ABHANDLUNGEN DES 1. GEOGRAPHISCHEN INSTITUTS
DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

(Neue Folge der Abhandlungen des Geographischen Instituts
der Freien Universität Berlin)

herausgegeben von

K.-A. BOESLER, A. KÜHN und J. H. SCHULTZE

Schriftleitung: H. HECKLAU

SUB Göttingen 7
111 029 708

BAND 15

NETZTHEORETISCHE STUDIEN ZUM NIEDERSÄCHSISCHEN EISENBAHNNETZ

Ein Beitrag zur angewandten Verkehrsgeographie

VON

FRIEDRICH VETTER

Mit 14 Tabellen und 40 Figuren

1970

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

ABHANDLUNGEN DES 1. GEOGRAPHISCHEN INSTITUTS
DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

(Neue Folge der Abhandlungen des Geographischen Instituts
der Freien Universität Berlin)

herausgegeben von

K.-A. BOESLER, A. KÜHN und J. H. SCHULTZE

Schriftleitung: H. HECKLAU

BAND 15

NETZTHEORETISCHE STUDIEN ZUM NIEDERSÄCHSISCHEN EISENBAHNNETZ

Ein Beitrag zur angewandten Verkehrsgeographie

VON

FRIEDRICH VETTER

Mit 14 Tabellen und 40 Figuren

1970

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

Gedruckt mit Unterstützung
der
Deutschen Bundesbahn
Bundesbahndirektion Hannover
D 188

© 1970 Dietrich Reimer • Andrews & Steiner • Berlin

Alle Rechte vorbehalten

NETZTHEORETISCHE STUDIEN ZUM NIEDERSÄCHSISCHEN EISENBAHNNETZ

Ein Beitrag zur angewandten Verkehrsgeographie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Mathematisch.naturwissenschaftlichen Fakultät
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Friedrich Vetter
aus Parchwitz/Schlesien

1. Referent: Prof. Dr. Dr. J.H. Schultze
2. Referent: Prof. Dr. A. Kühn

Tag der mündlichen Prüfung: 18.12.1969

V O R W O R T

Die vorliegende Untersuchung will einen im Spannungsfeld zwischen Theorie und Praxis entstandenen, methodisch streng begrenzten Beitrag zur angewandten Verkehrsgeographie liefern.

Die Art, die Probleme aufzuzeigen, soll aus dem Bemühen zu verstehen sein, die noch relativ unbekannten netztheoretischen Methoden durch Anwendung auf ein konkretes Netz, das Eisenbahnnetz von Niedersachsen, dem Verkehrsgeographen näherzubringen. Die methodischen Denkansätze können auch zu einer umfassenden Erklärung des Netzphänomens beitragen.

Besonders danken möchte ich an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. Dr. J.H. Schultze für seine intensive Betreuung, Förderung und Kritik dieser Arbeit.

Herrn Prof. W. L. Garrison, meinem ehemaligen Lehrer an der Northwestern University, Evanston/Ill., USA, gebührt mein Dank für seine tatkräftige Unterstützung. Am gleichen Ort halfen mir die Herren Prof. Marble, Prof. Kansky, Prof. Dacey und Prof. Espenshade. Weiter erhielt ich wertvolle Anregungen von den Herren Prof. Bobek/Wien, Dr. Christaller/Jugenheim, Dr. Werner/Evanston und Dr. Hoffmann/Braunschweig.

Zur graphentheoretischen Terminologie und den Formeln wurden die Herren Prof. Ringel und Dr. Mader im 2. Mathematischen Institut der Freien Universität Berlin konsultiert. Die statistischen Regressionsanalysen in Kap. 5 wurden von den Herren Prof. Wetzel und Dr. Rubow, beide am Institut für Angewandte Statistik der Freien Universität Berlin, überprüft.

Bei der Materialsammlung waren mir sehr behilflich der Präsident der Bundesbahndirektion Hannover Herr Dr. Stille, Herr Ministerialrat Meffert im Niedersächsischen Ministerium des Innern und Herr Dr. Haubner, Sekretär der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Allen sei für die Unterstützung meiner Arbeit gedankt.

Friedrich Vetter

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	6
11	Abgrenzung des Themas	6
111	Arbeitshypothesen	9
112	Methodische Einschränkungen	11
113	Regionale Begrenzung	14
114	Das Datenmaterial	18
12	Zur Entwicklung der Theorie der Verkehrsnetze .	19
13	Verkehrsnetz und geographischer Raum	23
2	Netztheoretische Untersuchungsverfahren	27
21	Vorbemerkungen	27
22	Netztheoretische Definitionen	29
23	Netzmodelle in der Verkehrsgeographie	32
24	Zur topologischen Struktur von Verkehrsnetzen .	40
241	Graphentheoretische Verfahren für Verkehrsnetze als ganze Einheiten	40
242	Graphentheoretische Verfahren für einzelne Elemente von Verkehrsnetzen	48
25	Zur Anwendbarkeit der Untersuchungsverfahren .	51
3	Zeitliche Variationen des niedersächsischen Eisenbahnnetzes	52
31	Vorbemerkungen zur Entwicklung des Netzes . . .	52
32	Die Ausbildung des Grundliniennetzes	58
33	Die Vervollkommnung des Hauptliniennetzes . . .	62
34	Der "Vorstoß in die Fläche" durch Nebenlinien	66
35	Die Stagnation des Gesamtnetzes	71
4	Räumliche Variationen des niedersächsischen Eisenbahnnetzes	77
41	Vorbemerkungen zur Struktur und Infrastruktur des Netzes	80
42	Die Infrastruktur des Teilraumes I Ostfriesland	82
43	Die Infrastruktur des Teilraumes XII Hannover-Weserbergland	87
44	Die Verkehrs- und Raumordnungspolitik des Staates	90

5 Korrelationen zwischen dem Eisenbahnnetz und relevanten Raumfaktoren in Niedersachsen . . . 95
51 Zur theoretischen und empirischen Gültigkeit von Korrelationen 95
52 Die abhängigen Variablen 98
53 Die unabhängigen Variablen 102
54 Der Input 104
55 Der Output 106
56 Interpretation der Ergebnisse 111
6 Simulation eines Eisenbahnnetz-Modells für Niedersachsen 114
61 Vorbemerkungen 114
62 Kriterien für das Netzmodell 115
63 Anwendung der Kriterien auf den Raum 116
64 Die Gestaltung des Netzmodells 119
65 Vergleich des Netzmodells mit dem bestehenden Netz 126
7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußbetrachtung 136
8 Summary 140
9 Literaturverzeichnis 144

Verzeichnis der Tabellen

		Seite
1.	Zentrale Orte in den 15 Teilräumen Niedersachsens	56/57
2.	Zeitliche Variationen der Netzelemente	58
3.	Zeitliche Variationen der Netzindizes	59
4.	Räumliche Variationen der Netzelemente	82
5.	Räumliche Variationen einzelner zentraler Orte	83/84
6.	Eine Auswahl abhängiger Variabler	101
7.	Die unabhängigen Variablen	103
8.	Der Input	105
9.	Die Regressionskoeffizienten	106
10.	Kumulative multiple Korrelationskoeffizienten und Bestimmtheitsmaße	107
11.	Der mittlere Fehler der Schätzfunktionen	108
12.	Die F-Verteilung	110
13.	Einwohnerzahlen der 20 größten zentralen Orte im Raume Niedersachsen	117
14.	Ausgewählte Netzindizes zu Netzmodell und bestehendem Netz	129

Verzeichnis der Figuren

		Seite
1.	Das interne Flugliniennetz von Guatemala	8
2.	Das interne Flugliniennetz von Honduras	8
3.	Die 15 Teilräume Niedersachsens	17
4.	Eulers Problem der Königsberger Brücken	20
5.	Entwurf von Friedrich List für ein deutsches Eisenbahnnetz	22
6.	Entwurf von Carl Grote für ein deutsches Eisenbahnnetz	22
7.	Das Eisenbahnnetz der Vereinigten Staaten als Spiegelbild der Bevölkerungsdichte	24
8.	Das Eisenbahnnetz Polens im Jahre 1931	25
9.	Darstellung eines netztopologischen Weges . . .	33
10.	Darstellung eines topologischen Baumes	35
11.	Topologische Baumsysteme unterschiedlicher Komplexität	35
12.	Darstellung topologischer Kreise	36
13.	Unterschiede in der Verknüpfung von Knotenpunkten	37
14.	Anwendung der zyklomatischen Zahl	41
15.	Anwendung von Alpha	42
16.	Anwendung von Beta	44
17.	Anwendung von Gamma	45
18.	Veränderungen des Eta-Index durch unterschiedliche Auswahl der Knotenpunkte	46
19.	Gegenüberstellung von Eta und Theta	47
20.	Darstellung des Durchmessers eines Netzes . . .	48
21.	Darstellung der Königzahl	49
22.	Matrizendarstellung zweier Graphen	50
23.	Das Grundliniennetz von 1862	55

24. Das Hauptliniennetz von 1892 64

25. Der Einfluß der preußisch-oldenburgischen Landesgrenze 65

26. Das Haupt- und Nebenliniennetz von 1918 68

27. Die unüberwindliche Landesgrenze 70

28. Das heutige Gesamtnetz 73

29. Das heute elektrifizierte Netz 75

30. Das Eisenbahn- und Straßennetz im Teilraum Ostfriesland 79

31. Das Eisenbahn- und Straßennetz im Teilraum Hannover-Weserbergland 79

32. Die 15 Eisenbahnteilnetze in Niedersachsen . . . 97

33. Graphische Darstellung von Einfach-Korrelationsanalysen 99/100

34. Graphische Darstellung der Abweichung beobachteter von berechneten Werten für die 15 Teilräume 109

35. Die zentralen Orte in Niedersachsen, darunter 20 ausgewählte Knotenpunkte 118

36. Erste Phase des simulierten Eisenbahnnetzes . . 121

37. Zweite Phase des simulierten Eisenbahnnetzes . . 123

38. Dritte Phase des simulierten Eisenbahnnetzes . . 125

39. Vergleich des Netzmodells mit dem 1968 bestehenden Netz 127

40. Blums Schema zu einem Idealgleisnetz für Niedersachsen 134

Zeichnung der Figuren (außer Fig. 7, 8 u. 40): Herr D. Engel
Entwurf: F. Vetter

1 EINLEITUNG

11 ABGRENZUNG DES THEMAS

Verkehrsnetze bilden auf der Karte ein vielgliedriges Gewirr von Linien, deren spezielle Ausprägung nicht vom reinen Zufall abhängen kann, sondern von verschiedenen Faktoren beeinflußt wird, die u. U. regelhaft auftreten.

Ziel und Zweck dieser Arbeit ist es, mit Hilfe von netztheoretischen Untersuchungsverfahren ein bestimmtes Verkehrsnetz - das Eisenbahnnetz des Bundeslandes Niedersachsen - von mehreren Blickrichtungen aus quantitativ zu bestimmen und festzulegen.

Durch das zahlenmäßige Erfassen der Struktur des Netzes wird es möglich,

a) zeitliche und
b) räumliche Unterschiede in der Netzgestalt zu ermitteln und zu interpretieren,
c) ihre Abhängigkeit vom dazugehörigen Raum zu analysieren und
d) schließlich den Versuch zu unternehmen, ein Modell für eine ökonomisch und raumordnerisch optimale Lösung für die bestehenden Verkehrsbedürfnisse zu konstruieren.

Dabei soll das Hauptaugenmerk nicht auf die erschöpfende Erörterung möglichst vieler Aspekte eines einzigen Problems, einer einzigen Blickrichtung, z. B. der zeitlichen Unterschiede in der Netzgestalt, gerichtet sein; vielmehr ist in diesem Zusammenhang die Demonstration mehrerer Anwendungsmöglichkeiten einer für Geographen neuen Methode entscheidend, wobei der Vergleich des konstruierten Netzmodells mit dem realen Eisenbahnnetz als einer der Kernpunkte der Arbeit anzusehen ist, da er als Planungsgrundlage auch praktische Bedeutung erlangen kann.

Die Notwendigkeit netztheoretischer Überlegungen unterstreicht der Verkehrswissenschaftler Rudolf HOFFMANN (1961, S. 6)[1]: "Angesichts der gewaltigen Bau- und Betriebskostenaufwendungen, die das Verkehrswesen insgesamt erfordert, darf angenommen werden, daß das bisherige Außerachtbleiben theoretischer netzöko-

[1] s. Literaturverzeichnis.

nomischer Erwägungen . . . zu spürbaren volkswirtschaftlichen Verlusten und Fehlaufwendungen geführt hat."

Bereits Otto BLUM (1933) untersuchte vor über 35 Jahren das Eisenbahnnetz Niedersachsens. Quantitative netztheoretische Überlegungen, wie sie in der Graphentheorie ausgedrückt sind, waren ihm jedoch noch weitgehend fremd.

Erst seit wenigen Jahren beschäftigen sich Geographen damit, Verkehrsnetze mit Hilfe der Graphentheorie quantitativ zu erfassen. Sie wird daher in den für diese Studie relevanten Teilen eingehend erläutert.

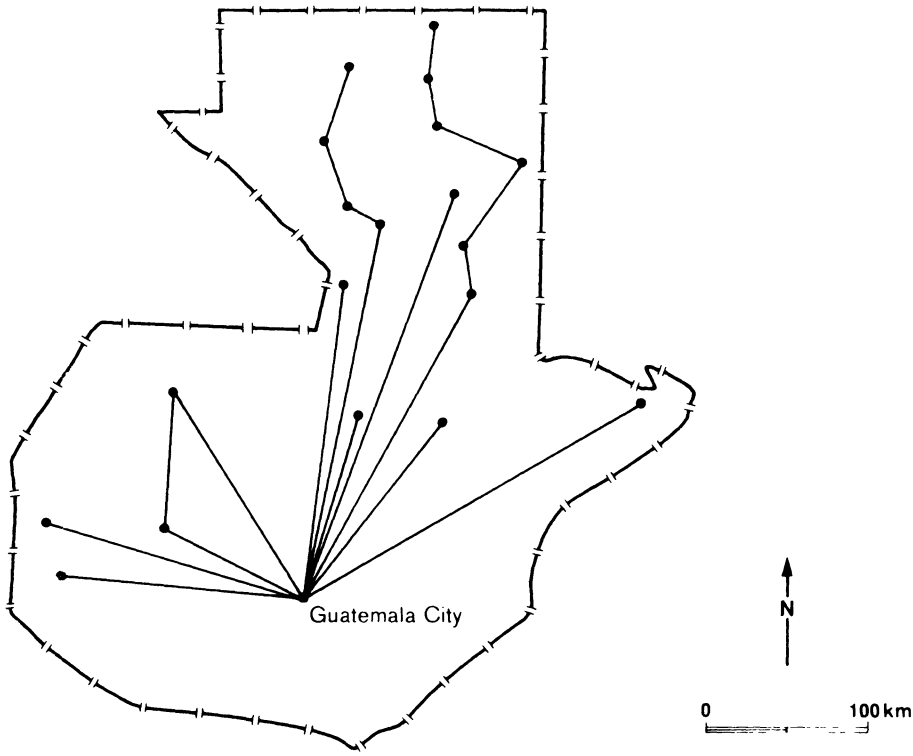
Besonders in den Vereinigten Staaten sind Verkehrsgeographen wie W. L. GARRISON, D. F. MARBLE und M. F. DACEY bei der Berechnung und Analyse der räumlichen Struktur von Verkehrsnetzen unter Zuhilfenahme mathematischer Statistik und elektronischer Datenverarbeitungsanlagen mit hohen Geschwindigkeiten weit fortgeschritten.

Häufig ging man bisher bei der Analyse von Netzstrukturen von rein hypothetischen Räumen aus, ohne irgendeinen praktischen Bezug anzustreben. Das gilt insbesondere auch für die Arbeit von Christian WERNER: "Zur Geometrie von Verkehrsnetzen" (Diss. 1966), die sich speziell mit einem Verkehrsnetz kleinster Ordnung, mit dem Drei-Punkte-Problem, beschäftigt und fast völlig von der Demonstration der theoretischen Untersuchungsergebnisse an praktischen Beispielen absieht.

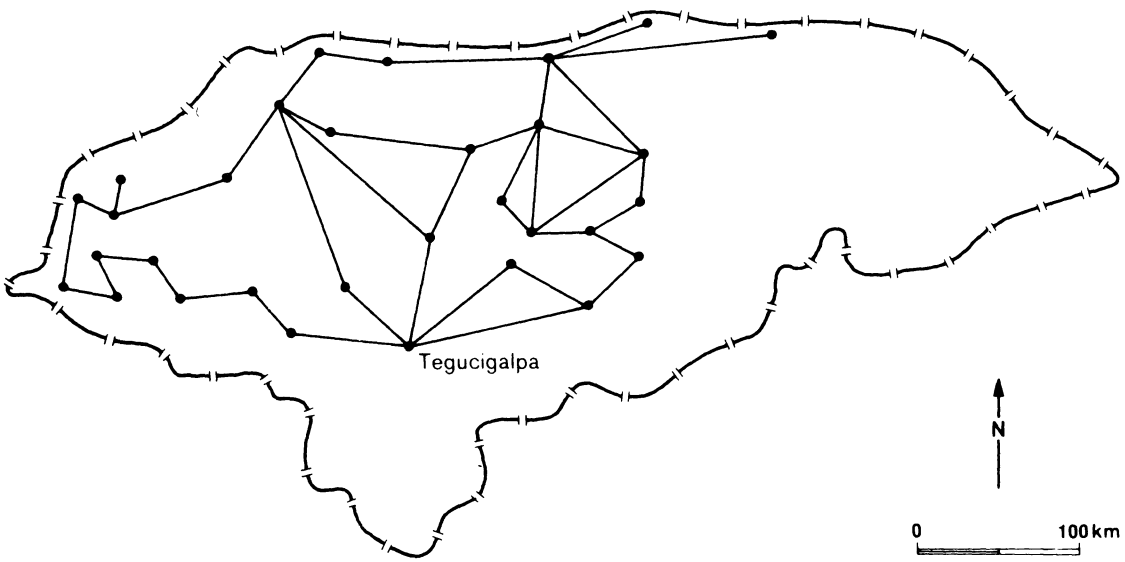
Es besteht dabei zumindest die Gefahr, daß die Frage nach der geographischen Relevanz solcher Untersuchungen negativ beschieden wird.

In vorliegender Studie werden daher im Sinne der angewandten Verkehrsgeographie die netztheoretischen Erkenntnisse auf das niedersächsische Eisenbahnnetz angewandt.

Netztheoretische Studien haben dort ihre Berechtigung, wo die vergleichende Feststellung, zwei Verkehrsnetze seien in ihrer Gestalt verschieden voneinander (vgl. die Fluglinniennetze von Guatemala und Honduras in Fig. 1 und 2), für einen wissenschaftlich exakten Vergleich, eine Analyse und Synthese nicht mehr genügt. Denn was besagt die subjektive Feststellung "ver-



Figur 1: Das interne Fluglinienetz von Guatemala +)



Figur 2: Das interne Fluglinienetz von Honduras +)

+) Fig. 1 und 2 sind entnommen: W. L. GARRISON und D. F. MARBLE (1965, S. 41).

schieden"? Sie kann für den Verkehrsgeographen erst dann einen Sinn haben, wenn die Unterschiede meßbar werden, in Zahlen ausdrückbar[2], quantifizierbar sind. Nur dann lassen sich präzise Angaben machen, werden allseitig anerkannte objektive Kriterien erfüllt. Es muß also eine Methode gefunden werden, mit der ein Verkehrsnetz in seine Gestaltelemente zerlegt und damit meßbar gemacht werden kann.

111 Arbeitshypothesen

Um die Anwendung der graphentheoretischen Methoden prinzipiell verständlich zu machen, werden zunächst im Rahmen der Einleitung einige allgemeine Erläuterungen zum Thema gegeben. Ausführlich dargestellt werden die Methoden dann in Kap. 2.

In Kap. 3 - 6 sollen aus jeweils verschiedenen Blickrichtungen das Gesamtnetz oder seine Teile mit Hilfe der graphentheoretischen Methoden quantifiziert, Unterschiede in der Netzgestalt festgestellt und diese im Hinblick auf ganz bestimmte Arbeitshypothesen oder Annahmen analysiert werden.

Die Annahmen werden entweder bestätigt oder verworfen. Sie wären auch auf andere Weise - nicht von der zu betrachtenden Netzgestalt ausgehend - u. U. viel leichter zu bestätigen oder abzulehnen.

In diesem Zusammenhang ist für Kap. 3 und 4 jedoch unbedingt die methodische Einschränkung zu beachten, daß die Arbeitshypothesen
a) aus dem Vergleich der quantifizierten Netzindizes und
b) direkt aus den jeweiligen Abbildungen der Netzgestalt herauslesbar sein müssen.

In Kap. 5 und 6 wird dann der Zusammenhang der Netzgestalt mit einigen raumwirksamen Kräften direkt untersucht.

Daß auch noch eine Fülle anderer Kräfte als die im folgenden angenommenen und untersuchten für die Gestalt des niedersächsischen Eisenbahnnetzes von Bedeutung sein können, soll nicht bestritten werden. Sie wären zum größten Teil jedoch nicht mit den in dieser Studie angewandten Methoden aus der Netzgestalt heraus zu ermitteln und bleiben daher unberücksichtigt.

---

[2] LORD KELVIN (1883): "Ich sage manchmal, daß, wenn man ein Problem messend erfassen und in Ziffern ausdrücken kann, man etwas darüber weiß. Wenn man es nicht in Ziffern ausdrücken kann, ist das Wissen spärlich und unbefriedigend. Es könnte zwar der Anfang des Wissens sein, aber man ist mit seinen Gedanken noch weit von einer Wissenschaft entfernt, ganz gleich, worin das Problem besteht."

In der im jeweiligen Kapitelzusammenhang gegebenen Blickrichtung, z. B. zeitlicher oder räumlicher Variationen der Netzgestalt, erscheinen die speziell auf jedes Kapitel zugeschnittenen und zu untersuchenden Annahmen als sinnvoll. Jedes der Kap. 3 - 6 kann daher sowohl methodisch als auch inhaltlich für sich allein betrachtet werden. Es könnte auch erheblich weiter ausgebaut werden. Mit Rücksicht auf die im Vordergrund stehende Demonstration der netztheoretischen Methoden kann aber nicht weiter auf Einzelheiten eingegangen werden.

Da in jedem der Kap. 3 - 6 eine andere Fragestellung hinsichtlich der zu treffenden Aussagen über die Netzgestalt besteht, kann aus der Untersuchung aller Arbeitshypothesen i n s g e s a m t ein abgerundeter Versuch der Erklärung der wesentlichen Kräfte resultieren, die zur heutigen Struktur des Netzes beitragen.

Zu beachten ist ferner, daß alle Annahmen stark vereinfachend getroffen werden müssen, da die als Demonstrationsbeispiel dienende Netzstruktur relativ kleinmaßstäbig betrachtet wird und daher nur ganz allgemeine und grobkörnige Aussagen zulässig sind.

Die in jedem Kapitel aufgestellten Arbeitshypothesen sind im einzelnen:

In Kap. 3 werden die graphentheoretischen Untersuchungsverfahren zur Strukturanalyse von Netzen auf das niedersächsische Eisenbahnnetz als Ganzes angewandt und seine zeitlichen Variationen miteinander verglichen. Als Arbeitshypothesen für diese Variationen werden politische und wirtschaftliche Gründe angenommen.

Andere Annahmen als die erwähnten werden bewußt ausgeklammert, da mit bestimmten netztheoretischen Untersuchungsverfahren immer nur wenige, ganz bestimmte Annahmen verbunden sind und so überprüft werden können.

In Kap. 4 wird die Struktur des ganzen Netzes in seinen räumlichen Variationen mit zweien seiner Teile, zwischen denen große Unterschiede bestehen, querschnittartig verglichen. Es wird dabei angenommen, daß sich die heutigen Unterschiede aus dem Wettbewerb verschiedener Verkehrsträger und der Verkehrs- und Raumordnungspolitik des Staates ergeben, wobei andere, auch stärkere Kräfte ausgeklammert bleiben.

Auf die Teilräume bezogene flächenwirksame Kräfte und Faktoren, die quantifizierbar sind, wie Bevölkerungsdichte und wirtschaftlicher Entwicklungsstand eines Teilraumes, werden in Kap. 3 und 4 bewußt noch nicht erörtert. Es kommt hier lediglich darauf an, aus dem bloßen Vergleich von starren Netzstrukturen ganz bestimmte quantifizierbare Unterschiede aus

der Netzgestalt herauszulesen und daraus auf mögliche bewegende Kräfte zu schließen, die zu den Unterschieden führten. Erst in Kap. 5 wird direkt und quantitativ nach dem statistischen Zusammenhang mit den Gestaltungskräften oder Raumfaktoren gefragt.

In Kap. 5 wird der Versuch unternommen, Beziehungen zwischen der Netzstruktur der Teile Niedersachsens (alle 15 Teilräume) und verschiedenen, ebenfalls in Indexreihen ausgedrückten relevanten Raumfaktoren in ihren räumlichen Variationen herzustellen. Es wird dabei angenommen, daß Teilräume, die z. B. eine größere Wirtschaftskraft haben, auch ein in ihrer Struktur gut entwickeltes Eisenbahnnetz aufweisen und umgekehrt Gebiete mit geringer Wirtschaftskraft ein unterentwickeltes Eisenbahnnetz haben. Dieser Bezug soll mit Hilfe von Regressionsanalysen hergestellt und mathematisch - statistisch bewiesen werden.

In Kap. 6 soll ein umfassendes Netzmodell geschaffen werden, das mit dem heute bestehenden Netz verglichen wird. Das Netzmodell soll den Versuch einer ökonomisch und raumordnerisch optimalen Lösung für die bestehenden Verkehrsbedürfnisse im Raume Niedersachsen darstellen.

Die erwarteten Ergebnisse dieser Studie können nur
a) an den zu erläuternden Methoden und an der aus ihrer Anwendung resultierenden zeichnerischen Darstellung und Quantifizierbarkeit der Gestalt des niedersächsischen Eisenbahnnetzes und
b) an obigen speziellen Annahmen, besonders der das Netzmodell betreffenden, gemessen werden.

Darüber hinausgehende Resultate könnten nur mit anderen Methoden gewonnen werden. Sie sind daher im Rahmen dieser Arbeit nicht relevant.

Die hier aufgestellten Arbeitshypothesen sind nur in engem Zusammenhang mit den in jedem der Kap. 3 - 6 angewandten netztheoretischen Methoden zu sehen.

112 Methodische Einschränkungen

Einer bewußt quantitativen Erfassung gelten heute in verstärktem Umfange die Bemühungen um die im Zentrum der geographischen Forschung stehende Landschaft in ihrem komplexen Wirkungs-

gefüge.[3] Dabei ist die Vielfalt und gegenseitige Abhängigkeit der in der Landschaft wirkenden Kräfte so groß, daß eine sinnvolle analytische Zerlegung des Wirkungsgefüges in alle Einzelkräfte und -faktoren unmöglich erscheint. Erst die methodische Beschränkung auf einzelne, besonders relevante Faktoren und damit eine erhebliche Abstrahierung der Phänomene von der Realität ermöglichen es, ein solchermaßen simplifiziertes Problem zu untersuchen.

Ein Verkehrsnetz - in diesem Falle speziell ein Eisenbahnnetz - bildet zwar bereits einen kulturgeographischen Teilaspekt des Wirkungsgefüges einer Landschaft. Dennoch ist ein solches Netz, besonders bezüglich seiner Linienführung, so vielfältigen und komplexen Kräften ausgesetzt, daß auch hier für die Analyse eine Abstraktion des realen Netzes angebracht erscheint.

Die damit verbundene Simplifizierung des Netzes wird durch die Anwendung graphentheoretischer Untersuchungsverfahren erreicht. Die G r a p h e n t h e o r i e stellt einen Zweig der kombinatorischen Topologie[4] dar, wobei das Netz in die einzelnen Punkte und die dazugehörigen Linienabschnitte zerlegt wird. Dabei wird ohne Rücksicht auf die dritte Dimension, also die Oberflächenformen, die Linienführung des Netzes in seinen Lagebeziehungen im "idealen" Raum untersucht. Da die Gestalt, die Struktur[5] des Netzes untersucht werden soll, bleiben mengenstatistische Angaben über Volumen, Zusammensetzung, Art und

---

3) Besonders J. H. SCHULTZE bringt die Bedeutung der quantitativen Erfassung der Landschaft in seiner Landschaftsdefinition zum Ausdruck:"Eine geographische Landschaft ist ein Teil der Erdhülle, der durch das Wirkungsgefüge qualitativ und q u a n t i t a t i v bestimmter Geofaktoren gebildet und räumlich begrenzt wird." S. Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung 1966, Sp.1048. (Sperrung vom Verf.)

4) Hier soll die kombinatorische Topologie, Teilgebiet der Mathematik, als abstrakte Mengenlehre auf Mengen von Verkehrsnetzen Anwendung finden. Diese werden als Punktmengen im zweidimensionalen Euklidischen Raum gesehen, deren Eigenschaften bei stetigen Veränderungen erhalten bleiben. Der Begriff "Netztopologie" wird im Sinne der hier gemeinten Graphentheorie verwandt.

5) Netzstruktur und Netzgestalt werden hier, ausgehend von den durch die Graphentheorie geschaffenen simplifizierten Formen, synonym verwandt.

Richtung des Verkehrs, Faktoren, die sich nur schwer in einem klar abgegrenzten Raum zuverlässig messen lassen, weitgehend außer Betracht.

Die Graphentheorie ist hingegen in ihrer Anwendung auf den Raum Niedersachsen streng begrenzbar. Sie wird weiter unten und vor allem in Kap. 2 noch genauer ausgeführt.

Nach der Strukturanalyse des Netzes und der bei seiner Ausprägung im geographischen Raum wirkenden relevanten Faktoren und Kräfte kann durch eine umfassende Synthese mittels eines Modells das ursprüngliche Wirkungsgefüge von Netz und Raum näherungsweise wiederhergestellt werden. Damit ist die Struktur des bestehenden Netzes, seine Gestalt, ermittelt und das Ziel vorliegender Arbeit erreicht.

Die Synthese der analysierten Einzelfaktoren kann selbstverständlich nur zu einer Annäherung an das reale Netz führen, zumal bei der vorhergehenden Analyse eine große Zahl von weniger relevanten Elementen und Faktoren unberücksichtigt blieb. Dieser Nachteil der Untersuchung muß in Kauf genommen werden. Durch sorgfältige Auswahl der relevanten Faktoren kann er jedoch möglichst klein gehalten werden.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit sollen die als relevant bezeichneten Faktoren beispielhaft die Anwendbarkeit der netztheoretischen und statistischen Methoden demonstrieren.

Die empirische Gültigkeit von durch mathematisch-statistische Methoden[6] wie Regressions- und Korrelationsgleichungen gewonnenen Beziehungen zwischen zwei variablen Größen ist wegen des oben erwähnten hohen Abstraktionsgrades, der den Netz- und Raumfaktoren und damit auch den Modellen selbst immanent ist, vielfach umstritten. Das gilt besonders für die europäische geographische Forschung, der das Denken in Modellen teilweise noch fremd ist. Andererseits sprechen jedoch die Erfolge bei der Anwendung von Regressionsanalysen im Dienste der US-amerikanischen Landesverteidigung (operations research) für diese

6) Statistische Methoden s. besonders S. GREGORY (1963), E. KREYSZIG (1965), D. MARSAL (1967), F. FLIRI (1969).

Methoden. Sie werden heute bei ökonometrischen Raummodellen[7] auch in der Raumforschung angewandt und leiten von hier direkt zur Geographie über.[8]

In der vorliegenden Arbeit sollen die netztheoretischen Verfahren nicht ausschließlich an abstrakten, im reinen mathematischen Raum gelegenen Netzwerken angewandt werden, wie das von einzelnen Raumanalytikern praktiziert wird, die sich mit den Methoden um der Verbesserung der Methoden willen beschäftigen. Die netztheoretischen Verfahren würden dann lediglich zum Bau von theoretischen Modellen als Selbstzweck führen, die keinerlei praktische Bedeutung für die Phänomene im geographischen Raum hätten.

Auch als Akkumulation von Daten zu verstehende rein empirische Untersuchungen über Verkehrsprobleme der Eisenbahn, die keine Beziehung zur methodischen Blickrichtung haben, bleiben ausgeklammert.

Theorie und Empirie sind hier nicht als Gegensätze aufzufassen. Sie bedingen sich vielmehr gegenseitig. Netztheoretische Methoden dienen dabei als Grundlage für weitergehende empirische Untersuchungen.

113 Regionale Begrenzung

Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes ist vorgegeben durch die heutigen politischen Grenzen des Landes Niedersachsen und 15 ausgewählte Teilräume.

Die 15 Teilräume werden in einer raumanalytischen Untersuchung hinsichtlich ihrer Struktur und ihrer räumlichen Entwicklungsprobleme nacheinander behandelt in: "Grundlagen und Hinweise für ein Landes-Raumordnungsprogramm", Niedersachsen (1964, Bd 3). Eine sehr gute Beurteilung erfährt der Inhalt dieses im Niedersächsischen Ministerium des Innern unter Mitwirkung namhafter Regionalwissenschaftler zusammengestellten Bandes durch den Verkehrswissenschaftler R. HOFFMANN (1969).

Die 15 Teilräume umfassen auch die Städte Bremen, Bremerhaven und Hamburg-Harburg südlich der Süderelbe. Obwohl diese drei

---

7) s. S. KLATT (1958).

8) Auf die enge Verbindung von Raumforschung und Geographie geht besonders J. H. SCHULTZE (1960) ein.

Städte verwaltungsmäßig nicht zu Niedersachsen gehören, sollen sie dennoch mit in die Untersuchung einbezogen werden, da ohne sie die Struktur des niedersächsischen Eisenbahnnetzes nicht verständlich wäre.

Der Mangel einer Nichtberücksichtigung weiterer Regionalzentren und Kräfte, die von außerhalb Niedersachsens auf das Netz einwirken, wird dabei in Kauf genommen, zumal es hauptsächlich auf die Demonstration der netztheoretischen Methoden an einem praktischen Beispiel ankommt. Ein solches Beispiel ist dafür im Sinne der angewandten Verkehrsgeographie in jedem Falle geeigneter als ein abstrakter mathematischer Raum ohne geographischen Realitätsbezug oder eine "ideal" von der Außenwelt abgeschirmte Insel.

Für die netztheoretischen Untersuchungen, die im Mittelpunkt dieser Studie stehen, soll Niedersachsen mit seinem Eisenbahnnetz lediglich ein willkommenes Beispielgebiet, ein Modellfall sein, an dessen Stelle aber auch jedes andere Gebiet hätte treten können, um die Anwendungsmöglichkeiten netztheoretischer Verfahren methodisch zu demonstrieren. Diese Blickrichtung will auch der Titel der Arbeit zum Ausdruck bringen, indem er nicht lautet: "Das niedersächsische Eisenbahnnetz", sondern bewußt "Netztheoretische Studien" an den Anfang gestellt werden.

Diesem Ziel gemäß unterbleibt auch die Erörterung aller rein eisenbahnstatistischen Fragen und läßt auch auftretende spezielle Abgrenzungsprobleme in den Hintergrund treten, die hier eher eine Ablenkung vom Hauptwege bedeuten würden[9].

Eine außerordentliche Erleichterung der gestellten Aufgaben bietet der "Planungsatlas von Niedersachsen"[10] mit ausgezeichneten Karten der Entwicklung des niedersächsischen Eisenbahnnetzes, wobei auch Hamburg als Randsiedlung, Bremen und Bremerhaven berücksichtigt sind[11].

Der Raum Niedersachsen als Objekt der Untersuchung ist gegeben

---

9) Eisenbahnstatistisches Material, das nicht streng auf den Raum Niedersachsen begrenzbar ist, wurde besonders von folgenden Autoren in den letzten Jahren verwandt: H. HAUFE (1931), O. BLUM (1933), R. HOFFMANN (1961) und (1965), F. VOIGT (1965).

10) Niedersachsen, "Deutscher Planungsatlas", Bd 2, Hannover, 1961.

11) vgl. Anmerkung 10, Karte 87 a-d.

durch seine geographische Lage auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland zwischen Holland im Westen, der Grenze zu Mitteldeutschland[12] im Osten und Südosten und Elbe und Nordsee im Norden.
Die Grenze nach Süden folgt grob dem Laufe der Weser von Süden nach Norden und biegt dann nördlich des Teutoburger Waldes, etwa auf der Linie des Mittellandkanals, nach Westen zur holländischen Grenze ab. Beide Wasserläufe wie auch die übrigen Grenzen außer der Nordsee bilden kaum ein nennenswertes Hindernis für grenzüberschreitende Eisenbahnlinien. Dennoch werden im Rahmen der Untersuchung die heutigen politischen Grenzen Niedersachsens unter Einschluß von Bremen, Bremerhaven und Hamburg-Harburg als vorgegeben streng respektiert.

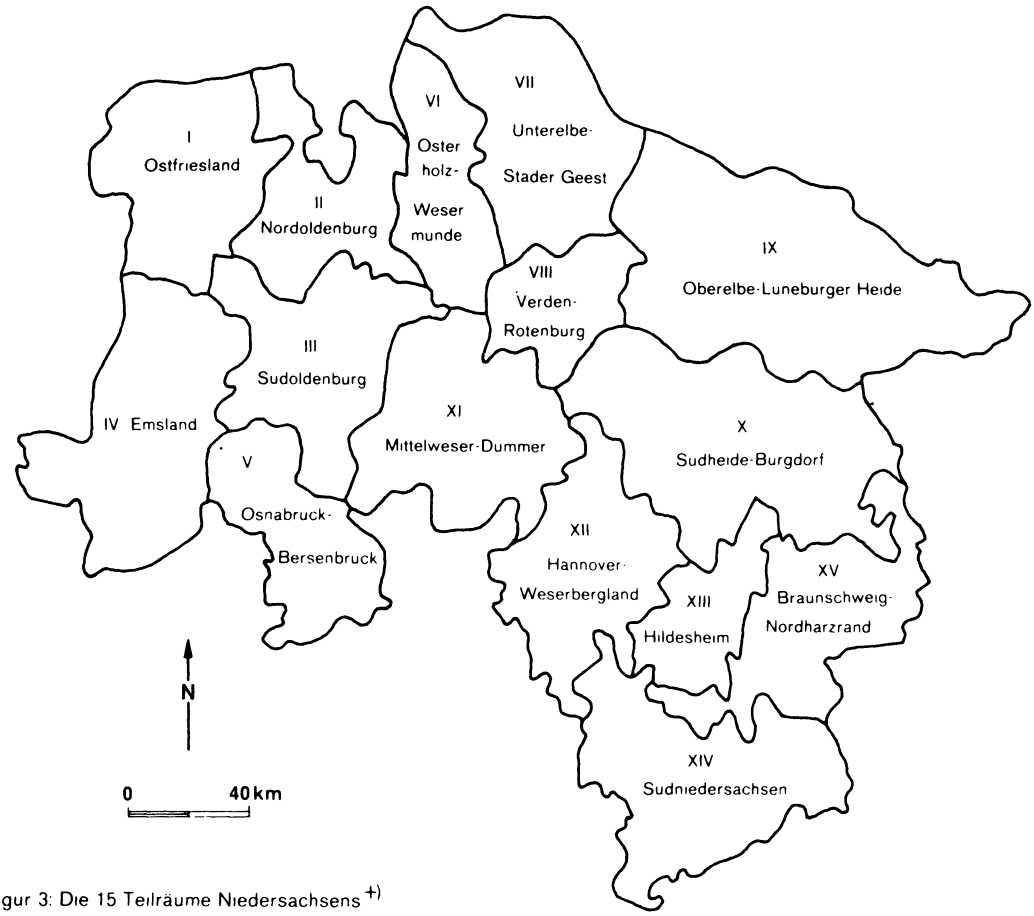
Die von den Planungsbehörden des Niedersächsischen Ministeriums des Innern vorgenommene Unterteilung in 15 Teilräume für ein Raumordnungsprogramm[13] wird in Kap. 5 übernommen, zumal die Teilräume so abgegrenzt sind, daß bestehende Bezirks- und Landkreisgrenzen größtenteils respektiert werden. Auch eine geplante Verwaltungs- und Gebietsreform dürfte nicht wesentlich von diesen Teilräumen abweichen (s. Fig. 3).

Die Teilräume werden etwas modifiziert, weil für die spezielle statistische Untersuchung in Kap. 5 zusammenhängende Räume ohne weit abliegende und für die Analyse bedeutungslose Gebietssplitter und Exklaven benötigt werden. So sind die drei kleinen, durch die Zonengrenze zu Mitteldeutschland z. Zt. abgetrennten niedersächsischen Gebiete und die der Küste vorgelagerten Inseln nicht berücksichtigt worden. Die braunschweigische Exklave Thedinghausen bei Bremen ist zu Teilraum VIII, der westliche Teil des Kreises Blankenburg zum Teilraum XIV gekommen. Bremen und Bremerhaven sind dem Teilraum VI zugeschlagen worden und Hamburg-Harburg dem Teilraum IX.

---

12) Die Zonengrenze ist als Trennlinie erst in allerneuester Zeit entstanden. Dennoch wirkt sie sich heute bereits sehr stark verkehrshemmend aus, u. a. durch Abtrennung von Netzteilen, durch geringeres Verkehrsaufkommen und drohende bzw. bereits vollzogene Stillegungen in den niedersächsischen Zonengrenzbezirken.

13) "Grundlagen und Hinweise für ein Landesraumordnungsprogramm" Niedersachsen (1964, Bd 3, S. 12).



Figur 3: Die 15 Teilräume Niedersachsens +)

+) **Entnommen aus: Grundlagen und Hinweise für ein Landesraumordnungsprogramm (1964, Bd 3, S. 12).**

Damit ist die Möglichkeit gegeben, die regionalen Unterschiede in der Struktur des Eisenbahnnetzes und des mit dieser in Beziehung stehenden Raumes differenziert zu betrachten.

Wesentlich weniger und größere Teilräume als die 15 ausgewählten würden die relevanten regionalen Unterschiede z. B. zwischen mehr ländlichen und städtischen Räumen bei den statistischen Untersuchungen zu sehr verwischen. Wesentlich kleinere Teilräume, z. B. Kreise, würden die Unterschiede in der Netzgestalt nicht mehr sichtbar werden lassen und den Genauigkeitsgrad der Untersuchungsergebnisse erheblich vermindern.

Besonders J. S. CHIPMAN (1950) weist auf diese Tatsache bei der Abgrenzung von Teilräumen für Modelluntersuchungen hin.

Eine einzelne Eisenbahnlinie, die ohne Verzweigungen einen Kreis durchquert, sagt nur wenig aus über ein komplexeres Netz, das bei Zusammenlegung mehrerer Kreise zu einem Teilraum entsteht.
Die vorgegebenen 15 Teilräume sind daher für die räumlichen Variationen des Netzes zugrundezulegen, zumal die Zahl 15 auch für statistische Untersuchungen wie Varianzanalysen bereits brauchbar ist. Auf die räumliche Begrenzung des Untersuchungsgebietes wird an den entsprechenden Stellen noch im einzelnen eingegangen.

114 Das Datenmaterial

Das für die netztheoretische Analyse des niedersächsischen Eisenbahnnetzes notwendige Datenmaterial kann in zwei Gruppen unterteilt werden:

a) Daten für die Berechnung der netztheoretischen Indizes;
b) Daten über relevante Raumfaktoren, die - flächenhaft verteilt oder mehr punktförmig konzentriert - bestimmend auf das niedersächsische Eisenbahnnetz einwirken.

Zur Erläuterung von Punkt a), der in Kap. 2 methodisch ausführlich und besonders in Kap. 3 und 4 praktisch behandelt wird, und b), der sich vor allem auf die Kap. 5 und 6 bezieht, sei an dieser Stelle nur soviel gesagt: Unter einem V e r k e h r s n e t z[14], aus dem die netztheoretischen Elemente und Indizes sich herleiten, verstehen wir eine Anzahl von Siedlungen im geographischen Raum, die durch ein System von Verkehrslinien miteinander verbunden sind.

Die Beschränkung der Arbeit auf das niedersächsische Eisenbahnnetz wird dadurch erfolgversprechend, daß über die Linienführung gutes und genaues Kartenmaterial vorhanden ist.[15]

---

14) s. auch die Definition im Abschnitt 22.

15) Niedersachsen "Deutscher Planungsatlas" (1961); "Verwaltungsatlas des Landes Niedersachsen" (1967); "Amtlicher Taschenfahrplan Niedersachsen, Ostwestfalen, Bremen" (1968/69); "Karten der Bundesbahndirektion in Hannover" (1962), Hamburg (1964) und Münster (1965).

Es handelt sich bei den relevanten Raumfaktoren um Kräfte, die auf das niedersächsische Eisenbahnnetz einwirken, wobei z. B. die Bevölkerungsverteilung oder die Wirtschaftskraft eines Teilraumes oder die Einwohnerzahlen einer Stadt ermittelt werden.

Neueste Daten, z. B. aus den Raumordnungsberichten 1967 und 1968 für Niedersachsen[16], welche die 15 Teilräume mit ihren Siedlungen berücksichtigen, konnten für die Untersuchung herangezogen werden.

12 ZUR ENTWICKLUNG DER THEORIE DER VERKEHRSNETZE

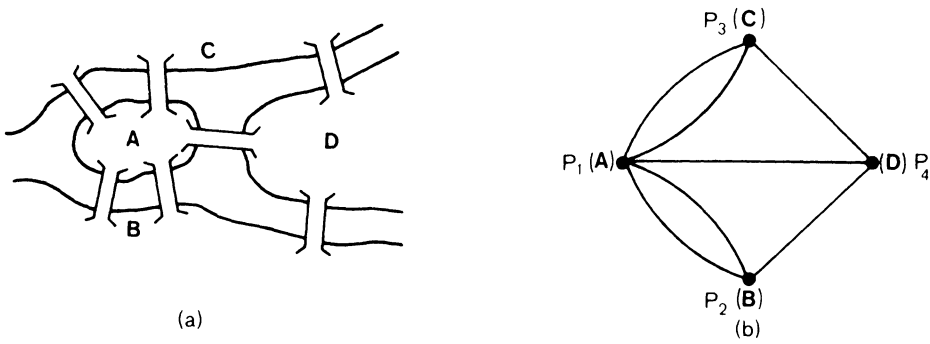
Die dieser Arbeit zugrundegelegte Theorie der Graphen, mit deren Hilfe ein Verkehrsnetz in seine einfachsten Grundelemente, in Knotenpunkte und Kanten, zerlegt werden kann, geht auf den Schweizer Mathematiker L. EULER zurück. EULER wurde 1736 durch das Problem der Brücken von Königsberg in Preußen dazu geführt, die historisch erste Abhandlung der Graphentheorie zu veröffentlichen[17]. Das Problem besteht darin, daß man die sieben Brücken der Stadt Königsberg (s. Fig. 4 a) beliebig von jedem der vier Teile (A, B, C, D) der Stadt aus so passieren soll, daß jede Brücke nur einmal überquert wird und man zum gleichen Ursprungsort zurückkehrt.

Läßt man die vier Gebiete A, B, C, D, die durch die Flußarme des Pregel getrennt werden, je einem Punkte P_1, P_2, P_3, P_4 entsprechen und verbindet man je zwei dieser Punkte mit so viel Geraden wie die entsprechenden Gebiete durch Brücken verbunden sind, so ergibt sich der Graph der Fig. 4 b.

EULER, der ganz einfach und konkret von Inseln und Brücken ausgeht, zeigte, daß das Königsberger Brückenproblem unlösbar ist, da das Netzsystem (in Fig. 4 b) vier Knotenpunkte unge-

16) Außer den Raumordnungsberichten 1967 und 1968 leisteten u. a. die "Grundlagen und Hinweise für ein Landes-Raumordnungsprogramm" (1962, Bd 1 und 2; 1964, Bd 3 ; 1966, Bd 4) wertvolle Hilfe, ebenso statistische Angaben über: "Die kreisfreien Städte und Landkreise Niedersachsens in Zahlen" (1967).

17) s. D. KÖNIG (1936, S. 24).



Figur 1: Eulers Problem der Königsberger Brucken

raden Grades[18] (also ersten, dritten, fünften etc. Grades) besitzt. Das gilt sowohl für den Fall, daß man zum Ausgangspunkt zurückkehren muß, als auch, falls dies nicht verlangt wird. Eine Lösung würde eine gerade Zahl von Kanten an jedem Knotenpunkt voraussetzen.

Beispiele wie dieses über die Königsberger Brücken leiten über in das große Gebiet der Unterhaltungsmathematik[19]. Sie mögen zuerst recht simpel erscheinen, entwickelten sich jedoch später zu einer wahren Fundgrube für die Graphentheorie. Diese wurde nicht als Selbstzweck geschaffen, sondern schloß sich an ältere Teile der Mathematik und der Naturwissenschaften an.

So verdankt z. B. die Arbeit von G. R. KIRCHHOFF[20] über Graphen aus dem Jahre 1847 ihren Ursprung der Elektrizitätslehre, für J. J. SYLVESTER (1878) war die Chemie der Ausgangspunkt.

Es ist die Berührung des Menschen mit der Natur im weitesten Sinne, in dieser Studie mit dem geographischen Raum, die ihm Kräfte offenbart, welche untereinander durch graphisch darstellbare Spannungsfelder gekennzeichnet sind. Auf diese Wei-

---

18) Der Grad eines Knotenpunktes ergibt sich aus der Anzahl der von ihm ausgehenden Kanten (Strahlen oder Linien).

19) Der erste, der das Gebiet der mathematischen Unterhaltungen zu einem wissenschaftlichen Werk vereinigt hat, ist E. LUCAS mit seinen "Récréations mathématiques" (1882 - 1894) Paris.

20) G. R. KIRCHHOFF (1874 - 1894, 4 Bde). Von ihm stammen die KIRCHHOFFschen Regeln über das Gleichgewicht in Netzwerken linearer elektrischer Leiter.

se wird die Graphentheorie später mathematisch immer feiner ausgebaut.

Auch weniger rein mathematisch fundierte netztheoretische Studien werden im 19. Jahrhundert häufiger, die ebenfalls von systematisch geordneten Punkten und Linien ausgehen. Das sich ankündigende Eisenbahnzeitalter macht nicht mehr historisch gewachsene, sondern vorgeplante Verkehrswegenetze erforderlich.

Bereits um 1830 entwirft der weitblickende Nationalökonom Friedrich LIST (1833) ein "ideales" Eisenbahnnetz für Deutschland, mit Berlin als Mittelpunkt (s. Fig. 5).

1834 folgt der Plan des kgl. Hannoverschen Bergrats C. GROTE (S. 23 - 40), in dem die heutige Landeshauptstadt Hannover den bedeutendsten Knotenpunkt darstellt (s. Fig. 6). Von diesem strahlen fünf Linien aus, nach Köln, Bremen, Hamburg, Magdeburg und Mainz.

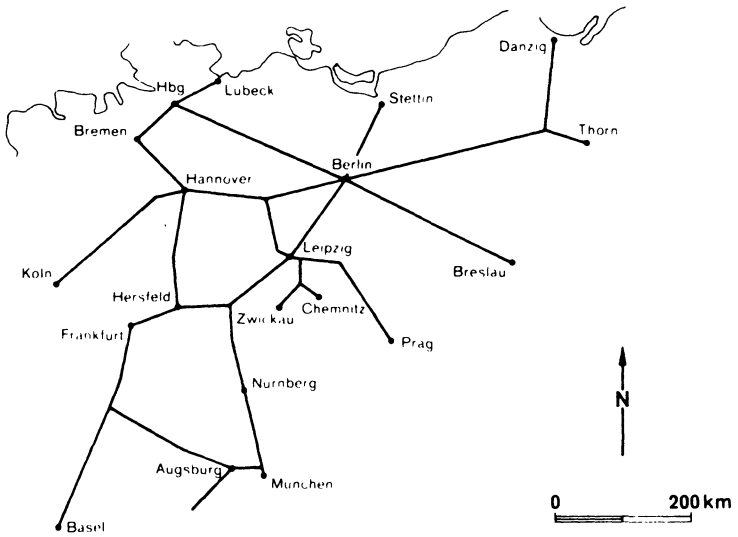
Beide Netzentwürfe enthalten bereits wegereichliche und bei geringer zu erwartendem Verkehrsaufkommen wegesparsame Netzgestaltungstypen, die später erheblich genauer von W. LAUNHARDT (1887/88) in seiner "Theorie des Trassierens" untersucht werden.

Daß die vorgegebene Netzgestalt eines Verkehrsnetzes in enger Beziehung mit dem dazugehörigen Raum gesehen werden muß, stellt J. E. KOHL (1841) fest.

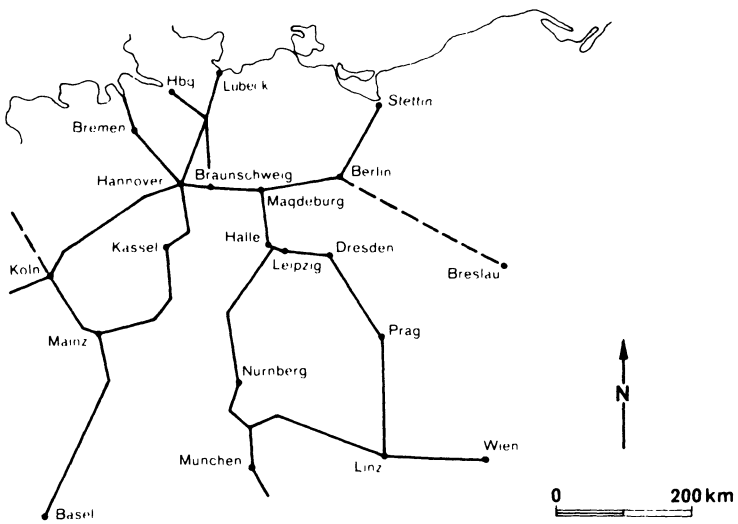
L. LALANNE (1863) gilt als einer der ersten, die Überlegungen über die systematische quantitative Erfassung eines bestehenden Eisenbahnnetzes größerer Ordnung anstellen.

W. CHRISTALLERs (1933) Theorie der zentralen Orte und auch die Arbeit von A. LÖSCH (1940) enthalten systematische Erörterungen der Lagebeziehungen zwischen den Siedlungen und dem Verkehrsnetz.

Das erste umfassende Buch über moderne netztheoretische Verfahren, die auf elektrische Leitungsnetze angewandt werden, veröffentlichen die Amerikaner S. SESHU und M. B. REED (1961). Von hier aus ist es nur ein kleiner Schritt zur Anwendung auf andere Netze, Systeme von Eisenbahnen, Erdölleitungen, Tele-



Figur 5: Entwurf von Friedrich List für ein deutsches Eisenbahnnetz[+)]



Figur 6: Entwurf v. C. Grote für ein deutsches Eisenbahnnetz [+)]

[+)] **Beide Entwürfe (Fig. 5 und 6) sind unverändert bei R. HOFFMANN (1961, S. 112) abgebildet. Die gerissenen Linien Berlin - Breslau und Köln - holländische Grenze besagen, daß über ihre Einbeziehung in das Netz Unsicherheit herrscht.**

fonkabeln etc., die in den Vereinigten Staaten besonders von den Geographen W. L. GARRISON (1960), W. L. GARRISON und D. F. MARBLE (1962, 1965, 1967), K. J. KANSKY (1963) und in England von P. HAGGETT (1965, 1967) untersucht werden.

Die Gründe für den ungeahnten Aufschwung der Graphentheorie in der verkehrsgeographischen Forschung der letzten 20 Jahre sind darin zu suchen, daß die Graphentheorie, auf Verkehrsnetze angewandt, mit Hilfe der Algebra und der Matrizentheorie heute der elektronischen Datenverarbeitung[21] zugänglich ist.

Struktur und Wachstum komplexer Verkehrsnetze sind mit Hilfe von Simulationsmodellen, besonders mit Monte-Carlo Verfahren[22], in einer begrenzten Anzahl von Untersuchungen vorausgesagt, simuliert worden.

GARRISON und MARBLE (1962, S. 73 - 88) beschreiben Versuche, das Wachstum des Eisenbahnnetzes von Nord - Irland zwischen 1830 und 1930 zu simulieren, während KANSKY (1963, S. 132-147) und R. L. MORRILL (1965, S. 130 - 170) die Eisenbahnnetze von Sizilien und Mittelschweden untersuchen.

Alle diese Räume sind relativ klein. Sie lassen sich in ihrer Größe durchaus mit dem dieser Studie zugrundeliegenden Modellraum Niedersachsen vergleichen.

In Deutschland sind vor allem die neueren Beiträge von R. HOFFMANN (1961, 1965) und F. VOIGT (1965) zu erwähnen. Beide demonstrieren in erheblich stärkerem Maße als die angelsächsischen Autoren den gegenwärtigen Stand der Theorie der Verkehrsnetze im Sinne der angewandten Geographie an regionalen Beispielen, sind jedoch mit dem abstrakten Konzept der Graphentheorie direkt noch nicht vertraut.

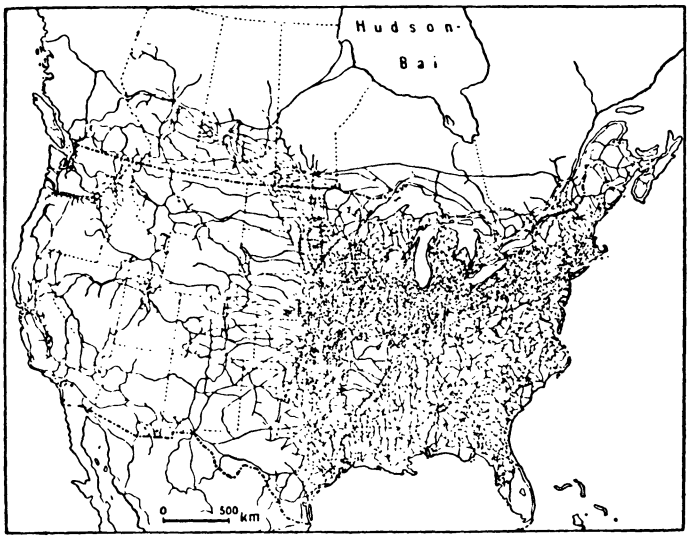
13 VERKEHRSNETZ UND GEOGRAPHISCHER RAUM

Es ist unmittelbar einsichtig, daß angenommene Beziehungen zwischen Verkehrsnetz und bestimmten relevanten Faktoren des

---

21) s. z. B. G. RAHMSTORF (1968).

22) Unter dem Begriff "Monte-Carlo Verfahren" werden alle Methoden zusammengefaßt, bei denen ein wahrscheinlichkeitstheoretisches Problem durch ein Zahlenexperiment mit hinreichender Genauigkeit gelöst wird.



Figur 7: Das Eisenbahnnetz der Vereinigten Staaten als Spiegelbild der Bevölkerungsdichte+)

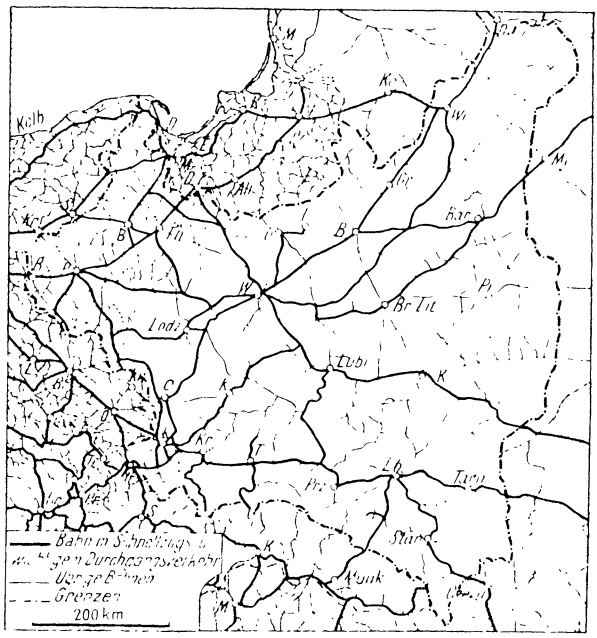
+) Aus: G. FOCHLER-HAUKE (1957, 2. Aufl., S. 61) Verkehrsgeographie, Braunschweig.

geographischen Raumes sich bereits auf einer thematischen Karte, auf der Netz und relevante Faktoren räumlich verteilt dargestellt sind, nachweisen lassen müssen[23]. Der Nachweis solcher räumlicher Korrelationen[24] ist hierbei zunächst lediglich vom Augenmaß abhängig.

So erscheint z. B. das Eisenbahnnetz der Vereinigten Staaten in seiner regionalen Differenzierung als ein recht getreues Spiegelbild unterschiedlicher kultur- und physisch-geographischer Kräfte (s. Fig. 7).

23) s. hierzu besonders E. B. ESPENSHADE, Jr. (Jan. 1966) "Verbalization from Maps", The Journal of Geography, Bd 65, Nr. 1, S. 12-18.

24) s. hierzu W. WITT (1967, S. 108).



Figur 8: Das Eisenbahnnetz Polens im Jahre 1931[+)]

[+)] Aus: E. von SEYDLITZ'sche Geographie (1931), Europa (ohne Deutschland), S. 277, Breslau.

Die überaus feinmaschige Netzgestalt im Osten des Landes läßt vermuten, daß auch Bevölkerungsdichte und Stand der wirtschaftlichen Entwicklung dort am größten sind. Die große Maschenweite im Westen hingegen dürfte auf geringe Bevölkerungsdichte und niedrigen Stand der wirtschaftlichen Entwicklung zurückzuführen sein. Das Hinzuziehen entsprechender thematischer Karten bestätigt diese Annahme weitgehend.

Ein Beispiel räumlicher Korrelationen aus dem europäischen Bereich bildet die Netzgestalt im Grenzgebiet des deutschen und des polnischen Eisenbahnnetzes (s. Fig. 8).

Beide Netze weichen stark voneinander ab, auch nachdem sich die politische Grenze verschoben hat.

Der westlichste Punkt der polnischen Grenze liegt kaum 160 km von Berlin, einem der bedeutendsten europäischen Eisenbahnknotenpunkte, entfernt. Dennoch hat sich hier eine ganz markante und scharfe Scheidelinie zwischen der feinmaschigen Struktur im ehemals preußischen Gebiet und der sehr weitmaschigen im

ehemaligen Kongreßpolen herausgebildet.

Obige Beispiele veranschaulichen, daß bereits die kartographische Darstellung ein ideales Mittel bildet, um bestehende räumliche Korrelationen sichtbar zu machen. Auch dabei wird abstrahiert von der Wirklichkeit des Raumes.

Sehr großmaßstäbige Karten kommen der Wirklichkeit des Raumes am nächsten. Je kleiner der Maßstab wird, desto mehr vergrößert sich der Grad der Abstraktion von abgebildeten Verkehrslinien und -punkten. Kleinere, unbedeutendere Linien und Punkte werden u. U. ganz weggelassen. Die Karte entspricht so immer weniger der ins einzelne gehenden Realität der Verkehrslinien. Sie erhält gemäß der jeweiligen kartographischen Fragestellung mit wachsendem Abstraktionsgrad einen immer stärkeren Modellcharakter.

Eine Karte ist somit für den Geographen ein Modell der Wirklichkeit, an dem die geographische Beschreibung komplexer Sachverhalte, ihre Analyse und Synthese, ihre räumlichen Beziehungen ansetzen können. Die Symbolsprache der Kartographie ist dem Geographen vertraut. Die Symbolsprache der Mathematik und Statistik soll hier ergänzen und im Einzelfall möglichst zu klareren und genaueren quantitativen Aussagen führen.

Mathematische Funktionen lassen sich in Formeln ausdrücken, die bestimmte Beziehungen zwischen zwei oder mehr Größen angeben. Den einfachsten Bezug liefert die Funktionsgleichung

$$y = f(x), \qquad (13\text{-}1)$$

wobei x die unabhängige veränderliche Größe und y die von x abhängige Veränderliche darstellt. Für eine Regressionsgleichung wird daraus die Allgemeinform:

$$Y = a + bX; \qquad (13\text{-}2)$$

zwischen X und Y soll eine lineare Beziehung bestehen; a und b stellen dann in der Gleichung Gewichte dar, genannt Parameter, deren Werte durch empirischen Vergleich ermittelt werden.

Obige Gleichung kann auch bei Berücksichtigung mehrerer relevanter Raumfaktoren folgendermaßen geschrieben werden:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \ldots b_nX_n \pm e, \qquad (13\text{-}3)$$

wobei Y die abhängige Veränderliche oder ein netztheoretischer Index ist. X_1, X_2, X_3, $\ldots X_n$ sind die unabhängigen Veränder-

lichen oder die für die Untersuchung relevanten Raumfaktoren; a ist eine Konstante, b_1, b_2, b_3, ...b_n sind Gewichte und $\pm$ e ist ein Schätzwert für den Fehler.

Dieser mathematisch-statistische Bezug wird damit auf geographische Größen, Faktoren, Kräfte übertragen, die in einem funktionalen Zusammenhang stehen. Der Zusammenhang wird meßbar, quantifizierbar und durch zahlenmäßige Angaben deutlicher als er auf der Karte bereits sichtbar ist (vgl. Beispiele der Fig. 7 und 8).

2 NETZTHEORETISCHE UNTERSUCHUNGSVERFAHREN

21 VORBEMERKUNGEN

Im Sinne der Theorie der Graphen von der Realität abstrahiert, stellt sich ein Verkehrsnetz in seiner Gestalt als ein G r a p h[25] dar, der als eine Anzahl von systematisch organisierten Punkten und Linien erscheint. Die Siedlungen des geographischen Raumes werden zu Punkten, die durch viele Umwege gekennzeichneten Verkehrslinien werden zu Geraden, welche die Punkte miteinander verbinden. Nach W. CHRISTALLER (1966, S. 36) ist es eine ganz einfache raumwirtschaftliche Tatsache, daß die Gerade die kürzeste, daher raumwirtschaftlich optimalste Verbindung zwischen zwei Punkten darstellt.

Sie wird auch als Luftlinie oder besser als "Wunschlinie" für vorhandene Verkehrsspannungen bezeichnet. Unter einer Verkehrsspannung soll das Verkehrsbedürfnis zwischen zwei Punkten verstanden werden, das nach Volumen, Richtung und Richtungssinn auch genauer durch einen Ortsvektor im Sinne der analytischen Geometrie dargestellt werden kann.

In dieser Arbeit erscheint die Verkehrsspannung formal als Gerade. Ihre funktionale Bedeutung soll aus der Art ihrer Verknüpfung im Netz ermittelt werden.

Der "Wunschlinie" stehen in der Praxis mannigfaltige Hindernisse im Wege. Sie hat daher ausgesprochenen Modellcharakter.

---

25) Die Theorie der Graphen und ihre Anwendung wird besonders ausführlich behandelt von C. BERGE (1958), G. RINGEL (1959) und O. ORE (1963).

Die Einschränkung der "idealen" Ebene, des zweidimensionalen homogenen Raumes, in dem physisch-geographisch bedingte Umwege, z. B. durch große Reliefunterschiede des Geländes, durch Gewässer und Moore, ausgeschlossen werden, ermöglicht es, einem ganzen Verkehrsnetz den Modellcharakter eines Graphen zu geben. Es läßt sich so in seine einfachen Elemente zerlegen:

Diese werden nach D. KÖNIG (1936) als K n o t e n p u n k t e und als K a n t e n bezeichnet, wobei eine Kante die geradlinige Verbindung zwischen zwei Knotenpunkten angibt.

Synonym zu gebrauchen sind weitere Begriffe, wobei für Knotenpunkte (oder Ecken) im Hinblick auf das hier betrachtete Verkehrsnetz auch von Verkehrspunkten, bei Hervorhebung ihrer Lage im Netz von Anfangs- und Endpunkten, bei Betrachtung des Verkehrsflusses von Quell- und Zielpunkten oder im Eisenbahnverkehr direkt von Bahnhöfen gesprochen werden kann.

Für Kanten steht Verkehrsstreckenabschnitte oder auch Netzglieder.
Um Verwechslungen bei den in Formeln auszudrückenden Beziehungen zwischen den graphentheoretischen Elementen zu vermeiden, wird auf die gebräuchlichste angelsächsische Schreibweise für Knotenpunkte als "vertices" und für Kanten als "edges" zurückgegriffen[26]. Diese graphentheoretische Terminologie hat nach D. KÖNIG (1936, S. II) einen großen heuristischen Wert: Sie "verbindet recht abstrakte Dinge mit klaren Vorstellungen ..., wodurch oft neue Zusammenhänge zwischen voneinander scheinbar entfernt liegenden Begriffen und Problemen zutage treten."

Eine Verknüpfung der beiden graphentheoretischen Elemente, der Knotenpunkte und der Kanten, ist bereits durch die unterschiedliche Verbindung dreier Punkte gegeben, wobei die Delta (Δ)-Lösung und die Ypsilon (Υ)-Lösung[27] bei der Kostenkalkulation für neue Trassen eine erhebliche Rolle spielen.

---

26) In der angelsächsischen Literatur sind für Knotenpunkt synonym die Begriffe "vertex", "node" und "knot" im Gebrauch, im Französischen "sommet", "noeud" und "carrefour".
Für Kante werden im Englischen die Begriffe "edge" und "branch", im Französischen "chemin", "arête" und "lien" gebraucht.

27) s. hierzu S. B. AKERS, Jr. (1960).

Während der netztopologische Typ der Δ-Lösung für die Betriebskosten zwischen drei Verkehrspunkten am günstigsten ist, wird die Y-Lösung für die Baukosten von Verkehrswegen zwischen drei Punkten am optimalsten. Letztere zeichnet sich damit durch eine wegesparsame und betriebskostenmäßig ungünstige Netzgestalt aus. Bei der Δ-Lösung steigen hingegen die Baukosten durch die in diesem Falle wegereichliche Netzgestalt, die sich in einem Verkehrsnetz durch die große Anzahl von Verkehrsstreckenabschnitten (Kanten) und damit einen hohen Entwicklungsstand nachweisen läßt.

Ein Beweis für diese Kostenkalkulation ist in vorliegendem Zusammenhang nicht notwendig, zumal in jüngster Zeit mehrfach das Drei-Punkte-Problem trigonometrisch, aber auch mittels Näherungsverfahren in der Literatur behandelt worden ist[28].

Größere bestehende Verkehrsnetze mit erheblich mehr als nur drei Punkten und Kanten können mit diesen Methoden jedoch noch nicht analysiert werden[29].

22 NETZTHEORETISCHE DEFINITIONEN

Bereits in den bisherigen Erörterungen wurden an einigen Stellen Begriffe, die für das Verständnis des Netzphänomens wesentlich sind, genauer definiert. Auch in den folgenden Teilen der Arbeit sollen an passender Stelle speziellere Bezeichnungen eingeführt und erläutert werden.

Kurze definitorische Wiederholungen erscheinen aus Gründen der besseren Lesbarkeit in Einzelfällen angebracht.

An dieser Stelle sollen einige der wichtigsten netztheoretischen Begriffe, welche auf die Graphentheorie zurückgehen, kurz zusammengefaßt und einige weitere neu definiert werden.

Die für verkehrsgeographische Studien ungewohnte "technische" Sprache der Graphentheorie wird durch die z. T. in Klammern

---

28) s. N. A. BOUKIDIS (1962) und C. WERNER (1966).

29) Durch weitere Verbesserung der Computergeschwindigkeiten und der Speicherungsmöglichkeiten von Daten scheint es in der Zukunft möglich, auch recht komplexe Netze durch mathematisch genaue Winkelrelationen und Näherungsverfahren kostenmäßig zu optimieren.

aufgeführten gebräuchlicheren und mehr praxisbezogenen Bezeichnungen herabgemildert. Da sie teilweise synonym zu verwenden sind, teilweise ihre Bedeutung jedoch erheblich über die Graphentheorie hinausgeht, ergibt sich im Einzelfall aus dem Sinnzusammenhang ohne Schwierigkeiten, ob sie mehr netztheoretisch analysierend oder mehr praktisch interpretierend gebraucht werden, ob das graphentheoretisch simplifizierte oder das reale Netz gemeint ist.

Die synonymen Bezeichnungen verknüpfen damit die systematischen mit den regional bezogenen Teilen dieser Arbeit und erleichtern beim Lesen, die Zusammenhänge zu sehen.

Begriffe, die nicht widersprüchlich und allgemein bekannt sind, werden nicht definiert.

G r a p h (V e r k e h r s n e t z): Ein Graph G ist eine Einheit, die aus zwei Grundelementen, Knotenpunkten und Kanten, besteht. Ein Graph, auch als Netzmodell oder kurz Netz bezeichnet, ist durch die unterschiedliche Verknüpfung der Elemente in seiner Struktur gekennzeichnet.
Ein Verkehrsnetz, auch Verkehrsliniennetz, kann außerdem
a) f o r m a l für durch Umwege und Kurven gekennzeichnete Verkehrslinien stehen, die einzelne Siedlungen miteinander verbinden,
b) f u n k t i o n a l für durch Volumen, Zusammensetzung und Richtung des Verkehrs gekennzeichnete V e r k e h r s s p a n n u n g e n zwischen den Siedlungen.

K n o t e n p u n k t (V e r k e h r s p u n k t): Ein Knotenpunkt V (engl. vertex) ist ein Element des Graphen G. Von ihm gehen n Kanten aus, deren Anzahl den Grad des Knotenpunktes angibt. Ein Knotenpunkt vom Grad (1) heißt ein E n d p u n k t des Graphen.
Ein Verkehrspunkt kann außerdem für eine Siedlung stehen, in welcher sich Volumen, Zusammensetzung und Richtung des Verkehrs ändern.

K a n t e (V e r k e h r s s t r e c k e n a b s c h n i t t): Eine Kante E (engl. edge) ist ein Element des Graphen G. Sie wird durch zwei benachbarte Knotenpunkte begrenzt. Eine Kante,

die in einem Endpunkt des Graphen endet, heißt eine E n d k a n t e. Ein Verkehrsstreckenabschnitt kann außerdem für eine durch Umwege gekennzeichnete und durch zwei benachbarte Siedlungen begrenzte Verkehrslinie mit Verkehrsbewegung stehen.

P l a n a r g r a p h : Graph G, der im zweidimensionalen Euklidischen Raum, in der "idealen" Ebene liegt. Bei der zeichnerischen Darstellung dürfen zwei Kanten nie einen Punkt gemeinsam haben, der kein Knotenpunkt ist.

Nicht-planare Graphen mit den entsprechenden Punktmengen, die auch aus Überschneidungen von Kanten resultieren, kommen nur in drei- oder höherdimensionalen Räumen vor.

E n d l i c h e r G r a p h : Graph G, der eine endliche Anzahl von Elementen enthält.

S u b g r a p h : Teil eines Graphen G, ohne direkte Kantenverbindung zu diesem, also isoliert, wobei $G = G_1+G_2+G_3+\ldots+G_n$.

T e i l g r a p h : Teil des Graphen G, mit direkter Kantenverbindung zu den anderen Teilen.

Z u s a m m e n h ä n g e n d e r G r a p h : Graph G, der keine isolierten Subgraphen enthält.

V o l l s t ä n d i g e r G r a p h : Graph G, bei dem jedes Knotenpunktepaar durch eine Kante verbunden ist. Er ist ein nicht-planarer Graph.

N i c h t z u s a m m e n h ä n g e n d e r G r a p h : Graph G, der zwei oder mehr isolierte Subgraphen enthält.

W e g (V e r k e h r s l i n i e oder V e r k e h r s s t r e c k e):
Endliche Reihe oder Folge von Kanten, auch offene Kantenfolge oder Kantenzug genannt. Ein Weg wird durch Endpunkte (ersten Grades) begrenzt und hat im Innern der Kantenfolge nur Knotenpunkte zweiten Grades. Eine Verkehrslinie besteht aus einer Folge von Verkehrsstreckenabschnitten ohne Verzweigungen.

B a u m : Verbundener endlicher Graph von n Kanten mit Verzweigungen, aber ohne geschlossenen Kreis. Den einfachsten Baum, der kein Weg ist, bildet die Y-Lösung für drei Punkte, wobei der Punkt, an dem die drei Kanten zusammenkommen, bei Planargraphen als vierter Punkt oder G a b e l p u n k t gezählt wird.

K r e i s (Z y k l u s): Verbundener endlicher Graph, bestehend aus einer geschlossenen Kantenfolge von n Kanten, wobei Anfangs- und Endpunkt zusammenfallen. Alle Knotenpunkte sind Punkte zweiten Grades. Ein Kreis aus n Kanten heißt n-Eck. Der einfachste Kreis wird durch drei Kanten und drei Knotenpunkte im Sinne der Δ-Lösung gebildet.

Aus obigen Definitionen ergeben sich einige Schlußfolgerungen:

Jeder Knotenpunkt ist auch Verkehrspunkt, jede Kante ist auch Verkehrsstrecke, jeder Graph ist auch Verkehrsnetz. Eine Umkehrung ist nicht möglich, da in jedem Falle der allgemeinere Begriff den speziell graphentheoretischen hier mit beinhaltet.

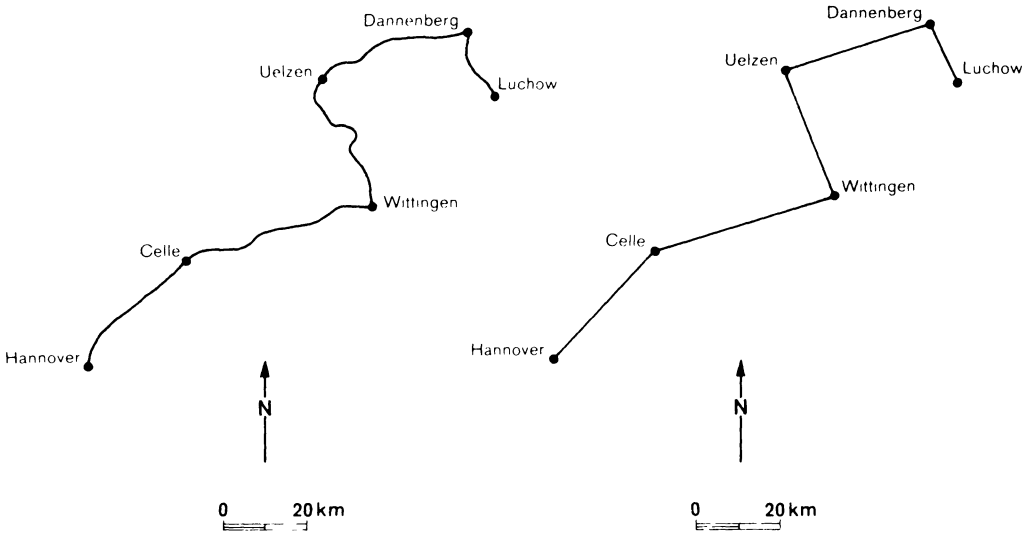
In gleichem Sinne kann gesagt werden, daß ein graphentheoretischer Begriff immer auch ein netztopologischer und letztlich ein netztheoretischer Begriff ist.

23 NETZMODELLE IN DER VERKEHRSGEOGRAPHIE

Verkehrsnetze, welche die Kriterien als Graphen erfüllen, sind mannigfaltigen netztheoretischen Untersuchungsverfahren zur Strukturanalyse zugänglich. Vorausgesetzt wird hierbei immer der homogene Raum, der geographisch bedingte Umwege ausschließt und geometrische Konfigurationen von Knotenpunkten und Kanten erst ermöglicht. Graphen haben so Modellcharakter und können als N e t z m o d e l l e bezeichnet werden.

Drei große Gruppen von Netzmodellen mit jeweils steigender Komplexität werden in der Verkehrsgeographie unterschieden[30]:

30) s. besonders GARRISON und MARBLE (1965) und P. HAGGETT und R. J. CHORLEY (1967, S. 609-668).



Figur 9 Darstellung eines netztopologischen Weges

a) Wege,

b) Bäume,

c) Kreise.

Sie sollen anhand von Beispielen belegt werden[31].

Zu a) Ein Geschäftsmann will im Sinne des "Travelling Salesman Problem"[32] auf dem kürzesten Wege mit der Eisenbahn von einem Verkehrspunkt, z. B. von Hannover über mehrere Zwischenverkehrspunkte, Celle, Wittingen, Uelzen und Dannenberg zu dem Verkehrspunkt Lüchow fahren, um Kunden zu besuchen. Sein Weg ist in Fig. 9 a dargestellt.

---

31) s. hierzu auch die netztheoretischen Definitionen in Abschnitt 22.

32) Es handelt sich dabei für einen Geschäftsreisenden um das Problem, mehrere Städte nacheinander auf dem kürzesten Wege zu besuchen und schließlich zum Ausgangspunkt zurückzukehren. S. hierzu M. M. FLOOD, 1956: The travelling salesman problem (Operations Research, Bd 4, S. 61-75).

Der Schienenweg des Geschäftsmanns weist gemäß dem Maßstab der Karte zwischen je zwei Verkehrspunkten Umwege auf, die von der Geraden abweichen. Je kleiner der Maßstab der Karte ist, desto größer wird die Abstraktion des realen Weges. Maßstab und Abstraktionsgrad verhalten sich umgekehrt proportional.

Werden der Schienenweg linear abstrahiert und die Siedlungen als Knotenpunkte dargestellt (s. Fig. 9 b), so ergibt sich der einfache Spezialfall eines Netzmodells, das nach der topologischen Klassifikation von Netzen als W e g [33], offene Kantenfolge oder offener Kantenzug mit n Kanten (n = 1, 2, 3, ...) bezeichnet wird. Der Weg weist keinerlei Gabelungen auf.

Die beiden Endpunkte sind ersten Grades, alle weiteren Knotenpunkte zweiten und nur zweiten Grades.

Zu b) Das Eisenbahnnetz des Großherzogtums Oldenburg aus dem Jahre 1890 ist in Fig. 10 a abgebildet.

Werden das Liniennetz linear abstrahiert und Siedlungen, Gabel- und Endpunkte als Knotenpunkte dargestellt, so ergibt sich als Netzmodell ein topologischer B a u m (Fig. 10 b), der wie ein Baum aus Verzweigungen und Verästelungen besteht. Ein solcher Baum ist kein offener Kantenzug mehr wie in Fig. 9 b, sondern bereits ein zusammenhängender Graph, der jedoch noch keinerlei Kreise enthält[34].

Weitere netztopologische Baumsysteme von unterschiedlicher Komplexität sind in Fig. 11 [35] aufgezeichnet, wobei die Bäume in Fig. 11 c und 11 d die ausgeprägte Struktur von Flußsystemen im geographischen Raum anzeigen.

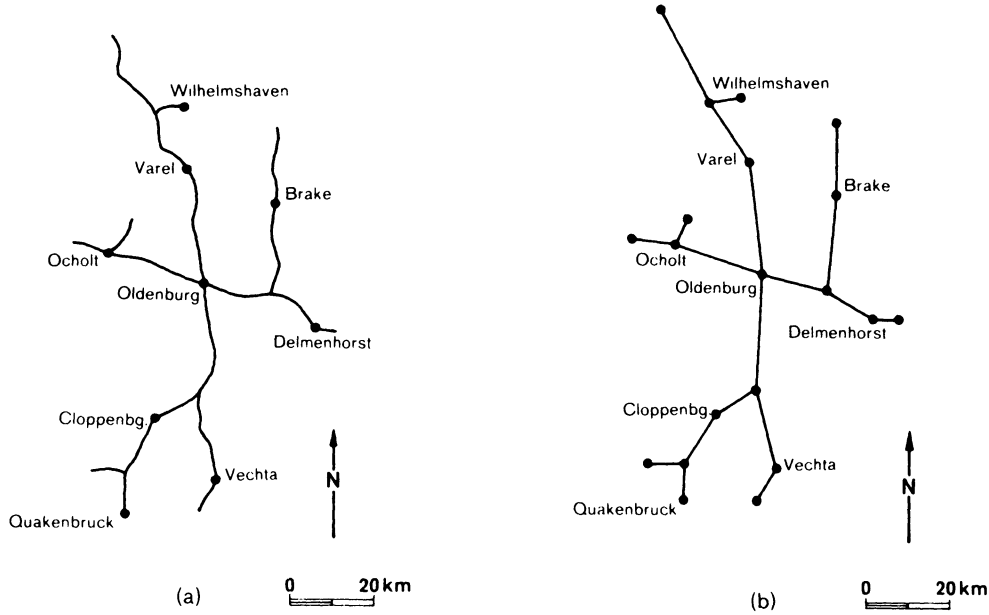
Ein endlicher, linearer Graph ist ein Baum, wenn und nur wenn genau ein Weg zwischen je zwei Knotenpunkten des Graphen besteht. In Fig. 11 zeigt sich, daß ein Baum mit n Knotenpunkten immer n - 1 Kanten hat. Das gleiche gilt auch für jeden Weg.

---

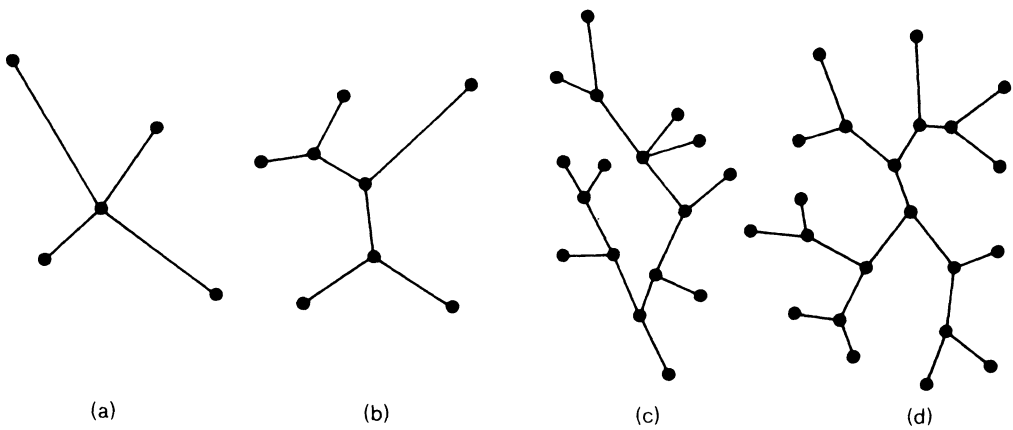
33) Zu den mathematischen Grundlagen dieses speziellen Netzmodells s. besonders: L. A. LYUSTERNIK (1964).

34) O. ORE (1963, S. 130) spricht von "connected graphs without circuits".

35) Die Fig. 11 weist ähnliche Baumsysteme auf, wie sie bei O. ORE (1963, S. 34-42) und P. HAGGETT u. R. CHORLEY (1967, S. 625) angegeben sind.



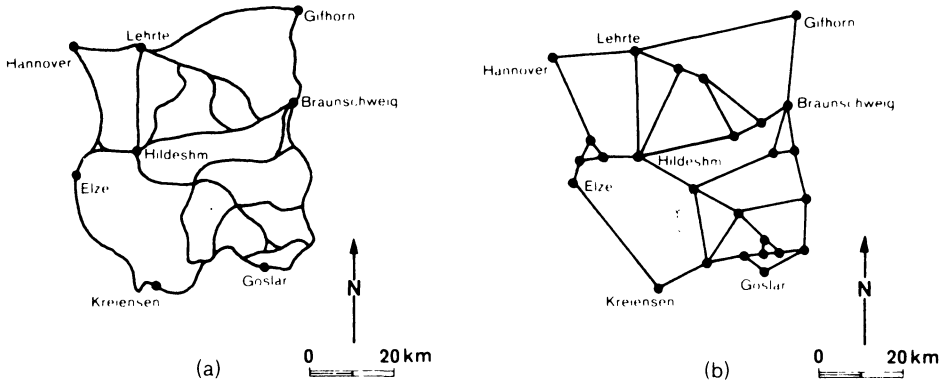
Figur 10: Darstellung eines topologischen Baumes



Figur 11: Topologische Baumsysteme unterschiedlicher Komplexität

Zu c) Das Eisenbahnnetz im Raume Hannover - Braunschweig - Salzgitter (Fig. 12 a) im Jahre 1900 veranschaulicht die dritte große Gruppe von Netzmodellen, die Kreisstrukturen (Fig. 12 b). Alle relevanten Siedlungen und Gabelpunkte werden als Knotenpunkte dargestellt.

Ein K r e i s (oder Zyklus) ist, für sich betrachtet, eine geschlossene Kantenfolge. Alle Punkte sind Knotenpunkte zweiten Grades. Im Verband mit mehreren Kreisen erhöht sich der



Figur 12: Darstellung topologischer Kreise

Grad der einzelnen Knotenpunkte jedoch. Man spricht dann von f u n d a m e n t a l e n Kreisen. Die meisten höher entwikkelten Verkehrsnetze enthalten viele fundamentale Kreise, wobei sich ganze Kreissysteme bilden. Diese können auch noch Wege und Bäume in sich enthalten, welche die Verbindung zu den Endpunkten des Systems herstellen.

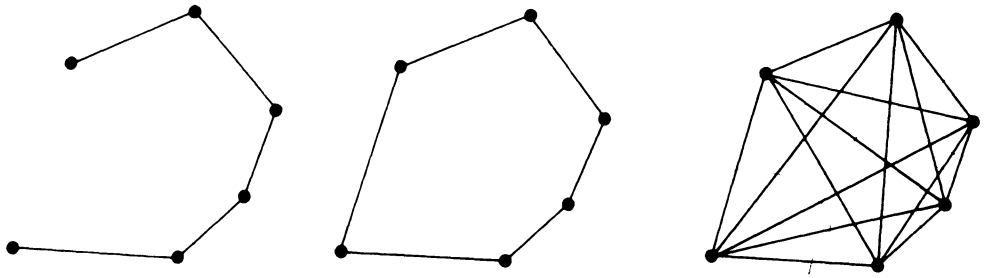
Im geographischen Raum können vor allem Eisenbahn- und Straßennetze mit Kreissystemen gleichgesetzt werden.

Um die verschiedenen Netzmodelle zahlenmäßig darzustellen und miteinander zu vergleichen, soll hier der Begriff der K o n n e k t i v i t ä t [36] aus dem Englischen übernommen werden. Er bedeutet soviel wie Verbindung oder Verknüpfung eines Netzes und beinhaltet die quantitative Erfassung der Netzstruktur im Sinne der Graphentheorie.

Ein Graph G hat eine bestimmte Konnektivität. Er ist verbunden oder bezüglich seiner Knotenpunkte verknüpft, wenn irgendein Weg zwischen allen Knotenpunkten besteht.

Es lassen sich bei gegebener Anzahl von Knotenpunkten eines Netzmodells Minima und Maxima für die Anzahl der zugehörigen Kanten feststellen. Die geringstmögliche Anzahl von Kanten, durch die z. B. die sechs Knotenpunkte in Fig. 13 miteinander verbunden sein können, besteht aus nur fünf Kanten, einem Weg (Fig. 13 a). Bei sechs Kanten bildet sich ein Kreis (Fig. 13 b).

36) vgl. GARRISON und MARBLE (1965, S. 44-45). Sie sprechen von "connectivity".



(a) Weg

(b) Kreis

(c)

$$E_{max} = \frac{V_n (V_n - 1)}{2}$$

$$E_{max} = \frac{6\,(6-1)}{2} = 15$$

Figur 13 Unterschiede in der Verknupfung von Knotenpunkten

Die theoretisch größtmögliche Anzahl von Kanten E_{max} zwischen n Knotenpunkten V_n wird für nicht-planare Graphen[37] durch die Formel:

$$E_{max} = \frac{V_n\ (V_n\ -\ 1)}{2} \qquad (n = 1,\ 2,\ 3\ldots) \qquad (23\text{-}1)$$

wiedergegeben.

Die sechs Knotenpunkte oder Siedlungen sind damit durch 15 Kanten vollständig miteinander verbunden, d. h. von jedem Knotenpunkt gehen (n - 1) Kanten aus (Fig. 13 c). Jeder einzelne Knotenpunkt ist n - 1. Grades, hier 5. Grades. Ein solcher vollständig verbundener Graph weist damit eine maximale Verknüpfung seiner Knotenpunkte, eine maximale Konnektivität auf.

Auf den geographischen Raum übertragen, würde die maximale Konnektivität bedeuten, daß jede Siedlung in einem bestimmten Verkehrsraum direkt und linear mit jeder anderen verbunden wäre. Dieser Idealfall würde ein Minimum an Betriebskosten des Verkehrs beinhalten, jedoch ein Maximum an aufgewendeten Baukosten voraussetzen. Letztere wären in der Regel so erheblich, daß in der ökonomischen Praxis eine maximale Konnektivität der Siedlungen nicht vorkommt.

Bei der Planung neuer Verkehrsverbindungen werden im allgemei-

37) Zur Definition der nicht-planaren Graphen s. Punkt 3 der Einschränkungen am Schluß von Unterkapitel 23.

nen Formen der Konnektivität angestrebt, welche unter Berücksichtigung der vorhandenen oder für die Zukunft erwarteten Verkehrsspannungen die Summe der Bau- und Betriebskosten zu einem Minimum werden lassen.

In der Praxis kann man die unterschiedliche Konnektivität der einzelnen Teile eines Netzes aus den Grundformen der Netzgestaltung, z. B. Dreiecksnetzen für eine wegereichliche Netzgestalt, Quadrat- oder Sechsecknetzen im Sinne von CHRISTALLERs Verkehrsschema (1933) für eine wegesparsame Netzgestalt und topologischen Bäumen oder Wegen für eine wegesparsamste Netzgestalt herauslesen.

Wenn man bei der Berechnung der Netzindizes nicht von einem theoretisch maximal möglichen Netz (E_{max}), sondern einem praktisch vorhandenen Verkehrsnetz ausgeht, wird bei Berücksichtigung aller Schnitt- und Gabelpunkte als Knotenpunkte die maximale Konnektivität in der Ebene $E_{max(Pl)}$ (Pl = Planargraph):

$$E_{max(Pl)} = 3\ (V_n - 2) \qquad (23\text{-}2)$$

Beide Konnektivitätsformeln sind für die Analyse eines bestehenden Verkehrsnetzes von großer Bedeutung.

Um die Konnektivität eines bestehenden Verkehrsnetzes in seiner Gesamtheit, aber auch die Konnektivität, Zentralität und relative Lage einzelner Elemente quantitativ durch Indizes auszudrücken, sind eine Reihe netztheoretischer Verfahren entwikkelt worden, die in Abschnitt 24 näher erläutert werden. Voraussetzung für die Anwendung dieser Verfahren ist die Schaffung eines Netzmodells, das im Grad der Abstraktion des realen Netzes der jeweiligen Fragestellung am Untersuchungsobjekt angepaßt sein muß.

Für die Darstellung von Verkehrsnetzen als Graphen gelten hier einige wesentliche Einschränkungen:

1) Jeder Graph ist ein linearer Graph.
2) Jeder Graph ist ein endlicher Graph, der endliche Punktmengen umfaßt.
3) Jeder Graph ist ein Planargraph, der zeichnerisch im zwei-

dimensionalen Euklidischen Raum so dargestellt wird, daß keine zwei Kanten einen Punkt gemeinsam haben, der kein Knotenpunkt ist.

Ein Graph, der diese Bedingung nicht erfüllt, ist ein nicht-planarer Graph. Ein Graph mit theoretisch maximaler Konnektivität entspricht einem nicht-planaren Graphen, da sich die Kanten an Stellen überschneiden, die nach der Definition keine Knotenpunkte sind (s. das Sechseck in Fig. 13 c). Eisenbahn- und Straßennetze sind als Planargraphen darstellbar; Luftliniennetze ähneln mehr nicht-planaren Graphen. Für die Berechnung der netztheoretischen Indizes wird die maximale Konnektivität eines nicht-planaren Graphen vergleichsweise mit herangezogen.

4) Jeder Graph ist ein nicht gerichteter Graph. Er ist nicht gerichtet etwa zur Darstellung von Verkehrsspannungen als Vektoren. Er bezieht sich vielmehr auf die gegenseitige Abhängigkeit von Knotenpunkten und Kanten im Sinne von binären Formen[38], im einzelnen auf ihr Vorhandensein oder ihr Nichtvorhandensein. Bei größeren Netzen wird das Rechnen mit Matrizen unter Zuhilfenahme von Computern notwendig.

5) Jeder Graph kann bezüglich seiner Knotenpunkte und Kanten durch metrische Zahlenwerte bestimmt und gewichtet werden. Den Knotenpunkten können z. B. die Einwohnerzahlen der betreffenden Städte, den Kanten die Entfernungen in Eisenbahnkilometern zugeordnet werden. In diesem Falle nimmt der lineare Graph in seiner Konfiguration mehr die Form von statistischen Mengen mit unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen, Mittelwerten und Varianzen an.

6) Weitere Einschränkungen für die zeichnerische Darstellung von Verkehrsnetzen als Graphen oder Netzmodelle ergeben sich aus der jeweils speziellen Fragestellung.

Ein durch mannigfaltige Einschränkungen und unterschiedliche Abstraktionsgrade bestimmtes Netzmodell wird letztlich konstruiert, um Struktur und Entwicklungsmöglichkeiten eines Verkehrsnetzes zu erfassen und dazu beizutragen, dem Modell eines optimalen Netzsystems näherzukommen, das für die Verkehrsplanung von unschätzbarem raumwirtschaftlichen und raumordnerischen Wert sein kann.

38) Binäre Formen sind in der Mathematik ganze homogene Funktionen zweier Veränderlicher.

24 ZUR TOPOLOGISCHEN STRUKTUR VON VERKEHRSNETZEN

Wie bereits erwähnt (Abschnitt 23) sind Verkehrsnetze ihrer topologischen Struktur nach im allgemeinen als Kreisnetze zu betrachten. Die Struktur wird mit Hilfe der sich aus der Graphentheorie herleitenden netztheoretischen Untersuchungsverfahren quantifizierbar. Zwischen den verschiedenen Elementen, den Knotenpunkten und den Kanten, können in Zeit und Raum meßbare Beziehungen hergestellt werden. Die Beziehungen werden als I n d i z e s angegeben.

Einige der wichtigsten topologischen Indizes sollen im folgenden beschrieben und erläutert werden.

GARRISON (1960) unterscheidet zwei Hauptgruppen von Indizes:

1) graphentheoretische Maße für Verkehrsnetze als ganze Einheiten und
2) graphentheoretische Maße für einzelne Elemente von Verkehrsnetzen[39].

241 Graphentheoretische Verfahren für Verkehrsnetze als ganze Einheiten

Einen der fundamentalsten graphentheoretischen Indizes bildet die zyklomatische Zahl (My): (n = 1, 2, 3...)

$$\mu = E_n - V_n + G_n, \qquad (241\text{-}1)$$

wobei E_n die Anzahl der Kanten, V_n die Anzahl der Knotenpunkte und G_n die Anzahl der unverbundenen Subgraphen in dem System darstellt (s. Fig. 14).

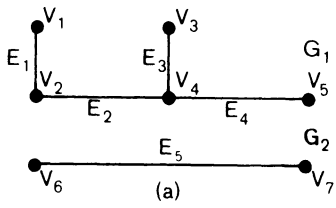
Die Bedeutung des μ-Index für die Struktur von Verkehrsnetzen liegt darin, daß jeder topologische Weg oder Baum die zyklomatische Zahl Null hat, während stark durch fundamentale Kreise verbundene Graphen hohe zyklomatische Zahlen aufweisen[40].

Es soll im empirischen Teil der Arbeit bewiesen werden, daß

---

39) Außer von GARRISON sind graphentheoretische Strukturmaße besonders von KANSKY (1963), GARRISON und MARBLE (1965) und HAGGETT und CHORLEY (1967) zusammenfassend dargestellt worden.

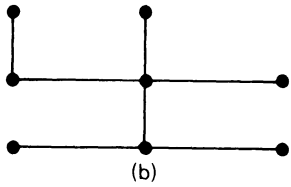
40) Den detaillierten Beweis hierfür s. bei Claude BERGE, Theoreme 2 und 3 (1958, S. 29).



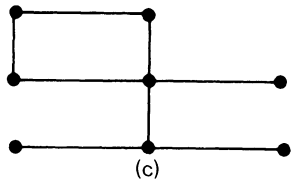
$V_n = 7, E_n = 5, G_n = 2$

$\mu = E_n - V_n + G_n$

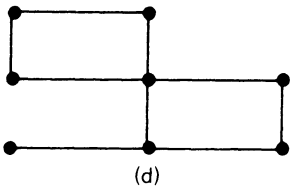
$\mu = 5 - 7 + 2 = 0$



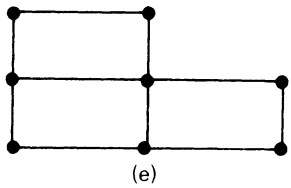
$\mu = 7 - 8 + 1 = 0$



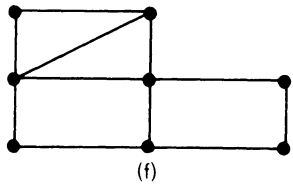
$\mu = 8 - 8 + 1 = 1$



$\mu = 9 - 8 + 1 = 2$



$\mu = 10 - 8 + 1 = 3$



$\mu = 11 - 8 + 1 = 4$

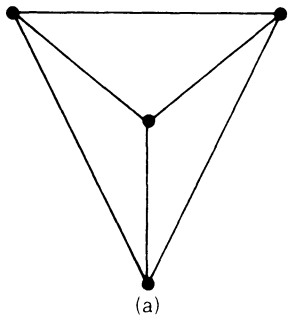
Figur 14: Anwendung der zyklomatischen Zahl

geographische Räume mit geringer Bevölkerungsdichte, geringer Wirtschaftskraft etc. in der Regel durch Verkehrssysteme bedient werden, die mehr die Form von Wegen oder Bäumen annehmen, also einen geringen Entwicklungsstand des Netzes darstellen, während Räume mit hoher Wirtschaftskraft von stark zusammenhängenden Kreissystemen profitieren.

Drei weitere Gruppen von Indizes werden auf Verkehrsnetze als ganze Einheiten angewandt:

1) Alpha (α)-Index
2) Beta (β)-Index
3) Gamma (γ)-Index
4) Eta (η)-Index
5) Theta (θ)-Index
6) Delta (δ)-Index
7) Pi (π)-Index

Der Alpha-Index ist eines der bedeutendsten topologischen Maße für die Konnektivität des Netzes als Ganzem. Er besteht aus dem Verhältnis der beobachteten Anzahl fundamentaler Kreise zu der



(a)

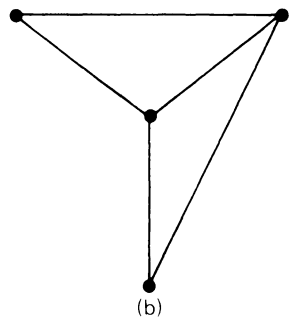
$V_n = 4, E_n = 6$

$\alpha = \frac{E_n - V_n + G_n}{2V_n - 5}$

$\alpha = \frac{6 - 4 + 1}{8 - 5}$

$\alpha = \frac{3}{3} = 1$

$\alpha = 100\%$

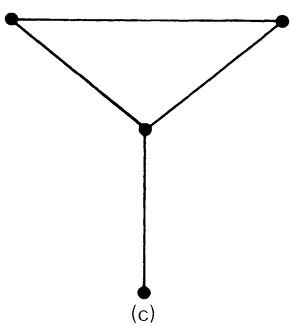


(b)

$V_n = 4, E_n = 5$

$\alpha = \frac{2}{3} = 0{,}66$

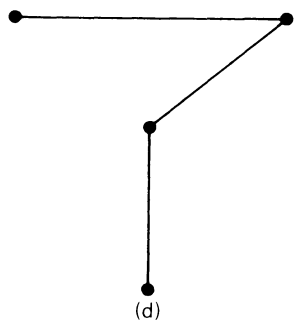
$\alpha = 66{,}7\%$



(c)

$V_n = 4, E_n = 4$

$\alpha = \frac{1}{3} = 33{,}3\%$



(d)

$V_n = 4, E_n = 3$

$\alpha = \frac{0}{3} = 0\%$

Figur 15: Anwendung von Alpha

maximalen Anzahl von Kreisen, die in einem Netz vorkommen können.

Für Graphen in der Ebene[41] lautet die Formel:

$$\alpha = \frac{E_n - V_n + G_n}{2 V_n - 5} = \frac{\mu}{2 V_n - 5}, \qquad (241\text{-}2)$$

41) Für nicht-planare Graphen lautet die Formel:

$$\alpha = \frac{\mu}{\frac{V_n(V_n - 1)}{2} - (V_n - 1)}$$

(Der Alpha-Index wird hier nur auf planare Graphen angewandt.)

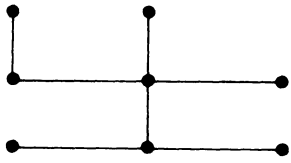
wobei E_n die Anzahl der Kanten, V_n die Anzahl der Knotenpunkte und G_n die Anzahl der Subgraphen des Systems darstellt (s. Fig. 15). Der Zähler obiger Formel ist durch die zyklomatische Zahl gegeben. Der Nenner ist gleich der Anzahl der Kanten in einem vollständig verbundenen Graphen in der Ebene ($3 V_n - 6$) minus der Anzahl der Kanten in einem topologischen Baum ($V_n - 1$).

Durch die Anwendung des Alpha-Index wird es möglich, Verkehrsnetzen verschiedene Zahlenwerte zwischen 0 und 1 zuzuordnen und damit unterschiedliche Grade der Konnektivität quantitativ auszudrücken. Für vollständig verbundene Netze in der Ebene, d. h. Netze, die das Maximum möglicher Kanten haben, wird der Alpha-Index gleich 1 (s. Fig. 15 a). Er nähert sich 0, je geringer die Anzahl der Kanten in dem Netz wird. Er wird 0, wenn der Zähler 0 ist, also bei allen netztopologischen Wegen und Bäumen (s. Fig. 15 d). GARRISON und MARBLE (1962, S. 39) empfahlen, den Alpha-Index mit 100 zu multiplizieren, wodurch ein Bereich von 0 bis 100 entsteht und der Wert des Alpha-Index in Prozent ausgedrückt werden kann.

Der Beta-Index bildet das einfachste Verfahren zum Bestimmen des Grades der Konnektivität eines Verkehrsnetzes. Er verbindet die beiden Hauptelemente E und V miteinander:

$$\beta = \frac{E_n}{V_n} , \qquad (241\text{-}3)$$

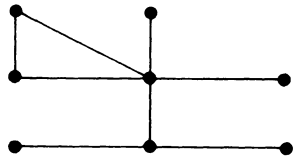
wobei E_n die Anzahl der Kanten und V_n die Anzahl der Knotenpunkte darstellt. In Fig. 16 bleibt die Anzahl der Knotenpunkte konstant; es bleiben immer 8 Verkehrspunkte. Die Anzahl der Kanten wird jedoch nacheinander von 7 auf 10 erhöht (16 a, b, c, d). Damit steigt die Konnektivität zwischen den bestehenden Knotenpunkten von 0,875 auf 1,25. Der Beta-Index gilt für Planargraphen in einem Bereich zwischen 0 und 3, wobei Werte unter 1 Wege und Bäume bezeichnen und Werte, die gleich 1 sind, zu einem Netz gehören, das nur einen Kreis aufweist (s. 16 b). Werte zwischen 1 und 3 sind ein Zeichen für komplexe Netze. Der Geltungsbereich des Beta-Index für nicht-planare Graphen geht von 0 bis ∞.



(a)

$E_n = 7$ $\beta = \frac{E_n}{V_n}$

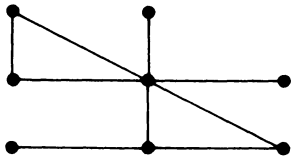
$V_n = 8$ $\beta = \frac{7}{8}$ 0,875



(b)

$E_n = 8$ $\beta = \frac{8}{8}$ 1

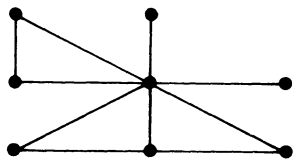
$V_n = 8$



(c)

E_n 9 $\beta = \frac{9}{8}$ = 1,125

$V_n = 8$



(d)

E_n = 10 $\beta = \frac{10}{8}$ = 1,25

V_n = 8

Figur 16: Anwendung von Beta

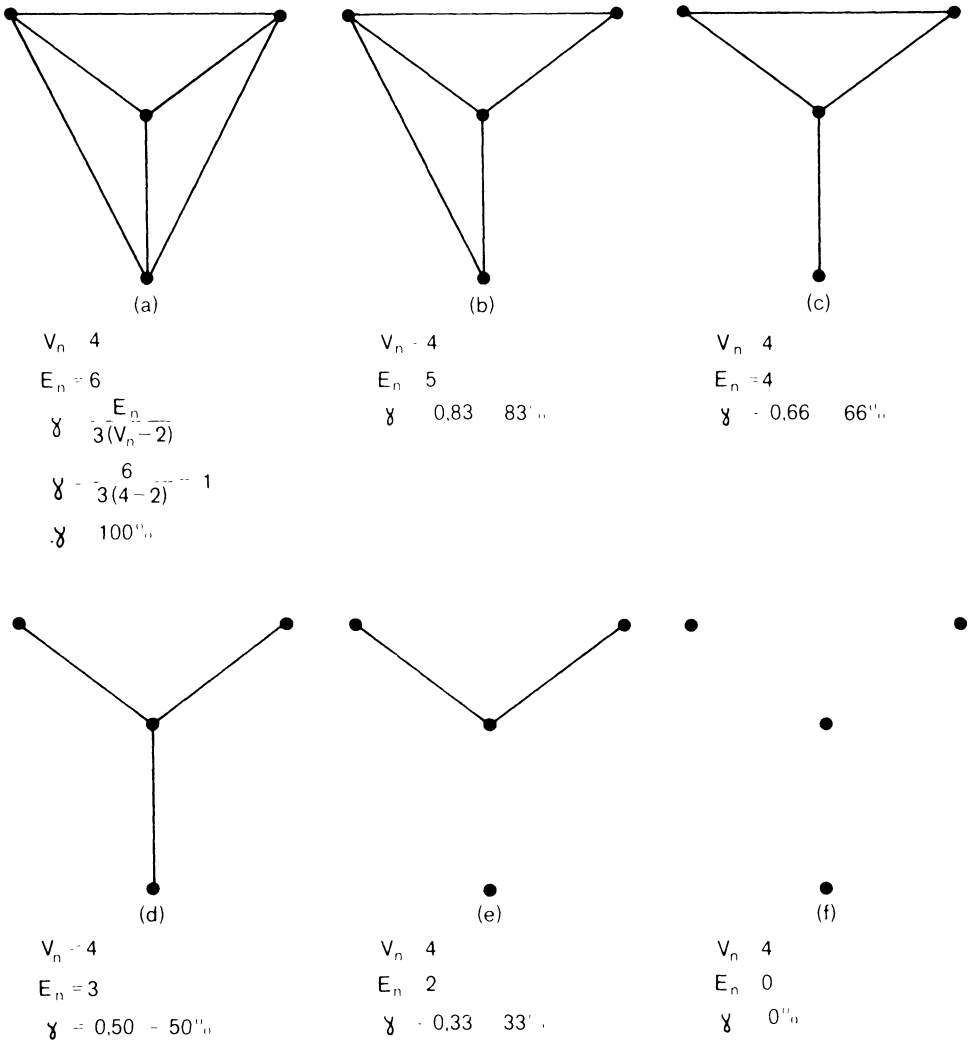
Der Gamma-Index ist für ein Verkehrsnetz in der Ebene mit E_n Kanten und V_n Knotenpunkten folgendermaßen definiert:

$$\gamma = \frac{E_n}{3(V_n - 2)} \cdot \qquad (241\text{-}4)$$

Er ergibt sich aus dem Verhältnis der bestehenden Anzahl von Kanten zu der maximal möglichen Anzahl in einem Graphen in der Ebene (s. Fig. 17).

Wenn in einem gegebenen Netz die Anzahl der Kanten abnimmt, nähert sich der Gamma-Index dem Wert 0 als unterem Extremwert. Er wird wie der Alpha-Index durch Multiplikation mit 100 in Prozent ausgedrückt.

Der Eta- und Theta-Index bilden eine weitere Gruppe von Indizes. Sie stellen Beziehungen zwischen dem Netz als Ganzem und einem seiner Elemente dar. Der Eta-Index besteht, gewichtet mit der Länge aller Kanten in km, aus dem Verhältnis zwischen der Gesamtstrecke des Netzes in km (K_n) und der beobachteten Anzahl von Kanten (E_n). Dabei wird die durchschnittliche Kantenlänge in km ermittelt:



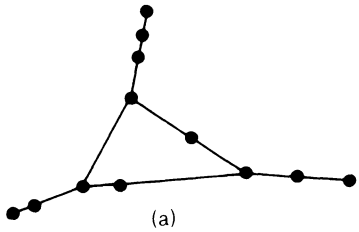
Figur 17: Anwendung von Gamma

$$\eta = \frac{K_n}{E_n} \cdot \qquad (241\text{-}5)$$

Fig. 18 zeigt, daß der Eta-Index je nach Auswahl der Knotenpunkte in (a) einen geringen Wert, bei gleicher Gesamtstrekkenlänge in (d) einen hohen Wert einnimmt.

Der Theta-Index kann bezüglich des Zählers ähnlich gewichtet werden wie der Eta-Index:

$$\Theta = \frac{K_n}{V_n} \cdot \qquad (241\text{-}6)$$



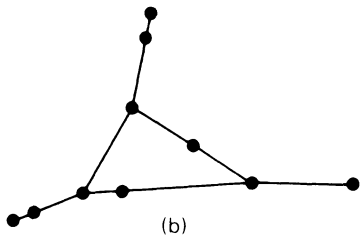
(a)

Als Knotenpunkte gelten Siedlungen über 10000 Einwohner, End- und Gabelpunkte

V_n 12. E_n 12. K_n 100 km

$\eta \quad \frac{K_n}{E_n}$

η = 8,33 km

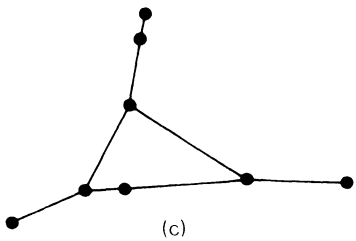


(b)

Als Knotenpunkte gelten Siedlungen über 50000 Einwohner, End- und Gabelpunkte

V_n 10. E_n 10. K_n 100 km

η 10 km

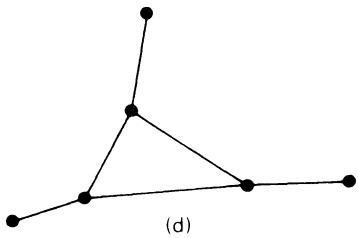


(c)

Als Knotenpunkte gelten Siedlungen über 100000 Einwohner, End und Gabelpunkte

V_n 8. E_n 8. K_n 100 km

η 12,5 km



(d)

Als Knotenpunkte gelten End und Gabelpunkte

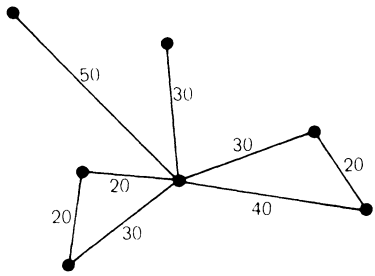
V_n 6. E_n 6. K_n 100 km

η 16,67 km

Figur 18 Veränderungen des Eta-Index durch unterschiedliche Auswahl der Knotenpunkte

Während der Eta-Index in der speziell konstruierten Fig. 19 sich nicht verändert und damit über unterschiedliche Struktur und Grad der Konnektivität (a) und (b) nichts Genaueres aussagt, ergeben sich bei Anwendung von Theta klare Unterschiede.

Eine dritte Gruppe von Indizes, die ein Verkehrsnetz als Ganzes in seiner Struktur erfassen und als "Gestaltindizes" bezeichnet werden, bilden der netztopologische Durchmesser (δ) und der Pi-Index.

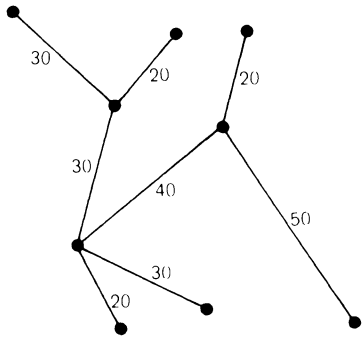


(a)

V_n 7 E_n 8 K_n 240 km

η $\frac{K_n}{E_n}$ $\frac{240}{8}$ 30 km

θ $\frac{K_n}{V_n}$ $\frac{240}{7}$ 34.29 km



(b)

V_n 9 E_n 8 K_n 240 km

η $\frac{K_n}{E_n}$ $\frac{240}{8}$ 30 km

θ $\frac{K_n}{V_n}$ $\frac{240}{9}$ 26.67 km

Figur 19 Gegenüberstellung von Eta und Theta

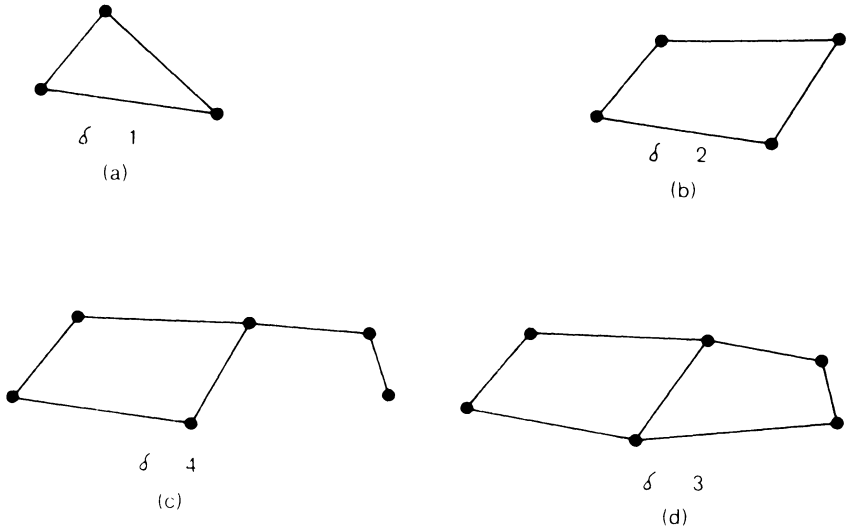
KANSKY (1963, S. 12) definiert: Der Durchmesser "is the maximum number of edges in the shortest path between each pair of vertices." Er ergibt sich aus der topologischen Entfernung oder Ausdehnung des betreffenden Graphen, wobei die Anzahl der Kanten auf der kürzesten Strecke zwischen den am entferntesten liegenden Knotenpunkten gezählt wird.

Fig. 20 zeigt, daß sich der Wert für den Durchmesser vergrössert, je größer der Graph ist (s. Fig. 20 b und c), aber verringert, je besser die Konnektivität zwischen den Knotenpunkten wird (d).

Verbunden mit dem Pi-Index ergibt der Durchmesser (d) eine erheblich aussagekräftigere Bedeutung:

$$\pi = \frac{C}{d} \quad , \qquad (241\text{-}7)$$

wobei C analog dem Eta- und dem Theta-Index mit vielen Größen über den Verkehrsfluß gewichtet werden kann, die das Netz als Ganzes umfassen. Der Pi-Index läßt sich mit der irrationalen Zahl $\pi = 3{,}14159$ vergleichen, die das Verhältnis von Kreisumfang zu Durchmesser eines Kreises angibt. Er beschreibt damit



Figur 20 Darstellung des Durchmessers (δ) eines Netzes

weniger die Konnektivität als vielmehr die Gestaltung, die Form eines Verkehrsnetzes.

242 Graphentheoretische Verfahren für einzelne Elemente von Verkehrsnetzen

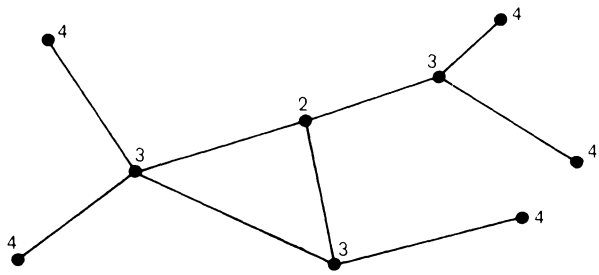
Um die relative Lage einzelner Elemente in einem gegebenen Verkehrsnetz genauer zu bestimmen, ist eine weitere Gruppe von Indizes entwickelt worden. Wenn man für diese Zentralitätsindizes alle Elemente eines Netzes berücksichtigt und den Mittelwert bildet, ergibt sich auch für das Gesamtnetz ein repräsentativer Wert.

Zwei der wichtigsten Zentralitätsindizes sind:

1) die Königzahl
2) der Grad der Konnektivität

Die Königzahl nach D. KÖNIG (1936), auch "assoziierte Zahl" genannt, gibt die maximal mögliche Anzahl von Kanten auf dem kürzesten Wege von einem gegebenen Knotenpunkt aus zu jedem der anderen Knotenpunkte an. Jeder Knotenpunkt in Fig. 21 ist mit seiner assoziierten Zahl bezeichnet.

Die Anzahl der Kanten von jedem beliebigen Knotenpunkt aus - auf der kürzesten Strecke zwischen einem solchen ausgewählten



Figur 21 Darstellung der Konigzahl

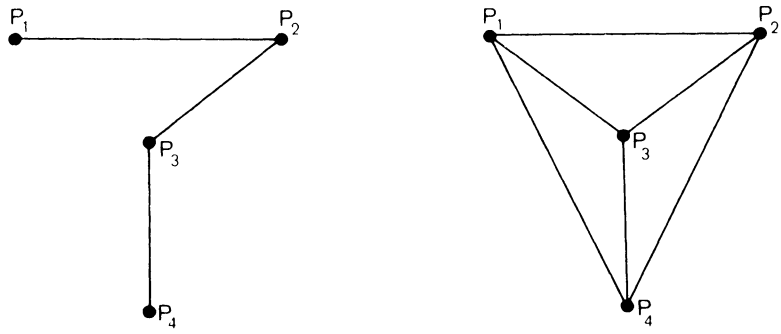
Knotenpunkt und dem im Netz entferntest liegenden - kann als Wert für die topologische Entfernung dieses Knotenpunktes im Netz (wie beim Durchmesser s. Abschnitt 241, Definition KANSKY) angesehen werden. Je geringer die Königzahl eines Knotenpunktes ausfällt, desto zentraler ist seine Lage im Netz. Das Minimum der Königzahl gibt den Knotenpunkt mit der größten Zentralität an, das Maximum den Durchmesser. Da die Berechnungen mit zunehmender Anzahl von Knotenpunkten sich erheblich schwieriger gestalten, werden sie in Matrizenform mit Hilfe von Computern durchgeführt.

Zur Veranschaulichung der Matrizendarstellung soll ein einfaches Beispiel dienen (Fig. 22).

Die Ziffer 1 in den beiden Matrizen X_a und X_b zeigt das Vorhandensein einer direkten Verbindung zwischen je zwei Knotenpunkten P_1, P_2, P_3, P_4 an. Z. B. ist die direkte Verbindung durch eine Kante zwischen P_1 und P_2 in der Matrix X_a in der ersten Zeile der zweiten Spalte durch eine 1 ausgedrückt. Das Nichtvorhandensein einer direkten Verbindung wird durch eine 0 dargestellt.

Eine genauere Untersuchung der beiden Matrizen ergibt beispielsweise, daß das unterentwickelte Netz in Fig. 22 a erheblich mehr Nullen als das entwickelte in Fig. 22 b aufweist. Jede Zeile oder Spalte obiger Matrizen gibt den Grad n der Verknüpfung eines bestimmten Knotenpunktes an.

Auch die Anzahl der nur durch Kantenfolgen von 2, 3 oder n Kanten verbundenen Knotenpunkte läßt sich durch Erhebung der Matrix in die zweite, dritte oder n-te Potenz ermitteln.



(a) Unterentwickeltes Netz

(b) Entwickeltes Netz

Die dazugehörigen Matrizen sind:

$$x_a = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \qquad x_b = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Figur 22. Matrizendarstellung zweier Graphen

X^n ergibt dann die Lösungsmatrix[42], die keinen Null-Wert mehr enthält. Der Exponent n ist die Lösungszeit des Graphen oder des Durchmessers, der bei großen und komplexen Netzen schnell nur auf diese Weise ermittelt werden kann. Die Lösung einer großen Anzahl weiterer netztheoretischer Probleme, die sowohl einzelne Elemente als auch ganze Einheiten von Verkehrsnetzen umfaßt, kann durch die Matrizendarstellung erleichtert werden.

Der zweite bedeutsame Zentralitätsindex, der Grad der Konnektivität, wurde von Z. PRIHAR[43] vorgeschlagen. Er ergibt sich bei gegebener Anzahl von Knotenpunkten für nicht-planare Gra-

42) s. GARRISON und MARBLE (1965, S. 47 ff.).

43) Z. PRIHAR (1956, S. 929 - 933), Topological properties of telecommunication networks, Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Bd 44. Dieses Meßverfahren wurde von GARRISON auf Verkehrsnetze übertragen; vgl. GARRISON (1960, S. 122-137).

phen aus dem Verhältnis von maximal möglicher zu beobachteter Anzahl von Kanten, wobei V_n die Anzahl der Knotenpunkte und E_n die Anzahl der Kanten ist:

$$\text{Grad der Konnektivität} = \frac{\frac{V_n\ (V_n - 1)}{2}}{E_n} \qquad (242\text{-}1)$$

Der Grad der Konnektivität kann sich, da er einen Verhältniswert darstellt, theoretisch dem maximalen Konnektivitätsverhältnis annähern (E_{max} vgl. 23-1), welches immer gleich 1 ist:

$$\frac{E_{max}}{E_{max}} = \frac{\frac{V_n\ (V_n - 1)}{2}}{\frac{V_n\ (V_n - 1)}{2}} = 1. \qquad (242\text{-}2)$$

Der Grad der Konnektivität kann sich auch dem minimalen Konnektivitätsverhältnis annähern:

$$\text{Minimale Konnektivität} = \frac{\frac{V_n\ (V_n - 1)}{2}}{V_n - 1} = \frac{V_n}{2}\ . \qquad (242\text{-}3)$$

Der Grad der Konnektivität ermöglicht eine Aussage über die Konnektivität eines gegebenen Netzes in einem Bereich von $\frac{V_n}{2}$ bis 1. Für Vergleiche verschiedener Graphen miteinander wird er in Prozent angegeben.

25 ZUR ANWENDBARKEIT DER UNTERSUCHUNGSVERFAHREN

Die in diesem Kapitel behandelten netztheoretischen Untersuchungsverfahren sollen nach Transformation realer Verkehrsnetze in topologische Modellnetze praktisch verwertbare quan-

titative Aussagen über die Struktur der Netze ermöglichen.

Die Verfahren sind in ihrer Mehrzahl gegenwärtig keineswegs erschöpfend. Sie können weiter erheblich modifiziert und verbessert werden. Z. B. dürfte die Rechnung mit Matrizen, die hier nur angedeutet wurde, erheblich weiterführen.

Wegen der häufig prinzipiell zwar einfachen, aber bei den erheblichen Mengen von Daten vor allem zeitraubenden Berechnungen, die auch ein "high-speed-computer" nach Geschwindigkeit und Kapazität noch nicht bewältigen kann, sind linear programmierten Untersuchungen im großen Rahmen enge Grenzen gesetzt. So berichten z. B. J. D. C. LITTLE, K. G. MURTY u. a. (1963), daß die Lösung einfacher "Travelling-Salesman - Probleme" mit zunehmender Anzahl von Städten auf unüberwindliche Hindernisse stößt, da Kosten und Computerzeit sich unangemessen vermehren[44].

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt dürften daher die in dieser Studie herangezogenen Untersuchungsverfahren mit einfachen algebraischen Zähl- und Rechenvorgängen ohne kompliziertes Programmieren auskommen und auf diese Weise zu maximalen Erkenntnissen bei der Analyse von Netzstrukturen führen.

3 ZEITLICHE VARIATIONEN DES NIEDERSÄCHSISCHEN EISENBAHNNETZES

31 VORBEMERKUNGEN ZUR ENTWICKLUNG DES NETZES

Bei der Analyse des Eisenbahnnetzes von Niedersachsen kommt man ohne eine eingehende Betrachtung der zeitlichen Variationen, also des Wachstumsprozesses dieses Netzes nicht aus, zumal das heutige Netz bei weitem nicht in allen seinen Teilen den tatsächlichen Verkehrsbedürfnissen entspricht.

Es war vielmehr bei seiner Entwicklung und Ausgestaltung in der Vergangenheit mannigfaltigen Kräften ausgesetzt, die heute unter Umständen überhaupt nicht mehr wirken, bzw. sich abgeschwächt oder verstärkt haben.

---

44) Bei der Untersuchung von 10 Städten brauchten LITTLE und MURTY mit einem IBM-Computer 7 090 lediglich 1-3 Sek. Zeit, bei 25 Städten bereits über eine Stunde.

Es wird nun angenommen, wie schon in den Arbeitshypothesen in Abschnitt 111 erwähnt, daß es sich bei diesen Kräften vor allem um politische und wirtschaftliche Faktoren handelt, die in der Vergangenheit mit unterschiedlicher Intensität wirkten, und daß sich daher mehrere Phasen ihrer an der Netzgestalt erkennbaren Wirksamkeit herauskristallisiert haben.

Daß noch andere wesentliche Kräfte wirksam sind, soll nicht bestritten werden. Die in diesem Kap. angewandte vergleichende Untersuchungsmethode beschränkt sich jedoch auf den exemplarischen Versuch eines Nachweises obiger Annahmen, zumal Annahmen über weitere Kräfte isoliert in Kap. 4, 5 und 6 getroffen werden. Dabei werden jeweils besondere Blickwinkel und methodische Ansätze nötig.

Mit Hilfe der Graphentheorie sollen die Phasen des Entwicklungsprozesses, es werden vier davon als Graphen isoliert (1862, 1892, 1918 und 1968)[45], im Sinne der Netztheorie näher beschrieben und an Hand von Einzelbeispielen veranschaulicht werden.

Zunächst werden die vier Phasen in den Figuren 23, 24, 26 und 28 als Graphen unter Beachtung der sechs in Abschnitt 23 aufgestellten Einschränkungen abgebildet und dann in den Tabellen 2 und 3 quantitativ bestimmt. Jeder Indexwert ist bis auf die zweite Stelle nach dem Komma angegeben.

Nicht auf jeden einzelnen Tabellenwert soll hier eingegangen werden. Es genügt, wenn die zeitlichen Variationen des niedersächsischen Eisenbahnnetzes an einigen besonders aussagekräftigen Indizes exemplarisch demonstriert werden.

Als Knotenpunkte zugrunde gelegt werden die 120 übergeordneten zentralen Orte, wie sie im Raumordnungsbericht 1967 für Niedersachsen auf Karte 16 [46] gemäß dem Runderlaß des Nie-

45) Vier Phasen beschreibt J. MASUHR (1957/58). Sie sind auch im Deutschen Planungsatlas, Niedersachsen (1961) abgebildet. Auch ich habe mich entschlossen, diese von den meisten Autoren herausgestellten vier Phasen zu sehen. Die speziellen Jahre wähle ich, weil sie jeweils am Schluß einer Phase liegen. In der letzten Phase zeigt das Jahr 1968 (s. Fig. 28) die neuesten erhältlichen Daten an.

46) s. Raumordnungsbericht 1967 für Niedersachsen. Vgl. hierzu auch den Raumordnungsbericht 1966 der Bundesregierung, S. 62 und 63, insbesondere S. 66 und 67.

dersächsischen Ministers des Innern vom 11. August 1966 festgelegt sind.

Ein übergeordneter zentraler Ort umfaßt in dem von R. HOFFMANN (1969, S. 32) äußerst positiv bewerteten Bericht mit dem auf ihn ausgerichteten Raum mindestens 15 000 Einwohner und verfügt über eine starke Arbeitsplatzzentralität, wobei 1 000 nichtlandwirtschaftliche Arbeitsplätze die unterste Grenze darstellen[47].

Der Begriff "zentrale Orte" wird hier für die 120 ausgewählten Orte übernommen, obwohl obige Zentralitätskriterien relativ allgemein gehalten sind und sich bei genauer Betrachtung im Einzelfall geringe Verschiebungen ergeben könnten. Für die Analyse der Gestalt des niedersächsischen Eisenbahnnetzes reichen diese Kriterien aus. Sie ergeben sich aus noch zu erläuternden raumordnerischen Gesichtspunkten (in Kap. 44).

Auch auf die allgemeine Bedeutung der ausgewählten zentralen Orte für eine optimale Raumordnung wird in Kap. 4 noch genauer eingegangen.

Bei der auf den Raum angewandten Definition der Knotenpunkte und Kanten ist von mehreren Bedingungen auszugehen:

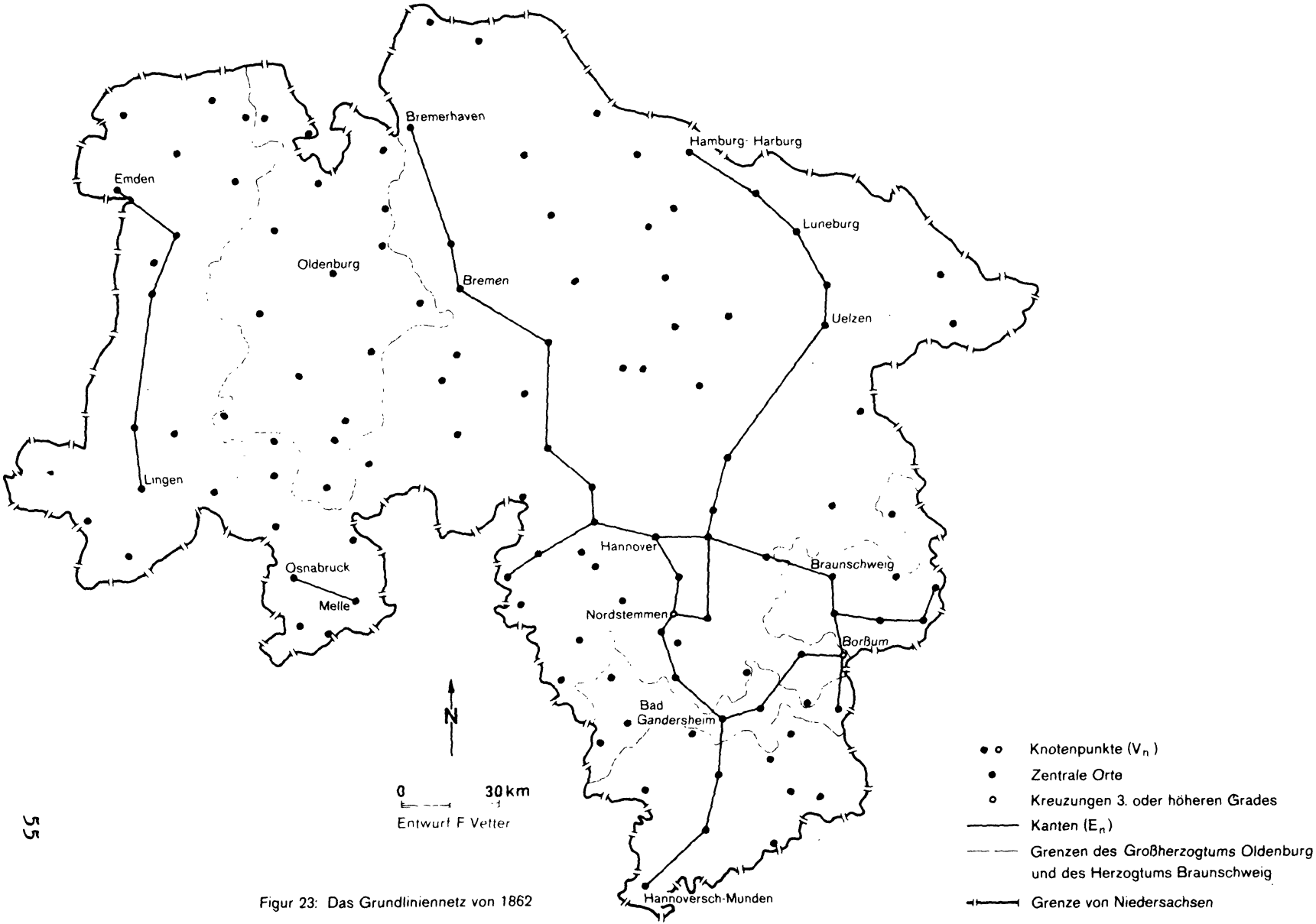
1) Alle im Raumordnungsbericht ausgewählten und übernommenen 120 zentralen Orte in Niedersachsen (einschließlich Hamburg-Harburg, Bremen und Bremerhaven) gelten als Knotenpunkte, sofern sie vom Eisenbahnnetz berührt sind (s. Fig. 23 und Tab. 1). Als Ausnahme gilt dabei der zentrale Ort Wiesmoor, der zu keiner Zeit an das Netz angeschlossen ist und daher für die Berechnungen nicht herangezogen wird.

2) Alle anderen Orte bleiben unberücksichtigt, sofern sie nicht als Knotenpunkte dritten oder höheren Grades innerhalb von Niedersachsen gelten.

3) Ein Gabelpunkt, dem kein ausgewählter zentraler Ort zugeordnet ist, und der vom nächsten zentralen Ort weniger als 10 km entfernt liegt, überträgt seine Funktion als Knotenpunkt auf diesen. Damit wird verhindert, daß in einem Ver-

---

47) Raumordnungsbericht 1967 für Niedersachsen, S. 67



Figur 23: Das Grundliniennetz von 1862

Tabelle 1: Zentrale Orte in den 15 Teilräumen Niedersachsens (Stand 1967, s. Raumordnungsbericht 1967 für Niedersachsen, Karte 16)

I.	II.	III.
1. Aurich	9. Jever	16. Oldenburg
2. Emden	10. Wilhelmshaven	17. Delmenhorst
3. Esens	11. Nordenham	18. Friesoythe
4. Leer	12. Varel	19. Cloppenburg
5. Norden	13. Brake	20. Wildeshausen
6. Weener	14. Elsfleth	21. Löhningen
7. Wiesmoor	15. Westerstede	22. Vechta
8. Wittmund		23. Lohne
		24. Damme

IV.[48]	V.	VI.
25. Papenburg	31. Quakenbrück	40. Bremerhaven
26. Meppen	32. Bersenbrück	41. Osterholz-Sch.
27. Haselünne	33. Fürstenau	42. Bremen
28. Lingen	34. Bramsche	
29. Nordhorn	35. Bohmte	
30. Schüttorf	36. Osnabrück	
	37. Melle	
	38. Iburg	
	39. Dissen	

VII.	VIII.	IX.
43. Cuxhaven	49. Rotenbg.(Hann.)	51. Hbg.-Harbg.
44. Otterndorf	50. Verden	52. Winsen
45. Stade		53. Buchholz
46. Bremervörde		54. Tostedt
47. Buxtehude		55. Lüneburg
48. Zeven		56. Schneverdingen
		57. Bevensen
		58. Dannenberg
		59. Soltau
		60. Munster
		61. Uelzen
		62. Lüchow

X.	XI.	XII.
63. Fallingbostel	72. Syke	79. Bad Nenndorf
64. Walsrode	73. Bassum	80. Bad Pyrmont
65. Bergen	74. Hoya	81. Barsinghausen
66. Wittingen	75. Sulingen	82. Bückeburg
67. Celle	76. Nienburg	83. Hameln
68. Burgdorf	77. Diepholz	84. Hannover
69. Lehrte	78. Stolzenau	85. Neustadt
70. Gifhorn		86. Rinteln
71. Wolfsburg		87. Springe
		88. Stadthagen
		89. Wunstorf

48) In Teilraum IV wird die Siedlung Haren nicht als zentraler Ort berücksichtigt, da der eigentliche Bahnhof Haren völlig selbständig mehrere Kilometer von dem Ort entfernt liegt.

XIII.	XIV.	XV.
90. Peine	97. Bodenwerder	110. Braunschweig
91. Sarstedt	98. Stadtoldendorf	111. Königslutter
92. Hildesheim	99. Holzminden	112. Helmstedt
93. Elze	100. Einbeck	113. Schöningen
94. Gronau	101. Nordheim	114. Schöppenstedt
95. Alfeld	102. Clausthal-Z.	115. Wolfenbüttel
96. Bockenem	103. Osterode	116. Salzgitter
	104. Herzberg	117. Seesen
	105. Bad Lauterberg	118. Bad Gandersheim
	106. Uslar	119. Goslar
	107. Göttingen	120.[49] Bad Harzburg
	108. Duderstadt	
	109. Münden	

dichtungsraum[50], z. B. innerhalb der Stadtgrenzen von Hannover oder direkt am Stadtrand, durch mehrfache Kreuzung von Gleisanlagen Knotenpunkte ohne jegliche Bedeutung entstehen. Als Ausnahme gilt, wenn mehrere zentrale Orte etwa gleich weit entfernt von einem solchen Gabelpunkt liegen. Dann gilt auch ein solcher Gabelpunkt als Knotenpunkt (z.B. Nordstemmen, s. Fig. 23).

4) Alle Kanten, die keinen zentralen Ort innerhalb von Niedersachsen mit dem Netz verbinden, bleiben unberücksichtigt. Das gilt z. B. für Stichbahnen[51], die keinen zentralen Ort an das Netz anschließen, und für alle grenzüberschreitenden Kanten.

---

49) Insgesamt hat Niedersachsen 1968 4233 Gemeinden. Gemäß dem kürzlich vorgelegten Gutachten zur Verwaltungs- und Gebietsreform von Prof. W. WEBER (WEBER-Kommission) entsprechen davon nur 188 Gemeinden, darunter die 120 zentralen Orte, mit mehr als 5000 Ew. den Anforderungen für ein Verwaltungszentrum. (Das Gutachten wurde laut "Die Welt" vom 20. 3. 69, S. 3, am 19. 3. 1969 an Ministerpräsident Diederichs übergeben).

50) Gemäß Raumordnungsbericht 1967 für Niedersachsen, S. 66, leben in einem Verdichtungsraum mindestens 200 000 Menschen in einer durchschnittlichen Bevölkerungsdichte von mehr als 700 Ew./km^2. Ein Verdichtungsraum besteht aus einer Großstadt als Kern und einer sie umgebenden Verdichtungszone.

51) s.Ingeb.ESENWEIN-ROTHE (1956), die sich speziell mit den niedersächsischen Stichbahnen beschäftigt.

5) Alle Kanten, die in den Tab. 2 und 3 angegeben sind, entsprechen:

a) in ihrer Anzahl den in Fig. 23, 24, 26, 28 und 29 abgebildeten Kanten gemäß obigen Bedingungen 1 bis 4.
Fig. 23, 24 und 26 gehen auf Karte Nr. 87 des Deutschen Planungsatlas, Niedersachsen (1961), Fig. 28 und 29 auf die Übersichtskarte zum Amtlichen Taschenfahrplan für Niedersachsen (Winter 1968/69) zurück;

b) in ihren Entfernungen in Eisenbahnkilometern in den Tabellen 2 und 3 genau den Entfernungsangaben in den Amtlichen Karten der Bundesbahndirektionen Hannover (1962), Hamburg (1964) und Münster (1965).

32 DIE AUSBILDUNG DES GRUNDLINIENNETZES

Die Entwicklung des niedersächsischen Eisenbahnnetzes bis 1862 soll als erste Phase der zeitlichen Variationen bezeichnet werden (s. Fig. 23 und Tab. 2). Es besteht zu diesem Zeitpunkt aus Verkehrslinien, die man im Hinblick auf spätere Phasen als Grundlinien oder Leitlinien bezeichnen kann. Daher wird von einem G r u n d l i n i e n n e t z [52] ausgegangen.

Tabelle 2: Zeitliche Variationen der Netzelemente

Netzelemente	1862	1892	1918	1968	Elektr. Netz 1968
Angeschlossene zentrale Orte	42	100	119	113	34
Kreuzungen 3. oder höh. Grades	2	10	14	11	1
Knotenpunkte (V_n)	44	110	133	124	35
Kanten (E_n)	43	130	202	172	38
Streckennetz zwischen den zentr. Orten (km)	909	2745	4744	4046	883

52) J. H. FRICKE (1953, S. 199) spricht von einem "Grundnetz", J. MASUHR (1957/58, S. 345) von einem "Eisenbahngrundnetz".

Von den 120 ausgewählten zentralen Orten sind bis 1862 42 an das Netz bzw. seine Teile angeschlossen (s. Tab. 2 und Fig. 23). Zwei Schnittpunkte dritten Grades werden als topologische Knotenpunkte gezählt, obwohl sie keine zentralen Orte sind (vgl. Bedingung 2 u. 3 in Abschnitt 31).

Es handelt sich um die Orte Börßum und Nordstemmen. Das Strekkennetz zwischen den Verkehrspunkten beträgt 909 km. Noch ist die Anzahl der zum Netz gehörigen Kanten um eine Kante geringer als die Anzahl der Knotenpunkte.

Tabelle 3: Zeitliche Variationen der Netzindizes

Netzindizes	1862	1892	1918	1968	Elektr. Netz 1968
$\mu = E_n - V_n + G_n$	2	21	70	49	4
$\alpha = \frac{E_n - V_n + G_n}{2 V_n - 5}$	2,41%	9,77%	26,82%	20,16%	6,15%
$\beta = \frac{E_n}{V_n}$	0,98	1,18	1,52	1,39	1,09
$\gamma = \frac{E_n}{3(V_n - 2)}$	34,13%	40,12%	51,40%	46,99%	38,38%
$\eta = \frac{K_n}{E_n}$	21,14	21,12	23,45	23,52	23,24
$\Theta = \frac{K_n}{V_n}$	20,66	24,95	35,67	32,63	25,23
$\delta =$ topol. Entf.	(15)*53)	23	20	24	17
$\pi = \frac{K_n}{d}$	(2,78)*	5,33	10,03	7,68	2,28
Grad der Kon- nekt. $= \frac{\frac{V_n (V_n - 1)}{2}}{E_n}$	(5,27%)*	16,15%	34,65%	28,49%	10,53%

53) Die Werte mit Stern (*) gelten nur für den größten Subgraphen im Raum Hannover (Netz von 1862).

Auch die in Tab. 3 aufgeführten Indizes, die das Netz in seiner Gestalt erfassen sollen, weisen für das Jahr 1862 relativ geringe Werte auf, die erst im Vergleich mit den späteren Phasen zu klarerer Bedeutung kommen. Der noch unter dem Wert 1 liegende Beta-Index (vgl. Fig. 16) gibt den noch sehr geringen Entwicklungsstand des Netzes an.

Ein Blick auf Fig. 23 zeigt, daß es sich hier eigentlich in seiner Struktur um einen nicht zusammenhängenden Graphen handelt. Dieser besteht aus drei unabhängigen Subgraphen[54], die sich netztopologisch aus einem einfachen Pfad oder Kantenzug (Lingen - Emden), aus einer nicht mit dem Netz zusammenhängenden Kante (Osnabrück - Melle) und einem komplexeren Subgraphen zusammensetzen. Letzterer weist im Raume Hannover und südöstlich davon bereits zwei fundamentale Kreise auf, wie der My-Index in Tab. 3 angibt.

Zur Erläuterung der Netzstruktur kann gesagt werden, daß zwei Richtungen der Linienführung, die Ost-West- und die Nord-Süd-Richtung vorherrschend sind.
Dabei wird die Bedeutung der Residenz- und der Hafenstädte als zentrale Orte, die den Verkehr an sich ziehen, gut ersichtlich.

Das Herzogtum Braunschweig baut nach Plänen von AMSBERGs[55] die erste Staatsbahn Deutschlands von Braunschweig nach Wolfenbüttel, die am 1. Dezember 1838 dem Verkehr übergeben werden kann.. Die territoriale Zersplitterung Niedersachsens verhindert zunächst eine planvolle Zusammenarbeit für ein ökonomisch optimales Netz. Zwischen Braunschweig und Hannover finden zwar Verhandlungen über den Bau einer Eisenbahnlinie zwischen beiden Städten statt. Sie führen jedoch zu keinem Ergebnis[56].

---

54) s. Definitionen in Kap. 22.

55) A. P. v. AMSBERG (1788 - 1871), Generaldirektor der Braunschweigischen Eisenbahn und Post. Genaueres über seine Pläne s. in der Festschrift zur Eröffnung des neuen Braunschweiger Hauptbahnhofes: Hauptbahnhof Braunschweig (1960, S. 15 ff).

56) Man fürchtete am Hofe von Hannover, daß die Rauchentwicklung der Eisenbahn die Residenzstadt verschmutzen könnte.

Aus der Linienführung mehrerer Strecken ist zu entnehmen, daß jeder Einzelstaat bestrebt ist, die Trasse möglichst auf seinem Territorium entlangzuführen und, wenn das unmöglich ist, das fremde Territorium - ähnlich wie bei der Überquerung eines Flusses - an der schmalsten Stelle zu durchqueren. Ein Beispiel hierfür ist der braunschweigische Korridor bei Bad Gandersheim, der von der hannoverschen Linie Hannover - Hannoversch-Münden auf der kürzesten Strecke durchquert wird (s. Fig. 23).

Der gleiche Korridor wird aber von einer braunschweigischen Linie (Börßum - Bad Gandersheim) fast in seiner ganzen Länge benutzt, obwohl es sich um außerordentlich schlecht zugängliches Gelände mit vielen verlorenen Steigungen handelt. Es werden Damm- und Tunnelbauten erforderlich, die zu hohen Kosten und einer außerordentlich unwirtschaftlichen Trassierung der Bahn führen[57].

Auffallend ist, daß das Gebiet des Großherzogtums Oldenburg, welches sich fast völlig mit den heutigen Teilräumen II und III deckt (vgl. Fig. 3), noch keinerlei Eisenbahnanschluß aufweist, wodurch auch Ostfriesland (Teilraum I) und das Emsland (Teilraum IV) in eine ungünstige Randlage zum Mutterland Hannover geraten.

In der Nord-Süd-Richtung streben drei Wege oder offene Kantenzüge, die sich nicht verästeln, parallel zum Unterlauf von Ems, Weser und Elbe den Hafenstädten an der Nordsee als Endpunkten zu. Dabei wird in Anbetracht der zunächst hohen Streckenbaukosten und bescheidenen Verkehrsmengen das Bemühen um ökonomisch wegesparsamste Netzgestaltung deutlich.

Lediglich bei der Strecke nach Hamburg wird der Umweg über Uelzen und Lüneburg in Kauf genommen, da diese beiden zentralen Orte ökonomisch erheblich bedeutsamer sind als die karge und dünn besiedelte Lüneburger Heide.

Schwierige Geländeverhältnisse spielen aus rein technischen Gründen beim Aufbau des Netzes von 1862 bereits kaum eine Rolle.

---

57) Weitere Beispiele politisch motivierter Trassierung s. bei K. BRÜNING (1931) und J. MASUHR (1957/58).

Das Netz läßt selbstverständlich die bis 1862 angeschlossenen zentralen Orte wirtschaftlich erheblich mehr profitieren als die später hinzukommenden. Bis heute ist dieses Grundliniennetz in keinem Netzglied von Stillegungsmaßnahmen bedroht. Es macht vielmehr den größten Teil des 1968 forciert elektrifizierten Netzes (s. Fig. 29) aus und ist damit für die Deutsche Bundesbahn ökonomisch von allen Strecken am rentabelsten.

33 DIE VERVOLLKOMMNUNG DES HAUPTLINIENNETZES

In der zweiten Phase der Entwicklung des Netzes bis 1892, im eigentlichen Eisenbahnzeitalter, tritt eine stürmische Aufwärtsentwicklung ein (s. Tab. 2 und 3). Bis 1892 wird auf diese Weise das Hauptliniennetz vervollkommnet.

Die Anzahl der an das jetzt fast 3 000 km umfassende Netz angeschlossenen zentralen Orte hat sich seit 1862 mehr als verdoppelt. Die Anzahl der Kanten hat sich verdreifacht, wie auch der erheblich angewachsene Beta-Index, der das Verhältnis von Kanten zu Knotenpunkten angibt, beweist. Die Konnektivität des Netzes hat erheblich zugenommen. Dieses kann am Beispiel einiger Indizes aus Tab. 3 demonstriert werden.

Der My-Index allein weist 21 fundamentale Kreise oder geschlossene Kantenzüge auf. Der Alpha-Index, der das Verhältnis der beobachteten zur maximal möglichen Anzahl von fundamentalen Kreisen bei gegebener Anzahl von Knotenpunkten angibt, hat sich vervierfacht. Lediglich der Eta-Index (η) ist nicht wesentlich angewachsen.

Erheblich sensibler als der Eta - Index reagiert der in Prozent ausgedrückte Grad der Konnektivität (16,15 %), der als Maß für die Konnektivität diesem vergleichbar ist. Er spiegelt als nur für nicht-planare Graphen geltender Index die erheblich gestiegene Anzahl der an das Netz angeschlossenen Knotenpunkte wider.

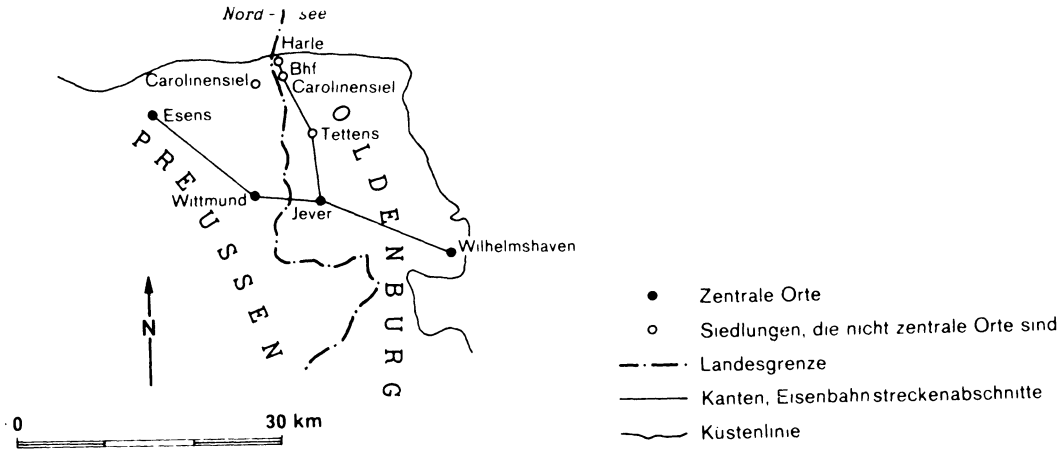
Die durchschnittliche Kantenlänge (η) hat sich bei etwa 21,1 km eingependelt. Der zum Eta-Index komplementäre Theta-Index weist einen höheren Wert und damit eine größere Länge in km pro Knotenpunkt, damit eine höhere Konnektivität auf. Erheblich gestiegen ist der Gamma-Index.

Diese Seite fehlt in der Vorlage

This page is missing in the book

Diese Seite fehlt in der Vorlage

This page is missing in the book



Figur 25: Der Einfluß der preußisch-oldenburgischen Landesgrenze

bauen. Die meisten dieser Linien gehen aber bis 1892 in Staatsbesitz über, um einen sich anbahnenden ruinösen Wettbewerb zwischen den einzelnen Privatgesellschaften auszuschließen[60].

Immer noch sind einige größere Räume ohne Netzanschluß, z. B. Moorgebiete wie das Teufelsmoor östlich von Bremen und die Moore östlich von Diepholz, deren Durchquerung sehr teuer ist. Auch die menschenarmen Geestgebiete und weite Teile der Lüneburger Heide gehören dazu.

Hingegen ist im südlichen Teil von Niedersachsen die Verknüpfung des Netzes durch relativ feine Maschen bereits ziemlich groß.

Das in den 30 Jahren bis 1892 errichtete Streckennetz kann zusammen mit dem Grundliniennetz als Hauptliniennetz bezeichnet werden. Kennzeichnend für dieses ist, daß nur sehr wenige Streckenabschnitte (Kanten) bis heute davon stillgelegt worden sind. Es macht im großen und ganzen auch heute noch, gemessen am Verkehrsaufkommen, das Hauptliniennetz der Deutschen Bundesbahn innerhalb von Niedersachsen aus.

Das soll nicht bedeuten, daß am Ende der zweiten Entwicklungsphase ein in allen Teilen wohlgestaltetes Netz entstanden war, mochte auch die spätere Entwicklung der Wirtschaft und der Siedlungen, insbesondere der übernommenen zentralen Orte, als eine Bestätigung für die Zweckmäßigkeit des bereits vorgegebenen Hauptliniennetzes angesehen werden. Die Entwicklung eines

60) In den USA, wo der Staat nicht eingriff, hatte der freie Wettbewerb verheerende Auswirkungen.

durch politische Gegensätze und wirtschaftliche Partikularinteressen bestimmten Schienennetzes mußte anders verlaufen, als wenn sie von vornherein im ganzen heutigen Niedersachsen nach volkswirtschaftlich und raumordnerisch einheitlichen Gesichtspunkten vor sich gegangen wäre.

Die dritte Entwicklungsphase wird diese Tatsache weiter erhärten.

34 DER "VORSTOSS IN DIE FLÄCHE" DURCH NEBENLINIEN[61)]

Die Zeit vom Jahre 1892 bis zum Ende des Ersten Weltkrieges 1918 soll als dritte Phase in der Entwicklung des niedersächsischen Eisenbahnnetzes gelten, wobei bisher nicht berücksichtigte, vor allem rückständige Gebiete meist durch Nebenlinien und Stichbahnen angeschlossen werden.

Wie Tab. 2 zeigt, werden jetzt auch die letzten ausgewählten zentralen Orte, es waren außer Wiesmoor nur noch 19 übriggeblieben, an das Netz angeschlossen. Die Anzahl der Kanten hin-

61) Der Ausdruck "Vorstoß in die Fläche" durch Nebenlinien ist von R. HOFFMANN übernommen, der ihn in mehreren seiner Werke, u. a. in "Rückzug der Eisenbahnen aus der Fläche?" (1965) in Fachkreisen eingeführt hat.
Selbst der Bericht des Vorstandes der Deutschen Bundesbahn (DB) an den Bundesminister für Verkehr vom 1. 9. 1964 über: "Vorstellungen des Vorstandes zur Verbesserung der wirtschaftlichen Lage der DB" enthält einen besonderen Abschnitt "Rückzug aus der Fläche".
Auch die Referate und Diskussionsbeiträge zum 3. Seminar für Raumordnung vom 13. - 15. Oktober 1968 in Bad Godesberg unter dem Motto "Raumordnung und Verkehr" (s. Mitteilungen aus dem Institut für Raumordnung, Heft 65) beweisen, daß die Begriffe "Vorstoß in die Fläche" und "Rückzug aus der Fläche" inzwischen allgemein gebräuchlich sind.
Diese Begriffe besagen, daß vom Haupteisenbahnnetz abseits gelegene und dadurch in ihrer wirtschaftlichen Entwicklung gehemmte Gebiete oder Flächen Gegenstand spezieller Betrachtung sind. Sie sollen entweder durch noch zu bauende Nebenlinien erschlossen werden - dann handelt es sich um einen "Vorstoß in die Fläche" - oder bereits vorhandene Nebenlinien sollen aus Rentabilitätsgründen wieder stillgelegt werden - dann handelt es sich um einen "Rückzug aus der Fläche".
Daß der heutige Kraftwagenverkehr, der auch die abgelegensten Gebiete erreicht, erheblich "flächenwirksamer" ist als der Eisenbahnverkehr, trägt mit zur schlechten Wettbewerbsposition der Schiene bei.

gegen hat sich erheblich vergrößert. Damit kommt bereits in Tab. 2 grob zum Ausdruck, daß in dieser dritten Phase die Netzgestalt erheblich mehr Verzweigungen und Verästelungen aufweisen muß.

Die netztheoretischen Indizes in Tab. 3, von denen in dieser Phase nur einige beispielhaft genauer betrachtet werden sollen, bestätigen diese Vermutung eines "Vorstoßes in die Fläche", besonders dort, wo bisher noch keine Eisenbahnverbindungen bestanden.

Der My-Index weist 70 fundamentale Kreise auf. Gegenüber 1892 hat er sich damit mehr als verdreifacht. Auch die meisten anderen Konnektivitätsindizes haben sich erheblich vergrößert. Sie stellen damit jetzt das Maximum dar, welches in der vierten Phase nicht mehr erreicht wird. Lediglich der Eta - Index hat sich kaum vergrößert.

Die beiden Netzindizes Delta und Pi, welche die Netzgestalt in ihrer topologischen Entfernung und damit die Ausdehnung des Netzes beschreiben, weisen ebenfalls darauf hin, daß 1918 die zentralen Orte ein Maximum an Konnektivität durch das Eisenbahnnetz erreicht haben[62].

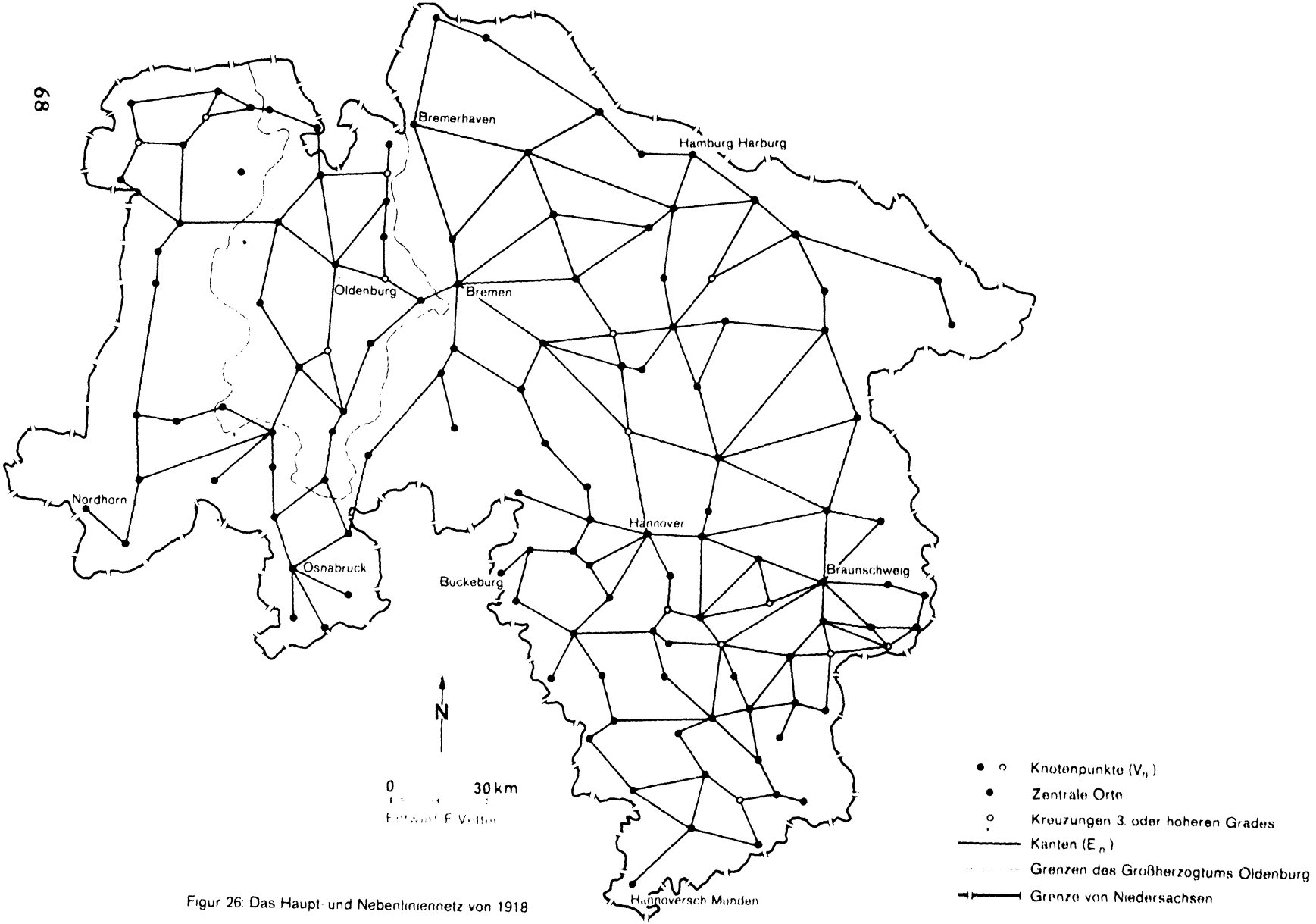
Die topologische Länge oder Entfernung des Gesamtnetzes ist 1918 mit 20 Kanten am geringsten. Sie ergibt sich aus der Anzahl der Kanten auf dem kürzesten Wege zwischen den am entferntesten liegenden Knotenpunkten. Diese sind hier Nordhorn und Hannoversch-Münden.

Der Pi-Wert wird 1918 ebenfalls am größten und gibt an, daß das Netz jetzt netztopologisch seinen höchsten Entwicklungsstand erreicht hat.

Bei der Betrachtung von Fig. 26 fällt zunächst auf, daß keine neuen durchgehenden Linien, dafür aber erheblich mehr kurze Streckenabschnitte hinzugekommen sind, die bereits bestehende Linien miteinander verknüpfen. Zwischen dem westlichen und dem größeren östlichen Netz ist nur eine zweite Verbindung bei

---

62) Delta und Pi sind für 1862 in Klammern angegeben, da die topologische Entfernung von 15 Kanten nur für das größte Teilnetz im Raum Hannover gilt.



Figur 26: Das Haupt- und Nebenliniennetz von 1918

Bremen hinzugekommen[63]. Der Weserstrom übt also besonders in seinem Unterlauf eine stark verkehrshemmende Wirkung aus. Auch werden z. B. die politischen Grenzen des ehemaligen Großherzogtums Oldenburg nur noch dreimal in seinen südlichen und südwestlichen Teilen zusätzlich überschritten.

Ein sehr markantes Beispiel, wie noch bis zur Gründung der Deutschen Reichsbahn (1920) Oldenburg und Preußen eine eigenständige Eisenbahnpolitik verfolgten, zeigt Fig. 27.

Die fast gleichzeitig 1898 und 1900 gebauten Streckenabschnitte von Cloppenburg nach der Station "Landesgrenze" - sie wurde so genannt in Ermangelung einer nahe gelegenen Ortschaft - und von Lathen nach Werlte auf preußischem Gebiet endeten abrupt vor der Landesgrenze.

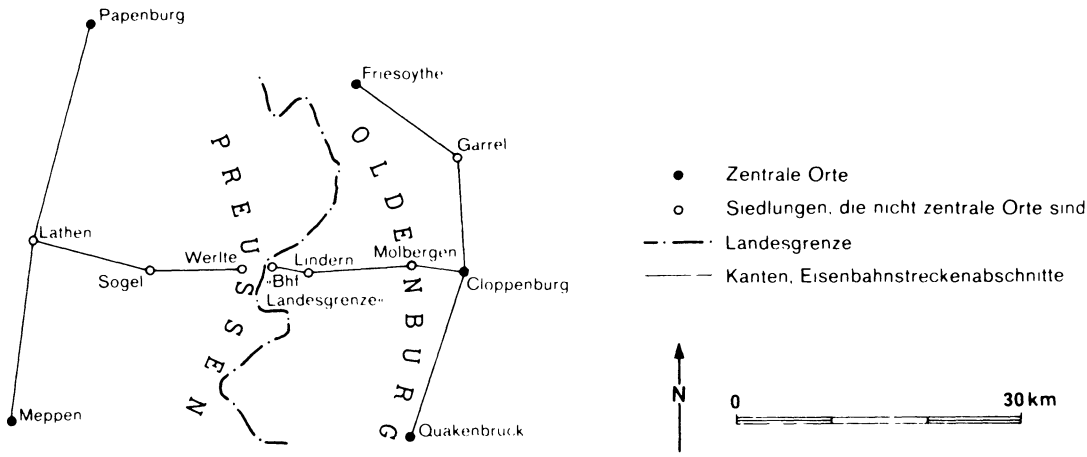
Durchfahrende Reisende mußten zu Fuß oder mit dem Pferdefuhrwerk von einem zum anderen Bahnhof gelangen. Dieser krasse Fall zeigt erneut (vgl. das Beispiel Fig. 25), daß häufig aus kleinstaatlichem Denken heraus die Möglichkeiten, zu einer volkswirtschaftlich optimalen Netzgestalt zu kommen, vertan wurden.

Bitter bemerkt BLUM (1933, S. 38) zu den Verhandlungen zwischen Oldenburg und Preußen über die Linienführung der Eisenbahnen im Süden Oldenburgs, daß in "gegenseitigem Mißtrauen und politischem Kuhhandel ... so mancher faule Kompromiß geschlossen wurde".

Bemerkenswert ist, daß der "Vorstoß in die Fläche" und damit die weitere Verdichtung und Verzweigung des Netzes nicht mehr zu weiteren Hauptlinien führt - das Hauptliniennetz ist bereits mit der zweiten Phase der Entwicklung abgeschlossen - sondern fast ausschließlich Nebenlinien gebaut werden. Ihre Anlage wird forciert durch das preußische Kleinbahngesetz vom 20. Juli 1892. Dieses erlaubt, Nebenlinien möglichst billig zu bauen, da es nicht mehr auf große Geschwindigkeiten der Züge ankommt, sondern auf eine Erschließung bisher nicht berührter, besonders von der Landwirtschaft bestimmter Gebiete und ihre Verbindung mit den Hauptlinien.

---

63) Die Verbindung Osnabrück - Lohne - Bückeburg wird nicht gezählt, da sie nicht auf niedersächsischem Gebiet verläuft.



Figur 27: Die unüberwindliche Landesgrenze

Damit sollte ein Anreiz gegeben werden, auch bei geringem Verkehrsaufkommen (hauptsächlich Viehtransporte, Heranschaffung von künstlichen Düngemitteln und Abtransport landwirtschaftlicher Produkte) durch Einsparungen bei den Baukosten rentabel zu wirtschaften. Weder die großen Eisenbahngesellschaften noch der Staat zeigten in vielen Fällen Interesse, da die zu erwartende Rendite nur gering sein konnte. So ergriffen viele Landgemeinden und Landkreise, also auch die bisher noch nicht angeschlossenen zentralen Orte, selbst die Initiative und bauten ihre eigenen Erschließungsbahnen, die oft nur aus einem einseitig angeschlossenen Kantenzug bestanden. Häufig bildeten sich jedoch von diesem Kantenzug aus weitere Verzweigungen.

Die Nebenlinien mit ihren feinen Verästelungen und geringen Verkehrsbelastungen bedingen also durch ihr Einfügen in das weitmaschigere, großzügiger ausgestattete und erheblich höhere Verkehrsfrequenzen aufweisende Hauptliniennetz die erheblich größere Konnektivität des Netzes am Ende der dritten Phase.

Daß das Einfügen von einzelnen Nebenlinien in das bestehende Hauptliniennetz durch Privatinitiative sich sowohl raumordnerisch als auch ökonomisch optimal gestaltet hat, wird heute mit Sicherheit nicht behauptet werden können. Die rein lokalen Interessen einer "rentablen" Verzinsung des angelegten Kapitals, die von kleinen Gebietskörperschaften und Kleinbahn-

gesellschaften[64] angestrebt werden, können sich natürlich nicht mit dem übergeordneten Interesse an einer zweckmäßigen Endgestalt des Netzes decken.

Auch wegen dieser geringen Berücksichtigung übergeordneter Gesichtspunkte beim Bau von Nebenstreckenabschnitten werden bald nach Fortfall des Beförderungsmonopols der Eisenbahn in der letzten Phase der Netzentwicklung die ersten größeren Strekkenabschnitte (ganze Kantenzüge) der beim "Vorstoß in die Fläche" entstandenen Nebenlinien stillgelegt oder von Stillegung bedroht.

35 DIE STAGNATION DES GESAMTNETZES

Die vierte und letzte Phase in der Entwicklung des niedersächsischen Eisenbahnnetzes ist gekennzeichnet durch eine gewisse Stagnation, ja, es lassen sich Anzeichen eines Rückganges des 1918 bestehenden Streckennetzes nachweisen. Das heutige Netz (1968) wird als Gesamtnetz bezeichnet.

Im Jahre 1968 sind außer Wiesmoor sechs weitere zentrale Orte nicht mehr an das Netz angeschlossen (s. Tab. 2). Es sind dies im Teilraum Ostfriesland (I)[65] die Stadt Aurich, in Nordoldenburg (II) Westerstede, in Südoldenburg (III) Löningen und Damme, in Osnabrück (V) Iburg, in Südniedersachsen (XIV) Bodenwerder.

Auch die Anzahl der Kreuzungen von drei oder mehr Kanten, die keine zentralen Orte sind, hat sich verringert. Die Kantenzahl ist um 40 erheblich zurückgegangen, das Streckennetz hat dabei um rund 700 km abgenommen. Die Gründe für diesen Rückgang sollen weiter unten und im Kap. 4 genauer untersucht werden.

Auch die graphentheoretischen Indizes (s. Tab. 3) spiegeln diesen Schrumpfungsprozeß gut wider. Der My-Index ist um 21 fundamentale Kreise zurückgegangen. Die Konnektivitätsindizes Alpha, Beta und Gamma sind ebenfalls kleiner geworden; damit

---

64) Von den Kleinbahngesellschaften gibt es heute (Stand 1. 1. 1967) noch 44. Vgl. hierzu den Verwaltungsatlas des Landes Niedersachsen (1967, S. vor Karte 19).

65) Die römischen Ziffern von I - XV zeigen die 15 Teilräume an, vgl. Fig. 3 und Tab. 1.

wird bewiesen, daß die Verknüpfungen der Knotenpunkte und damit die Verästelungen der Netzgestalt reduziert sind. Gegenüber dem Beta-Index gibt auch hier der Grad der Konnektivität durch seinen größeren Geltungsbereich die Schwankung genauer an.

Der Eta-Index zeigt weiterhin eine geringe Erhöhung der durchschnittlichen Kantenlänge an. Die topologische Länge (Delta) des Netzes hat sich folgerichtig wieder vergrößert. Sie ist sogar um eine Kante größer als 1892. Aus dem gleichen Grunde ist der Pi-Index gefallen. Er bleibt aber wegen der erheblich größeren Gesamtkilometerzahl des Netzes weit über dem Wert für 1892.

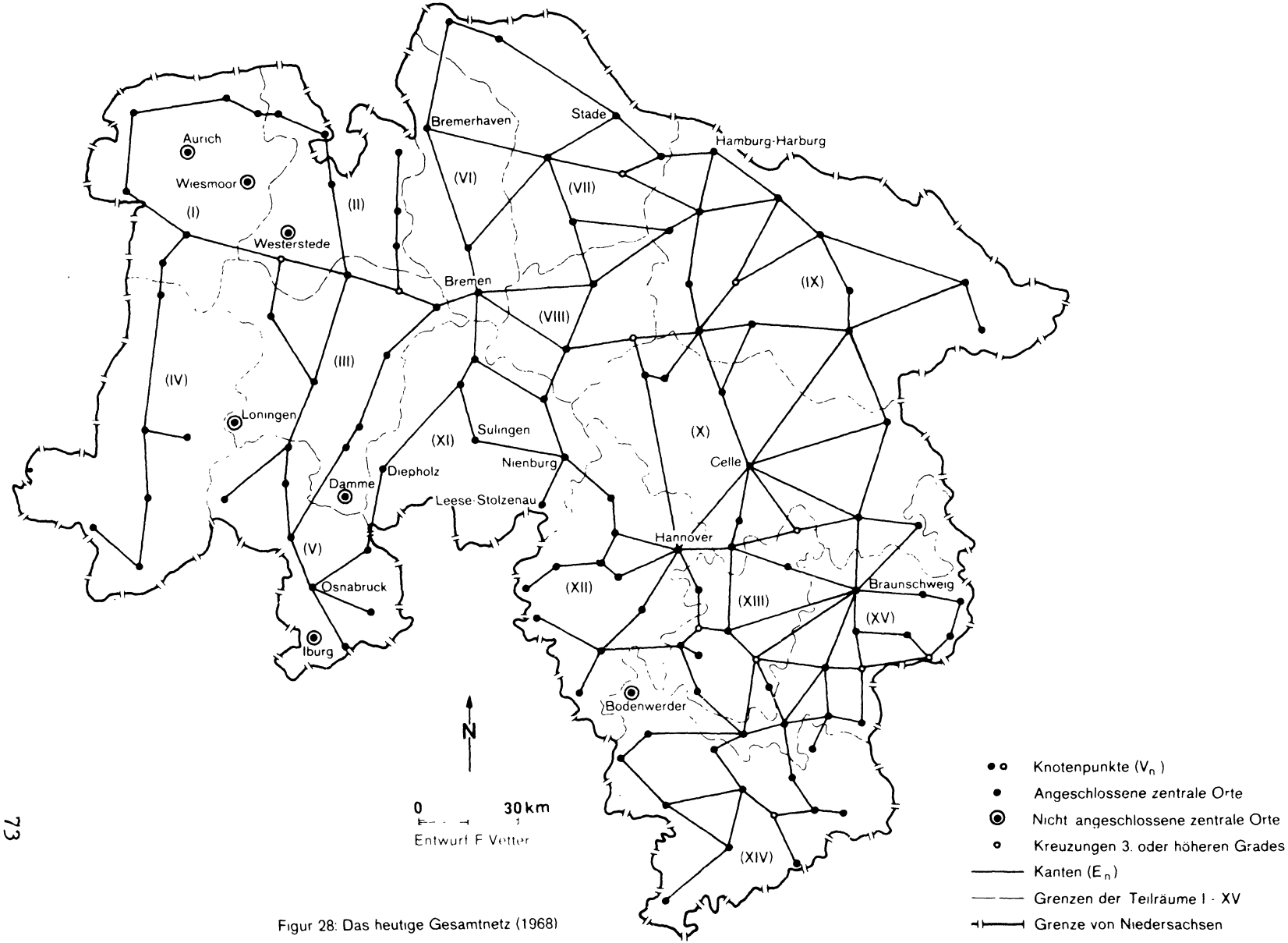
Ein Blick auf Fig. 28 - jetzt mit den 15 eingezeichneten Teilräumen - zeigt, daß besonders im südlichen Teil von Niedersachsen die wegereichliche geometrische Dreiecksform der Netzgestaltung weiterhin vorherrscht, während im Norden häufiger Kreise mit fünf oder sechs Kanten[66] auftreten.

Stichbahnen finden sich besonders in abgelegenen Gebieten wie dem Harz, aber auch an den Grenzen. An der Grenze nach Nordrhein-Westfalen und Hessen, aber auch Holland, treten meist "unechte" Stichbahnen auf, also Streckenabschnitte, die sich in den anderen Ländern fortsetzen, zur Zonengrenze hin aber auch echte Stichbahnen, die bei der Berechnung der Netzelemente und Netzindizes einer sehr wegesparsamen Netzgestaltung gleichkommen.

Zur Interpretation der Stagnation bzw. des leichten Rückganges der graphentheoretischen Elemente und Indizes bis 1968 kann gesagt werden, daß rein politische Gründe territorialer Sonderinteressen im Raume Niedersachsen, wie sie von den drei ersten Phasen bekannt sind, fortfallen. Es treten dafür aber mehrere gravierende strukturändernde Elemente auf, die ebenfalls politisch und wirtschaftlich bedingt sind:

1) Der "Eiserne Vorhang" bringt nach dem Zweiten Weltkrieg den vorher starken Ost-West-Verkehr fast völlig zum Erliegen.

66) s. hierzu besonders CHRISTALLER (1933) und HAUFE (1931), die von geometrisch regelmäßigen Sechsecken (Hexagonen) sprechen.



Figur 28: Das heutige Gesamtnetz (1968)

Damit gehen zwangsweise Stillegungen einher, besonders von Nebenlinien im Zonengrenzraum, und eine Verstärkung des Nord-Süd-Verkehrs, was sich vor allem in verstärkt elektrifizierten Nord-Süd-Verbindungen bemerkbar macht. Allein im Jahre 1968 wächst das elektrische Netz beträchtlich (s. Fig. 29)[67].

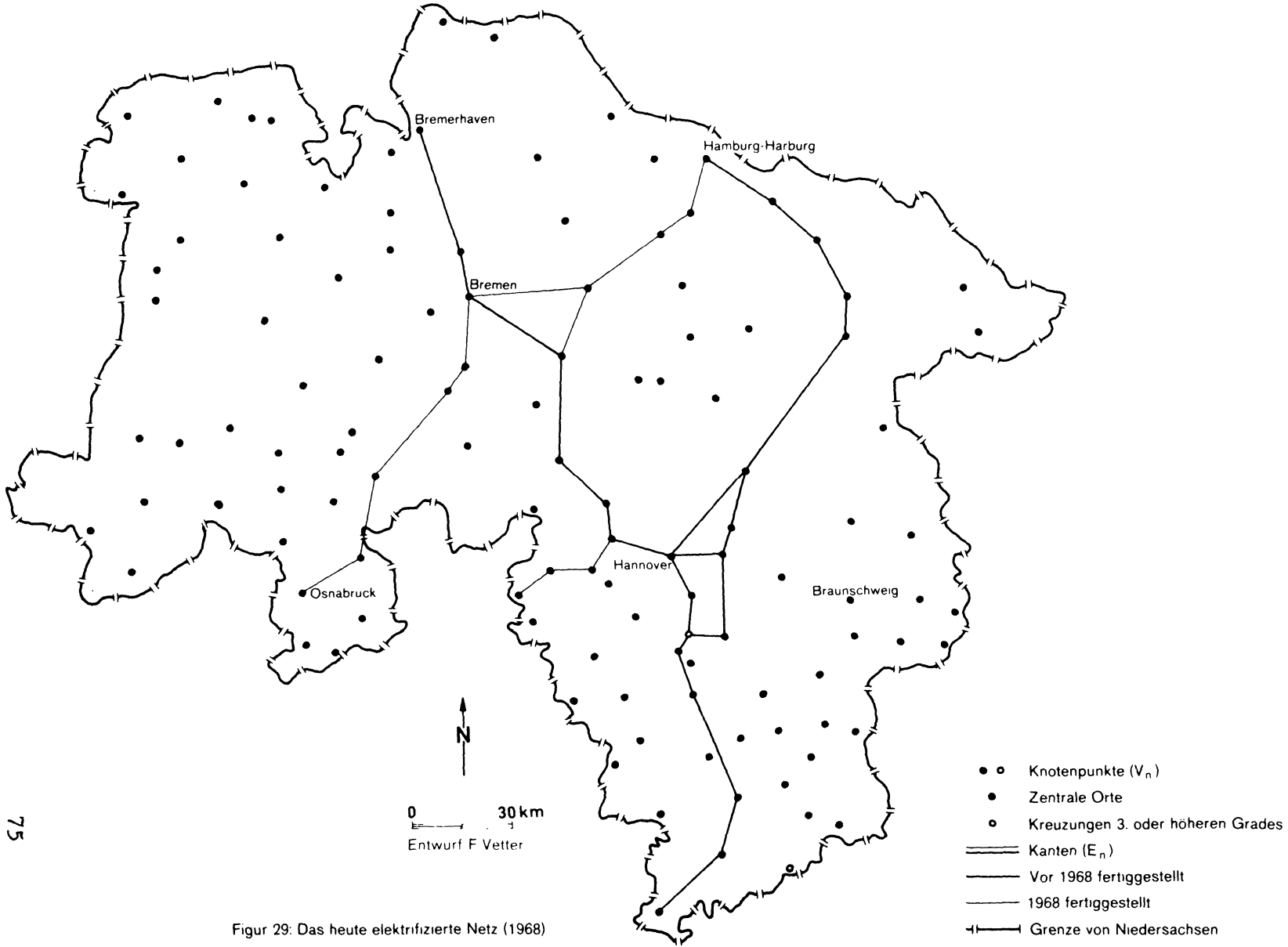
2) Bedeutende bauliche Veränderungen werden durch betriebstechnisch rationalisierend wirkende Maßnahmen geschaffen. Außer der Elektrifizierung, die größere Geschwindigkeiten, mehr Sicherheit für den Verkehrsfluß und eine Kostensenkung durch Rationalisierung bedingt, kommen jedoch auch einige echte Neubauten und Streckenverlegungen hinzu. Ihr Bau war meist bereits vor dem Ersten Weltkrieg geplant, wurde aber durch den Krieg nicht mehr ausgeführt.

   Zu nennen sind besonders die Querverbindung von Nienburg über Sulingen nach Diepholz (die Teilstrecke Sulingen-Diepholz wurde bereits wieder stillgelegt !), die Verbindung Nienburg - Leese - Stolzenau und vor allem die direkte Hauptlinienverbindung Hannover - Celle, die erst 1938 eröffnete "Hasenbahn". Diese neu hinzugekommenen Strecken werden in der Zahl der Kanten von den stillgelegten Streckenteilen bei weitem übertroffen, wie aus den Werten der Netzelemente und -indizes hervorgeht. Eine weitere Expansion des Netzes ist also in der vierten Phase nicht mehr eingetreten, eher ein leichter Rückgang, so daß insgesamt von einer Stagnation des Netzes gesprochen werden kann.

3) Das wichtigste strukturändernde Element ist die nach 1918 aufkommende Konkurrenz des Automobils, sowohl des Personen- als auch des Lastkraftwagens. Sie begann sich vor allem auf die Nebenlinien der Eisenbahnen negativ auszuwirken, da das Automobil besonders stark flächenhaft wirksam ist und praktisch jedes einzelne Haus erreichen kann. Trotz vom Staate gewährter Subventionen mußten und müssen die kleinen Eisenbahngesellschaften, teilweise auch die Deutsche Bundesbahn,

---

67) Es kommt damit in der Anzahl seiner Netzelemente V_n und E_n (vgl. Tab. 2) und auch der Netzindizes (vgl. Tab. 3) an das Grundliniennetz von 1862 heran.



Figur 29: Das heute elektrifizierte Netz (1968)

einen Teil ihres Schienenverkehrs auf die Straße verlagern, um den neuen Bedürfnissen im Personen- und Güterverkehr nachzukommen. Häufig ist dabei heute die Tendenz zu beobachten, daß zunächst der Personen-, erst später der Güterverkehr eingestellt wird.

In dem Netz von 1968 (s. Fig. 28) wird daher bewußt von der Übersichtskarte zum Amtlichen Taschenfahrplan für den Personenverkehr (Winter 1968/69) [68] ausgegangen, in der Annahme, daß auch die heute noch allein vom Güterverkehr befahrenen Nebenstrecken in absehbarer Zeit ganz stillgelegt werden, wenn nicht gezielte strukturfördernde Maßnahmen ergriffen werden.

Der Güterverkehr wird häufig weiter auf der Schiene abgewikkelt, da besonders große und sperrige Güter nicht auf der Straße transportiert werden können und die Eisenbahn verpflichtet ist, ihren Transport zu übernehmen. Durch Wegfall des Personenverkehrs ist aber die Rentabilität einzelner Nebenstrekken häufig so eingeschränkt, daß ihre Stillegung trotz heftigen Einspruchs der betroffenen Bevölkerung nur eine Frage der Zeit ist.

Als erste Nebenlinie stellte 1928 die vom zentralen Ort Stade ausgehende Kehdinger Kreisbahn wegen zu geringen Verkehrsaufkommens ihren gesamten Bahnbetrieb ein, weitere folgten.

Erst im Herbst 1967 verlor im Zuge der neuen Rationalisierungsmaßnahmen der Deutschen Bundesbahn ein zentraler Ort von erhöhter Bedeutung, die Bezirkshauptstadt Aurich, alle Bahnverbindungen im Personenverkehr. Eine genauere Untersuchung dieses Strukturwandels im Teilraum Ostfriesland (I) soll im Kap. 4 angestrebt werden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Hypothese, politische und wirtschaftliche Gründe seien für die zeitlichen Variationen der Netzgestalt des niedersächsischen Eisenbahnnetzes maßgebend, sich als stichhaltig erwiesen hat. Sie standen der Ausbildung eines "idealen" und damit ökonomisch und raumordnerisch optimalen Netzes entgegen, wie an den vier ausge-

---

68) s. die Bedingung Nr. 5, Abschnitt 31 für die netztopologische Darstellung der Netze.

prägten und an Beispielen belegten Phasen zeitlicher Varianz mit Hilfe graphentheoretischer Untersuchungsverfahren bewiesen werden konnte.

Nicht bewiesen werden konnte der wirtschaftliche Teilaspekt, daß geringe technische Möglichkeiten zu Beginn des Eisenbahnzeitalters bei Geländehindernissen kostensteigernde Umwege nötig machen. Weder Moore noch Gewässer, außer - wie erwähnt - der Unterweser nördlich Bremen, bilden entscheidende Hindernisse. Auch Berge im südlichen Teil Niedersachsens werden schon sehr früh in Tunneln durchquert oder umfahren, was sich kaum auf das kleinmaßstäbige Netzbild auswirkt.

Die kleinmaßstäbige Betrachtungsweise ließ allgemein nur sehr vereinfachende Schlüsse zu. Bei dem gewählten engen methodischen Blickwinkel konnte z. B. auch nicht festgestellt werden, ob ein Ort eine Eisenbahnlinie ursprünglich an sich gezogen hatte oder ob die Linie vorher vorhanden war und danach erst der nun verkehrsgünstig gelegene und daher schnell wachsende Ort zum "zentralen Ort" wurde.

Abgesehen von diesen Einzelheiten aus den Hypothesen kann doch gesagt werden, daß die verallgemeinernden Annahmen bestätigt wurden. Sie könnten erheblich weiter untersucht werden, sollten hier aber nur angedeutet werden.

Entscheidend ist dabei zunächst im Rahmen dieser Arbeit, daß mit Hilfe der netztheoretischen Methoden die zeitlichen Unterschiede in der Ausbildung des Netzes klar und deutlich vor Augen geführt werden können. Das gilt sowohl für die zeichnerische Darstellung als auch für die Quantifizierung in Indizes.

Die Methoden dürfen daher unter einem jeweils eng abgegrenzten, ganz bestimmten Blickwinkel, z. B. dem der in diesem Kapitel untersuchten Unterschiede eines Netzes als anwendbar betrachtet werden.

4 RÄUMLICHE VARIATIONEN DES NIEDERSÄCHSISCHEN EISENBAHNNETZES

Um nach den zeitlichen auch die räumlichen Variationen in der Struktur des niedersächsischen Eisenbahnnetzes aus dem heutigen Netz quantitativ zu ermitteln, entsteht das Problem, wel-

che Raumeinheiten als Bezugsbasen ausgewählt werden können. Eine Einteilung in Natur- oder Wirtschaftsräume scheidet aus. Der Einfluß von Gewässern, Mooren und Bergen auf die allgemeine Netzgestalt ist relativ unbedeutend, wie in Kap. 3 angedeutet wurde.

Eine Abgrenzung nach Wirtschaftsräumen wäre zwar sinnvoll, aber hinsichtlich der Datenbeschaffung und der genauen Grenzziehung problematisch[69]. Die in Abschnitt 113 erwähnten 15 Teilräume werden hier und besonders in Kap. 5 übernommen, da sie

a) nach Untersuchungen des Niedersächsischen Ministeriums des Innern[70] in ihrer allgemeinen Struktur und ihren räumlichen Entwicklungsproblemen relativ homogen sind und
b) wichtige Daten liefern, die nur auf Kreisbasis erhältlich sind und auf Teilraumbasis umgerechnet werden können. Jeder Teilraum umfaßt mehrere abgeschlossene Kreise.

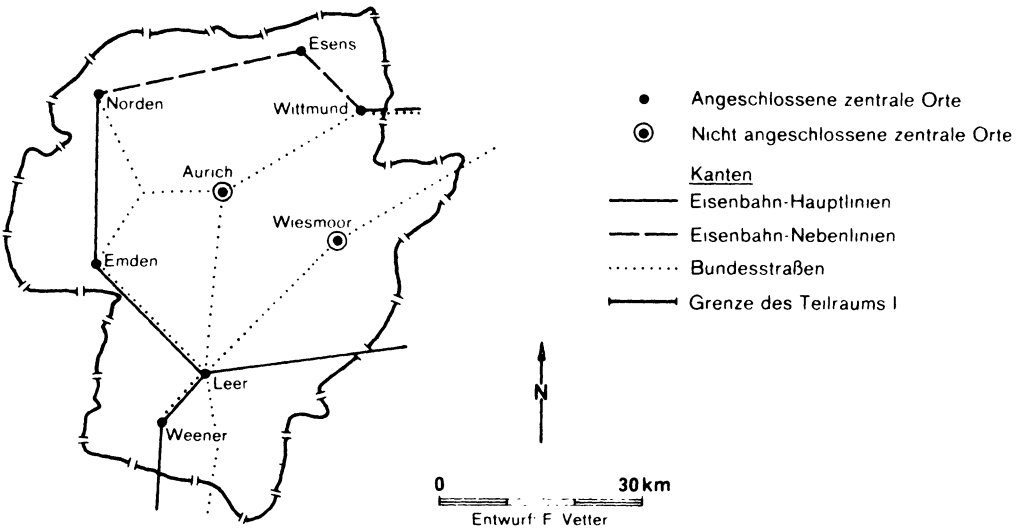
In diesem Zusammenhang interessiert dabei nur, welches Teilraumnetz in seiner Struktur bildlich als Modell und quantitativ als Index besonders stark von den entsprechenden statistischen Mittelwerten abweicht. Die Teilräume Aurich und Hannover - Weserbergland (s. Fig. 30 und 31) sollen dazu eingehend untersucht werden.

Es wird angenommen, daß sich die zu ermittelnden Unterschiede in der Netzgestalt aus dem Wettbewerb verschiedener Verkehrsträger und der Verkehrs- und Raumordnungspolitik des Staates ergeben, wobei im Sinne von Abschnitt 111 die methodische Einschränkung zu beachten ist, daß nur diese Annahmen gelten und aus den Unterschieden in der Netzgestalt herauslesbar sein sollen. Die Annahme über die Verkehrs- und Raumordnungspolitik des Staates wird in Unterkap. 44 gesondert untersucht.

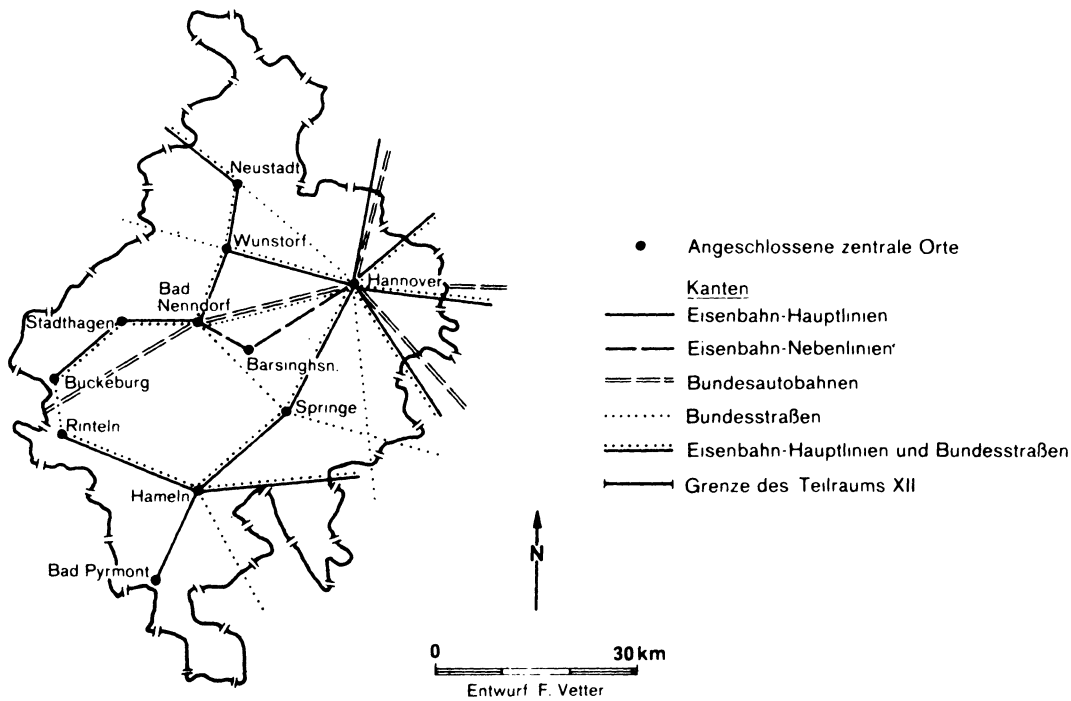
---

69) Bei der Abgrenzung von Wirtschaftsräumen sind Versuche von Wissenschaftlern, Gesetzgeber oder Verwaltung bisher zu keinem Ergebnis im Sinne einer bestimmten Definition oder Abgrenzungsmethode gekommen; vgl. ESENWEIN - ROTHE (1956, S. 14-18).

70) In: Grundlagen und Hinweise für ein Landes-Raumordnungsprogramm (1964, Bd 3).



Figur 30: Das Eisenbahn- und Straßennetz +) im Teilraum Ostfriesland (I)



Figur 31: Das Eisenbahn- und Straßennetz +) im Teilraum Hannover-Weserbergland (XII)

+) **Als Straßen gelten nur Bundesstraßen und Autobahnen.**

41 VORBEMERKUNGEN ZUR STRUKTUR UND INFRASTRUKTUR DES NETZES

Der Begriff der I n f r a s t r u k t u r wird von Felix BOESLER[71] definiert als: "Ausstattung eines räumlichen Bereichs mit öffentlichen Einrichtungen ..., die der Sicherung bzw. Erhöhung der Produktivität, sowie der sozialen Sicherheit und damit im weitesten Sinne der Schaffung optimaler Wettbewerbs- und sozialer Lebensbedingungen dieses Bereichs und seiner Bewohner dient". Als öffentliche Einrichtung soll hier neben Schulen, Krankenhäusern etc. auch ein Eisenbahnanschluß mit Bahnhof verstanden werden.

Sind die ausgewählten niedersächsischen Teilräume mit einer solchen, "idealen" Infrastruktur im Hinblick auf den Eisenbahnverkehr überall gleichmäßig ausgestattet?

In vorliegendem Kapitel werden zwei Teilräume ausgewählt, die bezüglich ihrer unterschiedlichen Netzgestalt vermuten lassen, daß es sich um zwei extrem gegensätzliche Räume handelt. Sie sind als Ausschnitte des Eisenbahnnetzes von 1968 in Fig. 28 dargestellt. Zusammen mit den aus dem Verwaltungsatlas des Landes Niedersachsen (1967, Karte 12) entnommenen Teilen des Straßennetzes[72] erfüllen sie als Graphen die Bedingungen 1 bis 6 von Abschnitt 23 (s. Fig. 30 und 31).

Die beiden Teilräume sind der ländliche Teilraum (I) Ostfriesland[73] und der Verdichtungsraum (XII) Hannover - Weserbergland[74]. Quantitative Aussagen hierzu, die sich aus Fig. 30

---

71) F. BOESLER ermittelte, daß das Wort "Infrastruktur" der Nato-Sprache entstammt; s. F. BOESLER (1964), Der Infrastrukturbedarf und die Möglichkeiten seiner Deckung, (Finanzpolitik und Raumordnung, Forschungs- und Sitzungsberichte, Akademie für Raumforschung und Landesplang., Bd 28) Hannover.

72) Zur Entwicklung des niedersächsischen Straßennetzes s. besonders U. BALDERMANN (Diss. 1964).

73) Strukturuntersuchungen allgemeiner Art s.: Raumordnung in Ostfriesland (1964). (Schriften der Landesplanung Niedersachsen. Bd 30.)

74) Landesplanerisches Gutachten, Raum Hannover (1960 - 63). (Schriften der Landesplanung Niedersachsen. Bd 22.) Vorläufiger Plan für den Verbandsbereich Großraum Hannover (1963). (Schriften der Landesplanung Niedersachsen. Bd 26.) S. hierzu auch: Grundlagen u. Hinweise für ein Landes - Raumordnungs-Programm (1964, Bd 3), Teilraum XII (und auch Teilraum I).

und 31 ergeben, sind in Tab. 4 aufgeführt. In Tab. 5 werden die ausgewählten zentralen Orte der beiden Teilräume einzeln auf ihre Verknüpfung mit dem Netz hin untersucht.

Die Randlage von Ostfriesland und die bestehende zentrale Lage des Teilraumes Hannover - Weserbergland in Niedersachsen bzw. in Deutschland oder selbst in Mitteleuropa ließen sich mit einem kurzen Blick auf die Karte feststellen. Diese Tatsache soll hier jedoch mit Hilfe der netztheoretischen Methoden bildlich und zahlenmäßig am niedersächsischen Eisenbahnnetz festgestellt werden.

Formal ist die Anzahl der von einem zentralen Ort ausgehenden Kanten, der Grad n eines Knotenpunktes, einfach darstellbar. Durch die Unterteilung in Haupt- und Nebenlinien können auch funktional wertvolle Aufschlüsse über die jeweils vorhandenen Verkehrsspannungen und die relative Bedeutung innerhalb Niedersachsens gewonnen werden, wobei immer von der angewandten methodischen Betrachtung der Netzgestalt auszugehen ist.

Die beiden Teilräume unterscheiden sich netztopologisch - nur auf diesen Unterschied kommt es hier an - z. B. nach der Königzahl ihrer zentralen Orte in bezug auf das Gesamtnetz erheblich voneinander (s. Tab. 5).

Die Königzahl, welche die maximale topologische Entfernung zwischen einem einzelnen Knotenpunkt und allen übrigen Knotenpunkten des Netzes angibt, drückt damit einen Wert für die jeweilige Zentralität des Knotenpunktes innerhalb des Gesamtnetzes aus.

Wenn man die beiden Endpunkte Nordhorn (Teilraum IV) und Hannoversch-Münden (Teilraum XIV) als die beiden zentralen Orte mit der geringsten Zentralität im niedersächsischen Eisenbahnnetz akzeptiert, ergeben sich für die zentralen Orte in Teilraum I im allgemeinen erheblich ungünstigere Werte als für die in Teilraum XII gelegenen.

Nach der Königzahl liegt Teilraum IV (Emsland) noch ungünstiger als Teilraum I innerhalb Niedersachsens, hat jedoch gute Verbindungen zum Nachbar-Bundesland Nordrhein-Westfalen. Die Lage von Teilraum I bezüglich seiner Zentralität ist daher abgeschiedener und isolierter, da er fast zur Hälfte von der Nordsee umgeben ist.

Teilraum XII weist bezüglich der Königzahl noch nicht das Maximum an Zentralität auf, das vielmehr im Bereich des zentralen Ortes Verden (nur 12 Kanten) zu finden ist. Um die Unterschiede in der Infrastruktur des niedersächsischen Eisenbahnnetzes, demonstriert an den beiden Teilräumen I und XII, noch deutlicher werden zu lassen, sollen weitere netztheoretische Kriterien herangezogen werden.

42 DIE INFRASTRUKTUR DES TEILRAUMES I OSTFRIESLAND

Die netztopologischen Werte für das Eisenbahnnetz in Ostfriesland zeigen, verglichen mit dem Teilraum Hannover - Weserbergland und den Mittelwerten für alle Teilräume von Niedersachsen (s. Tab. 4), daß Teilraum I bei allen Zahlenangaben erheblich unter den Werten von Teilraum XII und unter dem Durchschnitt für die 15 Teilräume Niedersachsens liegt.

Tabelle 4: Räumliche Variationen der Netzelemente (1968)

Netzelemente	Teilraum I	Teilraum XII	Alle Teilräume I - XV	Mittelwerte
Angeschlossene zentrale Orte	6	11	113	7,53
Nichtangeschl. zentrale Orte	2	0	7	0,47
Knotenpunkte (V_n)	6	11	124	8,27
Kanten (E_n)[75]	6,5	14	172	11,47
Streckennetz zwischen den zentr. Orten in km[76]	113	189	2566	171

75) Jede Kante, die innerhalb Niedersachsens die Grenze eines Teilraums überquert, gilt nur hier als $\frac{1}{2}$ Kante.

76) Jede Strecke, die innerhalb Niedersachsens die Grenze eines Teilraumes überquert, wird in Kilometern nicht berücksichtigt. Auch die Gesamtzahl in km richtet sich danach.

Tabelle 5: Räumliche Variationen einzelner zentraler Orte

Einzelne zentrale Orte	Königzahl	Eisenbahn-Linien			Straßen-Linien			Theoret.[77] Wert
		Haupt	Neb.	Insg.	Haupt	Neben	Insg.	
1. Aurich	-	0	0	0	0	3	3	0
2. Emden	19	2	0	2	0	2	2	2,5
3. Esens	21	0	2	2	0	0	0	2,5
4. Leer	18	3	0	3	0	5	5	3,7
5. Norden	20	1	1	2	0	1	1	2,5
6. Weener	19	2	0	2	0	1	1	2,5
7. Wiesmoor	-	0	0	0	0	2	2	0
8. Wittmund	20	0	2	2	0	2	2	2,5
Teilraum I	112	8	5	13	0	16	16	16,2
Mittelwert	18,7	1,0	0,6	1,4	0	2,0	2,0	2,0

77) Der theoretische Wert ist ein Faktor, der sich als proportionale Schätzung der Anzahl von Straßen aus der bekannten Anzahl von Eisenbahnlinien pro Knotenpunkt ergibt. Dies bedeutet, daß sich z. B. für die Stadt Leer (Teilraum I, Nr. 4) der theoretische Wert X aus dem Verhältnis aller von Leer ausgehenden Eisenbahnlinien (3) zu der Gesamtzahl der Eisenbahnlinien in Teilraum I (13), multipliziert mit der Gesamtzahl der Straßenlinien in diesem Teilraum, ergibt:

$$\frac{3}{13} = \frac{X}{16}, \quad X = \frac{3 \cdot 16}{13} = 3,7 \text{ (aufgerundet)}$$

Dieser aus der Kenntnis der Anzahl der Eisenbahnlinien erwartete theoretische Wert X für die Straßen wird in Wirklichkeit mit fünf Straßenverbindungen überschritten; d. h. die Stadt Leer wird im Verhältnis zu der Gesamtzahl der 8 Orte des Teilraumes I besser mit Straßenverbindungen bedient als durchschnittlich erwartet.

Einzelne zentrale Orte	Kö-nig-zahl	Eisenbahn-Linien			Straßen-Linien			Theo ret. Wert
		Haupt	Neb.	Insg.	Haupt	Neb.	Insg.	
1. Bad Nenndorf	17	2	1	3	2	4	6	4,1
2. Bad Pyrmont	18	1	0	1	0	0	0	1,4
3. Barsinghausen	16	0	2	2	0	0	0	2,7
4. Bückeburg	19	1	0	1	0	2	2	1,4
5. Hameln	17	4	0	4	0	4	4	5,4
6. Hannover	15	6	1	7	4	7	11	9,5
7. Neustadt	15	2	0	2	0	3	3	2,7
8. Rinteln	18	1	0	1	0	2	2	1,4
9. Springe	16	2	0	2	0	4	4	2,7
10. Stadthagen	18	2	0	2	0	2	2	2,7
11. Wunstorf	16	3	0	3	0	4	4	4,1
Teilraum XII	185	24	4	28	6	32	38	38,1
Mittelwert	16,8	2,2	0,4	2,5	0,5	2,9	3,5	3,5

Bemerkenswert ist, daß von den acht zentralen Orten zwei nicht an das keinerlei geschlossene Kreise, sondern nur einen offenen Kantenzug als Weg aufweisende Netz angeschlossen sind. Wiesmoor ist als heutiger zentraler Ort zu keiner Zeit mit dem Eisenbahnnetz verbunden gewesen. Die Tatsache jedoch, daß die bereits erwähnte Bezirkshauptstadt Aurich, die noch im Netz von 1918 (s. Fig. 26) drei von ihr ausgehende Kanten aufwies,

ebenfalls seit Herbst 1967 [78] ohne jeglichen Personenverkehr ist, läßt nach den Ursachen hierfür fragen.

Zunächst soll kurz auf den Grad n der sechs noch an das Eisenbahnnetz angeschlossenen Knotenpunkte eingegangen werden (s. Tab. 5), der im Vergleich zu den zentralen Orten in Teilraum XII allgemein geringer ist.

Wenn man nach Haupt- und Nebenlinien differenziert, werden die Unterschiede noch größer. Nur Leer als Knotenpunkt dritten Grades mit drei Hauptlinien und der bedeutende Hafen Emden als Knotenpunkt zweiten Grades mit zwei Hauptlinien ragen hier hervor.

Der Unterschied zwischen Haupt- und Nebenlinien ergibt sich aus den durch Bauart und -kosten je Kilometer verschiedenen Grenzverkehrsbelastungsstufen und den unterschiedlichen Streckenbelastungen[79].

Durch Vergleich aller von den zentralen Orten ausgehenden Eisenbahn- und Bundesstraßenlinien[80] (Kanten) in Teilraum I erweist sich, daß im allgemeinen ein gewisser proportionaler Zusammenhang zwischen beiden besteht[81], obwohl es sich bei der acht Einheiten umfassenden Reihe nur um eine schmale empirische Basis handelt.

Als bedeutende Ausnahme haben besonders Aurich und Wiesmoor, die völlig ohne Eisenbahnanschluß auskommen müssen, unerwartet

---

78) s. hierzu: die Übersichtskarte zum Amtlichen Taschenfahrplan Niedersachsen (Winter 1967 / 68), hrsg. von der DB-Direktion Hannover.

79) Nach R. HOFFMANN (1961, S. 47) kann die Grenzbelastung für die Hauptlinien bis zu 24 000 t im Güter- oder Personenverkehr täglich, für die Nebenlinien bis zu 14 500 t betragen.

80) Das Bundesstraßennetz eignet sich besonders gut zum Vergleich mit dem Eisenbahnnetz. Die Einbeziehung von Landstraßen 1. u. 2. Ordnung in die Untersuchung würde mit Sicherheit zu keinen anderen Ergebnissen führen.

81) Der statistische Zusammenhang ist durch die lineare Einfachkorrelation gegeben. S. hierüber z. B. KREYSZIG (1967, S. 300 - 323) oder COLE, J. P. und KING, C. A. M. (1968, Kap. 3, S. 98 - 160). Hier handelt es sich mehr um eine proportionale Schätzung, ohne weitere statistische Untersuchungen.

gute Bundesstraßenverbindungen[82]. Auch der Knotenpunkt Leer weist mehr Netzanschlüsse durch Bundesstraßen auf, als durch die Anzahl der von ihm ausgehenden Eisenbahn-Kanten proportional erwartet werden konnte. Lediglich der zentrale Ort Esens wird durch die Eisenbahn besser bedient, da er keinen Anschluß an das Bundesstraßennetz hat.

An dem extremen Beispiel des Knotenpunktes Aurich wird durch netztopologischen Vergleich der beiden unterschiedlichen Verkehrsnetze von Schiene und Straße deutlich, daß an die Stelle von Eisenbahnverbindungen gut ausgebaute Bundesstraßen treten können, die den weiter auftretenden Verkehrsbedarf befriedigen.

Allgemein günstige Gründe dafür mag es viele geben. Einige kurz skizzierte sind: für den Straßenpersonenverkehr lassen sich bei geringeren Kosten erheblich mehr Haltestellen einrichten, die Beförderungskosten werden geringer, es entstehen dem Unternehmer keine Kosten für die Unterhaltung von Verkehrsanlagen usw. Für den Straßengüterverkehr ist ein direkter, schneller Transport praktisch von Haus zu Haus möglich. Es entsteht kein Zeitverlust durch Umladen.

Dagegen stehen der stark defizitäre Eisenbahnpersonenverkehr zu Sozialtarifen und die Beförderungspflicht im Güterverkehr[83]. Dieses sind nur einige wenige Gründe, die die Wettbewerbssituation zwischen Schiene und Straße kennzeichnen.

---

82) Nach der proportionalen Schätzung (vgl. Tab. 5, Fußnote 77) ist das Ergebnis von drei bzw. zwei Straßenlinien für Aurich bzw. Wiesmoor s t a t i s t i s c h unerwartet, zumal der theoretische Wert "(0)" keine Straßenverbindungen erwarten ließ. Damit ist nicht gesagt, daß außer dem statistischen auch ein t a t s ä c h l i c h e r Zusammenhang zwischen schlechter oder nicht vorhandener Bahn- und Straßenverbindung besteht. Ein solcher kann aber aus der bloßen Kenntnis der jeweiligen Anzahl von Kanten mit Hilfe einer proportionalen Schätzung vermutet werden.
Darin liegt der Wert solcher mit einfachsten Hilfsmitteln gewonnenen Zusammenhänge. Genauere Untersuchungen über die wirklichen Gründe solcher Mißverhältnisse sollten sich bei Einzelstudien anschließen.

83) Die zweifellos vorhandenen Vorteile des Eisenbahnverkehrs, auch gegenüber dem Straßenverkehr, sollen hier nicht näher erörtert werden.

Der Trend, daß im Wettbewerb um die Befriedigung des Personen- und Güterverkehrs die Eisenbahnen vor allem auf den Nebenstrecken (s. Beispiel Aurich) häufig unterliegen, ist aus der sich verändernden Infrastruktur des Eisenbahn- und Straßennetzes in Teilraum I klar erkennbar.

So ist es auch erklärlich, daß der besonders schwach strukturierte Teilraum Ostfriesland zum Bundesausbaugebiet[84] und der zentrale Ort Aurich für das Jahr 1959 zum Bundesausbauort[85] erklärt wurden.

Die vergleichende Betrachtung mit der Infrastruktur des Teilraumes Hannover-Weserbergland wird beispielhaft zeigen, ob der Trend eines Rückzuges der Eisenbahnen aus der Fläche sich auf weitere Teilräume in Niedersachsen erstreckt oder ob er auf den Teilraum Ostfriesland begrenzt ist. Dabei wird die in Richtung auf ein zu konstruierendes "ideales" Netzmodell weiterführende Frage gestellt werden müssen, ob dieser Trend zu einer Umstrukturierung der Verkehrsnetze zuungunsten der Schiene, besonders der Nebenlinien und direkt zugunsten der flächenwirksameren Straße, sich von übergeordneten verkehrspolitischen Gesichtspunkten her rechtfertigen läßt, also zu begrüßen oder abzulehnen ist.

Sicher tragen auch der Verkehr auf den Kanälen, vor allem für Massengüter, und der Luftverkehr[86], besonders für Personen, nicht dazu bei, den für die Eisenbahnen ungünstigen Trend zu verringern. Sie verstärken ihn eher noch.

43 DIE INFRASTRUKTUR DES TEILRAUMES XII HANNOVER-WESERBERGLAND

Aus Tab. 4 geht hervor, daß im Beispielraum XII (Hannover - Weserbergland) alle 11 zentralen Orte an das Eisenbahnnetz angeschlossen sind. Das sind erheblich mehr als in Beispielraum I (Ostfriesland) und auch mehr als im Durchschnitt in Nieder-

84) Bundesausbaugebiete werden, da sie wirtschaftlich hinter anderen Teilen des Bundesgebietes zurückgeblieben sind, von der Bundesregierung gefördert.

85) s. Raumordnungsbericht 1967, Karte 12 hinter S. 27.

86) Auf Kanal- und Luftverkehr soll als Wettbewerbsträger hier nicht weiter eingegangen werden.

sachsen. Damit wird der erheblich größeren Bevölkerung in diesem Ballungsraum Rechnung getragen.

Der eine geschlossene Kreis deutet auf eine komplexere Netzgestalt als der einzelne Weg in Teilraum I hin. Diese steht damit tatsächlich in engem Verhältnis zu dem Verdichtungsraum Hannover, einem der 10 Verdichtungsräume der Bundesrepublik Deutschland mit über 700 000 Einwohnern, der auch als einer der wenigen in Niedersachsen nicht zu den strukturkranken Teilräumen wie das Bundesausbaugebiet Ostfriesland oder die Zonenrandgebiete gehört.

Die in Tab. 5 aufgeführte Anzahl von Kanten, die von jedem einzelnen Knotenpunkt im Teilraum XII ausgehen, weist darauf hin, daß die Landeshauptstadt Hannover als Knotenpunkt sechsten Grades für die von ihr ausgehenden Linien (fünf Hauptlinien und eine Nebenlinie) die bei weitem größten Verkehrsspannungen des Gesamtnetzes hat. Ihre überragend eisenbahnverkehrsgünstige Bedeutung strahlt auch auf den sie umgebenden Raum aus.

Auch Hameln und Wunstorf sind daher relativ gut mit Hauptlinien ausgestattet. Außer Barsinghausen sind alle zentralen Orte an Hauptlinien angeschlossen. Nebenlinien existieren nur wenige.

Es ergibt sich damit ein ganz anderes Bild im Vergleich zu Ostfriesland, vor allem, wenn man die Verwaltungshauptstädte beider Teilräume betrachtet. Auch in Teilraum XII hat es seit 1918 einige Stillegungen von Nebenlinien gegeben (vgl. Fig. 26 und 28), die aber vorwiegend an der Peripherie des Raumes auftraten.

Da die Anzahl der Hauptlinien, die dem zentralen Ort Hannover zustreben, bei weitem überwiegt, sind in diesem Verdichtungsraum die Gefahren des Rückzugs aus der Fläche wesentlich geringer.

Beim Vergleich mit dem übergeordneten Bundesstraßennetz, wobei die Autobahnen als Hauptlinien gewertet werden, tritt zutage (s. Tab. 5), daß der zentrale Ort Barsinghausen keine Bundesstraßen als Kanten aufweist, obwohl nach seiner Bedeutung als Eisenbahnknotenpunkt im statistischen Zusammenhang

etwa drei Straßen zu erwarten sind. Mehr Straßenlinien als erwartet weisen die zentralen Orte Springe, Bad Nenndorf und vor allem auch Hannover selbst auf. Die beiden letzteren Orte profitieren vor allem stark von den Autobahnverbindungen.

Der Knotenpunkt Hannover ist zur Deckung seines Verkehrsbedarfs weder allein auf die Schiene, noch auf die Straße angewiesen, da der Mittellandkanal und der internationale Flughafen Langenhagen weitere ergänzende Verkehrsmöglichkeiten bieten.

Als Ergebnis der vergleichenden Untersuchungen zeichnet sich ab, daß:

1) die zentralen Orte in den beiden Teilräumen zur Befriedigung ihres Verkehrsaufkommens nicht allein auf die Eisenbahn angewiesen sind;

2) daher besonders Schiene und Straße in starkem Wettbewerb miteinander stehen, wobei sich der Trend von der Schiene weg zur Straße hin netztopologisch nachweisen läßt;

3) erhebliche Unterschiede in der Netzgestalt und auch im Trend des Rückzugs aus der Fläche bestehen, die sich aus dem Gegensatz von ländlichen Passivräumen und städtischen Verdichtungs- oder Aktivräumen ergeben;

4) einzelne zentrale Orte besonders starke Zentralität entwikkeln. Die Stärke der Zentralität wird dabei netztheoretisch vereinfachend an der Anzahl der von einem zentralen Ort ausgehenden Kanten oder Verkehrsspannungen gemessen. Ein hoher Grad n der Knotenpunkte wirkt sich positiv auf die Infrastruktur des umliegenden Teilraumes und seine Ausstattung mit Verkehrslinien aus und damit auf die benachbarten zentralen Orte;

5) sich eine besonders geringe Zentralität der größten zentralen Orte eines Teilraumes, ein niedriger Grad der Knotenpunkte, der aus einer sehr geringen Anzahl von Kanten im Verhältnis zu den anderen Knotenpunkten resultiert, negativ auf die Infrastruktur dieses Raumes und seiner anderen zentralen Orte auswirkt.

Nicht aus der Netzgestalt herausgelesen und erklärt werden konnte z. B. die Tatsache, daß nicht alle kleineren zentralen

Orte von einer Hauptlinie der Eisenbahn oder der Autobahn gleichmäßig profitieren.

Zentrale Orte wie Uelzen, Bevensen und Winsen/Luhe, die an der elektrifizierten Haupteisenbahnlinie Hannover - Hamburg liegen, partizipieren kaum oder gar nicht an den guten Verkehrsmöglichkeiten, da viele Schnellzüge in der Regel auf diesen kleineren Bahnhöfen nicht halten.

Der höhere netztheoretische Grad der Zentralität (Anzahl der nach Haupt- und Nebenlinien unterschiedenen Kanten) solcher Orte, bewirkt durch das Vorhandensein einer Hauptlinie, bedeutet daher nicht unbedingt auch t a t s ä c h l i c h eine höhere Zentralität. Netztopologisch ist dieser Sachverhalt jedoch nicht darstellbar.

Insgesamt gesehen geht aus den bisherigen Untersuchungen eindeutig hervor, daß größere räumliche Variationen der Eisenbahnnetzgestalt sich aus den als Graphen dargestellten Verkehrsnetzen und ihren Teilen herauslesen lassen und quantifiziert werden können.

Wie bereits in Kap. 3 demonstriert, wird damit auch im vorliegenden Kap. 4 unter einem neuen Blickwinkel, dem der räumlichen Variationen, die Anwendung netztheoretischer Verfahren auf ein konkretes Netz möglich. Die Variationen des Netzes sind gemäß diesem methodisch begrenzten Blickwinkel weitgehend erklärbar aus dem Wettbewerb zwischen Schiene und Straße und aus der noch in Unterkap. 44 zu erläuternden unterschiedlichen Raumordnungs- und Verkehrspolitik.

44 DIE VERKEHRS- UND RAUMORDNUNGSPOLITIK DES STAATES

Nach dem Bundesraumordnungsgesetz vom 8.4.1965, Paragraph 1[87], ist das Bundesgebiet in seiner allgemeinen räumlichen Struktur einer Entwicklung zuzuführen, die der freien Entfaltung der Persönlichkeit in der Gemeinschaft am besten dient. Einer der darin wesentlichsten gesellschaftspolitischen Grundsätze ist, daß in allen Teilen der Bundesrepublik gleichwertige Lebensverhältnisse geschaffen werden sollen.

---

87) Bundesgesetzblatt 1965, Teil 1, S. 306 - 310.

Dies muß auch für ländliche Gebiete, ebenso wie für städtische Verdichtungsräume[88] oder ländlich-verstädterte Bereiche gelten. Als Voraussetzung sind möglichst gleich gut ausgebildete Grundformen der Infrastruktur (Definition s. Abschnitt 41) anzustreben. Je geringer z. B. die Siedlungsdichte ist, desto höher werden die Kosten für die Infrastruktur, nicht nur für den Eisenbahnanschluß, sondern auch für Wasserleitungen, Kanalisation, Schulen und Krankenhäuser (s. Beispielgebiet Teilraum I).

Dasselbe gilt aber auch für Ballungsräume (s. Beispielgebiet Teilraum XII). Die öffentlichen Zusatzkosten (social costs) des Verkehrs, aber auch der anderen öffentlichen Einrichtungen, wachsen nach HOFFMANN[89] bei steigender Verdichtung der Bevölkerung überproportional.

Die Ausnutzung des Schienennetzes wird demnach in den gemischten ländlich-verstädterten Bereichen ökonomisch optimal. Die 120 übergeordneten zentralen Orte, die vom Niedersächsischen Ministerium des Innern ausgewählt wurden, werden hier übernommen in der Überzeugung, daß die oben genannten raumordnerischen Erkenntnisse, die auch für den Eisenbahnverkehr gelten, bei ihrer Ermittlung den Ausschlag gaben. Diese Erkenntnisse sollen hier zur Grundlage der weiteren empirischen Untersuchungen gemacht werden.

Pläne für eine neue, gesunde Strukturpolitik, die auch den Eisenbahnverkehr berücksichtigen und mit als Grundlage für ein zu konzipierendes Netzmodell dienen können, hat es besonders in den letzten Jahren viele gegeben. Vor allem das auf Bundesebene zusammengestellte verkehrspolitische Programm des Bundesministers für Verkehr (1967), der sog. "Leber-Plan"[90] ist

88) Der Begriff "Verdichtungsräume" (Def. s. S. 57, Fußnote 50) tritt heute häufiger an die Stelle des etwas älteren Begriffs "Ballungsräume" für Räume mit starker Verstädterung wie Hannover, Braunschweig usw.; s. Informationen zur Politischen Bildung, Raumordnung in der Bundesrepublik Deutschland (Mai/Juni 1968, Nr. 128, S. 10 ff).

89) R. HOFFMANN (1965, S. 97) hat diesen Sachverhalt in einem Schaubild dargestellt.

90) s. "Das verkehrspolitische Programm im Spiegel der öffentlichen Meinung" (Dez. 1967), hrsg. vom Bundesminister für Verkehr, Bad Godesberg, in dem der sogenannte Leberplan auf S. 9 - 23 und die geteilte Reaktion der Öffentlichkeit auf ihn erläutert werden.

zu nennen, der zwar eine mäßige Reduzierung des Gesamteisenbahnnetzes der Bundesrepublik, besonders von kaum zentrale Orte berührenden Nebenstrecken mit einem geringen Verkehrsaufkommen vorsieht, aber auch strikte Verbote für schwere Lastkraftwagen, die in ihrer großen Masse die vorhandenen Straßenverkehrswege verstopfen.

Durch den hartnäckigen Widerstand des Straßenverkehrsgewerbes gegen diesen Plan wird seine Durchführung jedoch immer wieder verzögert. So sind weitere Streckenstillegungen zu befürchten, die vor allem in den schwächer strukturierten Teilräumen Niedersachsens auch zentrale Orte treffen dürften.

Ländliche Gebiete, zu denen Teilraum I gerechnet werden kann, gehören in ihrer Infrastruktur im Hinblick auf das Eisenbahnnetz zu den Passivräumen. Sie sind fast ausschließlich mit Nebenlinien ausgestattet, die dem augenblicklichen Trend zufolge in ihrer Mehrheit bald stillgelegt werden müßten, wenn nicht eine neue überregionale Verkehrspolitik einschneidende und schnellwirkende Maßnahmen zur Förderung der Infrastruktur auch im Hinblick auf eine gute Verkehrserschließung durch Eisenbahnlinien ergreift.

Ein groß angelegter "Rückzug der Eisenbahn aus der Fläche" hätte zur Folge, daß der Gegensatz zwischen Stadt und Land sich weiter vergrößert.

Die erwünschte Dezentralisierung, besonders der Industrie, zur Gesundung der überfüllten Verdichtungsräume kann hingegen durch eine weitere Förderung des Nebenbahnnetzes begünstigt werden. Dabei sollte die Dezentralisierung in Niedersachsen weitgehend auf die ausgewählten zentralen Orte beschränkt bleiben.

Noch kleinere Siedlungen aus Landes- oder Bundesmitteln zu fördern, wäre finanziell und raumordnerisch nicht vertretbar. Aber auch der Trend zu einer größeren Ballung von Bevölkerung und Wirtschaftskraft fast ausschließlich in den großen Stadtzentren sollte nicht forciert werden. Die staatliche Unterstützung vor allem der kleineren zentralen Orte ist hingegen

volkswirtschaftlich, sozial- und wehrpolitisch von großem Vorteil[91].

Gegen die Stillegungspläne der Deutschen Bundesbahn ist in diesem Zusammenhang grundsätzlich nichts einzuwenden. Der "Leber-Plan" kommt ihnen entgegen, zumal in ihm die Deutsche Bundesbahn mehr als unabhängiges flexibles Wirtschaftsunternehmen mit Rentabilitätserwägungen denn als starrer Staatsbetrieb mit Beförderungspflicht gewertet wird. Nur sollten jene zentralen Orte bei den Stillegungsmaßnahmen möglichst unangetastet bleiben, die nur noch e i n e Verbindung mit dem Gesamtnetz haben. Als eine Verbindung gelten eine oder zwei Kanten im Graphen.

Die Deutsche Bundesbahn argumentiert heute, der Staat habe die Kosten zu tragen, wenn eine für sie unrentable Nebenlinie nicht stillgelegt werden solle. Soweit kleine und kleinste Stichbahnen und Nebenlinien ohne Anschluß an zentrale Orte von einer Stillegung betroffen werden, sollte der Staat nichts unternehmen. Es gibt davon in Niedersachsen immer noch ziemlich viele, die von vornherein in beiden als Graphen dargestellten Eisenbahnnetzen unberücksichtigt geblieben sind. Bereits dadurch ist eine erwünschte Straffung des Netzes eingetreten.

Das geringe Verkehrsaufkommen kann mühelos auf Personen- und Lastautomobile umgelagert werden, die viel besser und billiger die Fläche bedienen.

Wenn aber zentrale Orte betroffen sein sollten, die nur noch einen Anschluß an das Eisenbahnnetz haben, dann wäre es zu wünschen, daß der Staat hilfreich eingreift und im Interesse der ländlichen Passivräume Subventionen leistet, um ihr Gefälle gegenüber den verstädterten Aktivräumen nicht zu vergrößern, sondern zu verringern.

Neue Industrieansiedlungen bevorzugen auch heute noch einen Standort mit Gleisanschluß. Wenn er nicht mehr vorhanden ist, schwindet das Interesse. Die allgemeine Tendenz der ökonomi-

---

91) s. hierzu C. PIRATH (1937), Untersuchung über den Einfluß der Dezentralisierung der Industrie auf die Belastung der Wirtschaft durch Transportkosten (Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Heft 2).

schen Austrocknung der ländlichen Gebiete, die auch in dem jüngsten Raumordnungsbericht des Bundesministeriums des Innern (1969) bis 1980 und weiter bis zum Jahre 2000 prognostiziert wird, sollte durch den Staat mit allen Mitteln verhindert werden.

Zusammenfassend ergibt sich aus diesen Erkenntnissen für die Netzstruktur:

Die Übernahme der nach raumordnerischen Gesichtspunkten ausgewählten 120 zentralen Orte (vgl. Abschnitt 31) erscheint für die weiteren, direkt auf die bestehenden Kräfte des Raumes gerichteten Untersuchungen gerechtfertigt.

Zwar hätte auch eine rein an der Netzgestalt orientierte Auswahl von Knotenpunkten von drei und mehr Kanten und Endpunkten der Eisenbahn eine Möglichkeit der Untersuchung aufgezeigt. Nur wären dann die erwähnten wichtigen verkehrspolitischen und raumordnerischen Gesichtspunkte nicht in so starkem Maße berücksichtigt worden.

Ein entscheidendes Element für die Struktur des Netzes, die Knotenpunkte (V_n), ist unter diesen praktischen Gesichtspunkten für die gesamte empirische Untersuchung vorgegeben. Diese Gesichtspunkte sind für ein optimales Netzmodell, auf dem vorausschauende Planung und Prognose fußen können, sehr bedeutsam. Sie bestimmen Anzahl und Lagebeziehungen der übernommenen Knotenpunkte (V_n) und der Kanten (E_n) im Raume Niedersachsen.

Ein Netzmodell, das sie nicht berücksichtigen würde, hätte rein theoretischen Charakter und keine praktische Bedeutung.

Die im Raume wirkenden Kräfte wie Bevölkerung, Wirtschaftskraft usw., die in Kap. 4 entsprechend dem methodischen Blickwinkel und der Fragestellung nicht greifbar waren und in Kap. 5 in ihren Beziehungen zum Netz untersucht werden sollen, sind unter diesen Gesichtspunkten der Verkehrspolitik und Raumordnung im Modell und in der Praxis sinnvoll zu lenken und in ein möglichst harmonisches Gleichgewicht zu bringen.

5 KORRELATIONEN ZWISCHEN DEM EISENBAHNNETZ UND RELEVANTEN RAUMFAKTOREN IN NIEDERSACHSEN

Nachdem in Kap. 3 und 4 zeitliche und räumliche Unterschiede in der Struktur des niedersächsischen Eisenbahnnetzes untersucht und ausgewertet worden sind, wird nun der Versuch unternommen, direkte Beziehungen zwischen Netzindizes und verschiedenen als relevant zu ermittelnden Faktoren des geographischen Raumes herzustellen.

Die Beziehungen sind als funktionale Zusammenhänge zu kennzeichnen. Sie werden quantitativ als statistische Korrelationen mit Hilfe von Einfach- und multiplen Regressionsverfahren dargestellt.

51 ZUR THEORETISCHEN UND EMPIRISCHEN GÜLTIGKEIT VON KORRELATIONEN

Zunächst besteht lediglich die Hypothese, daß Korrelationen zwischen Eisenbahnnetz und dazugehörigem Raum vorhanden sein sollen. Dabei wird angenommen, daß Teilräume mit stark entwickelter Wirtschaftskraft auch gut entwickelte Eisenbahnteilnetze von komplexer Struktur aufweisen. Umgekehrt haben dann Teilräume mit geringer Wirtschaftskraft stark unterentwickelte Eisenbahnteilnetze.

Theoretisch und damit logisch kann ein solcher Zusammenhang durch mathematische Funktionsgleichungen exakt konstruiert werden (vgl. hierzu die Formeln 13-1, 13-2, 13-3 in Unterkap. 13).

In der Praxis müssen angenommene Zusammenhänge zwischen einzelnen abhängigen und unabhängigen Variablen wiederholt gemessen und getestet werden, um zu guten Approximationen und damit von der theoretischen zu einer immer besser werdenden empirischen Gültigkeit der Korrelationen zu kommen.

Es gibt viele verschiedenartige und -gewichtige Netz- und Raumfaktoren. Jeder einzelne Faktor beschreibt nur einen bestimmten Teil der Struktur des Eisenbahnnetzes oder des ökonomischen Raumes. Die Auswahl der am besten zusammenpassenden Faktoren ist daher mit Schwierigkeiten verbunden. Sie ist immer wieder verbesserungsfähig und in diesem Zusammenhang nur als b e i s p i e l h a f t für die Anwendung netztheoretischer und statistischer Methoden zu sehen. Die "Relevanz" eines Faktors ist unter diesem nur eine grobe Aussage zulassenden Gesichtswinkel zu betrachten.

Zu mehr oder weniger relevanten Aussagen über die ökonomische Potenz eines Raumes kann eine Unzahl von Faktoren herangezogen werden. Einige besonders gebräuchliche sind: Energieverbrauch pro Kopf der Bevölkerung, Durchschnittseinkommen, Industriebeschäftigte pro 1 000 Einwohner, Bevölkerungsdichte etc.[92].

Für die Untersuchung großer Mengen von Faktoren und ihrer Relevanz eignen sich besonders die statistischen Verfahren der Faktorenanalyse[93].

Um zunächst eine gewisse Vorstellung über den Zusammenhang von Netzindizes und relevanten Raumfaktoren zu erlangen, sind eine Reihe von Einfach-Regressionsanalysen durchgeführt worden. Die Eisenbahnteilnetze der 15 Teilräume (s. Fig. 32, die Kriterien zu ihrem Bau s. Abschnitt 52) wurden mit Hilfe von V_n, E_n, β und θ in ihrer Struktur quantitativ festgelegt und mit einigen relevanten Raumfaktoren korreliert[94].

Diese sind:

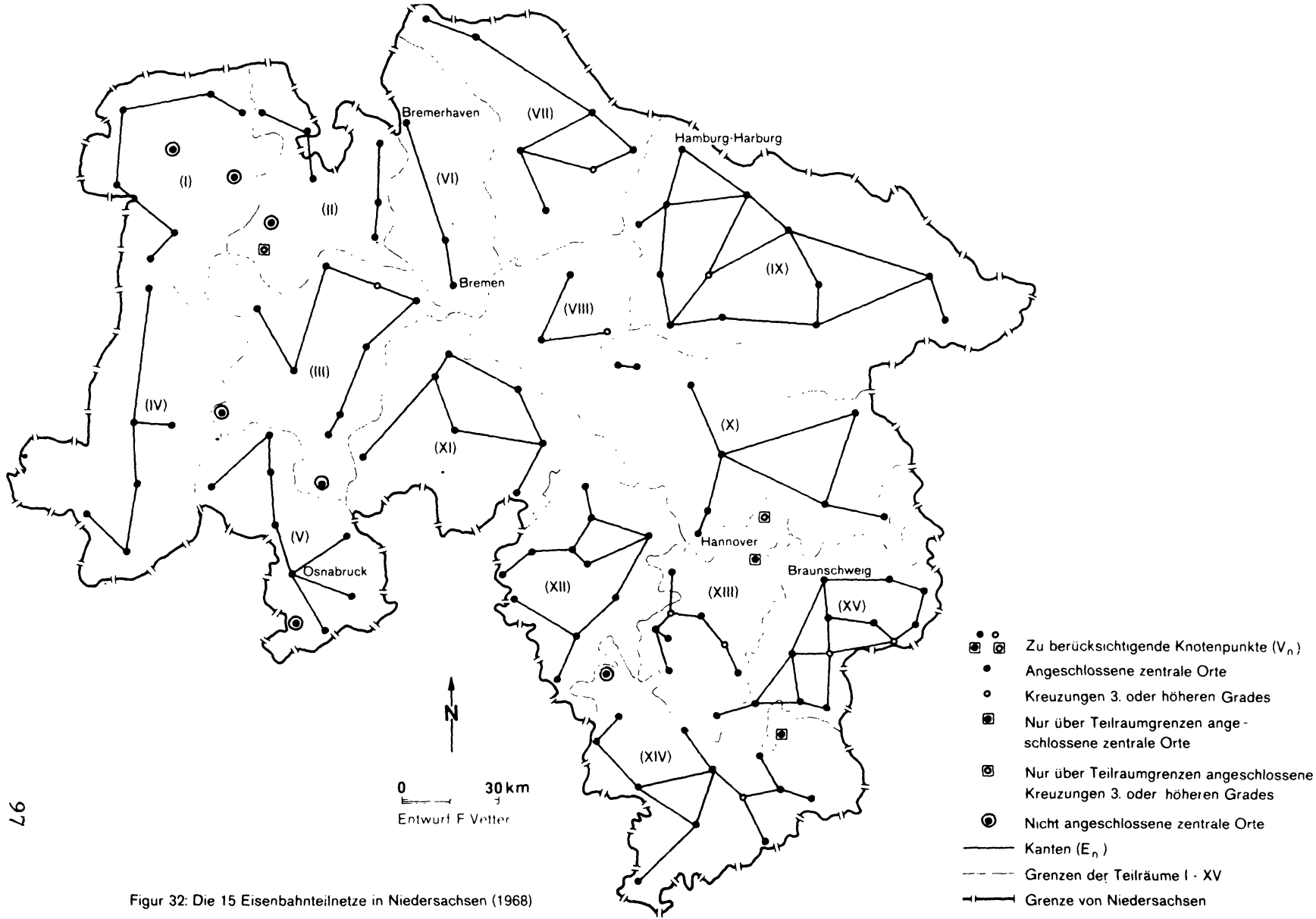
1. Ärzte pro 100 000 Einwohner,
2. Steuereinnahmen der Gemeinden je Einwohner,
3. Geburten- oder Sterbefallüberschuß je 1 000 Einwohner,
4. Anzahl der Schlepper in der Land- und Forstwirtschaft,
5. Schlepper pro km^2,
6. Personenkraftwagen je 1 000 Einwohner.

---

92) Eine große Anzahl ähnlicher Faktoren zur Wirtschaftskraft von geographischen Räumen wird untersucht bei: N. S. GINSBURG (1961) in seinem "Atlas of Economic Development".

93) Ausgiebig mit verschiedenen Techniken zur Faktorenanalyse beschäftigt sich als Geograph B. J. L. BERRY (1960, S. 78 - 107) und (1961, S. 110 - 119).

94) Die Daten über die relevanten Raumfaktoren wurden entnommen aus: Die kreisfreien Städte und Landkreise Niedersachsens in Zahlen (1967). Die Daten wurden von Kreisbasis auf Teilraumbasis umgerechnet. Zu den Spezialfällen Bremen und Bremerhaven, die vereinbarungsgemäß Teilraum VI zugeordnet sind, und Hbg.-Harburg (Teilraum IX) s. Fußn. zu Tab. 7. Die Raumindizes wurden aus praktischen Gründen für das Jahr 1966 ausgewählt, da 1967 wegen der wirtschaftlichen Rezession in der BRD ein für statistische Erhebungen ungünstiges Jahr ist und für 1968 noch keine Daten vorliegen. - Die Netzindizes sind dem Eisenbahnnetz von 1968, Fig. 28 und Fig. 32 entnommen.



Figur 32: Die 15 Eisenbahnteilnetze in Niedersachsen (1968)

In den sechs Diagrammen der Fig. 33 sind die gegenseitigen Beziehungen dargestellt. Es könnten hieran sehr interessante Untersuchungen, z. B. über die einzelnen Abweichungen vom Mittelwert, geknüpft werden. Sie müssen leider aus räumlichen Gründen hier unterbleiben.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß visuell relativ starke lineare Korrelationen zwischen den ausgewählten Netz- und Raumfaktoren festgestellt werden können. In Fig. 33 c besteht z. B. eine negative lineare Korrelation [95]. Der Netzindex θ in Fig. 33 f ist ebenfalls - hier relativ schwach - negativ korreliert.

Figur 33 c, d, e zeigen, daß allein der β-Index auf mehrere Raumfaktoren recht unterschiedlich reagiert, daß jeweils jedoch relativ starke Korrelationen bestehen[96].

Die vorläufigen empirischen Ergebnisse der Einfachkorrelation sind im Hinblick auf das weitere Vorgehen bei der multiplen Korrelation günstig und erfolgversprechend.

52 DIE ABHÄNGIGEN VARIABLEN

Als abhängige Variable (Y-Werte) für die multiple Korrelation wurde eine Auswahl von 8 Netzelementen und -indizes überprüft (s. Tab. 6).

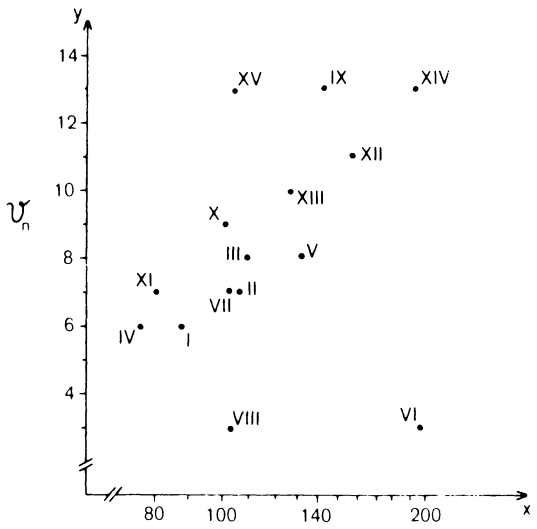
Es handelt sich um zwei Gruppen von je vier Netzindizes. Die erste Gruppe umfaßt V_n, E_n, den μ- und den β-Index. Diese Maßzahlen sind unabhängig von der Größe der einzelnen Teilnetze in Niedersachsen. Die zweite Gruppe, bestehend aus den Angaben über Gleislänge in km pro Teilnetz, dem η-, η_R- und θ_R-Index, ist direkt abhängig von der Größe der Teilnetze.

Die Indizes η und θ sind als abhängige Variable negativ linear korreliert - θ hier nur schwach (s. Fig. 33 f) - sowohl mit der ersten Gruppe als auch mit den unabhängigen Variablen.

---

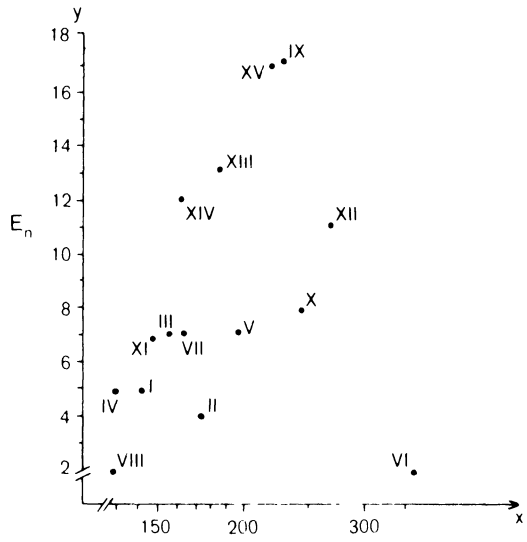
95) Die Werte für die hier schwierig einzuordnenden Teilräume VI und IX mit dem Land Bremen und Harburg sind dabei weggelassen.

96) Die empirische Basis von 15 Teilräumen, also 15 statistischen Beobachtungen, ist zwar ziemlich schmal, reicht aber für die Zwecke dieser Arbeit völlig.



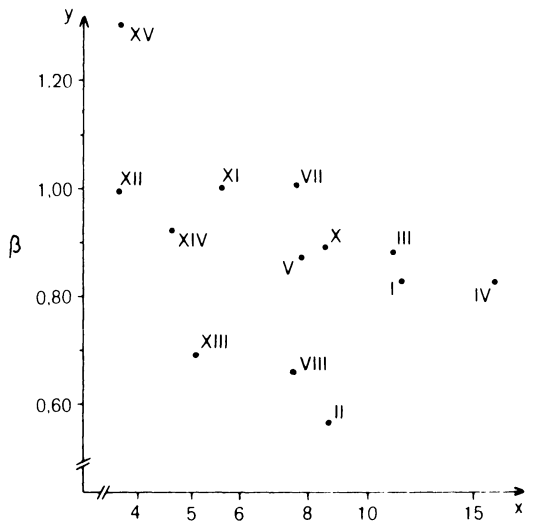
Arzte pro 100000 Einw

(a)



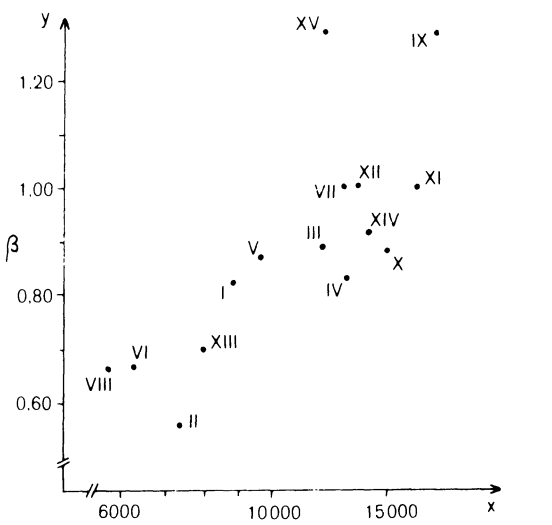
Steuereinnahmen der Gemeinden je Einw.

(b)



Geburten-oder Sterbefalluberschuß je 1000 Einw.

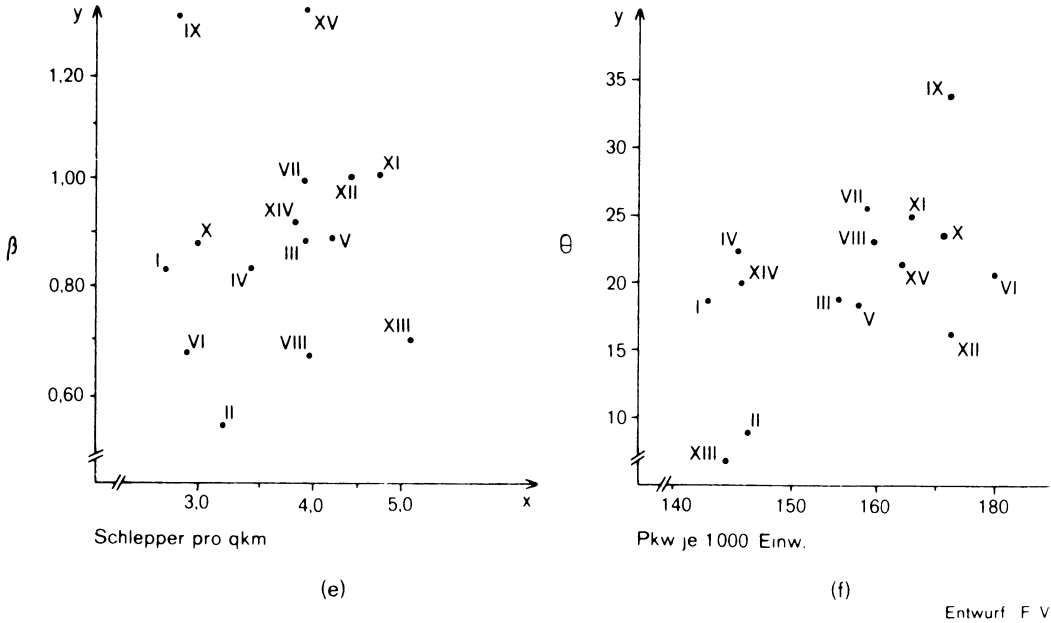
(c)



Anzahl der Schlepper in der Land- und Forstwirtschaft

(d)

Figur 33 (a-f) - Fortsetzung s. umseitig



Figur 33: Graphische Darstellung von Einfach-Korrelationsanalysen +)

+) Zu Quellen s. S. 96, Fußnote 94

Daher ergibt sich aus dem reziproken Wert η und $\theta = \eta_R$ und θ_R eine positive Korrelation mit den abhängigen Variablen der ersten Gruppe (s. Tab. 6).

Der Wert für V_n, E_n, μ und β wurde direkt aus den Abbildungen der 15 Teilnetze (Fig. 32) herausgelesen, wobei alle zentralen Orte und Kreuzungen (insges. 124) mitgezählt wurden, auch die, welche nur über Teilraumgrenzen mit dem niedersächsischen Eisenbahnnetz verbunden sind. An Kanten wurden nur solche gezählt, die innerhalb eines Teilraumes zentrale Orte und Kreuzungen verbinden.

Kanten, die über eine Teilraumgrenze hinweg Knotenpunkte verbinden, wurden nicht mitgerechnet. Eine spezielle Gewichtung dieser Kanten könnte z. B. dadurch vorgenommen werden, daß sie jeweils als halbe Kanten pro Teilraum gezählt würden. Auf diese Weise ergäbe sich bei Betrachtung aller Teilräume zusammen die vorher ermittelte Gesamtzahl aller Kanten (172) für das Netz von 1968.

Tabelle 6: Eine Auswahl abhängiger Variabler

Teil-raum	V_n	E_n	μ	β	K_n	$\eta = \frac{K_n}{E_n}$	$\eta_R = \frac{E_n \cdot 100}{K_n}$	$\theta_R = \frac{V_n \cdot 100}{K_n}$
I	6	5	0	0,83	113	22,6	4,42	5,31
II	7	4	0	0,56	65	16,3	6,15	10,77
III	8	7	0	0,88	153	21,9	4,58	5,23
IV	6	5	0	0,83	137	27,4	3,65	4,38
V	8	7	0	0,88	150	21,4	4,67	5,33
VI	3	2	0	0,67	63	31,5	3,17	4,76
VII	7	7	1	1,00	179	25,6	3,91	3,91
VIII	3	2	0	0,67	61	30,5	3,28	4,92
IX	13	17	5	1,30	449	26,4	3,79	2,89
X	9	8	1	0,89	215	26,9	3,72	4,19
XI	7	7	1	1,00	175	25,0	4,00	4,00
XII	11	11	1	1,00	189	17,2	5,82	5,82
XIII	10	7	0	0,70	76	10,9	9,21	13,16
XIV	13	12	1	0,92	262	21,8	4,58	4,96
XV	13	17	5	1,30	279	15,9	6,09	4,66
Mittel-wert:	8,3	7,9	1,0	0,89	171	21,7	4,59	4,83

Diese Maßnahme hätte jedoch keinen Einfluß auf die vergleichende Betrachtung der Gestaltung der Teilnetze. Sie unterbleibt daher.

Die Abgrenzung der 15 Teilnetze aus einem zusammenhängenden Netzkörper bildet selbstverständlich keinerlei reale Hindernisse für den Eisenbahnverkehr. Die Gestalt der Teilnetze soll hier nur methodisch in ihrer quantitativ und bildlich dargestellten unterschiedlichen Bedeutung zu statistischen Vergleichszwecken erfaßt werden.

Über die tatsächliche Bedeutung eines bestimmten Teilnetzes im Gesamtrahmen der 15 Teilnetze ist dabei noch keine bindende

Aussage getroffen. Die Aussage z. B., daß ein Teilnetz in seinem Beta-Wert über dem Durchschnitt der Grundgesamtheit von 15 Teilräumen liegt, kann durch weitere vergleichende Untersuchungen, die nicht nur netztheoretischer Art sein müssen, sondern angewandter Natur sein können, überprüft und getestet werden. Der netztheoretische Vergleich bietet dazu aber eine gute Ausgangsbasis.

Unverhältnismäßig schlecht schneidet bei Betrachtung von Tab. 6 Teilraum XIII als Durchgangsraum zwischen den beiden gut entwickelten Teilnetzen XII und XV ab. Der μ-Index zeigt sehr anschaulich, soweit vorhanden, die Anzahl der geschlossenen Kreise pro Teilraum an. Die Angabe des jeweiligen Mittelwertes läßt Schlüsse über die Größe der Abweichungen der einzelnen Indizes von der Regressionslinie zu.

Besonders geeignet als abhängige Variable für die multiple Korrelation erscheinen nach Überprüfung die Netzindizes $Y_1 = V_n$, $Y_2 = E_n$, $Y_3 = \beta$, und $Y_4 = \eta_R$.

53 DIE UNABHÄNGIGEN VARIABLEN

Als unabhängige Variable (X-Werte) für die multiple Korrelation sind vier relevante Raumfaktoren[97] ausgewählt worden, die beispielhaft für die ökonomische Potenz der 15 Teilräume Niedersachsens stehen können (s. Tab. 7):

X_1 (demographischer Faktor)
X_2 (Industrie-Faktor)
X_3 (Infrastruktur-Faktor)
X_4 (Agrar-Faktor)

Die vier Raumfaktoren können in sich wieder aus mehreren Einzelfaktoren bestehen. BERRY (1961) hat z. B. in seinem "technologischen Faktor" über 43 voneinander abhängige Einzelfaktoren mit Hilfe der Faktorenanalyse vereint. Bei einer so großen Anzahl von Einzelfaktoren entsteht die Gefahr, daß sich in manchen Fällen geradezu gegensätzliche Faktoren gegenseitig aufheben. Es steigt aber auch die Chance, daß der repräsentative Faktor eine bessere Approximation an die Realität widerspiegelt.

---

97) s. auch hierzu die sechs Raumfaktoren der Fig. 33 a-f.

Tabelle 7: Die unabhängigen Variablen[98)]

Teil-raum	X_1 Demograph. Faktor Einw. je km^2 am 1.1.1967	X_2 Industrie-Faktor Ind.-Besch. je 1000 Ew. 1966	X_3 Infrastrukt. Faktor Fertig.Wohnungen je 1000 Ew. 1966	X_4 Agrar-Faktor Ackerld.in % landw.Nutzfläche 1966
I	125	58	84	26
II	162	104	85	22
III	144	64	103	49
IV	83	88	87	42
V	186	130	78	49
VI	413	115	60	28
VII	92	49	120	36
VIII	93	54	103	46
IX	110	100	88	66
X	113	150	133	60
XI	83	61	92	50
XII	406	153	112	70
XIII	249	135	78	82
XIV	158	122	82	68
XV	278	140	98	80
Mittel-wert:	180	102	94	52

98) Für das Land Bremen und den Hamburger Stadtteil Harburg konnten nur die Bevölkerungswerte (für das Jahr 1966) ermittelt werden. Siehe hierzu: a) Statistische Monatsberichte Bremen (19. Jahrg. 1967), b) Hamburg in Zahlen (Jahrg. 1966/67). Die amtlichen Statistiken beider Stadtstaaten gehen bei der Zusammenstellung ihrer Daten von anderen Kriterien aus als Niedersachsen. Daher wurden, außer den Bevölkerungsdaten, alle anderen Daten aus den Angaben über die etwa vergleichbare Bevölkerungsagglomeration der Stadt Hannover, gemessen an der Bevölkerungszahl, ermittelt. Dabei wird unterstellt, daß sich im unmittelbaren Stadtbereich der vier Städte Hannover, Bremen, Bremerhaven und Hbg.-Harburg z. B. der Agrar-Faktor proportional zur Bevölkerung verhält.

Hier soll jeweils nur ein relevanter Raumfaktor als beispielhaft für eine der vier unabhängigen Variablen gelten:

Für X_1 steht: Einwohner je km^2 am 1. 1. 1967,

für X_2 steht: Industriebeschäftigte je 1 000 Einwohner 1966,

für X_3 steht: Fertiggestellte Wohnungen je 1 000 Einwohner 1966,

für X_4 steht: Ackerland in Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche 1966 (s. Tab. 7).

Durch graphische Einfach-Korrelationsanalyse wurde festgestellt, daß keine signifikanten Korrelationen zwischen diesen vier unabhängigen Variablen (X_1, ... X_4) bestehen. Damit ist bewiesen, daß sie wirklich unabhängig voneinander sind. Auch wurde ermittelt, daß $X_1 \ldots X_4$ positiv linear mit den Netzindizes korreliert sind.

Die Erörterung der Gründe für die einzelnen Abweichungen vom Mittelwert bei X_1, ... X_4 (s. Tab. 7) muß auch hier unterbleiben. Eine entscheidende Orientierungshilfe bieten wieder die Werte für Teilraum I und XII, die als gegensätzlich strukturierte Räume besonders auffallen.

54 DER INPUT

Das statistische Verfahren der multiplen Korrelationsanalyse, welches die Abhängigkeit des jeweiligen Y-Wertes von den unabhängigen Variablen (X_1, ... X_4) quantifizieren und damit abschätzen soll, ist im ökonometrischen Sinne als Input-Output-Analyse oder Einsatz-Ausstoßrechnung zu verstehen.

Die Input-Tabelle (s. Tab. 8) enthält Daten, welche für die Berechnungen herangezogen werden sollen. Es sind je vier Reihen Netzindizes und relevante Raumfaktoren.

Die multiple Regressionsanalyse basiert auf der Annahme, daß alle Werte linear abhängig sind. Alle ausgewählten abhängigen und unabhängigen Variablen wurden daher in Diagrammen getestet, ob lineare oder nicht-lineare Zusammenhänge zwischen den Daten gegeben sind. Die Ergebnisse ließen es ratsam erscheinen, die Reihen der vier unabhängigen Variablen (X_1, X_2, X_3,

Tabelle 8: Der Input

Teil-raum	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4		X_1	X_2	X_3	X_4
I	6	5	0,83	4,42		2,097	1,763	1,924	1,415
II	7	4	0,56	6,15		2,210	2,017	1,929	1,342
III	8	7	0,88	4,58		2,158	1,806	2,013	1,690
IV	6	5	0,83	3,65		1,919	1,945	1,940	1,623
V	8	7	0,88	4,67		2,270	2,114	1,892	1,690
VI	3	2	0,67	3,17		2,616	2,061	1,778	1,447
VII	7	7	1,00	3,91		1,964	1,690	2,079	1,556
VIII	3	2	0,67	3,28		1,969	1,732	2,013	1,663
IX	13	17	1,30	3,79		2,041	2,000	1,945	1,820
X	9	8	0,89	3,72		2,053	2,176	2,124	1,778
XI	7	7	1,00	4,00		1,919	1,785	1,964	1,699
XII	11	11	1,00	5,82		2,609	2,185	2,049	1,845
XIII	10	7	0,70	9,21		2,396	2,130	1,892	1,914
XIV	13	12	0,92	4,58		2,199	2,086	1,914	1,833
XV	13	17	1,30	6,09		2,444	2,146	1,991	1,903

X_4) logarithmisch zu transformieren[99].

Die Input-Daten wurden mit Hilfe eines IBM-Computers Nr. 1130 FORTRAN[100] der multiplen Regressionsanalyse unterzogen.

55 DER OUTPUT

Tab. 9 gibt die Ergebnisse der vier Regressionsanalysen in Form von Werten für die Regressionskoeffizienten wieder.

Tabelle 9: Die Regressionskoeffizienten

Y	X_1	X_2	X_3	X_4	a
1. V_n	-1.36183	6.53565	2.38991	10.40781	-23.85167
2. E_n	-0.76973	4.14131	3.45657	15.93576	-32.20596
3. β	-0.00974	-0.17542	0.31842	0.72187	- 0.57543
4. η_R	2.42949	0.39284	-1.02449	2.59188	- 3.70928

Jede Zeile der Tabelle kann in die Formel 13-3 in Unterkap. 13 eingesetzt werden. Dann lautet z. B. die erste Zeile von Tab. 9:

$$Y_1 = -23,85167 - 1,36183\ X_1 + 6,53565\ X_2 + 2,38991\ X_3 + 10,40781\ X_4 \pm e$$ [101],

99) Zwar erhält man mit der Methode des Logarithmierens keine exakten Schätzwerte im Sinne der Methode der kleinsten Quadrate (Chi-Quadrat), sondern nur Näherungslösungen, aber diese reichen hier völlig aus, um den Zusammenhang zwischen Verkehrsnetz und geographischem Raum zu demonstrieren.

100) Der IBM-Computer Nr. 1130 für FORTRAN - Programme wurde freundlicherweise vom Institut für Angewandte Statistik der Freien Universität Berlin für die Berechnungen zur Verfügung gestellt. - Das angewandte Programm s. in: IBM Application Program H-20-0225-1 (1967, 2. Aufl., 1130 Scientific Subroutine Package, 1130-CM-02X, Application Description), White Plains, N.Y. Zur kurzen Erläuterung von Spezialbegriffen der Computersprache siehe: Glossary der Datenverarbeitung (1967).

101) Im allgemeinen wird angenommen, daß dieses e (error term) normalverteilt ist mit dem Erwartungswert Null.

wobei $Y_1 = V_n$, X_1 = Demographischer Faktor, X_2 = Industriefaktor, X_3 = Infrastrukturfaktor, X_4 = Agrarfaktor.

So geben alle vier Gleichungen den jeweiligen Einfluß der unabhängigen Variablen auf die gegebene abhängige Variable Y als Regressionskoeffizienten $b_{i(i=1, \ldots n)}$ an. Wie groß die Zuverlässigkeit des durch die Regressionskoeffizienten angegebenen Zusammenhanges zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen im einzelnen ist, kann durch weitere statistische Verfahren abgeschätzt werden, z. B. durch die Analyse der multiplen Korrelationskoeffizienten (s. Tab. 10).

Die Werte (r^2) werden nacheinander in den einzelnen Zeilen so eingesetzt, daß der erste Wert für r^2 das Ausmaß der Varianz, der Streuung in Y angibt, welches durch die erste unabhängige Variable X_1 bedingt ist.

Der zweite Wert für r^2 stellt das Ausmaß der Streuung dar, welches durch die erste und die zweite unabhängige Variable (X_1 und X_2) zusammen verursacht worden ist.

Tabelle 10: Kumulative multiple Korrelationskoeffizienten (r) und Bestimmtheitsmaße (= r^2)

Y		X_1	X_2	X_3	X_4
1. V_n	r	0.21298	0.58410	0.63022	0.77548
	r^2	0.04536	0.34117	0.39718	0.60137
2. E_n	r	0.14974	0.44859	0.51492	0.71035
	r^2	0.02242	0.20123	0.26514	0.50460
3. β	r	-0.05035	0.20895	0.37462	0.61276
	r^2	0.00254	0.04366	0.14034	0.37547
4. η_R	r	0.46726	0.49694	0.49867	0.55137
	r^2	0.21833	0.24695	0.24867	0.30401

Der letzte Wert einer Zeile gibt die gesamte Varianz in Y an, die durch alle vier Variablen (X_1, ... X_4) bedingt ist. Der

Wert 0,60137 in der letzten Spalte der zweiten Zeile z. B. bedeutet, daß ca. 60 % der gesamten Varianz von V_n durch die Variablen (X_1, ... X_4) erklärt werden konnten. Die restlichen 40 % sind auf sonstige Einflüsse zurückzuführen. V_n ist also gemäß Tab. 10 am stärksten mit den vier unabhängigen Variablen X_1, X_2, X_3 und X_4 korreliert.

Tabelle 11: Der mittlere Fehler der Schätzfunktionen[102)]

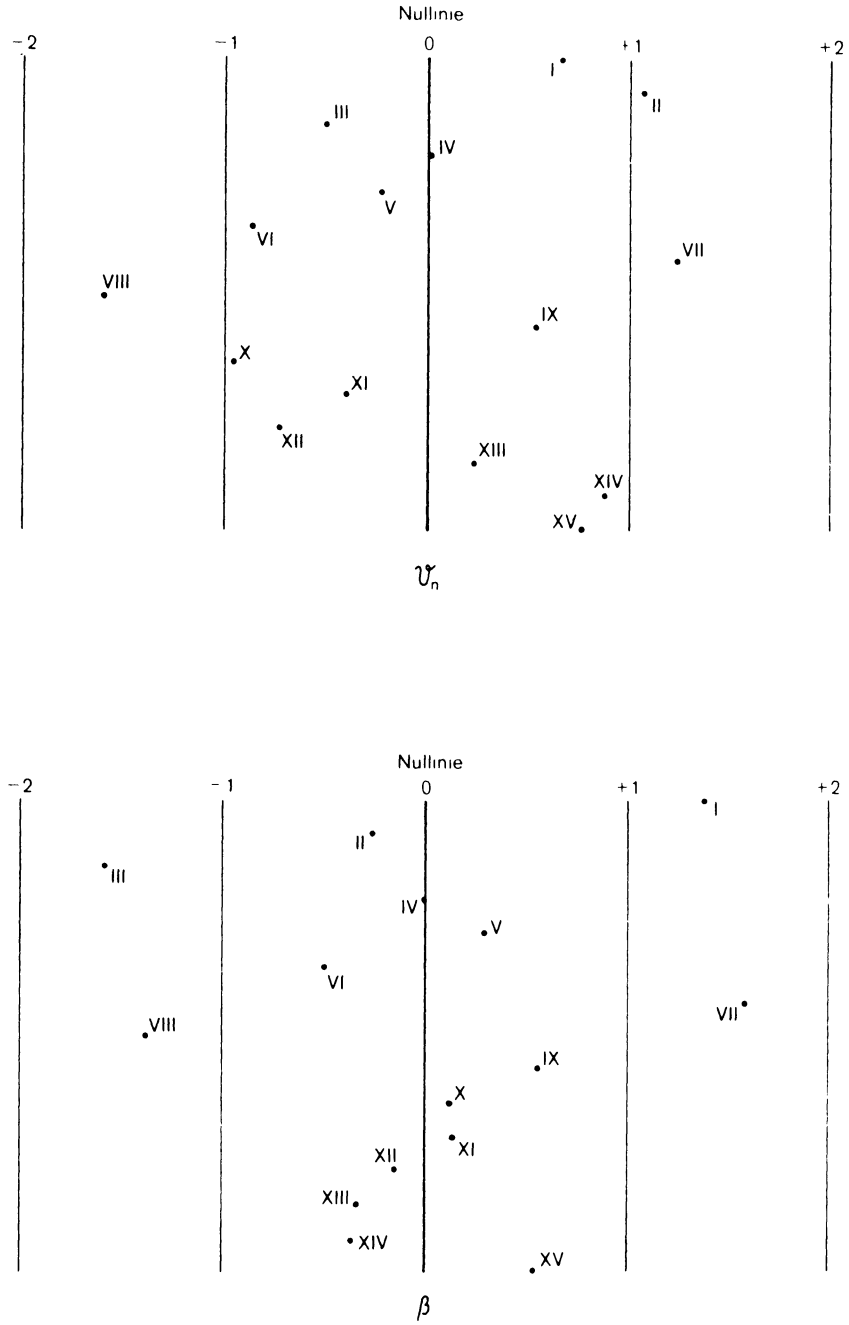
Y	Mittlerer Fehler der Schätzfunktionen
1. V_n	2.43655
2. E_n	3.84049
3. β	0.19711
4. η_R	1.54010

In Tab. 11 ist der jeweilige mittlere Fehler der vier Schätzfunktionen angegeben. Er zeigt an, wie genau die Schätzungen ausgefallen sind. Wenn man z. B. den Beta-Wert für Teilraum XII (Hannover - Weserbergland) aus der Gleichung 13-3 errechnet, so ist es wahrscheinlich, daß dieser Schätzwert von dem beobachteten abweicht.

Durch Subtraktion des berechneten von dem beobachteten Beta-Wert für Teilraum XII ergibt sich die Abweichung des tatsächlichen vom Erwartungs-Wert. Für alle 15 Beobachtungen insgesamt ergibt sich so die Gesamtabweichung (Fig. 34).

Der mittlere Fehler der gesamten Schätzfunktion ist gleichzeitig die Standard-Abweichung obiger Abweichungen für alle 15 Beobachtungen (Teilräume). Die beiden Diagramme in Fig. 34 sollen die Verteilung des mittleren Fehlers der Regressionsgleichungen für V_n und β veranschaulichen. Die Punkte, welche nahe

102) In der Computersprache heißt dieser Begriff "Standard Error of the Estimates".



Figur 34. Graphische Darstellung der Abweichung beobachteter von berechneten Werten fur die 15 Teilraume +)

+) **Ausgiebig behandelt wird die Analyse von Streuungsdiagrammen von dem Geographen E. N. THOMAS (1960).**

an der Null-Linie innerhalb des Ein-Sigma (σ)-Bereichs liegen, können als gute Schätzwerte bezeichnet werden.

Die F-Verteilung in Tab. 12 ermöglicht stochastische oder wahrscheinlichkeitstheoretische Aussagen darüber, ob der Zusammenhang zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen statistisch gesichert (signifikant) ist.

Tabelle 12: Die F-Verteilung

Y	F-Wert
1. V_n	3.77159 *
2. E_n	2.54654
3. β	1.50309
4. η_R	1.09204

Die Gesamtheit der unabhängigen Variablen wird dabei getestet, ob sie zusätzliche signifikante Informationen zur Erklärung der Varianz der einzelnen abhängigen Variablen geben. Der Wert mit einem Stern (*) hat eine Signifikanzzahl[103] oder Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %[104]. Bei den anderen drei Werten kann die Vermutung, daß die Parameter gleich Null, also statistisch unbedeutend sind, nicht abgelehnt werden.

Die für den Fortgang der Arbeit relevanten Schlußfolgerungen aus den Output-Daten sollen in einer Interpretation gezogen

103) Wenn ein Wert eine Signifikanzzahl von 5 % (oder 1 %) hat, dann bedeutet dieses, daß in 5 von 100 Fällen (oder 1 von 100 Fällen). die Wahrscheinlichkeit besteht, daß der Wert tatsächlich nicht signifikant, nicht statistisch gesichert ist.

104) Der Wert mit einem Stern (s. Tab. 12) liegt über dem theoretischen Wert der F-Verteilung, der für die Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % laut Tabelle 3,6 beträgt. Das bedeutet, daß bezüglich dieses Wertes die Hypothese, daß die Parameter gleich Null sind, abgelehnt werden muß.

werden. Dabei kann nur kurz auf die einzelnen Ergebnisse eingegangen werden.

56 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

Die Output-Daten geben als Ergebnisse die Regressionskoeffizienten und die Stärke des statistischen Zusammenhanges der vier Regressionen an. Wie die Varianzen in Tab. 10 demonstrieren, besteht eine starke Korrelation zwischen allen unabhängigen Variablen und der ersten abhängigen Variablen, der Anzahl der Knotenpunkte (V_n).

Die Anzahl der relevanten Knotenpunkte scheint daher zumindest im mitteleuropäischen Raum, der im Vergleich zur gesamten Welt relativ homogen in seinen ökonomischen,technologischen und klimatischen, allgemein in seinen physisch- und anthropogeographischen Gegebenheiten ist, ein entscheidendes Kriterium für die Wirtschaftskraft und die Netzstruktur eines Teilraumes zu sein[105]. Die drei anderen Netzindizes E_n, β und η_R treten hier etwas an Bedeutung zurück.

Die F-Verteilung in Tab. 12 bestätigt, daß die Korrelation zwischen der abhängigen Variablen Y_1 und den unabhängigen Variablen (X_1 ... X_4) statistisch gesichert (signifikant) ist.

Die in Formel 13-3 ausgedrückte Arbeitshypothese, daß zwischen den vorgeschlagenen netztheoretischen Strukturindizes zum niedersächsischen Eisenbahnnetz und regionalen Unterschieden im wirtschaftlichen Entwicklungsstand Korrelationen bestehen, kann nach den voraufgegangenen empirischen Untersuchungen in ihrem statistischen Gehalt nicht verneint werden.

Besonders der netztheoretische Index V_n, erheblich weniger jedoch als erwartet auch E_n, β, η_R, sind daher als gültige Maße für die Struktur des niedersächsischen Eisenbahnnetzes anzuerkennen, zum Zwecke, Teilnetze und Teilräume miteinander zu vergleichen.

---

105) Bei einer Untersuchung, die auch dicht bevölkerte Entwicklungsländer einbeziehen würde, müßten ganz andere Kriterien für die Wirtschaftskraft eines Raumes an erster Stelle stehen.

So haben wirtschaftlich stark entwickelte Teilräume, im allgemeinen also Teilräume mit hohem X_1, X_2, X_3 und X_4, auch Eisenbahnteilnetze mit einer relativ großen Anzahl von Knotenpunkten (zentralen Orten) und, statistisch weniger gesichert, auch Kanten. Die weniger entwickelten Teilräume weisen entsprechend geringere Werte für V_n und E_n auf. Am besten ist dieser Gegensatz an den Beobachtungen über Teilraum I und Teilraum XII zu erkennen (s. Tab. 7 und 8).

Schwächer reagiert der Konnektivitätsindex β, der die Anzahl von Kanten pro Knotenpunkt angibt. Je größer hier vor allem der Agrar-Faktor X_4 in einem Teilraum ist, desto stärker wächst die Konnektivität und umgekehrt (s. auch Tab. 10). In weiter abgeschwächter Form verhält sich der Industriefaktor bei β ebenso. Besonders stark ist dieser mit V_n verbunden. Der Agrar-Faktor ist weiterhin stärker korreliert mit V_n und E_n (s. Tab. 10).

Je größer die Wirtschaftskraft eines Teilraumes ist, desto kleiner wird jedoch die durchschnittliche Kantenlänge des niedersächsischen Eisenbahnnetzes. Der η-Index ist im Gegensatz zu den drei anderen Netzindizes negativ mit der ökonomischen Potenz eines Teilraumes korreliert. Besonders stark ist diese negative Korrelation zum demographischen Faktor. Der reziproke Wert für η führt zu dem ebenfalls positiv korrelierten η_R-Wert. Letzterer ist also nach Tab. 10 stärker korreliert besonders mit dem demographischen Faktor. η_R besagt, daß auf 100 km Eisenbahn-Netzlänge pro Teilraum um so mehr Kanten kommen, je größer der Entwicklungsstand eines Teilraumes, gemessen an X_1 ... X_4, ist.

Korrelationen zwischen Netzstruktur und relevanten Raumfaktoren sind in Zeit und Raum ständigen Wandlungen unterworfen. Über die in diesen Studien aufgestellten einschränkenden und die Korrelation fixierenden Kriterien ist bereits an anderer Stelle (in den Abschnitten 51, 52 und 53) gesprochen worden.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen können sicher noch erheblich durch immer wieder veränderte Input-Daten verbessert werden, bei denen man nach erweiterten Experimenten andere Akzente setzt.

Das Ziel dieses Kapitels war, die Anwendung neuerer netztheoretischer und statistischer Methoden von einem bestimmten Blickwinkel her, dem des statistischen Zusammenhangs zwischen Netz und Raum, zu demonstrieren. Dabei sollten entwickelte und unterentwickelte Teilnetze mit ökonomischen Aktiv- und Passivräumen gekoppelt werden. Dieses Ziel ist bei aller noch vorhandenen Unschärfe der Zusammenhänge meines Erachtens erreicht.

Nicht bestätigt hat sich dabei die Annahme, daß außer dem Index V_n, der Anzahl der Knotenpunkte, auch die anderen abhängigen Variablen E_n, β und η_R einen Zusammenhang mit den vier unabhängigen Variablen, den Raumfaktoren, erkennen lassen, der nach der F-Verteilung (s. Tab. 12) statistisch gesichert ist.

Auf feinere Unterschiede in der Netzgestalt, die z. B. durch die Indizes β und η_R ausgedrückt werden, reagieren die Raumfaktoren nur schwach. Hier wären die angewandten Methoden erheblich zu verfeinern.

Mit groben Unterschieden in der Netzgestalt, gemessen an der jeweiligen Anzahl der Knotenpunkte V_n, einem der wichtigsten Netzindizes, korrelieren sie hingegen recht gut.

Es erweist sich dabei, daß die Gegensätze hauptsächlich zwischen ländlichen und verstädterten Bereichen zu sehen sind, wie Teilraum I und Teilraum XII exemplarisch belegen (s. Tab. 7 und 8).

Da im allgemeinen dem ländlichen Bereich eine geringere Bevölkerungsdichte als dem verstädterten zugeschrieben werden kann, ist der statistisch erwiesene Schluß erlaubt, daß die B e v ö l k e r u n g s d i c h t e als relevanter Raumfaktor X_1 entscheidend für die Ausprägung der Netzstruktur der Eisenbahn im niedersächsischen Raume ist.

Es wurde durch V_n (in Tab. 6) und die ausgewählten relevanten Raumfaktoren X_1 ... X_4 (in Tab. 7) in Tab. 9 - 12 statistisch bewiesen:

Je größer die Wirtschaftskraft in einem Teilraum ist, desto größer ist die Anzahl der V_n, der Knotenpunkte. Die flächenförmige Verteilung von X_1 ... X_4 wird durch die punktförmige

Verteilung der Bevölkerung in den zentralen Orten annähernd proportional wiedergegeben.

Eine Gewichtung der zentralen Orte mit ihren Einwohnerzahlen soll in Kap. 6 zu einem Maßstab ihrer Bedeutung und schließlich experimentell zu einem optimalen Eisenbahnnetz-Modell für Niedersachsen führen.

6 SIMULATION EINES EISENBAHNNETZ-MODELLS FÜR NIEDERSACHSEN

61 VORBEMERKUNGEN

Das letzte Ziel dieser Studie ist die Simulation[106] eines Eisenbahnnetz-Modells für Niedersachsen und der zeichnerische und quantitative Vergleich dieses Modells mit dem 1968 bestehenden Netz. Es wird dabei fiktiv davon ausgegangen, daß es in Niedersachsen, analog etwa zu den europäischen Kolonien in außereuropäischen Erdteilen zu Beginn des 20. Jahrhunderts, noch keine Eisenbahnen gibt, aber die Verkehrsspannungen zwischen den zentralen Orten vorhanden sind und darauf warten, durch den Bau eines Eisenbahnnetzes befriedigt zu werden.

Andere Verkehrsnetze spielen keine Rolle, d. h. sie sind entweder nicht vorhanden oder können überall gleichmäßig den Gesamtverkehrsbedarf nicht decken.

Wie soll eine ökonomisch optimale Netzgestalt, die außer den aus raumordnerischen Gesichtspunkten (Abschnitt 44) als Netzindex (V_n) vorgegebenen zentralen Orten keine historisch gewachsenen und räumlich bedingten Widerstände kennt, aussehen?

Wie können die stärksten Verkehrsspannungen, die nach den Ergebnissen von Kap. 5 von den zentralen Orten mit den größten Einwohnerzahlen ausgehen müssen, als erste durch den Bau von Verbindungslinien ausgeglichen werden?

Diese Fragen hinsichtlich eines "Idealnetzes" sollen im folgenden geklärt werden.

---

106) Unter Simulation ist die Darstellung oder Nachbildung von technischen Vorgängen, Systemen oder Zuständen durch Modelle zu verstehen, die durch bestimmte Techniken, u. U. mit Hilfe von Computern ermittelt werden.

62 KRITERIEN FÜR DAS NETZMODELL

Nachdem (in Kap. 5) festgestellt wurde, daß zwischen Eisenbahn-Netzgestalt und relevanten Raumfaktoren, speziell dem Bevölkerungsfaktor, stabile funktionale Beziehungen bestehen, kann nun, von letzterem Faktor in Form der Einwohnerzahl der zentralen Orte punktförmig ausgehend, der Versuch unternommen werden, ein Netzmodell zu konstruieren. Weitere denkbare Kräfte, die auf die Ausbildung eines Eisenbahnnetzes einwirken, z. B. andere Verkehrsnetze, andere innenbürtige Kräfte wie Gewässernetz oder Moore, andere außenbürtige Kräfte (wie schon in Kap. 1 erwähnt) sind bewußt unberücksichtigt geblieben, da sie in diesem Zusammenhang nicht als die entscheidenden Faktoren angesehen werden.

Zwei Annahmen sind hingegen für das Netzmodell von Bedeutung:

1. Es wird angenommen, daß sich die Struktur des Netzes in mehreren Phasen durch sukzessive Addition von Kanten, welche die zentralen Orte miteinander verbinden, von einer zunächst nicht wahrscheinlichen Phase immer mehr einer wahrscheinlicheren Struktur des Idealnetzes annähert.
2. Die wahrscheinlichste Netzgestalt orientiert sich an der Lage der zentralen Orte, d. h. an ihrer räumlichen Verteilung und an der Reihenfolge ihrer Bedeutung als Bevölkerungsschwerpunkte.

Obige Annahmen führen zu mehreren Kriterien als Ausgangsbasis für die einzelnen Phasen der Annäherung an das Idealnetz:

1. Es muß eine bestimmte Anzahl von Knotenpunkten als Bevölkerungszentren oder zentrale Orte in dem behandelten Raum ausgewählt werden, die an das Verkehrsnetz angeschlossen werden sollen.
2. Die zentralen Orte müssen in einer bestimmten Reihenfolge aufgeführt werden.
3. Die zentralen Orte sind auf einer Karte zu lokalisieren.
4. Neben der Anzahl der Knotenpunkte (V_n) ist die Anzahl der Kanten (E_n) zu bestimmen. Gegebenenfalls sind als Einschränkung weitere netztheoretische Indizes heranzuziehen.

Nach Anwendung obiger Kriterien auf den Raum Niedersachsen

kann an die zeichnerische Konstruktion des Netzmodells mit Hilfe einer noch zu erläuternden einfachen Simulationstechnik[107] in mehreren Phasen herangegangen werden. Dabei sollen sich seine positiven Eigenschaften an den in Unterkap. 44 ausführlich verbal formulierten verkehrspolitischen und raumordnerischen Gesichtspunkten orientieren. Die ausgewählten zentralen Orte spielen dabei in ihrer Gesamtzahl als Netzindex (Knotenpunkte V_n) und in ihrer Lage im Raum eine entscheidende Rolle.

63 ANWENDUNG DER KRITERIEN AUF DEN RAUM

Kriterium 1 aus Abschnitt 62, die Anzahl der zentralen Orte, wird für die erste Phase der Simulation mit den 20 einwohnermäßig größten zentralen Orten in Niedersachsen (40 000 Ew. und mehr) einschließlich Bremen, Bremerhaven und Hamburg-Harburg erfüllt (s. Tab. 13).

Alle übrigen zentralen Orte im Lande Niedersachsen (insgesamt 119) werden erst in der zweiten und dritten Phase der Konstruktion des Idealnetzes berücksichtigt.

Kriterium 2 ergibt sich aus der Reihenfolge der Einwohnerzahlen der 20 größten zentralen Orte[108]. Die Stadt Bremen steht in dieser Reihenfolge mit 603 000 Ew. an erster Stelle, die Stadt Goslar mit 41 000 Ew. an letzter Stelle. Die an den Einwohnerzahlen gemessene Rangfolge ist in der folgenden Fig. 35 jeweils in Klammern angegeben.

Versuche, für die ideale Netzdarstellung die zentralen Orte noch mit anderen Daten zu gewichten, etwa mit der ökonomischen

---

107) Eine ähnliche Simulationstechnik wurde auch von KANSKY (1963) bei seiner Darstellung eines Eisenbahn-Netzmodells für die Insel Sizilien angewandt. Die zeichnerische Konstruktion kann auch durch Computer - Simulationstechniken ersetzt werden, die aber vorläufig noch zu keinen besseren Ergebnissen führen (vgl. Unterkap. 25).

108) Die Einwohnerzahlen der zentralen Orte für Niedersachsen einschließlich Land Bremen und Hamburg-Harburg sind entnommen:
a) Die Bevölkerung der Gemeinden in Niedersachsen am 31. 12. 1967 (1968),
b) Statistische Monatsberichte Bremen (20. Jg 1968),
c) Hamburg in Zahlen (Jg 1967/68).

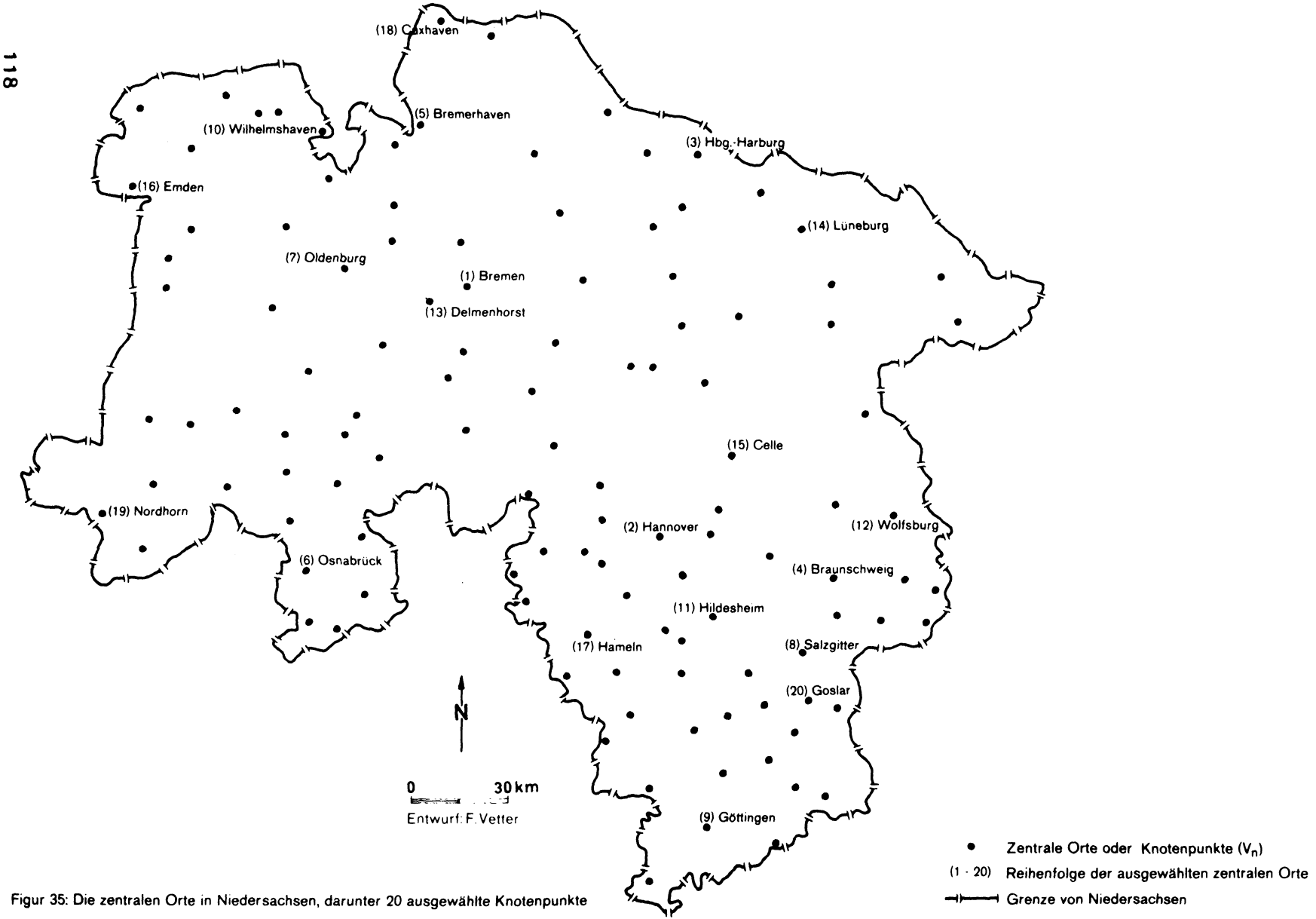
Tabelle 13: Einwohnerzahlen der 20 größten zentralen Orte im Raume Niedersachsen (1968)

Rang	Zentraler Ort	Einwohner[109)]
(1)	Bremen	603 000
(2)	Hannover	527 000
(3)	Hamburg-Harburg[110)]	207 000
(4)	Braunschweig	229 000
(5)	Bremerhaven	148 000
(6)	Osnabrück	140 000
(7)	Oldenburg	131 000
(8)	Salzgitter	118 000
(9)	Göttingen	112 000
(10)	Wilhelmshaven	102 000
(11)	Hildesheim	97 000
(12)	Wolfsburg	83 000
(13)	Delmenhorst	62 000
(14)	Lüneburg	60 000
(15)	Celle	56 000
(16)	Emden[111)]	47 000
(17)	Hameln	47 000
(18)	Cuxhaven	46 000
(19)	Nordhorn	42 000
(20)	Goslar	41 000

109) Die Einwohnerzahlen sind auf 1000 auf- oder abgerundet. Zu ihrer Herkunft s, Fußn. 108.

110) Hamburg-Harburg ist trotz geringerer Einwohnerzahlen vor Braunschweig placiert. Hamburg wird so in bescheidenem Maße mit gewichtet.

111) Emden hat einige Hundert Einwohner mehr als Hameln (17).



Figur 35: Die zentralen Orte in Niedersachsen, darunter 20 ausgewählte Knotenpunkte

Rangfolge der 15 Teilräume, dem Bruttoinlandprodukt je Kopf der Wirtschaftsbevölkerung oder den Steuereinnahmen in DM je Einwohner, erbrachten keine besseren Ergebnisse als die einfache Gewichtung mit der jeweiligen Einwohnerzahl.

Das Eisenbahnnetz reagiert im mitteleuropäischen Bereich ohne allzugroße ökonomische Gegensätze nicht besonders sensibel auf andere Einflüsse als die Bevölkerungsdaten. Daher spielen solche Einflüsse im Endergebnis keine Rolle für das Netzmodell.

Die gesondert nach ihrer erhöhten Bedeutung als Bevölkerungszentren ausgewählten 20 zentralen Orte und auch die übrigen zentralen Orte in Niedersachsen werden gemäß Kriterium 3 in eine Karte eingetragen (s. Fig. 35).

Nach Kriterium 4 sind außer der Anzahl der Knotenpunkte V_n weitere graphentheoretische Indizes zu bestimmen. In diesem Falle reichen die Netzelemente V_n und E_n als Kriterien und Einschränkung der Netzstruktur aus. Das Netz der ersten Annäherungsphase von 19 Kanten (E_n) mit minimaler Konnektivität erhält durch sinnvolle[112)] Zuordnung weiterer 22 Kanten, also insgesamt von 41 Kanten, eine erheblich wegereichlichere Struktur. Die Addition weiterer Kanten hängt
a) von der Simulationstechnik in Kap. 64,
b) von der Bedingung (Kap. 31 und 44)
ab, daß alle zentralen Orte an das Idealnetz für Niedersachsen anzuschließen sind.

64 DIE GESTALTUNG DES NETZMODELLS

Die Gestaltung des Eisenbahn-Netzmodells für Niedersachsen geht, ausgehend von Fig. 35, in drei Phasen vor sich. Die erste Phase des simulierten Eisenbahnnetzes (s. Fig. 36) besteht aus zwei Abschnitten.

---

112) Das Adjektiv "sinnvoll" kann durch weitere Kriterien streng begrenzt werden. Versuche, weitere Kanten als die angegebenen 41 im Netz zu placieren, wurden als nicht sinnvoll aufgegeben. Sie verliefen ausnahmslos fast parallel zu bereits vorhandenen Kanten, bildeten sehr spitze Winkel mit diesen und boten damit keine sinnvollen Alternativverbindungen zwischen den Knotenpunkten.

Im ersten Abschnitt soll ein Netz von minimaler Konnektivität, ein topologischer Baum, entstehen. Das Netz soll lediglich auf die 20 größten zentralen Orte ausgerichtet sein. Alle übrigen zentralen Orte bleiben zunächst unberücksichtigt. Dazu werden die beiden größten Knotenpunkte oder zentralen Orte (1) Bremen, (2) Hannover durch Kante 1 verbunden (ausgezogene Linie in Fig. 36).

Bei einem nur auf niedersächsische Verkehrsbedürfnisse ausgerichteten Netz wäre Kante 1 in der Tat die erste Eisenbahnlinie, die unter den heutigen ökonomischen Gegebenheiten zu bauen wäre.

Nach Verbindung der beiden größten Zentren durch eine Kante 1 werden weitere Kanten angeschlossen. Dieser Prozess der Addition geht so vor sich, daß der dem Rang nach nächst kleinere zentrale Ort mit dem größten und in der Luftlinie am nächsten gelegenen zentralen Ort verbunden wird, der bereits an das Netz angeschlossen ist.

Nach Anschluß der zentralen Orte (3) Hamburg-Harburg und (4) Braunschweig entsteht durch Kante 1, 2 und 3 ein netztopologischer Weg. Alle Kanten sind nach ihrer Reihenfolge bei der Konstruktion des Netzes bezeichnet (s. Fig. 35).

Wenn alle 20 ausgewählten zentralen Orte durch die 19 Kanten angeschlossen sind, hat sich ein Minimalnetz, ein topologischer Baum, gebildet.

Die für den zweiten Abschnitt von Phase 1 zur Verfügung stehenden 22 Kanten[113] (unterbrochene Linien in Fig. 36) werden nach einer leicht modifizierten Technik in das bereits bestehende Netz mit eingebaut.

Es wird die erste zusätzliche Kante (20) so placiert, daß der topologische Kreis zwischen dem ersten, zweiten und drittgrößten zentralen Ort geschlossen wird. Danach folgen der Kreis zwischen dem ersten, zweiten und vierten Knotenpunkt durch Kante 21, der Kreis zwischen dem ersten, dritten und vierten Knotenpunkt durch Kante 22 usf., falls sich das auf der Karte als netztheoretisch sinnvoll erweist. Als sinnvoll gelten nur netz-

[113] Kantenüberschneidungen sind in dieser Phase erlaubt.

Figur 36: Erste Phase des simulierten Eisenbahnnetzes

topologische Kreise, die als Vielecke von Knotenpunkt (1) Bremen ausgehen. Es dürfen bei der Bildung eines Vielecks, z. B. eines Dreiecks, keine ausgesprochen spitzen oder stumpfen Winkel entstehen, die praktisch zu Parallellinien bereits bestehender Linien führen würden[114]. Es erscheint z. B. netztheoretisch sinnvoll, den Kreis zwischen den Knotenpunkten (1), (2) und (3) durch Kante 20 zu schließen, nicht aber den zwischen den Knotenpunkten (1), (2) und (11) (s. Fig. 36).

Das erste Beispiel enthält einen topologischen Kreis in Dreiecksform, Delta genannt. Es wird als Delta (Δ)-Lösung bezeichnet. Das zweite Beispiel gibt eine das Netz simplifizierende Ypsilon (Y)-Lösung wieder. Beide Netz-Lösungen sind in Kap. 21 kurz erläutert.

Einige der kleineren unter den 20 zentralen Orten der ersten Phase stehen bereits fast ganz im Banne der großen Städte ihrer Umgebung (z. B. Knotenpunkt (13)). Es sind dies in der Rangfolge acht Bevölkerungszentren (13) bis (20) zwischen 41 000 und 62 000 Ew. Als Knotenpunkte höheren Grades wären sie nicht geeignet. Sie verlassen sich daher im Sinne einer Y-Lösung weitgehend auf das bereits bestehende Netz.

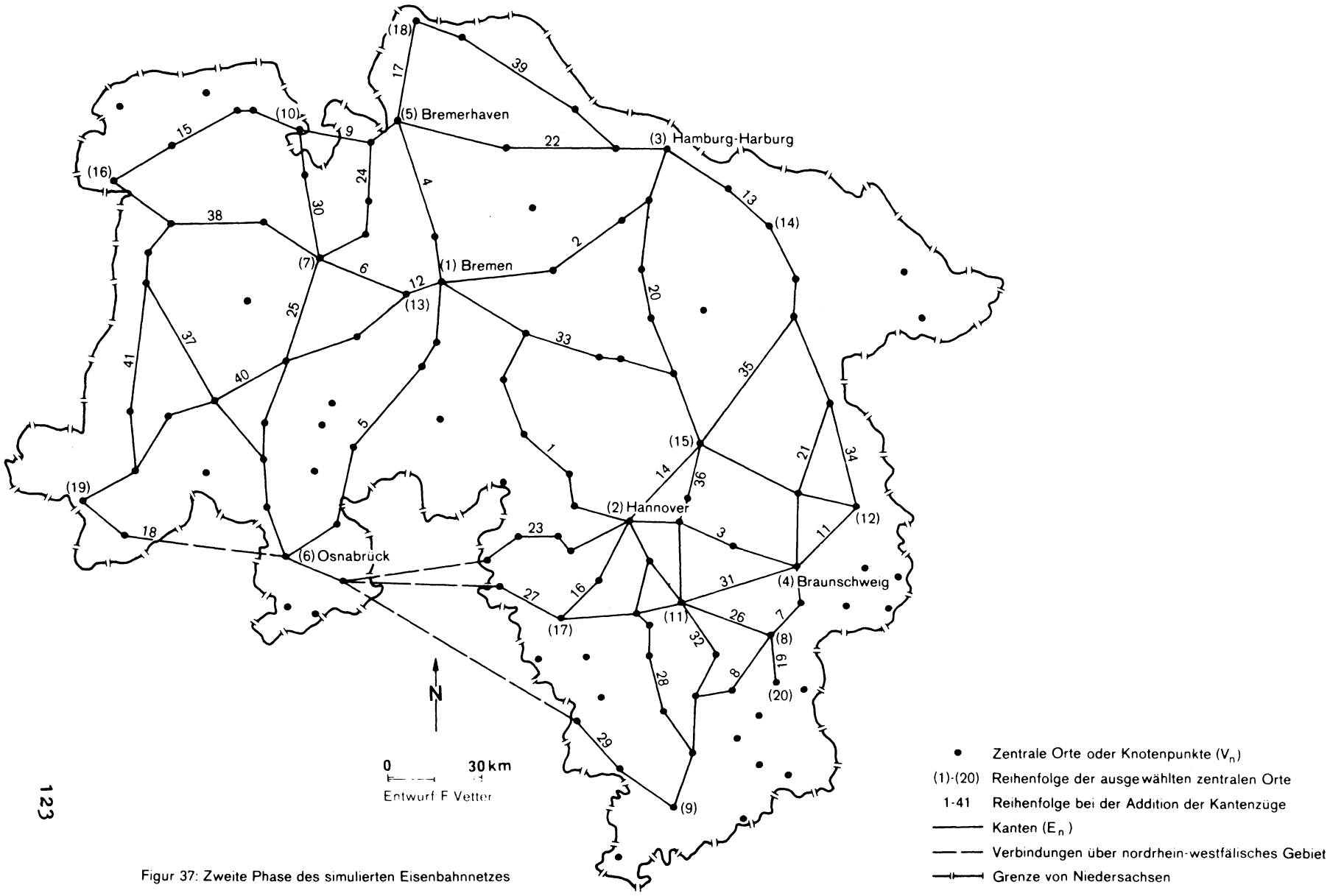
Nur zur Verhinderung großer Umwege werden noch topologische Kreise geschlossen. Ein Beispiel hierfür wäre Kante 39, die den Kreis zwischen den Knotenpunkten (1), (3), (18) schließt.

Ein netztopologischer Kreis darf unter Ausnutzung bereits bestehender Kantenverbindungen über vierte, fünfte, sechste etc. Knotenpunkte geschlossen werden, falls dadurch die Verbindungskante verkürzt werden kann. Auf diese Weise werden in der Praxis die Gesamtkilometerzahl verringert, die Baukosten gesenkt und damit die Netzstruktur nach der Y-Lösung simplifiziert.

Das gilt z. B. für den Kreis zwischen Knotenpunkt (1), (2) und (4) durch Kante 21, die über schon vorhandene Netzteile den Knotenpunkt (4) mit dem Knotenpunkt (14) verbindet.

---

114) Auch diese Einschränkungen könnten durch weiteren Ausbau der Simulationstechnik durch eindeutige Messungen und Zahlenangaben, z. B. durch Angabe der Winkelgrade, objektiviert werden. Die dargebrachten Beispiele der Handhabung der Technik sollen hier als Erfahrungs-Kriterien genügen.



Figur 37: Zweite Phase des simulierten Eisenbahnnetzes

Die erste Phase der Simulation eines Netzmodells ist mit der Addition aller 41 Kanten in Fig. 36 abgeschlossen.

Für die zweite Phase des simulierten Eisenbahnnetzes (s. Fig. 37) gilt: Alle durch Punkte markierten zentralen Orte unter 41 000 Ew. werden (außer Wiesmoor) an das Netz angeschlossen, sofern sie höchstens 10 km (s. Maßstab) von einer der Wunschlinien der 20 übergeordneten zentralen Orte in Fig. 36 entfernt liegen.

Die nächstgelegene Wunschlinie und die größeren zentralen Orte sind maßgebend für die Linienführung. Die Anziehungskraft eines größeren zentralen Ortes ist stärker als die eines kleineren. Auch zwei übergeordnete zentrale Orte der Gruppe zwischen 41 000 und 62 000 Ew. werden an eine an ihnen innerhalb von 10 km Radius vorbeiführende Wunschlinie angeschlossen. Es sind dies die Knotenpunkte (15) und (17).

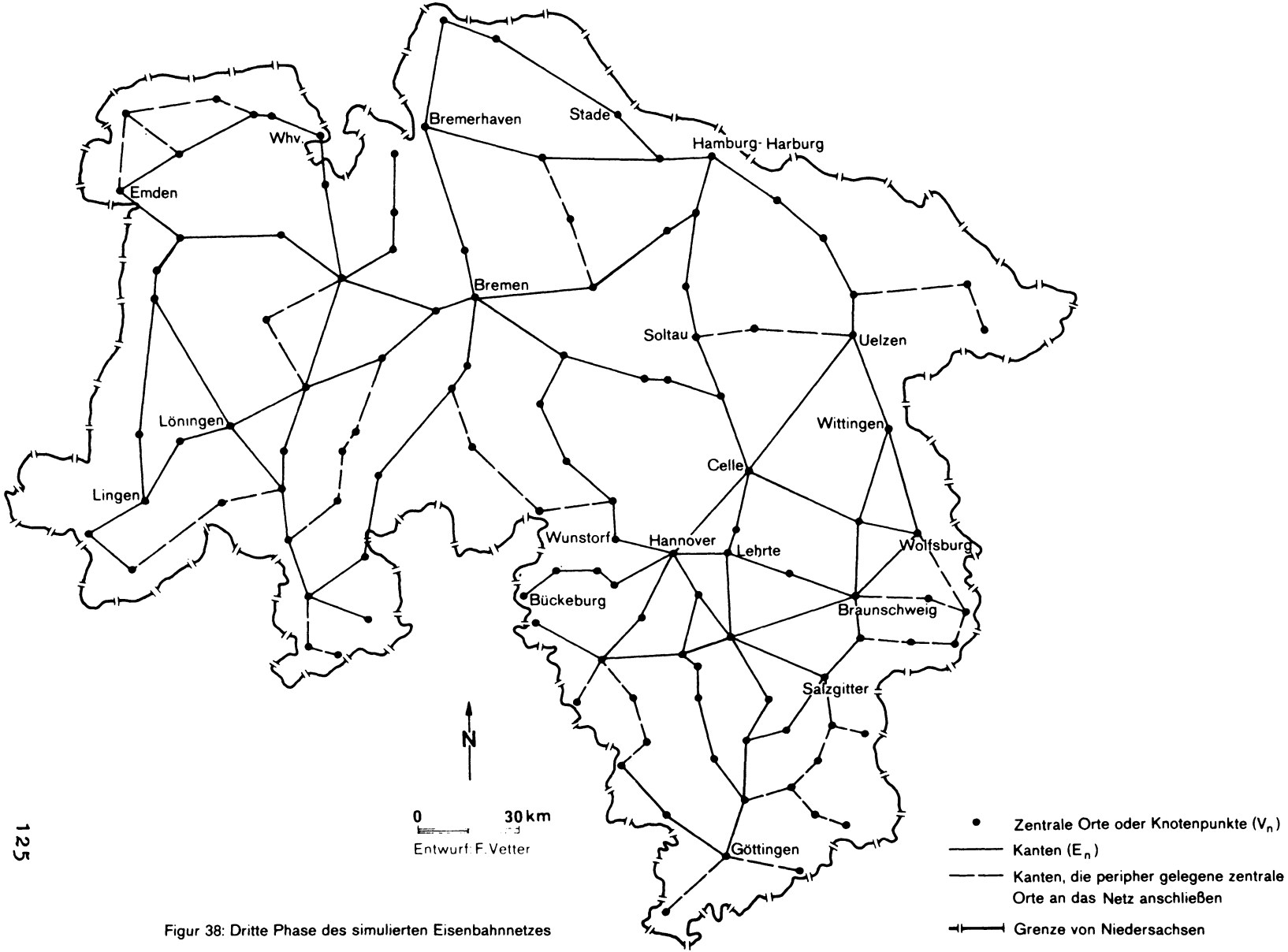
Die Bedingung des 10-km-Radius für den Anschluß eines zentralen Ortes an das Netz bewirkt zwar eine Erhöhung der Streckenlänge, aber auch eine weitere Simplifizierung der Netzstruktur im Sinne der Y-Lösung, jetzt in kleinerem Rahmen als in der ersten Phase der Annäherung an das Idealnetz.

Auch jetzt bleiben 29 zentrale Orte nicht an das Netz angeschlossen, da sie zu weit abseits von den durchgehenden Wunschlinien liegen[115]. Kreuzungen, die nicht zentrale Orte sind, werden nicht gebildet, obwohl dadurch eine weitere Simplifizierung des Netzes im Sinne von Y-Lösungen eintreten könnte. Es entstehen insgesamt 114 Kanten.
Um die Bedingung zu erfüllen, daß außer Wiesmoor alle zentralen Orte an das niedersächsische Eisenbahnnetz anzuschließen sind, wird eine dritte Phase der Simulation an das Idealnetz nötig (s. Fig. 38).

Hierbei wird jeweils die kürzeste Entfernung zum nächsten an das Netz angeschlossenen zentralen Ort gewählt.

---

115) Es handelt sich dabei vorwiegend um zentrale Orte, die in ausgedehnten Heide- oder Moorgebieten wie der Lüneburger Heide, dem Teufelsmoor ostwärts Bremen oder den Mooren im Südoldenburger Raum liegen. Auch die Nähe der Zonengrenze wirkt sich negativ auf die Eisenbahn-Verkehrslage einiger zentraler Orte aus.



Figur 38: Dritte Phase des simulierten Eisenbahnnetzes

Das durch mehrfache zeichnerische Approximation entstandene Netzmodell umfaßt insgesamt 119 Knotenpunkte (V_n) und 153 Kanten (E_n). Es soll gemäß den einschränkenden Kriterien als optimal für das heutige Niedersachsen angesehen werden.

Für eine praktikable Lösung müßte sich jetzt eine mehr "mikrokosmische" vierte Phase der Annäherung des Netzes an die "reale Welt" anschließen. Sie hätte unter Verwendung großmaßstäbiger Karten Reliefunterschiede, Flußläufe, Moore und weitere Hindernisse zu berücksichtigen[116]. Die Bewältigung dieser Aufgaben, die schließlich zum Bau der Eisenbahntrasse selbst führen, wäre jedoch den zuständigen Fachleuten zu überlassen.

Bei der in dieser Studie angewandten großräumigen netztheoretischen Betrachtungsweise der Struktur eines Eisenbahnnetzes sind derartige Details irrelevant. Wieweit die netztheoretische Lösung der dritten Phase, das eigentliche Netzmodell, als Vorbild für das bestehende niedersächsische Eisenbahnnetz von 1968 gelten kann, soll im folgenden kurz untersucht werden.

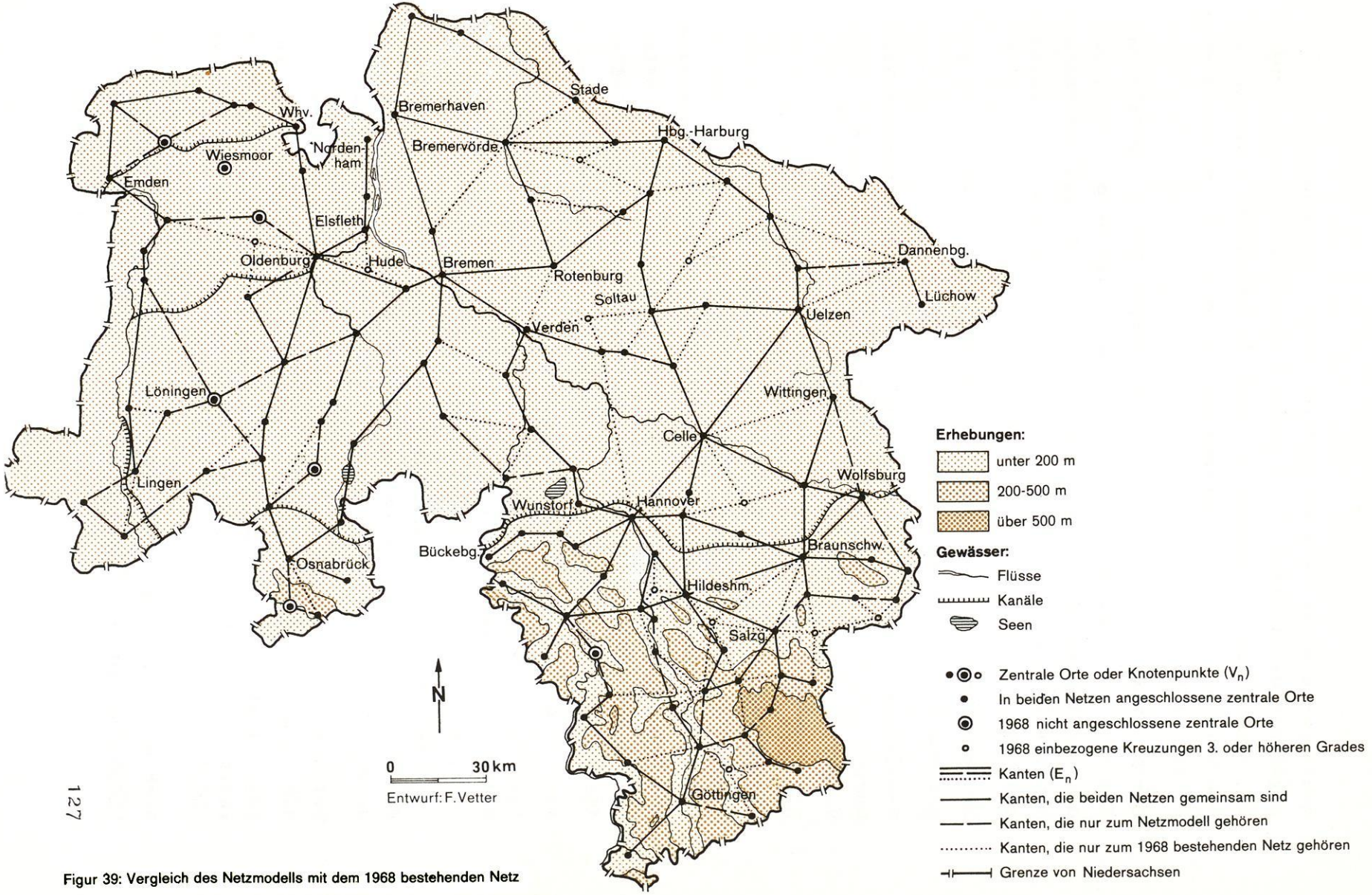
65 VERGLEICH DES NETZMODELLS MIT DEM BESTEHENDEN NETZ

Ein Vergleich der einzelnen Phasen, besonders der dritten Phase (s. Fig. 38) der sukzessiven Approximation an das Idealnetz mit dem heute bestehenden Netz von 1968 (s. Fig. 28) soll klären, wo Analogien und wo Unterschiede in der geometrischen Struktur des Netzes auftreten (s. Fig. 39). Dazu werden zunächst beispielhaft ausgewählte Netzindizes der beiden Netze betrachtet. Darauf folgt ein visueller Vergleich der beiden Netzstrukturen.

Zu diesem Zwecke sind Fig. 28 und Fig. 38 auf vereinfachter topographischer Grundlage in Fig. 39 zusammen dargestellt.

Für die festgestellten Unterschiede werden exemplarisch einige Ursachen ermittelt. Aus Tab. 14 ist ersichtlich, daß sich die Werte für alle dargestellten Netzindizes von der ersten zur zweiten und zur dritten Phase der Simulation erhöhen und im

116) Z. B. kann selbstverständlich die Verbindung zwischen Wilhelmshaven und Varel nicht durch den Jadebusen gehen (s. Fig. 28 und Fig. 38).



Figur 39: Vergleich des Netzmodells mit dem 1968 bestehenden Netz

heute bestehenden Netz am größten werden. Die exemplarisch angegebenen Netzindizes μ, α, β und γ können in der ersten Phase nicht ermittelt werden, da durch Überschneidung von Kanten die Voraussetzung eines Netzes in der idealen Ebene nicht erfüllt ist (s. Kap. 23).

Der μ-Index gibt die Anzahl fundamentaler Kreise im Netz an. Ein Vergleich des Modellnetzes mit dem realen Netz ergibt, daß das Modellnetz mit der Indexzahl 35 erheblich weniger fundamentale Kreise aufweist als das reale Netz mit der Indexzahl 49.

In der vorhergehenden zweiten Phase des Modellnetzes sind sogar nur 25 fundamentale Kreise vorhanden.

Zweifellos schlägt sich hier im μ-Index die geringere Verknüpfung und damit größere Maschenweite des Modellnetzes durch Wegfall von Kanten nieder.

Der Wert für α, der das Verhältnis zwischen der beobachteten Anzahl fundamentaler Kreise zu der maximal möglichen Anzahl von Kreisen angibt, vergrößert sich - in Prozent ausgedrückt - ebenfalls. Ein Wert von 100 % ergäbe ein vollständig verbundenes Netz in der Ebene. Der Abstand von etwa 5 % zwischen Netzmodell und realem Netz (s. Tab. 14) gibt die im Modell prognostizierte verminderte Konnektivität an.

Auch Index β zeigt, daß die Konnektivität mit wachsender Approximation an das Netzmodell und an das reale Netz steigt. Das heute reale Netz weist mit 1,39 den größten β-Index auf und damit gegenüber dem Netzmodell-Wert von 1,29 eine größere Komplexität. Werte unter 1 gäben topologische Wege und Bäume an. Die theoretisch größte Komplexität des Netzes wäre beim Wert 3 erreicht.

Der γ-Index, der sich aus dem Verhältnis der im Netz bestehenden Anzahl von Kanten zu der theoretisch maximal möglichen Anzahl in einem Graphen in der Ebene ergibt und von 0 % bis 100 % reicht, ist im Modellnetz ebenfalls geringer als im realen Netz.

Auch hier sind die quantitativ bestimmten unterschiedlichen Eigenschaften beider Netze auf die geringere Anzahl von Kanten

Tabelle 14: Ausgewählte Netzindizes zu Netzmodell und bestehendem Netz (1968)

Netze	V_n	E_n	μ	α	β	γ
Netzmodell 1.Phase[117]	20	41	-	-	-	-
Netzmodell 2. Phase	90	114	25	14,29 %	1,27	38,78 %
Netzmodell 3. Phase	119[118]	153	35[119]	15,02 %	1,29	43,59 %
Bestehendes Netz (1968)[120]	124[121]	172	49	20,16 %	1,39	46,99 %

im simulierten Modellnetz zurückzuführen, obwohl die Anzahl der an das Netz angeschlossenen Knotenpunkte (V_n) ebenfalls um 5 Knotenpunkte geringfügig zurückgegangen ist.

Damit ist das reale Netz zweifellos in seiner Gestalt mit 113 angeschlossenen zentralen Orten und 11 Kreuzungen (von drei oder mehr Kanten, die im Modellnetz nicht mehr berücksichtigt

117) Für die erste Phase des simulierten Eisenbahnnetzes können die vier Netzindizes μ, α, β und γ nicht errechnet werden, da die Bedingung der idealen Ebene durch Kantenüberschneidungen nicht erfüllt ist.

118) s. Bedingung (Kap. 31 und 44), daß a l l e zentralen Orte an das niedersächsische Eisenbahnnetz anzuschließen sind (außer Wiesmoor und Haren).

119) Obwohl in der dritten Phase gegenüber der zweiten Phase 12 weitere Kreise geschlossen werden, ist der μ-Index nur um 10 Kreise größer, da die beiden Kanten über den Jadebusen und die breite Mündung der Weser als nicht sinnvoll wegfallen.

120) Der Trend der Abnahme von Kanten geht bereits aus einem Vergleich der Netze von 1918 und 1968 in Kap. 3 hervor. Er darf auch aus diesem Grunde für die nähere Zukunft angenommen werden.

121) Außer den zentralen Orten sind im 1968 bestehenden Netz noch 11 Kreuzungen von 3 oder mehr Kanten als Knotenpunkte aufgezählt, dafür aber 6 zentrale Orte nicht mehr an das Netz angeschlossen.

sind, insgesamt 124 V) am stärksten entwickelt. Es berücksichtigt jedoch nicht eine der Grundbedingungen für das Netzmodell, daß a l l e zentralen Orte primär aus raumordnerischen Gründen von ihm bedient werden sollen. Die erwähnten sechs zentralen Orte bleiben isoliert. Hierdurch mindern sich seine Vorzüge erheblich.

Während in der zweiten Phase der Simulation erst 90 zentrale Orte mit dem relativ weitmaschigen Netz verbunden sind, wird in der dritten Phase der Anschluß für alle zentralen Orte möglich. Dieses ist eines der wesentlichsten Kriterien für ein optimales Netzmodell (vgl. Abschnitt 44); es ist hiermit erfüllt.

Um ein unökonomisch großes Netz zu vermeiden, werden zunächst die mehr peripher gelegenen zentralen Orte einseitig durch Stichbahnen angeschlossen.

Da einseitig angeschlossene Nebenbahnen nach Untersuchungen von ESENWEIN-ROTHE (1956) nur geringe Chancen haben, im Wettbewerb zwischen Schiene und Straße zu bestehen, wurde in 12 Fällen bei nur relativ kurzen Distanzen pro Kante der einseitige Anschluß durch eine durchgehende Strecke ersetzt. So ergibt sich eine Anzahl von 153 Kanten für das Modellnetz. Das bestehende Netz von 1968 hat hingegen 172 Kanten, damit erheblich mehr.

Ein bereits für das Jahr 1968 gegenüber 1918 in Abschnitt 35 netztheoretisch festgestellter "Rückzug aus der Fläche" ist also auch hier feststellbar und scheint für die nähere Zukunft aus raumordnerischen Gesichtspunkten gerechtfertigt.

Die unterschiedlichen Eigenschaften des simulierten Modellnetzes und des realen Netzes von 1968 ergeben sich zusammenfassend:

a) aus der Tatsache, daß 6 zentrale Orte als Knotenpunkte (V_n) an das reale Netz überhaupt nicht angeschlossen sind, während das Modellnetz diese raumordnerische Bedingung erfüllt
b) aus der erheblich geringeren Anzahl von Kanten (E_n) im Modellnetz, die dem Trend des "Rückzugs der Eisenbahnen aus der Fläche" bis zu einer bestimmten Grenze im Sinne des auf die Zukunft gerichteten Leber-Plans (s. Abschnitt 44) folgt.

Die aus den Hauptelementen, Knotenpunkten und Kanten zusammengesetzten Netzindizes reagieren also auf diese Unterschiede in der Netzstruktur allgemein recht deutlich und lassen sie quantitativ bestimmen.

Im einen oder anderen Falle wären minimale Ergänzungen sicher noch möglich[122]. Ein Modellnetz von noch größerer Konnektivität besonders der Nebenlinien ist jedoch nicht anzustreben, zumal die Unterhaltungskosten bei zu geringer Verkehrsbelastung für die Deutsche Bundesbahn enorm steigen.

Unter den in Abschnitt 44 ausführlich behandelten raumplanerischen und eminent verkehrspolitischen Gesichtspunkten muß das konstruierte Netzmodell daher im Hinblick auf seine Knotenpunkt- und Kantenzahl (s. Tab. 14) gesehen werden. Es hat zwar die gewünschte Eigenschaft, daß alle zentralen Orte angeschlossen sind. Aber es fehlen im Sinne des Leber-Plans 19 Kanten gegenüber dem Netz von 1968, die als entbehrlich angesehen werden. Erheblich mehr oder weniger als die angegebene Anzahl von 153 Kanten (E_n) dürfte den heute gegebenen ökonomischen und raumordnerischen Möglichkeiten nicht entsprechen.

U. a. aus diesem Grunde sollte die Gesamtstruktur des Modellnetzes als optimal auch für die nähere Zukunft im Sinne einer Prognose gelten. Prognosen hängen allerdings auch stark von den weiteren wirtschaftlichen Entwicklungsmöglichkeiten Niedersachsens ab[123]. Hierzu sei kurz angedeutet:

Bedeutende Impulse sowohl was eine verstärkte Bevölkerungsagglomeration als auch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen im Personen- und Güterverkehr ausmacht - die u. U. auch zu Strukturverdichtungen führen würden - könnten von den geplanten großen Werken "Dow Chemical" (Chemiewerke) in Stade/Elbe und dem Volkswagen-Zweigwerk in Salzgitter mit allen Nebenindustrien ausgehen.

---

122) Die Nähe der Landesgrenze nach Nordrhein-Westfalen läßt in einigen Fällen bestehende Verbindungen über die Grenze hinweg vermuten. Im Zonenrandgebiet ist das im Augenblick größtenteils nicht der Fall.

123) s. Wirtschaftliche Entwicklungsmöglichkeiten des Landes Niedersachsen bis zum Jahre 1980, Prognos-Studien (1967).

Der visuelle Vergleich beider Netze auf vereinfachter topographischer Grundlage (Fig. 38 mit Fig. 28 in Fig. 39) zeigt starke Ähnlichkeiten in der Struktur der großen durchgehenden Linien innerhalb Niedersachsens, die in ihrer Anlage als sinnvoll angesehen werden können.

Das gilt z. B. für die Nord-Süd-Verbindungen Emden - Lingen, Wilhelmshaven - Osnabrück, Bremerhaven - Bremen - Osnabrück, Hamburg - Hannover - Göttingen und Bremen - Hannover - Göttingen.

Bei den Ost-West-Verbindungen sind die durchgehenden Linien ebenfalls erkennbar, z. B. Hamburg-Harburg - Bremen - Emden und Braunschweig - Bückeburg mit zu vermutender Fortsetzung über nordrhein-westfälisches Gebiet nach Osnabrück.

Die Linie Bremen - Soltau - Uelzen, die früher über Stendal nach Berlin führte, ist jedoch unterbrochen. Sie spielt auch in der Realität wegen der Grenze zu Mitteldeutschland keine Rolle mehr. Hingegen werden von beiden Netzen als natürliche Hindernisse die Unterweser nördlich Bremen und auch der Harz weitgehend umgangen (s. Fig. 39).

Einige scheinbare Unterschiede ergeben sich durch den Fortfall der Kreuzungen 3. oder höheren Grades, die keine Knotenpunkte sind.

Z. B. hat sich durch den Fortfall des Kreuzungspunktes Nordstemmen ein Dreieck aus den Knotenpunkten Sarstedt - Hildesheim - Elze gebildet, obwohl sich tatsächlich in der Linienführung keine Änderung ergeben hat. Die Luftlinie ist durch Fortfall dieses Punktes jeweils verkürzt. Das wirkt sich hier als wegereichlichere Dreieckslösung aus (s. Abschnitt 21).

Einige wenige nicht erwünschte Änderungen hat das Modellnetz durch Fortfall von Kanten erbracht, die besser weiter bestehen sollten.

Die Verbindung von Nordenham nach Bremen sollte nicht über den Umweg Oldenburg, sondern weiter von Elsfleth nach Hude gehen, das kein zentraler Ort ist.

Die Verbindung Rotenburg - Verden sollte als Alternative für

den Verkehr Hamburg - Hannover beibehalten werden.

Netztopologisch sinnvoll erscheint die Aufgabe der mit hohen Betriebskosten verbundenen Dreieckslösung für die drei Knotenpunkte Dannenberg - Uelzen - Lüneburg, die durch die kürzere Y-Lösung ersetzt wird. Allerdings ist auch hier für die ökonomische Praxis zu beachten, daß diese auf das geringe Verkehrsaufkommen aus dem Raume Lüchow - Dannenberg zugeschnittene Lösung kaum verwirklicht werden kann, da eine Trasse Dannenberg - Bevensen nicht besteht und auch nicht gebaut werden wird.

Insgesamt gesehen konzentriert sich das Verkehrsbedürfnis-Spannungsfeld, das durch die Graphen dargestellt wird, um die vier größten zentralen Orte im niedersächsischen Bereich (Hannover - Osnabrück - Bremen - Hamburg-Harburg). Diesen Tatbestand sah schon BLUM (1933) in seinem mehr auf Mitteleuropa ausgeweiteten Schema eines Idealgleisnetzes (s. Fig. 40).

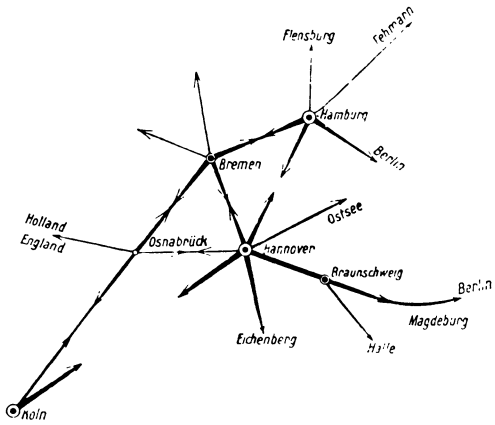
Die internen Untersuchungen in Niedersachsen selbst führen also in großen Zügen zu den gleichen Ergebnissen, die BLUM ermittelte.

Es sind beim Vergleich der beiden Netze (s. Fig. 39) auch deutliche Unterschiede zu erkennen. So machen sich praktisch die fehlenden Kanten im simulierten Netz als Stillegungen gegenüber dem gegenwärtigen Netz besonders in den nördlichen[124], von jeher strukturschwachen Regionen bemerkbar. Außer dem bereits erwähnten Beispiel Aurich (s. Kap. 42) haben weitere zentrale Orte im Norden des Landes Konnektivitätseinbußen hinnehmen müssen, woraus sich auch ganz grob ihr Grad der Zentralität ergibt: Bremervörde ist im Modell nur noch als Knotenpunkt dritten Grades dargestellt. Es war vorher ein Knotenpunkt fünften Grades.

Soltau gilt ebenfalls nur noch als Knotenpunkt dritten Grades. In Fig. 28 ist es noch als Knotenpunkt sechsten Grades abgebildet.
Uelzen hat nur noch vier Kanten, die von ihm ausgehen, vorher waren es fünf.

---

[124] im allgemeinen nördlich des Mittellandkanals gelegene Gebiete.



Figur 40: BLUMs Schema[+)] zu einem Idealgleisnetz für Niedersachsen

[+)] Entnommen aus: O. BLUM (1933, S. 46).

Celle, ein bereits relativ weit im Süden gelegener zentraler Ort, hat ebenfalls zwei von ihm ausgehende Kanten eingebüßt.

Diese simulierte Härte ist für die Anlieger aus den oben genannten Gründen unvermeidlich und im allgemeinen Interesse wünschenswert.

Die Wirkungen auf die sechs im bestehenden Netz (außer Wiesmoor, s. Fig. 28) nicht angeschlossenen zentralen Orte sind positiv zu bewerten, besonders auf Löningen, das jetzt Knotenpunkt vierten Grades wird. In der Praxis können noch vorhandene Bahnkörper im allgemeinen wieder benutzt werden. Eine spezielle Bahnlinie nach Wiesmoor, dem einzigen nicht angeschlossenen zentralen Ort, ist jedoch wegen der hohen Baukosten im Sinne des Netzmodells nicht wünschenswert.

Weitere kleinere Verbesserungen des Netzmodells gegenüber dem bestehenden Netz sind feststellbar. Durch die Kante zwischen Wolfsburg und Wittingen wird Wolfsburg, die wirtschaftlich expansive Volkswagen-Stadt, besser an den Überseehafen Hamburg angeschlossen. Auch Braunschweig profitiert von dieser kürzeren Verbindung, die in der Tat seit Jahren von der Stadt ge-

fordert wird[125]. Der Bau dieser Verbindung wird aber von der Bundesbahn nicht in Angriff genommen, da der geplante und jetzt im Bau befindliche Elbe-Seitenkanal (Nord-Süd-Kanal) zwischen Mittellandkanal bei Wolfsburg und Elbe bei Lauenburg nach seiner Fertigstellung parallel zu dieser Eisenbahnverbindung laufen würde und ein zu geringes Verkehrsaufkommen für die Eisenbahn aus Wettbewerbsgründen zu erwarten wäre.

Die Bedeutung der beiden Knotenpunkte Lehrte und Wunstorf, ostwärts und westlich der Landeshauptstadt Hannover, hat im Modellnetz abgenommen. Beide verloren eine Kante gegenüber dem bestehenden Netz.

Die Reihe der Einzelbeispiele soll damit abgeschlossen werden. Die Resultate werden kurz zusammengefaßt:

Im großen und ganzen paßt sich das Modellnetz an das bestehende an[126], wie aus Fig. 39 und Tab. 14 vergleichend hervorgeht. Die festgestellten Unterschiede geben dabei zumindest den Trend eines mäßigen "Rückzugs aus der Fläche" in der weiteren Entwicklung des niedersächsischen Eisenbahnnetzes an. Das Modellnetz kann so unter jederzeit möglichen weiteren Modifikationen und Verbesserungen als Planungsgrundlage für die nächsten Jahre dienen.

Das vorliegende Netzmodell sollte lediglich als ein Anfangsversuch angesehen werden, experimentell zu einem raumordnerisch umfassenden Eisenbahnverkehrsnetz zu kommen. Es mußte dabei mit noch nicht voll ausgereiften rein zeichnerischen Probierverfahren vorlieb genommen werden.

So sind z. B. die auftretenden Winkel bei der Konstruktion des Modellnetzes nicht eindeutig durch Gradbegrenzungen bestimmt worden. Dieses würde allerdings zu neuen aufwendigen und zeitraubenden geometrischen Darstellungsproblemen führen, die bei den betrachteten großen Netzen mit Computern noch nicht zu bewältigen sind (vgl. Unterkap. 25). Hier bieten sich weitere spezielle Untersuchungen an.

---

125) s. H. LAGERSHAUSEN, Gutachten über die Bauwürdigkeit einer Haupteisenbahn Braunschweig - Uelzen (1956).

126) Das gegenseitige "Hochschaukeln" von Netz und Raum kommt dabei zum Ausdruck. Je mehr Eisenbahnanschlüsse ein zentraler Ort hat, desto mehr blüht er auf.

Eines der wesentlichen Ziele dieses Kapitels und auch der vorhergehenden war es vor allem, ursprünglich auf den Mathematiker EULER zurückgehende graphentheoretische Methoden und Erkenntnisse aufzugreifen, sie auf den geographischen Raum anwendend zu modifizieren und einer quantitativen statistischen Analyse zugänglich zu machen.

Das Hauptaugenmerk war schließlich darauf gerichtet, ein Modellnetz auf Grund von gesicherten raumordnerischen Annahmen mit Hilfe bestimmter Simulationstechniken zu konstruieren und dann seine Anwendbarkeit am Beispiel des niedersächsischen Eisenbahnnetzes zu demonstrieren.

Das Ergebnis dieses Versuches sollte - trotz aller Einschränkungen zur Methode - dazu anregen, weitere netztheoretische Studien verkehrsgeographisch angewandter Art zu betreiben. Auf diese Weise wird man sich dem Ziel, zu größeren Fortschritten bei der Erklärung und vorausschauenden Deutung des Netzphänomens zu kommen, weiter nähern können.

7 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND SCHLUSSBETRACHTUNG

Die Ergebnisse der in dieser Arbeit angestellten Untersuchungen lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen:

1. Die aus dem Gebiet der Mathematik übernommenen neueren Methoden der Graphentheorie sind auf Verkehrsnetze anwendbar, indem diese netztopologisch vereinfachend als Punkte und Kanten gesehen werden. Sowohl die zeichnerische Darstellung als auch die Quantifizierbarkeit der Gestalt eines Netzes lassen zeitliche und räumliche Unterschiede deutlich werden. Für dieses wichtigste Ergebnis, das durch die Übernahme der netztheoretischen Methoden möglich wurde, diente das niedersächsische Eisenbahnnetz als Beispielgebiet.

2. Die aus den festgestellten Unterschieden in der Netzgestalt resultierenden speziellen Arbeitshypothesen führten zu folgenden weiteren Ergebnissen:

   a) Das historisch gewachsene Eisenbahnnetz im Raume Niedersachsen konnte tatsächlich in seiner Linienführung nicht ökonomisch optimal gebaut werden, da politische Gründe

wie die territorialen Sonderinteressen von weitgehend unabhängigen Fürstentümern dieses verhinderten.
Wirtschaftliche Gründe spielten hierbei ebenfalls eine Rolle, da z. B. im Zeichen des verstärkten Eisenbahnbaus nicht rentabel wirtschaftende Nebenlinien zwischen kleinen Orten angelegt wurden.

b) Der räumliche Vergleich zweier Netzteile läßt in der Tat auf unterschiedliche Wettbewerbsbedingungen zwischen Schiene und Straße schließen. Methodisch anders als die z e i t l i c h e n wurden die r ä u m l i c h e n Unterschiede netztopologisch vereinfachend aus der jeweiligen Anzahl von Eisenbahnnetz- und Straßennetz-Kanten geschlossen, die von einem ausgewählten Knotenpunkt ausgehen. Dabei stellte sich heraus, daß ländliche Passivräume wie der Teilraum Aurich durch flächenwirksamere Straßen besser bedient werden als durch Eisenbahnen, die ihr Netz in diesen Räumen durch Stillegungen von unrentablen Streckenteilen verringern.
Verstädterte Aktivräume werden hingegen von Schiene und Straße etwa gleichmäßig gut bedient.
Aus dem festgestellten Ungleichgewicht zwischen Schiene und Straße in den Passivräumen resultiert, daß verkehrspolitische und raumordnerische Gesichtspunkte für eine optimale Netzgestalt stärker beachtet werden sollten.

Den übergeordneten Behörden des Staates müssen Mittel in die Hand gegeben sein, den "Rückzug der Eisenbahnen aus der Fläche" zu begrenzen und ein zu starkes Gefälle zwischen wirtschaftlichen Aktiv- und Passivräumen im Interesse übergeordneter Raumordnung zu verhindern. Die Unterstützung von gegebenen zentralen Orten gerade im ländlichen Bereich kann diesen auch im Hinblick auf den gefährdeten Eisenbahnanschluß helfen.

c) Es wurde festgestellt, daß ein statistischer Zusammenhang zwischen Netzindizes und Raumfaktoren in den ausgewählten Teilräumen besteht.
Der Netzindex V_n, die Anzahl der Knotenpunkte, korreliert z. B. gut mit den Faktoren Bevölkerungsdichte und

Industriebeschäftigte je 1 000 Einwohner.
Nicht bestätigte sich dabei die statistische Annahme, daß auch einige weitere Netzindizes, z. B. der Beta-Index, mit obigen Faktoren signifikant korreliert sein könnten.

d) Als weiteres wesentliches Ergebnis konnte schließlich ein Netzmodell konstruiert werden, das auch die Resultate der vorhergehenden Analysen des Netzes berücksichtigt. Das simulierte Netzmodell ist trotz noch vorhandener Schwächen und der Beschränkung durch die zeichnerische Darstellung in drei Stadien als gegenwärtig optimal anzusehen.
Der netztheoretische Vergleich zwischen Netzmodell und bestehendem Eisenbahnnetz von 1968 zeigt an, daß speziell im niedersächsischen Eisenbahnnetz ein bestimmter Trend zur Konzentration auf wenige und ökonomisch lohnende Linien vorhanden ist. Dabei sind Stillegungen von unrentablen Streckenabschnitten im Gesamtnetz auch für die nähere Zukunft prognostiziert. Das Modellnetz berücksichtigt also die auch in der Zukunft auftretende erheblich flächenwirksamere Konkurrenz des Straßenverkehrs, die das geringer werdende Verkehrsaufkommen der Eisenbahn zur Folge hat.

Die aus dem zeichnerisch und mengen-statistisch durchgeführten netztheoretischen Vergleich verschiedener Netze und Teilnetze resultierenden Hypothesen wurden empirisch überprüft und größtenteils verifiziert.

Der graphentheoretische Ansatz trug so wesentlich zur praktischen Erklärung des Netzphänomens bei.

Zum Schluß sei noch einmal bekräftigt, daß Niedersachsen hier lediglich als Beispielgebiet zur Demonstration der Relevanz der genannten Zusammenhänge und der möglichen Schlußfolgerungen daraus gilt. Jeder andere Raum, vor allem Entwicklungsländer mit noch recht unharmonisch aufeinander abgestimmten Verkehrsnetzen, kann mit den gleichen Methoden hinsichtlich der Entwicklung der Struktur dieser Netze analysiert werden, wobei es primär keine Rolle spielt, ob es sich um Eisenbahn-

netze, Straßennetze, Netze von Erdölleitungen oder Telefonkabeln handelt.

Netztheoretische Terminologie und Verfahren mögen zunächst ungewöhnlich und fremd erscheinen. Dennoch sind sie, wie diese Arbeit veranschaulichen sollte, geradezu prädestiniert für quantitative Untersuchungen der Struktur von Verkehrsnetzen, wobei elektronische Rechenmaschinen eingesetzt werden können.

Es sind in dieser Studie noch viele Faktoren unberücksichtigt geblieben, die u. U. auch von starker Relevanz für die Gestalt eines Verkehrsnetzes wären. Sie könnten bei Eingabe von grossen Mengen von Beobachtungsdaten zur statistischen Faktorenanalyse (in Matrizenform) durch komplizierte Computerprogramme getestet und mit in die hier angestellten Modelluntersuchungen einbezogen werden.

Graphen, bestehend aus großen Mengen von Knotenpunkten und Kanten, könnten z. B. als gerichtete Graphen gewichtet werden, mit Verkehrsfrequenzen je Kante. Durch diese und weitere Methoden käme man einem umfassenden Modell, das die Beziehungen zwischen Verkehrsnetz und Raum genau einfängt, sehr viel näher. Erhebliche dafür aufgewandte Zeit- und Geldinvestitionen würden sich mit Sicherheit lohnen, da eine optimale Verkehrsstruktur von allgemeinem volkswirtschaftlichen und damit raumordnerischen Nutzen wäre.

Die vorliegende Studie hat als Einzelfallstudie (case study) noch nicht diese anzustrebenden großen Mengen von Daten verarbeiten können. Sie versteht sich dennoch unter Anwendung der Graphentheorie im Sinne der angewandten Geographie als ein weiterer Beitrag zum besseren Verständnis der Struktur von Verkehrsnetzen.

8 SUMMARY AND FINAL REMARKS

GRAPH THEORY AND ITS APPLICATION TO THE RAILROAD NETWORK OF LOWER SAXONY

The purpose of this study is to give a contribution to applied transportation geography. It is methodological strictly limited and tries to consider both theoretical and empirical aspects of the subject.

Railroad networks on a map form a confusion of lines the special structure of which cannot depend upon mere chance, but is dependent upon a number of different factors which might follow strict rules. The specific goal of the thesis is to determine the structure of a certain transportation network - the railroad network of Lower Saxony - looking at it from different directions and applying special quantitative methods.

These methods allow to analyze the structure of the network more thoroughly by reducing it to its essential elements. The application of graph theory being a branch of combinatorial topology leads to a wanted simplification and abstraction of the network. The results of the investigations which were made in this study are the following in a condensed form:

1. The new methods of graph theory originally taken from mathematics are a p p l i c a b l e to existing transportation networks in a geographic area which is not just an isolated island or even a fictive region.

   According to the graph theoretic concept a railroad system which connects various settlements (central places) is reduced to a set of systematically organized points or nodes (vertices) and lines (edges). They form a theoretical network with a certain structure, a network model or graph, which can be mapped. Mapping as well as quantifying the simplified structure of a network make temporal and areal variations distinct. The railroad network of Lower Saxony serves as an example.

2. The special hypotheses which result from the discovered variations in the structure of the network lead to the fol-

lowing further results:

a) In the past the railroad lines of Lower Saxony could not be traced ideally. Political reasons like special territorial interests of almost completely independent principalities prevented from building an economically optimal network. Some of the Sovereigns did not want any railway lines, others wanted them only on their own territory.
Economic reasons were also present. Small and economically unattractive settlements in rural areas did everything to receive a railroad connection. After a short time these lines became unprofitable though.

b) From the areal comparison of two networks of lower order within Lower Saxony the conclusion can be drawn, that there exist varying conditions of competition between railroad and highway.

Areal variations are looked at by applying different methods than when investigating temporal variations. A simple example is the determination of the number of edges, both railroads and highways, originating from any of the settlements or vertices. These are powered with the numbers of edges and compared with one another.

It was found out, that rural areas like the area of Aurich are served better by highways, which penetrate deeper into a comparatively underdeveloped area, than by railroads. The latter, being often unprofitable in special parts, suspend the whole traffic and disappear. Urban or urbanized areas on the other hand are served as well by railroad as by highway connections.

From the ascertained disequilibrium between railroad and highway in the rural, economically passive areas results that transportation political aspects should be more paid attention to in order to obtain an optimal network structure guaranteeing all areas approximated good transportation facilities. Higher administration should have enough means to prevent the observed withdrawal of railroads from rural areas which would set back these areas

even more from the economically booming urbanized areas.

c) It was found out that there exists a statistical correlation between network indices and areal factors in the chosen lower order areas.
The network index V_n, the number of vertices, e.g. correlates well with the factors population density and industrial employees per 1 000 inhabitants. The hypothesis that other selected railroad indices e.g. the Beta-index would correlate significantly with the selected areal factors was falsified, however.

d) Another important result of the investigations was a network model which takes into account the results of the foregoing analyses. Despite still existing inefficiencies and the constraint to graphic presentation in three phases the simulated network model may be considered optimal at present.
The final comparison between network model and the existing railroad network of 1968 shows that there can be noticed a certain tendency towards concentration on fewer and economically attractive lines. Suspensions of unprofitable line segments are forecasted by the model for the near future. Thus the competition of highway traffic which can penetrate better into larger rural areas and causes the decline of railroad traffic is taken into consideration in the network model.

The hypotheses which resulted in the graphic and quantitative comparison of different networks and their lower order parts have been empirically checked and largely verified.

The graph theoretic methods contributed essentially to the practical explanation of the network phenomenon.
It should be affirmed though that Lower Saxony in this context simply serves as an example for the demonstration of the relevance of the above mentioned correlations and possible conclusions. Any other geographic area could be analyzed with the same methods looking at the development of its transportation structure, be it railroad, highway, pipeline or telephone network. Underdeveloped countries with not yet harmonizing trans-

portation networks could be particularly thankful objects. Graph theoretic terminology and measures may at first seem to be unusual and strange. They are, however, as this study should demonstrate predestinated for quantitative analyses of the structure of transportation networks and the construction of network models. The latter are not an end in themselves. Their value should depend upon their practical applicability. They also should lead to a better understanding of the mutual interdependencies of network and region and the powers which could establish a certain overall harmony within a region.
This again can help transportation planners considerably in their decisions for a better transportation accessibility of central places, be they large or small.

9 LITERATURVERZEICHNIS

BÜCHER UND ARTIKEL

AKERS jr., S.B., 1960: The use of Wye-Delta transformations in network simplification.
Journal of Operational Research. 8 (1960). S. 311-323.

BALDERMANN, U., 1964: Die Entwicklung des Straßennetzes in Niedersachsen von 1768 bis 1960.
Diss. Göttingen.

BERGE, C., 1958: Théorie des graphes et ses applications. Paris.

BERRY, B.J.L., 1960: An inductive approach to the regionalization of economic development.
In: Essays on geography and economic development. Chicago, Illinois. S. 78-107.
(University of Chicago. Department of Geography. Research Paper 62.)

BERRY, B.J.L., 1961: Basic patterns of economic development.
In: Atlas of economic development. Chicago, Illinois. S. 110-118.

BLUM, O., 1933: Das Eisenbahnnetz Niedersachsens. Oldenburg.

BOESLER, F., 1964: Der Infrastrukturbedarf und die Möglichkeiten seiner Deckung.
In: Finanzpolitik und Raumordnung. Hannover. S. 3 ff.
(Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. 28.)

BOUKIDIS, N.A.; D. BOYCE, W.L. GARRISON u. W. TOBLER, 1962: The location of transportation routes: connections between three points. Fort Eustis, Virginia.

BRÜNING, K., 1931: Eisenbahnwesen.
In: Niedersachsen im Rahmen der Neugliederung des Reiches. Hannover. Bd. 2. S. 156-164.

DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR (Hrsg.), 1967: Das verkehrspolitische Programm im Spiegel der öffentlichen Meinung. Bonn.

CHIPMAN, J.S., 1950: The multi-sector-multiplier.
Econometrica. 18 (1950). S. 356 ff.

CHRISTALLER, W., 1933: Die zentralen Orte in Süddeutschland. Jena.

CHRISTALLER, W., 1966: Angewandte Geographie - Raumwirtschaftliche Modelle.
In: Angewandte Geographie. Festschrift für Professor Dr. Erwin Scheu zur Vollendung des 80. Lebensjahres. Nürnberg.

S. 35-38.
(Nürnberger Wirtschafts- und Sozialgeographische Arbeiten. 5.)

COLE, J.P. u. C.A.M. KING, 1968: Quantitative geography. Techniques and theories in geography. London.

CUMMINGS, L.P., 1967: The structure of networks and network flows. University of Iowa. Iowa City, Iowa.

ESENWEIN-ROTHE, I., 1956: Die Verkehrs-Effizienz: Versuch einer Erfassung und Messung der raumwirtschaftlichen Leistung von einseitig angeschlossenen Nebenbahnen. Berlin.
(Sozialwissenschaftliche Abhandlungen der Hochschule Wilhelmshaven. 5.)

ESPENSHADE jr., E.B., 1966: Verbalization from maps.
The Journal of Geography. 65 (1966). S. 12-18.

FLOOD, M.M., 1956: The travelling salesman problem.
Operations Research. 4 (1956). S. 61-75.

FOCHLER-HAUKE, G., 1957: Verkehrsgeographie. Braunschweig usw.

FRICKE, H.J., 1953: Der Verkehr in Niedersachsen und seine Umlagerung.
In: Hannover und Niedersachsen. Beiträge zur Landes- und Wirtschaftskunde. Festschrift zur Feier des 75jährigen Bestehens der Geographischen Gesellschaft zu Hannover. Hannover. S. 198-207.

GARRISON, W.L., 1960: Connectivity of the Interstate Highway System.
Papers and Proceedings of the Regional Science Association. 6 (1960). S. 121-137.

GARRISON, W.L. u. D.F. MARBLE, 1962: The structure of transportation networks. Fort Eustis, Virginia.
(U.S. Army Transportation Command. Technical Report 62-11.)

GARRISON, W.L. u. D.F. MARBLE, 1965: A prolegomenon to the forecasting of transportation development. Evanston, Illinois.

GARRISON, W.L. u. D.F. MARBLE, 1967: Quantitative geography. 1.2. Evanston, Illinois.

GAUTHIER, H.L., 1966: Highway development and urban growth in São Paulo, Brazil. A network analysis. Evanston, Illinois.

GINSBURG, N.S. (Hrsg.), 1961: Atlas of economic development. Chicago, Illinois.

GROTE, C., 1834: Über ein Eisenbahnsystem für Deutschland. Göttingen.

HAGGETT, P., 1965: Locational analysis in human geography, London.

HAGGETT, P., 1967: Network models in geography.
In: Models in geography. London. S. 609-668.

HAUBNER, K., 1965: Siedlungsstruktur und Trabantenproblem im Raum Hannover.
In: Studien zum Problem der Trabantenstadt. Teil 1: Untersuchungsergebnisse aus Agglomerationsräumen in der Bundesrepublik Deutschland. Hannover. S. 211-236.
(Raum und Bevölkerung. 3.)
(Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. 26.)

HAUFE, H., 1931: Die geographische Struktur des deutschen Eisenbahnverkehrs. Berlin, Leipzig.
(Veröffentlichungen des Geographischen Seminars der Universität Leipzig. 2.)

HAUPTBAHNHOF BRAUNSCHWEIG Hauptbahnhof Braunschweig 1960. Gemeinsam herausgegeben zur Eröffnung des neuen Braunschweiger Hauptbahnhofes am 1. Oktober 1960 von der Bundesbahndirektion Hannover, der Stadt Braunschweig, der OPD Braunschweig und der Industrie- und Handelskammer Braunschweig. Braunschweig.

HOFFMANN, R., 1961: Die Gestaltung der Verkehrswegenetze. Hannover.
(Veröffentlichungen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Abhandlungen. 39.)

HOFFMANN, R., 1965: Rückzug der Eisenbahnen aus der Fläche? Hannover.
(Veröffentlichungen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Abhandlungen. 46.)

HOFFMANN, R., 1969: Grundlagen und Hinweise für ein Landes-Raumordnungsprogramm. (Teil 1 - 4). - Raumordnungsberichte 1967 und 1968.
Raumforschung und Raumordnung. 27 (1969). S. 30-32.(Buchbesprechung.)

KANSKY, K.J., 1963: Structure of transportation networks. Chicago, Illinois.
(University of Chicago. Department of Geography. Research Paper 84.)

KIRCHHOFF, G.R., 1874-1894: Vorlesungen über mathematische Physik und Mechanik. Bd. 1-4. Leipzig.

KISSLING, C.C., 1967: Transportation networks, accessibility and urban functions. An empirical and theoretical analysis. Montreal.

KLATT, S., 1968: Anwendungsmöglichkeiten ökonometrischer Modelle in der Raumforschung und Raumordnung.

Raumforschung und Raumordnung. 26 (1968). S. 50-58.

KOHL, J.E., 1841: Der Verkehr und die Ansiedelung der Menschen in ihrer Abhängigkeit von der Gestaltung der Erdoberfläche. Dresden u. Leipzig.

KÖNIG, D., 1936: Theorie der endlichen und unendlichen Graphen. Leipzig.
(Mathematik in Monographien und Lehrbüchern. 16.)

LAGERSHAUSEN, H. 1956: Gutachten über die Bauwürdigkeit einer Haupteisenbahn Braunschweig - Uelzen. Hannover
(Niedersächsisches Amt für Landesplanung und Statistik. Reihe G. 13.)

LALANNE, L., 1863: An essay on the theory of railway systems, based on observations of facts and the basic laws governing population distribution.
Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences. (Paris). 57 (1863). S. 206-210.

LAUNHARDT, W., 1887-1888: Theorie des Trassierens. Bd. 1.2. Hannover.

LIST, F., 1833: Über ein sächsisches Eisenbahnsystem als Grundlage eines allgemeinen deutschen Eisenbahnsystems und insbesondere über die Anlegung einer Eisenbahn von Leipzig nach Dresden. Leipzig.

LITTLE, J.D.C.; K.G. MURTY, D.W. SWEENEY u. C. KAREL, 1963: An algorithm for the travelling salesman problem.
Operations Research. 11 (1963). S. 972-989.

LÖSCH, A., 1940: Die räumliche Ordnung der Wirtschaft. Jena.

LYUSTERNIK, L.A., 1964: Shortest paths, variational problems. Oxford.

LUCAS, E., 1882-1894: Récréations mathématiques. Paris.

MASUHR, J., 1957/58: Die historische Entwicklung des Eisenbahnnetzes im Gebiet des Landes Niedersachsen.
Neues Archiv für Niedersachsen. 9 (1957/58). S. 341-351.

MORRILL, R.L., 1965: Migration and the spread and growth of urban settlement. Lund.
(Lund Studies in Geography. Ser. B. Human Geography. 26.)

OPFERMANN, K., 1967: Ein Beitrag zur Planung der optimalen Linienführung von Verkehrswegen.
Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft. 123 (1967). S. 279-295.

ORE, O., 1963: Graphs and their uses. New York.

PIRATH, C., 1937: Einfluß der Dezentralisation der Industrie auf die Belastung der Wirtschaft durch Transportkosten.

Zeitschrift für Verkehrswissenschaft. 14 (1937). S. 81-113.

PRIHAR, Z., 1956: Topological properties of telecommunication networks.
Proceedings of the Institute of Radio Engineers. 44 (1956). S. 929-933.

RAUMORDNUNGSBERICHT 1968 Raumordnungsbericht 1968. Bericht der Landesregierung gemäß § 6 des Niedersächsischen Gesetzes über Raumordnung und Landesplanung. o.O. o.J. (Hannover 1968.)

RAUMORDNUNGSBERICHT 1969 Raumordnungsbericht 1969 der Bundesregierung. Bonn 1969.

RINGEL, G., 1959: Färbungsprobleme auf Flächen und Graphen. Berlin.

SCHULTZE, J.H., 1960: Raumforschung und Geographie in ihrer Stellung zueinander.
In: Raumforschung. 25 Jahre Raumforschung in Deutschland. Bremen. S. 37-57.

SCHULTZE, J.H., 1966: Landschaft.
In: Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung. Hannover. Sp. 1047-1068.

SESHU, S. u. M.B. REED, 1961: Linear graphs and electrical networks. Reading, Massachusetts.

SEYDLITZ, E.v., 1931: E.v. Seydlitz'sche Geographie. Hundertjahr-Ausgabe. Europa (ohne Deutschland). Breslau.

SYLVESTER, J.J., 1878: On the application of the new atomic theory to the graphical presentation of the invariants and covariants of binary quantics.
American Journal of Mathematics. 1 (1878). S. 64-125.

VERWALTUNGS- UND GEBIETSREFORM IN NIEDERSACHSEN Verwaltungs- und Gebietsreform in Niedersachsen. Gutachten der Sachverständigenkommission für die Verwaltungs- und Gebietsreform in Niedersachsen. Vorschläge zur Aufgabenverteilung. Bd 1.2. Hannover 1969. (Weber-Gutachten.)

VOIGT, F., 1965: Verkehr. Bd 2, Hälften 1.2. Berlin

WERNER, Chr., 1966: Zur Geometrie von Verkehrsnetzen. Berlin. (Abhandlungen des 1. Geographischen Instituts der Freien Universität Berlin. 10.)

WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN
Wirtschaftliche Entwicklungsmöglichkeiten des Landes Niedersachsen bis zum Jahre 1980. Basel 1967.
(Prognos. Europäisches Zentrum für Angewandte Wirtschaftsforschung.)

WITT, W., 1967: Ökonomische Raummodelle und geographische Me-

thoden.
Geographische Zeitschrift. 55 (1967). S. 91-109.

STATISTISCHE UND KARTOGRAPHISCHE HILFSMITTEL UND QUELLEN

a) Hilfsmittel

FLIRI, F., 1969: Statistik und Diagramm. Braunschweig.
(Das Geographische Seminar. Praktische Arbeitsweisen.)

GREGORY, S., 1963: Statistical methods and the geographer. London.

IBM (Hrsg.), 1967: IBM. Application Program H - 20 - 0225 - 1 (1130 Scientific Subroutine Package. 1130-CM-o2X. Application Description. 2nd ed.) White Plains, N.Y.

INFORMATIONSBÜRO DER DATENVERARBEITUNG (Hrsg.), 1967: Glossary der Datenverarbeitung. Lintorf.

KREYSZIG, E., 1965: Statistische Methoden und ihre Anwendungen. Göttingen.

MARSAL, D., 1967: Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. Stuttgart.

PFANZAGL, J., 1966: Allgemeine Methodenlehre der Statistik. Berlin.
(Sammlung Göschen. 746/746 a.)

RAHMSTORF, G., 1968: Datenverarbeitung. Berlin
(Werkstattbücher. 23.)

THOMAS, E.N., 1960: Maps of residuals from regression: their characteristics and uses in geographic research. Iowa City, Iowa.
(State University of Iowa. Department of Geography. 2.)

b) Quellen

BEVÖLKERUNG DER GEMEINDEN IN NIEDERSACHSEN
Die Bevölkerung der Gemeinden in Niedersachsen am 31.12.1967. Hannover 1968.
(Statistische Berichte. Ergebnisse der Amtlichen Statistik des Landes Niedersachsen.)

GRUNDLAGEN UND HINWEISE Grundlagen und Hinweise für ein Landes-Raumordnungsprogramm. Hrsg. vom Niedersächsischen Ministerium des Innern. Teil 1-4. Hannover 1962-1966.
(Schriften der Landesplanung Niedersachsen. 31-32.)

HAMBURG IN ZAHLEN Hamburg in Zahlen. Monatsschrift des Stati-

stischen Landesamtes der Freien und Hansestadt Hamburg. Jg 1966/67 - 1967/68.

KARTE der Bundesbahndirektion Hamburg. Maßstab 1:3oo ooo. Februar 1964.

KARTE der Bundesbahndirektion Hannover. Maßstab 1:3oo ooo. April 1962.

KARTE der Bundesbahndirektion Münster. Maßstab 1:450 ooo. November 1965.

DIE KREISFREIEN STÄDTE UND LANDKREISE Die kreisfreien Städte und Landkreise Niedersachsens in Zahlen. Ausgabe 1967. (Statistische Monatshefte für Niedersachsen. Jg 21 (1967). Beilage zu Heft 8.)

NIEDERSACHSEN UND BREMEN Niedersachsen und Bremen. Hannover 1961. (Deutscher Planungsatlas. Bd 2.)

RAUMORDNUNGSBERICHT 1966 Raumordnungsbericht 1966 der Bundesregierung. Bonn 1966.

RAUMORDNUNGSBERICHT 1967 Raumordnungsbericht 1967. Vorläufiger Bericht der Landesregierung gem. § 21 des Niedersächsischen Gesetzes über Raumordnung und Landesplanung. Hannover. (Schriften der Landesplanung Niedersachsen. Sonderveröffentlichung.)

STATISTISCHE MONATSBERICHTE BREMEN Statistische Monatsberichte Bremen (Land Freie Hansestadt Bremen). Jg 19 (1967) - 20 (1968).

VERWALTUNGSATLAS Verwaltungsatlas des Landes Niedersachsen. (Hrsg.: Niedersächsisches Landesverwaltungsamt). Hannover 1967.

BUNDESBAHNDIREKTION HANNOVER (Hrsg.), 1968: Übersichtskarte zum Amtlichen Taschenfahrplan Niedersachsen, Ostwestfalen, Bremen. Maßstab 1:1 3oo ooo. Winter 1968/69.

ABHANDLUNGEN DES GEOGRAPHISCHEN INSTITUTS
DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

Band 1: K. Schröder, Die Stauanlagen der mittleren Vereinigten Staaten. Ein Beitrag zur Wirtschafts- und Kulturgeographie der USA. 1953. 96 S. mit 4 Karten, DM 12,--

Band 2: O. Quelle, Portugiesische Manuskriptatlanten. 1953. 12 S. mit 25 Tafeln und 1 Kartenskizze. Vergriffen!

Band 3: G. Jensch, Das ländliche Jahr in deutschen Agrarlandschaften. 1957. 115 S. mit 13 Figuren und Diagrammen, DM 19,50

Band 4: H. Valentin, Glazialmorphologische Untersuchungen in Ostengland. Ein Beitrag zum Problem der letzten Vereisung im Nordseeraum. 1957. 86 S. mit Bildern und Karten, DM 20,--

Band 5: Geomorphologische Abhandlungen. Otto Maull zum 70. Geburtstage gewidmet. Besorgt von E. Fels, H. Overbeck und J. H. Schultze. 1957. 72 S. mit Abbildungen und Karten, DM 16,--

Band 6: K.-A. Boesler, Die städtischen Funktionen. Ein Beitrag zur allgemeinen Stadtgeographie aufgrund empirischer Untersuchungen in Thüringen. 1960. 80 S. mit Tabellen und Karten. Vergriffen!

Seit 1963 wird die Reihe fortgesetzt unter dem Titel

ABHANDLUNGEN DES 1. GEOGRAPHISCHEN INSTITUTS
DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

Band 7: J. H. Schultze, Der Ost-Sudan. Entwicklungsland zwischen Wüste und Regenwald. 1963. 173 S. mit Figuren, Karten und Abbildungen. Vergriffen!

Band 8: H. Hecklau, Die Gliederung der Kulturlandschaft im Gebiet von Schriesheim/Bergstraße. Ein Beitrag zur Methodik der Kulturlandschaftsforschung. 1964. 152 S. mit 16 Abbildungen und 1 Karte, DM 30,--

Band 9: E. Müller, Berlin-Zehlendorf. Versuch einer Kulturlandschaftsgliederung. 1968. 144 S. mit 8 Abbildungen und 3 Karten, DM 30,--

Band 10: C. Werner, Zur Geometrie von Verkehrsnetzen. Die Beziehung zwischen räumlicher Netzgestaltung und Wirtschaftlichkeit. 1966. 136 S. mit 44 Figuren. English Summary. Vergriffen!

Band 11: K. D. Wiek, Kurfürstendamm und Champs-Elysées. Geographischer Vergleich zweier Weltstraßen-Gebiete. 1967. 134 S. mit 9 Photos, 8 Kartenbeilagen, DM 30,--

Band 12: K.-A. Boesler, Kulturlandschaftswandel durch raumwirksame Staatstätigkeit. 1969. 245 S. mit 10 Photos, zahlreichen Darstellungen und 3 Beilagen, DM 60,--

Band 13: Aktuelle Probleme geographischer Forschung. Festschrift anläßlich des 65. Geburtstages von Joachim Heinrich Schultze. Herausgegeben von K.-A. Boesler und A. Kühn. 1970. 549 S. mit 43 Photos und 66 Figuren, davon 4 auf 2 Beilagen. DM 60,--

Band 14: D. Richter, Geographische Strukturwandlungen in der Weltstadt Berlin. Untersucht am Profilband Potsdamer Platz - Innsbrucker Platz. 1969. 229 S. mit 26 Bildern und 4 Karten. DM 19,--

Band 15: F. Vetter, Netztheoretische Studien zum niedersächsischen Eisenbahnnetz. Ein Beitrag zur angewandten Verkehrsgeographie. 1970. 150 S. mit 14 Tabellen und 40 Figuren. DM 19,--

Band 16: B. Aust, Stadtgeographie ausgewählter Sekundärzentren in Berlin (West). 1970. IX und 151 S. mit 32 Bildern, 13 Figuren, 20 Tabellen und 7 Karten. DM 19,--

Band 17: K.-H. Hasselmann, Untersuchungen zur Struktur der Kulturlandschaft von Busoga (Uganda). In Vorbereitung.

Band 18: H. J. Mielke, Die kulturlandschaftliche Entwicklung des Grunewaldgebietes. 1972. 348 S. mit 32 Bildern, 18 Abbildungen und 9 Tabellen. DM 30,--

Die Reihe wird fortgesetzt

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

1 Berlin 45, Drakestr. 40

L E B E N S L A U F

Am 3. April 1940 wurde ich als Sohn des Rentmeisters Richard Vetter und seiner Frau Certrud, geb. Scholz, in Parchwitz, Krs. Liegnitz/Schlesien, geboren.
Im März 1957 erlangte ich an der Mittelschule Bremervörde die Mittlere Reife. Im März 1960 legte ich an der Lessingschule Bremerhaven das Abitur ab.
Mit dem Sommersemester 1962 begann ich an der Philipps-Universität Marburg/Lahn das Studium der Geographie und der Anglistik. Im Wintersemester 1963/64 setzte ich das Studium an der Freien Universität Berlin fort.
Vom Juli 1964 bis zum Mai 1966 studierte ich als Austauschstudent der Fulbright-Kommission und Lehrassistent (Teaching Assistant) am Geography-Department der Northwestern University, Evanston,Chicago Quantitative Geography. Im Mai 1966 erwarb ich dort den Master of Science (M.Sc.) -Grad in Geographie.
Ende Mai 1966 kehrte ich an die Freie Universität Berlin zurück, vervollkommnete meine Studien in Geographie und Anglistik, nun auch in Philosophie und Politischen Wissenschaften und widmete mich seitdem der Fertigstellung meiner Dissertation.

Berlin, im Herbst 1969

Friedrich Vetter