

WINFRIED W. KILLISCH

Gravitationsmodelle in der Wanderungsforschung***Eine kritische Analyse des Gravitationskonzeptes**

Den klassischen Wanderungsuntersuchungen liegt der Gedanke des „push-pull“ zugrunde¹. Räumliche Bevölkerungsbewegungen werden als Ergebnis sozioökonomischer Veränderungen angesehen. Ausgehend von stark aggregierten Größen, werden die Wanderungsbeziehungen zwischen verschiedenen Räumen erfaßt und aufgrund gewisser – in Analogie zur Physik – vermuteter Gesetzmäßigkeiten zu erklären versucht. Dies geschieht mittels Formeln, die entsprechend dem Gravitationsgesetz in der Physik konstruiert sind. Die in der Wanderungsforschung entwickelten Modelle beruhen auf der – in der Literatur als sogenanntes Pareto-Gesetz zitierten – Grundformel

$$M_{ij} = k D_{ij}^{-a} P_i P_j$$

In neueren Modellen wird die einfache Gravitationsformel durch Einführung von Exponenten und/oder sogenannten „erklärenden“ Variablen modifiziert. Die folgenden Überlegungen treffen aber auf alle in der Wanderungsforschung angewendeten Gravitationsmodelle zu, da sie – ob einfach oder erweitert – nach dem gleichen Muster aufgebaut sind. Die Kritik bezieht sich im wesentlichen auf methodologische Aspekte, die in den zahlreich vorliegenden Übersichten anderer Autoren zu diesem Thema nicht oder nur ungenügend berücksichtigt worden sind².

* Die Untersuchung ist Teil eines im Rahmen des DFG-Schwerpunktes „Bevölkerungsgeographie“ durchgeführten Forschungsprojektes zur Analyse räumlicher Bevölkerungsmobilität. Für die großzügig gewährte Förderung spreche ich der DFG meinen herzlichen Dank aus.

1 Unter push-Faktoren werden im Herkunftsgebiet wirksame abstoßende, unter pull-Faktoren von der Zielregion ausgehende anziehende Kräfte verstanden. — Vgl. hierzu Röder 1974, S. 156 ff.

2 Zum Beispiel Olsson 1961, Isard und Bramhall 1966, Termote 1967, Schwarz 1969, Jansen 1969, Meinke 1970, Hoff-

1. Beschreibung des Gravitationsansatzes und seines theoretischen Konzeptes

Die Gravitationsmodelle basieren auf der – von Ravenstein in seinen „Wanderungsgesetzen“ bereits 1885³ formulierten – Hypothese, daß für „Verteilungsprozesse im Raum eine inverse Beziehung zwischen dem Volumen der Austauschbeziehungen der Räume untereinander und ihrer Entfernung voneinander“ bestehe⁴. Bezüglich der Wanderung lautet die allgemeine Behauptung, daß die Stärke der Wanderungsströme mit der Bedeutung der Herkunfts- und der Zielorte zunimmt und mit der Wanderungsentfernung abnimmt. Als Maß für die Bedeutung der Orte wird hierbei die jeweilige Bevölkerungskonzentration angesehen.

Bei den einfachen Distanzmodellen⁵ stellt sich die Wanderungsbeziehung zwischen zwei Orten wie folgt dar:

$$M_{ij} = k \frac{P_i P_j}{D_{ij}}$$

wobei: M_{ij} = Zahl der Wandernden von Ort i nach Ort j
 D_{ij} = Entfernung zwischen beiden Orten
 P_i = Bevölkerungszahl des Ortes i
 P_j = Bevölkerungszahl des Ortes j
 k = „Konstante“

Der Konstruktion von Wanderungsmodellen analog zum Gravitationsgesetz in der Physik liegt eine Orien-

mann-Nowotny 1970, Vanberg 1971 und 1975, Ginsberg 1971, Albrecht 1972, Szell 1972, Haggett 1973, Willis 1974, Gatzweiler 1975.

3 Ravenstein 1885 und 1889.

4 Vgl. hierzu Vanberg 1971, besonders S. 66 ff.; eine ausführliche Darstellung der Wanderungsmodelle bei Termote 1967 und 1972.

5 Zipf 1946; vgl. Reilly 1929.

tierung an den Gesetzen der Physik zugrunde. Im vorliegenden Fall werden physikalische Gesetze und Modelle direkt auf soziologische Phänomene übertragen: Der Gravitationskraft zweier schwerer Massen wird die Interaktionskraft zweier Bevölkerungskonzentrationen gleichgesetzt⁶. Diese ist dann ausgedrückt durch das Wandervolumen zwischen beiden. Den schweren Massen entsprechen in diesem Fall die Bevölkerungskonzentrationen.

Hier aber hört die Analogie zum Gravitationsgesetz bereits auf. Bevölkerungskonzentrationen verhalten sich nämlich nicht wie physikalische Massen:

- Zwei Newtonsche Massen üben nur Kraft aufeinander aus.
- Zwei Orte hingegen tauschen ihre Massen aus. Es findet ein materieller Austausch statt, ohne daß die Orte des Austausches ihre Lage verändern.

2. Zur Anwendung des einfachen Gravitationsmodells

Das einfache Gravitationsmodell

$$M_{ij} = k \frac{P_i P_j}{D_{ij}} \quad (1)$$

wird meistens so angewendet⁷, daß k aus den entsprechenden Daten berechnet wird⁸. (1) wird somit als „mathematische Formulierung“ verwendet, und es muß dann wie ein physikalisches Gesetz beurteilt werden. Diese stellen aber immer Beziehungen zwischen Größen, nicht dagegen zwischen Zahlenwerten dar⁹.

Für jede Größe müssen aber eine Einheit und ein Meßverfahren festgelegt werden. Für abgeleitete Größen muß sich die Einheit aus der Gleichung ergeben. Betrachtet man k als dimensionslos – wie es auch von den betreffenden Autoren gemacht wird (z. B. als Proportionalitätsfaktor u. ä.) –, so ergibt sich für M_{ij} die zugehörige Einheit

Da M_{ij} aber definiert ist als die Zahl der Wandernden, so wird (1) sinnlos.

Die durch (1) dargestellte Abhängigkeit darf allenfalls statistisch verwendet werden. Betrachtet man M_{ij} als Zielgröße (abhängige Variable) und $\frac{P_i P_j}{D_{ij}}$ als Einflußgröße (unabhängige Variable), so ist eine Regressionsanalyse (einfache lineare Regression) zulässig unter der Annahme, daß eine einfache lineare Beziehung der Gestalt

$$y = a + bx \quad (2)$$

vorliegt. Die additive Konstante a ist unter den genannten Bedingungen¹⁰ immer Null, da eine Wanderung zu

einem Ort mit der Bevölkerungszahl Null nicht stattfinden kann.

Eine einfache lineare Regressionsanalyse unter Verwendung des einfachen Gravitationsmodells ist meines Wissens nicht durchgeführt worden.

3. Modifikationen des Grundmodells durch Einführung von Exponenten

„Erweiterungen“ des einfachen Gravitationsmodells (1) wurden vorgenommen durch Einführung von Exponenten¹¹:

$$M_{ij} = k \frac{(P_i P_j)^a}{D_{ij}^b} \quad (3)$$

das ist:

$$M_{ij} = k (P_i P_j)^a D_{ij}^{-b} \quad (4)$$

Hierauf wurden bivariate Regressionen angewendet, denn die Logarithmierung von (4) ergibt:

$$\log M_{ij} = \log k + a \log (P_i P_j) - b \log D_{ij} \quad (5)$$

(5) entspricht dem bivariaten linearen Modell

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (6)$$

Entsprechende Werte für die „Konstante“ k und die Exponenten a und b können also statistisch ermittelt werden. Es ist dann aber nicht einzusehen, warum P_i und P_j nicht als voneinander unabhängige Einflußgrößen in ein trivariates Modell eingehen, sondern zu einem Produkt zusammengefaßt werden, denn die „Nähe“ zum Gravitationsgesetz ist allenfalls noch „optisch“ vorhanden¹².

4. Erweiterungen des Gravitationskonzeptes um „erklärende“ Sachverhalte

Die bisher behandelten Modelle im Sinne des Gravitationskonzeptes zielen darauf ab, Wanderungsströme hin-

heißt, eine Masse Null hat keine Anziehungskraft und

$$\frac{P_i \emptyset}{D_{ij}} = \emptyset.$$

Die durch (2) dargestellte Gerade geht also durch den Koordinatenursprung.

11 Vgl. Kant 1946, Stewart 1947 und 1950, Dodd 1955, Warntz 1957.

12 Im Gegensatz zu den reinen Distanzmodellen z. B. von Zipf und Stewart geht Stouffer (1940) in seinem später erweiterten Konzept der „intervening opportunities“ nicht mehr von einer direkten und invarianten Beziehung zwischen Wandervolumen und Entfernung aus, hält im übrigen an der wahrscheinlichkeitstheoretischen Interpretation der Austauschformel fest. — Vgl. hierzu auch Galle und Taenzer 1966; zur Kritik des Stoufferschen Ansatzes, insbesondere hinsichtlich seines Zirkelschlusses, vgl. u. a. Hoffmann-Nowotny 1970, S. 76 ff., und Albrecht 1972, S. 97 ff.

6 Vgl. Stewart 1960 und Carrothers 1956.

7 So z. B. Schwarz 1969, S. 43 ff., besonders S. 53.

8 In der Regel für bestimmte Zeitintervalle; zuweilen noch unterteilt nach sozialen oder demographischen Gruppen.

9 Höfling 1966, S. 21.

10 Zugrundelegung des Gravitationsgesetzes und Gleichsetzung von Einwohnerzahlen mit der schweren Masse; das

sichtlich ihres Verlaufs, ihrer Richtung und ihrer Intensität zu beschreiben. In neueren Modellen werden die Distanzfaktoren um sogenannte „erklärende“ Sachverhalte erweitert¹³. Diese werden nach Plausibilitätskriterien ausgewählt. Hierbei beschränken sich die Autoren auf quantitativ faßbare Sachverhalte. Diese werden im Sinne von Behelfsindikatoren gewichtet und als zusätzliche Erklärungsmomente in die Wanderungsmodelle einbezogen.

Beispielsweise führt *Sommermeijer* in sein Regressionsmodell zur Erklärung der Wanderung zwischen den niederländischen Provinzen die Faktoren „Soziale Distanz“ und „Attraktivitätsunterschiede“ ein. Als Maß für die „Soziale Distanz“ verwendet er die Religionszugehörigkeit; „Attraktivitätsunterschiede“ zwischen den einzelnen Regionen mißt er anhand folgender Merkmale: Urbanisierungsgrad, Arbeitslosenquote, Wohnqualität, Anteil alter Wohnungen sowie die (je Einwohner) zur Verfügung stehenden Erholungs- und Grünflächen¹⁴.

Die Frage, was im einzelnen aufgrund welcher Kriterien gewichtet wird und als „erklärende“ Momente Eingang in die verschiedenen Modelle findet, soll hier nicht weiter erörtert werden, da diese im Prinzip den obigen Distanzmodellen entsprechen. Trotz ihres eigenen Anspruches liefern sie weder eine Erklärung der Wanderungen noch vermögen sie Wanderungen zu projizieren oder gar zu prognostizieren¹⁵.

5. Das Simulationsmodell von Hägerstrand

Zur Voraussage von Wanderungen wurde eine Reihe von Modellen entwickelt, die auf Simulationsprozessen aufbauen¹⁶. *Hägerstrand* benutzt hierfür die sogenannte Monte-Carlo-Simulationsmethode¹⁷. Über einfache Wanderungsmodelle¹⁸, die das Verhältnis von Entfernung und Migration beschreiben, versucht er zur Simulation ganzer Migrationsfelder vorzudringen. *Hägerstrand* betrachtet Wanderung als einen Diffusionsprozeß und bedient sich deshalb eines Modells der räumlichen Innovationsausbreitung¹⁹.

Dem Modell liegen die folgenden Annahmen zugrunde²⁰:

- Die Interpretation von Wanderung im Sinne der Realisierung eines bestehenden Informationsfeldes (über individuelle Kontakte).

- Die Unterscheidung der Zuwanderer in aktive und passive Elemente nach der Art der Informationsgewinnung über den Zuzugsort.
- Die zufällige Erstausswahl des Zuzugsgebietes durch den ersten Zuwanderer.

Wegen der Aussichtslosigkeit, die genannten drei Elemente in einem Rückkoppelungsmodell auch nur annäherungsweise zu erfassen, entwickelt *Hägerstrand* zur kurzfristigen Wanderungsvorhersage ein Konzept der „Vakanzdichte“ und führt hierzu die Rolle der Information ein²¹.

Die „Vakanzdichte“ ist definiert als das Verhältnis der Wanderungsleerstellen im Zielort R zur dortigen Bevölkerung (P_R). Die Information (I_R) bestimmt sich aus der Zahl der Kontakte potentieller Wanderer aus dem Herkunftsgebiet O/O zum Zielort R. Er erhält so:

$$M_{O/O-R} = k \frac{V_R I_R}{P_R}$$

Die Wahrscheinlichkeit der Zuwanderung (im Zeitraum $t_i - t_j$) ist hiernach eine direkte Funktion der Vakanzdichte in R und der Zahl bestehender privater Kontakte zwischen Zielort R und potentiellen Wanderern aus dem Herkunftsgebiet O/O.

Bei *Hägerstrand*, auf den im übrigen die Betrachtungen zum einfachen Gravitationsmodell zutreffen, ist nicht ersichtlich, warum die drei Variablen in einem Produkt zusammengefaßt werden, warum nicht z. B. die Abhängigkeit in einem trivariaten Modell untersucht wird und damit die einzelnen Beiträge der Variablen zum multiplen Bestimmtheitsmaß analysiert werden²².

6. Zusammenfassung

Die Verwendung der Gravitationsmodelle – ob einfach oder mit Exponenten versehen oder mit sozialen oder ökonomischen Parametern erweitert – haben zu mehr oder weniger akzeptablen Approximationen geführt. Im Endeffekt ist jedoch keine Information gewonnen worden, die nicht bereits durch die Ausgangsdaten klar gegeben wird. Denn da die „Analysen“ stets „ex post“ gemacht werden und die Hinzunahme neuer Daten zu neuen Zahlenwerten der „Konstanten“ k und der Exponenten a und b führt, wird die in den Migrationsraten (verschiedener Gruppen) enthaltene Information durch die k-, a- und b-Werte nur „transformiert“.

Schließlich sei auf zwei Mängel hingewiesen, welche die Aussagefähigkeit von Modellen solcher Art weiter ein-

13 Zum Beispiel Nelson 1959, *Sommermeijer* 1961, *Schäffer* 1968.

14 *Sommermeijer* 1961, S. 135 ff.

15 Vgl. hierzu *Termote* 1972, S. 148 ff., *Albrecht* 1972, S. 104 ff., *Fischer* 1973, S. 198 ff., *Vanberg* 1971, S. 76 ff.

16 Zum Beispiel *Price* 1959, *Morrill* 1962/63.

17 *Hägerstrand* 1957.

18 Wanderungsmodelle von *Kant* 1946, *Kulldorf* 1955, *Reilly* 1929, *Zipf* 1946, *Johnsson* 1952, *Stouffer* 1940.

19 *Hägerstrand* 1967.

20 Eine ausführliche Erörterung des Modells bei *Vanberg* 1971, besonders S. 66 ff., und *Albrecht* 1972, S. 106 f.; vgl. auch *Haggett* 1923, S. 60 f.

21 *Hägerstrand* 1957, S. 152 ff.

22 *Jansen* (1969) hat in seinem „reinen“ Regressionsmodell zwar lineare multiple Regressionsanalysen durchgeführt. Bei ihm wird aber leider nicht deutlich, inwieweit die einzelnen Größen, die hinzugezogen sind, bedeutsam sind, das heißt, inwieweit sie das multiple Bestimmtheitsmaß erhöhen.

schränken²³: Aufgrund ihres formalen Aufbaus vermögen diese Modelle Wandervorgänge allenfalls mathematisch zu beschreiben. Wegen ihres fehlenden Theoriegehaltes können sie Wanderungen weder befriedigend erklären noch vorhersagen. Da Modelle definiert sind als vereinfachte Abbildungen ihnen zugrunde liegender Theorien, ist den Gravitationsmodellen lediglich der Charakter eines Schemas zuzusprechen²⁴.

Literatur

- Albrecht, G.: Soziologie der geographischen Mobilität. — Stuttgart 1972.
- Carrothers, G.: An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction. In: Journal of the American Institute of Planners. Bd. 22 (1956) S. 94—102.
- Dodd, S. C.: The intertance hypothesis: A gravity model fitting physical masses and human groups. In: American Sociological Review. Bd. 15 (1950) S. 245—256.
- Fischer, G.: Praxisorientierte Theorie der Regionalforschung. — Tübingen 1973. = St. Galler Wirtschaftswissenschaftliche Forschungen, Bd. 29.
- Galle, O. R.; Taeuber, K. E.: Metropolitan migration and intervening opportunities. In: American Sociological Review. Bd. 31 (1966) S. 5—13.
- Gatzweiler, H. P.: Zur Selektivität interregionaler Wanderungen. — Bonn-Bad Godesberg 1975. = Forschungen zur Raumentwicklung, Bd. 1.
- Ginsberg, R. B.: Two papers on the use and interpretation of probabilistic models: with applications to the analysis of migration. — London 1971. = Centre for environmental studies. Working papers, CES WP 73.
- Hägerstrand, T.: Migration and area. Survey of a sample of swedish migration fields and hypothetical consideration of their genesis. In: Hannerberg, D.; Hägerstrand, T.; Odeving, B. (Hrsg.): Migration in Sweden. — Lund 1957. = Lund Studies in Geography, Ser. B, Nr. 13. S. 27—158.
- Ders.: Innovation diffusion as a spatial process. — Chicago; London 1967.
- Haggett, P.: Kultur- und sozialgeographische Regionalanalyse. — Berlin; New York 1973.
- Hoffmann-Nowotny, H.-J.: Migration. Ein Beitrag zur soziologischen Erklärung. — Stuttgart 1970.
- Höfling, O.: Lehrbuch der Physik. 7. Aufl. — Hannover 1966.
- Isard, W.: Methods of regional analysis. An introduction to regional science. — 4. Aufl. New York 1966.
- Ders.; Bramhall, D. F.: Gravity, potential, and spatial interaction models. In: Isard, W. (Hrsg.): Methods of regional analysis. — New York 1966. S. 493—568.
- Jansen, P. G.: Zur Theorie der Wanderungen. In: Zur Theorie der allgemeinen und der regionalen Planung. — Bielefeld 1969. S. 150—162.
- Johnsson, O. H.: En stads flyttnings- och födelseortsfält. In: Svensk geogr. arsbok 1952.
- Kant, E.: Den inre omflyttning i Estland i samband med de estniska städernas omland. In: Svensk geogr. Arsbok 1946. S. 83—124.
- Ders.: Umland studies and vector analysis. — Lund 1951. = Lund Studies in Geography, Ser. B, Nr. 3.
- Kulldorf, G.: Migration probabilities. — Lund 1955. = Lund Studies in Geography, Ser. B, Nr. 14.
- Meinke, D.: Gravitations- und Potentialmodelle. In: Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung 2. Aufl. — Hannover 1970. Bd. 1, Spalten 1048—1060.
- Morrill, R. L.: The development of models of migration and the role of electronic processing machines. In: Sutter, J. (Hrsg.): Les déplacements humains. Aspects méthodologiques de leur mesure. — (1962) 1963. S. 213—230.
- Ders.: The distribution of migration distances. In: Papers of the Regional Science Association Bd. 11 (1963) S. 75—84.
- Nelson, P.: Migration real income and information. In: Journal of Regional Science. Bd. 1 (1959) Nr. 2, S. 43—74.
- Olsson, J.: Distance and human interaction. A review and bibliography. — Philadelphia 1961.
- Popper, K. R.: Logik der Forschung. 5. Aufl. — Tübingen 1973.
- Price, D. O.: A mathematical model of migration suitable for simulation on an electronic computer. In: Proceedings of the International Conference. — Wien 1959. S. 665—673.
- Ravenstein, E. G.: The laws of migration. In: Journal of Royal Statistical Society, Bd. 48 (1885) S. 167—227; Bd. 52 (1889) S. 241—301.
- Reilly, W. J.: Methods for the study of retail relationships. = University of Texas Bull. Nr. 2944, 1929.
- Ders.: The law of retail gravitation. — New York 1931.
- Röder, H.: Ursachen, Erscheinungsformen und Folgen regionaler Mobilität. Ansätze zu ihrer theoretischen Erfassung. — Münster 1974. = Beiträge zum Siedlungs- und Wohnungswesen und zur Raumplanung, Bd. 16.
- Schäffer, K. A.: Mathematische Analyse von Wanderungsströmen in der BRD. — Köln 1968. (Unveröffentl. Mskr.).
- Schwarz, K.: Analyse der räumlichen Bevölkerungsbewegungen. — Hannover 1969. = Veröffentlichung der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Abhandlungen, Bd. 58.
- Sommermeijer, W. H.: Een analyse van de binnenlandse migratie in Nederland tot 1947 en van 1948—1957. In: Statistische en econometrische Onderzoeking, Bd. 3 (1961) S. 114—174.
- Stewart, C. T.: Migration as a function of population and distance. In: American Sociological Review, Bd. 25 (1960) S. 347—356.
- Stouffer, S. A.: Intervening opportunities: A theory relating mobility and distance. In: American Sociological Review, Bd. 5 (1940) S. 845—867.
- Szell, G. (Hrsg.): Regionale Mobilität. — München 1972.
- Termote, M.: Les modèles de migration. In: Recherches économiques de Louvain, Bd. 33 (1967) S. 413—444. Deutsche Übersetzung: Wanderungsmodelle. In: Szell, G. (Hrsg.): Regionale Mobilität. — München 1972. S. 141—175.
- Vanberg, M.: Kritische Analyse der Wanderungsforschung in der BRD. — Berlin 1971. = Institut für Soziologie der TU Berlin, Arbeitshefte Nr. 3, Arbeitsgruppe Wanderungsforschung, H. 2.
- Dies.: Ansätze der Wanderungsforschung. Folgerungen für ein Modell der Wanderungsentscheidung. In: Untersuchungen zur kleinräumigen Bevölkerungsbewegung. — Hannover 1975. = Veröffentlichung der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Forschungs- und Sitzungsberichte, Bd. 95, S. 3—20.
- Wartz, W.: Geography of prices and spatial interaction. In: Papers and Proceedings of the Regional Science Association, Bd. 3 (1957) S. 183—197.
- Willis, K. G.: Problems in migration analysis. — Leeds 1974.
- Zipf, G. K.: The $P_1 P_2 / D$ hypothesis on the intercity movement of persons. In: American Sociological Review Bd. 11 (1946) S. 677—686.

23 Zum Problem der Vermittlung makro- und mikrotheoretischer Konzepte zur Erklärung von Wanderungen vgl. Vanberg 1971, S. 100 f., und 1975, S. 4 ff.

24 Dies trifft auch auf die hier nicht behandelten stochastischen Modelle zu; vgl. Termote 1972, besonders S. 170 f.