Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 21

Artikel: Simulation im Aufzugsbau

Autor: Bosshard, H. / Meylan, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905305

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Simulation im Aufzugsbau

Von H. Bosshard und C. Meylan

621.876.001.57;

Der Trend zur Erhöhung des Bedienungskomforts, zur besseren Ausnützung der investierten Mittel und zur Reduktion der Betriebskosten macht sich auch bei Aufzugsanlagen bemerkbar. Durch die Einführung von Computersimulationen wurde ein wichtiges Arbeitsmittel für die Suche nach optimalen Lösungen geschaffen. Es werden theoretische Überlegungen zum Einsatz der Simulation skizziert. Die Problemstellung aus der Praxis wird erläutert, und Ergebnisse der Anwendungen von Simulationen werden an einem Beispiel gezeigt.

Pour les installations d'ascenseurs, on observe également la tendance à un plus grand confort de manipulation, à une meilleure utilisation des investissements et à une réduction des frais de service. Grâce à la simulation à l'aide d'un ordinateur, on dispose d'un moyen important pour la recherche de solutions optimales. Des considérations théoriques pour l'emploi de la simulation sont décrites, les problèmes posés par la pratique expliqués et des résultats de simulation indiqués pour un cas donné.

1. Simulation als Arbeitsmethode

1.1 Simulation als Werkzeug

Simulation bedeutet in der Technik Nachahmen der Wirklichkeit mit Hilfe von Experimenten an Modellen. Grundsätzlich sind für die Untersuchungen von stochastischen (zufallsbehafteten) Vorgängen, wie sie in Aufzugsanlagen vorkommen, zwei Arten von Modellen verwendbar: konkrete, stoffliche Versuchsanalogien mit einer richtigen Steuerung, oder abstrakte, gedankliche Analogien, die sowohl die mechanischen wie die steuerungstechnischen Einzelheiten umfassen.

Konkrete Modelle sind mit einer Versuchsanlage vergleichbar, an der jede Änderung mit technischen Arbeiten verbunden ist. Obwohl solche Modelle für bestimmte Zwecke eingesetzt werden, genügen sie hinsichtlich der Flexibilität den Anforderungen für Entwicklungsaufgaben kaum. Dagegen bieten die gedanklichen Modelle den Vorteil, viel billiger und schneller verfügbar und veränderbar zu sein. Den Nachteil eines teilweisen Verlustes der Anschaulichkeit nimmt man dabei in Kauf. Wichtig ist, dass durch wiederholtes Experimentieren die inneren Zusammenhänge des Modells zum Vorschein kommen.

Ideal für diesen Zweck erscheint eine spezielle Methode der experimentellen Mathematik, die Simulationstechnik. Sie befasst sich mit der Untersuchung von stochastischen Problemen mit Hilfe von entsprechenden Verfahren. Reale Betriebsabläufe werden mit wahrscheinlichkeitsverteilten Zufallsereignissen experimentell nachgebildet.

Anstelle von physikalischen Vorgängen treten formale Abläufe, also das Ineinandergreifen von Formeln, Zustandsgrössen und logischen Verknüpfungen. Von einer gewissen Komplexität an werden die zu verarbeitenden Informationsmengen so gross, dass sich der Einsatz von Computern aufdrängt.

1.2 Probleme der Modellbildung

Nachdem erste Vorstellungen über den Versuchsaufbau vorliegen, muss für die programmtechnische Herstellung des Modells eine dafür geeignete Computersprache gewählt werden. Zur Darstellung von zufallsbehafteten diskreten Vorgängen eignen sich spezielle Simulationssprachen wie z.B. GASP, SIMULA, SIMSCRIPT, GPSS, SIAS oder SIMPL/I [1]. Für die Nachbildung von rechenintensiven oder vorwiegend logischen Modellteilen wie z.B. die Anlagensteuerung, werden die flexibleren FORTRAN- oder Algol-ähnlichen Möglichkeiten der jeweiligen Simulationssprache ausgenützt.

Das Modell dient dazu, experimentell Klarheit über die inneren Zusammenhänge des Systems zu verschaffen. Dies ist um so eher möglich, je genauer das Modell die Funktionsweise des realen Systems wiedergibt [2]. Ein Modell sollte in der Lage sein, auch bislang unbekannte Eigenschaften und Reaktionen so zu reproduzieren, wie dies ein wirkliches System tun würde. Von grösstem Interesse sind die Auswirkungen von Veränderungen einzelner Parameter auf das gesamte Systemverhalten, bei Aufzugssystemen z.B. Wartezeiten, Warteschlangen, Kabinenbewegungen, Kabinenauslastungen, Rufzuteilungen, Reisezeiten, Energieverbrauch u.a.m. Es ist wichtig, dass alle relevanten Variablen im Modell berücksichtigt werden, selbst dann, wenn sie in erster Näherung nicht als massgebend erscheinen. Trotzdem wird man sich immer mit der Tatsache begnügen müssen, dass das Modell nur Lösungen liefern wird, die nicht unbedingt mit den Äusserungen des wirklichen Systems identisch sind.

Das programmtechnische Erstellen eines brauchbaren Analogiemodells für die Computersimulation erfordert daher ein fundiertes Wissen über die Wirkungsweise und den Aufbau des wirklichen Systems. Dazu gehören klare Vorstellungen über die Gliederung, die Aufgabe und die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Systemkomponenten, sowie über die Art und Weise, wie das Modell angeregt werden soll.

Bei Aufzugsanlagen hat man es vorwiegend mit verkehrsbedingten Verknüpfungen von Ursache und Wirkung zu tun. Ursache bilden die in statistischer Verteilung ankommenden Personen, die den Aufzug benützen wollen. Solche diskrete (einzeln auftretende), stochastische Ereignisse sind im Modell mittels Zufallszahlen leicht herzustellen. Bei einer vorgegebenen Verkehrsart bestimmen sog. Pseudo-Zufallsgeneratoren die einzelnen Fahrwünsche der simulierten Personen in Form von Ankunftszeit, Ankunftsort und Zielort. Pseudo-Zufallsgeneratoren haben die Eigenschaft, bestimmte Zufallszahlenreihen beliebig oft in derselben Reihenfolge reproduzieren zu können. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für eine bedingungsgleiche Wiederholbarkeit des Experimentes erfüllt. Auf diese Weise lassen sich nach Änderung von Anlage- oder Steuerungsparametern deren Wirkungen auf den Verkehrsablauf bei gleichbleibender Verkehrsgenerierung eindeutig nachweisen.

1.3 Zuverlässigkeit der Resultate

Simulationen von Aufzugsanlagen sind von zufallsbedingten, diskreten Ereignissen wie der Ankunft eines Liftbenützers, dem Starten einer Kabine, der Zuteilung eines Stockwerkrufes an eine Kabine usw. geprägt. Genauso verhalten sich die Simulationsergebnisse, deren Werte sich sprunghaft auf stochastische Weise verändern. Daraus ergibt sich die Frage nach

der Aussagekraft und damit nach der Zuverlässigkeit dieser Ergebnisse [2].

Studiert man z.B. die Warteschlangensituation vor einer bestimmten Aufzugsschachttüre und verfolgt man die Wartezeiten über einen gewissen simulierten Zeitabschnitt, dann wird man rechnerisch eine mittlere Wartezeit als arithmetisches Mittel

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (i = 1...n)$$

aus den n stichprobenartigen Wartezeiten x_i erhalten. Interessiert man sich besonders für den im stationären Zustand des Systems zu erwartenden wirklichen Mittelwert $\mu = \bar{x}$ für $n \to \infty$, so genügen im allgemeinen einige Werte von x kaum. Man wird jedoch feststellen, dass sich der Wert $\bar{x}$ mit zunehmendem n stochastisch dem noch unbekannten Mittelwert μ nähert (Fig. 1). Die Schwierigkeit liegt darin, dass man nicht zum vornherein wissen kann, wie viele Zufallsergebnisse für die Bildung eines einigermassen sicheren Mittelwertes notwendig sind und wie gross die Restabweichung sein wird. Dies um so mehr, als man es hier selbst im stationären Zustand mit dynamischen Vorgängen zu tun hat. Dabei besteht eine mehr oder weniger grosse zufällige Korrelation zwischen einzelnen Werten von x einerseits und zwischen x und weiteren Zustandsvariablen anderseits. Trotzdem ist es möglich, auf experimentellem Weg zum Ziel zu gelangen. Das Problem läuft auf die Ermittlung einer deterministischen Grösse mit Hilfe eines stochastischen Verfahrens hinaus. Diese Vorgehensweise ist auch als Monte-Carlo-Methode bekannt [3].

Aus Sätzen der Statistik findet man, dass die Standardabweichung $s_{\bar{x}}$ (mittlere quadratische Abweichung, gelegentlich auch Mass für die Streuung genannt) des Schätzwertes $\bar{x}$ von μ bei zunehmendem n abnimmt wie $1/\sqrt{n}$. Zur Verbesserung der Schätzung muss also entweder das Experiment über einen wesentlich längeren Zeitabschnitt führen, oder die ganze Simulation ist N-fach jeweils mit anderen Zufallszahlen zu wiederholen. Im letzteren Fall muss noch das sog. Ensemblemittel $\bar{x}_E$ der N Simulationen gebildet werden. Auch hier sind nur Abweichungsabnahmen entsprechend $1/\sqrt{N}$ zu erwarten.

Bei der Frage nach der Restabweichung des Schätzwertes $\bar{x}$ vom Mittelwert μ der Zufallsvariablen x kann man ein sog. Konfidenzintervall definieren, das davon ausgeht, dass bei einer Normalverteilung 99,7% der Messwerte von x in einem Intervall $\mu \pm 3\,\sigma$ liegen (σ Standardabweichung der Gesamtheit der Messwerte für $n \to \infty$). In der Praxis ersetzt man die Unbekannte σ durch ihren Schätzwert s und erhält dann nach

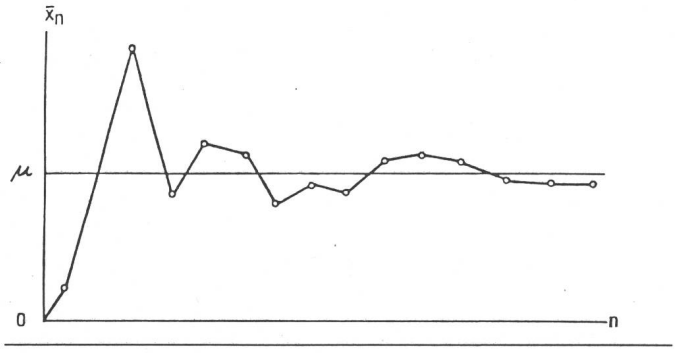

Fig. 1 Stochastische Näherung eines Mittelwertes
Ist μ der tatsächliche, jedoch unbekannte Mittelwert der Versuchsvariablen x, so nähert sich das arithmetische Mittel $\bar{x}$ der Zufallsergebnisse x_i mit zunehmendem n stochastisch dem Wert μ.

Umformung für die Restabweichung des Schätzwertes $\bar{x}$ das Konfidenzintervall in den Vertrauensgrenzen

$$\mu \pm 3\, s/\sqrt{n}.$$

Der noch unbekannte Wert μ liegt mit grösster Wahrscheinlichkeit innerhalb von $3\, s/\sqrt{n}$ von $\bar{x}$ entfernt. Was den Stichprobenumfang n betrifft, gewinnt man aus dem allgemeinen Konfidenzintervall, mit der gewünschten Maximalabweichung ε und einer angenommenen Konfidenzwahrscheinlichkeit α

$$n = (k\sigma/\varepsilon)^2$$

wobei k einen Sicherheitskoeffizienten $k(\alpha)$ darstellt. In [2, S. 142] findet man für $\alpha = 0{,}683$ $k = 1$, für $\alpha = 0{,}954$ $k = 2$ und für $\alpha = 0{,}997$ $k = 3$.

Die Schwierigkeit besteht im richtigen Schätzen von σ, da dieser Wert vor der Simulation noch nicht bekannt ist. Hier hilft das in [2] beschriebene Zweischrittverfahren: Im ersten Schritt wird ein vernünftig scheinender Wert n_1 bestimmt und aufgrund der Simulation ein erster Schätzwert s gebildet. Damit wird n_2 gemäss Formel berechnet. Ist $n_2 < n_1$, so kann abgebrochen werden. Bei Bedarf ist die Simulation nach demselben Schema über den zweiten Schritt hinaus auszudehnen.

Besondere Beachtung verdient der Einfluss des Anfangszustandes auf die Simulationsergebnisse. Befindet sich das System erst nach einer gewissen Zeit t_m in einer angenähert stationären Phase, dann sind die ersten m Werte der Versuchsvariablen x für die Untersuchung des stationären Zustandes unbrauchbar. Theoretisch ist der Einfluss des Anfahrens des Systems bis $t \to \infty$ wirksam. Für praktische Zwecke genügt jedoch die empirische Feststellung, dass bei gleichförmiger Verteilung von x mit dem Wert $m = 5$ und bei abweichenden Verteilungen von x mit $m = 30$ die häufigsten Fälle abgedeckt werden können, solange das System schwach ausgelastet ist. Bei Systemen mit starker Warteschlangenbildung kann der Einfluss der Autokorrelation so hoch sein, dass nach 100 Werten von x der Anfangszustand noch spürbar ist. In solchen Fällen kann das Erreichen der stationären Phase nach der Morse-Regel geschätzt werden. Dann ist mit der mittleren Schlangenlänge $\bar{L}$ ein $m > 3 \cdot \bar{L}^2$ zu wählen [2, S. 149].

Manchmal sind nebst den stationären Anlagenmerkmalen auch die nichtstationären oder transienten Verhalten Gegenstand einer Untersuchung. In diesem Fall kann wegen der Komplexität der Korrelation nur noch experimentell vorgegangen werden. Die Simulation muss für den betrachteten Zeitraum mit jeweils geänderten Zufallsdaten so oft wiederholt werden, bis die Abweichung der gemittelten Schätzwerte aus den verschiedenen Simulationen das gewünschte Mass unterschreiten.

1.4 Reduktion des Simulationsaufwandes

Wie man sieht, sind Simulationen unter Umständen mit einem enormen Computeraufwand verbunden. Es ist daher verständlich, wenn versucht wird, diesen Aufwand möglichst zu reduzieren. Dazu dienen sog. varianzreduzierende Techniken. Zwei davon seien hier besonders hervorgehoben: die deterministische Variable und die antithetische Variable.

Im ersten Fall wird für besondere Untersuchungen wie z.B. für Sensitivitätstests der Zufalls-Freiheitsgrad von einer oder mehreren unabhängigen stochastischen Variablen soweit herabgesetzt, dass durch den Verlust an Korrelationseinflüssen und Asymmetrien eine schnellere Konvergenz der untersuchten

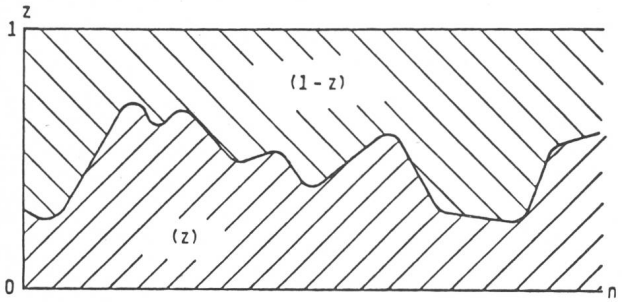

Fig. 2 Zum Begriff der antithetischen Variablen
Bei einer Zufallszahlenreihe (z) kann zu jedem Wert z ein komplementärer oder antithetischer Wert $1-z$ gebildet werden.

Mittelwerte erreicht wird. Z.B. kann die Ankunft der Passagiere sowohl mengenmässig wie zeitmässig determiniert werden. Auf diese Weise gewonnene Ergebnisse dürfen allerdings nur qualitativ gewertet werden.

Im Falle der antithetischen Variablen wird mit einem Kunstgriff versucht, den asymmetrischen Verlauf der Zufallswerte zu kompensieren, ohne dabei am Zufallscharakter selbst etwas zu ändern (Fig. 2). Die antithetische Zahlenreihe $(1 - z)$ kann entweder zur Fortsetzung der Simulation an die ursprüngliche Zahlenreihe (z) angehängt werden, oder die Simulation wird mit der Zufallszahlenreihe $(1 - z)$ wiederholt. Zur Vermeidung von Korrelationen aus einer vorangegangenen Simulationsphase wird man die zweite Variante vorziehen.

In beiden Fällen ist der Stichprobenumfang auf $2n$ verdoppelt worden. Ist x die von der Simulation erzeugte Zufallsvariable und x' die entsprechende antithetische Zufallsvariable, dann sind x und x' erwartungsgemäss mehr oder weniger stark negativ korreliert. Mit dem negativen Korrelationskoeffizienten ϱ von x und x' wird das Konfidenzintervall für den gesuchten Mittelwert μ bei gleicher Stichprobenmenge gegenüber der gewöhnlichen Mittelwertschätzung um den Faktor $\sqrt{1+\varrho}$ verkürzt.

2. Anwendung im Aufzugsbau

2.1 Entwicklung

Erste Arbeiten zur Simulation des Aufzugsverkehrs wurden in den Jahren zwischen 1965 und 1970 in Angriff genommen, zum Teil an Hochschul-Instituten, zum Teil von einschlägigen Industriefirmen [6; 7]. Vorrangiges Ziel bildete damals die Überprüfung des Verhaltens einer herkömmlich nach dem Spitzenverkehr «Auf» dimensionierten Anlage unter den übrigen Verkehrsbelastungen, welche einer elementaren Berechnung nicht zugänglich sind.

Nach 1970 setzte eine systematische Weiterentwicklung nach zwei verschiedenen Richtungen ein: Steuerungsentwicklung und Anlageplanung. Bei der Steuerungsentwicklung tauchte die Idee von Grenzbetrachtungen an idealisierten Steuerungen auf, die lückenlos über alle Verkehrsinformationen verfügen. Simulation ist die einzige Möglichkeit, solche Untersuchungen durchzuführen [8]. Für die Anlageplanung wurden Unterlagen geschaffen, um eine gewählte Disposition speditiv auf ihre Kapazität unter verschiedenen Verkehrsbelastungen zu untersuchen, vor allem für spezielle Fälle wie Garagebedienung, Personalrestaurant im obersten Stockwerk, Zonen mit ausgeprägtem, internem Verkehrsbedarf.

Der nächste Schritt in der zweiten Hälfte der 70er Jahre erfolgte aus der Möglichkeit, nicht nur den Grosscomputer als off-line-Untersuchungswerkzeug einzusetzen, sondern den Mikrocomputer als on-line-Steuersystem unmittelbar zu nutzen. In der Folge rückten die Problemkreise Simulation – Anlageprüfung – Personalinstruktion wesentlich enger zusammen, was neuartige Wege öffnete. Moderne Geräteentwicklungen der Informatik mit ihren Fähigkeiten zum Dialogbetrieb und zur raschen Erstellung von Papierkopien ab Bildschirminhalt lassen zudem voraussehen, dass die Simulationstechnik in Zukunft noch selbstverständlicher zum Einsatz gelangen wird.

2.2 Problemstruktur der Aufzugsanlage

Es ist bei der Simulation zweckmässig, vier Parametergruppen zu unterscheiden, deren Beeinflussbarkeit getrennten Problemkreisen zugehört: Anlagedisposition, Antriebseigenschaften, Steuerungseigenschaften sowie Verkehrsbelastung.

Anlagendisposition: Sie ist das Resultat der Gesamtplanung und umfasst als Gebäudedaten die Hubhöhe, Anzahl Stockwerke und Personalbelegung pro Stockwerk sowie als Anlagedaten die Zahl der Aufzüge, die Nutzlast, die Nenngeschwindigkeit und das Türsystem. Etwas vereinfacht kann gesagt werden, dass die Gebäudedaten die Verkehrsaufgabe festlegen, die zu lösen ist, und die Anlagedaten die prinzipiellen Mittel, die zur Verfügung stehen.

Antriebseigenschaften: Sie sind in diesem Zusammenhang weniger im Sinne von Fahrkomfort zu verstehen, sondern als Zeitbedarf. Dieser setzt sich pro Fahrt aus folgenden Phasen zusammen: Passagiere einsteigen – Türe schliessen – Beschleunigung – konstante Geschwindigkeit – Verzögerung – Türe öffnen – Passagiere aussteigen.

Steuerungseigenschaften: Im Gegensatz zu den Antriebseigenschaften, die sich durch Zahlen beschreiben lassen, handelt es sich hier vorwiegend um logische Verknüpfungen und Prioritätsregelungen. Diese werden initialisiert und bestimmt durch folgende Informationen und Vorgehensweisen: Befehlserteilung auf den Stockwerken und in den Kabinen, Standort, Fahrtrichtung und Belastung der Kabinen, Bedienungsweise der Kabinenbefehle, und als massgeblicher Einfluss die Vorgehensweise bei der Zuteilung der verfügbaren Kabinen zu den anstehenden Stockwerkbefehlen (Algorithmus).

Verkehrsbelastung: Eine gegebene Verkehrsbelastung wird durch zwei Wertegruppen definiert: die Verkehrsintensität in Personen pro Minute und die Verkehrsart, d.h. die prozentuale Verteilung der Start- und Zielorte. Bei einer Aufzugsanlage können entsprechend der Definition in Tabelle I drei Grundverkehrsarten unterschieden werden: Verteilverkehr, Sammelverkehr und Verschiebeverkehr. Eine gemischte Verkehrsbelastung kann durch Überlagerung verschiedener Anteile der Grundverkehrsarten aufgebaut werden. Damit steht die Mög-

Tabelle I

Grundverkehrsart	Zahl Startorte	Zahl Zielorte
– Verteilverkehr (Beispiel: Spitze-Auf)	1	ZE–1
– Sammelverkehr (Beispiel: Spitze-Ab)	ZE–1	1
– Verschiebeverkehr (Beispiel: Zwischenstockverkehr)	ZE	ZE

ZE: Zahl der Haltestellen total

lichkeit offen, der Praxis ausreichend nahestehende Verkehrsformen zu schaffen.

2.3 Spektrum der Zielsetzungen

Die Fragestellungen, auf die mittels Simulation eine Antwort gesucht wird, können nach vier Gruppen geordnet werden: Anlageplanung, Steuerungsentwicklung, Prüfstandfunktion und Instruktionshilfe. Im grundsätzlichen Vorgehen lassen sich zwei Fälle unterscheiden:

– *Vollsimulation,* in der die ganze Anlage rechnerisch nachgebildet wird. Diese Form ist naheliegend für Anlageplanung und Steuerungsentwicklung. Basis der Betrachtung bildet die Personenbewegung. Der Zeitablauf erfolgt off-line und ist damit ausschliesslich rechentechnisch gegeben.

– *Teilsimulation,* in der nur fehlende Anlageteile nachgebildet werden, wie es bei der Prüfstandfunktion und als Instruktionshilfe der Fall ist. Der Prüfling wird soweit als zweckmässig im Original eingesetzt und untersucht, die Restanlage wird simuliert und nur fallweise angepasst. Basis dieser Betrachtung bildet die Rufabwicklung. Der Zeitablauf erfolgt on-line, d.h. steht in einem direkten Verhältnis zum Zeitbedarf des Steuerungsvorganges.

Das Vorgehen bei Anlageplanung und Steuerungsentwicklung entspricht der Untersuchungsmethode für Funktionen mehrerer Variablen. Man fixiert alle Variablen mit Ausnahme derjenigen, deren Einfluss auf die Funktion interessiert. Konkret bedeutet das für die Anlageplanung, dass Gebäudedaten, Antriebseigenschaften und Steuerungseigenschaften festgelegt werden, eine Verkehrsbelastung konstruiert und deren Abwicklung mit verschiedenen Anlagedaten beobachtet wird. Das führt zu einer überschaubaren Relation zwischen «Bedienungskomfort» und «Anlagekosten», welche die Wahl erleichtert. Bei der Steuerungsentwicklung bleiben nur die Steuerungseigenschaften variabel, deren Einfluss aus Resultatunterschieden zu ermitteln ist. Während in der Anlageplanung der Schritt von einer Annahme zur andern als Zahl erfassbar ist, ist es bei der Steuerungsentwicklung ungleich schwieriger, die systembedingten Einflüsse von den zufallsbedingten zu trennen.

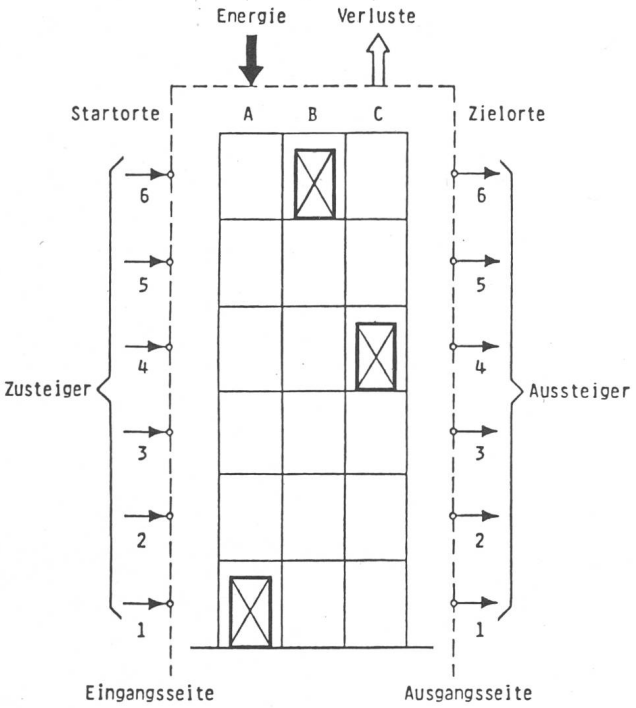

Fig. 3 Aufzugsanlage als System
3 Aufzüge A, B, C; Schnittstellen gegen die Umwelt: Eingangsseite «Rufgabe im Stockwerk», Ausgangsseite «Verlassen der Kabine».

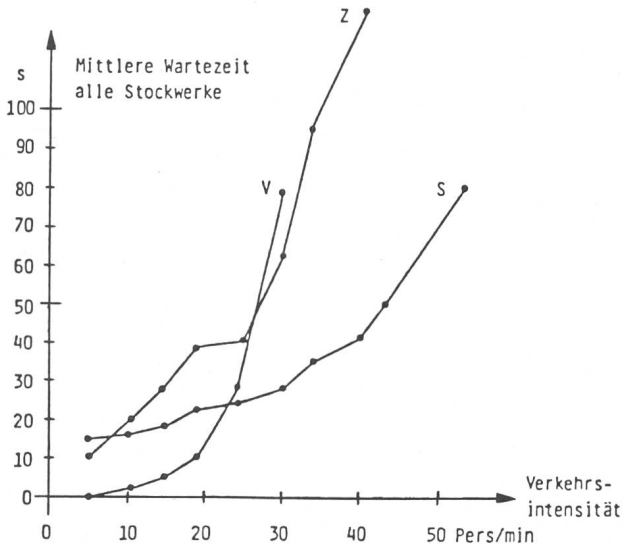

Fig. 4 Mittlere Wartezeit für alle Stockwerke in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung
Die Steuerungsstrategie ist in jedem Fall der Verkehrsart angepasst. Die jeder Verkehrsart eigene Belastungsgrenze ist in der Tendenz als vertikale Asymptote erkennbar.
V = Verteilverkehr; Z = Zwischenverkehr; S = Sammelverkehr

2.4 Die Aufzugsanlage als dynamisches System

Eine gemeinsame Eigenschaft aller Systeme ist deren Begrenztheit, ausserhalb welcher die typischen Rückwirkungen und Abhängigkeiten ihren Einfluss verlieren. Man spricht von Schnittstellen zur Umwelt oder, verallgemeinert, von Eingängen und Ausgängen. Eine Aufzugsanlage laut Fig. 3 kann als System mehrerer Einzelaufzüge mit koordiniertem Verhalten betrachtet werden. Zielfunktion ist der rationelle Transport von Personen aus einer Mehrzahl von Start-Stockwerken in eine Mehrzahl von Ziel-Stockwerken.

Es ist eine grundlegende Struktureigenschaft eines Aufzugssystems, dass sich der Verkehr kreuzungsfrei und ohne Auffahrrisiko abwickelt. Damit grenzt es sich deutlich ab gegenüber Fördersystemen für Stückgüter.

Die Betriebseigenschaften eines Systems lassen sich durch seine Reaktion auf wechselnde Lasteinflüsse beschreiben. Bleibt die Belastung konstant, so erkennt man das stationäre Verhalten der Anlage. Dieser Lastzustand tritt in der Praxis nicht in reiner Form auf, bringt jedoch typische Eigenschaften sehr klar zur Darstellung. Gegenüber einer variablen Belastung zeigen sich die dynamischen Eigenschaften des Systems. Die Skala aller möglichen Verkehrsbelastungen weist zwei Grenzfälle auf, Leerlauf und Überlast. Als Leerlauf bezeichnet man einen Belastungszustand, bei dem sich gleichzeitig nur *eine* Person im System befindet. Wartezeit und Reisezeit sind für diesen Belastungsfall einer elementaren Mittelwertbetrachtung zugänglich. Von einer stationären Belastung kann solange gesprochen werden, als die Warteschlangen nach Durchgang einer Kabine auf null abgebaut sind. Ein Belastungsfall mit stetig wachsenden Warteschlangen wird als Überlast bezeich-

net. Die Belastungsgrenze (max. Förderkapazität) ist abhängig von der Verkehrsart und kann ebenfalls berechnet werden.

Für den Benützer entscheidend ist die Wartezeit (Fig. 4), die, abgesehen vom reinen Verteilverkehr, nur durch Simulation zu bestimmen ist.

Ein weiterer Gesichtspunkt befasst sich mit dem Verhalten des Systems längs des Schachtes. Es entspricht dem physikalischen Zusammenhang, dass sich die Wartezeit mit zunehmender Belastung erhöht (Fig. 4). Diese erhöhte Wartezeit gleichmässig über den Schacht zu verteilen, ist eine Aufgabe der Steuerungsstrategie (Fig. 5).

Das dynamische Verhalten einer Aufzugsanlage beruht auf deren Speicherfähigkeit und der Flexibilität der Steuerungsstrategie. Es wird durch einen Belastungsstoss gemäss Fig. 6 getestet. Die Anpassungszeit gibt ein Mass, welche kurzzeitige Überlast zulässig ist.

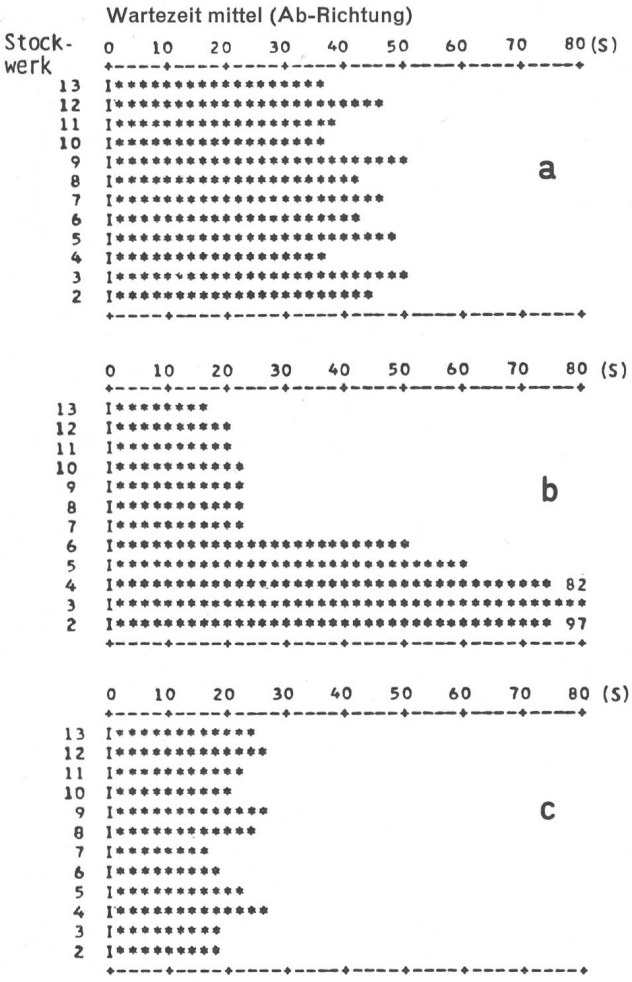

Fig. 5 Gleichmässigkeit der Bedienung längs des Schachtes
Die Verkehrsintensität ist in allen 3 Simulationen dieselbe.

Parameter Verkehrsart:	Z	Zwischenverkehr	
	S	Sammelverkehr	
Steuerungs-strategie:	$\overline{Z}$	Zwischenverkehr angepasst	
	$\overline{S}$	Sammelverkehr angepasst	
Darstellungen:	a	Zwischenverkehr	Z
		Steuerungsstrategie	$\overline{Z}$
	b	Sammelverkehr	S
		Steuerungsstrategie	$\overline{Z}$ nicht angepasst
	c	Sammelverkehr	S
		Steuerungsstrategie	$\overline{S}$ angepasst

Aus dem Vergleich der Darstellungen ist die Wechselbeziehung Verkehrsart/Steuerungsstrategie deutlich erkennbar.

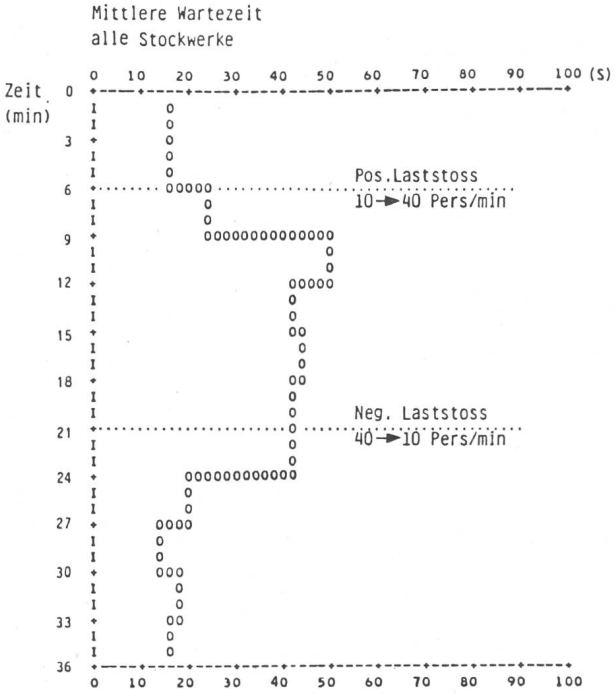

Fig. 6 Dynamisches Verhalten bei Belastungsstoss
Intervallbreite der Beobachtungszeit: 3 min
Anstieg und Abfall der mittleren Wartezeit vom 2. Intervall an praktisch voll wirksam, interpretierbar als Wirkung einer Zeitkonstanten

3. Simulationsbeispiele

Nachstehend sollen einige gemeinsame Eigenschaften der Simulationsbeispiele von Abschnitt 2.4 zur Sprache kommen.

Zur Resultatdarstellung kann der Computer-Output wahlweise in Form von Zahlentabellen, punktweisen Kurvendarstellungen oder reihenweiser Darstellung als Histogramme von Verteilungen erhalten werden. Für die Beantwortung spezieller Fragen werden statistische Berechnungen in den Simulationsablauf einbezogen, ebenso sind manuelle Auswertungen unumgänglich. Interessierende Grössen zur Beurteilung einer Aufzugsanlage sind in Tabelle II zusammengestellt.

Einer abschliessenden Betrachtung wert ist die Frage nach den Kontrollmöglichkeiten der Simulationsresultate. Sie wird akut, sobald verbindliche Anlageplanung betrieben wird und die Vorschläge mehrerer Anbieter gegeneinander abgewogen werden. Eine erste Vergleichsbasis bildet die Förderkapazität der Anlage im Verteilverkehr aus dem untersten Halt. Dieser Wert lässt sich exakt berechnen und wird für durchgehende Vergleiche als 100 % Verkehrsintensität angenommen, der nur von Anlagedisposition und Antriebseigenschaften abhängt. Durch elementare Berechnungen über Leerlauf und Belastungsgrenzen lassen sich zusätzliche Kontrollpunkte gewinnen.

4. Schlussbemerkung

Bis vor einigen Jahren wurden Steuerungen ausgehend von Einzelsituationen und Einzelabläufen beurteilt, welche für den Menschen überschaubar waren. Man gab einen konkreten Betriebszustand vor, betrachtete *einen* Ruf und verfolgte seine Erledigung. Aufgrund einer Anzahl solcher typischer Abläufe wurde die Qualität des Steuersystems abgeschätzt.

Tabelle II

Messwert	Kommentar, Beispiel
Wartezeit	Fig. 7, Verteilung über alle Stockwerke
Wartezeit und Reisezeit	Verweilzeit im System
Kabinenbelegung	Fig. 7, Verteilung über alle Kabinen
Warteschlangen	Max. Werte in allen Stockwerken
Passagierbewegung Kabinenbewegung	Einzelsituationsanalyse und Energiebetrachtungen
Streuung der Werte	Mittlere quadratische Abweichung

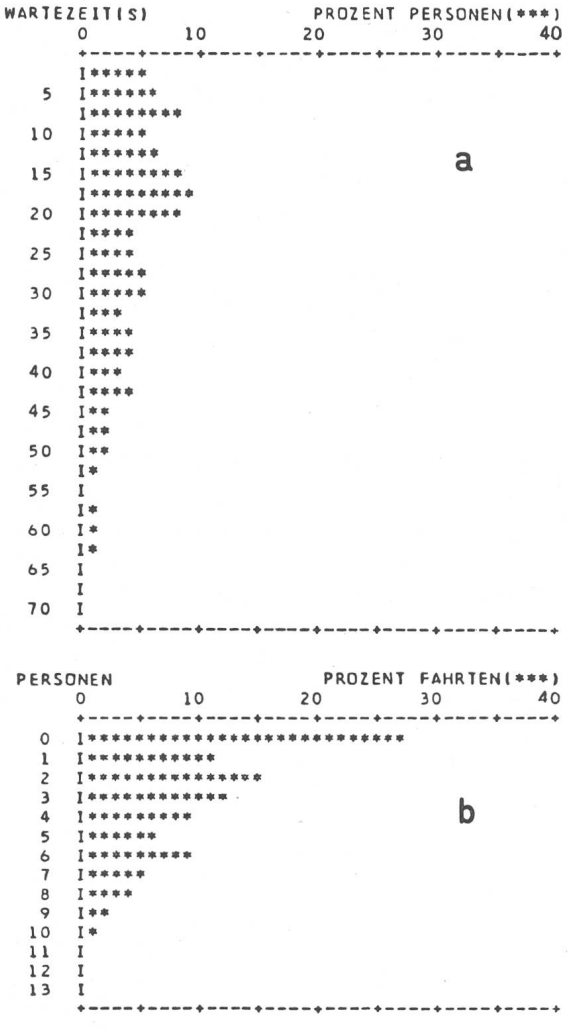

Fig. 7 Übersicht über den gesamten Verkehrsablauf
a Wartezeitverteilung über alle Stockwerke
b Belegungsverteilung über alle Kabinen
Diese Informationen erlauben den vertieften Einblick in den Verkehrsablauf, da Mittelwerte ohne Kenntnis der Streuungsbreite zur objektiven Beurteilung nicht ausreichen.

Heute bietet die Simulation die Möglichkeit, ein vollständiges und reproduzierbares Bild des Verkehrsverhaltens zu gewinnen als Mittelwert, verstanden über die Gesamtheit aller möglichen Einzelsituationen in ihrem fortlaufenden Wechsel. Letzten Endes bildet der regelmässige Aufzugsbenützer sein Urteil über eine Anlage in der gleichen Weise. Die Einzelsituationsanalyse, die das Mikroverhalten der Anlage zeigt, ist nach wie vor wertvoll für Systemfragen, Fehlersuche sowie Instruktionszwecke.

Die Simulation erlaubt es, Steuerungen zu untersuchen, die erst in Form von Systemanalysen vorliegen, gegebenenfalls auch losgelöst von der praktischen Realisierbarkeit. Einerseits zwingt die Simulationsbearbeitung den Entwickler, jede Situation zu prüfen, zu Ende zu denken und die nötigen Entscheide zu fällen. Anderseits werden Grenzfälle der Analyse zugänglich, welche die Leistungsfähigkeit von Steuerungsmethoden deutlich erkennen lassen. Fragen der Wirtschaftlichkeit lassen sich damit fundiert beantworten.

Zum Schluss ein Hinweis zur Vorsicht bei der Übertragung von Simulationsresultaten auf die Praxis. Die Aufzugspassagiere der Simulation sind perfekte Individualisten. Sie bewegen sich ohne Ausnahme nach Voraussetzung, die Bedienung der Anlage erfolgt nach Vorschrift, und bezüglich der Zielwahlverteilung handelt es sich um Einzelpersonen, nicht um Gruppen oder Familien. Ähnliche Vorbehalte betreffen die Aufzüge selbst, die nur in der Simulation absolut identisch sind. Selbstverständlich lassen sich auch Fragestellungen dieser Art durch Simulation schlüssig beantworten, wenn sich die Notwendigkeit dazu zeigen sollte.

Literatur

[1] *A. Schöne* u.a.: Simulation technischer Systeme. Bd. 1: Grundlagen der Simulationstechnik. Band 3: Simulation diskreter Systeme. München/Wien, Verlag Carl Hanser, 1974.

[2] *D. Köcher* u.a.: Einführung in die Simulationstechnik. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Operations Research, Frankfurt/Main. DGOR-Schrift Nr. 5. Frankfurt/Main, Berlin und Köln, Beuth-Vertrieb, 1972.

[3] *E. Soom:* Monte-Carlo-Methoden und Simulationstechnik. Blaue TR-Reihe Nr. 82. Bern, Hallwag/Technische Rundschau, 1968.

[4a] *G. Stemmer:* Darstellung diskontinuierlicher Förderabläufe in Simulationsmodellen. Teil 1: Programmiertechniken, Datenverwaltung. Fördern und Heben 25(1975)11, S. 1069...1073.

[4b] *W. Fischer:* Darstellung diskontinuierlicher Förderabläufe in Simulationsmodellen. Teil 2: Charakteristische Ergebnisse. Fördern und Heben 25(1975)15, S. 1465...1470.

[5] *C. W. Churchman, R. L. Ackoff* und *E. L. Arnoff:* Operations Research: Eine Einführung in die Unternehmensforschung. 2. Auflage. Wien/München, Verlag R. Oldenbourg, 1964.

[6] *H. Bosshard:* Schnellaufzüge mit volltransistorisierter Steuerung. Neue Zürcher Zeitung Beilage Technik Nr. 680 vom 17. 11. 1969, S. 33 + 35.

[7a] *W. Weinberger:* Zur Auslegung von Gruppen-Steuersystemen für Aufzüge. Teil 1: Ein Simulator des Verkehrs von Aufzügen. Fördern und Heben 17(1967)16, S. 923...925.

[7b] *T. F. Skousen* und *W. Weinberger:* Zur Auslegung von Gruppen-Steuersystemen für Aufzüge. Teil 2: Simulation des Aufzugsverkehrs in einer digitalen Rechenanlage. Fördern und Heben 17(1967)16, S. 925...928.

[7c] *W. Weinberger:* Zur Auslegung von Gruppen-Steuersystemen für Aufzüge. Teil 3: Berechnung von Förderleistung und Wartezeiten bei Aufzugsanlagen. Fördern und Heben. 18(1968)2, S. 105...109.

[7d] *W. Weinberger:* Zur Auslegung von Gruppen-Steuersystemen für Aufzüge. Teil 4: Eine theoretische Betrachtung von Gruppensteuerungen. Fördern und Heben 18(1968)5, S. 319...322.

[8] *G. C. Barney* and *S. M. Dos Santos:* Lift traffic analysis, design and control. IEE Control Engineering Series, 2. London, IEE/Stevenage, Hertfordshire, Peter Peregrinus Ltd., 1977.

Adresse der Autoren

H. Bosshard, dipl. El.-Ing. ETH, c/o Schindler Management AG, und
C. Meylan, dipl. Masch.-Ing. ETH, c/o Schindler Informatik AG, 6030 Ebikon