

Frank E. Münnich

ZUM AUSSAGEGEHALT DES LOWRY-MODELLS

Die Entwicklung von Modellen, die die Struktur und Entwicklung von Stadtregionen oder Regionen beschreiben, hat im letzten Jahrzehnt erhebliche Fortschritte gemacht. Man darf annehmen, daß dies auf einem allgemeinen Bedürfnis beruht, über Planungsmaßnahmen und deren Rückwirkungen in interdependenten sozio-ökonomischen Systemen genauere Aussagen zu erhalten. Im Zuge der Verschiebung der Blickrichtung der Planung, insbesondere der Stadtplanung im traditionellen Sinne weg von Baumassen und hin zu sozialen Erscheinungen, wurde dies eine dringende Notwendigkeit. So wurde es auch erforderlich, die kleinräumliche ökonomische Entwicklung zu beschreiben. Mit anderen Worten: die erwähnten Stadt- und Regionalmodelle müssen als wesentlichen Bestandteil das ökonomische System mit umfassen. Sie beinhalten demgemäß auch mehr oder weniger geschickte Darstellungen des Bodenmarktes, des Arbeitsmarktes, der Einkommensentwicklung oder ähnlicher ökonomischer Phänomene.

Nun stößt die Berücksichtigung ökonomischer Faktoren in Modellen dieser räumlichen Ausrichtung auf besondere Schwierigkeiten. Diese beruhen zunächst darin, daß sich die Ökonomie traditionellerweise mit globalen Aspekten einer Volkswirtschaft befaßt. Ihre Aussagen beziehen sich auf solche Größen, die für die Volkswirtschaft im ganzen definiert sind. Die regionale Differenzierung dieser Größen ist dagegen lange Zeit vernachlässigt worden. Freilich kann nicht übersehen werden, daß man sich auch im Bereich der ökonomischen Theorie den Problemen gewidmet hat, die aus der räumlichen Bezogenheit aller ökonomischen Aktivitäten resultieren. So wurden Standorttheorien, Theorien des räumlichen Gleichgewichts und schließlich die regional science entwickelt. Aber auf diese Theorien trifft der Vorbehalt, daß sie für Zwecke der kleinräumlichen Planung inoperational sind. Es läßt sich zwar mit Hilfe der Standorttheorie und allgemeiner betriebswirtschaftlicher Kostenüberlegungen der optimale Standort für ein Einzelunternehmen oder einen einzelnen Betrieb oder einen Betriebsteil hinreichend genau ermitteln; doch fehlt die Zusammenfassung der so gewonnenen individuellen Standortentscheidungen zu einem umfassenden System von Standorten mit einer konkreten Zuordnung von bestimmten Standorten zu spezifizierten Punkten oder Flächen. Denn die Zusammenfassung, die etwa in der Theorie des allgemeinen räumlichen Gleichgewichts von Lefebvre und von von Böventer existiert, ist im höchsten Grade inoperational.

Aus diesen Gründen muß man bei der Beurteilung der Darstellung wie bei der Erstellung des ökonomischen Subsystems in regionalen Entwicklungsmodellen zwei

Dinge im Auge behalten. Zum einen ist eine drastische Reduktion des ökonomischen Systems erforderlich: aus der Fülle der in der allgemeinen Theorie berücksichtigten oder doch zumindest angesprochenen Einflußgrößen sind wenige besonders relevante herauszugreifen. Diese sind, zum zweiten, durch operationale Substitute der ökonomischen Begriffe zu beschreiben. Beide Aspekte der Operationalisierung der ökonomischen Theorie lassen sich bei vielen Stadt- und Regionalentwicklungsmodellen feststellen, insbesondere dann, wenn sie für eine praktische Anwendung entworfen worden sind. Man kann auch das Lowry-Modell als einen Versuch interpretieren, ein ökonomisches Subsystem einer Stadtregion in operationalen Termini zu beschreiben. Bei der nun folgenden Darstellung des Modells soll auf diesen Gesichtspunkt besonders eingegangen werden, demgegenüber werden die städteplanerischen und städtebaulichen Aspekte stärker in den Hintergrund treten.

Lowry hat sein Modell 1963 für ein Stadterneuerungsvorhaben der Stadt Pittsburgh entwickelt. Das Modell ist somit seiner ganzen Anlage nach auf die Beschreibung von Stadtregionen zugeschnitten. Seine formale Struktur ist jedoch so einfach und generell, daß es auch auf beliebige andere räumliche Bezugssysteme angewendet werden kann. So ist es in jüngerer Zeit vielfach auch im regionalen Maßstab verwendet worden. Trotz seiner einfachen logischen Struktur ist es insgesamt so umfassend und komplex, daß zu seiner Durchspielung ein Computer benötigt wird.

Der Grundgedanke des Modells besteht darin, die räumliche Feinstruktur einer Stadtregion als das Ergebnis interdependenter Standortentscheidungen darzustellen. Dabei werden in enger Anlehnung an das economic base concept drei Gruppen von standortsuchenden Einheiten unterschieden. Es gibt erstens Unternehmen, deren Mikrostandorte innerhalb der Region wegen der Exportorientierung dieser Unternehmen beliebig sind und die daher für das Modell als exogen gegeben angesehen werden können. Zum zweiten gibt es Unternehmen, die überwiegend der Versorgung der Bevölkerung dieser Region dienen, deren Standorte daher überwiegend absatzorientiert sind. Diese Unternehmen werden ihre Standortwahl nach dem Kaufkraftpotential ausrichten. Dies ist, weil Einkommensgrößen nicht explizite in das Modell eingehen, gleichbedeutend mit einer Ansiedlung in den Verdichtungsgebieten der Bevölkerung. Die Unternehmen dieses Dienstleistungssektors werden aufgrund der Größe ihres Einzugsgebietes in drei Klassen unterschieden: a) in Unternehmen, die für den nachbarschaftlichen Bereich produzieren, b) in Unternehmen, die einen größeren Nahbereich versorgen und c) in solche Unternehmen, deren Einzugsbereich die gesamte Stadtregion ist. Zum dritten gibt es Haushalte, deren Wohnungswahl arbeitsplatzorientiert ist. Sie wählen ihren Wohnstandort in der Weise, daß sie geringere Entfernungen zum

Arbeitsplatz größeren Entfernungen vorziehen, ohne jedoch in jedem Falle die dem Arbeitsplatz nächstliegende Wohnung zu nehmen.

Dies ist naturgemäß ein außerordentlich stark vereinfachtes ökonomisches System. Der Grad der Vereinfachung wird noch daran besonders deutlich, daß weder Preise noch Einkommen und somit auch keinerlei Angebots- oder Nachfragebeziehungen in die Betrachtung eingehen. Auch die Verwendung von Produktionsfunktionen wird vollständig umgangen. Die Beziehungen zwischen den Nachfragern und Anbietern auf den Gütermärkten werden vielmehr ganz elementar durch eine Beziehung beschrieben, die angibt, wieviele Arbeitskräfte im Dienstleistungsbereich erforderlich sind, um eine Bevölkerungseinheit zu unterhalten, während die Zahl der Beschäftigten im basic sector vorgegeben ist.

Aus der Gesamtzahl der Beschäftigten wird mit Hilfe der Erwerbsquote die Gesamtbevölkerung bestimmt. Die Verteilung der gesamten wohnungsuchenden Bevölkerung auf die einzelnen Raumzellen (tracts) geschieht mit Hilfe des Potentialkonzepts. Auch für die Verteilung der zur Versorgung der Gesamtbevölkerung erforderlichen Beschäftigten im Dienstleistungssektor auf die einzelnen Raumzellen wird das Potentialkonzept verwendet. Für jeden potentiellen Standort der Region wird also das Potential an Wohnungsuchenden oder das Potential an Kaufkraft errechnet. Die zentrale Annahme des Modells ist, daß diese Potentiale jeweils voll aufgefüllt werden. Man kann daher das Lowry-Modell als eine Art Gleichgewichtsmodell ansehen. Weil die Potentiale stets realisiert werden, gibt es keine Abweichungen zwischen Angebot und Nachfrage und damit auch keine Ungleichgewichte und dynamischen Anpassungsprozesse.

Die Tatsache, daß es sich um ein Potentialmodell handelt, hat die weitere Implikation, daß es keine abgetrennten Marktgebiete gibt, wie sie sich bei Anwendung der klassischen Markttheorie oder der Theorie der zentralen Orte ergeben würden. Vielmehr überlappen sich die einzelnen Marktzone sehr stark, weil die Attraktivität der einzelnen Raumzellen mit der Entfernung allmählich abnimmt, die Widerstandsfunktion also gleichförmig mit steigender Entfernung zunimmt und nicht die Gestalt einer Treppenfunktion mit nur zwei Stufen (1 und ∞) aufweist.

Ähnlich stark vereinfachend sind auch die Annahmen über die räumliche Struktur des betrachteten Gebiets. Lowry selbst teilt die betrachtete Stadtregion mittels eines Gitternetzes in Raumzellen auf. Dies ist jedoch systemlogisch nicht erforderlich,

jede andere Art der Zerlegung der Region in Zellen könnte verwendet werden, ohne daß sich die logische Struktur des Modells änderte. Die Raumzellen selbst werden als black boxes ohne Eigenstruktur angesehen. Dieser black-box-Charakter der Raumeinheiten wird auch nicht dadurch abgeschwächt, daß für jede Raumeinheit simultan verschiedene Nutzungen möglich sind, weil diese Nutzungen lediglich in ihren Flächenansprüchen, nicht aber in ihrer speziellen Lokalisation innerhalb der tracts beschrieben werden. Die tracts stellen demnach die elementaren Raumeinheiten des Modells dar. Beziehungen, die zwischen diesen Raumzellen bestehen, werden als ausschließlich von der Entfernung zwischen den Zellenschwerpunkten abhängig angesehen. Topologische Begriffe wie Verbundenheit oder Benachbarkeit gehen in das Modell nicht explizite ein. Insofern ist das Modell eher als das Modell einer Multipunkt-wirtschaft als das einer eigentlich räumlichen Wirtschaft anzusehen.

Um das Modell in seinen Einzelheiten vorzuführen, ist eine formalisierte Darstellung erforderlich. In dieser verwenden wir, abweichend von Lowry, die folgende Symbolik:

- W für Wohnbevölkerung
- E für Erwerbstätige
- F für Fläche

Diese Größen geben, wenn sie nicht indiziert sind, die jeweiligen Totalen für die ganze Stadtregion an. Beziehen sie sich auf eine der n Raumzellen, so werden diese durch Unten-Indizes kenntlich gemacht:

- $i, i = 1, \dots, n$ kennzeichnet die abhängige Region, in die verteilt wird (destination, Zielregion)
- $j, j = 1, \dots, n$ kennzeichnet die unabhängige Region, aus der verteilt wird (origin, Quellregion)

Die jeweilige Aktorgruppe wird durch Oben-Indizes bezeichnet:

- f für fundamentaler (Basis-) Sektor
- d für derivativer Sektor
- h für Haushaltssektor
- $k, k = 1, 2, 3$ für die k 'te Klasse des derivativen Sektors

Es werden ferner eine Reihe von Konstanten benötigt, die jeweils an der erforderlichen Stelle eingeführt werden.

Das Modell lässt sich nunmehr wie folgt beschreiben.

Hypothese 1 Jeder Erwerbstätige kann q Personen (einschließlich seiner selbst) unterhalten. q ist der Kehrwert der Erwerbsquote. Die durch die Erwerbspersonen E_j, j = 1, ... n tragbare gesamte Wohnbevölkerung der Stadtregion ergibt sich damit als

$$(1) W = q \sum_{j=1}^n E_j \text{ mit } E_j := E_j^f + \sum_{k=1}^3 E_j^k = E_j^f + E_j^d$$

Diese Gleichung ist zugleich die Ausgangsgleichung für die Lösung des Modells in Iterationen (dies ist eine Lösungsmöglichkeit, eine andere Möglichkeit beruht auf einer Matrixinversion). Hierbei wird von der exogen gegebenen Verteilung der im fundamentalen Sektor beschäftigten Bevölkerung auf die Raumzellen ausgegangen. Es gilt daher für die erste Iteration E_j = E_j^f. In den folgenden Iterationen erscheint dann jeweils zusätzlich die Derivatibeschäftigung in E_j.

Man kann (1) auch in anderer Form schreiben:

$$(1') W = qE$$

Hypothese 2 Die Zahl W_i der Bewohner einer Raumzelle i ist gleich dem normierten Zugänglichkeitspotential zu allen Arbeitsstätten j. Das heißt in anderen Worten: die Beschäftigten einer jeden Arbeitsstätte wählen, gestreut um ihre Arbeitsstätte, ihre Wohnplätze in der Weise, daß die Wahrscheinlichkeit einer Raumzelle, Wohnstandort zu werden, um so geringer ist, je weiter entfernt sie von der Raumzelle des Arbeitsplatzes ist. Die Verteilung der Gesamtbevölkerung auf die Raumzellen erfolgt dann im Verhältnis der in den Raumzellen ansässigen Erwerbstätigen.

$$(2) W_i = g \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{T_{ij}} \quad i = 1, \dots, n$$

$$\text{mit } g = q \frac{\sum_{j=1}^n E_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{T_{ij}}}$$

g hat im wesentlichen die Funktion einer Normierungskonstanten, durch die sichergestellt wird, daß die Summe der durch den Potentialansatz den einzelnen Raumzellen zugeordneten Wohnbevölkerungszahlen die Gesamtbevölkerung der Region ergibt.

T_{ij} ist die Widerstandsfunktion für die Fahrten von der Wohnung zum Arbeitsplatz. Der Wert von T_{ij} hängt monoton steigend von der Entfernung zwischen i und j ab, wobei die von Lowry gewählte spezielle Funktion aus den Ergebnissen einer Verkehrserhebung in Pittsburgh abgeleitet worden ist. Da man generell bei Anwendungen des Lowry-Modells die Widerstandsfunktionen aus empirischem Material schätzen muß, soll auf die spezielle von Lowry gewählte Funktion nicht weiter eingegangen werden. Das gilt auch für die Widerstandsfunktionen im Potentialmodell des Dienstleistungssektors. Auch auf die Erörterung der Problematik des zu verwendenden Entfernungsbegriffes (Lowry: Luftlinienentfernung) soll hier verzichtet werden.

Die von der Wohnbevölkerung entfaltete Nachfrage nach Dienstleistungen wird unmittelbar, getrennt nach den erwähnten drei Klassen von Bedarf, in Arbeitskräften des derivativen Sektors gemessen. Dabei wird Proportionalität von zu versorgender Bevölkerung zu versorgenden Erwerbstätigen im Dienstleistungssektor angenommen:

$$(3) E^k = p^k \cdot W \quad k = 1, 2, 3$$

wobei die Proportionalitätskonstante nach Bedarfsgruppen verschieden ist. Durch Summation über k erhält man mit

$$p = p^1 + p^2 + p^3$$

$$(3') E^d = p \cdot W$$

Diese Gleichung gibt an, welche derivative Beschäftigung insgesamt erforderlich ist, um die Bevölkerung W zu versorgen.

Die Lokalisierung der derivativ Beschäftigten geschieht wiederum mit Hilfe des Potentialkonzeptes. Dabei geht Lowry davon aus, daß die räumliche Struktur der Nachfrage nach Derivatibeschäftigten von der räumlichen Struktur sowohl der Wohnbevölkerung als auch der Erwerbstätigen abhängt. Die Widerstandsfunktionen sind für beide jedoch unterschiedlich. Während sie für die Nachfrage der Wohnbevölkerung eine gleichförmig steigende Funktion der Entfernung ist, wobei nach Bedarfsgruppen differenziert wird (und die Funktionen eine andere Gestalt als im Falle des Arbeitsplatzzubringerverkehrs haben), ist sie für die Nachfrage der Erwerbstätigen eine Treppenfunktion der Art:

$$T_{ij} = 1 \quad \text{für } i = j$$

$$T_{ij} = \infty \quad \text{für } i \neq j$$

Dies wird damit begründet, daß die Nachfrage der Erwerbstätigen im wesentlichen auf Nahrungs- und Genußmittel gerichtet ist und diese ganz überwiegend in der unmittelbaren Nachbarschaft der Erwerbstätigen gekauft werden. Der Tatsache, daß die Nachfrage der Erwerbstätigen nicht auf alle Bedarfsgruppen gleichmäßig verteilt ist, wird durch unterschiedliche Wägungsfaktoren α^k und β^k Rechnung getragen. Je Bedarfsgruppe werden die Derivatibeschäftigten proportional zu den Nachfragepotentialen auf die Raumzellen verteilt, so daß gilt

$$(4) \quad E_i^k = g^k \left[\alpha^k \cdot \sum_{j=1}^n \frac{W_j}{T_{ij}^k} + \beta^k \cdot E_i^k \right] \quad k = 1, 2, 3$$

$$i = 1, \dots, n$$

wobei g^k die Normierungskonstanten für die Bedarfsgruppen darstellen:

$$g^k = p^k W / \sum_{i=1}^n \left[\alpha^k \sum_{j=1}^n \frac{W_j}{T_{ij}^k} + \beta^k E_i^k \right] \quad k = 1, 2, 3$$

Die gesamten Derivatibeschäftigten in Raumzelle i ergeben sich durch Summation über k in (4) :

$$(5) \quad E_i = \sum_{k=1}^3 E_i^k$$

In der bisherigen Darstellung sind die Flächenansprüche noch nicht berücksichtigt worden. Diese werden in so elementarer Form im Modell eingebaut, daß nicht a priori klar ist, ob sie überhaupt irgendeinen Einfluß - und wenn, welchen - auf den vorstehend beschriebenen Verteilungsmechanismus haben. Für jede Raumzelle sind zunächst die gesamte Fläche F_j , die vom Fundamentalsektor beanspruchte Fläche F_j^f und die Fläche nicht-nutzbaren Landes F_j^u vorgegeben. Zu der letzteren zählt auch die für öffentliche Zwecke reservierte oder benutzte Fläche. Durch diesen Ansatz soll ermöglicht werden, daß über Inputvariationen die Auswirkungen unterschiedlicher Verteilungen des Fundamentalsektors und des öffentlichen Sektors auf die Verteilung des derivativen Sektors und des Wohnsektors zu ermitteln sind.

Die Restfläche $F^R = F_j - F_j^f - F_j^u$ ($j = 1, \dots, n$) steht für die Nutzung durch den derivativen Sektor und die Haushalte zur Verfügung. Die Flächenansprüche des derivativen Sektors werden innerhalb bestimmter Grenzen als proportional zur Zahl der Derivatibeschäftigten angenommen. Dabei werden die Grenzen durch folgende Annahmen definiert:

- 1) Eine derivative Nutzung wird einer Raumzelle nur dann zugeteilt, wenn eine bestimmte Mindestdichte an derivativer Aktivität in dieser Raumzelle erreicht wird. Dem liegt der Gedanke zugrunde, daß eine Geschäftsaufnahme nur dann lohnt, wenn ein bestimmter Mindestumsatz erzielt wird. Allerdings erfolgt die Abfrage, ob diese Mindestdichte erreicht wird, für jede Iteration isoliert. Wenn in einer bestimmten Iteration noch keine Nutzung vorliegt und die Zuteilung an derivativer Beschäftigung die Mindestdichte nicht erbringt, werden diese Beschäftigten anderen Raumzellen zugeteilt, in denen die Mindestdichte schon erreicht worden ist.

Dabei erfolgt keine Abfrage, ob nicht bereits in vorhergehenden Iterationen der betreffenden Raumzelle Derivatibeschäftigte zugeteilt worden sind, die dann wegen Nichterreichens der Minimumschranke umverteilt werden mußten. Durch diese Art der Verteilung erhält das Modell eine Tendenz zur Klumpung des derivativen Sektors. Da die einzelnen Iterationen nicht als Perioden eines Entwicklungsprozesses gedeutet werden können, sondern rechentechnisch erforderliche Schritte zur Gewinnung der stationären Lösung darstellen, ist dieses Vorgehen modelltheoretisch

unbefriedigend, auch wenn die Ergebnisse der Durchrechnung mit empirischen Werten eine solche Klumpungstendenz als erforderlich erscheinen lassen.

Besonders unbefriedigend ist dieser Umverteilungsmechanismus auch deshalb, weil es vorkommen kann, daß mehrere benachbarte Raumzellen Zuteilungen unterhalb ihrer jeweiligen Minimumschränke erhalten, die Summe der Zuteilungen jedoch die Minimumschränke wenigstens einer dieser Raumzellen übersteigt. Interpretiert man diesen Fall inhaltlich, so fördert das Modell die Bildung eines Oberzentrums, obgleich die Bildung auch von Unterzentren sinnvoll wäre. Diese Modelleigenschaft hängt eng mit der zugrunde liegenden Strukturierung des Raumes zusammen. Das Problem könnte prinzipiell durch eine Erhöhung der Zahl der Raumzellen, d.h. eine weitergehende räumliche Desaggregation gemildert werden, doch entstehen durch ein solches Vorgehen unter Umständen erhebliche statistische Probleme, wenn eine praktische Anwendung mit empirischen Material beabsichtigt ist.

Die Verwendung der Minimumschränke ist jedoch auch schon deshalb theoretisch unbefriedigend, weil das Problem der Anzahl der Betriebe und der Betriebsgrößenstruktur völlig übersehen wird. Meines Erachtens ist hier die Vereinfachung zum Zwecke der Operationalisierung zu weit getrieben worden.

- 2) Derivative Flächenansprüche verdrängen, solange vorhanden, die Ansprüche der Haushalte für Wohnungsnutzung.
- 3) Es existiert keine Maximumdichte für den derivativen Sektor. Hat der Dienstleistungssektor den Wohnungssektor in einer Raumzelle völlig verdrängt, so daß die gesamte für den derivativen und den Wohnungssektor zur Verfügung stehende Fläche vom derivativen Sektor allein in Anspruch genommen wird ($F^d = F^R$), so werden weitere Zuteilungen an derivativer Beschäftigung auf diese Fläche aufgestockt. Inhaltlich gesprochen geht die horizontale Expansion des derivativen Sektors in eine vertikale über. Im Gegensatz zur vorhergehenden Hypothese (Verdrängung) hält diese wohl einer empirischen Überprüfung kaum stand. Es ist jedoch völlig offen und hängt von den Werten der Parameter des Modells ab, ob dieser Fall überhaupt eintritt.

Für den Haushaltssektor, der in jedem Fall nur eine Residualfläche beanspruchen kann, werden die genau entgegengesetzten Restriktionen eingeführt: es existiert keine Minimumschränke, doch erfolgt die Anfüllung einer Raumzelle mit Wohnbevölkerung nur bis zu einer maximalen Wohndichte (bezogen auf die für Wohnzwecke zur Verfügung stehende Fläche). Dabei können die maximalen Wohndichten von Raumzelle zu Raumzelle verschieden sein.

Lowry selbst hat für die Bestimmung der Gesamtbeschäftigten und der Gesamtbevölkerung sowie von deren Verteilung auf die einzelnen Raumzellen, die sich aus den angeführten Gleichungen und Ungleichungen (Restriktionen) ergeben, einen iterativen Prozeß gewählt, dessen Struktur aus dem beiliegenden Flußdiagramm ersichtlich ist. Es läßt sich jedoch sehr einfach zeigen, daß die Bestimmung der Verteilung dieser Größen auf die Raumzellen unabhängig von der Bestimmung des Wertes der Größen selbst ist:

Aus der Definitionsgleichung

$$E = E^f + E^d$$

folgt durch Einsetzen von (1') und (3')

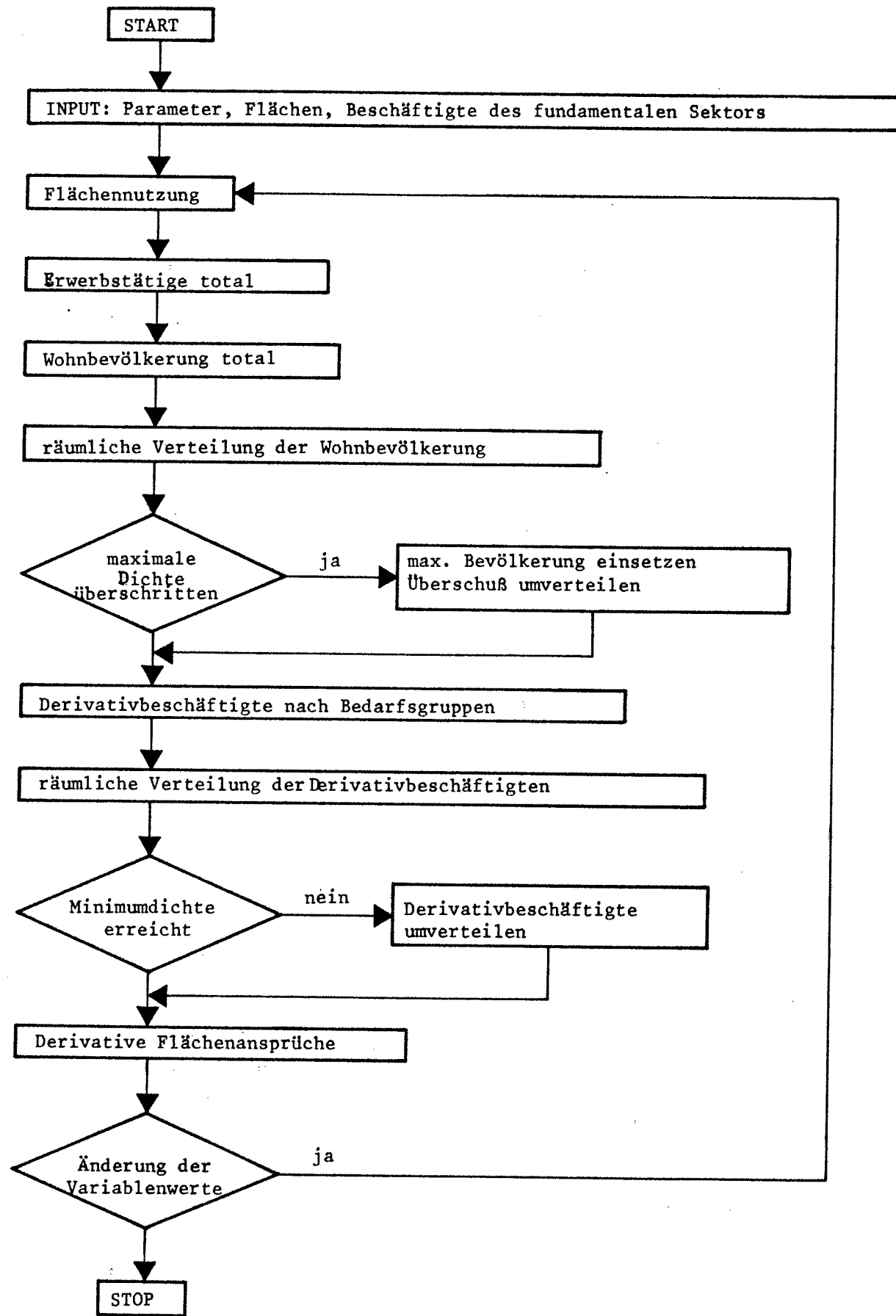
$$\begin{aligned}
 E &= E^f + p \cdot W \\
 &= E^f + p \cdot q E
 \end{aligned}$$

und somit

$$(6) E = \frac{1}{1 - pq} E^f$$

$$(7) W = \frac{q}{1 - pq} E^f$$

Der iterative Prozeß leistet somit eigentlich nur die Verteilung von E^d und W auf die Raumzellen. Es erhebt sich die Frage, ob nicht auch diese Aufgabe in einem Schritt leistbar ist. Diese Möglichkeit besteht in der Tat durch eine Formulierung des Lowry-Modells mittels Matrizen und Vektoren, die auf Garin zurückgeht. Zur Darstellung dieser Version verwenden wir weitgehend dieselbe Symbolik wie beim eigentlichen Lowry-Modell. E , E^d und W sind jedoch nunmehr Spaltenvektoren in n Komponenten (n = Zahl der Raumzellen), wobei die i -ten Komponenten jeweils mit E_i , E_i^d , W_i des Lowry-Modells



identisch sind. Zur Ableitung des Teilmodells für die Wahl der Wohnstandorte gehen wir von einer Matrix P der Zahl der "Pendler" (hier nicht im Sinne der Pendlerstatistik verwendet) aus, deren Zeilen die Raumzellen der Wohnstandorte und deren Spalten die Raumzellen der Arbeitsstandorte angeben. P_{ij} ist somit die Zahl der Erwerbstätigen, die in i wohnen und in j arbeiten. Die j -te Spalte gibt die Verteilung der Erwerbstätigen, die in Raumzelle j arbeiten, auf deren Wohnstandorte an. Durch Division jeder Spalte durch die entsprechende Spaltensumme (E_j ; in bisheriger Terminologie) erhält man eine Matrix A, deren Elemente a_{ij} den Anteil der in Raumzelle j Erwerbstätigen angeben, die in Raumzelle i wohnen. Diese Anteile sind mit Hilfe eines Gravitätsansatzes zu bestimmen, der somit nicht explizite in die Modellformulierung eingeht. Die a_{ij} haben in der Garin-Version die Funktion, die in der ursprünglichen Lowry-Version den T_{ij} obliegt, wobei allerdings durch die Verwendung von Anteilen dem Erfordernis der Normierung bereits Rechnung getragen worden ist. Das Produkt AE ist dann ein Spaltenvektor, der die Verteilung der Erwerbstätigen nach ihren Wohnstandorten angibt. Man erhält daraus die Wohnbevölkerung, indem man mit dem Kehrwert der für die jeweilige Raumzelle gültigen Erwerbsquote multipliziert. Ordnet man diese Koeffizienten auf der Hauptdiagonalen einer Diagonalmatrix Q an, so gilt

$$(8) \quad W = QAE$$

Analog läßt sich das Gleichungssystem für den Dienstleistungssektor ableiten, wobei der Einfachheit halber keine Aufgliederung in Bedarfsgruppen vorgenommen werden und die direkte Nachfrage der Erwerbstätigen unberücksichtigt bleiben sollen. Das Gleichungssystem lautet:

$$(9) \quad E^d = BRW$$

Hierbei bedeutet R eine Diagonalmatrix, deren Elemente r_{jj} angeben, wieviele Arbeitskräfte im Dienstleistungssektor erforderlich sind, um eine in Raumzelle j wohnende Person zu versorgen, so daß RW die Verteilung der erforderlichen Arbeitskräfte im Dienstleistungssektor nach dem Wohnsitz der Nachfrager darstellt. B ist eine $n \cdot n$ Matrix, deren Elemente b_{ij} den Anteil der zur Versorgung der Bevölkerung in Raumzelle j erforderlichen Erwerbstätigen im Dienstleistungssektor angibt, der aufgrund der Kaufgewohnheiten in Raum-

zelle i seine Arbeitsplätze hat. Die Elemente von B werden mit Hilfe eines Gravitätsansatzes geschätzt. Sie haben somit eine analoge Funktion wie die T_{ij}^k (und α^k) des Modellansatzes von Lowry, wobei das Problem der Normierung durch die Verwendung von Anteilen gelöst wird.

Durch Einsetzen von (8) und (9) in die definitorische Identitätsgleichung

$$E = E^f + E^d$$

erhält man:

$$\begin{aligned} E &= E^f + BRW \\ &= E^f + BRQA E \end{aligned}$$

oder

$$(I - BRQA)E = E^f$$

Ist die Matrix $I - BRQA$ invertierbar, so folgt:

$$(10) \quad E = (I - BRQA)^{-1} E^f$$

$$(11) \quad W = QA(I - BRQA)^{-1} E^f$$

Die Gleichungssysteme (10) und (11) sind die Analoga zu den Gleichungen (6) und (7). Im Unterschied zu diesen beschreiben sie jedoch die Verteilung der Erwerbstätigen und der Bevölkerung auf die Raumzellen in Abhängigkeit von der räumlichen Verteilung der Erwerbstätigen im fundamentalen Sektor.

Freilich sind die Flächenansprüche und die Restriktionen, denen diese unterliegen, noch nicht explizite in Erscheinung getreten. Es ist jedoch prinzipiell möglich, den Restriktionen auf solche Weise Rechnung zu tragen, daß eine Lösung "in einem Zuge" möglich bleibt. Die Technik hierfür ist von Wilson in der Form des Entropie-Maximierungs-Ansatzes entwickelt worden. Auf diesen Ansatz, der einen wichtigen Beitrag zur theoretischen Fundierung von Gravitätsmodellen darstellt, soll hier des beschränkten Umfangs wegen nicht eingegangen werden. In diesem Zusammenhang ist nur wesentlich, daß dieser Ansatz gestattet, alle modellrelevanten Restriktionen

explizite in die Modelldarstellung aufzunehmen, und sicherstellt, daß keine über die in den Restriktionen enthaltenen Informationen hinausgehenden Informationen implizite in das Modell eingehen. Die Auswirkungen der Anwendung dieses Ansatzes bestehen darin, daß - für den ursprünglichen Ansatz von Lowry - die Gestalt der Widerstandsfunktionen nicht mehr frei wählbar ist und - für den Ansatz von Garin - die Berechnung der Elemente der Matrizen A und B bestimmten Restriktionen unterliegt. Andererseits kann mit Hilfe dieses Ansatzes ein Einwand gegen die ursprüngliche Version des Lowry-Modells ausgeräumt werden, der mit dem Problem der Lösung in einem Zuge äquivalent ist: wenn nämlich bei der iterativen Lösung des ursprünglichen Modells Restriktionen wirksam werden, so erfüllen die Variablenwerte der endgültigen Lösung nicht die ursprünglichen Modellgleichungen (2) und (4) der Potentialansätze für den Haushaltssektor und den derivativen Sektor.

Für die Beurteilung der Aussagefähigkeit des Lowry-Modells ist davon auszugehen, daß es im wesentlichen deskriptiven Charakter hat: durch elementare Potentialansätze werden die Makro-Auswirkungen der Entscheidungen einer Unzahl von Akteuren beschrieben, ohne daß auf deren Entscheidungsprozesse im einzelnen eingegangen wird. In seiner vorliegenden Form ist es daher für prognostische oder praktisch-planerische Zwecke prinzipiell ungeeignet, wenngleich seine Anwendung in Einzelfällen gute Erfolge bringen kann. Andererseits ist das Modell sehr einfach und übersichtlich. Die für eine Implementierung erforderlichen Daten sind teils vorhanden, teils lassen sie sich ohne übermäßigen Aufwand beschaffen. Von daher erscheint es zunächst durchaus sinnvoll, das Lowry-Modell zum Ausgangspunkt der Entwicklung operationaler Regional- und Stadtmodelle zu machen. Mögliche Weiterentwicklungen sollten sowohl am formalen Gerüst wie den theoretischen Annahmen des Modells ansetzen.

Eine inhaltliche Interpretation der verwendeten Potentialmodelle ergibt, daß von allen Faktoren, die für eine Standortentscheidung relevant sind, lediglich die Entfernung zum Arbeitsplatz - beim Haushaltssektor - und zu den Einkaufsstätten - beim Dienstleistungssektor - Berücksichtigung finden. Schon bei Lakshmanan-Hansen findet sich der Ansatz zur Einbeziehung von Attraktivitätsfaktoren in Potentialmodelle, wenngleich "Attrak-

tivität" auch schwer zu operationalisieren ist. Darüber hinaus sollten in jedem Falle weitere Standortfaktoren in die Analyse einbezogen werden, insbesondere Einkommen und Preise, Präferenzen für Flächen und Dichten sowie Fragen der Sortimentsbreite und -tiefe und der Betriebsgrößenstruktur. Neben den Faktoren, die für die Nachfrage bestimmend sind, wäre auch die Angebotsseite explizite in das Modell aufzunehmen, damit gegebenenfalls auch dynamische Anpassungsprozesse untersucht werden können. Es ist allerdings fraglich, ob der operationale Charakter des Modells mit weitergehender Annäherung der Modellabbildung des Bodenmarktes an die wirtschaftstheoretische Konzeption des Bodenmarktes aufrechterhalten ist. Bei einer Weiterentwicklung des Lowry-Modells sollte neben den Fragen des Bodenmarktes denen der Produktionsverflechtung größere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dabei wäre auch zu erwägen, ob das Modell nicht ganz von dem economic base Konzept gelöst werden kann.

Die faktische Weiterentwicklung des Lowry-Modells in den letzten Jahren geht (insbesondere in Großbritannien) teilweise in die beschriebenen Richtungen. Keine Berücksichtigung, auch nicht in Modellen, die auf ganz anderen Ansätzen beruhen, hat dagegen bislang die Tatsache gefunden, daß in Realität die Allokation von Nutzungen auf Flächen nicht auf der grünen Wiese erfolgt, sondern an historische Gegebenheiten, an die zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandene räumliche Allokation, anzuknüpfen hat. Jedwede Reallokation ist mit teilweise erheblichen Kosten der Planung und Durchführung behaftet. Modelle, die die bereits vorliegende räumliche Struktur der Nutzungen nicht berücksichtigen, sind daher für praktische Anwendungen, insbesondere etwa für Sanierungsvorhaben, aber auch für Stadtentwicklungsplanungen, weitgehend nutzlos.

Fassen wir die Argumente zusammen. Ein wesentlicher, insbesondere didaktischer Vorteil des Modells liegt in seiner einfachen, überschaubaren formalen Struktur und seiner leichten Manipulierbarkeit. Es ist daher sicherlich für eine Einführung in den Bau operationaler Modelle sehr geeignet, sofern seine Grenzen gesehen werden. Für die Planungspraxis kann es, mit Vorsicht und Intelligenz benutzt, ein Informationsmittel unter vielen anderen darstellen. Seine Bedeutung für die Modellforschung jedoch läßt sich noch nicht klar abschätzen. Es ist fraglich, ob die erforderlichen theoretischen Erweiterungen

eine adäquate Erhöhung des Aussagegehaltes mit sich bringen werden. Zum einen läßt sich möglicherweise die formale Struktur von kleinräumlichen Entwicklungsprozessen weder durch deterministische noch durch stochastische Modelle hinreichend abbilden, weil historisch einmalige Faktoren in den implizierten politischen Prozessen eine zu große Rolle spielen. Zur Lösung dieses Problems könnte man daran denken, Simulationsmodelle zu konstruieren, deren systematische Komponenten in einem Computerprogramm enthalten wären, während man den historisch einmaligen Faktoren durch on-line mit dem Computer interagierende Gruppen von Entscheidern Rechnung trüge. Zum anderen führt möglicherweise eine Erhöhung der Zahl der Modellvariablen, ganz abgesehen von den Datenbeschaffungsproblemen, zu einer solchen Erhöhung des Rauschpegels, daß den Ergebnissen der Simulationsversuche, den "Lösungen" der Modelle, keine systematische Bedeutung und keine praktische Aussagekraft mehr zukommt. Leider liegen zur Zeit noch keine Berichte über Versuche der Implementierung von erheblich erweiterten Lowry-Modellen, etwa dem desaggregierten Lowrymodell von Wilson, und deren Erfolg vor. Die Erfahrungen mit dem auf einem völlig anderen Ansatz beruhenden Simulationsmodell des Community Renewal Program der Stadt San Francisco, auf dessen Anwendung in der Praxis verzichtet werden mußte, zeigen jedoch, daß die aufgezeigte Gefahr durchaus real ist. Wir halten es daher nicht für ausgeschlossen, daß sich in Zukunft herausstellt, daß das Lowry-Modell seine Bedeutung als elementares deskriptives Modell behalten, es sich aber für die Entwicklung der Kunst, regionale Planungsmodelle zu konstruieren, als Neandertaler erweisen wird.

Literaturhinweise

Cordey-Hayes, M. Retail location models
Centre for Environmental Studies
WP 16

Cordey-Hayes, M.
Wilson, A.G. Spatial interaction
Centre for Environmental Studies
WP 57

Cordey-Hayes, M.
Broadbent, T.A.
Massey, Doreen B. Towards operational urban development
models
Centre for Environmental Studies
WP 60

Hyman, G.M. The calibration of trip
distribution models
Centre for Environmental Studies
WP 31

Garin, R.A. A Matrix-Formulation of the
Lowry-Model for intrametropolitan
activity allocation
Journal of the American Institute
of Planners, 1966

Lowry, Ira S. A model of metropolis
The Rand Corporation
Santa Monica, Cal., 1964

Lowry, Ira S. A short course in model design
Journal of the American Institute
of Planners, 1965

Lowry, Ira S. Seven models of urban development:
A structural comparison
Special Report 97, Highway Research Board,
Washington 1968

Masser, Ian Lomodo 61
Die Einsatzmöglichkeiten des Lowry
Modells in Deutschland.
Manuskript.
Dortmund 1970

Stradal, O. und J. Lang Entwicklung des Planungsinstruments
ORL-MOD-1
Institut für Orts-, Regional- und Landes-
planung an der ETHZ, Zürich 1970

Stradal, O. und W. Popp Das Garin-Lowry Modell als simultane
Betrachtungsweise bei der Stadtplanung
Schriften des Instituts für Städtebau
und Raumordnung, Bd. 6. Stuttgart

Wilson, A.G. Development of some elementary
residential location models
Centre for Environmental Studies
WP 22

Wilson, A.G. Entropy
Centre for Environmental Studies
WP 26

Wilson, A.G. Disaggregating elementary
residential location models
Centre for Environmental Studies
WP 37

Wilson, A.G. Generalising the Lowry Model
Centre for Environmental Studies
WP 56