

Günter Harloff

#### EIN OPTIMIERUNGSANSATZ ZUR ORDNUNG DER STADTINHALTE

Ich habe nichts anderes vor, als unter dem betonten Aspekt e i n e s Optimierungsansatzes zur Ordnung der Stadtinhalte einige Gedanken vorzutragen, die Sie schnell zu einer Diskussion bringen möchten. Eine Seminarveranstaltung lebt davon, daß sich der gestaute Unmut beim Zuhören und ein Ergänzungsdrang aus Erfahrung möglichst bald und breit Luft machen können. Schließlich war die Diskussion, wie sie in Taxach möglich war, der Anlaß gewesen, selbst einmal die Gedanken, die ich mir seit einiger Zeit zurechtlege, dem Widerspruch auszusetzen.

Dabei gestehe ich mir zu, aus d e r Richtung an die Sache heranzugehen, aus der sie mir täglich erscheint, nämlich aus der Fachperspektive des Ingenieurs. Die Diskussion wird die Perspektive verbessern müssen, weil jeder geneigt ist zu meinen, er trüge das Wesentliche zur Stadtentwicklungsplanung bei. Mit allen Planerkollegen hoffe ich jedoch eine gemeinsame Basis zu haben, nämlich Stadtentwicklung als gemeinsames soziales Ziel zu sehen, das sich in einer Arbeitsweise konkretisiert, die das Beste für den Stadtbenutzer will, ob mit Optimierung oder ohne.

Optimierung klingt nach runder Sache, sehr erstrebenswert, zugkräftig. Ein Planungsdiagramm, das auf das Kästchen Optimierung verzichten zu können glaubt, wirkt einfach dilettantisch. Dabei versteht ganz sicher jeder etwas anderes darunter, im Konkreten und in der Methode, in der Tendenz vielleicht das gleiche, wer weiß.

Ich will versuchen darzulegen, wie der Verkehrsplaner zu

seinem Kästchen Optimierung im Stadtentwicklungsprozeß kommt; dabei soll klar werden, welche Optimierung hier gemeint ist und welche Möglichkeit, bei der Stadtplanung optimierend vorzugehen, für die Dauer des Referates bewußt über Bord gehen darf. Die erste Ladung, die abgeworfen wird, ist die Fülle aller Erkenntnisse um Effizienzoptimierung des Planungsprozesses selber. Gemeint sind damit Fragen der Anordnung von Planungsschritten, des Mitarbeitergefüges, des Einsatzes von Planungsmitteln, der Koordinierung von Planungsbeteiligten usw. Darum geht es hier nicht, auch nicht um die Frage des Zielerreichungsgrades, der optimalen Annäherung von Ist an Soll.

Der Verkehrsplaner stößt an einer anderen Stelle auf die Nachfrage nach Optimierung, nämlich dann, wenn er seine F a c h p l a n u n g als B e i t r a g zur Stadtentwicklung abgibt. Im eigenen Hause sind optimale Routen kein Problem, optimale Maschenweiten von Netzen und optimale Phasenschaltungen sind ingenieurmäßig zu benennen und Angaben über optimalen Querstraßenabstand und Stichstraßenlängen sind verkehrstechnisch ausreichend abgesichert, also so gut wie bekannt.

Sobald der Fachplaner jedoch merkt, daß seine Vorschläge Auswirkungen auf Dinge haben, die einen Augenblick lang als konstant unterstellt wurden, wenn also offenkundig wird, daß die Trennlinie um sein übersichtliches Fachsystem unstimmmige Schnittstellen mit dem Gesamtsystem (Stadt) aufweist, muß er seinen Plan über- besser ein-arbeiten, solange, bis dieser mit dem Gesamtsystem harmonisiert.

Diese Einarbeitung des Verkehrs-Planes in den Stadt-Plan ist berechtigtermaßen nur dann als Optimierungsprozeß zu bezeichnen, wenn in demselben Maße, in dem die Variablen der Stadtnutzung für die Verkehrsvariablen Bedingungen sind auch die Variablen des Verkehrs für die Nutzungsvariablen Bedingungen sein können. Daß der einzelne Fachbeitrag in sich und im gegebenen Restriktionsrahmen optimal angeboten wird, ist selbstverständliche Erwartung.

Der Fachbeitrag des Verkehrsplaners sind die Verbindungen im weitesten Sinne des Wortes. **V e r b i n d u n g** bedeutet Wege, Leitungen, Anschlüsse, Verkehrsnetze, Bewegungen, Verkehr. Die bekannte Wechselwirkung zwischen Flächennutzung und Verkehr bemüht die Schnittstelle zwischen zwei durchaus trennbaren Systemen. Der Verkehrsplaner quantifiziert Verkehrsströme aufgrund der Verteilung der Nutzungen im Raum. Aufgrund dieser Ermittlungen betreibt er Stadtplanung insofern, als er die Netze der Verkehrssysteme (neu) ordnet und dimensioniert. Diese Arbeit wird dargestellt und rechtswirksam in einem Generalverkehrsplan.

Der Verkehrsplaner weiß aber auch, daß seine Planung in entscheidendem Maße den Raum strukturiert. Mit Verkehrsplanung läßt sich sogar in bedeutsamem Umfang Stadtentwicklung steuern. Die Verwirklichung seiner Ordnungs- und Dimensionierungsvorschläge führt zu materiellen Infrastrukturen, die zu harten Randbedingungen der zukünftigen Entwicklung werden. Es werden Verbindungsvorteile installiert, nach denen sich die Stadtnutzungen, jeweils zu ihrem Vorteil, umorientieren. In Konsequenz gutgemeinter wie auch aus der Situation erzwungener Anpassungsplanung ist schon oft genug eine verblüffende Verdrehung der Absicht passiert. Darum ist der Fachplaner so sehr daran interessiert, Methoden zu erarbeiten, die es ihm erlauben, die Wirkungsweise seiner Vorschläge im Gesamtsystem zu prognostizieren. Mit der Abgabe des Generalverkehrsplanes kann es nicht getan sein. Mit der Abgabe des Generalverkehrsplanes beginnt günstigenfalls der erste Iterationszyklus bei den Bemühungen um eine integrierte Stadtentwicklung. Es ist deshalb nicht unverständlich, wenn Generalverkehrsplänen Nachaufträge folgen im Sinne solcher Iterationsschritte. Der Verkehrsplaner hofft dann, daß in der Zwischenzeit, nach Maßgabe seiner Untersuchungen, vielleicht etwas Stadtentwicklungsarbeit auf anderen Sektoren geleistet wurde.

Daß der Einstieg in die Stadtentwicklungsarbeit meist über Generalverkehrspläne geschieht, unterstreicht die erkannte Bedeutung des Verbindungsbedarfes zwischen den Nutzungen der Stadt.

Warum aber wird leichter gefordert, für die Flächennutzungen die erforderlichen Verbindungen zu schaffen, als daß gefordert würde, die Flächennutzungen nach Maßgabe des Verbindungsbedarfes anzuordnen? Der Verkehrsraum, der übrigens im Gegensatz zur Schnellebigkeit von Flächennutzungen von zeitlich größerer Konstanz ist, ist offenbar immer noch eher, wenn auch nicht leichter, beplanbar als die Flächennutzungen. Marktwirtschaft, auf den Boden ausgedehnt, kann offenbar nicht sozial betrieben werden. Die Tatsache, daß Verbindungsvorteile gehandelt werden, in den meisten Fällen von denen, die sie nicht einmal erzeugt haben, trägt mit Sicherheit dazu bei, daß Städte unsozial werden. Denn für solche Nutzungen der Stadt, die keine in Geld umwandelbaren Leistungen erbringen, bleiben akzeptable Standorte unerreichbar. Der Verbindungsvorteil und der Marktwert des Bodens decken sich logischerweise. Im Städtebauförderungsgesetz mag man den ersten Ansatz sehen, den Sozialaspekt vor den Marktaspekt zu setzen, die Beurteilungskriterien wegzuverlagern von den beliebten wirtschaftlichen Größen zu Werten, die krampfhaft als "social costs" in das Dimensionsschema der Ökonomie herübergerettet werden. Für die aber weiß keiner eine Berechnungsgrundlage. Für den aber, der Städte im Hinblick auf ihre Funktionsfähigkeit betrachtet, existieren alle Einrichtungen der Stadt mit ihrem nennbaren Verbindungsbedarf. Damit kann er sie einordnen.

In demselben Maße, wie der Ökonom die Produktivität als Ziel verteidigt mit dem Hinweis, daß die Produktivität Grundvoraussetzung ist für eine gesicherte allgemeine Weiterentwicklung, fühlt sich der Verkehrsplaner berechtigt zu sagen, daß jede aus noch so ersichtlichen Motiven irgendwo angeordnete Nutzung falsch liegt, wenn sie nicht in dem Maße an andere Nutzungen anbindbar ist, wie sie es beansprucht.

Jede Flächennutzung hat ihren quantifizierbaren Verbindungsbedarf. Sie muß zugänglich sein für die Benutzer und die Verbrauchsmaterialien. Dementsprechend fordert sie einen Standort unter allen anderen Standorten von Stadtnutzungen so,

daß aller erforderlicher Zugang von diesen zu ihr uneingeschränkt möglich und mit geringstem Aufwand zu verwirklichen ist. Eine Verbindung sei als weniger aufwendig anerkannt, wenn sie zeitlich oder streckenmäßig kürzer ist als die andere.

Die kürzesten Verbindungen lägen vor, wenn die Nutzungen zusammenfielen. Wenn sie vereinbar wären, definierte das den Idealfall. Da aber alle Nutzungen an Flächen gebunden sind, ist ihre Verteilung im Raum und die Benutzung von Verbindungssystemen unerlässlich. Von den Verbindungssystemen ist zu fordern, daß sie den Transport von Personen, Gütern und Nachrichten ohne gefährdende Überlastung und infolge ihrer hohen Bau- und Betriebskosten auch ohne unververtretbare Unterbelastung ihrer Elemente sicherstellen.

Diese technisch-funktionale Bedingung ist eine harte Vorgabe für jedes Stadtentwicklungsprogramm.

Die Standorte der Stadtnutzungen selbst orientieren sich natürlich nicht ausschließlich am Prinzip der kürzesten Verbindungen. Wird dieses Prinzip deshalb modellbestimmend angesetzt, muß ihm gegenüber klar formuliert werden der Zwang zur Beachtung

der großräumigen geographischen Situation  
der Affinität von Nutzungen zu einer vorhandenen Oberflächengestalt des Raumes  
der Verträglichkeit bzw. Unverträglichkeit einzelner Nutzungen.

Die zuvor formulierte Forderung nach Sicherheit der Verbindungen wird also ergänzt durch betriebliche Bedingungen der Nutzungen. Darüberhinaus formulieren

der Bestand  
die Entwicklungsabsichten  
die Bedingungen der Betriebsgröße  
reale oder gewollte soziale Ordnungen

weitere Restriktionen für die Anordnung der Stadtnutzungen. Bedingungen, wie die aufgezählten, müssen primär erfüllt sein, bevor die Kürze der Verbin-

dungen im Sinne der Zielfunktion entscheidend wirken kann.

Wir haben demnach den Verbindungsbedarf der in das Modell einzubeziehenden Nutzungen zu quantifizieren und müssen diese unter Beachtung aller genannten Restriktionen so im Raum und in der Zeit anordnen, daß der Verbindungsaufwand in der Summe möglichst gering ist. Eine Anordnung in der Zeit bedeutet eine Anordnung in Entwicklungsstufen.

Den Problemkreis der planungsadäquaten Einteilung des Raumes in repräsentative Planbezirke, Zellen genannt, will ich hier nicht ansprechen. Wir nehmen also an, es gäbe Planbezirke von einer Größe und einer Begrenzbarkeit, die die erforderliche Aussagegenauigkeit für Aufgaben der Stadtplanung sicherstellen. Ihre Kennziffern, der Zählindex für die Zellen also, werden im folgenden gewohntermaßen als Index i bzw. j, entsprechend der formalen Betrachtung, den Verbindungsvariablen zur Kennzeichnung der betrachteten Richtung und den Inventarvariablen zur Kennzeichnung ihres Standortes beigegeben.

$F_{ij}$  ist der identifizierbare Variablenname für die Zahl der Beförderungsfälle von der Planzelle i zur Planzelle j

$E_i$  ist dementsprechend der identifizierbare Variablenname für die Menge der Einwohner im Planbezirk i.

Weitere Indizes differenzieren die Variablen nach dem Zeitbezug (Entwicklungsstufe) t, nach dem Reisezweck p, nach dem Verkehrsmittel m, nach dem Transportgut g, ...

Ich schlage vor, bei der Vorstellung eines Ansatzes in gekürzter Form, in Personenfahrten zu denken und mögliche Entwicklungsstufen außer Acht zu lassen.

Die Zielfunktion des linearen Optimierungsansatzes zur Ordnung von Stadteinhalten soll heißen:

$$V = \sum_p \sum_i \sum_j F_{p_{ij}} \cdot w_{ij} \dots p = \text{Minimum}$$

- $w_{ij}$  Element einer Widerstandsmatrix.  
Maß für den Aufwand, um nach Abschluß einer Tätigkeit in  $i$  zur Aufnahme einer Tätigkeit in  $j$  zu gelangen.
- $\alpha_p$  Einschätzungsfaktor für eine Gewichtung des Aufwandes nach Maßgabe des Reisezweckes; Kommunikationswert. Die Berechtigung, eine Schulfahrt mit höherem Gewicht als Planungsfaktor in die Planung eingehen zu lassen als beispielsweise eine Erholungsfahrt, möchte in dem einen oder anderen Fall gegeben sein.
- $V$  Absoluter Summenwert der Zielfunktion, der für erste Überlegungen ziemlich bedeutungslos sein kann. Denn nicht die absolute Größe des Transportaufwandes  $V$  interessiert, sondern die Verteilung der Strukturen auf die Planzellen und die Belastung der Elemente der Transportsysteme in dem Zeitpunkt, wann der Verbindungsaufwand minimal ist.

Damit ist die Zielfunktion vorgestellt in einem Ansatz, der die Verbindungen der Stadt betont, also funktionaler Art ist. In der Zielfunktion ist  $k$  eine Variable, die eine Stadtnutzung darstellt, genannt. Solche Variablen werden erst über das System der Gleichungen und Ungleichungen mit den Verkehrsbedarfswerten verknüpft.

Folgende Aggregationen bisher genannter Variablen bilden die ersten Gleichungen des Interdependenzsystems:

$$Q_{pi} = \sum_j F_{pij} ; Z_{pj} = \sum_i F_{pij} ; i, j = 1, 2, \dots, n$$

Quell- und Zielverkehre eines Planungsbezirkes sind Größen, die mit den Nutzungen aller umliegenden Planungsbezirke funktional verbunden sind.

Als die wesentlichen Stadtnutzungen sollen im Modell berücksichtigt werden: Wohnplätze, dargestellt durch die Einwohner ( $E_i$ ) des Bezirkes, Arbeitsplätze ( $A_i$ ), Schulplätze ( $SP_i$ ), Erholungsplätze ( $R_i$ ) und Besorgungsmöglichkeiten in Handel und Verwaltung, die für einen Teil

der Bevölkerung Arbeitsplätze ( $A_i$ ) sind, für einen anderen Teil Kundenplätze ( $KP_i$ ).

Die Stadtbenutzer sind im wesentlichen die Einwohner selbst, bei Begrenzung des Planungsraumes auch die Pendler. Einwohner und Pendler benutzen die Stadt

- produzierend als Erwerbstätige ( $ERW_i$ )
- konsumierend als Schüler ( $SCH_i$ )
- Kunden ( $K_i$ )
- Erholungssuchende
- Bewohner ( $E_i$ )

Die Erwerbstätigen einer Zelle errechnen sich über die Erwerbsquoten aus den Einwohnern der Planungsbezirke. Im Interdependenzsystem erscheint die Erwerbsquote als Koeffizient.

Ein Ansatz der folgenden Aussage:

$$ERW_i = 0.5 E_i$$

stellt eine normative sozialpolitische Restriktion dar. Denkbar ist ebenso die Vorgabe eines Schwankungsbereiches für die Erwerbsquote, dessen Ausnutzung dem Gesamtsystem anheimgestellt werden kann.

$$0.4 E_i \leq ERW_i \leq 0.5 E_i$$

Statt die allgemeine Schreibweise für die Koeffizienten zu benutzen, ziehe ich es vor, bei der beispielhaften Vorführung einiger Restriktionsgleichungen für die Koeffizienten gleich einen plausiblen Zahlenwert zu schreiben.

Bereichsbeschränkungen berühren folgende Problematik: Die Zielfunktion ist bestrebt, möglichst wenig Verbindungsaufwand entstehen zu lassen. Eine Variable, die Verbindungsbedarf hat, wird also gerade nur so groß angesetzt, wie eben nötig. In der zuvor angeschriebenen Bedingung, die einen Freiraum definiert, liefe das auf

$$ERW_i = 0.4 E_i \quad \text{hinaus.}$$

Selbst wenn nur ein Teil der Erwerbstätigen die eigene Zelle verläßt, um zur Arbeit zu fahren, wäre immer noch das kleinste Verkehrsaufkommen das wünschenswerte. Es ist jedoch nicht so, daß alle Restriktionen dieselbe Orientierung haben wie die Zielfunktion. Das führt logischerweise und erwiesenermaßen zu einer tatsächlichen Benutzung des definierten Freiraumes. In vielen Fällen jedoch nennt die Lösung auch einen Grenzwert. D.h., mit Erfahrung lassen sich Gleichungen sparen.

Während die Zahl der Erwerbstätigen ( $ERW_i$ ) oder Schüler ( $SCH_i$ ) oder Erholungssuchende über die Einwohner ( $E_i$ ) eines Bezirkes errechnet werden nach Maßgabe sozialer Verhaltensweisen und Entwicklungen, sind Wohnplätze (über  $E_i$ ), Arbeitsplätze ( $A_i$ ), Schulplätze ( $SP_i$ ), Handels und Verwaltungsgelegenheiten ( $KP_i$ ) und die Flächen für den Verkehr durch die Vorgabe verfügbarer räumlicher Kapazitäten beschränkt. Die Nutzungen einer Zelle dürfen dem Flächenangebot nicht widersprechen. Darüberhinaus besteht die Forderung, daß vereinte Nutzungen sich im Betrieb nicht ausschließen, und daß sie so konzentriert sein können, daß sie funktionsfähig sind.

Der augenblickliche Bestand zusammen mit Schätzungen der vertretbaren Verminderung des Bestandes kann die untere Grenze für die Anzahl von Einwohnern ( $E_i$ ), Schulplätze ( $SP_i$ ), Arbeitsplätze ( $A_i$ ), usw. festlegen. Die oberen Grenzen sind in der Regel Kapazitäts- oder Funktionsgrenzen. Es wird angebracht sein, die Stadtnutzungen mit der Zeit als flächenbezogene Größen in das Gleichungssystem einzubringen, weil sich dann sofort die Strukturmenen über die Gesamtfläche einer Zelle  $i$  begrenzen. Noch ziehe ich es der Übersichtlichkeit des Ansatzes halber vor, mit Schätzungen der maximalen Nutzungsmengen zu arbeiten. Die Dimension der Nutzungsvariablen ist übrigens grundsätzlich völlig frei, da diese Variablen ja nicht mit den Variablen der Verbindungen in einer gemeinsamen Zielfunktion vereinigt sind. In den Restriktionsgleichungen können die Koeffizienten jede Dimensionsunreinheit auffangen.

Über die Nutzungsvariablen sind also Gleichungen der folgenden Art aufzustellen und zwar sowohl für jede einzelne Zelle als auch für die Summe aller Zellen.

$$E_i \min \leq E_i \leq E_i \max$$

$$A_i \min \leq A_i \leq A_i \max$$

$$SP_i \min \leq SP_i \leq SP_i \max \quad \text{usw.}$$

Mit  $E = \sum_i E_i$  wäre die Aussage einer Prognose über die Entwicklung der Gesamteinwohnerzahl oder ebenso gut ein erklärtes Entwicklungsziel zu formulieren:

$$E \min \leq E \leq E \max$$

Um für einen Vergleich mit dem Ansatz von Lowry gewappnet zu sein, sollen auch hier die Erwerbstätigen ( $ERW$ ) und die Arbeitsplätze ( $A$ ) nach den Sektoren II (sekundär) und III (tertiär) differenziert betrachtet werden.

$$ERW = ERWII + ERWIII \quad ERW_i = ERWII_i + ERWIII_i$$

$$A = AII + AIII \quad A_i = AII_i + AIII_i$$

Bei den Personenfahrten bedeutet der Reisezweck  $p = II$ : Wohnung - AII, die Variable des Transportfalles heißt dann  $FII_{ij}$ . Ebenso folgt:  $p = III$ : Wohnung - AIII:  $FIII_{ij}$ . Solche Fahrten bzw. Fußwege werden entsprechend von  $ERWII$  oder  $ERWIII$  zurückgelegt. Für eine reine Allokationsaufgabe ist die Unterscheidung von Hinweg und Rückweg nur dann entscheidend, wenn Wegeschleifen zugelassen würden. Der vorliegende Ansatz hat also noch eine einfache Struktur: wenn der Zuweg gesichert ist, soll auch der Rückweg gesichert sein. Für den minimalen Verkehrsaufwand gelte Hinweg = Rückweg; denn ob die Lage der Wohnung zur Arbeitsstätte hinweg- oder rückwegorientiert gewertet wird, dürfte belanglos sein.

Die Unterscheidung der Erwerbstätigen nach ERWII und ERWIII fordert einen von der Soziologie her erwarteten normativen Ansatz über die Mischung der Erwerbstätigen in den Wohngebieten. Mischungsverhältnisse sind, wenn sie prozentual festgelegt werden können, leicht zu formulieren:

$$ERWIII_i \geq 0.2 \quad ERWII_i$$

$$ERWII_i \geq 0.2 \quad ERWIII_i$$

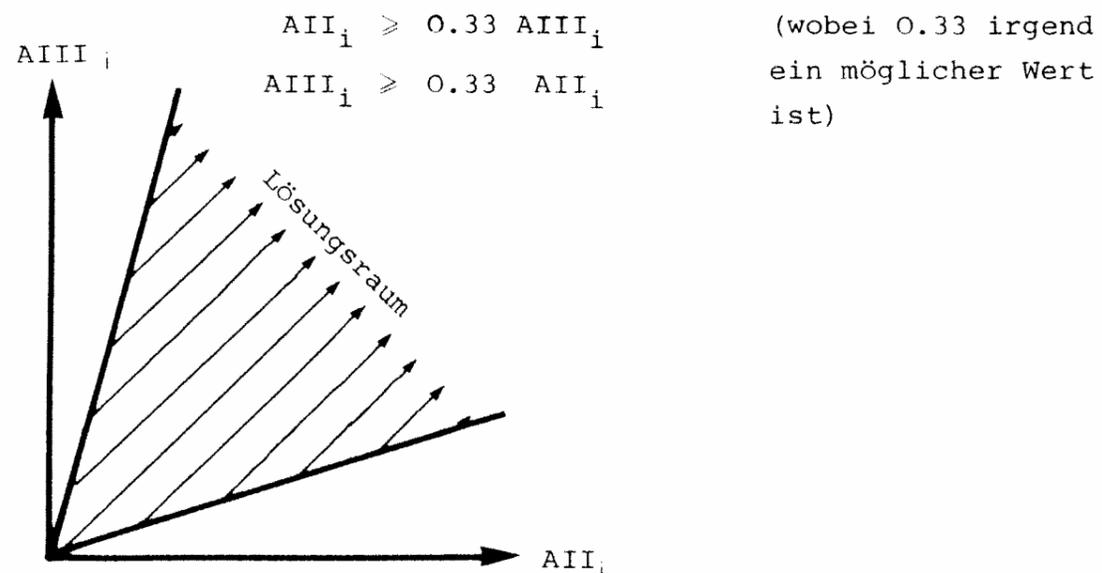
gegebenenfalls mit der Einschränkung:

$$0.4 E_i \leq ERW_i = ERWII_i + ERWIII_i \leq 0.5 E_i.$$

Die Trennung von Nutzungen kann durch einfache Gleichungen erreicht werden: z.B.

$$AII_i = 0; \quad AIII_i \geq 1000; \quad E_i \leq 0.05 AIII_i; \quad \dots$$

Auf diese Weise wird die Bindung an vorteilhafte Standorte möglich. Für eine gewollte Mischung der Arbeitsplätze in einem Plangebiet gelten die beiden Gleichungen:



Die Differenzierung nach Reisezwecken führt, wie aus der Zielfunktion

$$V = \sum_p \sum_i \sum_j F_{p_{ij}} \cdot w_{ij} \cdot \alpha_p \stackrel{!}{=} \text{Minimum ersichtlich,}$$

zum Ansatz je einer  $F_{ij}$ -Matrix für jedes  $p$ . Die Trennung nach Erwerbstätigkeit und Arbeitsplätzen im tertiären bzw. sekundären Sektor bedingt demnach auch zwei Matrizen für die Fahrten zwischen Wohnung und Arbeitsplatz:  $FII_{ij}$  und  $FIII_{ij}$ .

Die Addition der beiden Bedarfswerte kann natürlich im Nachhinein vollzogen werden; der doppelte Aufwand, nämlich die Einzelberücksichtigung im Rechengang, ist nicht zu umgehen. Im Ergebnis sind deshalb, von der Rechenmethode zwingend gefordert, die reisezweckspezifischen Verkehrsbedarfswerte aufgeführt.

Im Vergleich zum Ergebnis einer Koordination von separatem Verkehrserzeugungsmodell und separatem Verkehrsverteilungsmodell - auch diese Koordination führt zu Verkehrsbedarfswerten - sind beim Optimierungsansatz, entsprechend dem Ansatz der Zielfunktion und einer Anzahl städtebaulicher und verkehrstechnischer Restriktionen, außerdem die Nutzungen im Raum (neu) geordnet worden.

Wenn sich eine Charakteristik des Planungsraumes, wie die Häufigkeitsverteilung der Fahrtenlängen, mit gemessenen oder aus Gravitationsrechnungen ermittelten vergleichen läßt, spricht das sowohl für die Treffsicherheit der Gravitationsmodelle, aber besonders auch dafür, daß sich in allen planerisch nicht vollkommen koordinierten Aktionen des Stadtlebens, schon allein aufgrund der Nutzungsgewohnheiten der Städter, so etwas wie ein Optimum der Anordnung einstellt, von dem ich vermute, daß es durch das Minimum des Verbindungsaufwandes am ehesten zu beschreiben ist. Kürzere Fahrten bedeuten nicht nur weniger Aufwand, sie bedeuten beinahe schon die Voraussetzung dafür, daß die Städte überhaupt noch funktionieren.

Nach Vorgabe eines Anteils der Erwerbstätigen, die in dem Planungsbezirk, in dem sie wohnen, auch ihren Arbeitsplatz haben (sollen), etwa durch Gleichungen folgender Art:

$$0.4 ERW_i \leq B_i \leq 0.5 ERW_i$$

$$0.35 A_i \leq B_i \leq 0.45 A_i$$

lassen sich die formalen Gleichungen aufstellen:

$$ERW_i - B_i = QII_i + QIII_i = \sum_p \sum_j Fp_{ij} = \sum_j FII_{ij} + \sum_j FIII_{ij}$$

$$A_j - B_j = ZII_j + ZIII_j = \sum_p \sum_i Fp_{ij} = \sum_i FII_{ij} + \sum_i FIII_{ij}$$

Selbstverständlich können die Ansätze des Quellverkehrs ( $Q_i$ ) bzw. des Zielverkehrs ( $Z_j$ ) einer Zelle reisezweck-spezifisch formuliert werden. Mit Sicherheit ändert sich dann die Gesamtaussage. Da alle Variablen, die in linearen Regressionsmodellen des Verkehrsaufkommens angesetzt werden, im betrachteten Ansatz formuliert werden (es sind im wesentlichen Inventarvariablen), können empirische Ansätze ohne weiteres in das Modell einbezogen werden. Die Koeffizienten solcher Modelle werden als Koeffizienten in das Matrix-schema des Interdependenzsystems aufgenommen. Darüber hinaus aber kann im vorliegenden Ansatz auch die widerspruchsfreie Formulierung eines Gesamtsystemzustandes, also eine Lösung des Systems, zu eindeutiger Determinierung von Quell- bzw. Zielverkehrsmengen führen. Der Nachweis wäre noch zu erbringen.

Das System der Restriktionsgleichungen wacht über die Widerspruchsfreiheit der Variablenwerte (a), formalisiert empirische Befunde (b) und ermöglicht es, normative Ansätze im Sinne einer klaren Absichtserklärung einzubringen (c). Es bleibt also nicht verborgen, daß die Restriktionsgleichungen oft erheblich wirksamere Träger von Zielen der Stadtplanung sein können als eine "nur" regulierende Zielfunktion. Was die Zielfunktion steuert, sollte, wie im vorgestellten Fall des geringsten Aufwandes zur gesicherten Nutzung der Stadt, sozusagen "sowieso" erreicht werden.

Die drei Typen von Restriktionen (a), (b) und (c) sollen durch Beispiele nocheinmal voneinander abgegrenzt werden:

(a) f o r m a l (logisch)

$$ERWIII_i - QIII_i = AIII_i - ZIII_i$$

$$\text{mit } QIII_i = \sum_j FIII_{ij}; \quad ZIII_i = \sum_j FIII_{ji}$$

(b) e m p i r i s c h

$$0.38 E \leq ERW = ERWII + ERWIII \leq 0.42 E$$

(c) n o r m a t i v

z.B. zur Kontrolle der Pendlerströme:

$$0.9 ERW \leq A \leq 1.1 ERW \quad \text{mit}$$

$$A = AII + AIII; \quad ERW = ERWII + ERWIII$$

$$AII = \sum_i AII_i \quad \text{usw.}$$

Wir erkennen aus der Angabe der Laufindizes und bereits bei Nennung nur einiger relevanter Variablen und weniger vorgeführter Restriktionen, daß ein Interdependenzsystem von beträchtlicher Größe entsteht. Jede für i formulierte Restriktion existiert sooft, wie es Planungsbezirke gibt. Das bedeutet, daß die Menge aller Gleichungen formal erstellt werden kann. Der Formulierungsaufwand ist deshalb gering, aber das Speichervolumen ist beträchtlich.

Einfach indizierte Variablen existieren n-fach, wenn n die Anzahl der Planungszellen ist; zweifach indizierte Variablen belegen bereits n·n Speicherplätze, usw.. Jede, mit einem  $\leq$  - oder  $\geq$  - Zeichen definierte Restriktion fordert außerdem eine Schlupfvariable. Die bisher angebotenen, auf der Matrizenrechnung beruhenden Verfahren, erfassen bis zu 4000 Restriktionsgleichungen und fast beliebig viele Variablen. Damit müssen bearbeitbare Probleme heute noch klein sein, das heißt unvollständig.

Die allgemeinen Matrizenverfahren sind außerdem dem hier formulierten Optimierungsansatz nicht angemessen, denn es sind normalerweise weniger als 5 % der Elemente des Koeffizientenschemas besetzt. Auch die begleitende Rechenmatrix kommt kaum über die 5 % - Grenze der Besetzung hinaus. 95 % der Rechenarbeit ist also Behandlung von Nullen. Weil deshalb ein Anreiz zur Entwicklung neuer Verfahren besteht, die auf modernen Rechnern auch schneller abgewickelt werden, nehme ich die augenblicklichen Einschränkungen seitens der angebotenen Programme nicht zu ernst.

Rufen wir uns zurück ins Gedächtnis, wie das Interdependenzsystem aussah: Die Verbindungsvariablen  $F_{p_{ij}}$ , die im Zusammenwirken mit ihren Koeffizienten  $w_{ij}$ .  $\alpha_p$  die Zielfunktion formulieren, sind über Restriktionsgleichungen an die Variablen der Stadtnutzung gebunden. Die Variablen der Stadtnutzung sind untereinander und von den Verbindungsvariablen abhängig formuliert oder ihr Wertebereich ist an die Grenzwerte der Rechten Seite gebunden. Variablen der Stadtnutzung sind nicht in der Zielfunktion.

Nachdem in Beispielen einige der anfangs aufgezählten Bedingungen für die Allokation von Stadtnutzungen als Restriktionen des Modellansatzes vorgestellt worden sind, ist eine ganz wichtige Forderung bislang unbeachtet geblieben: die Forderung nach der **S i c h e r h e i t** der Verbindungen. Es werden die kürzesten Verbindungen gesucht allerdings unter Wahrung einer sicheren Verfügbarkeit über sie.

Speziell für den individuellen PKW-Verkehr gilt folgendes: Parken ist zu einer modernen Stadtnutzung geworden. Parkflächen konkurrieren mit Flächen zum Wohnen, Arbeiten, Besorgen, ... Die Verfügbarkeit über das System des individuellen PKW-Verkehrs ist entscheidend davon abhängig, ob der notwendige Parkraum angeboten werden kann. Im Modellansatz läßt sich der parking restraint über dieselben Flächenrestriktionen formulieren, die die Mengen von Wohnungen, Arbeitsplätzen, Schulplätzen und anderes begrenzen. Die Minimierung des Verbindungsaufwandes verfolgt in jedem Falle des modal split eine Minimierung der vom Individualverkehrssystem benötigten Parkflächen.

Die allgemeine Form von Leistungsbegrenzung in den Transportsystemen ist der capacity restraint. Strecken, Knoten, und Transportgefäße sind im vorliegenden Ansatz nicht als Variablen definiert, was nicht bedeutet, daß dies grundsätzlich ausgeschlossen sei. Der Ansatz führt ausschließlich Verbindungsvariablen des reisezweckspezifischen Bedarfs nach Ortsveränderung an. Wenn über diese Bedarfswerte keine Kontrolle über die Sicherheit der Verbindungen möglich ist, muß in einem externen Umlegungsprozeß nach Störstellen

gesucht werden. In einem neuen Rechengang werden die beteiligten Verbindungen in ihrer Summe limitiert:

$$\sum_p \sum_i \sum_j F_{p_{ijr}} \leq CAP_r$$

Wenn Verbindungen mit Sicherheit über bestimmte Netzelemente  $r$  verlaufen, kann deren Leistungsgrenze  $CAP_r$  die Summe aller nachfragenden Verbindungen von vornherein im internen Arbeitsgang limitieren. Die bekannten Engstellen der Städte sind Brücken, der Citybereich, die Ausfallstraßen und in der Regel die Wilhelm- bzw. Friedrichstraße.

Den vorgenannten Gedankengang umkehrend kann ebensogut die Konzentration des Verkehrs auf vorhandene oder gewollte Verkehrsachsen erreicht werden. Wenn eine Stadt große Investitionen in ein Wegesystem tätigt, darf es keine Anordnung neuer Stadtnutzungen geben ohne vorrangige Berücksichtigung der Auslastung des verfügbaren Systems. Die Formulierung im Modellansatz ist sehr einfach: Die Summe aller Verbindungen, die über bestimmte Elemente gehen, soll einen Auslastungswert nicht unterschreiten. Die Flächennutzung hat entsprechend zu reagieren.

Interdependenzsysteme dieser Art haben, wenn sie widerspruchsfrei formuliert sind, eine optimale Lösung. Mit Hilfe des Algorithmus der Linearen Programmierung werden mit einem solchen Ansatz die Stadteinhalte so geordnet, d.h. angeordnet, daß bei Benutzung zugrundeliegender Transportsysteme und unter Beachtung aller formulierten Bedingungen die Stadt mit einem Minimum an Verbindungsaufwand funktioniert. Welche Netze aber sollen zugrunde gelegt werden? Die Vorgabe eines bestimmten Netzes beeinflusst in großem Maße das Ergebnis, da die Widerstandsansätze, die aus den Netzen errechnet werden mögen, als absolute Größen in die Berechnung eingehen. Die Widerstände sind als Koeffizienten der Zielfunktion uneingeschränkt empfindlich. Eine Verbindung von 20 000 m ist eindeutig der von 20 001 m vorzuziehen. Was nur 20 000 m zurücklegen muß, legt nicht **u n b e d i n g t** 20 001 m zurück.

Da der Wegeraum über große Entwicklungszeiträume deutlich konstant bleibt und die Anwendung eines solchen Modells hauptsächlich auf gewachsene Städte zu erwarten ist, wäre es möglich, auf den neu geordneten Trassen bestehender Verkehrsnetze ein idealisiertes Netz aufzubauen. Das idealgeometrische Maximalnetz, an das sich die Stadtnutzungen in allen Entwicklungsstufen anlagern können, wäre eine mögliche Alternative.

Ein Optimierungsansatz dieser Art und Methode trifft die Lösung mit beliebiger Genauigkeit. Bei der Auswahl einer Lösung aus dem Angebot von Alternativen z.B. mit Hilfe der Nutzwertanalyse, kann das Optimum nur dann gefunden werden, wenn es im Angebot ist. Der kreativen Lösungsfindung, die oft genug eine starke Zufallskomponente beinhaltet, wird hier ein analytisches Verfahren gegenübergestellt. Das analytische Verfahren sucht einen Extremwert, was mathematisch gesehen immer eine eindeutige Sache ist, und eine einfache obendrein. Die Mathematisierbarkeit eines Sachverhaltes ist bei komplexen Entwicklungsaufgaben, wie Stadtplanung, die Grundvoraussetzung, um, über die Kapazität eines einzelnen Planergehirns hinaus, überhaupt Systeme im Griff zu behalten, die absehbar vollständig und geschlossen behandelt werden müssen. Der Wert der Computer besteht nur in zweiter Linie in der Rechengeschwindigkeit, in erster Linie vielmehr darin, daß Speicherinhalte riesigen Ausmaßes simultan zur Verfügung stehen. Deshalb ist die Aufstellung größerer Interdependenzsysteme heute gerechtfertigt. Sie sind kapazitätsmäßig und zeitmäßig in absehbarer Zeit handhabbar.

Das Operation Research nennt die Methoden Linearer wie Nichtlinearer Programmierung Entscheidungsverfahren. Eine bindende "Entscheidung", wie wir sie im Planungsprozeß beim Übergang zur "Realisierung" definieren, stellen sie nicht dar. In der formalen Sprache von Methoden jedoch wird die Erarbeitung der einzigen Lösung als Entscheidung bezeichnet. Alle Bindungen und Wertschätzungen sind in der

Zielfunktion und in den Restriktionen formuliert, als Vorgaben der Lösungsfindung. Das Bewertungsproblem ist der Lösungsfindung vorangestellt. Danach gibt es nur die entscheidende Lösung. Grundsätzlich kann jede Lösung als Wirkungsprognose irgendwelcher Zielsetzungen und Wertvorstellungen verstanden werden. Durch den Ansatz verschiedenster Zielfunktionen und Restriktionen kann der Planer die unterschiedlichsten Extremwerte im System kennen lernen. Er kann den Vorteil solcher Experimente nutzen, der darin besteht, daß eine markante Konfiguration der Stadteinhalte aufgezeigt wird, die ihm im hochgradig interdependenten System überhaupt eine Orientierung erlaubt.

Die Zielfunktion kann die autogerechte Stadt wollen, die fußläufige, soweit das möglich ist, oder die kinderfreundliche, je nachdem, wie die Bedeutung besonderer Verbindungen vorrangig gesehen wird. Das Verfahren gibt Auskunft über die Bindungswirkung jeder einzelnen Restriktion, sodaß Gelegenheiten zur Revision der Wertvorstellungen im Sinne einer Verbesserung der Lösung richtungsmäßig bekannt sind.

In Ergänzung soll etwas zu den Optimierungsverfahren gesagt werden, die nicht in vergleichbarem Umfang simultan arbeiten, sondern auf der Basis von Iteration und Konvergenz.

Der Bedarf an so extrem großem Kernspeicherplatz für die Matrizenrechnung beispielsweise des Simplexverfahrens hat viele Planer auf den Weg zurück verwiesen, auf dem sie das Optimierungsproblem kennengelernt hatten. Die Variablen in diesen Modellen sind naturgemäß dieselben, wie sie oben genannt wurden. Die Fachmodelle, die z.T. in sehr hoch entwickelter Form eingebracht werden, sind hintereinandergeschaltet. Nach dem Prinzip der schrittweisen Näherung und in Voraussetzung der Konvergenz wird die Lösung erwartet. Es existiert aber außer der Forderung nach Widerspruchsfreiheit keine solche Zielfunktion, die in jedem Augenblick Leitfaden der Lösungsfindung, und zwar eines Optimums,

wäre. Die Lösung wird hinterher beurteilt, das Optimum also außerhalb des Verfahrens gesucht.

Proportionalitätsfaktoren derselben Art, wie sie im Optimierungsansatz gebraucht werden und exakt dieselben Variablen können einen Ansatz nach dem Lowry-Muster ausfüllen. Ein solches Modell nutzt ebenfalls die vorgegebene Einteilung des Planungsraumes in Planungszellen, hat dieselben Probleme bezüglich der unterlegten Verkehrssysteme, aber es beachtet nicht mehr simultan, sondern sukzessiv ähnliche Restriktionen, wie sie vorhin formuliert wurden. Insbesondere aber setzt es eine Rangfolge von Berechtigungen voraus, z.B. welche Aktivitäten welche anderen verdrängen dürfen, oder welche Aktivitäten vorrangig verortet werden; eine Maßnahme, die sich in den Iterationsschritten nicht kompensiert.

Die Erwerbstätigen in der Industrie ( $ERWII_i$ ) verteilen sich im 1. Schritt z.B. gemäß dem Erfahrungsansatz einer Gravitationsrechnung auf die infragekommenden Standorte für Wohngebiete. Die Standorte der Industrie ( $AII_i$ ) und die Anzahl der dort Beschäftigten sind extern vorgegeben und als unveränderlich zu betrachten. Die Standorte der Wohngebiete werden zunächst durch Schätzwerte o.ä. attraktiv gemacht. Der Verteilungsansatz kann natürlich auch normativ gemacht werden in der Art, daß immer erst die verbindungs-günstigen Wohnmöglichkeiten ausgeschöpft werden.

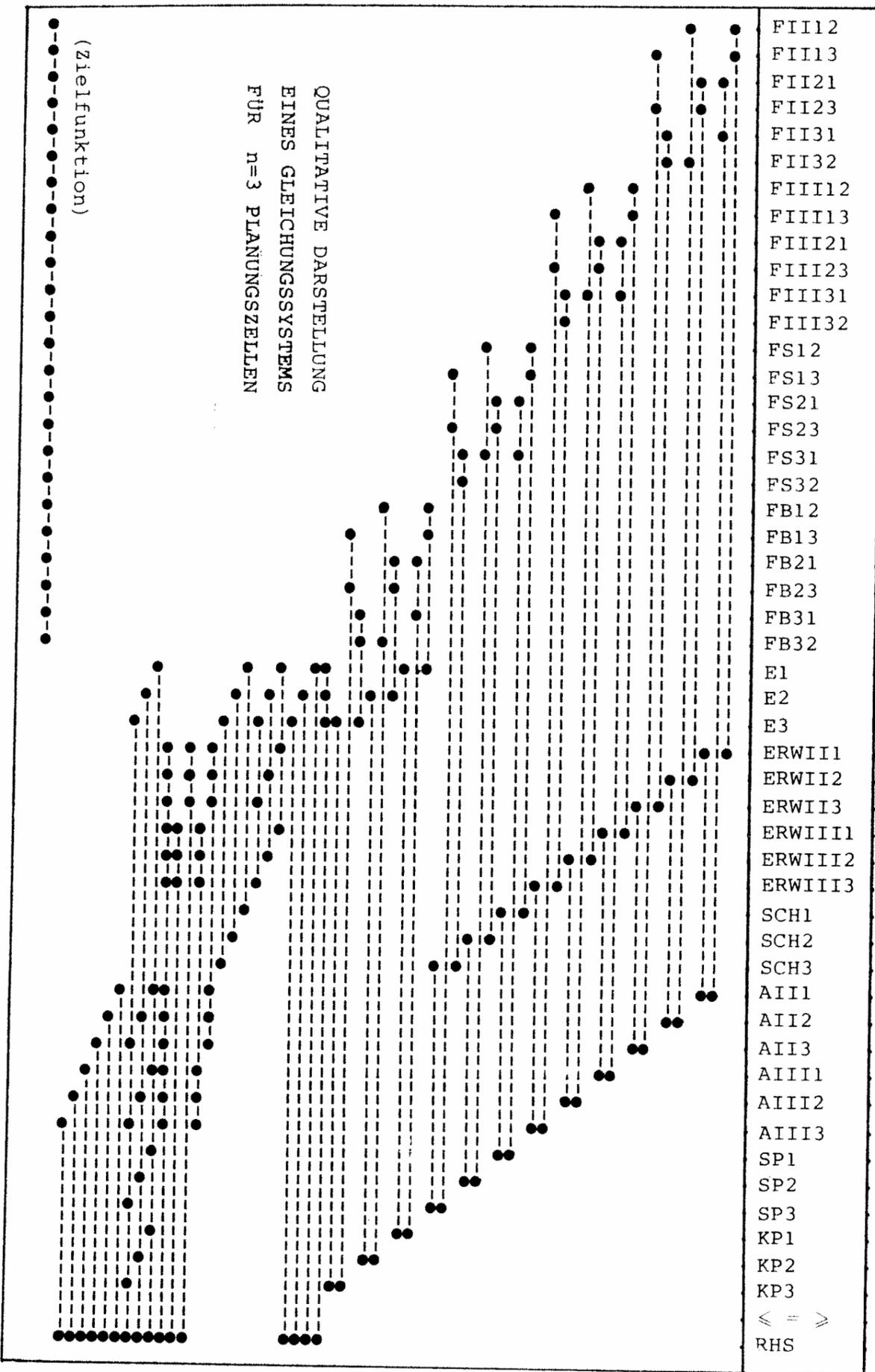
Im 2. Schritt wird der Bedarf der (den Erwerbstätigen in der Industrie zuzuordnenden) Einwohner ( $E_i$  zu  $ERWII_i$ ) an tertiären Dienstleistungen ermittelt. Diese Dienstleistungseinrichtungen ( $AIII_i$ ) erhalten in einem neuen Verteilungsansatz ihren Standort. In bestimmtem Ausmaß können sie Wohnplätze ( $E_i$ ) verdrängen, in jedem Iterationsschritt z.B. zu einem festen Prozentsatz der vorhandenen, bis ein Grenzwert erreicht ist. Die verdrängten Einwohner müssen nun erneut verteilt werden. Es sollte das alte Kriterium, nämlich die Bezogenheit ihrer Erwerbspersonen ( $ERWII_i$ ) auf den Arbeitsplatz in der Industrie ( $AII_i$ ), bestimmend bleiben.

Im 3. Schritt wird die Wohnplatzverteilung der Erwerbstätigen und ihrer Familienangehörigen ( $E_i$  zu  $ERWIII_i$ ) vorgenommen, die die Handels- und Verwaltungseinrichtungen ( $AIII_i$ ) versorgen. Diese Schritte wiederholen sich im Ausgleichsverfahren.

Die Nacheinanderschaltung der Verortungsschritte schafft von einem zum anderen Schritt Vorgaben, die vermutlich nicht wieder herausiteriert werden können. Auch hier gibt es keine allgegenwärtige Zielfunktion.

Zum Abschluß noch eine Bemerkung zu den normativen Ansätzen: sie möchten nur von dem vorgeschlagen werden können, der dem Stadtbenutzer nicht zutraut, mit seiner Stadt fertig zu werden? Genau das kann der Stadtbenutzer auch nicht. Daß er es nicht kann, beweisen die Fehlnutzungen der Innenstädte und der Stadtrandzonen. Hier wird als Kriterium der Ansiedlung weniger der gesicherte Verbindungsbedarf aller Stadtbenutzer gesehen als die private Wertschätzung, die Gunst des Bodenmarktes oder alte Gewohnheit.

Verbesserungen, die den Nutzen der Allgemeinheit eher vertreten als den des Einzelnen, sind noch nie anders als von einer normativen Ebene aus in Ansatz gebracht worden. Ein methodischer Ansatz sollte diese Normen diskutierbar machen.



Hartmut Hensel

INTEGRIERTE VERKEHRSSYSTEME IN DER STADTPLANUNG<sup>1,2</sup>

Zum Thema

Integrierte Verkehrssysteme werden in der Literatur allenthalben behandelt, die Benamung wirkt schon langweilend und spannungslos. Der Begriff ist aber schlagend für einen bestimmten Sachverhalt: notwendig ein Ganzes bildend, und: Zusammenschluß aus selbständigem Nebeneinander zu einem übergeordneten Ganzen. Zur Abgrenzung sei zunächst erläutert, was nicht zu behandeln ist.

Das integrierte Verkehrssystem ist nicht ein technisch evolutiv-näres System, das den Dualismus der heutigen städtischen Verkehrssysteme, der die Stadt zu lähmen droht, überwinden soll durch Einführung neuer Transportgefäße, neuer Verkehrswege, neuer Betriebstechniken.

Gemeint ist auch nicht ein aus den heutigen Verkehrsmitteln geknüpftes Verkehrssystem, das deren Vorteile für den Benutzer zur größtmöglichen Wirkung bringt unter Vermeidung augenfälligster Nachteile: ein integriertes Verkehrssystem, in dem individuelle und kollektive Verkehrsmittel koordiniert und arbeitsteilig eingesetzt werden.

Die Elemente des hier zu behandelnden Systems sind nicht: Straße, Haltestelle, Verknüpfungspunkt, Fahrzeug, Steuerung .... Es geht nicht um eine technologische Betrachtung.

Elemente sind solche der Raumüberwindung in der Zeit und des Zeitaufwandes für systemimmanente Tätigkeiten, die der Benutzer ableisten muß zum Zwecke der Ortsveränderung. Elemente sind auch,

<sup>1</sup> Dieser Beitrag ist ein Versuch in Richtung auf eine größere Arbeit des Verfassers: Zur Methode der Analyse integrierter Personenverkehrssysteme städtischer Regionen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Erschließungs- und Verbindungseffekte für die Verkehrsmittelwahl (Arbeitstitel).

<sup>2</sup> abgeschlossen August 1972