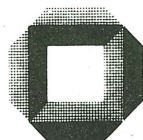


Dr.-Ing. Wolfgang G. Bleher
Messung des Verkehrsablaufs
– Beurteilung der
statistischen Genauigkeit
mittels Simulation

Diese Arbeit wurde mit Mitteln der
Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert

INSTITUT FÜR VERKEHRSWESEN
UNIVERSITÄT (TH) KARLSRUHE
PROFESSOR DR.-ING. W. LEUTZBACH



Schriftenreihe Heft 38/87 ISSN 0341-5503

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe.

Mein besonderer Dank gebührt Herrn Professor Dr.-Ing. W. Leutzbach für die wissenschaftliche Betreuung und die Übernahme des Referates. Ebenso möchte ich Herrn Professor Dr.-Ing. G. Steierwald für die Übernahme des Korreferates herzlich danken.

Weiterhin danke ich all denjenigen Helferinnen und Helfern, die mit Programmier-, Schreib- und Zeichenarbeiten zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Und schließlich geht mein Dank natürlich auch an alle Kolleginnen und Kollegen, die mich mit Rat und Tat unterstützt haben.

Wolfgang G. Bleher

KURZFASSUNG

Messung des Verkehrsablaufs - Beurteilung der statistischen Genauigkeit mittels Simulation.

212 Seiten

57 Abbildungen

46 Tabellen

Anhang

Die von CHARLESWORTH und WARDROP entwickelte "Moving Observer"-Methode (MOM) ermöglicht die Berechnung von Verkehrsstärke q und durchschnittlicher Reisezeit \bar{T} anhand von Beobachtungen aus einem fahrenden Fahrzeug. Dem Vorteil der relativ einfachen Durchführung dieser Methode stand allerdings der Nachteil gegenüber, dass bis jetzt keine zuverlässigen Aussagen über die Genauigkeit der so erhaltenen Werte für q und \bar{T} gemacht werden konnten. Der Grund hierfür liegt im stochastischen Charakter des Verkehrsablaufs und seiner damit verbundenen Schwankungen. Deshalb entspricht die MOM lediglich einer Stichprobe und es stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen der Anzahl der Beobachtungen und der daraus resultierenden Genauigkeit von q und \bar{T} . Darüber hinaus stellt sich auch die Frage, inwieweit die mit der MOM erhaltenen Werte die tatsächlichen Werte von q und \bar{T} repräsentieren, die mit einer räumlich-zeitlichen Messung bestimmt werden können. Zur Beantwortung dieser Fragen werden mit einem Simulationsmodell unterschiedliche Verkehrsabläufe erzeugt und die relativen Differenzen zwischen den "Moving Observer"- und den räumlich-zeitlichen Werten berechnet. Für diese relativen Differenzen werden dann Konfidenzintervalle bestimmt. Auf diese Weise kann für eine bestimmte Anzahl von Beobachtungen ein Bereich angegeben werden, in dem die räumlich-zeitlichen Grössen bei Vorgabe einer Irrtumswahrscheinlichkeit liegen. Lage und Grösse dieser Konfidenzintervalle hängen ausserdem von der Länge der untersuchten Strecke und der Verkehrsstärke ab. Die mit Hilfe der Simulation erhaltenen Ergebnisse werden anhand von praktisch durchgeführten Messungen überprüft. Zusätzlich zur MOM werden noch zwei von BENNETT für Einrichtungsfahrbahnen entwickelte Verfahren anhand einer praktisch durchgeführten Messung auf einer Autobahn untersucht.

SUMMARY

Measurement of Traffic Flow - Estimation of Statistical Accuracy using Simulation.

212 pages 57 illustrations 46 tables appendix

The "Moving Observer"-Method (MOM), which was developed by CHARLESWORTH and WARDROP, makes possible the calculation of the traffic volume q and the average journey time \bar{T} using observations made from a moving vehicle. While the MOM is relatively easy to implement, until now it was not possible to get reliable indications concerning the accuracy of the q and \bar{T} values it produced. The reason for this is the stochastic character of the traffic flow and its resulting variations. Therefore, the MOM represents only a random sample, which raises the question of the relationship between the number of observations and the resulting accuracy of q and \bar{T} . It is also important to determine how well q and \bar{T} , as obtained by the MOM, represent the real values of q and \bar{T} , which can be determined by a measurement in time and space. To answer these questions, different kinds of traffic flows are created by a simulation model and the relative differences between the "Moving Observer"-values and those of the measurement in time and space are calculated. Then, for these relative differences, confidence intervals are determined. In this way, it is possible to translate a certain number of observations into a confidence interval in which q and \bar{T} are obtained by measurements in time and space for a given level of significance. The location and size of these confidence intervals depend also on the length of the considered road section and the traffic volume. The results that are obtained by simulation are verified by experimental measures. In addition to the MOM, two methods developed by BENNETT for use on one-way roads are examined by experimental measurement on a motorway.

RESUME

Mesure de l'écoulement de la circulation - Appréciation de la précision statistique au moyen de la simulation.

212 pages 57 illustrations 46 tableaux annexes

La méthode "Moving Observer" (MOM), développée par CHARLESWORTH et WARDROP, permet de calculer le débit de la circulation q , ainsi que le temps de parcours moyen \bar{T} , en s'appuyant sur les observations d'un véhicule en mouvement. L'avantage de la mise en place relativement facile de cette méthode se trouvait, pourtant, en opposition avec l'inconvénient qu'aucune indication fiable sur l'exactitude des valeurs, ainsi obtenues pour q et \bar{T} , ne pouvait être donnée jusqu'à présent. La raison à cela réside dans le caractère aléatoire de l'écoulement de la circulation et des variations qui y sont liées. C'est pourquoi la MOM représente uniquement un échantillon, ce qui pose alors la question de la relation entre le nombre des observations et l'exactitude de q et \bar{T} qui en résulte. En outre, se pose aussi la question de savoir, dans quelle mesure les valeurs obtenues par la MOM représentent les réelles valeurs de q et \bar{T} , qui peuvent être déterminées par une mesure réalisée dans le temps et l'espace. Pour répondre à ces questions, on procède, à l'aide d'un modèle de simulation, à la reconstitution de divers écoulements de circulation, ainsi qu'à l'évaluation des relatives différences entre les valeurs provenant du "Moving Observer" et celles provenant de la mesure dans l'espace et le temps. On détermine, ensuite, des intervalles de confiance pour ces différentes relatives. De cette manière, on peut attribuer à un certain nombre d'observations un intervalle, dans lequel on peut placer les données résultant de la mesure dans l'espace et dans le temps, tout en prenant en compte un risque d'erreur. L'endroit et la taille de ces intervalles de confiance dépendent, par ailleurs, de la longueur du tronçon étudié et du débit de la circulation. Les résultats obtenus par cette simulation sont vérifiés à l'aide de mesures effectivement réalisées. En plus de la MOM, on étudie deux procédés développés par BENNETT destinés aux voies à sens unique, en s'appuyant sur des mesures effectivement réalisées sur autoroute.

Gliederung

	Seite
1. Einleitung	1
2. Die 'Moving Observer'-Methode	4
3. Problemstellung	12
4. Art und Weise der Untersuchung	27
5. Untersuchung und Ergebnisse der Simulation	54
6. Messungen	137
7. Vergleich von Simulation und Messung	184
8. Praktische Durchführung der 'Moving Observer'- Methode	193
9. Zusammenfassung	206

Literaturverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen

Verzeichnis der Tabellen

Anhang

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Die 'Moving Observer'-Methode	4
3. Problemstellung	12
3.1 Stationarität und Instationarität	12
3.2 Weitere Methoden zur Bestimmung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit	19
3.2.1 Lokale Messung	19
3.2.2 Momentane Messung	21
3.2.3 Räumlich-zeitliche Messung	22
3.2.4 Vergleichende Betrachtungen	25
4. Art und Weise der Untersuchung	27
4.1 Grundsätzliche Vorgehensweise	27
4.2 Simulation	29
4.2.1 Simulationsmodell SIMLA 2	29
4.2.1.1 Fahrer-Fahrzeug-Elemente	29
4.2.1.2 Organisation der Weg- und Zeitkoordinaten	32
4.2.1.3 Erzeugung von Fahrer-Fahrzeug-Elementen und ihre Zeitlückenverteilung	33
4.2.1.4 Eingabedaten	35
4.2.2 Simulationsmodell SIMLA 2/MO	36
4.2.3 Parametervariationen bei den Simulationsläufen	39
4.2.3.1 Allgemeines	39
4.2.3.2 Parameter "Wunschgeschwindigkeit der MO-Fahrzeuge v_{wgmo} "	40
4.2.3.3 Parameter "Streckenlänge X_L "	42
4.2.3.4 Parameter "Vorgegebene Verkehrsstärken $q_v, 1, q_v, 2$ "	43
4.2.4 Simulationsläufe	46

4.3	Messungen	47
4.3.1	Grundsätzliches Vorgehen	47
4.3.1.1	Messungen auf Stadt- und Landstraßen	47
4.3.1.2	Messungen auf Autobahnen	48
4.3.2	Meßaufbau	50
4.3.2.1	Meßaufbau für Stadt- und Landstraßen	50
4.3.2.2	Meßaufbau für Autobahnen	52
4.3.3	Durchgeführte Messungen	52
5.	Untersuchung und Ergebnisse der Simulation	54
5.1	Vorbemerkungen	54
5.2	Beeinflussung des Verkehrsablaufs durch die 'Moving Observer'-Methode	55
5.2.1	Verkehrsstärke q_{Rz}	56
5.2.2	Durchschnittliche Reisezeit \bar{t}_{Rz}	56
5.2.3	Verkehrsdichte k_{Rz}	57
5.2.4	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	57
5.3	'Moving Observer'-Meßwerte	59
5.3.1	Ganglinien	59
5.3.1.1	Anzahl der aktiven Überholungen M_A , Anzahl der passiven Überholungen M_P	59
5.3.1.2	Fahrzeit t_w, t_a, t_f	61
5.3.1.3	Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E	64
5.3.2	Untersuchung der Meßreihen auf Zufällsmäßigkeit	65
5.3.2.1	Anzahl der aktiven Überholungen M_A , Anzahl der passiven Überholungen M_P	65
5.3.2.2	Fahrzeit t_f	65
5.3.2.3	Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E	66

5.3.3	Bestimmung von theoretischen Verteilungen für t_f und E	67
5.3.3.1	Anzahl der aktiven Überholungen M_A , Anzahl der passiven Überholungen M_p	69
5.3.3.2	Fahrzeit t_f	69
5.3.3.3	Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E	70
5.3.4	Untersuchung auf Korrelation zwischen den M_0 -Meßwerten	70
5.3.4.1	Anzahl der aktiven Überholungen M_A , Anzahl der passiven Überholungen M_p	71
5.3.4.2	t_f , E	71
5.4	'Moving Observer'-Parameter	75
5.4.1	Ganglinien	75
5.4.1.1	q_{m_0}	75
5.4.1.2	ϵ_{m_0}	76
5.4.2	Untersuchung der Wertereihen auf Zufällsmäßigkeit	76
5.4.2.1	q_{m_0}	77
5.4.2.2	ϵ_{m_0}	77
5.4.3	Bestimmung von theoretischen Verteilungen für q_{m_0} und ϵ_{m_0}	78
5.4.3.1	q_{m_0}	78
5.4.3.2	ϵ_{m_0}	79
5.4.4	Untersuchung auf Korrelation zwischen den 'Moving Observer'-Parametern q_{m_0} und ϵ_{m_0}	79
5.5	Untersuchung auf Korrelation zwischen den 'Moving Observer'-Meßwerten und den 'Moving Observer'-Parametern	81
5.5.1	Korrelation zwischen q_{m_0} und t_f	81
5.5.2	Korrelation zwischen q_{m_0} und E	83
5.5.3	Korrelation zwischen ϵ_{m_0} und t_f	83
5.5.4	Korrelation zwischen ϵ_{m_0} und E	84
5.6	Kumulative Durchschnitte der 'Moving Observer'-Parameter q_{m_0} und ϵ_{m_0}	86
5.6.1	Theoretische Überlegungen	86
5.6.2	Tatsächliche Verläufe von $\bar{x}_{kum,k}$ und Schlußfolgerungen	89

5.7	Referenzmessungen	91
5.7.1	Räumlich-zeitliche Messung	94
5.7.2	Lokale Messung	94
5.7.3	Momentane Messung	95
5.8	Relationen zwischen der 'Moving Observer'- Methode und den Referenzmessungen	96
5.8.1	Grundsätzliche Überlegungen	96
5.8.2	Synchronisation der Meßwertreihen	99
5.8.3	Intervallweiser Vergleich	101
5.9	Vergleich der kumulativen Durchschnitte der 'Moving Observer'-Parameter q_{mo} und t_{mo} mit den entsprechenden Parametern der Referenz- messungen q_{ref} und t_{ref}	104
5.9.1	Theoretische Überlegungen	104
5.9.2	Tatsächliche Verläufe von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$ und Schlußfolgerungen	106
5.10	Berechnung von Konfidenzintervallen für die 'Moving Observer'-Mittelwerte q_{mo}^* und t_{mo}^* aus den einzelnen 'Moving Observer'-Parameter $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$	108
5.10.1	Vorbemerkungen	108
5.10.2	Einteilung der Simulationsläufe in Basisklassen	109
5.10.3	Berechnungsweise der Konfidenzintervalle	112
5.10.4	Beispiel	119
5.11	Berechnung von Konfidenzintervallen für die 'Moving Observer'-Mittelwerte q_{mo}^* und t_{mo}^* aus den Differenzen zwischen der MO-Messung und der räumlich-zeitlichen Messung	122
5.11.1	Vorbemerkungen	122
5.11.2	Einteilung der Simulationsläufe in Basisklassen	123
5.11.3	Berechnungsweise der Konfidenzintervalle	126
5.11.4	Beispiel	130
5.12	Diskussion der Ergebnisse	131

6. Messungen	137
6.1 Grundsätzliche Vorgehensweise	137
6.2 Problematik bei der Ermittlung der MO-Meßwerte	138
6.3 'Moving Observer'-Meßwerte	140
6.3.1 Ganglinien	140
6.3.1.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_A , Anzahl der passiven Überholungen M_P	140
6.3.1.2 Fahrzeit t_w , t_a , t_f	142
6.3.1.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E	144
6.3.2 Untersuchung der Meßreihen auf Zufallsmäßigkeit	144
6.3.2.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_A , Anzahl der passiven Überholungen M_P	145
6.3.2.2 Fahrzeit t_f	145
6.3.2.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E	145
6.3.3 Bestimmung von theoretischen Verteilungen für t_f und E	145
6.3.3.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_A , Anzahl der passiven Überholungen M_P	146
6.3.3.2 Fahrzeit t_f	146
6.3.3.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E	146
6.3.4 Untersuchung auf Korrelation zwischen den MO-Meßwerten	147
6.3.4.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_A , Anzahl der passiven Überholungen M_P	147
6.3.4.2 t_f , E	147
6.4 'Moving Observer'-Parameter	149
6.4.1 Ganglinien	149
6.4.1.1 q_{mo}	149
6.4.1.2 ϵ_{mo}	150
6.4.2 Untersuchung der Wertereihen auf Zufallsmäßigkeit	150

6.4.2.1	q_{mo}	151
6.4.2.2	ϵ_{mo}	151
6.4.3	Bestimmung von theoretischen Verteilungen für q_{mo} und ϵ_{mo}	151
6.4.3.1	q_{mo}	152
6.4.3.2	ϵ_{mo}	152
6.4.4	Untersuchung auf Korrelation zwischen den 'Moving Observer'-Parametern q_{mo} und ϵ_{mo}	152
6.5	Untersuchung auf Korrelation zwischen den 'Moving Observer'-Meßwerten und den 'Moving Observer'-Parametern	153
6.5.1	Korrelation zwischen q_{mo} und t_f	153
6.5.2	Korrelation zwischen q_{mo} und E	153
6.5.3	Korrelation zwischen ϵ_{mo} und t_f	154
6.5.4	Korrelation zwischen ϵ_{mo} und E	154
6.6	Berechnung von Konfidenzintervallen für die 'Moving Observer'-Mittelwerte q_{mo}^* und ϵ_{mo}^* aus den einzelnen 'Moving Observer'-Parametern $q_{mo,k}$ und $\epsilon_{mo,k}$	155
6.7	Referenzmessungen	163
6.8	Berechnung von Konfidenzintervallen für die 'Moving Observer'-Mittelwerte q_{mo}^* und ϵ_{mo}^* aus den Differenzen zwischen der MO-Messung und der lokalen Referenzmessung	164
6.9	Messungen auf Einrichtungsfahrbahnen	171
6.9.1	Vorbemerkungen	171
6.9.2	Methode "Bennett I"	171
6.9.2.1	Allgemeines	171
6.9.2.2	Messung	172
6.9.3	Methode "Bennett II"	177
6.9.3.1	Allgemeines	177
6.9.3.2	Messung	178
6.9.4	Ergebnisse und Zusammenfassung	182

7. Vergleich von Simulation und Messung	184
7.1 Vorbemerkungen	184
7.2 Datenerfassung	184
7.2.1 Allgemeines	184
7.2.2 Simulation	187
7.2.3 Messungen	191
7.3 Zusammenfassung	192
8. Praktische Anwendung der 'Moving Observer'- Methode	193
8.1 Vorbemerkungen	193
8.2 Allgemeines Vorgehen bei der praktischen Anwendung der 'Moving Observer'-Methode	193
8.3 Anwendungsbeispiel	201
9. Zusammenfassung	206

Literaturverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen

Verzeichnis der Tabellen

Anhang

1. Einleitung

Spätestens seit der Erfindung des Rades hat der Verkehr auf Wegen und Straßen eine zentrale Rolle innerhalb der menschlichen Gesellschaft erlangt. Daran dürfte sich auch in Zukunft nichts ändern. Im Gegenteil: Trotz einer in den letzten Jahrzehnten laut gewordenen Kritik am Automobil weist der Straßenverkehr nach wie vor eine steigende Tendenz auf.

Um diese enormen Verkehrsleistungen bewältigen zu können, ist ein leistungsfähiges Straßennetz notwendig. Für die Verbesserung und Erweiterung dieses Straßennetzes sind Informationen über die Qualität des Verkehrs erforderlich. Diese Verkehrsqualität kann durch geeignete Parameter beschrieben werden. Zwei dieser Parameter sind: Verkehrsstärke und durchschnittliche Reisezeit.

Die Bestimmung dieser beiden Parameter kann mit Hilfe einer lokalen Querschnittsmessung erfolgen. Diese Meßmethode hat allerdings den großen Nachteil, daß die zur Berechnung der durchschnittlichen Reisezeit notwendigen Einzelgeschwindigkeiten nur an einem Querschnitt gemessen werden und somit eventuell vorhandene Instationaritäten innerhalb des betrachteten Streckenabschnitts nicht erfaßt werden.

Eine momentane Messung würde zwar Informationen über die Geschwindigkeiten auf dem gesamten Streckenabschnitt liefern, ist jedoch mit einem hohen Aufwand verbunden, da in der Regel Luftbilddaufnahmen gemacht werden müssen.

Die genaueste Art der Messung ist eine räumlich-zeitliche Beobachtung; jedoch ist deren Durchführung ebenfalls nur mit einem sehr hohen Aufwand möglich.

Anfang der fünfziger Jahre wurde von CHARLESWORTH und WARDROP (1954) die 'Moving Observer'-Methode - im folgenden mit MOM abgekürzt - vorgestellt, die eine Messung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit mit Hilfe von Beobachtungen aus einem fahrenden Fahrzeug gestattet. Diese Meßmethode ist sehr einfach durchzuführen. So sind insbesondere keine stationären Meßeinrichtungen erforderlich. Darüberhinaus umfassen die Beobachtungen das gesamte Wegintervall, so daß der oben genannte systembedingte Nachteil der lokalen Geschwindigkeitsmessung vermieden wird. Dies hat dazu geführt, daß die MOM Eingang in die Praxis gefunden hat. Jedoch liegen bislang keine ausreichenden Erkenntnisse über die Genauigkeit der auf diese Art und Weise ermittelten Werte vor. Desweiteren stellt sich die Frage, inwieweit die oben genannten räumlich-zeitlichen Größen mit den mit Hilfe der MOM erhaltenen Werten übereinstimmen.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin,

- die MOM hinsichtlich ihrer Genauigkeit und des erforderlichen Meßumfangs zu untersuchen und
- zu prüfen, inwieweit die durch sie erhaltenen Werte für Verkehrsstärke und durchschnittliche Reisezeit als Schätzgrößen für die entsprechenden räumlich-zeitlichen Größen verwendet werden können.

Dazu wird in Kapitel 2 zunächst die MOM vorgestellt und erläutert.

In Kapitel 3 wird die genaue Problemstellung dieser Arbeit dargelegt.

Kapitel 4 gibt Aufschluß über Art und Weise des Vorgehens bei der Untersuchung.

Kapitel 5 beschäftigt sich mit der Auswertung und den Ergebnissen der mittels Simulation erzeugten Verkehrsdaten.

In Kapitel 6 werden die mit Hilfe der Simulation gewonnenen Ergebnisse anhand von praktisch durchgeführten Messungen überprüft. Weiterhin werden noch zwei Abwandlungen der MOM, die von BENNETT (1975) für Einrichtungsfahrbahnen entwickelt wurden, praktisch untersucht.

In Kapitel 7 erfolgt dann ein Vergleich der Vorgehensweisen bei Simulation und Messung.

Kapitel 8 enthält Hinweise für die praktische Anwendung der MOM, die durch ein Beispiel ergänzt werden.

Kapitel 9 faßt die wesentlichen Erkenntnisse zusammen.

Im Anschluß an das Literatur-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis folgt noch ein Anhang, der Daten und Übersichten enthält.

2. Die 'Moving Observer'-Methode

Die MOM dient zur Bestimmung der Verkehrsstärke q und der durchschnittlichen Reisezeit \bar{t} auf einem Streckenabschnitt der Länge X_L . Sie ist für alle Arten von Zweirichtungsfahrbahnen geeignet, gleichgültig ob es sich um Stadtstraßen, Landstraßen oder Autobahnen handelt. Einzige Voraussetzung zu ihrer Anwendung ist, daß eine Beobachtung des Gegenverkehrs erfolgen kann, dieser also nicht durch Bebauung, Bepflanzung etc. verdeckt wird. Entwickelt wurde die MOM Anfang der fünfziger Jahre und in CHARLESWORTH/WARDROP (1954) vorgestellt.

Bevor nun der genaue Ablauf beschrieben wird, sollen zunächst die der MOM zugrunde liegenden theoretischen Grundlagen, die zu ihrem Verständnis notwendig sind, erläutert werden. Dazu betrachten wir einen stationären (s. 3.1) Fahrzeugstrom q auf einem Streckenabschnitt der Länge X_L . q kann als Summe von n einzelnen Teilströmen q_i ($i = 1(1)n$) aufgefaßt werden, wobei jeder Teilstrom q_i durch eine konstante Geschwindigkeit v_i charakterisiert ist.

Für einen Beobachter, der sich mit der Geschwindigkeit v_w in Stromrichtung bewegt, ergibt sich für jeden Teilstrom q_i ein relativer Fahrzeugstrom $q_{i,w,rel}$ von

$$q_{i,w,rel} = \frac{q_i \cdot (v_i - v_w)}{v_i} \quad (\text{II.1})$$

Entsprechend ergibt sich für einen Beobachter, der sich mit der Geschwindigkeit v_a in Gegenrichtung bewegt, ein relativer Fahrzeugstrom $q_{i,a,rel}$ von

$$q_{i,a,rel} = \frac{q_i \cdot (v_i + v_a)}{v_i} \quad (\text{II.2})$$

Für den Beobachter in Fahrtrichtung gilt weiter:

Ist $v_w = v_i$, so treten weder aktive noch passive Überholungen auf.

Bei $v_w > v_i$ überholt der Beobachter $M_{a,i}$ Fahrzeuge, während er bei $v_w < v_i$ von $M_{p,i}$ Fahrzeugen überholt wird. $M_{a,i}$ und $M_{p,i}$ erhält man aus den Beziehungen:

$$M_{a,i} = q_i \cdot (t_i - t_w) \quad \text{für } t_w < t_i \text{ bzw. } v_w > v_i \quad (\text{II.3})$$

$$M_{p,i} = q_i \cdot (t_w - t_i) \quad \text{für } t_w > t_i \text{ bzw. } v_w < v_i \quad (\text{II.4})$$

wobei
$$t_w = \frac{X_L}{v_w}$$

und
$$t_i = \frac{X_L}{v_i} \text{ ist.}$$

Für den Beobachter in Gegenrichtung ergibt sich die Anzahl der ihm pro Teilstrom entgegenkommenden Fahrzeuge e_i zu:

$$e_i = q_i \cdot (t_a + t_i) \quad (\text{II.5})$$

wobei
$$t_a = \frac{X_L}{v_a} \text{ ist.}$$

Durch Aufsummierung über alle Teilströme q_i und alle Geschwindigkeiten v_i erhält man für den sich in Stromrichtung bewegendem Beobachter folgenden Relativstrom R

$$R = M_p - M_a = q \cdot (t_w - \bar{t}) \quad (\text{II.6})$$

wobei
$$q = \sum_{i=1}^n q_i \text{ die Verkehrsstärke}$$

und \bar{t} die durchschnittliche Reisezeit aller im Strom befindlichen Fahrzeuge ist.

Für den sich in Gegenrichtung bewegenden Beobachter beträgt die gesamte Anzahl E aller "entgegenkommenden Fahrzeuge":

$$E = \sum_{i=1}^n e_i = q \cdot (t_a + \bar{t}) \quad (\text{II.7})$$

Durch geeignetes Umformen und Verknüpfen von (II.6) mit (II.7) erhält man schließlich die bekannten "WARDROP-Formeln":

$$q_{mo} = \frac{R + E}{t_w + t_a} \quad (\text{II.8})$$

$$\bar{t}_{mo} = t_w - \frac{R}{q_{mo}} \quad (\text{II.9})$$

Wird (II.8) in (II.9) eingesetzt, so ergibt sich

$$\bar{t}_{mo} = \frac{E \cdot t_w - R \cdot t_a}{R + E} \quad (\text{II.10})$$

Da die Streckenlänge X_L bekannt ist ergibt sich die durchschnittliche Geschwindigkeit \bar{v} zu

$$\bar{v}_{mo} = \frac{X_L}{\bar{t}_{mo}} \quad (\text{II.11})$$

Wie aus (II.8), (II.9) und (II.10) hervorgeht, müssen somit zur Bestimmung von Verkehrsstärke q und durchschnittlicher Reisezeit \bar{t} die folgenden Größen gemessen bzw. gezählt werden:

t_w : Fahrzeit des Beobachters in Richtung

t_a : Fahrzeit des Beobachters in Gegenrichtung

M_a : Anzahl der aktiven Überholungen des Beobachters in Richtung

M_p : Anzahl der passiven Überholungen des Beobachters in Richtung

E : Anzahl der, dem in Gegenrichtung fahrenden Beobachter, entgegenkommenden Fahrzeuge.

Der Ablauf der MOM wird im folgenden anhand einer zweiseitigen Straße beschrieben. In Abb. 2/1 ist der zwischen den Querschnitten X_1 und X_2 liegende Streckenabschnitt der Länge X_L dargestellt, für den q und \bar{t} bestimmt werden sollen.

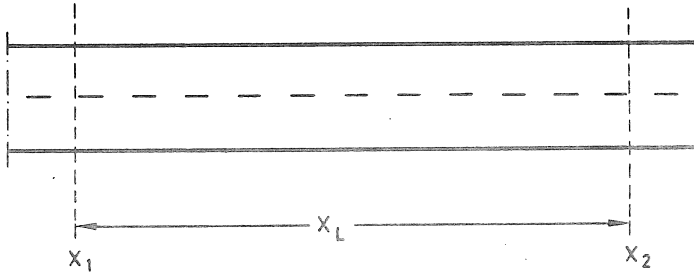


Abb. 2/1: Meßstrecke der Länge X_L zwischen den Querschnitten X_1 und X_2

Zunächst sollen q und \bar{t} nur für die Richtung von X_1 nach X_2 bestimmt werden. Dazu fährt ein Meßfahrzeug von X_1 nach X_2 . Dies liefert die Werte für t_w , M_a und M_p . Anschließend fährt das Fahrzeug von X_2 nach X_1 zurück und liefert so die Werte für t_a und E .

Dieses Vorgehen ist aber nur dann zulässig, wenn der Verkehrszustand für die Dauer von Hin- und Rückfahrt konstant bleibt. Andernfalls würde der Beobachter bei der Hinfahrt von X_1 nach X_2 ein anderes Verkehrsgeschehen beobachten als auf der Rückfahrt von X_2 nach X_1 , da die beiden Meßfahrten ja zeitlich nacheinander durchgeführt werden. Da eine solche Konstanz des Verkehrsflusses im allgemeinen nicht gegeben ist, müssen Hin- und Rückfahrt gleichzeitig durchgeführt werden. Dies bedeutet, daß zwei Meßfahrzeuge notwendig sind. Fahrzeug 1 fährt von X_1 nach X_2 , während gleichzeitig Fahrzeug 2 von X_2 nach X_1 fährt.

Diese Vorgehensweise hat außerdem den Vorteil, daß q und \bar{t} gleichzeitig für beide Richtungen bestimmt werden können. So kann jedes Fahrzeug gleichzeitig zu einer "Hinfahrt" für die eine Richtung auch eine "Rückfahrt" für die andere Richtung durchführen.

Hin- und zugehörige Rückfahrt werden im weiteren auch als **Meßfahrtenpaar** bezeichnet.

In der Praxis stellt sich nun das Problem, einerseits die beiden Fahrzeuge so in den Verkehrsfluß "einzuschleußen", daß ihre Startzeitpunkte möglichst wenig differieren und andererseits die Umkehrzeit - also die Zeitspanne zwischen dem Ende einer Fahrt und dem Beginn der nachfolgenden Fahrt - möglichst klein bleibt. Daß mehrere aufeinanderfolgende Fahrten - besser Meßfahrtenpaare - notwendig sind, ist leicht verständlich, da der zu untersuchende Verkehrsablauf zeitliche Schwankungen aufweist und somit die MOM den Charakter eines Zufallsexperimentes hat. CHARLESWORTH und WARDROP schlagen deshalb vor, mehrere aufeinanderfolgende Meßfahrtenpaare durchzuführen und anschließend aus den Einzelwerten von t_w , t_a , M_a , M_p und E die arithmetischen Mittelwerte \bar{t}_w , \bar{t}_a , \bar{M}_a , \bar{M}_p und \bar{E} zu bilden, die dann in (II.8), (II.9) und (II.10) eingesetzt werden.

Neben der MOM gibt es noch eine Reihe weiterer Verfahren, bei denen ebenfalls Messungen vom fahrenden Fahrzeug aus durchgeführt werden. Dazu gehört die bekannte 'Floating Car'-Methode, wie sie beispielsweise bei LEUTZBACH/EGERT (1959) beschrieben ist. Mit ihr kann die mittlere momentane Geschwindigkeit \bar{v}_m eines Fahrzeugstroms bestimmt werden. Voraussetzung dazu ist allerdings, daß das Beobachtungsfahrzeug seine Fahrstrategie so wählt, daß die Anzahl der aktiven Überholungen M_a gleich der Anzahl der passiven Überholungen M_p ist. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, so können die Verfahren von BENNETT (1975) angewendet werden.

Diese Verfahren werden auch für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Messung auf einer Autobahn eingesetzt (s. 6.9).

Hauptziel dieser Arbeit bleibt jedoch die "klassische" MOM, die abschließend noch anhand eines kleinen Beispiels verdeutlicht werden soll:

Für den in Abbildung 2/1 dargestellten Streckenabschnitt der Länge X_L zwischen den Querschnitten X_1 und X_2 sollen q und \bar{t} für beide Richtungen bestimmt werden. Insgesamt werden dazu fünf Meßfahrtenpaare durchgeführt. Fahrzeug 1 startet an X_1 , Fahrzeug 2 an X_2 . Die Daten, die jeder Beobachter erfaßt, sind in Tabelle 2/1 aufgeführt.

Vorgehen:

Nach der Datenerfassung folgt als erster Schritt die Datenaufbereitung, wobei die "fahrzeugbezogenen" Daten der Tabelle 2/1 zunächst in "richtungsbezogene" Daten der Tabelle 2/2 transformiert werden. Diese Transformation bedeutet auch, daß die Werte von E innerhalb eines Meßfahrtenpaares miteinander vertauscht werden. Anschließend können aus den einzelnen Werten die Durchschnitte berechnet werden.

Tab. 2/1: Meßwerte der fünf Meßfahrtenpaare
(fahrzeugbezogen)

Nr. des Meßfahr- paares	Fahrzeug 1					Fahrzeug 2				
	Rich- tung	t [sec]	M _a	M _p	E	Rich- tung	t [sec]	M _a	M _p	E
1	X ₁ →X ₂	240	1	3	18	X ₂ →X ₁	230	2	1	11
2	X ₂ →X ₁	233	3	2	20	X ₁ →X ₂	249	2	0	11
3	X ₁ →X ₂	245	1	4	19	X ₂ →X ₁	234	2	3	18
4	X ₂ →X ₁	235	2	0	20	X ₁ →X ₂	241	0	2	13
5	X ₁ →X ₂	258	0	2	12	X ₂ →X ₁	241	3	4	18

Tab. 2/2: Meßwerte der Tabelle 2/1 nach der Datenauf-
bereitung (richtungsbezogen)

Nr. des Meßfahr- tenpaares	Richtung X ₁ →X ₂				Richtung X ₂ →X ₁			
	t [sec]	M _a	M _p	E	t [sec]	M _a	M _p	E
1	240	1	3	11	230	2	1	18
2	249	2	0	20	233	3	2	11
3	245	1	4	18	234	2	3	19
4	241	0	2	20	235	2	0	13
5	258	0	2	18	241	3	4	12
Durchschnitt	246,6	0,8	2,2	17,4	234,6	2,4	2,0	14,6

Durch Einsetzen in (II.8), (II.9), (II.10) und (II.11) erhält man schließlich:

für Richtung 1:

$$q_{mo,1} = \frac{2,2 - 0,8 + 17,4}{246,6 + 234,6} = 0,0391 \text{ Fz/s} \hat{=} \underline{141 \text{ Fz/h}}$$

$$\bar{t}_{mo,1} = 246,6 - \frac{2,2 - 0,8}{0,0391} = \underline{210,8 \text{ s}}$$

bzw.

$$\bar{t}_{mo,1} = \frac{17,4 \cdot 246,6 - (2,2 - 0,8) \cdot 234,6}{(2,2 - 0,8) + 17,4} = \underline{210,8 \text{ s}}$$

$$\bar{v}_{mo,1} = \frac{5.000 \text{ m}}{210,8 \text{ s}} = 23,7 \text{ m/s} \hat{=} \underline{85,4 \text{ km/h}}$$

für Richtung 2:

$$q_{mo,2} = \frac{2,0 - 2,4 + 14,6}{234,6 + 246,6} = 0,0295 \text{ Fz/s} \hat{=} \underline{106 \text{ Fz/h}}$$

$$\bar{t}_{mo,2} = 234,6 - \frac{2,0 - 2,4}{0,0295} = \underline{248,2 \text{ s}}$$

bzw.

$$\bar{t}_{mo,2} = \frac{14,6 \cdot 234,6 - (2,0 - 2,4) \cdot 246,6}{(2,0 - 2,4) + 14,6} = \underline{248,2 \text{ s}}$$

$$\bar{v}_{mo,2} = \frac{5.000 \text{ m}}{248,2 \text{ s}} = 20,1 \text{ m/s} \hat{=} \underline{72,5 \text{ km/h}}$$

3. Problemstellung

3.1 Stationarität und Instationarität

Bei der Beschreibung der MOM in Kapitel 2 wurde bereits darauf hingewiesen, daß aufgrund von Schwankungen des Verkehrsablaufs ein einziges Meßfahrtenpaar zur Bestimmung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit nicht ausreicht. Vielmehr ist es notwendig, mehrere Meßfahrtenpaare durchzuführen, so daß eine Durchschnittsbildung möglich ist. Die Frage ist nun, wieviele Meßfahrtenpaare hierzu erforderlich sind. Darauf gibt es bis jetzt keine genaue Antwort. Es existieren nur vage und unverbindliche Empfehlungen und Ratschläge, wonach ca. 10 bis 20 Meßfahrtenpaare durchzuführen sind. Ein Ziel dieser Arbeit ist es, diese Frage eindeutig zu beantworten. Hierzu müssen zunächst die oben erwähnten Schwankungen des Verkehrsablaufs genauer untersucht werden.

Zu diesem Zweck betrachten wir zunächst den wohl einfachsten Fall eines Verkehrsflusses, nämlich den einer einspurigen Einbahnstraße ohne Überholmöglichkeit, auf der alle Fahrzeuge mit derselben, konstanten Geschwindigkeit und im gleichen Abstand voneinander fahren. An einem festen Meßquerschnitt X sei ein Beobachter, der die vorbeifahrenden Fahrzeuge in Form eines "Einheitsstroms" registriert, wie es bei LEUTZBACH (1972) beschrieben ist. Dies geschieht in der Art und Weise, daß in einem zweidimensionalen Koordinatensystem auf der Abszisse nacheinander die einzelnen Überfahrungszeitpunkte t_i und auf der Ordinate die Anzahl der bis zu dem entsprechenden Zeitpunkt t_i durchgefahrenen Fahrzeuge aufgetragen werden, wobei $i=1(1)N$ und N die Anzahl der insgesamt während des Beobachtungszeitraums durchgefahrenen Fahrzeuge ist.

Für den hier vorausgesetzten Fall sind die Abstände zwischen den einzelnen t_i jeweils gleich groß. Ein solcher Einheitenstrom - hier mit $\phi_{\text{Stat. I}}$ bezeichnet - ist in Abbildung 3/1 zu sehen.

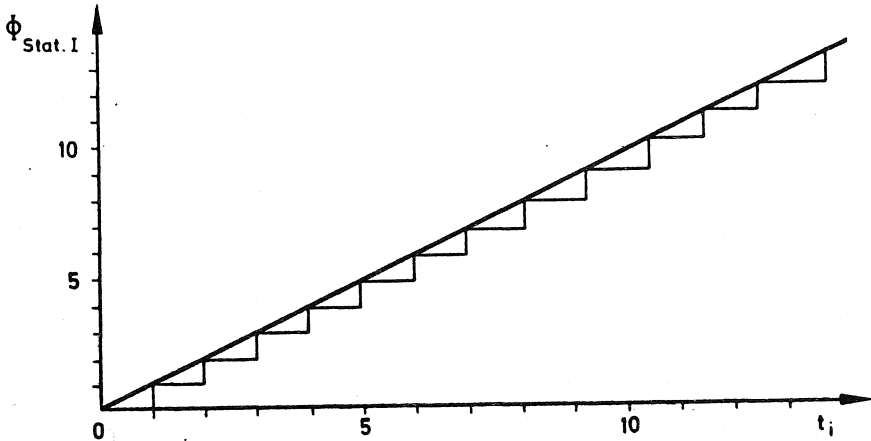


Abb. 3/1: Einheitenstrom $\phi_{\text{Stat. I}}$ bei Stationarität I. Ordnung

Der Einheitenstrom $\phi_{\text{Stat. I}}$ hat die Form einer Treppenfunktion und kann durch eine Ausgleichsgerade angenähert werden. Ein solcher Verkehrsfluß wird im folgenden als stationär I. Ordnung bezeichnet; oder anders ausgedrückt: Es herrscht Stationarität I. Ordnung. Ein derartiger Verkehrsfluß wird aber nur sehr selten anzutreffen sein und hat daher eher theoretische Bedeutung. In der Realität fahren die einzelnen Fahrzeuge aufgrund des stochastischen Charakters des Verkehrsflusses in unterschiedlichen Abständen voneinander und nur teilweise mit gleichen Geschwindigkeiten.

Wird nun die ursprünglich vorausgesetzte einstreifige Einbahnstraße zu einer mehrstreifigen erweitert, auf der auch die Möglichkeit zu Überholungen besteht, so

stellt sich ein Verkehrsfluß ein, dessen am Querschnitt X beobachteter Einheitenstrom $\Phi_{\text{Stat. II}}$ wie in Abbildung 3/2 aussieht.

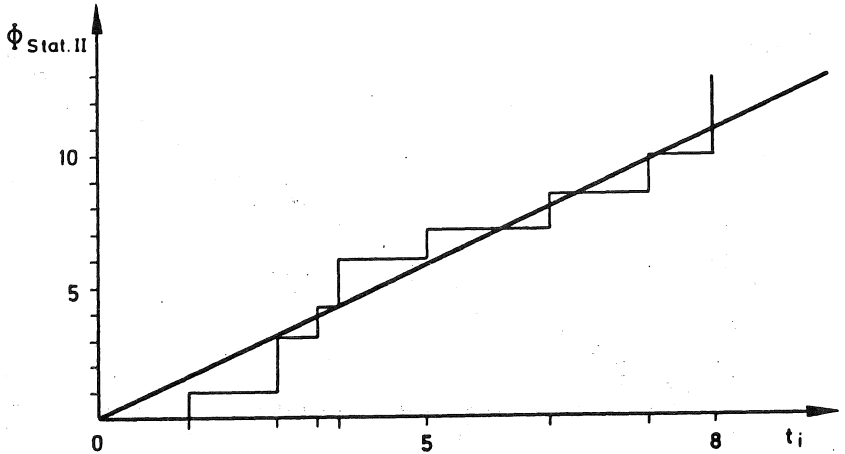


Abb. 3/2: Einheitenstrom $\Phi_{\text{Stat. II}}$ bei Stationarität II. Ordnung

Bei $\Phi_{\text{Stat. II}}$ sind aufgrund der unterschiedlichen Abstände zwischen den Fahrzeugen auch die Zeitintervalle zwischen den einzelnen Überfahrungszeitpunkten t_i verschieden groß. Weiterhin können die "Treppenstufen" auch um mehr als nur um eine Einheit ansteigen, da wegen der Mehrstreifigkeit der Fahrbahn mehrere Fahrzeuge gleichzeitig den Querschnitt X überfahren können. Im Unterschied zum vorherigen Fall weist der Verkehrsfluß jetzt zufällige Schwankungen auf. Trotzdem kann auch hier der Einheitenstrom $\Phi_{\text{Stat. II}}$ noch durch eine Ausgleichsgerade angenähert werden. Ein solcher Verkehrsfluß wird im folgenden stationär II. Ordnung genannt.

Diese zufälligen Schwankungen sind in der Realität immer vorhanden und können noch zusätzlich von systematischen Einflüssen überlagert werden. Dies ist beispielsweise der Fall beim Übergang in eine Spitzenstunde hinein oder aus ihr heraus (s. Abb. 3/3).

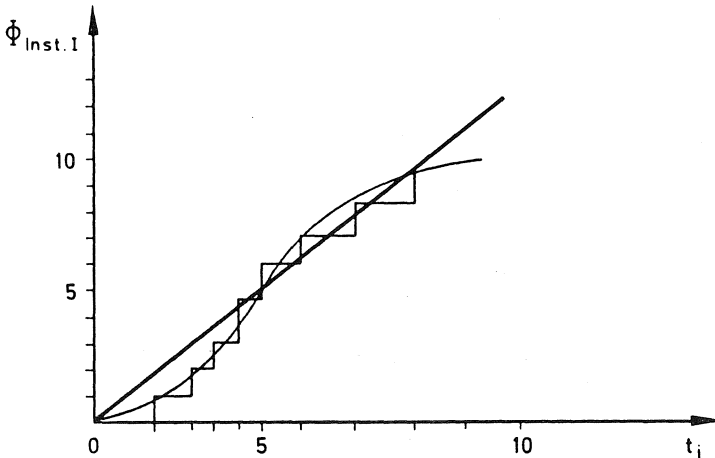


Abb. 3/3: Einheitenstrom $\Phi_{Inst.1}$ bei Instationarität I. Ordnung

Die Ausgleichskurve des Einheitenstromes $\Phi_{Inst.1}$ ist jetzt keine Gerade mehr, sondern eine Kurve höherer Ordnung. Dieser Verkehrsfluß wird im folgenden als instationär I. Ordnung bezeichnet. Zusätzlich läßt sich noch die eingezeichnete Ausgleichsgerade bestimmen, deren Steigung als ein Maß für die durchschnittliche Verkehrsstärke dienen kann. Die Angabe eines solchen Durchschnitts ist durchaus sinnvoll und wird beispielsweise bei der Angabe des "Durchschnittlichen täglichen Verkehrs" (DTV) verwendet. Wenig sinnvoll ist hingegen eine solche Durchschnittsangabe im folgenden Fall: In Abbildung 3/4 ist die Situation für eine beginnende Spitzenstunde zu sehen; also ein Ausschnitt aus der vorhergehenden Situation.

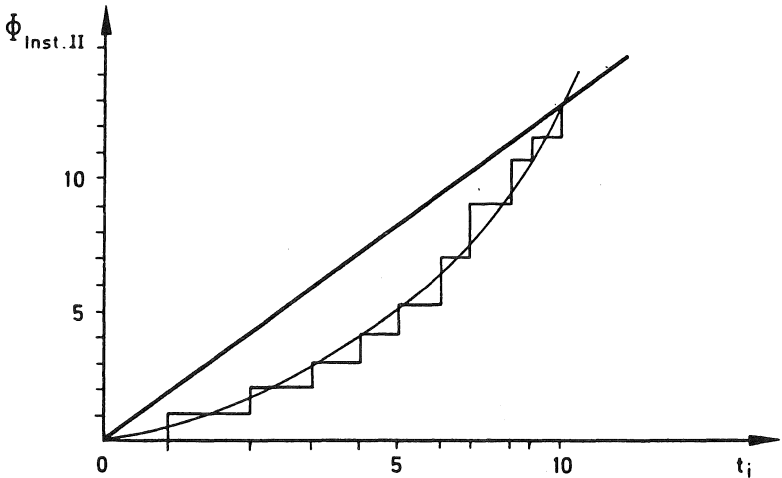


Abb. 3/4: Einheitenstrom $\Phi_{Inst.II}$ bei Instationarität II. Ordnung

Man erkennt deutlich die kontinuierliche Zunahme des Einheitenstromes $\Phi_{Inst.II}$. Seine zugehörige Ausgleichskurve ist auch hier höherer Ordnung. Obwohl die ebenfalls eingezeichnete Durchschnittsgerade zweifellos einen Durchschnitt repräsentiert, ist doch dessen Angabe wegen des kontinuierlichen Anstiegs von $\Phi_{Inst.II}$ mehr oder weniger sinnlos. Ein Verkehrsfluß dieser Art wird im folgenden als instationär II. Ordnung bezeichnet.

Um nun auf die Frage nach der erforderlichen Anzahl von Meßfahrtenpaaren zurückzukommen, ist die Tatsache von entscheidender Bedeutung, daß eine Messung nach der MOM ein bestimmtes Zeitintervall T beansprucht. Wie wir in Kapitel 2 gesehen haben, hängt die Länge von T von der Summe der Dauern der einzelnen Meßfahrtenpaare und der Summe der Umkehrzeiten ab. Da die von der MOM gelieferten Werte für die Verkehrsstärke und die durchschnittliche Reisezeit Durchschnittswerte darstellen, ist so-

fort einsichtig, daß während der Messung Stationarität I. oder II. Ordnung oder Instationarität I. Ordnung herrschen muß. Denn, wie wir gesehen haben, ist nur für diese Fälle die Angabe eines Durchschnittswertes für die Verkehrsstärke sinnvoll. Das gleiche gilt natürlich auch für die durchschnittliche Reisezeit, da diese in hohem Maße von der Verkehrsstärke abhängig ist. Da Stationarität I. Ordnung in der Realität so gut wie nie auftritt - und wenn sie auftreten würde, so wäre in diesem Falle per Definition nur ein einziges Meßfahrtenpaar erforderlich - reduziert sich die Fragestellung auf die beiden Fälle Stationarität II. Ordnung und Instationarität I. Ordnung.

Der Fall der Instationarität I. Ordnung wiederum ist aber nur von untergeordneter Bedeutung. Dies hat zwei Gründe:

- 1.) Da Instationarität I. Ordnung im allgemeinen die morgendlichen und abendlichen Spitzenstunden als Ursache hat, erstreckt sie sich über ein relativ langes Zeitintervall T , das in der Regel bei weitem den praktisch möglichen Meßzeitraum, der für die Durchführung einer MO-Messung zur Verfügung steht, überschreitet.
- 2.) Im allgemeinen interessiert man sich in erster Linie für diejenigen Verkehrsstärken und durchschnittlichen Reisezeiten, die sich während ganz bestimmter Zeitintervalle ergeben, beispielsweise während den Spitzenzeiten oder den Nachtstunden. Man betrachtet also Zeitintervalle, während denen Stationarität II. Ordnung herrscht, also letztlich Ausschnitte aus dem "großen Zeitintervall", für das Instationarität I. Ordnung gilt. Dieses instationäre "große Zeitintervall" I. Ordnung wird also quasi in einzelne stationäre Teilintervalle II. Ordnung zerlegt. Werden nun für sämtliche Teilintervalle

Verkehrsstärke und durchschnittliche Reisezeit bestimmt, so lassen sich - falls notwendig - aus diesen Einzelwerten leicht die entsprechenden Durchschnittswerte für das Gesamtintervall errechnen.

Aus dem oben Gesagten kann man also den Schluß ziehen, daß eine Messung mit Hilfe der MOM nur während eines Zeitintervalls sinnvoll ist, in dem Stationarität I. oder II. Ordnung herrscht. Da im Falle von Stationarität I. Ordnung ein einziges Meßfahrtenpaar ausreicht, beschränkt sich somit die Frage nach der notwendigen Anzahl von Meßfahrtenpaaren auf den Fall der Stationarität II. Ordnung.

Das Problem hierbei ist, daß zunächst nicht bekannt ist, wann stationäre Intervalle beginnen und wann sie enden; ja nicht einmal ihre Existenz kann vorausgesetzt werden. Diese Problematik ist ein wesentlicher Grund dafür, weshalb die Untersuchung mit Hilfe der Simulation durchgeführt wurde (s. Kapitel 4). Auf diese Weise konnten schon von vornherein stationäre Zeitintervalle erzeugt werden.

Wird die MOM in der Praxis angewandt, so muß entweder durch die Folge der einzelnen $q_{MO,k}$ ($k=1(1)M$, M : Anzahl der Meßfahrtenpaare) oder durch eine parallele Messung festgestellt werden, ob stationäre Zeitintervalle vorliegen (s. Kapitel 8).

3.2 Weitere Methoden zur Bestimmung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit

Wenn, wie in dieser Arbeit der Fall, eine Meßmethode untersucht wird, ist es naheliegend, die von ihr gelieferten Ergebnisse mit denjenigen zu vergleichen, die mittels anderer Methoden gewonnen wurden. Dies soll auch hier geschehen. Als Vergleichsmethoden werden die lokale, die momentane und die räumlich-zeitliche Meßmethode benutzt. Diese sollen zunächst kurz erläutert werden.

3.2.1 Lokale Messung

Bei einer lokalen Messung werden innerhalb des zu untersuchenden Streckenabschnitts an einem Meßquerschnitt X während eines Zeitintervalls Δt die Anzahl N der durchfahrenden Fahrzeuge und ihre Geschwindigkeiten $v_{lk,i}$ ($i=1(1)N$) gemessen.

Die lokale Verkehrsstärke q_{lk} und das lokale Geschwindigkeitsmittel \bar{v}_{lk} ergeben sich zu:

$$q_{lk} = \frac{N}{\Delta t} \quad \left[\frac{\text{Fz}}{\text{Zeiteinheit}} \right] \quad (\text{III.1})$$

$$\bar{v}_{lk} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_{lk,i} \quad \left[\frac{\text{Wegeinheit}}{\text{Zeiteinheit}} \right] \quad (\text{III.2})$$

Wird $\Delta t=1\text{h}$ gewählt, so ergibt sich q_{lk} direkt in der üblichen Einheit [Fz/h].

Für den Fall $\Delta t \neq 1\text{h}$ kann der mit (III.1) berechnete Wert in die Einheit [Fz/h] umgerechnet werden. Ist z.B. $\Delta t=5\text{min}$ und $N=7$, so erhält man zunächst:

$$q_{lk} \left[\frac{\text{Fz}}{\text{min}} \right] = \frac{7 \text{ Fz}}{5 \text{ min}} = 1,40 \left[\frac{\text{Fz}}{\text{min}} \right]$$

und daraus:

$$q_{lk} \left[\frac{Fz}{h} \right] = 1,40 \left[\frac{Fz}{min} \right] \cdot \frac{60 \text{ min}}{5} \left[\frac{min}{h} \right] = 16,80 \left[\frac{Fz}{h} \right]$$

Diese Umrechnung stellt eine Extrapolation eines Zeitintervalls dar und ist deshalb nur dann zulässig, wenn über den gesamten extrapolierten Zeitraum von 1 h Stationarität herrscht.

Eine solche lokale Messung wird auch vom Simulationsmodell SIMLA 2/MO durchgeführt.

In der Praxis ergibt sich bei dieser Methode die Schwierigkeit, daß es nicht ganz einfach ist, die Geschwindigkeiten exakt an einem Querschnitt zu messen. Zwar könnte dies mit einem Radarmeßgerät erfolgen, das die Fahrzeuge an einer bestimmten Stelle erfaßt; jedoch gibt es Probleme, wenn an dieser Stelle Überholungen auftreten und sich die Fahrzeuge gegenseitig verdecken. Dies ist ein Grund, weshalb in der Praxis meist mit Induktionsschleifen gemessen wird. Hierbei werden normalerweise zwei Schleifen in einem bestimmten Abstand a voneinander auf der Fahrbahn angebracht und jeweils die Zeitpunkte der Spannungsimpulse registriert, die die darüberfahrenden Fahrzeuge verursachen. Aus dem zeitlichen Abstand t_s der Impulse von erster und zweiter Schleife und dem Abstand a kann die Geschwindigkeit v eines Fahrzeugs gemäß der Beziehung

$$v = \frac{a}{t_s} \quad (\text{III.3})$$

berechnet werden.

Da bei dieser Art von Messung nicht mehr an einer einzigen Stelle, sondern über ein (sehr kurzes) Wegintervall a gemessen wird, bezeichnet man dieses Vorgehen als "quasi-lokale" Messung. Eine solche "quasi-lokale" Messung wurde bei den praktischen Messungen durchgeführt (s. 4.3).

3.2.2 Momentane Messung

Bei einer momentanen Messung werden die Anzahl der sich zu einem bestimmten Zeitpunkt t_m auf der Meßstrecke befindlichen Fahrzeuge und ihre Geschwindigkeiten $v_{m,i}$ registriert. Man kann sich eine momentane Messung als eine Luftbildaufnahme der Meßstrecke mit unendlich kurzer Belichtungszeit vorstellen, bei der die Fahrzeuge eine Geschwindigkeitsanzeige auf dem Dach haben. Die Anzahl N der auf der Strecke befindlichen Fahrzeuge erhält man durch einfaches Auszählen, das momentane Geschwindigkeitsmittel \bar{v}_m als arithmetischen Mittelwert der einzelnen Geschwindigkeiten $v_{m,i}$ gemäß:

$$\bar{v}_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_{m,i} \quad (\text{III.4})$$

Zur Bestimmung der momentanen Verkehrsstärke q_m muß zunächst die momentane Verkehrsdichte k_m berechnet werden. Dies erfolgt nach der Beziehung

$$k_m = \frac{N}{X_L} \quad (\text{III.5})$$

q_m kann dann mit Hilfe der sogenannten "Zustandsgleichung" (s. LEUTZBACH (1972)) berechnet werden:

$$q_m = k_m \cdot \bar{v}_m \quad (\text{III.6})$$

Wie bei der lokalen, so ergeben sich auch bei der momentanen Meßmethode Probleme bei der praktischen Anwendung. So erfordert es zunächst einen nicht unerheblichen Aufwand, eine Luftbildaufnahme zu machen. Außerdem ist es nicht ohne weiteres möglich, die Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge aus der Aufnahme abzulesen. Man behilft sich deshalb folgendermaßen: Es werden zwei Aufnahmen kurz hintereinander im Abstand von Δt gemacht und anschließend die Wegdifferenzen a_i der einzelnen Fahrzeuge zwischen den beiden Aufnahmen ausgemessen.

Die momentanen Geschwindigkeiten $v_{m,i}$ der einzelnen Fahrzeuge können dann folgendermaßen berechnet werden:

$$v_{m,i} = \frac{a_i}{\Delta t} \quad (\text{III.7})$$

Da die Bestimmung der $v_{m,i}$ während eines (sehr kurzen) Zeitintervalls Δt erfolgt, wird diese Art von Messung als "quasi-momentan" bezeichnet.

Bei den Simulationsläufen wird vom Simulationsmodell SIMLA 2/MO eine momentane Messung durchgeführt (s. 4.2). Bei den durchgeführten Messungen war dies aufgrund des dazu notwendigen Aufwands leider nicht möglich (s. 4.3).

3.2.3 Räumlich-zeitliche Messung

Da bei der lokalen Messung zwar während der gesamten Untersuchungsdauer T , aber lediglich an einem einzigen festen Querschnitt X gemessen wird, bleibt das unerfaßt, was auf der übrigen Meßstrecke geschieht. Genau umgekehrt ist es im Falle der momentanen Messung. Hierbei wird zwar über die gesamte Länge X_L des zu untersuchenden Streckenabschnitts gemessen, aber nur zu einem einzigen Zeitpunkt t_m ; das, was während der übrigen Dauer des relevanten Zeitraums T passiert, wird nicht erfaßt. Um aber das Verkehrsgeschehen in seiner Gesamtheit erfassen zu können, ist es notwendig, gleichzeitig sowohl über das Wegintervall X_L als auch über das Zeitintervall T zu messen. Eine Meßmethode, die diese Forderung erfüllt ist das bei EDIE (1963) und COERS (1970) beschriebene räumlich-zeitliche Vorgehen. Eine solche räumlich-zeitliche Messung ist dadurch charakterisiert, daß das Verkehrsgeschehen sowohl über ein Weg- als auch über ein Zeitintervall erfaßt wird. In Abbildung 3/5 sind die Bewegungslinien der einzelnen Fahrzeuge zu sehen. Die räumlich-zeitliche Beobachtung

ist durch den Weg-Zeit Ausschnitt $X_L \cdot T$ dargestellt.

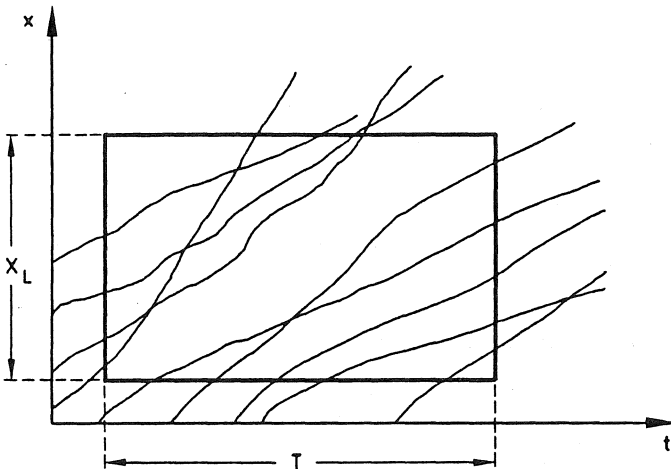


Abb. 3/5: Schematische Darstellung des Weg-Zeit-Ausschnitts $X_L \cdot T$

Mit Hilfe der räumlich-zeitlichen Methode können die folgenden Parameter gemessen werden:

q_{rz} : räumlich-zeitliche Verkehrsstärke

k_{rz} : räumlich-zeitliche Verkehrsdichte

v_{rz} : räumlich-zeitliches Geschwindigkeitsmittel

Aus v_{rz} kann die durchschnittliche Reisezeit t_{rz} durch die Beziehung

$$t_{rz} = \frac{X_L}{v_{rz}} \quad (\text{III.8})$$

ermittelt werden.

Diese Parameter sind folgendermaßen definiert:

Räumlich-zeitliche Verkehrsstärke q_{rz} :

$$q_{rz} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{X_L \cdot T} \quad (\text{III.9})$$

wobei

$\sum_{i=1}^N x_i$ der von allen N Fahrzeugen in dem Flächen-
ausschnitt $X_L \cdot T$ zurückgelegte Weg ist.

Räumlich-zeitliche Verkehrsdichte k_{rz} :

$$k_{rz} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{X_L \cdot T} \quad (\text{III.10})$$

wobei

$\sum_{i=1}^N t_i$ die von allen N Fahrzeugen benötigte Zeit
zum Durchfahren des Flächenausschnitts
 $X_L \cdot T$ ist.

Räumlich-zeitliches Geschwindigkeitsmittel \bar{v}_{rz} :

$$\bar{v}_{rz} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{\sum_{i=1}^N t_i} \quad (\text{III.11})$$

Für einen konstanten Flächenausschnitt $X_L \cdot T$ gilt die schon erwähnte Zustandsgleichung auch für den räumlich-zeitlichen Fall:

$$q_{rz} = k_{rz} \cdot \bar{v}_{rz} \quad (\text{III.12})$$

Für die in Kapitel 5 beschriebene Untersuchung wurde vom Simulationsmodell SIMLA 2/MO eine solche räumlich-zeitliche Messung durchgeführt. Während dies innerhalb eines Simulationsvorganges problemlos möglich ist, da ohnehin sämtliche Daten über die Bewegungsvorgänge der einzelnen Fahrzeuge zur Verfügung stehen, ist eine räumlich-zeitliche Messung in der Praxis mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Aus diesem Grunde mußte für die Untersuchung der praktischen Messungen in Kapitel 6 auf eine räumlich-zeitliche Messung verzichtet werden.

3.2.4 Vergleichende Betrachtungen

Vergleicht man die lokale, die momentane und die räumlich-zeitliche Meßmethode unter dem Aspekt der Messung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit, so ergibt sich folgendes Bild:

Ist die durchschnittliche Durchfahrungszeit für die Meßstrecke klein gegenüber der Dauer der lokalen Messung, so entspricht der gemessene Wert q_{1k} dem tatsächlichen Verkehrsgeschehen, da ja sämtliche Fahrzeuge den Meßquerschnitt passieren und somit erfaßt werden. Anders dagegen für das Geschwindigkeitsmittel:

Das Geschwindigkeitsverhalten vor und hinter dem Meßquerschnitt wird nicht erfaßt. Die Aussagekraft des lokalen Geschwindigkeitsmittels \bar{v}_{1k} hängt ausschließlich von der Annahme ab, daß die Fahrzeuge die gesamte Meßstrecke mit konstanter Geschwindigkeit durchfahren. Wesentlich aussagekräftiger ist folglich das Geschwindigkeitsmittel einer momentanen Messung \bar{v}_m , da hierbei das gesamte Wegintervall betrachtet wird. Hingegen hängt hier die Aussagekraft der "momentanen" Verkehrsstärke q_m (berechnet über die Zustandsgleichung (III.6)) ausschließlich von der Annahme ab, daß sich der zu einem einzigen Zeitpunkt gemessene Wert während des zu untersuchenden Zeitintervalls nicht ändert.

Aus diesen Ausführungen wird deutlich, daß für eine zuverlässige Bestimmung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit entweder die lokale Messung räumlich auf die gesamte Meßstrecke bzw. die momentane Messung zeitlich auf den gesamten zu untersuchenden Zeitraum ausgedehnt werden muß. Für die lokale Messung würde dies bedeuten, daß die Meßstrecke aus einer Folge von unendlich schmalen, unmittelbar aneinandergereihten Meßquerschnitten besteht. Für die momentane Messung würde der Untersuchungszeitraum aus einer Folge von unendlich vielen, unmittelbar aufeinanderfolgenden Messungen bestehen. Genau dies kann durch das räumlich-zeitliche Vorgehen erreicht werden. Folglich kann die räumlich-zeitliche Messung als eine Kombination von lokaler und momentaner Messung aufgefaßt werden. Wie bereits erwähnt, ist aber für eine räumlich-zeitliche (und eine momentane) Beobachtung der Meßaufwand sehr hoch, so daß für die Praxis eigentlich nur die lokale Messung übrig bleibt.

Dies ist natürlich eine äußerst unbefriedigende Situation, und es stellt sich die Frage, ob, und gegebenenfalls wie, man hier Abhilfe schaffen kann. Eine Möglichkeit besteht darin, nach einer Meßmethode Ausschau zu halten, mit der gleichzeitig sowohl räumliche als auch zeitliche Beobachtungen gemacht werden können. Eine solche Methode ist aber gerade die MOM. Somit ist es also naheliegend zu untersuchen, inwieweit die von ihr gelieferten Werte für Verkehrsstärke und durchschnittliche Reisezeit, q_{MO} und t_{MO} , mit denjenigen der räumlich-zeitlichen Messung, q_{RZ} und t_{RZ} , übereinstimmen, bzw. ob q_{MO} und t_{MO} als Schätzwerte für q_{RZ} und t_{RZ} geeignet sind. Das ist die zweite zentrale Fragestellung dieser Arbeit.

4. Art und Weise der Untersuchung

4.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Wenn sich die Untersuchung einer Meßmethode nicht allein auf theoretische Überlegungen beschränken soll, ist es notwendig, mit ihr auch Messungen durchzuführen. Für diese Messungen wiederum ist ein Meßobjekt erforderlich. Dieses Meßobjekt ist im vorliegenden Fall ein Verkehrsfluß, dessen Verkehrsstärke q und durchschnittliche Reisezeit \bar{t} gemessen werden.

Zunächst erscheint es naheliegend, diese Messungen an einem real existierenden Verkehrsfluß durchzuführen. Hierbei ergeben sich jedoch eine Reihe von Problemen: Wie aus Kapitel 3 hervorgeht, muß parallel zu der MO-Messung eine räumlich-zeitliche Messung durchgeführt werden. Dies ist aber aus den dort geschilderten Gründen nicht möglich. Weiterhin haben wir gesehen, daß ein stationärer Verkehrsfluß erforderlich ist. Auch diese Forderung ist in der Realität nur schwer zu erfüllen. Außerdem wird nicht nur Stationarität gefordert, sondern der Verkehrsfluß soll auch in anderer Hinsicht gewissen Forderungen entsprechen. Soll beispielsweise der Einfluß eines bestimmten Parameters - z.B. "Verkehrsstärke", "Lkw-Anteil" oder "Streckenlänge" - untersucht werden, so muß dies unter "ceteris paribus" Bedingungen geschehen können. Das bedeutet, daß es möglich sein muß, nur den betreffenden Parameter zu variieren, während die übrigen konstant gehalten werden. Und natürlich sollten auch beliebig viele Messungen durchgeführt werden können.

Dies alles zeigt, daß praktisch durchgeführte Messungen relativ "unhandlich" sind und somit nach einer Alternative Ausschau gehalten werden muß. Diese Alternative findet sich nun in Form der Simulation. Durch die in den letzten Jahren bei der Entwicklung von elektroni-

schen Rechenanlagen erzielten Fortschritte wurde es möglich, auf vielen Gebieten die oftmals sehr aufwendige und langwierige Durchführung von Experimenten durch Modellrechnungen zu ersetzen. Auch im Bereich des Verkehrswesens hielt diese Vorgehensweise Einzug, so daß heute eine Vielzahl von Simulationsmodellen für die unterschiedlichsten Zwecke zur Verfügung steht.

Auch für diese Arbeit bietet sich die Simulation als ein geeignetes Werkzeug an. So ist es mit ihrer Hilfe möglich, parallel zu der MO-Messung nicht nur lokale, sondern auch momentane und räumlich-zeitliche Messungen durchzuführen. Weiterhin können ganz gezielt einzelne Parameter wie "Verkehrsstärke", "Lkw-Anteil", "Streckenlänge" etc. variiert werden, so daß es in idealer Weise möglich ist "ceteris-paribus" Untersuchungen durchzuführen. Darüberhinaus kann ein stationärer Verkehrsfluß simuliert werden, der sich über ein beliebig langes Weg- und Zeitintervall erstreckt. Einschränkungen ergeben sich hierbei lediglich durch die Speicherkapazität der Rechenanlage und die zur Verfügung stehende Rechenzeit.

Das alles sind Gründe, weshalb die hier durchgeführte Untersuchung in erster Linie mittels Simulation erfolgte. Gewissermaßen zur "Abrundung" wurden noch zusätzlich einige Messungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen sind in Kapitel 5 zu finden, diejenigen der Messungen in Kapitel 6. In Kapitel 7 erfolgt noch ein Vergleich beider Vorgehensweisen miteinander.

4.2 Simulation

4.2.1 Simulationsmodell SIMLA 2

Zur Durchführung der Untersuchung mit Hilfe der Simulation steht das am Institut entwickelte Simulationsmodell SIMLA 2 zur Verfügung. Davon wurde eine spezielle Variante - SIMLA 2/MO - entwickelt, die die Erfordernisse der 'Moving Observer'-Methode berücksichtigt und in 4.2.2 beschrieben ist. SIMLA 2 ist ein mikroskopisches Simulationsmodell und erlaubt die fahrzeugfeine Nachbildung des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Straßen mit Gegenverkehr. Es ist eine Weiterentwicklung des ebenfalls am Institut entwickelten Simulationsmodells SIMLA. Beide Modelle sind in der Programmiersprache ALGOL 60 geschrieben und auf der SPERRY UNIVAC 1100 Rechanlage des Rechenzentrums der Universität (TH) Karlsruhe implementiert. Eine ausführliche Beschreibung von SIMLA findet sich in BRILON/BRANNOLTE (1977); die Erweiterung zu SIMLA 2 ist in BRANNOLTE/HOLZ (1983) beschrieben. Somit genügt es, im folgenden die wichtigsten Merkmale und Eigenschaften von SIMLA 2 zu skizzieren.

4.2.1.1 Fahrer-Fahrzeug-Elemente

Ausschlaggebend für den Bewegungsvorgang eines Fahrzeuges sind sowohl dessen Eigenschaften als auch diejenigen seines Fahrers. Bei SIMLA 2 werden beide Gruppen von Eigenschaften gemeinsam betrachtet. Deshalb wird hier auch nicht von Fahrern oder Fahrzeugen gesprochen, sondern von sogenannten "Fahrer-Fahrzeug-Elementen". Die Eigenschaften eines solchen Fahrer-Fahrzeug-Elementes müssen für SIMLA 2 durch geeignete Parameter ausgedrückt werden. Diese Parameter haben alle für den Bewegungsvorgang wesentlichen Zusammenhänge nachzubilden. Beschränkungen in der Anzahl ergeben sich aus der Quantifizierbarkeit von Einflußgrößen, sowie aus der zur

Verfügung stehenden Kapazität der Rechenanlage. Für die Charakterisierung eines Fahrer-Fahrzeug-Elements werden bei SIMLA 2 die folgenden Parameter verwendet:

- Parameter 1: Fahrzeugart

Die Angabe der Fahrzeugart ist notwendig, um den unterschiedlichen technischen Eigenschaften der einzelnen Fahrzeuggruppen Rechnung zu tragen. Die Unterscheidung erfolgt mit Hilfe der Angabe der Fahrzeuglänge. Folgende Fahrzeugarten sind möglich:

Fahrzeugart	Länge
Pkw	4,5 m
Lkw	8,0 m
Lastzug	15,0 m

Die Gruppe der Pkw repräsentiert alle Personen- und Kombinationskraftwagen. Die Gruppe der Lkw besteht aus Lastkraftwagen ohne Anhänger. Lastkraftwagen mit Anhänger und Sattelaufleger bilden die Gruppe der Lastzüge.

Die Zuordnung eines Fahrer-Fahrzeug-Elementes zu einer der drei Fahrzeugarten erfolgt mit Hilfe eines Zufallsprozesses, wobei allerdings die empirische Erkenntnis berücksichtigt ist, daß die Aufeinanderfolge von Lkw bzw. Lastzügen nicht zufällig aufgrund des jeweiligen Anteils am Gesamtstrom ist; vielmehr existiert eine gewisse Pulkbildung dieser Fahrzeuggruppen, was bereits bei der Generierung der Fahrer-Fahrzeug-Elemente berücksichtigt ist.

- Parameter 2: Wunschgeschwindigkeit

Die Wunschgeschwindigkeit stellt diejenige Geschwindigkeit dar, die der Fahrer bei freier Fahrweise fährt und die er nach einer Behinderung wieder zu erreichen versucht. Die den einzelnen Fahrer-Fahrzeug-Elementen zugeordneten Wunschgeschwindigkeiten werden aufgrund von empirischen Wunschgeschwindigkeitsverteilungen gewonnen.

- Parameter 3:

Kenngröße, die bei der Berechnung von Überholentscheidungen von Bedeutung ist.

- Parameter 4:

Sicherheitsbedürfnis bei Abstandshaltung zum Vordermann.

- Parameter 5:

Schätzvermögen des Fahrers für Abstände.

- Parameter 6:

Beschleunigungs- und Bremsvermögen eines Fahrer-Fahrzeug-Elements.

- Parameter 7:

Unterer Schwellenwert der noch möglichen Kontrolle über das Gaspedal.

- Parameter 8:

Kenngröße zur Berechnung von Wahrnehmungsschwellen.

- Parameter 9:

Sicherheitsbedürfnis des Fahrers bei Überholentscheidungen.

Die Parameter 1 bis 9 kennzeichnen gemeinsam ein Fahrer-Fahrzeug-Element. Die Wertzuweisung an diese Parameter erfolgt bei der Erzeugung des betreffenden Fah-

rer-Fahrzeug-Elements am Streckenanfang durch Zufalls-
generatoren und gilt für die gesamte Fahrtdauer.

4.2.1.2 Organisation der Weg- und Zeitkoordinaten

SIMLA 2 simuliert den Verkehrsablauf auf einem Streckenabschnitt der Länge X_E in beiden Richtungen (s. Abb. 4/1).

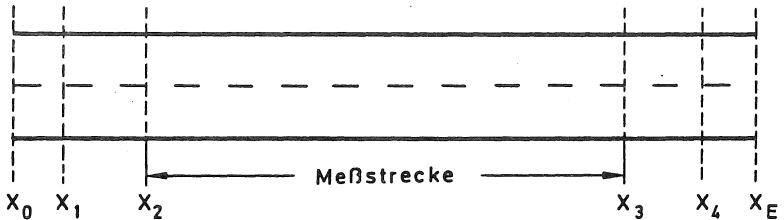


Abb. 4/1: Lage der Querschnitte X_0 , X_1 , X_2 , X_3 , X_4 und X_E auf dem von SIMLA 2 simulierten Streckenabschnitt

Der gesamte Streckenabschnitt, von der Anfangskoordinate X_0 bis zur Endkoordinate X_E , wird durch vorzugebende lokale Meßquerschnitte X_1 bis X_4 in fünf Teilstrecken gegliedert. Die genaue Lage dieser Querschnitte wird über die einzulesenden Daten vorgegeben. Die gesamte Simulationszeit wird in gleichlange Zeitintervalle eingeteilt; die Intervall-Länge ist frei wählbar. Durch diese Einteilung ist es möglich, makroskopische Parameter des Verkehrsablaufs für einzelne Weg-Zeit-Abschnitte zu ermitteln. Für die An- und Auslaufstrecken (X_0 - X_1) bzw. (X_4 - X_E) beider Richtungen finden diese Berechnungen nicht statt. Da die Ermittlung der räumlich-zeitlichen Kenngrößen nur zwischen X_2 und X_3 möglich ist, wurde für die Untersuchung X_2 möglichst nahe an X_1 und X_3 möglichst nahe an X_4 herangeschoben. Im Wegabschnitt (X_2 - X_3) stehen damit gemessene Reisege-

schwindigkeiten bzw. -zeiten und über die Intervall--
Einteilungen makroskopische Parameter lokaler, momenta-
ner und räumlich-zeitlicher Art zur Verfügung.

4.2.1.3 Erzeugung von Fahrer-Fahrzeug-Elementen und ihre Zeitlückenverteilung

Durch eine spezielle Prozedur werden am jeweiligen Streckenanfang einer Fahrtrichtung Fahrer-Fahrzeug-Elemente in das Programm eingegeben. In diesem Zusammenhang kommt der gewählten Verteilung der Zwischenzeiten eine besondere Bedeutung zu. Für die Erzeugung dieser Zwischenzeiten wird das von WIEDEMANN (1974) entworfene Verfahren ohne Abänderung übernommen. WIEDEMANN führt dazu aus:

Es ist bekannt, daß Ganglinien der Verkehrsstärke, mißt man diese in kürzeren Zeitintervallen (z.B. 5-min-Intervalle), starke Schwankungen aufweisen, die den größeren tageszeitlichen Schwankungen überlagert sind. Stellt man daher eine Verteilung beobachteter Zwischenzeiten aus etwa einem Zeitraum von einer Stunde auf, so zeigt diese Verteilung entsprechend ihrem Parameter eine ganz typische Form. In früheren Arbeiten LEUTZBACH (1957), SCHUHL (1955) wurden unter der Annahme, daß die beobachteten Zwischenzeiten aus zwei Anteilen, einem mit schwacher und einem mit starker Verkehrsbelastung bestehen, Verteilungsfunktionen angegeben, die sich zur Beschreibung der Fahrzeugankünfte am Anfangsquerschnitt eignen. Zu den Parametern dieser Verteilungen, basierend auf einer während der gesamten Betrachtungsdauer gegebenen Verkehrsstärke, kommt man durch folgende Überlegung.

Die Betrachtungsdauer sei T . Können die Schwankungen der Verkehrsstärke q durch die vereinfachte Annahme zweier Anteile hinreichend genau beschrieben werden, so sei im Anteil p_1 der Betrachtungsdauer der Parameter

q_1 , im Anteil p_2 der Parameter q_2 wirksam. Es gelten dann die Zusammenhänge

$$p_1 \cdot T + p_2 \cdot T = T \quad (\text{oder } p_2 = 1 - p_1)$$

$$\text{und } p_1 \cdot q_1 + p_2 \cdot q_2 = q$$

Die Zwischenzeitverteilung entsprechend LEUTZBACH (1957) oder SCHUHL (1955) lautet dann:

$$p(z > t) = \begin{cases} \frac{p_1 \cdot q_1}{q} \cdot \exp\left(-\frac{t - t_0}{\bar{t}_1 - t_0}\right) + \frac{p_2 \cdot q_2}{q} \cdot \exp\left(-\frac{t - t_0}{\bar{t}_2 - t_0}\right) & \text{für } z > t_0 \\ 1 & \text{für } z < t_0 \end{cases}$$

Dabei wird angenommen, daß (auch im schwachen Anteil) eine gewisse Mindestzwischenzeit t_0 nicht unterschritten wird. Für die numerische Behandlung sind die Größen

$$A = \frac{p_1 \cdot q_1}{q} \quad \text{und} \quad (1 - A) = \frac{p_2 \cdot q_2}{q}$$

von Interesse. Repräsentiert A den schwachen und $(1-A)$ den starken Belastungsanteil, so kann für A aus einer Untersuchung von CHIMINI, DAWSON (1968), die sich auf empirisches Material des HCM (1965) stützt, eine Funktion $A=f(q)$ abgeleitet werden. Im Bereich oberhalb $q=500$ Kfz/h wird der empirisch gefundene Zusammenhang CHIMINI, DAWSON (1968) zwischen dem Anteil A und der Stärke q durch die Beziehung

$$A = \exp(-0,0016 \cdot q), \quad q \text{ in [Fhz/h]}$$

hinreichend gut angenähert. Für den Parameter q_2 des starken Anteils kann man der genannten Untersuchung ebenfalls einen Anhaltswert entnehmen. Offenbar gilt über weite Bereiche von q , daß $\bar{t}_2 = 1/q_2 = 2,2$ sec kon-

stant bleibt. Geht man generell vom Parameter q auf den Reziprokwert \bar{t} , den Erwartungswert der Zwischenzeit über, so ergibt sich für die noch unbekannte Größe \bar{t}_1 nach einigen Umformungen der obigen Beziehungen

$$\bar{t}_1 = \frac{1}{A} (\bar{t} - (1 - A) \cdot \bar{t}_2) .$$

Mit Hilfe (0.1)-verteilter Zufallszahlen wird dann bestimmt, welcher Parameter gerade gilt: ist eine ermittelte Zufallszahl kleiner als A , dann gilt \bar{t}_1 , ist sie größer als A , dann gilt \bar{t}_2 . Aus der Beziehung für A erkennt man, daß mit größer werdendem q die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Zufallszahlen kleiner als A immer stärker abnimmt, d.h. der schwache Belastungsanteil spielt eine immer geringere Rolle.

4.2.1.4 Eingabedaten

Zur Durchführung eines Simulationslaufes sind eine Reihe von Eingabedaten erforderlich, mit denen die Randbedingungen des zu simulierenden Verkehrsgeschehens vorgegeben werden. Die wichtigsten Eingabedaten sind im einzelnen:

- Anzahl und Charakteristik der Kurven
- Anzahl und Charakteristik der Steigungstrecken
- Anzahl und Charakteristik der Strecken mit Geschwindigkeitsbeschränkung
- Gesamtzahl der voraussichtlich erzeugten Fahrzeuge
- Gesamtsimulationsdauer
- Zeitintervallabschnitte für die Datenauswertung
- Lage der Meßquerschnitte X_1 , X_2 , X_3 , X_4 und X_E
- Anteil von Lastwagen und Lastzügen
- Verkehrsstärke für jede Richtung

Für eine ausführliche Beschreibung der Eingabedaten sei auf BRILON/BRANNOLTE (1977) und BRANNOLTE/HOLZ (1983) verwiesen.

4.2.2 Simulationsmodell SIMLA 2/MO

Um SIMLA 2 im Rahmen der durchzuführenden Untersuchungen einsetzen zu können, ist eine Modifikation erforderlich. Diese Modifikation umfaßt hauptsächlich den Einbau der MO-Fahrzeuge, die zur Durchführung der MOM notwendig sind. Das so modifizierte Simulationsmodell trägt die Bezeichnung SIMLA 2/MO.

Für die Art und Weise des Einbaus der MO-Fahrzeuge waren folgende Überlegungen maßgebend:

Für jede der beiden Fahrtrichtungen ist ein Fahrzeug erforderlich, d.h. es fahren je ein Fahrzeug in Richtung und Gegenrichtung gleichzeitig. Da SIMLA 2/MO den Verkehrsablauf so realitätsgetreu wie möglich nachbilden soll, wurde zunächst einmal dafür Sorge getragen, daß die beiden Fahrzeuge nicht exakt zum selben Zeitpunkt starten, sondern etwas zeitversetzt. In der Praxis (s. Kapitel 7) hat sich nämlich gezeigt, daß die in einigen Abhandlungen zur MOM bzw. Modifikationen derselben (z.B. WRIGHT (1973) oder WRIGHT et al. (1973)) aufgestellte Forderung des gleichzeitigen Startens der beiden Fahrzeuge nicht durchführbar ist; selbst beim Einsatz einer Funkverbindung, sowohl zwischen den beiden Fahrzeugen untereinander als auch zwischen den Fahrzeugen und einem dritten, stationären "Kontrollposten", ist ein Starten zum gleichen Zeitpunkt kaum realisierbar. Dies hat seine Ursache darin, daß jedes Fahrzeug sein Fahrverhalten beim Einfahren in die Meßstrecke der aktuellen Verkehrssituation anpassen muß.

Programmtechnisch wird der Einbau der MO-Fahrzeuge folgendermaßen realisiert:

Nach Ablauf eines vorgegebenen Startzeitpunktes wird das erste an X_0 einfahrende Fahrzeug als MO-Fahrzeug definiert, d.h. das Fahrzeug bekommt die als Parameter einzugebende Charakteristik des MO-Fahrzeugs zugewiesen. Mit Hilfe dieser Charakteristik wird das Verhalten des MO-Fahrzeuges vollständig beschrieben. Nachdem auf diese Weise für eine Fahrtrichtung ein MO-Fahrzeug definiert wurde, wird das nächste, an X_E einfahrende Fahrzeug das MO-Fahrzeug für die Gegenrichtung.

Haben beide Fahrzeuge die Meßstrecke durchfahren, wird eine bestimmte, als Parameter einzugebende Netto-Umkehrzeit Δt_{UN} gewartet. Daran anschließend beginnt der eben geschilderte Vorgang erneut. Die gesamte, tatsächliche Umkehrzeit, die "Brutto-Umkehrzeit" Δt_{UB} ergibt sich als Summe von Δt_{UN} , desjenigen Zeitintervalls, das vergeht, bis am jeweiligen Einfahrquerschnitt wieder ein Fahrzeug einfährt und desjenigen Zeitraums, den die MO-Fahrzeuge benötigen, um die Strecke (X_0-X_2) bzw. (X_E-X_3) zu durchfahren. Δt_{UB} ist somit für beide Richtungen verschieden lang. Δt_{UN} kann entweder für alle Wendevorgänge konstant sein oder auch zufälligen Schwankungen unterliegen. Die Einhaltung von Δt_{UN} ist erforderlich, um das Verkehrsgeschehen möglichst realitätsgetreu wiederzugeben.

Zum besseren Verständnis des oben geschilderten Sachverhaltes dient die Abbildung 4/2.

Zu einem bestimmten Zeitpunkt t_0 , der als Parameter derart eingegeben wird, daß die Anlaufphase des Simulationsvorganges abgeschlossen ist, beginnt der Auswertevorgang des Verkehrsgeschehens:

Das nächste, nach dem Zeitpunkt t_0 in Richtung 1 am Querschnitt X_0 eintreffende Fahrzeug erhält die Charakteristik des MO-Fahrzeugs. Dieses Fahrzeug treffe zum Zeitpunkt t_1 bei X_0 ein. Danach erhält das nächste in oder nach t_1 in Richtung 2 bei X_E eintreffende Fahrzeug ebenfalls die Charakteristik des MO-Fahrzeugs. Dieses geschehe zum Zeitpunkt t_2 . Nachdem beide Fahrzeuge die zwischen den Querschnitten X_2 und X_3 gelegene Meßstrecke durchfahren haben wird die Netto-Umkehrzeit Δt_{un} gewartet, bis der geschilderte Vorgang erneut beginnt.

Der oben beschriebene Vorgang wiederholt sich nun solange, bis ein vorgegebener Zeitpunkt, der die gesamte Simulationsdauer angibt, erreicht ist.

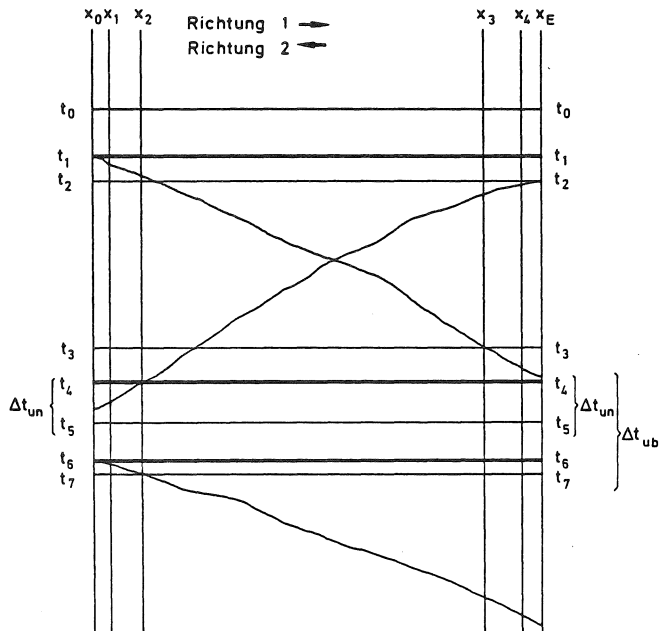


Abb. 4/2: Graphische Darstellung des Fahrtverlaufs der beiden MO-Fahrzeuge

Insgesamt ergibt sich also die Situation, daß innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums fortlaufend Meßfahrten durchgeführt werden, die jeweils durch eine Brutto-Umkehrzeit $\Delta t_{U\bar{b}}$ unterbrochen sind.

Für jedes Durchfahren der Meßstrecke von X_2 bis X_3 bzw. in Gegenrichtung von X_3 bis X_2 werden für jedes der beiden MO-Fahrzeuge die folgenden Daten festgehalten:

- Fahrzeit
- Anzahl der aktiven Überholungen
- Anzahl der passiven Überholungen
- Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge

Aus den so gewonnenen Werten werden nach den Formeln (II.8), (II.9), (II.10) und (II.11) die Verkehrsstärke q_{MO} , die durchschnittliche Reisezeit $\bar{\tau}_{MO}$ und die durchschnittliche Geschwindigkeit \bar{v}_{MO} berechnet.

4.2.3 Parametervariationen bei den Simulationsläufen

4.2.3.1 Allgemeines

Wie aus der Beschreibung von SIMLA 2/MO hervorgeht, enthält das Modell eine große Anzahl von Parametern. Für die Durchführung der Simulationsläufe war es deshalb notwendig, geeignete Werte für sie zu wählen. Dazu wurden die Parameter in zwei Gruppen eingeteilt:

a) Hintergrundparameter:

Darunter werden diejenigen Parameter verstanden, die eigentlich nur dazu dienen, SIMLA 2/MO "am laufen zu halten". Dies sind beispielsweise die "Gesamtzahl der voraussichtlich erzeugten Fahrzeuge" und die Parameter 3 bis 9 der Fahrer-Fahrzeug-Elemente. Hier wurden im allgemeinen die bei BRILON/BRANNOLTE (1977) und BRANNOLTE/HOLZ (1983) aufgeführten Standardwerte verwendet.

b) Situationsparameter:

Dies sind diejenigen Parameter, die die eigentliche Verkehrssituation beschreiben. Diese zerfallen wiederum in zwei Gruppen: In die "relevanten Parameter" und die "nicht relevanten Parameter". Wie sich nämlich in Kapitel 5 zeigen wird, hängen die für die MOM relevanten Ergebnisse nur von den drei Parametern

- Wunschgeschwindigkeit der MO-Fahrzeuge v_{wgmo} ,
- Streckenlänge X_L und
- vorgegebene Verkehrsstärke q_v

ab.

Deshalb werden diese drei Parameter als "relevante Parameter" und die restlichen, wie "Wunschgeschwindigkeit (der übrigen Fahrzeuge)", "Lkw-Anteil", "Kurven" und "Steigungen" als "nicht relevante Parameter" bezeichnet.

Die "relevanten Parameter" sollen noch etwas genauer betrachtet werden.

4.2.3.2 Parameter "Wunschgeschwindigkeit der MO-Fahrzeuge v_{wgmo} "

Bei der Festlegung von v_{wgmo} ist in erster Linie die Relation zur durchschnittlichen Wunschgeschwindigkeit der übrigen Fahrzeuge \bar{v}_{wg} von Bedeutung und weniger der absolute Wert. Da die den einzelnen Fahrer-Fahrzeug-Elementen zugeordneten Wunschgeschwindigkeiten $v_{wg,i}$ aufgrund einer empirisch gewonnenen Wunschgeschwindigkeitsverteilung ermittelt werden, ist es naheliegend, v_{wgmo} als Quantil der Verteilungsfunktion $F_{v,wg}(v_{wg})$ anzugeben. Ist p eine Wahrscheinlichkeit, so ist das zugehörige Quantil definiert durch:

$$F_{V, wg}(v_{wg}) = p$$

Dies ist in Abbildung 4/3 dargestellt.

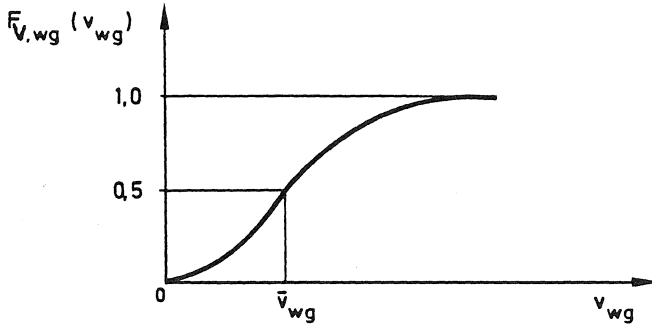


Abb. 4/3: Zusammenhang zwischen $F_{V, wg}(v_{wg})$ und v_{wg}

Der einem bestimmten Quantil entsprechende absolute Wert in km/h ist jeweils bei der Beschreibung der Simulationsläufe im Anhang A4.1 aufgeführt.

Um die Schreibweise möglichst einfach und übersichtlich zu halten wird im folgenden statt

$$F_{V, wg}(v_{wgmo}) = p$$

einfach

$$v_{wgmo} = p$$

geschrieben.

Bei den ersten Simulationsläufen wurden für v_{wgmo} zunächst Werte von 0,15; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70 und 0,85 verwendet. Dabei zeigte sich, daß eine derart feine Abstufung nicht notwendig ist. Bei den weiteren Läufen erfolgte deshalb eine Beschränkung auf Werte von 0,30; 0,50 und 0,70.

Wie sich in Kapitel 5 zeigen wird, muß v_{wgmo} größer sein als v_{wg} . Daher werden in die Auswertung nur diejenigen Läufe einbezogen, bei denen die Bedingung

$v_{wgmo} > v_{wg}$ erfüllt ist. Somit genügte es, die restlichen Läufe nur mit $v_{wgmo} = 0,70$ durchzuführen.

4.2.3.3 Parameter "Streckenlänge X_L "

Bei der Wahl dieses Parameters war die Zielsetzung, einerseits einen möglichst großen Variationsbereich abzudecken, andererseits aber auch die Anzahl der durchzuführenden Simulationsläufe in einem vertretbaren Rahmen zu halten. Deshalb wurde eine maximale Länge von $X_L = 5.000$ m gewählt. Durch die Art und Weise der Darstellung der Meßstrecke in SIMLA 2/MO (s. 4.2.1.2) gehen an den Enden jeweils 100 m verloren, so daß die effektive Länge nur 4.800 m beträgt.

Der Grund für die Maximallänge von 5.000 m ist, daß, um die MOM in der Praxis einwandfrei durchführen zu können, innerhalb der Meßstrecke keine Knotenpunkte und Lichtsignalanlagen (LSA) liegen sollten. Diese Forderung ist nun umso schwieriger zu erfüllen, je länger die Strecke ist. Es hat sich bei der Suche nach geeigneten Meßstrecken für die praktischen Messungen gezeigt, daß es mehr oder weniger unmöglich ist, solche Streckenabschnitte zu finden, die länger als 4 bis 5 km sind. Für die praktischen Messungen wurden vier geeignete Meßstrecken mit Längen von $X_L = 2.100$ m, 3.380 m, 3.707 m und 4.651 m gefunden. Dabei mußte aber bereits bei der Strecke mit $X_L = 4.651$ m der Kompromiß eingegangen werden, daß sie einen Knotenpunkt enthält.

Abgesehen davon, daß das Vorhandensein von Knotenpunkten und LSA praktische Schwierigkeiten bei der Durchführung der MOM mit sich bringt (z.B. Behandlung der Wartezeiten an den LSA), stellt sich auch die Frage nach der Aussagekraft von gemessenen Werten für q und τ , die einen gemeinsamen Durchschnitt für mehrere Streckenabschnitte darstellen, auf denen jeweils völlig

unterschiedliche Verkehrsverhältnisse herrschen können. Deshalb ist es wesentlich sinnvoller, diese "Gesamtstrecke" in einzelne Teilstrecken aufzuteilen und für jede dieser Teilstrecken einen Wert für q und t anzugeben. Da also hauptsächlich kurze Meßstrecken für die MOM interessant sind, wurde als zweite Parametervariation die Hälfte der effektiven Maximallänge gewählt, also $X_L = 2.400$ m.

Schließlich wurde dann als kürzeste Streckenlänge ein Viertel der effektiven Maximallänge, also $X_L = 1.200$ m gewählt. Die Werte von $X_L=2.400$ m und $X_L=1.200$ m stellen jeweils effektive Längen dar.

4.2.3.4 Parameter "Vorgegebene Verkehrsstärken $q_{v,1}$; $q_{v,2}$ "

Auch bei diesem Parameter war ein Kompromiß zwischen einem großen Variationsbereich einerseits und einem vertretbaren Aufwand andererseits zu finden. Da bei vorgegebenen Verkehrsstärken von über 600 Fz/h vermehrt "Unfälle" im simulierten Verkehrsablauf auftraten, war es zweckmäßig, für die Obergrenze 600 Fz/h zu wählen.

Bei der Festlegung der Untergrenze zeigte sich die folgende Problematik:

Sinkt die Verkehrsstärke unter einen Mindestwert q_{min} ab, so werden die Abstände zwischen den einzelnen Fahrzeugen so groß, daß die MO-Fahrzeuge ihre Geschwindigkeit mehr oder weniger beliebig wählen können, ohne durch andere, langsamere Fahrzeuge, behindert zu werden oder andere, schnellere Fahrzeuge, zu behindern bzw. aktive und passive Überholungen ihrerseits auszulösen. Sie sind praktisch "allein" auf der Meßstrecke. Das hat zur Folge, daß der gemessene Wert von t_{m0} durch v_{wgmo} beeinflusst, also verfälscht wird.

Dieser Effekt läßt sich auch anhand von (II.9) und (II.10) zeigen:

Gilt aufgrund der geringen Verkehrsstärke $M_a=M_p=0$, so werden beide Formeln zu:

$$\bar{t}_{mo} = t_w$$

Somit ist \bar{t}_{mo} direkt proportional zu t_w , welches in diesem Fall fast ausschließlich von v_{wgmo} abhängt.

Zur Untersuchung dieses Effekts wurden die Simulationsläufe der Serie N mit vorgegebenen Verkehrsstärken von $q_{v,1}=q_{v,2}=50, 100, 150$ und 200 Fz/h durchgeführt. Weiterhin wurden Werte für v_{wgmo} entsprechend $0,15, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70$ und $0,85$ gewählt. Aus den einzelnen $\bar{t}_{mo,k}$ ($k=1(1)M$, M = Anzahl der Meßfahrtenpaare des betrachteten Simulationslaufes) wurde jeweils das arithmetische Mittel \bar{t}_{mo}^* berechnet. Bei der Auswertung wurde jeweils \bar{t}_{mo}^* derjenigen MO-Messung, die mit $v_{wgmo}=0,50$ erfolgt ist, als Basis genommen und mit den Werten für \bar{t}_{mo}^* , die aus Messungen mit $v_{wgmo} \neq 0,50$ stammen, verglichen. Dazu wurde jeweils die relative Differenz RD zwischen beiden nach (IV.1) berechnet.

$$RD = \frac{\bar{t}_{mo}^*(v_{wgmo}=0,50) - \bar{t}_{mo}^*(v_{wgmo} \neq 0,50)}{\bar{t}_{mo}^*(v_{wgmo}=0,50)} \cdot 100[\%] \quad (IV.1)$$

Das Ergebnis ist in Tabelle 4/1 aufgeführt. Zusätzlich sind noch in der letzten Spalte die relativen Differenzen der jeweiligen v_{wgmo} angegeben. Die Berechnung dieser Differenzen erfolgte mit $v_{wgmo}=0,50$ als Basis.

Tab. 4/1: Relative Differenzen RD zwischen $\bar{t}_{mo}^*(v_{wgmo}=0,50)$ und $\bar{t}_{mo}^*(v_{wgmo}=0,15, 0,30, 0,40, 0,60, 0,70, 0,85)$ in Abhängigkeit von q_v ; sowie relative Differenzen Δv_{wgmo} zwischen den einzelnen v_{wgmo} mit $v_{wgmo}=0,50$ als Basis

(Zusammengefaßte Ergebnisse für $X_L=1.200, 2.400$ und 4.800 m)

$q_{v,1}=q_{v,2}$ [Fz/h]	50	100	150	200	Δv_{wgmo}
v_{wgmo}					
$\hat{0,15}=70,5$ km/h	-16,7	-13,8	- 3,5	- 2,2	-19,9
$\hat{0,30}=80,0$ km/h	- 8,3	- 5,1	- 2,7	- 1,3	- 9,1
$\hat{0,40}=84,0$ km/h	- 4,2	- 3,9	- 1,2	- 0,9	- 4,5
$\hat{0,50}=88,0$ km/h	0	0	0	0	0
$\hat{0,60}=92,0$ km/h	4,3	3,7	1,4	1,1	4,5
$\hat{0,70}=97,0$ km/h	9,7	7,1	2,2	1,7	10,2
$\hat{0,85}=106,5$ km/h	17,4	11,9	2,9	1,9	21,0

Man erkennt eindeutig, daß mit abnehmenden $q_{v,1}, q_{v,2}$ eine zunehmende Beeinflussung von \bar{t}_{mo}^* durch v_{wgmo} erfolgt.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, daß q_{min} nicht unter ca. 150 Fz/h absinken sollte. Deshalb wurde für die Simulationsläufe ein unterer Wert von $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h gewählt. Daraus und aus der vorher erwähnten Obergrenze ergab sich schließlich eine Parametervariation für $q_{v,1}, q_{v,2}$ von 200, 400 und 600 Fz/h.

Da $q_{v,1}$ jeweils unabhängig von $q_{v,2}$ variiert wurde, ergaben sich insgesamt die folgenden sechs, in Tabelle 4/2 aufgeführten, Verkehrsstärkekassen für Richtung 1 und Richtung 2.

Tab. 4/2: Verkehrsstärkeklassen für die vorgegebenen Verkehrsstärken $q_{v,1}$, $q_{v,2}$

Klasse	$q_{v,1}$ [Fz/h]	$q_{v,2}$ [Fz/h]
1	200	200
2	200	400
3	200	600
4	400	400
5	400	600
6	600	600

Da SIMLA 2/MO "symmetrisch" aufgebaut ist, entspricht beispielsweise die Situation von Klasse 2: $q_{v,1}=200$ Fz/h, $q_{v,2}=400$ Fz/h (abgekürzt geschrieben: (200,400)) auch der Situation von: $q_{v,1}=400$ Fz/h, $q_{v,2}=200$ Fz/h. Somit kann also der Rechenaufwand reduziert werden, ohne daß ein Informationsverlust auftritt.

4.2.4 Simulationsläufe

Mit dem Simulationsprogramm SIMLA 2/MO wurden auf einer UNIVAC 1108 Rechenanlage eine große Zahl von Simulationsläufen durchgeführt. Um eine gute Übersichtlichkeit der dabei gewonnenen Daten zu gewährleisten, wurden die Simulationsläufe in einzelne Serien eingeteilt. Eine Übersicht und Beschreibung dieser Serien ist im Anhang A4.1 zu finden.

4.3 Messungen

4.3.1 Grundsätzliches Vorgehen

Zusätzlich zu den Untersuchungen mittels Simulation erfolgten auch praktische Messungen. Da die Durchführung derartiger Messungen ein äußerst zeit- und kostenintensives Unterfangen darstellt, war es unumgänglich, das Meßprogramm in einem praktisch realisierbaren Rahmen zu halten. Aus diesem Grunde beschränkte es sich auf:

- eine Stadtstraße mit einem Fahrstreifen pro Richtung
- drei Landstraßen mit je einem Fahrstreifen pro Richtung und
- eine Autobahn mit drei Fahrstreifen pro Richtung.

Im Gegensatz zur Simulation, bei der die räumlich-zeitlichen, die lokalen und die momentanen Werte von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit automatisch vom Simulationsmodell geliefert werden, müssen diese Größen in der Realität ebenfalls durch Messung gewonnen werden. Da, wie bereits erwähnt, die Erfassung der räumlich-zeitlichen und der momentanen Größen in der Praxis nur mit einem hohen Meßaufwand möglich ist, wurde aus praktischen Gegebenheiten von vornherein darauf verzichtet und nur eine lokale Querschnittsmessung durchgeführt.

4.3.1.1 Messungen auf Stadt- und Landstraßen

Es werden Meßfahrtenpaare nach der in Kapitel 2 beschriebenen MOM durchgeführt. Diese liefern die Verkehrsstärken $q_{m0,k}$ und die durchschnittlichen Reisezeiten $\tau_{m0,k}$ bzw. die mittleren Geschwindigkeiten $v_{m0,k}$ ($k=1(1)M$; M = Anzahl der Meßfahrtenpaare).

Gleichzeitig zu den Meßfahrtenpaaren werden an einem Querschnitt innerhalb der Meßstrecke die lokalen Geschwindigkeiten $v_{1k,i}$ gemessen. Das Auftragen der Summenlinie der Anzahl der Meßwerte über der Meßdauer läßt erkennen, ob ein einigermaßen stationäres Verhalten des Verkehrsflusses gegeben ist.

Aus der Messung der $v_{1k,i}$ läßt sich das lokale Geschwindigkeitsmittel \bar{v}_{1k} gemäß

$$\bar{v}_{1k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_{1k,i} \quad (\text{IV.2})$$

bestimmen, wobei N die Gesamtzahl der gemessenen Geschwindigkeiten ist.

Weiterhin läßt sich nach der Beziehung

$$\bar{v}_m = \bar{v}_{1k} - \frac{\sigma_{1k}^2}{\bar{v}_{1k}} \quad (\text{IV.3})$$

das momentane Geschwindigkeitsmittel \bar{v}_m berechnen, wobei σ_{1k}^2 die Streuung der $v_{1k,i}$ ist.

Sollte innerhalb der Meßstrecke ein Knotenpunkt liegen, so werden die entsprechenden Zu- und Abflüsse gezählt.

4.3.1.2 Messungen auf Autobahnen

Da bei Autobahnen eine Zählung des Gegenverkehrs nicht immer möglich ist, z.B. wegen Sichtbehinderung durch Bepflanzung, kann die klassische MOM nicht angewendet werden. Statt dessen kommen hier zwei Verfahren von BENNETT (1975) zur Anwendung.

Das erste Verfahren basiert auf der "Floating Car"-Methode, wobei die Bedingung, daß die Anzahl der aktiven Überholungen gleich der Anzahl der passiven Überholungen sein muß, aufgehoben ist. Um diese Methode anwenden

zu können, muß allerdings eine zusätzliche Information über die momentane Geschwindigkeitsverteilung in Form des Variationskoeffizienten c_m der momentanen Geschwindigkeiten $v_{m,i}$ vorhanden sein.

Der Variationskoeffizient c ist allgemein definiert als das Verhältnis zwischen Standardabweichung σ und Mittelwert \bar{x} .

$$c = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (\text{IV.4})$$

c_m läßt sich hier näherungsweise aus der Messung der $v_{lk,i}$ ermitteln, welche den Variationskoeffizienten der lokalen Geschwindigkeiten c_{lk} liefern.

$$c_m = \frac{\sigma_m}{\bar{v}_m} \sim c_{lk} = \frac{\sigma_{lk}}{\bar{v}_{lk}} \quad (\text{IV.5})$$

Daraus kann dann mit Hilfe der Streckenlänge X_L die durchschnittliche Reisezeit t_{BI} bestimmt werden.

Gleichzeitig kann mit Hilfe der Beziehungen (IV.3) und (IV.5) das momentane Geschwindigkeitsmittel \bar{v}_m errechnet werden. Wird (IV.5) in (IV.3) eingesetzt, so ergibt sich

$$\bar{v}_m = \bar{v}_{lk} \cdot (1 - c_{lk}^2) \quad (\text{IV.6})$$

bzw. mit der Streckenlänge X_L :

$$t_m = \frac{X_L}{\bar{v}_m} \quad (\text{IV.7})$$

Für das zweite Verfahren gibt BENNETT Formeln an, wie die Verkehrsstärke q_{BII} und die mittlere momentane Geschwindigkeit $\bar{v}_{m,BII}$ bzw. die durchschnittliche momentane Reisezeit t_{BII} in einer Fahrtrichtung berechnet werden können. Dazu müssen die Meßfahrten mit zwei ver-

schiedenen Geschwindigkeiten (einzeln oder gruppenweise) durchgeführt werden.

Bei beiden Verfahren von BENNETT ist es notwendig, daß das Beobachtungsfahrzeug mit annähernd konstanter Geschwindigkeit fährt.

Die so erhaltenen Werte für q_{1k} , q_{BII} , t_m , t_{BI} und t_{BII} werden einander gegenübergestellt und diskutiert.

4.3.2 Meßaufbau

4.3.2.1 Meßaufbau für Stadt- und Landstraßen

Das Schema des Meßaufbaus ist in Abbildung 4/4 dargestellt. Die Meßstrecke liegt zwischen den Querschnitten X_1 und X_2 . An einem dritten Querschnitt X_3 innerhalb der Meßstrecke werden die in beiden Richtungen durchfahrenden Fahrzeuge gezählt und ihre Geschwindigkeiten gemessen. Dies erfolgt mit Hilfe von Induktionsschleifen. Hierzu wird auf jedem Fahrstreifen eine Doppelschleife verlegt. Die von den Induktionsschleifen gelieferten Impulse werden für die spätere Auswertung auf Magnetband gespeichert. Die Erfassung der Daten an X_3 erfolgt während der gesamten Untersuchungsdauer. Innerhalb dieser Untersuchungsdauer werden mit Hilfe zweier MO-Fahrzeuge, von denen je eines in Richtung und Gegenrichtung fährt, kontinuierlich Meßfahrtenpaare nach der MOM durchgeführt. In jedem der beiden MO-Fahrzeuge befinden sich - je nach der Verkehrsstärke - ein oder mehrere Beobachter, die die folgenden Größen aufnehmen:

- Anfangs- und Endzeitpunkt einer Fahrt
- Anzahl der aktiven Überholungen
- Anzahl der passiven Überholungen
- Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge

Dabei wird jeweils unterschieden zwischen:

- Pkw
- Lkw und
- sonstigen Fahrzeugen.

Diese Unterscheidung findet auch bei der Messung am Querschnitt X_3 statt.

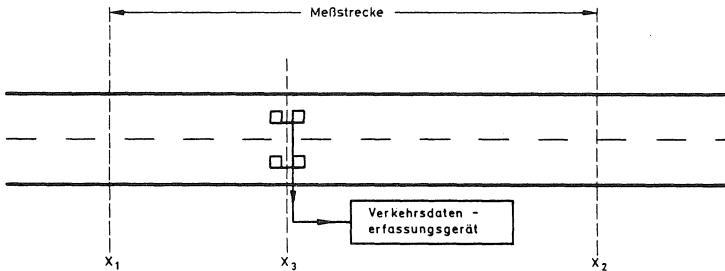


Abb. 4/4: Schema der Datenerfassung auf Stadt- und Landstraßen

Nachdem die beiden MO-Fahrzeuge die Meßstrecke durchfahren haben, wenden sie und führen erneut ein Meßfahrtenpaar durch. Bei diesem Wendevorgang ist darauf zu achten, daß der Fahrtverlauf innerhalb der Meßstrecke nicht durch das Abbremsen, Wenden und Wiederauffahren beeinflusst wird. Damit die MO-Fahrzeuge annähernd zum gleichen Zeitpunkt in die Meßstrecke einfahren, besteht sowohl zwischen ihnen, als auch zwischen den Fahrzeugen und einem dritten, stationären "Kontrollposten", eine Funkverbindung.

Befindet sich innerhalb der Meßstrecke ein Knotenpunkt, so wird der hier zu- und abfließende Verkehr gezählt.

4.3.2.2 Meßaufbau für Autobahnen

Der Meßaufbau für Autobahnen ist in der Abbildung 4/5 dargestellt. Auch hier ist die Meßstrecke durch die beiden Querschnitte X_1 und X_2 definiert.

Bei dem für diese Art der Messung verwendeten Streckenabschnitt handelt es sich um eine Autobahn mit drei Fahrstreifen pro Richtung, auf der mehrere Induktionsschleifen fest installiert sind.

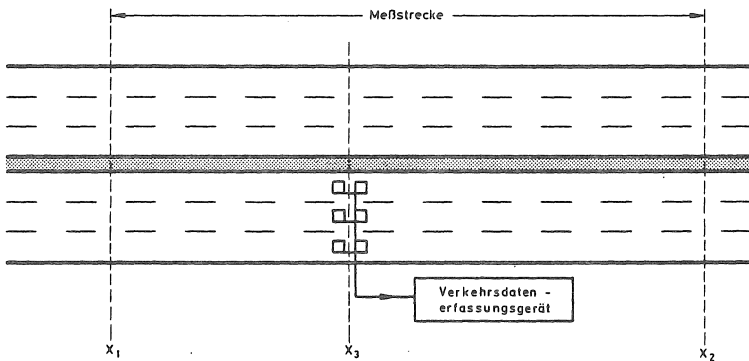


Abb. 4/5: Schema der Datenerfassung auf einer Autobahn mit drei Fahrstreifen pro Richtung

4.3.3 Durchgeführte Messungen

Die Messungen erfolgten auf

- einer Stadtstraße mit einem Fahrstreifen pro Richtung,
- drei Landstraßen mit je einem Fahrstreifen pro Richtung und
- einer Autobahn mit drei Fahrstreifen pro Richtung.

Ein Problem bestand darin, daß während der Durchführung einer Messung Stationarität herrschen sollte. Da die Angabe von stationären Zeitintervallen aber nicht vor Beginn der Messung erfolgen konnte, wurde folgendes Vorgehen gewählt:

Zunächst wurden auf jeder der fünf Meßstrecken die Meßfahrten und die lokale Querschnittsmessung durchgeführt. Die einzelnen Messungen wurden dabei nur von den notwendigen Erholungspausen für das Meßpersonal unterbrochen.

Anschließend wurde versucht, innerhalb der fünf "Gesamtmessungen" einzelne stationäre Zeitintervalle zu finden, so daß die "Gesamtmessungen" in einzelne "Teilmessungen" aufgeteilt werden konnten. Dies erfolgte mit dem von JACOBS (1979) entwickelten "Stationaritätstest für Zeitlückenfolgen".

Eine Übersicht und Beschreibung der "Gesamtmessungen" und der daraus erhaltenen "Teilmessungen" ist im Anhang A4.2 zu finden.

5. Untersuchung und Ergebnisse der Simulation

5.1 Vorbemerkungen

Dieses Kapitel stellt den Hauptteil der vorliegenden Arbeit dar. Hier werden ausschließlich die Daten aus der Simulation berücksichtigt. Im nachfolgenden Kapitel 6 werden die so gewonnenen Ergebnisse mit realen Messungen verglichen, um Aussagen über Gemeinsamkeiten und Unterschiede beider Vorgehensweisen machen zu können.

Zunächst wird untersucht, ob die Durchführung der MOM eine Beeinflussung des zu untersuchenden Verkehrsablaufs bewirkt und somit eine Verfälschung der Meßergebnisse zur Folge hat.

Anschließend werden sowohl die zu erfassenden MO-Meßwerte M_a , M_p , t_w , t_a und E als auch die daraus berechneten MO-Parameter q_{MO} und \bar{t}_{MO} untersucht. Um einen ersten Eindruck von ihnen zu erhalten, erfolgt zunächst eine Betrachtung ihrer Ganglinien. Danach wird geprüft, ob ihre zeitliche Abfolge die Bedingung der Zufälligkeit erfüllt.

Nachdem versucht wurde, ihre empirischen Verteilungen durch theoretische Verteilungen zu beschreiben, wird geprüft, ob zwischen den einzelnen MO-Meßwerten bzw. MO-Parametern Korrelationen bestehen.

Die Beantwortung der Fragen nach dem Zusammenhang zwischen der Anzahl von Meßfahrtenpaaren und der Genauigkeit der berechneten MO-Parameter, bzw. in welchem Maße die MO-Parameter mit den entsprechenden räumlich-zeitlichen Parametern übereinstimmen, umfaßt den restlichen Teil dieses Kapitels.

5.2 Beeinflussung des Verkehrsablaufs durch die 'Moving Observer'-Methode

Bei jeder Art von Messung ist im Grunde genommen zu prüfen, ob durch den Meßvorgang selbst die zu untersuchenden Größen beeinflusst werden. Im vorliegenden Fall muß also untersucht werden, ob durch die beiden MO-Fahrzeuge der Verkehrsablauf in irgendeiner Form verändert wird. Zur Beantwortung dieser Frage werden die räumlich-zeitlichen Parameter Verkehrsstärke q_{rz} , durchschnittliche Reisezeit \bar{t}_{rz} und Verkehrsdichte k_{rz} betrachtet. Dies geschieht anhand der Serien L und M. Gemeinsames Merkmal dieser Serien ist, daß die Simulationsläufe jeweils mit zwei sehr unterschiedlichen Fahrstrategien durchgeführt wurden. Einmal wurde eine sehr zügige, risikofreudige Fahrweise gewählt, das andere Mal eine sehr langsame und risikoarme. Diese Variation wurde einerseits dadurch erreicht, daß die Meßfahrzeuge bei der "schnellen" Fahrstrategie als Pkw und bei der "langsamen" als Lkw definiert wurden. Andererseits wurde für die übrigen zur Charakterisierung dienenden Zufallsgrößen (siehe 4.2.1.1) im Falle der Serie L der $+2\sigma$ bzw. -2σ und im Falle der Serie M der $+3\sigma$ bzw. -3σ Wert gewählt. Die sich aus den beiden Fahrstrategien ergebenden Daten wurden sowohl miteinander als auch jeweils mit den entsprechenden Daten der "durchschnittlichen" Fahrstrategie der Serie C verglichen.

Da bei der Auswertung beide Serien fast identische Resultate liefern, wird im folgenden auf eine Unterscheidung verzichtet und es werden nur die Ergebnisse der Serie M betrachtet.

5.2.1 Verkehrsstärke q_{RZ}

Genau wie in der Realität, so ist auch bei SIMLA 2/MO das Verkehrsaufkommen, also die Anzahl der erzeugten Fahrzeuge unabhängig davon, ob und wie gemessen wird. Entsprechend zeigte sich, daß bei der Anwendung der MOM keine Beeinflussung von q_{RZ} auftritt.

5.2.2 Durchschnittliche Reisezeit \bar{t}_{RZ}

Beim Vergleich der einzelnen Intervallwerte ergeben sich Unterschiede von bis zu $\pm 10\%$. Dies gilt unabhängig von q_V und sowohl für den Vergleich von "langsamer" mit "schneller" als auch für den Vergleich von "durchschnittlicher" mit "langsamer" und "durchschnittlicher" mit "schneller" Fahrstrategie. Betrachtet man aber die relative Abweichung des arithmetischen Mittels aller Festzeitintervalle für die unterschiedlichen Fahrstrategien, so fällt die Abhängigkeit der Abweichungen von q_V auf. Dies ist in Tabelle 5.2/1 dargestellt.

Tab. 5.2/1: Relative Abweichung des arithmetischen Mittelwertes von \bar{t}_{RZ} aller Festzeitintervalle bei unterschiedlichen Fahrstrategien

q_V^* [Fz/h]	Relative Abweichungen		
	"langsam"- "schnell" [%]	"durchschnittlich"- "langsam" [%]	"durchschnittlich"- "schnell" [%]
200	+ 8,10	- 4,29	+ 4,14
400	+ 6,36	- 3,78	+ 2,76
600	+ 6,16	- 3,09	+ 2,27

* jeweils für beide Richtungen
vorgegebene Verkehrsstärke

Als Folgerung aus diesen Daten ergibt sich, daß der Einfluß der Fahrstrategie auf \bar{t}_{RZ} mit abnehmender Verkehrsstärke zunimmt. Dies steht in Übereinstimmung mit den in 4.2.3.4 erhaltenen Ergebnissen.

5.2.3 Verkehrsdichte k_{RZ}

Hinsichtlich k_{RZ} ergab sich ein analoges Ergebnis zu \bar{t}_{RZ} , allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen. Insgesamt zeigte sich die Gültigkeit der Zustandsgleichung

$$q_{RZ} = k_{RZ} \cdot \bar{v}_{RZ} \quad \text{bzw.} \quad q_{RZ} = k_{RZ} \cdot \frac{x_L}{\bar{t}_{RZ}},$$

so daß weitere Ausführungen nicht erforderlich sind.

5.2.4 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Wie oben ausgeführt wurde, hat bei der Anwendung der MOM die Fahrstrategie keine Beeinflussung von q_{RZ} zur Folge. Hingegen ergibt sich mit kleiner werdendem q_{RZ} eine zunehmende Beeinflussung von \bar{t}_{RZ} und k_{RZ} durch die Fahrstrategie (s. hierzu auch 4.2.3.4). Somit bleibt die Frage zu klären, welche Fahrstrategie den Verkehrsablauf am wenigsten beeinflusst, d.h. bei welcher Fahrstrategie der ursprüngliche - also nicht durch die Messung beeinflusste - Verkehrsablauf erhalten bleibt.

Eine einfache Überlegung zeigt, daß es genau diejenige Fahrstrategie ist, bei der die Meßfahrzeuge die anderen Fahrzeuge am wenigsten behindern. Solche Behinderungen treten immer dann auf, wenn ein Fahrzeug seine Geschwindigkeit wegen eines Meßfahrzeuges verringern muß. Dies ist im allgemeinen dann der Fall, wenn ein Fahrzeug eine höhere Wunschgeschwindigkeit hat als ein Meßfahrzeug und es dieses nicht sofort überholen kann.

Dies bedeutet, daß die Wunschgeschwindigkeit der Meßfahrzeuge v_{wgmo} im Grunde genommen größer sein muß als die Wunschgeschwindigkeiten der übrigen Fahrzeuge $v_{wg,i}$. Da die Beeinflussung von t_{rz} aber nicht allzu stark ist, kann davon ausgegangen werden, daß es ausreicht, wenn v_{wgmo} größer als die durchschnittliche Wunschgeschwindigkeit der übrigen Fahrzeuge \bar{v}_{wg} ist. Aus dieser Forderung folgt somit, daß für die Meßfahrzeuge keine Fahrstrategie in Form eines "Mitschwimmens", wie bei der 'Floating Car'-Methode gewählt werden sollte, sondern eine sehr zügige und flotte Fahrweise angebracht ist.

Diese Untersuchung läßt auch den Schluß zu, daß bei Anwendung der 'Floating Car'-Methode (Fahrstrategie: "Mitschwimmen") bei niedrigen Verkehrsstärken die gemessene mittlere Geschwindigkeit um einen bestimmten Faktor vergrößert werden muß. Um diesen Faktor zuverlässig bestimmen zu können, sind weitergehende Untersuchungen notwendig; die für diesen Punkt durchgeführte Untersuchung hatte lediglich den Zweck festzustellen, ob überhaupt eine Beeinflussung auftritt.

5.3 'Moving Observer'-Meßwerte

5.3.1 Ganglinien

Um eine erste Vorstellung über den Charakter der MO-Meßwerte M_a , M_p , t_w , t_a und E zu bekommen, werden zunächst ihre zeitlichen Verläufe in Form von Ganglinien betrachtet. Da die Unterschiede zwischen den Ganglinien der einzelnen Serien relativ gering sind genügt es, im folgenden die Ganglinien der "durchschnittlichen" Serie C zu betrachten. Die hierbei beobachteten charakteristischen Eigenschaften gelten auch für die übrigen Serien. Da sich die Ergebnisse jeweils für beide Richtungen weitgehend entsprechen, sind im folgenden nur die Ganglinien für Richtung 1 aufgetragen.

5.3.1.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_a . Anzahl der passiven Überholungen M_p

Bei der Datenauswertung zeigte sich, daß Überholungen - aktive wie passive - relativ selten sind. Eine typische Ganglinie der Anzahl der aktiven Überholungen M_a ist in Abb. 5.3/1 dargestellt, eine solche für die Anzahl der passiven Überholungen M_p in Abb. 5.3/2. Aufgrund der geringen Anzahl von Überholungen kann von der Ganglinie aus nicht auf bestimmte Eigenschaften geschlossen werden.

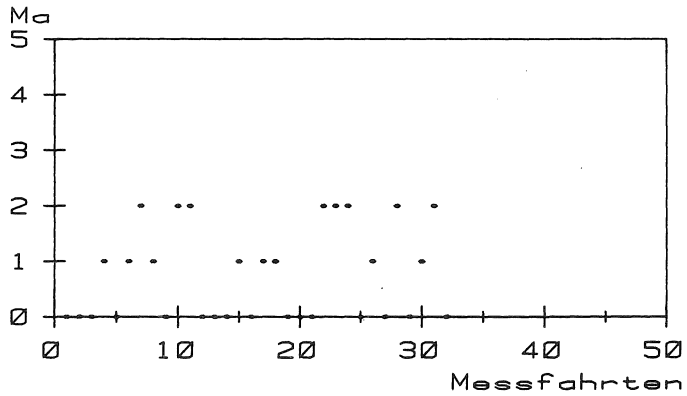


Abb. 5.3/1: Ganglinie der Anzahl der aktiven Überholungen M_a
 Serie C: $v_{wgmo}=0,70$; $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

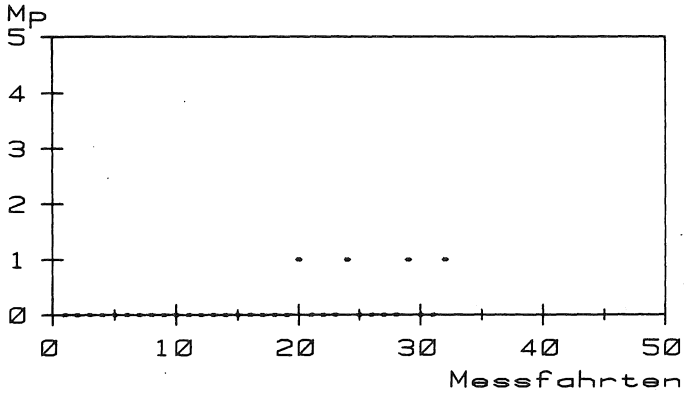


Abb. 5.3/2: Ganglinie der Anzahl der passiven Überholungen M_p
 Serie C: $v_{wgmo}=0,70$; $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

5.3.1.2 Fahrzeit t_w , t_a , t_f

Da t_w und t_a ihrer Natur nach identisch sind (s. Kapitel 2), können beide aus Gründen besserer Übersichtlichkeit zum Parameter "Fahrzeit" t_f zusammengefaßt werden.

In den Abbildungen 5.3/3, 5.3/4 und 5.3/5 sind typische Ganglinien von t_f für vorgegebene Verkehrsstärken von 200, 400 und 600 Fz/h und einer Streckenlänge von $X_L = 4.800$ m aufgetragen.

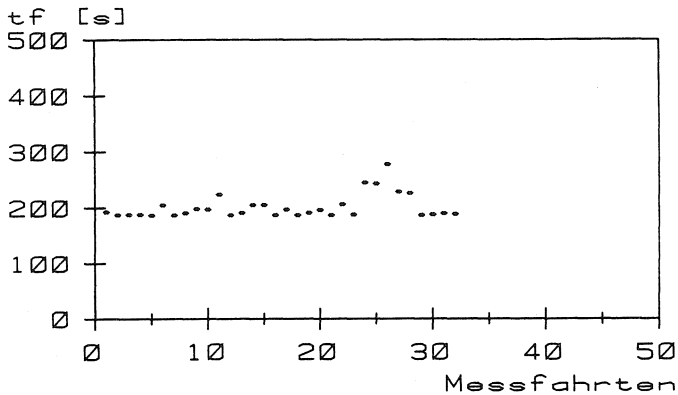


Abb. 5.3/3: Ganglinie der Fahrzeit t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

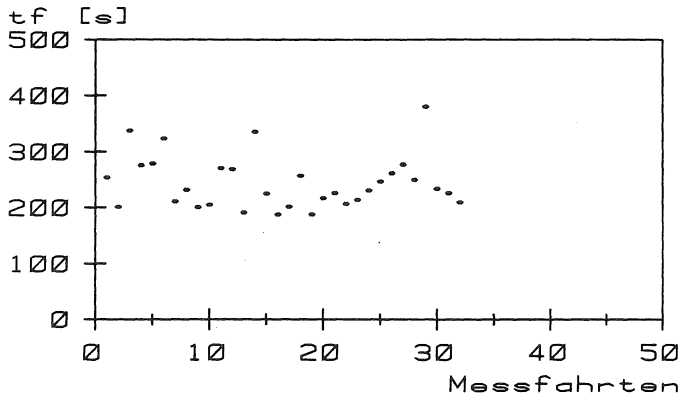


Abb. 5.3/4: Ganglinie der Fahrzeit t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

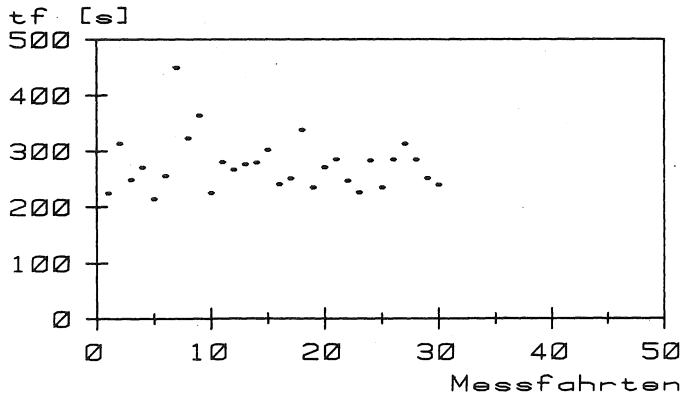


Abb. 5.3/5: Ganglinie der Fahrzeit t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=600$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

Aus den drei Abbildungen erkennt man deutlich, daß sich bei einer Verkehrsstärke von 200 Fz/h ein anderer Verlauf der Ganglinie einstellt als bei Verkehrsstärken von 400 und 600 Fz/h. Während sich die Ganglinien für 400 und 600 Fz/h jeweils in einem horizontal verlaufenden Kanal bewegen, bildet sich bei einer Verkehrsstärke von 200 Fz/h eine Basislinie mit Ausreißern nach oben.

Für den Fall eines horizontal verlaufenden Kanals kann vorerst eine einigermaßen zufällige Streuung der einzelnen Werte vermutet werden.

Der Verlauf bei einer Verkehrsstärke von 200 Fz/h kann folgendermaßen erklärt werden: Wird das Meßfahrzeug nicht durch andere Fahrzeuge beeinflusst - und dies ist bei niedrigen Verkehrsstärken im allgemeinen der Fall - so ergeben sich für die einzelnen Meßfahrten Fahrzeiten t_f , die innerhalb eines sehr kleinen Streubereichs liegen. Dieser Streubereich stellt den Wert der Basislinie dar. Anders ausgedrückt: Betrachtet man die Ordinatenwerte "aus der Nähe", so weisen sie eine mehr oder weniger zufällige Streuung auf; betrachtet man sie "aus der Ferne" so können sie - relativ zu den Ausreißern - als konstant angesehen werden.

Wird nun das frei fahrende Meßfahrzeug beeinflusst - dies geschieht in der Regel durch langsamere vor ihm fahrende Fahrzeuge - so wird seine Fahrzeit länger. Bei geringen Verkehrsstärken ist diese Beeinflussung selten; sie wird aber mit zunehmender Verkehrsstärke häufiger. Schließlich tritt bei mittleren und hohen Verkehrsstärken so oft eine Beeinflussung auf, daß die Basislinie zu einem Horizontalkanal ausgeweitet wird. Soweit die Situation für eine Streckenlänge von $X_L=4.800$ m.

Für $X_L=2.400$ und 1.200 m ist bei einer Verkehrsstärke von ca. 200 Fz/h die Situation analog. Eine Abweichung ergibt sich dagegen bei höheren Verkehrsstärken: Hier bleibt die Basislinie weitgehend erhalten und entspricht somit dem in Abb. 5.3/3 dargestellten Zusammenhang. Eine Erklärung dafür ist, daß aufgrund der kurzen Streckenlänge t_f weitgehend unbeeinflußt durch äußere Einflüsse bleibt und - um bei der obigen Betrachtungsweise zu bleiben - nur noch dann eine Streuung aufweist, wenn man die Werte "aus der Nähe" betrachtet.

5.3.1.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E

Eine typische Ganglinie von E, wie sie bei allen Verkehrsstärken und Streckenlängen auftritt, ist in der Abbildung 5.3/6 dargestellt. Die einzelnen Werte verlaufen in einem horizontalen Kanal. Dies legt die Vermutung nahe, daß sie einigermaßen zufällig streuen.

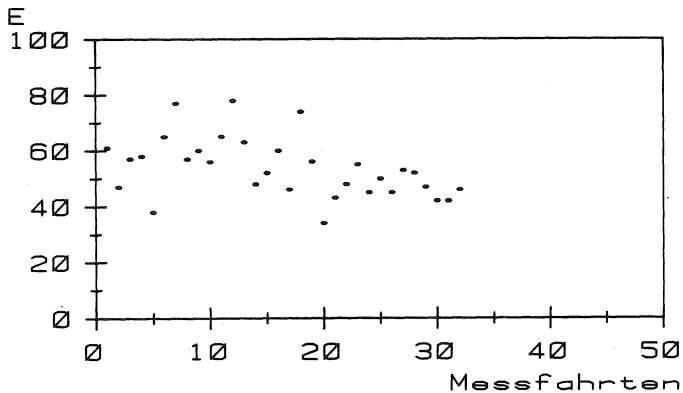


Abb. 5.3/6: Ganglinie der Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E

Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;

$X_L=4.800$ m; Richtung 1

5.3.2 Untersuchung der Meßreihen auf Zufällsmäßigkeit

Da die MO-Meßwerte M_a , M_p , t_f und E als Zufallsvariablen aufgefaßt werden ist es für die weitere Untersuchung von Bedeutung, ob die einzelnen Werte innerhalb ihrer zeitlichen Abfolge zufällig aufeinanderfolgen oder ob Abhängigkeiten bestehen.

Zu diesem Zweck wird der "Phasenhäufigkeitstest" von WALLIS und MOORE verwendet, wie er in SACHS (1984), S. 295 ff. beschrieben ist. Dieser Test stellt die Nullhypothese: "Die Folge ist zufällsmäßig" gegen die Alternativhypothese: "Die Folge weicht statistisch signifikant von der Zufällsmäßigkeit ab".

5.3.2.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_a , Anzahl der passiven Überholungen M_p

Aufgrund des geringen Auftretens von Überholungen konnte der Test für M_a und M_p nicht durchgeführt werden.

5.3.2.2 Fahrzeit t_f

Die Untersuchung der zeitlichen Folge von t_f ergab für alle Simulationsläufe mit einer Streckenlänge von $X_L=4.800$ m das eindeutige Ergebnis, daß die Hypothese der Zufällsmäßigkeit nicht abgelehnt werden kann. Bei einer Streckenlänge von $X_L=2.400$ m zeigte sich zwar immer noch eine Mehrzahl von nicht abgelehnten Tests, jedoch ist das Gesamtergebnis nicht mehr eindeutig. Bei einer Streckenlänge von $X_L=1.200$ m erfolgte dagegen überwiegend eine Ablehnung der Nullhypothese.

Betrachtet man nun die einzelnen Läufe näher, so stellt man fest, daß die Ablehnung meist dann erfolgt, wenn $v_{wgm} < \bar{v}_{wg}$ ist. Dies gilt für alle Streckenlängen. Be-

trachtet man jetzt nur noch Läufe mit $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$, so ergibt sich folgendes Bild: Das ohnehin schon eindeutige Ergebnis für die Streckenlänge von $X_L=4.800$ m festigt sich noch mehr. Für Streckenlängen von $X_L=2.400$ und 1.200 m ergibt sich jetzt ebenfalls überwiegend eine Nichtablehnung der Nullhypothese.

Die Schlußfolgerungen aus dieser Untersuchung lauten also:

- 1.) Bei der Streckenlänge von $X_L=4.800$ m kann von der Zufällsmäßigkeit der Wertefolge ausgegangen werden.
- 2.) Bei den Streckenlängen von $X_L=2.400$ und 1.200 m ist die Zufällsmäßigkeit nur dann gegeben, wenn $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ ist.
- 3.) Da auch bei der Streckenlänge von $X_L=4.800$ m die Zufällsmäßigkeit durch $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ günstig beeinflusst wird, ergibt sich hinsichtlich der Fahrstrategie der Meßfahrzeuge, daß eine flotte und zügige Fahrweise zu wählen ist, so daß $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ ist.

5.3.2.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E

Der Test ergab, daß die Hypothese der Zufällsmäßigkeit nicht abgelehnt werden kann. Allerdings zeigte sich auch hier, daß mit zunehmendem v_{wgmo} das Ergebnis noch eindeutiger wird. Als Schlußfolgerung ergibt sich auch hier, daß nach Möglichkeit, eine flotte und zügige Fahrweise zu wählen ist, so daß $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ ist.

5.3.3 Bestimmung von theoretischen Verteilungen für t_f und E

Da die MO-Meßwerte M_a , M_p , t_f und E als Zufallsvariablen aufgefaßt werden, ist es naheliegend, sich für die ihnen zugrunde liegenden Verteilungen zu interessieren. Deshalb wird im folgenden geprüft, ob und gegebenenfalls durch welche theoretischen Verteilungsformen sich die empirischen Verteilungen der einzelnen Größen beschreiben lassen. Dazu stehen verschiedene Verfahren der Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie zur Verfügung.

Eine der bekanntesten Methoden dürfte der Chi-Quadrat-Test sein, wie er beispielsweise bei SACHS (1984), S. 251 ff. beschrieben ist. Seine Anwendung stößt allerdings bei den hier vorliegenden Daten auf Schwierigkeiten.

So wird für den Test auf Normalverteilung gefordert, daß der Stichprobenumfang mindestens $n=60$ betragen muß (s. SACHS (1984), S. 252). Die hier zu untersuchenden Datensätze weisen aber für $X_L=4.800$ m im allgemeinen lediglich einen Stichprobenumfang von 27 - 32 auf, entsprechend der Anzahl der durchgeführten Meßfahrtenpaare.

Weiterhin erfordert die Durchführung des Chi-Quadrat-Tests eine Einteilung der zu untersuchenden Werte in Klassen. Da für diese Klasseneinteilung keine festen Vorschriften existieren, können die Klassengrenzen und die Klassenbreiten in einem gewissen Rahmen variieren. Das Problem ist nun, daß die Art dieser Klasseneinteilung direkte Auswirkungen auf das Testergebnis hat. Das bedeutet, daß eigentlich für jeden einzelnen Datensatz eine "geeignete" Klasseneinteilung gewählt werden müßte. Dies hätte aber zur Folge, daß jeder einzelne Datensatz vor der Auswertung "von Hand" in "Augenschein"

genommen werden muß, um eine für ihn adäquate Klasseneinteilung zu finden. Da dies aufgrund der großen Anzahl von auszuwertenden Datensätzen nicht möglich war, wurde versucht als Testverfahren eine Methode zu benutzen, die keine Klasseneinteilung erforderlich macht. Deshalb wurde der Kolmogoroff-Smirnov-Test gewählt, wie er z.B. bei SACHS (1984), S. 256 ff. beschrieben ist.

Ziel war es, nach Möglichkeit mit "gebräuchlichen" und "bekanntem" Verteilungen auszukommen. Sollte dies nicht gelingen, war vorgesehen, solange weitere Verteilungen heranzuziehen, bis ein positives Ergebnis erreicht worden war.

Im einzelnen wurden die folgenden Verteilungen getestet:

- Gleichverteilung
- Normalverteilung
- Lognormalverteilung
- Poissonverteilung
- Verschobene negative Exponentialverteilung
- Paretoverteilung
(linkssteile, nach rechts flach auslaufende Verteilung, die nur ab einem gewissen Schwellenwert existiert; hat eine gewisse Ähnlichkeit mit der Lognormalverteilung)

Der Test ergab, daß für die

- Gleichverteilung
- Verschobene negative Exponentialverteilung
- Poissonverteilung und
- Paretoverteilung

die Nullhypothese für sämtliche MO-Meßwerte eindeutig abgelehnt wird. Somit müssen diese Verteilungen nicht weiter betrachtet werden.

Anschließend die Ergebnisse für die Normal- und Lognormalverteilung.

5.3.3.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_a . Anzahl der passiven Überholungen M_p

Wie schon in 5.3.1 und 5.3.2 erwähnt, ist das Auftreten von aktiven und passiven Überholungen sehr selten. Dies hat zur Folge, daß keine Verteilungstests durchgeführt werden konnten.

5.3.3.2 Fahrzeit t_f

Die Auswertung der Tests auf Normalverteilung ergab, daß die Nullhypothese überwiegend abgelehnt wird und somit die Werte nicht als normalverteilt angesehen werden können.

Die Tests auf Lognormalverteilung ergaben zwar in der Mehrzahl der Fälle eine Nichtablehnung der Nullhypothese, doch ist das Gesamtergebnis keineswegs überzeugend. Betrachtet man aber die Ergebnisse für die einzelnen Simulationsläufe näher, so fällt auf, daß eine Ablehnung bzw. Nichtablehnung der Nullhypothese stark von v_{wgmo} abhängt. So zeigt sich bei einem $v_{wgmo} < \bar{v}_{wg}$ überwiegend eine Ablehnung der Nullhypothese. Ist v_{wgmo} ungefähr gleich \bar{v}_{wg} , so halten sich Ablehnung und Nichtablehnung die Waage. Ist aber $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$, so erfolgt überwiegend eine Nichtablehnung der Nullhypothese.

Insgesamt bedeutet dies nun, daß, wenn die Fahrstrategie der Meßfahrzeuge so gewählt wird, daß $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ ist, die Hypothese der Lognormalverteilung nicht widerlegt werden kann. Dies gilt für alle Serien. t_f kann also in diesem Fall als lognormalverteilte Zufallsva-

riable angesehen werden.

5.3.3.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E

Für E ergibt sich eindeutig, daß die Hypothese der Normalverteilung nicht abgelehnt werden kann. Fast dasselbe eindeutige Resultat ergibt sich für die Lognormalverteilung. Die wenigen Fälle, in denen die Nullhypothesen (für Normal- bzw. Lognormalverteilung) abgelehnt werden, sind durch mittlere bis hohe Verkehrsstärken gekennzeichnet, aber unabhängig von v_{wgmo} und Serie. Insgesamt kann also E als normalverteilte Zufallsvariable angesehen werden.

5.3.4 Untersuchung auf Korrelation zwischen den MO-Meßwerten

Nachdem in 5.3.3 versucht wurde, die den MO-Meßwerten zugrunde liegenden Verteilungen zu bestimmen, soll nun untersucht werden, ob zwischen ihnen Abhängigkeiten bestehen.

Als Maß für die Abhängigkeit zwischen zwei Zufallsvariablen Y und Z wird häufig der Korrelationskoeffizient ρ benutzt, wobei

$$\rho(Y, Z) = \frac{\text{Cov}(Y, Z)}{\sqrt{\text{Var}(Y) \cdot \text{Var}(Z)}} \quad (\text{V.1})$$

ist.

ρ darf in der oben definierten Form aber nur dann herangezogen werden, wenn die beiden Zufallsvariablen Y und Z normalverteilt sind (s. HARTUNG (1984), S. 559). Da aber t_f nicht als normalverteilt angenommen werden kann, ist somit ρ in dieser Form nicht anwendbar. Folglich muß ein Abhängigkeitsmaß benutzt werden, das für Y

und Z keine Verteilungsannahmen macht. Ein solches Maß ist der Kendall'sche Rangkorrelationskoeffizient τ , wie er z.B. bei HARTUNG (1984), S. 559 ff. beschrieben ist.

Die Kenntnis von τ ermöglicht aber noch keine Entscheidung darüber, ob Y und Z abhängig sind oder nicht. Vielmehr muß durch ein geeignetes Verfahren diese Entscheidung getroffen werden. Ein solches Verfahren ist der bei HARTUNG (1984), S. 560 ff. beschriebene Test. Er testet die Nullhypothese "die beiden Meßreihen sind unabhängig" gegen die Alternativhypothese "die beiden Meßreihen sind nicht unabhängig".

5.3.4.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_a . Anzahl der passiven Überholungen M_p

Wie bereits in 5.3.3.1 der Fall, so ist auch hier wegen des geringen Auftretens von aktiven und passiven Überholungen keine Anwendung des Tests möglich.

5.3.4.2 t_f , E

Der Test liefert für die Wertereihen von t_f und E kein eindeutiges Gesamtergebnis. Deshalb müssen analog zu den Verteilungstests die jeweiligen Ergebnisse der einzelnen Simulationsläufe betrachtet werden. Dabei ergibt sich für Verkehrsstärken in der Größenordnung von 200 Fz/h der in Abbildung 5.3/7 dargestellte Zusammenhang.

Da die einzelnen Punkte fast senkrecht übereinander stehen ist es klar, daß die Nullhypothese nicht abgelehnt wird und beide Werte als nicht miteinander korreliert angesehen werden können. Die Erklärung für diesen Zusammenhang ist folgendermaßen: Wie in 5.3.1.2 und 5.3.1.3 dargestellt, nimmt t_f bei niedrigen Verkehrsstärken einen fast konstanten Wert an, der die dort

erwähnte Basislinie zur Folge hat. E hingegen streut mehr oder weniger zufällig. Durch die Überlagerung dieser beiden Prozesse ergibt sich der dargestellte Verlauf.

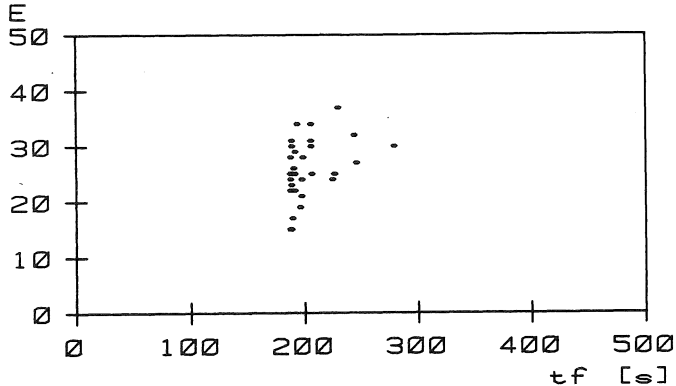


Abb. 5.3/7: Zusammenhang zwischen t_f und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h; $v_{wgm}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

Nimmt die Verkehrsstärke zu, so wird die Basislinie zunehmend aufgeweicht und der Anteil der zufälligen Schwankungen von t_f größer. Wird nun dieses Verhalten von t_f mit dem für alle Verkehrsstärken gleichen Verhalten von E überlagert, so ergibt sich der in Abb. 5.3/8 dargestellte Zusammenhang.

Dies hat zur Folge, daß die Nullhypothese in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle nicht abgelehnt wird und somit t_f und E als korreliert anzusehen sind.

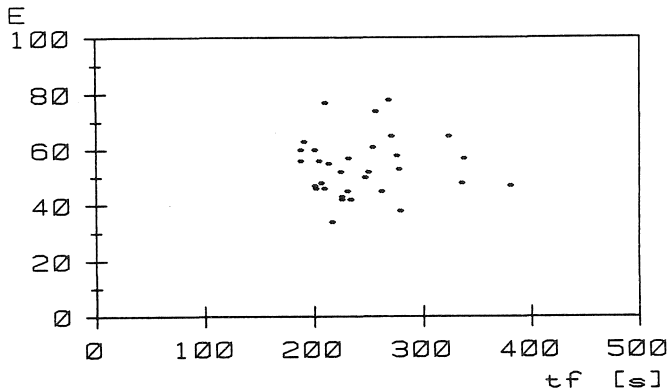


Abb. 5.3/8: Zusammenhang zwischen t_f und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

Steigt die Verkehrsstärke weiter an, so wird für die Simulationsläufe mit einer Streckenlänge von $X_L=4.800$ m die Basislinie von t_f mehr oder weniger vollständig aufgelöst. t_f streut nun einigermaßen zufällig. Wird dieses Verhalten mit dem Verhalten von E überlagert, so ergibt sich der in Abb. 5.3/9 dargestellte Zusammenhang. Da die Punktwolke mehr oder weniger kreisförmig ist, kann keine Regressionsgerade bestimmt werden und folglich wird die Nullhypothese überwiegend nicht abgelehnt. t_f und E sind also in diesem Falle als voneinander unabhängig anzusehen.

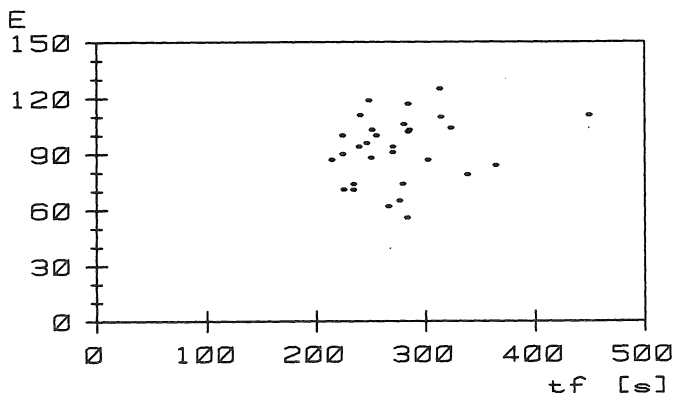


Abb. 5.3/9: Zusammenhang zwischen t_f und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=600$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

Bei den Streckenlängen von $X_L=2.400$ und 1.200 m streut t_f weit weniger stark. Dies hat zur Folge, daß sich für t_f und E ein Zusammenhang wie im Falle von $X_L=4.800$ m und $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h einstellt (siehe Abb. 5.3/7). Entsprechend ergibt der Test, daß keine Korrelation nachgewiesen werden kann.

Insgesamt ergibt sich also, daß nur für $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h und $X_L=4.800$ m eine Korrelation von t_f und E auftritt. In den übrigen Fällen sind sie somit als unkorreliert anzusehen.

5.4 'Moving Observer'-Parameter

5.4.1 Ganglinien

Wie bei den M0-Meßwerten, so werden auch für die M0-Parameter q_{m0} und t_{m0} zunächst ihre Ganglinien betrachtet. Im übrigen gelten die in 5.3.1 gemachten Ausführungen.

5.4.1.1 q_{m0}

Eine typische Ganglinie von q_{m0} ist in der Abbildung 5.4/1 dargestellt. Man erkennt, daß sich die einzelnen Werte innerhalb eines horizontal verlaufenden Kanals bewegen. Dies legt die Vermutung nahe, daß sie einigermaßen zufällig streuen. Dies gilt für alle Verkehrsstärken.

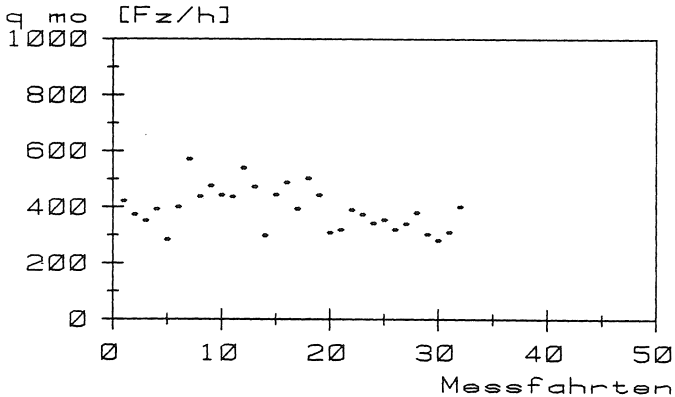


Abb. 5.4/1: Ganglinie von q_{m0}
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wg_{m0}}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

5.4.1.2 \bar{t}_{mo}

Eine typische Ganglinie von \bar{t}_{mo} ist in der Abbildung 5.4/2 dargestellt. Wie bei der Ganglinie von q_{mo} verlaufen die einzelnen Werte innerhalb eines Horizontalkanals, was ebenfalls vermuten läßt, daß sie einen einigermaßen zufälligen Charakter haben.

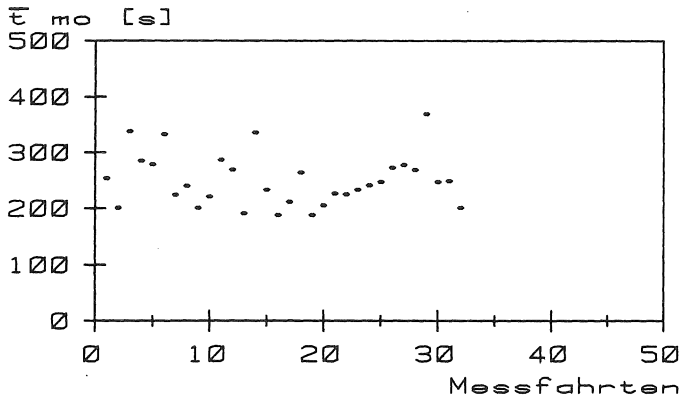


Abb. 5.4/2: Ganglinie von \bar{t}_{mo}
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgm0}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

5.4.2 Untersuchung der Wertereihen auf Zufällsmäßigkeit

Wie im Falle der MO-Meßwerte t_f und E , so soll auch für die MO-Parameter q_{mo} und \bar{t}_{mo} ihr zeitlicher Verlauf auf Zufällsmäßigkeit überprüft werden. Das Vorgehen hierbei ist analog zu 5.3.2; auch hier kommt der "Phasenhäufigkeitstest" von WALLIS und MOORE zur Anwendung.

5.4.2.1 q_{mo}

Der Test zeigt, daß die Hypothese der Zufallsmäßigkeit nicht widerlegt werden kann. Dies gilt für alle Serien. Allerdings zeigt sich - genau wie bei t_f und E -, daß mit zunehmendem v_{wgmo} das Ergebnis noch eindeutiger wird. Als Schlußfolgerung ergibt sich hier ebenfalls, für die Meßfahrzeuge eine flotte und zügige Fahrweise zu wählen, so daß $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ ist.

5.4.2.2 t_{mo}

t_{mo} zeigt hinsichtlich seines Verhaltens im zeitlichen Ablauf eine gewisse Ähnlichkeit mit t_f . So ergibt sich für alle Simulationsläufe mit einer Streckenlänge von $X_L=4.800$ und 2.400 m, daß die Hypothese der Zufallsmäßigkeit nicht abgelehnt werden kann.

Bei den Simulationsläufen mit einer Streckenlänge von $X_L=1.200$ m, ergibt sich jedoch eine überwiegende Ablehnung. Wie bei t_f erfolgt diese aber nur, wenn $v_{wgmo} < \bar{v}_{wg}$ ist. Dies bedeutet:

- 1.) Bei einer Streckenlänge von $X_L=1.200$ m ist Zufallsmäßigkeit nur dann gegeben, wenn $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ ist.
- 2.) Bei einer Streckenlänge von $X_L=2.400$ und 4.800 m kann von der Zufallsmäßigkeit der Wertefolge von t_{mo} für alle v_{wgmo} ausgegangen werden.
- 3.) Da auch bei Streckenlängen von $X_L=2.400$ und 4.800 m die Zufallsmäßigkeit durch ein $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ günstig beeinflusst wird, ergibt sich, daß für die Meßfahrzeuge eine flotte und zügige Fahrweise zu wählen ist.

5.4.3 Bestimmung von theoretischen Verteilungen für q_{m0} und t_{m0}

Wie in 5.3.3 für die MO-Meßwerte E und t_f beschrieben wurde, so werden auch die MO-Parameter q_{m0} und t_{m0} als Zufallsvariable angesehen. Deshalb wird auch für sie untersucht ob, und gegebenenfalls durch welche theoretische Verteilungsform sich ihre empirischen Verteilungen beschreiben lassen. Das Vorgehen ist analog zu 5.3.3.

Da bei den Tests auf

- Gleichverteilung
- Verschobene negative Exponentialverteilung
- Poissonverteilung und
- Paretoverteilung

die Nullhypothese eindeutig abgelehnt wird, müssen diese Verteilungen nicht weiter betrachtet werden.

Anschließend die Ergebnisse für die Normal- und Lognormalverteilung.

5.4.3.1 q_{m0}

Während der Test auf Normalverteilung kein eindeutiges Ergebnis zeigt, liefert der Test auf Lognormalverteilung das Resultat, daß die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann. Dies gilt für alle Serien. Folglich kann q_{m0} als lognormalverteilte Zufallsgröße angesehen werden.

5.4.3.2 \bar{t}_{mo}

Das Ergebnis ist sowohl hinsichtlich Normal- als auch Lognormalverteilung nicht eindeutig.

Betrachtet man aber die Ergebnisse für die einzelnen Simulationsläufe, so fällt - wie bei t_f - auf, daß eine Ablehnung bzw. Nichtablehnung der Nullhypothese stark von v_{wgmo} abhängt. So zeigt sich eine Ablehnung hauptsächlich dann, wenn $v_{wgmo} < \bar{v}_{wg}$ ist. Genau wie im Falle von t_f bedeutet dies, daß, wenn die Fahrstrategie der Meßfahrzeuge so gewählt wird, daß $v_{wgmo} > \bar{v}_{wg}$ ist, die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann. Dies gilt für alle Serien. \bar{t}_{mo} kann somit als lognormalverteilte Zufallsvariable angesehen werden.

5.4.4 Untersuchung auf Korrelation zwischen den 'Moving Observer'-Parametern q_{mo} und \bar{t}_{mo}

In 5.3.4 wurden die MO-Meßwerte t_f und E auf gegenseitige Abhängigkeit untersucht. Dies soll auch für die MO-Parameter q_{mo} und \bar{t}_{mo} erfolgen. Das Vorgehen ist analog zu 5.3.4.

Der Test ergibt, daß für alle Simulationsläufe mit Streckenlängen von $X_L=4.800$ und 2.400 m die Nullhypothese nicht abgelehnt wird und somit q_{mo} und \bar{t}_{mo} als nicht miteinander korreliert angesehen werden können. Dies ist in Abb. 5.4/3 dargestellt.

Für die Simulationsläufe mit einer Streckenlänge von $X_L=1.200$ m ergibt sich jedoch genau das Gegenteil: die Nullhypothese wird eindeutig abgelehnt, so daß für diesen Fall q_{mo} und \bar{t}_{mo} als miteinander korreliert angesehen werden müssen. Der Zusammenhang zwischen q_{mo} und \bar{t}_{mo} für diesen Fall ist in Abb. 5.4/4 zu sehen.

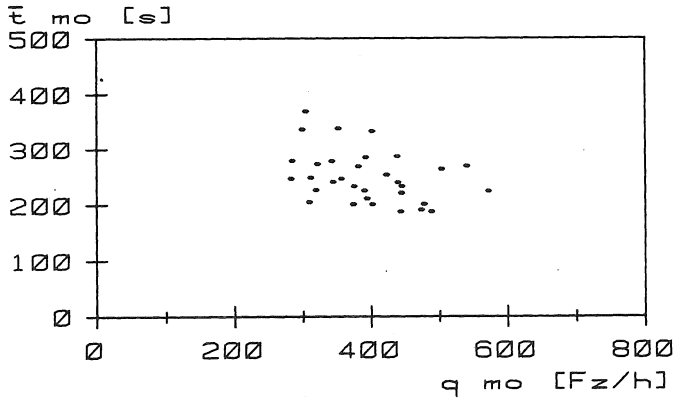


Abb. 5.4/3: Zusammenhang zwischen q_{mo} und \bar{t}_{mo} bei einer Streckenlänge von $X_L=4.800$ m
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 Richtung 1
 (Bei $X_L=2.400$ m ergibt sich ein analoger Zusammenhang)

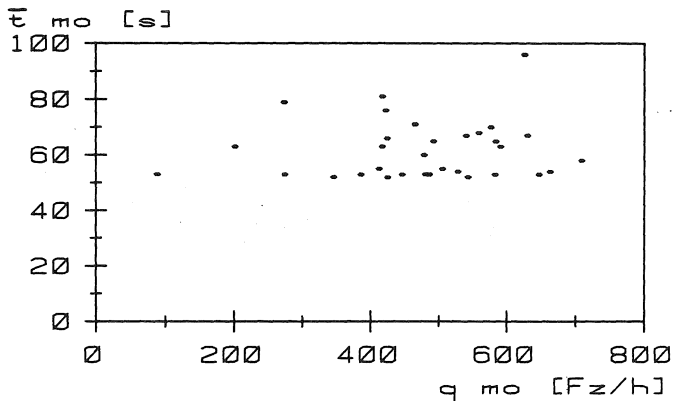


Abb. 5.4/4: Zusammenhang zwischen q_{mo} und \bar{t}_{mo} bei einer Streckenlänge von $X_L=1.200$ m
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 Richtung 1

5.5 Untersuchung auf Korrelation zwischen den 'Moving-Observer' Meßwerten und den 'Moving Observer'-Parametern

Zur Untersuchung auf eventuell vorhandene Korrelationen zwischen den MO-Meßwerten und den MO-Parametern wird analog zu der in 5.3.4 beschriebenen Art und Weise verfahren.

Noch einmal erwähnt sei, daß aufgrund der sehr geringen Anzahl von aktiven und passiven Überholungen diese nicht in die Untersuchung einbezogen werden konnten.

5.5.1 Korrelation zwischen q_{mo} und t_f

Der Zusammenhang zwischen q_{mo} und t_f ist in den Abbildungen 5.5/1 und 5.5/2 dargestellt. Obwohl ein deutlicher Unterschied zwischen der Situation bei niedrigen und hohen Verkehrsstärken besteht, so ergibt doch der Test eindeutig für alle Serien, daß die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann und somit q_{mo} und t_f als voneinander unabhängig angesehen werden können.

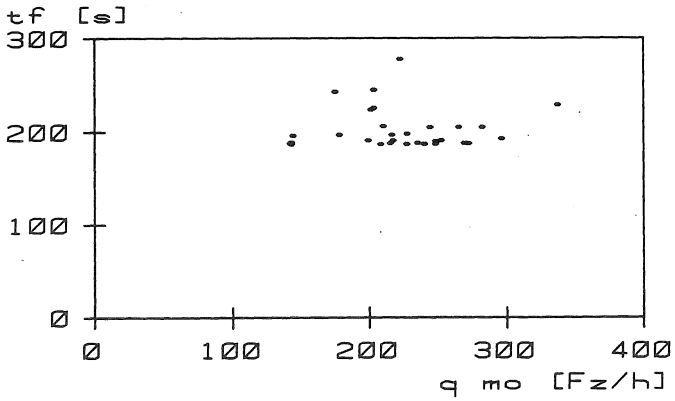


Abb. 5.5/1: Zusammenhang zwischen q_{mo} und t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

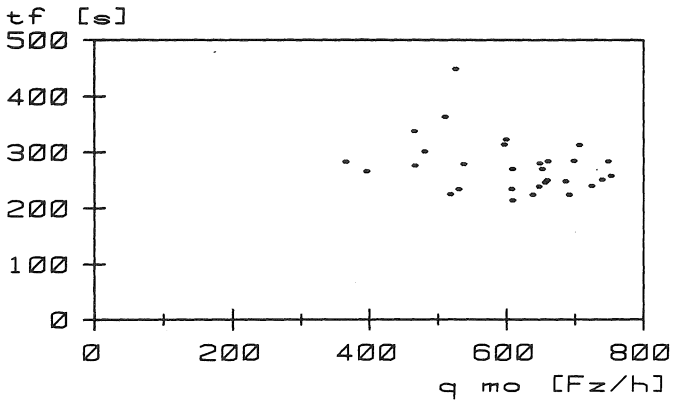


Abb. 5.5/2: Zusammenhang zwischen q_{mo} und t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=600$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

5.5.2 Korrelation zwischen q_{mo} und E

Der Zusammenhang zwischen q_{mo} und E ist in Abbildung 5.5/3 dargestellt. Obwohl die Form der Punktwolke für die einzelnen Simulationsläufe etwas unterschiedlich ist, lassen sich doch in allen Fällen eindeutige Regressionen bestimmen. Die Testergebnisse kommen ebenfalls zum gleichen Ergebnis. Die Nullhypothese wird eindeutig verworfen und somit können q_{mo} und E als miteinander korreliert angesehen werden.

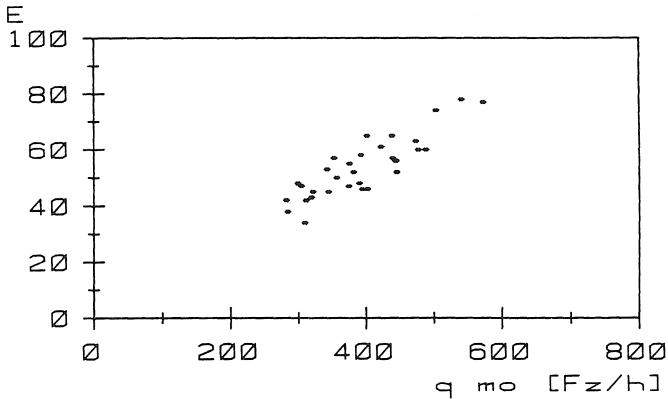


Abb. 5.5/3: Zusammenhang zwischen q_{mo} und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

5.5.3 Korrelation zwischen \bar{t}_{mo} und t_f

Der Zusammenhang zwischen \bar{t}_{mo} und t_f ist in Abbildung 5.5/4 dargestellt. Man erkennt deutlich die starke positive Korrelation zwischen den beiden Größen. Wie nicht anders zu erwarten ist, wird beim Test die Nullhypothese eindeutig abgelehnt.

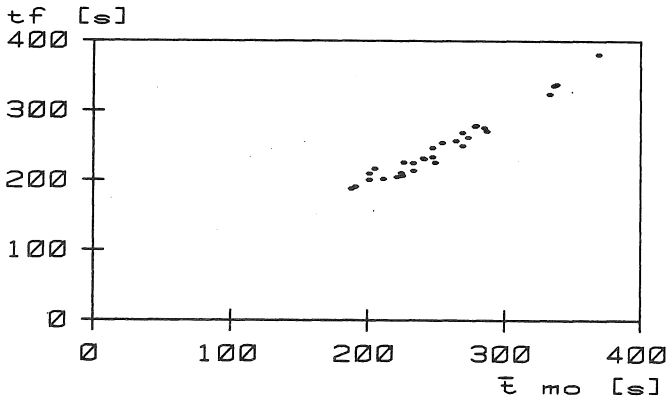


Abb. 5.5/4: Zusammenhang zwischen \bar{t}_{m0} und t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;

$X_L=4.800$ m; Richtung 1

5.5.4 Korrelation zwischen \bar{t}_{m0} und E

Der Zusammenhang zwischen \bar{t}_{m0} und E ist in den Abbildungen 5.5/5 und 5.5/6 dargestellt. Man erkennt, daß zwischen niedrigen Verkehrsstärken einerseits und mittleren bis hohen Verkehrsstärken andererseits ein deutlicher Unterschied besteht. Ähnlich fallen auch die Testergebnisse aus. Zwar wird bei Betrachtung der Gesamtzahl aller Simulationsläufe die Nullhypothese überwiegend nicht abgelehnt, jedoch ist das Ergebnis keinesfalls eindeutig. Betrachtet man dagegen die einzelnen Simulationsläufe, so stellt man fest, daß bei Verkehrsstärken von ca. 200 Fz/h die Nullhypothese eindeutig nicht abgelehnt wird und somit \bar{t}_{m0} und E als nicht miteinander korreliert angesehen werden können, während bei höheren Verkehrsstärken sich Ablehnung und Nichtablehnung in etwa die Waage halten und somit keine eindeutige Aussage möglich ist.

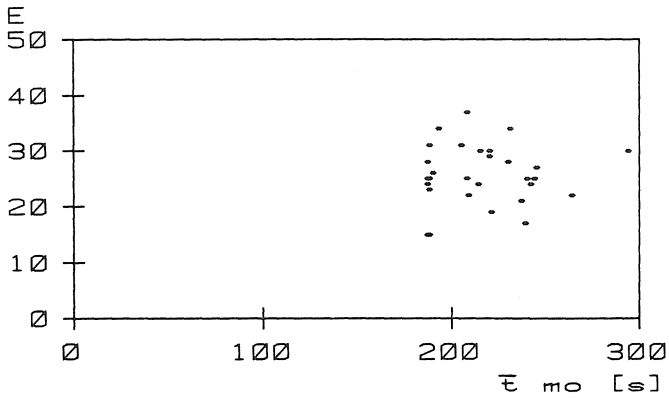


Abb. 5.5/5: Zusammenhang zwischen \bar{t}_{mo} und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

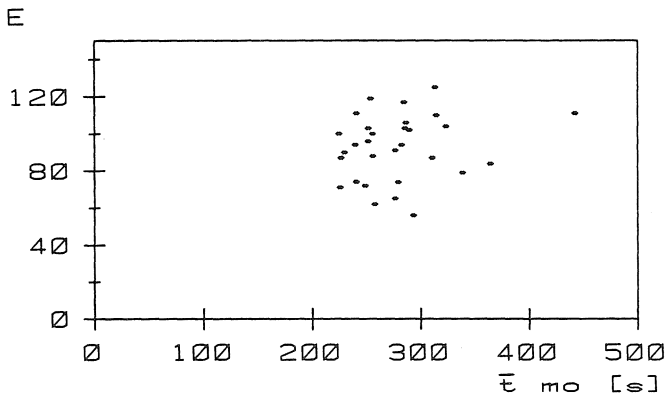


Abb. 5.5/6: Zusammenhang zwischen \bar{t}_{mo} und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=600$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

5.6 Kumulative Durchschnitte der 'Moving Observer'- Parameter q_{mo} und t_{mo}

Bisher wurden ausschließlich die einzelnen MO-Meßwerte M_a , M_p , t_f , E und die MO-Parameter q_{mo} und t_{mo} betrachtet. Im folgenden wird nun auf die eigentliche Fragestellung dieser Arbeit eingegangen, nämlich wieviele Meßfahrtenpaare notwendig sind, um aus den einzelnen $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$ ($k=1(1)M$; M : Anzahl der Meßfahrtenpaare) die Verkehrsstärke und die durchschnittliche Reisezeit mit einer angebbaren Genauigkeit zu bestimmen und ob q_{mo} und t_{mo} als Schätzwerte für q_{RZ} und t_{RZ} geeignet sind.

5.6.1 Theoretische Überlegungen

Um die Frage nach der erforderlichen Anzahl von Meßfahrtenpaaren zu beantworten, werden zunächst einige theoretische Überlegungen angestellt, die anschließend durch den Vergleich mit den durch die Simulation erhaltenen Daten auf ihre Brauchbarkeit hin überprüft werden.

Wie in Kapitel 3 dargelegt wurde, müssen in dem hier untersuchten Fall der Stationarität II. Ordnung q_{mo} und t_{mo} als arithmetische Mittel q_{mo}^* und t_{mo}^* aus einzelnen, nacheinander gewonnenen Werten $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$ ($k=1(1)M$) berechnet werden. Geht man davon aus, daß eine bestimmte Anzahl M von Meßfahrtenpaaren durchgeführt werden kann, bzw. wie im Falle dieser Untersuchung als Simulationsdaten zur Verfügung steht, so führt dies zu der Fragestellung, wieviele Meßfahrtenpaare m ($m \leq M$) davon zur Durchschnittsberechnung genommen werden müssen, um aus $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$ die Verkehrsstärke und die durchschnittliche Reisezeit mit einer angebbaren Genauigkeit zu bestimmen.

Dazu erscheint es zunächst naheliegend, den zeitlichen Verlauf der einzelnen Durchschnitte q_{mo}^* und t_{mo}^* mit zunehmendem Stichprobenumfang m zu betrachten. Dieser zeitliche Verlauf wird im folgenden allgemein als kumulativer Durchschnitt $\bar{x}_{kum,k}$ bezeichnet, wobei gilt:

$$\bar{x}_{kum,k} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i \quad k = 1(1)m \quad (V.2)$$

Da für den zugrundeliegenden Verkehrsablauf Stationarität II. Ordnung vorausgesetzt wird, ist zu vermuten, daß für $k \rightarrow \infty$ die Folge $\bar{x}_{kum,k}$ einem Grenzwert \bar{x}_{grenz} zustrebt, nachdem zu Beginn mehr oder weniger starke Schwankungen auftreten können. Dies ist in Abbildung 5.6/1 dargestellt.

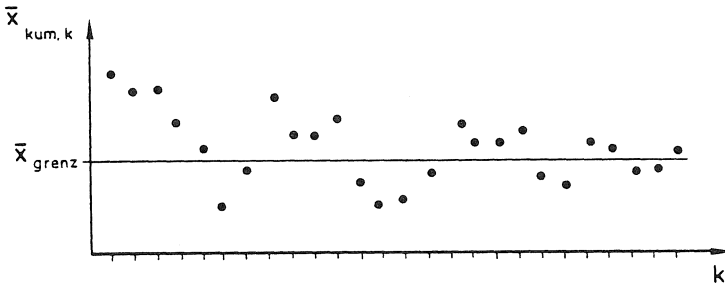


Abb. 5.6/1: Erwarteter Verlauf von $\bar{x}_{kum,k}$

Würde nun der tatsächliche Verlauf von $\bar{x}_{kum,k}$ dieser Vermutung entsprechen so wäre folgendes weitere Vorgehen denkbar:

Es wird versucht, mit Hilfe der Regressionsanalyse je einen funktionalen Zusammenhang zwischen den Abweichungen nach "oben" bzw. nach "unten" und k zu finden. Ihr Verlauf müßte einen "Regressionstrichter" ergeben, wie er in Abbildung 5.6/2 zu sehen ist.

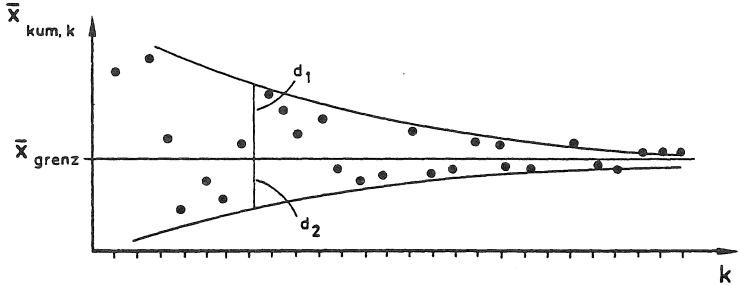


Abb. 5,6/2: "Regressionstrichter" für $\bar{x}_{kum,k}$

Mit Hilfe dieses Trichters kann nun versucht werden einen funktionalen Zusammenhang zwischen der Trichterbreite (d_1+d_2) und k herzuleiten. Da die Trichterbreite ein Maß für die Abweichung der $\bar{x}_{kum,k}$ von \bar{x}_{grenz} darstellt, kann somit zu einer vorgegebenen Abweichung ein zugehöriges k bestimmt werden und umgekehrt.

5.6.2 Tatsächliche Verläufe von $\bar{x}_{\text{kum},k}$ und Schlußfolgerungen

Nach diesen theoretischen Betrachtungen stellt sich nun die Frage, wie der tatsächliche Verlauf von $\bar{x}_{\text{kum},k}$ aussieht. Die Auswertung der aus den Simulationsdaten gewonnenen Werte ergab, daß die theoretisch erwarteten Verläufe nur in etwa einem Drittel der Fälle auftreten. In den übrigen zwei Dritteln konnte kein Hinweis gefunden werden, der darauf hindeutet, daß $\bar{x}_{\text{kum},k}$ einem Grenzwert \bar{x}_{Grenz} zustrebt.

Was sich allerdings deutlich erkennen läßt, ist, daß die Verläufe von $\bar{x}_{\text{kum},k}$ im allgemeinen zunächst sehr stark schwanken, dann aber relativ schnell "geglättet" werden, wie in Abbildung 5.6/3 beispielhaft gezeigt ist. Diese Tatsache läßt die Vermutung zu, daß auf jeden Fall eine Minimalanzahl k_{min} von Meßfahrtenpaaren durchgeführt werden muß um überhaupt eine Aussage über q_{mo}^* und t_{mo}^* machen zu können. Tabelle 5.6/1 enthält quantitative Angaben über k_{min} , die durch die "Methode des scharfen Anschauens" gewonnen wurden.

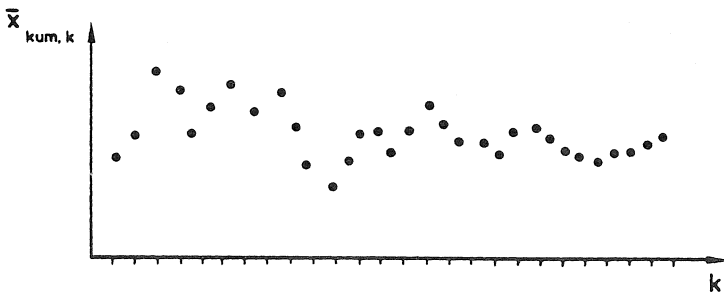


Abb. 5.6/3: Typischer Verlauf von $\bar{x}_{\text{kum},k}$

Tab. 5.6/1: Schätzungen für die Minimalanzahl k_{\min} von Meßfahrtenpaaren zur Bestimmung von q und t aufgrund der Verläufe von $\bar{x}_{kum,k}$

Streckenlänge [m] $q_v^*)$ [Fz/h]	für q			für \bar{t}		
	4.800	2.400	1.200	4.800	2.400	1.200
200	4	6	11	5	6	7
400	7	7	13	7	8	9
600	8	8	15	7	8	11

*) jeweils vorgegebene Verkehrsstärke für beide Richtungen

Bei der Auswertung zeigte sich übrigens in Übereinstimmung mit den übrigen Ergebnissen dieser Arbeit, daß hinsichtlich der Parameter "Lkw-Anteil", "Kurven" und "Steigungen" keinerlei Einfluß erkennbar war. Hingegen sind die Parameter "vorgegebene Verkehrsstärke" und "Streckenlänge" als relevant anzusehen.

Anzumerken bleibt noch, daß aufgrund früherer Ergebnisse (siehe 5.3, 5.4 und 5.5) nur noch Simulationsläufe mit Werten für den Parameter $v_{wgmo} > 0,50$ betrachtet werden. Zwischen diesen verbleibenden Werten von 0,60, 0,70 und 0,85 konnten ebenfalls keine Hinweise auf einen Einfluß dieses Parameters gefunden werden. Dies bedeutet, daß unter der bereits früher aufgestellten Restriktion $v_{wgmo} > 0,50$ auch dieser Parameter als nicht relevant anzusehen ist.

5.7 Referenzmessungen

Die bisher in diesem Kapitel angestellten Betrachtungen beziehen sich ausschließlich auf die von der MOM gelieferten Werte. Es wurde noch nichts über die Genauigkeit der auf diese Art und Weise gewonnenen Größen q_{m0} und t_{m0} ausgesagt. Um aber hierüber Aussagen machen zu können, ist es erforderlich, die beiden zu messenden Parameter q und t auch durch andere, bereits bekannte, und somit als Vergleichsmaßstab dienende, Meßmethoden zu bestimmen und die so erhaltenen Werte denjenigen von q_{m0} und t_{m0} gegenüberzustellen.

Diese anderen Meßmethoden sind die in Kapitel 3 beschriebene

- räumlich-zeitliche,
- lokale und
- momentane Messung.

Aufgrund der in 3.2.4 angestellten Überlegungen über den vermuteten Zusammenhang zwischen den räumlich-zeitlichen Größen q_{rz} und t_{rz} mit den MO-Größen q_{m0} und t_{m0} und nachdem versucht werden soll, q_{rz} und t_{rz} durch q_{m0} und t_{m0} zu schätzen, wird das Schwergewicht in dieser Gegenüberstellung in erster Linie bei der räumlich-zeitlichen Messung liegen.

Das Vorgehen bei einer räumlich-zeitlichen, einer lokalen und einer momentanen Messung wurde bereits in 3.2 beschrieben, so daß in den folgenden Abschnitten nur noch auf die Meßwertgewinnung, wie sie sich im Zusammenhang mit der Simulation ergibt, eingegangen wird.

Soll eine MO-Messung mit einer räumlich-zeitlichen, einer lokalen und einer momentanen Messung verglichen werden, so ergibt sich das Problem, daß die verschiedenen Methoden teilweise Größen liefern, die nicht unmittelbar miteinander vergleichbar sind:

- Die MOM, die räumlich-zeitliche und die lokale Meßmethode liefern die Verkehrsstärken q_{mo} , q_{rz} und q_{lk} , die momentane Messung hingegen die Verkehrsdichte k_m ;
- Die MOM liefert die durchschnittliche Reisezeit t_{mo} , die räumlich-zeitliche, die lokale und die momentane Messung hingegen jeweils die durchschnittlichen Geschwindigkeiten v_{rz} , v_{lk} und v_m .

Um einen Vergleich durchführen zu können, müssen die verschiedenen Größen miteinander kompatibel gemacht werden. Dies bedeutet:

- q_{mo} , q_{rz} und q_{lk} müssen entweder in k_{mo} , k_{rz} und k_{lk} umgerechnet werden oder k_m in q_m ;
- t_{mo} muß entweder in v_{mo} umgerechnet werden oder v_{rz} , v_{lk} und v_m in t_{rz} , t_{lk} und t_m .

Nachdem die MOM Thema dieser Untersuchung ist sollen ihre Größen, t_{mo} und q_{mo} , als Basisgrößen genommen werden. Entsprechend sind k_m in q_m und v_{rz} , v_{lk} und v_m in t_{rz} , t_{lk} und t_m umzurechnen.

Für k_m erfolgt die Umrechnung mittels der Zustandsgleichung (III,6)

$$q_m = k_m \cdot v_m .$$

\bar{v}_{rz} , \bar{v}_{lk} und \bar{v}_m werden mittels der Beziehung

$$\bar{t} = \frac{X}{\bar{v}} \quad (V.3)$$

umgerechnet, wobei gilt:

\bar{t} : durchschnittliche Reisezeit
 X : Wegintervall
 \bar{v} : Geschwindigkeitsmittel

also:

$$\bar{t}_{rz} = \frac{X_4 - X_3}{\bar{v}_{rz}} \quad (V.4)$$

$$\bar{t}_{lk} = \frac{X_4 - X_3}{\bar{v}_{lk}} \quad (V.5)$$

$$\bar{t}_m = \frac{X_4 - X_3}{\bar{v}_m} \quad (V.6)$$

Die Größe \bar{t}_{lk} trägt leider die sprachlich etwas unglückliche Bezeichnung "durchschnittliche lokale Reisezeit", die aber sachlich gerechtfertigt erscheint. Selbstverständlich ist es problematisch, aus lokal gemessenen Geschwindigkeiten Reisezeiten zu berechnen. Trotzdem ist dies hier zulässig, da diese Werte nicht als alleinige Referenzwerte zur MO-Messung herangezogen werden, sondern weil im Grunde genommen auch ein Vergleich zwischen der räumlich-zeitlichen und lokalen Messung durchgeführt wird.

5.7.1 Räumlich-zeitliche Messung

Wie in 3.2.3 beschrieben, wird bei der räumlich-zeitlichen Methode innerhalb eines definierten Weg-Zeit-Ausschnitts gemessen. Auf die Verhältnisse des in 4.2 beschriebenen und für diese Untersuchung verwendeten Simulationsmodells SIMLA 2/MO bezogen, besteht der Weg-ausschnitt gerade aus dem Teil der Simulationsstrecke, der zwischen den Querschnitten X_3 und X_4 liegt. Der Zeitausschnitt besteht aus einer Folge von nahtlos aufeinander folgenden Festzeitintervallen von jeweils gleicher Länge. Für diese einzelnen Festzeitintervalle werden von SIMLA 2/MO jeweils die Größen

- räumlich-zeitliche Verkehrsstärke q_{rz} und
- räumlich-zeitliche durchschnittliche Reisezeit t_{rz}

berechnet.

5.7.2 Lokale Messung

Bei einer lokalen Messung werden normalerweise an einem Querschnitt innerhalb der Meßstrecke die durchfahrenden Fahrzeuge gezählt und ihre Geschwindigkeiten gemessen. Aufgrund der Struktur von SIMLA 2/MO ist jedoch innerhalb der Meßstrecke kein Meßquerschnitt vorhanden. Stattdessen sind die Enden der Meßstrecke, X_3 und X_4 , als Meßquerschnitte ausgebildet. Hier werden jeweils die durchfahrenden Fahrzeuge gezählt und ihre Geschwindigkeiten gemessen. Zur Berechnung von q_{lk} und t_{lk} wird jeweils das arithmetische Mittel aus den Werten für X_3 und X_4 genommen.

Wie bei der räumlich-zeitlichen Messung wird auch hier die gesamte Simulationsdauer in Festzeitintervalle unterteilt. Das bedeutet, daß sich jeweils die Anzahl der Fahrzeuge, N , und das lokale Geschwindigkeitsmittel

auf die Dauer eines solchen Festzeitintervalls beziehen.

Die lokale Verkehrsstärke q_{lk} in der Einheit [Fz/h] erhält man aus der Beziehung:

$$q_{lk} = N * \frac{60 \text{ [min]}}{\text{Dauer des Festzeitintervalls [min]}} \quad (\text{V.7})$$

Die durchschnittliche lokale Reisezeit $\bar{\tau}_{lk}$ ergibt sich aus (V.5).

5.7.3 Momentane Messung

Bei einer momentanen Messung werden zu einem bestimmten Zeitpunkt die auf der Meßstrecke befindlichen Fahrzeuge gezählt und ihre Geschwindigkeiten erfaßt. Auf diese Weise liefert SIMLA 2/MO die momentane Dichte k_m auf dem Streckenabschnitt X_3-X_4 und das momentane Geschwindigkeitsmittel \bar{v}_m . In Anpassung an die räumlich-zeitliche und lokale Messung wird dies jeweils an den "Nahtstellen" der Festzeitintervalle durchgeführt.

Die momentane Verkehrsstärke q_m sowie die momentane durchschnittliche Reisezeit $\bar{\tau}_m$ ergeben sich aus der Zustandsgleichung (II.6).

5.8 Relationen zwischen der 'Moving Observer'-Methode und den Referenzmessungen

5.8.1 Grundsätzliche Überlegungen

In 5.7 wurde erwähnt, daß die von den verschiedenen Meßmethoden gelieferten Werte nicht unmittelbar miteinander vergleichbar sind. Deshalb wurde erläutert, wie zu verfahren ist, damit als Ergebnis der Messungen sowohl die zu vergleichenden Verkehrsstärken q_{MO} , q_{RZ} , q_{1k} und q_{m_i} als auch die durchschnittlichen Reisezeiten \bar{t}_{MO} , \bar{t}_{RZ} , \bar{t}_{1k} und \bar{t}_m erhalten werden. Trotzdem ist aber auch jetzt ein unmittelbarer Vergleich noch nicht möglich, denn die von den verschiedenen Meßmethoden gelieferten Werte beziehen sich jeweils auf eine unterschiedliche Zeitbasis.

Im einzelnen heißt dies:

- a) Die MO-Messung basiert auf denjenigen Zeitintervallen, innerhalb derer die Meßfahrzeuge jeweils die Meßstrecke durchfahren. Da im allgemeinen sowohl die Startzeitpunkte als auch die Fahrdauern und somit auch die Endzeitpunkte der beiden Meßfahrzeuge differieren (siehe 6.2 und 7.2), ist im Grunde genommen die Angabe einer exakten Intervalldauer für ein Meßfahrtenpaar nicht möglich. Da die Unterschiede aber im allgemeinen gering sind kann die Intervalldauer aber zumindest näherungsweise angegeben werden. Allerdings sind die einzelnen Intervalle von der Umkehrzeit unterbrochen, so daß nicht während der gesamten Untersuchungsdauer gemessen wird.
- b) Bei der räumlich-zeitlichen Messung ist die Dauer der Festzeitintervalle exakt festgelegt. Da die Intervalle unmittelbar aufeinander folgen, wird während der gesamten Untersuchungsdauer gemessen.

- c) Bei der lokalen Messung gilt für die Dauern der Festzeitintervalle das Gleiche wie beim räumlich-zeitlichen Vorgehen.
- d) Bei der momentanen Messung hat die Dauer eines Festzeitintervalles eigentlich genau die gegenteilige Bedeutung wie bei den übrigen Meßarten, denn während des Festzeitintervalls wird nicht gemessen. Eine Messung findet hier nur zum Zeitpunkt des Übergangs von einem Festzeitintervall zum nächsten statt.

Für einen Vergleich der unterschiedlichen Meßmethoden ist es deshalb erforderlich, die zu vergleichenden Werte auf eine einheitliche Zeitbasis zu stellen. Da im Rahmen dieser Untersuchung vornehmlich die räumlich-zeitliche Methode als Vergleichsmaßstab herangezogen wird, sind zwei Vorgehensweisen denkbar:

- entweder wird die Dauer der Meßfahrtenpaare als Basis genommen und während dieser Zeitintervalle jeweils eine räumlich-zeitliche Beobachtung durchgeführt, oder
- die Dauern der räumlich-zeitlichen Messungen - also die Festzeitintervalle - werden als Basis genommen und versucht, die Meßfahrtenpaare möglichst gut damit zu synchronisieren.

So einleuchtend die erste Vorgehensweise zu sein scheint, so gravierend sind doch ihre Nachteile. Wie aus der theoretischen Betrachtung der beiden Meßmethoden hervorgeht (s. 3.2), erfassen sie nicht exakt das gleiche Verkehrsgeschehen. Aufgrund der Definition der räumlich-zeitlichen Methode werden sämtliche "relevanten Verkehrsbewegungen" innerhalb des Weg-Zeit-Ausschnittes erfaßt, während die MOM nur das erfassen kann, was die Meßfahrzeuge registrieren. All das, was "vor" oder "hinter" ihnen passiert, bleibt unerfaßt.

Dies ist ein Nachteil der MOM im Vergleich zur räumlich-zeitlichen Methode.

Damit wird eigentlich auch schon die Frage beantwortet, welche der beiden Methoden die "richtigen" Werte liefert. Es ist dies ganz zweifellos die räumlich-zeitliche Methode. Da hier alle relevanten Verkehrsvorgänge erfaßt werden, kann man sogar soweit gehen und ihre Meßwerte als die "wahren" Werte bezeichnen. Dies bedeutet aber, daß sich bei einem Vergleich eines Meßfahrtenpaares mit einer während derselben Dauer durchgeführten räumlich-zeitlichen Messung Unterschiede ergeben müßten. Daß dies tatsächlich der Fall ist, wird in 5.8.3 gezeigt. Somit ist es aber wenig sinnvoll, einen Vergleich nur anhand eines einzigen Intervalls durchzuführen. Vielmehr müssen mehrere Intervalle erfaßt werden, so daß dann ein Vergleich der entsprechenden Durchschnitte möglich ist.

Ein weiterer Nachteil der MOM liegt darin, daß aufgrund der notwendigen Umkehrzeit nicht während der gesamten Simulationsdauer gemessen werden kann, sondern nur während der Dauern der Meßfahrtenpaare. Würde die räumlich-zeitliche Messung auch nur während der Dauern der Meßfahrtenpaare durchgeführt, so würde sie um einen Teil ihrer zeitlichen Meßbasis beraubt, also der Meßumfang geringer werden. Da das zu messende Verkehrsgeschehen aber stochastischen Charakter hat, nimmt mit abnehmendem Meßumfang auch die Genauigkeit der Messung ab.

Da die räumlich-zeitliche Beobachtung die "wahren" Werte liefern soll, muß sie das gesamte Verkehrsgeschehen während der Untersuchungsdauer erfassen. Dies kann aber nur dann erreicht werden, wenn auch während der gesamten Untersuchungsdauer gemessen wird. Folglich ist die zweite Vorgehensweise zu wählen, so daß der zu messende Verkehrsablauf über die gesamte Untersuchungsdauer

lückenlos erfaßt wird. Dadurch wird das Verkehrsgeschehen hinsichtlich Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit durch die Wertefolgen $q_{rz,p}$ und $\bar{t}_{rz,p}$ ($p=1(1)P$; P : Anzahl aller Festzeitintervalle) abgebildet. Geht man davon aus, daß diese Wertefolgen das "wahre" Verkehrsgeschehen repräsentieren - und nach den obigen Überlegungen ist dies gerechtfertigt - so ist jetzt zu untersuchen, inwieweit die durch die MOM gewonnenen Wertefolgen $q_{mo,k}$ und $\bar{t}_{mo,k}$ ($k=1(1)M$; M : Anzahl aller Meßfahrtenpaare) sich von den Wertefolgen $q_{rz,p}$ und $\bar{t}_{rz,p}$ unterscheiden. Um dies zu untersuchen ist eine Synchronisation zwischen den Wertefolgen der verschiedenen Meßmethoden notwendig, die im Folgenden beschrieben wird.

5.8.2 Synchronisation der Meßwertreihen

Der gesamten Untersuchungsdauer wird ein Raster von einzelnen Festzeitintervallen überlagert. Während eines solchen Intervalls wird eine räumlich-zeitliche Beobachtung über das gesamte Wegintervall X_3-X_4 und eine lokale Beobachtung an den Endquerschnitten X_3 und X_4 vorgenommen. Außerdem wird jeweils zu den Zeitpunkten des Übergangs von einem Festzeitintervall zum nächsten eine momentane Messung durchgeführt. Diesem festen Intervallraster sind die Dauern der Meßfahrtenpaare überlagert. Dies ist in Abb. 5.8/1 dargestellt.

Dann wird jedem Festzeitintervall ein räumlich-zeitlicher, ein lokaler und ein momentaner Wert für q und \bar{t} zugewiesen. Als räumlich-zeitlicher Wert wird der während des betreffenden Intervalls ermittelte, als lokaler Wert das arithmetische Mittel aus den während der Intervalldauer an X_3 und X_4 gemessenen Werten genommen. Der momentane Wert ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel aus den Messungen zu Beginn und Ende des Intervalls.

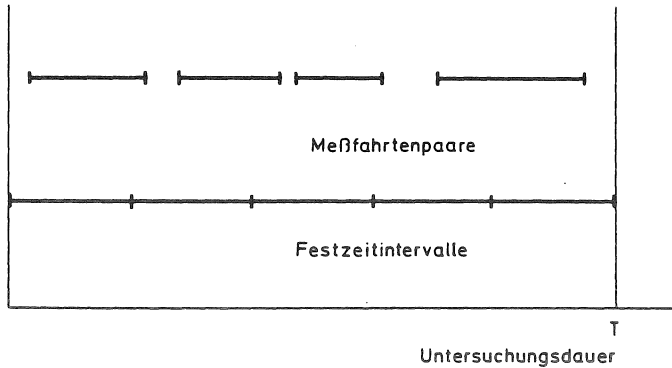


Abb. 5.8/1: Überlagerung der Dauern von Meßfahrtenpaaren und Festzeitintervallen

Nachdem nun jedes Intervall mit einem räumlich-zeitlichen, einem lokalen und einem momentanen Wert für q und t versehen ist, wird jetzt versucht, eine Zuordnung von Intervallen und Meßfahrtenpaaren vorzunehmen.

Dabei dient als Kriterium für eine mögliche Zuordnung die Überdeckung \bar{u} von Meßfahrtenpaar und Festzeitintervall. \bar{u} berechnet sich folgendermaßen:

$$\bar{u} = \frac{2 \cdot t_g}{t_k + t_p} \quad (\text{V.8})$$

Dabei ist (vgl. Abbildung 5.8/2)

t_g : gemeinsame Dauer von Meßfahrtenpaar k und Festzeitintervall p

t_k : Dauer des Meßfahrtenpaares k

t_p : Dauer des Festzeitintervalls p

Sind das Meßfahrtenpaar k und das Festzeitintervall p völlig deckungsgleich so ist $\bar{u}=1,0$. Überschneiden sie sich nicht, so ist $\bar{u}=0$. Sonst gilt für die Überdeckung: $0 < \bar{u} < 1,0$.

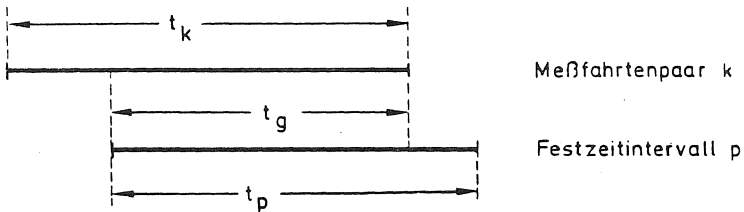


Abb. 5.8/2: Relative Lage von Meßfahrtenpaar k und Festzeitintervall p

5.8.3 Intervallweiser Vergleich

Aus 5.8.1 geht hervor, daß es nicht sinnvoll erscheint, einen Vergleich der MO-Werte mit den Referenzwerten nur anhand eines einzigen Meßfahrtenpaares bzw. Festzeitintervalles durchzuführen. Vielmehr müssen dazu Durchschnittswerte über mehrere Meßfahrtenpaare bzw. Festzeitintervalle gebildet werden.

Weiterhin wurde bemerkt, daß sich die MO-Werte von den räumlich-zeitlichen Werten auch für den Fall unterscheiden, wenn Meßfahrtenpaar und Festzeitintervall deckungsgleich sind. Im folgenden soll nun gezeigt werden, daß diese Überlegungen gerechtfertigt sind.

Dazu wurde versucht, aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Daten diejenigen Meßfahrtenpaare herauszusuchen, die mit einem Festzeitintervall deckungsgleich sind. Da aber bereits die beiden Fahrten eines Meßfahrtenpaares unterschiedliche Dauern aufweisen (s. 6.2 und 7.2) und darüber hinaus auch noch gegeneinander versetzt sind, ist eine exakte zeitliche Fixierung pro-

blematisch. Deshalb wurde hier folgende Vorgehensweise gewählt: Der Beginn eines Meßfahrtenpaares wird durch den Startzeitpunkt desjenigen MO-Fahrzeuges festgelegt, das als erstes startet, das Ende durch denjenigen Zeitpunkt, an dem beide MO-Fahrzeuge die Meßstrecke durchfahren haben. Dabei dürfen die Abweichungen der Startzeitpunkte, der Fahrt dauern und der Endzeitpunkte maximal 5% betragen.

Insgesamt wurden 83 Meßfahrtenpaare gefunden, die diese Bedingungen erfüllen.

Die so zeitlich festgelegten Meßfahrtenpaare werden dann mit dem Intervallraster mit Hilfe der in 5.8.2 beschriebenen Vorgehensweise synchronisiert. Dabei wird eine Überdeckung von $\bar{u}=0,95$ gefordert. Eine vollständige Überdeckung würde aufgrund der obigen Ausführungen nur eine Genauigkeit vortäuschen, die nicht vorhanden ist.

Da die Simulationsparameter, z.B. die "vorgegebene Verkehrsstärke" und somit vermutlich auch die durchschnittlichen Reisezeiten für die einzelnen Simulationsläufe unterschiedlich sind, ist die Angabe einer absoluten Differenz zwischen den MO-Werten und den Referenzwerten nicht für einen Vergleich geeignet. Stattdessen erfolgt die Berechnung als relative Differenz RD:

$$RD = \frac{MO\text{-Wert} - \text{Referenzwert}}{MO\text{-Wert}} \cdot 100 [\%] \quad (V.9)$$

Beim Vergleich von q_{m0} und $\bar{\epsilon}_{m0}$ mit q_{r2} und $\bar{\epsilon}_{r2}$ ergab sich die in Tabelle 5.8/1 dargestellte Situation.

Tab. 5.8/1: Relative Differenzen von q und \bar{t} zwischen
MO- und räumlich-zeitlicher Messung

Relative Differenzen RD [%]	$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100$	$\frac{t_{mo} - t_{rz}}{t_{mo}} \cdot 100$
maximale Differenz	- 31,9%	- 17,4%
minimale Differenz	- 1,6%	- 0,4%
arithm. Mittel	- 15,7%	- 5,0%
Standardabweichung	12,4%	5,7%

Aus Tabelle 5.8/1 geht eindeutig hervor, daß sich die MO-Werte von den räumlich-zeitlichen Werten auch dann unterscheiden, wenn Meßfahrtenpaar und Festzeitintervall praktisch deckungsgleich sind. Dieses Ergebnis rechtfertigt das oben vorgeschlagene Vorgehen, nachdem eine Untersuchung über den Zusammenhang der MO-Werte mit den Referenzwerten nur anhand eines Vergleichs der Durchschnittswerte, die aus mehreren Meßfahrtenpaaren bzw. Festzeitintervallen gewonnen wurden, vorgenommen werden sollte.

5.9 Vergleich der kumulativen Durchschnitte der 'Moving Observer'-Parameter q_{mo} und t_{mo} mit den entsprechenden Parametern der Referenzmessungen q_{ref} und t_{ref}

Nachdem das Konzept des kumulativen Durchschnitts für q_{mo} und t_{mo} nicht zum Erfolg führte, wird im folgenden untersucht, ob es für die Differenzen zwischen q_{mo} und q_{ref} bzw. t_{mo} und t_{ref} zu einem Ergebnis führt. Dazu werden wie in 5.6 zunächst einige theoretische Betrachtungen angestellt, die dann anhand der Simulationsdaten auf ihre Brauchbarkeit hin überprüft werden.

5.9.1 Theoretische Überlegungen

Für den Vergleich von q_{mo} und t_{mo} mit q_{ref} und t_{ref} erscheint es zweckmäßig, die Differenzen zwischen ihnen zu betrachten.

Dazu zunächst zwei Hinweise:

- Werden die drei Referenzmessungen gemeinsam angesprochen, so wird analog zu der Abkürzung "mo" die Abkürzung "ref" verwendet.
- Die Berechnung der Differenzen erfolgt grundsätzlich so, daß vom mo-Wert der ref-Wert abgezogen wird (mo - ref). Dies bedeutet, daß bei einer positiven Differenz der mo-Wert größer und bei einer negativen Differenz kleiner als der ref-Wert ist.

Zur Berechnung der Differenzen wird der kumulative Durchschnitt der MOM $\bar{x}_{kum,k,mo}$ sowie der entsprechenden Referenzmessung $\bar{x}_{kum,k,ref}$ ($k=1(1)M$) benutzt.

Wie bereits in 5.8.3 erwähnt wurde, ist die einfache Differenz als Vergleichsmaßstab nicht geeignet, da die vorgegebenen Verkehrsstärken sehr unterschiedlich sind.

Deshalb erfolgt die Berechnung der Differenzen analog zu 5.8.3 als relative Differenz $\bar{x}_{\text{kum},k,(mo-ref)}$ der kumulativen mo- und ref-Werte:

$$\bar{x}_{\text{kum},k,(mo-ref)} = \frac{\bar{x}_{\text{kum},k,mo} - \bar{x}_{\text{kum},k,ref}}{\bar{x}_{\text{kum},k,mo}} \cdot 100 [\%] \quad (\text{V.10})$$

Da für den zugrundeliegenden Verkehrsablauf Stationarität II. Ordnung vorausgesetzt wird, ist zu vermuten, daß für $k \rightarrow \infty$ die Folge $\bar{x}_{\text{kum},k,(mo-ref)}$ einem festen Grenzwert $\bar{x}_{\text{grenz},(mo-ref)}$ zustrebt, nachdem zu Beginn mehr oder weniger starke Schwankungen auftreten können.

Analog zu 5.6.1 ist der folgende, in Abbildung 5.9/1 dargestellte Verlauf denkbar: $\bar{x}_{\text{kum},k,(mo-ref)}$ schwankt zunächst nach beiden Seiten und strebt schließlich $\bar{x}_{\text{grenz},(mo-ref)}$ zu. Dabei sind die Fälle $\bar{x}_{\text{grenz},(mo-ref)}$ größer Null, kleiner Null oder gleich Null möglich.

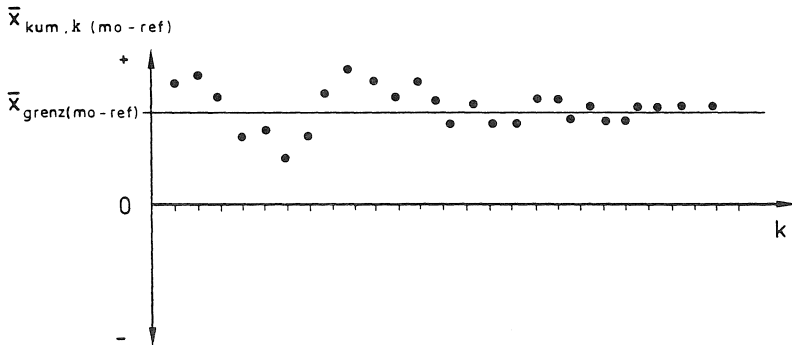


Abb. 5.9/1: Erwarteter Verlauf von $\bar{x}_{\text{kum},k,(mo-ref)}$

Würde nun der tatsächliche Verlauf von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$ dieser Vermutung entsprechen, so wäre ein weiteres Vorgehen analog zu 5.6 denkbar: Die Bestimmung eines "Regressionstrichters" und eines funktionalen Zusammenhanges zwischen Trichterbreite und Anzahl der Meßfahrtenpaare.

5.9.2 Tatsächliche Verläufe von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$ und Schlußfolgerungen

Der Vergleich der tatsächlichen Verläufe von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$ mit den theoretisch erwarteten ergab ein Ergebnis, das demjenigen von 5.6 entspricht. So traten nur in ca. 30% der Fälle Verläufe auf, die in das obige Schema gepaßt hätten.

Auch hier konnte für die restlichen 70% kein Hinweis darauf gefunden werden, daß $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$ einem Grenzwert zustrebt. Allerdings zeigte sich auch hier das schon in 5.6 beobachtete Verhalten, daß die Verläufe von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$ im allgemeinen zunächst stark schwanken, dann aber sehr schnell "geglättet" werden, wie dies in Abbildung 5.9/2 zu erkennen ist.

Auch hier läßt diese Tatsache die Vermutung zu, daß eine Minimalanzahl k_{min} von Meßfahrtenpaaren notwendig ist, damit eine Aussage über den Verlauf von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$ gemacht werden kann.

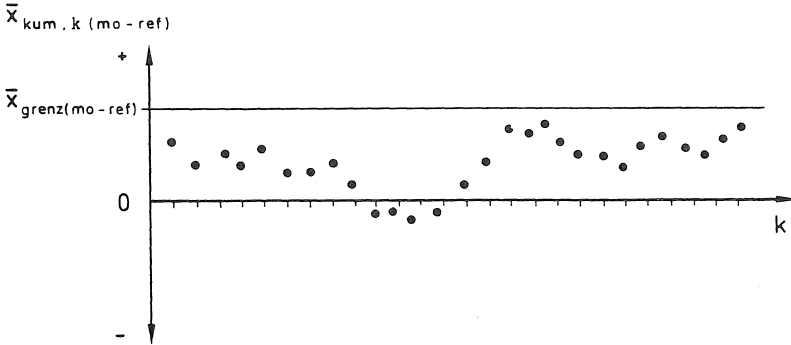


Abb. 5.9/2: Typischer Verlauf von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$

Zum Abschluß noch einige quantitative Angaben (Tabelle 5.9/1) über k_{min} , die nach der "Methode des scharfen Anschauens" gewonnen wurden und sich weitgehend mit den Angaben von Tabelle 5.6/1 decken.

Tab. 5.9/1: Schätzungen für die Minimalanzahl k_{min} von Meßfahrtenpaaren zur Bestimmung von q und \bar{t} aufgrund der Verläufe von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$

Streckenlänge $q_v^*)$ [Fz/h]	Streckenlänge [m]	für q			für \bar{t}		
		4.800	2.400	1.200	4.800	2.400	1.200
200		4	6	10	4	5	6
400		7	6	12	7	7	9
600		8	8	15	7	8	11

*) jeweils für beide Richtungen vorgegebene Verkehrsstärke

Wie in 5.6 zeigte sich auch hier, daß die Parameter "Lkw-Anteil", "Kurven" und "Steigungen" keinerlei Einfluß erkennen lassen und nur "vorgegebene Verkehrsstärke" und "Streckenlänge" als relevant anzusehen sind.

5.10 Berechnung von Konfidenzintervallen für die 'Moving Observer'-Mittelwerte q_{mo}^* und t_{mo}^* aus den einzelnen 'Moving Observer'-Parametern $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$

5.10.1 Vorbemerkungen

In 5.6 und 5.9 wurde versucht, durch das sukzessive Einbeziehen der einzelnen $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$ eine Gesetzmäßigkeit für den Verlauf der kumulativen Durchschnitte $q_{mo,kum,k}$ und $t_{mo,kum,k}$ bzw. der kumulativen Differenzen $q_{kum,k(mo-ref)}$ und $t_{kum,k(mo-ref)}$ zu finden. Da dieses Vorgehen nicht zum Ziel führte, wird nun ein Weg eingeschlagen, bei dem von Anfang an sämtliche zur Verfügung stehenden Daten benutzt werden. Dabei werden sogenannte Konfidenzintervalle für die Mittelwerte q_{mo}^* und t_{mo}^* bzw. in 5.11 für die Mittelwerte der relativen Differenzen $q_{(mo-ref)}^*$ und $t_{(mo-ref)}^*$ berechnet.

Diese Konfidenzintervalle erlauben es, aus den durchgeführten Simulationsläufen Rückschlüsse auf zukünftige reale Messungen zu ziehen. Da diese Rückschlüsse im allgemeinen um so zuverlässiger sind, je größer die zugrundeliegende Datenbasis ist, erscheint es deshalb sinnvoll, die verschiedenen Simulationsläufe in einzelnen, in sich weitgehend homogene Klassen zusammenzufassen. Somit können dann Aussagen gemacht werden, die für eine ganze Klasse von Simulationsläufen gelten. Da die Datenbasis einer solchen Klasse größer ist als diejenige eines einzigen Simulationslaufes, sind folglich auch die Aussagen, die die Klasse betreffen, zuverlässiger, als wenn sie sich nur auf einen einzigen Lauf stützen.

Aber auch aus Gründen der Übersichtlichkeit erscheint eine solche Zusammenfassung in Klassen zweckmäßig.

Darüber hinaus kann aber aus einer solchen Klasseneinteilung auch abgelesen werden, welche Verkehrsparameter - also "Lkw-Anteil", "Kurven", "Steigungen", "vorgegebene Verkehrsstärke" und "Streckenlänge" relevant sind und welche nicht. Deshalb wird zunächst in 5.10.2 eine solche Klasseneinteilung vorgenommen. Die dabei entstehenden Klassen werden im folgenden als "Basisklassen" bezeichnet. Anschließend werden in 5.10.3 für jede Basisklasse Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und t_{mo}^* berechnet. In 5.11 erfolgt dann die Untersuchung, inwieweit q_{mo}^* und t_{mo}^* mit q_{ref}^* und t_{ref}^* übereinstimmen.

5.10.2 Einteilung der Simulationsläufe in Basisklassen

Als Kriterium für die Zusammenfassung mehrerer Simulationsläufe zu einer gemeinsamen Basisklasse soll die Verteilungscharakteristik der $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$ dienen. Dabei soll eine Zusammenfassung mehrerer Läufe immer dann erfolgen, wenn sie die "gleiche" Verteilung aufweisen. Unter "gleich" wird hier verstanden, daß sowohl die Verteilungsart als auch die Verteilungsparameter übereinstimmen. Da aus 5.4.3 hervorgeht, daß für alle Serien die Hypothese der Lognormalverteilung für $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$ nicht widerlegt werden kann, bleibt somit nur noch zu untersuchen, inwieweit sich die Parameter der Lognormalverteilung - Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung s - innerhalb der einzelnen Simulationsläufe voneinander unterscheiden.

Aufgrund der Ergebnisse bei der Bestimmung der Verteilungsart von MO-Meßwerten und MO-Parametern in 5.3.3 und 5.4.3 und den in 5.2 gemachten Beobachtungen hinsichtlich einer Beeinflussung des Verkehrsablaufs durch die MO-Fahrzeuge wurde gefordert, daß für den Parameter "Wunschgeschwindigkeit der MO-Fahrzeuge v_{wgmo} " gelten muß $v_{wgmo} > 0,50$. Da somit von vornherein nur Simulationsläufe betrachtet werden, die diese Forderung er-

füllen, kann für die weitere Untersuchung dieser Parameter als nicht relevant angesehen werden. Dasselbe kann zunächst auch für die Parameter "Lkw-Anteil", "Kurven" und "Steigungen" vermutet werden, da in 5.3.3 und 5.4.3 bei der Bestimmung der Verteilungsart kein Einfluß dieser Parameter erkennbar war.

Da der Parameter "vorgegebene Verkehrsstärke" zwangsläufig einen Einfluß auf q_{m0} hat, wird dieser als relevant angenommen. Das gleiche gilt auch für den Parameter "Streckenlänge", der zwangsläufig einen direkten Einfluß auf t_{m0} hat.

Zur Untersuchung, ob die aufgestellten Vermutungen zutreffen, wurden die Simulationsläufe mit $v_{wgmo} > 0,50$ in insgesamt 3×3 Basisklassen eingeteilt. Das erste Einteilungskriterium war die vorgegebene Verkehrsstärke mit den Werten von $q_v = 200, 400$ und 600 Fz/h. Das zweite Kriterium war die Streckenlänge, die Werte von $X_L = 1.200, 2.400$ und 4.800 m annahm.

Bei der Einteilung der Läufe hinsichtlich der vorgegebenen Verkehrsstärke ergab sich das Problem, daß oftmals für beide Richtungen unterschiedliche Verkehrsstärken vorgegeben wurden. Im Grunde genommen stellt jeder Lauf eigentlich eine "Doppelsimulation" dar, denn es werden gleichzeitig zwei Richtungen simuliert. Deshalb wurde bei der folgenden Auswertung jeder Lauf in zwei einzelne "Richtungsläufe" aufgespalten, die dann getrennt ausgewertet wurden. In diesem Sinne sind auch die Angaben in Tabelle 5.10/1 über die jeweilige Anzahl von "Richtungssimulationen" n_c pro Basisklasse zu verstehen.

In Tabelle 5.10/1 sind außerdem die jeweiligen Klassenmittelwerte \bar{x}_c und Klassenstandardabweichungen \bar{s}_c ; $c=1(1)9$ für q_{m0} und t_{m0} zu finden. Die Berechnung von \bar{x}_c und \bar{s}_c erfolgte nach den Beziehungen

$$\bar{x}_c = \frac{1}{m_c} \cdot \sum_{i=1}^{n_c} m_i \cdot \bar{x}_i \quad (V.11)$$

und

$$s_c = \sqrt{\frac{1}{m_c - 1} \cdot \left[\sum_{i=1}^{n_c} (m_i - 1) s_i^2 + m_c (\bar{x}_i - \bar{x}_c)^2 \right]} \quad (V.12)$$

Wobei gilt

\bar{x}_i : Mittelwert der i-ten Richtungssimulation

s_i : Standardabweichung der i-ten Richtungssimulation

m_i : Anzahl der Meßfahrtenpaare der i-ten Richtungssimulation

$m_c = \sum_{i=1}^{n_c} m_i$: Anzahl aller Meßfahrtenpaare der Klasse c

Tab. 5,10/1: Anzahl der Richtungssimulationen n_c , Mittelwerte \bar{x}_c und Standardabweichungen s_c der MO-Parameter der Basisklassen

Streckenlänge [m] vor- gegebene Verkehrsstärke [Fz/h]	1.200		2.400		4.800	
	q	\bar{t}	q	\bar{t}	q	\bar{t}
200	52 229,14 1,45	52 56,77 1,17	52 220,67 1,38	52 105,15 1,16	62 210,37 1,25	62 213,50 1,13
400	52 447,07 1,37	52 61,17 1,19	52 408,37 1,32	52 118,33 1,23	62 385,53 1,21	62 249,08 1,20
600	52 609,58 1,27	52 64,84 1,19	52 596,58 1,25	52 131,67 1,23	62 591,69 1,21	62 277,54 1,17

Legende:

n_c
\bar{x}_c
s_c

Um die Hypothese dieser vermuteten Klasseneinteilung zu untermauern, wurde der H-Test von KRUSKALL und WALLIS verwendet, wie er z.B. bei SACHS (1984), S. 238 beschrieben ist. Dieser Test prüft die Nullhypothese, daß sämtliche Simulationsläufe einer Klasse aus derselben Grundgesamtheit stammen.

Der Test ergab für Signifikanzniveaus von $\alpha=1\%$, 5% und 10% , daß die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann. Somit wird also diese vermutete Klasseneinteilung als zutreffend angenommen und als Ausgangsbasis für die weiteren Untersuchungen verwendet.

5.10.3 Berechnungsweise der Konfidenzintervalle

Durch die Zusammenfassung der Simulationsläufe in einzelne Klassen ergaben sich 9 "Datenbasen", die für die weitere Auswertung dienten. Dabei wurden für jede Klasse sogenannte Konfidenzintervalle für die Mittelwerte $q_{m_0,c}^*$ und $t_{m_0,c}^*$ berechnet. Ein solches Konfidenzintervall gibt in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang n und einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit α denjenigen Bereich an, in dem sich der Erwartungswert der Grundgesamtheit befindet. Da die zugrundeliegenden $q_{m_0,k}$ und $t_{m_0,k}$ als lognormalverteilt angenommen werden können, berechnen sich diese Konfidenzintervalle folgendermaßen (vgl. SACHS (1984), S. 86 ff):

Als erstes müssen die lognormalverteilten Meßwerte x_i in normalverteilte Werte transformiert werden. Das kann dadurch erfolgen, daß man nicht die ursprünglichen x_i , sondern ihre Logarithmen $\lg(x_i)$ betrachtet. Diese können dann als normalverteilt angesehen werden. Aus den $\lg(x_i)$ können Mittelwert $\bar{x}_{\lg(x_i)}$ und Streuung $s_{\lg(x_i)}^2$ berechnet werden, wobei gilt:

$$\bar{x}_{\lg(x_i)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lg(x_i) \quad (V.13)$$

$$s^2_{\lg(x_i)} = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg(x_i) - \bar{x}_{\lg(x_i)})^2 \quad (V.14)$$

Aus den so erhaltenen $\bar{x}_{\lg(x_i)}$ und $s^2_{\lg(x_i)}$ kann dann zusammen mit dem Stichprobenumfang n und der vorzugebenden Irrtumswahrscheinlichkeit α ein Konfidenzintervall bestimmt werden zu:

$$[\bar{x}_{\lg(x_i)} \pm t_{n-1, \alpha} \cdot \sqrt{s^2_{\lg(x_i)}/n}] \quad (V.15)$$

wobei

$t_{n-1, \alpha}$ die Schranke der t-Verteilung bei $n-1$ Freiheitsgraden und der Irrtumswahrscheinlichkeit α ist.

Aufgrund der eingangs erfolgten Transformation der log-normalverteilten x_i in normalverteilte $\lg(x_i)$ ist jetzt eine Rücktransformation der beiden Intervallgrenzen erforderlich. Diese Rücktransformation erfolgt in der Art und Weise, daß jeweils der Antilogarithmus von unterer Grenze l_u und oberer Grenze l_o gebildet wird. Der Antilogarithmus ist die Umkehrfunktion des Logarithmus.

Es gilt (vgl. BRONSTEIN-SEMENDJAJEW (1973), S. 113):

Ist L der Logarithmus, b die Basis und Z eine Zahl und gilt:

$$L = \log_b(Z),$$

so ergibt sich der Antilogarithmus zu

$$\text{antilog}_b(L) = \text{antilog}_b(\log_b(Z)) = Z$$

Damit ist also

$$\text{antilg} [\bar{x}_{\lg(x_i)} \pm t_{n-1, \alpha} \cdot \sqrt{s^2_{\lg(x_i)}/n}] \quad (V.16)$$

das Konfidenzintervall, innerhalb dessen der Erwartungswert von X bei einem Stichprobenumfang n und einer Irrtumswahrscheinlichkeit α liegt.

Die Berechnung eines solchen Konfidenzintervalls erfolgt normalerweise so, daß $\bar{x}_{1g(x_i)}$ und $s^2_{1g(x_i)}$ aus den n Stichprobenwerten bestimmt werden. Im vorliegenden Fall entspricht n jeweils der Anzahl der Meßfahrtenpaare pro Klasse m_c . Da im folgenden auch Konfidenzintervalle für $n < m_c$ berechnet werden sollen, würde dies bedeuten, daß zur Berechnung nur ein Teil der vorhandenen Information benutzt wird. Da aber die gesamte Information (für $n = m_c$) bereits vorliegt ist dies wenig sinnvoll. Stattdessen wird folgende Vorgehensweise gewählt: Für alle $n < m_c$ werden $\bar{x}_{1g(x_i)}$ und $s^2_{1g(x_i)}$ immer aus den m_c zur Verfügung stehenden Meßfahrtenpaaren pro Klasse berechnet. Durch dieses Vorgehen wird also auch für $n < m_c$ die gesamte zur Verfügung stehende Information genutzt. $\bar{x}_{1g(x_i)}$ und $s^2_{1g(x_i)}$ haben somit für jede Klasse den Charakter von Konstanten. Da auch $t_{n-1, \alpha}$ nur von n abhängt (α wird a priori vorgegeben) ist die einzige Variable in (V.16) gerade n .

Da die Verkehrsstärke zwischen den Klassen stark variiert, ist es wenig sinnvoll, ein absolutes Konfidenzintervall anzugeben. Stattdessen wird das relative Konfidenzintervall bestimmt. Dieses ergibt sich aus dem absoluten nach der Beziehung:

untere relative Abweichung rl_u

$$rl_u = \frac{\text{antilg}(\bar{x}_{1g(x_i)}) - l_u}{\text{antilg}(\bar{x}_{1g(x_i)})} \cdot 100 \quad [\%] \quad (\text{V.17a})$$

obere relative Abweichung rl_0

$$rl_0 = \frac{\text{antilg}(\bar{x}_{lg}(x_i)) + l_0}{\text{antilg}(\bar{x}_{lg}(x_i))} \cdot 100 \quad [\%] \quad (\text{V.17b})$$

wobei

$$l_U = \text{antilg} \left[\bar{x}_{lg}(x_i) - t_{n-1, \alpha} \sqrt{s^2_{lg}(x_i)/n} \right] \quad (\text{V.18a})$$

das untere Ende

und

$$l_0 = \text{antilg} \left[\bar{x}_{lg}(x_i) + t_{n-1, \alpha} \sqrt{s^2_{lg}(x_i)/n} \right] \quad (\text{V.18b})$$

das obere Ende von (V.16) ist.

Damit ist also

$$[rl_U; rl_0]_{n, \alpha} \quad (\text{V.19})$$

das relative Konfidenzintervall, innerhalb dessen der Erwartungswert von X bei einem Stichprobenumfang n und einer Irrtumswahrscheinlichkeit α liegt.

Mit (V.17a,b) und (V.18a,b) eingesetzt ergibt sich:

$$\frac{\text{antilg}(\bar{x}_{lg}(x_i)) - (\text{antilg}(\bar{x}_{lg}(x_i) - t_{n-1, \alpha} \sqrt{s^2_{lg}(x_i)/n}))}{\text{antilg}(\bar{x}_{lg}(x_i))} \cdot 100 \quad [\%];$$

$$\frac{\text{antilg}(\bar{x}_{lg}(x_i)) + (\text{antilg}(\bar{x}_{lg}(x_i) + t_{n-1, \alpha} \sqrt{s^2_{lg}(x_i)/n}))}{\text{antilg}(\bar{x}_{lg}(x_i))} \cdot 100 \quad [\%]$$

(V.20)

Die Werte für $\bar{x}_{lg}(x_i)$ und $s_{lg}(x_i)$, mit denen die relativen Konfidenzintervalle für die verschiedenen Klassen berechnet werden, sind in Tabelle 5.10/2 zusammengestellt.

Die Konfidenzintervalle können nun für verschiedene M berechnet werden. Dabei ist allerdings zu beachten, daß aufgrund der Verläufe der kumulativen Durchschnitte in

5.6 und den in Tab. 5.6/1 aufgeführten Minimalanzahlen von Meßfahrtenpaaren davon ausgegangen werden muß, daß mindestens 5 bis 10 Meßfahrtenpaare durchgeführt werden sollten.

In den Tabellen A5.10/3(a-i) im Anhang 5 sind relative Konfidenzintervalle für verschiedene M berechnet.

Tab. 5.10/2: Parameter $\bar{x}_{lg}(x_i)$ und $s_{lg}(x_i)$ für die Berechnung der relativen Konfidenzintervalle für $q_{mo,c}^*$ und $t_{mo,c}^*$

Strecken- vor- gegebene Verkehrs- stärke [Fz/h]	1.200		2.400		4.800	
	q	\bar{t}	q	\bar{t}	q	\bar{t}
200	52	52	52	52	62	62
	2,3601 0,1614	1,7541 0,0682	2,3437 0,1399	2,0218 0,0645	2,3230 0,0969	2,3294 0,0531
400	52	52	52	52	62	62
	2,6504 0,1367	1,7865 0,0755	2,6111 0,1206	2,0731 0,0899	2,5861 0,0828	2,3963 0,0792
600	52	52	52	52	62	62
	2,7850 0,1038	1,8118 0,0748	2,7757 0,0969	2,1195 0,0893	2,7721 0,0824	2,4433 0,0693

Legende:

n_c $\bar{x}_{lg}(x_i)$ $s_{lg}(x_i)$

Die berechneten Konfidenzintervalle basieren auf Daten, die anhand von SIMLA 2/MO gewonnen wurden. Da dieser Untersuchung die Voraussetzung zugrunde liegt, daß SIMLA 2/MO die Realität wirklichkeitsgetreu nachbildet, können die damit gemachten Aussagen auch wieder in die Realität übertragen werden. Eine Antwort auf die Frage ob, und gegebenenfalls inwieweit, dies berechtigt ist können die Untersuchungen in Kapitel 6 anhand von prak-

tisch durchgeführten Messungen geben. Hier an dieser Stelle kann qua definitionem davon ausgegangen werden, daß dies zulässig ist. Somit stellen die hier ermittelten Konfidenzintervalle Schätzwerte für die in der Realität auftretenden Konfidenzintervalle dar. Dies bedeutet, daß, wenn zwischen der MOM und der, die wahren Mittelwerte liefernden räumlich-zeitlichen Messung, keine systematischen Differenzen existieren, diese wahren Mittelwerte für die bei einer in der Realität durch eine MO-Messung mit M Meßfahrtenpaaren und der Vorgabe einer Irrtumswahrscheinlichkeit α ermittelten Durchschnitte $\text{antilg}(\bar{x}_{1g}(q_{no,k}))$ und $\text{antilg}(\bar{x}_{1g}(\bar{t}_{no,k}))$ innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

Für die Verkehrsstärke:

$$\left[\text{antilg}(\bar{x}_{1g}(q_{no,k})) + \frac{rl_{u,q} \cdot \text{antilg}(\bar{x}_{1g}(q_{no,k}))}{100}; \right. \\ \left. \text{antilg}(\bar{x}_{1g}(q_{no,k})) + \frac{rl_{o,q} \cdot \text{antilg}(\bar{x}_{1g}(q_{no,k}))}{100} \right] M, \alpha \quad (\text{V.21a})$$

Für die durchschnittliche Reisezeit:

$$\left[\text{antilg}(\bar{x}_{1g}(\bar{t}_{no,k})) + \frac{rl_{u,\bar{t}} \cdot \text{antilg}(\bar{x}_{1g}(\bar{t}_{no,k}))}{100}; \right. \\ \left. \text{antilg}(\bar{x}_{1g}(\bar{t}_{no,k})) + \frac{rl_{o,\bar{t}} \cdot \text{antilg}(\bar{x}_{1g}(\bar{t}_{no,k}))}{100} \right] M, \alpha \quad (\text{V.21b})$$

Bei der Anwendung dieser Vorgehensweise können zwei Probleme auftreten:

Das erste betrifft die Tatsache, daß die Länge der zu untersuchenden Strecke im allgemeinen nicht mit den drei für die Simulation verwendeten Längen von $X_L=1.200, 2.400$ und 4.800 m übereinstimmt. Deshalb müssen die mit den Parametern aus Tabelle 5.10/1 berechne-

ten Konfidenzintervalle der jeweiligen aktuellen Streckenlänge angepaßt werden. Dies geschieht durch lineare Interpolation (vgl. BRONSTEIN-SEMENDJAJEW (1973), S. 1).

Beträgt also beispielsweise die Länge der zu untersuchenden Strecke $X_{L,aktuell}$ und sind $rl_{u,q}(X_{L,grenz1})$, $rl_{u,q}(X_{L,grenz2})$, $rl_{u,\bar{f}}(X_{L,grenz1})$ und $rl_{u,\bar{f}}(X_{L,grenz2})$ die jeweiligen Untergrenzen der Konfidenzintervalle für $X_{L,grenz1}$ und $X_{L,grenz2}$, so ergeben sich die Untergrenzen für $X_{L,aktuell}$, $rl_{u,q}(X_{L,aktuell})$ und $rl_{u,\bar{f}}(X_{L,aktuell})$ wie folgt:

$$rl_{u,q}(X_{L,aktuell}) = rl_{u,q}(X_{L,grenz1}) + \frac{X_{L,aktuell} - X_{L,grenz1}}{X_{L,grenz2} - X_{L,grenz1}} \cdot (rl_{u,q}(X_{L,grenz2}) - rl_{u,q}(X_{L,grenz1})) \quad (V.22a)$$

$$rl_{u,\bar{f}}(X_{L,aktuell}) = rl_{u,\bar{f}}(X_{L,grenz1}) + \frac{X_{L,aktuell} - X_{L,grenz1}}{X_{L,grenz2} - X_{L,grenz1}} \cdot (rl_{u,\bar{f}}(X_{L,grenz2}) - rl_{u,\bar{f}}(X_{L,grenz1})) \quad (V.22b)$$

Die Berechnung der Obergrenzen $rl_{o,q}(X_{L,aktuell})$ und $rl_{o,\bar{f}}(X_{L,aktuell})$ erfolgt in analoger Weise.

Ein weiteres Problem stellt sich dadurch, daß auch die gemessene bzw. die tatsächliche Verkehrsstärke im allgemeinen nicht mit den für die Simulation vorgegebenen Verkehrsstärken von 200, 400 und 600 Fz/h übereinstimmt. Um dieses Problem zu lösen werden, ebenfalls analog zum Vorgehen bei der Streckenlänge, mit Hilfe der linearen Interpolation die Konfidenzintervalle der tatsächlich vorhandenen Verkehrsstärke angepaßt. Dabei ist zu beachten, daß für die beiden Werte zwischen denen interpoliert wird, bereits die mit (V.22a,b) der aktuellen Streckenlänge angepaßten Größen verwendet werden.

Analog zu (V.22a,b) ergeben sich hierfür die beiden Interpolationsformeln (V.23a,b):

$$r_{l_u,q}(q_{\text{aktuell}}) = r_{l_u,q}(q_{\text{grenz1}}) + \frac{q_{\text{aktuell}} - q_{\text{grenz1}}}{q_{\text{grenz2}} - q_{\text{grenz1}}} \cdot (r_{l_u,q}(q_{\text{grenz2}}) - r_{l_u,q}(q_{\text{grenz1}})) \quad (\text{V.23a})$$

$$r_{l_u,\bar{t}}(q_{\text{aktuell}}) = r_{l_u,\bar{t}}(q_{\text{grenz1}}) + \frac{q_{\text{aktuell}} - q_{\text{grenz1}}}{q_{\text{grenz2}} - q_{\text{grenz1}}} \cdot (r_{l_u,\bar{t}}(q_{\text{grenz2}}) - r_{l_u,\bar{t}}(q_{\text{grenz1}})) \quad (\text{V.23b})$$

Auch hier erfolgt die Berechnung der Obergrenzen $r_{l_o,q}(q_{\text{aktuell}})$ und $r_{l_o,\bar{t}}(q_{\text{aktuell}})$ in analoger Weise.

Keine Aussage ist bis jetzt noch hinsichtlich der Fragestellung gemacht worden, wie sich die MO-Werte zu den Referenzwerten verhalten. Insbesondere ist noch die Frage zu beantworten, in welchem Maße die MO-Parameter von den räumlich-zeitlichen Parametern - die ja die wahren Parameter darstellen - abweichen. Dies soll in 5.11 untersucht werden.

5.10.4 Beispiel

Die in 5.10.3 entwickelte Vorgehensweise zur Berechnung von Konfidenzintervallen für q_{MO}^* und \bar{t}_{MO}^* soll jetzt anhand eines kurzen und bewußt einfach gehaltenen Beispiels verdeutlicht werden. Ein ausführliches Beispiel zur praktischen Anwendung der MOM ist in 8.3 zu finden.

Auf einem Streckenabschnitt der Länge $X_L=2.400$ m wurden zur Bestimmung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit für Richtung 1 insgesamt 20 Meßfahrtenpaare nach der MOM durchgeführt. Dabei kann davon ausgegangen werden, daß während der Messung Stationarität herrschte und die Verkehrsstärke in der Größenordnung

von $q=400$ Fz/h lag. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wird $\alpha=5\%$ gewählt. Die durch die Messung erhaltenen Werte für $q_{mo,k}$ und $\bar{t}_{mo,k}$ sind in Tabelle 5.10/3 aufgeführt.

Vorgehen:

Als erster Schritt sind die $q_{mo,k}$ und $\bar{t}_{mo,k}$ zu logarithmieren. Dabei spielt die Wahl der Basis keine Rolle, es muß nur darauf geachtet werden, daß für die spätere Rücktransformation dieselbe Basis verwendet wird. Im vorliegenden Fall werden die $\lg(q_{mo,k})$ und $\lg(\bar{t}_{mo,k})$ zur Basis 10 berechnet. Diese sind ebenfalls in Tabelle 5.10/3 zu finden.

Tab. 5.10/3: Datengrundlage zur Berechnung von Konfidenzintervallen

Nr. des Meß- fahrtenpaares k	$q_{mo,k}$ [Fz/h]	$\lg(q_{mo,k})$	$\bar{t}_{mo,k}$ [s]	$\lg(\bar{t}_{mo,k})$
1	420	2,6232	109	2,0374
2	486	2,6866	123	2,0899
3	344	2,5366	99	1,9956
4	292	2,4654	97	1,9868
5	476	2,6776	153	2,1847
6	460	2,6628	132	2,1206
7	517	2,7135	98	1,9912
8	348	2,5416	149	2,1732
9	417	2,6201	127	2,1038
10	338	2,5289	110	2,0414
11	408	2,6107	97	1,9868
12	683	2,8344	119	2,0755
13	390	2,5911	124	2,0934
14	344	2,5366	170	2,2304
15	458	2,6609	98	1,9912
16	346	2,5391	141	2,1492
17	333	2,5224	130	2,1139
18	420	2,6232	109	2,0374
19	380	2,5798	101	2,0043
20	295	2,4698	190	2,2788
		$\bar{x}\lg(q_{mo,k})$ = 2,6012		$\bar{x}\lg(\bar{t}_{mo,k})$ = 2,0843

Aus den $\lg(q_{m0,k})$ und $\lg(\bar{t}_{m0,k})$ werden dann die arithmetischen Mittelwerte $\bar{x}_{\lg}(q_{m0,k})$ und $\bar{x}_{\lg}(\bar{t}_{m0,k})$ berechnet.

Man erhält:

$$\bar{x}_{\lg}(q_{m0,k}) = 2,6012 \quad \bar{x}_{\lg}(\bar{t}_{m0,k}) = 2,0843$$

Die Berechnung der Konfidenzintervalle erfolgt mittels (V.21a,b). Dazu werden zunächst antilg ($\bar{x}_{\lg}(q_{m0,k})$) und antilg ($\bar{x}_{\lg}(\bar{t}_{m0,k})$) berechnet.

Man erhält:

$$\text{antilg}(\bar{x}_{\lg}(q_{m0,k})) = \text{antilg}(2,6012) = 399 \text{ Fz/h}$$

$$\text{antilg}(\bar{x}_{\lg}(\bar{t}_{m0,k})) = \text{antilg}(2,0843) = 121 \text{ s}$$

Die notwendigen $rl_{u,q}$, $rl_{o,q}$, $rl_{u,\bar{t}}$ und $rl_{o,\bar{t}}$ erhält man aus Tabelle A5.10/3e.

$$rl_{u,q} = -14\% \quad rl_{u,\bar{t}} = -16\%$$

$$rl_{o,q} = +7\% \quad rl_{o,\bar{t}} = +6\%$$

Durch Einsetzen in (V.21a,b) erhält man schließlich:

für die Verkehrsstärke:

$$[343 \text{ Fz/h}; 427 \text{ Fz/h}]_{M=20; \alpha=5\%}$$

für die durchschnittliche Reisezeit:

$$[102 \text{ s}; 128 \text{ s}]_{M=20; \alpha=5\%}$$

d.h., bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=5\%$ und 20 Meßfahrtenpaaren liegt die tatsächliche Verkehrsstärke zwischen 343 und 427 Fz/h und die tatsächliche durchschnittliche Reisezeit zwischen 102 und 128 s.

5.11 Berechnung von Konfidenzintervallen für die 'Moving Observer'-Mittelwerte q_{mo}^* und t_{mo}^* aus den Differenzen zwischen der MO-Messung und der räumlich-zeitlichen Messung

5.11.1 Vorbemerkungen

Um zu untersuchen, wie sich die MO-Parameter q_{mo} und t_{mo} zu den entsprechenden Referenzparametern q_{ref} und t_{ref} verhalten, werden im folgenden die relativen Differenzen zwischen q_{mo} und q_{ref} bzw. t_{mo} und t_{ref} betrachtet. Ihre Berechnung erfolgt analog zu 5.9 mittels der Beziehung

$$x_{k,(mo-ref)} = \frac{x_{k,mo} - x_{k,ref}}{x_{k,mo}} \cdot 100 [\%] \quad (V.24)$$

Da sich in 5.9 zeigte, daß der Überdeckungsgrad \bar{u} mehr oder weniger ohne Bedeutung ist, wurde er hier für die Synchronisation von Meßfahrtenpaaren und Festzeitintervallen mit $\bar{u}=0,5$ gewählt. Damit werden einerseits allzugroße Zeitunterschiede zwischen Meßfahrtenpaaren und den Festzeitintervallen vermieden, andererseits ist es aber noch möglich, alle Meßfahrtenpaare mit einem Festzeitintervall zu synchronisieren.

Da die so erhaltenen $x_{k,(mo-ref)}$ als Realisationen einer Zufallsvariablen $X_{(mo-ref)}$ aufgefaßt werden, lag es nahe, die verschiedenen Folgen der $x_{k,(mo-ref)}$, wie sie sich für jeden Simulationslauf ergaben, zunächst auf ihre Zufällsmäßigkeit zu untersuchen. Dazu wurde der schon in 5.3.2 und 5.4.2 benutzte "Phasenhäufigkeitstest" von WALLIS und MOORE verwendet. Dieser Test ergab eindeutig, daß die Hypothese der Zufällsmäßigkeit nicht widerlegt werden kann.

Daraufhin wurden die $x_{k,(mo-ref)}$ auf die ihnen zugrunde liegende Verteilungsart untersucht. Dies erfolgte mit dem schon in 5.3.3 und 5.4.3 benutzten Kolmogoroff-

Smirnov-Test. Hierbei zeigte sich, daß die Hypothese der Normalverteilung nicht zu verwerfen ist und die $x_{k,(mo-ref)}$ somit als normalverteilt betrachtet werden können.

5.11.2 Einteilung der Simulationsläufe in Basisklassen

Als nächstes wurde versucht, die $x_{k,(mo-ref)}$ in einzelne Basisklassen zusammenzufassen. Dabei war es naheliegend, hierfür die Klasseneinteilung von 5.10.2 als Hypothese zu formulieren und zu versuchen, diese zu widerlegen. Das Vorgehen dabei war analog zu 5.10.2. Da die Hypothese dieser Klasseneinteilung (für alle drei Referenzmessungen) nicht widerlegt werden konnte, wurden analog zu 5.10.2 die Klassenmittelwerte \bar{x}_c und die Klassenstandardabweichungen \bar{s}_c ($c=1(19)$) berechnet. Das Ergebnis ist in den Tabellen 5.11/1(a-c) zu finden. Wie in 5.10, so soll auch hier diese Klasseneinteilung als Grundlage für die weitere Untersuchung dienen.

Tab. 5.11/1a: Anzahl der Richtungssimulationen n_c , Mittelwerte \bar{x}_c und Standardabweichungen \bar{s}_c der relativen Differenzen (mo-rz) der Basisklassen

Streckenlänge [m] vor-gegebene Verkehrsstärke [Fz/h]	1.200		2.400		4.800	
	q	\bar{t}	q	\bar{t}	q	\bar{t}
200	52 4,64 45,84	52 2,16 23,69	52 5,39 33,64	52 -6,91 15,40	62 3,83 20,17	62 -7,14 12,33
400	52 7,63 36,69	52 0,16 27,24	52 2,97 29,38	52 -4,48 18,72	62 1,69 18,29	62 -3,74 14,99
600	52 9,87 28,32	52 1,83 25,18	52 4,29 24,63	52 -3,63 16,38	62 1,95 17,70	62 -2,33 12,90

Legende:

n_c
\bar{x}_c
\bar{s}_c

Tab. 5.11/1b: Anzahl der Richtungssimulationen n_c , Mittelwerte \bar{x}_c und Standardabweichungen \bar{s}_c der relativen Differenzen (mo-lk) der Basis-klassen

Strecken- vor- gegebene Verkehrs- stärke [Fz/h]	Strecken- länge [m]	1.200		2.400		4.800	
		q	\bar{t}	q	\bar{t}	q	\bar{t}
200		52	52	52	52	62	62
		5,57	3,20	5,90	-5,59	4,31	-7,40
		46,21	17,20	27,53	15,05	18,63	12,22
400		52	52	52	52	62	62
		7,50	-0,16	2,99	-7,89	1,61	-8,90
		35,64	19,79	32,89	20,18	22,40	15,13
600		52	52	52	52	62	62
		8,23	1,27	5,01	-7,31	1,92	-5,21
		31,39	18,27	24,98	17,54	17,41	14,72

Tab. 5.11/1c: Anzahl der Richtungssimulationen n_c , Mittelwerte \bar{x}_c und Standardabweichungen \bar{s}_c der relativen Differenzen (mo-momentan) der Basisklassen

Strecken- vor- gegebene Verkehrs- stärke [Fz/h]	Strecken- länge [m]	1.200		2.400		4.800	
		q	\bar{t}	q	\bar{t}	q	\bar{t}
200		52	52	52	52	62	62
		-7,87	10,30	4,28	-7,51	4,69	-7,16
		76,87	26,19	41,26	24,84	24,28	14,92
400		52	52	52	52	62	62
		5,03	3,12	3,33	-5,48	1,59	-3,03
		73,95	25,07	38,78	19,40	20,42	13,83
600		52	52	52	52	62	62
		8,67	4,47	5,63	-1,59	4,70	-2,58
		52,97	21,52	34,38	18,60	17,29	13,72

Legende:

n_c
\bar{x}_c
\bar{s}_c

Bei der Betrachtung der in den Tabellen 5.11/1(a-c) enthaltenen Daten fällt zunächst auf, daß die Mittelwerte relativ klein sind, die Standardabweichungen hingegen relativ groß. Weiter zeigt sich, daß zwischen den drei Referenzmessungen keine großen Unterschiede bestehen.

Auffallend ist jedoch, daß sich die räumlich-zeitlichen und die lokalen Differenzen nur geringfügig voneinander unterscheiden. Die Ursache kann darin gesehen werden, daß die Meßstrecke relativ "homogen" ist. "Homogen" soll hier bedeuten, daß die verkehrstechnischen Eigenschaften, wie Fahrbahnbeschaffenheit, Randbebauung etc. über die gesamte Länge der Meßstrecke konstant sind. Außerdem wurde ja einerseits eine gerade Strecke simuliert, andererseits zeigten sich hinsichtlich der gemessenen Werte auch keine Unterschiede zu den Strecken mit Kurven (Serie H und K) und Steigungen (Serie F und G).

Desweiteren kennt SIMLA 2/MO auch keine Beeinflussung der Fahrer-Fahrzeug-Elemente durch Faktoren wie "Fahrbahnbeschaffenheit", "Randbebauung" etc. Dies hat zur Folge, daß auf der gesamten Meßstrecke relativ "gleichmäßig" gefahren wird und die Geschwindigkeit eines Fahrer-Fahrzeug-Elementes an einem lokalen Meßquerschnitt im allgemeinen nur wenig von seiner Geschwindigkeit auf der übrigen Meßstrecke abweicht. Somit sind die hier erhaltenen Ergebnisse der lokalen Querschnittsmessung mit einem gewissen Vorbehalt zu betrachten, denn in der Realität wird je nach Beschaffenheit der Meßstrecke inhomogener gefahren, so daß davon ausgegangen werden muß, daß dort die Unterschiede zwischen räumlich-zeitlicher und lokaler Messung größer sein können.

Andererseits muß aber auch beachtet werden, daß, wenn in der Realität entsprechend "homogene" Meßstrecken vorliegen, die Ergebnisse der lokalen Querschnitts-

messung durchaus der Wirklichkeit entsprechen können. Dies ist insbesondere für die in Kapitel 6 durchgeführten Messungen wichtig, da dort ja nur die lokalen Werte als Referenzwerte zur Verfügung stehen. Da diese Messungen auf weitgehend "homogenen" Strecken durchgeführt wurden, können die dabei gemessenen lokalen Werte durchaus als Referenz für die MO-Messung dienen.

Aus den obigen Ausführungen ergibt sich, daß im Falle einer relativ homogenen Meßstrecke alle drei Referenzmessungen durch eine MO-Messung gut angenähert werden. Der Einfluß von Inhomogenitäten müßte anhand eines dafür geeigneten Simulationsmodells noch untersucht werden, doch ist stark zu vermuten, daß dann die Überlegenheit der räumlich-zeitlichen Methode deutlich wird.

Da in dieser Arbeit in erster Linie die Frage beantwortet werden soll, inwieweit die Ergebnisse einer MO-Messung mit denjenigen einer räumlich-zeitlichen Messung übereinstimmen, kann sich die weitere Untersuchung auf die räumlich-zeitliche Referenz beschränken.

5.11.3 Berechnungsweise der Konfidenzintervalle

Um herauszufinden, in welchem Maße die MO-Parameter q_{mo} und t_{mo} von den räumlich-zeitlichen Parametern q_{rz} und t_{rz} abweichen, wurden Konfidenzintervalle für die relativen Abweichungen $x_{k,(mo-rz)}$ berechnet. Da sie als normalverteilt angenommen werden können, berechnet sich ein solches Konfidenzintervall wie folgt (vgl. z.B. HARTUNG (1982), S. 161):

$$\left[\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \right]_{n, \alpha} \quad (V.25)$$

wobei:

\bar{x} : Mittelwert

s: Standardabweichung

$t_{n-1, \alpha}$: Schranke der t-Verteilung bei n-1 Freiheitsgraden und Irrtumswahrscheinlichkeit α

n: Stichprobenumfang

Analog zu 5.10.3 werden auch hier \bar{x} und s aus sämtlichen Werten einer Basisklasse berechnet, um so von Anfang an die gesamten zur Verfügung stehenden Informationen zu nutzen. \bar{x} und s haben somit wiederum für die zugehörige Basisklasse den Charakter von Konstanten. Im Gegensatz zu 5.10.3 werden hier aber keine relativen Konfidenzintervalle berechnet, da die Intervallgrenzen l_u und l_o ja bereits relative Größen - nämlich relative Differenzen - darstellen.

Die Werte für \bar{x} und s, mit denen die Konfidenzintervalle berechnet werden, sind Tabelle 5.11/1a zu entnehmen. Wie in 5.10.3 können nun auch hier Konfidenzintervalle für verschiedene M berechnet werden. Bezüglich der Minimalanzahl von durchzuführenden Meßfahrtenpaaren kann aufgrund der Verläufe der kumulativen Durchschnitte in 5.9 und den in Tab. 5.9/1 aufgeführten Ergebnissen davon ausgegangen werden, daß mindestens 5 bis 10 Meßfahrtenpaare durchgeführt werden sollten.

In Tabelle A5.11/2(a-i) im Anhang A5 sind Konfidenzintervalle für verschiedene M berechnet.

Da aufgrund der Überlegungen in 5.10.3 auch hier die aus der Simulation gewonnenen Ergebnisse auf die Realität übertragen werden können, bedeutet dies, daß für die, bei einer real durchgeführten MO-Messung mit M Meßfahrtenpaaren und einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit α ermittelten Durchschnitte q_{mo}^* und τ_{mo}^* , die räumlich-zeitlichen - also die wahren - Werte q_{rz}^* und τ_{rz}^* innerhalb folgender Grenzen liegen:

für q_{rz}^* :

$$[q_{mo}^* \cdot (1 + \frac{\bar{x}(mo-rz) - t_{M-1, \alpha} \cdot s(mo-rz) / \sqrt{M}}{100})];$$

$$q_{mo}^* \cdot (1 + \frac{\bar{x}(mo-rz) + t_{M-1, \alpha} \cdot s(mo-rz) / \sqrt{M}}{100})] M, \alpha \quad (V.26a)$$

für \bar{t}_{rz}^* :

$$[\bar{t}_{mo}^* \cdot (1 + \frac{\bar{x}(mo-rz) - t_{M-1, \alpha} \cdot s(mo-rz) / \sqrt{M}}{100})];$$

$$\bar{t}_{mo}^* \cdot (1 + \frac{\bar{x}(mo-rz) + t_{M-1, \alpha} \cdot s(mo-rz) / \sqrt{M}}{100})] M, \alpha \quad (V.26b)$$

Wird mit $l_u = \bar{x}(mo-rz) - t_{M-1, \alpha} \cdot \frac{s(mo-rz)}{\sqrt{M}}$ die untere Grenze

und mit $l_o = \bar{x}(mo-rz) + t_{M-1, \alpha} \cdot \frac{s(mo-rz)}{\sqrt{M}}$ die obere Grenze

des Konfidenzintervalls bezeichnet, so wird aus (V.26a, b)

für q_{rz}^* :

$$[q_{mo}^* \cdot (1 + \frac{l_u, q}{100}); \quad q_{mo}^* \cdot (1 + \frac{l_o, q}{100})] M, \alpha \quad (V.27a)$$

für \bar{t}_{rz}^* :

$$[\bar{t}_{mo}^* \cdot (1 + \frac{l_u, \bar{t}}{100}); \quad \bar{t}_{mo}^* \cdot (1 + \frac{l_o, \bar{t}}{100})] M, \alpha \quad (V.27b)$$

Für die Anwendung dieser Vorgehensweise gelten die in 5.10.3 gemachten Ausführungen über die Interpolation der Streckenlänge. Als Interpolationsformeln ergeben sich hier:

für q:

$$l_{u,q}(X_L, \text{aktuell}) = l_{u,q}(X_L, \text{grenz1}) + \frac{X_{L, \text{aktuell}} - X_{L, \text{grenz1}}}{X_{L, \text{grenz2}} - X_{L, \text{grenz1}}} \cdot [l_{u,q}(X_L, \text{grenz2}) - l_{u,q}(X_L, \text{grenz1})] \quad (\text{V.28a})$$

für t:

$$l_{u,\bar{t}}(X_L, \text{aktuell}) = l_{u,\bar{t}}(X_L, \text{grenz1}) + \frac{X_{L, \text{aktuell}} - X_{L, \text{grenz1}}}{X_{L, \text{grenz2}} - X_{L, \text{grenz1}}} \cdot [l_{u,\bar{t}}(X_L, \text{grenz2}) - l_{u,\bar{t}}(X_L, \text{grenz1})] \quad (\text{V.28b})$$

Die Berechnung der Obergrenzen $l_{o,q}(X_L, \text{aktuell})$ und $l_{o,\bar{t}}(X_L, \text{aktuell})$ erfolgt in analoger Weise.

Auch für die Interpolation der Verkehrsstärkeklassen gelten die in 5.10.3 gemachten Ausführungen. Als Interpolationsformeln ergeben sich hier:

für q:

$$l_{u,q}(q_{\text{aktuell}}) = l_{u,q}(q_{\text{grenz1}}) + \frac{q_{\text{aktuell}} - q_{\text{grenz1}}}{q_{\text{grenz2}} - q_{\text{grenz1}}} \cdot [l_{u,q}(q_{\text{grenz2}}) - l_{u,q}(q_{\text{grenz1}})] \quad (\text{V.29a})$$

für t:

$$l_{u,\bar{t}}(q_{\text{aktuell}}) = l_{u,\bar{t}}(q_{\text{grenz1}}) + \frac{q_{\text{aktuell}} - q_{\text{grenz1}}}{q_{\text{grenz2}} - q_{\text{grenz1}}} \cdot [l_{u,\bar{t}}(q_{\text{grenz2}}) - l_{u,\bar{t}}(q_{\text{grenz1}})] \quad (\text{V.29b})$$

Die Berechnung der Obergrenzen $l_{o,q}(q_{\text{aktuell}})$ und $l_{o,\bar{t}}(q_{\text{aktuell}})$ erfolgt auch hier in analoger Weise.

5.11.4 Beispiel

Die in 5.11.3 entwickelte Vorgehensweise zur Berechnung von Konfidenzintervallen für q_{mo}^* und t_{mo}^* soll jetzt anhand der Daten des Beispiels 5.10.4 verdeutlicht werden. Ein umfangreicheres Anwendungsbeispiel ist in 8.3 zu finden.

Vorgehen:

Da den hier zu bestimmenden Konfidenzintervallen eine Normalverteilung zugrunde liegt, ist im Gegensatz zu 5.10.4 kein Logarithmieren und späteres Rücktransformieren notwendig. Stattdessen können aus den Meßwerten $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$ unmittelbar die arithmetischen Mittelwerte q_{mo}^* und t_{mo}^* berechnet werden.

Mit den Daten von Beispiel 5.10.4 erhält man:

$$q_{mo}^* = 408 \text{ Fz/h} \quad \bar{t}_{mo}^* = 124 \text{ s}$$

Die zur Berechnung mittels (V.27a,b) notwendigen $l_{u,q}$, $l_{o,q}$, $l_{u,t}$ und $l_{o,t}$ erhält man aus Tabelle A5.11/2e

$$\begin{array}{ll} l_{u,q} = -8\% & l_{u,t} = -12\% \\ l_{o,q} = +14\% & l_{o,t} = +3\% \end{array}$$

Aus (V.27a,b) erhält man dann:

für die Verkehrsstärke:

$$[375 \text{ Fz/h}; 465 \text{ Fz/h}] M=20; \alpha=5\%$$

für die durchschnittliche Reisezeit:

$$[109 \text{ s}; 128 \text{ s}] M=20; \alpha=5\%$$

d.h. bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=5\%$ und 20 Meßfahrtenpaaren liegt die tatsächliche Verkehrsstärke zwischen 375 und 465 Fz/h und die tatsächliche durchschnittliche Reisezeit zwischen 109 und 128 s.

5.12 Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel wurden die aus der Simulation gewonnenen Daten ausgewertet. Nach der Untersuchung der zeitlichen Verläufe, Verteilungsformen und Korrelationen wurden Aussagen über die beiden Kernfragen dieser Arbeit gemacht:

- die Genauigkeit der durch die MOM erhaltenen Ergebnisse in Abhängigkeit von der Anzahl der Meßfahrtenpaare und
- den Grad der Übereinstimmung dieser Ergebnisse mit denjenigen der räumlich-zeitlichen Messung.

Hier an dieser Stelle sollen nun die Resultate von beiden in 5.10 und 5.11 entwickelten Vorgehensweisen für die Berechnung von Konfidenzintervallen einander gegenübergestellt und diskutiert werden.

Vergleicht man diese beiden Berechnungsweisen miteinander, so wird trotz der teilweisen Übereinstimmung von Intervallgrenzen doch insgesamt eine Diskrepanz sichtbar. Dies wirft natürlich die Frage auf, welche Vorgehensweise die "richtigen" Ergebnisse liefert. Die Antwort darauf ist eindeutig: Da bei der ersten Berechnungsweise nur Werte aus der MO-Messung verwendet werden, bei der zweiten jedoch zusätzlich die Daten der räumlich-zeitlichen Referenzmessung, liefert die zweite Vorgehensweise die "richtigen" Ergebnisse. Denn die Berechnung dieser Konfidenzintervalle basiert auf der Differenz, die zwischen den Ergebnissen der beiden Meßverfahren existiert. Somit ergibt sich zwangsläufig der Schluß, daß zwischen der MOM und der räumlich-zeitlichen Methode ein systematischer Unterschied besteht. Daraus resultieren zwei Fragen:

1. Welches sind die Ursachen für diese systematische Abweichung?
2. Inwieweit ist die MOM für die praktische Anwendung geeignet?

Wenden wir uns zunächst der ersten Frage zu. Dazu sei noch einmal an die in Kapitel 3 gemachten Ausführungen über Stationarität und Instationarität, die Definition der räumlich-zeitlichen Methode und an die Definition der MOM in Kapitel 2 erinnert. Die räumlich-zeitliche Methode liefert die tatsächlichen Werte für q , τ und k , die sich auf einen bestimmten Weg-Zeit-Ausschnitt beziehen. Diese tatsächlichen Werte, die nach (III.8), (III.9), (III.10) und (III.11) berechnet werden, stellen aber aufgrund ihrer Definition Durchschnittswerte dar. Nun kann ja bekannterweise einerseits (bei konstanter Rechenvorschrift) aus einer Menge von Einzelwerten nur ein Durchschnitt berechnet werden, andererseits können aber einem Durchschnitt mehrere unterschiedliche Mengen von Einzelwerten zugrunde liegen, was nichts anderes bedeutet, als daß aus dem Durchschnittswert nicht mehr die Einzelwerte berechnet werden können. Also können einem aus einer räumlich-zeitlichen Messung berechneten Wertepaar (q_{r2}, τ_{r2}) mehrere unterschiedliche Verkehrsflüsse des betrachteten Weg-Zeit-Ausschnitts zugrunde liegen.

Bei der MOM sind die Verhältnisse in diesem Punkt gleich. Bereits die Werte eines Meßfahrtenpaares - $q_{mo,k}$ und $\tau_{mo,k}$ - stellen Durchschnitte dar, die während seiner Dauer auf der Meßstrecke gelten und auch hier kann ein Wertepaar $(q_{mo,k}, \tau_{mo,k})$ aus mehreren unterschiedlichen Verkehrsflüssen resultieren. Aber, und das ist der wesentliche Unterschied: Sowohl die Berechnungsweise der Durchschnitte als auch ihre Datengrundlage sind verschieden. Bei der räumlich-zeitlichen Methode werden sämtliche Fahrvorgänge im gesamten Weg-Zeit-Ausschnitt erfaßt. Es wird also zur Berechnung der

Durchschnitte sämtliche vorhandene Information genutzt. Deshalb repräsentieren sie auch die tatsächlich vorhandene Situation.

Bei der MOM hingegen wird ein Fahrzeug nur dann "beobachtet", wenn es

- ein MO-Fahrzeug überholt,
- von einem MO-Fahrzeug überholt wird,
- von einem MO-Fahrzeug als "entgegenkommendes Fahrzeug" gezählt wird.

sonst, und das sei noch einmal ausdrücklich erwähnt, wird ein Fahrzeug nicht registriert. Dies heißt aber, daß die Durchschnitte der MOM aus weniger Information berechnet werden. Es tritt also bei der MOM im Vergleich zur räumlich-zeitlichen Methode ein Informationsverlust auf. Nun stellt sich natürlich die Frage, welche Auswirkungen dies hat. Dazu betrachten wir den in 3.1 beschriebenen Zustand der Stationarität I. Ordnung. Wie man anhand der Definitionen von MOM, räumlich-zeitlicher, lokaler und momentaner Methode leicht sieht, führen für den Fall der Stationarität I. Ordnung alle vier Methoden zwangsläufig zu ein und demselben Ergebnis. Und dies, obwohl nur bei der räumlich-zeitlichen Messung alle vorhandene Information verwendet wird. Bei der lokalen Messung tritt ein "räumlicher" Informationsverlust auf, da ja nicht auf dem gesamten Wegintervall gemessen wird, sondern nur an einem Querschnitt. Die momentane Messung ist dementsprechend durch einen "zeitlichen" Informationsverlust gekennzeichnet, da nur zu einzelnen Zeitpunkten eine Messung erfolgt und nicht während des gesamten Zeitintervalls. Das Entscheidende ist aber, daß, wenn wie in diesem Fall alle Fahrzeuge mit derselben konstanten Geschwindigkeit und im gleichen Abstand voneinander fahren, die gesamte "Informationsmenge" innerhalb des betrachteten Weg-Zeit-Ausschnitts gleich ist. Folglich spielt es

überhaupt keine Rolle, wenn ein Teil davon verloren geht. Er kann ja durch den verbleibenden Anteil ersetzt werden.

Ganz anders verhält es sich dagegen im Fall der Stationarität II. Ordnung. Hier ist, da das Fahrverhalten der einzelnen Fahrzeuge während des betrachteten Weg-Zeit-Ausschnitts Schwankungen aufweist, die "Informationsmenge" nicht über den gesamten Weg-Zeit-Ausschnitt gleich. Somit kann der Informationsverlust auch nicht durch den verbleibenden Informationsanteil ersetzt werden. Dies hat natürlich zur Folge, daß den Durchschnitten der verschiedenen Meßmethoden unterschiedliche Daten zugrunde liegen und sie sich somit zwangsläufig voneinander unterscheiden müssen. Folglich repräsentiert nur der Durchschnitt der räumlich-zeitlichen Methode das tatsächliche Verkehrsgeschehen, während alle anderen Durchschnitte mehr oder weniger "falsch" sind.

Dieser Sachverhalt entspricht einer Problemstellung, wie sie im Bereich der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung auftritt: Das Verkehrsgeschehen innerhalb des betrachteten Weg-Zeit-Ausschnitts entspricht der zu untersuchenden Grundgesamtheit. Die räumlich-zeitliche Methode entspricht nun einer sogenannten Vollerhebung, da ja die gesamte Grundgesamtheit erfaßt wird. Die anderen Meßmethoden stellen hingegen Stichproben dar, denn sie erfassen nur einen Teil der Grundgesamtheit. Die Frage, in welchem Umfang die durch die Stichproben ermittelten Durchschnitte von den durch die Vollerhebung gewonnenen abweichen, ist gleichbedeutend mit der Frage, inwieweit die Stichproben als repräsentativ angesehen werden können. Ist der Prozeß der Stichprobenziehung fest vorgegeben (also in unserem Fall die Meßmethode genau definiert), so ist eine repräsentative Stichprobe umso leichter zu erhalten, je mehr der reale Verkehrsfluß dem stationären Zustand I. Ordnung ent-

spricht, bzw. je gleichmäßiger die einzelnen Fahrzeuge fahren und je homogener die Meßstrecke ist. Dies geht auch aus 5.11.2 hervor, wo sich gezeigt hat, daß aufgrund der relativ homogenen Meßstrecke, die SIMLA 2/MO simuliert, für diesen Fall die lokalen Werte durchaus als Ersatz für die räumlich-zeitlichen genommen werden können.

Aus diesen Ausführungen und dem Vergleich der Ergebnisse von 5.10 mit denjenigen von 5.11 ergibt sich, daß die MO-Durchschnitte q_{MO}^* und $\bar{\epsilon}_{MO}^*$ nicht direkt als Schätzwerte für die entsprechenden räumlich-zeitlichen Durchschnitte q_{RZ}^* und $\bar{\epsilon}_{RZ}^*$ genommen werden können. Vielmehr ist eine Korrektur mit den Differenzen zwischen den MO-Werten und den räumlich-zeitlichen Werten notwendig. Diese in 5.11 beschriebene und durchgeführte Korrektur liefert dann Konfidenzintervalle, die eine Schätzung von q_{RZ}^* und $\bar{\epsilon}_{RZ}^*$ aus q_{MO}^* und $\bar{\epsilon}_{MO}^*$ erlaubt.

Damit nun zu der Frage, inwieweit die MOM für die praktische Anwendung geeignet ist. Zu ihrer Beantwortung muß zunächst einmal die in 4.2.3 gemachte Feststellung berücksichtigt werden, wonach zur Bestimmung von $\bar{\epsilon}_{MO}$ eine bestimmte Mindestverkehrsstärke erforderlich ist, die in der Größenordnung von ca. 150 Fz/h liegen muß. Ist sie geringer, so wird das Ergebnis der Messung zunehmend durch den Einfluß der Fahrstrategie der MO-Fahrzeuge verfälscht.

Aus 5.11 erkennt man, daß die Konfidenzintervalle mit abnehmender Streckenlänge größer werden; dies gilt ebenso für eine abnehmende Verkehrsstärke. Das bedeutet, daß für kurze Meßstrecken und niedrige Verkehrsstärken die Konfidenzintervalle am größten sind, während sich die kleinsten Konfidenzintervalle für lange Strecken und hohe Verkehrsstärken ergeben.

Weiterhin ist deutlich erkennbar, daß die Konfidenzintervalle für τ kleiner sind als für q , so daß also τ genauer geschätzt wird als q .

Zur Frage der praktischen Anwendung ist letztlich entscheidend, ob genügend lange stationäre Zeitintervalle existieren, innerhalb derer die für eine geforderte Genauigkeit notwendige Anzahl von Meßfahrtenpaaren durchgeführt werden kann bzw. ob durch die während eines stationären Zeitintervalls durchgeführten Meßfahrtenpaare eine Genauigkeit erhalten werden kann, die für die jeweilige Aufgabenstellung ausreicht.

Hinweise für die praktische Durchführung der MOM sind in Kapitel 8 zu finden.

6. Messungen

6.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Die bisher durchgeführten Untersuchungen erfolgten ausschließlich anhand von Daten, die mit Hilfe der Simulation gewonnen wurden. Dabei wurde vorausgesetzt, daß der von SIMLA 2/MO erzeugte Verkehrsablauf der Realität entspricht und die in Kapitel 5 erhaltenen Ergebnisse - insbesondere die in 5.10 und 5.11 berechneten Konfidenzintervalle - auch für praktisch durchgeführte Messungen gültig sind.

Während nun die Validierung vom Ausgangsmodell SIMLA 2 bereits erfolgt ist (s. BRILON/BRANNOLTE (1977) und BRANNOLTE/HOLZ (1983)), kann dies für die modifizierte Version SIMLA 2/MO und die damit erhaltenen Ergebnisse nicht von vornherein angenommen werden. Vielmehr muß eine Überprüfung anhand der Realität erfolgen. Dazu wurden die in Kapitel 4 beschriebenen Messungen durchgeführt. Das Vorgehen bei diesen Messungen ist weitgehend analog zur Simulation. Der wesentliche Unterschied besteht nur darin, daß als Referenzmessung lediglich eine lokale Querschnittsmessung durchgeführt werden konnte, da - wie bereits früher erwähnt - der Aufwand für eine momentane und erst recht für eine räumlich-zeitliche Messung zu groß ist. Da es sich aber gezeigt hat, daß die Differenzen zwischen den räumlich-zeitlichen und den lokalen Werten sehr gering sind (s. 5.11.2), kann davon ausgegangen werden, daß hier auch die lokalen Werte als Referenz für die MO-Werte geeignet sind.

Die Auswertung der Messungen entspricht weitgehend derjenigen der Simulationsläufe. Zunächst wird in 6.2 auf die Problematik bei der Ermittlung der MO-Meßwerte eingegangen. Anschließend erfolgt in 6.3 die Untersuchung der MO-Meßwerte auf Zufällsmäßigkeit, Verteilungsart

und Korrelation. In 6.4 erfolgt dasselbe für die MO-Parameter. In 6.5 wird untersucht, inwieweit Korrelationen zwischen den MO-Meßwerten und den MO-Parametern existieren. Nachdem in 6.6 die relativen Konfidenzintervalle für die MO-Parameter berechnet wurden, erfolgt in 6.8 die Berechnung von Konfidenzintervallen auf der Basis der relativen Differenzen zwischen den MO- und den lokalen Referenzwerten.

Dabei erfolgt jeweils auch ein Vergleich mit den Ergebnissen aus der Simulation.

6.2 Problematik bei der Ermittlung der MO-Meßwerte

Der theoretisch ideale Ablauf der MOM sieht vor, daß beide Meßfahrzeuge zum gleichen Zeitpunkt starten, dann in jeweils der gleichen Zeit die Meßstrecke durchfahren und somit zum gleichen Zeitpunkt am Ende der Meßstrecke ankommen. Dieser theoretisch ideale Ablauf ist allerdings in der Praxis im allgemeinen nicht gegeben.

So ist zunächst die Forderung des gleichzeitigen Startens der beiden Meßfahrzeuge eigentlich nur bei niedrigen Verkehrsstärken realisierbar, da nur dann für beide Fahrzeuge gleichzeitig genügend große Zeitlücken zum Einfahren in die Meßstrecke zur Verfügung stehen. Bei mittleren und hohen Verkehrsstärken könnte zwar auch immer solange gewartet werden bis für die beiden Meßfahrzeuge gleichzeitig eine genügend große Zeitlücke auftritt, doch hätte dies zur Folge, daß der Anteil der Umkehrzeit an der gesamten Untersuchungsdauer unverhältnismäßig groß wird. Um die Umkehrzeit möglichst klein zu halten, ist es deshalb erforderlich, gewisse Differenzen zwischen beiden Startzeitpunkten zuzulassen. Diese Differenzen sollten natürlich so klein wie möglich gehalten werden. Deshalb bestand zwischen den Meßfahrzeugen und der Meßstation für die lokale Quer-

schnittsmessung eine Funkverbindung. Die Meßstation war hier "Count-Down-Geber" nachdem beide Meßfahrzeuge eine "Startklarmeldung" abgegeben hatten.

Wie der Startvorgang im einzelnen abläuft, hängt hauptsächlich vom "geschickten Taktieren" des Meßteams ab. Aufgrund der Erfahrungen, die bei diesen Messungen gewonnen wurden, kann davon ausgegangen werden, daß nach ungefähr einem Dutzend Meßfahrtenpaaren, die im Rahmen einer einmaligen "Übungsmessung" durchgeführt werden, das "Hineinschlüpfen" in den Verkehrsfluß problemlos möglich ist. Quantitative Angaben zu den Differenzen der beiden Startzeitpunkte sind in Kapitel 7 bei der Gegenüberstellung von Simulationsläufen und Messungen zu finden.

Die Forderung, daß beide Meßfahrzeuge dieselbe Zeit zum Durchfahren der Meßstrecke benötigen, ist eigentlich nur dann erfüllbar, wenn ihre Fahrstrategie nicht durch den übrigen Verkehrsablauf beeinflußt wird. Dies bedeutet aber, daß die Meßfahrzeuge möglichst langsam fahren müssen um selber nicht durch andere, langsam fahrende Fahrzeuge beeinflußt zu werden, da ja nicht immer die Möglichkeit zu einer sofortigen aktiven Überholung besteht. Wie aber aus 5.2 hervorgeht, müssen die Meßfahrzeuge möglichst flott und zügig fahren. Da sie somit fast immer auf langsamere Fahrzeuge stoßen und diese nicht immer sofort überholen können, müssen sie ihre Geschwindigkeit reduzieren. Dies führt zwangsläufig dazu, daß sich die beiden Fahrtauern eines Meßfahrtenpaares unterscheiden. Auch hierzu finden sich die quantitativen Angaben in Kapitel 7; ebenso zu den Differenzen der beiden Ankunftszeitpunkte. Diese letztgenannten Differenzen entstehen durch die Überlagerung der Differenzen der Startzeitpunkte mit denjenigen der Fahrtauern.

Wie bei der Beschreibung von SIMLA 2/MO in Kapitel 4 erwähnt wurde, war es das Ziel, das ursprüngliche Modell SIMLA 2 so für die Simulation der MOM zu modifizieren, daß das simulierte Verkehrsgeschehen weitgehend der Realität entspricht. Deshalb müssen sich auch bei den Simulationsläufen sowohl die beiden Startzeitpunkte als auch die beiden Fahrtauern und somit auch die beiden Ankunftszeitpunkte in dem Maße unterscheiden, wie es bei real durchgeführten Messungen der Fall ist. Die quantitativen Ergebnisse sind in Kapitel 7 bei der Gegenüberstellung von Simulationsläufen und Messungen aufgeführt. Doch kann bereits an dieser Stelle gesagt werden, daß SIMLA 2/MO auch die "praktisch auftretenden Unzulänglichkeiten" bei der MOM gut nachbildet.

6.3 'Moving Observer'-Meßwerte

6.3.1 Ganglinien

Um eine erste Vorstellung über den Charakter der Meßwerte M_a , M_p , t_w , t_a und E zu bekommen, werden analog zu Kapitel 5 zunächst die zeitlichen Verläufe in Form von Ganglinien betrachtet. Da die Unterschiede zwischen den Ganglinien der einzelnen Teilmessungen im allgemeinen nicht allzu groß sind, genügt es, im folgenden nur einige "typische" Verläufe zu zeigen. Die hierbei beobachteten charakteristischen Eigenschaften gelten auch für die übrigen Teilmessungen.

6.3.1.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_a , Anzahl der passiven Überholungen M_p

Bei der Anzahl der aktiven und passiven Überholungen zeigt sich bereits die gute Übereinstimmung von Simulation und Wirklichkeit. Auch bei den Messungen war ihre Anzahl so gering, daß von den Ganglinien nicht auf bestimmte Eigenschaften geschlossen werden kann.

Eine typische Ganglinie der Anzahl der aktiven Überholungen ist in Abb. 6.3/1 zu sehen; eine solche für die Anzahl der passiven Überholungen in Abb. 6.3/2.

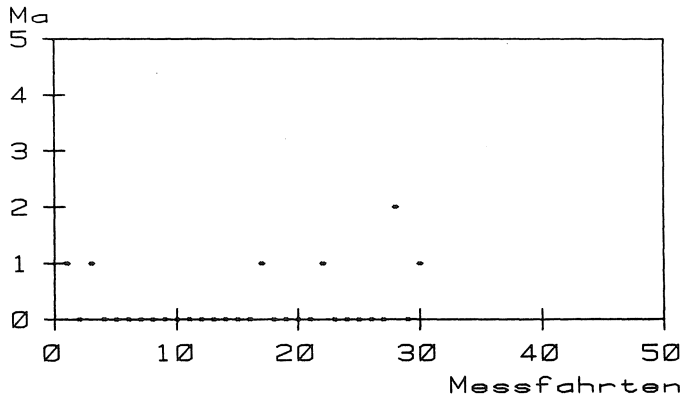


Abb. 6.3/1: Ganglinie von M_a
(Messung EWb/E)

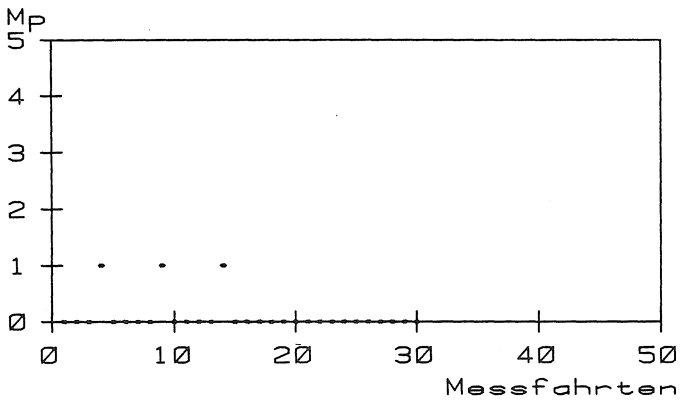


Abb. 6.3/2: Ganglinie von M_p
(Messung EWb/E)

6.3.1.2 Fahrtzeit t_w , t_a , t_f

Da t_w und t_a ihrer Natur nach identisch sind (s. Kapitel 2), werden beide aus Gründen der Übersichtlichkeit zum Parameter "Fahrzeit t_f " zusammengefasst. In den Abbildungen 6.3/3, 6.3/4 und 6.3/5 sind Ganglinien von t_f für Verkehrsstärken in der Größenordnung von 200, 400 und 800 Fz/h aufgetragen.

Wie man aus den drei Abbildungen erkennt, zeigen die Verläufe von t_f weitgehend das bereits in 5.3.1.2 beschriebene Verhalten. Auch hier zeigt sich eine Übereinstimmung von Simulation und praktischer Messung.

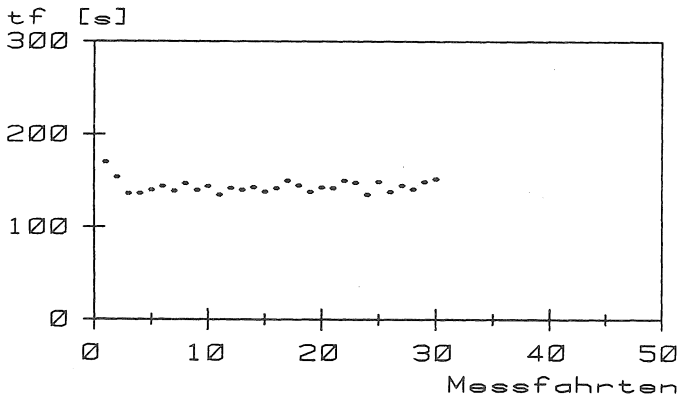


Abb. 6.3/3: Ganglinie von t_f bei einer Verkehrsstärke von ca. 200 Fz/h (Messung EWb/E)

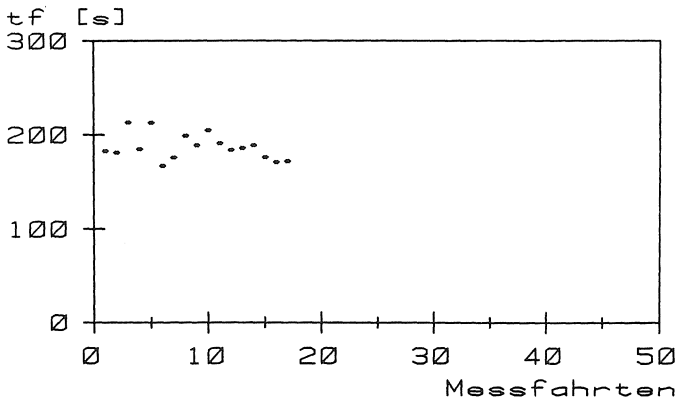


Abb. 6,3/4: Ganglinie von t_f bei einer Verkehrsstärke von ca. 400 Fz/h
(Messung B9b/G)

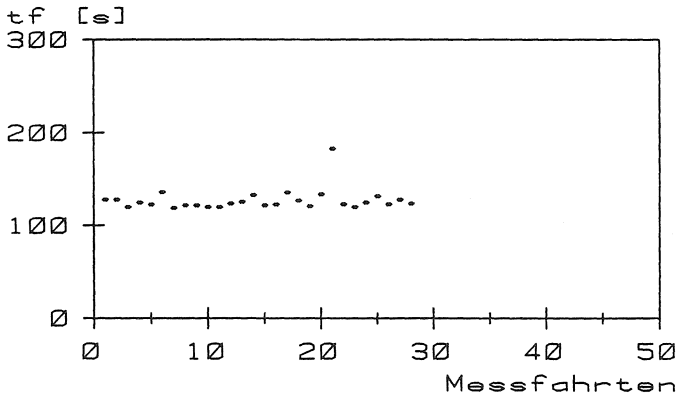


Abb. 6,3/5: Ganglinie von t_f bei einer Verkehrsstärke von ca. 800 Fz/h
(Messung THb/W)

6.3.1.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E

Auch für den MO-Meßwert E ergibt sich eine Übereinstimmung von Simulation und Messung, wie die in Abbildung 6.3/6 dargestellte, typische Ganglinie zeigt. Der Verlauf der einzelnen Werte in einem horizontalen Kanal legt die Vermutung nahe, daß sie einigermaßen zufällig streuen.

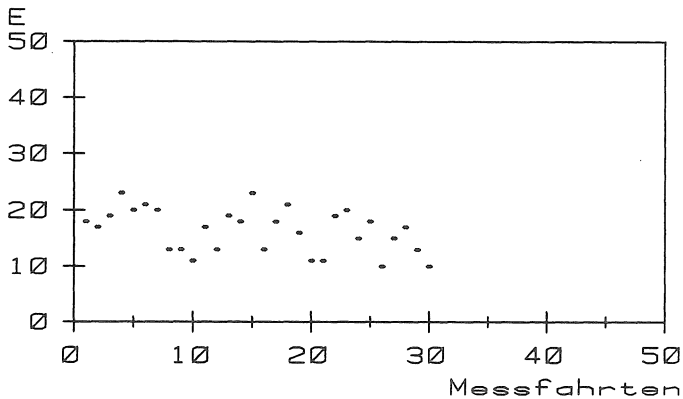


Abb. 6.3/6: Ganglinie von E
(Messung EWb/E)

6.3.2 Untersuchung der Meßreihen auf Zufällsmäßigkeit

Wie im Falle der Simulation, so soll auch für die Messungen der zeitliche Verlauf der MO-Meßwerte auf Zufällsmäßigkeit geprüft werden. Das Vorgehen dabei ist analog zu 5.3.2; auch hier kommt der "Phasenhäufigkeitstest von WALLIS und MOORE zur Anwendung.

6.3.2.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_a , Anzahl der passiven Überholungen M_p

Aufgrund des geringen Auftretens von Überholungen konnte, wie bei der Simulation, der Test auf Zufällsmäßigkeit nicht durchgeführt werden.

6.3.2.2 Fahrzeit t_f

Die Untersuchung der zeitlichen Folge von t_f ergab für alle Messungen, daß die Hypothese der Zufällsmäßigkeit nicht abgelehnt werden kann.

6.3.2.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E

Der Test lieferte das Resultat, daß die Hypothese der Zufällsmäßigkeit nicht widerlegt werden kann; also auch hier Übereinstimmung von Simulation und Messung.

6.3.3 Bestimmung von theoretischen Verteilungen für t_f und E

Das Vorgehen bei der Bestimmung von theoretischen Verteilungen für t_f und E ist analog zu 5.3.3, so daß hier keine weiteren Erläuterungen notwendig sind.

Genau wie bei der Simulation, so ergaben die Tests auf

- Gleichverteilung
- Verschobene negative Exponentialverteilung
- Poissonverteilung und
- Paretoverteilung,

daß die Nullhypothese für sämtliche MO-Meßwerte eindeutig abgelehnt wird.

Für die Normal- und Lognormalverteilung ergaben sich die folgenden Ergebnisse.

6.3.3.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_a , Anzahl der passiven Überholungen M_p

Aufgrund des geringen Auftretens von Überholungen konnten, wie bei der Simulation, keine Verteilungstests durchgeführt werden.

6.3.3.2 Fahrzeit t_f

Die Tests auf Normalverteilung ergaben, daß die Nullhypothese überwiegend abgelehnt wird und somit die Werte nicht als normalverteilt gelten können. Im Gegensatz dazu ergaben die Tests auf Lognormalverteilung, daß die Nullhypothese nicht zu widerlegen ist und folglich t_f als lognormalverteilte Zufallsgröße angesehen werden kann. Dies steht in Einklang mit den Ergebnissen bei der Simulation.

6.3.3.3 Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge E

Auch für E ergibt sich eine Übereinstimmung von Simulation und Messung. Während zwar die Hypothese der Lognormalverteilung überwiegend abgelehnt wird, kann die Hypothese der Normalverteilung nicht widerlegt werden. Folglich kann auch bei den Messungen E als normalverteilte Zufallsvariable angesehen werden.

6.3.4 Untersuchung auf Korrelation zwischen den MO-Meßwerten

Die Untersuchung auf Korrelation zwischen den MO-Meßwerten erfolgte analog zu 5.3.4 mit dem dort beschriebenen Verfahren.

6.3.4.1 Anzahl der aktiven Überholungen M_a , Anzahl der passiven Überholungen M_p

Wie bereits in 5.3.4.1 der Fall, so ist auch hier wegen des geringen Auftretens von aktiven und passiven Überholungen keine Anwendung des Tests möglich.

6.3.4.2 $t_{f, E}$

Die Ergebnisse bei den Messungen entsprechen auch hier denjenigen bei der Simulation. So ergibt sich bei den Messungen mit relativ großer Streckenlänge (EW, BN, B9) bei niedrigen Verkehrsstärken der in Abbildung 5.3/7 (s. Kapitel 5) dargestellte Zusammenhang von fast senkrecht aufeinander stehenden Punkten und somit die Ablehnung der Hypothese einer Korrelation.

Für höhere Verkehrsstärken stellt sich der in den Abbildungen 5.3/8 und 5.3/9 dargestellte Verlauf ein. Deshalb wird auch jetzt die Hypothese einer Korrelation nicht mehr abgelehnt.

Hohe Verkehrsstärken und lange Streckenlängen, die eine "Punktewolke" und damit die Ablehnung der Korrelationshypothese zur Folge haben, treten bei den oben genannten Messungen nicht auf, so daß hierzu keine Aussage gemacht werden kann.

Für die Messung mit relativ kurzer Streckenlänge (TH) bleiben auch für hohe Verkehrsstärken die fast senkrecht übereinander stehenden Punkte (entsprechend Abb. 5.3/7) und Ablehnung der Korrelationshypothese erhalten.

6.4 'Moving Observer'-Parameter

6.4.1 Ganglinien

Wie bei den MO-Meßwerten, so werden auch für die MO-Parameter q_{mo} und τ_{mo} zunächst ihre Ganglinien betrachtet. Im übrigen gelten die in 6.3.1 gemachten Ausführungen.

6.4.1.1 q_{mo}

Eine typische Ganglinie von q_{mo} ist in der Abbildung 6.4/1 dargestellt. Man erkennt, daß sich die einzelnen Werte wie bei der Simulation innerhalb eines horizontal verlaufenden Kanals bewegen. Dies legt die Vermutung nahe, daß sie einigermaßen zufällig streuen.

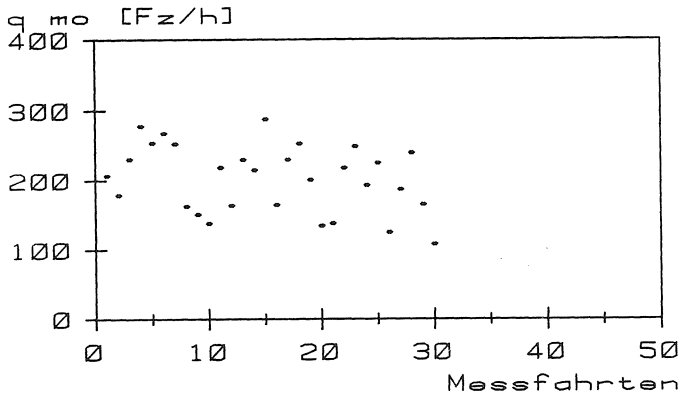


Abb. 6.4/1: Typische Ganglinie von q_{mo}
(Messung EWb/E)

6.4.1.2 \bar{t}_{mo}

Eine typische Ganglinie von \bar{t}_{mo} ist in der Abbildung 6.4/2 dargestellt. Wie bei der Ganglinie von q_{mo} verlaufen die einzelnen Werte innerhalb eines Horizontalkanals, was ebenfalls vermuten läßt, daß sie einen einigermaßen zufälligen Charakter haben.

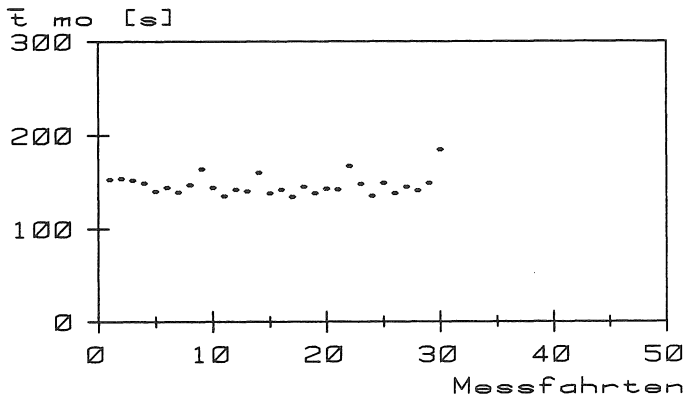


Abb. 6.4/2: Typische Ganglinie von \bar{t}_{mo}
(Messung EWb/E)

6.4.2 Untersuchung der Wertereihen auf Zufällsmäßigkeit

Wie im Falle der MO-Meßwerte t_f und E soll auch für die MO-Parameter q_{mo} und \bar{t}_{mo} ihr zeitlicher Verlauf auf Zufällsmäßigkeit geprüft werden. Das Vorgehen dabei ist analog zu 5.3.2; auch hier kommt der "Phasenhäufigkeitstest" von WALLIS und MOORE zur Anwendung.

6.4.2.1 q_{m0}

Der Test zeigt, daß auch für die Messungen die Hypothese der Zufällsmäßigkeit nicht abgelehnt werden kann.

6.4.2.2 \bar{t}_{m0}

Auch für \bar{t}_{m0} ergibt sich, daß die Hypothese der Zufällsmäßigkeit nicht abgelehnt werden kann und somit eine Übereinstimmung zur Simulation. Hinsichtlich der in 5.4.2.2 gemachten Ausführungen zur Fahrstrategie ist anzumerken, daß bei den Meßfahrten eine zügige und flotte Fahrweise gewählt wurde.

6.4.3 Bestimmung von theoretischen Verteilungen für q_{m0} und \bar{t}_{m0}

Das Vorgehen bei der Bestimmung von theoretischen Verteilungen für q_{m0} und \bar{t}_{m0} war analog zu 5.3.3, so daß hier keine weiteren Erläuterungen notwendig sind.

Für die Tests auf

- Gleichverteilung,
- Verschobene negative Exponentialverteilung,
- Poissonverteilung und
- Paretoverteilung

wurde die Nullhypothese eindeutig abgelehnt.

Für die Normal- und Lognormalverteilung ergaben sich die folgenden Ergebnisse:

6.4.3.1 q_{m0}

Während der Test auf Normalverteilung kein eindeutiges Ergebnis liefert zeigt der Test auf Lognormalverteilung, daß die Nullhypothese nicht widerlegt und somit q_{m0} als lognormalverteilte Zufallsgröße angesehen werden kann.

6.4.3.2 \bar{t}_{m0}

Während der Test auf Normalverteilung auch hier kein eindeutiges Resultat zeigt, ergibt sich aus dem Test auf Lognormalverteilung, daß diese Hypothese nicht widerlegt und folglich \bar{t}_{m0} als lognormalverteilt angesehen werden kann. Somit zeigt sich auch hier eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen bei der Simulation. Auch hier ist beim Vergleich mit den Ergebnissen der Simulation in 5.4.3.2 zu beachten, daß für die Meßfahrten eine flotte und zügige Fahrweise gewählt wurde.

6.4.4 Untersuchung auf Korrelation zwischen den 'Moving Observer'-Parametern q_{m0} und \bar{t}_{m0}

In 6.3.4 wurden die MO-Meßwerte t_f und E auf eine gegenseitige Abhängigkeit untersucht. Dies soll nun auch für die MO-Parameter q_{m0} und \bar{t}_{m0} erfolgen. Das Vorgehen ist analog zu 6.3.4.

Wie bei der Simulation mit Streckenlängen von $X_L=4.800$ und 2.400 m, ergibt sich auch hier, daß die Hypothese der Unabhängigkeit nicht widerlegt werden kann. Der Zusammenhang zwischen q_{m0} und \bar{t}_{m0} entspricht dem von Abbildung 5.4/3.

Der bei der Simulation beobachtete Fall, daß für $X_L=1.200$ m die Unabhängigkeitshypothese eindeutig abgelehnt wird, konnte anhand der Messungen nicht überprüft werden, da hierbei die kleinste Streckenlänge 2.100 m (TH) beträgt. Auch bei dieser Messung zeigte sich klar die Nichtablehnung der Unabhängigkeitshypothese. Somit ergibt sich auch in diesem Punkt eine Übereinstimmung von Simulation und Messung.

6.5 Untersuchung auf Korrelation zwischen den 'Moving Observer'-Meßwerten und den 'Moving Observer'-Parametern

Zur Untersuchung auf eventuell vorhandene Korrelationen zwischen den MO-Meßwerten und den MO-Parametern wird analog zu der in 5.3.4 beschriebenen Art und Weise vorgefahren. An dieser Stelle sei noch einmal erwähnt, daß aufgrund der sehr geringen Anzahl von aktiven und passiven Überholungen diese nicht in die Untersuchung einbezogen werden konnten.

6.5.1 Korrelation zwischen q_{MO} und t_f

Der Zusammenhang zwischen q_{MO} und t_f bei den Messungen entspricht demjenigen bei der Simulation (siehe Abb. 5.5/1 und 5.5/2). Da auch hier die Nullhypothese nicht widerlegt werden kann, können q_{MO} und t_f als voneinander unabhängig angesehen werden.

6.5.2 Korrelation zwischen q_{MO} und E

Der Zusammenhang zwischen q_{MO} und E entspricht dem von Abbildung 5.5/3. Obwohl die Form der Punktwolke für die einzelnen Messungen etwas unterschiedlich ist, lassen sich doch in allen Fällen eindeutige Regressionen

bestimmen. Die Testergebnisse kommen ebenfalls zum gleichen Ergebnis. Die Nullhypothese wird eindeutig verworfen und somit können q_{m0} und E als miteinander korreliert angesehen werden.

6.5.3 Korrelation zwischen t_{m0} und t_f

Auch hier entspricht der Zusammenhang zwischen t_{m0} und t_f demjenigen bei der Simulation, wie er in Abbildung 5.5/4 zu sehen ist. Man erkennt deutlich die starke positive Korrelation zwischen den beiden Größen. Wie zu erwarten war, wird beim Test die Hypothese der Unabhängigkeit eindeutig abgelehnt.

6.5.4 Korrelation zwischen \bar{t}_{m0} und E

Der Zusammenhang zwischen \bar{t}_{m0} und E entspricht weitgehend der in Abbildung 5.5/6 dargestellten "schräg-ovalen" Punktwolke. Zwar kann somit eine schwach positive Korrelation vermutet werden, doch führt der Test zu dem Ergebnis, daß die Hypothese der Unabhängigkeit nicht widerlegt werden kann. Insofern ergibt sich hier für die Messungen ein von der Simulation etwas abweichendes Resultat. Dort hielten sich Ablehnung und Nichtablehnung die Waage, so daß keine eindeutige Aussage möglich war.

6.6 Berechnung von Konfidenzintervallen für die 'Moving Observer'-Mittelwerte q_{mo}^* und t_{mo}^* aus den einzelnen 'Moving Observer'-Parametern $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$

In 5.10 wurden relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und t_{mo}^* bestimmt. Im folgenden wird nun geprüft, ob diese relativen Konfidenzintervalle auch für reale Messungen gültig sind. Dazu wird zunächst versucht, jede Teilmessung einer der neun, in 5.10 ermittelten, Basis-klassen zuzuordnen. Da sich die Verkehrsstärken für die beiden Richtungen teilweise stark unterscheiden, erfolgte - analog zur Simulation - für jede Messung eine Aufspaltung in zwei einzelne "Richtungsmessungen", die getrennt ausgewertet wurden. Zur Kennzeichnung der Richtung wird an die Kurzbezeichnung der jeweiligen Teilmessung noch ein Buchstabe angehängt:

Beispiel:

Gesamtmessung zwischen Wolfartsweier und Ettlingen

Kurzbezeichnung der betrachteten 1. Teilmessung: EWb

Kurzbezeichnung für Richtung Wolfartsweier : EWb/W

Kurzbezeichnung für Richtung Ettlingen : EWb/E

Aus Gründen der Vereinfachung wird eine Teilmessung im folgenden auch kurz als Messung bezeichnet.

Da sowohl die Verkehrsstärken als auch die Streckenlängen der Messungen zwischen den Werten der Basisklassen liegen, wurde bei der Zuordnung einer Messung zu einer Klasse jeweils diejenige Klasse gewählt, die der Messung am nächsten kommt.

Die einzelnen Zuordnungen sind in Tabelle 6.6/1 aufgeführt.

Tab. 6.6/1: Zuordnung von Messungen und Basisklassen

Bezeichnung	Messung		zugeordnete Klasse	
	Streckenlänge [m]	Durchschnittl. Verkehrsstärke [Fz/h]	Streckenlänge [m]	Verkehrsstärke [Fz/h]
EWb/E	3.380	196	4.800	210
EWb/W	.	179	4.800	210
EWc/E	.	218	4.800	210
EWc/W	.	237	4.800	210
EWd/E	.	288	4.800	210
EWd/W	.	309	4.800	386
BNb/B	3.707	195	4.800	210
BNb/N	.	210	4.800	210
BNc/B	.	281	4.800	210
BNc/N	.	216	4.800	210
BNd/B	.	490	4.800	386
BNd/N	.	248	4.800	210
BNe/B	.	323	4.800	386
BNe/N	.	205	4.800	210
B9b/G	4.650	366	4.800	386
B9b/K	.	220	4.800	210
B9c/G	.	466	4.800	386
B9c/K	.	332	4.800	386
B9d/G	.	256	4.800	210
B9d/K	.	232	4.800	210
THb/S	2.100	420	2.400	408
THb/W	.	423	2.400	408
THc/S	.	520	2.400	597
THc/W	.	919	2.400	597

Wie man aus Tabelle 6.6/1 erkennt, wurde für sämtliche Messungen eine Klassenzuordnung vorgenommen. Ob dies beispielsweise auch für die Messung THc/W mit einer durchschnittlichen Verkehrsstärke von 919 Fz/h gegenüber 597 Fz/h der zugeordneten Klasse zulässig ist, wird im folgenden noch geprüft. Vorerst aber wird diese Zuordnung als Arbeitshypothese verwendet.

Das weitere Vorgehen könnte nun so aussehen, daß zunächst für jede Messung der Mittelwert \bar{x} und die Streuung s^2 für Verkehrsstärke und durchschnittliche Reisezeit aus den M Meßfahrtenpaaren berechnet werden. Damit könnten mit (V.20a,b) relative Konfidenzintervalle bestimmt werden.

Das Problem ist aber dabei, daß eine Messung im allgemeinen nur aus relativ wenigen Meßfahrtenpaaren besteht und \bar{x} und s^2 somit auf einem geringen Stichprobenumfang basieren. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, kann folgende Überlegung angestellt werden: Da die Mittelwerte für Verkehrsstärke und durchschnittliche Reisezeit sich ausschließlich aus dem aktuellen Verkehrsgeschehen ergeben, müssen sie zwangsläufig aus den M Meßfahrtenpaaren berechnet werden. Ganz anders verhält es sich dagegen mit den zugehörigen Streuungen. Für sie kann zunächst vermutet werden, daß sie nicht vom aktuellen Verkehrsgeschehen abhängen, sondern nur von denjenigen Parametern, die für die obige Klasseneinteilung maßgebend sind, also Verkehrsstärke und Streckenlänge. Dies würde nichts anderes bedeuten, als daß statt den, aus den M Meßfahrtenpaaren berechneten Streuungen, die Streuungen der zugeordneten Klasse verwendet werden können. Da diese auf wesentlich mehr Meßfahrtenpaaren basieren, sind sie folglich auch zuverlässiger.

Zur Überprüfung, ob diese Überlegung gerechtfertigt ist, wird die folgende Hypothese formuliert:

"Die Meßfahrtenpaare der Messung und diejenigen der Simulationsläufe der zugeordneten Basisklasse stellen zwei unabhängige Stichproben dar, die hinsichtlich ihrer Streuung einer gemeinsamen Grundgesamtheit angehören."

Diese Hypothese wurde mit Hilfe des "Rangdispersionstests" von SIEGEL und TUCKEY überprüft. Dieser Test prüft die Nullhypothese, daß zwei unabhängige Stichproben hinsichtlich ihrer Variabilität, Streuung oder Dispersion einer gemeinsamen Grundgesamtheit angehören. Er ist bei SACHS (1984), S. 225 zu finden.

Für die Verkehrsstärke zeigte sich, daß für sämtliche Zuordnungen die Nullhypothese nicht widerlegt werden konnte. Dies bedeutet, daß zur Berechnung der Konfidenzintervalle für die Messungen die Streuung der zugeordneten Klasse verwendet werden kann.

Für die durchschnittliche Reisezeit ergab sich ein etwas anderes Bild:

Für 9 der 24 Messungen wurde die Nullhypothese abgelehnt. Obwohl die Ablehnungen bei allen Streckenlängen zu finden sind, fällt doch auf, daß die Unterschiede zwischen gemessener und erwarteter Standardabweichung bei den Messungen mit der kürzesten Streckenlänge von $X_L=2.100$ m am größten sind. Dabei zeigte sich, daß die gemessenen Standardabweichungen wesentlich kleiner sind als diejenigen der jeweils zugeordneten Klasse. Diese Tendenz gilt auch für fast alle übrigen Messungen. Das bedeutet aber, daß die mittels (V.20a,b) berechneten Konfidenzintervalle in jedem Fall "auf der sicheren Seite" liegen.

In den Tabellen 6.6/2a und 6.6/2b sind jeweils sowohl die relativen Konfidenzintervalle - also die prozentualen Abweichungen - aufgeführt, als auch die absoluten Bereiche, in denen q_{m0}^* und t_{m0}^* bei der entsprechenden Irrtumswahrscheinlichkeit α liegen.

Dabei steht in den letzten drei Spalten jeweils in der oberen Zeile einer Messung der absolute und in der unteren Zeile der relative Schwankungsbereich. Die Prozentangaben sind jeweils gerundet.

Tab. 6.6/2a: Absolute und relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* bei den Messungen auf der Grundlage der $q_{mo,k}$ (Fortsetzung nächste Seite)

Messung	Anzahl der Meßfahrtenpaare	q_{mo}^* Messung	q_{mo}^* Klasse	Standardabweichung		absolute und relative Konfidenzintervalle für q					
				Messung	Klasse	$\alpha=1\%$		$\alpha=5\%$		$\alpha=10\%$	
EWb/E	30	196,19	210,37	1,29	1,25	177 -12	217 8	183 -9	210 5	186 -8	207 3
EWb/W	30	179,42	210,37	1,29	1,25	162 -12	198 8	167 -9	192 5	170 -8	189 3
EWc/E	18	217,45	210,37	1,20	1,25	190 -15	249 12	198 -11	238 7	203 -9	233 5
EWc/W	18	237,28	210,37	1,29	1,25	207 -15	272 12	217 -11	260 7	221 -9	255 5
EWd/E	41	288,21	210,37	1,27	1,25	265 -10	314 6	272 -8	306 3	275 -7	302 2
EWd/W	41	309,07	385,53	1,29	1,21	281 -12	340 7	289 -9	330 4	293 -8	326 2
BNb/B	25	194,83	210,37	1,36	1,25	174 -13	218 9	181 -10	210 5	184 -8	207 3
BNb/N	25	209,64	210,37	1,35	1,25	188 -13	234 9	194 -10	226 5	198 -8	222 3
DNc/B	21	280,73	210,37	1,21	1,25	248 -14	318 10	258 -10	305 6	263 -9	299 4
DNc/N	21	216,21	210,37	1,29	1,25	191 -14	245 10	199 -10	235 6	203 -9	231 4
BNd/B	17	490,34	385,53	1,20	1,21	435 -13	553 11	452 -9	532 6	461 -8	522 4
BNd/N	17	248,31	210,37	1,30	1,25	216 -15	286 12	226 -11	273 7	231 -9	267 5
BNe/D	14	322,65	385,53	1,27	1,21	282 -14	369 12	295 -10	353 7	301 -8	346 5
BNe/N	14	204,47	210,37	1,33	1,25	175 -17	239 14	184 -12	227 8	189 -10	222 6

Tab. 6.6/2a: Absolute und relative Konfidenzintervalle für $q_{mo,k}$ bei den Messungen auf der Grundlage der $q_{mo,k}$

Messung	Anzahl der Meßfahrtenpaare	q_{mo}^* Messung	q_{mo}^* Klasse	Standardabweichung		absolute und relative Konfidenzintervalle für q					
				Messung	Klasse	$\alpha=1\%$		$\alpha=5\%$		$\alpha=10\%$	
B9b/G	17	366,41	385,53	1,31	1,21	325	413	338	397	344	390
						-13	11	-9	6	-8	4
B9b/K	17	220,38	210,37	1,27	1,25	192	253	201	242	205	237
						-15	12	-11	7	-9	5
B9c/G	9	466,05	385,53	1,28	1,21	388	560	414	525	426	509
						-18	18	-13	11	-10	7
B9c/K	9	331,69	385,53	1,22	1,21	276	399	295	373	304	362
						-18	18	-13	11	-10	7
B9d/G	15	256,05	210,37	1,21	1,25	220	298	231	283	237	277
						-16	13	-12	8	-10	5
B9d/K	15	231,82	210,37	1,24	1,25	199	270	209	257	215	251
						-16	13	-12	8	-10	5
THb/S	27	419,76	408,37	1,31	1,32	368	479	383	460	391	450
						-16	10	-12	5	-10	3
THb/W	27	423,36	408,37	1,31	1,32	371	483	386	464	395	454
						-16	10	-12	5	-10	3
THc/S	28	520,44	596,58	1,23	1,25	469	578	484	559	492	550
						-12	8	-9	5	-8	3
THc/W	28	919,05	596,58	1,22	1,25	828	1020	855	987	870	971
						-12	8	-9	5	-8	3

Tab. 6.6/2b: Absolute und relative Konfidenzintervalle für t_{mo}^* bei den Messungen auf der Grundlage der $t_{mo,k}$ (Fortsetzung nächste Seite)

Messung	Anzahl der Meßfahrtenpaare	\bar{t}_{mo}^* Messung	\bar{t}_{mo}^* Klasse	Standardabweichung		absolute und relative Konfidenzintervalle für \bar{t}					
				Messung	Klasse	$\alpha=1\%$		$\alpha=5\%$		$\alpha=10\%$	
EWb/E	30	145,21	213,50	1,09	1,13	137 - 6	153 5	140 - 4	151 3	141 - 4	150 2
EWb/W	30	146,22	213,50	1,11	1,13	138 - 6	154 5	141 - 4	152 3	142 - 4	151 2
EWc/E	18	145,11	213,50	1,08	1,13	135 - 8	156 7	138 - 6	153 4	140 - 4	151 3
EWc/W	18	149,35	213,50	1,11	1,13	139 - 8	161 7	142 - 6	157 4	144 - 4	155 3
EWd/E	41	145,74	213,50	1,09	1,13	139 - 5	153 4	141 - 4	151 2	142 - 3	149 2
EWd/W	41	144,10	249,08	1,06	1,20	134 - 8	154 5	137 - 6	151 3	139 - 5	150 2
BNb/B	25	162,92	213,50	1,17	1,13	153 - 7	173 5	156 - 5	170 3	158 - 4	168 3
BNb/N	25	167,46	213,50	1,13	1,13	158 - 7	178 5	161 - 5	175 3	162 - 4	173 3
BNc/B	21	169,40	213,50	1,10	1,13	158 - 7	181 6	162 - 5	177 4	164 - 4	175 3
BNc/N	21	167,99	213,50	1,16	1,13	157 - 7	180 6	160 - 5	176 4	162 - 4	174 3
BNd/B	17	165,79	249,08	1,08	1,20	148 - 12	186 10	153 - 9	179 6	156 - 7	176 4
BNd/N	17	159,00	213,50	1,07	1,13	147 - 8	172 7	151 - 6	167 5	153 - 5	165 3
BNe/B	14	165,67	249,08	1,08	1,20	146 - 14	189 12	152 - 10	181 7	155 - 8	177 5
BNe/N	14	160,29	213,50	1,08	1,13	147 - 9	175 8	151 - 6	170 5	153 - 5	168 4

Tab. 6.6/2b: Absolute und relative Konfidenzintervalle für t_{mo}^* bei den Messungen auf der Grundlage der $t_{mo,k}$

Messung	Anzahl der Meßfahrtenpaare	t_{mo}^* Messung	t_{mo}^* Klasse	Standardabweichung		absolute und relative Konfidenzintervalle für t					
				Messung	Klasse	$\alpha=1\%$		$\alpha=5\%$		$\alpha=10\%$	
B9b/G	17	193,10	249,08	1,08	1,20	172	216	179	209	182	205
						-12	10	-9	6	-7	4
B9b/K	17	190,37	213,50	1,10	1,13	176	206	181	200	183	198
						-8	7	-6	5	-5	3
B9c/G	9	186,78	249,08	1,09	1,20	157	223	167	209	172	203
						-18	17	-12	10	-10	7
B9c/K	9	185,85	249,08	1,11	1,20	156	222	166	208	171	202
						-18	17	-12	10	-10	7
B9d/G	15	191,95	213,50	1,14	1,13	177	209	182	203	184	200
						-9	8	-6	5	-5	4
B9d/K	15	184,37	213,50	1,16	1,13	170	200	174	195	177	192
						-9	8	-6	5	-5	4
THb/S	27	129,25	118,33	1,06	1,23	117	143	221	138	123	136
						-11	8	-9	5	-7	3
THb/W	27	126,75	118,33	1,07	1,23	113	137	115	133	118	131
						-11	8	-9	5	-7	3
THc/S	28	127,40	131,67	1,05	1,23	116	140	119	136	121	134
						-11	8	-8	5	-7	3
THc/W	28	127,16	131,67	1,08	1,23	115	140	119	136	121	134
						-11	8	-8	5	-7	3

6.7 Referenzmessung

Wie im Falle der Simulation, so soll auch bei den Messungen ein Vergleich der mit Hilfe der MOM erhaltenen Werte für Verkehrsstärke und durchschnittliche Reisezeit mit Referenzwerten erfolgen.

Wie bereits erläutert wurde, konnte im Falle der Messungen nur eine lokale Querschnittsmessung als Referenzmessung durchgeführt werden. Da eine lokale Querschnittsmessung aber nicht in der Lage ist, das gesamte Verkehrsgeschehen auf der Meßstrecke zu erfassen, stellen die von ihr gelieferten Werte für die Verkehrsstärke und die durchschnittliche Reisezeit, q_{lk} und \bar{t}_{lk} , nicht die "wahren" Werte dar. Deshalb ist es zunächst nicht ohne weiteres zulässig, q_{lk} und \bar{t}_{lk} als Vergleichsmaßstab für q_{m0} und \bar{t}_{m0} heranzuziehen.

Wie sich nun allerdings in 5.10 gezeigt hat, sind die Unterschiede sowohl zwischen den räumlich-zeitlichen, den lokalen und den momentanen Werten untereinander, als auch zwischen den lokalen und den MO-Werten sehr gering. Dies wurde hauptsächlich auf die "Homogenität" der simulierten Meßstrecke zurückgeführt. Da auch die praktischen Messungen auf Strecken durchgeführt wurden, die als "homogen" gelten können, kann davon ausgegangen werden, daß in diesem Fall die lokale Querschnittsmessung als Referenzmessung für die MO-Messung geeignet ist.

6.8 Berechnung von Konfidenzintervallen für die 'Moving Observer'-Mittelwerte q_{mo}^* und τ_{mo}^* aus den Differenzen zwischen der MO-Messung und der lokalen Referenzmessung

In 6.6 wurden Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und τ_{mo}^* berechnet, wobei als Datengrundlage ausschließlich die einzelnen $q_{mo,k}$ und $\tau_{mo,k}$ ($k=1(1)M$) verwendet wurden. Im Gegensatz dazu sollen jetzt Konfidenzintervalle bestimmt werden, die auf den Differenzen $x_{k,(mo-lk)}$ zwischen den MO-Werten und den entsprechenden Werten der lokalen Referenzmessung basieren.

Die Berechnung der $x_{k,(mo-lk)}$ erfolgte wie in 5.11 mittels (V.24). Als Überdeckungsgrad wurde hier ebenfalls $\bar{u}=0,5$ gewählt.

Wie in 5.11, so wurden auch hier die entstandenen Folgen der $x_{k,(mo-lk)}$ zunächst mit Hilfe des "Phasenhäufigkeitstests" von WALLIS und MOORE auf ihre Zufälligkeit überprüft. Auch in diesem Fall zeigte es sich, daß die Nullhypothese nicht zu widerlegen ist und somit die Folge der $x_{k,(mo-lk)}$ als zufällig gelten kann.

Zur Frage nach der Verteilungsart der $x_{k,(mo-lk)}$ wurde wiederum der KOLMOGOROFF-SMIRNOV-Test benutzt. Er führte auch hier zu dem Resultat, daß sie als normalverteilt angenommen werden können.

Das Vorgehen bei der Berechnung der Konfidenzintervalle ist analog zu der in 6.6 durchgeführten Art und Weise. Während aber dort zwangsläufig davon ausgegangen werden mußte, daß die Mittelwerte von Messung und zugeordneter Klasse im allgemeinen verschieden sind und eine Übereinstimmung rein zufällig wäre, kann hier vermutet werden, daß die beiden Mittelwerte gleich sind.

Zur Überprüfung dieser Vermutung wird die Nullhypothese
 "Die Mittelwerte von Messung und zugeordneter Daten-
 klasse sind gleich"
 formuliert.

Da die $x_{k,(m_0-l_k)}$ als normalverteilt gelten werden können, kann diese Nullhypothese mit Hilfe des t-Tests überprüft werden. Dieser Test kommt zu dem Ergebnis, daß die Nullhypothese nicht verworfen werden kann und somit die Mittelwerte von Messung und zugeordneter Klasse als nicht voneinander verschieden angenommen werden können.

Als nächster Schritt wurde analog zu 6.6 mit Hilfe des "Rangdispersionstests" von SIEGEL und TUCKEY untersucht, ob sich die Standardabweichung von Messung und zugeordneter Klasse voneinander unterscheiden. Der Test führt zu einem Ergebnis, das demjenigen von 6.6 entspricht:

- hinsichtlich des Parameters "Verkehrsstärke" kann bei allen Messungen die Nullhypothese nicht widerlegt werden,
- hinsichtlich des Parameters "durchschnittliche Reisezeit" wird in einem Drittel der Fälle die Nullhypothese verworfen. Dabei ist allerdings auch wieder zu beachten, daß dabei die Standardabweichung der Messung immer kleiner ist als diejenige der zugeordneten Klasse. Dies bedeutet aber, daß die im folgenden berechneten Konfidenzintervalle auf jeden Fall "auf der sicheren Seite liegen.

Auch hier tritt diese Ablehnung bei allen Streckenlängen auf, doch fällt speziell bei der kürzesten Streckenlänge von $X_L=2.100$ m die teilweise erhebliche Diskrepanz auf.

Somit können nun analog zu 5.11 Konfidenzintervalle für q_{lk}^* und τ_{lk}^* berechnet werden. Diese sind in den Tabellen 6.8/1a und 6.8/1b zu finden. Der Aufbau dieser Tabellen entspricht demjenigen der Tabellen 6.6/2a und 6.6/2b. So sind jeweils sowohl die relativen Konfidenzintervalle - also die prozentualen Abweichungen - aufgeführt, als auch die absoluten Bereiche, in denen q_{lk}^* und τ_{lk}^* bei der entsprechenden Irrtumswahrscheinlichkeit α liegen.

Dabei steht in den letzten drei Spalten jeweils in der oberen Zeile einer Messung der absolute und in der unteren Zeile der relative Schwankungsbereich. Die Prozentangaben sind jeweils gerundet.

Tab. 6.8/1a: Absolute und relative Konfidenzintervalle für q_k * bei den Messungen auf der Grundlage der Differenzen (mo-ref) (Fortsetzung nächste Seite)

Messung	Anzahl der Meß- fahrtenpaare	$q(mo-1k)$ * Messung	$q(mo-1k)$ * Klasse	Standardabweichung		absolute und relative Konfidenzintervalle für q					
				Messung	Klasse	$\alpha=1\%$		$\alpha=5\%$		$\alpha=10\%$	
EWb/E	30	4,63	4,31	18,11	18,63	188 - 4	222 13	194 - 1	216 10	196 0	214 9
EWb/W	30	4,82	4,31	18,03	18,63	174 - 4	203 13	178 - 1	199 11	179 0	196 9
EWc/E	18	3,79	4,31	17,52	18,63	202 - 7	250 15	209 - 4	241 11	213 - 2	239 10
EWc/W	18	3,98	4,31	16,47	18,63	221 - 7	273 15	228 - 4	266 12	233 - 2	261 10
EWd/E	41	4,79	4,31	17,97	18,63	282 - 2	323 12	288 0	317 10	291 1	314 9
EWd/W	41	1,38	1,61	19,63	22,40	287 - 7	340 10	294 - 5	331 7	300 - 3	328 6
BNb/B	25	4,19	4,31	18,01	18,63	185 - 5	220 13	191 - 2	216 11	193 - 1	212 9
BNb/N	25	4,39	4,31	18,78	18,63	199 - 5	239 14	205 - 2	233 11	208 - 1	229 9
BNc/B	21	4,43	4,31	18,27	18,63	264 - 6	323 15	272 - 3	312 11	278 - 1	309 10
BNc/N	21	3,91	4,31	16,37	18,63	203 - 6	246 14	210 - 3	240 11	214 - 1	236 9
BNd/B	17	1,63	1,61	18,09	22,40	431 -12	569 16	451 - 8	544 11	461 - 6	534 9
BNd/N	17	4,19	4,31	17,17	18,63	231 - 7	288 16	238 - 4	278 12	243 - 2	273 10
BNe/B	14	1,57	1,61	20,67	22,40	277 -14	378 17	294 - 9	361 12	300 - 7	355 10
BNe/N	14	4,29	4,31	17,91	18,63	186 - 9	239 17	194 - 5	231 13	200 - 2	227 11

Messung	Anzahl der Meß- fahrtenpaare	* q(mo-1k) Messung	* q(mo-1k) Klasse	Standardabweichung		absolute und relative Konfidenzintervalle für q					
				Messung	Klasse	α=1%		α=5%		α=10%	
B9b/G	17	1,58	1,61	18,93	22,40	322 -12	425 16	337 - 8	407 11	344 - 6	399 9
B9b/K	17	4,17	4,31	15,83	18,63	203 - 8	256 16	212 - 4	247 12	216 - 2	242 10
B9c/G	9	1,78	1,61	11,81	22,40	373 -20	573 23	410 -12	541 16	424 - 9	522 12
B9c/K	9	1,62	1,61	21,54	22,40	265 -20	408 23	292 -12	385 16	302 - 9	371 12
B9d/G	15	4,30	4,31	16,65	18,63	236 - 8	300 17	246 - 4	289 13	251 - 2	284 11
B9d/K	15	4,22	4,31	17,83	18,63	213 - 8	271 17	223 - 4	262 13	227 - 2	257 11
THb/S	27	2,91	2,99	29,39	32,89	365 -13	500 19	386 - 8	479 14	399 - 5	466 11
THb/W	27	3,02	2,99	18,77	32,89	368 -13	504 19	389 - 8	483 14	402 - 5	470 11
THc/S	28	4,78	5,01	26,70	24,98	484 - 7	604 16	505 - 3	588 13	515 - 1	578 11
THc/W	28	5,09	5,01	17,18	24,98	855 - 7	1075 17	891 - 3	1039 13	910 - 1	1020 11

Tab. 6.8/1a: Absolute und relative Konfidenzintervalle für q_{ik}* bei den Messungen auf der Grundlage der Differenzen (mo-ref)

Tab. 6.8/1b. Absolute und relative Konfidenzintervalle für t_{ik}^* bei den Messungen (mo-ref) Lage der Differenzen (mo-ref) (Fortsetzung nächste Seite)

Messung	Anzahl der Meßfahrtenpaare	$t_{(mo-1k)}^*$ Messung	$t_{(mo-1k)}^*$ Klasse	Standardabweichung		absolute und relative Konfidenzintervalle für \bar{t}											
				Messung	Klasse	$\alpha=1\%$		$\alpha=5\%$		$\alpha=10\%$							
EWb/E	30	- 7,21	- 7,40	8,76	12,22	126	142	129	141	131	139	-13	- 2	-11	- 3	-10	- 4
EWb/W	30	- 7,13	- 7,40	13,15	12,22	127	143	130	142	132	140	-13	- 2	-11	- 3	-10	- 4
EWc/E	18	- 7,52	- 7,40	9,89	12,22	123	145	126	141	129	139	-15	0	-13	- 3	-11	- 4
EWc/W	18	- 7,67	- 7,40	12,31	12,22	127	149	130	145	131	143	-15	0	-13	- 3	-12	- 4
EWd/E	41	- 7,58	- 7,40	7,98	12,22	128	141	130	140	131	138	-12	- 3	-11	- 4	-10	- 5
EWd/W	41	- 8,57	- 8,90	8,23	15,13	124	140	125	137	127	137	-14	- 3	-13	- 5	-12	- 5
BNb/B	25	- 7,93	- 7,40	13,70	12,22	140	160	143	156	145	155	-14	- 2	-12	- 4	-11	- 5
BNb/N	25	- 7,10	- 7,40	13,36	12,22	146	166	149	162	151	161	-13	- 1	-11	- 3	-10	- 4
BNc/D	21	- 7,02	- 7,40	11,97	12,22	146	169	149	166	151	164	-14	0	-12	- 2	-11	- 3
BNc/N	21	- 7,39	- 7,40	12,31	12,22	144	166	148	163	150	161	-14	- 1	-12	- 3	-11	- 4
BNd/B	17	- 8,99	- 8,90	15,72	15,13	136	166	141	161	143	159	-18	0	-15	- 3	-14	- 4
BNd/N	17	- 7,83	- 7,40	13,46	12,22	135	159	138	154	140	153	-15	0	-13	- 3	-12	- 4
BNe/B	14	- 9,07	- 8,90	11,70	15,13	133	169	139	162	141	159	-20	2	-16	- 2	-15	- 4
BNe/N	14	- 7,44	- 7,40	7,87	12,22	135	162	139	157	141	155	-16	1	-13	- 2	-12	- 3

Tab. 6.8/1b: Absolute und relative Konfidenzintervalle für t_{ik}^* bei den Messungen auf der Grundlage der Differenzen ($m_0 - l_k$)

Messung	Anzahl der Meßfahrtenpaare	$-t_{(m_0-l_k)}^*$ Messung	$-t_{(m_0-l_k)}^*$ Klasse	Standardabweichung		absolute und relative Konfidenzintervalle für \bar{t}					
				Messung	Klasse	$\alpha=1\%$		$\alpha=5\%$		$\alpha=10\%$	
B9b/G	17	- 8,11	- 8,90	14,73	15,13	158	195	164	189	168	187
						-18	1	-15	- 2	-13	- 3
B9b/K	17	- 7,99	- 7,40	12,03	12,22	160	190	166	185	168	183
						-16	0	-13	- 3	-12	- 4
B9c/G	9	- 8,93	- 8,90	14,93	15,13	142	198	153	187	157	183
						-24	6	-18	0	-16	- 2
B9c/K	9	- 8,47	- 8,90	13,12	15,13	143	197	152	188	156	184
						-23	6	-18	1	-16	- 1
B9d/G	15	- 7,66	- 7,40	11,81	12,22	161	194	167	188	169	186
						-16	1	-13	- 2	-12	- 3
B9d/K	15	- 7,77	- 7,40	12,17	12,22	155	186	160	181	162	177
						-16	1	-13	- 2	-12	- 4
THb/S	27	- 7,36	- 7,89	16,65	20,18	107	132	111	128	114	127
						-17	2	-14	- 1	-12	- 2
THb/S	27	- 7,42	- 7,89	17,25	20,18	105	129	109	125	110	124
						-17	2	-14	- 1	-13	- 2
THc/S	28	- 7,92	- 7,31	5,69	17,54	107	127	110	125	112	122
						-16	0	-14	- 2	-12	- 4
THc/W	28	- 7,87	- 7,31	7,14	17,54	107	127	109	125	112	122
						-16	0	-14	- 2	-12	- 4

6.9 Messungen auf Einrichtungsfahrbahnen

6.9.1 Vorbemerkungen

Ziel dieser Arbeit ist es, die klassische MOM, so wie sie von CHARLESWORTH und WARDROP (1954) konzipiert wurde, zu untersuchen. Zusätzlich sollen aber in diesem Abschnitt noch kurz zwei andere Methoden gestreift werden, die von BENNETT (1975) für Einrichtungsfahrbahnen entwickelt wurden. Der Begriff Einrichtungsfahrbahn kann hier allerdings weiter gefaßt werden, da ein Hauptmerkmal dieser Methoden darin besteht, daß eine Beobachtung des Gegenverkehrs nicht erforderlich ist. Somit können also auch solche zweibahnigen Fahrbahnen untersucht werden, bei denen aus irgendwelchen Gründen auch immer (Bebauung, Bepflanzung, etc.) der Gegenverkehr nicht erfaßt werden kann.

Die für diese Arbeit durchgeführte Untersuchung erfolgte auf einer Autobahn mit drei Fahrstreifen je Richtung. Nähere Einzelheiten zum Meßaufbau und zur Meßdurchführung sind in 4.3.2 und im Anhang 4.2 zu finden. Da diese Art der Untersuchung hier nur am Rande erwähnt wird, soll auf eine ausführliche theoretische Erläuterung verzichtet werden. Stattdessen werden beide Methoden in den folgenden Abschnitten 6.9.2 und 6.9.3 kurz erläutert und hauptsächlich die Ergebnisse betrachtet. In 6.9.4 erfolgt dann eine Zusammenfassung.

6.9.2 Methode "Bennett I"

6.9.2.1 Allgemeines

Die Methode "Bennett I" kann als eine Weiterentwicklung der "Floating Car"-Methode aufgefaßt werden. Bei der "Floating Car"-Methode werden eine oder mehrere Meßfahrten in der Art und Weise durchgeführt, daß das Beobachtungsfahrzeug mit einer konstanten Geschwindigkeit v_0 fährt. Wird v_0 so gewählt, daß für jede Meßfahrt die

Anzahl der aktiven gleich der Anzahl der passiven Überholungen ist, also $M_a = M_p$, so entspricht v_0 der mittleren momentanen Reisegeschwindigkeit \bar{v}_m . Eine Messung der Verkehrsstärke kann mit der "Floating Car"-Methode nicht erfolgen.

Die Methode "Bennett I" basiert nun auf der Überlegung, daß die Bedingung $M_a = M_p$ dann nicht erfüllt sein muß, wenn stattdessen eine Information über die Art der Geschwindigkeitsverteilung vorliegt. Aufgrund von empirischen Ergebnissen kommt BENNETT zu dem Schluß, daß im allgemeinen von einer PEARSON Typ III-Verteilung ausgegangen werden kann und baut darauf seine Theorie auf. Resultat seiner Überlegungen ist das in Abbildung 6.9/1 dargestellte Diagramm. Damit kann, unter Zugrundelegung einer PEARSON Typ III-Verteilung, zu einem gemessenen Verhältnis $M_a/M_a + M_p$ ein zugehöriges Verhältnis v_0/\bar{v}_m bestimmt werden. Da v_0 bekannt ist kann aus dem Verhältnis v_0/\bar{v}_m dann \bar{v}_m berechnet werden. Der zur Bestimmung von v_0/\bar{v}_m erforderliche Variationskoeffizient muß durch Messung bestimmt oder geschätzt werden.

6.9.2.2 Messung

Für diese Arbeit wurde eine Messung auf einer Autobahn mit je drei Fahrstreifen pro Richtung durchgeführt. Da der betrachtete Streckenabschnitt mit festinstallierten Induktionsschleifen ausgestattet ist, konnte so während der Dauer der einzelnen Meßfahrten jeweils eine lokale Querschnittsmessung durchgeführt werden. Diese lieferte die Einzelgeschwindigkeiten v_i , anhand derer zunächst das Vorhandensein einer PEARSON Typ III-Verteilung geprüft wurde. Dies erfolgte wiederum mit dem schon früher verwendeten KOLMOGOROFF-SMIRNOV-Test. Dieser Test ergab für alle Meßfahrtenintervalle, daß die Hypothese einer PEARSON Typ III-Verteilung bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=5\%$ nicht abgelehnt werden kann.

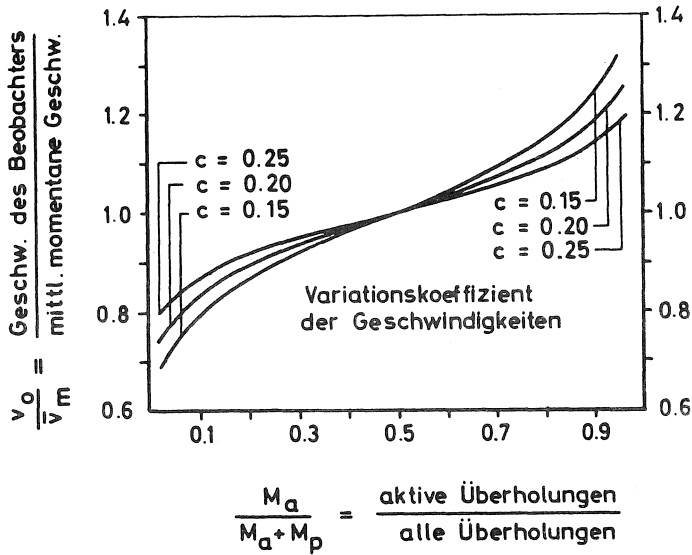


Abb. 6.9/1: Abweichung des momentanen Geschwindigkeitsmittels \bar{v}_m
(Quelle: BENNETT (1975))

Aus der Querschnittsmessung konnten darüberhinaus auch die Verkehrsstärken $q_{1k,k}$ und die Lkw-Anteile während den jeweiligen Meßfahrtenintervallen ermittelt werden ($k=1(1)M$, M =Anzahl der Meßfahrten).

Aus den v_i wurden dann die lokalen Geschwindigkeitsmittel $\bar{v}_{1k,k}$ und die Streuungen $\sigma^2_{1k,k}$ berechnet. Daraus konnten dann wiederum die Variationskoeffizienten c_k gemäß der Beziehung

$$c_k = \frac{\sigma_{1k,k}}{\bar{v}_{1k,k}} \quad (\text{VI.1})$$

bestimmt werden.

Schließlich wurden dann aus den $\bar{v}_{1k,k}$ und c_k gemäß der Beziehung

$$\bar{v}_{m,k} = \bar{v}_{1k,k} \cdot (1 - c_k^2) \quad (\text{VI.2})$$

die momentanen Geschwindigkeitsmittel $\bar{v}_{m,k}$ berechnet.

Entsprechend dem bisherigen Vorgehen in dieser Arbeit werden auch hier die Geschwindigkeitsmittelwerte in durchschnittliche Reisezeiten umgerechnet. Die mit der Methode "Bennett I" ermittelten durchschnittlichen Reisezeiten werden mit $\bar{\tau}_{BI,k}$ bezeichnet, die aus den $\bar{v}_{m,k}$ berechneten mit $\bar{\tau}_{m,k}$.

Die Meßfahrten wurden mit drei unterschiedlichen Fahrstrategien durchgeführt

- a) $v_o < \bar{v}_m$, so daß $M_p > M_a$
- b) $v_o = \bar{v}_m$, so daß $M_p = M_a$ ("Floating Car")
- c) $v_o > \bar{v}_m$, so daß $M_p < M_a$

Insgesamt wurden 30 Meßfahrten durchgeführt, wobei abwechselnd jede der drei Fahrstrategien 10 mal angewandt wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.9/1 aufgeführt. In den Abbildungen 6.9/2 und 6.9/3 sind $\bar{\tau}_{BI,k}$ und $\bar{\tau}_{m,k}$ bzw. die relativen Differenzen $RD\bar{\tau}_{m,k}$ zwischen $\bar{\tau}_{BI,k}$ und $\bar{\tau}_{m,k}$ aufgetragen.

Tab. 6.9/1: Ergebnisse der Methode "BENNETT I"

Nr. der Meßfahrt	Dauer [s]	M_a		c	Lkw- Anteil [%]	q_{lk} [Fz/h]	t_{lk} [s]	t_m [s]	t_{BI} [s]	Δ [%]
		M_a	M_p							
1	313	0,50	0,20	14	1.892	305	317	313	-1,3	
2	322	0,50	0,20	13	1.942	318	331	322	-2,7	
3	270	0,92	0,20	14	1.923	297	309	324	4,9	
4	409	0,02	0,20	14	1.917	280	291	303	4,1	
5	255	0,90	0,19	13	1.629	306	317	301	-5,0	
6	408	0,02	0,19	14	1.657	279	289	294	1,7	
7	284	0,50	0,20	13	1.893	282	293	284	-3,1	
8	324	0,50	0,20	12	1.873	314	327	324	-0,9	
9	256	1,00	0,19	11	1.877	313	324	333	2,8	
10	407	0,02	0,18	11	1.992	297	307	301	-2,0	
11	260	0,97	0,17	12	2.231	332	342	338	-1,2	
12	294	0,50	0,18	12	2.314	288	297	294	-1,0	
13	406	0,02	0,17	13	2.507	274	282	284	0,7	
14	303	0,50	0,17	13	2.502	309	318	303	-4,7	
15	248	0,92	0,20	15	2.555	285	297	298	0,3	
16	403	0,00	0,20	13	2.499	283	294	262	-10,9	
17	259	0,86	0,19	13	2.702	279	290	300	3,4	
18	407	0,05	0,20	12	2.656	283	294	285	-3,1	
19	301	0,50	0,20	12	2.700	281	292	301	3,1	
20	228	0,96	0,20	13	2.865	278	290	287	-1,0	
21	290	0,50	0,20	12	2.548	277	288	290	0,7	
22	229	0,95	0,19	14	2.529	273	283	289	2,1	
23	403	0,00	0,19	12	2.229	280	291	262	-10,0	
24	288	0,50	0,19	16	2.012	287	298	288	-3,4	
25	398	0,15	0,21	14	2.227	282	295	342	15,9	
26	240	1,00	0,19	13	2.576	279	289	312	8,0	
27	292	0,50	0,23	20	2.344	275	290	292	0,7	
28	245	0,84	0,21	16	2.031	283	296	282	-4,7	
29	395	0,00	0,20	15	1.545	285	297	257	-13,5	
30	391	0,02	0,20	13	1.472	271	283	289	2,1	
									$\bar{x} = -0,60$	
									$s = 5,59$	

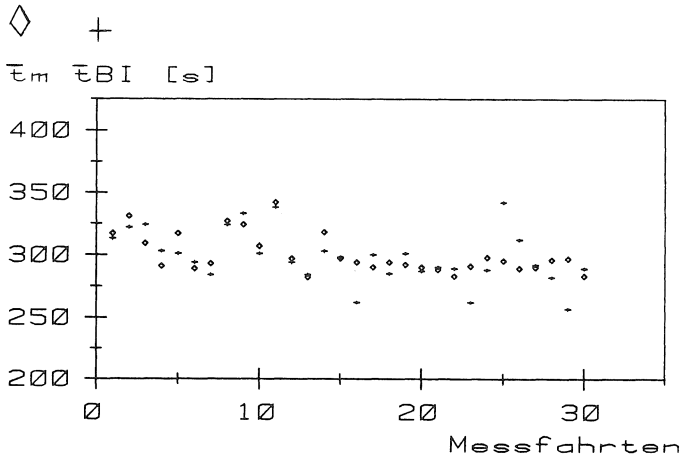


Abb. 6.9/2: Absolute Werte von \bar{t}_{BI} und \bar{t}_m

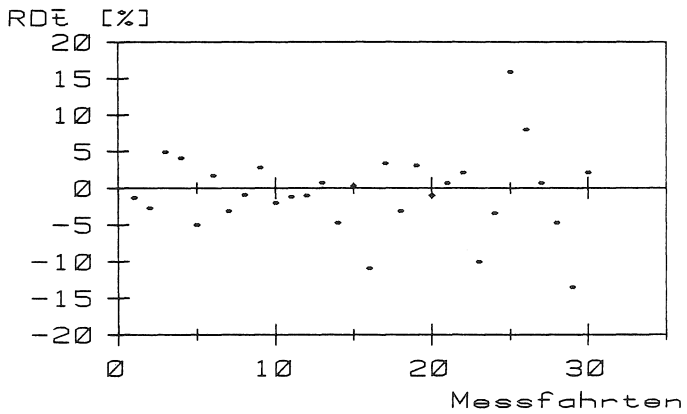


Abb. 6.9/3: Relative Differenz $RD_{\bar{t}}$ zwischen \bar{t}_{BI} und \bar{t}_m

6.9.3 Methode "Bennett II"

6.9.3.1 Allgemeines

Auch bei der Methode "Bennett II" muß eine Information über die Geschwindigkeitsverteilung vorliegen. Im Gegensatz zu "Bennett I" reicht hier jedoch das Vorhandensein einer PEARSON Typ III-Verteilung aus. Eine Kenntniss über den Variationskoeffizienten c ist nicht erforderlich.

Die Meßfahrten werden bei "Bennett II" in Form von Meßfahrtenpaaren durchgeführt. Jedes Meßfahrtenpaar besteht aus einer Meßfahrt mit $v_0 > \bar{v}_m$ und einer Meßfahrt mit $v_0 < \bar{v}_m$.

Mit Hilfe der beiden Formeln (VI.3) und (VI.4) können dann die durchschnittlichen Reisezeiten $t_{BII,k}$ und die Verkehrsstärken $q_{BII,k}$ ($k=1(1)M$, M =Anzahl der Meßfahrtenpaare) berechnet werden.

$$t_{BII,k} = \frac{t_{1,k} \cdot t_{2,k} \cdot (U_{2,k} - U_{1,k})}{t_{2,k} \cdot U_{2,k} - t_{1,k} \cdot U_{1,k}} \quad (VI.3)$$

$$q_{BII,k} = \frac{t_{1,k} \cdot U_{1,k} - t_{2,k} \cdot U_{2,k}}{t_{1,k} - t_{2,k}} \quad (VI.4)$$

Bezeichnet der Index 1 die Meßwerte der "schnellen" Meßfahrten ($v_0 > \bar{v}_m$) und der Index 2 diejenigen der "langsamen" ($v_0 < \bar{v}_m$) so ist

$t_{1,k}$, $t_{2,k}$: Fahrdauer einer Meßfahrt

$U_{1,k}$, $U_{2,k}$: Nettorate der Überholungen,
d.h. ist RM_a die Rate der aktiven und RM_p
diejenige der passiven Überholungen so ist

$$U = RM_p - RM_a.$$

Dabei ist zu beachten, daß RM_a , RM_p und U die Einheit [Fz/Zeiteinheit] haben. Wird als Zeiteinheit die übliche Einheit [h] gewählt (und ist t die Dauer der Meßfahrt in [s]), so werden RM_a und RM_p folgendermaßen berechnet:

$$RM_a \text{ [Fz/h]} = M_a \text{ [Fz]} \cdot \frac{3.600 \text{ [s/h]}}{t \text{ [s]}} \quad (\text{VI.5})$$

$$RM_p \text{ [Fz/h]} = M_p \text{ [Fz]} \cdot \frac{3.600 \text{ [s/h]}}{t \text{ [s]}} \quad (\text{VI.6})$$

6.9.3.2 Messung

Aus den in 6.9.2.2 beschriebenen zehn "schnellen" und zehn "langsamen" Meßfahrten wurden zehn Meßfahrtenpaare gebildet. Für jedes Meßfahrtenpaar wurden mit (VI.3) und (VI.4) $\tau_{BII,k}$ und $q_{BII,k}$ berechnet. Während des Zeitraums der zur Durchführung eines Meßfahrtenpaares notwendig ist, erfolgte eine lokale Querschnittsmessung. Analog zum Vorgehen bei "Bennett I" wurde anhand dieser Querschnittsmessung überprüft, ob hinsichtlich der Geschwindigkeitsverteilung von einer PEARSON Typ III-Verteilung ausgegangen werden kann. Auch hier ergab der KOLMOGOROFF-SMIRNOV-Test, daß diese Hypothese für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=5\%$ nicht abgelehnt werden kann. Weiterhin wurden analog zu 6.9.2.2 die $\tau_{m,k}$ und $q_{1k,k}$ berechnet.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.9/2 zu finden. Weiterhin sind in den Abbildungen 6.9/4 bis 6.9/7 die einzelnen $q_{1k,k}$ und $q_{BII,k}$ bzw. $\tau_{m,k}$ und $\tau_{BII,k}$ sowie die relativen Differenzen $RD_{q,k}$ zwischen $q_{BII,k}$ und $q_{1k,k}$ sowie $RD_{\tau,k}$ zwischen $\tau_{BII,k}$ und $\tau_{m,k}$ aufgetragen.

Tab.6.9/2: Ergebnisse der Methode "BENNETT II"

Nr. des Meßfahr-tenpaares	Dauer der Meß-fahrten [s]	U [Fz/h]	c	Lkw-Anteil [%]	q _{lk} [Fz/h]	q _{BII} [Fz/h]	Δ [%]	t _m [s]	t _{BII} [s]	Δ [%]	
1	270	-30	0,20	12	1.914	1.865	-2,6	324	328	1,2	
	409	42									
2	255	-23	0,20	11	1.610	1.506	-6,5	303	310	2,3	
	408	41									
3	256	-46	0,20	11	2.170	2.050	-5,5	329	337	2,4	
	407	40									
4	260	-28	0,20	12	1.821	1.775	-2,5	314	317	1,0	
	406	44									
5	248	-33	0,20	13	2.380	2.299	-3,4	294	300	2,0	
	403	66									
6	259	-26	0,20	12	2.392	2.335	-2,4	294	299	1,7	
	407	70									
7	228	-43	0,20	13	2.195	2.160	-1,6	291	300	3,1	
	403	62									
8	229	-35	0,20	14	1.888	1.619	-14,2	292	307	5,1	
	398	41									
9	240	-27	0,21	16	1.833	1.719	-6,2	291	297	2,1	
	395	47									
10	245	-22	0,20	16	1.668	1.627	-2,5	292	294	0,7	
	391	44									
								$\bar{x} = -4,74$ $s = 3,76$		$\bar{x} = 2,16$ $s = 1,26$	

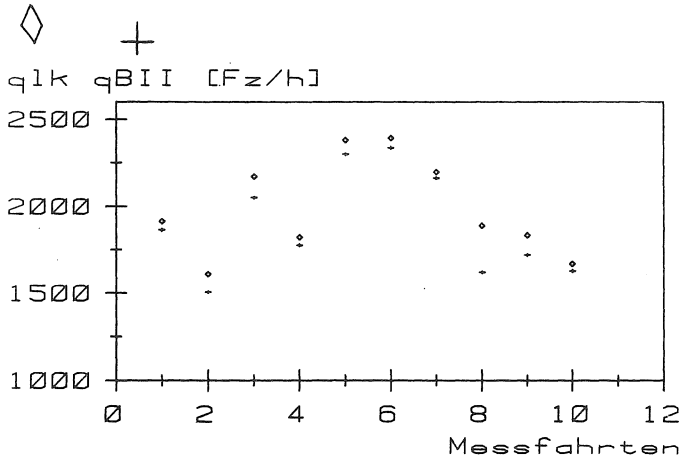


Abb. 6.9/4: Absolute Werte von q_{BII} und q_{lk}

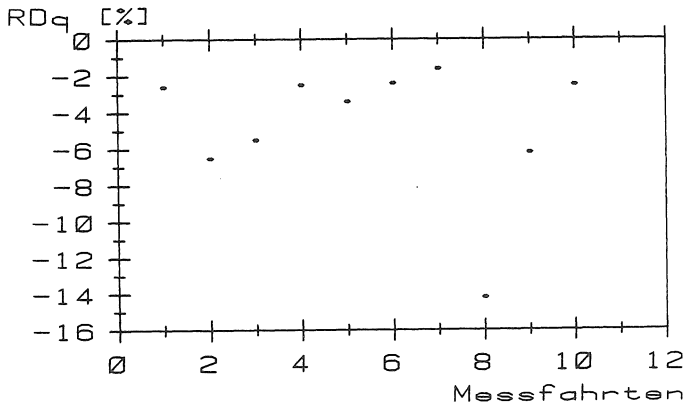


Abb. 6.9/5: Relative Differenz RD_q zwischen q_{BII} und q_{lk}

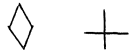
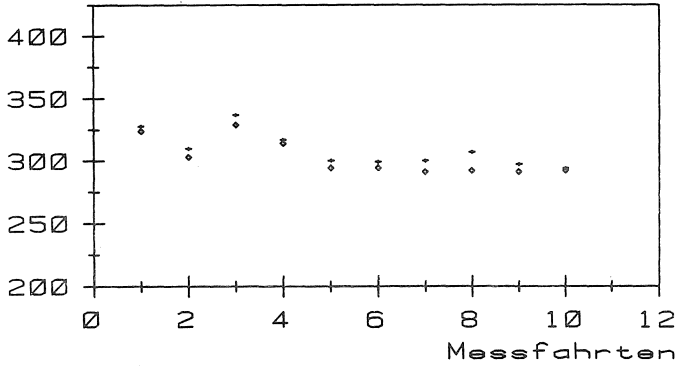

 \bar{t}_m \bar{t}_{BII} [s]


Abb. 6.9/6: Absolute Werte von \bar{t}_{BII} und \bar{t}_m

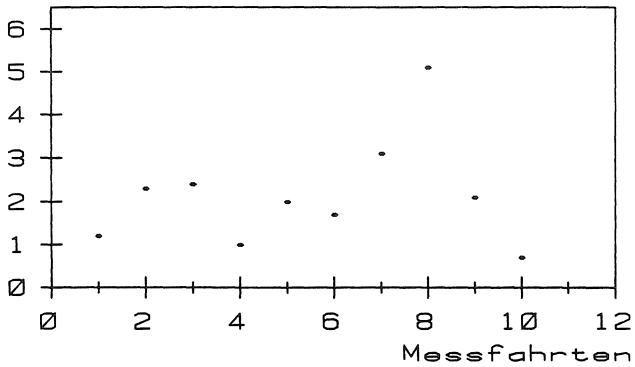
 $RD\bar{t}$ [%]


Abb. 6.9/7: Relative Differenz $RD\bar{t}$ zwischen \bar{t}_{BII} und \bar{t}_m

6.9.4 Ergebnisse und Zusammenfassung

Die beiden vorgestellten Methoden "Bennett I" und "Bennett II" erlauben die Bestimmung der durchschnittlichen Reisezeit auf einem Streckenabschnitt, wobei die Meßfahrten nur in der zu untersuchenden Richtung durchgeführt werden müssen und eine Beobachtung des Gegenverkehrs nicht erforderlich ist. Zusätzlich erlaubt die Methode "Bennett II" auch die Bestimmung der Verkehrsstärke.

Vergleicht man die Ergebnisse der beiden Methoden für die durchschnittliche Reisezeit mit denjenigen einer lokalen Querschnittsmessung, so fällt die Überlegenheit von "Bennett II" auf. "Bennett II" liefert für alle Meßfahrtenpaare eine Überschätzung, die aber maximal nur 5,1% beträgt. Als Mittelwert ergibt sich 2,16% und eine Standardabweichung von 1,26. Somit kann aufgrund der durchgeführten Messung "Bennett II" eine hohe Meßgenauigkeit bescheinigt werden.

Im Gegensatz dazu liefert "Bennett I" zwar nur eine Unterschätzung von durchschnittlich -0,60%, aber eine Standardabweichung von 5,59. Weiterhin treten bei "Bennett I" sowohl Unter- als auch Überschätzungen auf. Die maximale Unterschätzung beträgt -13,5%, die maximale Überschätzung 15,9%.

Berücksichtigt man weiter, daß für "Bennett I" eine parallel laufende Messung des Variationskoeffizienten c der Geschwindigkeiten notwendig ist - wenn man sich nicht auf eventuell ungenaue Schätzungen für c einlassen will - so wird die Überlegenheit von "Bennett II" noch deutlicher.

Soll auch die Verkehrsstärke bestimmt werden, so ist ohnehin "Bennett II" zu wählen. Im vorliegenden Fall traten - verglichen mit der Querschnittsmessung - aus-

schließlich Unterschätzungen auf. Die maximale Unterschätzung betrug -14,2%, der Mittelwert -4,74% und die Standardabweichung 3,76. Auch dies kann als ein gutes Ergebnis bezeichnet werden.

Zusammenfassend kann aufgrund der bei dieser Messung gewonnenen Ergebnissen davon ausgegangen werden, daß mit "Bennett II" eine für die Praxis hinreichend genaue Bestimmung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit möglich ist. Da im vorliegenden Fall nur eine einzige Messung mit insgesamt 10 Meßfahrtenpaaren durchgeführt wurde und diese folglich nicht als repräsentativ im strengen Sinne gelten kann, besteht hier ein Anknüpfungspunkt für weitere Untersuchungen.

7. Vergleich von Simulation und Messung

7.1 Vorbemerkungen

In diesem Kapitel werden die Unterschiede und Gemeinsamkeiten aufgezeigt, die sich zwischen den beiden Vorgehensweisen "Simulation" und "Messung" ergeben. Da in 6.6 und 6.8 bereits eine Gegenüberstellung der Ergebnisse erfolgt ist, kann sich der Vergleich hier im wesentlichen auf den Aspekt der Datenerfassung beschränken.

7.2 Datenerfassung

7.2.1 Allgemeines

Bei der praktischen Durchführung der MOM hat sich gezeigt, daß die Forderung des gleichzeitigen Startens, gleicher Fahrdauern und somit auch gleicher Ankunftszeitpunkte der beiden MO-Fahrzeuge im allgemeinen nicht erfüllt werden kann. Deshalb wurde SIMLA 2/MO so aufgebaut, daß auch bei den simulierten Meßfahrtenpaaren diese Differenzen auftreten. Die Art und Weise, wie dies realisiert wurde, ist in 4.2.2 beschrieben.

Vergleicht man die Funktionsweise von SIMLA 2/MO bei der Simulation von Meßfahrtenpaaren mit der Realität, so ergibt sich ein grundsätzlicher Unterschied: In der Realität ist das Einfahren der Meßfahrzeuge in die Meßstrecke umso besser möglich, je größer die Zeitlücken im fließenden Verkehr sind. Dies bedeutet aber, daß mit zunehmender Verkehrsstärke immer seltener ausreichend große Zeitlücken auftreten und somit die Differenzen zwischen den beiden Startzeitpunkten zunehmen werden.

Im Gegensatz dazu werden bei SIMLA 2/MO die MO-Fahrzeuge aus der Menge der am jeweiligen Einfahrquerschnitt durchfahrenden Fahrzeuge herausgegriffen (s. 4.2.2). Da

bei zunehmender Verkehrsstärke mehr Fahrzeuge einfahren, werden folglich auch die Zeitspannen kleiner, die zwischen der Definition des MO-Fahrzeugs am Querschnitt X_1 und des MO-Fahrzeugs am Querschnitt X_2 liegen. Dies bedeutet, daß die Differenzen der beiden Startzeitpunkte abnehmen werden.

Die absoluten Differenzen zwischen den beiden Startzeitpunkten, Fahrtauern und Ankunftszeitpunkten sind als Größe für den zeitlichen Versatz der beiden Meßfahrten nur bedingt geeignet. Ein Unterschied der Fahrtauern von beispielsweise 10 Sekunden ist bei einer Fahrtauer von 100 Sekunden bedeutsamer als bei einer Fahrtauer von 500 Sekunden. Deshalb werden im folgenden hauptsächlich die "relativen Differenzen" verwendet. Zu ihrer Berechnung werden die absoluten Differenzen auf die durchschnittliche Fahrtauer des zugehörigen Meßfahrtenpaares bezogen, also:

relative Differenzen der Startzeitpunkte RDS_k :

$$RDS_k = \frac{DS_k}{1/2 \cdot (t_{w,k} + t_{a,k})} \cdot 100 [\%] \quad (\text{VII.1})$$

relative Differenzen der Fahrtauern RDF_k :

$$RDF_k = \frac{DF_k}{1/2 \cdot (t_{w,k} + t_{a,k})} \cdot 100 [\%] \quad (\text{VII.2})$$

relative Differenzen der Ankunftszeitpunkte RDA_k :

$$RDA_k = \frac{DA_k}{1/2 \cdot (t_{w,k} + t_{a,k})} \cdot 100 [\%] \quad (\text{VII.3})$$

wobei

DS_k , DF_k , DA_k jeweils die absoluten Differenzen und

$t_{w,k}$, $t_{a,k}$ die Fahrtauern in Richtung und Gegenrichtung des k -ten Meßfahrtenpaares sind.

Weiterhin wird zum Vergleich von Simulation und Messung auch der Anteil der Summe der durchschnittlichen Dauern der Meßfahrtenpaare an der gesamten Untersuchungsdauer betrachtet, also der Anteil an der gesamten Untersuchungsdauer, während dem tatsächlich gemessen wird. Dieser Anteil wird im folgenden als Meßzeitanteil MZA bezeichnet und berechnet sich zu:

$$MZA = \frac{\sum_{k=1}^M 1/2 \cdot (t_{w,k} + t_{a,k})}{T} \cdot 100 \text{ [\%]} \quad (\text{VII.4})$$

wobei gilt:

T: Gesamte Untersuchungsdauer
M: Gesamtzahl der Meßfahrtenpaare

Entsprechend ergibt sich derjenige Anteil der gesamten Untersuchungsdauer, der nicht mit Meßfahrten überdeckt ist, als Verlustzeitanteil VZA:

$$VZA = 100 - MZA \text{ [\%]} \quad (\text{VII.5})$$

bzw.

$$VZA = \frac{\sum_{k=1}^{M-1} \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 (t_{Ub,k,f})}{T} \cdot 100\% \quad (\text{VII.6})$$

wobei $t_{Ub,k,f}$ die auf das k-te Meßfahrtenpaar folgenden Brutto-Umkehrzeiten für die M0-Fahrzeuge f sind ($f=1,2$).

7.2.2 Simulation

Es wurde bereits in 5.8 darauf hingewiesen, daß bei der MOM nicht während der gesamten Untersuchungsdauer Meßfahrten durchgeführt werden können. Diese sind vielmehr durch die jeweils notwendigen Brutto-Umkehrzeiten $t_{ub,k,f}$ unterbrochen. Deshalb soll zunächst der Meßzeitanteil MZA bzw. der korrespondierende Verlustzeitanteil VZA untersucht werden.

Man kann vermuten, daß MZA bei konstanter Untersuchungsdauer mit kürzer werdender Streckenlänge abnimmt, da dann die Anzahl der Wendevorgänge zunimmt. Zur Bestätigung dieser Vermutung wurden die Simulationsläufe in drei Klassen mit jeweils gleicher Streckenlänge eingeteilt. Diese sind in Tabelle 7.2/1 aufgeführt.

Für jede Klasse wurde aus den einzelnen Meßzeitanteilen MZA_s der jeweiligen Simulationsläufe der durchschnittliche Meßzeitanteil \bar{MZA} folgendermaßen berechnet:

$$\bar{MZA} = \frac{\sum_{s=1}^S MZA_s}{S} \quad (\text{VII.7})$$

wobei S die Anzahl der Simulationsläufe der entsprechenden Klasse ist.

Tab. 7.2/1: Durchschnittlicher Meßzeitanteil \bar{MZA} in Abhängigkeit von der Streckenlänge

Streckenlänge X_L [m]	Durchschnittlicher Meßzeitanteil \bar{MZA} [%]
1.200	54,0
2.400	68,1
4.800	78,3

Die Ergebnisse von Tabelle 7.2/1 bestätigen die Vermutung, wonach MZA mit kürzer werdender Streckenlänge abnimmt. Darüberhinaus kann gesagt werden:

- Auch bei längeren Meßstrecken (hier ca. 5 km) ist MZA noch unterhalb von 80%, der Verlustzeitanteil VZA also noch über 20%.
- Da MZA bei einer Streckenlänge von $X_L=1.200$ m bereits fast auf 50% abgesunken ist, muß davon ausgegangen werden, daß bei kurzen Meßstrecken und "ungünstigen Einfahrbedingungen" VZA größer als MZA werden kann.

Zur Untersuchung der Unterschiede zwischen den Startzeitpunkten, Fahrtauern und Ankunftszeitpunkten wird zunächst die obige Klasseneinteilung beibehalten. In Tabelle 7.2/2 sind die absoluten und die relativen Differenzen aufgeführt. Man sieht, daß der Mittelwert der absoluten Differenzen $\bar{O}DS$ für alle Klassen in der selben Größenordnung liegt, was auch nicht weiter überrascht, da ja die "Einfahrbedingungen" für alle Streckenlängen gleich sind. Folglich nimmt der Mittelwert der relativen Differenzen $\bar{O}RDS$ mit abnehmender Streckenlänge zu, so daß es mit kürzer werdender Meßstrecke immer schwieriger wird, die MOM korrekt durchzuführen.

Da die Fahrtauern mit abnehmender Streckenlänge zwangsläufig kürzer werden, ist es naheliegend, daß dies auch bei den absoluten Differenzen DF der Fall ist, während natürlich RDF in etwa gleich bleiben. Was die Differenzen der Ankunftszeitpunkte anbelangt, so ergibt sich bei ihnen ein Überlagerungseffekt der Verhältnisse bei den Differenzen von Startzeitpunkten und Fahrtauern.

Tab. 7.2/2: Mittelwerte der absoluten und relativen Differenzen der Startzeitpunkte, Fahrt-dauern und Ankunftszeitpunkte in Abhängig-keit von der Streckenlänge

Strecken- länge X_L [m]	Startzeitpunkte		Fahrt-dauern		Ankunftszeit- punkte	
	$\bar{\theta}DS$ [s]	$\bar{\theta}RDS$ [%]	$\bar{\theta}DF$ [s]	$\bar{\theta}RDF$ [%]	$\bar{\theta}DA$ [s]	$\bar{\theta}RDA$ [%]
1.200	15,3	23,5	8,9	11,3	20,7	30,1
2.400	14,1	11,6	20,2	13,7	27,8	20,8
4.800	14,4	6,3	40,8	14,0	49,0	17,0

Zur weiteren Untersuchung der zeitlichen Differenzen wurden die Simulationsläufe in verschiedene Verkehrs-stärkeklassen eingeteilt. Dabei wurden zunächst drei Klassen mit jeweils gleicher vorgegebener Verkehrs-stärke für beide Richtungen gewählt, also $q_{v,1}=q_{v,2}$. Sowohl $\bar{\theta}RDS$, $\bar{\theta}RDF$ und $\bar{\theta}RDA$ als auch $\bar{\theta}MZA$ sind in Tabelle 7.2/3 zu finden.

Tab. 7.2/3: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Differenzen von Startzeitpunkten, Fahrt-dauern und Ankunftszeitpunkten, sowie durchschnittlicher Meßzeitanteil in Abhängig-keit von der vorgegebenen Verkehrsstärke. Für beide Richtungen jeweils gleiche Vorgabe.

$q_v^{*})$ [Fz/h]	$\bar{\theta}RDS$		$\bar{\theta}RDF$		$\bar{\theta}RDA$		$\bar{\theta}MZA$ [%]
	[%]	s	[%]	s	[%]	s	
200	13,5	18,9	6,5	9,5	17,1	18,5	74,1
400	5,4	6,2	15,5	10,9	13,8	10,7	80,6
600	2,2	2,3	17,0	13,7	16,2	13,3	83,9

*) jeweils vorgegebene Verkehrsstärke für beide Richtungen

Hierbei zeigt sich, daß $\bar{O}RDS$ mit wachsender Verkehrsstärke abnimmt. Dies steht im Einklang mit der Erläuterung in 7.2.1 über die Simulation der MO-Fahrzeuge bei SIMLA 2/MO.

Man erkennt aus Tabelle 7.2/3 weiterhin, daß $\bar{O}RDF$ mit wachsender Verkehrsstärke zunimmt. Die Ursache hierfür ist, daß die Fahrdauern bei niedrigen Verkehrsstärken mehr oder weniger konstant sind und mit wachsender Verkehrsstärke zunehmend streuen (s. Ganglinien in 5.3.1.2).

Als Überlagerung von $\bar{O}RDS$ und $\bar{O}RDF$ resultiert schließlich ein für alle Verkehrsstärken mehr oder weniger konstantes Verhalten von $\bar{O}RDA$. Man erkennt auch deutlich das Ansteigen von $\bar{O}MZA$ mit zunehmender Verkehrsstärke. Dies ist auf die bereits erwähnte Art und Weise der Erzeugung der MO-Fahrzeuge bei SIMLA 2/MO zurückzuführen. Das Absinken bei niedrigen Verkehrsstärken hat keine nachteiligen Folgen, da bei der Simulation ja beliebig lange ein stationärer Verkehrsfluß erzeugt und somit die Untersuchungsdauer problemlos verlängert werden kann.

Als nächstes soll die Frage untersucht werden, wie sich unterschiedliche Verkehrsstärken in Richtung und Gegenrichtung auswirken. Dazu wurde eine Klasseneinteilung gewählt, bei der als Einteilungskriterium das Verhältnis von $q_{v,1}$ zu $q_{v,2}$ verwendet wird.

Die erste Klasse enthält diejenigen Läufe mit einem Verhältnis $q_{v,1}/q_{v,2}=1,0$, also $q_{v,1};q_{v,2}=200;200, 400;400$ und $600;600$ Fz/h.

In Klasse 2 befinden sich diejenigen Läufe mit einem Verhältnis von $q_{v,1}/q_{v,2}=1,5$, also $q_{v,1};q_{v,2}=400;600$ Fz/h.

Klasse 3 umfaßt die Läufe mit $q_{v,1}/q_{v,2}=2,0$, also $q_{v,1};q_{v,2}=200;400$ Fz/h.

Klasse 4 schließlich enthält die Läufe mit $q_{v,1}/q_{v,2}=3,0$, also $q_{v,1};q_{v,2}=200;600$ Fz/h. Dies ist in Tabelle 7.2/4 dargestellt.

Tab. 7.2/4: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Differenzen der Startzeitpunkte, Fahrtauern und Ankunftszeitpunkte, sowie durchschnittlicher Meßzeitanteil in Abhängigkeit von der vorgegebenen Verkehrsstärke. Für beide Richtungen jeweils unterschiedliche Vorgabe.

Verhältnis von $q_{v,1}/q_{v,2}$	ØRDS		ØRDF		ØRDA		ØMZA [%]
	[%]	s	[%]	s	[%]	s	
1,0	8,6	14,4	12,0	11,7	17,1	15,1	77,5
1,5	5,6	7,9	15,8	11,6	17,3	12,1	78,9
2,0	6,3	9,6	15,8	17,0	18,5	17,0	76,2
3,0	6,0	8,4	13,6	11,7	18,4	12,2	73,2

Man erkennt eindeutig, daß ØRDS, ØRDF, ØRDA und ØMZA für alle vier Klassen in derselben Größenordnung liegen. Somit kann davon ausgegangen werden, daß das Verhältnis der Verkehrsstärken beider Richtungen keinen Einfluß auf diese Größen hat.

7.2.3 Messungen

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 7.2/5 zu finden. Man erkennt, daß sowohl ØRDS, ØRDF und ØRDA als auch ØMZA in der gleichen Größenordnung liegen wie bei den Simulationsläufen. Auch hier fällt auf, daß sich die Schwankungen von ØRDS und ØRDF überlagern und somit bei ØRDA geringer sind.

Tab. 7.2/5: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Differenzen der Startzeitpunkte, Fahrtauern und Ankunftszeitpunkte, sowie durchschnittlicher Meßzeitanteil

Messung	Startzeitpunkte		Fahrtauern		Ankunftszeitpunkte		ØMZA [%]
	ØRDS [%]	s	ØRDF [%]	s	ØRDA [%]	s	
EWb	7,9	3,1	5,3	4,1	6,3	5,6	58,4
EWc	15,7	9,7	6,9	7,7	12,1	9,5	61,5
EWd	20,2	8,9	5,6	5,0	16,2	9,6	60,0
BNb	4,2	2,7	7,1	5,1	7,3	5,2	73,7
BNc	9,5	4,8	9,4	7,7	11,3	8,5	72,6
BNd	9,3	4,6	6,9	4,8	7,8	5,0	75,2
BNe	10,0	3,5	8,9	4,7	4,9	4,1	71,0
B9b	12,0	8,0	5,4	5,5	14,5	11,8	66,8
B9c	14,7	9,6	13,3	5,8	16,8	17,2	-*)
B9d	17,8	11,7	8,6	6,7	22,7	12,2	67,6
THb	6,6	4,6	6,7	6,0	10,8	8,3	64,9
THc	8,8	7,7	6,3	7,5	11,5	8,8	-*)

*) Angabe nicht sinnvoll, da Pause innerhalb der Messung.

Betrachtet man die Standardabweichungen, so kann insgesamt sowohl für die Simulation als auch für die Messungen festgestellt werden, daß das Additionstheorem der Normalverteilung $s_{ges} = \sqrt{s_1^2 + s_2^2}$ gut erfüllt ist, daß also in etwa gelten kann

$$s_{RDA} = \sqrt{s^2_{RDS} + s^2_{RDF}}$$

7.3 Zusammenfassung

Insgesamt kann aufgrund der vorliegenden Daten davon ausgegangen werden, daß SIMLA 2/MO die MOM hinreichend genau simuliert. Ein eventueller Einfluß der erwähnten prinzipiellen Unterschiede beim Einfahren der MO-Fahrzeuge bzw. deren Erzeugung bei SIMLA 2/MO kann deshalb vernachlässigt werden.

8. Praktische Anwendung der 'Moving Observer'-Methode

8.1 Vorbemerkungen

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die MOM eingehend untersucht und ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Meßfahrtenpaare und der Genauigkeit, mit der q und t bestimmt werden können, gefunden. Zum Abschluß dieser Arbeit sind nun noch zwei Dinge zu tun:

1. zu erläutern, wie aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse die MOM in der Praxis durchzuführen ist, und
2. dies anhand eines Beispiels zu zeigen.

8.2 Allgemeines Vorgehen bei der praktischen Anwendung der 'Moving Observer'-Methode

Aufgrund der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse sollte bei der praktischen Durchführung der MOM folgendermaßen vorgegangen werden:

1. Schritt:

Da zur Durchführung der MOM eine Mindestverkehrsstärke notwendig ist (s. 4.2.3.4), sollte bereits vor der Messung überlegt werden, ob q größer als ca. 150 Fz/h sein wird.

2. Schritt:

Zur Berechnung der Konfidenzintervalle muß eine Irrtumswahrscheinlichkeit α vorgegeben werden. Je kleiner α gewählt wird, desto größer muß zwangsläufig das Intervall werden, und umgekehrt. Wird beispielsweise $\alpha=1\%$ vorgegeben, so bedeutet dies, daß man sich in 1% aller Fälle irrt. Da man im Fall von $\alpha=10\%$ eine höhere Irrtumsrate in Kauf nimmt, ist folglich das zugehörige Intervall kleiner. Insgesamt kommt es bei der Wahl von α also darauf an, einen günstigen Kompromiß zwischen

einer niedrigen Irrtumsrate einerseits und einem nicht zu breiten Konfidenzintervall andererseits zu finden. Dies dürfte in der Praxis im allgemeinen bei $\alpha=5\%$ der Fall sein.

3. Schritt:

Da die aus der Simulation erhaltenen Ergebnisse nur auf den drei Streckenlängen $X_L=1.200, 2.400$ und 4.800 m basieren, ist zu prüfen, ob die Länge der zu untersuchenden Strecke innerhalb dieses Bereichs liegt. Liegt sie außerhalb, so ist strenggenommen eine Berechnung von Konfidenzintervallen nicht zulässig. Da sich aber in 6.6 und 6.8 gezeigt hat, daß sogar ein einfaches Zuordnen der vorliegenden Streckenlänge zu derjenigen "Simulationslänge", die am nächsten liegt, zulässig ist, kann davon ausgegangen werden, daß eine geringfügige Unter- bzw. Überschreitung des Bereichs zwischen 1.200 und 4.800 m noch zulässig ist. In diesem Fall und auch dann, wenn X_L zwischen zwei "Simulationslängen" liegt, können die zu berechnenden Konfidenzintervalle durch lineare Interpolation der tatsächlichen Streckenlänge angepaßt werden, wie dies in 5.10.3 und 5.11.3 beschrieben ist.

4. Schritt:

Bereits vor der Durchführung einer Messung sollte man eine ungefähre Vorstellung von der gewünschten Genauigkeit und der sich daraus ergebenden ungefähren Anzahl der notwendigen Meßfahrtenpaare haben. Dies ist deshalb wichtig, da während der Messung Stationarität herrschen muß, und um im Nachhinein unliebsame Überraschungen zu vermeiden, sollte zunächst überschlägig geprüft werden, ob die voraussichtlich notwendigen Meßfahrtenpaare auch alle innerhalb eines stationären Zeitintervalls durchgeführt werden können. Auf jeden Fall muß man aber beachten, daß eine Messung mindestens fünf Meßfahrtenpaare umfassen sollte.

Die beiden Kernfragen sind aber, wie stationäre Zeitintervalle bestimmt werden können und wie festgestellt werden kann, ob während der Messung auch tatsächlich Stationarität herrscht.

Die erste Frage ist im Grunde genommen einfach zu beantworten, denn im allgemeinen soll die Messung während eines bestimmten Verkehrszustands (z.B. während der Spitzenstunden) durchgeführt werden und es ist meist aus Erfahrung bekannt, wann dieser Zustand herrscht. Ist dies jedoch nicht bekannt, so muß eine Voruntersuchung erfolgen. Dies kann in der Art und Weise geschehen, daß man an einem Querschnitt die Anzahlen der pro 5-Minuten-Intervall durchfahrenden Fahrzeuge bestimmt. Diese werden dann analog zu dem Vorgehen in 3.1 in Form einer Summenlinie aufgetragen. Weicht diese Summenlinie nicht wesentlich von einer Geraden ab, kann davon ausgegangen werden, daß Stationarität herrscht.

Natürlich wäre es auch denkbar, eine Querschnittsmessung mit Hilfe von auf der Fahrbahn angebrachten Induktionsschleifen durchzuführen und die so gewonnenen Daten beispielsweise mit dem auch in dieser Arbeit verwendeten Stationaritätstest von JACOBS (1979) zu untersuchen. Ein solches Vorgehen würde jedoch im Grunde genommen dem Charakter der MOM widersprechen, deren Vorzüge ja gerade in der Möglichkeit liegen, ohne stationäre Meßeinrichtungen auszukommen. Es gibt allerdings eine Situation, in der das obige Vorgehen durchaus sinnvoll ist, nämlich dann, wenn sich innerhalb der Untersuchungsstrecke bereits festinstallierte Schleifen befinden. Es ist im allgemeinen technisch kein Problem, diese Schleifen "anzuzapfen". Damit wäre nur noch ein Aufzeichnungs- und Auswertegerät für die Schleifenimpulse erforderlich. Dieses Vorgehen wurde auch bei der für diese Arbeit durchgeführten Messung "B9" angewandt.

Die zweite Frage, wie festgestellt werden kann, ob während der Messung Stationarität herrscht, wird im folgenden 5. Schritt beantwortet.

5. Schritt:

Nach diesen in den Schritten 1 bis 4 beschriebenen Vorüberlegungen kann nun die eigentliche Messung erfolgen, wie sie in den Kapiteln 2 und 4 beschrieben ist.

Im Gegensatz zu den Überlegungen in Schritt 4, die lediglich den Zweck hatten, abzuschätzen, wann Stationarität zu erwarten ist, muß spätestens bei der Auswertung der Messung feststehen, ob sie bei Stationarität erfolgt ist oder nicht. Dies könnte nun ebenfalls mit den in Schritt 4 beschriebenen Methoden erfolgen; eine wesentlich elegantere Methode ist jedoch, die Frage ob Stationarität herrscht oder nicht, durch die MOM selbst beantworten zu lassen. Dazu wird der zeitliche Verlauf der $q_{mo,k}$ auf das Vorhandensein eines Trends untersucht. Zu diesem Zweck gibt es eine Reihe von verschiedenen Verfahren. Eines davon ist der "Vorzeichen-Trendtest" von COX und STUART (vgl. dazu SACHS (1984), S. 296). Dieser Test läuft folgendermaßen ab:

Für die Prüfung der Reihe der $q_{mo,k}$ auf Trendänderung werden die M Werte in drei Gruppen geteilt, so daß die erste und die letzte mit $M'=M/3$ gleich viele Meßwerte enthält. Das mittlere Drittel wird bei Stichprobenumfängen M , die nicht durch drei teilbar sind, um ein bzw. zwei Werte reduziert. Man vergleicht dann jede Beobachtung des ersten Drittels der Meßreihe mit der ihr entsprechenden Beobachtung des letzten Drittels der Meßreihe und markiert ein "Plus" bei aufsteigendem Trend bzw. ein "Minus" bei absteigendem Trend, also je nachdem, ob eine positive oder negative Differenz erscheint. Ist S_+ die Summe der Pluszeichen und S_- die Summe der Minuszeichen, so ergibt sich für die Prüfung auf ansteigenden Trend die Testgröße

$$Z_+ = \frac{\left| S_+ - \frac{M}{6} \right|}{\sqrt{\frac{M}{12}}} \quad (\text{VIII.1a})$$

bzw. für $M < 30$:

$$Z_+ = \frac{\left| S_+ - \frac{M}{6} \right| - 0,5}{\sqrt{\frac{M}{12}}} \quad (\text{VIII.1b})$$

Entsprechend ergibt sich für die Prüfung auf absteigenden Trend die Testgröße:

$$Z_- = \frac{\left| S_- - \frac{M}{6} \right|}{\sqrt{\frac{M}{12}}} \quad (\text{VIII.2a})$$

bzw. für $M < 30$:

$$Z_- = \frac{\left| S_- - \frac{M}{6} \right| - 0,5}{\sqrt{\frac{M}{12}}} \quad (\text{VIII.2b})$$

Ist bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ $Z_+ > 1,64$, liegt ein aufsteigender Trend vor, ist $Z_- > 1,64$, liegt ein absteigender Trend vor.

Im Falle von Stationarität muß folglich gelten:

$$Z_- < 1,64 \quad \wedge \quad Z_+ < 1,64 .$$

Zur Erläuterung dieses Tests nun noch ein kleines Beispiel:

Nr.	Meßwert	Nr.	Meßwert
1	18	10	22
2	24	11	19
3	22	12	25
4	19	13	19
5	20	14	20
6	23	15	23
7	18	16	17
8	23	17	21
9	24		
M = 17 → M' = 6			

Nach Dreiteilung ergibt sich:

Meßwerte des letzten Drittels	Meßwerte des ersten Drittels	Vorzeichen der Differenzen
25	18	+
19	24	-
20	22	-
23	19	+
17	20	-
21	23	-

Somit ist also $S_+ = 2$ und $S_- = 4$.

Die Prüfung auf ansteigenden Trend ergibt:

$$Z_+ = \frac{\left| 2 - \frac{17}{6} \right| - 0,5}{\sqrt{\frac{17}{12}}} = 0,28 < 1,64$$

und somit liegt kein ansteigender Trend vor.

Die Prüfung auf absteigenden Trend ergibt:

$$z_- = \frac{\left| 4 - \frac{17}{6} \right| - 0,5}{\sqrt{\frac{17}{12}}} = 0,56 < 1,64$$

und somit liegt kein absteigender Trend vor.

Endergebnis:

Da weder ein ansteigender noch ein absteigender Trend nachgewiesen werden konnte, kann Stationarität unterstellt werden.

Will man bei der praktischen Durchführung der MOM ein begrenztes stationäres Zeitintervall maximal ausschöpfen, so sollte man folgendermaßen vorgehen:

Man beginnt bereits kurz vor dem vermuteten Beginn des stationären Intervalls mit der Messung. Nach jedem Meßfahrtenpaar k wird sofort aus den gemessenen Werten t_w , t_a , M_a , M_p und E die Verkehrsstärke $q_{MO,k}$ berechnet. Ungefähr ab dem 7. bis 10. Meßfahrtenpaar kann zusätzlich der Trendtest für die $q_{MO,k}$ durchgeführt werden, da dann genügend Meßwerte zur Verfügung stehen. Bei der Leistungsfähigkeit der heutigen programmierbaren Taschenrechner dürfte dies kein Problem sein. Stellt man fest, daß die ersten $q_{MO,k}$ stark von den nachfolgenden abweichen, so kann dies ein Hinweis darauf sein, daß der Meßbeginn etwas zu früh war, und man kann diese ersten Werte für die weitere Betrachtung weglassen. Herrscht während der weiteren Messung Stationarität, so fällt der Trendtest negativ aus. Die Messung kann nun solange fortgesetzt werden, bis der Trendtest ein positives Resultat liefert.

Die eben geschilderte Methode liefert zwar im Vergleich mit der oben erwähnten Querschnittsmessung mittels Induktionsschleifen und anschließender Auswertung durch

das Verfahren von JACOBS (1979) nur eine Schätzung, doch dürfte dies für die Belange der Praxis ausreichen. Zumal hat sie den Vorteil, daß außer einem programmierbaren Taschenrechner keinerlei zusätzliche Hilfsmittel erforderlich sind.

6. Schritt:

Genau wie im Falle der Streckenlänge muß auch für die Verkehrsstärke geprüft werden, ob sie innerhalb desjenigen Bereichs liegt, der für die Simulation zugrundegelegt war; also zwischen 200 und 600 Fz/h. Auch hier dürften geringfügige Unter- und Überschreitungen zulässig sein. Liegt die Verkehrsstärke zwischen zwei "Simulationswerten", ist wie im Falle der Streckenlänge, zwischen den beiden Grenzpunkten linear zu interpolieren. Da aber die tatsächliche Verkehrsstärke vor der Messung nicht bekannt ist und auch nach der Auswertung nur durch einen Bereich (das Konfidenzintervall) und nicht durch einen exakten Wert angegeben werden kann, wird als Ersatz das arithmetische Mittel der $q_{m0,k}$ genommen.

7. Schritt:

Als letzter Schritt werden die Konfidenzintervalle für q_{rz}^* und t_{tz}^* gemäß dem in 5.11.3 beschriebenen Vorgehen bestimmt.

8.3 Anwendungsbeispiel

Auf einem Streckenabschnitt der Länge $X_L=3.700$ m werden zur Bestimmung von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit insgesamt $M=30$ Meßfahrtenpaare nach der MOM durchgeführt. Dabei wird vermutet, daß während der Messung Stationarität herrschte. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wird $\alpha=5\%$ gewählt. Die durch die Messung erhaltenen Werte für $q_{mo,k}$ und $t_{mo,k}$ sind in Tabelle 8/1 aufgeführt.

Tab. 8/1: Datengrundlage für Beispiel

k	$q_{mo,k}$ [Fz/h]	$t_{mo,k}$ [s]	k	$q_{mo,k}$ [Fz/h]	$t_{mo,k}$ [s]
1	320	193	16	248	185
2	272	188	17	278	237
3	215	187	18	226	184
4	182	183	19	299	209
5	240	188	20	194	221
6	265	205	21	240	187
7	227	189	22	210	240
8	252	220	23	369	215
9	227	230	24	233	245
10	226	214	25	175	264
11	251	242	26	222	294
12	298	187	27	367	207
13	317	207	28	203	244
14	382	231	29	198	187
15	244	220	30	235	188
$q_{mo}^* = 254$ Fz/h			$\bar{t}_{mo}^* = 213$ s		

Vorgehen:

1. Schritt: Prüfung, ob Mindestverkehrsstärke erreicht wird.

Aufgrund der erhaltenen $q_{mo,k}$ ergibt sich eindeutig, daß die zur Durchführung der MOM notwendige Mindestverkehrsstärke von ca. 150 Fz/h erreicht wird.

2. Schritt: Wahl der Irrtumswahrscheinlichkeit α

Es wird $\alpha=5\%$ gewählt.

3. Schritt: Prüfung auf Stationarität

Zur Prüfung auf Stationarität wird die Meßreihe der $q_{m0,k}$ in drei Teile geteilt und jeweils die entsprechenden Werte des letzten mit denen des ersten Drittels verglichen:

$q_{m0,k}$ $k=21(1)30$	$q_{m0,k}$ $k=1(1)10$	Vorzeichen der Differenzen
240	320	-
210	272	-
369	215	+
233	182	+
175	240	-
222	265	-
367	227	+
203	252	-
198	227	-
235	226	+

Somit ist die Summe der Pluszeichen $S_+=4$ und der Minuszeichen $S_- = 6$.

Die Prüfung auf ansteigenden Trend ergibt:

$$Z_+ = \frac{\left| S_+ - \frac{M'}{6} \right|}{\sqrt{\frac{M}{12}}} = \frac{\left| 4 - \frac{30}{6} \right|}{\sqrt{\frac{30}{12}}} = 0,63 < 1,64$$

Da $Z_+=0,63$ kleiner als 1,64 ist, folgt, daß kein aufsteigender Trend vorliegt.

Die Prüfung auf absteigenden Trend ergibt:

$$Z_{-} = \frac{\left| 5 - \frac{M}{6} \right|}{\sqrt{\frac{M}{12}}} = \frac{\left| 6 - \frac{30}{6} \right|}{\sqrt{\frac{30}{12}}} = \underline{0,63} < 1,64$$

Da $Z_{-}=0,63$ kleiner als 1,64 ist, folgt, daß kein absteigender Trend vorliegt.

Da sich insgesamt weder ein aufsteigender noch ein absteigender Trend nachweisen läßt, kann davon ausgegangen werden, daß während der Messung Stationarität herrschte.

4. Schritt: Interpolation über die Streckenlänge

Da die Länge der Meßstrecke von $X_L=3.700$ m zwischen den beiden "Simulationslängen" von 2.400 und 4.800 m liegt, muß für $X_L=3.700$ m eine Interpolation der Konfidenzintervalle erfolgen. Dies geschieht mit dem in 5.10.3 beschriebenen linearen Interpolieren mittels (V.28a,b).

Man erhält somit die folgenden Konfidenzintervalle für $X_L=3.700$ m (jeweils auf ganze Zahlen gerundet):

vorgegebene Verkehrsstärke [Fz/h]	für q [$l_{u,q}$; $l_{o,q}$] [%]	für t [$l_{u,\bar{t}}$; $l_{o,\bar{t}}$] [%]
200	[- 3 ; 13]	[-11 ; -3]
400	[- 5 ; 9]	[- 9 ; 1]
600	[- 4 ; 9]	[- 7 ; 2]

jeweils für $M = 30$ und $\alpha = 5\%$

5. Schritt: Interpolation über die Verkehrsstärke

Da $q_{mo}^* = 254$ Fz/h zwischen zwei Verkehrsstärkeklassen liegt, ist auch hier eine Interpolation erforderlich. Dies geschieht wiederum mit dem in 5.10.3 beschriebenen linearen Interpolieren mittels (V.29a,b). Als Interpolationsgrenzen werden aber die im 4. Schritt erhaltenen, und bereits der aktuellen Streckenlänge von $X_L = 3.700$ m angepaßten Konfidenzintervalle benutzt.

Man erhält auf diese Weise die folgenden, sowohl der aktuellen Streckenlänge als auch der aktuellen Verkehrsstärke angepaßten Konfidenzintervalle (jeweils auf ganze Zahlen gerundet):

<u>für α:</u>	<u>für \bar{t}:</u>
$[l_{u,q} ; l_{o,q}]$ [%]	$[l_{u,\bar{t}} ; l_{o,\bar{t}}]$ [%]
[- 4 ; 12]	[-10 ; - 2]

für $M=30$ und $\alpha=5\%$.

6. Schritt: Berechnung der absoluten Konfidenzintervalle für q_{rz}^* und τ_{rz}^*

Mit $q_{mo}^* = 254$ Fz/h und $\tau_{mo}^* = 213$ s erhält man mit Hilfe der im 5. Schritt ermittelten Konfidenzintervalle:

für α :

$$\left[q_{mo}^* \left(1 + \frac{l_{u,q}}{100} \right) ; q_{mo}^* \left(1 + \frac{l_{o,q}}{100} \right) \right] \quad [\text{Fz/h}]$$

eingesetzt:

$$\left[254 \left(1 + \frac{-4}{100} \right) ; 254 \left(1 + \frac{12}{100} \right) \right] \quad [\text{Fz/h}]$$

ergibt:

$$[244 \text{ Fz/h} ; 284 \text{ Fz/h}]$$

für \bar{t} :

$$[\bar{t}_{mo} * (1 + \frac{l_u, \bar{t}}{100}) ; \bar{t}_{mo} * (1 + \frac{l_o, \bar{t}}{100})] \quad [s]$$

eingesetzt:

$$[213 (1 + \frac{-10}{100}) ; 213 (1 + \frac{-2}{100})] \quad [s]$$

ergibt:

$$[192 \text{ s} ; 209 \text{ s}]$$

jeweils für $M=30$ und $\alpha=5\%$

Damit ergibt sich als Endergebnis, daß q_{rz}^* zwischen 244 und 284 Fz/h und τ_{rz}^* zwischen 192 und 209 s liegt.

9. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der von CHARLESWORTH und WARDROP (1954) entwickelten "Moving Observer"-Methode (MOM). Dabei sollten in erster Linie zwei Fragen beantwortet werden:

1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Genauigkeit der von der MOM gelieferten Werte für q und t und der Anzahl der durchgeführten Meßfahrtenpaare?
2. Inwieweit sind die von der MOM gelieferten Werte für q und t als Schätzgrößen für die entsprechenden Werte einer räumlich-zeitlichen Messung geeignet?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde zunächst in Kapitel 2 die MOM vorgestellt und erläutert.

Anschließend zeigte sich in Kapitel 3, daß von den vier möglichen Verkehrszuständen - Stationarität I. und II. Ordnung und Instationarität I. und II. Ordnung - für die Untersuchung hier nur der Zustand der Stationarität II. Ordnung betrachtet zu werden braucht. Dies deshalb weil

- im Falle von Stationarität I. Ordnung trivialerweise nur ein einziges Meßfahrtenpaar erforderlich ist,
- für den Fall von Instationarität I. Ordnung die Angabe von q und t im Grunde genommen keine Aussagekraft hat und
- ein Zeitintervall, in dem Instationarität II. Ordnung herrscht, in einzelne Teilintervalle zerlegt werden kann, in denen jeweils Stationarität II. Ordnung herrscht.

In Kapitel 4 wurde zunächst darauf hingewiesen, daß für die vorliegende Untersuchung eine große Datenbasis notwendig ist, die, wenn überhaupt, nur sehr schwer aus praktisch durchgeführten Messungen gewonnen werden kann. Denn einerseits muß der zu untersuchende Verkehrsablauf der Forderung nach Stationarität genügen. Andererseits ist es aber auch erforderlich verschiedenartige Verkehrsabläufe zur Verfügung zu haben. Dies führte zu dem Schluß, daß die Untersuchung in erster Linie mit Hilfe der Simulation erfolgen sollte. Denn auf diese Weise können sehr einfach sogenannte "ceteris paribus" Untersuchungen durchgeführt werden. Das bedeutet, daß es möglich ist, nur einen einzigen Parameter zu variieren, während die übrigen konstant gehalten werden.

Zur Erzeugung der notwendigen Datengrundlage wurde das Simulationsmodell SIMLA 2/MO verwendet. Damit wurden Verkehrsabläufe simuliert, die durch die folgenden Parameter gekennzeichnet sind:

- Vorgegebene Verkehrsstärke
- Streckenlänge
- Lkw-Anteil
- Kurven
- Steigungen
- Charakteristik der MO-Fahrzeuge.

Darüberhinaus wurden noch vier praktische Messungen durchgeführt, um einen Vergleich zwischen Simulation und Realität zu ermöglichen. Zusätzlich erfolgte noch eine Messung auf einer Autobahn, um zwei von BENNETT (1975) für Einrichtungs-fahrbahnen entwickelte Abwandlungen der MOM kurz zu beleuchten.

In Kapitel 5 erfolgte die eigentliche Untersuchung. Die wichtigsten Ergebnisse dabei waren:

- Um eine Beeinflussung des zu untersuchenden Verkehrsablaufs durch die MO-Fahrzeuge zu vermeiden, muß ihre Wunschgeschwindigkeit größer sein als die durchschnittliche Wunschgeschwindigkeit der übrigen Fahrzeuge. Es sollte also eine möglichst flotte und zügige Fahrweise gewählt werden.
- Bei der Auswertung der für die MOM relevanten Fragestellungen zeigte sich, daß die Variation der Parameter "Lkw-Anteil", "Kurven" und "Steigungen" keine Auswirkungen hatte. Deshalb wurden diese Parameter als "nicht relevant" bezeichnet. Im Gegensatz dazu standen die "relevanten" Parameter "vorgegebene Verkehrsstärke", "Streckenlänge" und "Wunschgeschwindigkeit der MO-Fahrzeuge". Da sämtliche Ergebnisse darauf beruhen, daß der Parameter "Wunschgeschwindigkeit der MO-Fahrzeuge" immer größer sein muß als die durchschnittliche Wunschgeschwindigkeit der übrigen Fahrzeuge, bleiben somit nur "vorgegebene Verkehrsstärke" und "Streckenlänge" als "relevante" Parameter übrig.

Bei der Variation dieser "relevanten" Parameter war es das Ziel, einerseits einen möglichst großen Bereich abzudecken, andererseits den Rechenaufwand in einem vertretbaren Rahmen zu halten. Deshalb wurden zunächst Grenzwerte für die Variationsbreite und anschließend Zwischenstufen bestimmt:

- Für den Parameter "vorgegebene Verkehrsstärke" stellte sich heraus, daß ein Wert von ca. 150 Fz/h nicht unterschritten werden sollte. Der Grund dafür ist, daß bei sehr niedrigen Verkehrsstärken die gemessene durchschnittliche Reisezeit stark durch die Wunschgeschwindigkeit der MO-Fahrzeuge beeinflusst wird. Bei

der Festlegung einer Obergrenze zeigte sich, daß ab Verkehrsstärken von ca. 600 bis 700 Fz/h zunehmend "Unfälle" im simulierten Verkehrsablauf auftreten. Deshalb erschien es insgesamt zweckmäßig, für den Parameter "vorgegebene Verkehrsstärke" die drei Werte 200, 400 und 600 Fz/h zu wählen.

- Was den Parameter "Streckenlänge" angeht, so sollten sich nach Möglichkeit innerhalb der Meßstrecke keine Knotenpunkte befinden. Da diese Forderung mit zunehmender Streckenlänge immer schwieriger zu erfüllen ist, wurde der Maximalwert mit 4.800 m festgelegt. Als weitere Längen wurden 2.400 m und 1.200 m gewählt. Dieses Vorgehen erscheint auch deshalb gerechtfertigt, weil "lange" Strecken, die Knotenpunkte mit Zu- und Abflüssen enthalten, im Grunde genommen aus einzelnen, zwischen den jeweiligen Knotenpunkten liegenden Meßstrecken bestehen. Da diese einzelnen Teilstrecken jeweils ganz unterschiedliche Verkehrszustände aufweisen können, müssen für eine aussagekräftige Messung q und τ für jede Teilstrecke bestimmt werden. Wird über die gesamte Strecke gemessen, so sind die erhaltenen Werte für q und τ nur Durchschnittswerte, deren Aussagekraft stark begrenzt sein kann.

Durch Kombination dieser jeweils drei Parametervariationen für "vorgegebene Verkehrsstärke" und "Streckenlänge" wurden die Simulationsläufe in insgesamt 3×3 Klassen eingeteilt. Da zwischen den Simulationsläufen aus ein und derselben Klasse keine signifikanten Unterschiede existieren, im Gegensatz zu Läufen aus verschiedenen Klassen, konnten die Läufe jeder Klasse zusammengefaßt und somit für jede Klasse eine breite Datengrundlage geschaffen werden.

Die Beantwortung der eingangs gestellten Kernfragen erfolgte in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurden nur die aus der MO-Messung erhaltenen Einzelwerte $q_{MO,k}$ und $\tau_{MO,k}$ betrachtet. Für die aus diesen Einzelwerten berechneten Mittelwerte q_{MO}^* und τ_{MO}^* wurden für jede der neun Klassen Konfidenzintervalle in Abhängigkeit von der Anzahl der Meßfahrtenpaare berechnet. Dies erfolgte jeweils für drei verschiedene Irrtumswahrscheinlichkeiten von $\alpha=10\%$, 5% und 1% .

Im zweiten Schritt wurden zusätzlich zu den Werten aus der MO-Messung auch die entsprechenden Werte aus der räumlich-zeitlichen Messung, $q_{RZ,k}$ und $\tau_{RZ,k}$, mit einbezogen. Dies erfolgte in der Art und Weise, daß jeweils die relativen Differenzen zwischen $q_{MO,k}$ und $q_{RZ,k}$ bzw. $\tau_{MO,k}$ und $\tau_{RZ,k}$ berechnet wurden. Da sich auch hier zeigte, daß die obige Klasseneinteilung gerechtfertigt war, wurden aus diesen Differenzen dann ebenfalls für die jeweiligen Mittelwerte Konfidenzintervalle in Abhängigkeit von der Anzahl der Meßfahrtenpaare berechnet; ebenfalls bei Vorgabe von Irrtumswahrscheinlichkeiten von $\alpha=10\%$, 5% und 1% .

Die Ergebnisse des ersten und zweiten Schrittes wiesen teilweise erhebliche Unterschiede auf. Da die im zweiten Schritt gewählte Vorgehensweise die räumlich-zeitliche Referenzmessung, die ja laut Definition die tatsächlichen Werte liefert, mit einbezieht, stellen die so erhaltenen Konfidenzintervalle folglich die gültigen Endergebnisse dar.

Die Unterschiede der Ergebnisse vom ersten und zweiten Schritt sind somit ein sicheres Indiz dafür, daß zwischen der MO-Messung und der räumlich-zeitlichen Messung bzw. zwischen den jeweils erhaltenen Werten für q und τ ein systematischer Unterschied besteht. Sollen mit Hilfe der MOM q und τ bestimmt werden, so müssen deshalb die gemessenen Werte mittels der Konfidenzin-

tervälle umgerechnet werden. Diese Konfidenzintervalle stellen somit eine Art "Transformationsfaktor" dar, der aufgrund des stochastischen Charakters des zugrundeliegenden Verkehrsablaufs nicht als ein fester Wert, sondern als Intervall unter Berücksichtigung einer Irrtumswahrscheinlichkeit α angegeben werden kann.

Was die Lage und Länge der Konfidenzintervalle anbelangt, so gilt:

- Mit zunehmender Verkehrsstärke und Streckenlänge werden sie kleiner und umgekehrt. Dies bedeutet, daß für kurze Strecken und niedrige Verkehrsstärken die Konfidenzintervalle am größten sind, während sich die kleinsten für lange Strecken und hohe Verkehrsstärken ergeben.
- Weiterhin ist deutlich zum Vorschein gekommen, daß die entsprechenden Konfidenzintervalle für \bar{t} kleiner sind als für q . Dies bedeutet, daß für eine bestimmte Anzahl von Meßfahrtenpaaren \bar{t} genauer ermittelt wird als q .

In Kapitel 6 wurden diese Ergebnisse anhand von praktisch durchgeführten Messungen überprüft. Dabei ergab sich eine weitgehende Übereinstimmung von Simulation und Realität. In denjenigen Fällen, in denen Unterschiede auftraten, waren die aus den Messungen berechneten Konfidenzintervalle jedoch immer kleiner als diejenigen aus der Simulation. Dies bedeutet, daß die in Kapitel 5 erhaltenen Ergebnisse im Zweifelsfall immer auf der sicheren Seite liegen.

Zur Ergänzung wurden in Kapitel 6 noch zwei Methoden gestreift, die von BENNETT (1975) für Einrichtungsbahnen entwickelt worden sind. Die Untersuchung erfolgte hierbei anhand einer Messung auf einer Autobahn. Obwohl aufgrund des relativ geringen Meßumfangs die

Aussagekraft der Ergebnisse natürlich beschränkt ist, zeigte sich doch, daß eine der beiden Methoden zur Bestimmung von q und \bar{t} gut geeignet ist.

In Kapitel 7 wurden hauptsächlich die Unterschiede und Gemeinsamkeiten betrachtet, die sich bei der Durchführung der MOM zwischen Simulation und Messung ergaben. Dabei zeigte sich, daß auch die in der Praxis auftretenden Unzulänglichkeiten wie Differenzen zwischen den Anfangs- und Endzeitpunkten sowie den Dauern der beiden MO-Fahrten eines Meßfahrtenpaares von SIMLA 2/MO gut nachgebildet werden.

In Kapitel 8 finden sich Hinweise für die praktische Anwendung der MOM. Außerdem wird der genaue Ablauf der MOM anhand eines Beispiels erläutert.

Insgesamt kann abschließend festgehalten werden, daß es mit dieser Arbeit gelungen ist, ein Verfahren zu entwickeln, das es ermöglicht, mittels einer Messung nach der "Moving Observer"-Methode, Konfidenzintervalle für die tatsächlich auftretenden Werte von Verkehrsstärke und durchschnittlicher Reisezeit anzugeben.

Literaturverzeichnis

Literatur-1

BAMBERG, G./BAUER, F.:

Statistik

R. Oldenbourg Verlag

München, Wien 1983

BÜNING, H./TRENKLER, G.:

Nichtparametrische Statistische Methoden

de Gruyter

Berlin, New York 1978

BENNETT, T.H.:

Use of the moving-car observer method on one-way roads.

In: Traffic Engineering and Control, October 1975

BRANDT, S.:

Datenanalyse

Bibliographisches Institut Mannheim

Wien, Zürich 1975

BRANNOLTE, U./HOLZ, S.:

Simulation des Verkehrsablaufs auf Landstraßen

In: Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik,
Heft 402, 1983

BRILON, W./BRANNOLTE, U.:

Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf zweispuri-
gen Straßen mit Gegenverkehr

In: Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik,
Heft 239, 1977

BRONSTEIN-SEMENDJAJEW:

Taschenbuch der Mathematik

Verlag Harri Deutsch

Frankfurt/M. und Zürich 1973

Literatur-2

CHARLESWORTH, G./WARDROP, J.G.:

A Method of Estimating Speed and Flow of Traffic from a
Moving Vehicle
Proceedings of the Institution of Civil Engineers,
London, 1954

CHIMINI, L.A./DAWSON, R.F.:

The Hyperlang Probability Distribution - A Generalized
Traffic Headway Model
HRB Nr. 230, Washington, 1968

COERS, H.G.:

Die internationale Forschungsentwicklung und das räumlich-zeitliche Prinzip mikroskopischer und makroskopischer Untersuchungen des Verkehrsflusses
In: Die Strasse, 10. Jg., Heft 7, S. 368 ff
Berlin (DDR) 1970

CREUTZ, G./EHLERS, R.:

Statistische Formelsammlung
Verlag Harri Deutsch
Thun, Frankfurt/M. 1976

EDIE, L.C.:

Discussion of traffic stream measurements and definitions
Proceedings of the Second International Symposium on
the Theory of Road Traffic Flow, London 1963

FINKELSTEIN, J.M./SCHAFER, R.E.:

Improved goodness-of-fit tests
Biometrika 58 (1971), S. 641 - 645

FISZ, M.:

Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
Berlin (DDR) 1970

Literatur-3

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN
(FGSV):

Arbeitsgruppe "Verkehrsplanung"

Arbeitsausschuß "Theoretische Grundlagen des Straßen-
verkehrs"

FGSV-Arbeitspapier Nr. 2

Köln 1984

HARTUNG, J.:

Statistik

Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik

R. Oldenbourg Verlag

München, Wien 1982

HCM:

Highway Capacity Manual 1965

HRB Special Report 87, 1965

HERZ, R./SCHLICHTER, H.G./SIEGENER, W.:

Angewandte Statistik für Verkehrs- und Raumplaner

Werner-Verlag, Düsseldorf 1976

JACOBS, F.:

Über die Statistik der Verkehrsstärke von Fahrzeugströ-
men

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
e.V.

Köln 1984

JACOBS, F.:

Untersuchungen zur stochastischen Theorie des Verkehrs-
ablaufs auf Straßen

Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 96

Bonn 1970

Literatur-4

JACOBS, F.:

Ein Stationaritätstest für Zeitlückenfolgen
Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität
Stuttgart, Arbeitsblätter zum Straßen- und Verkehrs-
wesen, Heft 1, 1979

JACOBS, F.:

Analyse von Zeitlückenverteilungen im stationären Ver-
kehr
Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität
Stuttgart, Arbeitsblätter zum Straßen- und Verkehrs-
wesen, Heft 2, 1980

JOHN, B.:

Statistische Verfahren für technische Meßreihen
Arbeitsbuch für den Ingenieur
Carl Hanser Verlag
München, Wien 1979

KREYSZIG, E.:

Statistische Methoden und ihre Anwendungen
Vandenhoeck & Ruprecht
Göttingen 1968

LEHMANN, E.L.:

Testing Statistical Hypotheses
Wiley & Sons, Inc.
New York 1966

LEINER, B.:

Einführung in die Zeitreihenanalyse
R. Oldenbourg Verlag
München, Wien 1982

LEUTZBACH, W.:

Zeitlückenverteilungen.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 1957

Literatur-5

LEUTZBACH, W.:
Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses.
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York 1972

LEUTZBACH, W.:
Zur Problematik der Messungen und Beobachtungen aus
einem fahrenden Fahrzeug.
Vorläufiger Bericht Nr. 25, Institut für Verkehrswesen,
Universität (TH) Karlsruhe

LEUTZBACH, W./EGERT, Ph.:
Geschwindigkeitsmessungen vom fahrenden Fahrzeug aus.
In: Straßenverkehrstechnik, Heft 3, 1959

LIENERT, G.A.:
Testaufbau und Testanalyse
Verlag Julius Beltz
Weinheim, Berlin, Basel 1979

LILLIEFORS, H.W.:
On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean
and Variance unknown
J. Amer. Statist. Ass., 62, (1967), 399-402.
Corrigenda, 64 (1969) 1702

MENGES, G.:
Grundriß der Statistik
Teil 1: Theorie
Westdeutscher Verlag
Opladen 1972

MENGES, G.:
Grundriß der Statistik
Teil 2: Daten
Westdeutscher Verlag
Opladen 1973

Literatur-6

MILLER, L.H.:

Table of Percentage Points of Kolmogorov Statistics
J. Amer. Statist. Ass., 51 (1956), 111-121

NOACK, S.:

Auswertung von Meß- und Versuchsdaten mit Taschenrechner und Tischcomputer
de Gruyter
Berlin, New York 1980

QUANDT, R.E.:

Old and new Methods of Estimation and the Pareto Distribution
Metrika, 10 (1966), 55-82

RÜHL, G.:

Die Bestimmung von Beurteilungsmaßstäben in der praktischen Psychologie mit Hilfe von Häufigkeitskurven
Dissertation TU Berlin
Berlin 1951

SACHS, L.:

Angewandte Statistik
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg New York 1984

SACHS, L.:

Applied Statistics
A Handbook of Techniques
Translated by Z. Reynarowycck
Springer Verlag
New York, Heidelberg, Berlin 1982

SCHACH, S./SCHAFER, TH.:

Regressions- und Varianzanalyse
Springer Verlag
Berlin, Heidelberg, New York 1978

Literatur-7

SCHUL, A.:

The Probability Theory Applied to Distributions of
Vehicles on Two-Lane-Highways
Poisson on Traffic, ENO-Foundation, 1955

THOMAS, R./DEHEDIN, J./CRESCENZI, E.:

Statistique
1/Cours et exercices
Presses Universitaires de France
Paris, 1981

WARDROP, J.G.:

Some theoretical aspects of road traffic research
Proceedings of the Institution of Civil Engineers 1,
Part II, S. 325-362
London, 1952

WIEDEMANN, R.:

Simulation des Straßenverkehrsflusses
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Univer-
sität (TH) Karlsruhe, Heft 8, 1974

WRIGHT, C.:

A theoretical analysis of the moving observer method
In: Transportation Research, Vol. 7, 1973, P. 293-311

WRIGHT, C./HYDE, T./HOLLAND, P.J./JACKSON, B.J.:

Estimating traffic speeds from flows observed at the
ends of a link
In: Traffic Engineering and Control, February 1973

ZIEGLER, M.:

Wegewahl als Regelkreis.
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 99,
Bonn 1970

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 2/1: Meßstrecke der Länge X_L zwischen den Querschnitten X_1 und X_2
- Abb. 3/1: Einheitenstrom $\Phi_{Stat.I}$ bei Stationarität I. Ordnung
- Abb. 3/2: Einheitenstrom $\Phi_{Stat.II}$ bei Stationarität II. Ordnung
- Abb. 3/3: Einheitenstrom $\Phi_{Inst.I}$ bei Instationarität I. Ordnung
- Abb. 3/4: Einheitenstrom $\Phi_{Inst.II}$ bei Instationarität II. Ordnung
- Abb. 3/5: Schematische Darstellung des Weg-Zeit-Ausschnitts $X_L \cdot T$
- Abb. 4/1: Lage der Querschnitte X_0, X_1, X_2, X_3, X_4 und X_E auf dem von SIMLA 2 simulierten Streckenabschnitt
- Abb. 4/2: Graphische Darstellung des Fahrtverlaufs der beiden MO-Fahrzeuge
- Abb. 4/3: Zusammenhang zwischen $F_{V, wg}(v_{wg})$ und v_{wg}
- Abb. 4/4: Schema der Datenerfassung auf Stadt- und Landstraßen
- Abb. 4/5: Schema der Datenerfassung auf einer Autobahn mit drei Fahrstreifen pro Richtung
- Abb. 5.3/1: Ganglinie der Anzahl der aktiven Überholungen M_a
Serie C: $v_{wgmo}=0,70$; $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.3/2: Ganglinie der Anzahl der passiven Überholungen M_p
Serie C: $v_{wgmo}=0,70$; $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.3/3: Ganglinie der Fahrzeit t_f
Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.3/4: Ganglinie der Fahrzeit t_f
Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

- Abb. 5.3/5: Ganglinie der Fahrzeit t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=600$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.3/6: Ganglinie der Anzahl der entgegenkommenden
 Fahrzeuge E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.3/7: Zusammenhang zwischen t_f und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.3/8: Zusammenhang zwischen t_f und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.3/9: Zusammenhang zwischen t_f und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=600$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.4/1: Ganglinie von q_{mo}
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.4/2: Ganglinie von \bar{t}_{mo}
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.4/3: Zusammenhang zwischen q_{mo} und \bar{t}_{mo} bei einer
 Streckenlänge von $X_L=4.800$ m
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 Richtung 1
- Abb. 5.4/4: Zusammenhang zwischen q_{mo} und \bar{t}_{mo} bei einer
 Streckenlänge von $X_L=1.200$ m
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 Richtung 1
- Abb. 5.5/1: Zusammenhang zwischen q_{mo} und t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.5/2: Zusammenhang zwischen q_{mo} und t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=600$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.5/3: Zusammenhang zwischen q_{mo} und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.5/4: Zusammenhang zwischen \bar{t}_{mo} und t_f
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=400$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1

- Abb. 5.5/5: Zusammenhang zwischen \bar{t}_{mo} und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=200$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.5/6: Zusammenhang zwischen \bar{t}_{mo} und E
 Serie C: $q_{v,1}=q_{v,2}=600$ Fz/h; $v_{wgmo}=0,70$;
 $X_L=4.800$ m; Richtung 1
- Abb. 5.6/1: Erwarteter Verlauf von $\bar{x}_{kum,k}$
- Abb. 5.6/2: "Regressionstrichter" für $\bar{x}_{kum,k}$
- Abb. 5.6/3: Typischer Verlauf von $\bar{x}_{kum,k}$
- Abb. 5.8/1: Überlagerung der Dauern von Meßfahrtenpaaren und Festzeitintervallen
- Abb. 5.8/2: Relative Lage von Meßfahrtenpaar k und Festzeitintervall p
- Abb. 5.9/1: Erwarteter Verlauf von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$
- Abb. 5.9/2: Typischer Verlauf von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$
- Abb. 6.3/1: Ganglinie von M_a
 (Messung EWb/E)
- Abb. 6.3/2: Ganglinie von M_p
 (Messung EWb/E)
- Abb. 6.3/3: Ganglinie von t_f bei einer Verkehrsstärke von ca. 200 Fz/h
 (Messung EWb/E)
- Abb. 6.3/4: Ganglinie von t_f bei einer Verkehrsstärke von ca. 400 Fz/h
 (Messung B9b/G)
- Abb. 6.3/5: Ganglinie von t_f bei einer Verkehrsstärke von ca. 800 Fz/h
 (Messung THb/W)
- Abb. 6.3/6: Ganglinie von E
 (Messung EWb/E)
- Abb. 6.4/1: Typische Ganglinie von q_{mo}
 (Messung EWb/E)
- Abb. 6.4/2: Typische Ganglinie von \bar{t}_{mo}
 (Messung EWb/E)
- Abb. 6.9/1: Abweichung des momentanen Geschwindigkeitsmittels \bar{v}_m
 (Quelle: BENNETT (1975))
- Abb. 6.9/2: Absolute Werte von \bar{t}_{DI} und \bar{t}_m

Abb. 6.9/3: Relative Differenz $RD_{\bar{t}}$ zwischen \bar{t}_{BII}
und \bar{t}_m

Abb. 6.9/4: Absolute Werte von q_{BII} und q_{Ik}

Abb. 6.9/5: Relative Differenz RD_q zwischen q_{BII}
und q_{Ik}

Abb. 6.9/6: Absolute Werte von \bar{t}_{BII} und \bar{t}_m

Abb. 6.9/7: Relative Differenz $RD_{\bar{t}}$ zwischen \bar{t}_{BII}
und \bar{t}_m

Abb. A4.2/1: B3 zwischen Wolfartsweier und Ettlingen

Abb. A4.2/2: B3 zwischen Bruchhausen und Neumalsch

Abb. A4.2/3: B9 in Höhe Rülzheim

Abb. A4.2/4: Theodor-Heuss-Allee zwischen Schneidemühler
Straße und Insterburger Straße

Abb. A4.2/5: Bundesautobahn A5 bei km 616,5

Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 2/1: Meßwerte der fünf Meßfahrtenpaare (fahrzeugbezogen)
- Tab. 2/2: Meßwerte der Tabelle 2/1 nach der Datenaufbereitung (richtungsbezogen)
- Tab. 4/1: Relative Differenzen RD zwischen $\bar{t}_{mo}^*(v_{wgmo}=0,50)$ und $t_{mo}^*(v_{wgmo}=0,15, 0,30, 0,40, 0,60, 0,70, 0,85)$ in Abhängigkeit von q und relative Differenzen Δv_{wgmo} zwischen den einzelnen v_{wgmo} mit $v_{wgmo}=0,50$ als Basis
- Tab. 4/2: Verkehrsstärkeklassen für die vorgegebenen Verkehrsstärken q_1, q_2
- Tab. 5.2/1: Relative Abweichung des arithmetischen Mittelwertes von t_{rz} aller Festzeitintervalle bei unterschiedlichen Fahrstrategien
- Tab. 5.6/1: Schätzungen für die Minimalanzahl k_{min} von Meßfahrtenpaaren zur Bestimmung von q und t aufgrund der Verläufe von $\bar{x}_{kum,k}$
- Tab. 5.8/1: Relative Differenzen von q und \bar{t} zwischen MO- und räumlich-zeitlicher Messung
- Tab. 5.9/1: Schätzungen für die Minimalanzahl k_{min} von Meßfahrtenpaaren zur Bestimmung von q und t aufgrund der Verläufe von $\bar{x}_{kum,k,(mo-ref)}$
- Tab. 5.10/1: Anzahl der Richtungssimulationen n_c , Mittelwerte \bar{x}_c und Standardabweichungen \bar{s}_c der MO-Parameter der Basisklassen
- Tab. 5.10/2: Parameter $\bar{x}_{lg}(x_i)$ und $s_{lg}(x_i)$ für die Berechnung der relativen Konfidenzintervalle für $q_{mo,c}^*$ und $t_{mo,c}^*$
- Tab. 5.10/3: Datengrundlage zur Berechnung von Konfidenzintervallen
- Tab. 5.11/1a: Anzahl der Richtungssimulationen n_c , Mittelwerte \bar{x}_c und Standardabweichungen \bar{s}_c der relativen Differenzen (mo-rz) der Basisklassen
- Tab. 5.11/1b: Anzahl der Richtungssimulationen n_c , Mittelwerte \bar{x}_c und Standardabweichungen \bar{s}_c der relativen Differenzen (mo-lk) der Basisklassen

- Tab. 5.11/1c: Anzahl der Richtungssimulationen n_c , Mittelwerte \bar{x}_c und Standardabweichungen \bar{s}_c der relativen Differenzen (mo-momentan) der Basisklassen
- Tab. 6.6/1: Zuordnung von Messungen und Basisklassen
- Tab. 6.6/2a: Absolute und relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* bei den Messungen auf der Grundlage der $q_{mo,k}$
- Tab. 6.6/2b: Absolute und relative Konfidenzintervalle für t_{mo}^* bei den Messungen auf der Grundlage der $t_{mo,k}$
- Tab. 6.8/1a: Absolute und relative Konfidenzintervalle für q_{lk}^* bei den Messungen auf der Grundlage der Differenzen (mo-ref)
- Tab. 6.8/1b: Absolute und relative Konfidenzintervalle für t_{lk}^* bei den Messungen auf der Grundlage der Differenzen (mo-ref)
- Tab. 6.9/1: Ergebnisse der Methode "BENNETT I"
- Tab. 6.9/2: Ergebnisse der Methode "BENNETT II"
- Tab. 7.2/1: Durchschnittlicher Meßzeitanteil \bar{MZA} in Abhängigkeit von der Streckenlänge
- Tab. 7.2/2: Mittelwerte der absoluten und relativen Differenzen der Startzeitpunkte, Fahrt dauern und Ankunftszeitpunkte in Abhängigkeit von der Streckenlänge
- Tab. 7.2/3: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Differenzen von Startzeitpunkten, Fahrt dauern und Ankunftszeitpunkten, sowie durchschnittlicher Meßzeitanteil in Abhängigkeit von der vorgegebenen Verkehrsstärke. Für beide Richtungen jeweils gleiche Vorgabe.
- Tab. 7.2/4: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Differenzen der Startzeitpunkte, Fahrt dauern und Ankunftszeitpunkte, sowie durchschnittlicher Meßzeitanteil in Abhängigkeit von der vorgegebenen Verkehrsstärke. Für beide Richtungen jeweils unterschiedliche Vorgabe.
- Tab. 7.2/5: Mittelwerte und Standardabweichungen der relativen Differenzen der Startzeitpunkte, Fahrt dauern und Ankunftszeitpunkte, sowie durchschnittlicher Meßzeitanteil
- Tab. 8/1: Datengrundlage für Beispiel

Tab. A4/1: Kurvendaten für die Serien H und K

Tab. A5.10/3a-i: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^* für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Tab. A5.11/2a-i: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Anhang A4

Simulationsläufe und Messungen

A4.1 Übersicht über die durchgeführten Simulationsläufe

Insgesamt wurden die Serien A bis O erzeugt.

Die gemeinsamen Merkmale aller Serien sind:

- Gesamte Simulationsdauer eines Laufs: 9.999 sec
- Dauer der Festzeitintervalle
 - bei $X_L = 1.200$ m: 75 sec
 - bei $X_L = 2.400$ m: 150 sec
 - bei $X_L = 4.800$ m: 300 sec
- Geschwindigkeitsbeschränkungen: keine
- Überholverbote: keine
- Netto-Umkehrzeit t_{UN} : 20 sec

Mit Ausnahme der Serien F und G gilt:

- keine Steigungsstrecken

Mit Ausnahme der Serien H und K gilt:

- keine Kurven.

Bezüglich der Unterschiede zwischen den einzelnen Serien ergibt sich folgendes Bild:

Serie A:

Anzahl der Simulationsläufe: 3

Streckenlänge $X_L = 4.800$ mVorgegebene Verkehrsstärke q_V in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2
200	200
400	400
600	600

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil: 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der
MO-Fahrzeuge v_{wgmo} : $0,55 \hat{=} 90$ [km/h]Charakteristik der
MO-Fahrzeuge: "normaler Pkw"

Serie B:

Anzahl der Simulationsläufe: 28

Streckenlänge $X_L = 4.800$ mVorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2 →						
100	100	200	300	400	500	600	700
200		200	300	400	500	600	700
300			300	400	500	600	700
400				400	500	600	700
500					500	600	700
600						600	700
700							700

Bemerkung:

Da SIMLA 2/MO hinsichtlich der beiden Fahrtrichtungen "symmetrisch" aufgebaut ist, entspricht z.B. die Kombination $q_{v,1}=200$ [Fz/h], $q_{v,2}=300$ [Fz/h] der Kombination $q_{v,1}=300$ [Fz/h], $q_{v,2}=200$ [Fz/h].

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil : 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der MO-Fahrzeuge v_{wgmo} : $0,50 \hat{=} 88$ [km/h]

Charakteristik der MO-Fahrzeuge: "normaler Pkw"

Serie C:

Anzahl der Simulationsläufe: 126

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
 2.400 m
 4.800 m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2	
200	200	600
400	400	600
600		600

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil : 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der
MO-Fahrzeuge v_{wgmo} :

0,15	70,5 [km/h]
0,30	80,0 [km/h]
0,40	84,0 [km/h]
0,50	88,0 [km/h]
0,60	92,0 [km/h]
0,70	97,0 [km/h]
0,85	106,5 [km/h]

Charakteristik der
MO-Fahrzeuge:

"normaler Pkw"

Serie D:

Anzahl der Simulationsläufe: 126

Streckenlänge $X_L =$ 1.200 m
 2.400 m
 4.800 m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2
200	200 400 600
400	400 600
600	600

Lkw-Anteil: 0,0%

Lz-Anteil : 0,0%

Wunschgeschwindigkeit der
 MO-Fahrzeuge v_{wmo} :

0,15	>	70,5	[km/h]
0,30	>>	80,0	[km/h]
0,40	>>>	84,0	[km/h]
0,50	>>>>	88,0	[km/h]
0,60	>>>>>	92,0	[km/h]
0,70	>>>>>>	97,0	[km/h]
0,85	>>>>>>>	106,5	[km/h]

Charakteristik der
 MO-Fahrzeuge: "normaler Pkw"

Serie E:

Anzahl der Simulationsläufe: 126

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
 2.400 m
 4.800 m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2
200	200 400 600
400	400 600
600	600

Lkw-Anteil: 15,0%

Lz-Anteil : 15,0%

Wunschgeschwindigkeit der
MO-Fahrzeuge v_{wgmo} :

0,15	>>	70,5	[km/h]
0,30	>>>	80,0	[km/h]
0,40	>>>>	84,0	[km/h]
0,50	>>>>>	88,0	[km/h]
0,60	>>>>>>	92,0	[km/h]
0,70	>>>>>>>	97,0	[km/h]
0,85	>>>>>>>>	106,5	[km/h]

Charakteristik der
MO-Fahrzeuge:

"normaler Pkw"

Serie F:

Anzahl der Simulationsläufe: 18

Streckenlänge $X_L =$ 1.200 m
 2.400 m
 4.800 m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2		
200	200	400	600
400		400	600
600			600

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil : 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der
 MO-Fahrzeuge v_{wgmo} : 0,70 $\hat{=}$ 97,0 [km/h]

Charakteristik der
 MO-Fahrzeuge: "normaler Pkw"

Streckenverlauf: 5%-ige Steigung
 in Richtung 1

Serie G:

Anzahl der Simulationsläufe: 18

Streckenlänge $X_L =$ 1.200 m
 2.400 m
 4.800 m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2		
200	200	400	600
400		400	600
600			600

Lkw-Anteil: 0,0%

Lz-Anteil : 0,0%

Wunschgeschwindigkeit der
 MO-Fahrzeuge v_{wgmo} : $0,70 \hat{=} 97,0$ [km/h]

Charakteristik der
 MO-Fahrzeuge: "normaler Pkw"

Streckenverlauf: 5%-ige Steigung
 in Richtung 1

Serie H:

Anzahl der Simulationsläufe: 6

Streckenlänge $X_L = 4.800$ mVorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2
200	200 400 600
400	400 600
600	600

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil : 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der
M0-Fahrzeuge v_{wgmo} : $0,70 \hat{=} 97,0$ [km/h]Charakteristik der
M0-Fahrzeuge: "normaler Pkw"

Streckenverlauf: 4 Kurven

Kurvencharakteristik: s. Tabelle A4/1

Serie K:

Anzahl der Simulationsläufe: 6

Streckenlänge $X_L = 4.800$ mVorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2
200	200 400 600
400	400 600
600	600

Lkw-Anteil: 0,0%

Lz-Anteil : 0,0%

Wunschgeschwindigkeit der
MO-Fahrzeuge v_{wgmo} : $0,70 \hat{=} 97,0$ [km/h]Charakteristik der
MO-Fahrzeuge: "normaler Pkw"

Streckenverlauf: 4 Kurven

Kurvencharakteristik: s. Tabelle A4/1

Tab. A4/1: Kurvendaten für die Serien H und K

	Klothoiden- parameter $A = \sqrt{R \cdot L}$ [m]	Radius R [m]	Länge L [m]	ΣL [m]	Richtungs- änderung [°]
Gerade			400	400	
1. Eingangsklothoide	200	500	80	480	43,5
1. Kreislagen			380	860	
1. Ausgangsklothoide			125	985	
2. Eingangsklothoide	280	700	112	1.097	32,7
2. Kreislagen			400	1.497	
2. Ausgangsklothoide	350		175	1.672	
3. Eingangsklothoide	450	1.250	162	1.834	27,5
3. Kreislagen			600	1.434	
3. Ausgangsklothoide	600		288	2.722	
4. Eingangsklothoide	700	2.000	245	2.967	43,4
4. Kreislagen			1.200	4.167	
4. Ausgangsklothoide	700		245	2.412	
Gerade			388	4.800	

Serie L:

Anzahl der Simulationsläufe: 36

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
 2.400 m
 4.800 m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2		
200	200	400	600
400		400	600
600			600

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil : 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der
 MO-Fahrzeuge v_{wgmo} :
 $0,15 \hat{=} 70,5$ [km/h]
 $0,85 \hat{=} 106,5$ [km/h]

Charakteristik der
 MO-Fahrzeuge:

Pkw mit 2δ -Abweichung
 in Richtung "schnell"

Lz mit 2δ -Abweichung
 in Richtung "langsam"

Serie M:

Anzahl der Simulationsläufe: 36

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
 2.400 m
 4.800 m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2		
200	200	400	600
400		400	600
600			600

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil : 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der
 MO-Fahrzeuge v_{wgmo} :
 $0,15 \hat{=} 70,5$ [km/h]
 $0,85 \hat{=} 106,5$ [km/h]

Charakteristik der
 MO-Fahrzeuge:

Pkw mit 3δ -Abweichung
 in Richtung "schnell"

Lz mit 3δ -Abweichung
 in Richtung "langsam"

Serie N:

Anzahl der Simulationsläufe: 84

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
 2.400 m
 4.800 m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2
50	50
100	100
150	150
200	200

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil: 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der
M0-Fahrzeuge v_{wgmo} :

0,15	⇒	70,5	[km/h]
0,30	⇒	80,0	[km/h]
0,40	⇒	84,0	[km/h]
0,50	⇒	88,0	[km/h]
0,60	⇒	92,0	[km/h]
0,70	⇒	97,0	[km/h]
0,85	⇒	106,5	[km/h]

Charakteristik der
M0-Fahrzeuge:

"normaler Pkw"

Serie 0:

Anzahl der Simulationsläufe: 84

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
 $X_L = 1.800$ m
 $X_L = 2.400$ m
 $X_L = 3.000$ m
 $X_L = 3.600$ m
 $X_L = 4.200$ m
 $X_L = 4.800$ m

Vorgegebene Verkehrsstärke q_v in [Fz/h]

Richtung 1	Richtung 2
200	200 400 600
400	400 600
600	600

Lkw-Anteil: 7,5%

Lz-Anteil : 7,5%

Wunschgeschwindigkeit der
MO-Fahrzeuge v_{wgmo} : $0,50 \hat{=} 88,0$ [km/h]
 $0,85 \hat{=} 106,5$ [km/h]

Charakteristik der
MO-Fahrzeuge: "normaler Pkw"

A4.2 Übersicht über die durchgeführten Messungen

Bei den einzelnen Teilmessungen sind jeweils die folgenden Werte aus der lokalen Querschnittsmessung angegeben:

Durchschnittliche Verkehrsstärke während des Untersuchungszeitraums:	\bar{q}_{lk}
Mittelwert der lokalen Geschwindigkeit:	\bar{v}_{lk}
Standardabweichung der lokalen Geschwindigkeiten:	s_{lk}
Variationskoeffizient der lokalen Geschwindigkeiten:	$c_{lk} = \frac{s_{lk}}{\bar{v}_{lk}}$
Lkw-Anteil:	Lkw

1. Messung

Kurzbezeichnungen:

allgemein: Ewa
Richtung Ettlingen: Ewa/E
Richtung Wolfartsweier: Ewa/W

Datum: 14.04.1983

Ort: Bundesstraße B3 im Landkreis
Karlsruhe zwischen
Wolfartsweier und Ettlingen

Länge der Meßstrecke: 3.380,50 m

Breite eines
Fahrstreifens: 3,25 m

Meßdauer: von 9.30 bis 12.15 Uhr und
von 14.00 bis 18.30 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 92

Straßenzustand: teilweise naß

Wetter: teilweise trüb

Besonderheiten: keine

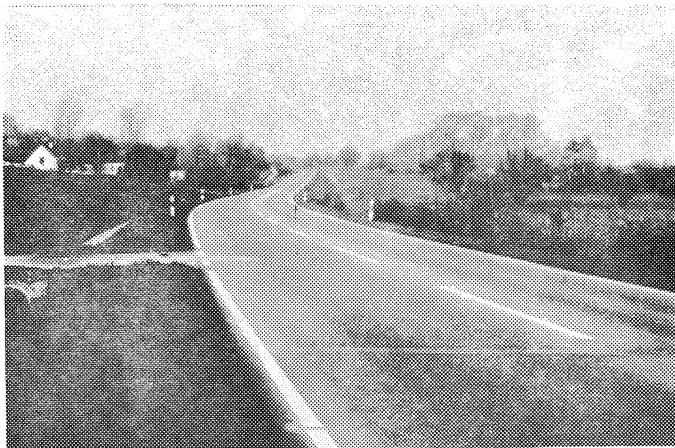


Abb. A4.2/1: B3 zwischen Wolfartsweier und Ettlingen

1. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: EWb
EWb/E
EWb/W

Meßdauer: von 9.45 bis 11.50 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 30

2. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: EWc
EWc/E
EWc/W

Meßdauer: von 14.00 bis 15.20 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 18

3. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: EWd
EWd/E
EWd/W

Meßdauer: von 15.35 bis 18.20 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 41

EW

1.	$\bar{q}_{1k}/E:$	180 Fz/h	$\bar{q}_{1k}/W:$	186 Fz/h
	$\bar{v}_{1k}/E:$	23,47 m/s	$\bar{v}_{1k}/W:$	23,53 m/s
	$s_{1k}/E:$	3,98 m/s	$s_{1k}/W:$	4,52 m/s
	$c_{1k}/E:$	0,17	$c_{1k}/W:$	0,19
	Lkw/E:	12%	Lkw/W:	15%
2.	$\bar{q}_{1k}/E:$	231 Fz/h	$\bar{q}_{1k}/W:$	236 Fz/h
	$\bar{v}_{1k}/E:$	23,82 m/s	$\bar{v}_{1k}/W:$	23,69 m/s
	$s_{1k}/E:$	5,18 m/s	$s_{1k}/W:$	4,28 m/s
	$c_{1k}/E:$	0,22	$c_{1k}/W:$	0,18
	Lkw/E:	12%	Lkw/W:	9%
3.	$\bar{q}_{1k}/E:$	311 Fz/h	$\bar{q}_{1k}/W:$	314 Fz/h
	$\bar{v}_{1k}/E:$	23,49 m/s	$\bar{v}_{1k}/W:$	23,72 m/s
	$s_{1k}/E:$	3,82 m/s	$s_{1k}/W:$	3,64 m/s
	$c_{1k}/E:$	0,16	$c_{1k}/W:$	0,15
	Lkw/E:	5%	Lkw/W:	5%

2. Messung:

Kurzbezeichnungen:

allgemein: BNa
Richtung Bruchhausen: BNa/B
Richtung Neumalsch: BNa/N

Datum: 19.04.1983

Ort: Bundesstraße B3 im Landkreis
Karlsruhe zwischen
Bruchhausen und Neumalsch

Länge der Meßstrecke: 3.707,10 m

Breite eines
Fahrstreifens: 3,63 m

Meßdauer: von 10.40 bis 12.35 Uhr und
von 14.00 bis 18.15 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 77

Straßenzustand: trocken

Wetter: teilweise sonnig,
teilweise bedeckt

Besonderheiten: keine

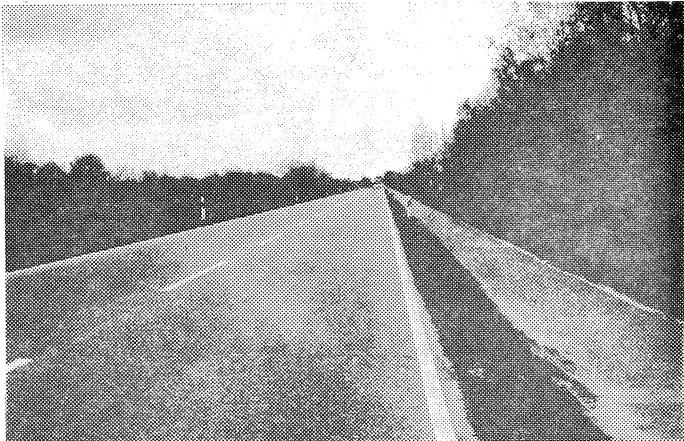


Abb. A4.2/2: B3 zwischen Bruchhausen und Neumalsch

1. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: BNb
BNb/B
BNb/N

Meßdauer: von 11.00 bis 12.30 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 25

2. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: BNC
BNC/B
BNC/N

Meßdauer: von 14.20 bis 15.40 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 21

3. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: BNd
BNd/B
BNd/N

Meßdauer: von 16.05 bis 17.10 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 17

4. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: BNe
BNe/B
BNe/N

Meßdauer: von 17.15 bis 18.00 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 14

BN

1.	\bar{q}_{1k}/B : 197 Fz/h	\bar{q}_{1k}/N : 210 Fz/h
	\bar{v}_{1k}/B : 22,34 m/s	\bar{v}_{1k}/N : 21,57 m/s
	s_{1k}/B : 5,78 m/s	s_{1k}/N : 5,91 m/s
	c_{1k}/B : 0,26	c_{1k}/N : 0,27
	Lkw/B: 29%	Lkw/N: 29%
2.	\bar{q}_{1k}/B : 219 Fz/h	\bar{q}_{1k}/N : 282 Fz/h
	\bar{v}_{1k}/B : 21,59 m/s	\bar{v}_{1k}/N : 21,73 m/s
	s_{1k}/B : 5,68 m/s	s_{1k}/N : 6,52 m/s
	c_{1k}/B : 0,26	c_{1k}/N : 0,30
	Lkw/B: 28%	Lkw/N: 22%
3.	\bar{q}_{1k}/B : 263 Fz/h	\bar{q}_{1k}/N : 500 Fz/h
	\bar{v}_{1k}/B : 24,76 m/s	\bar{v}_{1k}/N : 22,50 m/s
	s_{1k}/B : 4,49 m/s	s_{1k}/N : 4,77 m/s
	c_{1k}/B : 0,18	c_{1k}/N : 0,21
	Lkw/B: 12%	Lkw/N: 9%
4.	\bar{q}_{1k}/B : 189 Fz/h	\bar{q}_{1k}/N : 319 Fz/h
	\bar{v}_{1k}/B : 26,18 m/s	\bar{v}_{1k}/N : 25,19 m/s
	s_{1k}/B : 4,54 m/s	s_{1k}/N : 4,53 m/s
	c_{1k}/B : 0,17	c_{1k}/N : 0,18
	Lkw/B: 10%	Lkw/N: 10%

3. Messung:

Kurzbezeichnungen:

allgemein: B9a
Richtung Germersheim: B9a/G
Richtung Karlsruhe: B9a/K

Datum: 26.04.1983

Ort: Bundesstraße B9 im Landkreis
Germersheim im Bereich
Rheinzabern, Rülzheim, Hördt

Länge der Meßstrecke: 4.650,50 m

Breite eines
Fahrstreifens: 4,30 m

Meßdauer: von 13.50 bis 18.45 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 42

Straßenzustand: trocken

Wetter: sonnig

Besonderheiten: 1 Knotenpunkt innerhalb der
Meßstrecke

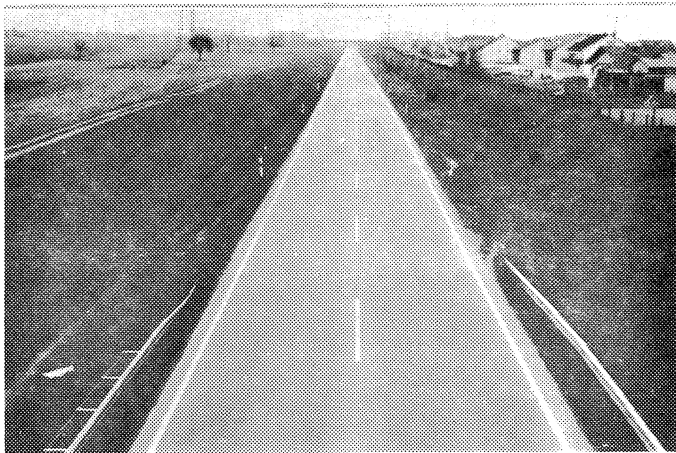


Abb. A4.2/3: B9 in Höhe Rülzheim

1. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: B9b
B9b/G
B9b/K

Meßdauer: von 14.50 bis 16.05 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 17

2. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: B9c
B9c/G
B9c/K

Meßdauer: von 16.10 bis 17.30 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 9

Besonderheit: enthält eine Fahrtunterbrechung

3. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: B9d
B9d/G
B9d/K

Meßdauer: von 17.35 bis 18.40 Uhr

Anzahl der
Meßfahrtenpaare: 15

B9

1.	\bar{q}_{lk}/G : 308 Fz/h	\bar{q}_{lk}/K : 198 Fz/h
	\bar{v}_{lk}/G : 23,98 m/s	\bar{v}_{lk}/K : 23,29 m/s
	s_{lk}/G : 5,66 m/s	s_{lk}/K : 4,93 m/s
	c_{lk}/G : 0,24	c_{lk}/K : 0,21
	$Lk\omega/G$: 26%	$Lk\omega/K$: 28%
2.	\bar{q}_{lk}/G : 231 Fz/h	\bar{q}_{lk}/K : 197 Fz/h
	\bar{v}_{lk}/G : 25,28 m/s	\bar{v}_{lk}/K : 23,23 m/s
	s_{lk}/G : 4,50 m/s	s_{lk}/K : 4,38 m/s
	c_{lk}/G : 0,18	c_{lk}/K : 0,19
	$Lk\omega/G$: 12%	$Lk\omega/K$: 16%
3.	\bar{q}_{lk}/G : 217 Fz/h	\bar{q}_{lk}/K : 221 Fz/h
	\bar{v}_{lk}/G : 27,52 m/s	\bar{v}_{lk}/K : 26,40 m/s
	s_{lk}/G : 5,25 m/s	s_{lk}/K : 5,39 m/s
	c_{lk}/G : 0,19	c_{lk}/K : 0,20
	$Lk\omega/G$: 11%	$Lk\omega/K$: 10%

4. Messung:

Kurzbezeichnungen:

allgemein:	THa
Richtung Stadt:	THa/S
Richtung Waldstadt:	THa/W
Datum:	14.09.1983
Ort:	Theodor-Heuss-Allee, Karlsruhe
Länge der Meßstrecke:	2.100 m
Breite eines Fahrstreifens:	3,90 m
Meßdauer:	von 14.00 bis 17.45 Uhr
Anzahl der Meßfahrtenpaare:	55
Straßenzustand:	trocken
Wetter:	sonnig
Besonderheiten:	mehrere Zu- und Abfahrten innerhalb der Meßstrecke

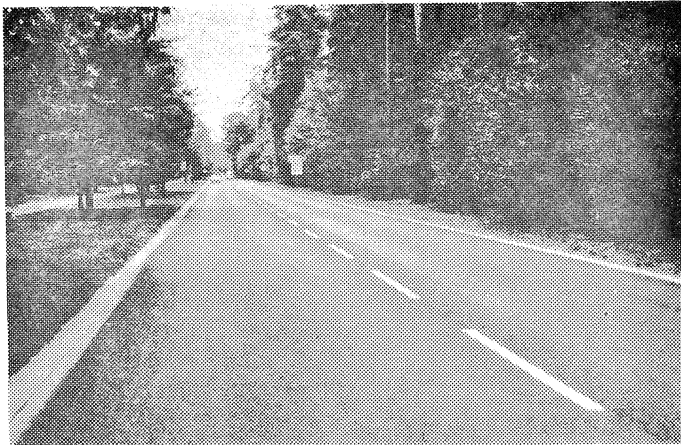


Abb. A4.2/4: Theodor-Heuss-Allee zwischen Schneidemühler Straße und Insterburger Straße

1. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: THb
 THb/S
 THb/W

Meßdauer: von 14.00 bis 15.30 Uhr

Anzahl der
 Meßfahrtenpaare: 27

2. Teilmessung:

Kurzbezeichnungen: THc
 THc/S
 THc/W

Meßdauer: von 16.10 bis 17.40 Uhr

Anzahl der
 Meßfahrtenpaare: 28

TH

1. \bar{q}_{1k}/S : 396 Fz/h	\bar{q}_{1k}/W : 392 Fz/h
\bar{v}_{1k}/S : 16,41 m/s	\bar{v}_{1k}/W : 16,70 m/s
s_{1k}/S : 2,73 m/s	s_{1k}/W : 2,33 m/s
c_{1k}/S : 0,17	c_{1k}/W : 0,14
Lkw/S: 6%	Lkw/W: 8%
2. \bar{q}_{1k}/S : 473 Fz/h	\bar{q}_{1k}/W : 870 Fz/h
\bar{v}_{1k}/S : 16,30 m/s	\bar{v}_{1k}/W : 15,58 m/s
s_{1k}/S : 2,40 m/s	s_{1k}/W : 2,10 m/s
c_{1k}/S : 0,15	c_{1k}/W : 0,13
Lkw/S: 5%	Lkw/W: 2%

5. Messung:

Kurzbezeichnung: A5

Datum: 22.06.1983

Ort: Bundesautobahn A5 zwischen den
Anschlußstellen Bruchsal und
Karlsruhe-Durlach

Länge der Meßstrecke: 10,0 km

Breite eines
Fahrstreifens: 3,75 m

Meßdauer: von 13.55 bis 19.00 Uhr und

Anzahl der
Meßfahrten: "langsam": 10
"schnell": 10
"floating car": 10

Straßenzustand: trocken

Wetter: sonnig

Besonderheiten: Meßverfahren nach
BENNETT (1975)

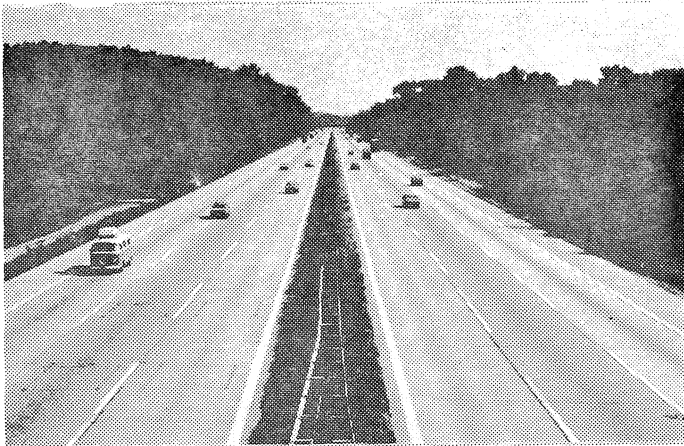


Abb. A4.2/5: Bundesautobahn A5 bei km 616,5

A5

\bar{q}_{1k} : 1.850 Fz/h

\bar{v}_{1k} : 35,21 m/s

s_{1k} : 7,04 m/s

\bar{v}_m : 33,78

c_{1k} : 0,20

Lkw: 14%

Anhang A5

Konfidenzintervalle

Tab. A5.10/3a: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^* für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_V = 200$ Fz/h

Anzahl der Meßfahrtenpaare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-50	75	-35	33	-28	20	-24	29	-15	15	-11	10
10	-33	30	-25	16	-21	10	-14	14	-10	8	- 8	6
15	-27	20	-21	11	-18	6	-11	10	- 8	6	- 6	4
20	-24	15	-19	8	-16	4	-10	8	- 7	5	- 6	3
25	-22	12	-18	6	-15	3	- 9	7	- 6	4	- 5	3
30	-21	10	-17	5	-15	2	- 8	6	- 6	4	- 5	3
40	-19	8	-15	3	-14	1	- 7	5	- 5	3	- 4	2
50	-18	6	-15	2	-13	1	- 6	4	- 5	3	- 4	2

Tab. A5.10/3b: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^* für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_V = 400$ Fz/h

Anzahl der Meßfahrtenpaare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-44	62	-30	29	-23	18	-27	32	-17	16	-13	11
10	-28	26	-21	14	-17	9	-16	15	-11	9	- 9	6
15	-23	18	-18	10	-15	6	-12	11	- 9	7	- 7	5
20	-20	14	-16	7	-13	4	-11	9	- 8	5	- 6	4
25	-19	11	-15	6	-12	3	-10	7	- 7	5	- 6	3
30	-17	10	-14	5	-12	3	- 9	7	- 7	4	- 6	3
40	-16	7	-12	3	-11	2	- 8	5	- 6	3	- 5	2
50	-14	6	-12	3	-10	1	- 7	5	- 5	3	- 5	2

Tab. A5.10/3c: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^* für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 1.200$ m
vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 600$ Fz/h

Anzahl der Meßfahrtenpaare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-35	46	-23	22	-17	14	-27	32	-17	16	-13	11
10	-21	20	-15	12	-12	8	-16	15	-11	9	-9	6
15	-17	14	-13	8	-11	6	-12	11	-9	7	-7	5
20	-15	11	-11	7	-9	4	-11	9	-8	5	-6	4
25	-14	9	-10	5	-9	4	-10	7	-7	5	-6	3
30	-13	8	-10	5	-8	3	-9	7	-7	4	-6	3
40	-11	7	-9	4	-7	2	-8	5	-6	3	-5	2
50	-10	5	-8	3	-7	2	-7	5	-5	3	-5	2

Tab. A5.10/3d: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^* für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 2.400$ m
vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 200$ Fz/h

Anzahl der Meßfahrtenpaare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-45	64	-30	29	-24	18	-23	27	-14	14	-11	9
10	-29	27	-21	14	-18	9	-13	13	-9	8	-7	6
15	-24	18	-18	10	-15	6	-11	9	-8	6	-6	4
20	-21	14	-16	8	-14	4	-9	8	-7	5	-5	3
25	-19	11	-15	6	-13	3	-8	6	-6	4	-5	3
30	-18	10	-14	5	-12	3	-7	6	-6	4	-5	2
40	-16	7	-13	3	-11	1	-7	5	-5	3	-4	2
50	-15	6	-12	2	-11	1	-6	4	-5	2	-4	2

Tab. A5.10/3e: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^* für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 2.400$ m
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 400$ Fz/h

Anzahl der Meßfahrtenpaare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-40	54	-26	25	-20	16	-31	39	-20	19	-15	13
10	-25	23	-18	13	-15	9	-19	18	-13	10	-11	7
15	-20	16	-15	9	-13	6	-15	13	-11	8	-9	5
20	-18	13	-14	7	-11	4	-13	10	-16	6	-8	4
25	-16	10	-13	6	-11	4	-12	9	-9	5	-7	3
30	-15	9	-12	5	-10	3	-11	7	-8	4	-7	3
40	-13	7	-11	4	-9	2	-10	6	-7	3	-6	2
50	-12	6	-10	3	-9	1	-9	5	-7	3	-6	2

Tab. A5.10/3f: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^* für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 2.400$ m
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 600$ Fz/h

Anzahl der Meßfahrtenpaare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-33	42	-21	21	-16	14	-31	39	-20	19	-15	13
10	-20	19	-14	11	-12	8	-19	18	-13	10	-11	7
15	-16	13	-12	8	-10	5	-15	13	-11	8	-9	5
20	-14	11	-11	6	-9	4	-13	10	-10	6	-8	4
25	-13	9	-10	5	-8	3	-12	9	-9	5	-7	3
30	-12	8	-9	5	-8	3	-11	7	-8	4	-7	3
40	-10	6	-8	4	-7	2	-10	6	-7	3	-6	2
50	-10	5	-7	3	-6	2	-9	5	-7	3	-6	2

Tab. A5.10/3q: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^*
für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 4.800$ m
vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 200$ Fz/h

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-33	42	-21	21	-16	14	-19	22	-12	12	-9	8
10	-20	19	-14	11	-12	8	-11	11	-8	7	-6	5
15	-16	13	-12	8	-10	5	-9	8	-6	5	-5	4
20	-14	11	-11	6	-9	4	-7	6	-5	4	-4	3
25	-13	9	-10	5	-8	3	-7	5	-5	3	-4	3
30	-12	8	-9	5	-8	3	-6	5	-4	3	-4	2
40	-10	6	-8	4	-7	2	-5	4	-4	3	-3	2
50	-10	5	-7	3	-6	2	-5	3	-4	2	-3	2

Tab. A5.10/3h: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^*
für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 4.800$ m
vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 400$ Fz/h

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-29	36	-18	18	-14	12	-28	34	-17	17	-13	11
10	-17	16	-12	10	-10	7	-16	16	-12	9	-9	7
15	-14	12	-10	7	-8	5	-13	11	-9	7	-8	5
20	-12	9	-9	6	-7	4	-11	9	-8	6	-7	4
25	-11	8	-8	5	-7	3	-10	8	-8	5	-6	3
30	-10	7	-7	4	-6	3	-9	7	-7	4	-6	3
40	-9	6	-7	3	-6	2	-8	5	-6	3	-5	2
50	-8	5	-6	3	-5	2	-8	5	-6	3	-5	2

Tab. A5.10/3i: Relative Konfidenzintervalle für q_{mo}^* und \bar{t}_{mo}^*
für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 4.800 \text{ m}$
vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 600 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q_{mo}^*						für \bar{t}_{mo}^*					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-29	36	-18	18	-14	12	-24	29	-15	15	-11	10
10	-17	16	-12	10	-10	7	-14	14	-10	8	- 8	6
15	-14	12	-10	7	- 8	5	-11	10	- 8	6	- 6	4
20	-12	9	- 9	6	- 7	4	-10	8	- 7	5	- 6	3
25	-11	8	- 8	5	- 7	3	- 9	7	- 6	4	- 5	3
30	-10	7	- 7	4	- 6	3	- 8	6	- 6	4	- 5	3
40	- 9	6	- 7	3	- 6	2	- 7	5	- 5	3	- 4	2
50	- 8	5	- 6	3	- 5	2	- 6	4	- 5	3	- 4	2

Tab. A5.11/2a: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 1.200 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 200 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]						für \bar{t} [%]					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-73	82	-39	48	-27	36	-38	42	-20	25	-14	18
10	-36	46	-22	31	-15	25	-19	23	-12	16	- 8	13
15	-26	36	-16	25	-11	21	-14	18	- 9	13	- 6	10
20	-21	31	-13	22	- 9	18	-11	16	- 7	11	- 5	9
25	-18	27	-11	20	- 7	17	-10	14	- 6	10	- 4	8
30	-16	25	-10	19	- 6	16	- 8	13	- 5	10	- 4	8
40	-13	22	- 8	17	- 5	14	- 7	11	- 4	8	- 3	7
50	-11	20	- 6	16	- 4	13	- 6	10	- 3	8	- 2	7
60	-10	19	- 5	15	- 3	12	- 5	9	- 3	7	- 2	6
70	- 8	18	- 4	14	- 2	12	- 5	9	- 3	7	- 2	6
80	- 8	17	- 4	13	- 2	11	- 4	8	- 2	7	- 1	6
90	- 7	16	- 3	13	- 2	11	- 4	8	- 2	6	- 1	5

Tab. A5.11/2b: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 1.200 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 400 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]			für \bar{t} [%]		
	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$
5	-54 70	-27 43	-17 33	-46 46	-26 26	-18 19
10	-25 40	-14 29	- 8 24	-24 24	-16 16	-12 12
15	-17 32	- 9 24	- 5 20	-18 19	-12 13	- 9 10
20	-13 28	- 7 22	- 3 19	-15 16	-10 11	- 8 8
25	-11 26	- 5 20	- 2 17	-13 14	- 9 9	- 7 7
30	- 9 24	- 4 19	- 1 16	-12 12	- 8 9	- 6 7
40	- 6 22	- 2 17	0 15	-10 11	- 7 7	- 5 6
50	- 5 20	- 1 16	1 14	- 9 9	- 6 7	- 5 5
60	- 4 19	0 16	1 14	- 8 9	- 6 6	- 4 5
70	- 3 18	0 15	2 13	- 8 8	- 5 6	- 4 4
80	- 2 17	1 14	2 13	- 7 7	- 5 5	- 4 4
90	- 2 17	1 14	3 13	- 7 7	- 5 5	- 4 4

Tab. A5.11/2c: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 1.200 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 600 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]			für \bar{t} [%]		
	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$
5	-38 58	-17 37	-10 29	-41 44	-22 26	-15 19
10	-15 35	- 7 26	- 3 22	-21 24	-13 16	- 9 13
15	- 9 29	- 3 23	0 20	-15 19	-10 13	- 7 11
20	- 6 26	- 1 21	1 18	-12 16	- 8 12	- 6 9
25	- 4 24	0 20	2 17	-11 14	- 7 10	- 5 8
30	- 3 23	1 19	3 17	- 9 13	- 6 10	- 4 8
40	- 1 21	2 17	4 16	- 8 11	- 5 9	- 3 7
50	0 20	3 17	5 15	- 7 10	- 4 8	- 3 6
60	1 19	4 16	5 15	- 6 10	- 4 7	- 2 6
70	2 18	4 16	5 14	- 5 9	- 3 7	- 2 6
80	2 17	5 15	6 14	- 5 9	- 3 7	- 2 5
90	3 17	5 15	6 14	- 4 8	- 3 6	- 2 5

Tab. A5.11/2d: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \quad \text{und} \quad \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 2.400 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 200 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]											
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$							
5	-51	62	-27	37	-18	28	-33	19	-22	8	-17	4
10	-25	35	-14	25	-9	20	-21	7	-16	2	-14	0
15	-17	28	-10	21	-6	17	-17	4	-14	0	-12	-2
20	-14	24	-8	18	-5	15	-16	2	-13	-1	-11	-2
25	-11	22	-6	17	-3	14	-15	1	-12	-2	-11	-3
30	-10	21	-5	16	-3	13	-14	0	-12	-2	-11	-3
40	-8	18	-4	14	-2	12	-13	-1	-11	-3	-10	-4
50	-6	17	-3	13	-1	12	-12	-2	-11	-3	-10	-4
60	-5	16	-2	13	0	11	-12	-2	-10	-4	-9	-4
70	-4	15	-1	12	0	11	-11	-3	-10	-4	-9	-5
80	-4	14	-1	12	1	10	-11	-3	-10	-4	-9	-5
90	-3	14	-1	11	1	10	-11	-3	-10	-4	-9	-5

Tab. A5.11/2e: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 2.400 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_V = 400 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]			für \bar{t} [%]		
	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$
5	-47 53	-25 31	-17 23	-36 27	-22 13	-17 8
10	-23 29	-14 20	-10 16	-21 12	-15 6	-13 4
15	-17 23	-10 16	- 7 13	-17 8	-13 4	-11 2
20	-14 20	- 8 14	- 6 12	-15 6	-12 3	-10 1
25	-12 18	- 7 13	- 5 11	-14 5	-11 2	- 9 1
30	-10 16	- 6 12	- 4 10	-13 4	-10 1	- 9 0
40	- 8 14	- 5 11	- 3 9	-12 3	- 9 1	- 8 - 1
50	- 7 13	- 4 10	- 2 8	-11 2	- 9 0	- 8 - 1
60	- 6 12	- 3 9	- 2 8	-10 1	- 9 0	- 8 - 1
70	- 5 11	- 3 9	- 2 8	-10 1	- 8 - 1	- 7 - 2
80	- 5 11	- 2 8	- 1 7	- 9 1	- 8 - 1	- 7 - 2
90	- 4 10	- 2 8	- 1 7	- 9 0	- 8 - 1	- 7 - 2

Tab. A5.11/2E: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 2.400 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 600 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]						für \bar{t} [%]					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-37	46	-19	28	-13	21	-31	24	-19	12	-15	8
10	-18	26	-10	19	- 6	15	-18	11	-13	6	-11	4
15	-12	21	- 7	15	- 4	13	-15	7	-11	4	- 9	2
20	-10	18	- 5	14	- 3	12	-13	6	-10	3	- 8	1
25	- 8	17	- 4	13	- 2	11	-12	5	- 9	2	- 8	1
30	- 7	15	- 3	12	- 2	10	-11	4	- 9	1	- 8	0
40	- 5	14	- 2	11	- 1	9	-10	3	- 8	1	- 7	0
50	- 4	13	- 2	10	0	9	- 9	2	- 8	0	- 7	- 1
60	- 3	12	- 1	10	0	8	- 9	1	- 7	0	- 6	- 1
70	- 3	11	- 1	9	0	8	- 8	1	- 7	0	- 6	- 1
80	- 2	11	0	9	1	8	- 8	1	- 7	- 1	- 6	- 1
90	- 2	10	0	9	1	8	- 8	1	- 7	- 1	- 6	- 1

Tab. A5.11/2q: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 4.800 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 200 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]						für \bar{t} [%]					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-30	38	-15	23	-10	18	-28	14	-19	5	-16	1
10	-14	22	- 8	16	- 5	13	-18	4	-14	0	-13	- 2
15	-10	18	- 5	13	- 3	11	-15	1	-13	- 2	-11	- 3
20	- 8	15	- 4	12	- 2	10	-14	0	-12	- 2	-11	- 3
25	- 6	14	- 3	11	- 1	9	-13	- 1	-11	- 3	-10	- 4
30	- 5	13	- 2	10	- 1	9	-13	- 2	-11	- 3	-10	- 4
40	- 4	12	- 2	9	0	8	-12	- 2	-10	- 4	-10	- 5
50	- 3	11	- 1	9	0	8	-11	- 3	-10	- 4	- 9	- 5
60	- 2	10	- 1	8	1	7	-11	- 3	-10	- 4	- 9	- 5
70	- 2	10	0	8	1	7	-11	- 4	-10	- 5	- 9	- 5
80	- 2	9	0	8	1	7	-10	- 4	- 9	- 5	- 9	- 5
90	- 1	9	0	7	1	7	-10	- 4	- 9	- 5	- 9	- 5

Tab. A5.11/2h: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 4.800 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 400 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]						für \bar{t} [%]					
	$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$		$\alpha = 1\%$		$\alpha = 5\%$		$\alpha = 10\%$	
5	-29	33	-16	19	-11	14	-29	22	-18	11	-14	7
10	-15	18	- 9	12	- 6	10	-17	10	-12	5	-10	3
15	-11	14	- 7	10	- 5	8	-14	6	-11	3	- 9	1
20	- 9	12	- 5	9	- 4	7	-12	5	-10	2	- 8	1
25	- 7	11	- 5	8	- 3	7	-11	4	- 9	1	- 8	0
30	- 7	10	- 4	7	- 3	6	-10	3	- 8	1	- 7	0
40	- 5	9	- 3	7	- 2	5	- 9	2	- 8	0	- 7	- 1
50	- 5	8	- 3	6	- 2	5	- 9	1	- 7	0	- 6	- 1
60	- 4	7	- 2	6	- 1	5	- 8	1	- 7	- 1	- 6	- 1
70	- 4	7	- 2	5	- 1	5	- 8	1	- 7	- 1	- 6	- 1
80	- 3	7	- 2	5	- 1	4	- 8	0	- 7	- 1	- 6	- 2
90	- 3	6	- 2	5	- 1	4	- 7	0	- 6	- 1	- 6	- 2

Tab. A5.11/2i: Konfidenzintervalle der relativen Differenzen

$$\frac{q_{mo} - q_{rz}}{q_{mo}} \cdot 100 [\%] \text{ und } \frac{\bar{t}_{mo} - \bar{t}_{rz}}{\bar{t}_{mo}} \cdot 100 [\%]$$

für verschiedene Anzahlen von Meßfahrtenpaaren

Streckenlänge $X_L = 4.800 \text{ m}$
 vorgegebene Verkehrsstärke $q_v = 600 \text{ Fz/h}$

Anzahl der Meß- fahrten- paare M	für q [%]			für \bar{t} [%]		
	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 10\%$
5	-28 32	-15 19	-10 14	-24 19	-15 10	-11 7
10	-14 18	- 8 12	- 6 10	-14 9	-10 5	- 8 3
15	-10 14	- 6 10	- 4 8	-11 6	- 8 4	- 7 2
20	- 8 12	- 5 9	- 3 7	-10 5	- 7 3	- 6 2
25	- 7 11	- 4 8	- 3 7	- 9 4	- 7 2	- 6 1
30	- 6 10	- 4 7	- 2 6	- 8 3	- 6 2	- 5 1
40	- 5 9	- 3 7	- 2 6	- 7 3	- 6 1	- 5 0
50	- 4 8	- 2 6	- 1 5	- 7 2	- 5 1	- 5 0
60	- 4 7	- 2 6	- 1 5	- 6 2	- 5 0	- 4 0
70	- 3 7	- 2 5	- 1 5	- 6 1	- 5 0	- 4 0
80	- 3 7	- 1 5	- 1 5	- 6 1	- 5 0	- 4 - 1
90	- 2 6	- 1 5	0 4	- 6 1	- 5 - 1	- 4 - 1

Veröffentlichung aus dem Institut für Verkehrswesen

Die mit +) versehenen Veröffentlichungen sind vergriffen!

Schriftenreihe des Instituts (ISSN 0341-5503)

- Heft 1: Baron, P. S.: Weglängen als Kriterium zur Beurteilung von Fluggast-Empfangsanlagen; 1967 +)
- Heft 2: Stoffers, K. E.: Berechnung von optimalen Signalzeitenplänen; 1968 +)
- Heft 3: Koehler, R.: Verkehrsablauf auf Binnenwasserstraßen - Untersuchungen zur Leistungsfähigkeitsberechnung und Reisezeitverkürzung; 1968 +)
- Heft 4: Böttger, R.: Die numerische Behandlung des Verkehrsablaufs an signalgesteuerten Straßenkreuzungen; 1970 +)
- Heft 5: Droste, M.: Stochastische Methoden der Erfassung und Beschreibung des ruhenden Verkehrs; 1971
- Heft 6: 10 Jahre Institut für Verkehrswesen; 1973 +)
- Heft 7: Bey, I.: Simulationstechnische Analyse der Luftfrachtabfertigung; 1972 +)
- Heft 8: Wiedemann, R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses; 1974
- Heft 9: Köhler, U.: Stabilität von Fahrzeugkolonnen; 1974
- Heft 10: Thomas, W.: Sensitivitätsanalyse eines Verkehrsplanungs-Modells; 1974
- Heft 11: Pape, P.: Weglängen-Reduzierung in Fluggast-Empfangsanlagen durch flexible Vorfeldpositionierung; 1976
- Heft 12: Koffler, Th.: Vorausschätzung des Verkehrsablaufs über den Weg; 1977
- Heft 13: Haenicke, W.: Der Einfluß von Verflechtungen in einem bedarfsorientierten Nahverkehrssystem auf die Reisegeschwindigkeit; 1977 +)
- Heft 14: Bahm, G.: Kabinengröße und Betriebsablauf neuer Nahverkehrssysteme; 1977 +)

- Heft 15: Laubert, W.: Betriebsablauf und Leistungsfähigkeit von Kleinkabinenbahnstationen; 1977
- Heft 16: Sahling, B.-M.: Verkehrsablauf in Netzen - Ein graphentheoretisches Optimierungsverfahren ; 1977 +)
- Heft 17: Zahn, E. M.: Berechnung gesamtkostenminimaler außerbetrieblicher Transportnetze; 1978
- Heft 18: Handschmann, W.: Sicherheit und Leistungsfähigkeit städtischer Straßenkreuzungen unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung des Kraftfahrzeugführers; 1978
- Heft 19: Willmann, G.: Zustandsformen des Verkehrsablaufs auf Autobahnen; 1978 +)
- Heft 20: Sparmann, U.: ORIENT - Ein verhaltensorientiertes Simulationsmodell zur Verkehrsprognose; 1980 +)
- Heft 21: Allsop, R. E.: Festzeitsteuerung von Lichtsignalanlagen; 1980 +)
- Heft 22: Adolph, U.-M.: Systemsimulation des Güterschwerverkehrs auf Straßen; 1981
- Heft 23: Jahnke, C.-D.: Kolonnenverhalten von Fahrzeugen mit autarken Abstandswarnsystemen; 1982
- Heft 24: Leutzbach, W.: Verkehr auf Binnenwasserstraßen; 1982 +)
- Heft 25: 20 Jahre Institut für Verkehrswesen; 1982 +)
- Heft 26: Hubschneider, H.: Mikroskopisches Simulationssystem für Individualverkehr und Öffentlichen Personennahverkehr; 1983 +)
- Heft 27: Mott, P.: Signalsteuerungsverfahren zur Priorisierung des Öffentlichen Personennahverkehrs; 1984 +)
- Heft 28: May, A. D.: Traffic Management Research at the University of California; 1984
- Heft 29: Haas, M.: LAERM - Mikroskopisches Modell zur Berechnung des Straßenverkehrslärms; 1985
- Heft 30: Bosserhoff, D.: Statische Verfahren zur Ermittlung von Quelle-Ziel-Matrizen im Öffentlichen Personennahverkehr - Ein Vergleich; 1985
- Heft 31: Baaß, K.: Ermittlung eines optimalen Grünbandes auf Hauptverkehrsstraßen; 1985

- Heft 30: Bosserhoff, D.: Statische Verfahren zur Ermittlung von Quelle-Ziel-Matrizen im Öffentlichen Personennahverkehr - Ein Vergleich; 1985
- Heft 31: Baaß, K.: Ermittlung eines optimalen Grünbandes auf Hauptverkehrsstraßen; 1985
- Heft 32: Benz, Th.: Mikroskopische Simulation von Energieverbrauch und Abgasemission im Straßenverkehr (MISEVA); 1985
- Heft 33: Stucke, G.: Bestimmung der städtischen Fahrtenmatrix durch Verkehrszählungen; 1985
- Heft 34: Young, W.: Modelling the Circulation of Parking Vehicles - a Feasibility Study; 1985 +)
- Heft 35: Gipps, P.G.: Simulation of Pedestrian Traffic in Buildings; 1986
- Heft 36: 25 Jahre Institut für Verkehrswesen; 1987 +)
- Heft 37: Möller, K.: Signalgruppenorientiertes Modell zur Optimierung von Festzeitprogrammen an Einzelknotenpunkten; 1986
- Heft 38: Bleher, W.: Messung des Verkehrsablaufs - Beurteilung der statistischen Genauigkeit mittels Simulation; 1987

Vorläufige Berichte des Instituts

- Nr. 1: Leutzbach, W.; Koehler, R.: Binnenwasserstrassenverkehr als Zufallsverteilung; 1964
- Nr. 2: Eick, P.: Experimentelle Überprüfung des Folgetests von WALD; 1964
- Nr. 3: Bexelius, S.: Größe der Verkehrstheorie - ihre Definition und Anwendung; 1965
- Nr. 4: Leutzbach, W.; Ernst, R.: Untersuchung über den Einfluß der Fahrbahnmarkierung auf das Verhalten der Fahrzeuglenker; 1965 +)
- Nr. 5: Gullon Löw, M.: Die Planung des spanischen Stadt- und Landstraßennetzes; 1965
- Nr. 6: Bexelius, S.: An extended Model for Car Following; 1965
- Nr. 7: Bexelius, S.: Beschreibung des Verkehrsablaufs im Hinblick auf verschiedene Arten von Engpässen; 1965 +)
- Nr. 8: Leutzbach, W.; Lenz, K.-H.: Wartezeitverluste an Schleusen; 1966
- Nr. 9: Martin, W.: Zeitstudie über die Passagierabfertigung am Flughafen Stuttgart; 1967 +)
- Nr. 10: Droste, M.: Parkraumerhebungen in Intervallen; 1968
- Nr. 11: Leutzbach, W.: Bewegung als Funktion von Zeit und Weg; 1968 (reprinted in Transportation Research, Vol. 3 (1969) 421-428)
- Nr. 12: Droste, M.: Die Berechnung optimaler Signalzeitenpläne als Problem der ganzzahligen linearen Programmierung; 1969
- Nr. 13: Ludes, K.; Siegener, W.: Untersuchung des Verkehrsablaufs im Hinblick auf riskantes Fahrverhalten; 1969
- Nr. 14: Haight, F.A.: Problems in Transport Safety; 1970
- Nr. 15: Dilling, J.: Reisegeschwindigkeit und Straßencharakteristik; 1970 +)

- Nr. 16: Coblenz, H.S.: Transportation Planning and Social Issues: Function and Dysfunction; 1971 +)
- Nr. 17: Köhler, U.: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsganglinie bzw. Geschwindigkeitsprofil und Häufigkeitsdichte der Geschwindigkeiten; 1971 +)
- Nr. 18: Brilon, W.: Der Zusammenhang zwischen räumlich-zeitlichen Kennwerten des Verkehrsablaufs und lokal ermittelten Parametern; 1973 +)
- Nr. 19: Vasarhelyi, B.: Stochastische Simulation an Straßenkreuzungen nach dem "rechts-vor-links-Prinzip"; 1975
- Nr. 20: Bahm, G.; Laubert, W.: Modelle zur Simulation des Betriebsablaufs von neuen Personennahverkehrssystemen; 1977
- Nr. 21: Wiedemann, R.; Brilon, W.; Brannolte, U.: Simulation des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Landstraßen; 1977
- Nr. 22: Brannolte, U.; Vasarhelyi, B.: Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf kurvigen Landstraßen; 1977 +)
- Nr. 23: Sparmann, U.: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Vorbeifahrtenhäufigkeit auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen; 1979
- Nr. 24: Stucke, G.: Ermittlung der Teilströme aus Querschnittsmessungen; 1979
- Nr. 25: Leutzbach, W.: Zur Problematik der Messungen und Beobachtungen aus einem fahrenden Fahrzeug; 1981

Institutsnotizen

- Nr. 1: Bisbee, E. F.: Beispiele zur Transportanalyse; 1967 (Übersetzt von W. Siegner) *)
- Nr. 2: Vergleich einiger Verkehrserzeugungs- und Verteilungsmodelle; Seminarbericht SS 1968 *)
- Nr. 3: Berechnungsbeispiel zum Verkehrsablauf an Engpässen; Seminarbericht WS 1968/69
- Nr. 4: Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit des Straßennetzes und der Kapazität des Parkraums; Seminarbericht SS 1969 *)
- Nr. 5: Brilon, W.: Erzeugung von Zufallszahlen; 1970 *)
- Nr. 6: Dilling, J.: Charakteristik des Verkehrsablaufs auf einem Autobahnabschnitt; 1970
- Nr. 7: Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit verschiedener Ausbauvarianten einer Straßenkreuzung; Seminarbericht WS 1969/70
- Nr. 8: Untersuchung der Verkehrssicherheit einer Straßenkreuzung; Seminarbericht SS 1970
- Nr. 9: Einsatz eines Kabinen-Taxi-Systems (CAT) für den Bereich der Universität Karlsruhe; Seminarbericht SS 1971
- Nr. 10: Wirtschaftlichkeitsrechnung im Straßenbau - ein Optimierungsbeispiel; Seminarbericht WS 1971/72 *)
- Nr. 11: Möglichkeiten der Steuerung von Lichtsignalanlagen in städtischen Netzen; Seminarbericht SS 1972
- Nr. 12: Exkursionsbericht SS 1973
- Nr. 13: Unfalluntersuchung und Stauberechnung auf einem Abschnitt der Bundesautobahn; Seminarbericht SS 1973 *)
- Nr. 14: Wochenendverkehr im nördlichen Schwarzwald; Seminarbericht WS 1973/74
- Nr. 15: Geschwindigkeitsbeschränkungen; Seminarbericht SS 1974
- Nr. 16: Autohöfe - ihre Bedeutung für den Güterverkehr; Seminarbericht WS 1974/75
- Nr. 17: Die Karlsruher Häfen; Seminarbericht SS 1975

- Nr. 18: Lärmschutz an Straßen; Seminarbericht WS 1975/76 +)
- Nr. 19: Der Einfluß des Fluglärms auf Planung und Betrieb von Flughäfen und Landeplätzen; Seminarbericht SS 1976
- Nr. 20: Kombiniertes Verkehr; Seminarbericht WS 1976/77
- Nr. 21: Koordinierung eines Straßenzuges mit Lichtsignalanlagen; Seminarbericht SS 1977
- Nr. 22: Die Sicherheit von Verkehrssystemen; Seminarbericht WS 1977/78
- Nr. 23: Verkehrsablauf als Warteschlangenproblem; Seminarbericht SS 1978
- Nr. 24: Bordsteinparken; Seminarbericht WS 1978/79 +)
- Nr. 25: Verkehrssteuerungssysteme; Seminarbericht SS 1979
- Nr. 26: Das Planspielmodell PLUS; Seminarbericht WS 1979/80
- Nr. 27: Stauwarnanlagen auf Bundesautobahnen; Seminarbericht SS 1980
- Nr. 28: Planungsmodelle im Verkehrswesen; Seminarbericht WS 1980/81
- Nr. 29: Linienplanung im Öffentlichen Personennahverkehr; Seminarbericht SS 1981
- Nr. 32: Standardisierte Bewertung von Verkehrswegebewertungen im ÖPNV; Seminarbericht WS 1982/83
- Nr. 34: Fachwörterbuch Verkehrswesen (deutsch-englisch); Fortbildungsseminare 1978-1983; 1984 +)
- Nr. 35: Tempo 30 in Wohngebieten; Seminarbericht WS 83/84
- Nr. 37: Geschwindigkeitsbegrenzungen auf Autobahnen; Seminarbericht WS 84/85 +)
- Nr. 38: Baaß, K., Axhausen, K., Möller, K.: Optimierungsmodelle in der Lichtsignalsteuerung; Seminarbericht SS 1985
- Nr. 39: Young, W.: Traffic Simulation Modelling in Australia; 1985 +)

- Nr. 41: Fachwörterbuch Verkehrswesen (deutsch-englisch);
Fortbildungsseminare 1978-1986; 1987
- Nr. 42: Schnittger, St.: Richtlinien zur Dokumentation
von Programmen;
Axhausen, K., Fellendorf, M.: Merkblatt zur
Anfertigung von Studien- und Diplomarbeiten; 1987

Anderweitig publizierte Forschungsberichte

LEUTZBACH, W.; BEXELIUS, S.:

Probleme der Kolonnenfahrt; Heft 44 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1966

LENZ, K.-H.:

Ein Beitrag zur Anwendung der Theorie der Warteschlangen; Heft 66 der Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Kirschbaum-Verlag, Bad Godesberg, 1966

ERNST, R.:

Verkehrsablauf an Straßenknoten; Heft 60 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1967

WIEDEMANN, R.:

Verkehrsablauf hinter Lichtsignalanlagen - Untersuchungen über die Ausbreitung von Fahrzeugpuls; Heft 74 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1968

ZIEGLER, M.:

Wegewahl als Regelkreis - Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Wegewahl, Reisezeiten und Verkehrsmengen; Heft 99 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1970

HOEFS, D.H.:

Untersuchung des Fahrverhaltens in Fahrzeugkolonnen; Heft 140 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1972

DILLING, J.:

Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen auf kurvigen Strecken; Heft 151 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1973

LEUTZBACH, W.; WETTERLING, K.:

Kurzfassungen ausgewählter Arbeiten aus der Bundesrepublik Deutschland, Techn. Untersuchungen; Heft 3 der Schriftenreihe "Forschung Stadtverkehr - Sonderreihe", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1974

FINDEISEN, H.-G.:

Das Verhalten verkehrsrechtlich untergeordneter Fahrzeuge an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen; Heft 178 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1975

BRILON, W.:

- a) Unfallgeschehen und Verkehrsablauf.
 - b) Warteschlangenmodell des Verkehrsablaufs auf zweispurigen Landstraßen;
- Heft 210 der Schriftenreihe "Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1976

BRILON, W.; BRANNOLTE, U.:

Simulationsmodell für den Verkehrsablauf auf zweispurigen Straßen mit Gegenverkehr; Heft 239 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1977

HANDSCHMANN, W.; VOSS, M.:

Der Mensch als Fahrzeugführer; Informationsaufnahme und -verarbeitung durch den Menschen; Heft 8 der FAT (Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.) - Schriftenreihe, Frankfurt, 1978

LEUTZBACH, W. et al.:

Güterfernverkehr auf Bundesautobahnen - Ein Systemmodell; Heft 9 der FAT (Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.) - Schriftenreihe, Frankfurt, 1978

SPARMANN, U.:

Spurwechselforgänge auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen; Heft 263 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1978

MARTIN, W.:

Verkehrsablauf auf Stadtstraßen mit Lichtsignalanlagen; Heft 268 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1979

MOHAMED IBRAHIM, M. Y.:

Modell zur Anpassung eines städtischen Erschließungsnetzes an die wachsende Motorisierung in Entwicklungsländern unter besonderer Berücksichtigung des Radverkehrs; Dissertation Universität Karlsruhe, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, 1979

KOFFLER, TH., METZGER, W.:

Untersuchung über zweckmäßige Zeit- und Wegeabschnitte zur Erfassung des Verkehrsablaufs; Heft 283 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1980

BOLL, C.:

Reißverschlußverfahren zur Regelung des Verkehrs an Engstellen; Heft 291 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1980

WETTERLING, K.:

Mehrspuriger Richtungsverkehr bei unterschiedlichen Fahrverschriften; Heft 292 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1980

LEUTZBACH, W., et al.:

Güterverkehr auf Bundesautobahnen - Ein Systemmodell, 2. Teil; Heft 16 der FAT (Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V.)-Schriftenreihe, Frankfurt, 1980

BRANNOLTE, U.:

Verkehrsablauf an Steigungsstrecken von Richtungsfahrbahnen; Heft 318 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1980

WINZER, TH.:

Messung von Beschleunigungsverteilungen; Heft 319 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1980

LEUTZBACH, W.; BEIL, D.:

Ein Matrixmodell zur Ermittlung der Verkehrsbelastung in Netzen; Heft 338 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1981

LEUTZBACH, W.; MAIER, W.; HANDSCHMANN, W.; SCHULER, M.:

- a) Einfluß von Verkehrsbeschränkungen und Ausbauformen auf die Sicherheit an plangleichen, außerörtlichen Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen
- b) Einfluß von Verkehrsbeschränkungen und Ausbauformen auf die Sicherheit an plangleichen Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen außerhalb bebauter Gebiete;

Heft 376 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1982

BRANNOLTE, U.; HOLZ, S.:

Simulation des Verkehrsablaufs auf Landstraßen - Modellerweiterung -; Heft 402 der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1983

LEUTZBACH, W.; HOLZ, S.:
Unfallcharakteristik von Radfahrern auf Außerorts-
straßen; Heft 433 der Schriftenreihe "Forschung
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Bundesmi-
nister für Verkehr, Bonn, 1984

WIEDEMANN, R.; MÖLLER, K.; MOTT, P.:
Berücksichtigung aller Verkehrsteilnehmer bei der
Beurteilung von Lichtsignalgesteuerten Knoten; Heft
464 Teil B der Schriftenreihe "Forschung Straßenbau
und Straßenverkehrstechnik", Bundesminister für
Verkehr, Bonn, 1986

LEUTZBACH, W.; HAAS, M.; PAPAVALIIOU, V.;
SCHWERTFEGGER, TH.:
Dynamische Umlegung in Verkehrsnetzen; Heft 469 der
Schriftenreihe "Forschung Straßenbau und Straßenver-
kehrstechnik", Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1986

KIM, HONG-SANG:
Methoden zur Beschreibung des Unfallgeschehens -
Versuch eines Vergleichs zwischen der Bundesrepublik
Deutschland und der Republik Korea; Dissertation
Universität Karlsruhe, Fakultät für Bauingenieur- und
Vermessungswesen, 1987

Im Buchhandel erhältlich:

LENZ, K.-H.; GARSKY, J.:
Anwendung mathematisch-statistischer Verfahren in
der Straßenverkehrstechnik; Kirschbaum-Verlag,
Bad Godesberg, 1968

LEUTZBACH, W.:
Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses;
Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1972

BECKMANN, H.; JACOBS, F.; LENZ, K.-H.; WIEDEMANN, R.;
ZACKOR, H.:
Das Fundamentaldiagramm; Kirschbaum-Verlag,
Bad Godesberg, 1973

HERZ, R.; SCHLICHTER, H. G.; SIEGENER, W.:
Angewandte Statistik für Verkehrs- und Regional-
planer; Werner-Ingenieur-Texte 42, Werner-Verlag,
Düsseldorf, 1976 ISBN 3-8041-1934-4

RUPPERT, W.-R.; LEUTZBACH, W.; ADOLPH, U.-M. et al.:
Achslasten und Gesamtgewichte schwerer Lkw. Nutzen-
Kosten-Untersuchung einer Anhebung der zulässigen
Höchstwerte; Hrsg. Bundesminister für Verkehr, Bonn.
Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1981, ISBN
3-88585-035-4

WIEDEMANN, R.; HUBSCHNEIDER, H.:
Simulationsmodelle
in: LAPIERRE, R., STEIERWALD, G.
Verkehrsleittechnik für den Straßenverkehr,
Band 1, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New
York, 1987

LEUTZBACH, W.:
Introduction to the Theorie of Traffic Flow;
Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1987

Sonderheft zum 20jährigen Jubiläum:

Ein Institut stellt sich vor:
Hrsg.: Institut für Verkehrswesen, Universität
Karlsruhe, 1982

Die mit *) versehenen Veröffentlichungen sind
vergriffen!