

Weimann, Carsten

Working Paper — Digitized Version

Ein Simulationsmodell zur Analyse der Mengen- und Zeiteffekte bei einem Einsatz reflektometrischer Blutanalysegeräte

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 269

Provided in Cooperation with:

Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

Suggested Citation: Weimann, Carsten (1991) : Ein Simulationsmodell zur Analyse der Mengen- und Zeiteffekte bei einem Einsatz reflektometrischer Blutanalysegeräte, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 269, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/161401>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Nr. 269

Ein Simulationsmodell zur Analyse
der Mengen- und Zeiteffekte bei
einem Einsatz reflektometrischer
Blutanalysegeräte

Carsten/Weimann

Mai 1991

Dipl.-Kfm. Carsten Weimann
Institut für Betriebswirtschaftslehre
Lehrstuhl für Finanzwirtschaft
Direktor: Prof. Dr. Reinhart Schmidt

Die Arbeit entstand im Rahmen eines vom Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) geförderten, interdisziplinären Forschungsprojektes.

Gliederung

| | <u>Seite</u> |
|--|--------------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Daten | 3 |
| 2.1 Gerätespezifische Daten | 3 |
| 2.2 Untersuchungsspezifische Daten | 5 |
| 2.2.1 Zeitliche Struktur | 6 |
| 2.2.2 Mengenmäßige Struktur | 10 |
| 2.2.2.1 Probenanzahl | 10 |
| 2.2.2.2 Parameteranzahl | 12 |
| 2.2.2.3 Parameterart | 14 |
| 3. Modell | 17 |
| 3.1 Experimenteller Rahmendes Modells | 17 |
| 3.2 Modellstruktur | 18 |
| 3.3 Validierung des Modells | 20 |
| 3.4 Einsatzmöglichkeiten des Modells | 23 |
| 3.4.1 Simulation der Auswirkungen anderer Gerätekonstellationen auf die Bearbeitungszeit | 23 |
| 3.4.2 Simulation der Auswirkungen anderer Belastungsstrukturen auf die Bearbeitungszeit | 27 |
| 4. Zusammenfassung | 32 |
| Literaturverzeichnis | 34 |
| Anhang 1: Graphiken der Belastungsverteilungen | 36 |
| Anhang 2: Listing des SIMAN-Modells | 39 |

Tabellen

| | <u>Seite</u> |
|---|--------------|
| 1 Reine Vorbereitungs- und Analysezeiten | 4 |
| 2 Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Probenanforderungen, sortiert nach Anzahl | 8 |
| 3 Kolmogorov-Smirnov-Test der Verteilungen der Proben in den Tagesphasen | 9 |
| 4 Charakterisierung der Tagesphasen | 9 |
| 5 Kolmogorov-Smirnov-Test: Probenanzahl | 11 |
| 6 Verteilung des Probenanfalls am Wochenende | 11 |
| 7 Verteilung des Probenanfalls am Wochentag | 12 |
| 8 Kolmogorov-Smirnov-Test: Parameter pro Probe | 13 |
| 9 Verteilung der Anzahl Parameter pro Probe am Wochenende | 14 |
| 10 Verteilung der Anzahl Parameter pro Probe am Wochentag | 14 |
| 11 Wahrscheinlichkeit der Anforderung einer bestimmten Parameterart am Wochenende | 16 |
| 12 Wahrscheinlichkeit der Anforderung einer bestimmten Parameterart am Wochentag | 16 |
| 13 Analyse der Warteschlangen | 27 |
| 14 Test auf Poisson-Verteilung der Anzahl Proben pro Periode | 28 |
| 15 Verteilung des Probenanfalls am Wochenende bei Verdoppelung der Stationsbelegung | 30 |
| 16 Verteilung des Probenanfalls am Wochentag bei Verdoppelung der Stationsbelegung | 30 |

Abbildungen

| | <u>Seite</u> |
|---|--------------|
| 1 Kummulierter Anfall der Probenanforderungen im Tagesverlauf | 7 |
| 2 Vergleich empirische vs. Simulationsdaten: Anzahl Proben pro Periode | 20 |
| 3 Vergleich empirische vs. Simulationsdaten: Anzahl Parameter pro Probe | 21 |
| 4 Vergleich empirische vs. Simulationsdaten: Art Parameter | 21 |
| 5 Bearbeitungszeit zu verschiedenen Tageszeiten | 22 |
| 6 Zeit zwischen Weiterleitung der Proben und Ergebnisvorlage zu verschiedenen Tageszeiten | 22 |
| 7 Bearbeitungszeit bei unterschiedlicher Gerätekonstellation (1. Quartal: 00 - 06 Uhr) | 24 |
| 8 Bearbeitungszeit bei unterschiedlicher Gerätekonstellation (2. Quartal: 06 - 12 Uhr) | 25 |
| 9 Bearbeitungszeit bei unterschiedlicher Gerätekonstellation (3. Quartal: 12 - 18 Uhr) | 25 |
| 10 Bearbeitungszeit bei unterschiedlicher Gerätekonstellation (4. Quartal: 18 - 24 Uhr) | 26 |
| 11 Bearbeitungszeit bei Variation der theoretischen Verteilung | 29 |
| 12 Bearbeitungszeit bei Verdoppelung der Belastung zu verschiedenen Tageszeiten | 31 |
| 13 Vergleich der Bearbeitungszeit | 32 |
| 14 Verteilung Anzahl Proben in den Tagesphasen (Wochentag) | 36 |
| 15 Verteilung Anzahl Proben in den Tagesphasen (Wochenende) | 36 |
| 16 Verteilung Anzahl Parameter in den Tagesphasen (Wochentag) | 37 |
| 17 Verteilung Anzahl Parameter in den Tagesphasen (Wochenende) | 37 |
| 18 Verteilung Art Parameter in den Tagesphasen (Wochentag) | 38 |
| 19 Verteilung Art Parameter in den Tagesphasen (Wochenende) | 38 |

1. Einleitung

In jüngster Zeit ist mit den reflektometrischen Geräten eine neue Technologie zur Blutanalyse entwickelt worden, von denen man wesentliche Vorteile bei der quantitativen Bestimmung der Konzentration von Blutbestandteilen erwartet.¹ Als ein wesentlicher Vorteil der neuen Technologie wird dabei die leichte, schnelle, kostengünstige und wenig Fachkompetenz erfordernde Durchführung der Analyse angesehen.² Dadurch wird es möglich, diese Analysegeräte in der 'Bedside-Analytik', 'nearer to the patient' oder 'Real-Time' Analytik einzusetzen, womit auch gleichzeitig das Einsatzfeld dieser Technologie beschrieben ist.

In dem BMFT-Projekt 'Einsatz reflektometrischer Analyseverfahren in der pädiatrisch-internistischen Akutdiagnostik'³ wurde an der Universitätskinderklinik Kiel in einem Feldversuch eine umfassende Evaluation der Einsatzmöglichkeiten reflektometrischer Analysegeräte vorgenommen. Dabei wurden drei in sich abgeschlossene, durch eine in der Projektlaufzeit erhobene und gemeinsam genutzte Datenbasis jedoch voneinander abhängige, Teilprojekte durchgeführt. In einem klinisch-chemischen Teilprojekt wurde die Qualität der reflektometrischen Analyseergebnisse überprüft.⁴ In einem medizinischen Teilprojekt wird geprüft, ob der behandelnde Arzt einen Nutzen aus dem schnelleren Eintreffen der Ergebnisse ziehen kann.⁵ In dem am Institut für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel bearbeiteten betriebswirtschaftlichen Teilprojekt werden Fra-

¹ Zu den technischen Einzelheiten vgl. Sonntag, O. [1988]; Werner, W. [1985].

² Vgl. Thomas, L. [1986], S. 158.

³ Vom Bundesminister für Forschung und Technologie gefördertes, interdisziplinäres Forschungsprojekt 01ZR87040.

⁴ Vgl. Krawinkel, M. [1991], S. 11-80; Krawinkel, M., Örtel, F., Weimann, C. et al. [1989], S. 227f.

⁵ Vgl. Krawinkel, M.B. [1991], S. 81-120.

gen zur Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz⁶ des Verfahrens untersucht.

Betriebswirtschaftliche Untersuchungen können sich nicht allein auf die in der Projektlaufzeit erfaßten Daten beziehen. Sollen verallgemeinernde Aussagen bezüglich der wirtschaftlichen Einsetzbarkeit der reflektometrischen Geräte gemacht werden, müssen auch andere Datenkonstellationen zugrunde gelegt und überprüft werden können. Dabei ist es von besonderem Interesse, betriebswirtschaftliche Aussagen über den Einsatz der Geräte bei unterschiedlichen organisatorischen Rahmenbedingungen zu treffen. Zu diesem Zweck müssen Annahmen über die anfallende Menge an Untersuchungen gemacht werden, auf deren Basis dann die Kosten des Einsatzes reflektometrischer Geräte ermittelt werden können. Ein mindestens ebenso wichtiges Entscheidungskriterium ist die Dauer der Analyse, die von der Menge und dem zeitlichen Anfall der Untersuchungen sowie den Vorbereitungs- und Analysezeiten abhängt. Billigere Lösungen sind nicht realisierbar, wenn dadurch eine Verzögerung bei der Ergebnisermittlung auftritt.

In dieser Untersuchung soll weder eine Kostenanalyse durch eine einzelwirtschaftliche Investitionsrechnung,⁷ noch eine gesamtwirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse vorgenommen werden.⁸ Vielmehr soll auf Basis des vorhandenen Datenmaterials versucht werden, ein Simulationsmodell zu entwickeln, welches als Entscheidungshilfsmittel für die einzelwirtschaftliche Vorteilhaftigkeitsrechnung eingesetzt werden kann. Ziel ist dabei, die Menge und Dauer der Untersuchungen bei einfachen Anpassungen an spezielle organisatorische Strukturen (z.B. Anzahl der Patienten, Art der eingesetzten Geräte) und Abläufe (z.B. Zeitpunkte der Blutentnahme) ermitteln zu können.

⁶ Vgl. Hinz, H., Weimann, C. [1990].

⁷ Vgl. dazu Statland, B.E., Brzys, K. [1990]; Zaloga, G.P. [1990]; Horisberger, B. [1987]; Östling, G. [1986]; Craig, T.M. [1985]; Plischke, W. [1984].

⁸ Vgl. zu dem Verfahren im Bereich der Krankenhausdiagnostik Wille, E. [1989a]; Wille, E. [1989b]; Wille, E. [1987]; Gäfken, G. [1987]; Büttner, J. [1985]; Haekel, R. [1982].

Es werden zunächst für das Modell wichtige Daten statistisch aufbereitet und vorgestellt. Anschließend wird das entwickelte Modell beschrieben und anhand der empirischen Daten überprüft. Die Einsatzmöglichkeiten des Modells werden an zwei Fragestellungen beispielhaft aufgezeigt.

2. Daten

Die in das Modell eingehenden Daten beziehen sich zum einen auf die betrachteten Geräte, zum anderen auf die geleisteten Blutuntersuchungen. Die gerätespezifischen Werte sollen dabei als deterministische Daten in das Modell einbezogen werden, die untersuchungsspezifischen Werte nach einer Datenanalyse als diskrete, stochastische Daten eingehen.

2.1 Gerätespezifische Daten

Die gerätespezifischen Daten beziehen sich zum einen auf die betriebswirtschaftlichen Komponenten Preise und Mengen, zum anderen auf die in das Modell eingehenden Analyse- und Kontrollzeiten sowie die Kontrollabstände. Gemäß dem Untersuchungsrahmen bleiben im folgenden die reinen betriebswirtschaftlichen Komponenten außer Betracht, es sollen nur die in dem Versuch eingesetzten Geräte und die während der Versuchslaufzeit erhobenen Zeiten und Frequenzen näher dargestellt werden.

In dem Versuch wurden drei reflektometrische Geräte eingesetzt, die nach dem Kriterium des analysierbaren Parameterspektrums und der möglichst großen Parallelität der Messungen ausgewählt wurden. Während des Versuchs wurden jedem Gerät spezielle Parameteruntersuchungen fest zugeordnet. Das Leistungsspektrum der Geräte unterscheidet sich von dieser Zuordnung zum Teil erheblich, das Ektachem DT60 könnte zum Beispiel bis auf Phenobarbital alle hier betrachteten Parameter untersuchen (vgl. Seite 23). Die Zuordnung der Parameter auf die Geräte wurde wie folgt vorgenommen:

| | |
|-----------|---------------|
| Ektachem | Reflotron |
| DT60 | Glucose |
| Kalium | Hämoglobin |
| Natrium | Triglyceride |
| Chlorid | GPT |
| DTSC | gammaGT |
| Calcium | |
| DTE | Seralyzer |
| Eiweiß | Creatinin |
| Bilirubin | LDH |
| | Theophyllin |
| | Phenobarbital |

Weiterhin wurde für die Vorbehandlung der Proben eine Zentrifuge eingesetzt.

Neben der Anzahl der zu untersuchenden Proben und Parametern haben sowohl die Vorbereitungs- als auch die Analysezeiten Einfluß auf die Dauer bis zum Vorliegen des Ergebnisses. Wird eine Person für die Durchführung der Analysen eingesetzt, so kann zur Zeit nur eine Probe pipettiert werden, es können aber parallel mehrere Proben zentrifugiert werden. Dies muß durch das Modell abgebildet werden.

Tab. 1: Reine Vorbereitungs- und Analysezeiten

| Gerät/Parameter | Vorbereitung | Analyse |
|-----------------|--------------|---------|
| Seralyzer | 7 min | 3 min |
| Ektachem DT60 | 5 min | 5 min |
| Ektachem DTE | 5 min | 5 min |
| Ektachem DTSC | 5 min | 4 min |
| Reflotron | | |
| Hämoglobin | | 2 min |
| Glucose | | 3 min |
| Triglyceride | | 3 min |
| GPT | | 2 min |
| gammaGT | | 2 min |

Beim Seralyzer setzt sich die Vorbereitungszeit aus 2 Minuten pipettieren und 5 Minuten zentrifugieren zusammen. Beim Ektachem besteht die Vorbereitungszeit nur aus der Zentrifugier-

zeit. Beim Reflotron muß die Analyse durch ein Anwärmen der Plättchen vorbereitet werden. Da diese vorbereitende Arbeit nicht zeitkritisch ist, soll sie nicht in das Modell eingehen.

Beim Seralyzer müssen zusätzlich Rüstzeiten und anschließende Kontrollzeiten für zwei Werte (hoch und tief) beim Wechsel der Analyse der Parameterarten berücksichtigt werden. Die Kontrollzeit stimmt dabei mit der Analysezeit überein. In dem Modell wird diese Besonderheit durch einen Zeitzuschlag von 5 Minuten auf die Vorbereitungszeit berücksichtigt. Aufgrund der geringen Belastung dieses Gerätes und der damit geringen Wahrscheinlichkeit gleicher Parameterbestimmungen scheint dieses Vorgehen gerechtfertigt zu sein.

Alle anderen Kontrollen werden dreimal pro Tag mit drei verschiedenen Kontrollwerten (hoch, mittel, tief) durchgeführt, sind aber nicht zeitkritisch, da sie in belastungsschwachen Phasen vorgenommen werden. Der Zeitbedarf hierfür ist identisch mit der einer Analyse.

Auch die Kalibration der Geräte ist nicht zeitkritisch, sie wird bei Ektachem zweimal im Jahr, beim Seralyzer zweimal im Monat durchgeführt.

2.2 Untersuchungsspezifische Daten

Eine statistische Datenanalyse wurde vorgeschaltet, um die Anzahl der in das Modell eingehenden Daten ohne Informationsverlust zu begrenzen. Aus einer Verdichtung der Rohdaten sollen empirische Verteilungen ermittelt werden. Es wurde dabei versucht, Unterschiede in den Belastungen des Labors zwischen den Wochentagen und während des Tages zu ermitteln. Diese Unterschiede können sich sowohl auf die Anzahl als auch auf den zeitlichen Anfall der Proben, der Parameter pro Probe und der Art eines bestimmten Parameters beziehen.

Von den während des Projektes erfaßten Daten wurde für die Datenanalyse ein für den Einsatz reflektometrischer Analysegeräte repräsentativer Zeitraum von knapp 9 Wochen (15. April

1989 - 15. Juni 1989) gewählt, in dem bei 1475 Proben insgesamt 8008 verschiedene Parameter analysiert wurden. In dem betrachteten Zeitraum wurden die Proben der Patienten entweder ausschließlich reflektometrisch oder ausschließlich naßchemisch untersucht, so daß eine mögliche Änderung im Anforderungsverhalten der behandelnden Ärzte durch den Einsatz der reflektometrischen Geräte in den Daten berücksichtigt ist.

Die Anzahl von Mehrfachbestimmungen bei offensichtlich falschen Ergebnissen durch eine für reflektometrische Untersuchungen ungeeignete Blutqualität oder durch falsche Vorgehensweisen bei der Analyse wurde im Versuch gesondert erfaßt. Da der Anteil sehr gering ist (< 1%), werden diese Bestimmungen nicht im Modell berücksichtigt.

2.2.1 Zeitliche Struktur

Bezüglich der zeitlichen Struktur wird vermutet, daß sich Unterschiede in der Belastung innerhalb der Woche (Wochenende vs. Wochentag) oder innerhalb von noch zu identifizierenden Phasen des Tages ergeben. Um einen Eindruck von dem zeitlichen Anfall der Proben während eines Tages zu bekommen, wurde Abbildung 1 erstellt, die den kumulierten, prozentualen Anfall während eines Tages zeigt. Dabei wurde als kleinste zeitliche Dimension eine Periode in der Länge von 10 Minuten gewählt. Durch Augenscheinnahme lassen sich hier aufgrund der unterschiedlichen Steigungen drei voneinander abgrenzbare Belastungsphasen erkennen, die als Nachtbelastungsphase (1), Spitzenbelastungsphase (2) und Normalbelastungsphase (3) bezeichnet werden.

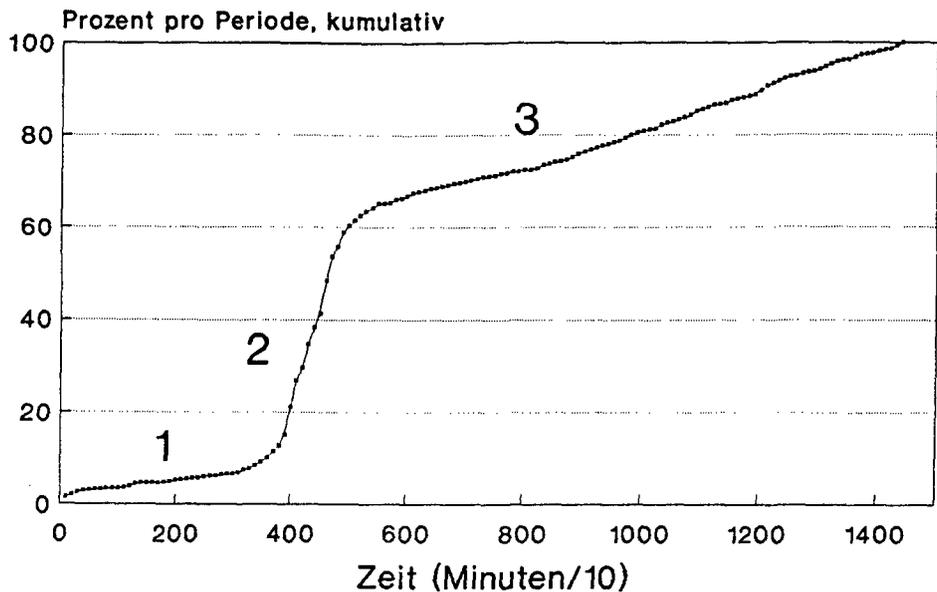


Abb. 1: Kummulierter Anfall der Probenanforderungen im Tagesverlauf

Zur genaueren Ermittlung der Länge der einzelnen Phasen wurden die Belastungen pro Periode ermittelt. Tabelle 2 zeigt den Beginn dieser nach der Anzahl Proben pro Periode sortierten Reihe. Es wird deutlich, daß mit 106 Proben (7.19% aller Proben) die Periode 46 (07.30 bis 07.40 Uhr) die am stärksten belastete war.

Es lassen sich nach dem Kriterium der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens einer Analyseanforderung die einzelnen Phasen wie folgt festlegen, wobei sich die Uhrzeit jeweils auf den Periodenbeginn bezieht:

Nachtbelastung: 4 \leq Periode \leq 36
 00:30 \leq Uhrzeit \leq 05:50

Spitzenbelastung: 37 \leq Periode \leq 55
 06:00 \leq Uhrzeit \leq 09:00

Normalbelastung: 56 \leq Periode \leq 144
 09:10 \leq Uhrzeit \leq 23:50

Normalbelastung: 1 \leq Periode \leq 3
 00:00 \leq Uhrzeit \leq 00:20

Tab. 2: Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Probenanforderungen, sortiert nach Anzahl

| Periode | Anzahl | Prozent | Periode | Anzahl | Prozent |
|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 46 | 106 | 7.19 | 55 | 15 | 1.02 |
| 40 | 87 | 5.90 | 53 | 14 | 0.95 |
| 41 | 86 | 5.83 | 36 | 13 | 0.88 |
| 47 | 76 | 5.15 | 109 | 13 | 0.88 |
| 43 | 75 | 5.08 | 34 | 12 | 0.81 |
| 44 | 53 | 3.59 | 120 | 12 | 0.81 |
| 49 | 47 | 3.19 | 58 | 11 | 0.75 |
| 45 | 45 | 3.05 | 89 | 11 | 0.75 |
| 42 | 40 | 2.71 | 103 | 11 | 0.75 |
| 39 | 36 | 2.44 | 144 | 11 | 0.75 |
| 48 | 31 | 2.10 | 3 | 10 | 0.68 |
| 1 | 21 | 1.42 | 35 | 10 | 0.68 |
| 38 | 21 | 1.42 | 97 | 10 | 0.68 |
| 50 | 21 | 1.42 | 98 | 10 | 0.68 |
| 37 | 19 | 1.29 | 115 | 10 | 0.68 |
| 52 | 18 | 1.22 | 137 | 10 | 0.68 |
| 51 | 16 | 1.08 | 54 | 9 | 0.61 |
| 121 | 16 | 1.08 | : | : | : |

Durch den zweiseitigen Kolmogorov-Smirnov-Test lassen sich signifikante Unterschiede in der Belastung der so identifizierten Phasen bestätigen. Tabelle 3 zeigt, daß die Prüfhypothese der Gleichheit der Stichproben (Anzahl der Proben pro Periode an jedem Tag) für die Spitzenbelastungsphase auf der einen und der Nacht- bzw. Normalbelastungsphase auf der anderen Seite mit einer sehr geringen Fehlerwahrscheinlichkeit abgelehnt werden kann.

Tab. 3: Kolmogorov-Smirnov-Test der Verteilungen der Proben in den Tagesphasen

| Phase I | Phase II | Z-Wert | Wahr. |
|---------|----------|--------|-------|
| Nacht | Spitze | 3.971 | 0.000 |
| Spitze | Normal | 3.582 | 0.000 |
| Nacht | Normal | 1.355 | 0.051 |

Die so identifizierten Belastungsphasen lassen sich nach Tabelle 4 genauer charakterisieren. Für die Spitzenbelastungsphase läßt sich zum Beispiel feststellen, daß in 13.19% der Perioden 55.25% aller Probenanforderungen anfallen.

Tab. 4: Charakterisierung der Tagesphasen

| Phase | Länge in Perioden | Anteil Perioden | Probenanzahl | Anteil Proben |
|--------|-------------------|-----------------|--------------|---------------|
| Nacht | 33 | 22.92 | 109 | 7.39 |
| Spitze | 19 | 13.19 | 815 | 55.25 |
| Normal | 92 | 63.89 | 551 | 37.36 |

Die in das Modell eingehenden Verteilungen für die Anzahl Proben und Parameter sowie Art der Parameter werden in der folgenden Analyse bezüglich der vermuteten (Wochenende, Wochentag) und ermittelten (Spitzen-, Normal-, Nachtbelastung) Phasen genauer untersucht, um die Belastungsstruktur der Station zu ermitteln.

2.2.2 Mengenmäßige Struktur

2.2.2.1 Probenanzahl

Unterschiede im Probenanfall sollen unter der Prüfhypothese der Gleichheit der Probenbelastungen durch einen Kolmogorov-Smirnov-Test untersucht werden.

Nach Tabelle 5 lassen sich signifikante Unterschiede im Probenanfall erkennen. Sowohl am Wochenende (We) als auch in der Woche (Wt) unterscheidet sich die Spitzenbelastungsphase (Sp) von den anderen Phasen signifikant. Während der Woche kann zudem ein Unterschied zwischen der Normal- (No) und der Nachtbelastungsphase (Na) mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 4.3% festgestellt werden. Der bei der Betrachtung des gesamten Zeitraumes festgestellte Unterschied zwischen Nacht- und Normalbelastungsphase (vgl. Tabelle 3) kann also auf einen Unterschied dieser Phasen während der Woche zurückgeführt werden. Am Wochenende ist der Unterschied nicht signifikant, die Prüfhypothese kann hier nur mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 99.2% abgelehnt werden. Vergleicht man die Nacht- und die Normalbelastungsphase am Wochenende mit der während der Woche, so erkennt man, daß insbesondere nachts Unterschiede bestehen, die aber bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 34.3% (im Gegensatz zu 86.1% für die Normalbelastungsphase) nicht signifikant sind. Betrachtet man die Belastungen in der Woche mit denen während des Wochenendes, so fällt die Übereinstimmung der Belastung in der Spitzenphase auf. Die Vermutung eines Einflusses des Wochenendes auf die Anzahl der Proben kann hier also nicht bestätigt werden.

Tab. 5: Kolmogorov-Smirnov-Test: Probenanzahl

| | We/Na | We/Sp | We/No | Wt/Na | Wt/Sp | Wt/No |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| We/Na | ----- | | | | | |
| We/Sp | 0.000 | ----- | | | | |
| We/No | 0.992 | 0.000 | ----- | | | |
| Wt/Na | 1.000 | 0.000 | 0.343 | ----- | | |
| Wt/Sp | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | ----- | |
| Wt/No | 0.861 | 0.000 | 1.000 | 0.043 | 0.000 | ----- |

Obwohl in dem Vergleich einiger Phasen die Prüfhypothese der Übereinstimmung der Anforderungsprofile nicht abgelehnt werden kann, sollen diese Verteilungen trotzdem getrennt in das Modell eingehen, um durch die Berücksichtigung einer einheitlichen zeitlichen Struktur eine problemlose Anpassung des Modells an andere Datensituationen zu gewährleisten.

In das Modell gehen die in den Tabellen 6 und 7 aufgeführten empirischen Häufigkeitsverteilungen ein.

Tab. 6: Verteilung des Probenanfalls am Wochenende

| Proben/ Periode | Nachtbelast. | | Spitzenbelast. | | Normalbelast. | |
|--------------------|--------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|
| | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. |
| 0 | 557 | 93.7 | 248 | 72.5 | 1516 | 91.5 |
| 1 | 25 | 4.3 | 47 | 13.7 | 118 | 7.2 |
| 2 | 8 | 1.3 | 21 | 6.1 | 15 | 0.9 |
| 3 | 3 | 0.5 | 9 | 2.6 | 7 | 0.4 |
| 4 | 1 | 0.2 | 5 | 1.5 | | |
| 5 | | | 3 | 0.9 | | |
| 6 | | | 2 | 0.6 | | |
| 7 | | | 3 | 0.9 | | |
| 8 | | | 2 | 0.6 | | |
| 9 | | | 2 | 0.6 | | |

Tabelle 6 zeigt, daß zum Beispiel in 557 aller 594 betrachteten Nachtperioden an einem Wochenende keine Probenanalyse an-

gefordert wurde, 93.7% aller Wochenende-Nachtperioden blieben also ohne Probenanforderung. Für das Modell bedeutet dies, daß aufgrund der Verteilung mit einer Wahrscheinlichkeit von 93.7% in dieser Belastungsphase keine Probe gezogen wird. Mit der geringen Wahrscheinlichkeit von 0.2% werden in dieser Periode vier Proben gezogen.

Tab. 7: Verteilung des Probenanfalls am Wochentag

| Proben/ Periode | Nachtbelast. | | Spitzenbelast. | | Normalbelast. | |
|--------------------|--------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|
| | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. |
| 0 | 1405 | 96.8 | 565 | 67.6 | 3712 | 91.7 |
| 1 | 42 | 2.9 | 142 | 17.0 | 295 | 7.3 |
| 2 | 2 | 0.1 | 51 | 6.1 | 36 | 0.9 |
| 3 | 3 | 0.2 | 31 | 3.7 | 5 | 0.1 |
| 4 | | | 16 | 1.9 | | |
| 5 | | | 12 | 1.4 | | |
| 6 | | | 8 | 1.0 | | |
| 7 | | | 6 | 0.7 | | |
| 8 | | | 1 | 0.1 | | |
| 9 | | | 3 | 0.4 | | |
| 10 | | | 0 | 0.0 | | |
| 11 | | | 1 | 0.1 | | |

2.2.2.2 Parameteranzahl

Nach der Entscheidung des behandelnden Arztes können auf den im Versuch eingesetzten Geräten bis zu 15 verschiedene Parameter pro Probe bestimmt werden. Durch den Vergleich der Anzahl Parameter pro Probe in den ermittelten Phasen soll auch hier die Belastungsstruktur der Station beschrieben werden.

In Tabelle 8 läßt sich erkennen, daß die Spitzenbelastungsphase sich von beiden anderen Phasen sowohl am Wochenende als auch während der Woche signifikant unterscheidet, hier werden längere Serien, d.h. mehr Parameter pro Probe, untersucht. Die Prüfhypothese einer gleichen Anzahl von Parametern pro Probe kann bei einem Vergleich der Nacht- und der Normalbelastungsphase sowohl am Wochenende mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 1.5% als auch in der Woche mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 4.1% abgelehnt werden. Auch für diesen Be-

reich ist also eine Aufteilung des Tages in die drei Phasen gerechtfertigt. Eine längere Analyseserie ist auch für die Spitzenbelastungsphase in der Woche im Gegensatz zu der am Wochenende zu erkennen. Hier bestätigt sich die Vermutung einer unterschiedlichen Belastungsstärke am Wochenende.

Tab. 8: Kolmogorov-Smirnov-Test: Parameter pro Probe

| | We/Na | We/Sp | We/No | Wt/Na | Wt/Sp | Wt/No |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| We/Na | ----- | | | | | |
| We/Sp | 0.028 | ----- | | | | |
| We/No | 0.015 | 0.000 | ----- | | | |
| Wt/Na | 0.755 | 0.009 | 0.110 | ----- | | |
| Wt/Sp | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | ----- | |
| Wt/No | 0.219 | 0.000 | 0.084 | 0.041 | 0.000 | ----- |

Ein Vergleich dieser Daten mit Daten aus der vorher abgeschlossenen Phase der Parallelbestimmung zeigt, daß durch den Einsatz der reflektometrischen Analysegeräte verstärkt einzelne Parameteruntersuchungen angefordert werden. Von den 156 Ein-Parameter-Untersuchungen sind dabei 94% (147) in den belastungsschwachen Phasen reflektometrisch untersucht worden. Dieser Effekt wird in den in das Modell eingehenden Häufigkeitsverteilungen (vgl. Tabellen 9 und 10) berücksichtigt. Die Wahrscheinlichkeit, daß in dem Modell einer aufgrund der Probenverteilung zufällig gezogenen Probe ein Parameter zugeordnet wird, ist am Wochenende während der Nachtbelastungsphase 22.2%, in der Normalbelastungsphase 27.8%, in der Spitzenbelastungsphase hingegen nur 0.9%.

Tab. 9: Verteilung der Anzahl Parameter pro Probe am Wochenende

| Parameter/ Probe | Nachtbelast. | | Spitzenbelast. | | Normalbelast. | |
|---------------------|--------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|
| | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. |
| 1 | 12 | 22.2 | 2 | 0.9 | 47 | 27.8 |
| 2 | 1 | 1.9 | 2 | 0.9 | 8 | 4.7 |
| 3 | 0 | 0 | 3 | 1.4 | 9 | 5.3 |
| 4 | 1 | 1.9 | 17 | 7.8 | 21 | 12.4 |
| 5 | 23 | 42.4 | 83 | 38.2 | 46 | 27.3 |
| 6 | 9 | 16.7 | 51 | 23.5 | 24 | 14.2 |
| 7 | 0 | 0.0 | 30 | 13.8 | 8 | 4.7 |
| 8 | 5 | 9.3 | 16 | 7.4 | 0 | 0.0 |
| 9 | 2 | 3.7 | 11 | 5.2 | 3 | 1.8 |
| 10 | 1 | 1.9 | 2 | 0.9 | 0 | 0.0 |
| 11 | | | | | 3 | 1.8 |

Tab. 10: Verteilung der Anzahl Parameter pro Probe am Wochentag

| Parameter/ Probe | Nachtbelast. | | Spitzenbelast. | | Normalbelast. | |
|---------------------|--------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|
| | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. |
| 1 | 14 | 25.9 | 7 | 1.2 | 74 | 19.4 |
| 2 | 0 | 0.0 | 4 | 0.7 | 11 | 2.9 |
| 3 | 1 | 1.9 | 5 | 0.8 | 31 | 8.1 |
| 4 | 2 | 3.7 | 17 | 2.8 | 41 | 10.8 |
| 5 | 19 | 35.1 | 126 | 21.1 | 94 | 24.7 |
| 6 | 11 | 20.4 | 201 | 33.7 | 57 | 15.0 |
| 7 | 6 | 11.1 | 139 | 23.3 | 17 | 4.5 |
| 8 | 1 | 1.9 | 60 | 10.1 | 20 | 5.2 |
| 9 | | | 16 | 2.7 | 11 | 2.9 |
| 10 | | | 9 | 1.5 | 5 | 1.3 |
| 11 | | | 6 | 1.0 | 13 | 3.4 |
| 12 | | | 6 | 1.0 | 7 | 1.8 |
| 13 | | | 1 | 0.1 | | |

2.2.2.3 Parameterart

Da die Fallzahlen gerade bei den Notfallparametern sehr klein sind, muß hier auf eine statistische Analyse verzichtet werden. Durch Betrachtung der Daten lassen sich aber folgende, von den behandelnden Ärzten bestätigten, Aussagen treffen:

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein bestimmter Parameter untersucht wird, ist in der Regel über die Wochentage und während des Tages gleich. Ausnahmen sind die Parameter Phenobarbital und Theophyllin, die weder nachts noch am Wochenende angefordert werden; LDH und gammaGT, die nie nachts angefordert werden und die Untersuchung auf Triglyceride, die nur in der Spitzenbelastungsphase angefordert wird. Für die Parameter Creatinin und Eiweiß werden für die einzelnen Tagesphasen stark unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten beobachtet.

In dem Modell werden die auch in den Daten zu erkennenden medizinisch/chemischen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Parametern, wie z.B. die Zusammenfassung der Anforderungen von Calcium, Chlorid, Kalium und Natrium bei Elektrolytbestimmungen, nicht berücksichtigt. Diese Vereinfachung kann durch eine Betrachtung von logisch zusammengehörenden Parameter-Cluster aufgehoben werden. Das Modell kann die daraus entstehenden Verteilungen verarbeiten.

Die Tabellen 11 und 12 geben die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens eines bestimmten Parameters an, dabei sind in dem Modell die Parameter in der hier angegebenen Reihenfolge beginnend bei 21 durchnummeriert. Das Modell ordnet jedem zuvor gezogenen Parameter durch die angegebenen Verteilungen einen Namen zu. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein zu untersuchender Parameter zum Beispiel Bilirubin ist, beträgt in der Nachtbelastungsphase am Wochenende 5.1%.

Tab. 11: Wahrscheinlichkeit der Anforderung einer bestimmten Parameterart am Wochenende

| Parameterart | Nachtbelast. | | Spitzenbelast. | | Normalbelast. | |
|---------------|--------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|
| | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. |
| Bilirubin | 13 | 5.1 | 53 | 4.2 | 39 | 5.9 |
| Calcium | 40 | 15.7 | 209 | 16.6 | 91 | 13.7 |
| Chlorid | 41 | 16.1 | 204 | 16.2 | 111 | 16.7 |
| Creatinin | 6 | 2.3 | 35 | 2.8 | 10 | 1.5 |
| Eiweiß | 6 | 2.3 | 45 | 3.6 | 13 | 2.0 |
| gammaGT | 0 | 0.0 | 9 | 0.7 | 4 | 0.6 |
| Glucose | 52 | 20.4 | 200 | 15.7 | 135 | 20.3 |
| GPT | 0 | 0.0 | 7 | 0.6 | 4 | 0.6 |
| Hämoglobin | 10 | 3.9 | 26 | 2.0 | 23 | 3.4 |
| Kalium | 41 | 16.1 | 210 | 16.7 | 114 | 17.2 |
| LDH | 0 | 0.0 | 2 | 0.2 | 4 | 0.6 |
| Natrium | 41 | 16.1 | 210 | 16.7 | 114 | 17.1 |
| Phenobarbital | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Theophyllin | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Triglyceride | 5 | 2.0 | 51 | 4.0 | 3 | 0.4 |

Tab. 12: Wahrscheinlichkeit der Anforderung einer bestimmten Parameterart am Wochentag

| Parameterart | Nachtbelast. | | Spitzenbelast. | | Normalbelast. | |
|---------------|--------------|-------|----------------|-------|---------------|-------|
| | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. | Anz. | Wahr. |
| Bilirubin | 11 | 4.6 | 160 | 4.2 | 117 | 6.4 |
| Calcium | 37 | 15.7 | 576 | 15.3 | 251 | 13.8 |
| Chlorid | 40 | 17.0 | 583 | 15.5 | 284 | 15.6 |
| Creatinin | 3 | 1.2 | 114 | 3.0 | 62 | 3.4 |
| Eiweiß | 4 | 1.7 | 122 | 3.2 | 65 | 3.6 |
| gammaGT | 0 | 0.0 | 41 | 1.1 | 31 | 1.7 |
| Glucose | 51 | 21.6 | 541 | 14.4 | 293 | 16.1 |
| GPT | 0 | 0.0 | 40 | 1.1 | 32 | 1.8 |
| Hämoglobin | 6 | 2.5 | 201 | 5.3 | 61 | 3.4 |
| Kalium | 40 | 17.0 | 585 | 15.5 | 291 | 16.0 |
| LDH | 0 | 0.0 | 17 | 0.4 | 23 | 1.2 |
| Natrium | 40 | 17.0 | 585 | 15.5 | 291 | 16.0 |
| Phenobarbital | 0 | 0.0 | 14 | 0.4 | 2 | 0.1 |
| Theophyllin | 0 | 0.0 | 12 | 0.3 | 0 | 0.0 |
| Triglyceride | 4 | 1.7 | 181 | 4.8 | 17 | 0.9 |

3. Modell

Das Modell zur Analyse der Auswirkungen einer Änderung der Belastungsstruktur oder einer Änderung der Geräte-Konfiguration wurde aus zwei Gründen in der Simulationssprache SIMAN⁹ programmiert. Ein Grund liegt in der zugrunde gelegten Problemstellung, die ein Hilfsmittel zur Abbildung von Warteschlangensystemen erfordert. SIMAN stellt hier eine Reihe unterschiedlicher Module zur Modellierung dieser Warteschlangen zur Verfügung und übernimmt die interne Zeitsteuerung des Durchlaufes von Ereignissen (Entities) durch die Warteschlangen. Ein weiterer Grund ist die leichte Abänderbarkeit der zugrunde gelegten Daten bezüglich der Art der Verteilungen sowie Länge und Lage der Phasen oder der Modellstruktur. Aus diesem Grund wurde auch auf eine mögliche und an einigen Stellen sinnvolle Einbindung von FORTRAN-Unterprogrammen verzichtet. Statt dessen wurden diese Programm-Teile (hauptsächlich logische Verzweigungen, die kompakter mit einem QPICK-Block programmiert worden wären) explizit formuliert.

In der Regel wird SIMAN für prozeßorientierte Simulationen mit deterministischen Ereignissen und stochastischen Zeiten verwendet, hier wurde aufgrund der Aufgabenstellung ein ereignisorientiertes Simulationskonzept mit deterministischen Zeiten und stochastischen Ereignissen gewählt.

In SIMAN wird das eigentliche Modell getrennt von dem experimentellen Teil mit den Verteilungen verwaltet; beide Teile sollen im folgenden ausführlich beschrieben werden. Einen Überblick über den experimentellen Rahmen und über die Modellstruktur bietet das Programmlisting im Anhang.

3.1 Experimenteller Rahmen des Modells

Nachdem die Modellgröße (DISKRETE) festgelegt und die Initialisierung (INITIALIZE) auf Periode 1 (X(1)), Normalbelastungsphase (X(2)), Montag (X(3)) und Wochentag

⁹ Vgl. Pedgen, C.D. [1985].

(X(4)) vorgenommen wurde, wird in dem RESOURCES-Block die Kapazität der fünf reflektometrischen Geräte auf eine Einheit (Parameter), die Kapazität beim Pipetieren auf eine Einheit (Probe) und die Kapazität der Zentrifuge auf sechs Einheiten (Proben) festgelegt.

Durch die folgenden DSTATS-Anweisungen wird die Anzahl der in den Warteschlangen vor den Geräten sich befindenden Proben erfaßt. Der PARAMETERS-Block beinhaltet die empirischen Verteilungen für die Anzahl der Proben pro Periode (1 bis 6), die Anzahl der Parameter pro Probe (7 bis 12) und die Art der Parameter (13 bis 18) für die einzelnen Phasen. Im TALLIES-Block werden Dateien zur Erfassung von im Modell definierten Beobachtungswerten festgelegt. Es wird die Anzahl der Proben, Parameter und Parameterart sowie die Bearbeitungszeit der Proben für die Tagesquartale getrennt erfaßt. Abschließend wird die Anzahl, Startzeit und Länge der Simulationsläufe festgelegt (REPLICATE).

3.2 Modellstruktur

In dem Modell wird alle zehn Zeiteinheiten ein Entity erzeugt, welches als bewegliches Systemelement für den Ablauf des Modells wichtig ist.

Der erste Teil des Modells beinhaltet die Zeitsteuerung, hier werden die globalen Variablen (X(i)) für Zeiten und Phasen bestimmt.

Anschließend folgt in einem zweiten Teil die Bestimmung der stochastischen Mengen. Nachdem zunächst aufgrund des Wochentages und der Belastungsphase die Verteilung bestimmt wurde, wird eine Zufallszahl für die Anzahl der Proben gezogen. Wird eine Anzahl von Null gezogen, so wird das Entity im DELE-Block aus dem System entfernt. Bei jeder positiven Zufallszahl wird das Entity auf diese Anzahl dupliziert und bekommt durch Attribute (A(i)) die Entstehungszeit und eine Nummer zugewiesen. Für jedes so spezifizierte Entity wird, wiederum

nach Bestimmung der Verteilung, eine Anzahl Parameter gezogen. Aufgrund dieser Anzahl wird durch eine dritte Verteilung die Art der Parameter bestimmt und Attributen (A(21) bis A(35)) zugewiesen, wobei der Wert 1 eines Attributes bedeutet, daß dieser Parameter untersucht werden soll.

Im dritten Teil werden, je nach Art der zu untersuchenden Parameter, die ersten Warteschlangen vor den Modellstationen belegt. In dem Programm haben alle Warteschlangen FIFO-Prioritätsregeln (First in, first out) als Warteschlangendisziplin. Die hier modellierten Warteschlangen liegen vor den Modellstationen, in denen die gesamte Probe bearbeitet wird, hierzu gehören das Pipettieren und das Zentrifugieren. Die Bewegung des Entities wird für die Dauer der Wartezeit bis zum Pipettieren oder Zentrifugieren und der Dauer dieser Tätigkeiten verzögert.

Im vierten Teil wird zur Verteilung der Proben auf die modellierten reflektometrischen Geräte wiederum jedes Entity auf eine Anzahl von Fünf dupliziert, wodurch gewährleistet wird, daß jede Probe unabhängig von der Art der zu untersuchenden Parameter auf alle Modellstationen verteilt werden kann, was für den weiteren Programmablauf wichtig ist.

Jedes Analysegerät ist mit zwei Warteschlangen modelliert worden. Es erfolgt eine parameterbezogene Zuweisung in die erste Warteschlange vor den Analysegeräten, wenn auf diesen Geräten eine Parameterbestimmung stattfinden soll. Das Entity wird in der Warteschlange erneut für die Dauer der Wartezeit bis zur Analyse und der Länge der Analysezeit verzögert. Danach tritt es, wie alle Entities von nicht zu bestimmenden Parametern, in die zweite, nicht verzögerte, Warteschlange dieser Modellstation ein. Der MATCH-Block faßt alle fünf Entities mit einer Nummer zusammen, sobald alle in die zweite Modellstations-Warteschlange eingestellt wurden, und speichert die Zeit vom Entstehen dieser Probe bis zur Zusammenfassung für die Tagesquartale getrennt als Bearbeitungsdauer ab. Anschließend werden alle fünf Entities dieser Probe mit ihren Attributen aus dem System entfernt.

3.3 Validierung des Modells

Zur Überprüfung des Modells wurden die erzeugten Verteilungen mit den eingegangenen, empirischen Verteilungen verglichen. Als Phase für die Überprüfung wurde die Spitzenbelastungsphase an einem Wochentag gewählt, da in diese Phase die meisten Beobachtungen fallen. Es wurde ein Zeitraum von 44 Wochentagen als Simulationsdauer gewählt, um auch die Absolutwerte mit den während der Datenerfassung auf der Station in diesem Zeitraum beobachteten empirischen Werten vergleichen zu können.

In dem Modell wurden in diesem Zeitraum 274 Proben (603 Parameter) erzeugt, während des gleichen Zeitraumes wurden auf der Station 271 Proben (597 Parameter) analysiert. Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen, daß trotz des mehrstufigen Zufallsprozesses die empirischen Daten durch das Modell wiedergegeben werden.

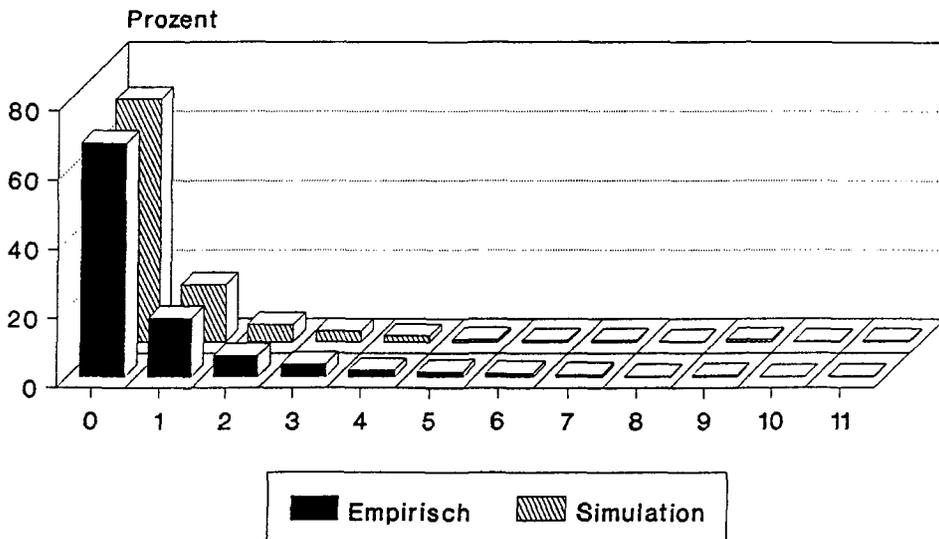


Abb. 2: Vergleich empirische vs. Simulationsdaten:
Anzahl Proben pro Periode

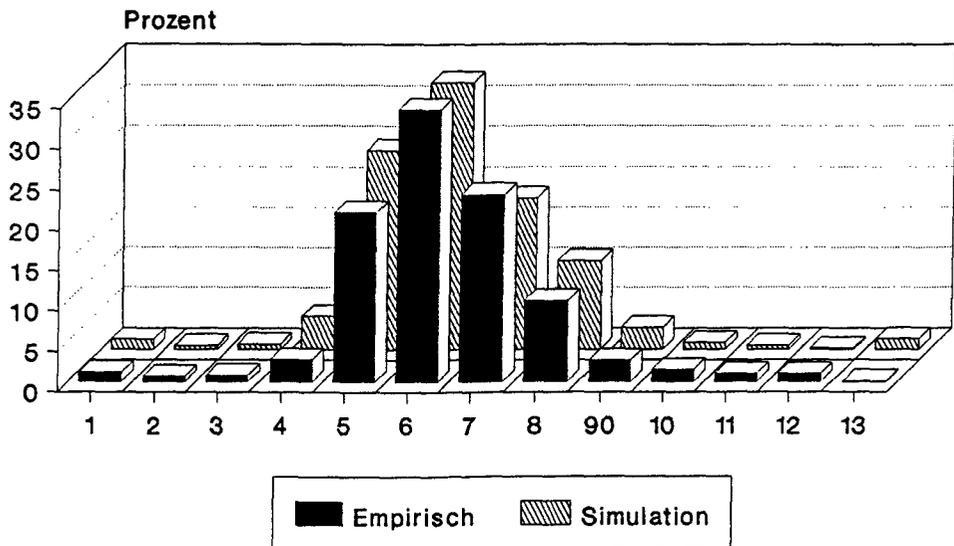


Abb. 3: Vergleich empirische vs. Simulationsdaten:
Anzahl Parameter pro Probe

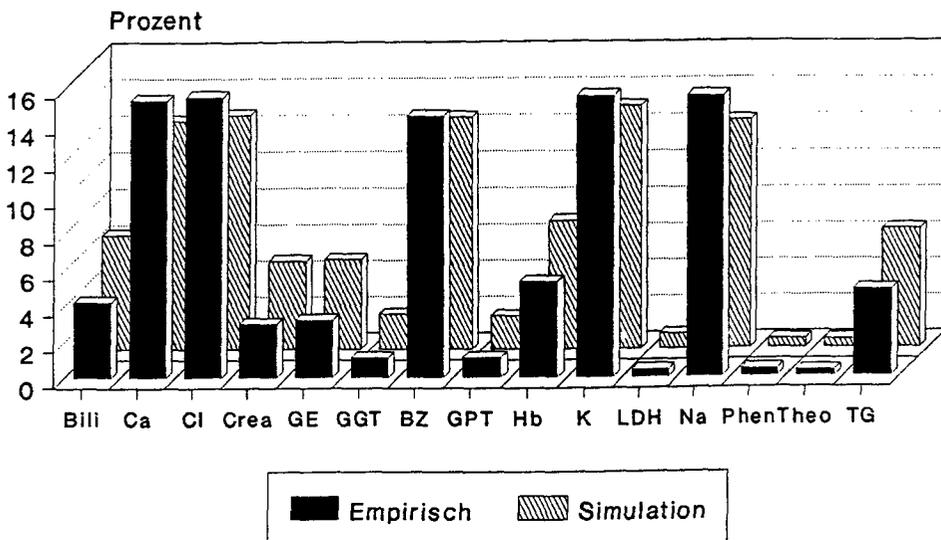


Abb. 4: Vergleich empirische vs. Simulationsdaten:
Art Parameter

Betrachtet man die aus dem Modell resultierenden reinen Bearbeitungszeiten der Proben (vgl. Abbildung 5), so fällt die Übereinstimmung mit den während der Projektlaufzeit beobachteten Zeiten zwischen Weiterleitung der Proben und der Ergebnis-

vorlage (vgl. Abbildung 6) auf. Die maximalen Bearbeitungszeiten bei der im Projekt genutzten Gerätekonstellation betragen im ersten und vierten Quartal 30 Minuten, im zweiten Quartal 110 und im dritten Quartal 40 Minuten.

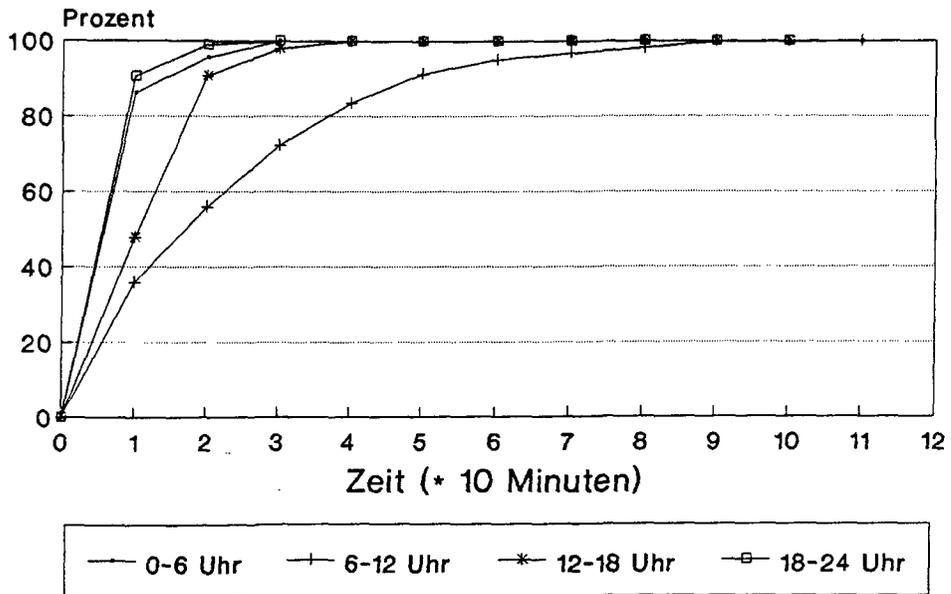


Abb. 5: Bearbeitungszeit zu verschiedenen Tageszeiten

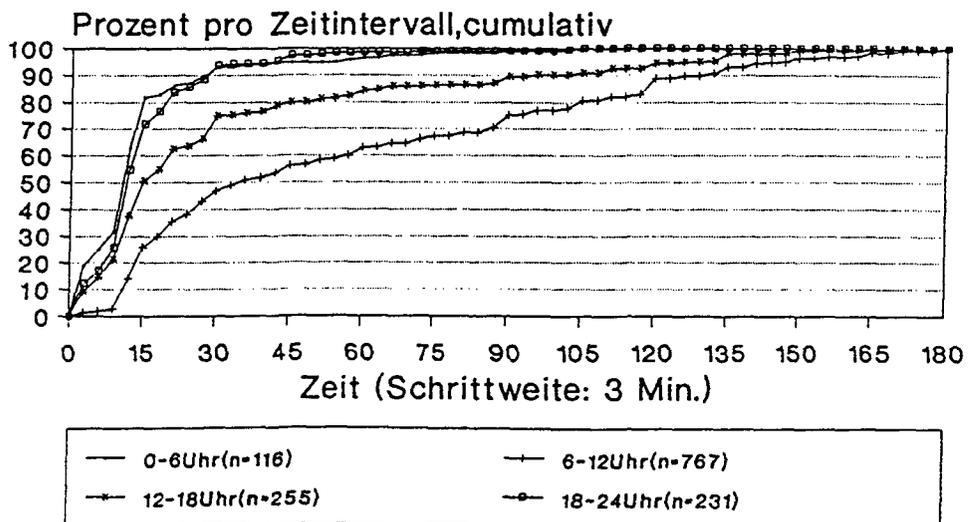


Abb. 6: Zeit zwischen Weiterleitung der Proben und Ergebnisvorlage zu verschiedenen Tageszeiten
Quelle: Krawinkel, M. [1991], Abbildung 104.

3.4 Einsatzmöglichkeiten des Simulationsmodells

Nachdem die Grundstruktur des Modells dargestellt wurde, sollen nun Ergebnisse einiger Simulationen vorgestellt werden, die mit Hilfe weniger Abänderungen der Grundstruktur ermittelt wurden. Das Modell läßt sich bezüglich der Lage und Länge der Belastungsphasen, der eingehenden Verteilungen und der betrachteten Gerätekonstellation leicht abändern. Hier sollen Ergebnisse mit geänderter Gerätekonstellation und Belastungsstruktur aufgezeigt werden.

3.4.1 Simulation der Auswirkungen anderer Gerätekonstellationen auf die Bearbeitungszeit

Die in dem Projekt genutzte Gerätekonstellation mit der festen Zuordnung der Parameter zu bestimmten Geräten gibt das Leistungsspektrum der reflektometrischen Analysegeräte nicht vollständig wieder. Es ist anzunehmen, daß bei einem Einsatz in der Stationsroutine alle analysierbaren Parameter auf einem Gerät untersucht werden.

Von den betrachteten Geräten hat das Ektachem DT60 das größte Leistungsspektrum, bis auf Phenobarbital können alle in dem Projekt betrachteten Analyte untersucht werden. Die Auswirkungen des ausschließlichen Einsatzes dieses Gerätes auf die Bearbeitungszeit soll mit Hilfe des Simulationsmodells untersucht werden. Es wurde als Simulationslaufzeit ein Zeitraum von vier Wochen gewählt, da sich in diesem Zeitraum die Ergebnisse stabilisierten.

Wird bei der gegebenen Belastung nur ein Gerät eingesetzt (Simulation 1), verlängern sich die maximalen Bearbeitungszeiten dramatisch (1. Quartal: 70 Minuten, 2. Quartal: 280 Minuten, 3. Quartal: 430 Minuten, 4. Quartal: 60 Minuten). Es fallen insbesondere die sehr langen Bearbeitungsphasen im 3. Quartal auf, in dem zusätzlich zu den neu erzeugten Proben der Überhang des 2. Quartals abgearbeitet werden muß. Eine nähere Analyse der Bearbeitungszeiten zeigt hier, daß die lange Zeit

von über sieben Stunden von zwei Ausreißern (Proben) resultiert, die sich 410 bzw. 430 Minuten im System befinden. Die maximale Bearbeitungszeit von 95% der Proben liegt bei 340 Minuten.

In den folgenden Simulationen wurden sowohl die Anzahl der Analysegeräte als auch die Anzahl der Vorbereitungsstationen variiert (Simulation 2: Eine Vorbereitungsstation, zwei Analysegeräte; Simulation 3: Eine Vorbereitungsstation, drei Analysegeräte; Simulation 4: Zwei Vorbereitungsstationen (Zentrifugen), drei Analysegeräte), wobei der Einsatz mehrerer gleicher Modellstationen mit Hilfe von PICKQ-Blöcken so modelliert wurde, daß die zu analysierenden Proben sich in die kürzeste Warteschlange vor den parallel angeordneten Modellstationen einordneten. Die Abbildungen 7 bis 10 zeigen die Bearbeitungszeiten in allen Tagesquartalen. Abbildung 7 läßt erkennen, daß die maximale Bearbeitungszeit im ersten Tagesquartal von 70 Minuten (Simulation 1) über 50 Minuten (Simulation 2) auf 40 Minuten (Simulation 3 und 4) sinkt.

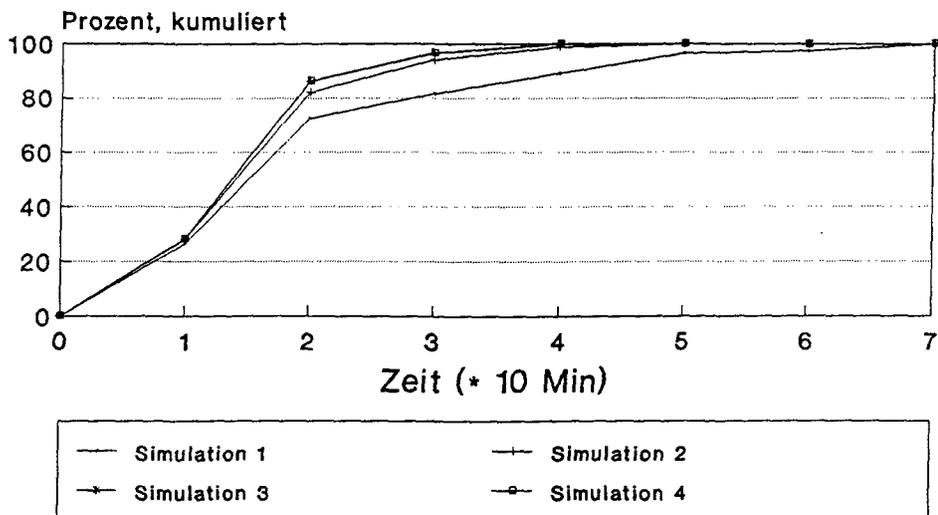


Abb. 7: Bearbeitungszeit bei unterschiedlicher Gerätekonstellation
(1. Quartal: 00 - 06 Uhr)

Wesentlich stärker fällt die Zeitersparnis im zweiten Tagesquartal (vgl. Abbildung 8) ins Gewicht. Hier läßt sich die maximale Bearbeitungszeit von 280 Minuten (Simulation 1) über 210 Minuten (Simulation 2) auf 110 Minuten (Simulation 3 und 4) reduzieren.

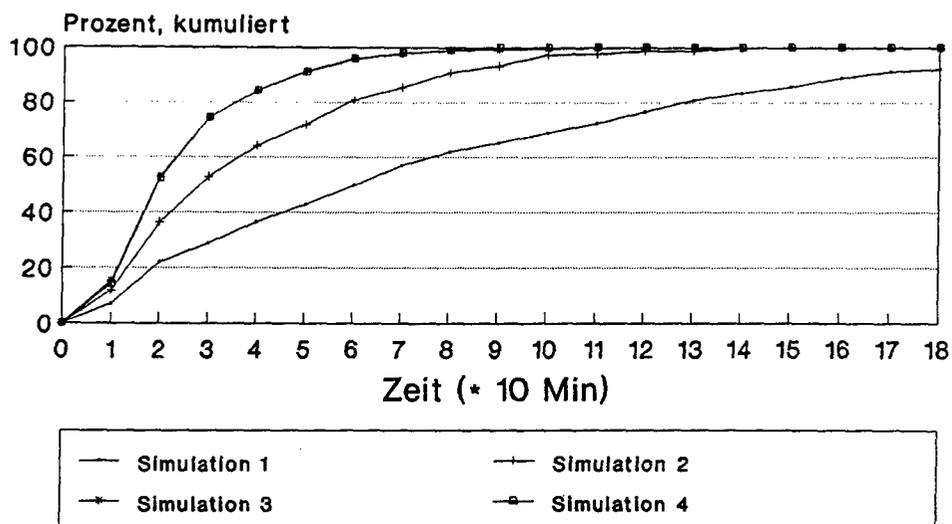


Abb. 8: Bearbeitungszeit bei unterschiedlicher Gerätekonstellation
(2. Quartal: 06 - 12 Uhr)

Im dritten Quartal verringert sich die Bearbeitungszeit bei dem Einsatz eines zweiten Gerätes dramatisch. Durch die schnellere Analyse der Proben kann hier eine extrem ansteigende Warteschlangenlänge verhindert werden.

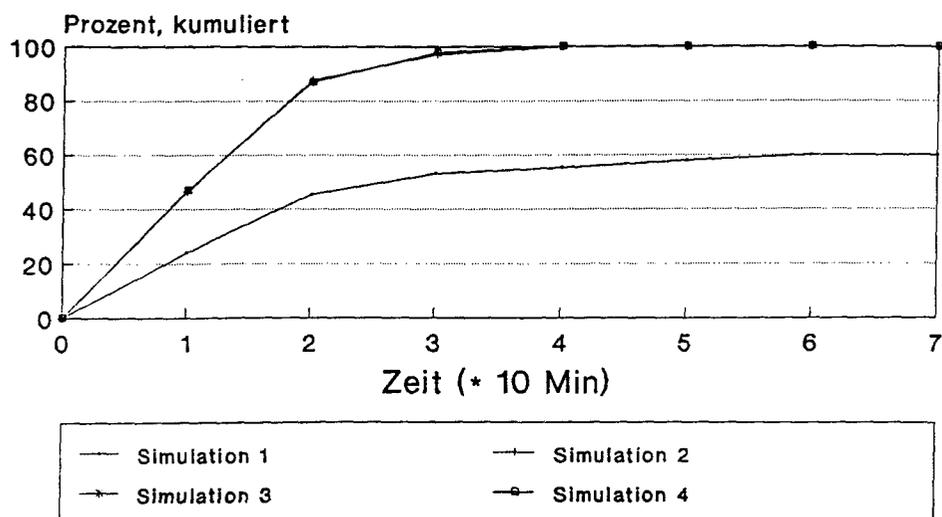


Abb. 9: Bearbeitungszeit bei unterschiedlicher Gerätekonstellation
(3. Quartal: 12 - 18 Uhr)

Die Auswirkungen des Einsatzes mehrerer Geräte ist im vierten Tagesquartal mit der im ersten Quartal zu vergleichen (vgl. Abbildung 10). Die maximale Bearbeitungszeit läßt sich hier von 60 Minuten (Simulation 1) auf 40 Minuten (Simulation 2, 3 und 4) reduzieren.

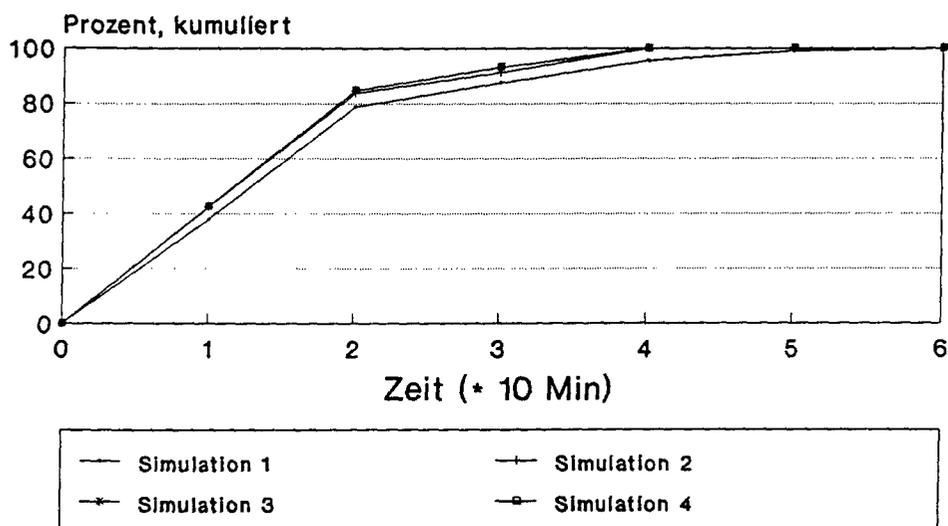


Abb. 10: Bearbeitungszeit bei unterschiedlicher Gerätekonstellation (4. Quartal: 18 - 24 Uhr)

Eine Erhöhung der Analysekapazität durch den Einsatz von drei Geräten hat nur im zweiten Quartal eine merkbare Verkürzung der Bearbeitungszeit zur Folge. Die geringe Verkürzung der Analysezeit im ersten Quartal ist auf die schon vor der identifizierten Spitzenbelastungsphase beginnende stärkere Belastung zurückzuführen. Schon ab 5.30 Uhr steigt die Anzahl der zu untersuchenden Proben stark an. In den durchgeführten Simulationen, selbst bei einer sehr geringen Belastung in der Nachtbelastungsphase, konnte eine maximale Bearbeitungszeit von unter 40 Minuten nicht beobachtet werden.

Eine Analyse der Warteschlangen (vgl. Tabelle 13) läßt vermuten, daß eine Vergrößerung der Vorbereitungskapazität durch eine weitere Person (Pipettieren) oder ein weiteres Gerät (Zentrifugieren) keine Auswirkung auf die Bearbeitungszeit haben wird. Die Abbildungen und die genauere numerische Analyse der Ergebnisse der Simulationen 3 und 4 bestätigen am Beispiel

des Einsatzes einer zweiten Zentrifuge, daß die parallele Vorbereitung keinen Einfluß auf die gesamte Bearbeitungszeit hat, sondern daß der Engpaß in den durchgeführten Simulationen bei den Analysegeräten liegt. Gerade diese Ergebnisse werden sich natürlich ändern, wenn in dem Modell nicht nur die "technischen" Zeiten, sondern zusätzlich auch die Zeiten für die einzelnen Handgriffe betrachtet werden.

Tab. 13: Analyse der Warteschlangen

| Lauf/ Station | Minimale Anzahl | Maximale Anzahl | Mittel- wert | Standard- abweichung |
|------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------------|
| Simulation 1 | | | | |
| PIPETTE 1 | 0 | 3 | 0.00 | 0.06 |
| ZENTRI. 1 | 0 | 3 | 0.03 | 0.06 |
| ANALYSE 1 | 0 | 19 | 0.88 | 2.57 |
| Simulation 2 | | | | |
| PIPETTE 1 | 0 | 3 | 0.00 | 0.06 |
| ZENTRI. 1 | 0 | 3 | 0.03 | 0.06 |
| ANALYSE 1 | 0 | 7 | 0.13 | 0.61 |
| ANALYSE 2 | 0 | 7 | 0.09 | 0.49 |
| Simulation 3 | | | | |
| PIPETTE 1 | 0 | 3 | 0.00 | 0.06 |
| ZENTRI. 1 | 0 | 3 | 0.03 | 0.06 |
| ANALYSE 1 | 0 | 4 | 0.03 | 0.24 |
| ANALYSE 2 | 0 | 4 | 0.03 | 0.21 |
| ANALYSE 3 | 0 | 4 | 0.02 | 0.17 |
| Simulation 4 | | | | |
| PIPETTE 1 | 0 | 3 | 0.00 | 0.06 |
| ZENTRI. 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| ZENTRI. 2 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| ANALYSE 1 | 0 | 4 | 0.03 | 0.24 |
| ANALYSE 2 | 0 | 4 | 0.03 | 0.21 |
| ANALYSE 3 | 0 | 4 | 0.02 | 0.17 |

3.4.2 Simulation der Auswirkungen anderer Belastungsstrukturen auf die Bearbeitungszeit

Die die Belastungsstärke determinierende Verteilung der Probenanzahl kann als Poisson-verteilt angenommen werden, da es sich hier um einen Ankunftsprozeß handelt. Der Kolmogorov-

Smirnov Goodness of Fit Test (vgl. Tabelle 14) zeigt jedoch, daß dies nur für die Spitzenbelastungsphasen bestätigt werden kann. Betrachtet man allerdings für diese Phasen die Ausprägungen der theoretischen Verteilung, so fällt auf, daß die Wahrscheinlichkeit des Auftretens vieler (> 6) Proben pro Periode sehr viel geringer ist als bei der empirischen Verteilung, so daß auch hier die Simulationen mit den theoretischen Verteilungen andere Ergebnisse als die mit den empirischen Verteilungen erwarten lassen.

Tab. 14: Test auf Poisson-Verteilung der Anzahl Proben pro Periode

| Phase | Erwartungswert | Wahrsch. |
|---------|----------------|----------|
| We / Na | 0.09 | 0.865 |
| We / Sp | 0.64 | 0.000 |
| We / No | 0.10 | 0.959 |
| Wt / Na | 0.04 | 1.000 |
| Wt / Sp | 0.71 | 0.000 |
| Wt / No | 0.09 | 1.000 |

Es soll hier trotzdem die Belastungsstruktur in allen Phasen durch eine theoretische Poisson-Verteilung mit dem Erwartungswert als Lageparameter modelliert werden, da in der für die Entscheidung wichtigen Spitzenbelastungsphase zumindest eine statistische Übereinstimmung der empirischen mit der theoretischen Verteilung gewährleistet ist. Zur Variation der Belastungsstruktur kann nun der Lageparameter der Poisson-Verteilung schrittweise verändert werden. Eine Vergrößerung des Lageparameters um 10% ist dabei mit einer Erhöhung der Belastung von 10% gleichzusetzen. Für die Anzahl und Art der Parameterbestimmungen werden die von der Probenanzahl unabhängigen empirischen Verteilungen eingesetzt. Abbildung 11 zeigt beispielhaft für das zweite Tagesquartal die Verlängerung der Bearbeitungszeit bei einer Veränderung des Parameters (der Belastung) um jeweils 20% ausgehend von dem in Tabelle 14

aufgeführten Erwartungswert. Es wird dabei von der in Simulation 3 verwendeten Gerätekonstellation ausgegangen.

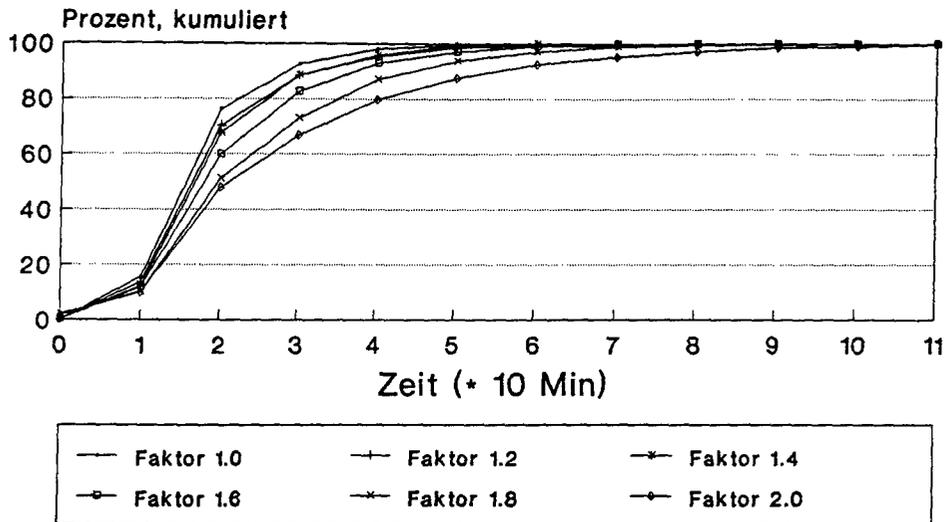


Abb. 11: Bearbeitungszeit bei Variation der theoretischen Verteilung
(2. Quartal: 06 - 12 Uhr)

Eine weitere Möglichkeit der Veränderung der Belastungsstruktur unter Beibehaltung der beobachteten Effekte ist eine diskrete Transformation der empirischen Verteilungen.

Zur Modellierung der Verdoppelung der Belastung ist die diskrete Verteilung $f_Y(y)$ von $y = x_1 + x_2$ zu bestimmen. X_1 und X_2 sind identisch und unabhängig verteilt. X_1 entspricht der durch die Verteilung in den Phasen modellierten Belastung der Station, Y entspricht damit einer Verdoppelung der Belastung.

Für die gemeinsame Verteilung gilt:

$$f_{X_1, X_2}(x_1, x_2) = f_{X_1}(x_1) * f_{X_2}(x_2)$$

Für Y gilt:

$$f_Y(y) = (f_{X_1, X_2}(x_1, x_2) \mid x_1 + x_2 = y)$$

Beispiel:

$$f_Y(1) = f_{X1}(1) * f_{X2}(0) + f_{X1}(0) * f_{X2}(1).$$

Die Tabellen 15 und 16 zeigen die so veränderten Verteilungen. Man erkennt die Verschiebung der Wahrscheinlichkeiten für die Anzahl Proben pro Periode und die Vergrößerung der maximalen Anzahl Proben pro Periode in der Spitzenbelastungsphase am Wochenende.

Tab. 15: Verteilung des Probenanfalls am Wochenende bei Verdoppelung der Stationsbelegung

| Proben/ Periode | Nachtbelast. Wahrsch. | Spitzenbelast. Wahrsch. | Normalbelast. Wahrsch. |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 0 | 87.7 | 52.6 | 83.7 |
| 1 | 8.0 | 19.8 | 13.2 |
| 2 | 2.6 | 10.7 | 2.1 |
| 3 | 1.2 | 5.4 | 1.0 |
| 4 | 0.4 | 3.4 | |
| 5 | | 2.2 | |
| 6 | | 1.3 | |
| 7 | | 1.6 | |
| 8 | | 1.0 | |
| 9 | | 0.8 | |
| 10 | | 0.2 | |

Tab. 16: Verteilung des Probenanfalls am Wochentag bei Verdoppelung der Stationsbelegung

| Proben/ Periode | Nachtbelast. Wahrsch. | Spitzenbelast. Wahrsch. | Normalbelast. Wahrsch. |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 0 | 93.7 | 45.7 | 84.1 |
| 1 | 5.6 | 23.0 | 13.4 |
| 2 | 0.3 | 11.1 | 2.1 |
| 3 | 0.4 | 7.0 | 0.4 |
| 4 | | 4.2 | |
| 5 | | 2.8 | |
| 6 | | 2.1 | |
| 7 | | 1.8 | |
| 8 | | 0.8 | |
| 9 | | 0.6 | |
| 10 | | 0.4 | |
| 11 | | 0.3 | |

Die Analyse der Auswirkung einer Verdoppelung der Belastung wurde unter der in Simulation 3 verwandten Gerätekonstellation vorgenommen. Abbildung 12 zeigt die Verlängerung der Bearbeitungszeiten, die sich im ersten und im vierten Quartal in Grenzen halten, die dagegen im zweiten und ganz besonders im dritten Quartal durch die zusätzliche Abarbeitung der aufgelaufenen Proben aus dem zweiten Quartal merkbar sind.

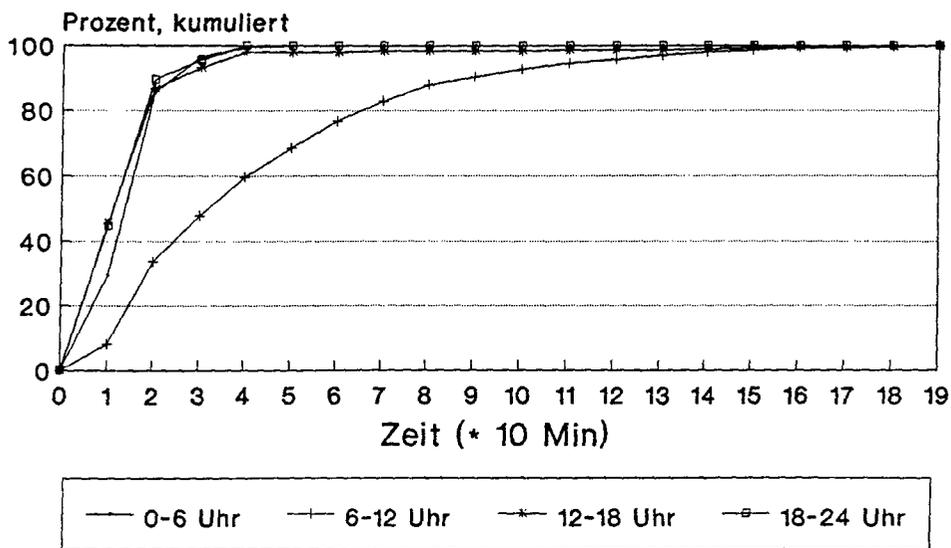


Abb. 12: Bearbeitungszeit bei Verdoppelung der Belastung zu verschiedenen Tageszeiten

Eine gleichzeitige Verdoppelung der Untersuchungskapazität durch Verdoppelung der Vorbereitungs- und Bearbeitungsstationen hat zur Folge, daß die Bearbeitungszeit unter der in Simulation 4 ermittelten zurückgeht (vgl. für die Spitzenbelastungsphase Abbildung 13). Es kann also auf einen nicht-linearen Zusammenhang zwischen Belastungsstärke und Anzahl der Stationen geschlossen werden.

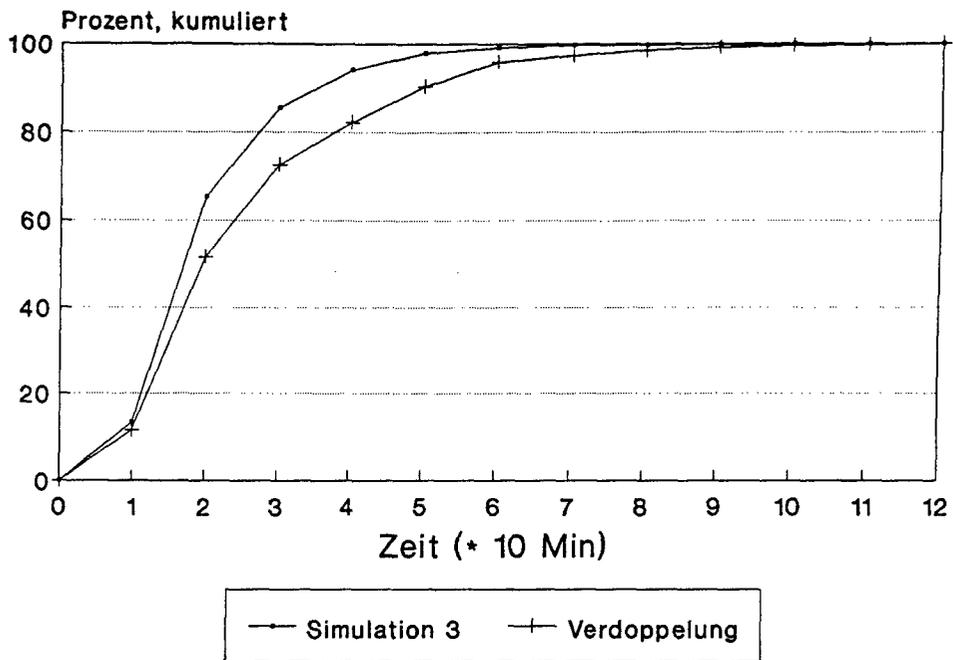


Abb. 13: Vergleich der Bearbeitungszeit

4. Zusammenfassung

Es wurde ein Modell zur Beurteilung der Mengen- und Zeiteffekte bei der Anwendung reflektometrischer Analysegeräte vorgestellt.

Dazu wurden zunächst die in dem Versuch erhobenen Daten statistisch aufbereitet. Es konnte gezeigt werden, daß Unterschiede in der Belastungsstruktur der Intensivstation sowohl während eines Tages als auch während der Woche bestehen.

Anschließend wurde ein Modell konzipiert und in der Simulationssprache SIMAN implementiert, das in der Lage ist, Strukturen und Abläufe auf der Station wiederzugeben.

Die Flexibilität des Modells bezüglich der eingehenden Geräte- und Datenkonstellationen konnte beispielhaft gezeigt werden. Unter den gegebenen Daten wurden zunächst Simulationen bei unterschiedlichen Gerätekonstellationen durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, daß ein Einsatz von drei Analysegeräten nur noch zu geringen Verkürzungen der Bearbeitungszeit führt. Eine Bewertung muß allerdings den Medizinern vorbehalten bleiben.

Weiterhin wurden Ansätze zur Modellierung unterschiedlicher Belastungsstärken auf der Station beschrieben.

Es konnte damit ein Modell formuliert werden, welches leicht an unterschiedlichste Fragestellungen anpaßbar ist und somit für konkrete Entscheidungsprobleme unter anderen Datensituationen einsetzbar ist.

Literaturverzeichnis

Büttner, J. [1985]

Messung von Effizienz und Effektivität bei klinisch-chemischen Untersuchungen. In: Vogel, H.R. (Hrsg.): Effizienz und Effektivität medizinischer Diagnostik. Mainz 1985, S. 39-52.

Craig, T.M. [1985]

The Economics of Near Patient Testing. In: Marks, V.; Alberti, K.G.M.M. (Eds.): Clinical Biochemistry Nearer the Patient. Edinburgh-London-Melborn-New York 1985, S. 162-167.

Gäfigen, G. [1987]

Effektivität und Nettonutzen medizinischer Innovation: Eine Besinnung auf die Grundlagen der Bewertung und eine Anwendung auf diagnostische Verfahren. Diskussionsbeiträge der Universität Konstanz, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und Statistik, Nr. 235, 1987.

Haekel, R. [1982]

Grundlagen von Kosten-Nutzen-Untersuchungen im medizinischen Laboratorium. In: Lang, H.; Rick, W.; Büttner, H. (Hrsg.): Strategien für den Einsatz klinisch-chemischer Untersuchungen. Berlin-Heidelberg-New York 1982, S. 9-23.

Hinz, H.; Weimann, C. [1990]

Zur Akzeptanz reflektometrischer Analysegeräte in der pädiatrisch-internistischen Akutdiagnostik - erste Ergebnisse einer Umfrage. Manuskripte aus dem Institut für Betriebswirtschaftslehre, Nr. 238, 1990.

Horisberger, B. [1987]

Sofortdiagnostik und Wirtschaftlichkeit im Praxislabor. In: Arzt und Wirtschaft 13 (1987), S. 2-8.

Krawinkel, M. [1991]

Einsatz und Bewertung reflektometrischer Bestimmungsverfahren in der Eilfall- und Routinediagnostik einer pädiatrischen Intensivstation. Habilitationsschrift, Kiel 1991.

Krawinkel, M.; Örtel, F.; Weimann, C. et al. [1989]

Einsatz und Bewertung reflektometrischer Bestimmungsverfahren in der pädiatrisch-internistischen Akut- und Notfalldiagnostik. In: Boenik, U; Schalldach, M. (Hrsg.): Biomedizinische Technik. Berlin 1989, S. 227-228.

Östling, G. [1986]

The Economical and Practical Evaluation of Reflectance Spectroscopy. In: Upsala Journal of Medical Sciences 13 (1986), S. 197-200.

- Pedgen, C.D. [1985]**
Introduction to SIMAN. Pennsylvania 1985.
- Plischke, W. [1984]**
Kostenanalyse trockenchemischer Bestimmungen. In:
Laboratoriums Medizin 8 (1984), S. 314-317.
- Sonntag, O. [1988]**
Trockenchemie. Stuttgart-New York 1988.
- Statland, B.E.; Brzys, K. [1990]**
Evaluating STAT Testing Alternatives by Calculating Annual Laboratory Costs. In: Chest 13 (1990), S. 198-203.
- Thomas, L. [1986]**
Neue Entwicklungen und Techniken auf dem Gebiet der Präsenzdiagnostik. In: Laboratoriums Medizin 10 (1986), S. 153-159.
- Wille, E. [1989a]**
Kosten-Nutzen Analysen in der medizinischen Diagnostik - Dargestellt am Beispiel automatischer Diagnosesysteme. In: GIT Labor-Medizin 11 (1989), S. 541-549.
- Wille, E. [1989b]**
Kosten-Nutzen-Aspekte in der Krankenhausdiagnostik. In: Zeitschrift für öffentliche und gemeinwirtschaftliche Unternehmen 12 (1989), S. 329-345.
- Wille, E. [1987]**
Gesamtwirtschaftliche Nutzen und Kosten der Trockenchemie: Chancen und Grenzen im ambulanten Bereich. In: Medizin Mensch Gesellschaft 12 (1987), S. 319-327.
- Zaloga, G.P. [1990]**
Evaluation of Bedside Testing Options for the Critical Care Unit. In: Chest 5 (1990), S. 185-190.

Anhang 1: Graphiken der Belastungsverteilungen

Abb. 14: Verteilung Anzahl Proben
in den Tagesphasen
(Wochentag)

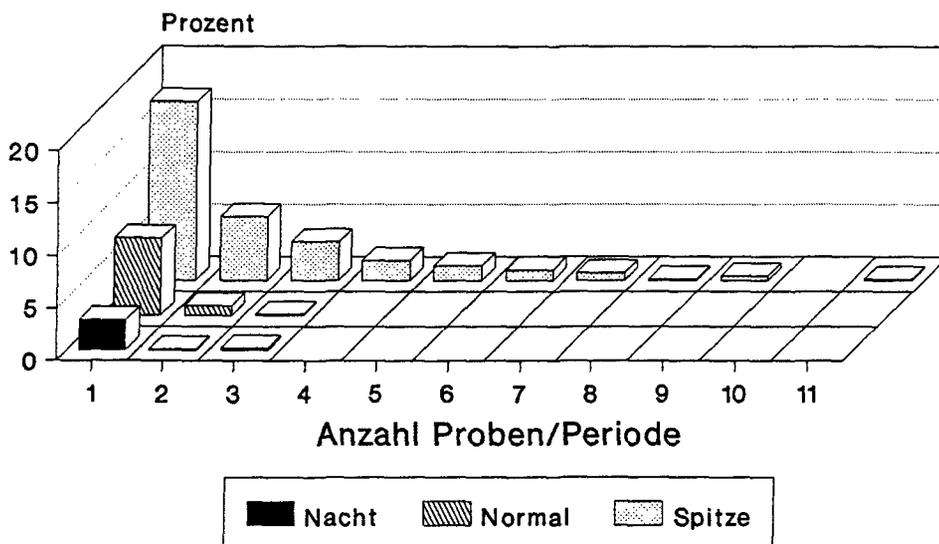


Abb. 15: Verteilung Anzahl Proben
in den Tagesphasen
(Wochenende)

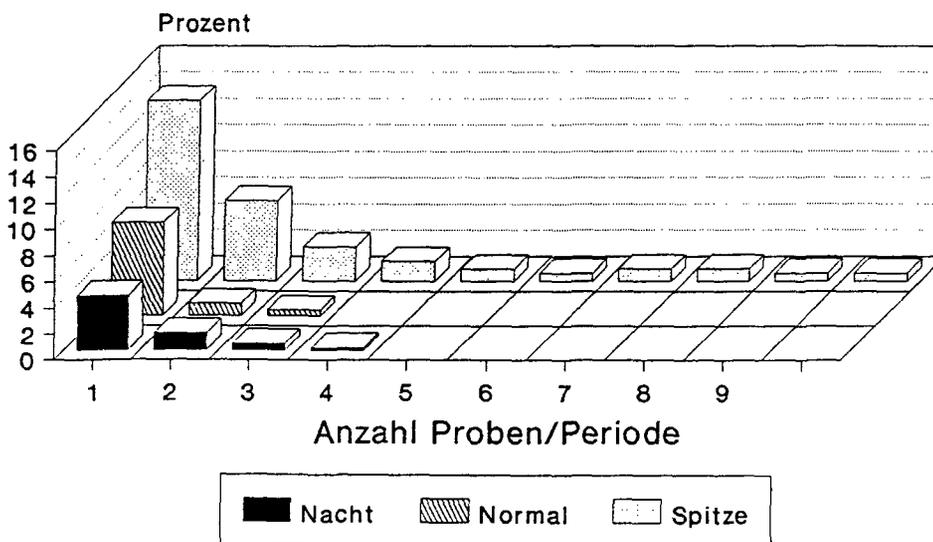


Abb. 16: Verteilung Anzahl Parameter
in den Tagesphasen
(Wochentag)

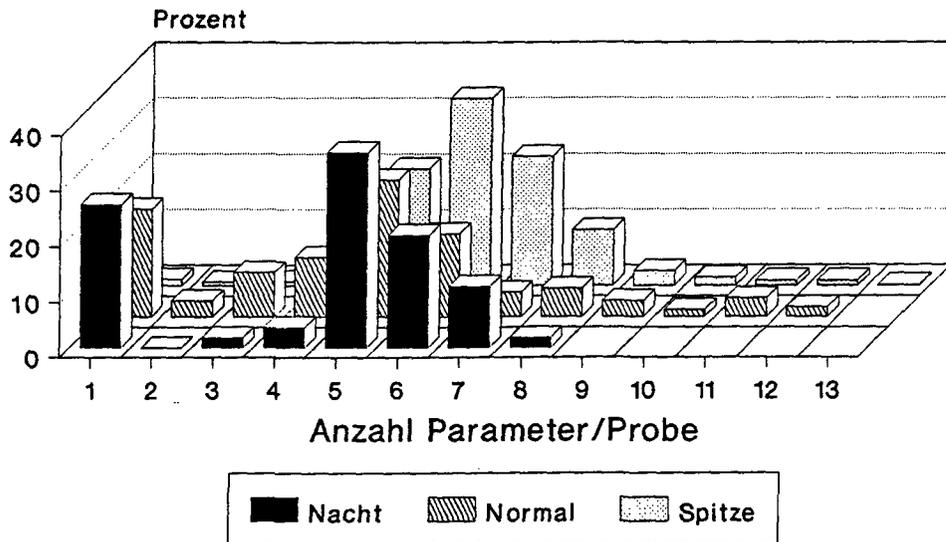


Abb. 17: Verteilung Anzahl Parameter
in den Tagesphasen
(Wochenende)

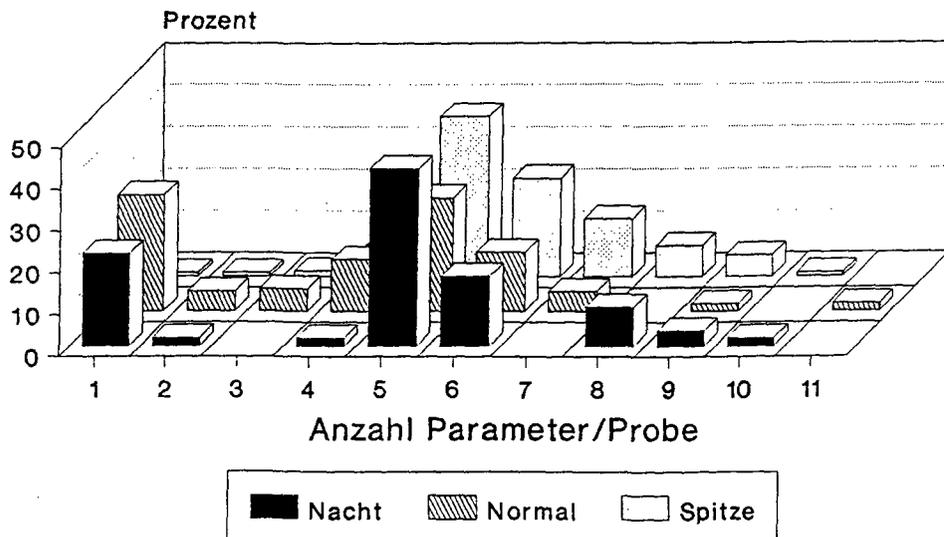


Abb. 18: Verteilung Art Parameter
in den Tagesphasen
(Wochentag)

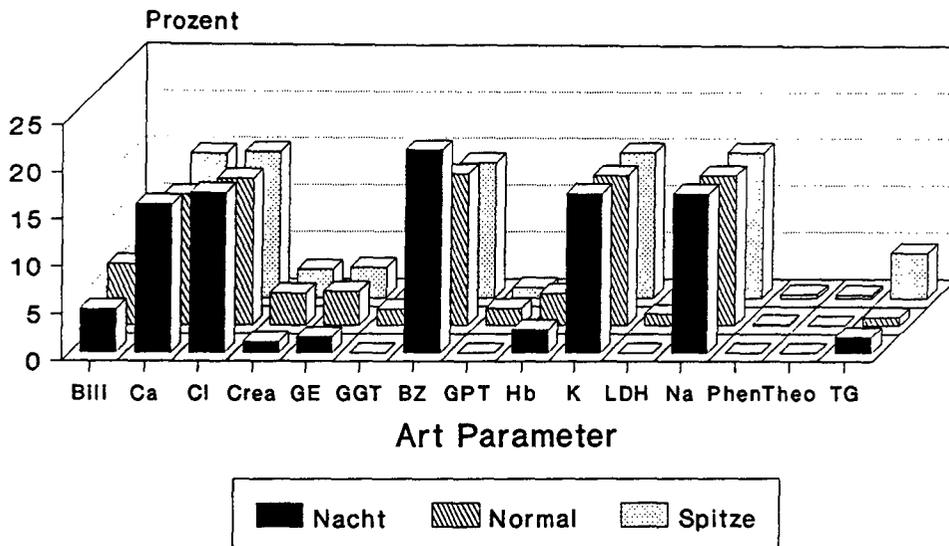
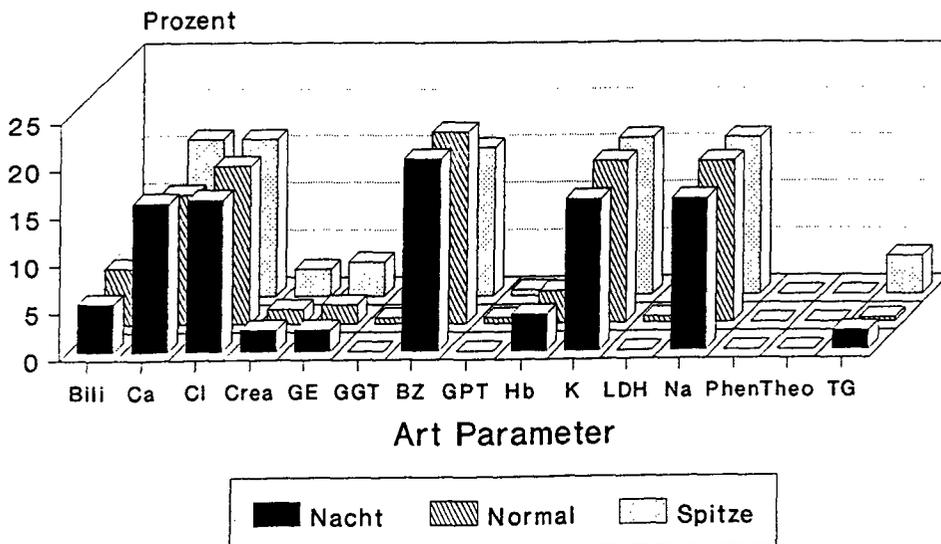


Abb. 19: Verteilung Art Parameter
in den Tagesphasen
(Wochenende)



Anhang 2: Listing des SIMAN-Modells

```

BEGIN;
PROJECT,TC_Simulation,C. Weimann,01/30/91;
DISCRETE,300,40,20;
INITIALIZE,X(1)=1,X(2)=3,X(3)=1,X(4)=2,X(10)=0;
RESOURCES:1-5,ANALYSE,1:
    6,PIP,1:
    7,ZEN,6;
DSTATS:1,NQ(1),WS1 DT 60,21:
    2,NQ(2),WS2 DTSC,22:
    3,NQ(3),WS3 DTE,23:
    4,NQ(4),WS4 REFLOTRON,24:
    5,NQ(5),WS5 SERALYSER,25;
PARAMETERS:1,0.937,0,0.980,1,0.993,2,0.998,3,1.0,4:
    2,0.725,0,0.862,1,0.923,2,0.949,3,0.964,4,0.973,5,0.979,6,
    0.988,7,0.994,8,1.0,9:
    3,0.915,0,0.987,1,0.996,2,1.0,3:
    4,0.968,0,0.997,1,0.998,2,1.0,3:
    5,0.676,0,0.846,1,0.907,2,0.944,3,0.963,4,0.977,5,0.987,6,
    0.994,7,0.995,8,0.998,9,0.999,10,1.0,11:
    6,0.917,0,0.990,1,0.999,2,1.0,3:
    7,0.222,1,0.241,2,0.242,3,0.260,4,0.684,5,0.851,6,0.852,7,
    0.944,8,0.981,9,1.0,10:
    8,0.001,1,0.002,2,0.242,3,0.260,4,0.684,5,0.851,6,0.852,7,
    0.944,8,0.981,9,1.0,10:
    9,0.278,1,0.325,2,0.378,3,0.502,4,0.775,5,0.917,6,0.964,7,
    0.965,8,0.982,9,0.983,10,1.0,11:
    10,0.259,1,0.260,2,0.278,3,0.315,4,0.666,5,0.870,6,0.981,7,
    1.0,8:
    11,0.012,1,0.018,2,0.026,3,0.054,4,0.265,5,0.602,6,0.835,7,
    0.936,8,0.963,9,0.978,10,0.988,11,0.989,12,1.0,13:
    12,0.194,1,0.223,2,0.304,3,0.412,4,0.659,5,0.809,6,0.854,7,
    0.906,8,0.935,9,0.948,10,0.982,11,1.0,12:
    13,0.051,21,0.208,22,0.369,23,0.392,24,0.415,25,0.619,27,
    0.658,29,0.819,30,0.980,32,1.0,35:
    14,0.042,21,0.208,22,0.370,23,0.398,24,0.434,25,0.441,26,
    0.598,27,0.604,28,0.624,29,0.791,30,0.793,31,0.960,32,1.0,35:
    15,0.059,21,0.196,22,0.363,23,0.378,24,0.398,25,0.404,26,
    0.607,27,0.613,28,0.647,29,0.819,30,0.825,31,0.996,32,1.0,35:
    16,0.046,21,0.203,22,0.373,23,0.385,24,0.402,25,0.618,27,
    0.643,29,0.813,30,0.983,32,1.0,35:
    17,0.042,21,0.195,22,0.350,23,0.380,24,0.412,25,0.423,26,
    0.567,27,0.578,28,0.631,29,0.786,30,0.790,31,0.945,32,
    0.949,33,0.952,34,1.0,35:
    18,0.064,21,0.202,22,0.358,23,0.392,24,0.428,25,0.445,26,
    0.606,27,0.658,28,0.818,29,0.830,30,0.990,31,0.991,32,1.0,35;
TALLIES:1,Anzahl Proben,10:
    2,Anzahl Parameter,11:
    3,Anzahl Parameterart,12:
    4,Zeit im Sys. 1,13:
    5,Zeit im Sys. 2,14:
    6,Zeit im Sys. 3,15:
    7,Zeit im Sys. 4,16;
REPLICATE,1,1,89280,NO,NO,;
END;

```

```

BEGIN;
;
    CREATE:10;
;
; *****
; *
; *          Periodentest
; *
; *****
; *
; *    X(1) Periodenzähler          1..144
; *    X(2) Belastungsphase        NaB=> 1, SpB=> 2, NoB => 3
; *    X(3) Tageszähler            Mo => 1..So => 7
; *    X(4) Wochenende              WE => 1, WT => 2
; *
; *****

    BRANCH, 1:
        IF, X(1) .EQ. 3, TM10:
            ELSE, TM1;
;
TM1    BRANCH, 1:
        IF, X(1) .EQ. 36, TM11:
            ELSE, TM2;
;
TM2    BRANCH, 1:
        IF, X(1) .EQ. 55, TM12:
            ELSE, TM3;
;
TM3    BRANCH, 1:
        IF, X(1) .EQ. 144, TM4:
            ELSE, MADD1;
;
TM4    BRANCH, 1:
        IF, X(3) .EQ. 7, TM13:
            ELSE, TM5;
;
TM5    BRANCH, 1:
        IF, X(3) .EQ. 5, TM14:
            ELSE, TM16;
;
;
TM10   ASSIGN: X(2) = 1: NEXT (MADD1);           Vert. auf 1->NaB
;
TM11   ASSIGN: X(2) = 2: NEXT (MADD1);           Vert. auf 2->SpB
;
TM12   ASSIGN: X(2) = 3: NEXT (MADD1);           Vert. auf 3->NoB
;
TM13   ASSIGN: X(3) = 0;
        ASSIGN: X(4) = 2: NEXT (TM16);           Vert. auf Wochentag
;
TM14   ASSIGN: X(4) = 1: NEXT (TM16);           Vert. auf Wochenende
;
TM16   ASSIGN: X(3) = X(3) + 1;
        ASSIGN: X(1) = 0: NEXT (MADD1);         Wochentag + 1
                                                Periodenzähler = 0
;
MADD1  ASSIGN: X(1) = X(1) + 1: NEXT (VERT1);   Periodenzähler + 1

```

```

;
; *****
; *
; *           Anzahl Proben
; *
; *****
; *
; *   A(1)           Verteilung, temporär
; *   X(5)           Anzahl Proben
; *   X(10), A(20)  Probennummer
; *   A(2)           Entstehungszeit
; *
; *****
;
VERT1  ASSIGN:A(1)=((X(4)-1)*3)+X(2);           Verteilung bestimmen
        ASSIGN:X(5)=DP(A(1),1);                 Anzahl Proben ziehen
        Tally:1,X(5);
        BRANCH,1:
            IF,X(5).EQ.0,DELE:
                ELSE,DUP;
DUP    BRANCH,1:
            IF,X(10).GT.5000,R1:
                ELSE,R2;
R1     ASSIGN:X(10)=1;                           Rücksetzen der
R2     ASSIGN:A(2)=TNOW;                           Identifizierung
        DUPLICATE:X(5)-1;
        ASSIGN:X(10)=X(10)+1;
        ASSIGN:A(20)=X(10);                       Zeit des Entstehens
                                                Identifizierung
;
; *****
; *
; *           Anzahl Parameter
; *
; *****
; *
; *   A(1)           Verteilung, temporär
; *   X(6), X(7)     Anzahl Parameter
; *   X(10), A(20)  Probennummer
; *
; *****
;
        ASSIGN:A(1)=6+((X(4)-1)*3)+X(2);           Verteilung bestimmen
        ASSIGN:X(6)=DP(A(1),1);                 Anzahl Parameter ziehen
        Tally:2,X(6);
        ASSIGN:X(7)=X(6);

```

```

;
; *****
; *
; *                               Art Parameter                               *
; *
; *****
; *
; *   A(1)           Verteilung, temporär                                   *
; *   X(8),         Art Parameter (21..35)                               *
; *   A(21)..A(35) Art Parameter 0=>Nein, 1=>Ja                           *
; *
; *****
;
ZIEPARA  ASSIGN:A(1)=12+((X(4)-1)*3)+X(2);           Verteilung bestimmen
          ASSIGN:X(8)=DP(A(1),1);                     Art Parameter ziehen
          BRANCH,1:
            IF,A(X(8)).EQ.0,WEI1:
            ELSE,ZIEPARA;                               Verh. dopp. Belegung
WEI1     ASSIGN:A(X(8))=1;                               Zuweisung
          Tally:3,X(8);
          BRANCH,1:
            IF,X(6).EQ.1,W1:
            ELSE,WEI2;
WEI2     ASSIGN:X(6)=X(6)-1:NEXT(ZIEPARA);
;
; *****
; *
; *                               Vorbereitungen                               *
; *
; *****
;
W1       BRANCH,1:
          IF,A(24).EQ.1.OR.A(31).EQ.1.OR.A(33).EQ.1.OR.
            A(34).EQ.1.,P1:
          ELSE,W2;
;
P1       QUEUE,6;                                       Pipettieren
          SEIZE:PIP(1);
          DELAY:2;
          RELEASE:PIP(1);
;
W2       BRANCH,1:
          IF,A(26).EQ.1.OR.A(27).EQ.1.OR.A(28).EQ.1.OR.
            A(29).EQ.1.A(35).EQ.1.,Z1:
          ELSE,T0;
;
P1       QUEUE,7;                                       Zentrifugieren
          SEIZE:ZEN(1);
          DELAY:5;
          RELEASE:ZEN(1);
;

```

```

;
; *****
; *
; *           Warteschlagen wählen und belegen           *
; *
; *****
; *
; *      X(15)           Zähler                           *
; *
; *****
;
T0      ASSIGN:X(15)=0;
        DUPLICATE:4;                                     Für jede Möglichkeit
        ASSIGN:X(15)=X(15)+1;                           der Aufteilung
;
T1      BRANCH,1:
        IF,X(15).EQ.1,MAVOR1:
        ELSE,T2;                                         Ektachem DT60
T2      BRANCH,1:
        IF,X(15).EQ.2,MAVOR2:
        ELSE,T3;                                         Ektachem DTSC
T3      BRANCH,1:
        IF,X(15).EQ.3,MAVOR3:
        ELSE,T4;                                         Ektachem DTE
T4      BRANCH,1:
        IF,X(15).EQ.4,MAVOR4:
        ELSE,MAVOR5;                                     Reflotron
;                                               Seralyser
MAVOR1  BRANCH,1:
        IF,A(23).EQ.1.or.A(30).EQ.1.or.A(32).EQ.1,MA1:
        ELSE,MA11;
MAVOR2  BRANCH,1:
        IF,A(22).EQ.1,MA2:
        ELSE,MA21;
MAVOR3  BRANCH,1:
        IF,A(21).EQ.1.or.A(25).EQ.1,MA3:
        ELSE,MA31;
MAVOR4  BRANCH,1:
        IF,A(26).EQ.1.or.A(27).EQ.1.or.A(28).EQ.1.or.
        A(29).EQ.1.or.A(35).EQ.1,MA4:
        ELSE,MA41;
MAVOR5  BRANCH,1:
        IF,A(24).EQ.1.or.A(31).EQ.1.or.A(33).EQ.1.or.A(34).EQ.1,MA5:
        ELSE,MA51;

```

```

;
; *****
; *
; *           Warteschlagen abarbeiten
; *
; *****
;
MA1      QUEUE, 1;
         SEIZE:ANALYSE (1);
         DELAY: (A (23)+A (30)+A (32)) *3;
         RELEASE:ANALYSE (1);
         Ektachem DT 60
         Chlorid
         Kalium
         Natrium
MA11     QUEUE, 11:DETACH;
;
MA2      QUEUE, 2;
         SEIZE:ANALYSE (2);
         DELAY:A (22) *4;
         RELEASE:ANALYSE (2);
         Ektachem DTSC
         Calcium
MA21     QUEUE, 12:DETACH;
;
MA3      QUEUE, 3;
         SEIZE:ANALYSE (3);
         DELAY: (A (21)+A (25)) *5;
         RELEASE:ANALYSE (3);
         Ektachem DTE
         Eiweiß
         Bilirubin
MA31     QUEUE, 13:DETACH;
;
MA4      QUEUE, 4;
         SEIZE:ANALYSE (4);
         DELAY: (A (26)+A (28)+A (29)) *2+(A (27)+A (35)) *3;
         RELEASE:ANALYSE (4);
         Reflotron
         Glucose
         Hämoglobin
         Triglyceride
MA41     QUEUE, 14:DETACH;
;
MA5      QUEUE, 5;
         SEIZE:ANALYSE (5);
         DELAY: (A (24)+A (31)+A (33)+A (34)) *3;
         RELEASE:ANALYSE (5);
         Seralyser
         Creatinin
         LDH
         Theophyllin
MA51     QUEUE, 15:DETACH;
         Phenobarbital

```

```

;
; *****
; *
; * Zusammenfassung und Erfassung *
; * *****
;
; MATCH,20:MA11,AB1:MA21:MA31:MA41:MA51; Zusammenfassung
;
AB1 BRANCH,1:
    IF,X(1).GE.1.and.X(1).LE.36,ERFASS1:
    ELSE,AB2; Verteilung
AB2 BRANCH,1:
    IF,X(1).GE.37.and.X(1).LE.72,ERFASS2:
    ELSE,AB3;
AB3 BRANCH,1:
    IF,X(1).GE.73.and.X(1).LE.108,ERFASS3:
    ELSE,ERFASS4;
;
ERFASS1 Tally:4,INT(2):DISPOSE; Erfassung
; Zeit im System
ERFASS2 Tally:5,INT(2):DISPOSE;
;
ERFASS3 Tally:6,INT(2):DISPOSE;
;
ERFASS4 Tally:7,INT(2):DISPOSE;
;
DELE ASSIGN:A(20)=0:DISPOSE;
;
END;

```