

# ÜBER DIE SIMULATION DES VERKEHRSVERLAUFS

B. VÁSÁRHELYI\*

Lehrstuhl für Straßenbau,  
Technische Universität, H-1521 Budapest

Eingegangen am 21. December 1984

## Summary

Experiments for traffic simulation are reported for three cases: (i) Simulation of stochastic traffic at street crossings observing the right-hand advantage principle. (ii) Simulation of traffic on winding highways. (iii) Simulation of traffic on three-lane roads.

### Stochastische Simulation des Verkehrs an Straßenkreuzungen nach dem „rechts vor links“ Prinzip (1972/73)

Die Überquerung einer Kreuzung ohne Vorfahrtsregelung erfolgt nach dem „rechts vor links-Prinzip“. Die Vorfahrt hat dasjenige Fahrzeug, das von der rechts liegenden Einmündung kommt. Hier wurde die Kreuzung zweier in beiden Richtungen einspurig befahrenen Straßen untersucht.

Durch das „rechts vor links-Prinzip“ ändert sich die vorfahrtsberechtigige Richtung zufällsmäßig in Abhängigkeit von der relativen Position der Fahrzeuge, die die Kreuzung überqueren sollen. Dadurch unterscheidet sich eine solche Kreuzung sowohl von einer mit Regelung durch Vorfahrtsschilder, bei der immer dieselbe Richtung vorfahrtsberechtigt ist, als auch von einer mit Regelung durch Signalanlagen, die abwechselnd den einzelnen Richtungen die Vorfahrt geben.

Eine mathematisch-theoretische Erörterung des Problems wäre mit großen Schwierigkeiten verbunden.

Unsere Untersuchungen beschränken sich auf den Fall, bei dem die Fahrzeuge aufgrund der schlechten Sichtverhältnisse die Kreuzung sehr langsam anfahren sollen, um die Vorfahrt dem von rechts Kommenden geben zu können. In der Regel kommen die Fahrzeuge zufällig verteilt an.

Die exponentiell verteilten Ankunftszeitlücken zwischen den Fahrzeugen wurden im voraus bestimmt.

\* Im Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe durchgeführte Forschungen

Das Wesentliche dieses Simulationsverfahrens besteht darin, daß der Rechner alle an den vier Einmündungsstraßen ankommenden Fahrzeuge so lange warten läßt, bis die früher an derselben Einmündung angekommenen Fahrzeuge abgefahren sind und nach Anwendung der „rechts vor links-Regel“ kein anderes Fahrzeug mehr Vorfahrt hat. Der Rechner zeichnet den Abfahrtzeitpunkt und die Wartezeit jedes Fahrzeuges auf und berechnet für

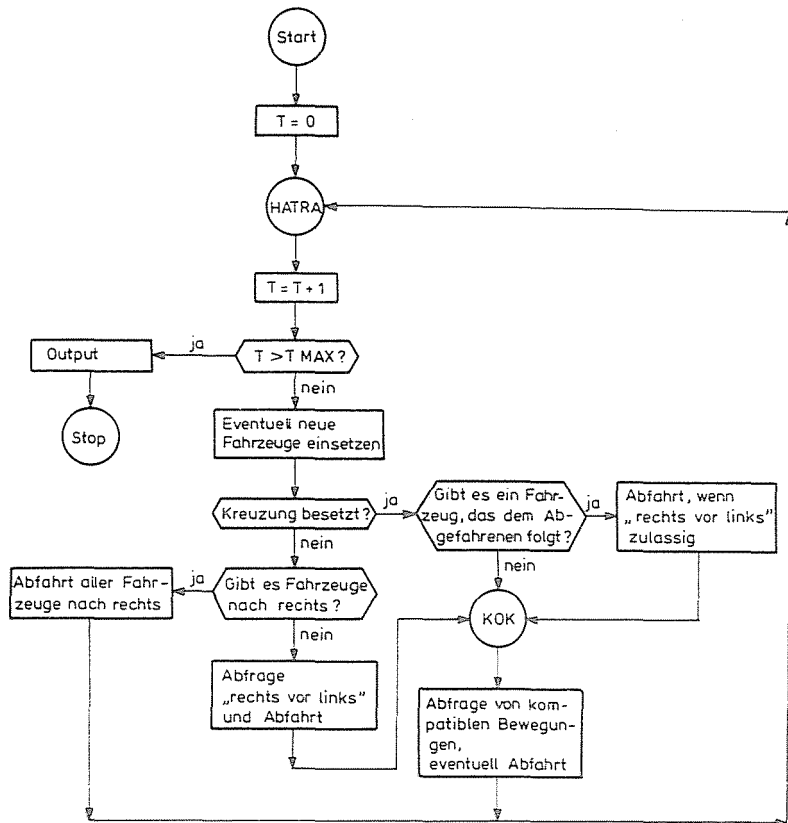


Abb. 1

jede Richtung die Verteilung und die Summe der Wartezeiten. Die Simulationszeit betrug eine Stunde. Eine Anlaufzeit wurde nicht angenommen, da sie nur relativ kurz gewesen wäre und auf die Resultate keinen merklichen Einfluß gehabt hätte.

Die Simulation wurde sowohl im Fall einer reinen Kreuzung (wo die Fahrzeuge nur gerade fahren dürfen) als im allgemeinen Fall (wo alle Bewegungen zugelassen sind) ausgeführt. In beiden Fällen wurden verschiedene Besetzungszeiten angenommen und die kompatiblen Bewegungen zugelas-

sen. Kompatible Bewegungen sind solche, die gleichzeitig ausgeführt werden können, ohne sich gegenseitig zu behindern, als auch Bewegungen, die erlauben, daß ein Fahrzeug in die Kreuzung einfährt, bevor das vorhergehende Fahrzeug die Kreuzung verlassen hat.

Das Grundprinzip des Blockschemas ist identisch für die Verkehrssimulation in beiden Fällen. Eine wesentliche Veränderung wird dabei durch die Kompatibilitäten, die verschiedenen Besetzungszeiten und die verschiedenen Durchfahrtmöglichkeiten hervorgerufen.

Bei der Simulation der ankommenden Fahrzeuge wurden die Ankunftszeiten im voraus bestimmt. Außerdem wurde im allgemeinen Fall bei jedem Fahrzeug ausgelost, in welche Richtung die Kreuzung überfahren wird (geradeaus, rechtsabbiegend, linksabbiegend), und ob es ein schnelles oder ein langsames Fahrzeug ist. Die Auslosung erfolgte mit Hilfe von gleichverteilten Zufallszahlen.

Die Simulationsblockschemata sind in den Abb. 1 und 2 dargestellt. Abb. 1 ist zusammenfassend, während Abb. 2 die Abfrageschemata gemäß der „rechts vor links-Regel“ zeigt.

Die Simulation wurde mit verschiedenen Kombinationen der folgenden Input-Werten durchgeführt:

Die Verkehrsgrößen der Einmündungsstraßen waren je 100, 150, 200 bzw. 250 Fhz/h, also die der gesamten Kreuzung betragen 400, 600, 700, 800 bzw. 1000 Fhz/h.

Fahrtrichtung der Fahrzeuge:

- a) 60% geradeaus, 15% nach links abbiegend, 25% nach rechts abbiegend
- b) 100% geradeaus.

Fahrzeugtypen:

- a) 60% schnelle Fahrzeuge, 40% langsame Fahrzeuge
- b) 100% schnelle Fahrzeuge

Bei der Kreuzung mit Abbiegeverbot gab es nur den Fall b)

Besetzungszeiten der Kreuzung:

Kreuzung mit Abbiegeverbot

- a) 6. sec, b) 5 sec, c) 7 sec

allgemeiner Fall

a)	geradeaus	nach rechts	nach links
schnelle Fhz	5	4	6
langsame Fhz	7	6	8

b) jede Besetzungszeit um 1 sec kürzer

c) jede Besetzungszeit um 1 sec länger.

Einige charakteristische Resultate sind in den Abb. 3 und 4 zu sehen.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß in einer unübersichtlichen Kreuzung, deren Vorfahrt nach dem „rechts vor link-Prinzip“ geregelt ist, die

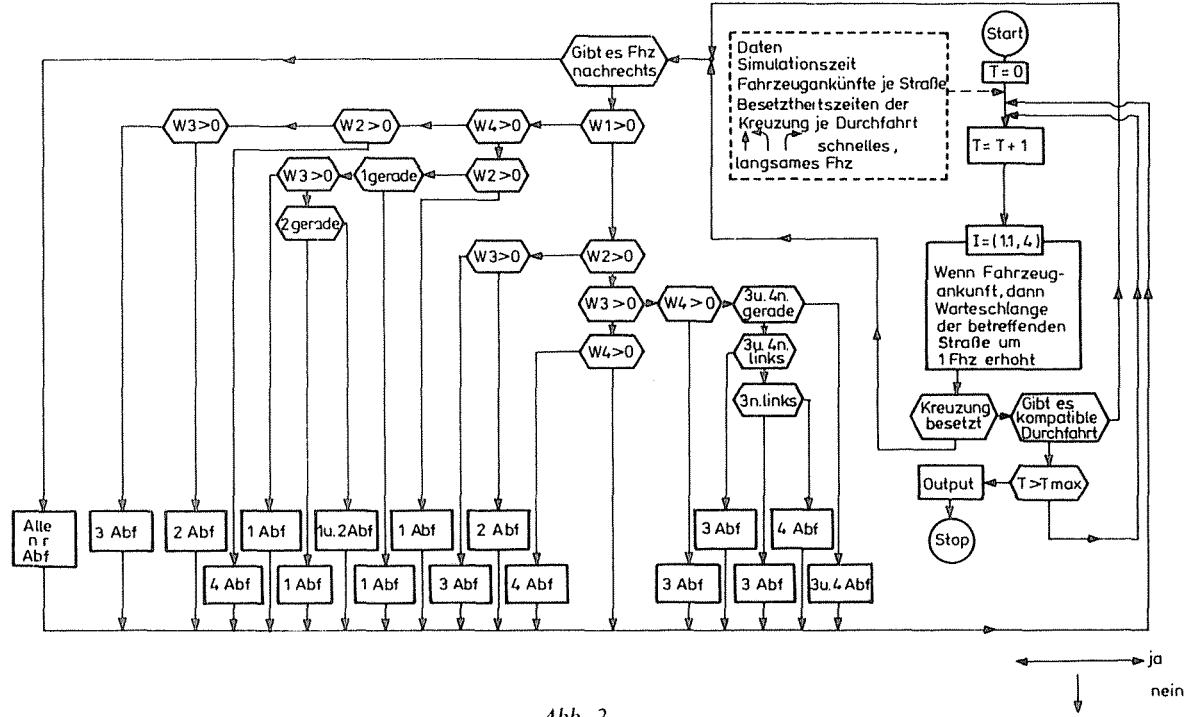


Abb. 2

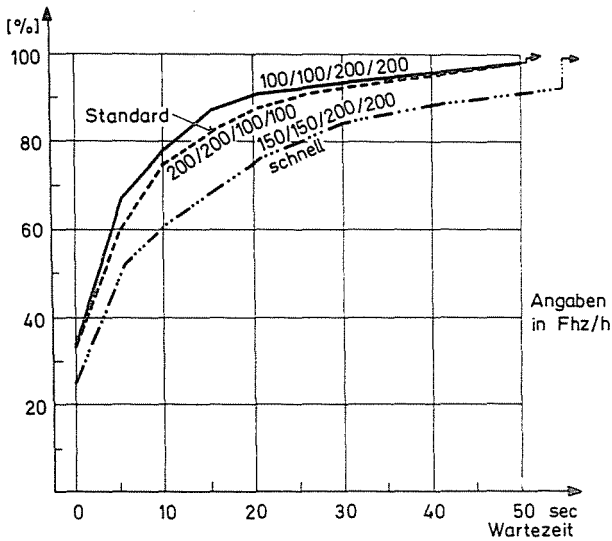


Abb. 3. Allgemeiner Fall, verschiedene Verkehrsstärken

Wartezeiten bei einer Knotenbelastung von 400 Fhz/h noch annehmbar sind. Bei größerer Belastung einer solchen Kreuzung wurden unakzeptable Stauungen und Wartezeiten auftreten.

Doch auch aus Sicherheitsgründen sollte man unübersichtliche Kreuzungen beschildern.

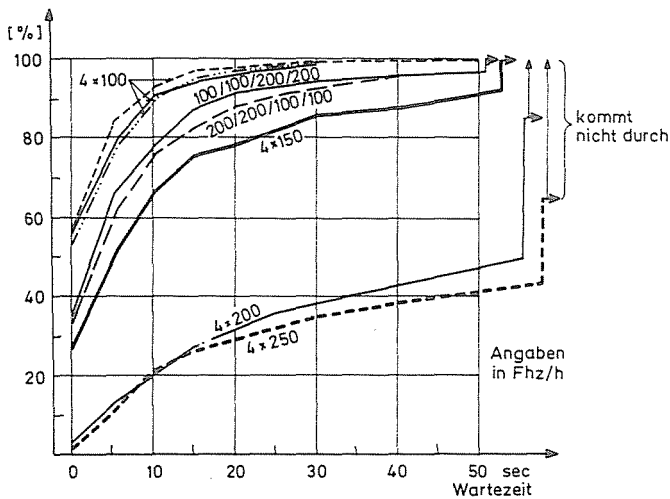


Abb. 4. Allgemeiner Fall, alle Parameter standard

### Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf kurvigen Landstrassen (1977)\*

In mehreren Forschungsarbeiten des Instituts für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe wurde eine Reihe von Simulationsmodellen des Verkehrsablaufs für verschiedenartige Untersuchungsziele erstellt. Alle diese Modelle lehnen sich in ihrem generellen Aufbau an das erstellte Modell für den einspurigen Verkehrsablauf an. Ein Simulationsmodell SIMLA für zweispurige Landstrassen mit Berücksichtigung des Gegenverkehrs ist 1976 entwickelt worden. Dieses Modell ahmt den Verkehrsablauf auf einer zweispurigen „idealen“ Landstraße mit Gegenverkehr nach; d.h. es handelt sich um eine ebene, gerade Strecke; Kurven, Steigungen, Sichtbehinderungen oder ähnliche, den Verkehrsablauf beeinträchtigende Parameter der geometrischen Gestaltung einer Straße wurden nicht berücksichtigt.

Im vorliegenden Modell wird eine Erweiterung des SIMLA-Modells um Kurven mit und ohne Sichtbehinderung beschrieben. Steigungen bleiben zunächst unberücksichtigt; eine diesbezügliche Erweiterung des Modells wurde seitdem erstellt. Da Steigungen erst in Größenordnungen von 2 bis 3 Prozent deutlichen Einfluß auf den Verkehrsablauf ausüben, kann davon ausgegangen werden, daß das vorliegende Modell bereits den Verkehrsablauf auf schwach hügeligem Gelände hinreichend genau beschreiben kann.

Die Wirkung von Kuppen in hügeligem Gelände, die zwar aufgrund der geringen Längsneigungen kaum fahrdynamische Auswirkungen haben, jedoch die Sichtweite begrenzen, kann im vorliegenden Modell durch eine Kurve mit entsprechend groß vorgegebenem Halbmesser und tatsächlicher Sichtweite berücksichtigt werden.

Bezüglich der Auswirkung von Kurven auf den Verkehrsablauf ist grundsätzlich zu beachten, daß einerseits durch Kurven Sichtbehinderungen auftreten können, andererseits aber auch Kurven existieren, die keine Sichtbehinderungen hervorrufen.

Bei Annäherung an eine Kurve mit Sichtbehinderung nimmt die momentane Sichtweite kontinuierlich ab; die Abnahme erfolgt um die jeweils zurückgelegte Fahrtstrecke. Am Kurvenanfang hat also die Sichtweitengrenze für die vorgegebene Kurve einen festgelegten Wert, der während der Kurvenfahrt bis zum Kurvenende beibehalten wird. Am Kurvenende wächst die Sichtweite sprunghaft; sie wird durch die Lage der nächsten Kurve mit Sichtbehinderung bestimmt.

\* Diese Versuche wurden gemeinsam mit Dr. Ing. V. Brannolte, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe durchgeführt.

- In der vorliegenden Arbeit wurden folgende Teilaufgaben gelöst:
- Einbau von Kurven- und Sichtweitencharakteristiken in das Modell SIMLA
  - Fahrdynamische Modellierung des Kurvenannäherungsprozesses
  - Ergänzung bzw. Modifizierung der Überholentscheidungskriterien gemäß der vorgegebenen Modellsituation

Bei der Lösung der Teilaufgaben wurden die durch Zufallsmechanismen gesteuerten Unterschiede im Fahrverhalten einzelner Fahrer grundsätzlich wie

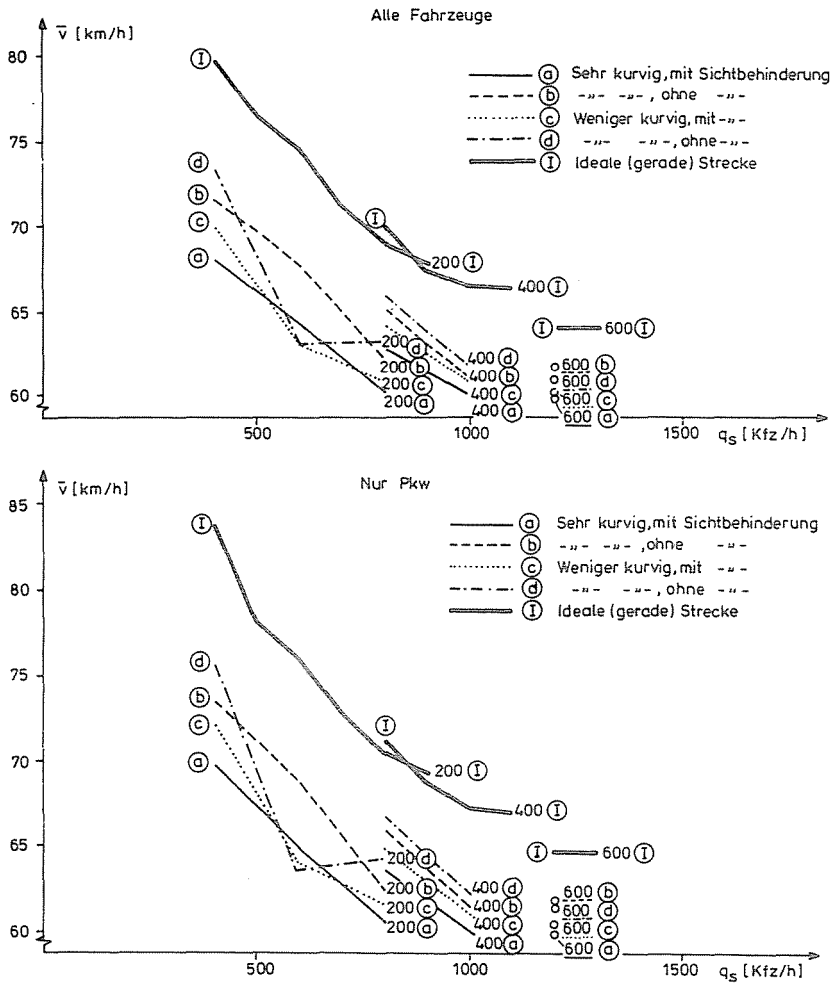


Abb. 5. Mittlere momentane Reisegeschwindigkeiten ( $\bar{v}$ ) auf der Gesamtfahrbahn in Abhängigkeit von der Gesamtverkehrsstärke ( $q_s$ ); unterschieden nach der Verkehrsstärke der schwächer belasteten Richtung bei Verkehrstyp I

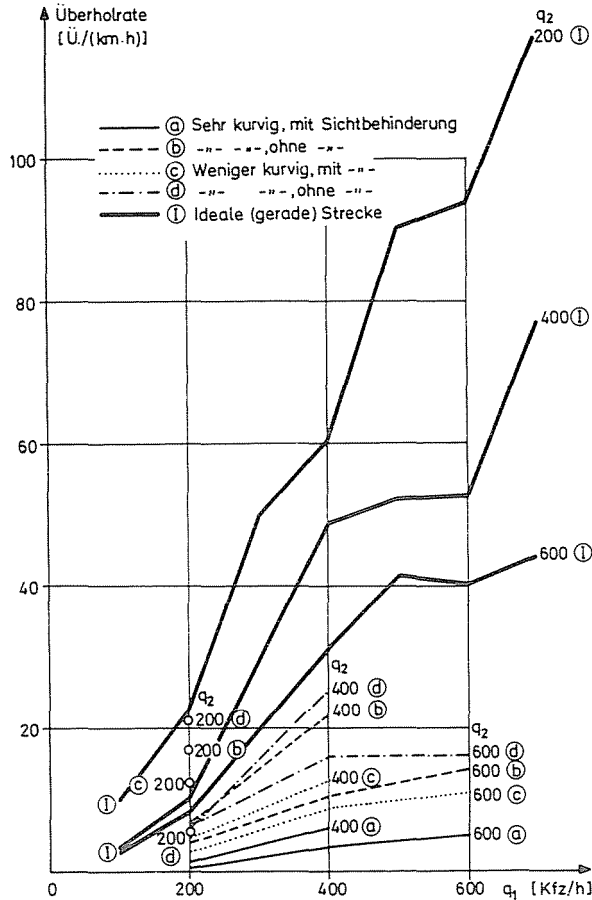


Abb. 6. Die Überholraten in Richtung 1 als Funktion der Verkehrsstärke dieser Richtung ( $q_1$ ) und der Gegenrichtung ( $q_2$ ) für unterschiedliche Streckentypen

auf der geraden Strecke beibehalten; dadurch sollte eine direkte Vergleichbarkeit der Simulationsresultate bei beiden Straßentypen ermöglicht werden.

Bei den vielzähligen Simulationsläufen wurden folgende Streckentypen angenommen:

- sehr kurvige Straße mit Sichtbehinderungen
- sehr kurvige Straße ohne Sichtbehinderungen
- weniger kurvige Straße mit Sichtbehinderungen
- weniger kurvige Straße ohne Sichtbehinderungen
- äußerst kurvige Straße mit Sichtbehinderungen.

Als Verkehrsbelastungen für die durchgeführten Simulationsläufe wurden 200, 400 und 600 [Fhz/h] je Richtung vorgegeben; daraus wurden



sechs unterschiedliche Verkehrsstärke-Kombinationen konstruiert: 200/200, 200/400, 200/600, 400/400, 400/600, 600/600.

Die Merkmale der Fahrzeug-Fahrerkollektiven entsprachen der bei den Simulationsläufen des SIMLA-Modells angenommenen Kollektiven. Außerdem, bei der Verkehrsbelastung 400/400 Fhz/h wurde die Auswirkung eines unterschiedlichen Lkw-Anteils sowie der veränderten Wunschgeschwindigkeiten untersucht.

Einige Simulationsergebnisse werden in den Abb. 5 und 6 dargestellt.

Der Vergleich der vorliegenden Simulationsergebnisse mit deutschen empirischen Untersuchungen zeigt, daß im simulierten Verkehrsablauf niedrigere mittlere Geschwindigkeiten festgestellt wurden. Die Abminderungen der  $v_{85}$  — Geschwindigkeiten bei zunehmender Kurvigkeit aus den Simulationsergebnissen zeigen jedoch eine den empirischen Ergebnissen qualitativ entsprechende Tendenz.

Unterschiede zwischen Simulation und Meßergebnissen und auch bei den Meßergebnissen untereinander sind zum größten Teil durch verschiedenartige äußere Bedingungen erklärbar; so stammen die empirischen Resultate aus Messungen, die größtenteils bei wesentlich geringerer Verkehrsbelastung durchgeführt wurden. Außerdem wurde in der Simulation ein relativ hoher und mit der Belastung konstanter LKW-Anteil (15%) vorgegeben. Im realen Verkehrsablauf häufiger auftretende riskante Überholungen, die insgesamt zu höheren mittleren Geschwindigkeiten führen, werden im Modell ausgeschlossen.

### **Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf dreispurigen Landstraßen (1977)**

Auch dieses Modell wurde als eine Erweiterung des Simulationsmodells SIMLA für zweispurige ideale Straßen mit Berücksichtigung des Gegenverkehrs erstellt. Es wurde eine mittlere Fahrspur der zweispurigen Straße zugeordnet, worauf man in beiden Richtungen Überholungen ausführen kann. Nur in der Überholentscheidung besteht ein Unterschied zwischen dem SIMLA- und dem dreispurigen Modell.

Die Ergebnisse der zahlreichen Simulationsläufe zeigen die erhöhten Durchschnittsgeschwindigkeiten und Überholungsmöglichkeiten. Der Vergleich mit einigen theoretischen und gemessenen Werten zeigte akzeptable Übereinstimmungen.

Dr. Boldizsár VÁSÁRHELYI H-1521 Budapest