass die Validierung eines implementierten Simulationsmodells zentral für die Gültigkeit der ermittelten Ergebnisse ist. Als Grundlage der Validierung können – unter Berücksichtigung der dargestellten Einschränkungen und Probleme – die Resultate der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung herangezogen werden. Alternativ fordern wir jedoch auch Messwerte aus Realdaten als Vergleichsmaßstab heranzuziehen.

Realdatenanalyse

Analysen mit der besten Vorhersagegenauigkeit basieren immer auf Daten, die

direkt aus der Beobachtung ermittelt wurden. Die Bestandsaufnahme realer Häufigkeiten simultaner Anforderungen, wie wir sie auch für die vergleichende Gegenüberstellung der theoretischen mit der empirischen Bediensicherheit durchgeführt haben, wird in der Praxis jedoch selten durchgeführt. Das ist um so verwunderlicher, da mathematische Schätzmethode wenn möglich immer an den realen Gegebenheiten überprüft werden sollten. Als Grund für den seltenen Rückgriff auf empirisch ermittelte Bediensicherheiten kann letztlich nur die Tatsache herangezogen werden, dass entsprechende Verfahren in den verbreiteten Statistik- und Analyse-Softwarepaketen nicht enthalten sind.

„Die vermeintlich eleganten mathematischen Methoden sollten immer an dem realen Einsatzgeschehen gemessen werden.“

Darüber hinaus gestattet dieses Verfahren die Analyse bisher unberücksichtigter Kennwerte zur Bemessung der Fahrzeugvorhaltung. Neben der absoluten Zahl simultaner Einsätze lässt sich durch die Analyse realer Einsatzdaten auch die „Relevanz“ der Simultanität abschätzen, indem das zeitliche Ausmaß simultaner Einsatzfahrten quantifiziert wird. So lassen sich z. B. solche Einsätze quantifizieren, die formal als gleichzeitig dokumentiert wurden, deren Überlappung jedoch unbedeutend ist, da ihre Alarmierung vor dem Freimelden liegt und das Rettungsmittel den neuen Einsatz direkt bedient. Eine detaillierte und über die Absolutzahlen hinausgehende zeitliche Quantifizierung der Simultanität stellt damit einen wichtigen Mehrwert zur Bedarfsbemessung in der Notfallversorgung dar.

Wie für die Monte-Carlo-Simulation gilt auch für die Realdatenanalyse, dass aufgrund einer Einschwingphase die Ergebnisse bei zu kurzen Beobachtungsintervallen zunächst stark schwanken und entsprechend instabil sind. Die Definition von Standards über Mindestbeobachtungszeiträume sind in diesem Zusammenhang jedoch nicht sinnvoll, da sich der Umfang der Erhebung am Einsatzgeschehen orientieren muss. Zur Schaffung einer reliablen Datenbasis muss in Regionen geringer Einsatzintensität über einen

längeren Zeitraum erhoben werden als in z. B. städtischen Gebieten.

Nach Abschluss der Erhebung sollte zusätzlich überprüft werden, ob die ermittelten Kennwerte einen so genannten stationären, d. h. stabilen und deshalb reliablen Zustand erreicht haben. Dadurch lassen sich in Abhängigkeit des lokalen Einsatzgeschehens erwartungstreue Schätzwerte für optimale Erhebungszeiträume ableiten, sodass die Methode der Realdatenanalyse ausreichend reliable Ergebnisse liefert, um den Planern und Entscheidern ein realistisches und vor allem beobachtetes Bild der Häufigkeit simultaner Einsatzanforderungen und damit der Bediensicherheit des Systems zu liefern. Die vermeintlich eleganten mathematischen Methoden sollten immer an dem realen Einsatzgeschehen gemessen werden und etwaige Abweichungen in den Ergebnissen fundiert interpretiert und nachvollziehbar erklärt werden.

Es ist jedoch zu betonen, dass die Analyse der Bediensicherheit und dabei insbesondere die Analyse von Realdaten mehr bedarf als die Betrachtung eines einzigen Parameters. Eine inadäquate Bemessung der Anzahl vorgehaltener Rettungsmittel schlägt sich nicht einseitig im Parameter der Bediensicherheit nieder, sondern bildet sich z. B. ebenso in ungenügenden Antwort- und Reaktionszeiten der Rettungseinheiten ab. Die Analyse von Realdaten erfordert vom Datenanalysten insofern eine gründliche, umfassende und verzweigte Perspektive auf die Daten.

Fazit für die Praxis

Für die risikoabhängige Fahrzeugbemessung über die Poisson-Verteilung konnte aufgrund eines Vergleiches mit Realdaten gezeigt werden, dass ihre Ergebnisse ungenügend valide ausfallen, was auch mathematisch begründet wurde. Die Diskrepanzen zwischen den theoretischen und empirischen Häufigkeiten simultaner Einsatzanforderungen sind zwar augenscheinlich gering. Trotzdem sind sie praktisch relevant, da die für die Praxis gezogenen Ableitungen aus den Ergebnissen auf kleinen Sprüngen in der in Prozent skalierten Bediensicherheit basieren. Mit der auch in dieser Arbeit verwendeten Methode der Realdatenanalyse und der Methodik der Monte-Carlo-

Simulation wurden 2 alternative Grundlagen für die Bemessung der Rettungsmittelvorhaltung vorgestellt und diskutiert.

Insgesamt plädieren wir gegen die isolierte Anwendung einer der vorgestellten Ansätze. Die für Planer und Entscheider wichtige Fragestellung der adäquaten Rettungsmittelbemessung kann nur aus einem Multi-Methoden-Ansatz valide und repräsentativ beantwortet werden. Die vorgestellten Ansätze ergänzen sich mit ihren Vor- und Nachteilen gegenseitig und nur die integrierte Auswertung gewährleistet zuverlässige Ergebnisse.

Im ersten Schritt bedarf es dazu der Bildung homogener Wochentags- und Tageszeitkategorien. Eine Zusammenfassung von Wochentagen und Tageszeiten, die sich statt an den Einsatzintensitäten an äußeren Merkmalen wie Schichtzeiten orientiert, verzerrt zwangsläufig die Ergebnisse und führt dadurch zu falschen Vorhersagen der Bediensicherheit. Sinnvolle Kategorien müssen das reale Einsatzgeschehen abbilden. Als ein geeignetes Verfahren zur Bildung solcher Intervalle wurde die Clusteranalyse vorgestellt. Anschließend muss das Einsatzgeschehen durch die beschriebenen Methoden konkurrierend analysiert und in ihren Ergebnissen gegenübergestellt werden. Insbesondere die bisher vernachlässigte Realdatenanalyse muss dabei in Zukunft mehr Gewicht haben, zumal einerseits die heutige Rechnerleistung und andererseits die Verfügbarkeit der Einsatzdaten von Einsatzleitsystemen eine effektive, kostengünstige und zeitnahe Dokumentationsgrundlage ermöglichen.

Literatur

1. Blasfield RK, Aldendorfer MS (1978) The literature on cluster analysis. *Multivar Behav Res* 13: 271–295
2. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (1997) Neue siedlungsstrukturelle Regions- und Kreistypen. Mitteilungen und Informationen der BfLR, 1/1997
3. Dück W, Bliefertich M. (1972) Bedienungstheorie. In: Dück W, Bliefertich M (Hrsg) *Operationsforschung 3, mathematische Grundlagen, Methoden und Modelle*. Verlag der Wissenschaft, Berlin, S 346–373
4. Dück W, Bliefertich M (1972) Simulation. In: Dück W, Bliefertich, M (Hrsg) *Operationsforschung 3, mathematische Grundlagen, Methoden und Modelle*. Verlag der Wissenschaft, Berlin, S 374–399
5. Eckes T, Roßbach H (1980) Clusteranalysen. Kohlhammer, Stuttgart
6. Pollacia LF (1989) A survey of discrete event simulation and state-of-the-art discrete event languages. *Simul Dig* 39: 3–25
7. Schäfer K (1998) Anforderungen an die Leitstelle als komplexes Hilfeleistungssystem aus der Sicht eines Leistungserbringers. Beispiel Ballungsgebiet. In: Deutsches Rotes Kreuz, *Kongressbericht Rettungsdienst 2000*. S 589–596
8. Schmiedel R, Unterkofler M (1997) Frequenzabhängige Fahrzeugbemessung. In: Lüttgen R, Mendel F (Hrsg) *Handbuch des Rettungswesens, Bd. I. 2.2.1*
9. Spaniol O, Hoff S (1995) Ereignisorientierte Simulation. Konzepte und Systemrealisierungen. Thompson, Bonn
10. Unterkofler M (1997) Die Einflussgrößen bei der risikoabhängigen Fahrzeugbemessung. In: Lüttgen R, Mendel F (Hrsg) *Handbuch des Rettungswesens, Bd. I. 2.2*
11. Ward JH (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Am Statistic Assoc* 58: 236–244
12. Wütscher J, Schier W (1999) Vorläufiger Rettungsdienstplan des Landes. In: Wütscher J, Schier W (Hrsg) *Hessisches Rettungsdienstgesetz (HRDG). Vorschriftenammlung*. S 73–114

Neue Bücher

In den vergangenen Wochen erreichten uns die unten aufgeführten Neuankündigungen. Ausgewählte Titel werden in nächster Zeit besprochen.

A. Otte

Das Halswirbelsäulen-Schleudertrauma
Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001.
122 S., 40 Abb., 7 Tab., (ISBN 3-540-67955-3),
geb., DM 99,—

W. von Eiff, H. Börkircher, J. Brüger

Arztmanager 2.0

Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001.
107 S., 34 Abb., 5 Tab., Software,
(ISBN 3-540-14882-5), DM 459,—

N. Rietbrock, A. H. Staib, D. Loew (Hrsg.)

Klinische Pharmakologie

4., vollst. überarb. u. aktual. Aufl.; Darmstadt:
Steinkopff, 2001. 896 S., (ISBN 3-7985-1284-1),
geb., DM 149,—

Hrsg.: W. Siegenthaler

Klinische Pathophysiologie

8., völlig neu bearb. Aufl.; Stuttgart, New York:
Thieme, 2001. 1188 S., 588 Abb., 213 Tab.,
Lehrbuch, (ISBN 3-13-449608-9/694), geb.,
DM 199,—

R. Dudziak

Muskelrelaxanzien

Darmstadt: Steinkopff, 2001. 172 S.,
(ISBN 3-7985-1293-0), geb., DM 129,—

F. H. Netter

Netter's Orthopädie

Stuttgart, New York: Thieme, 2000. 594 S.,
279 Farbtafeln, (ISBN 3-13-123981-6/692),
geb., DM 79,—