

- : Chile. Seine länderkundliche Individualität und Struktur. Darmstadt 1970.

WISSMANN, H. v.: Begleitworte zu einer Niederschlagskarte von China. In: Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin, 1937, S. 38-43.

- : Pflanzenklimatische Grenzen der warmen Tropen. In: Erdkunde, Bd. 2, 1948, S. 81-92.

ZINKE, P. J.: Soils and ecology of the redwoods. Univ. of Calif., School of Forestry, Berkeley o. J. [Maschinenschriftl. vervielf.].

ZUR FRAGE OPTIMALER STANDORTE VON GESAMTHOCHSCHULEN IN NORDRHEIN-WESTFALEN

Eine Lösung mit Hilfe der linearen Programmierung*)

Mit 5 Abbildungen und 2 Tabellen

GERHARD BAHRENBURG

Summary: The optimal location of new universities in Nordrhein-Westfalen.

The purpose of the paper is to find optimal locations of additional universities in the west German state of Nordrhein-Westfalen.

Since the number of students is expected to grow rapidly during the seventies it seems necessary to build some new universities in Nordrhein-Westfalen up to 1980 in addition to the thirteen existing ones.

A linear programming formulation of the problem is presented which is adapted from REVELLE und SWAIN (1970). The cost function to be minimized is

$$S = \sum_{i=1}^{90} \sum_{j=1}^{90} a_i d_{ij} x_{ij},$$

where $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if the students of county } i \text{ are assigned} \\ & \text{to a university in county } j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

d_{ij} = Mean travel time between the counties i and j

a_i = Expected number of students in county i in 1980

90 = Total number of counties (or cities)

S = Total travel time

The three types of constraint define the total number n of universities to be built and ensure

1. that the students of every county i are assigned to exactly one university
2. that the students of a county i are assigned to a university in county j only, if the students of county j are assigned to the university in county j , too.

Each county is represented by its centre of balance (mean centre). The travel times d_{ij} are assumed to be proportional to the air distances between the mean centre of the counties i and j . Two ways of estimating the weights a_i are discussed at length and it is decided to use primarily that one which defines the a_i as constant proportions of the total population of county i .

The solutions of the integer linear programming problem are found by an algorithm that gives only approximate optimal solutions. This algorithm has the advantage of operating in a stepwise fashion for $n = 1, 2, 3 \dots$. Thus, we can look at a great variety of solutions.

Considering the additional constraint that every university must be able to attract at least 7000 students the constructions of three new universities in the cities of Rheydt, Bocholt and Iserlohn is proposed until 1980. Thereafter, during a second phase of expansion, four new universities should be built in the county of Moers and in the cities of Hamm, Gelsenkirchen and Köln.

I

Die steigenden Abiturienten- und Studentenzahlen haben in der Bundesrepublik Deutschland immer mehr die Notwendigkeit zum Ausbau der bestehenden Hochschuleinrichtungen erkennen lassen. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Frage, wieviele neue Hochschulen gegründet werden und wo diese Hochschulen ihren Standort haben sollen. GEIPEL (1971) hat dieses Problem kürzlich für Süddeutschland aufgegriffen und ist dabei von einer Reihe allgemeiner Kriterien für zukünftige Hochschulstandorte ausgegangen. Hier soll ein etwas anderer Weg besprochen werden, der stark von der Anwendung der linearen Programmierung mit ganzzahligen Lösungen Gebrauch macht. Damit soll gleichzeitig eine Einführung in diese Methode ge-

*) Die Arbeit wurde während meines Aufenthaltes im Department of Geography der Northwestern University, Evanston, USA, fertiggestellt. Ich möchte der Deutschen Forschungsgemeinschaft herzlich für die finanzielle Unterstützung danken, die meinen Aufenthalt in den USA ermöglichte. Dem Department of Geography und der Northwestern University danke ich für die Bereitstellung der dortigen Einrichtungen.

geben werden, die mit Gewinn für eine Reihe von Fragen der Geographie und Raumplanung herangezogen werden kann¹⁾.

Ausgangspunkt der folgenden Überlegungen ist die Tatsache, daß im Jahr 1980 etwa eine Million Studienplätze in der Bundesrepublik benötigt werden²⁾. Das bedeutet, 1980 werden mindestens 15‰ der Gesamtbevölkerung an einer der wissenschaftlichen Hochschulen studieren. Dieser Anteil der Studenten an der Bevölkerung wird auch für Nordrhein-Westfalen angenommen. Außerdem wird vorausgesetzt, daß das Land Nordrhein-Westfalen alle und nicht mehr als die benötigten Studienplätze für die im eigenen Land beheimateten Studenten bereitstellt, d. h. Nordrhein-Westfalen wird als geschlossenes System betrachtet. Da man die relativ geringe Zahl ausländischer Studenten in Nordrhein-Westfalen vernachlässigen kann, ist diese Annahme bei dem zu beobachtenden Trend zum Studium im nächstgelegenen Hochschulort oder zumindest im eigenen Land gerechtfertigt³⁾.

Zwar hat die Landesregierung durch die 1972 erfolgte Gründungswelle die Zahl der Universitäten bzw. Gesamthochschulen⁴⁾ im Land auf 13 erhöht. Doch dürfte diese Zahl nicht ausreichen, den für 1980 erwarteten Bedarf an Studienplätzen zu decken, will man nicht einige Mammutuniversitäten zulassen. Die Frage nach der Zahl und dem Standort neu zu gründender Universitäten bleibt also offen.

II

Wissenschaftliche Hochschulen gehören zu den zentralen Einrichtungen, deren Standort so bestimmt werden sollte, daß die Bevölkerung möglichst gut versorgt wird. Im folgenden wird eine mögliche, operationalisierbare Definition für eine optimale Versorgung gegeben, und anschließend soll untersucht werden, welche Konsequenzen sich daraus für die Standorte neu zu bildender Hochschulen ergeben. Dabei wird nur das

¹⁾ Vgl. zur Anwendung der linearen Programmierung in der Geographie und Regionalforschung z. B. die Überblicke von GARRISON (1959), COX (1965) und SCOTT (1970, 1971a, 1971b) sowie die Einzelproblemen gewidmeten Arbeiten von GARRISON und MARBLE (1958), GOLDMAN (1958), GODLUND (1961), STEVENS (1958, 1961), CASETTI (1966) und REVELLE und SWAIN (1970).

²⁾ Vgl. z. B. die Empfehlungen des Wissenschaftsrates (1970, Bd. 3, S. 109 und 110). Andere Schätzungen liegen noch darüber.

³⁾ Nach Angaben, die mir vom Statistischen Landesamt zur Verfügung gestellt wurden, waren im WS 1969/70 nur 3‰ der in NRW beheimateten Studenten an einer wissenschaftlichen Hochschule außerhalb von NRW immatrikuliert. Im übrigen geht diese Tendenz deutlich aus GEISSLERS Untersuchung über Hochschulstandorte und Hochschulbesuch hervor (1965).

⁴⁾ Im folgenden werden die Begriffe Universität, Gesamthochschule, wissenschaftliche Hochschule und Hochschule der Einfachheit halber synonym verwendet.

Makroproblem der Standortplanung behandelt, da nur die kreisfreien Städte und Landkreise bestimmt werden, die Sitz einer Hochschule werden sollten. Die Frage nach dem Mikrostandort der Hochschule innerhalb eines Kreises⁵⁾ wird außer acht gelassen⁶⁾.

Ein Netz von Hochschulstandorten wird als optimal angesehen, wenn die gesamte Reisezeit, die von den Studenten aufgebracht werden muß, um zur nächstgelegenen Universität zu gelangen, minimalisiert wird⁷⁾. Das soll nicht bedeuten, daß jeder Student die nächstgelegene Universität besuchen muß, wohl aber, daß die Planung nicht von unzumutbar langen Fahrzeiten zwischen Wohnung und Universität ausgehen kann.

Es ist zu beachten, daß Optimalität in diesem Sinn sich auf das gesamte System der Kreise in NRW bezieht und nicht auf einzelne Gebiete. D. h. eine optimale Lösung ist nicht auch für jeden Kreis oder gar für jeden Studenten optimal.

Die Frage nach einer im obigen Sinn optimalen Verteilung der Universitätsstandorte gehört zu den sogenannten Location-Allocation Problemen⁸⁾ und erweist sich als ganzzahlige Variante des bekannten Weber-Problems⁹⁾. Die für das betrachtete Beispiel gewählte Formulierung erfolgt im Anschluß an den Vorschlag von REVELLE und SWAIN (1970).

Betrachten wir die Städte und Landkreise Nordrhein-Westfalens und numerieren sie von 1 bis 90 entsprechend Abb. 2. Wir führen nun eine Variable x_{ij} ($i = 1, \dots, 90; j = 1, \dots, 90$) ein, die wie folgt definiert ist.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{falls die Studenten des Kreises } i \\ & \text{Universität im Kreis } j \text{ zugeordnet} \\ & \text{werden} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Anstelle der Zuordnung von Studenten des Kreises i zur Universität im Kreis j sprechen wir auch einfach von der Zuordnung des Kreises i zum Kreis j .

Außerdem sei

$$d_{ij} = \text{die Reisezeit, die eine Person benötigt, um vom Kreis } i \text{ zum Kreis } j \text{ zu gelangen,}$$

$$a_i = \text{die Anzahl der Studenten im Kreis } i.$$

⁵⁾ Unter „Kreisen“ werden Landkreise und kreisfreie Städte verstanden. Kreisfreie Städte werden durchgehend als Städte bezeichnet.

⁶⁾ Das bedeutet natürlich eine starke Vereinfachung des Problems, da das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein eines geeigneten Mikrostandortes auch die Wahl des Makrostandortes beeinflussen kann. Zu dieser Frage folgen unten noch einige Bemerkungen.

⁷⁾ Das Modell läßt sich anstatt für Reisezeiten genauso für Transportkosten formulieren. Für den folgenden Vorschlag ist es kein Unterschied, ob von Reisezeiten oder Transportkosten gesprochen wird.

⁸⁾ Eine geeignete Übersetzung ist vielleicht Standort- und Zuordnungsproblem.

⁹⁾ Vgl. dazu die ausführliche Übersicht von SCOTT (1971a; bzw. die Kurzfassung der Arbeit 1970).

$a_i \cdot d_{ij}$ heißt die gewichtete Reisezeit und gibt die Zeit an, die a_i Personen benötigen, um vom Kreis i zum Kreis j zu kommen.

Es gilt $a_i d_{ij} x_{ij} = 0$, wenn der Kreis i nicht dem Kreis j zugeordnet wird (d. h. $x_{ij} = 0$),

und $a_i d_{ij} x_{ij} = a_i d_{ij}$, wenn der Kreis i dem Kreis j zugeordnet wird.

Die gesamte Reisezeit, die aufzuwenden ist, damit alle Studenten zu den Kreisen mit einer Universität gelangen, ergibt sich aus der Addition dieser Einzelglieder für alle i und j , d. h. die gesamte Reisezeit S ist

$$S = \sum_{i=1}^{90} \sum_{j=1}^{90} a_i d_{ij} x_{ij}.$$

Die Summe ist zu minimalisieren, wobei jedoch einige Randbedingungen erfüllt sein müssen.

Die erste Gruppe von Randbedingungen (R1) stellt sicher, daß jeder Kreis i genau einem Kreis j zugeordnet wird, d. h.

$$(R1) \quad \sum_{j=1}^{90} x_{ij} = 1 \quad (\text{für alle } i = 1, \dots, 90).$$

Da diese Randbedingung für jedes i gilt, umfaßt diese Gruppe genau 90 Randbedingungen.

Die zweite Gruppe von Randbedingungen (R2) sorgt dafür, daß, wenn ein Kreis i einem Kreis j ($j \neq i$) zugeordnet wird, der Kreis j auch sich selbst zugeordnet werden muß. Dadurch wird der Fall vermieden, daß Studenten von anderen Kreisen eine Universität im Kreis j besuchen, die Studenten im Kreis j aber nicht der eigenen Universität zugeordnet werden. Abb. 1 zeigt einige Fälle erlaubter bzw. nicht erlaubter Zuordnungen am Beispiel von drei Kreisen.

Diese Gruppe von Randbedingungen läßt sich einfach formulieren. Für alle i und j muß $x_{ij} \geq x_{ji}$ sein bzw.

$$(R2) \quad x_{ij} - x_{ji} \geq 0 \quad (\text{für alle } j = 1, \dots, 90; i = 1, \dots, 90).$$

Die letzte Randbedingung bestimmt, wieviel Universitäten insgesamt zur Verfügung stehen sollen. Sind n Universitäten geplant, so lautet sie

$$(R3) \quad \sum_{i=1}^{90} x_{ii} = n.$$

Insgesamt ist also folgendes Problem zu lösen:

Die Funktion

$$S = \sum_{i=1}^{90} \sum_{j=1}^{90} a_i d_{ij} x_{ij} \text{ ist zu minimalisieren unter}$$

den Randbedingungen

$$(R1) \quad \sum_{j=1}^{90} x_{ij} = 1 \quad (\text{für alle } i = 1, \dots, 90)$$

$$(R2) \quad x_{ij} - x_{ji} \geq 0$$

(für alle $i = 1, \dots, 90; j = 1, \dots, 90$)

$$(R3) \quad \sum_{i=1}^{90} x_{ii} = n$$

$x_{ij} \geq 0$ (für alle $i = 1, \dots, 90; j = 1, \dots, 90$)

$x_{ii} = 0,1$ (für alle $i = 1, \dots, 90; j = 1, \dots, 90$).

Die letzten beiden Randbedingungen wurden nicht besonders gekennzeichnet, da sie bei allen linearen Programmierungsproblemen mit ganzzahligen Lösungen auftreten und nicht für dieses Problem spezifisch sind.

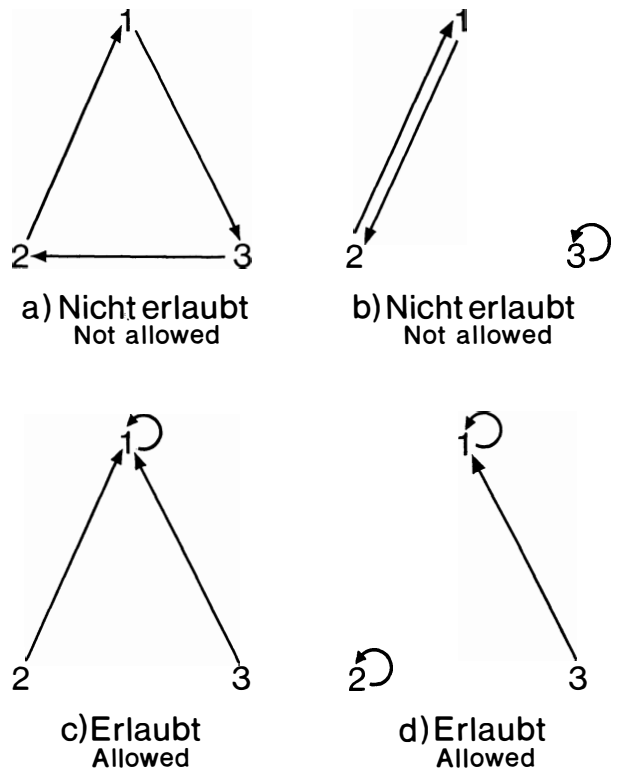


Abb. 1: Beispiele für erlaubte und nicht erlaubte Zuordnungen von Kreisen gemäß den Randbedingungen R 2
Examples of correct and incorrect allocations of counties according to the constraints R 2

Wir haben das Modell bis jetzt so formuliert, daß ursprünglich keine Universitäten vorhanden sind und n neue gebildet werden sollen. Diese Bedingung ist für die Planung zukünftiger Universitäten nicht erfüllt, sobald wenigstens schon eine Universität besteht. In Nordrhein-Westfalen gibt es nach den letzten Gründungen 13 Gesamthochschulen, nämlich in (die Zahlen in Klammern bezeichnen die Nummer des jeweiligen Kreises) Aachen (1), Bonn (10), Köln (15), Wuppertal (22), Düsseldorf (24), Duisburg (35), Essen (38), Bochum (42), Dortmund (45), Siegen (55), Paderborn

(65), Bielefeld (72) und Münster (79). Deshalb lohnt sich für Planungszwecke nur noch die Frage: Gegeben sind die obigen 13 Universitätsstandorte; wo sollen dann die nächsten m Universitäten liegen? m wird dabei so gewählt, daß $n = 13 + m$ ist. Anstelle der Randbedingung (R3) ist also die Randbedingung (R3') zu setzen.

$$(R3') \quad x_{1,1} = x_{10,10} = x_{15,15} = x_{22,22} = x_{24,24} = x_{35,35} \\ = x_{38,38} = x_{42,42} = x_{45,45} = x_{55,55} = x_{65,65} \\ = x_{72,72} = x_{79,79} = 1$$

$$\sum_{i=1}^{90} x_{ii} = m = n - 13^{10}$$

($i \neq 1, 10, 15, 22, 24, 35, 38, 42, 45, 55, 65, 72, 79$).

In beiden Fällen erhält man zu jedem vorgegebenen n bzw. m eine optimale Lösung. Da man im vornherein nicht weiß, wieviele Universitäten insgesamt bzw. wieviele neue Universitäten benötigt werden, empfiehlt es sich, die lineare Optimierung für verschiedene n bzw. m vorzunehmen und danach über eine sinnvolle Lösung zu entscheiden (s. u.).

In den kommenden Abschnitten wird das zweite, etwas abgewandelte und mehr auf die praktische Notwendigkeit zukünftiger Universitätsplanung zielende Modell im Vordergrund stehen. Daneben werden aber auch einige Ergebnisse für das ursprüngliche Modell zum Vergleich vorgestellt werden.

III

Nach der Betrachtung der beiden grundlegenden Modelle müssen nun die Werte für die d_{ij} und die a_i festgesetzt werden.

Als Schätzungen für die Reisezeiten d_{ij} ($i \neq j$) wurden die Luftlinienentfernungen zwischen den Schwerpunkten (Mittelpunkten) der Kreise i und j gewählt. In dieser Wahl sind implizit zwei Voraussetzungen enthalten.

1. Die Reisezeiten sind proportional zur Luftlinienentfernung.
2. Das Studentenaufkommen jedes Kreises ist in dem Schwerpunkt konzentriert.

Die erste Voraussetzung kann wohl bei dem dichten Verkehrsnetz in Nordrhein-Westfalen annähernd als erfüllt gelten, wenn auch nicht in Frage steht, daß das Verkehrsnetz regional unterschiedlich gut ausgebaut ist, die Benutzung privater und öffentlicher Verkehrsmittel verschiedene Reisezeiten zur Folge hat und selbst bei allgemeiner Benutzung des Pkw 20 km Fahrt auf der Autobahn oder Landstraße, im Ballungsgebiet oder im ländlichen Raum, in der Ebene oder im Mittelgebirge jeweils eine andere Fahrzeit bedingen. Doch dürf-

¹⁰ Es sei darauf hingewiesen, daß bei (R1) und (R2) einige Randbedingungen überflüssig werden, sobald einige Standorte von vornherein gegeben sind.

ten die Unterschiede nicht so groß sein, daß die Luftlinienentfernung bzw. ein konstantes Vielfaches von ihr als erste Annäherung für die Reisezeit nicht gebraucht werden könnte.

Die zweite Voraussetzung bedeutet eine stärkere Abweichung von den realen Verhältnissen. Diese Abweichung kann jedoch zumindest in den Städten mit ihrer geringen flächenhaften Ausdehnung vernachlässigt werden und mußte für die Landkreise in Kauf genommen werden¹¹).

Die Luftlinienentfernungen d_{ij} von den Kreisen zu sich selbst wurden nicht gleichgesetzt, da das von vornherein eine starke Bevorzugung der großen Städte zur Folge gehabt hätte und die durchschnittlich zurückzulegende Distanz für die Studenten innerhalb eines Kreises in der Regel beträchtlich größer als 0 ist. Statt dessen wurde für jeden Kreis die Fläche, die er einnimmt, zur Fläche eines hypothetischen Kreises (im geometrischen Sinn) gleichgesetzt. Der Radius r dieses Kreises wurde bestimmt und durch $\sqrt{2}$ dividiert. Dieses Maß wurde als die innerhalb eines Landkreises bzw. einer Stadt durchschnittlich zu überwindende Luftlinienentfernung zum Schwerpunkt gewählt. $r/\sqrt{2}$ ist selbst bei einer Kreisfläche mit homogener Bevölkerungsverteilung größer als die durchschnittliche Entfernung zum Kreismittelpunkt. Die daraus resultierende Überschätzung der tatsächlichen durchschnittlichen Luftlinienentfernung wird jedoch dadurch wieder wettgemacht, daß kaum ein Landkreis bzw. eine Stadt einer Kreisfläche gleicht.

Es sei darauf hingewiesen, daß durch diese Schätzung der d_{ij} die nachteilige Wirkung, die durch die Repräsentation der Kreise als Punkte auftritt, wenigstens teilweise wieder ausgeglichen wird.

Die Schätzungen für die 1980 in jedem Kreis zu erwartende Anzahl von Studenten wurden wie folgt vorgenommen. Einmal wurde die augenblickliche Verteilung der Studenten als Basis gewählt. D. h. für jeden Kreis wurde für das WS 1969/70 der Anteil der in diesem Kreis beheimateten Studenten an der Gesamtbevölkerung des Kreises festgestellt¹²). Für diesen Anteil wurde dann die 1980 zu erwartende Zahl der Studenten unter Berücksichtigung der vorausgeschätzten Bevölkerung für 1980 nach der Formel

$$a_i = \frac{t_i}{B_{i1}} \cdot B_{i2} \cdot k \text{ berechnet,}$$

mit t_i = Anzahl der Studenten im WS 1969/70 in Kreis i

¹¹ Die theoretisch denkbare Möglichkeit, anstelle von Kreisen die viel kleineren Gemeinden zu betrachten, muß gegenwärtig noch ausgeschlossen werden, da das Problem dann zu umfangreich wird und von einem „normalen“ Computer nicht bewältigt werden kann.

¹² Das WS 1969/70 ist das jüngste Semester, für das die Studentenzahlen vorlagen. Die Gesamtbevölkerung bezieht sich auf das Datum 27. Mai 1970.

- B_{i1} = Bevölkerung des Kreises i im Jahr 1970
 B_{i2} = Geschätzte Bevölkerung des Kreises i im Jahr 1980¹³⁾
 k = Konstanter Faktor, der dafür sorgt, daß der Anteil der Studenten an der Gesamtbevölkerung von durchschnittlich 6^{0/00} 1970 auf 15^{0/00} 1980 steigt¹⁴⁾.

Diese Schätzung der Studentenzahlen für 1980 geht also davon aus, daß die Studentenzahlen in allen Kreisen um den gleichen Anteil steigen und zwar so weit, bis im Durchschnitt 15^{0/00} der Gesamtbevölkerung Nordrhein-Westfalens Studenten sind. D. h. es wird angenommen, daß sich durch die Erhöhung des Studentenaufkommens keinerlei Änderung in der räumlichen Verteilung der Studenten ergibt, was höchst unrealistisch ist, da ja erwartet werden kann, daß sich das stärkste Wachstum an Studentenzahlen gerade in den heute noch „bildungsfernen“ Räumen vollziehen wird und daß in Städten wie z. B. Münster und Bonn der Anteil der dort beheimateten Studenten an der Bevölkerung kaum merklich zu erhöhen sein wird.

Daher wurde das 1980 zu erwartende Studentenaufkommen für jeden Kreis noch auf eine andere Art berechnet. Eine vollkommene Gleichverteilung des Anteils der Studenten wurde angenommen, d. h. für jeden Kreis wurde die Zahl der Studenten 1980 gleich 15^{0/00} der für 1980 geschätzten Bevölkerung gesetzt. Die so berechneten Studentenzahlen werden mit b_i bezeichnet, und es ist

$$b_i = 15 \cdot B_{i2}/1000.$$

Um beide Arten der Berechnung kurz kennzeichnen zu können, wird im ersten Fall von der a-, im zweiten Fall von der b-Gewichtung gesprochen. Auch die b-Gewichtung ist unrealistisch. Die tatsächliche räumliche Verteilung des Studentenaufkommens wird sich 1980 zwischen den sich aus beiden Berechnungen ergebenden Verteilungen bewegen.

Es soll ausdrücklich betont werden, daß beiden Möglichkeiten der Schätzung vollkommen unterschiedliche Planungsabsichten zugrundeliegen. Während bei der ersten die gegenwärtige ungleichgewichtige und ungerechte Verteilung der Studenten einfach in die Zukunft verlängert und dann nach den optimalen Standorten der Universitäten gefragt wird, ist die zweite Art der Schätzung auf soziale Gerechtigkeit ausgerichtet. Da man nicht annehmen kann, daß die Kinder im Ruhrgebiet oder in relativ abgelegenen ländlichen Gebieten mit geringerer potentieller Begabung geboren werden als diejenigen in Krei-

sen mit heute relativ hohem Studentenanteil, sollte die Planung von Universitätsstandorten von einer räumlichen Gleichverteilung des Studentenanteils ausgehen. Nicht zuletzt spielt die Entfernung zur nächsten Universität neben allen anderen möglichen sozio-ökonomischen Faktoren eine Rolle für die Bereitschaft zum Studium, was u. a. auch aus der Untersuchung von MAYR (1971) über die Ruhruniversität Bochum hervorgeht. Dieser Einfluß ist nicht nur rein wirtschaftlicher Art, sondern wohl auch auf den Informationsgrad über Universitäten, Studium usw. zurückzuführen, der in der Nähe einer Universität höher ist. Aus diesem Grund ist die b-Gewichtung der a-Gewichtung vorzuziehen. Raumplanung sollte nicht so gestaltet werden, daß bestehende Ungerechtigkeiten stabilisiert werden, sondern die normative Kraft der Raumplanung sollte benutzt werden, um nach – vom räumlichen Gesichtspunkt her betrachtet – sozial gerechten Lösungen zu suchen¹⁵⁾.

Um zu sehen, ob sich große Unterschiede für die optimalen Standorte der Universitäten ergeben, wurde das Optimierungsproblem für beide Gewichtungen gelöst.

Zum Abschluß dieses Abschnitts sei noch kurz auf zwei Voraussetzungen eingegangen, die bei dem vorgestellten Modell impliziert sind. Erstens hat ein derartiges Modell für die praktische Planung nur dann einen Sinn, wenn eine einheitliche Planung für das ganze Gebiet möglich ist. Diese Voraussetzung ist in unserem Fall erfüllt, da die Verantwortung für die wissenschaftlichen Hochschulen bei der Landesregierung konzentriert ist. Zweitens wird vorausgesetzt, daß die für die Standortplanung relevante Funktion der Hochschulen die Ausbildung der Studenten ist und daß jede Hochschule alle Ausbildungsgänge anbietet. Spezialisierte Hochschulen, die z. B. nur der Lehrerausbildung, der Ausbildung von Technikern oder Medizinern dienen, aber auch solche, die vorwiegend als Forschungsuniversitäten geplant sind, haben in diesem Modell keinen Platz. Abgesehen von der prinzipiellen Frage, ob „reine“ Forschungshochschulen oder Universitäten mit eng begrenztem Studienangebot sinnvoll sind, scheint die Berücksichtigung derartiger „Sonderhochschulen“ zwar nicht ausgeschlossen, doch müßten dazu detaillierte Unterlagen über die erwarteten Studentenzahlen getrennt nach Fachbereichen vorliegen. Außerdem würde das Modell überaus kompliziert, und eine Lösung verlangte vielleicht mehr als die augenblicklich normalerweise vorhandenen Computerkapazitäten. Es ist jedoch bei dem vorgeschlagenen Modell durchaus möglich, daß die Universitäten über die Befriedigung der Ausbildungsanforderungen hinaus Forschungsschwerpunkte bilden.

¹³⁾ Die Schätzungen wurden mir vom Statistischen Landesamt Nordrhein-Westfalens zur Verfügung gestellt.

¹⁴⁾ Da dieser Faktor für alle Kreise konstant ist, spielt er für die Lösung des Optimierungsproblems keine Rolle. Er könnte höchstens Bedeutung haben für die später zu besprechende Berechnung der Kapazitäten der einzelnen Universitäten.

¹⁵⁾ Das Problem sozialer Gerechtigkeit in bezug auf räumliche Systeme soll hier nicht weiter diskutiert werden. Es sei statt dessen auf den interessanten Beitrag von HARVEY (1971) verwiesen.

IV

In diesem Abschnitt sollen die Lösungsmöglichkeiten und die Art der Lösungen des linearen Programmierungsproblems behandelt werden. Daraus ergeben sich dann einige Vorschläge zur Verfeinerung des Grundmodells. Die Lösungswege selbst werden nicht besprochen¹⁶⁾.

Vom mathematischen Standpunkt aus ist die Lösung des gestellten Optimierungsproblems trivial. Man braucht „nur“ alle Möglichkeiten für n bzw. m zusätzliche Standorte durchzugehen, die nicht als Universitätsstandorte gewählten Kreise den nächstgelegenen Kreisen mit einer Universität zuzuordnen und den jeweiligen Wert von S zu berechnen. Die Möglichkeit mit dem kleinsten S ist dann die gesuchte optimale Lösung. Der Zeitaufwand bei einer derartigen Methode ist jedoch ungewöhnlich groß und selbst bei der Benutzung von Computern zu kostspielig. Für 90 Kreise und 20 Universitäten ($n = 20$) wären z. B. $\binom{90}{20} \approx 5 \cdot 10^{19}$ (= 50 Trillionen) Möglichkeiten zu untersuchen. So einfach die Lösung mathematisch ist, so schwierig ist sie vom praktisch rechnerischen Standpunkt aus. Um Probleme der vorgegebenen Größenordnung zu lösen, sind daher verschiedene Iterationsverfahren entwickelt worden, die mehr oder weniger schnell zum Ziel führen.

REVELLE und SWAIN (1970) zeigen einige Möglichkeiten, das System der Randbedingungen so zu verändern, daß man mit einer relativ geringen Zahl von Versuchen auskommt. Im übrigen machen sie starken Gebrauch von der normalen Simplex-Methode zur Lösung linearer Optimierungsprobleme. Dieser Weg erwies sich für das vorliegende Problem als zu langwierig. Da auch von anderen Methoden in Anbetracht des großen Umfangs des Modells kein Gebrauch gemacht werden konnte, wurde ein von J. BLANCKENSHIP 1973 entwickeltes heuristisches Verfahren benutzt, das allerdings nur annähernd optimale Lösungen bietet¹⁷⁾.

¹⁶⁾ Vgl. dazu die zahlreichen Lehrbücher zur linearen Programmierung, z. B. GASS (1969), VAJDA (1958).

¹⁷⁾ Nach Auskunft der Herren Dr. R. MARSTEN (Massachusetts Institute of Technology) und Dr. J. BLANCKENSHIP (Institute for Defense Analyses), die sich während ihrer Zeit am Department of Industrial Engineering der Northwestern University mit Algorithmen zum Finden der ganzzahligen Lösungen linearer Programmierungsmodelle beschäftigt haben, weichen die Lösungen mit diesem Verfahren bei etwas kleineren Problemen nur um etwa 2–3% von der optimalen Lösung ab.

Ich möchte an dieser Stelle den beiden genannten Herren ganz herzlich für ihre freundliche Beratung und die Überlassung der von ihnen entwickelten Computerprogramme danken.

Im übrigen sei auf die von MARSTEN (1972) bzw. HOGAN, MARSTEN und BLANCKENSHIP (1973) gefundenen Algorithmen hingewiesen, die bei etwas kleineren Problemen bzw. Computern etwas größerer Kapazität sehr schnell (und damit billig) optimale Lösungen finden.

Diese Methode hat dafür den praktischen Vorteil, daß sie schrittweise Lösungen für n bzw. $m = 1, 2, 3, 4 \dots$ usw. gibt, wobei nach jedem Schritt eine Anpassung der bereits gefundenen Standorte und Einzugsbereiche erfolgt. Dabei wird jeder neu hinzukommende Standort so gewählt, daß die durch ihn eingesparte Zeit maximal ist. Die geringe Fehlerquote dieser Methode, die dadurch zustandekommt, daß die Lösung für n Standorte nicht unabhängig von der Lösung für $n - 1$ Standorte ist, wird jedoch dadurch wieder ausgeglichen, daß es durch das schrittweise Vorgehen möglich wird, eine Rangordnung der Standorte nach ihrer Bedeutung für die Optimierung vorzunehmen. Hat man sich z. B. für sieben neue zu den momentan bestehenden 13 Hochschulen entschieden, so kann man angeben, in welcher Reihenfolge diese sieben Universitäten errichtet werden sollen, damit bei jedem Schritt die eingesparte Reisezeit maximal wird.

Welches Verfahren man auch zur Lösung des linearen Optimierungsproblems heranzieht, in jedem Fall erhält man am Ende die Werte x_{ij} (für alle $i = 1, \dots, 90$; $j = 1, \dots, 90$). Die x_{ij} , die 1 sind, geben die Kreise an, in denen eine Hochschule zu errichten ist. Die x_{ij} ($i \neq j$) geben an, welcher Universität ein Kreis zuzuordnen ist bzw. welche Kreise einer Universität zugeteilt werden. Man erhält auf diese Weise also die Einzugsbereiche der einzelnen Universitäten und kann mit Hilfe der a_i bzw. b_i die notwendige Kapazität jeder Universität berechnen. Diese Kapazitäten können jedoch nur als grobe Anhaltspunkte gewertet werden, da mit dem Schwerpunkt ja immer gleich der ganze Kreis einer Universität zugeordnet wird, obwohl vielleicht große Teile (manchmal nahezu die Hälfte eines Kreises) näher zu einer anderen Universität liegen.

Es sei betont, daß das lineare Programmierungsmodell so angelegt ist, daß *n i c h t* die Zahl der Universitäten festgelegt wird, sondern n bzw. $13 + m$ geben die Zahl der Universitäts *s t a n d o r t e* bzw. die Zahl der Kreise mit einer Universität an. Mit Hilfe der Kapazitätsberechnung läßt sich dann entscheiden, ob es sinnvoll ist, in einem Kreis eine zweite oder gar dritte Universität zu errichten. Dies könnte sich dann als ratsam erweisen, wenn die notwendige Kapazität der Universität in einem Kreis weit über eine bestimmte Größe hinausgeht, bis zu der eine Universität arbeitsfähig ist.

Die Tatsache, daß Kapazitätsbetrachtungen nicht in das vorgeschlagene Modell mit eingehen, erweist sich also als sinnvoll, wenn die Möglichkeit von Zweit- oder Drittuniversitäten in einem Kreis nicht von vornherein ausgeschlossen werden soll¹⁸⁾. Sie erweist sich dagegen als Nachteil, wenn man keine „Miniuniversitäten“ zulassen will, die allein schon wegen der geringen Studentenzahl nicht in der Lage wären, alle Ausbildungsgänge anzubieten. Derartige Lösungen können bei dem

¹⁸⁾ Vgl. zur Diskussion um die Gründung von Zweituniversitäten GEIPEL (1971).

gegebenen Modell ohne weiteres vorkommen (s. u.). Zwar lassen sie sich theoretisch leicht vermeiden, indem als zusätzliche Randbedingungen die folgenden eingeführt werden:

$$(R4) \quad \sum_{i=1}^{90} a_i x_{ij} \geq G \quad (\text{für alle } j \text{ mit } x_{ij} = 1)$$

Diese Randbedingungen würden nur Universitäten mit mindestens G Studenten im zugehörigen Einzugsbereich zulassen. Vom lösungstechnischen Gesichtspunkt aus würden derartige Randbedingungen jedoch zahlreiche Probleme aufwerfen¹⁹⁾.

Eine weitere Verfeinerung des Ausgangsmodells ist in der Weise möglich, daß man zusätzlich postuliert, daß kein Kreis mehr als eine vorgegebene Distanz oder Reisezeit von der nächsten Universität entfernt sein darf. Es wäre dies ein weiterer Schritt hin zu möglichst großer sozialer Gerechtigkeit. Die entsprechende Gruppe von Randbedingungen würde lauten:

$$(R5) \quad d_{ij} x_{ij} \leq D \quad (\text{für alle } i = 1, \dots, 90; j = 1, \dots, 90)$$

Diese Randbedingungen wären so zahlreich (es handelt sich in unserem Fall um insgesamt 8100), daß die Lösung erheblich mehr Zeit beanspruchte. Statt dessen bietet sich an, für alle d_{ij} , die größer als D sind, einfach eine so große Zahl zu wählen, daß eine Zuordnung von Kreis i zu Kreis j aus Gründen der geforderten Minimalisierung von S ausgeschlossen wird²⁰⁾.

Wenn auch die Randbedingungen vom Typ (R 5) keine theoretischen und vor allem keine praktischen Schwierigkeiten bereiten, ist ihre Anwendung nur dann sinnvoll, wenn sie zugleich mit der Einbeziehung der Randbedingungen vom Typ (R 4) geschieht, da (R 5) in abgelegenen ländlichen Gebieten mit geringer Bevölkerungsdichte zu sehr kleinen Universitäten führen würde. Andererseits muß bei Berücksichtigung von (R 4) und (R 5) darauf geachtet werden, daß bei gegebenem n überhaupt eine Lösung existiert, die alle Randbedingungen erfüllt.

Schließlich sei noch auf eine letzte Möglichkeit der Verbesserung des Ausgangsmodells hingewiesen. Sie besteht darin, daß man bestimmte Kreise von der Möglichkeit ausschließt, eine Universität zu erhalten. So wäre es z. B. denkbar, solche Kreise auszuschließen, die keinen geeigneten Mikrostandort anbieten können oder keine Gemeinde von einer bestimmten Größe (z. B. 50 000 Einwohner) aufweisen. Eine solche Randbedingung würde

$$(R6) \quad \sum_i x_{ii} = 0 \quad (\text{für ausgewählte } i) \text{ sein.}$$

¹⁹⁾ Der Verfasser plant, das hier benutzte Verfahren so weiter zu entwickeln, daß die Randbedingungen (R 4) sowie die noch zu besprechenden (R5) und (R6) in den Lösungsalgorithmus mit einbezogen werden können. Im übrigen ist zu beachten, daß die Randbedingungen nur für gewisse n erfüllt werden können. Für $n = 80$ z. B. sind sie bei insgesamt 90 Kreisen nicht erfüllbar.

²⁰⁾ Ich verdanke diesen Hinweis R. MARSTEN.

(R6) bietet wie (R5) keine großen Probleme. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde jedoch keine der Randbedingungen (R4) bis (R6) in das Ausgangsmodell direkt mit einbezogen. (R4) wurde bei der Interpretation jedoch berücksichtigt. Die Aufnahme von (R5) erwies sich als nicht notwendig, da die Lösungen in unserem Fall so geartet sind, daß kaum Gebiete in NRW mehr als 40 km von der nächsten Universität entfernt sind (s. u.). (R6) wurde mit Absicht nicht explizit mit einbezogen, um nicht von vornherein die Möglichkeit auszuschließen, daß auch eine Universität in einem dünn besiedelten Raum lokalisiert wird. Im übrigen sorgt schon die Forderung nach Minimalisierung von S und die Gewichtung der d_{ij} durch die a_i bzw. b_i dafür, daß die Wahrscheinlichkeit für eine solche Lösung sehr gering ist.

V

Bevor die für die Planung eigentlich interessanten Probleme der Standorte zusätzlicher Universitäten betrachtet werden, mag vielleicht die Frage von Interesse sein, wie weit die im Augenblick bestehenden 13 Gesamthochschulen einer optimalen räumlichen Verteilung entsprechen. Abb. 2 zeigt die tatsächlichen Standorte und die optimalen Standorte, die sich bei der a - bzw. b -Gewichtung für 13 Universitäten ergeben. Im allgemeinen kann eine gute Übereinstimmung festgestellt werden. In allen Fällen erhalten die Kreise Bonn, Köln, Wuppertal, Bielefeld und Münster eine Universität. Die Kreise Landkreis Aachen, Stadt Neuß und Landkreis Olpe würden auf Grund ihrer zentralen Lage gegenüber den Städten Aachen, Düsseldorf und dem Landkreis Siegen bevorzugt werden. In diesen Fällen können die tatsächlichen Standorte jedoch nicht als zu ungünstig (vom Standpunkt der Optimalität des Gesamtsystems) angesehen werden, vor allem, wenn man bedenkt, daß sie im Vergleich zu den „optimalen Standorten“ bessere Mikrostandorte bereitstellen.

In Dortmund würde zumindest bei der gerechteren b -Gewichtung eine Universität ihren Standort haben. Im Fall der a -Gewichtung müßte die Universität in die Stadt Iserlohn verlegt werden. Im übrigen Ruhrgebiet sind die Abweichungen ebenfalls nicht sehr groß. Jedoch stimmt die stetige Bevorzugung der Hellweg-Städte Bochum, Essen und Duisburg etwas bedenklich – trotz der in diesen Städten gegebenen günstigeren Mikrostandorte (man kann sich z. B. schlecht eine Universität in Wanne-Eickel vorstellen). Besonders für die jetzt in Duisburg gelegene Universität wäre ein Standort auf dem linken Niederrhein vorzuziehen; bei beiden Gewichtungen ergibt sich der Landkreis Moers als optimaler Standort. Mit einem solchen Standort hätte auch der infolge der abgelegenen Lage bestehenden Benachteiligung dieses Gebiets besser begegnet werden können.

Ist Duisburg als Standort schon nicht ideal, so gilt das noch in weit stärkerem Maß für Paderborn, das vom Gesichtspunkt einer optimalen Versorgung der

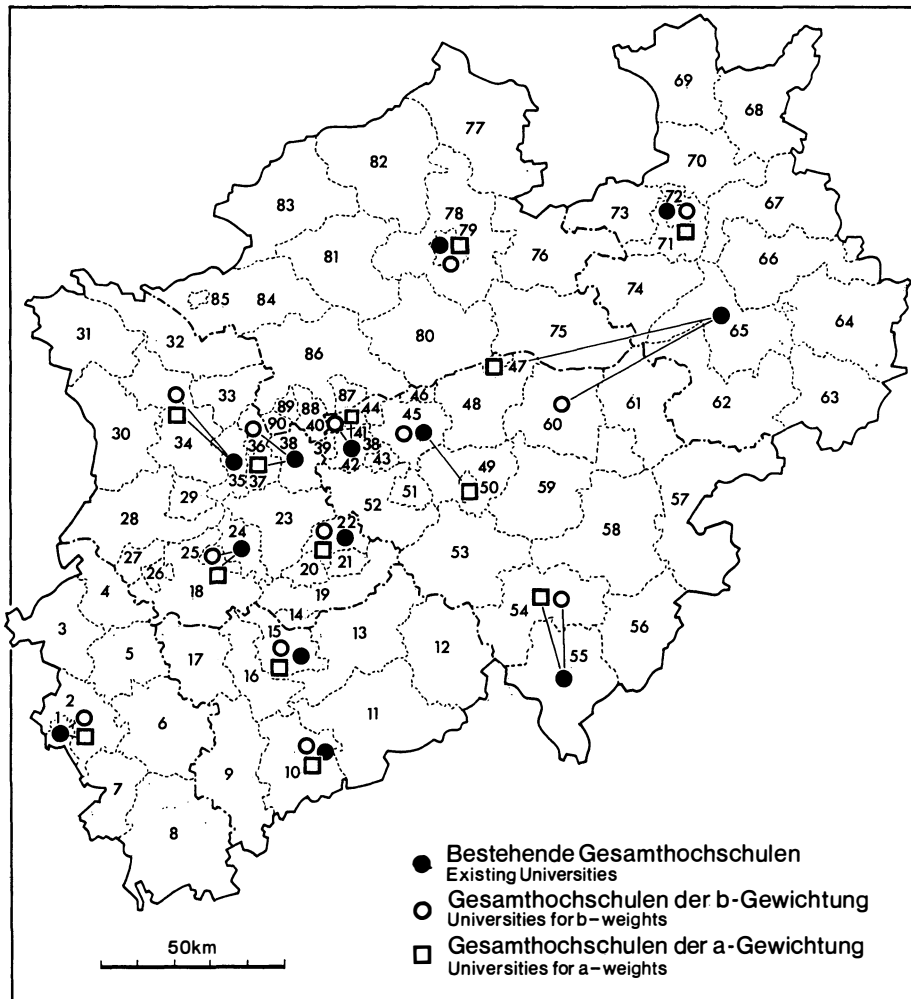


Abb. 2: Die Standorte der bestehenden 13 Gesamthochschulen und die entsprechenden optimalen Standorte der a- und b-Gewichtung*)

The locations of the 13 existing universities and the corresponding optimal locations for the a- and b-weights*)

*) Die Nummern zur Kennzeichnung der Kreise stimmen mit den im Text verwandten überein

*) The numbers for the identification of the counties are used in the text as well

Zu Abb. 2: Die kreisfreien Städte und Landkreise Nordrhein-Westfalens:

- | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| 1 St Aachen | 19 L Rhein-Wupper Kr. | 37 St Mülheim | 55 L Siegen | 73 L Halle |
| 2 L Aachen | 20 St Solingen | 38 St Essen | 56 L Wittgenstein | 74 L Wiedenbrück |
| 3 L Geilenkirchen | 21 St Remscheid | 39 St Wattenscheid | 57 L Brilon | 75 L Beckum |
| 4 L Erkelenz | 22 St Wuppertal | 40 St Wanne-Eickel | 58 L Meschede | 76 L Warendorf |
| 5 L Jülich | 23 L Düss. Mettmann | 41 St Herne | 59 L Arnsberg | 77 L Tecklenburg |
| 6 L Düren | 24 St Düsseldorf | 42 St Bochum | 60 L Soest | 78 L Münster |
| 7 L Monschau | 25 St Neuß | 43 St Witten | 61 L Lippstadt | 79 St Münster |
| 8 L Schleiden | 26 St Rheydt | 44 St Castrop-Rauxel | 62 L Büren | 80 L Lüdinghausen |
| 9 L Euskirchen | 27 St Mönchengladbach | 45 St Dortmund | 63 L Warburg | 81 L Coesfeld |
| 10 L Bonn | 28 L Kempen-Krefeld | 46 St Lünen | 64 L Höxter | 82 L Steinfurt |
| 11 L Siegkreis | 29 St Krefeld | 47 St Hamm | 65 L Paderborn | 83 L Ahaus |
| 12 L Oberberg. Kr. | 30 L Geldern | 48 L Unna | 66 L Detmold | 84 L Borken |
| 13 L Rhein. Berg. Kr. | 31 L Kleve | 49 L Iserlohn | 67 L Lemgo | 85 St Bocholt |
| 14 St Leverkusen | 32 L Rees | 50 St Iserlohn | 68 L Minden | 86 L Recklinghausen |
| 15 St Köln | 33 L Dinslaken | 51 St Hagen | 69 L Lübbecke | 87 St Recklinghausen |
| 16 L Köln | 34 L Moers | 52 L Ennepe-Ruhr-Kreis | 70 L Herford | 88 St Gelsenkirchen |
| 17 L Bergheim | 35 St Duisburg | 53 L Lüdenscheid | 71 L Bielefeld | 89 St Gladbeck |
| 18 L Grevenbroich | 36 St Oberhausen | 54 L Olpe | 72 St Bielefeld | 90 St Bottrop |

Tabelle 1: Lösungen des Optimierungsproblems für die a- und b-Gewichtung und $n = 14$ bis $n = 30$ bzw. $m = 1$ bis $m = 17$
Solutions of the optimization problem for the a- and b-weights and from $n = 14$ until $n = 30$ or from $m = 1$ until $m = 17$

n	m	Nummern der Kreise mit einer Gesamthochschule bei der b-Gewichtung	*)	Nummern der Kreise mit einer Gesamthochschule bei der a-Gewichtung	*)
14	1	26	x	60	x
15	2	50	x	60, 27	x
16	3	85	x	60, 27, 85	
17	4	47	x	60, 27, 85, 50	x
18	5	88	x	60, 27, 85, 50, 68	
19	6	68		60, 27, 85, 50, 68, 11	
20	7	11		60, 27, 85, 50, 68, 11, 88	
21	8	82		60, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66	
22	9	34	x	60, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82	
23	10	58		59, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82, 47	
24	11	66		59, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82, 47, 34	x
25	12	6		59, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82, 47, 34, 6	
26	13	19	x	59, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82, 47, 34, 6, 19	x
27	14	3		59, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82, 47, 34, 6, 19, 51	
28	15	51		59, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82, 47, 34, 6, 19, 51, 29	
29	16	83		59, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82, 47, 34, 6, 19, 51, 29, 61	
30	17	87	x	59, 27, 85, 50, 68, 11, 88, 66, 82, 47, 34, 6, 19, 51, 29, 61, 12	

*) In diesen Spalten kennzeichnen die Kreuze die Schritte, bei denen die neuzugründende Universität wenigstens 7000 Studenten aufweist und durch sie die Kapazität der bereits bestehenden Universitäten nicht unter 7000 sinkt.

Bevölkerung getrost als Fehlplanung bezeichnet werden kann²¹⁾. Bei der b-Gewichtung hätte die in Paderborn gegründete Universität im Landkreis Soest gebaut werden müssen, bei der a-Gewichtung wäre das noch weiter entfernte Hamm als Standort in Frage gekommen.

Insgesamt zeigt sich, daß die Bevorzugung der großen Städte bei der tatsächlich durchgeführten Universitätsplanung nicht im gleichen Maß bei den hypothetischen optimalen Verteilungen zu beobachten ist.

Vergleicht man die Verteilungen bei der a- und b-Gewichtung, so weisen die zahlreichen Übereinstimmungen darauf hin, daß der entscheidende Faktor für die optimale Lage der Universitäten die Bevölkerungsverteilung ist. Die a-Gewichtung modifiziert diesen Einfluß nur schwach. Jedoch sind auch interessante Unterschiede zu beobachten. So erhält z. B. der Kernraum des Ruhrgebiets zwischen Duisburg und Dortmund bei der sozial gerechteren b-Gewichtung 3, bei der a-Gewichtung nur 2 Universitäten. Das macht deutlich, daß im Ruhrgebiet ein großes Potential zukünftiger Studenten besteht, das leider bisher noch nicht ausgeschöpft wurde.

Es soll nun nicht weiter auf vergangene und nicht mehr rückgängig zu machende Entscheidungen eingegangen werden. Vielmehr soll der Blick auf die zukünftigen Planungsaufgaben gelenkt werden. D. h. wir betrachten die Standorte der bestehenden 13 Gesamt-

hochschulen als gegeben und fragen, wieviel neue und wo diese Universitäten gegründet werden sollen.

Tab. 1 gibt die Ergebnisse für die a- und b-Gewichtung bis zu $m = 17$ bzw. $n = 13 + 17 = 30$ Universitäten wieder. Da bei der b-Gewichtung bei keiner neuen Etablierung einer Universität eine Korrektur der bisherigen Standorte vorgenommen zu werden brauchte, wurde bei jedem Schritt jeweils nur die neue Universität aufgeführt. Bei der a-Gewichtung wurde einmal eine Korrektur durchgeführt (beim Schritt $m = 10$). Darum wurden zu jedem Schritt alle bis dahin zu bildenden Hochschulen eingetragen.

Über die angenommene untere Grenze von 7000 Studenten, die zur Gründung einer Universität erforderlich sind, läßt sich sicherlich streiten. Manchem mag sie zu niedrig sein. Doch will man in bisher bildungsfernen Räumen die Bereitschaft zum Studium erhöhen, müssen auch relativ kleine Universitäten in Kauf genommen werden.

Bei einer unteren Grenze von 7000 Studenten ergeben sich gemäß Tab. 1 die folgenden Kreise als zusätzliche Universitätsstandorte:

b-Gewichtung: 26, 50, 85, 47, 88, 34,
19, 87

a-Gewichtung: 60, 27, **85**, 50, 88, 34, 19²²⁾

²¹⁾ Das soll natürlich nicht heißen, daß eine Universität in Paderborn nicht lebensfähig ist.

²²⁾ Es sei darauf verwiesen, daß der Kreis Nr. 60 bei der a-Gewichtung aufgenommen wurde, obwohl er ab $m = 11$ nicht wieder auftaucht. Da jedoch die Verlegung von Kreis

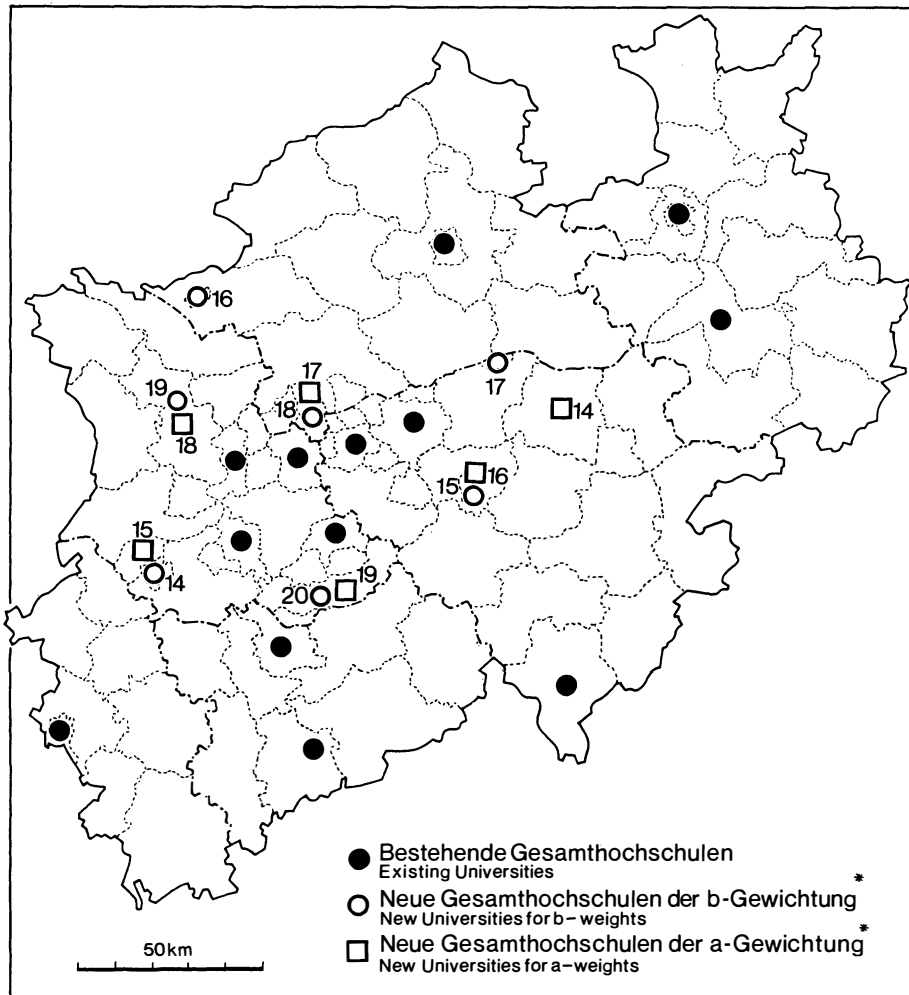


Abb. 3: Die Standorte der 13 bestehenden Gesamthochschulen und die optimalen Standorte neuer Gesamthochschulen für die a- und b-Gewichtung

The locations of the 13 existing universities and the optimal locations of new universities for the a- and b-weights

Der Kreis Bocholt (Nummer 85) wurde bei der a-Gewichtung eingekreist mit aufgeführt, obwohl er nicht die geforderte Studentenzahl erreicht. Da er jedoch bei der b-Gewichtung mehr als 7000 Studenten zu versorgen hätte und die b-Gewichtung die entscheidende ist, wurde er mit berücksichtigt.

Abb. 3 zeigt die Lage der bestehenden und der zusätzlichen Universitäten. Bei beiden Gewichtungen ergibt sich ein ähnliches Bild, was nicht überrascht, da durch die 13 schon bestehenden Universitäten die optimale Zuordnung zukünftiger Hochschulen weitgehend festgelegt ist. Sieht man einmal von der Reihenfolge ab, in der sich beide Gewichtungen unterscheiden, und betrachtet nur die Lage, so sind jeweils die beiden

Nr. 60 nach Kreis Nr. 59 durch die Hereinnahme von Kreis Nr. 47 bedingt ist (vgl. Tab. 1), ein Standort in Kreis Nr. 47 aber nicht das Kapazitätskriterium erfüllte, wurde Kreis 60 als Universitätsstandort beibehalten.

Standorte Stadt Rheydt und Stadt Mönchengladbach sowie Stadt Hamm und Landkreis Soest vertauscht. Außerdem erhält die Stadt Bocholt bei der b-Gewichtung eine Universität, bei der a-Gewichtung ist Bocholt ebenfalls aufgeführt (s. Tab. 1), würde aber nicht genügend Studenten erhalten. Dagegen tritt die Stadt Recklinghausen bei der a-Gewichtung überhaupt nicht auf, während sie bei der b-Gewichtung Standort einer Universität wäre.

Wir wollen uns nun auf die Ergebnisse für die b-Gewichtung konzentrieren und fragen, wieviele Universitäten von den acht zusätzlich angebotenen tatsächlich gegründet werden sollten.

Wir wählen dazu folgendes Kriterium: Diejenigen Universitäten sollten in der ersten Ausbauphase gebaut werden, die eine Entlastung der sonst zu groß werdenden, bereits bestehenden Universitäten bringen. Erfüllen zwei verschiedene Universitäten diese Bedin-

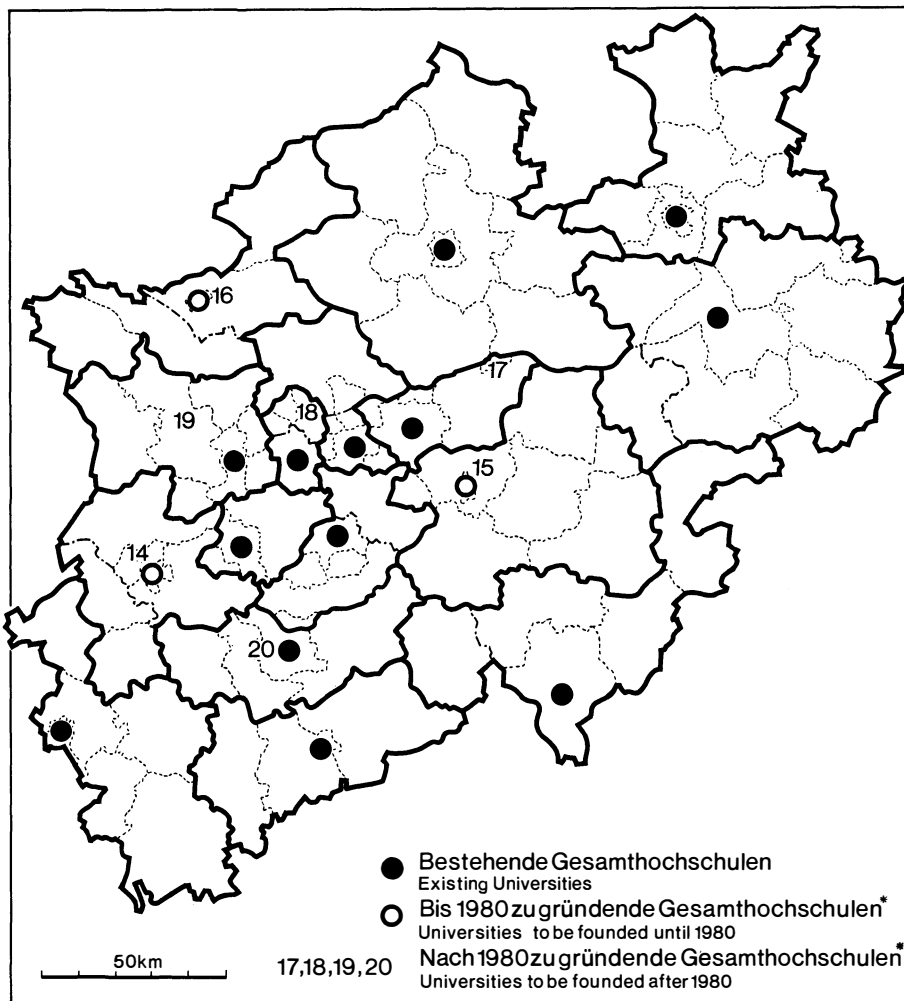


Abb. 4: Die Standorte und zugeordneten Kreise der bestehenden und bis 1980 zu gründenden Gesamthochschulen und die Standorte der nach 1980 zu errichtenden Gesamthochschulen

The locations and allocated counties of the existing and new universities to be founded up to 1980 and the locations of the universities to be founded after 1980

*) Die Nummern geben den Schritt an, bei dem eine Gesamthochschule zu gründen ist

*) The numbers give the stage at which a new university should be founded

gung, so wird diejenige zuerst gegründet, die die größte Einsparung an Reisezeit mit sich bringt, d. h. die gemäß Tab. 1 und Abb. 3 bei einem früheren Schritt auftaucht. Bestehende Universitäten werden als „zu groß“ angesehen, wenn sie 1980 gemäß der b-Gewichtung mehr als 30 000 Studenten zu erwarten hätten.

Diesem Kriterium zufolge ergibt sich als Standort der 14. Universität die Stadt Rheydt, da sonst Düsseldorf 1980 mit mehr als 30 000 Studenten zu rechnen hätte. Ebenso dringend erforderlich ist eine Universität in der Stadt Iserlohn, und zwar als Entlastung für die Universität Dortmund. Eine Universität in Hamm hätte zwar den gleichen Effekt, jedoch tritt Hamm erst zwei Schritte hinter Iserlohn auf.

Eine 16. Universität ist schließlich zur Entlastung von Duisburg in Bocholt notwendig, das drei Schritte vor Moers in der optimalen Lösung auftaucht.

Mit der Gründung dieser drei Universitäten kann die erste Ausbauphase bis 1980 abgeschlossen werden, da dann keine Universität mehr zu groß ist. Abb. 4 zeigt die 16 Universitätsstandorte und ihre Einzugsbereiche, wobei jeder Kreis ganz der Universität zugeordnet wurde, der sein Schwerpunkt am nächsten liegt. Auf der Basis dieser Einzugsbereiche wurden die notwendigen Kapazitäten in Tab. 2 berechnet.

Die Kapazitäten liegen etwa zwischen 7900 (Universität Bocholt) und 25 100 (Universität Köln). Diese Berechnung zeigt auch, wie die bereits bestehenden

Tabelle 2: Die Standorte, Einzugsbereiche und notwendigen Kapazitäten der bestehenden und zu gründenden Gesamthochschulen (optimale Lösung für die b-Gewichtung)
Locations, catchment areas, and necessary capacities of the existing and proposed new universities (optimal solution for the b-weights)

	Nr. des Kreises mit Gesamthochschule	Name	Nummern der zugeordneten Kreise*)	Notwendige Kapazität 1980**)
Bereits bestehende Universitäten	1	Aachen	1, 2, 3, 6, 7, 8	13195
	10	Bonn	9, 10, 11	12549
	15	Köln	13, 14, 15, 16, 17	25147 (12574)
	22	Wuppertal	19, 20, 21, 22, 52	18792
	24	Düsseldorf	23, 24, 25	17668
	35	Duisburg	29, (30), (33), (34), 35, 36, 37	24802 (15706)
	38	Essen	38, (88), (89), (90)	17776 (9961)
	42	Bochum	39, (40), 41, 42, 43, (86), (87)	18118 (9202)
	45	Dortmund	44, 45, 46, (47), (48)	16690 (11835)
	55	Siegen	12, 54, 55, 56, 57	10035
1. Ausbauphase bis 1980	65	Paderborn	61, 62, 63, 64, 65, 66, 74	12417
	72	Bielefeld	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73	16333
	79	Münster	(75), 76, 77, 78, 79, (80), 81, 82	18214 (13194)
	26	Rheydt	4, 5, 18, 26, 27, 28	15117
	50	St. Iserlohn	49, 50, 51, 53, 58, 59, (60)	16038 (14163)
	85	Bocholt	31, 32, 83, 84, 85	7918
Weiterer Ausbau nach 1980	34	Moers	30, 33, 34	9096
	88	Gelsenkirchen	40, 86, 87, 88, 89, 90	16701
	47	Hamm	47, 48, 60, 75, 80	11751
	15	Köln	13, 14, 15, 16, 17	12573

*) Die Zahlen in Klammern geben die Kreise an, die bei 20 Universitäten einer der zuletzt aufgeführten vier Universitäten zugeordnet werden müßten.

**) Die Zahlen in Klammern geben die Kapazität an, wenn die zuletzt aufgeführten vier Universitäten gebildet würden.

Universitäten ausgebaut werden (das gilt besonders für die jüngsten Neugründungen) bzw. schrumpfen müssen (wie z. B. die Universität Münster), um den Anforderungen im Jahr 1980 gerecht zu werden. Außerdem geht aus der Tabelle deutlich hervor, daß die Konzeption für die Universität Bielefeld als primäre Forschungsuniversität mit einer geringen Zahl von Studenten an den praktischen Bedürfnissen vorbeigeht bzw. daß zumindest der Standort Bielefeld für eine solche Universität äußerst fragwürdig ist.

Selbst wenn man die Einzugsgebiete etwas realistischer wählt, vgl. Abb. 5, dürften sich bei den Kapazitäten keine allzu großen Änderungen ergeben. Abb. 5 zeigt überdies deutlich, welche Universitäten eine große Fläche versorgen müssen und wo demzufolge mit einem geringeren Anteil von Fahrstudenten zu rechnen ist. Besonders hervorgehoben seien in diesem Zusammenhang die Universitäten Münster, Bielefeld, Paderborn, Siegen, Iserlohn, Bocholt und Aachen. Die Konsequenzen, die sich daraus für die Belastung des örtlichen Wohnungsmarktes und den Bau von Studentenwohnheimen ergeben, werden hier nicht weiter untersucht. Dazu müßte eine genauere Analyse der Bevölkerungsverteilung in den betreffenden Einzugsgebieten vorgenommen werden.

Abb. 5 gibt auch einen Überblick über die Gebiete, die außerhalb des 40-km- bzw. 50-km-Einzugsgebietes liegen. Es handelt sich dabei vorwiegend um schmale Randbereiche. Lediglich in Westfalen zieht sich ein schmaler Streifen ins Landesinnere. Insgesamt kann von einer guten Flächendeckung in der Versorgung NRWs mit Universitäten gesprochen werden.

In einer zweiten Ausbauphase nach 1980 kommen die in Abb. 3 mit den Nummern 17 bis 20 aufgeführten Kreise als zusätzliche Universitätsstandorte in Betracht. Aus Tab. 2 geht hervor, daß eine weitere Entlastung besonders für die Universitäten Duisburg und Köln mit 24 800 bzw. 25 100 Studenten angebracht ist. Das bedeutet, als erste weitere Neugründung scheint eine Universität im Landkreis Moers in Frage zu kommen²³⁾. Eine Entlastung für die Universität Köln bietet sich dagegen nicht an. Eine Universität im Rhein-Wupper-Kreis (Kreis Nr. 19) würde höchstens das Einzugsgebiet der Universität Wuppertal stark einengen und die notwendige Kapazität dieser Universität auf unter 10 000 Studenten drücken. Daher wird von einer Neugründung im Rhein-Wupper-Kreis ab-

²³⁾ Es sei daran erinnert, daß der Landkreis Moers schon bei 13 Universitätsstandorten aufgeführt war (vgl. Abb. 2).

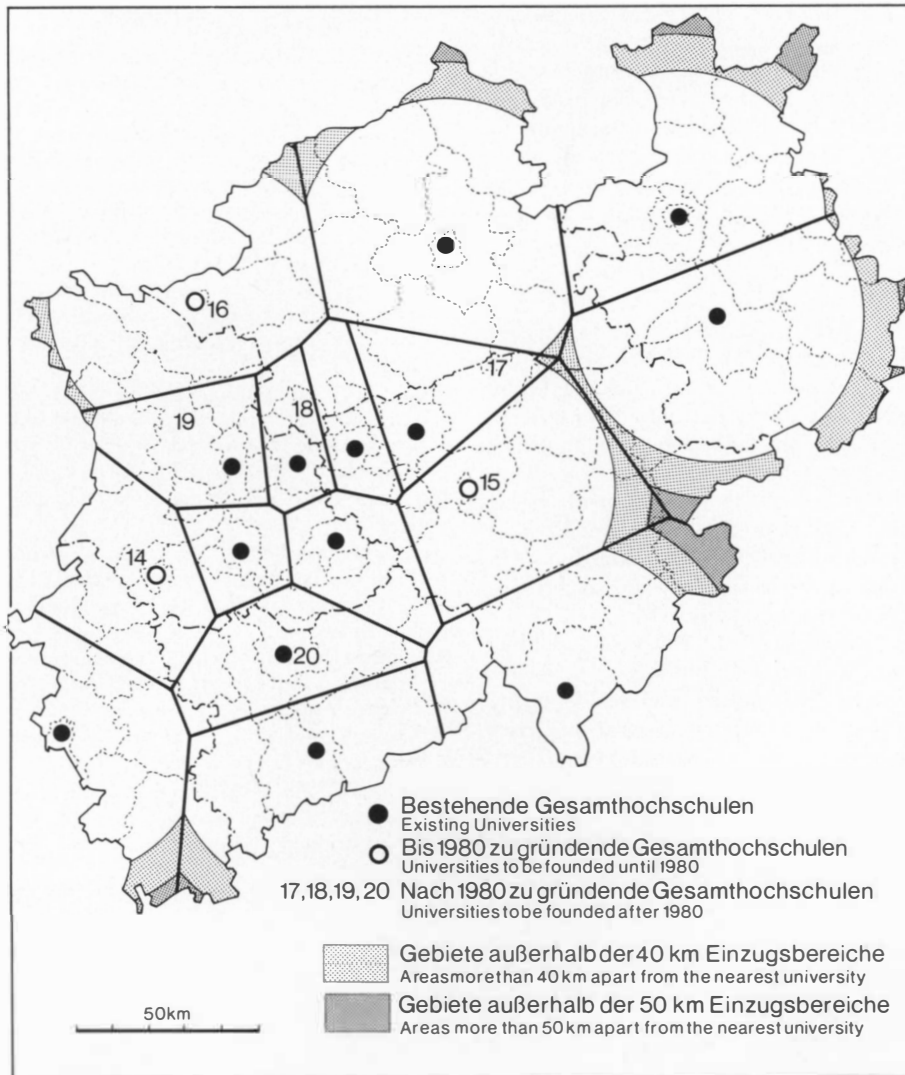


Abb. 5: Die Standorte und Einzugsbereiche der bestehenden und bis 1980 zu gründenden Gesamthochschulen und die Standorte der nach 1980 zu errichtenden Gesamthochschulen

The locations and catchment areas of the existing and new universities to be founded up to 1980 and the locations of the universities to be founded after 1980

*) Die Nummern geben die vorgeschlagene Reihenfolge an, in der die Gesamthochschulen gegründet werden sollen

*) The numbers show the proposed sequence in which the universities should be founded

gesehen; von diesem Kreis sind schließlich die Universitäten in Köln, Wuppertal und Düsseldorf leicht zu erreichen. Als Entlastung der Universität Köln bietet sich höchstens eine Zweituniversität an, die diese Stadt vielleicht als einzige in Nordrhein-Westfalen zu tragen imstande ist.

Außerdem sollten auf lange Sicht Universitäten in den Städten Hamm bzw. Gelsenkirchen ins Auge gefaßt werden, die die Universitäten in Dortmund, Münster und Iserlohn bzw. Bochum und Essen verkleinern würden. Dagegen erweist sich eine Universität in der Stadt Recklinghausen während dieser Aus-

bauphase noch nicht als sinnvoll, da sie ausschließlich eine Entlastung der hypothetischen Universität Gelsenkirchen bedeuten würde.

Insgesamt könnten also nach 1980, insbesondere bei weiterem Anstieg der Studentenzahlen, neben einer Zweituniversität in Köln Gesamthochschulen im Landkreis Moers und in den Städten Hamm und Gelsenkirchen errichtet werden. Die sich dann ergebenden Kapazitäten finden sich ebenfalls in Tab. 2. Festzuhalten ist, daß schon 1980 die Kapazitäten ausreichend wären. Im übrigen fällt besonders das Schrumpfen der Ruhrgebietsuniversitäten Dortmund, Bochum, Essen

und Duisburg auf, während Gelsenkirchen mit einer sehr großen Universität zu rechnen hätte, die den größten Teil des nördlichen Ruhrgebietes versorgen würde.

Diese Betrachtungen machen deutlich, daß man schon heute bei der Universitätsplanung nicht nur bis zum Jahr 1980 denken darf, sondern auch die weiter in der Zukunft liegenden Möglichkeiten berücksichtigen muß, um nicht überflüssige Kapazitäten zu schaffen.

IV

Die vorliegende Arbeit konnte nicht allen Aspekten für die Planung zukünftiger Hochschulen gerecht werden. Vielmehr konzentrierte sie sich auf die Lösung für eine optimale Verteilung, die die Gesamtreisezeit minimalisiert, ein Gesichtspunkt, dem besonders im Zeichen des zu erwartenden steigenden Anteils der Studenten, die täglich zur Universität pendeln, eine große Bedeutung zukommt. Die in jedem Kreis erwarteten Studentenzahlen wurden so berechnet, daß die optimale Lösung zugleich auch eine solche möglichst großer sozialer Gerechtigkeit wird.

Für die erste Ausbauphase bis 1980 werden Universitätsgründungen in Iserlohn, Bocholt und Rheydt vorgeschlagen. Nach 1980 sollten weitere Universitäten zur Entlastung im Landkreis Moers, in Gelsenkirchen, Hamm sowie in Köln (Zweituniversität) entstehen.

Diese Empfehlungen, die sich aus dem Algorithmus zur Lösung des linearen Programmierungsmodells ergeben, sollten als Vorschläge aufgefaßt werden, denen die tatsächliche Planung natürlich nicht sklavisch folgen muß.

Einerseits müßte noch untersucht werden, inwieweit die vorgeschlagenen Kreise geeignete Mikrostandorte anbieten können bzw. überhaupt in der Lage sind, eine Universität aufzunehmen. Andererseits ist zu beachten, daß die Ausgangsdaten relativ grob und mit einigen Ungenauigkeiten behaftet sind. Das betrifft erstens die Wahl der Schwerpunkte der Kreise als Punkte, in denen die gesamte Bevölkerung des jeweiligen Kreises konzentriert ist, zweitens die Schätzung der Reisezeiten mit Hilfe der Luftlinienentfernungen und drittens die Schätzung der in den Kreisen 1980 wohnenden Bevölkerung.

Trotz dieser Einschränkungen vermögen die Resultate doch mit einiger Zuverlässigkeit die Richtung anzugeben, in die die zukünftige Universitätsplanung gehen sollte. Im übrigen kann das vorgeschlagene Verfahren so verfeinert werden, daß die genannten Einschränkungen (bis auf die problematische Schätzung der Bevölkerung) wegfallen.

Zum Abschluß sei darauf hingewiesen, daß das vorgestellte lineare Programmierungsmodell auf alle Fragen der Standortplanung zentraler Einrichtungen wie z. B. Krankenhäuser, Schulen, Kindergarten, Erholungs-, Geschäfts- und Verwaltungszentren angewandt werden kann.

Literatur

- CASETTI, E.: Optimal Location of Steel Mills serving the Quebec and Southern Ontario Steel Market. In: *The Canadian Geographer* 10, 1966, S. 27–39.
- COX, K. R.: The Application of Linear Programming to Geographic Problems. In: *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie* 56, 1965, S. 228–236.
- GARRISON, W. L.: Spatial Structure of the Economy: II. In: *Annals of the Association of American Geographers* 49, 1959, S. 471–482.
- GARRISON, W. L. und MARBLE, D. F.: The Analysis of Highway Networks: A Linear Programming Formulation. In: *Proceedings, Highway Research Board*, 37, 1958, S. 1–17.
- GASS, S. J.: *Linear Programming*. New York u. a. 1969³.
- GEIPEL, R.: Überlegungen zur Standortwahl für neue Hochschulen in Süddeutschland. In: *Raumforschung und Raumordnung* 29, 1971, S. 167–175.
- GEISSLER, C.: *Hochschulstandorte – Hochschulbesuch*. 2 Teile. Hannover 1965.
- GODLUND, S.: Population, Regional Hospitals, Transport Facilities and Regions: Planning the Location of Regional Hospitals in Sweden. In: *Lund Studies in Geography*, Ser. B, No. 21. Lund 1961.
- GOLDMAN, T. A.: Efficient Transportation and Industrial Location. In: *Papers and Proceedings, The Regional Science Association*, 4, 1958, S. 91–106.
- HARVEY, D. Social Justice in Spatial Systems. In: *Antipode Monographs in Social Geography* No. 1, 1972, S. 87–106.
- HOGAN, W. W., MARSTEN, R. E. und BLANKENSHIP, J. W.: *Boxstep: A new Strategy for large Scale mathematical Programming*. (Unveröffentlichtes Manuskript, 1973, 25 S.)
- MARSTEN, R. E.: An Algorithm for Finding almost all of the Medians of a Network. In: *The Center for Mathematical Studies in Economics and Management Science, Northwestern University, Discussion Paper No. 23*, 1972, 29 S.
- MAYR, A.: Die Ruhr-Universität Bochum in geographischer Sicht. Siedlung, Einzugsbereich und Standortproblematik einer neuen Hochschule. In: *Berichte zur deutschen Landeskunde* 44, H. 2, 1970, S. 221–244.
- REVELLE, CH. S. und SWAIN, R. W.: Central Facilities Location. In: *Geographical Analysis* 2, 1970, S. 30–42.
- SCOTT, A.: Location-Allocation Systems: A Review. In: *Geographical Analysis* 2, 1970, S. 95–119.
- : *Combinatorial Programming, Spatial Analysis and Plannig*. London 1971 (1971a).
- : *An Introduction to Spatial Allocation Analysis*. Commission on College Geography, Resource Paper No. 9. Washington 1971 (1971b).
- STEVENS, B. H.: An interregional Linear Programming Model. In: *Journal of Regional Science* 1, 1958, S. 60–98.
- : *Linear Programming and Location Rent*. In: *Journal of Regional Science* 3, 1961, S. 15–25.
- VAJDA, S.: *Readings in Linear Programming*. London 1958.
- WISSENSCHAFTSRAT: *Empfehlungen zur Struktur und zum Ausbau des Bildungswesens im Hochschulbereich nach 1970*. Bd. 3: Statistische Unterlagen. Bonn 1970.
- YATES, M. H.: Hinterland Delimitation: A Distance Minimizing Approach. In: *The Professional Geographer* 16, 1963, S. 7–10.