

Forschungsauftrag 25/70

Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr

SVI-Arbeitsgruppe 6:

Prof. H. Brändli
M. Glaser
G. Junker

Schlussbericht

September 1980

INHALT

	<u>Seite</u>
1. AUFTRAG UND ZIELSETZUNG	
1.1 Problemstellung	1
1.2 Forschungsauftrag 4/67 und 1. Zwischenbericht	3
1.3 Forschungsauftrag 25/70; Arbeitsablauf bis 1973	7
1.4 Neuere Arbeiten zum Problem der Haltestellenabstände	8
1.5 Stellenwert der Haltestellenabstände aus heutiger Sicht	17
1.6 Begleitende Arbeiten des IVT bis Ende 1979	19
1.7 Ausgangslage für die abschliessende Auftragsbearbeitung	32
2. ARBEITSPROGRAMM	34
3. DEFINITION DER OPTIMALEN HALTESTELLEN- ABSTÄNDE	35
3.1 Einleitung	35
3.2 Zielsetzungen des öffentlichen Verkehrs	36
3.3 Mögliche Definitionen optimaler Halte- stellenabstände	41
3.4 Auswirkungen verschiedener Definitionen auf die optimalen Haltestellenabstände	42
3.5 Schlussfolgerungen	45
4. EINFLUSSPARAMETER UND DEREN BESTIMMUNG	47
4.1 Wichtigste Parameter	47
4.2 Die einzelnen Parameter	52

	<u>Seite</u>
5. ANALYTISCHE METHODEN	62
5.1 Analytischer Vorgehensbescrieb	62
5.2 Rekapitulation eines einfachen Ansatzes	65
5.3 Analytische Ansätze aus Lit (5)	68
5.4 Schlussfolgerungen	79
6. TEILEMPIRISCHE METHODEN FUER PRAKTISCHE PROBLEMSTELLUNGEN	80
6.1 Praktische Problemstellungen	80
6.2 Einfügung einer Zwischenhaltestelle	81
6.3 Haltestellen zwischen Fixpunkten bei gegebener Linienführung	87
6.4 Haltestellenfestlegung bei gegebener Linienführung	90
6.5 Haltestellendichte bei gegebenem Einzugsgebiet	92
7. HALTESTELLENVERTEILUNGEN	95
7.1 Radiallinie	99
7.2 Zubringerlinie	100
7.3 Tangentiallinie	101
8. ANLEITUNGEN FUER DIE PRAXIS	102
8.1 Richtwerte für Haltestellenabstände	102
8.2 Ablaufschema	104
8.3 Netz- und Betriebsgestaltungsgrundsätze	106
9. ZUSAMMENFASSUNG	108
10. LITERATURVERZEICHNIS	109
11. UEBERSICHT UEBER ABKUERZUNGEN UND PARAMETER	112

1. AUFTRAG UND ZIELSETZUNG

1.1 Problemstellung

Im Personenverkehr und insbesondere im Personennahverkehr entstehen die Nachfragen nach Ortsveränderungen individuell. Kollektive Nachfragewünsche, d.h. Nachfragen mit übereinstimmendem Quell-, Ziel- und Reisezeitpunkt, sind äusserst selten.

Diesen Einzelnachfragen wird im Individualverkehr ein entsprechendes, d.h. eben individuell angepasstes Angebot gegenübergestellt. Diese Tatsache hat verschiedenste, das Verkehrsgeschehen stark prägende Folgen, als deren wichtigste aufgezählt werden können:

- dass das Angebot der Nachfrage optimal angepasst wird und damit gegenüber Alternativangeboten (z.B. seitens des öffentlichen Verkehrs) äusserst wettbewerbsstark ist. Umsteigevorgänge existieren nicht; - Umwege oder zeitliche Anpassungen mit Rücksicht auf weitere Nachfragen sind selten und die Mitnahme von Gepäck problemlos.
- dass sehr viele, kleine, einzelne bewegte Transporteinheiten unabdingbare Voraussetzung einer solchen Angebotsstruktur sind. Es resultieren daraus schwierig zu meisternde Sicherheitsfragen sowie und vor allem Leistungsengpässe in Querschnitten und Bereichen hoher Nachfragedichte.
- dass bei grossen Nachfragemengen gravierende Nachteile für die Allgemeinheit entstehen können. Im Vordergrund stehen dabei der hohe Raumbedarf für ruhenden und fliessenden Verkehr sowie die steigenden Lärm- und Abgasimmissionen.

Der verstärkte Ruf nach Angebotsalternativen entsteht demnach nicht primär bei den direkten Verkehrsnachfragern, sondern bei den vom Verkehr Betroffenen. Hauptziel der neuen Angebote, zumindest im Personennah- und -regionalverkehr, ist denn auch weniger die Verbesserung des Personentransportes für die Transportnachfrager als vielmehr die Reduktion der Nachteile "individueller" Verkehrsbedienung.

Die Grundstruktur des "öffentlichen" Verkehrs ist damit gegeben. Es sind (möglichst viele) individuelle Einzelnachfragen auf ein und dasselbe Angebot zusammenzufassen! Auch hier liegen die hauptsächlichsten Folgen für den direkten Transportnachfrager, der nun zum "Fahrgast" wird, auf der Hand:

- Das Angebot ist dem einzelnen Fahrtwunsch nicht mehr "massgeschneidert" angepasst, seine Konkurrenzstellung zum Individualverkehr ist damit im Durchschnitt aller Fälle schlecht.
- Das Angebot wird nicht nur beim Vorliegen konkreter Bedarfsangaben erstellt, sondern vorprogrammiert den potentiellen Nachfragern zum Erwerb präsentiert. Dies aber ist nur dann möglich,

wenn bestimmte Strecken und Linien ausgeschieden werden, auf dem Transporteinheiten nach einem bestimmten, veröffentlichten Fahrplan verkehren. (Die Möglichkeit bedarfsgesteuerter Kleinbussysteme wie Rufbus etc. bleibt hier ausgeklammert, weil sie nur in Gebieten sehr geringer Nachfragedichte zum Tragen kommt.)

- Es müssen bestimmte Zu- und Abgangspunkte des Transportsystems festgelegt werden. Solche Haltestellen erzwingen nicht nur Fusswege, sondern auch Zwischenhalte der einzelnen Nachfrager zugunsten anderer Fahrgäste.

Solche öffentlichen Verkehrsmittel im konventionellen Linienbetrieb müssen in ihrer Betriebsauslegung äusserst sorgfältig optimiert werden, um in ihrer Wettbewerbsfähigkeit zum Individualverkehr einigermaßen bestehen zu können. Bei dieser Optimierung nimmt die Festlegung der Haltestellen eine zentrale Stellung ein, weil sie zwei der wichtigsten und wettbewerbswirksamsten Angebotselemente direkt und sehr stark beeinflusst:

- Bei grösserem Haltestellenabstand steigen die zu Fuss zurückzulegenden Distanzen. Weil solche unbeliebten Fussmärsche mit einer gegenüber dem Auto vielfach kleineren Geschwindigkeit zurückgelegt werden, wächst die Gesamtreisezeit rasch an und die Konkurrenzfähigkeit sinkt.
- Die daher naheliegende Verkürzung der Haltestellenabstände bewirkt jedoch zufolge der zahlreicheren Abbrems- und Beschleunigungsvorgänge sowie der steigenden Haltezeiten eine Reduktion der Beförderungsgeschwindigkeit ¹⁾ und damit wiederum ein Ansteigen der Gesamtreisezeit von der Quelle zum Ziel.

Hier zeichnet sich eine klare Optimierungsaufgabe in der Festlegung der Haltestellen bzw. der (durchschnittlichen) Haltestellenabstände ab, wobei die anzuwendenden Optimierungskriterien noch im Detail festzulegen sind (vgl. Kapitel 3).

Weil

- der weitaus grösste Teil des öffentlichen Personennahverkehrs in der Schweiz mit strassenverkehrsabhängigen Verkehrsmitteln wie Tram, Trolleybus und vor allem Autobus abgewickelt wird,
- die Festlegung von Haltestellen im Strassenraum wegen der erforderlichen Rücksichtnahme auf die andern Verkehrsteilnehmer sowie das Stadtbild besondere Probleme stellt, und
- die Hochleistungsverkehrsmittel (unabhängige) Stadtbahn, U- und S-Bahn einen hohen Anteil sogenannter Ein- Umsteiger²⁾ aufweisen, die bezüglich der genauen Haltestellenfestlegung neutral sind,

1) Durchschnittliche Geschwindigkeit der Transporteinheiten, einschliesslich Haltestellen-, aber exklusive Wendezeiten.

2) Ein- Umsteiger sind Einsteiger, die direkt aus einem anderen, meist Zubringer-Verkehrsmittel umsteigen.

wird der Fragenkomplex "optimale Haltestellenabstände" nachfolgend primär am Beispiel öffentlicher Verkehrsmittel auf der Strasse behandelt.

Die gewonnenen Erkenntnisse gelten sinngemäss auch für alle andern öffentlichen Verkehrsmittel im Linienbetrieb.

1.2 Forschungsauftrag 4/67 und 1. Zwischenbericht

Mit Zuschrift vom 15. Januar 1968 beauftragte das Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau (heute Bundesamt für Strassenbau, ASB) die Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure SVI mit einem

Forschungsauftrag Nr. 4/67:
Optimale Haltestellenabstände
bei öffentlichem Verkehr
auf Strassen.

Die SVI beauftragte die SVI-Arbeitsgruppe 6 in der Zusammensetzung, wie sie derjenigen des Folgeauftrages 25/70 (vgl. Ziffer 1.3) entsprach, mit der Durchführung der Arbeiten.

Der Forschungsauftrag war ausdrücklich als "erste Bearbeitungsstufe" bezeichnet und sollte folgende Tätigkeiten umfassen:

- Vorbereiten einer Umfrage bei in- und einigen ausländischen Verkehrsbetrieben über
 - durchschnittliche Haltestellenabstände
 - Kriterien zur Festlegung der Haltestellenabstände.
- Auswertung der Umfrage und Zusammenstellen der Kenngrössen und Kriterien.
- Bewerten der einzelnen Einflussgrössen.

Der "1. Zwischenbericht" (1) ³⁾ als Abschlussdokumentation des Auftrages Nr. 4/67 wurde im Juli 1969 veröffentlicht. Er fand in Fachkreisen, vor allem bei den Unternehmungen des öffentlichen Nahverkehrs sehr gute Aufnahme, behandelte auftragsgemäss alle vorhin genannten Problemkreise und gelangte zu nachstehenden, gekürzt wiedergegebenen

"Schlussfolgerungen"

1. Vorhandene Unterlagen

Die gesammelten Unterlagen müssen in zwei Gruppen getrennt beurteilt werden:

3) Vgl. Literaturverzeichnis am Schluss des Berichtes

- Theoretische Grundlagen (Literatur, Umfrage bei Hochschulen und Forschungsinstituten sowie Literaturverzeichnisse)
- Praktische Grundlagen (Umfrage bei Verkehrsbetrieben)

1.1 Theoretische Grundlagen

Alle Forschungsarbeiten gehen von idealisierten Modellen aus, die meist stark vereinfachende Wege in der Bestimmung der Parameter beschreiten. Am besten setzt sich die Dissertation von Vukan R. Vuchic mit diesem Problem auseinander. Darin wird auch festgehalten, dass wohl alle Modelle auf wirklichkeitsnahen Situationen aufgebaut sind, jedoch so viele idealisierte Parameter enthalten, dass die Simulation in jedem Fall stets nur eine Annäherung an die Wirklichkeit bleiben kann. Insbesondere trägt hierzu das Ein- bzw. Aussteigeproblem bei. Beide untersuchten Annahmen, das kumulative wie auch das gleichmässige Ein- und Aussteigen, vermögen nicht voll zu befriedigen.

Ein ideales Modell wäre dasjenige, welches variables Ein- und Aussteigen berücksichtigen könnte, doch haben Versuche in dieser Richtung gezeigt, dass dabei beträchtliche mathematische Komplikationen auftreten werden.

Wie weit die Ansätze von H. Brändli das Ein-, Aus- und Umsteigeproblem erfassen, muss vorerst noch abgeklärt werden.

Ein weiteres Problem stellt das empfindliche Reagieren einzelner Formeln auf bestimmte Parameter dar. So führt beispielsweise eine Änderung der Annahme über die Zubringergeschwindigkeit zu den Stationen bereits zu erheblichen Änderungen in der optimalen Anzahl und Anordnung der Stationen. Die alleinige Berücksichtigung der Fussmärsche zu den Haltestellen ist für bestimmte öffentliche Verkehrsmittel sicher unvollständig, die Einflüsse von "Park and Ride" sowie "Kiss and Ride" müssen mitberücksichtigt werden. Ebenso ist die Abhängigkeit der optimalen Anzahl Haltestellen von der Verlustzeit pro Haltestelle in verschiedenen Formeln problematisch, da gerade bei Nahverkehrsmitteln diese Zeiten im Laufe des Tages von Haltestelle zu Haltestelle stark variieren.

Dazu kommt, dass ein Abgang von der errechneten optimalen Anordnung oft nur eine minimale Verschlechterung des zu optimierenden Wertes (z.B. der Gesamtreisezeit) bewirkt. Ein Autor errechnete, dass auf einer Radiallinie bei einer gleichmässigen Verteilung der optimalen Anzahl der Haltestellen über die ganze Strecke sich die Gesamtreisezeit um nur einige Prozent erhöht. Dieses Resultat scheint sehr interessant und lässt den Schluss zu, dass bei konstanter Bevölkerungsdichte entlang der Linie die optimale Anzahl der Haltestellen wesentlicher ist als deren günstigste Verteilung entlang der Strecke. Auf alle Fälle aber zeigt sich, dass trotz aller theoretischer Erkenntnisse der Beachtung der örtlichen Gegebenheiten grosses Gewicht zukommt.

Man kann abschliessend die Literaturunterlagen so beurteilen, dass sie wohl wertvolle theoretische Beiträge zum Haltestellenproblem darstellen; dass aber einerseits die Forschung noch längst nicht abgeschlossen ist und andererseits die Anwendbarkeit der theoretischen Erkenntnisse für die Praxis verbessert werden muss.

1.2 Praktische Grundlagen

Die Umfrage bei den Verkehrsbetrieben zeigt mit aller Deutlichkeit:

- Die Definition des Begriffes "optimaler Haltestellenabstand" ist mehrdeutig und oft unklar.
- Die Existenz theoretischer Untersuchungen zum Thema "Optimale Haltestellenabstände" und oftmals sogar deren Inhalt sind teilweise bekannt; die fehlende Brücke von der Theorie zur Praxis verhindert jedoch die Nutzbarmachung für die Betriebe.
- Den jeweiligen örtlichen und betrieblichen Gegebenheiten wird vorwiegend (und an sich mit Recht) die Priorität zugemessen. Dies geht jedoch häufig so weit, dass die Anwendbarkeit theoretischer Erkenntnisse in Abrede gestellt wird.
- Die Betriebe sind an für sie direkt brauchbaren Unterlagen äusserst interessiert.

2. Vollständigkeit und Brauchbarkeit der Unterlagen

Die breite Streuung der beiden Umfragen lässt den Schluss zu, dass die wichtigsten Unterlagen gesammelt wurden. Deren Brauchbarkeit kann durchwegs positiv beurteilt werden, die vollständige Erfassung des Problemkreises geht ihnen jedoch, vielleicht mit Ausnahme der sehr ausführlichen Arbeit von Vuchic, weitgehend ab.

3. Das weitere Vorgehen

Wenn man alle Schwächen der theoretischen Betrachtungen den Anforderungen der Praxis gegenüberstellt, erhebt sich die Frage, ob es sehr viel Sinn hat, die theoretische Behandlung des Problems unter Einsatz mathematischer Feinheiten auf die Spitze zu treiben, oder ob man sich mit den heute bekannten Tatsachen und Richtwerten zufrieden geben will. Schlussendlich sind bei der Uebertragung der rechnerischen Ergebnisse stets die örtlichen Verhältnisse zu berücksichtigen und auch zu bedenken, dass heute getroffene Annahmen ihre Richtigkeit für derart langfristige Investitionen nicht unbedingt behalten müssen. Unter diesen Aspekten sind grundsätzlich zwei Wege denkbar:

a) Wissenschaftliche Fortführung der Arbeiten

- Unterlagen analysieren
- Massgebende Kriterien definieren

- Massgebende Parameter festlegen
- Entwicklung mathematischer Formeln für
 - Optimale Anzahl Haltestellen
 - Optimale Lage der Haltestellen zueinander
- Gebrauchsformeln und Richtwerte für die Praxis ableiten
- Schlussbericht

b) Praktische Fortführung der Arbeiten

- Unterlagen analysieren
- Massgebende Kriterien definieren, diskutieren, festlegen
- Einflüsse dieser verschiedenen Definitionen auf die Haltestellenabstände
- Gebrauchsformeln und Richtwerte für die Praxis aufstellen
- Schlussbericht

Die Beschreitung des ersten Weges bedingt den Zuzug eines Mathematikers für die Formulierung und Ableitung mathematischer Probleme. Der Aufwand an Zeit und finanziellen Mitteln wird erheblich grösser und lässt sich aufgrund der bisherigen Arbeiten kaum mehr abschätzen. Aus der Erkenntnis heraus, dass theoretische Ergebnisse in der Praxis hauptsächlich dazu Verwendung finden werden, die ausschlaggebenden örtlichen und betrieblichen Gegebenheiten sinnvoll zu gewichten, erscheint der Nutzen dieses Vorgehens den hohen Aufwand kaum zu rechtfertigen.

Der zweite Weg verspricht mit geringerem Aufwand befriedigende Resultate und vermag der im vorliegenden Fall erwünschten Detaillierung und Genauigkeit der Theorie mit Sicherheit zu genügen."

Diese Schlussfolgerungen fanden allseits Zustimmung und bildeten die Grundlage für den in der nachfolgenden Ziffer 1.3 beschreibenden Fortsetzungsauftrag Nr. 25/70.

Schon an dieser Stelle darf hervorgehoben werden, dass auch die seitherigen Arbeiten zum Problem der Haltestellenabstände (Ziffer 1.4) als auch die heutige Planungs- und Betriebspraxis (Ziffer 1.5) die Richtigkeit der seinerzeitigen Schlussfolgerungen bestätigen.

1.3 Forschungsauftrag Nr. 25/70; Arbeitsablauf bis 1973

Aufgrund eines Gesuches der SVI wurde der Fortsetzungsauftrag durch das Eidg. Departement des Innern mit Zuschrift vom 16.7.70 an die SVI wie folgt erteilt:

"Forschungsauftrag Nr. 25/70
Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr.

Die Arbeitsgruppe 6 der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure wird beauftragt, die Bestimmung der optimalen Haltestellenabstände öffentlicher Verkehrslinien in Abhängigkeit der verschiedenen Parameter (Besiedlung, Betrieb, usw.) fortzusetzen, wobei besonderer Wert auf praktische Folgerungen gelegt werden muss."

Die Arbeiten wurden durch den SVI-Vorstand wiederum an die SVI-Arbeitsgruppe 6 vergeben. Diese verblieb in ihrer früheren Zusammensetzung wie folgt:

- . H. Brändli, dipl. Ing. ETH/SVI
Hauptabteilungsleiter der Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (Präsident). (Ab 1.5.1975 Professor am Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik der ETH Zürich)
- . M. Glaser, dipl. Ing. ETH/SVI
Planungsbüro Büttler und Glaser AG., MuttENZ
(Heute Glaser & Saxer, MuttENZ)
- . G. Junker, dipl. Ing. ETH/SVI
Ingenieurbüro Biermann, Lausanne
(Heute Dep. des Travaux Publics, Service des Routes, Canton de Vaud)

Als Referent stellte sich Herr dipl.Ing. O. Keller, Lausanne, zur Verfügung.

Die Arbeitsgruppe 6 hat ihre Tätigkeit programmgemäss aufgenommen.

Ende 1973, als bereits die Gliederung des Schlussberichtes zur Diskussion stand und die inzwischen gewonnenen Erkenntnisse und Gedanken zusammengetragen wurden, kamen die Arbeiten ins Stocken und schiefen Anfangs 1974 ein.

Die Gründe für dieses Erlahmen der Arbeitsgruppenaktivität waren vielschichtiger Natur und lagen hauptsächlich beim Präsidenten:

- . H. Brändli war 1973 im Zusammenhang mit einem Grossprojekt, nach dessen Ablehnung mit Neuplanungen und durch organisatorische Änderungen sehr stark beansprucht. 1975 erfolgte ein Wechsel an die ETH mit der Aufgabe, für ein breites Lehrgebiet die Vorlesungsmanuskripte zu erarbeiten.

- Bereits noch während der Arbeitsgruppentätigkeit tauchten Zweifel an der Richtigkeit des Vorgehens auf. Immer stärker drang die Einsicht in den Mittelpunkt der Diskussionen, dass der Festlegung der Optimierungskriterien weit zentralere Bedeutung zukommt als dem Instrumentarium zur Optimierung im engeren Sinne (vgl. Ziffer 1.5). Dies führt sofort zur Frage nach den Zielsetzungen des öffentlichen Verkehrs, wie sie nachfolgend in Ziffer 3.2 beleuchtet und u.a. auch als bedeutende Thesen der GVK aufgegriffen werden.
- Andererseits liess die geforderte, sehr praxisnahe Bearbeitung der Haltestellenfestlegung deutlich werden, dass im laufenden Betrieb hinsichtlich Entscheiden über Haltestellenplatzierungen praktisch kein Spielraum besteht (Ziffer 6.2).

Die Anwendung erarbeiteter Richtlinien und Ablaufschemen wird erst bei Aufgabenstellungen aktuell und von effektivem Nutzen, die auch bereits planerische, unternehmerische und z.T. auch verkehrspolitische Entscheide verlangen (Ziffern 6.3 - 6.5). Das technische/betriebliche Rüstzeug zur notwendigen Erarbeitung solcher Entscheide in die praxisbezogenen Methoden zur Haltestellenfestlegung standen (und stehen grösstenteils) noch nicht zur Verfügung.

Der Präsident der Arbeitsgruppe 6 entschloss sich daher, in seinem neuen Tätigkeitsfeld den Abschluss verschiedener Forschungsarbeiten (Ziffer 1.6) abzuwarten, deren Ergebnisse im vorliegenden Auftrag neue Akzente setzen konnten.

Damit wurde die Auftragsbearbeitung auf eine völlig neue Basis gestellt, obwohl ein Grossteil der verfügbaren Mittel bereits beansprucht war. Trotzdem hat sich wohl der Abgang von den früheren Vorstellungen gelohnt, wenn auch sehr viel mehr Zeit verloren ging als bereits ursprünglich befürchtet.

Die Studien zum Forschungsauftrag 25/70 liefen erst in der zweiten Hälfte 1978 am IVT wieder an und wurden, nach einem neuerlichen Unterbruch im Zusammenhang mit der Quantifizierung von Zielen, materiell Anfangs 1980 abgeschlossen.

1.4 Neuere Arbeiten zum Problem der Haltestellenabstände

Seit der Erteilung des Forschungsauftrages Nr. 25/70 wurde die anderweitige Behandlung der Haltestellenfrage selbstverständlich laufend verfolgt. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, sind die wichtigsten Publikationen und deren wesentlichste Aussagen im Folgenden kurz aufgeführt:

- Einfluss der Fussweglänge und des Haltestellenabstandes auf die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs.
UITP Revue 3/1974 (2)

Diese wohl praxisnächste, umfassende Betrachtung zum Thema liefert Richtwerte und viele Hinweise aus der Praxis, versucht jedoch die Zusammenhänge anhand sehr theoretischer Beispiele mit wenig Realitätsbezug zu erklären. Der Bericht stützt sich stark auf den 1. Zwischenbericht der SVI-Arbeitsgruppe 6 ab und wurde im Auftrag des internationalen Ausschusses für Verkehr und Städtebau der UITP erarbeitet. Für die vorliegende Forschungsarbeit sind vor allem die nachstehenden Aussagen des UITP-Berichtes von Bedeutung:

- "Die Grösse des Einflussgebietes einer Haltestelle, also des Bereichs, aus dem die Fahrgäste kommen, ist davon abhängig, welche Fussweglänge von der Wohnung, vom Arbeitsplatz usw. zur Haltestelle im Hinblick auf die Zielsetzung des öffentlichen Verkehrs unter verschiedenen Umständen als zumutbar angesehen wird."
- Der Mangel an Unterlagen über das Ausmass der Nachfrageabschreckung durch die Fusswege zur Haltestelle wird als gravierendes Hindernis zur Bestimmung optimaler Haltestellenabstände dargestellt (vgl. Ziffer 1.6).
- Der Umwegfaktor beim Haltestellenzugang im Sinne des Verhältnisses effektiver zu Luftliniendistanz wird mit durchschnittlich ca. 1.25 angegeben. Diese für die Abstandsoptimierung sehr wichtige Angabe ist allerdings stark von den Aussagen im 1. Zwischenbericht beeinflusst.
- "Bei der Festlegung des Einflussgebietes einer Haltestelle wird von einer zumutbaren Fussweglänge (Maximaldistanz) ausgegangen. Von Wichtigkeit ist dabei aber auch die Kenntnis der Verteilung der Fussweglängen zwischen Null und diesem Maximalwert. (...) Die Verteilung der Fahrgäste über die Anmarschwege wird stark von der Verteilung der Wohndichte beeinflusst."

Hier wird deutlich darauf aufmerksam gemacht, dass sich die optimalen Abstände bei einer Veränderung der Wohn- und/oder Arbeitsplatzdichtenverteilung ändern. - Dies bedeutet, dass bestimmte Abstände nur bezogen auf eine ganz bestimmte Siedlungsstruktur im Erschliessungsbereich optimal sein können!

- Aus der allerdings sehr isolierten Betrachtung einzelner Einflussparameter und unter Voraussetzung einer konstanten, zumutbaren Maximaldistanz der Fusswege werden nicht lineare, sondern flächenbezogene Richtwerte für Netzdichten und Haltestellenabstände abgeleitet.

Die anzustrebenden Netzdichten werden mit 1.33 bis 5.0 km/km² für den Fall angegeben, dass eine zusammenhängende Fläche mit einer höchstzulässigen Fussweglänge von 400-600 m erschlossen werden muss, während bei Betrachtung der durch

eine einzige Linie zu erschliessenden Fläche Netzdichten von $1-2 \text{ km/km}^2$ angebracht sind. Der "vernünftige" Haltestellenabstand wird dabei innerhalb eines Bereiches von $0.75 - 1.5 \times$ zumutbarem Anmarschweges festgelegt.

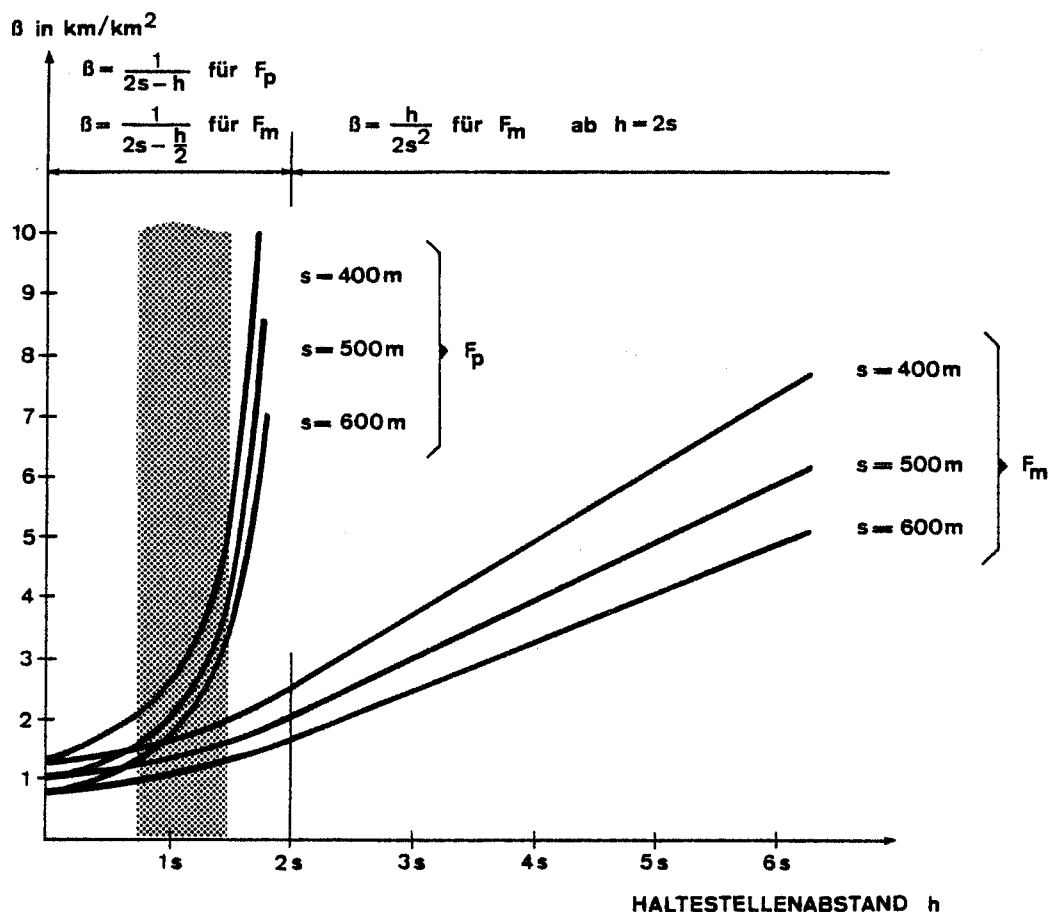


Abb. 1

- Qualitativ betrachtet, wenn leider auch nicht quantitativ untersucht wird das Verhalten der Fahrgäste bei der Wahlmöglichkeit zwischen Angeboten mit verschiedenen Fussweglängen. Untersucht wird die Wahl Fussweg / Zubringerbus zur Schnellbahn, wobei hier eine Reizschwelle von 600-700 m Luftlinie vermutet wird; die Wahl individueller - öffentlicher Verkehr; Alternativen mit unterschiedlichen Beförderungsgeschwindigkeiten und schliesslich mit ungleicher Anzahl erforderlicher Umsteigebewegungen. Ziel der Übung war die Angabe der subjektiven Gewichtung der Fusswege, was, wie erwähnt, quantitativ nur zum geringsten Teil erreicht wurde.
- Die UITP-Untersuchung schliesst mit der Feststellung:
"Das Thema "Länge der Fusswege" ist wissenschaftlich noch nicht ausreichend untersucht."
Hier lag einer der Hauptansatzpunkte für die in Ziffer 1.6 beschriebenen IVT-Aktivitäten.

• Generalverkehrsplan Nürnberg / Fürth (3)

In Ziffer 3.5 des Teils "Öffentlicher Nahverkehr" werden unter dem Titel "Einzugsbereiche von Haltestellen" ausgewählte Innenstadt- und Endhaltestellen der Strassenbahn im Detail hinsichtlich der Anmarschwege und deren Verteilung untersucht.

Die Ergebnisse sind in Summenkurven zusammengefasst.

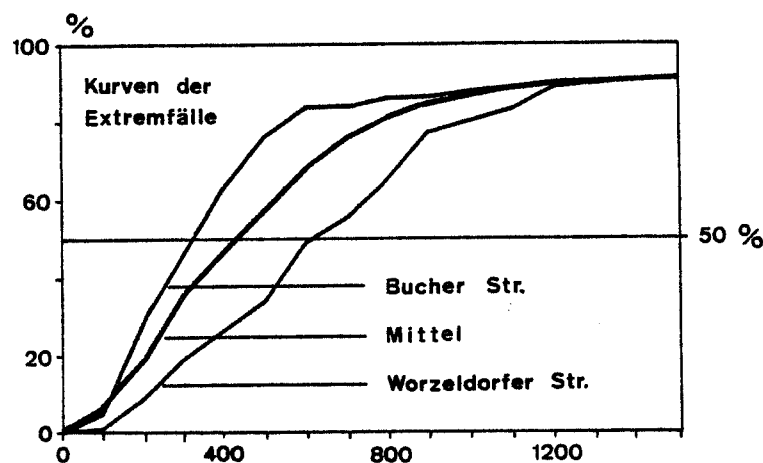


Abb. 2

Solche Kurven sind deshalb schwierig zu interpretieren, weil sich die Einflüsse von

- grösseren Siedlungsflächen in haltestellenentfernteren Bereichen (Kreisringflächen!),
 - Einzugsbereichüberlappungen verschiedener Haltestellen (mit z.T. unterschiedlichen Angeboten!),
 - nachfrageabschreckender Wirkung grosser Fusswege
- nicht trennen lassen.

Hier liegt ein weiterer Ansatzpunkt für die IVT-Arbeit "Einfluss des Anmarschweges auf die Benützung öffentlicher Verkehrsmittel".

• Die fahrzeitäquivalente Reisezeit

Walther (4) berücksichtigt die Tatsache, dass die verschiedenen Zeitkomponenten einer Reise subjektiv sehr unterschiedlich gewichtet werden, durch die Einführung der "fahrzeitäquivalenten Reisezeit". "Bezugsgrösse ist dabei die Fahrzeit mit dem Verkehrsmittel, was bedingt, dass die Nebenzeiten (für Fusswege, Warten und Umsteigen), zu fahrzeitäquivalenten Zeiten modifiziert werden müssen. Durch Addition der unterschiedlich gewichteten Nebenzeiten zur Fahrzeit entsteht die fahrzeitäquivalente Reisezeit, eine fiktive Gesamtreisezeit, die die psychologischen Widerstände des potentiellen Benützers eines Verkehrsmittels beinhaltet."

An dieser Stelle interessieren die der Fusswegzeit anzulastenden Gewichtungsfaktoren:

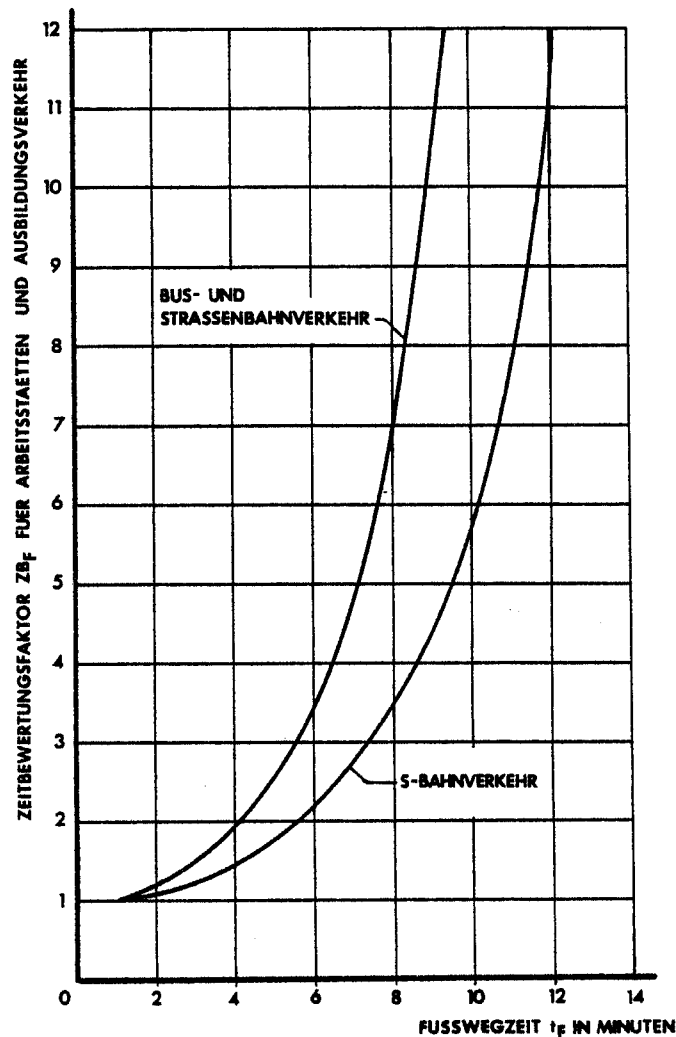


Abb. 3

Hier finden wir einerseits einen Ansatz zur praxisnäheren Berechnung optimaler Haltestellenabstände durch Berücksichtigung der subjektiven Zeitgewichtungsfaktoren.

Andererseits betont die Tatsache, dass diese Gewichtungen für unterschiedliche Nachfragerkategorien sowie Reisezwecke sehr verschieden ausfallen, die Notwendigkeit von Zielsetzungen für die Unternehmen des öffentlichen Verkehrs. Ohne solche Ziele fehlt eine der wichtigsten Ausgangsbasen zur Bestimmung optimaler Haltestellenabstände.

- Ermittlung des hinsichtlich der Reisezeit zweckmässigen Haltestellenabstandes im städtischen Nahverkehr
Dissertation an der TH Dresden (5)

Obwohl die Dissertation bereits 1970 abgeschlossen wurde, war sie im Wortlaut erst 1979 verfügbar.

Bereits der Titel der Dissertation lässt eine für die vorliegende Forschungsarbeit unzulässige Einschränkung erahnen, indem das Optimierungskriterium Reisezeit vorweggenommen wird. Immerhin wird diese Beschränkung in der sehr umfassenden Dissertation wieder teilweise fallen gelassen.

Das Werk enthält sehr viel statistisches Datenmaterial und entwickelt relativ komplizierte, mathematische Lösungsansätze. Die Brauchbarkeit der Methode wird an auf konkrete Planungsfälle bezogene Rechenbeispielen erläutert.

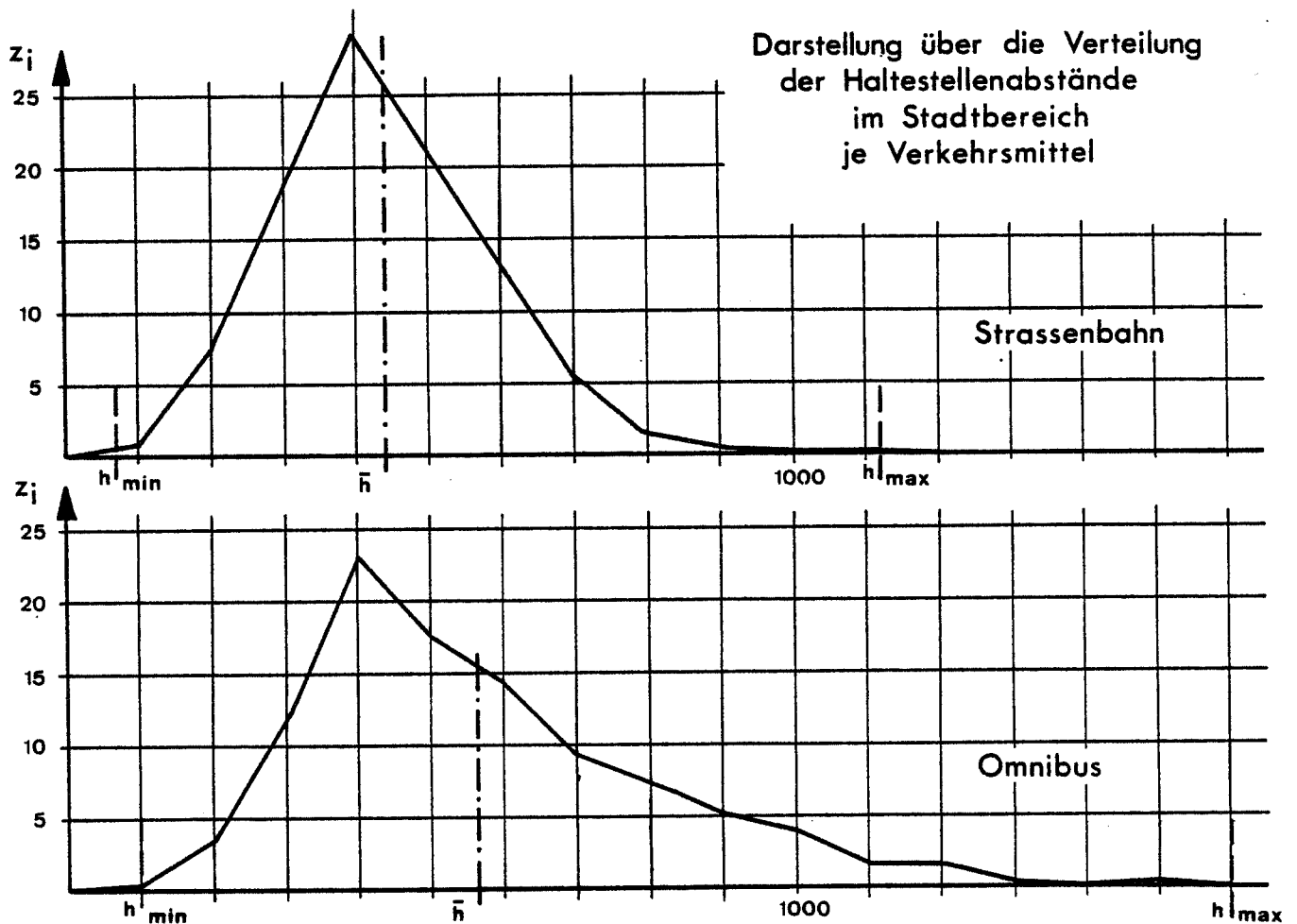


Abb. 4

Bestehende Verteilung der Haltestellenabstände in der DDR

.. Einsatz eines Kabinenbahnsystems in Berlin; Planungseinsatzstudie

SNV Hamburg, BVC Berlin (6)

Diese Studie, die die Rahmenbedingungen für eine Referenzanlage in Berlin setzen sollte, enthält Bewertungen und Gewichtungen der Angebotsmerkmale, wie sie aus eingehenden Diskussionen mit Betreiber- und auch Benützervertretern hervorgingen.

Die hier relevanten Angaben sind auszugsweise wiedergegeben und beweisen den sehr hohen Stellenwert der Haltestellenlagen:

KURZBESCHREIBUNG DER BEWERTUNGSKRITERIEN

Bewertungskriterium	Bewertungsinhalt	Indikatoren	Bewertungsgrenzen	
			Untergrenze	Obergrenze
1. Reisezeit	gesamte mittl. Reisezeit von Tür zu Tür einschl. Verlustzeiten	Reisezeit in Min.	synth. Reisezeit f. eine repräsentative Reise: ca. 35 min (UG Nord) ca. 25 min (UG West)	Reisezeit für repräsentative Reise ca. 15 min (UG Nord) ca. 8 min (UG West)
2. An- u. Abmarsch	Aspekte der Unbequemlichkeit eines Fußmarsches	Fußwegentfernung in m	700 m f. An- und Abmarsch	200 m f. An- und Abmarsch
3. Grad der Mitwirkung	Fahrgast-Tätigkeiten vor u. während der Fahrt	a.) Fahrtziel u. -Route b.) Fahrplan c.) Fahrscheinerwerb d.) Fahrscheinentwertung e.) Kabinenanforderung f.) Abfahrt/Halt	an jeder Haltestelle Plan der Linienstationen Taktzeit 20 Min. Ausgabe mit abgezähltem Geld durch Automaten bei Ausgabe nicht entwertet u. nicht geprüft für jede Fahrt notwendig Halt, Türöffnung u.ä. nur bei Fahrgast-Mitwirkung	keine Orientierung erforderlich Taktzeit 2 Min. oder Bedarfssteuerung Ausgabe durch Personal mit Geldwechsel bei Ausgabe entwertet u. geprüft nicht erforderlich Halt, Türöffnung u.ä. automatisch
4. Zu- und Abgänglichkeit	Überwindung einer Höhendifferenz zwischen Straße und Haltesteig	a.) Niveaudifferenz ΔH in m b.) Fußgängerhilfen	$\Delta H = 9,25$ m feste Treppe u. 1 Aufzug	$\Delta H = 0$ $\Delta H = 0$ oder Rampen bei $\Delta H \leq 1$ m
5. Witterungsschutz an der Haltestelle	Schutz gegen Luftbewegungen und Niederschläge	bauliche Gestaltung der Haltestelle	Haltestelle, überdacht ohne Wände	zur Außenumgebung abgeschlossene Haltestelle
6. Ein- und Ausstieg	Aspekte der Unbequemlichkeit beim Ein- u. Ausstieg nach Indikatoren	a.) Einstiegshöhe ΔH in cm b.) Plätze pro Türspur (p)	$\Delta H = 65$ cm p = 25	$\Delta H = 0$ -p = 4 (Fzge. mit Laufgang) -p = 2 (Fzge. ohne Laufgang, Zweirichtungsbestuhlung) -p = 1 (Fzge. ohne Laufgang, Ein-

Abb. 5

Bewertungskriterien	Gewichte in %
✕ Reisezeit	27,6
✕ An-/Abmarsch	10,3
Grad der Mitwirkung	6,4
✕ Zu-/Abgänglichkeit	3,6
✕ Witterungsschutz	3,0
Ein-/Ausstieg	2,6
Laufruhe	3,5
Fahrgeräusche	2,5
Klima/Heizung/Lüftung	4,3
Individualität	2,5
Sitzplatzverfügbarkeit	4,0
Bedienungshäufigkeit	11,9
Direktfahren/Umsteigen	9,4
Pünktlichkeit	8,4
	100,0

Abb. 6

Gewichtungen aus Benützeroptik

- Methoden und Technologien einer verbesserten Fahrgastbedienung,
Auftrag des Bundesforschungsministeriums der BRD (BMFT) (7)

Im Rahmen dieses in einer 1. Arbeitsstufe mit über 1.7 Mio. DM dotierten Vorhabens, dessen Lenkungsausschuss durch den Präsidenten der SVI-Arbeitsgruppe 6 präsiert wird, steht auch die Haltestellenfestlegung zur Diskussion (Die Arbeit ist seit 1977 im Gange, die 1. Stufe wird 1980 abgeschlossen).

Dazu wird vorerst festgehalten:

"Um den Grad der Erreichbarkeit öffentlicher Verkehrseinrichtungen in einer in sich geschlossenen Verkehrsregion zu beschreiben, werden deshalb Durchschnittswerte herangezogen. In der Literatur werden häufig die Begriffe

- "Haltestellendichte" - das ist die Zahl der Haltestellen bezogen auf die Fläche des Erschliessungsgebietes und
- "Haltestellenabstand" - das ist die durchschnittliche Entfernung der Haltestellen bezogen auf die Länge des ÖPNV-Streckennetzes in einem Verkehrsgebiet

verwendet. Beide Massgrößen haben den Nachteil, dass sie vorrangig aus der Zahl der Haltestellen - das ist das Angebot des Betreibers - abgeleitet werden und subjektive Gesichtspunkte des einzelnen ÖPNV-Benützers nicht widerspiegeln. Die Angaben zur Haltestellendichte und zum Haltestellenabstand sind vielmehr Durchschnittswerte, die in der Praxis als Orientierungsrahmen bei Neuplanungen von ÖPNV-Linien dienen, zur Charakterisierung der subjektiven Fahrgastanforderungen jedoch nicht aus-

reichen und von dem Verkehrsteilnehmer als Kriterium zur Beurteilung der Erreichbarkeit auch gar nicht herangezogen werden.

Der Verkehrsteilnehmer trifft seine Entscheidung für oder gegen den ÖPNV in Abhängigkeit davon, ob ihm die notwendigen Fusswege zumutbar erscheinen oder nicht."

(.....)

"Als die wichtigsten Kriterien, die von den Verkehrsteilnehmern zur Beurteilung der Erreichbarkeit zu Fuss abgewogen werden, haben sich die nachstehenden Einflussgrössen herausgestellt:

- Reisezweck,
- Standort der Verkehrsquelle,
- Art des Verkehrsmittels,
- Häufigkeit, Regelmässigkeit und Pünktlichkeit der ÖPNV-Bedienung,
- Körperliche Konstitution des Verkehrsteilnehmers,
- Reiselänge,
- Informationsstand über das Verkehrsangebot,
- PKW-Besitz und
- Topographische Gegebenheiten."

Interessant an dieser Liste sind, dass

- . selbst diese sehr ins Detail gehende und über grosse Mittel verfügende Forschungsarbeit von analytischen Ansätzen absieht, obwohl eine Vereinheitlichung der Fahrgastbedienungstechnologien zu den erklärten Zielen des Vorhabens gehört,
- . die wichtigsten Kriterien wiederum von den Zielen des öffentlichen Verkehrs hinsichtlich Kundenkreis und Reisezweck geprägt sind.

Der Schlussbericht dieser Forschungsarbeit erscheint ca. Mitte 1980 in Buchform im ALBA-Buchverlag in Düsseldorf. Er weist u.A. ein Literaturverzeichnis mit über 600 Titeln auf.

1.5 Der Stellenwert der Haltestellenabstände aus heutiger Sicht

Die zwar unvollständige, aber bezüglich Auswahl der Arbeiten wohl repräsentative Darstellung neuer Forschungsergebnisse lässt unschwer erkennen, dass in den letzten Jahren ein zunehmender Abgang von konkreten mathematischen Optimierungsmethoden aufgrund genau definierter Parameter feststellbar ist.

Dies wiederum ist nicht als Zufall zu werten!

- . Erstens einmal zwangen Gesamtverkehrsüberlegungen unter Einschluss von Verkehrswirtschaft und Verkehrspolitik (z.B. GVK) zu einer gesamtheitlichen Betrachtung des Verkehrsgeschehens und damit auch der Angebotsstrukturen. Dabei wurde die sehr vielschichtige Einbettung auch des Begriffes der optimalen Haltestellenabstände in zahlreiche, für sich auch wandelbare Einflussgrössen offensichtlich, die zudem z.T. kaum mit genügender Wahrscheinlichkeit prognostizierbar sind. Der Wunsch nach exakter Berechnung verblasste demzufolge gegenüber dem Bestreben, die Abhängigkeiten transparent werden zu lassen und mit einer Art "qualitativer Sensitivitätsanalysen" die Gefahren abzuschätzen, um mit einmal gewählten Werten bei künftigen Entwicklungen nicht stark aus dem Optimum gedrängt zu werden.
- . Zweitens ergab sich eine Verlagerung der konkreten Aufgabenstellungen in der Praxis: Eine Umorientierung, die mit dem Schlagwort "qualitatives Wachstum" umschrieben werden kann, ergab zusammen mit einem starken Rückgang des effektiven Wachstums (im Vergleich zu den ersten Siebzigerjahren) ein starkes Übergewicht bei der Verbesserung bestehender Strukturen. Hier sind jedoch derart viele Randbedingungen aus dem bestehenden Angebot zu übernehmen, dass für die Haltestellenfestlegung nur noch relativ untergeordnete Aufgaben verbleiben, wie sie in Ziffern 6.2 und 6.3 beschrieben sind. Für grössere, längerfristige Aufgaben, wie z.B. die S-Bahn-Zürich, liegen die Hauptschwierigkeiten bei der detaillierten Funktionsbeschreibung der neuen Anlagen beziehungsweise bei deren übergeordneten Zielsetzungen. Schliesslich zeigt die vermehrte Ausrichtung auf den Ausbau öffentlicher Nahtransportsysteme in Entwicklungsländern, dass dort die für exakte Rechnungen erforderlichen Daten meist nicht zur Verfügung stehen, für den Status quo nur mit grossem Aufwand und für die Zukunft überhaupt nicht mit einiger Zuverlässigkeit abschätzbar sind.
- . Drittens zeichnete sich in den letzten Jahren ein neues Forschungsschwergewicht bei der Durchleuchtung des Betriebsablaufes öffentlicher Linienverkehrsmittel ab, woran die Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ) und das IVT massgeblich beteiligt sind. Und hier zeigt sich, dass z.B. mit Mitteln moderner Betriebsleittechnik Angebotselemente verbessert werden können, die auf das Optimum der Haltestellenabstände bedeutenden Einfluss haben können. Erinnerung sei in diesem Zusammenhang nur an die Störungskumulation im strassenverkehrsabhängigen Linienverkehr.

Diese geänderten Randbedingungen zielen nun nicht dahin, dass die Frage optimaler Haltestellenabstände bedeutungslos geworden ist. Anzahl und gegenseitige Lage der Haltestellen stellen noch immer stark angebotsprägende Elemente dar, die u.a.

- die Anmarschwege
- die Beförderungsgeschwindigkeit
- die Störungsanfälligkeit
- die Wirtschaftlichkeit

sehr beeinflussen.

Geändert hat der Stellenwert des ganzen Komplexes Netz- und Linienauslegung in zweifacher Hinsicht:

- . Den Zielen und Randbedingungen (z.B. Funktionsstufen) des Angebotes ist stark erhöhtes Gewicht zuzumessen,
- . Die Auslegung von Strecken und Linien, einschliesslich der Haltestellen, ist wie folgt in das Gesamtproblem der Angebotsgestaltung einzubetten:

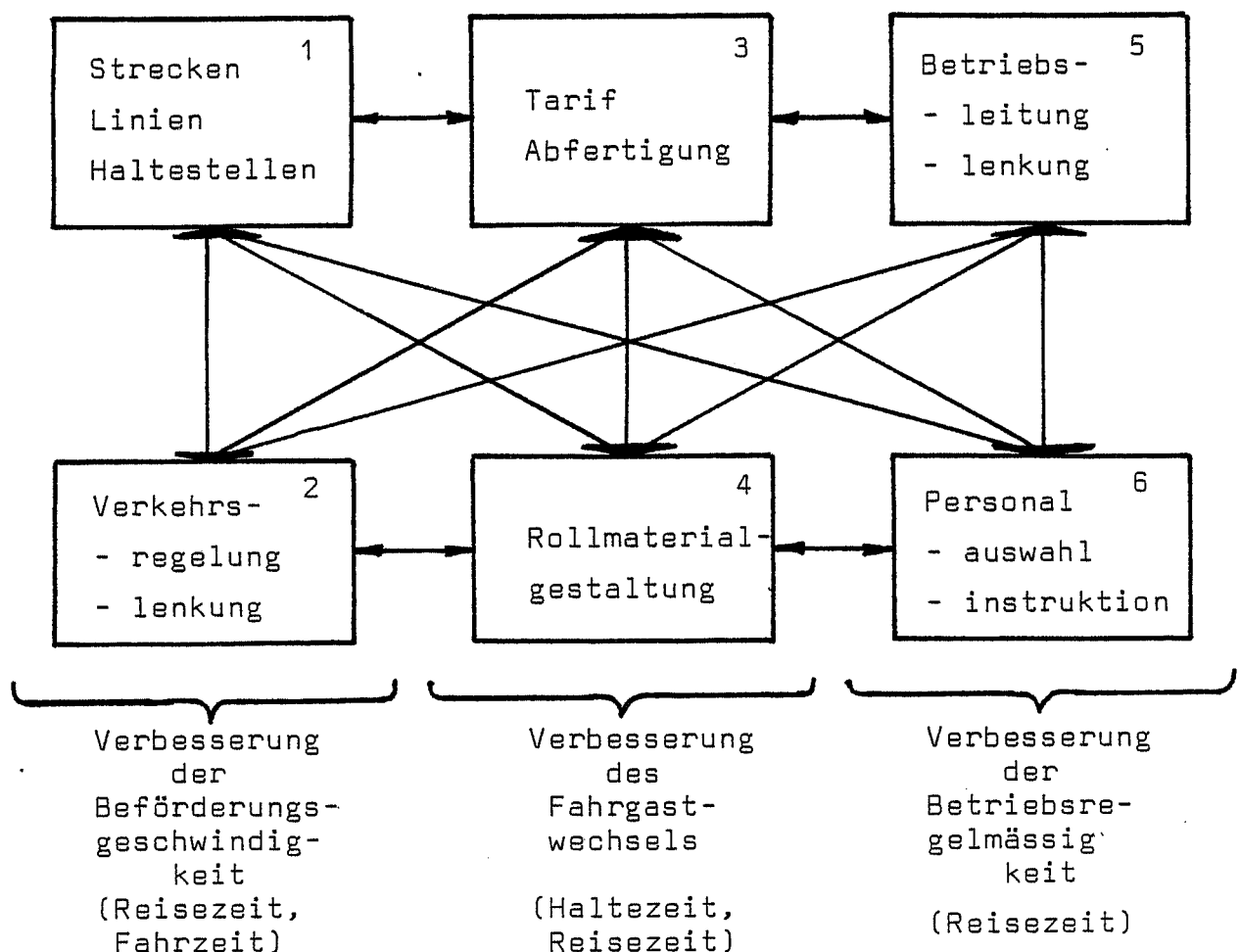


Abb. 7

Lage und Anordnung der Haltestellen beeinflussen die Fragenkomplexe 1, 2 und 5.

Der vorliegenden Beurteilung des heutigen Stellenwertes optimaler Haltestellenabstände trägt das geänderte Vorgehen, wie in Ziffer 1.7 beschrieben, Rechnung. Sie war aber auch einer der Beweggründe für die Inangriffnahme der nachfolgend erwähnten Arbeiten am IVT.

1.6 Begleitende Arbeiten des IVT bis Ende 1979

Die Forschungsarbeiten des IVT im Bereiche des öffentlichen Verkehrs zeigen zwei Schwerpunkte:

- . Zielsetzungen auf verkehrspolitischer und unternehmerischer Ebene sowie vor allem deren Quantifizierung und praktische Anwendung.
- . Innere Gesetzmässigkeiten des Linienbetriebes, einschliesslich der Leistungsbereiche der Verkehrsmittel (Abgrenzungen gegenüber dem Bedarfsbetrieb), und deren Auswirkungen auf die Netz-, Linien- und Haltestellengestaltung sowie die festen und beweglichen Anlagen.

Verschiedene Arbeiten weisen Querbezüge zum Problem der Haltestellenfestlegungen auf und wurden demzufolge u.a. darauf ausgerichtet.

- . IVT-Bericht Nr. 78/4
Regionalisierung im öffentlichen Personenverkehr, Vorstudie im Auftrag des Eidg. Amtes für Verkehr (Heute BAV) (8).

Hier wurde u.a. ein Zielsystem einschliesslich seiner Auflösung bis auf Stufe Indikatoren entwickelt.

Aufgebaut auf den Eckwerten, wie sie in Ziffer 3.2 näher beschrieben werden, zeigt es einmal mehr die Bedeutung der Anzahl Haltestellen sowie die Abhängigkeiten zu anderen Einflussgrössen.

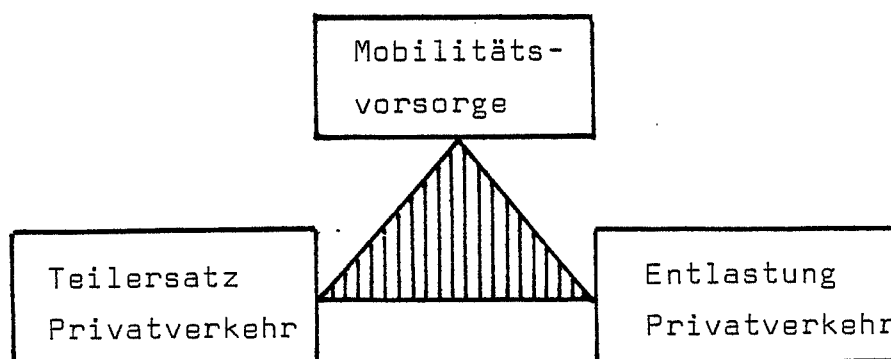


Abb. 8

Eckwerte für die Bewertung des öffentlichen Verkehrs

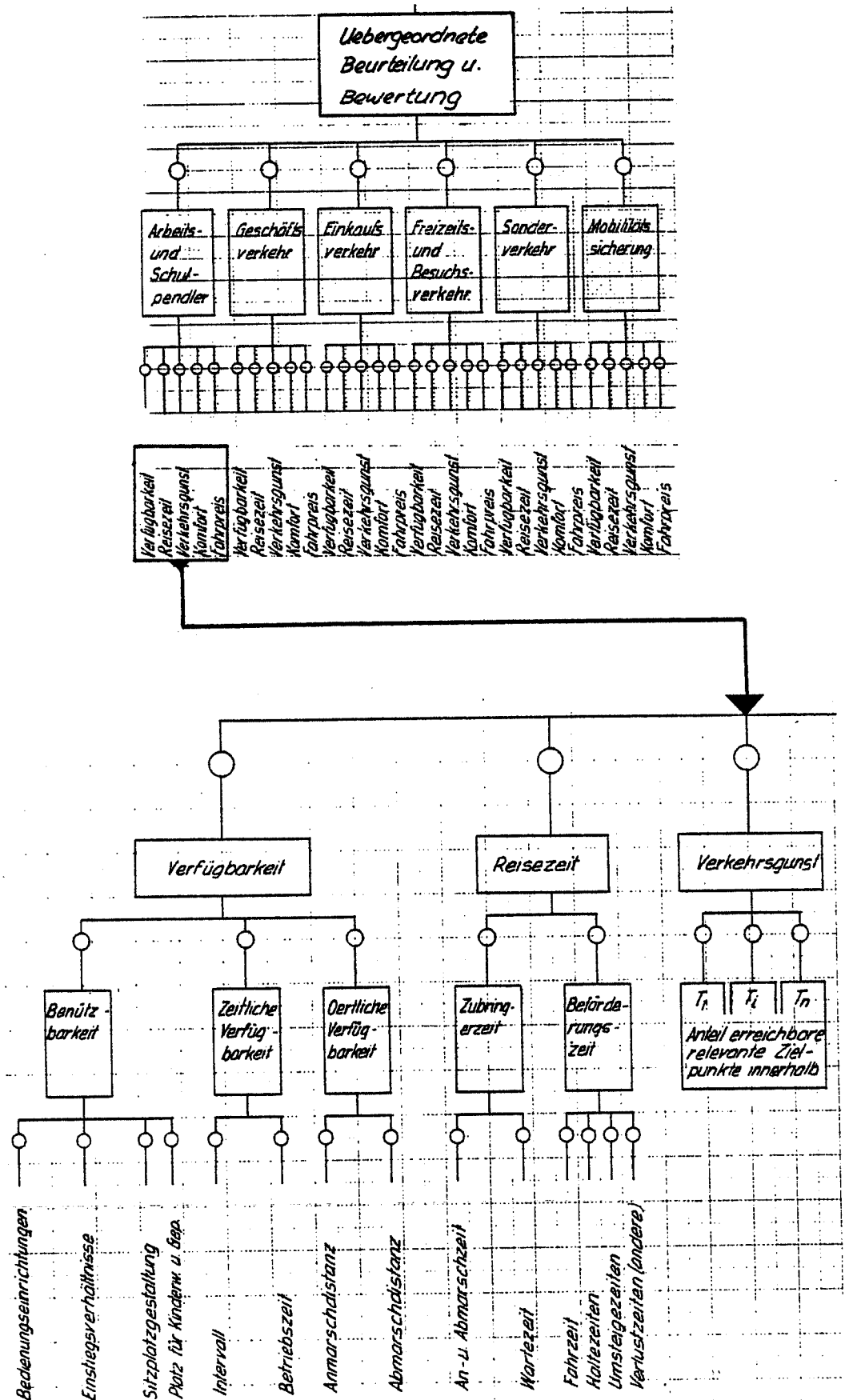


Abb. 9

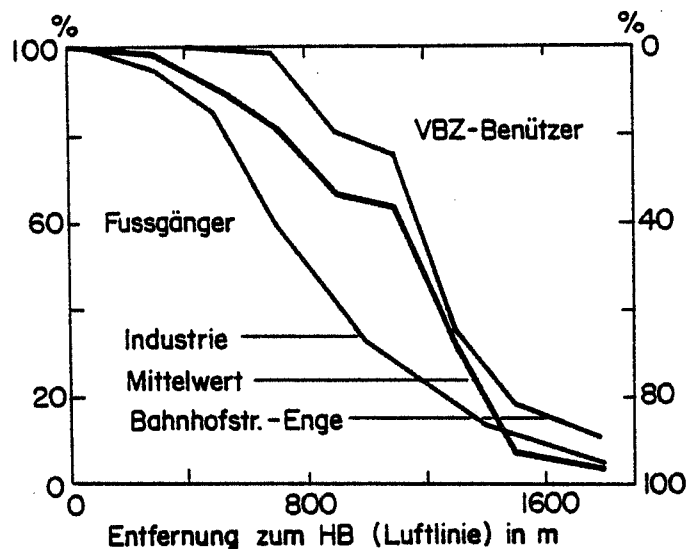
Zielsystem öV

• Konkretisierung des Leistungsbeschriebes im öffentlichen Personenverkehr (9)

In dieser Studie geht es um den Nachweis, dass die vorhin erwähnten Bewertungs-Eckwerte (Abb.8) tatsächlich soweit konkretisierbar sind, dass sie für die detaillierte Angebotsauslegung einschliesslich Netz- und Liniengestaltung eingesetzt werden können. Diese "Uebersetzung" verkehrspolitischer Oberziele in Kriterien als Arbeitsinstrumente der Betriebsauslegung ist soweit erarbeitet, dass die Verwendung der Eckwerte verantwortbar erscheint (Ziffer 3.2).

• Einfluss von neuen Bahnhofszugängen auf das Fahrgastverhalten (10)

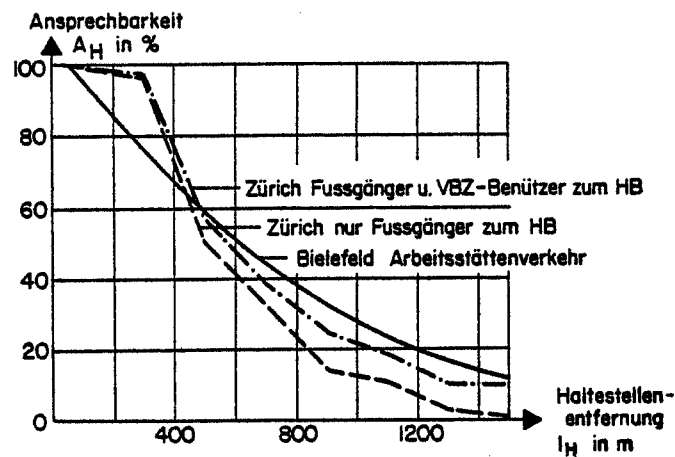
In dieser Arbeit, die zusammen mit den SBB durchgeführt wurde, ging es u.a. um die Aufteilung der Bahnbenützer mit Quellpunkt HB auf Fussgänger und Benützer der öffentlichen Nahverkehrsmittel in Abhängigkeit des "Anmarschweges" zum HB. Daraus lässt sich die Bereitschaft ableiten, Fusswege bei einem bestimmten Alternativangebot "öffentlicher Nahverkehr" zurückzulegen.



Verteilung der Bahnbenützer auf Fussgänger und Tram-/Busbenützer in Abhängigkeit der Luftliniendistanz

Abb. 10

Ohne Alternativangebot seitens öffentlichem Verkehr können im weiteren Anspreckbarkeiten abgeleitet werden, wie sie nachfolgend im IVT-Bericht 78/3 kurz erläutert werden.



Einfluss der Haltestellenentfernung auf die Benützungshäufigkeit öffentlicher Nahverkehrsmittel.

Abb. 11

• Einfluss des Anmarschweges auf die Benützung öffentlicher Verkehrsmittel (11)

Die hier diskutierte Forschungsarbeit ist vor allem durch die Tätigkeit der SVI-Arbeitsgruppe 6 bis 1974 ausgelöst worden. Deren Durchführung wurde dann auch durch die Arbeitsgruppe ausdrücklich gewünscht! Zudem stand für verschiedenste Auswertungen das sehr detaillierte Datenmaterial der "Befragung Regionalverkehr Zürich 1969" zur Verfügung. Die Resultate sind für den Forschungsauftrag 25/70 von grösster Bedeutung und daher auszugsweise wiedergegeben.

Eines der wichtigsten Attraktivitätsmerkmale des Angebots ist die örtliche Verfügbarkeit, das heisst die Haltestellendichte und die Fussweglängen zur Haltestelle. Das Ziel des IVT-Berichtes Nr. 78/3 besteht darin, die Zusammenhänge zwischen Anmarschweg ab Wohnort zur Haltestelle und Benützungshäufigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel aufzuzeigen. Diese "Nachfrageelastizität bezüglich der Anmarschwege" wurde in Relation gesetzt zur Anzahl angebotener Linien, zum Liniencharakter sowie zu den Umsteigeranteilen.

Demzufolge wurden die ausgewerteten Haltestellen in typische Gruppen wie folgt eingeteilt.

HG	Merkmal
1	Durch eine einzige Radiallinie bedient
2	Durch eine radiale Hauptlinie und (eine tangentielle Nebenlinie) bedient
3	Durch eine tangentielle Nebenlinie und (eine radiale Hauptlinie) bedient
4	Durch eine radiale Buslinie bedient
5	Durch zwei radiale Hauptlinien bedient
6	Umsteigeorte; das sind Haltestellen mit mehreren Radial- und Tangentiallinien.

Abb. 12

(Einzelne Zusatzunterteilungen in Untergruppen a und b, wie in Abb. 14 angegeben, beziehen sich auf ortsspezifische Verhältnisse!)

Bereits an dieser Stelle sei festgehalten dass "eine Haltestelle nicht einfach eine Haltestelle ist" sondern dass erst die Kenntnis deren spezifischer Merkmale eine zuverlässige Beurteilung zulässt.

Dies beweist z.B. eine Gegenüberstellung der spezifischen
 öV-Fahrten der Haltestellengruppen 5 und 6 (nur Pendlerver-
 kehr und Fahrten zur City).

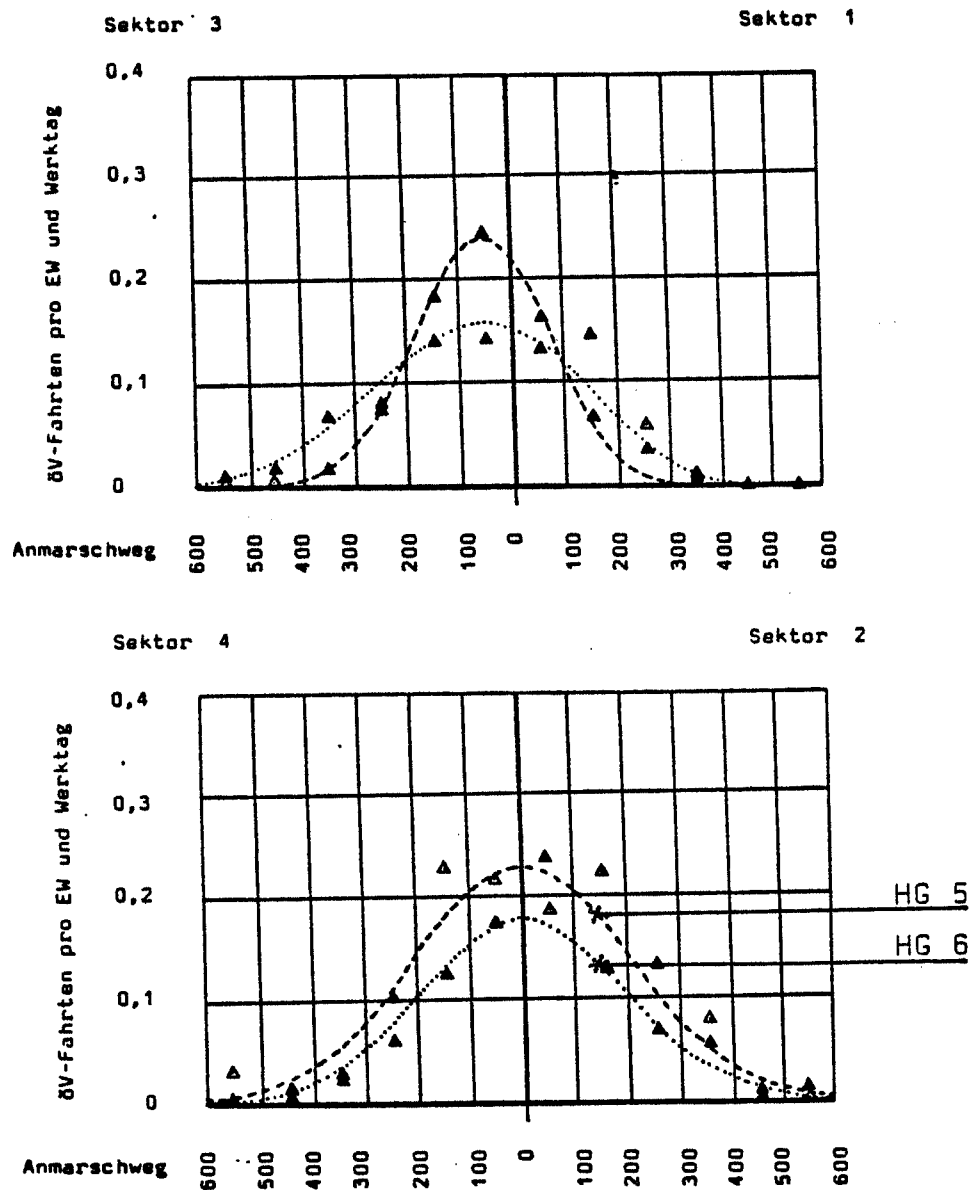


Abb. 13

(Bedeutung und Bezeichnung der Sektoren vgl. Abb. 19).

Vorerst resultierten aus den Auswertungen direkt interessierende,
 statistische Zusammenhänge, so z.B.

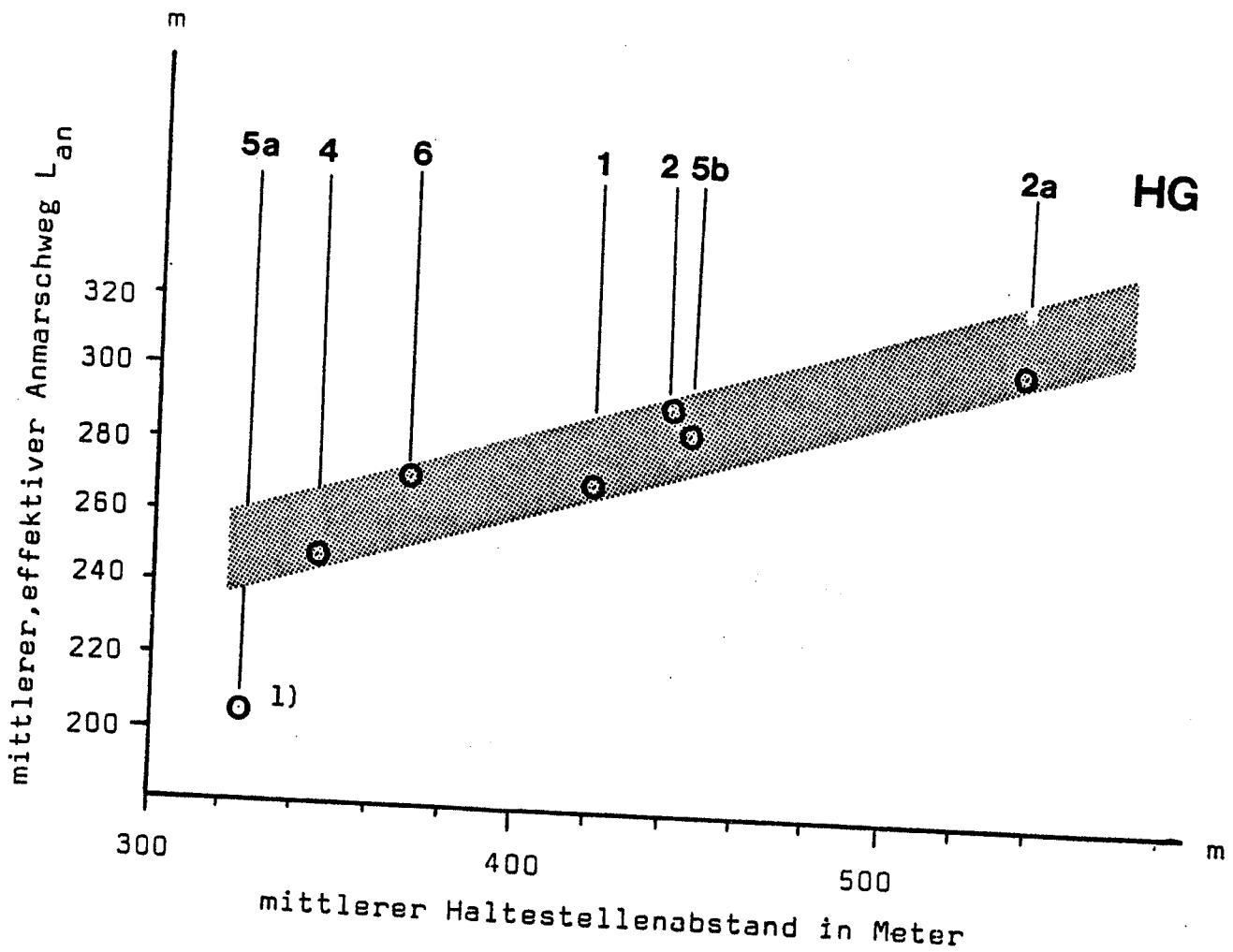


Abb. 14

Mittlerer Anmarschweg in Funktion des Haltestellenabstandes
(Der Wert für die HG 5a ist atypisch wegen seitlichem Seeanstoss an der betrachteten Linie).

HG	für 68% der öV-Fahrten	für 95,5% der öV-Fahrten
1	195 m	390 m
2	250 m	500 m
3	185 m	370 m
4	185 m	370 m
5a	195 m	390 m
5b	205 m	410 m
6	200 m	400 m

Abb. 15

(Legende siehe Seite 26)

Ausdehnung der seitlichen Einzugsbereiche der Haltestellengruppen. (Die Werte sind selbstverständlich stark von der Netzstruktur geprägt, eine Ausnahme bildet lediglich die HG 2). Die Resultate für den Einzugsbereich "68% entsprechen ungefähr dem 0.75-fachen Wert der mittleren Anmarschwege zu den Haltestellen.

- Haltestellen- und Streckenabstände

Die naheliegende Vermutung, dass der Anmarschweg die Benützungshäufigkeit stark beeinflusst, wurde bestätigt und der Zusammenhang quantifiziert. Weit auseinanderliegende Strecken oder grosse Haltestellenabstände wirken sich hinsichtlich des Zwischengebietes nachfrageabschreckend aus.

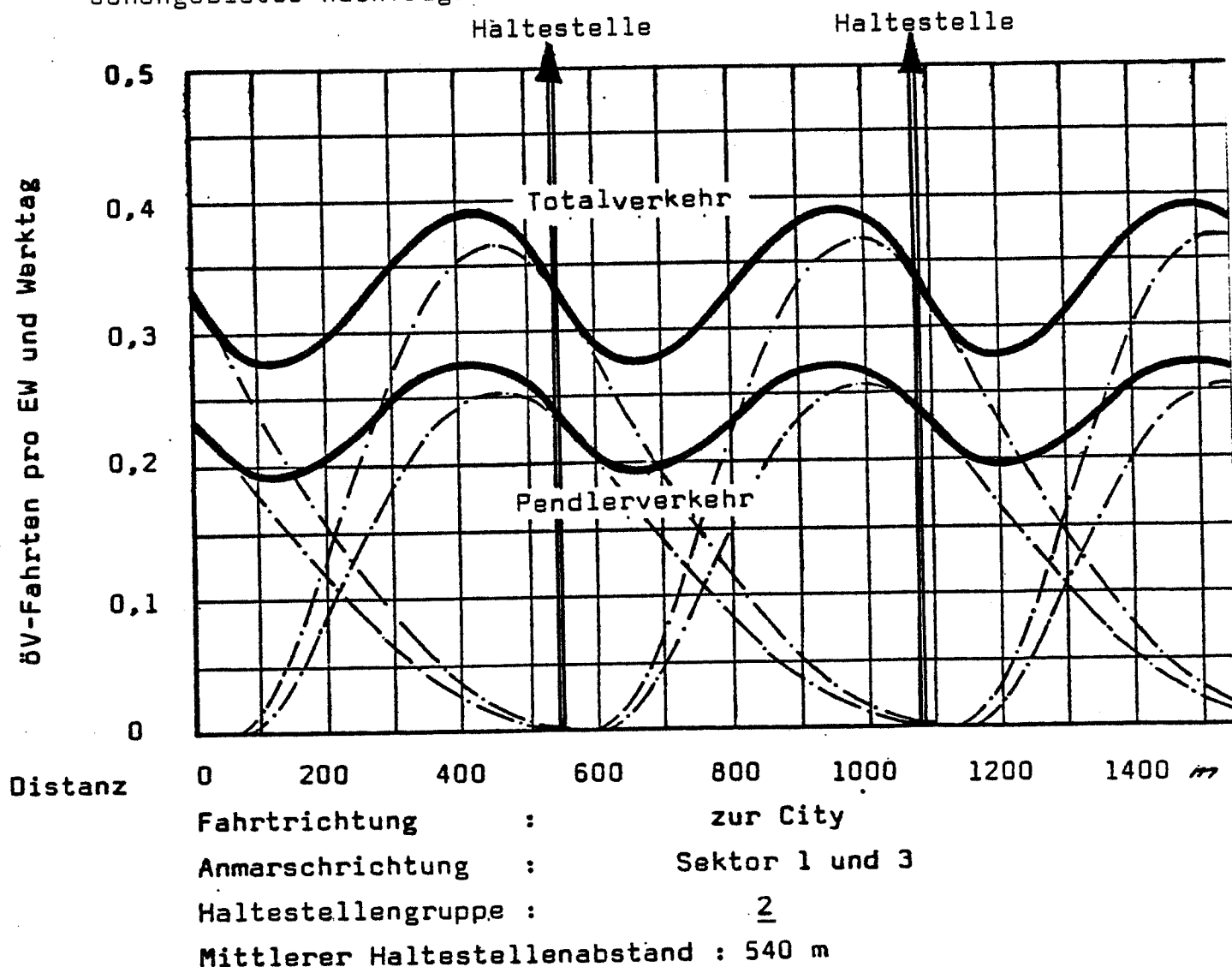


Abb. 16

Spezifische öV-Fahrtenerzeugung für Gebiete längs einer Linie oder Strecke.

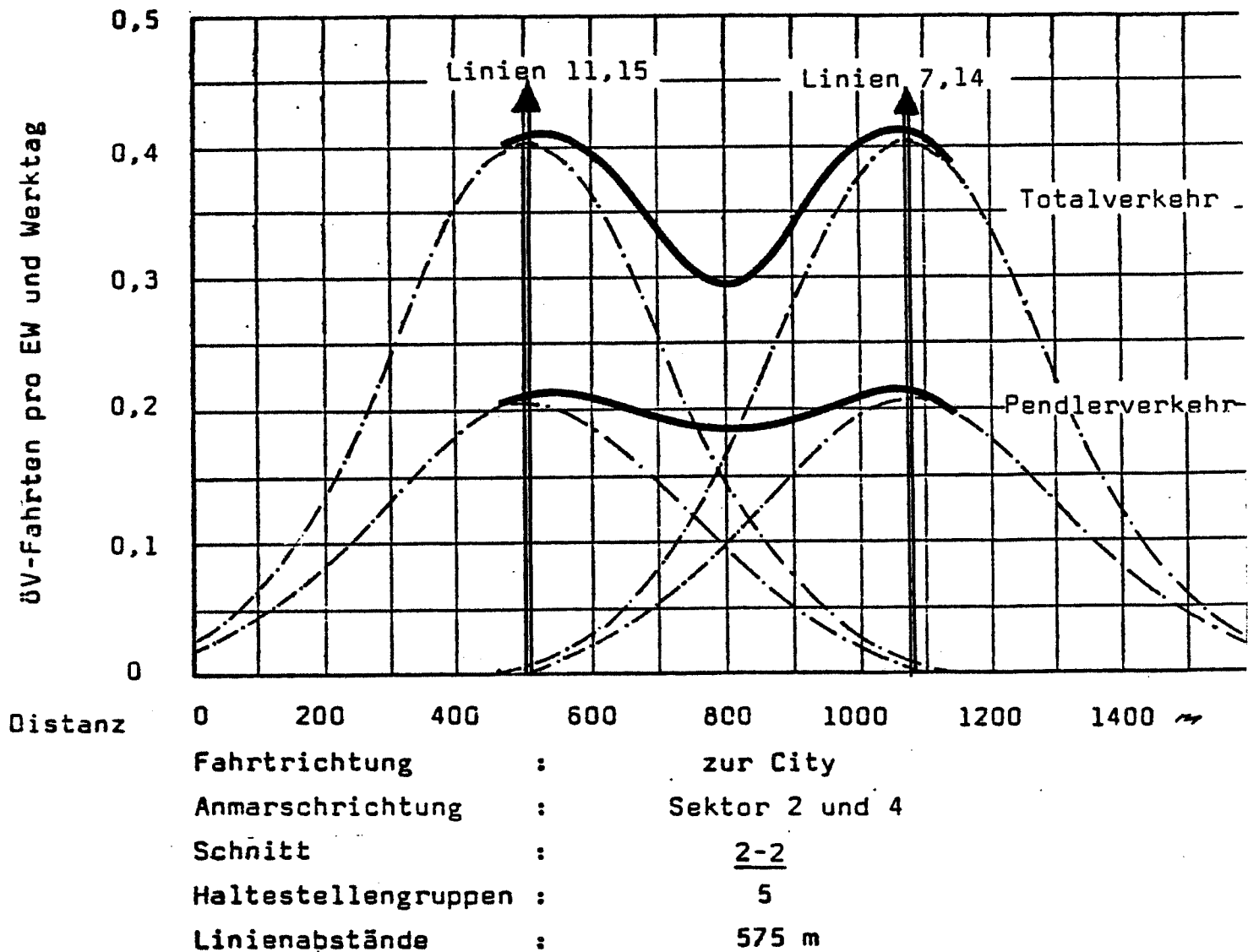


Abb. 17

Spezifische ÖV-Fahrtenerzeugung für Gebiete zwischen Linien oder Strecken.

Sehr kurze Haltestellenabstände bewirken keine Nachfragebelebung mehr. Dasselbe gilt für nahe beieinanderliegende Parallelstrecken, die aus der Sicht der Nachfragequantität mit Vorteil zu einer einzigen Strecke zusammengezogen werden.

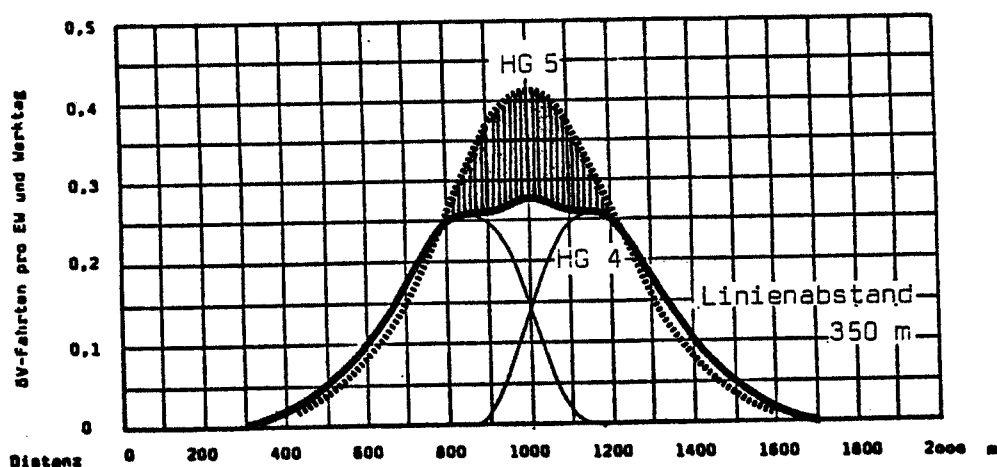


Abb. 18

Als nachfrageseitiges Optimum bezüglich Haltestellenabstand und Netzmaschenweite ergibt sich ein Mass von 400 bis 500 m. Entgegen üblicher Meinung wächst dieser Abstand innerhalb des Stadtgebietes nicht mit zunehmender Kernentfernung!

- Haltestellenlage

Die Richtungsverteilung der Anmarschwege lässt in ebenem Gelände einen starken Trend erkennen, die notwendigen Fusswege in Richtung Fahrziel zurückzulegen.

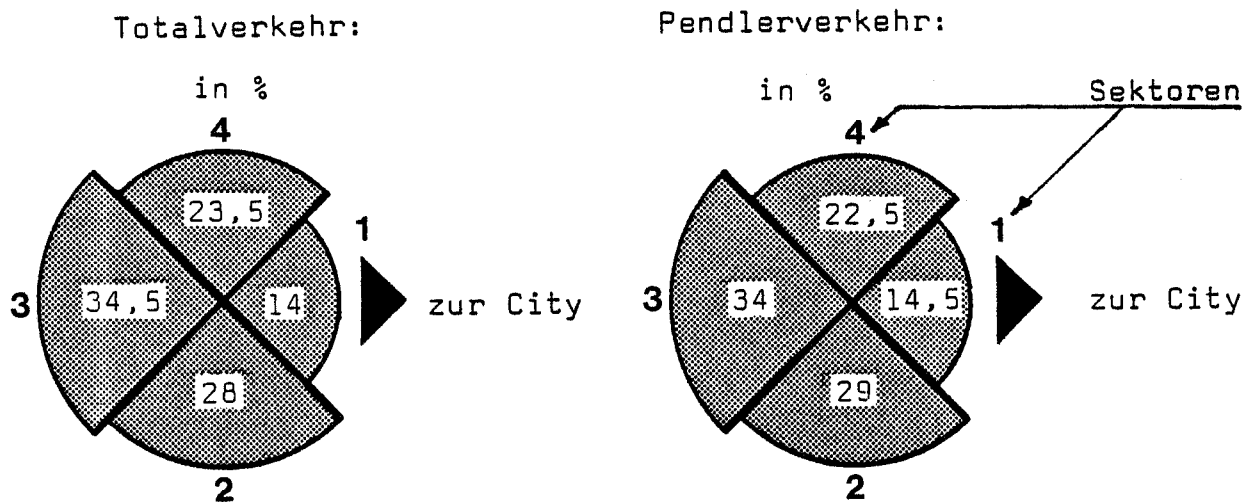


Abb. 19

Richtungsverteilung der Anmarschwege

Diesem Umstand ist bei der Festlegung der Haltestellen und insbesondere der Fusswegnetzgestaltung vermehrt Rechnung zu tragen.

- Liniencharakter

Radial-, Durchmesser- und auch Zubringerlinien erzeugen bei gleichen Randbedingungen dieselben spezifischen ÖV-Fahrten und dies unabhängig vom Verkehrsmittel, Tram wie Bus. Hingegen fallen Tangentiallinien diesbezüglich deutlich ab.

- Linienangebot

Die einwohnerspezifische öV-Fahrtenerzeugung hängt neben dem Anmarschweg auch von der Kursfolge und dem Linienangebot ab.

Im vorwiegend betrachteten Kursfolgebereich von 6 bis 7 Min. bewirkt eine zusätzliche Linie und das damit verbundene erhöhte Angebot an Direktfahrmöglichkeiten eine Erhöhung der öV-Be-nützung um 40 bis 60%.

- Anzahl Umsteigebewegungen

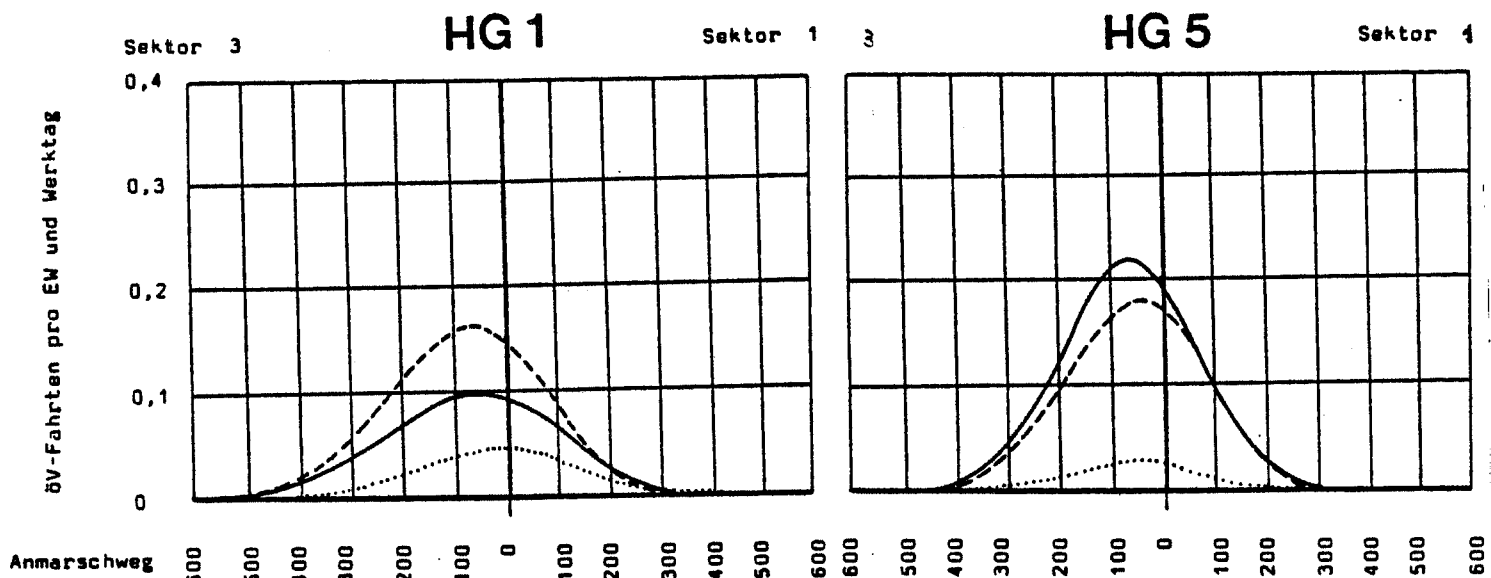


Abb. 20

Spezifische öV-Fahrtenerzeugung in Abhängigkeit von den Umsteigebewegungen; wiederum geprägt durch die Netzgestaltung;

----- 0)
 ————— 1) Umsteigebewegungen
 2)

- Nur geringe Einflüsse auf das Anmarschverhalten bzw. die zumutbaren Anmarschwege haben das Umsteigen, die Fahrtzwecke sowie das Alter der Fahrgäste.

. Systematik zur Evaluation von Verkehrsmitteln (12)

Die in enger Zusammenarbeit zwischen IVT und Elektrowatt entstandene Arbeit enthält naturgemäss Angaben über die räumliche Verfügbarkeit als Element des Angebotes.

Für die Beurteilung der räumlichen Anordnung eines Verkehrsnetzes, also der "räumlichen Verfügbarkeit", sind in der Literatur eine Reihe von Subkriterien aufgeführt. Die für die Berechnung der Werte dieser Subkriterien erforderlichen Ansätze sind in der nachstehenden Abb. 21 zusammengestellt.

Haltestellenabstand	ΔH	Der Ansatz für die Bestimmung des optimalen Haltestellenabstandes ist je nach Verkehrsmittel und Nachfrage unterschiedlich (vgl. Kap. 4.1.3.1)	Einfache Beurteilung:
Umweg-Faktor	$c_w = \frac{l_{ij}}{d_{ij}}$	l_{ij} = tatsächliche Weglänge d_{ij} = Luftlinienentfernung	Verwendung im Rahmen dieser Studie
Umsteige-Koeffizient	$c_u = \frac{\sum_{ij} U_{ij}}{\sum_{ij} F_{ij}}$	U_{ij} = Gesamtzahl der Umsteiger F_{ij} = Gesamtzahl der Fahrten	
Haltestellendichte	$H_d = \frac{H}{\text{Bezugseinheit}}$	H = Zahl der Haltestellen Bezugseinheit: z.B. Flächeneinheit [km ²]	eventuelle Verwendung
Netzdichte	$d_s = \frac{s_i}{\text{Bezugseinheit}}$	s_i = Anzahl Strecken, Strecken-Km Bezugseinheit: z.B. Flächeneinheit [km ²]	Beurteilung komplexer Systeme: im Rahmen dieser Studie nicht verwendet
Verknüpfungsgrad	$c_v = \frac{s_i}{s_{i \max}}$	s_i = tatsächliche Streckenzahl $s_{i \max}$ = max. mögl. Streckenzahl bei gegebener Knotenzahl	

Abb. 21

Der Bericht liefert einen Ansatz zur Berechnung optimaler Haltestellenabstände im Sinne einer Minimalisierung der Gesamt-reisezeit. Allerdings wird dabei von einem über den ganzen Linienabschnitt konstanten Abstand ausgegangen, - eine Annahme, die (wie im 1. Zwischenbericht gezeigt) einer näheren Prüfung nicht standhält.

Für den optimalen Haltestellenabstand ergibt sich bei gleichmässiger Verteilung der Ziel- und Quellpunkte:

$$H = 2 \sqrt{\frac{L \cdot v_1 \cdot v_3 (v_2 + p \cdot t_H)}{p (v_1 + v_3)}}$$

Sofern nur die Quellpunkte gleichmässig verteilt sind, das Ziel aller Fahrten jedoch die Endhaltestelle ist, ergibt sich eine minimale Reisezeit bei einem Haltestellenabstand von:

$$H = 2 \sqrt{\frac{2 \cdot L \cdot v_1 \cdot v_3 (v_2 + p \cdot t_H)}{p (v_1 + v_3)}}$$

Es bedeuten dabei:

- H = Haltestellenabstand
 p = Beschleunigung bzw. Verzögerung (= konst.)
 v_1 = Geschwindigkeit des Zubringers zur Haltestelle
 v_2 = Höchstgeschwindigkeit des öffentlichen Verkehrsmittels
 v_3 = Geschwindigkeit für Abtransport von der Haltestelle zum Zielpunkt
 t_H = Haltezeit
 L = Mittlere Fahrtlänge auf öffentlichem Verkehrsmittel

Abb. 22 liefert für massgebende Parameterwerte die optimalen Haltestellenabstände

Haltestellenabstand in m

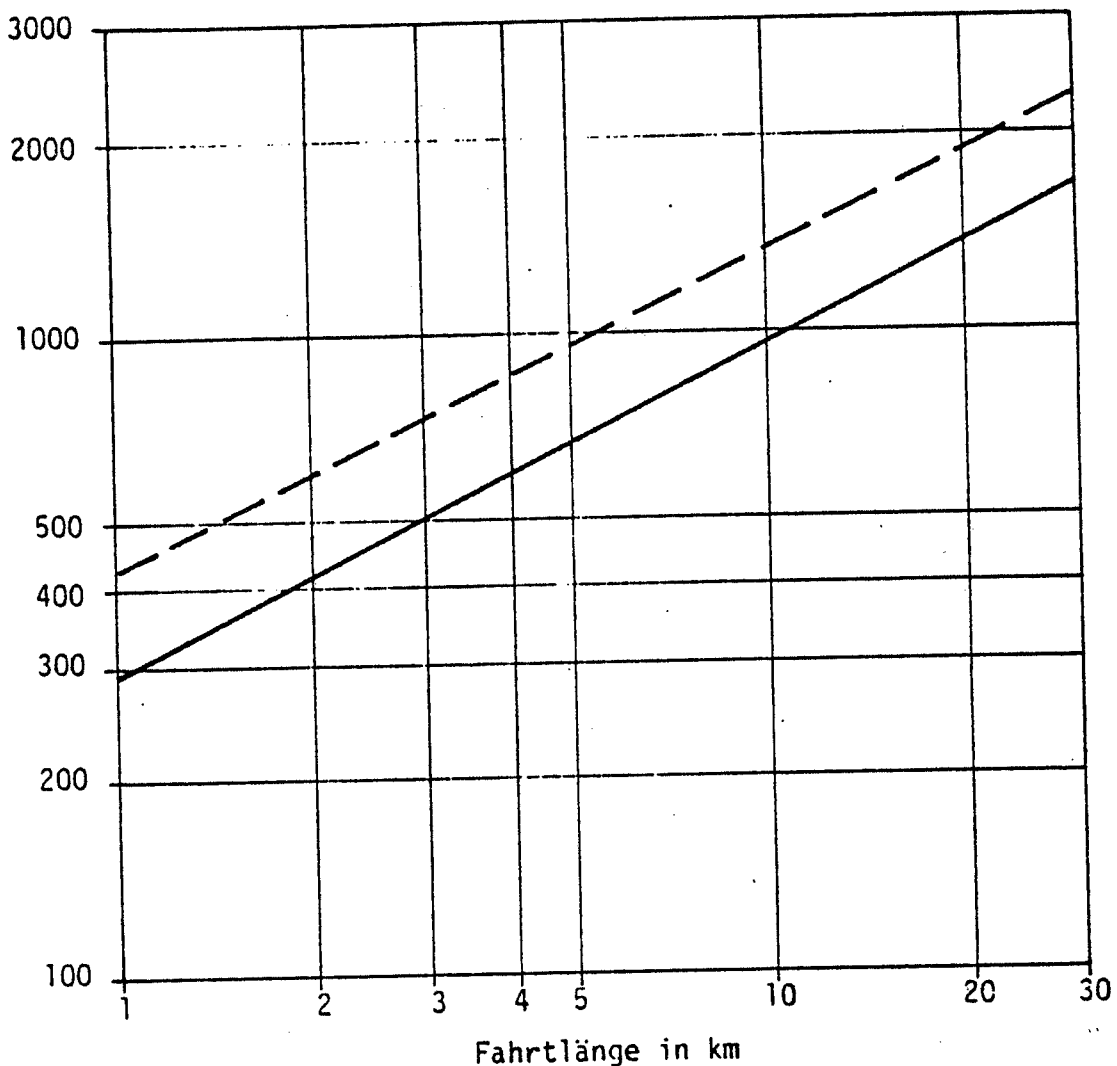


Abb. 22

Optimale Haltestellenabstände

----- Zielpunkte konzentriert

_____ Ziel- und Quellpunkte gleichmässig verteilt

Parameterwerte: $v_1 = v_3 = 1.4 \text{ m/sec}$
 $v_2 = 40 \text{ km/h} = 11.1 \text{ m/sec}$
 $p = 1.0 \text{ m/sec}^2$
 $t_H = 20 \text{ sec}$

. Gesetzmässigkeiten des Linienbetriebes (13)

Das sehr umfangreiche Vorhaben läuft seit 1.1.1979 und wird erst 1981 abgeschlossen. Es dient vor allem den Komponentengewichtungen gemäss Abb. 7, wobei im Vordergrund stehen

- der Einfluss unterschiedlichen Fahrerverhaltens auf die Betriebsregelmässigkeit,
- Vergrösserung der spezifischen Fahrgastwechselzeiten bei überlasteten Kursen.

Das Bestehen starker Abhängigkeiten ist nachgewiesen! Insbesondere beweisen die bisherigen Studien, dass

- an die Genauigkeit analytischer Verfahren zur Berechnung optimaler Haltestellen keine allzu hohen Erwartungen gesetzt werden dürfen,
- vor allem der Erfassung möglichst aller Einflussfaktoren einschliesslich einer qualitativen Gewichtung hohe Bedeutung zukommt,
- im Bereiche der Faktorenquantifizierung noch ein sehr weiter Weg zurückzulegen bleibt.

Bei der Durchführung grosser Messreihen in Zusammenarbeit mit den VBZ konnte neues Material über die Fahrgastwechselzeiten gewonnen werden, das ebenfalls für den Forschungsauftrag 25/70 verwendet wurde.

1.7 Ausgangslage für die abschliessende Auftragsbearbeitung

Als Ausgangspunkte liegen fest:

- . Analytische Methoden wurden im Rahmen des 1. Zwischenberichtes erläutert und bewertet. In den seitherigen Auswertungen (2. Bearbeitungsstufe) ist vor allem Lit. (5) hervorstechend. Ein Kurzkomentar dieser Methoden mit Hinweisen auf deren Praxisbezug folgt in Kapitel 6.
- . Der Auftrag 25/70 ist klar formuliert und stellt praxisbezogene Richtwerte und Handlungsanweisungen in den Vordergrund.

- . Die heutige Praxis benötigt dringend Instrumentarien für die Quantifizierung vorgegebener Ziele bezüglich bestimmter Angebotsparameter, hier der Haltestellenlage. Daneben besteht ein grosses Bedürfnis nach vermehrten Einblicken in die vielschichtigen Abhängigkeiten zwischen den Angebotsparametern und nach einfachen Richtwerten.

Demzufolge ist das nachfolgend in Kapitel 2 dargestellte Arbeitsprogramm auf diese Ausgangslage ausgerichtet. Es erfüllt die ursprüngliche Auftragsformulierung, berücksichtigt die heutigen Erfordernisse der Praxis und weicht in wesentlichen Punkten von den Vorstellungen der Arbeitsgruppe 6 von 1974 ab.

2. ARBEITSPROGRAMM

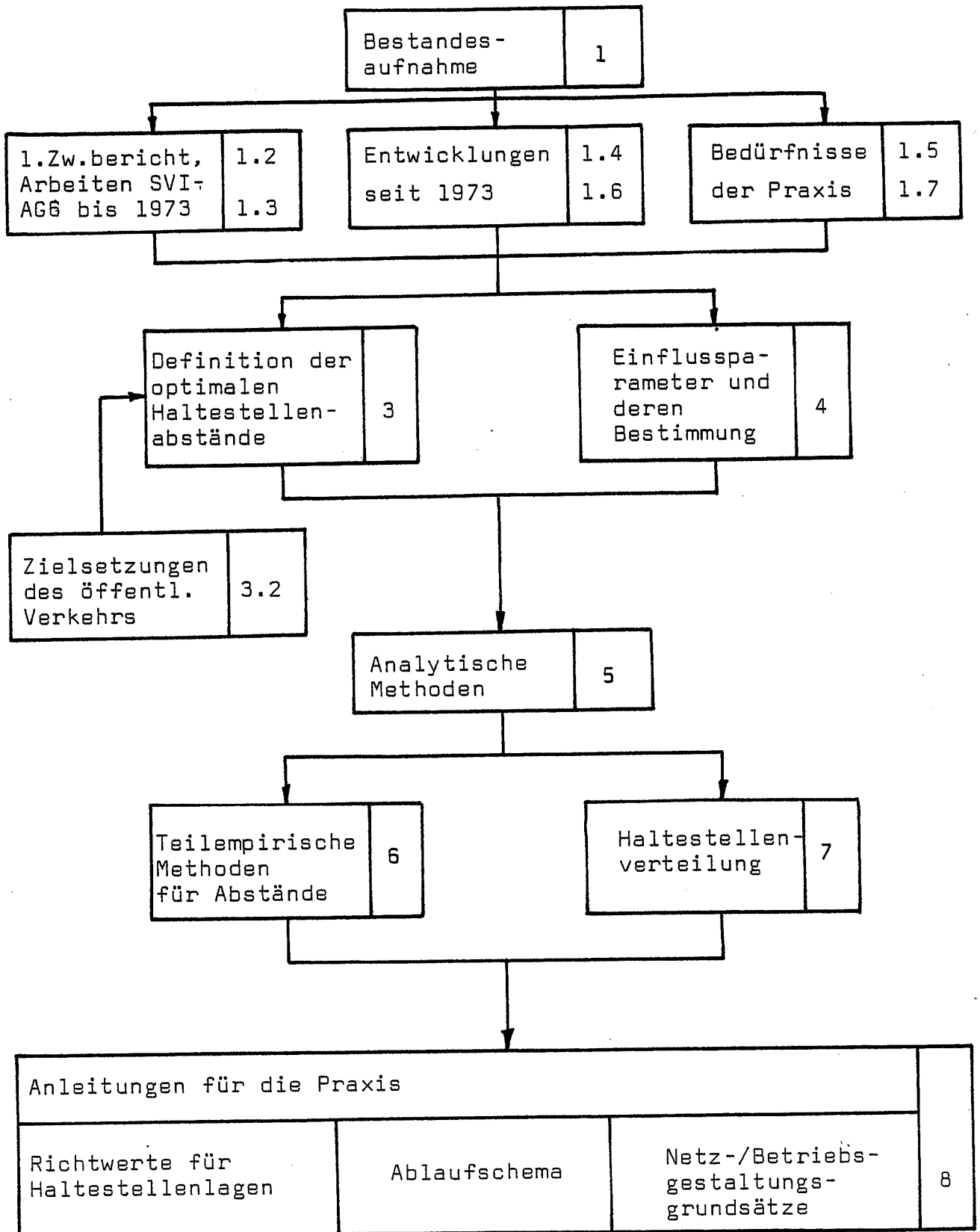


Abb. 23

3. DEFINITION DER OPTIMALEN HALTESTELLENABSTAEENDE

3.1 Einleitung

Optimierungskriterien für die Haltestellenabstände öffentlicher Verkehrsmittel leiten sich aus verschiedenen Tatbeständen und Ueberlegungen ab. Es handelt sich dabei grundsätzlich um Ziele auf allen Stufen von Politik, Planung, Technik und Betrieb.

Eine Grobgliederung soll zum Verständnis der nachfolgenden Ziffern 3.2 - 3.4 beitragen.

- Verkehrspolitische Ziele für den öffentlichen Verkehr sind auf Stufen Bund, Kantone und Gemeinden zu fassen. Sie beschreiben primär, welche Kundenkreise zu bedienen und welche Fahrzwecke abzudecken sind. Teilweise können sie auch die Funktionsbereiche von Verkehrsmitteln oder in Ausnahmefällen Verkehrsunternehmen umschreiben. Sie werden in Ziffer 3.2 behandelt. Da die Auswirkungen auf die optimalen Haltestellenlagen nur qualitativ erfassbar sind, werden sie ebenfalls in Ziffer 3.2 abschliessend aufgezählt.
- Verkehrsplanerische Ziele beziehen sich auf die Abhängigkeiten zwischen Besiedlung und Verkehr sowie die Aufgabenzuweisung an die Verkehrsträger, Verkehrsmittel und in mehrstufigen Netzen des öffentlichen Verkehrs auf den Funktionsbereich einzelner Netzstufen. Bezüglich der Haltestellen beeinflussen sie die Verteilung der Haltestellenabstände und das Verhältnis Direktfahrer zu Umsteiger.
- Verkehrs- und betriebstechnische Ziele optimieren vor allem den Verkehrs- und Betriebsablauf im Rahmen der übergeordneten Zielangaben. Wie aus Abb. 7 hervorgeht, nehmen hier die Haltestellenlagen eine relativ zentrale Stellung ein. Auf dieser Stufe ist beispielsweise festzulegen, auf welche Weise die aus verkehrsplanerischen Zielen erforderliche Trassefreihaltung zu realisieren ist (U-Bahn, oberirdisches Eigentrasse oder hochentwickelte Verkehrsregelung/-lenkung). Dies wiederum bestimmt den Aufwand für Bau und Betrieb einer Haltestelle, was neben Ausgangsdaten für die Festlegung optimaler Abstände Entscheide auf der nächstunteren Stufe der Unternehmensziele auslösen soll(te).
- Betriebliche und wirtschaftliche Unternehmensziele schliesslich tragen den Tatsachen Rechnung, dass
 - eine sinkende Anzahl von Haltestellen die Beförderungsgeschwindigkeit tendenziell erhöht und damit den Betriebsaufwand senkt,
 - teure Haltestelleninfrastrukturen (Wartehallen etc.) sehr nachfragerrelevant sind, aber aus wirtschaftlichen Gründen nach einer Reduktion der Haltestellenzahl rufen.

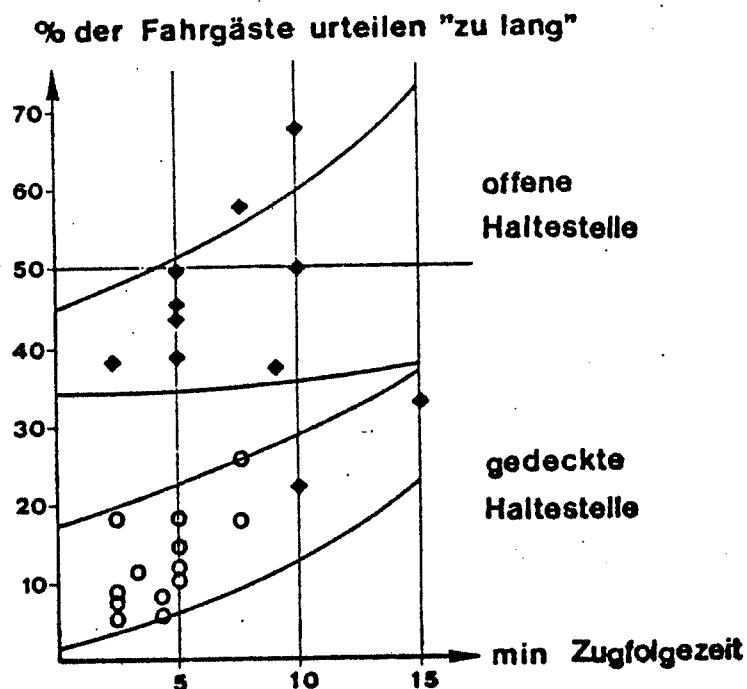


Abb. 24

- zwischen Anmarschwegen und Beförderungsgeschwindigkeit Optima z.B. im Hinblick auf eine Maximierung der Fahrgastzahlen oder auch der Beförderungsleistungen liegen.

Planerische, technische und unternehmerische Ziele werden nachfolgend nicht tiefer beleuchtet, sondern lediglich bezüglich ihrer Auswirkungen auf mögliche Optimierungskriterien in Ziffer 3.3 behandelt.

3.2 Zielsetzungen des öffentlichen Verkehrs

Der Sinn von Oberzielen für die Angebote des öffentlichen Verkehrs besteht darin, primär die zu bedienenden Kundenkreise; daraus abgeleitet die anzustrebende Wettbewerbsstellung gegenüber dem Individualverkehr und die möglichen bzw. zulässigen Kostendeckungsgrade festzulegen (vgl. Lit. (8)).

Als Hauptanforderungen sind verkehrspolitische Zielvorgaben an den öffentlichen Verkehr zu stellen, sodass sie

- politisch relevante Leistungsbereiche umschreiben und so mit einer politischen Diskussion und Beschlussfassung zulassen;
- andererseits derart detailliert und quantifiziert werden können, um als verwertbare Vorgaben für die konkrete Leistungserstellung im Sinne von festen und beweglichen Anlagen, Fahrplänen, Haltestellen etc. zu dienen.

Zu Beginn des Forschungsauftrages Nr. 25/70 waren als Eckwerte

möglicher Oberziele, noch ohne Rücksicht auf deren Quantifizierbarkeit, bezeichnet:

- Der öffentliche Verkehr als reine Einnahmequelle des Staates. Dieses marktwirtschaftlich orientierte Ziel ist als Gesamtvorgabe nur noch für ausgewählte, insbesondere touristische Funktionen relevant und interessiert an dieser Stelle wenig (vgl. Leistungsbereich "freier Markt" in Abb. 24).
- Der öffentliche Verkehr als reiner Dienstleistungsbetrieb des Staates dominiert verschiedene Angebotsteilbereiche des heutigen öffentlichen Verkehrs. Um dieses Ziel zu quantifizieren, bedarf es vor allem eines politischen Entscheides darüber, was der öffentliche Verkehr der öffentlichen Hand (aller Stufen) insgesamt kosten darf.
- Der öffentliche Verkehr als Partner im Gesamtverkehr stellt zweifellos ein für den Verkehrsingenieur akzeptables Oberziel dar. Leider lässt es sich in dieser Form politisch nicht quantifizieren!

Auch wenn diese Ansätze nicht zu befriedigen vermochten, so zeigten sie doch die einzuschlagende Richtung auf. Die darauf aufbauenden Arbeiten am IVT (8) (9) führten zu einem Ansatz gemäss Abb. 24, der nicht nur politische relevante Sachverhalte in die Oberziele aufnimmt, sondern auch deren Quantifizierung zulässt.

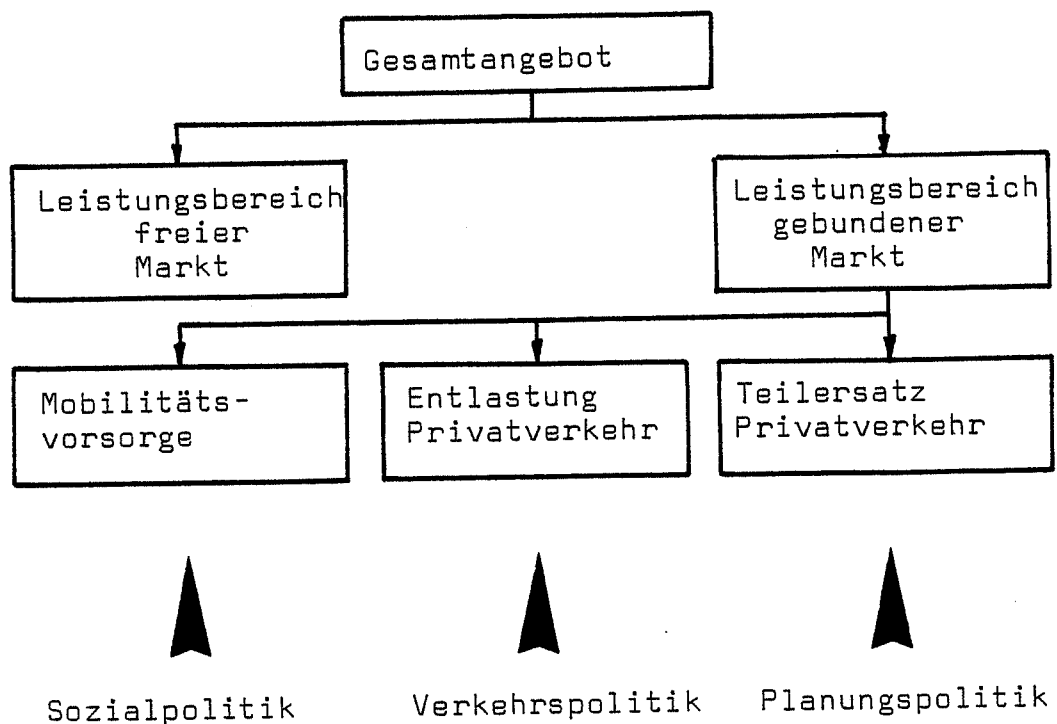


Abb. 24

Am freien Markt kann die Unternehmung im Rahmen ihrer Kompetenzen frei produzieren, soweit dies zu mindestens kostendeckenden Erträgen geschieht. Im eigentlichen Verkehrsbereich sind die diesbezüglichen Möglichkeiten als ausgesprochen gering einzustufen! Hinsichtlich Haltestellen ist zu beachten:

- . Auch am freien Markt sind (allerdings auf Stufe Unternehmung) Ziele bezüglich des anzusprechenden Kundenkreises aufzustellen.
- . Es lohnt sich ein Vorgehen, bei dem vorerst die Haltestellen ausschliesslich aus der Optik "Leistung am freien Markt aufgrund gegebener Ziele" festgelegt und erst anschliessend die Optimierung unter dem Gesichtspunkt sämtlicher Leistungsbereiche vorgenommen wird. Auf diese Weise wird der u.U. wettbewerbsschädigende Kompromiss transparent sichtbar, der mit Rücksicht auf den gebundenen Markt eingegangen wurde.

Auf die Probleme des Marktsegmentes "freier Markt" wird nachfolgend nicht mehr zurückgekommen.

Die in Abb. 24 erwähnten, politisch relevanten Leistungsumschreibungen auf dem gebundenen Markt wurden in Ziffer 1.6 kurz kommentiert (8) (9).

Grundsätzlich handelt es sich hier um Leistungen, die die Unternehmungen des öffentlichen Verkehrs deswegen nicht aus eigenem Antrieb zu erbringen gewillt sind, weil sie am Markt zu kostendeckenden Preisen nicht abzusetzen sind.

Die Unternehmungen werden daher durch die Gemeinwesen verschiedener Stufen zur Leistungserstellung auf dem gebundenen Markt gezwungen, sodass es nur recht und billig erscheint, wenn ihnen die nicht durch Verkehrserträge gedeckten Kosten erstattet werden. Dies wiederum ist nur dann möglich, wenn die Leistungsbereiche klar definiert und sowohl Kosten als auch Erträge einigermaßen klar zuseidbar sind.

Ohne dieses Thema weiter zu vertiefen ist festzustellen, dass die dadurch notwendigen Oberziele für die nachgeordneten Teilziele auf Stufe Verkehrsplanung/Verkehrstechnik von allergrösster Bedeutung sind:

		O B E R Z I E L E		
		Mobilitäts- vorsorge	Entlastung Privatver- kehr	Teilersatz Privatver- kehr
T E I L L Z I E L E	Wettbewerbs- stellung zum Privatverkehr	belanglos	Nur zu den Spitzenzeiten	ausschlag- gebend
	Angebots- qualität	belanglos	unerheblich	wichtig
	Angebots- quantität	unerheblich	ausschlag- gebend	wichtig
	Kostendeckungs- grad*	ausschlag- gebend**	wichtig	belanglos
	Verfügbarkeit zeitlich	dispers	konzentriert auf Spitze	dispers spitzenbetont
	Verfügbarkeit örtlich	dispers	konzentriert auf Axen	dispers

* Nicht zu verwechseln mit der (selbstverständlichen) Verpflichtung zu wirtschaftlicher Betriebsführung!

** Je nach Grad der "Mobilitätsvorsorge" (Vergleich Gesundheits-/Altersvorsorge)

Abb. 25

Für Haltestellenlagen, -abstände und -verteilungen können die Folgen der einzelnen Oberziele wie folgt zusammengefasst werden:

. Mobilitätsvorsorge:

Aufgrund des sozialpolitisch bedeutsamen Gleichheitsprinzips örtlich und zeitlich disperses Angebot; eine Beschränkung auf (frequenzmässig) lukrative oder (hinsichtlich Leistungserstellung) rationelle Relationen erscheint unstatthaft. Da bei den Nutzniessern der Mobilitätsvorsorge der Anteil älterer und behinderter Fahrgäste stark überdurchschnittlich ist und daher Fusswege eine subjektiv sehr hohe Gewichtung erhalten, sollen die Haltestellenabstände gegenüber den Richtwerten in Kapitel 8 reduziert werden. Das ist umso mehr zu empfehlen, als für diese Nachfragegruppe eine zufolge sinkender Beförderungsgeschwindigkeit ebenfalls fallende Wettbewerbsstellung gegenüber dem Individualverkehr irrelevant ist.

. Entlastung Privatverkehr.

Die Haltestellenabstände können und sollen eindeutig auf die zu entlastenden Hauptrelationen ausgerichtet werden, d.h. auf Radial-

fahrten mit Zielpunkt Arbeitsplatzkonzentrationen (Morgenspitze!). Da es darum geht, den Individualverkehr mit minimalem Aufwand maximal zu entlasten, - und da hier das Gleichbehandlungsprinzip weitgehend bedeutungslos ist, - empfiehlt sich sogar eine Ausrichtung auf bestimmte, "lukrative" d.h. frequenzstarke Reiselängenbereiche.

Mit andern Worten sollen mit dem Oberziel "Entlastung" die Haltestellenlagen auf die "fettesten" Wunschlinien abgestützt werden. Dies bewirkt im Allgemeinen gegenüber den generellen Richtwerten stark überhöhte Haltestellenabstände mit entsprechend beeindruckender Beförderungsgeschwindigkeit. Auf einen ausgewogenen Netzaufbau kann verzichtet werden.

• Teilersatz Privatverkehr

Hier spielt der freie Wettbewerb zwischen iV und öV, wobei im Gegensatz zum Oberziel "Entlastung" nicht nur eine bestimmte Relation, sondern auch Alternativrouten zu beachten sind. (Beispielsweise öV-Fahrt zur City gegenüber iV-Fahrt zum Shopping-Center.) Da sehr viele und nach Ort und Reiselänge dispers verteilte Wünsche konkurrenzfähig zu befriedigen sind, entsteht hier u.U. ein Bedarf nach mehrstufigen Netzen (z.B. Mittel- und Feinverteiler) und/oder nach einer qualitativen Angebotshierarchie (z.B. Expressbusse, 1. Klasse etc.).

Die Haltestellenabstände liegen, bezogen auf alle Relationen, im Bereich der Richtwerte von Kapitel 8.

Abschliessend zu den Zielsetzungen des öffentlichen Verkehrs ist festzuhalten, dass zwar die verschiedenen, verkehrspolitischen Zielbereiche zu unterschiedlichen Haltestellenanordnungen führen, was aber in ein- und demselben Angebot nicht zu erfüllen ist. Um damit nicht zu einem Kompromiss zu gelangen, der niemandem mehr dient, sind auch hinsichtlich dieser Zielbereiche Prioritäten zu setzen. Insbesondere ist am konkreten Anwendungsfall abzuklären, welchen eher extrem gelagerten Nachfragestrukturen mit Spezialangeboten begegnet werden soll. Typische Beispiele hierzu zeigen sich

- in speziellen Behindertentransportsystemen im Zielbereich "Mobilitätssvorsorge" (was beim Basisangebot eine Vergrösserung der Haltestellenabstände begünstigt) wie etwa das System "Telebus" in Berlin,
- in Direktlinien und Schnellkursen des Berufsverkehrs im Zielbereich "Entlastung", wie bei der SVB (Bern) praktiziert. (Grosse Haltestellenabstände für wenige, frequenzstarke Relationen),
- in speziellen "Feinsterschliessungsangeboten" mit sehr kurzen Haltestellenabständen als unterste, ergänzende Netzstufe im Zielbereich "Teilersatz" wie z.B. der Citybus Luzern oder die interne Erschliessung autofreier/verkehrsarmer Kurorte mittels öffentlicher Elektro(sammel)taxis.

3.3 Mögliche Definitionen optimaler Haltestellenabstände

Aus der sehr breiten Palette möglicher Optimierungskriterien für die Haltestellenabstände sind nachfolgend die wichtigsten aufgeführt.

Obwohl eine Abgrenzung unscharf bleiben muss, werden die Kriterien den in Ziffer 3.1 ausgewiesenen Zielgruppen zugeschrieben. Die weitest- aus grösste Variationsbreite ergibt sich dabei im verkehrsplanerischen Bereich. Die Auswirkungen auf die Haltestellenabstände finden sich in Ziffer 3.4

• Verkehrsplanerischer Bereich

- a) Minimale Gesamtreisezeit (Bruttoreisezeit für die Gesamtheit der Fahrgäste)

Diese wohl wichtigste und am häufigsten verwendete Optimierungsbasis lässt sich in zahlreiche Untervarianten auflösen. Beispiele:

- a1) Bevorzugung grosser Reiselängen zulasten der Kurzstrecken (Planerischer Aspekt!)
- a2) Verschiedene, den subjektiven Bewertungsmassstäben angepasste Gewichtung der Zielelemente (z.B. der Wartezeit) (2).

In Lit (5), Dissertation TH Dresden, werden die Möglichkeiten und Auswirkungen abweichender, aber durchwegs reisezeitabhängiger Optimierungskriterien detailliert untersucht. Verwendete Ansätze:

- a3) Die Summe der in einem Teil des Verkehrsgebietes (z.B. Einzugsgebiet einer Haltestelle oder Verkehrszone) bestehenden Reisezeitanteile beträgt ein Minimum.
- a4) Die Summe der Reisezeiten aller Reisenden beträgt innerhalb eines Verkehrsgebietes ein Minimum.
- a5) Die Summe der Reisezeitanteile aller ein Teil des Verkehrsgebietes durchfahrenden Reisenden ist gleich der Summe der Reisezeitanteile der in das Gebiet ein- und auspendelnden Personen.
- a6) Die Reisezeit jedes Reisenden ist gleich gross. (Dieser Ansatz führt zu nichts; er hat eine Annäherung bei der Metro Moskau mit sehr grossen Haltestellenabständen).
(Vgl. auch analytische Ansätze in Kapitel 5!)

- b) Maximale Fahrgastzahl
Hier sind die sehr starken Abhängigkeiten von Tarifhöhe sowie Tarif- und Abfertigungssystem zu beachten. ("Gratistram")

- c) Maximale Beförderungsleistungen in Personenkilometern.

. Technisch/betrieblicher Bereich

- d) Minimale Störungskumulation (Störungsaufschaukelung) bei Anmarschwegbegrenzung und konstanter Fahrgastzahl.
- e) Optimale Voraussetzungen für Verkehrsregelung und Betriebslenkung, ebenfalls bei Anmarschwegbegrenzung.

. Unternehmerischer Bereich

- f) Bester Kostendeckungsgrad bei gegebenen Tarifen
- g) Maximale Erträge bei gegebenen Tarifen
- h) Minimalisierung des Transportaufwandes unter Einbezug der Betriebs- (Investitionen + Betrieb) als auch der Fahrgastgesichtspunkte (Fahrpreis + Fahrzeit).

3.4 Auswirkungen der verschiedenen Definitionen auf die optimalen Haltestellenabstände

Die Diskussion der Auswirkungen erfolgt primär qualitativ im Sinne von Korrekturen an den Richtwerten gemäss Kapitel 8. Die Bezeichnung der Optimierungskriterien entspricht derjenigen in Ziffer 3.3.

. Verkehrsplanerischer Bereich

- a) Minimale Gesamtreisezeit für die Gesamtheit aller Fahrgäste.
Auf dieses wichtigste Kriterium sind die Richtwerte in Kapitel 8 abgestützt.

Analytische Berechnungsansätze für die Betrachtungseinheiten Linien und Linienabschnitte finden sich im 1. Zwischenbericht sowie in Kapitel 5.

Zu beachten ist, dass eine minimale Gesamtreisezeit nicht nur bei Berücksichtigung optimaler (Durchschnitts-)Haltestellenabstände, sondern bei gleichzeitiger Einhaltung der Regeln über die Verteilung der Abstände gemäss Kapitel 7 zustande kommt. Zudem ist streng auf das jeweilige Verhältnis Ein-/Aus - zu Einum-/Ausumsteigern ⁴⁾ zu achten.

4) Einum-/Ausumsteiger = Fahrgäste, die von/zu einem anderen öffentlichen Verkehrsmittel umsteigen

- a2) Gegenüber dem streng rationalen Ansatz a1) führt die der durchschnittlichen, subjektiven Gewichtung der Reisezeitelemente entsprechende Betrachtungsweise zu einer stärkeren Betonung von Anmarschwegen, Warte- und Umsteigezeiten gegenüber der Fahrzeit. Die gesamthaft resultierenden Auswirkungen auf die Haltestellenabstände sind auch qualitativ nicht eindeutig anzugeben, da die einzelnen Faktoren in folgende Richtungen tendieren:
- Höher gewichtete Anmarschwege erhöhen dessen Stellenwert; die Haltestellenabstände sinken,
 - Höher gewichtete Wartezeiten fordern kürzere Kursfolgezeiten, was bei etwa gleichbleibendem Aufwand eine Reduktion der Netzdichte und parallel dazu eine Vergrößerung der Haltestellenabstände auslöst.
 - Höher gewichtete Umsteigezeiten betonen einen möglichst niedrigen Umsteigeranteil. Die Folge ist eine Tendenz zu einstufigen Netzen mit Ausnivellierung der Abstände d.h. Vergrößerung in der Feinerschliessung; Verdichtung auf (früheren) Mittel- und Grobverteilrelationen.
- a3) Der Ansatz ist, vor allem bei Beschränkung auf nur eine Haltestelle, ohne weitere Randbedingungen sinnlos. Bezogen auf Verkehrszonen bzw. Linien oder Linienabschnitte ergibt er gegenüber dem Optimierungskriterium a1) dann keine Änderung der Haltestellenabstände, wenn die Durchfahrer über die gesamte, im Gebiet liegende Strecke voll berücksichtigt werden.
- a4) Entspricht a1). Auch hier können die Modifikationen a1) und a2) diskutiert werden.
- a5) Dieser pragmatische, zufällige Ansatz ist sinnlos und kann ohne Angabe bestimmter Gebietsgrößen auch nicht auf Zielvorgaben abgestützt werden.
- a6) Die reiselängenunabhängige Konstanz der Reisezeit kann planerischen Zielen entsprechen; ihre Realisierung ist unmöglich.
- b) Da hier direkt die Marktstellung des öffentlichen Verkehrs angesprochen wird, erhalten die subjektiven Zeitgewichtungen erhöhte Bedeutung. Zur Maximierung der Fahrgastzahl muss das Wirkungsfeld des öffentlichen Verkehrs primär in die bisher dem Fussgänger vorbehaltenen Distanzbereiche ausgedehnt werden. Da dies mit Vorteil in Zonen erhöhter Nachfragedichte (Innenstadt) geschieht, sinken die Haltestellenabstände vor allem in Verdichtungsräumen des Berufs- und Einkaufsverkehrs. Der stark dominante Einfluss des Tarifsystems lässt jedoch dieses Optimierungskriterium in den Hintergrund treten.

- c) Maximale Beförderungsleistungen tendieren in Richtung Bevorzugung der mittleren und längeren Reisedistanzen. Das Kriterium beeinflusst die Haltestellenabstände tendenziell gleich wie a1).
- d) Im strassenverkehrsabhängigen Nahverkehr geht der Mechanismus der Störungskumulation dahin, eine einmal eingetretene Initialstörung (Fahrplanabweichung) über die Haltestellenaufenthalte aufzuschaukeln. Die Summe der reinen Fahrgastwechselzeiten ist in erster Näherung nur abhängig vom Fahrgastaufkommen pro Linienlängeneinheit, - und das konstante (Ein-/Aussteiger-unabhängige) Glied der Haltezeit beeinflusst die Störungskumulation nicht. Damit reduziert sich das Optimierungskriterium "Störungskumulation" auf die Frage, wie weit die Haltestellenabstände das Fahrgastaufkommen pro Linienlängeneinheit beeinflusst. Die Frage wird bezüglich Anmarschwegen in Lit. (11) beantwortet, hinsichtlich Beförderungsgeschwindigkeit u.a. in Lit. (14). Die Haltestellenabstände verändern sich tendenziell wie bei a1) und steigen demnach an.
- e) Günstigste Voraussetzungen für Verkehrsregelung und Betriebslenkung lassen sich nur am konkreten Anwendungsfall definieren, wobei der Teilbereich Betriebslenkung starke Komponenten des Kriteriums d) einschliesst. Im Uebrigen bestehen keine eindeutigen Einwirkungen auf die Haltestellenabstände, - wohl aber auf die Haltestellenlagen. Primär geht es darum, verschiedene Störquellen räumlich zu trennen (z.B. Haltestellen aus den Knotenbereichen herauslösen) und Haltestellen vor Netzverflechtungen/-verzweigungen anzulegen.
- f) Verbesserungen des Kostendeckungsgrades resultieren aus Aufwandsenkungen und/oder Ertragssteigerungen. Die Auswirkungen der Haltestellenabstände sind je nach Tarifsysteem und Ausgangskostendeckungsgrad kontrovers. Grössere Haltestellenabstände senken wegen steigender Beförderungsgeschwindigkeit und sinkendem Energieverbrauch den Aufwand, - aber oberhalb eines bestimmten Abstandes auch den Ertrag zufolge sinkender Fahrgastzahlen (11). Tendenz der Abstände gegenüber der Basisvariante a): leicht steigend.
- g) Die Maximierung der Erträge bei gegebenen Tarifen bedeutet letztlich eine Förderung der (kaufmännisch) interessanten Fahrausweiskategorien und daher eine Bevorzugung bestimmter Reiselängen und Reisezwecke. Da die Haltestellen(-abstände) einen meist viel längeren Zeitbestand haben als die kurzfristig wandelbaren Tarife, muss dieses Optimierungskriterium als ungeeignet und gefährlich bezeichnet werden. Seine Auswirkungen auf die Haltestellenabstände sind indifferent und tarifabhängig.
- h) Die Minimierung des Transportaufwandes entspricht im Grundaufbau der Variante a2), allerdings unter zusätzlichem Einbezug der Tarife, der subjektiven monetären Fahrzeitbewertung des Fahrgastes sowie des Aufwandes zur Leistungserbringung.

Die Tendenzen für die Haltestellenabstände sind bis zur detaillierten Bewertung und Gewichtung der Einflussfaktoren indifferent; das Optimierungskriterium ist zu komplex und in der Praxis kaum anwendbar.

3.5 Schlussfolgerungen

Für die Definition der optimalen Haltestellenabstände bietet sich eine breite Palette verschiedenster Möglichkeiten an. Die Variationsbreite, die nur durch übergeordnete Zielvorgaben eingeschränkt werden kann, ist derart gross, dass auf eine sorgfältige Auswahl grösseres Gewicht gelegt werden sollte als auf nachfolgende analytische Berechnungsansätze.

Als handhabbarste, leicht auf Zielkonformität überprüfbare und plausible Optimierungskriterien bieten sich vor allem die reisezeitabhängigen an. Es wird empfohlen, von der minimalen Gesamtreisezeit (Bruttoreisezeit) aller Fahrgäste (Variante a)) auszugehen, und anschliessend Modifikationen in Richtung der Varianten a1) und a2) zu prüfen.

Die verwendbaren Optimierungskriterien sind nachfolgend nochmals zusammengestellt:

Variante	Optimierungskriterium	Auswirkungen auf Haltestellenabstände		Bemerkungen
		qualitativ	quantitativ	
a	Minimale Gesamtbruttoreisezeit	-	-	Ausgangsbasis
a1	Bevorzugung langer Reisen	steigend*	stark	*nur im Mittelbereich bei kleiner Nachfragedichte
a2	Subjektive Gewichtungen	indifferent	stark	Höhere Gewichtung von .Anmarschweg sinkend .Wartezeit steigend .Umsteigen indifferent
a3				ungeeignet
a4				analog a/a1/a2
a5				sinnlos
a6				unmöglich
b	Maximale Fahrgastzahl	sinkend	schwach	-
c	Maximale Beförderungsleistung	steigend	mittel	-
d	Störungskumulation	steigend	schwach	-
e	Verkehrsregelung Betriebslenkung	indifferent	mittel	fallspezifisch
f	maximaler Kostendeckungsgrad	steigend	schwach	keine eindeutige Tendenz
g				ungeeignet
h				komplex, ungeeignet

Abb. 26

4. EINFLUSSPARAMETER UND DEREN BESTIMMUNG

4.1 Wichtigste Parameter

(Definition und Zusammenstellung aller Parameter siehe letzte Seite)

Aus Kapitel 3 geht hervor, dass je nach Optimierungskriterium unzählige Parameter zur Bestimmung optimaler Haltestellenabstände herangezogen werden können.

Nachfolgend werden die nach Abb. 26 wichtigsten Kriterien aufgelistet. Eine Auswahl daraus wird in Ziffer 4.2 wieder aufgegriffen und mit Bestimmungsgrößen versehen; die übrigen sind in den anschließenden Tabellen kurz kommentiert. Die Parameter sind in 3 Gruppen eingeteilt nach

- . Öffentlicher Verkehr, Fahrtdiagramm
- . Fahrgast
- . Netzbildung und Besiedlung.

Sekundäre Zusammenhänge bleiben mit Rücksicht auf die Uebersichtlichkeit unerwähnt, wie z.B.

- . Wartezeit $\longleftrightarrow$ Netzdichte (bei gleichbleibendem Aufwand),
- . Beförderungsgeschwindigkeit $\longleftrightarrow$ Netz-/Liniendichte (Interne Netzverflechtungen; Konzentration bevorzugender Massnahmen)

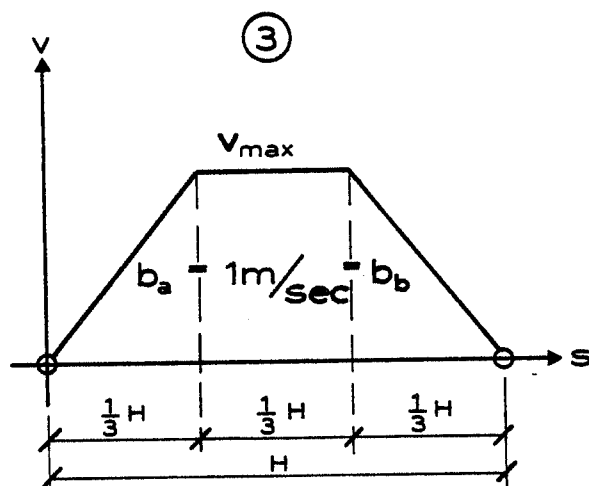
. Öffentlicher Verkehr, Fahrtdiagramm

Vorbemerkung: Für Ueberschlagsrechnungen kann von einem trapezförmigen Fahrtdiagramm mit konstanter Beschleunigung und Verzögerung gerechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass

- . ca. $\frac{1}{3}$ des Haltestellenabstandes mit $V_{\max}$ zurückgelegt wird. (Energieverbrauch, Zeitrückhalt für Verspätungsaufholung),
- . sowohl Fahrzeug- als auch Streckenhöchstgeschwindigkeit mindestens 20% über $V_{\max}$ liegen sollen,
- . in $V_{\max}$ auch Langsamfahrstellen, Zwischenhalte (Lichtsignalanlagen) etc. pauschal berücksichtigt werden,
- . die Haltezeiten T stark vom Abfertigungssystem abhängen (Art und Bezug der Fahrausweise, Türbedienung, Ein-/Ausstiegsverhältnisse usw.)

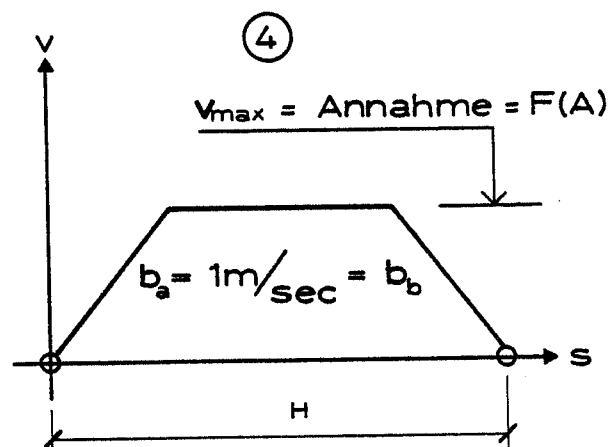
Für detaillierte Rechnungen stehen Traktionsrechenprogramme zur Verfügung, die die Fahrtdiagramme in Abhängigkeit von Strecken- und Fahrzeugdaten bestimmen. Für Belange der Haltestellenabstände genügt i.A. die Ueberschlagsrechnung.

A: Fahrdiagramme



A = Anmarschweg (eff)

$$V_R = \frac{H}{T + \sqrt{\frac{H}{b}} + \sqrt{\frac{25}{6}}}$$



T = Haltezeit

$$V_R = \frac{H}{T + v_{\max} \cdot \frac{1}{b} + H \cdot \frac{1}{v_{\max}}}$$

B: Zahlenwerte

T Sekunden	v _{max} km/h	V _R km/h
Annahme	gerechnet	gerechnet
30	42	13
30	59	20
30	72	27
30	83	33
30	93	38
30	102	43
30	110	49
30	118	53
30	125	56
30	131	59

$$\sqrt{\frac{2}{3} H b}$$

③

H Meter
Annahme
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000

T Sekunden	v _{max} km/h	V _R km/h
Annahme	Annahme	gerechnet
15	40	16
20	50	23
20	65	30
25	80	35
25	90	40
30	100	43
30	105	48
30	110	51
30	115	55
30	120	58

④

Grundlagen für schematische Fahrdiagramme (Zugleich Annahmen für die Kurven 3 und 4 in Abb. 41)

Parameter "Fahrtdiagramm"		
Parameter	Bestimmung Ziffer 4.2	Bemerkungen
V_b Beförderungsgeschwindigkeit	x	Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge, einschliesslich Haltezeiten, exkl. Wendezeiten
V_f Durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit		Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge, exkl. Haltestellenaufenthalte
V_{max}^* Theoretische Maximalgeschwindigkeit	x	Höchstgeschwindigkeit im schematischen Fahrtdiagramm
V_{max} Maximalgeschwindigkeit	x	Strecken- bzw. Fahrzeughöchstgeschwindigkeit
b_a^* Anfahrbeschleunigung	x	Durchschnittliche Anfahrbeschleunigung im schematischen Fahrtdiagramm
b_b^* Bremsverzögerung	x	Durchschnittliche Bremsverzögerung im schematischen Fahrtdiagramm
$b_{a_{max}}$ Max. Beschleunigung		Beschleunigungs- bzw. Betriebsbremsenverzögerungshöchstwerte
$b_{b_{max}}$ Verzögerung		
Z Verlustzeit pro Haltestelle		Zeitbedarf für Bremsen, Halten und Anfahren, abzüglich Durchfahrtszeit mit V_{max}
T Haltezeit	x	Standzeit an der Haltestelle ohne Wartezeit vor VR-Anlagen
F Spezifische Fahrgastwechselzeit	x	Durchschnittliche Ein-/Aussteigezeit pro Fahrgast
F_E Ein-/Aussteiger	x	"
F_A		
F_K "	x	"
F_T "	x	bezogen auf ganzen Kurs
K Konstante der Haltezeit	x	bezogen auf einzelne Türe Für Türent-/verriegelung, Türöffnung/-schliessung

Abb. 28

• Fahrgast

Parameter "Fahrgast"		
Parameter	Bestimmung Ziffer 4.2	Bemerkungen
V_{Fg} Fußgänger- geschwindigkeit	x	Durchschnittliche Gehgeschwin- digkeit beim Haltestellenzu-/ -abgang auf horizontaler Ebene
g_x Subjektive Ge- wichtungen des Elementes x		Zeitgewichtungen gegenüber der Fahrzeit. Vgl. Lit. (4), (14)
m_x Monetarisierung* des Zeitelementes x		Subjektive Gewichtung aller Zeitelemente der Reise in Geldeinheiten
X_Z Zumutbarer Wert des Elementes x	x	Aus repräsentativen Betreiber- und/oder Benützerkreisen als zumutbar erachtete Werte von Reiseelementen

Abb. 29

* Vor Anwendung fester Monetarisierungsfaktoren ist zu warnen, da sie von zahlreichen, stark wandelbaren Randbedingungen beeinflusst werden und sehr vom Reisezweck abhängen.

. Netzbildung und Besiedlung

Parameter "Netzbildung und Besiedlung"		
Parameter	Bestimmung Ziffer 4.2	Bemerkungen
N Netzdichte		km Strecke pro km ² erschlossene Fläche
B Breite des Einzugsgebietes	x	bezogen auf die betrachtete Linie
H Haltestellenabstand		durchschnittlicher Haltestellenabstand im betrachteten Gebiet
H _{xy} Haltestellenabstand zwischen Haltestellen x und y		-
V _R Reisegeschwindigkeit	x	durchschnittliche Geschwindigkeit des Fahrgastes vom Start zum Ziel, einschliesslich aller Halte
f _u Umwegfaktor	x	Verhältnis Effektiv - zu Luftliniendistanz beim Anmarschweg
f _s Umsteigefaktor	x	Anteil der Direktein- / -aussteiger am Total der Ein- und Aussteigebewegungen
f _d Durchfahrerfaktor	x	Anteil der Ein- / Aussteigebewegungen im Betrachtungsabschnitt am Total der Fahrgäste
R _m Durchschnittliche, massgebende Reiselänge	x	Den Optimierungsrechnungen zugrunde liegende Reiselänge
R _v Reiselängenverteilung		-
S Anmarschweg	x	Effektive Fusswegdistanz zur nächstliegenden Haltestelle
S _v Anmarschwegverteilung	x	-

Abb. 30

4.2 Die einzelnen Parameter

Hier figurieren nur noch die in den Tabellen Ziffer 4.1 angekreuzten Hauptparameter. Für diese werden nachfolgend angegeben

- . Einheiten
- . Auswirkungen einer Zunahme des Parameters auf die Haltestellenabstände
- . Durchschnittswerte
- . ev. Literaturangaben.

Die Durchschnittswerte beziehen sich dabei auf den öffentlichen Nahverkehr mit strassenverkehrsabhängiger Fahrbahn in schweizerischen Verhältnissen.

. Öffentlicher Verkehr, Fahrtdiagramm

Die mit * bezeichneten Zahlenangaben beziehen sich auf das in Ziffer 4.1 beschriebene, schematische Fahrtdiagramm

Ausgewählte Parameter "Fahrtdiagramm"				
Parameter	Einheit	Auswirkungen auf Haltestellenabstände		Richtwerte Bemerkungen
		qualita- tiv	quantita- tiv	
V_b Beförderungsgeschwindigkeit	km/h	sinkend	stark	15-20 km/h wünschbare/zumutbare Werte siehe Abb. 34(15)
V_{max}^* Theoretische Maximalgeschw.	km/h	steigend	stark	Kernbereich 25 km/h Cityrand 35 km/h Aussenbezirk 40-45 km/h
V_{max} Maximalgeschwindigkeit	km/h	-	-	Tram 45 km/h ohne Eigen- trasse; Tram 60 km/h mit Eigen- trasse; Bus 60 km/h innerorts; mind. $1,2 \times V_{max}^*$
b_a^* Anfahrbeschleunigung	m/sec ²	sinkend	klein	bis $V_{max}^* = 30$ km/h: $b_a^* = 1.0$ m/sec ² $V_{max}^* > 30$ km/h: $b_a^* = 0.8$ m/sec ²
b_b^* Bremsverzögerung				analog b_a^* (Betriebsbremsverzögerung)
T Haltezeit	sec	steigend	stark	Vgl. Abb. 35/36
F_{FE} Spezifische Fahrgastwechselzeiten	sec/ Fg	steigend	stark	Vgl. Abb. 37/38
F_K				
F_T				
K Konstante der Haltezeit	sec	steigend	mittel	Vgl. Abb. 35-38

Abb. 31

• Fahrgast

Für subjektive Gewichtungen sei auf die umfangreiche Literatur verwiesen. Einzelheiten siehe z.B. Lit. (4) (7) (11) (14) (15) und Abb. 34, 40 und 41.

Ausgewählte Parameter "Fahrgast"				
Parameter	Einheit	Auswirkungen auf Haltestellenabstände qualita- quanti- tiv tativ		Richtwerte Bemerkungen
V_F Fussgänger- ergeschw.	km/h m/sec	steigend	mittel	Berufsverkehr 1.4 m/sec ausserhalb Berufsverkehr 1.1 m/sec Vgl. Abb. 39
X_Z Zumutbare Werte	-	-	stark	Vgl. Lit. (15) und Abb. 34, 40, 41. Mit zumutbaren Werten darf erst dann gearbei- tet werden, wenn sie untereinander wider- spruchsfrei sind.

Abb. 32

• Netzbildung und Besiedlung

Ausgewählte Parameter "Netzbildung/Besiedlung"				
Parameter	Einheit	Auswirkungen auf Haltestellenabstände		Richtwerte Bemerkungen
		qualita- tiv	quantita- tiv	
B Breite des Einzugsgebietes	m	steigend	stark	B = H vgl. Kapitel 5, Ansatz gemäss Lit. (16). B ist häufig feste Vorgabe aus der Netzgestaltung
V_R Reisege- schwindig- keit	km/h	-	mittel	ca 10 km/h, u.a. auch ab- hängig von der Kursfol- gezeit (Wartezeit!)
f_u Umwegfak- tor	-	sinkend	mittel	$f_u = 1.25$
f_s Umsteigefaktor		sinkend	stark	$0 \leq f_s \leq 1$ $f_s = 0^s$: alle Ein-/Aus- steiger steigen um; Anmarschweg = 0 $f_s = 1$: Alles Direkt- ein-/aussteiger
f_d Durchfahrer- faktor		sinkend	stark	$0 \leq f_d \leq 2$ $f_d = 0$: nur Durchfahrer $f_d = 1$: durchschnittlich 1 Start <u>oder</u> Ziel pro Fahrt im Betrachtungsab- schnitt $f_d = 2$: nur Binnenverkehr
R_m Durchschn. massgeb. Reiselänge	km	steigend	stark	netzabhängig; CH-Mittel- städte ca. 2.5 - 3 km; CH-Grossstädte ca. 3 - 4 km; abhängig von Zielvorgaben, obige Werte für Optimie- rungsvariante a)
S Anmarsch- weg	m	steigend	stark	Vgl. Abb. 14; Zumutbare Werte Abb. 40; Abhängigkeit S von V_R Abb. 41
S_V Anmarsch- wegvertei- lung	-	-	*	* abhängig von Zielvorga- ben Eff. Verteilungen vgl. Lit. (11)

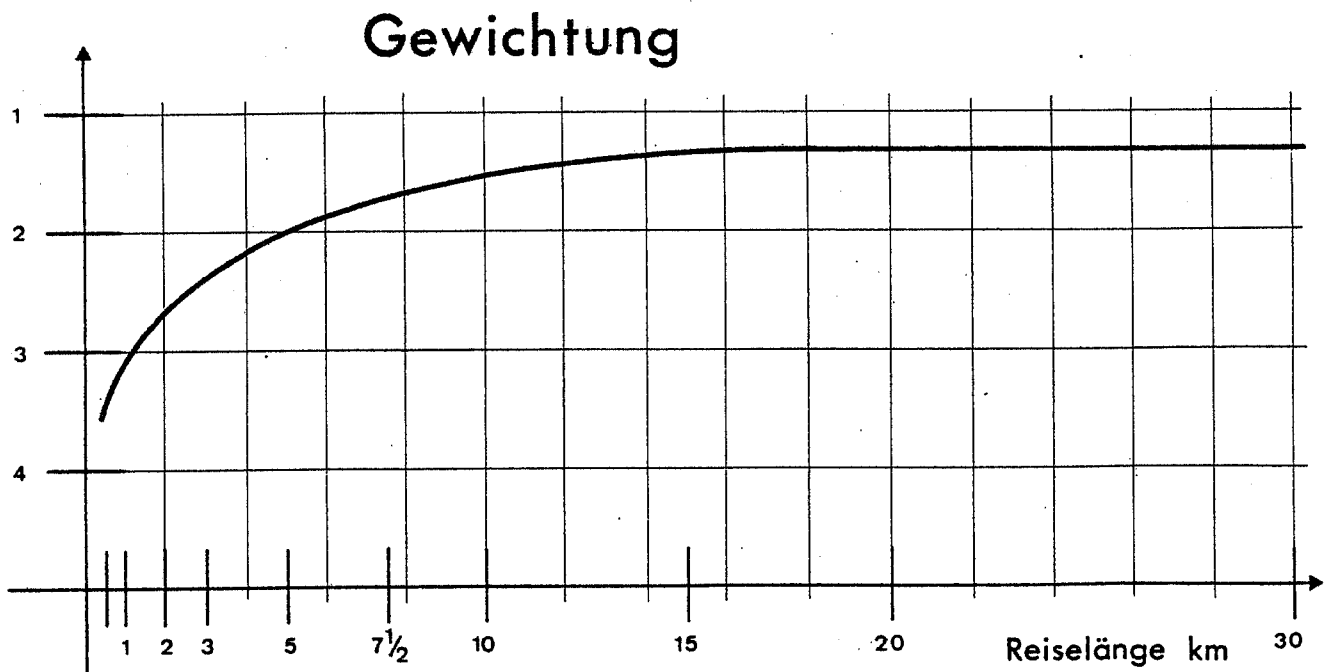
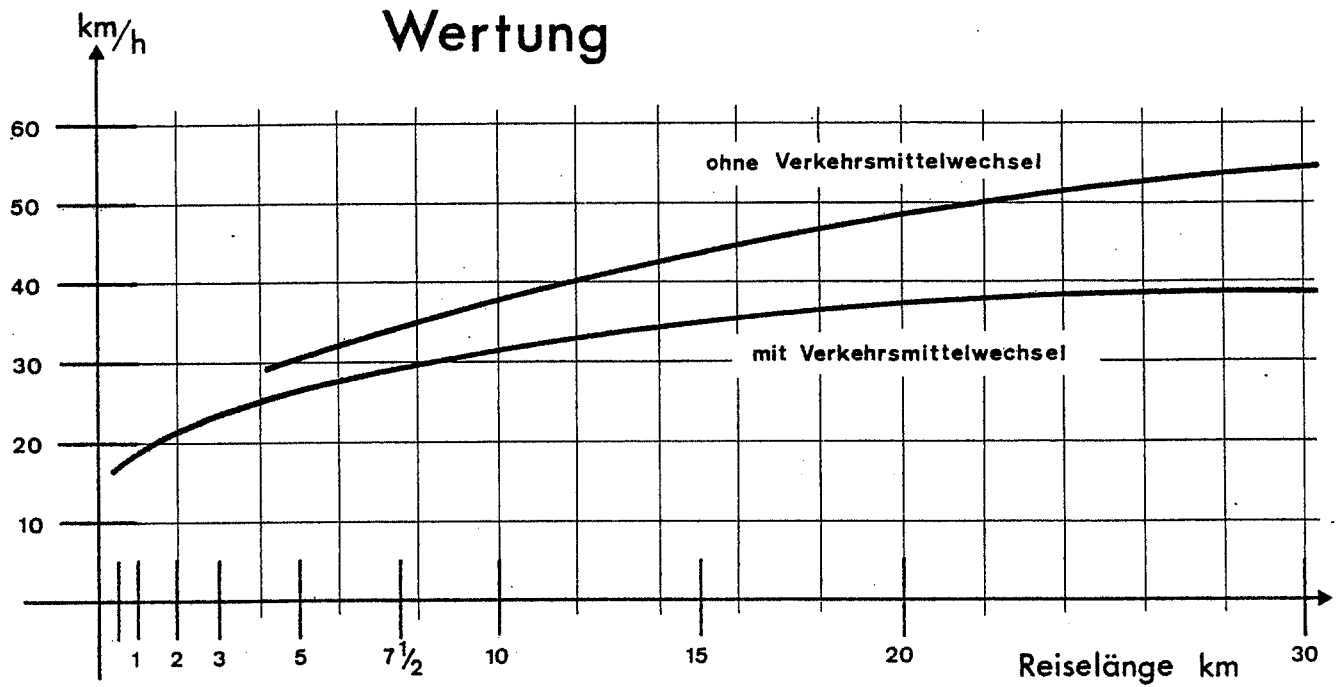


Abb. 34

Wünschbare/zumutbare Beförderungsgeschwindigkeit in Funktion der Reiselänge (Wertungen/Gewichtungen durch ein Betreibergrremium, Lit.(15))

Ohne Unterscheidung zwischen Ein- und Aussteigern				
Ort	Linie	Wagentyp	K	F _K
Bucheggplatz	69	Bus	14.03	0.58
	72	Gelenkbus	11.57	0.46
	74	Gelenktrolley	12.73	0.38
Neuaffoltern	74	Gelenktrolley	11.41	0.45
	74	Gelenkbus	8.62	0.83
Altstetten	31	Gelenktrolley	9.99	0.36
	78/80	Bus	12.66	0.28

Mit Unterscheidung zwischen Ein- und Aussteigern					
Ort	Linie	Wagentyp	K	F _{KA}	F _{KE}
Bucheggplatz	69	Bus	12.75	0.55	0.77
	72	Gelenkbus	11.59	0.44	0.42
	74	Gelenktrolley	13.37	0.31	0.44
Neuaffoltern	74	Gelenktrolley	11.61	0.27	0.51
	74	Bus	8.62	0.96	0.80

Abb. 35

Haltezeit T aus Messreihen 1978/79 in Zürich (13)

Fahrgastwechselzeiten für einzelne Türen bei genormtem konstantem Glied $K = 10 \text{ sec}$					
Ort	Linie	Wagentyp	Tür	Türtyp	F_T
Bucheggplatz	69	Bus	1	breit	1.21
			2	schmal/ steil	1.82
			3	2 schmale	1.00
Neuaffoltern	72	Gelenkbus	1	schmal	1.38
			2	breit	0.95
			3	breit	1.04
	74	Gelenktrolley	1	breit	1.09
			2	breit	1.19
			3	breit	1.00
	74	Gelenktrolley	1	breit	1.00
			2	breit	1.00
			3	breit	1.19
			3 mit senkbar. 3 ohne Trittbrett		1.16
	74	Gelenkbus	1	2 schmale	1.28
			2	schmal	1.63
			3	breit	1.42

Abb. 36 (13)

<u>Fahrgastwechselzeiten für einzelne Türen</u>							
<u>Ohne Unterscheidung zwischen Ein- und Aussteigern</u>							
Ort	Linie	Wagentyp	Türe	Türtyp	K	F _T	
Bucheggplatz	69	Bus	1	breit	11.92	1.10	
			2	schmal/ steil	8.93	1.90	
	72	Gelenkbus	1	2 schmale	11.26	0.85	
			2	schmal	9.54	1.44	
			3	breit	9.45	1.02	
	74	Gelenktrolley	1	breit	8.70	1.11	
			2	breit	9.67	1.12	
			3	breit	12.07	1.09	
	Neuaffoltern	74	Gelenktrolley	1	breit	10.12	0.98
				2	breit	9.85	1.04
3				breit	9.96	1.21	
3				m.senkbar.	9.93	1.20	
3				ohne Tritt- brett	9.94	1.25	
74		Gelenkbus	1	2 schmale	8.32	1.55	
			2	schmal	9.06	1.77	
			3	breit	9.88	1.49	

Abb. 37 (13)

<u>Fahrgastwechselzeiten für einzelne Türen</u>								
<u>Mit Unterscheidung zwischen Ein- und Aussteigern</u>								
Ort	Linie	Wagentyp	Türe	Türtyp	K	F _{TA}	F _{TE}	
Bucheggplatz	69	Bus	1	breit	11.48	1.06	1.27	
			2	schmal/ steil	8.51	1.82	2.15	
	72	Gelenkbus	1	2 schmale	11.18	0.82	0.91	
			2	schmal	9.35	1.28	1.79	
			3	breit	9.42	1.04	1.00	
	74	Gelenktrolley	1	breit	8.77	1.04	1.26	
			2	breit	9.91	1.01	1.24	
			3	breit	11.87	1.12	1.07	
	Neuaffoltern	74	Gelenktrolley	1	breit	10.02	0.56	1.05
				2	breit	10.00	1.12	0.99
3				breit	9.81	0.90	1.32	
3				m.senkb.	9.52	0.87	1.34	
3				ohne Tritt- brett	9.21	1.57	1.27	
74		Gelenkbus	1	2 schmale	7.83	0.78	1.58	
			2	schmal	7.72	1.49	1.98	
			3	breit	9.36	2.45	1.42	

Abb. 38 (13)

Gehgeschwindigkeit

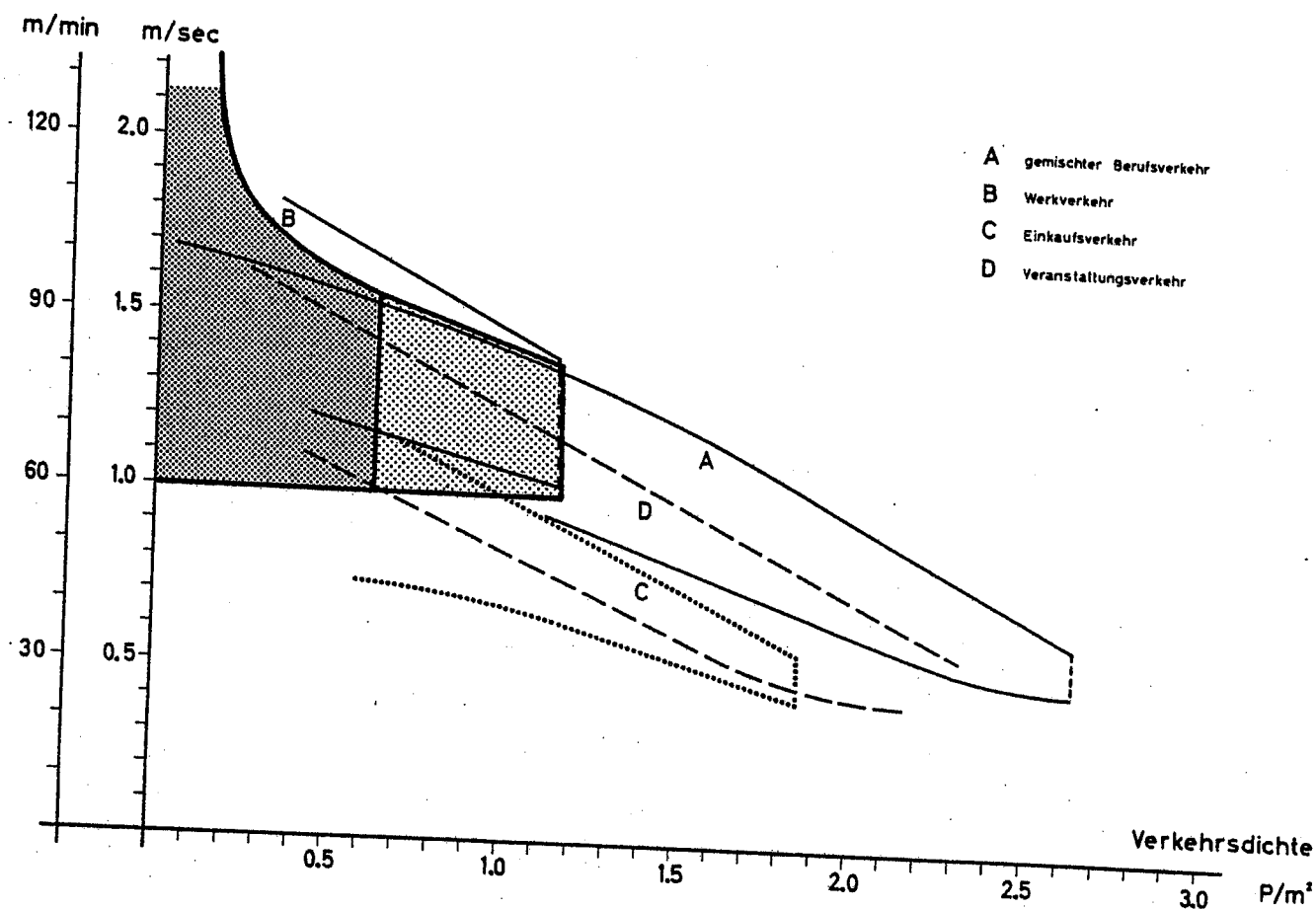
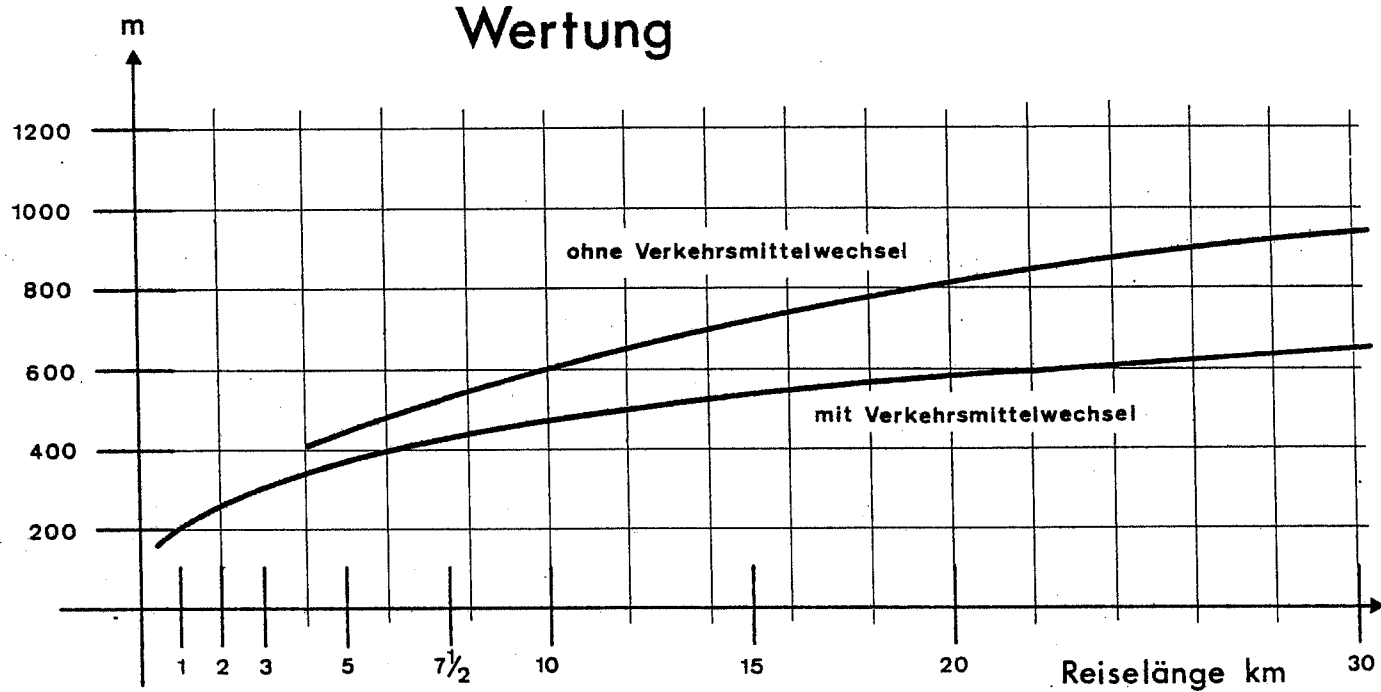


Abb. 39

Fussgängergeschwindigkeit in Abhängigkeit der Verkehrsdichte

- . Schraffierter Bereich aus Lit. (10)
(Grobe Schraffur: statistisch nicht gesicherter Bereich)
- . Angaben A - D aus Lit. (17)

Wertung



Gewichtung

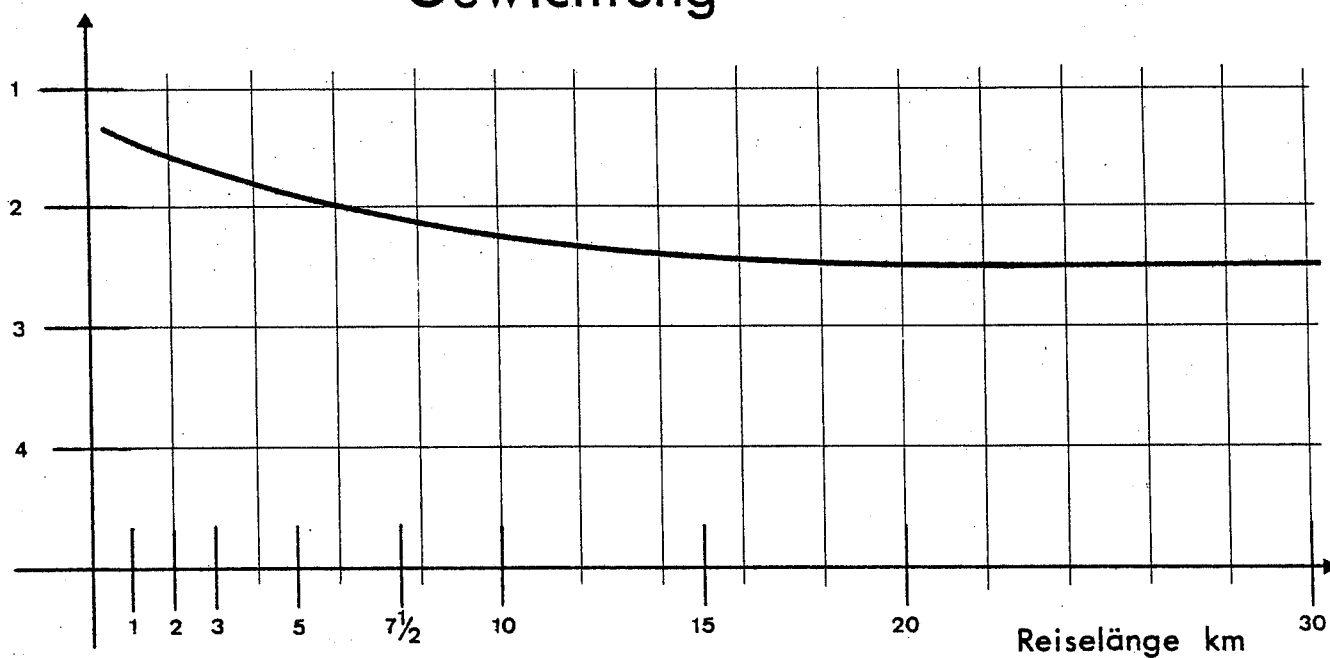
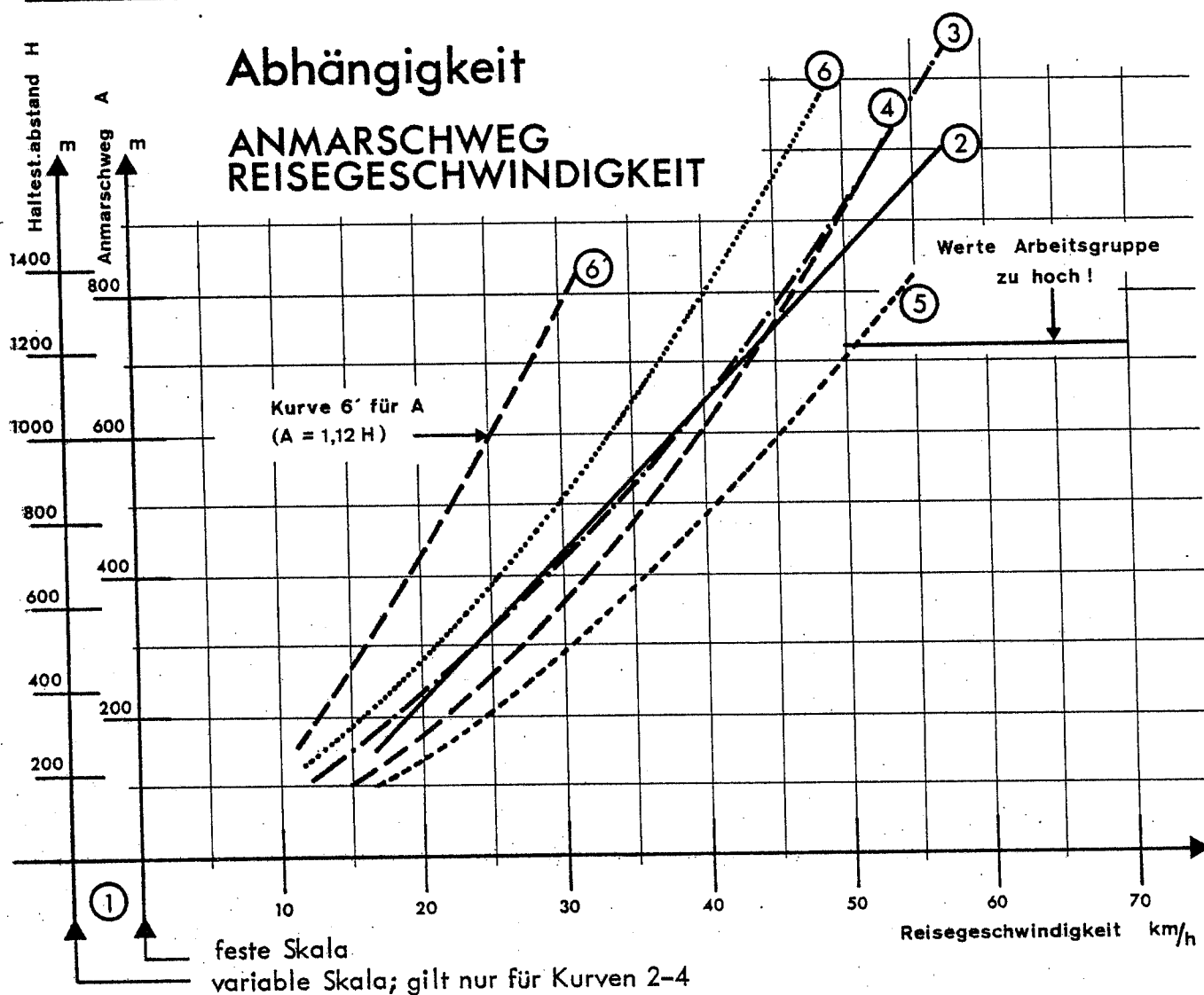


Abb. 40

Wünschbare/zumutbare maximale Anmarschwege in Funktion der Reiselänge (Wertungen/Gewichtungen durch ein Betreibergrremium, Lit.(15))



- ① Breite des Einzugsgebietes:
Durchschnittlicher Anmarschweg:

$$B = 1,5 H$$

$$A = 0,6 H \quad (\text{eff. Distanz})$$

- ② Auswertung Umfrage AG Agglomerationsverkehr

- ③ Generelle Annahmen:
(vgl. Abb. 27)

Haltezeit = 30 sec. = konstant
 $b_a = b_b = 1 \text{ m/sec}^2 = \text{konstant}$
 je $\frac{1}{3}$ Strecke - Beschleunigen
 - Fahrt mit $v_{\max}$
 - Verzögern

- ④ Variable Annahmen:
(vgl. Abb. 27)

Haltezeit = 15 - 30 sec.
 $b_a = b_b = 1 \text{ m/sec}^2 = \text{konstant}$
 $v_{\max} = 40 - 120 \text{ km/h}$

- ⑤ Grenzbereich mit $B = H$ ($A = 0,48 H$)

Kurve

- ⑥ Grenzbereich mit $B = 2H$ ($A = 0,73 H$)

Kurve

Abb. 41

Zusammenhang Anmarschweg/Reisegeschwindigkeit bei schematischem

5. ANALYTISCHE METHODEN

Wie eingangs erwähnt, wird aufgrund der Beurteilung des heutigen Stellenwertes analytischer Methoden auf eine vertiefte Darstellung diesbezüglicher Möglichkeiten verzichtet. Dies umsomehr, als analytischen Berechnungsansätzen im 1. Zwischenbericht breiten Raum eingeräumt wurde.

Daher beschränkt sich das Kapitel 5 auf 3 Kurzbetrachtungen:

- . Analytische Methoden zum Vorgehen bei der Bestimmung optimaler Haltestellenabstände,
- . geraffte Rekapitulation eines einfachen Berechnungsansatzes,
- . Beschrieb der analytischen Ansätze aus Lit. (5)

Für detailliertere Angaben sei auf die Literatur verwiesen.

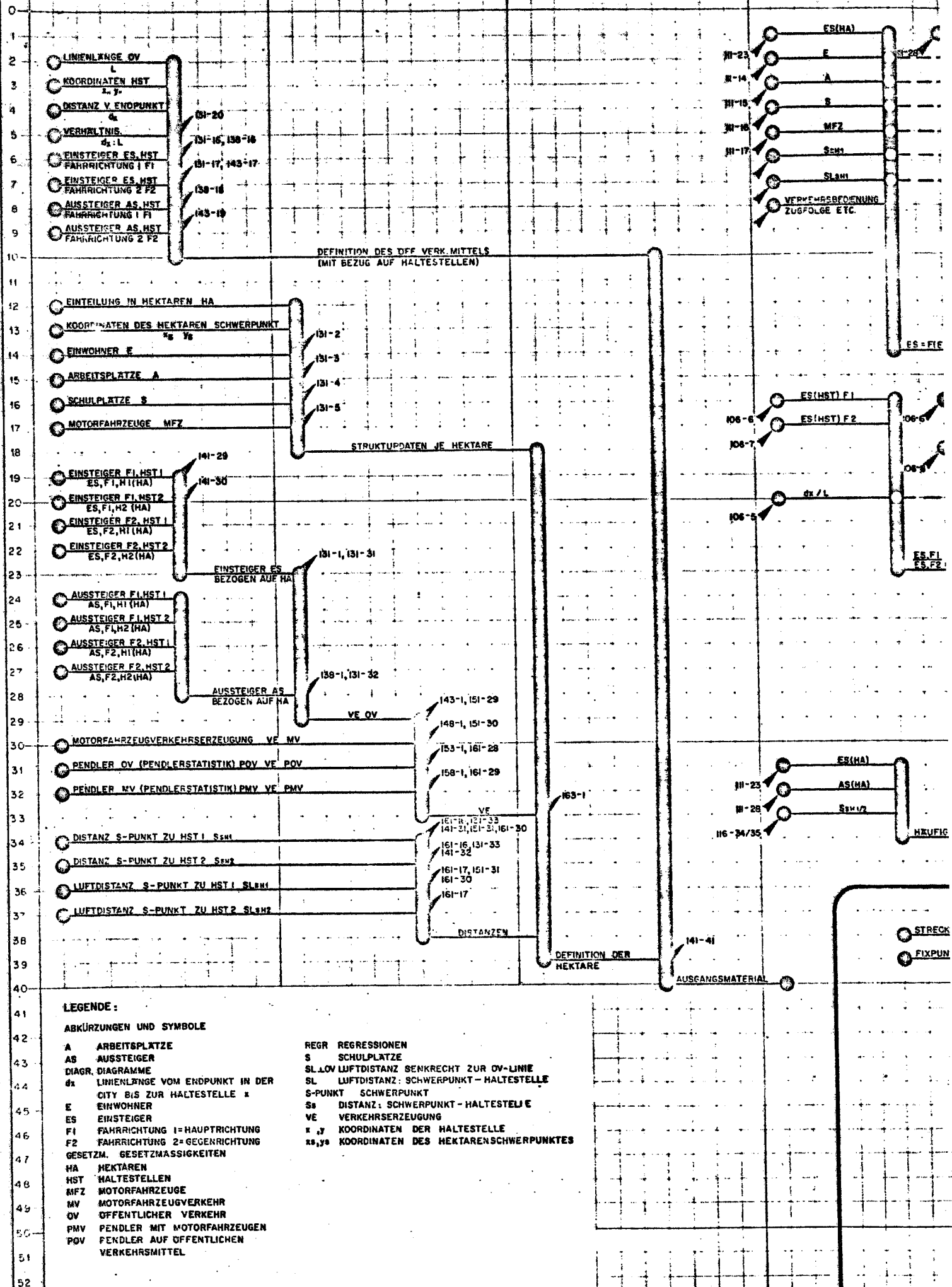
5.1 Analytischer Vorgehensbeschrieb

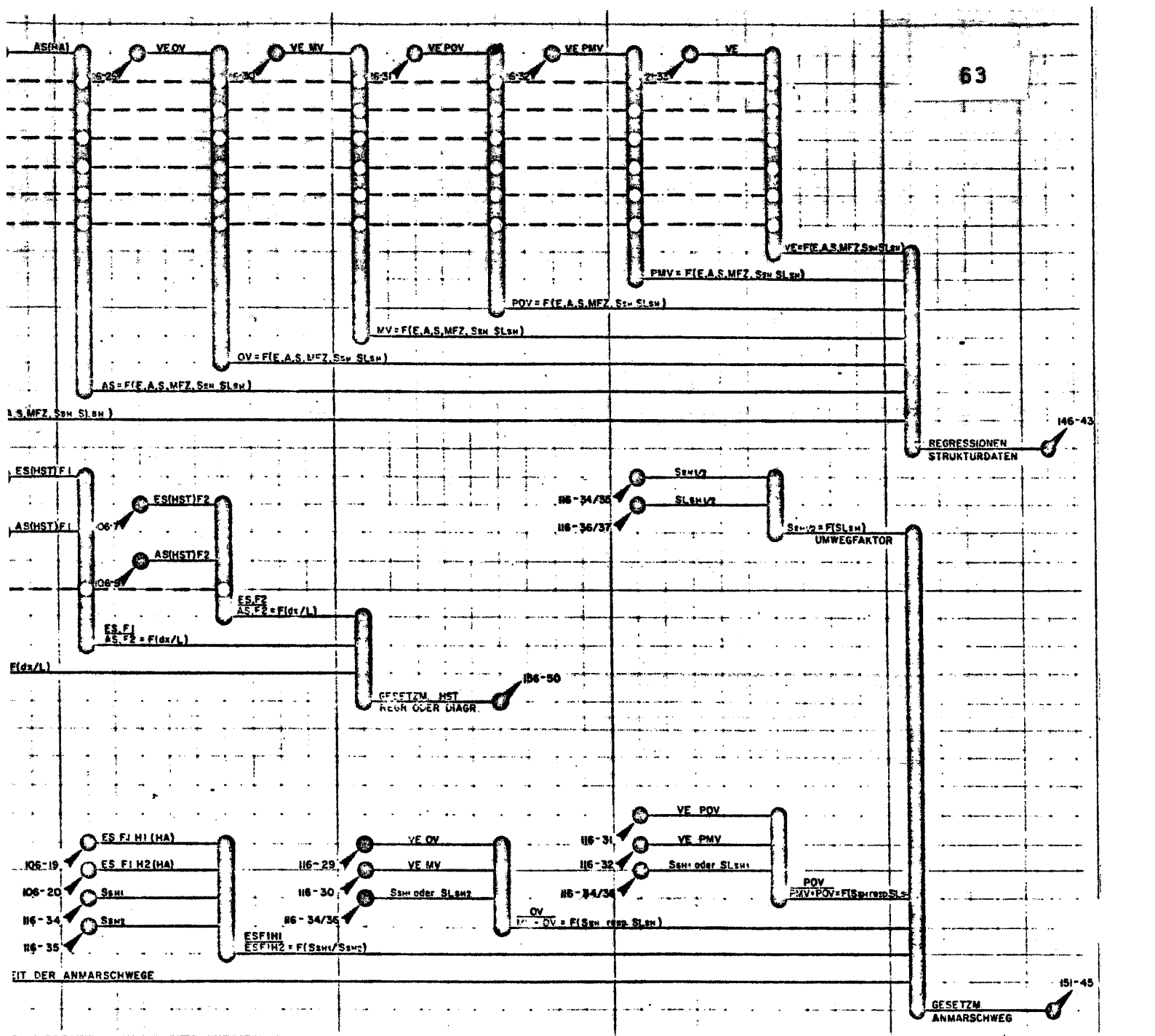
Aufgrund der ursprünglichen Vorstellungen der SVI-Arbeitsgruppe 6 über die Auftragsbearbeitung wurde eingehend nach einem detaillierten Methodenbeschrieb im Sinne einer Systemstruktur zum Vorgehen bei der Bestimmung optimaler Haltestellenabstände gesucht.

Ein erster umfassender Ansatz ist in Abb. 42 (folgende Seite) dargestellt. Er zeigt die sehr aufwendige Arbeit vor allem für die Datenerfassung bei umfassender Berücksichtigung der Einflussfaktoren. Zudem muss aus heutiger Sicht festgestellt werden, dass sich der Aufwand unter Beachtung der Unschärfen sowie der raschen Wandelbarkeit der Annahmen kaum lohnt.

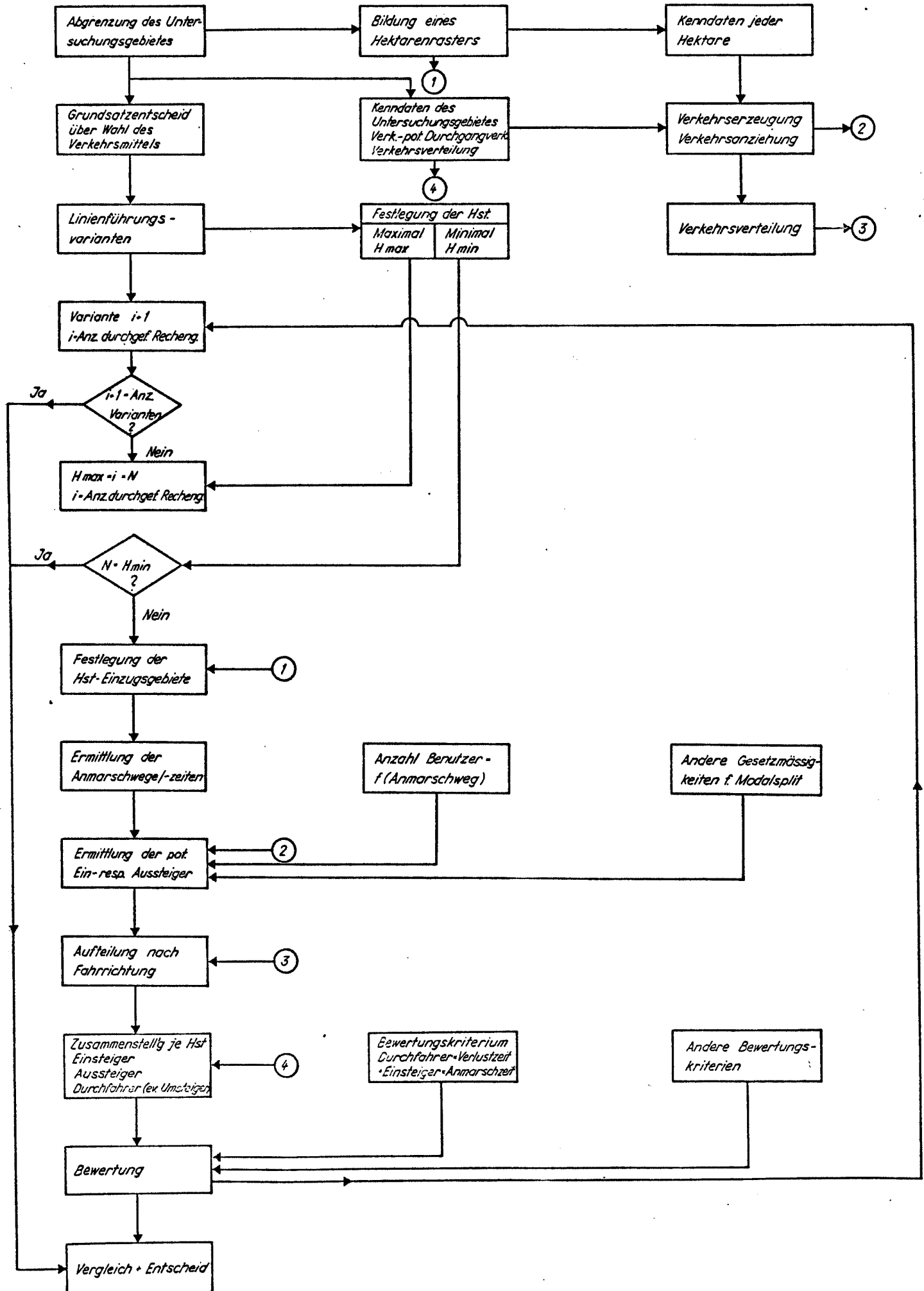
Eine vereinfachte Darstellung desselben Sachverhaltes hat den grossen Vorteil, dass sie in einer Art von Blockdiagramm die Zusammenhänge klar herauschält, - die Fülle des in den einzelnen Blöcken verwendeten Datenmaterials hingegen dem Anwender überlässt.

Die Arbeitsgruppe empfiehlt den Beizug des in Abb. 43 dargestellten, vereinfachten Arbeitsablaufes, auch bei der näherungsweise Bestimmung optimaler Haltestellenabstände. Er dient als Hilfsmittel beziehungsweise Garantie dazu, die wesentlichen Einflüsse nicht zu vergessen oder dann wissentlich zu vernachlässigen.





VEREINFACHTER ARBEITSABLAUF FÜR DIE FESTLEGUNG OPTIMALER HALTESTELLENABSTÄNDE



5.2 Rekapitulation eines einfachen Ansatzes

Die nachfolgende Berechnungsmethode ist in ihren Anfängen schon relativ alt (1966), war der eigentliche Anstoss für die Bildung der SVI-Arbeitsgruppe 6 und deren Forschungsaufträge 4/67 und 25/70 und diente seinerzeit der Festlegung der (Zwischen-)Haltestellen der projektierten Zürcher U-Bahn.

Bei nur rudimentärem Datenmaterial führt der Ansatz mit kleinem Aufwand zu durchaus brauchbaren Resultaten. Er liefert allerdings lediglich durchschnittliche Abstände für ganze Linien oder Linienabschnitte; die Verteilung der Haltestellenabstände muss einem zweiten Arbeitsgang vorbehalten bleiben (Vgl. Kapitel 7).

Der Ansatz stützt sich auf Lit.(16) ab und ist in seiner ursprünglichen Fassung im 1. Zwischenbericht im Einzelnen beschrieben.

Die Berechnung beruht auf folgender Formel:

$$H = + \sqrt{\frac{R_m \cdot \left(\frac{V_{\max}^*}{b^*} + T \right) \cdot V_{Fg}}{f_u \cdot f_s \cdot f_d \cdot A}}$$

Die Bezeichnungen entsprechen demjenigen in Ziffer 4.1/4.2. Alle Faktoren beziehen sich nur auf den betrachteten Linienabschnitt bzw. die betrachtete Linie und haben folgende Dimensionen:

H	m
R _m	m (Fahrtlänge, vgl. Ziffer 6.2)
V _{max} [*]	m/sec
b [*]	m/sec ²
T	sec
V _{Fg}	m/sec
f _u	}
f _s	
f _d	
A	
	-

Der Ansatz beruht auf einem schematischen Fahrdiagramm gemäss Abb. 27. A ist ein Reduktionsfaktor, der die rendierte Abhängigkeit des Anmarschweges vom Haltestellenabstand bei wachsender Breite des Einzugsgebietes berücksichtigt.

Wertangaben für	$\frac{B}{H}$	A	$A \cdot f_u$
$V_b = 30 \text{ km/h}$	0	0.252	0.315
	0.2	0.243	0.305
	0.4	0.236	0.295
	0.6	0.220	0.275
	0.8	0.208	0.260
$V_{Fg} = 5 \text{ km/h}$	1.0	0.192	0.240
	1.2	0.172	0.215
	1.4	0.156	0.195
	1.6	0.132	0.165
	1.8	0.108	0.135
	2.0	0.096	0.120
	∞	0	0

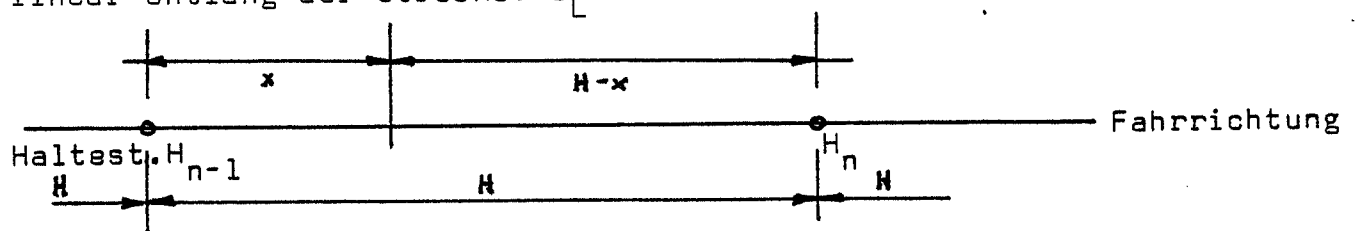
Abb. 44

Die analytische Bestimmung der durchschnittlichen Anmarschwege ist sehr aufwendig, wie das folgende Beispiel, das auf der stark vereinfachenden Analyse einer gleichmässigen Nachfrageverteilung aufbaut, zeigt:

(Beispiel entnommen aus Lit. (19))

Durchschnittlicher Anmarschweg S

- linear entlang der Strecke: S_L



Annahme: Durchschn. Fahrgeschw. $V_f = 22 \text{ km/h} = 6.11 \text{ m/sec}$
 Durchschn. Fussgängergeschw. $V_{fg} = 5 \text{ km/h} = 1.4 \text{ m/sec}$

Massgebender Querschnitt: Haltestelle H_n

$$\frac{x}{1.4} + \frac{H}{6.11} = \frac{H-x}{1.4} ; \quad 12,22 x = 4,71 H$$

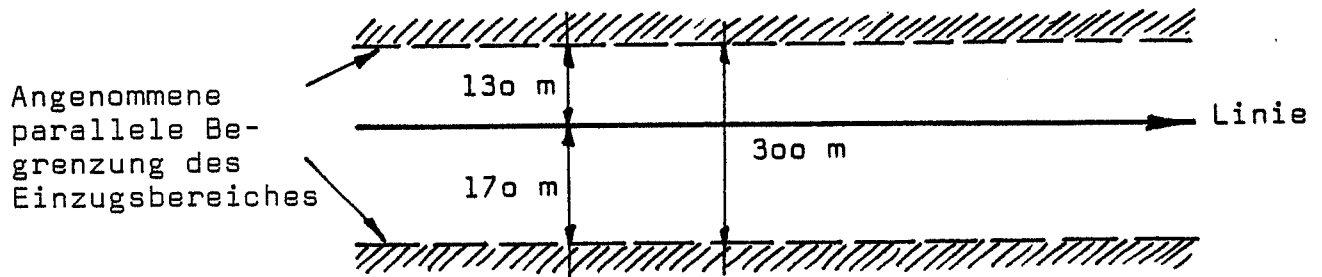
$$x = 0.385 H$$

$$S_L = \frac{1}{H} \int_{-0,615 H}^{+0,615 H} y dy = \frac{1}{H} \left| \frac{y^2}{2} \right|_{-0,615 H}^{+0,615 H} = \frac{H}{2} (0,378 + 0,148)$$

$$S_L = 0,263 H$$

- in einem Einzugsgebiet konstanter Breite: S_F (Luftliniendistanz!)

Strecke schematisch:



Es bedeuten: $e = 150 \text{ m}$ = seidl. Begrenzung

$d_1 = 0.615 a$) Begrenzung des Einzugsgebietes

$d_2 = 0.385 a$) entlang der Strecke

$$t = \frac{1}{e} \left(\sqrt{d_1^2 + e^2} - d_1 \right)$$

$$p = \frac{1}{e} \left(\sqrt{d_2^2 + e^2} - d_2 \right)$$

$$S_F = \frac{1}{6 (d_1 + d_2) e} \left[d_1^3 \left(\ln \frac{1+t}{1-t} + \frac{2t(1+t^2)}{(1-t^2)^2} \right) + e^3 \left(\ln \frac{1}{t} + \ln \frac{1}{p} + \frac{(1-t^2)(1+t^2)}{4t^2} + \frac{(1-p^2)(1+p^2)}{4p^2} \right) + d_2^3 \left(\ln \frac{1+p}{1-p} + \frac{2p(1+p^2)}{(1-p^2)^2} \right) \right]$$

Diese Formel gilt für einen beidseitigen Streifen von je 150 m Breite (dh. Annäherung an obiges Schema)

Die Formel $S_F = f(H)$ lässt sich explizite nicht darstellen. Eine Näherung mit dem Mittelwert $H = 100$ ergibt als genügend genauen Wert

$$S_F = 0.348 H$$

- unter Berücksichtigung der tatsächlichen Anmarschwege

S_L und S_F ergeben Luftliniendistanzen. Nach empirischen Messreihen lässt sich der effektive Anmarschweg durch Multiplikation mit dem Faktor $f_u = 1,24$ aus der Luftliniendistanz ermitteln.

$$S_F = 0.43 H$$

=====

5.3 Analytische Ansätze aus Lit. (5)

Es wird anschliessend lediglich der Ansatz zu dem in Ziffer 3.5 (Abb. 26) als brauchbar beurteilten Optimierungskriterium (Variante a4) vereinfacht dargestellt. Dies ist umso interessanter, als dieser Ansatz weitgehend der "Basisvariante" im Sinne der minimalen Gesamtbruttoreisezeit entspricht.

Das nachstehende Verfahren ist in dem Sinne frei nach Lit. (5) zitiert, als Kürzungen vorgenommen wurden und die Bezeichnungen einerseits mit den bei uns üblichen Begriffen, anderseits mit den Zeichen gemäss Abb. 28 - 30 koordiniert wurden.

Grundsatz 1: Die Summe der in einem Teil des Verkehrsgebietes (z.B. Einzugsbereich einer Haltestelle oder Verkehrszone) bestehenden Reisezeitanteile aller Reisenden beträgt ein Minimum.

In diesem Grundsatz wird innerhalb des Teiles eines Verkehrsgebietes ein Minimum aller Reisezeiten der Teilnehmer im öffentlichen Nahverkehr angestrebt. Die Anteile des Verkehrsaufkommens sind dabei über die zurückzulegenden Wegstrecken mit der zuzuordnenden Reisezeit zu bewerten. Hierzu werden alle Bewegungen der Reisenden, die sich parallel zur Streckenführung und innerhalb des Einzugsbereiches ergeben, erfasst. Die hiervon abgeleitete Optimierung bezieht sich auf einen künstlich in sich abgeschlossenen Teil des Verkehrsgebietes und berücksichtigt nicht das Verhalten des Reisenden vor und nach diesem Gebiet. Sie kann jedoch schrittweise auf das gesamte Verkehrsgebiet ausgedehnt werden. Damit wird der Reiseweg aller Reisenden annähernd verfolgt und deren gesamte Reisezeit geht in Etappen als Grundlage in die Ermittlung des Haltestellenabstandes ein.

Die hierfür erforderlichen Ausgangsdaten über das bestehende Verkehrsaufkommen sind dem Verkehrsgestalter häufig bereits bekannt bzw. können verhältnismässig schnell und unkompliziert ermittelt werden. Diese Werte sind relativ stabil und somit für lange Zeiträume als konstant zu bezeichnen.

Für die Bestimmung des zweckmässigsten Haltestellenabstandes wird in den weiteren Ausführungen die mathematische Beziehung aufgestellt und wenn möglich für die praktische Anwendung zu verschiedenen allgemeingültigen Formeln umgewandelt. Die Entscheidung über

deren Auswahl ist von der im Ergebnis der Untersuchung geforderten Genauigkeit oder der Qualität der zur Verfügung stehenden Primärdaten über das Verkehrsaufkommen abhängig.

Die Bestimmung des Haltestellenabstandes ist neben den vom Fahrzeug und der Strecke her bestimmten Werten im überwiegenden Masse von den Angaben über das Verkehrsaufkommen abhängig. Grundsätzlich sollte nur das Spitzenaufkommen der für die Linie oder Strecke dominierenden Verkehrsart (meistens der Berufsverkehr) berücksichtigt werden. (Aus der Sicht der SVI-AG 6 ist dieser Auffassung nicht beizupflichten. Vielmehr muss sich die "dominierende Verkehrsart" aus der Zielsetzung des Angebotes ableiten.)

Das nachstehende Näherungsverfahren gestattet, in Befolgung des Grundsatzes 1, den mittleren zweckmässigen Haltestellenabstand einer Verkehrszone überschlagsmässig zu ermitteln. Es ist vor allem dann anzuwenden, wenn nur Näherungswerte über den Umfang des Verkehrsaufkommens vorliegen.

Die Summe der von den einzelnen Reisenden innerhalb des Teiles eines Verkehrsgebietes benötigten Reisezeit T_R (s) ergibt sich aus der zeitmässigen Bewertung der Elemente des Aufkommens. Der Ziel-/Quellverkehr Q ist dabei mit einer Gehzeit t_g (s) und einem Anteil der Beförderungszeit t_b (s); der Durchgängsverkehr D nur mit der Beförderungszeit zu bewerten.

Es gilt bei der Betrachtung einer Verkehrszone (Index Z) allgemein

$$T_{R_Z} = t_{b_Z} (D + x \cdot Q) + t_g \cdot Q \quad (s) \quad (1)$$

Unter der Annahme einer über das Teilgebiet gleichmässigen Verteilung der einzelnen Pendlerströme können sie zu einem Mittelwert zusammengefasst werden, der in der halben Streckenlänge wirksam wird. Der Ziel-/Quellverkehr Q ist demnach mit der halben Beförderungszeit zu belegen.

$$T_{R_Z} = t_{b_Z} (D + \frac{P}{2}) + t_g \cdot P \quad (s) \quad (2)$$

Die Beförderungszeit innerhalb der Verkehrszone kann als Produkt der Beförderungszeit über den mittleren Haltestellenabstand (Index h) und der Anzahl der Haltestellenabstände n (-) dargestellt werden. Es gilt dann

$$t_{b_Z} = n \cdot t_{b_h} \quad (s), \quad (3)$$

wenn allgemein betrachtet $H = \frac{L_Z}{n}$ (m) ist.

(L_Z = Streckenlänge in der Verkehrszone Z)

Wird diese Beziehung berücksichtigt und die Beförderungszeit über eine Haltestelle in ihre Komponenten zerlegt, ergibt sich

$$t_{bZ} = n \left[H (t_{f_m} + t_{st_m}) + z_h + F_H \cdot K_s + t_{hs} \right] \quad (s) \quad (4)$$

- t_{f_m} = entfernungsabhängiger Zeitanteil der reinen Fahrzeit, bezogen auf 1 m Streckenlänge (s/m)
 (Durchfahrt ohne Halt mit Streckengeschwindigkeit)
 t_{st_m} = Störzeitzuschlag pro m Streckenlänge (s/m)
 z_h = Zeitzuschlag für Abbremsen und Beschleunigen gegenüber der Durchfahrt (s/Haltestellenabstand)
 F_H = Anzahl Ein- und Aussteiger (=gesamter Fahrgastwechsel) je Fahrzeugeinheit an einer Haltestelle (Pers/FE)
 K_s = "Steigzeitkonstante" = spezifische Fahrgastwechselzeit (Ein- und Aussteiger, bezogen auf ein ganzes Fahrzeug einer bestimmten Bauart (s/FE·Pers))
 t_{hs} = Mindesthaltezeit-/ ("Sicherheitszeit") entspricht praktisch K gemäss Abb. 28 (s)

Setzen wir für

$$z_h + t_{hs} = Z_{min} \quad (s) \quad (5)$$

die minimale Verlustzeit pro Haltestelle ein und formen um, so entsteht

$$t_{bZ} = L_Z \cdot t_{f_m} + \frac{L_Z}{H} \cdot Z_{min} + p \cdot K_s \quad (s)$$

Bei dieser Umformung wurde der Ausdruck $n \cdot F_H \cdot K_s$ in $p \cdot K_s$ umgewandelt.

- p = Spezifische Anzahl der in das Gebiet ein- und auspendelnden Personen (Pers/Richtung · FE)

Die mittlere Anmarschzeit wird hier näherungsweise zu

$$t_g = \frac{H \cdot B}{4 \cdot v_{Fg}} \quad (s) \quad (6)$$

angenommen.

Werden die näheren Bestimmungen der Zeitelemente in die Gleichung (2) aufgenommen und dabei die Elemente des Verkehrsaufkommens auf

eine Fahrzeugeinheit bezogen, so wird

$$T_{RZ} = (L_Z \cdot t_{f_m} + \frac{L_Z}{H} \cdot Z_{\min} + p \cdot K_s) \left(d + \frac{p}{2}\right) + \frac{H + B}{4 \cdot v_{Fg}} \cdot p \quad (s) \quad (7)$$

d = Spezifische Anzahl der das Gebiet durchfahrenden Personen
(Pers/Richtung · FE)

Nach einer Umstellung der Klammerausdrücke ergibt sich

$$T_{RZ} = \left(d + \frac{p}{2}\right) (L_Z \cdot t_{f_m} + K_s \cdot p) + \left(d + \frac{p}{2}\right) \cdot \frac{L_Z}{H} \cdot Z_{\min} + \frac{H + B}{4 \cdot v_{Fg}} \cdot p \quad (s) \quad (8)$$

Zur Bestimmung des Minimums der gesamten Reisezeit innerhalb der Verkehrszone erfolgt eine Differenzierung der Reisezeit nach dem Haltestellenabstand. Hieraus ergibt sich schliesslich

$$\frac{dT_{RZ}}{dH} = \frac{p}{4v_{Fg}} - \frac{1}{H^2} \cdot \left(d + \frac{p}{2}\right) \cdot L_Z \cdot Z_{\min} \quad (9)$$

Hiervon abgeleitet ergibt sich der mittlere Haltestellenabstand über die Streckenlänge einer Verkehrszone zu

$$\bar{H} = 2 \cdot \sqrt{L_Z \cdot Z_{\min} \cdot v_{Fg} \left(\frac{d}{p} + 0.5\right)} \quad (m) \quad (10)$$

=====

Ist der Durchmessererverkehr (d) nicht bekannt, sondern nur die Anzahl der über die Zeiteinheit in das Untersuchungsgebiet aus- oder einreisenden Personen, (Ziel-/Quellverkehr) so ist für die Bewertung der Beförderungszeit die Gleichung (2) wie folgt umzuwandeln:

$$T_{RZ} = t_{bZ} \left(E + \frac{P_a - P_e}{2}\right) + t_g \cdot P \quad (s) \quad (11)$$

oder

$$T_{RZ} = t_{bZ} \left(A + \frac{P_e - P_a}{2}\right) + t_g \cdot P \quad (s) \quad (12)$$

Darin bedeuten

E = In das Gebiet hineinfahrende Personen (Pers/h.Richtung)

P_e, P_a = In das Gebiet ein- bzw. auspendelnde Personen
(Pers/h. Richtung)

A = Aus dem Gebiet herausfahrende Personen (Pers/h.Richtung)

(Bezeichnung mit Kleinbuchstaben für die entsprechenden spezifischen Werte!)

Die Gleichung (7) wird somit umgeformt in

$$T_{R_Z} = (L_Z \cdot t_{f_m} + \frac{L_Z}{H} \cdot Z_{\min} + p \cdot K_s) \left(e + \frac{P_a - P_e}{2} \right) \frac{H + B}{4 \cdot v_{Fg}} \cdot p \quad (s) \quad (13)$$

oder

$$T_{R_Z} = (L_Z \cdot t_{f_m} + \frac{L_Z}{H} \cdot Z_{\min} + p \cdot K_s) \left(a + \frac{P_e - P_a}{2} \right) \frac{H + B}{4 \cdot v_{Fg}} \cdot p \quad (s) \quad (14)$$

Der mittlere Haltestellenabstand über die Streckenlänge einer Verkehrszone ergibt sich hieraus zu

$$\bar{H} = 2 \sqrt{\frac{e + 0.5 (P_a - P_e)}{p} \cdot L_Z \cdot Z_{\min} \cdot v_{Fg}} \quad (m) \quad (15)$$

=====

oder

$$\bar{H} = 2 \sqrt{\frac{a + 0.5 (P_e - P_a)}{p} \cdot L_Z \cdot Z_{\min} \cdot v_{Fg}} \quad (m) \quad (16)$$

=====

Ist in (15) $p_e \ll p_a$ oder in (16) $p_a \ll p_e$, wird $d \sim a \sim e$ und die Gleichungen (15) bzw. (16) gehen wieder in die Gleichung (10) über.

Die bisher ermittelten Formeln eignen sich besonders dann, wenn die Zweckmässigkeit einer genauen Ermittlung von Haltestellenabständen vorab nur grob überprüft werden soll oder wenn die vorhandenen Angaben über das bestehende Verkehrsaufkommen keine eingehendere Bestimmung zulassen.

Es genügt bereits die Kenntnis des Verhältnisses der durchfahrenden zu den ein- und auspendelnden Personen, um anhand der aus der Gleichung (10) und empirisch bestimmten Mittelwerten für $Z_{\min}$ und v_{Fg} abgeleiteten Faustformeln die Anzahl der innerhalb einer Verkehrszone festzulegenden Haltestellen oder den Einzugsbereich einer Haltestelle zu überprüfen.

Ein Verfahren zur Ermittlung des Haltestellenabstandes basiert ebenfalls auf dem Grundsatz 1 und ermöglicht eine konkrete Bestimmung des Haltestellenabstandes H (m) oder der Länge des Einzugsbereiches einer Haltestelle H_E (m). Hierzu ist eine genaue Kenntnis über den Umfang der einzelnen Elemente des Verkehrsaufkommens innerhalb des Gebietes sowie die Grösse der Zeitelemente erforderlich.

Die Grundlage dieser Ermittlung bildet die in Gleichung (2) aufgestellte Beziehung. Die Reisezeitsumme wird hier jedoch nicht auf die Verkehrszone (Index Z), sondern auf den Einzugsbereich der Haltestelle (Index H) bezogen.

$$T_{R_H} = t_{b_H} \left(D + \frac{P}{2} \right) + t_g \cdot P \quad (s) \quad (17)$$

Die nähere Bestimmung des Verkehrsaufkommens und deren Bezugnahme auf einen Zug bzw. Wagen führt zu

$$T_{R_H} = t_{b_H} \left(d + \frac{p_a + p_e}{2} \right) + t_g (p_a + p_e) \quad (s) \quad (18)$$

Mit der Aufnahme der einzelnen Zeitelemente entsprechend den Gleichungen (3) - (6) ergibt sich hieraus

$$T_{R_H} = \left[H \cdot (t_{f_m} + t_{st_m}) + K_s (p_a + p_e) + Z_{\min} \right] \left(d + \frac{p_a + p_e}{2} + \frac{H + B}{4 \cdot v_{Fg}} (p_a + p_e) \right) \quad (s) \quad (19)$$

Wird zunächst eine über die Streckenlänge gleichmässige Verteilung des Ziel-/Quellverkehrs angenommen, so wird dessen Umfang von der Grösse dieses Aufkommens über die Streckenlänge von 1 m und der Haltestellenentfernung bestimmt.

$$p_H = p_m \cdot H \quad (\text{Pers/Ri.FE}) \quad (20)$$

Hiervon ausgehend wird der zweckmässigste Haltestellenabstand über die Abhängigkeit einer auf 1 m Streckenlänge bezogenen (Index m) kürzesten Reisezeitsumme ermittelt. Dieses Prinzip ermöglicht die Anwendung der im Verfahren gewählten Beziehungen bei einem entlang der Strecke stark variierenden Verkehrsaufkommen.

$$T_{R_m} = \left[(t_{f_m} + t_{st_m}) + K_s (p_{a_m} + p_{e_m}) + \frac{Z_{\min}}{H} \right] \left(d + h \cdot \frac{p_{a_m} + p_{e_m}}{2} + \frac{H + B}{4v_{Fg}} (p_{a_m} + p_{e_m}) \right) \quad (s) \quad (21)$$

Nach Umstellung dieser Gleichung ergibt sich

$$T_{R_m} = \frac{d \cdot Z_{\min}}{H} + \frac{p_{a_m} + p_{e_m}}{2} \cdot h \cdot \left[t_{f_m} + t_{st_m} + K_s (p_{a_m} + p_{e_m}) + \frac{1}{2v_{Fg}} \right] + d \left[t_{f_m} + t_{st_m} + K_s (p_{a_m} + p_{e_m}) \right] + (p_{a_m} + p_{e_m}) \left(\frac{Z_{\min}}{2} + \frac{B}{4v_{Fg}} \right) \quad (s) \quad (22)$$

Die für die Minimierung der Reisezeitsumme erforderliche Differenzierung nach dem Haltestellenabstand führt zu folgendem Ergebnis:

$$\frac{d T_{R_m}}{dH} = - \frac{d \cdot Z_{\min}}{H^2} + (p_{a_m} + p_{e_m}) \left[\frac{1}{4v_{Fg}} + \frac{t_{f_m}}{2} + \frac{t_{st_m}}{2} + \frac{K_s}{2} (p_{a_m} + p_{e_m}) \right] \quad (23)$$

Nach der Auflösung dieser Gleichung ergibt sich der hinsichtlich einer kürzesten Reisezeit optimale Haltestellenabstand zu

$$H = \sqrt{\frac{d}{p_{a_m} + p_{e_m}} \cdot \frac{2 \cdot Z_{\min}}{\frac{1}{2v_{Fg}} + (t_{f_m} + t_{st_m}) + K_s (p_{a_m} + p_{e_m})}} \quad (m) \quad (24)$$

=====

Eine Vereinfachung dieser Formel ergibt sich bei der Zusammenfassung des Ziel- und Quellverkehrs. (Bei exakten Betrachtungen wird wegen der Veränderung von d eine Iteration erforderlich):

$$p_{a_m} + p_{e_m} = p_m \quad (\text{Pers/Ri} \cdot \text{FE} \cdot \text{m})$$

p_m = Spezifische Anzahl der in das Gebiet ein- und auspendelnden Personen bezogen auf 1 m Streckenlänge.

Daraus ergibt sich die Formel

$$H = \sqrt{\frac{d}{p_m} \cdot \frac{2 \cdot Z_{\min}}{\frac{1}{2v_{Fg}} + t_{f_m} + t_{st_m} + K_s \cdot p_m}} \quad (\text{m}) \quad (25)$$

=====

Ist das Verkehrsaufkommen im Durchmessererverkehr über die in das Gebiet ein- bzw. auspendelnden Personen zu bestimmen, wie es beispielsweise bei einer unkontinuierlichen Verteilung des Ziel-/Quell-Verkehrsaufkommens über das Gebiet der Fall ist, ändert sich die Formel unter dem Ansatz von

$$d = e - p_e \quad \text{oder} \quad d = a - p_a \quad (\text{Pers/Ri.FE})$$

$$H = \sqrt{\frac{e}{p_m} \cdot \frac{2 \cdot Z_{\min}}{\frac{1}{2v_{Fg}} + (p_m - 2p_{e_m})(K_s + \frac{t_{f_m} + t_{st_m}}{p_m})}} \quad (\text{m}) \quad (26)$$

=====

$$\text{bzw. } H = \sqrt{\frac{a}{p_m} \cdot \frac{2 \cdot Z_{\min}}{\frac{1}{2v_{Fg}} + (p_m - 2p_{a_m})(K_s + \frac{t_{f_m} + t_{st_m}}{p_m})}} \quad (\text{m}) \quad (27)$$

=====

Wird für ein Verkehrsmittel je Haltestelle eine feste Haltezeit T (s) vorgegeben, wie es bei der Berliner S-Bahn der Fall ist, ergibt sich die Beförderungszeit zu

$$t_{b_H} = H \cdot (t_{f_m} + t_{st_m}) + z_H + T \quad (\text{s}) \quad (28)$$

Wird diese Beziehung in die Gleichung (18) aufgenommen, so setzt sich die Reisezeitsumme zusammen aus

$$T_{R_H} = \left[H \cdot (t_{f_m} + t_{st_m}) + z_h + T \right] \left(d + \frac{P_a + P_e}{2} \right) + \frac{H + B}{4 \cdot v_{Fg}} (P_a + P_e) \quad (s) \quad (29)$$

Unter Bezugnahme auf eine Streckenlänge von 1 m ergibt sich hieraus analog

$$T_{R_m} = (t_{f_m} + t_{st_m} + \frac{z_h + t_H}{H}) \left(d + H \cdot \frac{P_{a_m} + P_{e_m}}{2} \right) + \frac{H + B}{4 \cdot v_{Fg}} (P_{a_m} + P_{e_m}) \quad (s) \quad (30)$$

Nach einer Umstellung wird

$$\begin{aligned} T_{R_m} = & \frac{d}{H} (z_h + t_H) + H \frac{P_{a_m} + P_{e_m}}{2} (t_{f_m} + t_{st_m} + \frac{1}{2v_{Fg}}) \\ & + d (t_{f_m} + t_{st_m}) + (P_{a_m} + P_{e_m}) \left(\frac{z_h + t_H}{2} + \frac{B}{4v_{Fg}} \right) \quad (s) \end{aligned} \quad (31)$$

Nach erfolgter Differenzierung ergibt sich hieraus

$$\frac{d T_{R_m}}{d H} = - \frac{d}{H^2} (z_h + t_H) + \frac{P_{a_m} + P_{e_m}}{2} (t_{f_m} + t_{st_m} + \frac{1}{2v_{Fg}}) \quad (32)$$

Der optimale Haltestellenabstand wird bei der Zusammenfassung des Ziel-/Quellverkehrs zu

$$H = \sqrt{\frac{d}{P_m} \cdot \frac{2 (z_h + t_H)}{t_{f_m} + t_{st_m} + \frac{1}{2v_{Fg}}}} \quad (m) \quad (33)$$

=====

In dieser Gleichung kann der Durchmesserverkehr wiederum in einer anderen Form dargestellt werden. Daraus ergibt sich

$$H = \sqrt{\frac{e}{P_m} \cdot \frac{2 (z_h + t_H)}{\frac{1}{2v_{Fg}} + \frac{(t_{f_m} + t_{st_m})(P_{a_m} - P_{e_m})}{P_m}}} \quad (m) \quad (34)$$

=====

oder

$$H = \sqrt{\frac{a}{p_m} \cdot \frac{2(z_h + t_H)}{\frac{1}{2v_{Fg}} + \frac{(t_{f_m} + t_{st_m})(p_{e_m} - p_{a_m})}{p_m}}} \quad (m) \quad (35)$$

=====

Tritt innerhalb des Einzugsbereiches einer Haltestelle neben dem gleichmässig verteilten ein massiertes Ziel-Quell-Verkehrsaufkommen auf, das sich von dem sonstigen flächenhaft verteilten Aufkommen auf Grund der Ballung seiner Verkehrsquelle oder -senke auf einen geringen Flächenanteil unterscheidet, so lassen sich entsprechend modifizierte Formeln aufbauen, auf deren Herleitung und Darstellung an dieser Stelle verzichtet wird.

Dafür sei abschliessend kurz auf den Grundsatz 2 aus Lit. (5) eingetreten und die entsprechenden Kommentare zitiert.

Grundsatz 2: Die Summe der Reisezeiten aller Reisenden beträgt innerhalb eines Verkehrsgebietes ein Minimum.

Dieser Grundsatz erfordert eine gleichzeitige Betrachtung des gesamten Verkehrsgebietes. Hierbei sind die Verkehrswege aller Reisenden einzeln zu verfolgen. Alle Gehwege und ebenso die Umsteigevorgänge sind dabei voll zu erfassen. Er erfordert einen unvertretbar hohen Aufwand bei der Ermittlung der Ausgangsdaten. Der Rechenaufwand würde nur mit der Hilfe von grossen Elektronenrechnern zu bewältigen sein. Mit seiner Realisierung könnte vom Standpunkt der Reisenden betrachtet ein Idealfall in der Anordnung der Haltestellen geschaffen werden.

Soll der bestimmte Zustand kein Augenblicksoptimum darstellen, erfordern die fortwährenden Veränderungen des Verkehrsaufkommens ständige Korrekturrechnungen. Erfolgen diese nicht, verliert der Grundsatz seine Gültigkeit.

Eine praktische Anwendung erscheint unzweckmässig, da die Ergebnisse durch die örtlich gegebenen Bedingungen zu sehr verfälscht werden müssen.

Der Grundsatz 1 bietet bei einer systematischen Betrachtung des gesamten Verkehrsgebietes eine gute Annäherung an das Resultat einer Berechnung nach dem Grundsatz 2.

Die Anwendung des Grundsatzes 2 ermöglicht die optimale Anordnung aller Haltestellen im Streckennetz. Diese Optimierung wird gekennzeichnet durch das Minimum der Reisezeitsumme aller über eine bestimmte Zeiteinheit (z.B. Spitzenstunde des Berufsverkehrs) am öffentlichen Nahverkehr teilnehmenden Personen. Das hierfür erforderliche Verfahren kann im Rahmen dieser Arbeit nur angedeutet, aber nicht entwickelt werden. Die grosse Vielzahl der gleichzeitig

zu betrachtenden Beziehungen und die hohe Anzahl ihrer Verflechtungen führen zu sehr komplizierten und umfangreichen mathematischen Formulierungen, die hier nur angedeutet werden können. Die Aufgabe eines Mathematikers wird es sein, die dargelegten Gedanken zu erfassen und - wenn möglich - sie zu einer brauchbaren Lösung zu führen.

Die Grundlage des Verfahrens bildet eine gleichzeitige Betrachtung der Reisewege und der zuzuordnenden Zeitanteile aller Reisenden unter den Bedingungen sämtlicher möglicher Kombinationen der Haltestellenstandorte im bestehenden Streckennetz.

Die Anzahl der möglichen Haltestellenstandorte im Netz wird bestimmt von der Summe aller Strecken und der Grösse eines Segmentes, der kleinsten Einheit eines Streckenteiles, die wiederum von der geforderten Präzision des Verfahrens abhängig ist. Wird beispielsweise die Stationierung mit einer Genauigkeit von 1 m Streckenlänge erwogen, so muss die Länge des Segmentes die gleiche Grösse aufweisen. Die grösste zulässige Einheit könnte der nutzbaren Länge der eingesetzten Wagen bzw. Züge entsprechen. Eine Betrachtung der Strecke hinsichtlich der betrieblichen und verkehrlichen Bedingungen schränkt die Anzahl der möglichen Haltestellen wesentlich ein.

Für die entlang der Strecke angeordneten Segmente ist ein Verkehrsaufkommen zu bestimmen. Es ergibt sich aus der Zuordnung der Quellen und Senken und dem gewählten Reiseweg. Für jedes Segment können Zeitanteile des Gehens und des Fahrens entsprechend den bestehenden Bedingungen ermittelt werden. Hierbei ist es möglich, alle Störfaktoren und Widerstände zu berücksichtigen.

Zunächst werden die Segmente den bereits bestehenden Haltestellen zugeordnet. Daraus wird der parallel zur Strecke führende Gehweg in der ersten Annäherung bestimmt. Mit den später erfolgenden Korrekturen verändern sich diese Einzugsbereiche. Wird nun der Reiseweg eines Fahrgastes verfolgt, so summieren sich über die dabei belegten Segmente die Grundanteile der Reisezeit, die Gehzeiten, die reinen Fahrzeiten ohne Halt und die Zeitanteile des Umsteigens. Eine gleichzeitige Betrachtung aller Reisenden führt zu einer Addition sämtlicher auf die Streckenlänge bezogenen Zeiten.

Mit der Einrichtung einer Haltestelle wird das dadurch bestimmte Segment mit dem Zeitzuschlag an einer Haltestelle und der Zeit des Fahrgastwechsels für die Anzahl zuzuordnender Pendler belegt. Allen das Segment durchfahrenden Fahrgästen wird dieser Betrag voll, den ein- und aussteigenden Personen zur Hälfte als Zuschlag zu den Grundanteilen der Reisezeit hinzugerechnet.

Ausgehend von der Lage der bestehenden Haltestellen sind alle denkbaren Veränderungen und deren Auswirkungen auf die Reisezeitsumme zu betrachten. Mit einem Elektronenrechner sind die möglichen Kombinationen der Haltestellenstandorte zu berechnen. Hieraus ist der Optimalwert der Reisezeitsumme auszuwählen und danach kann die Festlegung aller im Netz befindlichen Haltestellen erfolgen.

5.4 Schlussfolgerungen

Die geraffte Darstellung analytischer Ansätze unterstreicht wohl zur Genüge, dass diese

- . alle etwa dieselbe Vorgehensweise zeigen,
- . entweder auf stark vereinfachenden Annahmen aufbauen oder dann einerseits den sehr hohen Aufwand für die Datenbeschaffung, andererseits die Wandelbarkeit optimaler Resultate mit der Zeit betonen,
- . auf verschiedenen Zielsetzungen bzw. Optimierungskriterien beruhen.

Damit ist einmal mehr die grosse Bedeutung quantifizierbarer Optimierungskriterien unterstrichen.

Zudem gilt weiterhin, dass analytische Ansätze nur eine Hilfe bei der Festlegung von Haltestellen sein können; und dass von einer "rein analytischen Haltestellenfestlegung" dringend abgeraten werden muss.

6. TEILEMPIRISCHE METHODEN FUER PRAKTISCHE PROBLEMSTELLUNGEN

6.1 Praktische Problemstellungen

Sowenig wie neue Städte rein nach umfassenden Optimierungskriterien (was immer das heissen mag!) geplant und erstellt werden, so wenig gehört die völlig unabhängige Neuplanung eines öV-Netzes zu den realistischen Problemstellungen. Dagegen stellen sich dem Praktiker aus Verkehrsunternehmung, Verwaltung und Ingenieurbüro immer wieder Fragen über Haltestellenfestlegungen, zu deren Beantwortung teilempirische Ansätze zumindest wertvolle Hinweise liefern können. Als stets wiederkehrende Aufgaben der Praxis werden nachfolgend kurz angesprochen:

Fall	Gegeben	Frage	Ziffer
a	Strecke/Linie Einzugsgebiet 2 benachbarte Haltestellen	Zwischenhaltestelle sinnvoll?	6.2
b	Strecke/Linie Einzugsgebiet 3 benachbarte Haltestellen	Zwischenhaltestelle aufheben?	6.2
c	Strecke/Linie Einzugsgebiet 2 Fixpunkte (Knotenhaltestellen)	Anzahl Zwischenhaltestellen?	6.3
d	Strecke/Linie Einzugsgebiet	Anzahl Verteilung und Festlegung der Haltestellen?	6.4
e	Einzugsgebiet	Haltestellendichte?	6.5

Abb. 45

Als allgemeine Hinweise sind bei allen aufgeführten Aufgabenstellungen zu beachten:

- Es sind stets Optimierungskriterien festzulegen. Im Vordergrund steht auch hier die Minimierung der Gesamtreisezeit der Gesamtheit der Fahrgäste. Diese Gesamtheit der Fahrgäste bleibt durch

Massnahmen an den Haltestellen meistens nicht konstant. Methoden, die die Fahrgastzahlen explizite verwenden bzw. Optimierungskriterien, die die Menge der Fahrgäste enthalten, führen sofort zu einer sehr starken Aufblähung des Arbeitsaufwandes.

- Die Breite des Einzugsgebietes beeinflusst bekanntlich die optimalen Haltestellenabstände. Dies führt zu oft unschöner Abhängigkeit, wie folgendes Beispiel zeigt: Auf einer vorgegebenen Linie verkürzt die Einführung einer Parallellinie zufolge Verkleinerung der Breite des Einzugsgebietes die durchschnittlichen Anmarschwege. Die Folge ist eine Verkleinerung des optimalen Haltestellenabstandes, eine Erhöhung der Fahrgastzahl (Ermittlung zum Beispiel nach Lit. (11)) sowie hinsichtlich Beförderungsgeschwindigkeit eine Verschlechterung. Die ganze Betrachtungsweise ist in dieser Form jedoch nur zulässig, falls die neue Parallellinie bezüglich Relationenangebot und zeitlicher Verfügbarkeit (Kursfolgezeit) Gleichwertiges anbietet wie die betrachtete Linie (vgl. auch einleitende Bemerkungen zu Ziffer 6.5).
- Ausschlaggebend für die genaue Haltestellenplatzierung muss deren Lage im Fusswegnetz bleiben. Daran sollen weder theoretische Abstandsberechnungen noch verkehrstechnische Rücksichten etwas ändern. Es ist daran zu erinnern, dass für Umwege (Abweichungen von der Luftlinie sowie Höhenunterschiede) mit einem pauschalen Umwegfaktor f_u von 1.25 gerechnet wird. Bei ungünstiger Haltestellenlage bezüglich der Fusswege ist f_u höher anzusetzen und am konkreten Anwendungsfall zu verifizieren.

6.2 Einfügung neuer Zwischenhaltestellen bzw. Haltestellenaufhebungen

Die nachstehend geschilderte Methodik stützt sich auf Lit. (16) und die seitherigen Weiterentwicklungen ab. (Vgl. auch Ziffer 5.22). Für andere, mathematische Optimierungsansätze gilt sie sinngemäss.

Das Verfahren soll an einem einfachen Beispiel erläutert werden:

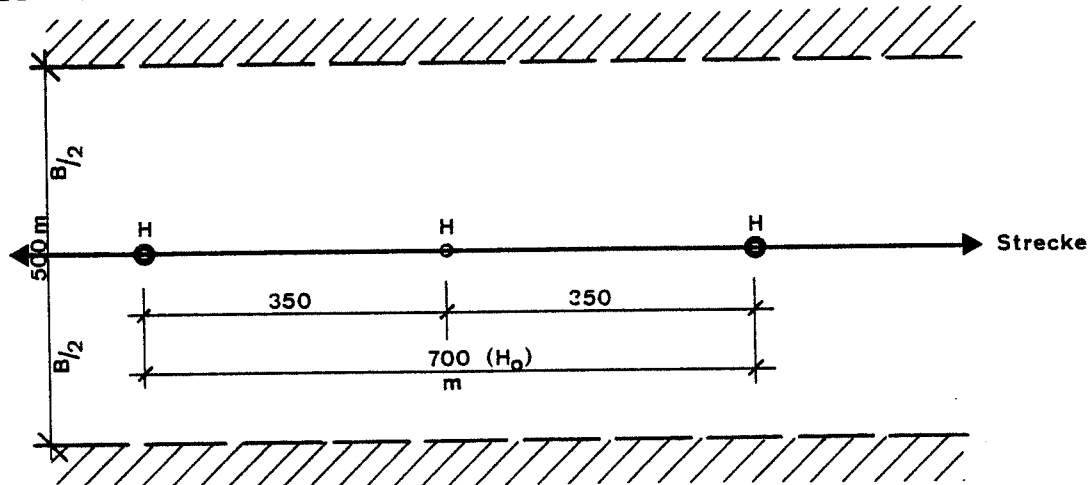


Abb. 46

Auf einer geraden Strecke mit symmetrischer Belastungsverteilung auf die beiden Fahrrichtungen und symmetrischem Einzugsbereich konstanter Breite von 500 m liegen zwei unveränderbare Haltestellen im Abstand von 700 m. Frage: Soll in der Abschnittsmitte eine neue Haltestelle eingeführt bzw. ein bestehender Haltepunkt aufgehoben werden?

Es liegt nahe, dazu vorerst die Formel aus Ziffer 5.22 heranzuziehen:

$$H_{\text{opt}} = + \sqrt{\frac{R_f \cdot \left(\frac{v_{\text{max}}^*}{b^*} + T \right) \cdot v_{\text{Fg}}}{f_u \cdot f_s \cdot f_d \cdot A}} \quad (1)$$

In unserem Beispiel können als Konstante gelten:

$$\begin{aligned} v_{\text{max}}^* &= 30 \text{ km/h} = 8.33 \text{ m/sec} \\ v_{\text{Fg}} &= 5 \text{ km/h} = 1.4 \text{ m/sec} \\ b^* &= 1 \text{ m/sec}^2 \\ f_u &= 1.25 \\ f_s &= 1 \quad (\text{keine Umsteiger an der Zwischenhaltestelle}) \end{aligned}$$

Die Variablen sind wie folgt zu beurteilen:

f_d kann nur zwischen 0 (nur Durchgangsverkehr bezüglich der Zwischenhaltestelle) und 1 (alles Ziel-/Quellverkehr der Zwischenhaltestelle) variieren, da Binnenverkehr ausgeschlossen ist. f_d , d.h. der Anteil des Ziel-/Quellverkehrs wird zur Hauptvariablen der vorliegenden Aufgabenstellung! Sie muss im konkreten Anwendungsfall erhoben oder geschätzt werden.

R_f die massgebende Fahrtlänge ist abhängig von f_d und der Konstanten H_0 .
Mit Zwischenhaltestelle erhalten deren Benützer ein R_f von 350 m, alle übrigen Fahrgäste (Durchgangsverkehr) von 700 m. Ohne Zwischenhaltestelle müssen deren potentielle Benützer zu den Randhaltestellen zu Fuss gehen. Da die Haltestelle in Zielrichtung bevorzugt wird, resultiert für den Ziel-/Quellverkehr in diesem Fall ein R_f' von

$$\frac{v_{\text{max}}^* - v_{\text{Fg}}}{2v_{\text{max}}^*} \cdot H_0 = 0.416 H_0 \quad (2)$$

Damit ergeben sich für R_f

. mit Zwischenhaltestelle

$$R_{fm} = (1-f_d) \cdot H_o + f_d \cdot \frac{H_o}{2} \quad (3)$$

. ohne Zwischenhaltestelle

$$R_{fo} = (1-f_d) H_o + f_d \cdot 0.416 H_o \quad (4)$$

(Die Umformungen der Formeln werden hier weggelassen!)

In unserem Beispiel ergibt sich für R_f als $f(f_b)$:

f_b	R_{fm} (m)	R_{fo} (m)
0.1	665	658
0.2	630	616
0.3	595	574
0.4	560	532
0.5	525	490
0.6	490	448
0.7	455	406

Abb. 47

A ist bei der als konstant angenommenen Breite des Einzugsbereiches abhängig von H. Da A nicht explizite als $f(H)$ ausgedrückt werden kann, sind Iterationen erforderlich.

Die Anwendung der Formel (1) erweist sich bei der vorliegenden Aufgabe als sehr ineffizient, da sie optimale Haltestellenabstände in Funktion verschiedener Variablen angibt, obwohl wir nur zwischen zwei möglichen Abständen (700 bzw. 350 m) auswählen sollen.

Die Formel liefert denn auch mit beträchtlichem Rechenaufwand und mehreren Iterationsdurchläufen eine Kurve H_{opt} als $f(f_b)$;

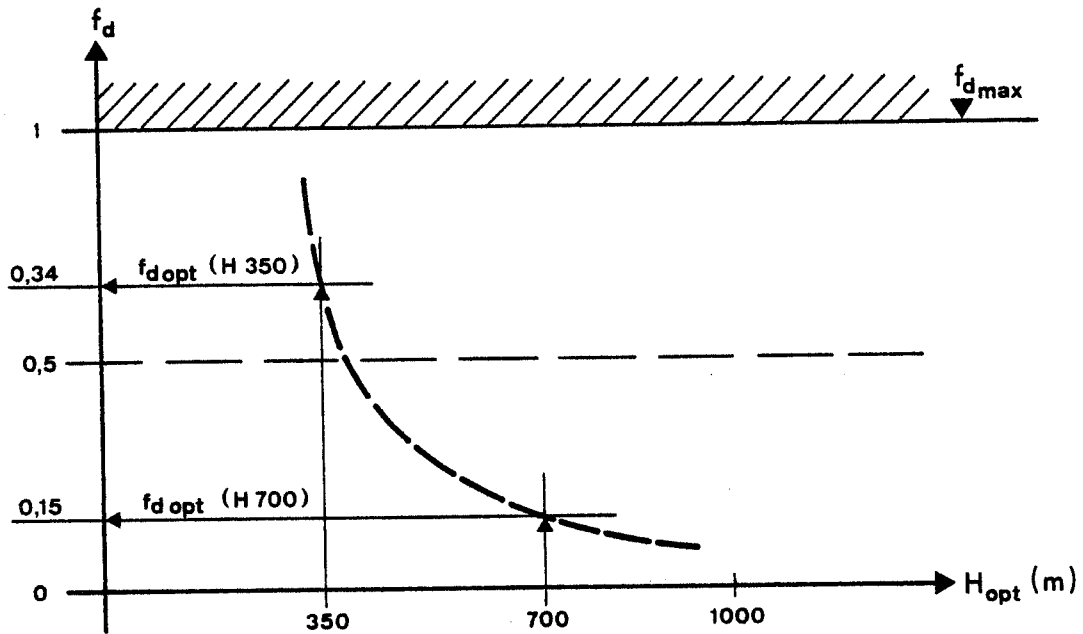


Abb. 48

gilt nur für die Aufgabenstellung gemäss Ziffer 6.2 und das verwendete Zahlenbeispiel!

Aus dieser Kurve kann abgelesen werden, dass $H_{opt} = 700$ m optimal liegt bei einem Ziel-/Quellverkehrsanteil von 15%, der Abstand von 350 m nach Einbau einer Zwischenhaltestelle bei einem Anteil von ca. 34% ($f_b = 0.34$). Die gestellte Aufgabe ist damit nicht gelöst!

Nun sei daran erinnert, dass die Optimierungsformel (1) die 1. Ableitung der "massgebenden Reisezeit" darstellt, welche uns der Lösung unserer Aufgabe näherbringt:

$$Z_m = \underbrace{f_u \cdot f_s \cdot f_d \cdot \frac{A \cdot H}{V_{Fg}}}_{\text{An-/Abmarschzeit}} + \underbrace{R_f \frac{H + \frac{v_{max}^2}{b^*} + T \cdot v_{max}^*}{H \cdot v_{max}^*}}_{\text{Fahrzeit}} \quad (5)$$

Wegen der Aussagekraft der Fussweg- und Fahrzeiten seien die Resultate vorerst tabellarisch festgehalten:

f_d	mit Zw.haltestelle			ohne Zw.haltestelle		
	Fuss- wege	Fahrt	Z	Fuss- wege	Fahrt	Z
0.1	5	123	128	13	101	114
0.2	10	117	127	26	94	120
0.3	15	110	125	39	88	127
0.4	20	104	124	53	81	134
0.5	25	97	122	66	75	141
0.6	30	91	121	79	69	148
0.7	35	85	120	92	62	154

Abb. 49

(Die Zeitanteile sind als Durchschnittswerte, bezogen auf die Gesamtheit aller Fahrgäste, aufzufassen).

Die graphische Auswertung ergibt folgendes Bild (Abb. 50).

In dieser Abbildung wird zugleich nochmals die Bedeutung klarer Zielvorgaben zum Ausdruck gebracht. Wird die Strecke ausschliesslich im Zielbereich "Mobilitätsvorsorge" (vgl. Abb. 24) betrieben und damit vorwiegend von Älteren und Behinderten benützt, liegt die Annahme von $v_{fg} = 1.4 \text{ m/sec}$ mit Sicherheit zu hoch. Das Beispiel wurde deshalb nochmals mit $v_{fg} = 0.8 \text{ m/sec}$ durchgerechnet.

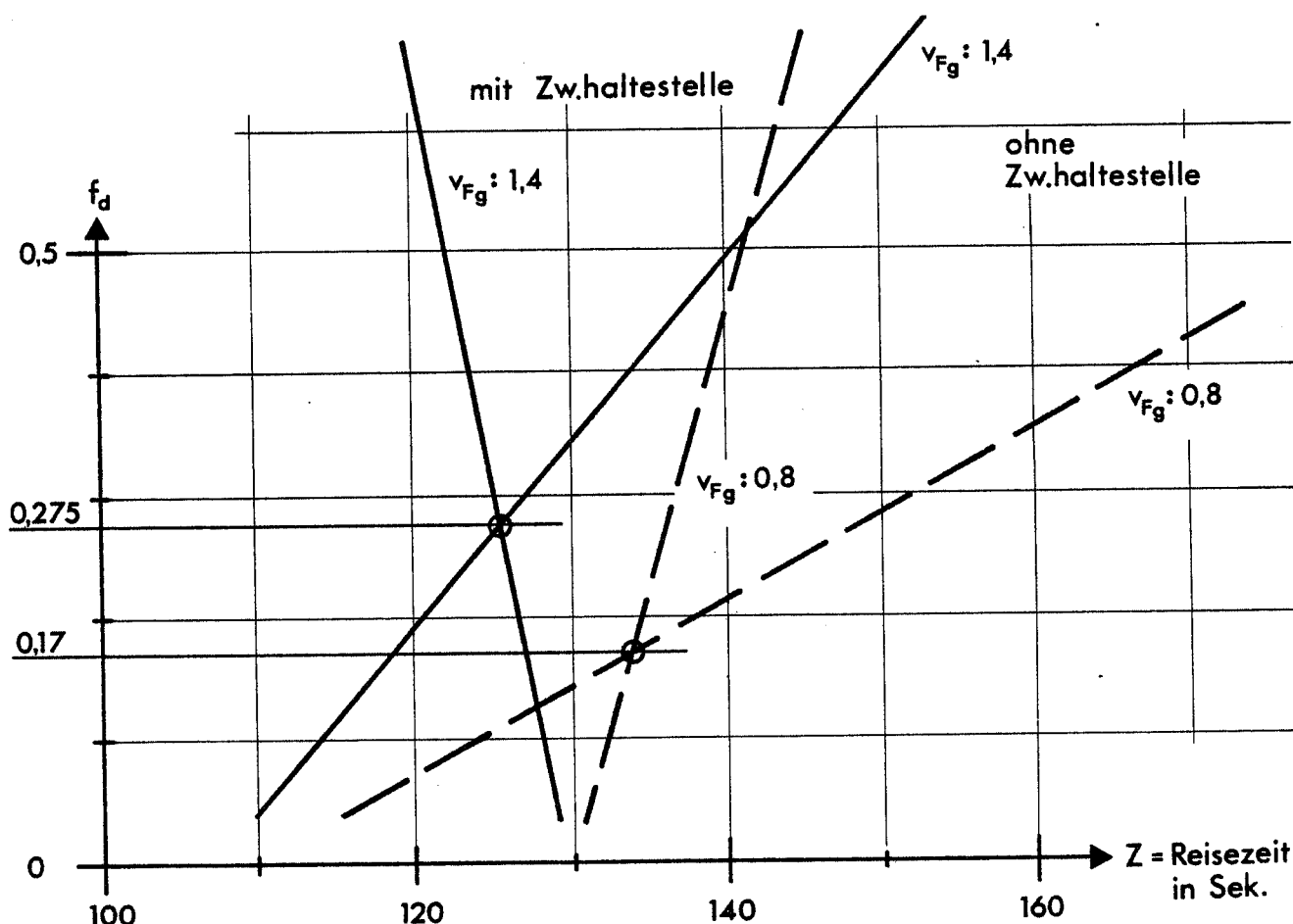


Abb. 50

gilt nur für die Aufgabenstellung gemäss Ziffer 6.2 und das verwendete Zahlenbeispiel!

Jetzt ist die gestellte Frage klar beantwortet:
Im Zahlenbeispiel ist die Zwischenhaltestelle dann zu empfehlen, wenn der Ziel-/Quellverkehrsanteil mindestens 27.5% beträgt. Bei $v_{Fg} = 0.8$ m/sec schlagen die Fusswege stärker zu Buch; die Zwischenhaltestelle empfiehlt sich bereits ab einem Ziel-/Quellverkehrsanteil von 17%; - stets unter dem Optimierungskriterium der minimalen Gesamtreisezeit der Gesamtheit aller Fahrgäste!

Selbstverständlich hätte das Resultat auch einfacher durch die Kurven $Z = f(f_d)$ gefunden werden können.

Für dasselbe Zahlenbeispiel mit $v_{Fg} = 1.4$ m/sec

. mit Zwischenhaltestelle

$$Z_m = 49.35 f_d + 130.2 \quad (6)$$

. ohne Zwischenhaltestelle

$$Z_o = 130.57 f_d + 107.8 \quad (7)$$

. Gesuchter Wert = Schnittpunkt der beiden Geraden:

$$45.35 f_d + 130.2 = 130.57 f_d + 107.8 \quad (8)$$

$$f_d = 0.275$$

=====

Das Resultat entspricht dem entsprechenden Punkt in Abb. 50. Damit sind die Fälle a und b gemäss Abb. 45 mit wenig Aufwand und eindeutigem Ergebnis gelöst.

6.3 Haltestellen zwischen Fixpunkten bei gegebener Linienführung

Hier geht es um in der Linienführung vorgegebene, grössere Streckenabschnitte mit unveränderlichen Begrenzungspunkten. Gefragt wird nach der optimalen Anzahl Zwischenhaltestellen bei gegebener Breite des Einzugsgebietes und unveränderlicher Nachfragestruktur.

Auch diese Aufgabe soll anhand eines Beispiels gelöst werden, wobei als Gegensatz zur Ziffer 6.2 der Endabschnitt einer Radiallinie mit extrem asymmetrischer Nachfrage und Zubringerlinien gewählt wird. Die Zwischenhaltestellen sollen im Rahmen einer Grobplanung festgelegt sein; es geht somit um die Frage, ob die Planungsannahmen richtig waren.

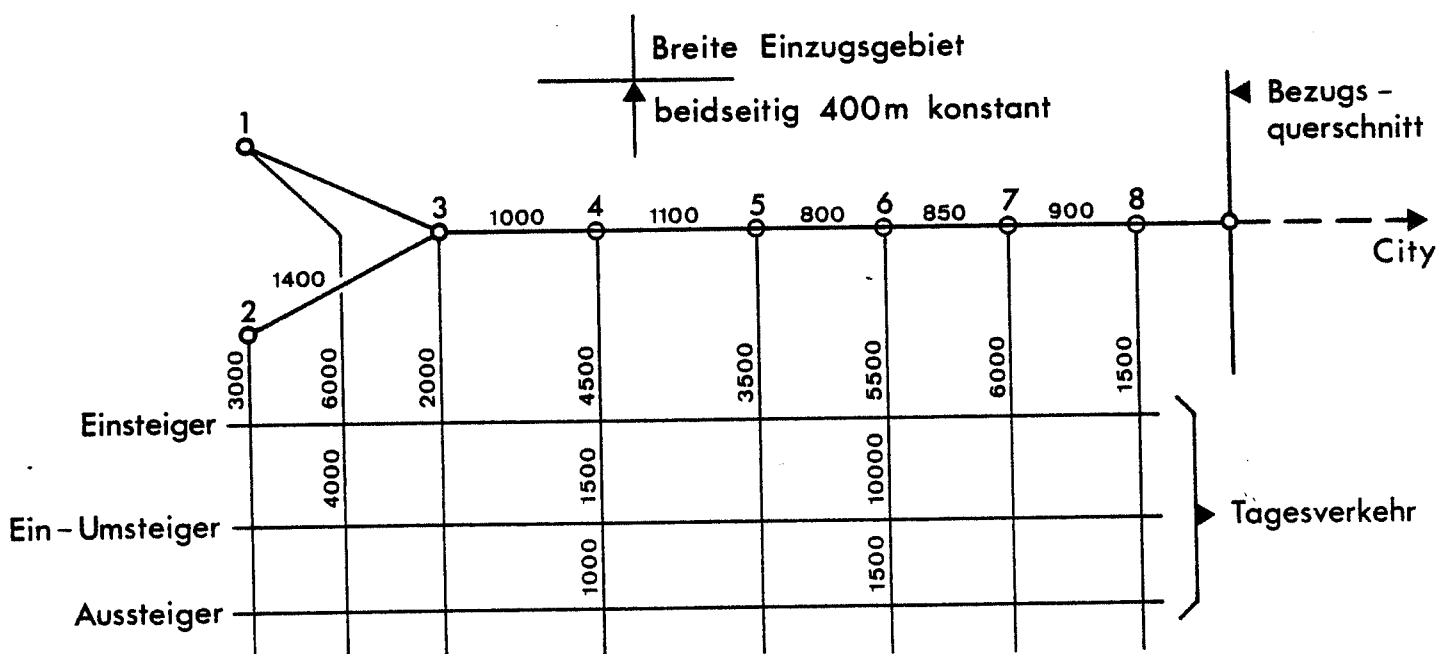


Abb. 51

Verwendet werden soll wiederum die Optimierungsformel (1) aus Ziffer 6.2:

$$H_{\text{opt}} = + \sqrt{\frac{R_f \cdot \left(\frac{v_{\text{max}}^*}{b^*} + T \right) \cdot v_{\text{Fg}}}{f_u \cdot f_s \cdot f_d \cdot A}}$$

Da es sich bei der vorliegenden Standardaufgabe um die Bestimmung der optimalen Anzahl Zwischenhaltestellen handelt, scheint die Formel angemessen.

Für unser Beispiel als Konstante gelten:

$$\begin{aligned} v_{\text{max}}^* &= 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/sec} \\ b^* &= 1 \text{ m/sec}^2 \\ T &= 20 \text{ sec} \\ v_{\text{Fg}} &= 5 \text{ km/h} = 1.4 \text{ m/sec} \\ f_u &= 1.25 \end{aligned}$$

f_s : Nachdem Umsteiger auftreten, ist f_s zu berechnen:

Halte- stelle	Halteste- abstand	Distanz zum Bezugsquer- schnitt	Ein- steiger	Um- steiger	Aus- steiger
1	1200 ¹⁾	6550	3000	4000	-
2	1400	6750	6000	-	-
3	1000	5350	2000	-	-
4	1100	4350	4500	1500	1000
5	800	3250	3500	-	-
6	850	2450	5500	10000	1500
7	900	1600	6000	-	-
8	700	700	1500	-	-
BQ			-	-	-
Ø	987	Total	32000	15500	2500

1) zu Hst. 3

$$f_s = \frac{32}{32 + 15.5} = 0.675$$

f_d : Durchgangsverkehr existiert nicht;
 Ziel-/Quellverkehr 45'000
 Binnenverkehr 2'500

$$f_d = \frac{45'000 + 2 \cdot 2'500}{47'500} = 1.05$$

R_f muss aus den Distanzen und den Nachfragemengen bestimmt werden, wobei eine Zuordnung der Ein- zu den Aussteigern (Relationen) weder aus den Angaben möglich noch von der Methode nötig ist.

Halte- stelle	Total Einsteiger Person	Reise- länge m	Personenkilometer 10^6 Pers/km	
1	7000	6550	45.8	
2	6000	6750	40.5	
3	2000	5350	10.7	
4	6000	4350	26.1	-4.4
4	-1000			
5	3500	3250	11.4	
6	15500	2450	38.0	-3.7
6	-1500			
7	6000	1600	9.6	
8	1500	700	1.0	
Total	47500	-	183.1	-8.1
			175	

Abb. 53

$$R_f = \frac{175 \cdot 10^6}{47.5 \cdot 10^3} = 3690 \text{ m}$$

A : Als Ausgangspunkt wird die vorgesehene Anzahl Zwischenhaltestellen als optimal angenommen und mit dem durchschnittlichen Haltestellenabstand gem. Abb. 52 gerechnet

$$\frac{B}{H} = \frac{800}{987} = 0.81$$

Aus Ziffer 5.22 ergibt sich

$$\begin{aligned} A &= 0.21 \\ H_{\text{opt}} &= + \sqrt{\frac{3690 \cdot \left(\frac{15}{1} + 20 \right) \cdot 1.4}{1.25 \cdot 0.674 \cdot 1.05 \cdot 0.21}} \\ &= \sqrt{\frac{180'800}{0.186}} = 971 \text{ m} = H_{\text{opt}} \\ &\quad \text{=====} \end{aligned}$$

Optimale Anzahl Zwischenstationen

$$\frac{6550 + 6750}{2} \cdot \frac{1}{971} = 6.84 - 1^{1)} = 5.84$$

====

1) Abzug mit Rücksicht auf die Verzweigung im letzten Teilstück!

Vorhandene Anzahl Zwischenstationen gemäss Abb. 51: 6

Resultat: Die Annahme von 6 Zwischenstationen erweist sich als richtig!

Bei Nichtübereinstimmung wäre allenfalls die Rechnung mit der angepassten Anzahl Zwischenhaltepunkte zu wiederholen, wobei die Nachfrage neu zu schätzen und R_f und A neu zu berechnen sind.

Das geschilderte Verfahren liefert keine Angaben über die Haltestellenverteilung (vgl. Kapitel 7).

6.4 Haltestellenfestlegung bei gegebener Linienführung

Die Haltestellenfestlegung ganzer Linien kann grundsätzlich nach derselben Methode gerechnet werden wie die Aufgaben a-c, wobei wiederum nur optimale Durchschnittsabstände und keine Verteilungen resultieren.

Wenn anschliessend eine andere, ebenfalls im Rahmen der SVI-Arbeitsgruppe 6 entwickelte Vorgehensweise vorgestellt wird, dann

nur nach einigen Bemerkungen zur Aufgabenstellung selbst:

Von all den in Kapitel 6 diskutierten Aufgaben hat die an dieser Stelle behandelte am ehesten akademischen Charakter! Es dürfte zu den grossen Ausnahmen gehören, die Zwischenhaltestellen ganzer Linien oder auch nur grosser Linienabschnitte frei wählen zu können, ohne vorgegebene Zwangspunkte wie Umsteigestellen, Quartierschwerpunkte etc. berücksichtigen zu müssen. Im letzteren Fall jedoch reduziert sich die Aufgabe auf die Problemstellung gemäss Ziffer 6.3!

Die nachstehend geschilderte Methode stützt sich ab auf Lit. (18); wo auch ein konkretes Beispiel aus Lausanne durchgespielt wurde.

Arbeitsschritte:

1. Abgrenzung des Einflussbereiches des öffentlichen Verkehrsmittels, welche dem Untersuchungsgebiet entspricht.
2. Koordinatenmässige Einteilung des Untersuchungsgebietes in quadratische Flächen zu 100/100 m (ha).
3. Bestimmung der Flächenbevölkerung
4. Bestimmung des Bevölkerungsschwerpunktes der Teilflächen.
5. Grobe Bestimmung einer Anzahl Haltestellen und deren Lage nach dem Gesichtspunkt der günstigsten Erreichbarkeit.
6. Festlegen der in Frage kommenden Fussgängerachse als Zubringer zur Haltestelle.
7. Ermittlung der Distanz und des mittleren Gefälles des Anmarschweges und somit der Anmarschzeit (Teilflächen den Haltestellen zugeordnet).
8. Bestimmung der mittleren täglichen Personenfahrten pro Teilflächenbevölkerung im Sinne der Attraktivität des öffentlichen Verkehrsmittels.
9. Die Haltezeit an den Haltestellen wird entsprechend dem Anfall der ein- resp. aussteigenden Personen über die 10 Min.-Spitze gerechnet.
Die Fahrstrecke ist bekannt und es lassen sich an Hand der angenommenen durchschnittlichen Geschwindigkeit die Fahrzeit errechnen.
10. Die Summe von Anmarsch-, Halte-, und Fahrzeit der Personenfahrten, addiert über das gesamte Untersuchungsgebiet, wird festgehalten.
11. Wiederholung der Untersuchung mit anderen Annahmen (mehr oder weniger Haltestellen, ev. Standortsänderung derselben).
12. Gegenüberstellung der Varianten, Auswertung der Resultate.

Mögliche Annahmen für die Rechnung:

In Annahme der Kenntnis der massgebenden Faktoren, wurden die Studien vereinfacht durchgeführt.

So wurde beispielsweise die Funktion Tagesbelastung als Quotient der Teilflächenbevölkerung in Abhängigkeit von der Distanz zur Haltestelle nur in Form einer Kurve dargestellt. Sicher ist die Entfernung der Haltestelle vom Fahrtziel resp. dem Stadtzentrum eine beeinflussende Grösse. Eine Kurvenschar würde bessere Auskunft geben.

Es wurden die Wartezeiten an den Haltestellen je nach Belastung in 3 Stufen eingeteilt: Es sind dies "klein" zu 15 sec, "mittel" zu 25 sec und "gross" zu 40 sec. Natürlich sind die Aufenthaltszeiten fliegend und richten sich nach der Anzahl ein- und aussteigender Personen, ebenso nach der Anzahl Türen.

Es ist klar, dass die Wartezeit T besser mit einer Kurve erfasst werden können.

Schliesslich wurde angenommen, dass sämtliche Fahrgäste das gleiche Ziel, nämlich möglichst schnell ins Stadtzentrum zu gelangen, anstreben.

Natürlich richtet sich das Fahrziel nach der Attraktivität der jeweiligen Haltestelle. Die Methode lässt sich aber sehr gut bei dem Fall anwenden, wo sich die Ziele auf die verschiedenen Haltestellen verteilen.

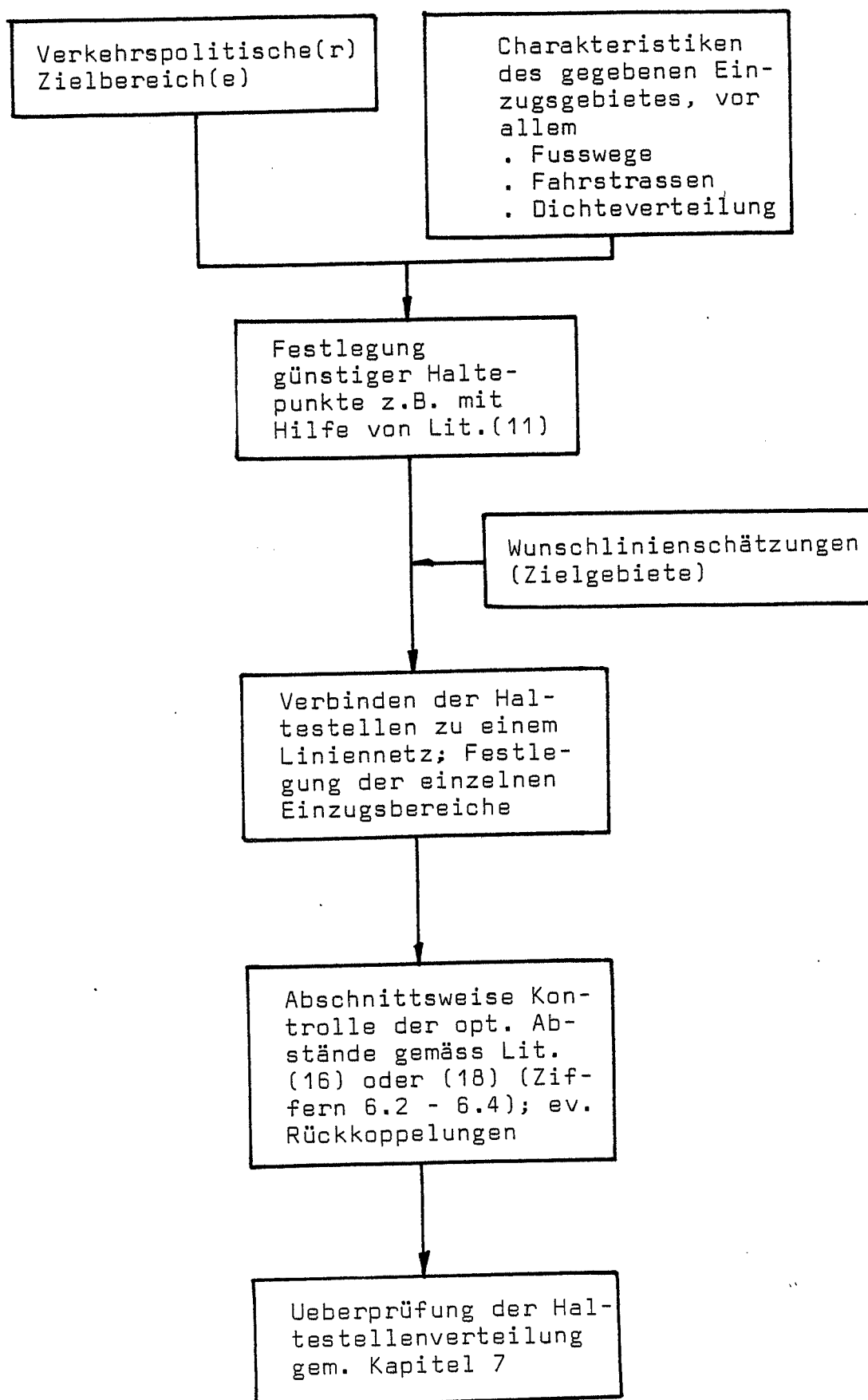
Diese Methode lässt sich leicht für echte Fälle anwenden. Wenn mit elektronischen Rechnern gearbeitet wird, bekommt man ohne Schwierigkeit die Anzahl Haltestellen und deren Lage, die das Minimum an Zeitaufwand für die Passagiere verlangt. Diese Methode gibt gleichzeitig die Belastung der Linie, was sehr wertvoll ist für die Betriebsauslegung.

Der hier wiedergegebene Beschrieb soll zugleich zeigen, wie solche teilempirische Ansätze sehr gut nach möglichem Aufwand, erhältlichen Daten und erforderlicher Aussagekraft modifiziert und verfeinert werden können.

6.5 Haltestellendichte bei gegebenem Einzugsgebiet

Diese Aufgabenstellung kann in Neubaugebieten und im Zusammenhang mit dem verkehrspolitischen Zielbereich "Mobilitätssvorsorge" erhöhte Bedeutung erhalten.

Hier drängt sich ein grundsätzlich anderes Vorgehen auf als bei den bisher diskutierten Aufgaben. Empfohlen wird folgender Ablauf:



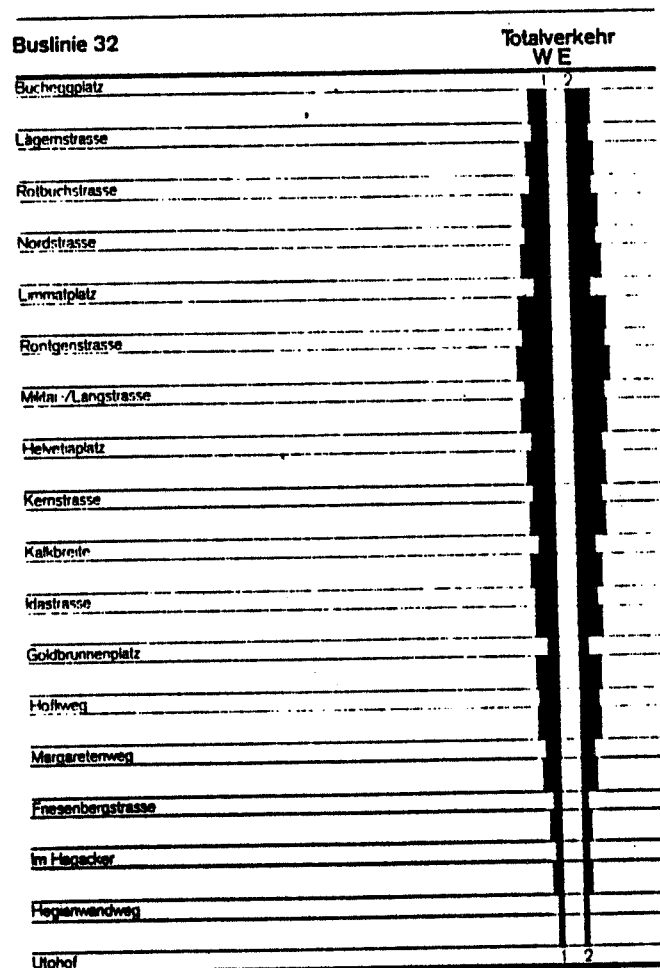
Für verschiedene Bereiche dieses Ablaufes existieren Optimierungsprogramme für Computerberechnungen. Allerdings bauen alle auf vereinfachenden und auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogenen Annahmen auf. Die SVI-Arbeitsgruppe 6 vertritt die Meinung, dass ein teilempirisches Vorgehen durch mit den Öertlichkeiten und der Betriebsauslegung öffentlicher Verkehrsmittel vertraute Fachleute durchaus brauchbare Resultate zu liefern vermag.

7. HALTESTELLENVERTEILUNGEN

In diesem Kapitel sollen qualitative Ueberlegungen und Anleitungen zur Verteilung der Haltestellen entlang einer gegebenen Linie vermittelt werden. Qualitativ deshalb, weil einerseits analytische Ansätze sofort zu sehr aufwendigen Verfahren führen und andererseits noch vermehrt gegebene Randbedingungen (z.B. Fusswegnetz) die Einhaltung genauer Werte verunmöglicht!

Ausgangspunkt der Betrachtung bilden

- die anzustrebenden, durchschnittlichen Haltestellenabstände; abschnittsweise oder über die ganze Linie ermittelt mit Hilfe von Verfahren wie in Kapitel 5 und 6 beschrieben.
- der Nachfrageverlauf auf der Linie, differenziert nach Haltestellen und dort je nach Ein-/Aussteigern und Durchfahrern. Bei der Ueberprüfung bestehender Linien kann auf Verkehrserhebungen abgestellt werden; für neue Linien sind die Werte zu berechnen, bzw. zu schätzen. Ideal ist die Darstellung der Nachfrage-Ausgangsdaten wie folgt:



1 cm entspricht 10'000 Personen

Hinweg	Rückweg
1	2
Belastung der Strecke	Durchfahrende
3	4
Einsteiger	Aussteiger
5	6

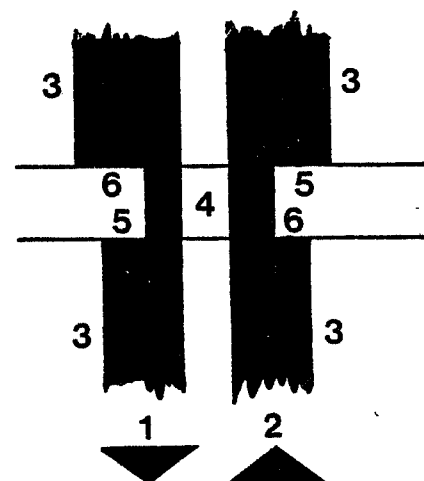


Abb. 55 (Lit. (20))

Ein allgemeines Beispiel, das den Gedankengang bei der Modifizierung der Haltestellenverteilung zeigt, liefert die Abb. 56.

Ausschlaggebend ist die Nachfragemenge pro Laufmeter Strecke (Ein-/Aussteiger) sowie das Verhältnis Durchfahrer zu Ein-/Aussteiger. Umsteiger sind in dieser Betrachtung den Durchfahrern gleichzusetzen.

Allgemeines Beispiel

Linien-/Nachfragedaten
(tagesverkehrt)

Ein-/Aussteiger

1500 500 250 1950 3000 3500 500

Durchfahrer
(Umsteiger)

0 1500 2000 2250 3000 1500 (1000)

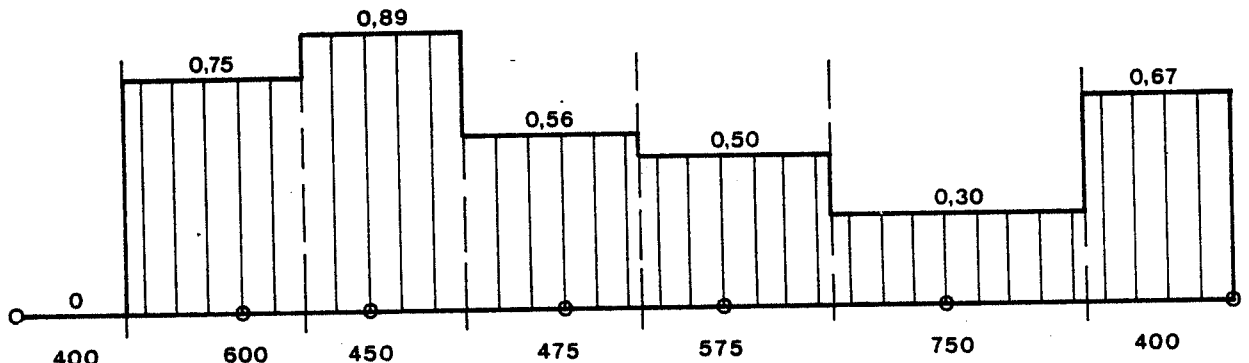
Hst.abstand (m)

800 400 500 450 700 900

Anteil
Durchfahrer und
Umsteiger

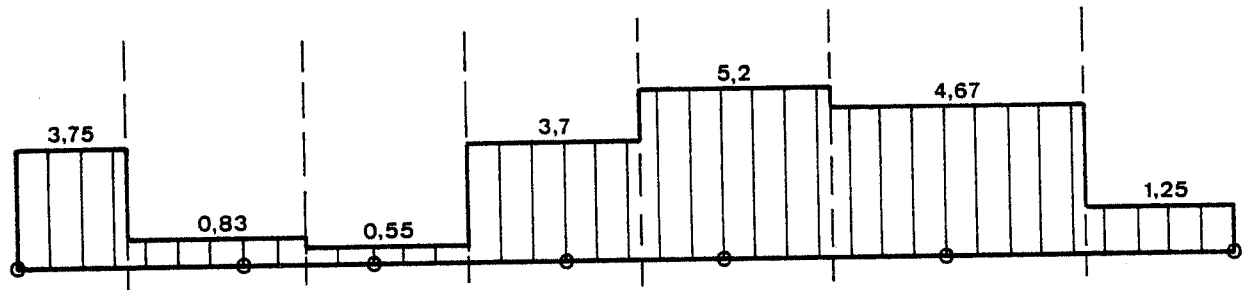
①

Hst.einzugs-
bereich m



Ein- + Aussteiger
pro m' Strecke

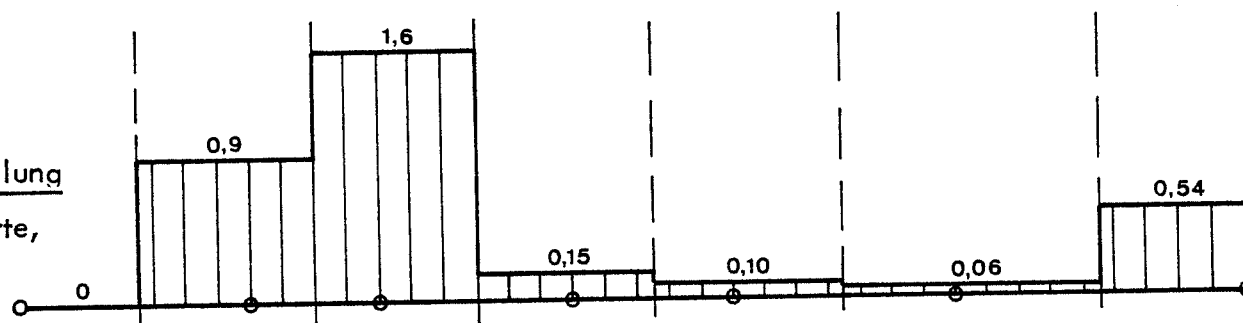
②



③ = ① : ②

Mass für die
Haltestellenverteilung

(Je höher die Werte,
desto grösser die
Abstände)



Abstand
↑
Haltestellen-
verteilung
qualitativ

Modifizierte Abstandsverteilung gem.

Optimaler Durchschnitts-
abstand gem. Kap. 5/6

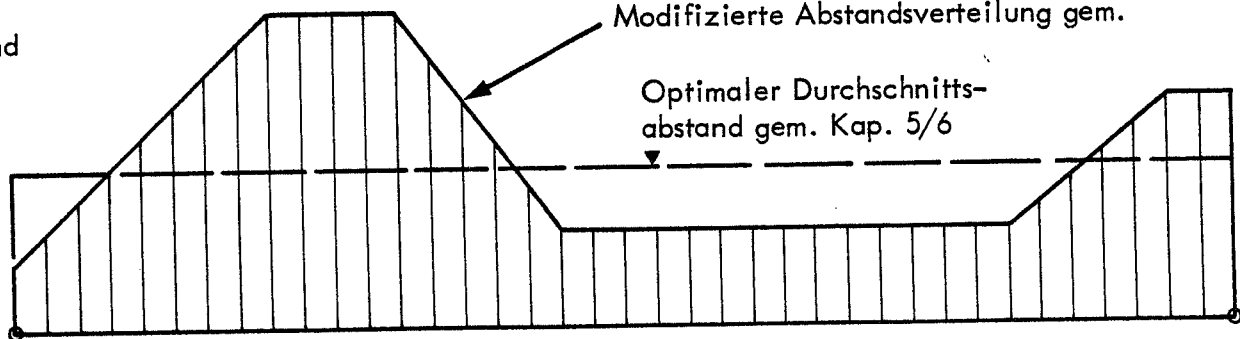


Abb. 56

Generell gilt:

- . Je grösser die Nachfragedichte (Ein-/Aussteiger), desto höher die Haltestellendichte, d.h. desto kleiner die Abstände;
- . je höher der Durchfarer-(Umsteiger-) anteil, desto höher die Abstände.

Nachfolgend werden einige Linientypen charakterisiert!

7.1 Radiallinie

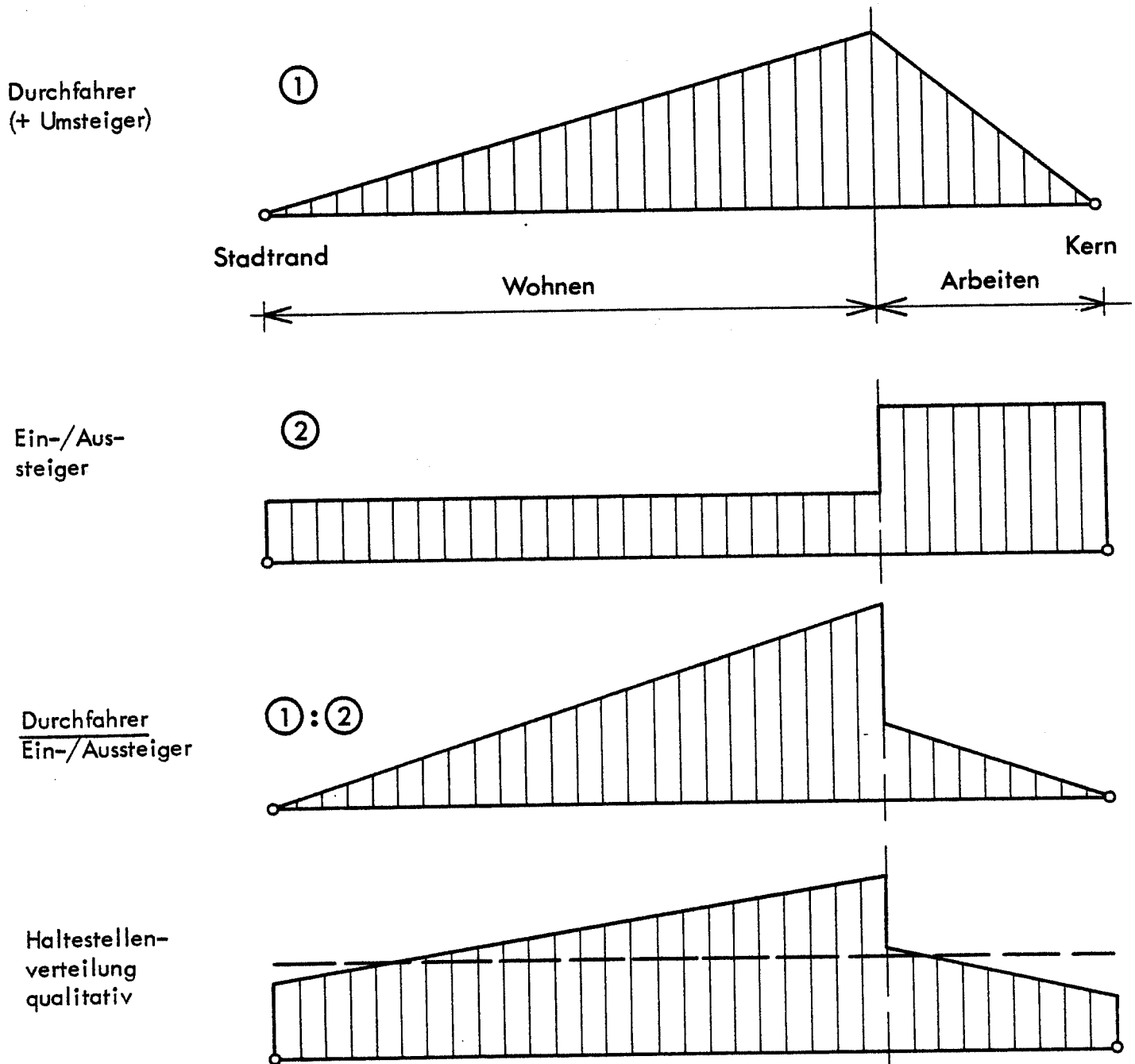
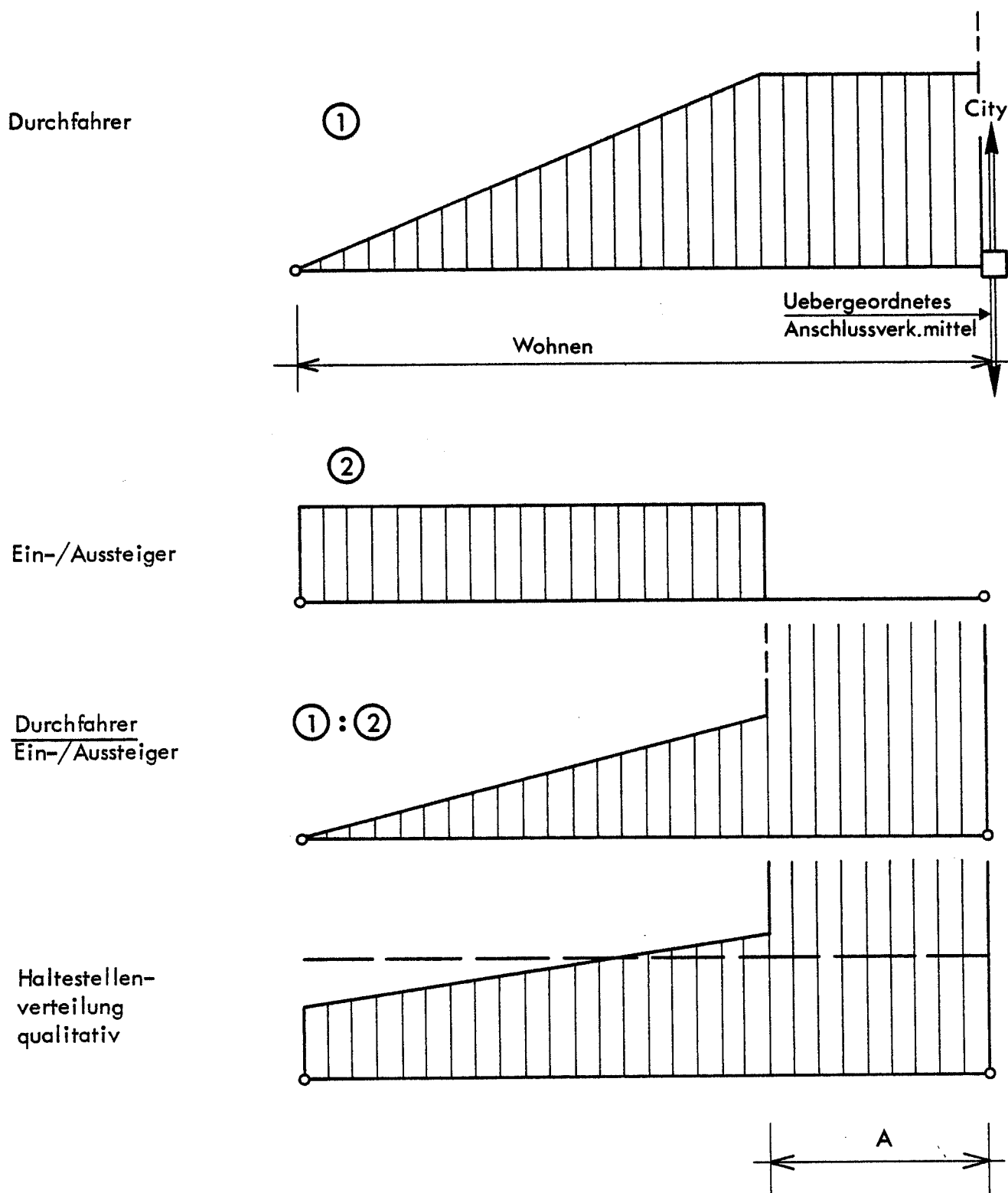


Abb. 57

Die typische Durchmesserlinie ergibt sich durch Anstossen bzw. Ueberlagerung zweier Radiallinien im Kernbereich.
Im konkreten Anwendungsfall sind die Durchfahrer - bzw. Ein-/Aussteigeranteile gem. Abb. 55/56 zu erheben.

7.2 Zubringerlinie



Bei reinen Zubringerlinien sind sämtliche Ein-/Aussteiger Umsteiger im Anschlusspunkt.

Der Bereich A entspricht demjenigen Abschnitt der Zubringerlinie, in dem sich deren Benützung mit Anmarsch-, Warte- und Umsteigezeit gegenüber dem Fussmarsch zum Anschlusspunkt nicht mehr lohnt.

Die Länge von A ist u.a. auch vom Fahrplan bzw. der Fahrplankoordination der beiden beteiligten Verkehrsmittel abhängig und damit kurzfristig wandelbar.

Bei reinen Zubringerlinien sollen innerhalb der Grenzen des Bereiches A keine Haltestellen liegen. Hier taucht jedoch ein echter Zielkonflikt auf, indem am Anschlusspunkt meist Aktivitätsschwerpunkte zumindest mit Läden des Tagesbedarfes entstehen, die auch den nicht umsteigenden Anwohnern der durch die Zubringerlinie erschlossenen Gebiete dienen. Für die Einkaufs-Kurzstreckenfahrer entsteht häufig der Ruf nach kurzen Haltestellenabständen im Bereich A, was die Umsteiger auf das übergeordnete Anschlussverkehrsmittel benachteiligt.

7.3 Tangentiallinie

Tangentiallinien zeichnen sich durch stark schwankende Durchfahrer- und Ein-/Aussteigeranteile aus. Dementsprechend ist eine typische Haltestellenverteilung nicht gegeben; das fallspezifische Vorgehen ergibt sich aus Abb. 56.

Zudem weisen die Tangential- (und Ring-)linien häufig zahlreiche Anschlusspunkte an Radial- und Durchmesserlinien auf, was die Anordnung "optimaler Haltestellenverteilungen" oftmals illusorisch werden lässt.

8. ANLEITUNGEN FÜR DIE PRAXIS

8.1 Richtwerte für Haltestellenabstände

- Aus dem 1. Zwischenbericht bzw. der sehr breit angelegten Umfrage ergaben sich vorhandene Durchschnittswerte (1966):

	Beförderungsgeschwindigkeit (km/h)	Haltestellenabstand (m)
Tram		
Durchschnitt	17.9	474
Max	20.9 (20.8)	(563) 653
Min	14.4 (16.0)	(356) 331
Bus		
Durchschnitt	21.4	621
Max	26.9 (25.2)	(753) 1005
Min	16.4	368

Abb. 59

Anzumerken bleibt, dass spezifische Unterschiede zwischen Tram und Bus nicht von der Technik der Verkehrsmittel, sondern von deren Einsatz und Funktion herrühren.

- Empfehlungen aus Lit. (C 11) des 1. Zwischenberichtes für Stadtschnellbahnen:

im Stadtzentrum	650 - 800 m
in den übrigen Wohngebieten	800 - 900 m
am Stadtrand	ca. 1000 m
in den Vororten mehr als	1000 m je nach Besiedlung

- Aus Lit. (5) entstammen die nachstehenden Faustformeln, die auf dem "Grundsatz 1" und den Näherungsrechnungen gemäss Ziffer 5.23 aufbauen (vgl. auch Abb. 4).

1. Faustformel für den mittleren Haltestellenabstand:

$$\text{Strassenbahn: } \bar{H} = 11.0 \sqrt{L_Z \left(\frac{D}{Q} + 0.5 \right)} \quad (\text{m})$$

$$\text{Metro: } \bar{H} = 12.8 \sqrt{L_Z \left(\frac{D}{Q} + 0.5 \right)} \quad (\text{m})$$

$$\text{S-Bahn: } \bar{H} = 11.9 \sqrt{L_Z \left(\frac{D}{Q} + 0.5 \right)} \quad (\text{m})$$

2. Faustformel für die Anzahl der Haltestellenabstände:

$$\text{Strassenbahn: } n = 0.0909 \sqrt{\frac{L_Z}{\frac{D}{Q} + 0.5}} \quad (-)$$

$$\text{Metro: } n = 0.0782 \sqrt{\frac{L_Z}{\frac{D}{Q} + 0.5}} \quad (-)$$

$$\text{S-Bahn: } n = 0.0840 \sqrt{\frac{L_Z}{\frac{D}{Q} + 0.5}} \quad (-)$$

Zur Ermittlung von n ist stets aufzurunden!

- Die folgenden Richtwerte empfiehlt die SVI-Arbeitsgruppe 6 mit nachstehender Zielsetzung:
 - die grossen Bandbreiten geben nur an, in welchem Bereich normalerweise alle Haltestellenabstände liegen sollen. Die Richtwerte entheben nicht von zumindest Ueberschlagsbetrachtungen wie in Kapitel 6 aufgeführt.
 - effektive Haltestellenabstände, die ausserhalb des angegebenen Bereiches liegen, sind nur mit sehr spezifischen Randbedingungen, vor allem ortsspezifisch, zu begründen.
 - die Richtwerte gelten für "typische" oder normale Verkehrsmittleinsätze. Spezielle Anwendungsfälle wie z.B. Erschliessung von Spital- oder Altersheimkomplexen, Schnell- und Eilbuslinien etc. sind unabhängig von den Richtwerten zu betrachten.

Richtwerte

- Feinverteiler ohne Zubringerlinien (Tram, Trolleybus, Autobus)
 - . Innenstadt 300 - 500 m
 - . Aussenbezirke 300 - 700 m

2. Mittelverteiler mit wenig Zubringer; im Kernbereich Direkterschliessung (Stadtbahn, Tram, in Ausnahmefällen U-Bahn, Bus)

. Innenstadt	400 - 600 m
. Aussenbezirken	500 - 800 m

3. Mittelverteiler mit viel Zubringer; im Kernbereich teilweise Direkterschliessung (Stadtbahn, U-Bahn)

. Innenstadt	600 - 900 m
. Aussenbezirke	800 - 1200 m

4. Grobverteiler mit hohem Zubringeranteil und grossen Reiselängen

. Innenstadt	1000 - 2000 m
. Aussenbereiche	2000 - 3000 m

(Die durchschnittlichen Reiselängen sind hier implizite enthalten!)

Im Uebrigen sei wiederholt, dass die fallspezifischen Abstandsbestimmungen mit Vorteil nach den Angaben in Kapitel 6 (durchschnittliche Abstände) bzw. 7 (Abstandsverteilungen) erfolgen.

8.2 Ablaufschema

Aufbauend auf dem vereinfachten Arbeitsablauf gemäss Ziffer 5.1 (Abb. 43) wird in der nachfolgenden Abb. 60 ein generelles Ablaufschema vorgeschlagen.

Es wird empfohlen, die praktischen Arbeiten bei Haltestellenfestlegungen anhand des Schemas auf Vollständigkeit zu überprüfen. Je nach konkreter Aufgabe können einzelne Tätigkeiten, vor allem im Bereich der gebiets- und zonenspezifischen Verkehrsdaten, vernachlässigt werden.

Generelles Ablaufschema

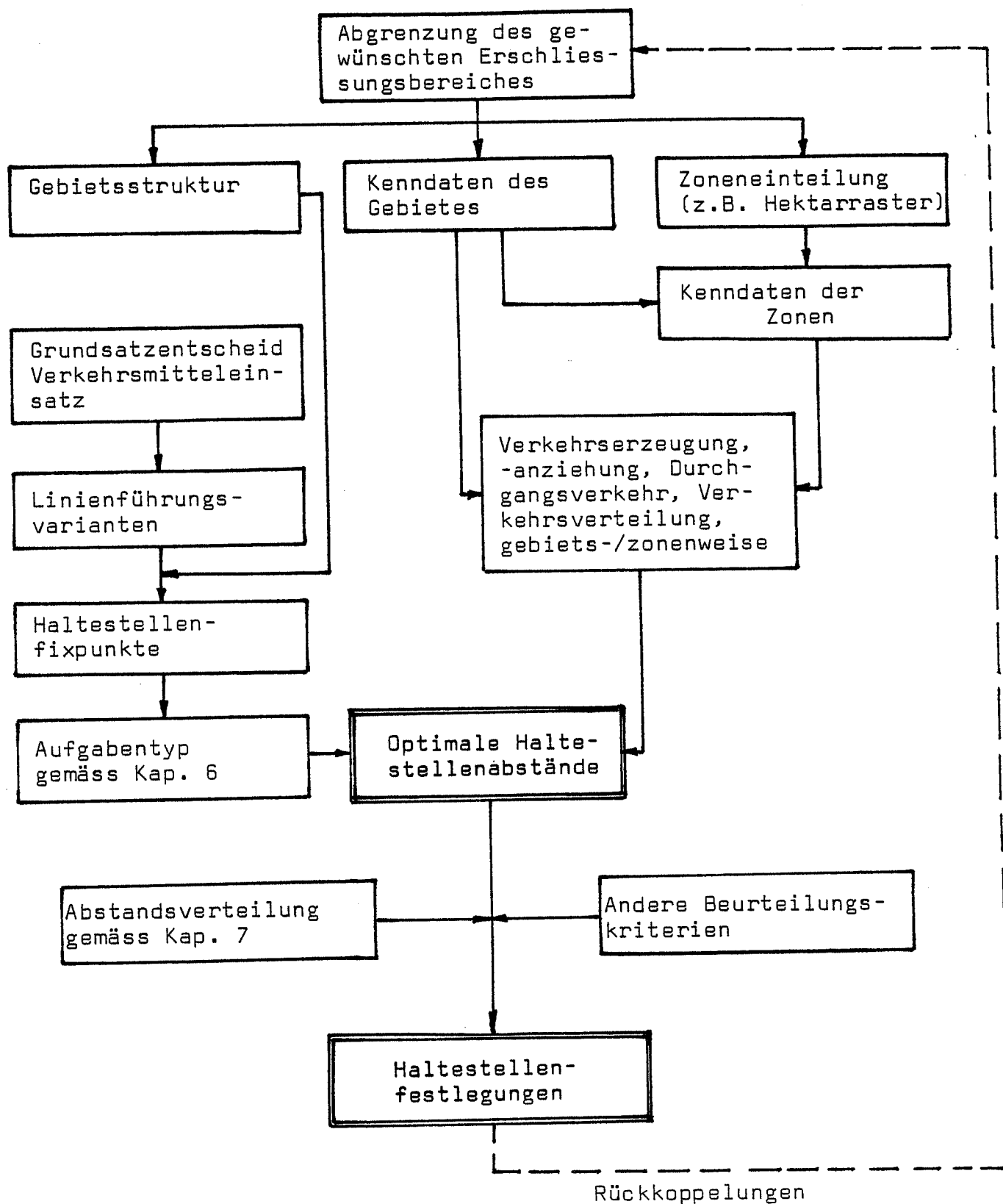
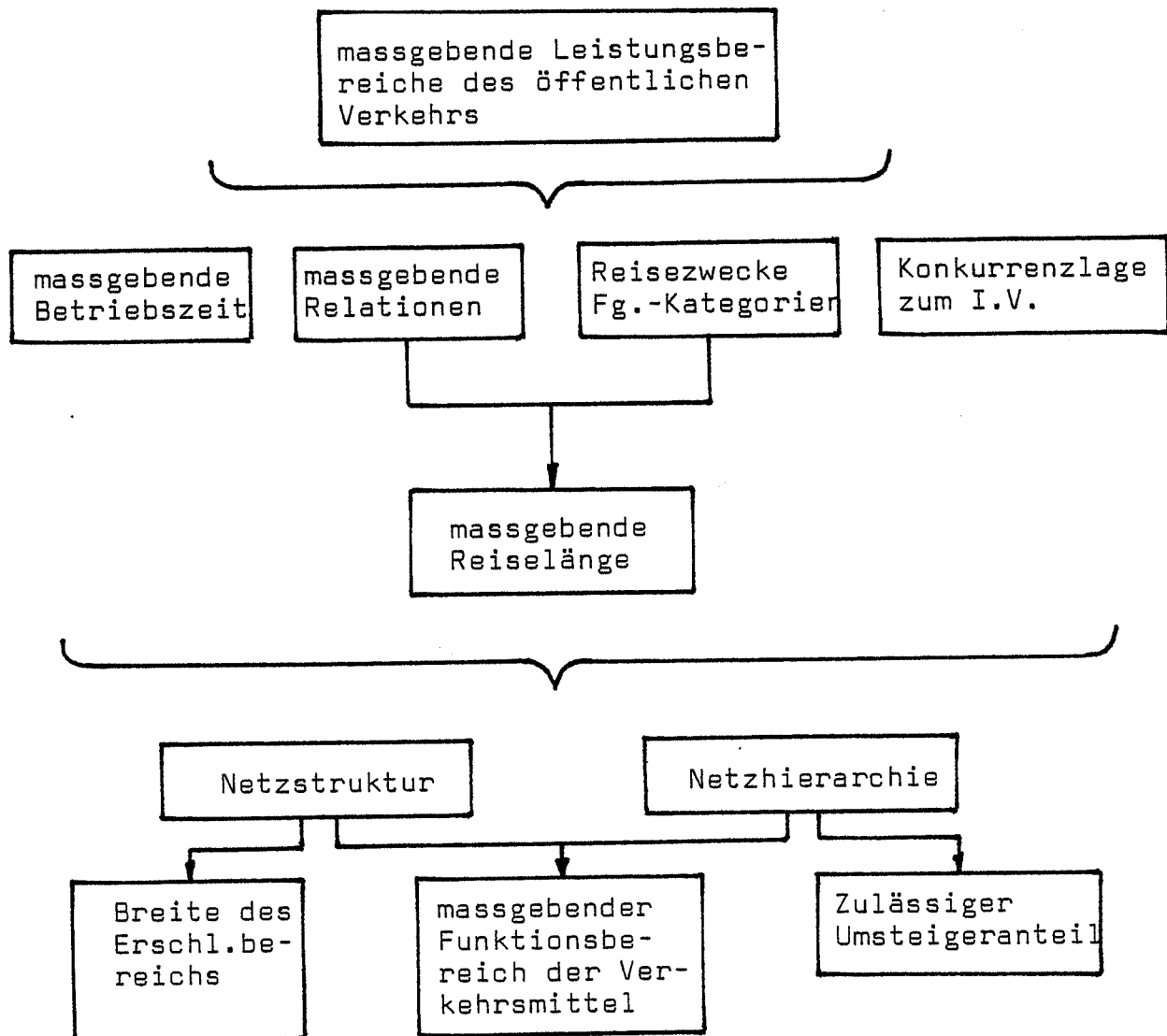


Abb. 60

8.3 Netz- und Betriebsgestaltungsgrundsätze

Unter diesem Titel sind alle Randbedingungen und Annahmen zu summieren, die zur näherungsweisen Bestimmung optimaler Haltestellenabstände bezüglich der Angebotsgestaltung des betreffenden öffentlichen Verkehrsmittels bekannt sein müssen. Sie stützen sich auf die Ausführungen in Kapitel 3 (insbesondere Ziffern 3.1 - 3.3) ab und sind allenfalls am konkreten Anwendungsfall zu ergänzen.

Das nachfolgende Ablaufschema zeigt die systematische Ableitung der erforderlichen Daten sowie die zu beachtenden Sachverhalte. Dabei sind lediglich Elemente aufgeführt, die für die Frage der Haltestellenfestlegung relevant sind. Es handelt sich demnach keineswegs um komplette Sätze von Netz- und Betriebsgestaltungsgrundsätzen.

Abb. 61

9. ZUSAMMENFASSUNG

Als Resultat der Arbeiten der SVI-Arbeitsgruppe 6 kann thesenartig festgehalten werden:

- . Zur Bestimmung optimaler Haltestellenabstände hat die Festlegung der massgebenden Optimierungskriterien oberste Priorität.
 - . Die massgebenden Optimierungskriterien leiten sich aus den verkehrspolitischen Zielvorgaben für die Leistungserbringung des öffentlichen Verkehrs ab; insbesondere bezüglich der geforderten Leistungsbereiche auf dem gebundenen Markt.
 - . Als Randbedingungen für die Haltestellenfestlegungen sind spezifische Angaben aus der Gesamtheit der Netz- und Betriebsgestaltungsgrundsätze zu übernehmen.
 - . Analytische Berechnungen optimaler Haltestellenabstände bedürfen ausserordentlich vieler nicht zeitkonstanter Inputdaten und erfordern einen sehr hohen Rechenaufwand trotz starken Vereinfachungen. Der Aufwand dazu lohnt sich nicht.
 - . Der Stellenwert optimaler Haltestellenabstände innerhalb der gesamten Angebotsgestaltung ist vor allem zufolge der vielen zu beachtenden Zwangspunkte relativ bescheiden. Die theoretischen Berechnungen können nur bezwecken, die sinnvolle Grössenordnung der zu wählenden Haltestellenabstände festzulegen.
 - . Für die Berechnung optimaler Haltestellenabstände werden teil-empirische Methoden für die hauptsächlichsten, praktischen Aufgabenstellungen entwickelt und erläutert.
 - . Nach der Bestimmung optimaler (Durchschnitts-)Abstände ist in einem zweiten Arbeitsgang die Haltestellenverteilung festzulegen. Dazu werden qualitative Richtlinien geliefert.
 - . Für die massgebenden Einflussgrössen sind die häufigsten Zahlenwerte sowie die qualitative Beeinflussung der Haltestellenabstände zusammengestellt.
-

LITERATURVERZEICHNIS

- (1) SVI Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure,
Arbeitsgruppe 6: Optimale Haltestellenabstände beim
öffentlichen Verkehr;
1. Zwischenbericht
Zürich, Juli 1969
- (2) F. Bandi, P. Bronwer, M. Conde Cabeza, J. Nyst und F. Lehner:
Einfluss der Fussweglänge und des Haltestellenabstandes auf
die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs
VITP Revue - 3/1974
- (3) Generalverkehrsplan der Städte Nürnberg und Fürth; Teil
Nürnberg, öffentlicher Personennahverkehr, Stadt Nürnberg,
Arbeitsgruppe Nürnberg-Plan, Januar 1972
- (4) Dr. Ing. Klaus Walther, Aachen
Die fahrzeitäquivalente Reisezeit im öffentlichen Personen-
nahverkehr.
Verkehr und Technik 7/1975
- (5) Dipl. Ing. J. Wolf
Ermittlung des hinsichtlich der Reisezeit zweckmässigsten
Haltestellenabstandes im städtischen Nahverkehr
Dissertation an der Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich
List" Dresden, Juni 1970 (2 Bände)
- (6) SNV Hamburg/Ingenieurgruppe für Verkehrsplanung Berlin/BVG
Berlin
Einsatz eines Kabinenbahnsystems in Berlin; Planungsein-
satzstudie
Hamburg/Berlin März 1978
- (7) SNV Hamburg
Methoden und Technologien einer verbesserten Fahrgastbe-
dienung; Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und
Technologie (BMFT) der BRD
Unveröffentlichte Arbeitsunterlagen 1978/79
- (8) IVT Bericht Nr. 78/4
Brändli/Kobi
Regionalisierung im öffentlichen Personenverkehr; Vorstu-
die im Auftrag des Eidg. Amtes für Verkehr, Zürich, August 1978
- (9) Brändli/Kobi
Konkretisierung des Leistungsbeschriebes im öffentlichen
Personenverkehr
Unveröffentlichte Arbeitsunterlage IVT, März 1979

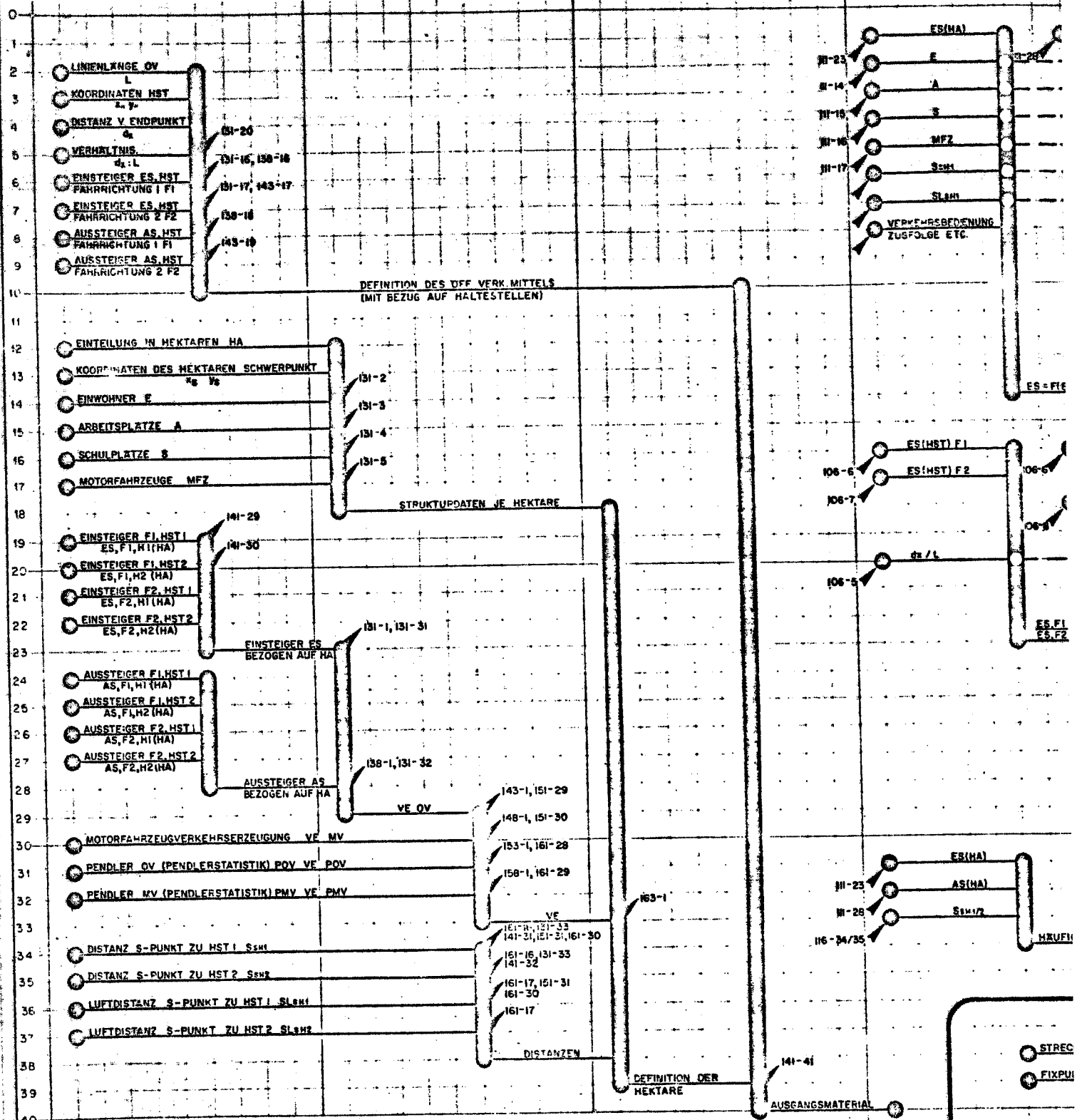
- (10) Brändli/Berg
Einfluss von neuen Bahnhofszugängen auf das Fahrgastverhalten
IVT, Juni 1979
(Kurzfassung in "Verkehr und Technik", 11/1979)
- (11) Brändli/Siegrist/Altherr/Enz
Einfluss des Anmarschweges auf die Benützung öffentlicher Verkehrsmittel
IVT Bericht Nr. 78/3
August 1978
- (12) IVT/Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG Zürich
Systematik zur Evaluation von Verkehrsmitteln
Zürich, Februar 1977
- (13) Berg
Gesetzmässigkeiten des Linienbetriebes
Forschungsauftrag IVT
Unveröffentlichte Arbeitsunterlagen
(Veröffentlichung des Schlussberichtes 2. Hälfte 1981)
- (14) Anforderungen der Fahrgäste an den öffentlichen Verkehr
STUVA im Auftrag BMV
Alba Buchverlag Düsseldorf
Düsseldorf 1975
- (15) Behördendelegation für den Regionalverkehr Zürich,
Arbeitsgruppe Agglomerationsverkehr
Netzgestaltungsgrundsätze
Unveröffentlichte Arbeitsunterlagen,
Zürich 1974/75
- (16) VBZ Zürich
Berechnung der optimalen Haltestellenabstände für die
U-Bahn Zürich
Zürich 1966 (vgl. auch Lit. (1))
- (17) Reding, Detlef
Verkehrsbelastung und Dimensionierung von Gehwegen
Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, 22/1963
- (18) G. Junker c/o Ingenieurbüro J.-L. Biermann, Lausanne
Optimale Anordnung von öffentlichen Verkehrsmittelhalte-
stellen, Arbeitsunterlage SVI-AG 6
Lausanne 1972
- (19) H. Brändli
Abschnitt Wollishofen-Bahnhof Enge, Theoretische Bestimmung
der durchschnittlichen Anmarschwege
Unveröffentlichte Arbeitsunterlage
Studienbüro VBZ

- (20) Brändli, Schwegler, Siegrist
Leitfäden für Verkehrserhebungen im öffentlichen Personen-
verkehr
EDV-Forschungsauftrag 5/78
IVT, Zürich 1979
- (21) Vuchic V.R.: Interstation Spacings for Line-Haul
Passenger Transportation, Graduate Report (Diss.)
University of California, 1966

9. ZUSAMMENSTELLUNG UND DEFINITION DER IM BERICHT HAUPT- SAECHLICH VERWENDETEN ABKUERZUNGEN UND PARAMETER

Anfahrbeschleunigung	b^*_a	Durchschnittliche Anfahrbeschleunigung im schematischen Fahrdiagramm
Anmarschweg	S	Effektive Fusswegdistanz zur nächstgelegenen Haltestelle
Beförderungsgeschwindigkeit	v_b	Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge; einschliesslich Haltezeiten, exklusive Wendezeiten
Beschleunigung/ Verzögerung, maximale	$b_{a \max}$ $b_{b \max}$	Beschleunigungs- bzw. Betriebsbremsverzögerungshöchstwerte
Bremsverzögerung	b^*_b	Durchschnittliche Bremsverzögerung im schematischen Fahrdiagramm
Breite des Einzugsgebietes	B	Breite des Erschliessungsbereiches bezogen auf eine bestimmte Strecke/Linie
Durchfahrerfaktor	f_d	Anteil aller Ein-/Aussteigebewegungen am Total der Fahrgäste; bezogen auf den Betrachtungsabschnitt
Durchschnittliche massgebende Reiselänge	R_m	Den Optimierungsrechnungen zu Grunde liegende Reiselänge
Durchschnittliche, massgebende Reisezeit	Z_m	Den Optimierungsrechnungen zu Grunde liegende Reisezeit
Fahrgeschwindigkeit, durchschnittliche	v_f	Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge, exklusive Haltestellenaufenthalte
Fahrgastwechselzeit, spezifische	F	Durchschnittliche Ein-/Aussteigezeit pro Fahrgast
"	F_E	Durchschnittliche Einsteigezeit pro Fahrgast
"	F_A	Durchschnittliche Aussteigezeit pro Fahrgast
"	F_K	Durchschnittliche Ein-/Aussteigezeit pro Fahrgast, bezogen auf einen ganzen Kurs
"	F_T	Durchschnittliche Ein-/Aussteigezeit pro Fahrgast, bezogen auf eine (bestimmte) Türe

Fussgängergeschwindigkeit	v_{Fg}	Durchschnittliche Gehgeschwindigkeit beim Haltestellenzu-/abgang auf horizontaler Ebene
Haltestellenabstand	H	Durchschnittlicher Haltestellenabstand im Betrachtungsgebiet
"	H_{xy}	Abstand der Haltestellen x und y
Haltezeit	T	Standzeit an der Haltestelle; ohne evt. Wartezeit von VR-Anlagen
Konstante der Haltezeit	K	Durchschnittlicher Zeitbedarf für Türent- / -verriegelung sowie Türöffnung und -schliessung
Maximalgeschwindigkeit, theoretische	v^*_{max}	Höchstgeschwindigkeit im schematischen Fahrdiagramm (Trapezprofil, vgl. Abb. 27)
Maximalgeschwindigkeit	v_{max}	Strecken- bzw. Fahrzeughöchstgeschwindigkeit
Netzdichte	N	km-Strecke pro km^2 erschlossener Fläche
Reisegeschwindigkeit	v_R	Durchschnittliche Geschwindigkeit des Fahrgastes vom Start zum Ziel; einschliesslich aller Halte, Fusswege etc.
Reduktionsfaktor	A	Berücksichtigt die reduzierte Abhängigkeit des Anmarschweges vom Haltestellenabstand bei wachsender Breite des Einzugsgebietes
Umwegfaktor	f_u	Verhältnis Effektiv- zu Luftliniendistanz beim Anmarschweg
Umsteigefaktor	f_s	Anteil der Direktein- / -aussteiger am Total aller Ein- und Aussteigebewegungen
Verlustzeit pro Haltestelle	Z	Zeitbedarf für Bremsen, Halten (einschliesslich Fahrgastwechsel) und Anfahren, abzüglich Durchfahrtszeit mit v_{max}
Zumutbarer Wert des Elementes x	x_z	Aus repräsentativen Betreiber- und / oder Benützerkreisen als zumutbar erachtete Werte von Reiseelementen.



LEGENDE:

ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE

A ARBEITSPLATZE
 AS AUSSTEIGER
 DIAGR. DIAGRAMME
 dx LINIENLÄNGE VOM ENDPUNKT IN DER CITY BIS ZUR HALTESTELLE x
 E EINWOHNER
 ES EINSTEIGER
 F1 FAHRRICHTUNG 1=HAUPTRICHTUNG
 F2 FAHRRICHTUNG 2=GEGENRICHTUNG
 GESETZM. GESETZMASSIGKEITEN
 HA HEKTAREN
 HST HALTESTELLEN
 MFZ MOTORFAHRZEUGE
 MV MOTORFAHRZEUGVERKEHR
 OV OFFENTLICHER VERKEHR
 PMV PENDLER MIT MOTORFAHRZEUGEN
 POV PENDLER AUF OFFENTLICHEN VERKEHRSMITTEL

REGR REGRESSIONEN
 S SCHULPLATZE
 SL OV LUFTDISTANZ SENKRECHT ZUR OV-LINIE
 SL LUFTDISTANZ: SCHWERPUNKT - HALTESTELLE
 S-PUNKT SCHWERPUNKT
 Sx DISTANZ: SCHWERPUNKT - HALTESTELLE
 VE VERKEHRSERZEUGUNG
 x, y KOORDINATEN DER HALTESTELLE
 xs, ys KOORDINATEN DES HEKTARENSCHWERPUNKTES

