

**BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN**

ISSN 0373-0468

Herausgegeben von

H. Hahn - W. Kuls - W. Lauer - P. Höllermann - K.A. Boesler

Schriftleitung: H.-J. Ruckert

Heft 61

**Christoph Leusmann**

# **Strukturierung eines Verkehrsnetzes**

**Verkehrsgeographische Untersuchungen unter  
Verwendung graphentheoretischer Ansätze  
am Beispiel des süddeutschen Eisenbahnnetzes**

1979

In Kommission bei  
Ferdinand Dümmlers Verlag - Bonn

Christoph Leusmann

## **Strukturierung eines Verkehrsnetzes**

Verkehrsgeographische Untersuchungen unter  
Verwendung graphentheoretischer Ansätze  
am Beispiel des süddeutschen Eisenbahnnetzes

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

ISSN 0373-0468

Herausgegeben von

H. Hahn W. Kuls W. Lauer P. Höllermann K. A. Boesler

Schriftleitung: H.-J. Ruckert

---

Heft 61

Christoph Leusmann

## Strukturierung eines Verkehrsnetzes

Verkehrsgeographische Untersuchungen unter  
Verwendung graphentheoretischer Ansätze  
am Beispiel des süddeutschen Eisenbahnnetzes



1979

---

In Kommission bei

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN

— Dümmlerbuch 7611 —

# **Strukturierung eines Verkehrsnetzes**

Verkehrsgeographische Untersuchungen unter  
Verwendung graphentheoretischer Ansätze  
am Beispiel des süddeutschen Eisenbahnnetzes

von

**Christoph Leusmann**

Mit 64 Abbildungen, z. T. auf 5 mehrfarbigen Beilagen  
und 8 Tabellen

In Kommission bei

**FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN**



 dümmersbuch 7611

Alle Rechte vorbehalten

Inv. Nr. 42878  
5 Beilagen  
ISBN 3 - 427 - 76111 - 8

© 1979 Ferd. Dümmers Verlag, 5300 Bonn 1

Herstellung: Richard Schwarzbald, Witterschlick b. Bonn

## V O R W O R T

Diese Arbeit befaßt sich mit der "Struktur" von Verkehrsnetzen. Vermittels eines stark formalisierten Ansatzes der Graphentheorie wird am Beispiel des Eisenbahnnetzes von Süddeutschland gezeigt, daß "Struktur" nicht als eine eindeutig fixierte Eigenschaft von Verkehrsnetzen angesehen werden kann, sondern als aus verschiedenen miteinander korrelierten "Strukturkomponenten" zusammengesetzt betrachtet werden muß — die ihrerseits mit sozialökonomischen Kennzeichnungen der betreffenden Region in signifikantem Zusammenhang stehen.

Die zweifellos ungewöhnliche, der formal-mathematischen Zeichensprache entlehnte abstrakte Terminologie bringt darüberhinaus einen weiteren entscheidenden Vorteil: es wird möglich, Unschärfen und Inkorrektheiten, die in der Literatur vorfindlich waren, verständlich und übersichtlich zu korrigieren und die diversen verstreuten methodischen und theoretischen Ansätze sowie mathematisch-analytische Verfahren zu einer strukturellen Netzanalyse ansatzweise zu klassifizieren.

Entscheidenden Anteil am Gelingen dieser Arbeit muß dabei Herrn Prof. Dr. W. Kuls zugesprochen werden; für die stetige Unterstützung und Ermutigung, wie auch wertvolle kritische Anregungen möchte ich hier herzlich danken.

Ebenfalls Dank schulde ich den Herren Prof. Dr. J. Bähr und Priv. Doz. Dr. H. Böhm, die sich freundlicherweise zur Begutachtung bereiterklärt hatten, Herrn Dr. F.-J. Kemper für dessen vielfältige Unterstützung bei den anfallenden Rechenarbeiten, Herrn Dr. Frieling und Herrn L. Bathe für ihre Bemühungen bei der Datenbeschaffung sowie Frl. S. Kersting für ihre Hilfe bei den Schreivarbeiten. Die englische Zusammenfassung besorgte freundlicherweise Herr Dr. G. Thieme.

Den Herausgebern der BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN danke ich für die Aufnahme dieser Arbeit in die Reihe.

## I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. Der Ansatz.....	1
1.1. Hinführung.....	1
1.2. Formalisierung und Problemstellung.....	7
1.3. Das Netz.....	20
2. Die Strukturierungen.....	25
2.1. Das Funktional $(r)_1^F$ .....	26
2.1.1. Die Strukturierung $S_{r1}(v_i)$ .....	26
2.2. Das Funktional $(r)_2^F$ .....	31
2.2.1. Die Strukturierung $S_{r(2,1,2)}(v_i)$ .....	31
2.2.2. Die Strukturierung $S_{r3}(v_i)$ .....	35
2.2.3. Die Strukturierung $S_{r(4,2)}(v_i)$ .....	39
2.2.4. Die Strukturierung $S_{r(5,3)}(v_i)$ .....	44
2.2.5. Die Strukturierung $S_{24}(v_i)$ .....	46
2.2.6. Die Strukturierung $S_{r(6,4)}(v_i)$ .....	48
2.2.7. Die Strukturierung $S_{r(7,5)}(v_i)$ .....	51
2.3. Das Funktional $(r)_3^F$ .....	55
2.3.1. Die Strukturierung $S_{r(8,6)}(v_i)$ .....	55
2.4. Das Funktional $(r)_4^F$ .....	58
2.4.1. Die Strukturierung $S_{37}(v_i)$ und $S_{r(9,8)}(v_i)$ .....	58
2.4.2. Die Strukturierung $S_{39}(v_i)$ und $S_{r10}(v_i)$ .....	61
3. Die Strukturkomponenten.....	66
3.1. Der dimensionsspezifische Ansatz.....	67
3.1.1. Das faktorenanalytische Verfahren.....	67
3.1.2. Die topologische Dimensionierung.....	70
3.1.3. Die aktuelle Dimensionierung.....	74
3.2. Die generellen Strukturkomponenten.....	77

	Seite
3.3.Die "aspektbezogene" Knotentypisierung.....	84
3.3.1.Das Verfahren.....	84
3.3.2.Die Knotentypen.....	88
4.Sozialökonomische Verhältnisse und "Netzstruktur".....	92
4.1.Die Fragestellung.....	92
4.2.Einige Ergebnisse.....	96
5.Schlußbetrachtungen.....	105
5.1.Resümee.....	105
5.2.Ausblick.....	108
6.Anhang:Theoretische Ausführungen und Ergänzungen.....	118
6.1.Zur Bestimmung von $(r)_2^F$ .....	118
6.2.Zur Bestimmung von $(r)_3^F$ .....	123
6.3.Zur Entropie.....	133
6.4.Zur Strukturierung $S_{39}(v_i)$ .....	137
7.Summary.....	146
8.Literaturverzeichnis.....	148

VIII

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Nr.	Seite
1	21
2	22f
3	28
4 <sup>+</sup>	B <sup>i)</sup>
5	29
6 <sup>+</sup>	B
7 <sup>+</sup>	B
8 <sup>+</sup>	B
9	38
10 <sup>+</sup>	B
11 <sup>+</sup>	B
12 <sup>+</sup>	B
13 <sup>+</sup>	B
14	41
15	42
16	43
17	44
18	45
19 <sup>+</sup>	B
20 <sup>+</sup>	B
21	47
22 <sup>+</sup>	B
23 <sup>+</sup>	B
24 <sup>+</sup>	B

i) Die mit einem <sup>+</sup> versehenen Abbildungen befinden sich in der Beilage (B).

Nr.	Seite
25 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{34}(v_i)$ .....	B
26 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{35}(v_i)$ .....	B
27 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{17}(v_i)$ .....	B
28 Beispiel zur Motivation von $S_{r(8,6)}(v_i)$ .....	55
29 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{18}(v_i)$ .....	B
30 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{36}(v_i)$ .....	B
31 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{37}(v_i)$ .....	B
32 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{19}(v_i)$ .....	B
33 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{38}(v_i)$ .....	B
34 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{110}(v_i)$ .....	B
35 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{39}(v_i)$ .....	B
36 <sup>+</sup> Werteverteilung und Korrelogramm zu $S_{310}(v_i)$ .....	B
37 Schema zum Raumverteilungsmuster von $S_{310}(v_i)$ .....	65
38 Variablenkonfiguration im 3-dimensionalen Faktor- raum der topologischen Dimensionierung.....	71
39 <sup>+</sup> Faktorenwertverteilung zu Faktor "Bedeutung" $S_{11}^+(v_i)$ und Korrelogramm.....	B
40 <sup>+</sup> Faktorenwertverteilung zu Faktor "Primärlage" $S_{12}^+(v_i)$ und Korrelogramm.....	B
41 <sup>+</sup> Faktorenwertverteilung zu Faktor "Sekundärlage" $S_{13}(v_i)$ und Korrelogramm.....	B
42 Variablenkonfiguration im 3-dimensionalen Faktor- raum der aktuellen Dimensionierung.....	75
43 <sup>+</sup> Faktorenwertverteilung zu Faktor "Bedeutung" $S_{31}^+(v_i)$ und Korrelogramm.....	B
44 <sup>+</sup> Faktorenwertverteilung zu Faktor "Primärlage" $S_{32}^+(v_i)$ und Korrelogramm.....	B
45 <sup>+</sup> Faktorenwertverteilung zu Faktor "Sekundärlage" $S_{33}(v_i)$ und Korrelogramm.....	B
46 Kompositionsschema zur "Netzstruktur".....	77
47 Schematische Raumverteilung der Faktorenwerte(topo- logische und aktuelle Dimensionierung).....	79

Nr.	Seite
48	Variablenkonfiguration im 3-dimensionalen bewertungsunspezifischen Faktorraum..... 83
49 <sup>+</sup>	Faktorenwertverteilung zu Faktor "Bedeutung" $S_1^{++}(v_i)$ und Korrelogramm..... B
50 <sup>+</sup>	Faktorenwertverteilung zu Faktor "Primärlage" $S_2^{++}(v_i)$ und Korrelogramm..... B
51 <sup>+</sup>	Faktorenwertverteilung zu Faktor "Sekundärlage" $S_3^{++}(v_i)$ und Korrelogramm..... B
52	Varianzreproduktionskurve der Knotentypisierung..... 86
53 <sup>+</sup>	Ergebnisse der aspektbezogenen Knotentypisierung..... B
54 <sup>+</sup>	Kanonische Faktorenwerte zu $\hat{S}_1(v_i)/\hat{W}_1(v_i)$ ..... B
55 <sup>+</sup>	Kanonische Faktorenwerte zu $\hat{S}_2(v_i)/\hat{W}_2(v_i)$ ..... B
56	Übersicht über die verwendeten Strukturierungen..... 106f
57	Modell der räumlichen Organisation der verschiedenen Knotentypen..... 108
58	Schema zur Konstruktion der Erreichbarkeitsindizes. 112
59 <sup>+</sup>	Residuen der Erreichbarkeit..... B
60	Beispiel zu Satz 1..... 119
61	Beispiel zu Satz 2..... 122
62	Beispiel zur Differenzierung von Netzdurchmesser und Ergebnisgrad..... 125
63	Beispiel zu Satz 6..... 130
64	Mittlere Information als Funktion der Wahrscheinlichkeit $p_i$ ..... 136

V E R Z E I C H N I S D E R T A B E L L E N

Nr.		Seite
1	Übersicht der Transformationen sämtlicher Strukturierungen $S_{rt}(v_i)$ .....	27
2	Korrelationen zwischen sämtlichen Strukturierungen.	30
3	Ergebnisse der dimensionsspezifischen Faktorenanalyse	68
4	Korrelationsmatrix der dimensionsspezifischen Strukturkomponenten.....	80
5	Ergebnisse der dimensionsunspezifischen Faktorenanalyse.....	82
6	Mittelwert und Standardabweichung zu den Knoten- gruppen der Distanzgruppierung.....	87
7	Korrelationsmatrix der generellen Strukturkomponenten und der sozialökonomischen Variablen.....	99
8	Ergebnisse der kanonischen Korrelationsrechnung.....	100



D I E W I C H T I G S T E N V E R W E N D E T E N B E Z E I C H -  
N U N G E N

G	Untersuchungsgebiet	A	Matrix
V	Knotenmenge	I	Einheitsmatrix
R	Kantenmenge	$\lambda_i(A)$	Eigenwert zu A
$\Gamma$	Graph	$u_i$	Flußvektor
VA	Verkehrsart	$\varphi$	Matrix zur Flußverteilung
n	Knotenzahl in $\Gamma$		Permutation
m	Kantenzahl in $\Gamma$		
r	Bewertungsansatz	$\alpha, \dots$	Zahlen
D	Dimensionierung	s.t.	
F	Funktional	x	Mittelwert zur Variablen x
$S(v_i)$	Strukturierung	e	Element von
S	Matrix der Strukturierungen	$\bigwedge$	für alle
$S^+(v_i)$	dimensionsspezifische Strukturkomponenten	$\bigvee$	es existiert
	Matrix der dimensionsspezifischen Strukturkomponenten	U	Vereinigung
		$\cap$	Durchschnitt
$S^{++}(v_i)$	generelle Strukturkomponenten	Min	Minimum
	Matrix der generellen Strukturkomponenten	Max	Maximum
S	Matrix der Gesamtverkehrsstruktur	<	kleiner
$C, C^+, C^{++}$	Korrelationsmatrizen	>	größer
$W(v_i)$	sozialökonomische Daten	lim	Grenzwert
W	Matrix der sozialökonomischen Daten	$  $	Absolutbetrag
$\hat{S}/\hat{W}$	kanonische Faktoren	$\mathbb{N}$	Reelle Zahlen
$E(v_i)$	Erreichbarkeitsindex	XV =	$\underline{V \times V \times V \times \dots \times V}$
$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	Funktionen	ld	Logarithmus zur Basis 2
		$\wedge$	und
		v	oder

## 1. Der Ansatz

### 1.1. Hinführung

Betrachten wir einen Verkehrsknoten, -weg oder fluß als mögliches Resultat einer zwischen Raumeinheiten bestehenden Interaktionsnachfrage und sehen wir letztere selbst als Ergebnis gewisser sozialer, ökonomischer oder politischer Verhältnisse und Entscheidungen an, so lassen sich die neueren verkehrsgeographischen Arbeitsrichtungen durch folgende drei Fragestellungen charakterisieren<sup>1)</sup>:

- o Analyse der Netzelemente<sup>2)</sup>, deren Position im Gesamtnetz sowie dessen Gestaltung
- o Analyse der durch die Netzelemente und das Gesamtnetz bestimmten Interaktionsmuster
- o Analyse der Wechselwirkungen zwischen Netzelemente, Gesamtnetz und Interaktionsmuster mit sozialen, wirtschaftlichen und politischen Komponenten.

Diese Ansätze, von WHEELER(1973,182) in stärker komprimierter Form durch die Begriffspaare "network-flow-continuum" und "social-economic-continuum" gekennzeichnet, sind — eher doch im Gegensatz zu einer, sagen wir 'klassischen', auf dem Kontinent und namentlich in der Bundesrepublik allerdings noch dominanten Perzeption der Aufgaben einer Verkehrsgeographie, nämlich: regionale Beschreibung der Transportgelegenheiten unter gewichtiger Berücksichtigung physisch-geographischer Gegebenheiten und politischer, kultureller und ökonomischer Situationen sowie vergleichende Analyse diverser Verkehrsarten und Warenströme in verschiedenen Staaten der Erde<sup>3)</sup> — hier, in der Rezeption vorzüglich angloamerikanischen Schrifttums, quasi als Grundbausteine einer aus einer strukturellen und funktionalen Betrachtungsweise integrierten räumlichen Ordnungsanalyse anzusehen. Dabei soll, wenn man einem Vorschlag von HURST(1973) folgen will, der soziale

---

1) Vgl. etwa WHEELER(1971), WHEELER(1973), GAUTHIER(1971), TAAFFE/GAUTHIER(1973), HURST(1973), HURST(1974), ULLMAN(1974)

2) Zur Präzisierung der Begriffe vgl. S.7f.

3) Vgl. etwa OTREMBBA(1957), OTREMBBA(1969), OTREMBBA/AUF DER HEIDE(1975), OBST(1965), FOCHLER-HAUKE(1963), SENDLER(1970), aber auch SCHLIEPHAKE(1972) und SCHLIEPHAKE(1973)

und politische Kontext den Rahmen für eine betont systemanalytische Behandlung des Verkehrsgeschehens abgeben, und zweifellos muß die kürzlich verstärkte Betonung eben des dritten Aspektes schließlich schon selbst wieder auch als Reaktion verstanden werden, als Reaktion auf die in den letzten beiden Dèzennien im Zuge der sog. 'quantitativen Revolution' im Bereich der Raumwissenschaften ständig verfeinerten quantifizierenden Ansätze und modelltheoretischen Überlegungen zur strukturellen und funktionalen Beschreibung von Verkehrsnetz und Verkehrsfluß<sup>4)</sup> — zumal derartige Versuche nicht selten den Anschein erweckten, sie umschrieben tatsächlich die jeweils eigentliche und ausschließliche Arbeitsweise zur auch geographischen Analyse von Verkehr<sup>5)</sup>.

Trotz dieser methodisch wie theoretisch begrüßenswerten weniger allerdings Reorientierung als Erweiterung und Vertiefung der auf dem Interaktionskonzept fußenden verkehrsgeographischen Fragehaltung kann wohl kaum auf eine gegebenenfalls bewußt isolierte, auch und gerade quantifizierende Darstellung einzelner Systemkomponenten (vgl. auch HURST, 1974, 289) für das Verständnis der gegenseitigen Beziehungen und Wechselwirkungen derselben — eben des Systems — verzichtet werden, eben weil es, gelegentlichen Unterstellungen einer positivistischen Arbeitshaltung (so etwa HURST, 1974, 531) zum Trotz, dabei primär weniger auf Erklärungsansätze, als vielmehr eine stärker formale, durchaus deskriptive, verdichtete Aufbereitung eines sehr komplexen Untersuchungsgegenstandes ankommen mag.

Gerade aber bei einem solchen Ansatz, wie er im folgenden hinsichtlich der "strukturellen Organisation" von Verkehrsnetzen besprochen wird, ist es gleichzeitig häufig notwendig, Fragen einer sog. "Planungsrelevanz", generell einer direkten "Anwendungsbezogenheit" unberücksich-

---

4) Man vergleiche einerseits etwa den Jahrgang 1973 der Zeitschrift ECONOMIC GEOGRAPHY, zum anderen beispielhaft die Arbeiten von KANSKY (1963), JAMES/CLIFF/HAGGETT/ORD (1970), GARRISON (1960) sowie TINKLER (1972b)

5) Festzuhalten ist jedoch, daß man derlei Ansprüche häufiger, vehementer und auch kompromißloser sicherlich von Vertretern der 'traditionellen' Arbeitsrichtung formuliert findet.

tigt zu lassen oder zumindest in den Hintergrund zu drängen, insofern sie doch schon eine gewisse methodisch-theoretische Durchdringung und Aufbereitung des thematischen Gesamtzusammenhanges voraussetzen: es geht uns explizit nicht darum, eine vorgebliche "Praxisorientierung" moderner verkehrsgeographischer Forschung zu demonstrieren. Zwar bedeutet dies nicht, daß trotz des eher verkehrstheoretischen Charakters dieser Untersuchung nicht auch und gleich Überlegungen zur "praktischen Verwertbarkeit" angestellt worden seien, denn sicherlich ist ja die "Anwendbarmachung der gefundenen Methoden für die Zwecke der Prognose und Planung im Hinblick auf die Angewandte Geographie" (SCHLIEPHAKE, 1973, 70) wenn auch nur eine, so immerhin doch eine wesentliche Aufgabe auch der Verkehrsgeographie. Es scheint uns aber, daß eben diese Aufgabe erst dann sinnvoll in Angriff genommen werden kann, wenn einerseits eben solcherart relevante Verfahren überhaupt entwickelt, zum anderen sie in (beispielhafter) regionaler Einbindung ausreichend expliziert und, im Hinblick auf den späteren Einsatzbereich, bezüglich ihrer Brauchbarkeit sozusagen 'ausgetestet' sind<sup>6)</sup>. Im übrigen wird deutlich werden, daß die im Nachstehenden intendierte

---

6) Jedenfalls halten wir es für höchst unangebracht zu meinen, allein schon mit der "Anwendung" gewisser mathematischer Verfahren auf Verkehrsnetze überhaupt bzw. regionale Beispielnetze betreibe man "angewandte Verkehrsgeographie" (vgl. etwa VETTER, 1970, 7; 136; 139); ein derartiger Standpunkt dürfte nicht dazu angetan sein, die durchaus problematische Theorie-Praxis-Polarität zu beseitigen. Andererseits ist aber ebenso wohl die "Leichtigkeit", von der SCHLIEPHAKE (1973, 51) spricht, mit der "...regionale verkehrsgeographische Betrachtungen... auch prognostische Hinweise geben und damit für Planung und Planungsprozess nützlich sein" könne, entschieden in Frage zu stellen — jedenfalls dann, wenn man bemüht ist, einerseits mehr als Trivialitäten abzubilden, zum anderen insonderheit den Gefahren zu begegnen, die einem voreiligen Einbezug unzureichend fundierter wissenschaftlich-theoretischer Erkenntnis in den Planungsprozess inhärent sind. Damit ist weder einem "Modellplatonismus" das Wort geredet, noch sind die zweifellos vorhandenen, wissenschaftshistorisch und fachpolitisch bedeutsamen Legitimationszwänge geographischer Analyse in Abrede gestellt; es mag lediglich ein gewisses, allerdings wachsendes Unbehagen angedeutet sein gegenüber einem allzu hektischen Bemühen um "Relevanz", gegenüber oftmals nachgerade krampfhaft verzerrten Versuchen, Affinitäten zur Planung zu konstruieren und diese zur Panazee eigener (teil)disziplinpolitischen Misere zu stilisieren — was geradezu lächerlich wird, wenn man gleichzeitig sämtliche Bestrebungen eben auch diesen Ansatz über bislang wenig vertraute Methoden und Theorien zu operationalisieren, als ungeographisch und bestenfalls der REGIONAL SCIENCE zugehörig abtut (vgl. etwa OTREMBIA, 1969).

Explikation und Abstimmung verschiedenartiger methodischer Zugänge sowie deren Anwendung auf ein Beispielnetz mit Ziel einer Extraktion allgemeingültiger, zumindest aber verallgemeinerungsfähiger Aussagen hinsichtlich einer "Netzstruktur" doch auf grundsätzlich anderen Fragestellungen beruht, als eine angewandte Geographie gegen eine moderne Verkehrsanalyse aufwerfen könnte.

Bei unserem Anliegen nun, welches nur unzureichend zunächst stichwortartig durch "Netzstrukturanalyse" umschrieben, weil an dieser Stelle aus zwingend formalen Gründen noch nicht weiter präzisiert werden kann, stellt sich die graphentheoretische Abstraktion nicht nur als das entscheidende und tragende methodisch-analytische Hilfsmittel dar, sondern wird gleichermaßen selbst zum kritischen Ansatzpunkt unserer Fragestellung: ihr gelegentlicher Einbezug in geographische Untersuchungen hat dazu geführt, daß nicht nur weitgehend "Netzstruktur" als identisch mit "Netzgestalt" im topologisch-geometrischen Sinne verstanden worden ist<sup>7)</sup>, sondern zudem vielfach einfach von der Struktur des Netzes als von einer diesem selbst zukommenden Eigenschaft die Rede war, die es galt, mithilfe einer oder mehrerer Maßzahl(en) etwa zu entdecken, quantitativ zu beschreiben und zu deuten<sup>8)</sup>. Das hierbei im allgemeinen verwendete analytische Verfahren einer Indexkonstruktion hat sich als solches wohl durchaus bewährt, führt aber bei eben beschriebenen Ansatz — abgesehen einmal von der Frage, was denn nun überhaupt unter einer "strukturellen Beziehung zwischen Netzelementen" zu verstehen sei<sup>9)</sup> — auf ein weiteres Problem, insofern einerseits durch die Gleichsetzung von Struktur und Gestalt<sup>10)</sup> jene weitgehend als einmalig betrachtet werden muß, andererseits aber durch die Anwendung gleicher Maßzahlen auf verschiedene Netze dennoch eine gleich-

---

7) Vgl. etwa VETTER(1970, 12), KANSKY(1963, 5), WERNER(1968, 150)

8) Siehe z. B. TAAFFE/GAUTHIER(1963, 2), GARRISON/MARBLE(1965, 61), JAMES/CLIFF/HAGGETT/ORD(1970, 14) GAUTHIER(1968, 78)

9) Verwendet etwa bei TAAFFE/GAUTHIER(1973, 158), KANSKY(1963, 1), GARRISON/MARBLE(1963, 238)

10) KANSKY(1963, 5) etwa schreibt: "...the term structure denotes the layout, geometry, or network pattern of transportation facilities or systems. These expressions, which may be used synonymously...".

artige "strukturelle" Eigenschaft sämtlicher Elemente der Objektklasse: Verkehrsnetze implizit unterstellt wird. Letzteres, d.h. die Postulierung einer relativen Invarianz von "Struktur" gegenüber einzelnen Elementen einer bestimmten Klasse von Objekten scheint ein brauchbarer Ansatzpunkt zu sein, bedeutet allerdings, daß sich "Struktur" auch nur auf diese Klasse selbst bezieht. Betrachten wir so "Struktur" als nicht durch die "Geometrie des Gegenstandes, den wir sehen, sondern vom organisatorischen Rahmen, in den wir ihn stellen" (HAGGETT, 1973, 3) bestimmt, so prägen die je verwendeten Indizes zunächst dem betrachteten Objekt vielmehr eine bzw. mehrere Kennzeichnung(en) auf, als daß sie Wesensmäßiges greifbar machen, und sollen von uns weiterhin als "Strukturierungen" (vgl. S. 13) bezeichnet werden. Damit ist gleichzeitig das (notwendige) subjektive Element dieses Vorganges hervorgehoben sowie deutlich gemacht, daß es hierbei um nichts weiter und mehr geht, als um eine differenzierte quantitative Operationalisierung, die sich natürlich auf verschiedene, letztlich unendlich viele Arten vollziehen kann, und von der wir hier zunächst nichts fordern wollen, als daß sie kontextgemäß 'sinnvoll' geschehe.

Dann allerdings, bei Betrachtung eines solchen Spektrums von Kennzeichnungen aus möglichst unterschiedlichen Perspektiven, läßt sich der entscheidenden Frage nachgehen, ob hiermit das Vorhandensein etwa verschiedener unabhängiger oder korrelierter "Strukturkomponenten" (vgl. S. 16) nahegelegt ist, welche selber erst, wie auch immer konkretisiert, als mehr oder weniger dichte Zusammenfassung oder Kombination von Indizes als Elemente einer Struktur von Netzen aufzufassen wären; diese ließen sich nun umgekehrt bei direkten Untersuchungen bestimmter Netzkonfigurationen durch eine weitgehend beliebige Auswahl jeweils einer Größe aus entsprechend hierzu korrespondierenden Indexgruppen approximieren. Da aber zudem die Objektklasse der Netze als nicht nur im Hinblick auf die Gestalt, sondern ebenso bezüglich einer Bewertung der einzelnen Elemente differenziert betrachtet werden muß, ist die Notwendigkeit einer Untersuchung der Änderung der Komponentenspezifischen Kennzeichnung beim Übergang von einem bestimmten (z.B. topologischen) Bewertungsschema (vgl. S. 11) zu einem anderen (z.B. metrischen) eingeschlossen. Wir kommen hierauf und insbesondere den mehrstufigen Charakter solcherart "Strukturerschließung" in Kürze zurück (S. 13f),

müssen vorab aber um Präzisierung diverser Begriffe sowie verschiedener Vereinbarungen hinsichtlich der weiterhin verwendeten Notation bemüht sein — auch, um dann die beiden eben skizzierten Grundprobleme in klarer verständlicher und exakter Weise ausdifferenzieren zu können (vgl. S. 18).

Dabei ist diese Möglichkeit, Fragestellungen zu präzisieren und pointieren, sowie — wichtig genug — Kontrollierbarkeit unserer Resultate zu optimieren weder alleiniger noch erster Grund für einen hierbei verwendeten und vertretenen Grad der Formalisierung, der zunächst befremdlich und dem Verständnis eher hinderlich erscheinen mag: zuvörderst muß als ein ganz wesentliches Ergebnis der Literaturanalyse herausgestellt werden, daß vernachlässigte, auch und gerade pseudopräzise<sup>11)</sup> Begrifflichkeit sowie mangelnde und mangelhafte sprachliche wie formalsprachliche Exaktheit in enger Korrelation zu oberflächlicher, ja fehlerhafter inhaltlicher Darstellung stehen und einzig der Rückgriff auf ein möglichst abstraktes, der formal-mathematischen Zeichensprache entlehntes Kalkül es ermöglichte, derartige Unschärfen und Inkorrektheiten verständlich und übersichtlich zu korrigieren; nur dieses Vorgehen gestattete dann auch nicht nur eine einheitlich faßbare, umfangreiche Übersicht und Beschreibung der diversen verstreuten methodischen und theoretischen Ansätze sowie mathematisch-analytischen Verfahren zur "Netzstrukturuntersuchung", sondern regte gleichermaßen den Versuch einer ersten Klassifizierung derselben und Konzeptualisierung an, auf den an verschiedener Stelle der Arbeit, namentlich aber im 4. Abschnitt und insonderheit dem Anhang zurückzukommen sein wird.

---

11) Damit ist gemeint: Begriffe, meist umgangssprachlich, zu definieren und Vokabeln bereitzustellen, die für das Folgende weitgehend belanglos bleiben und deren Funktion bestenfalls darin besteht, Deskription und Vorführung gewisser Formeln etwa zu ermöglichen, deren Verwendung wiederum aber zu offenkundig einzig Zugeständnis an vorgeblich moderne geographische Arbeitsweise bedeutet — wie nicht zuletzt gerade in solchen Fällen schon aus fehlerhafter Rezeption oft der einfachsten quantitativen Größen hervorgeht (vgl. z. B. SCHMIDT, 1977).

## 1.2. Formalisierung und Problemstellung

1. Gegeben sei ein Gebiet  $G$ , in dem es Verkehr im Sinne von raumüberwindenden Vorgängen (PREDÖHL, 1961, 102) oder Raumüberwindung (SCHLIEP-HAKE, 1973, 1) geben möge. Je nach den hierbei<sup>12)</sup> benutzten Verkehrsmitteln und -wegen unterscheiden wir verschiedene Verkehrsarten. Ist  $VA$  eine solche, so soll das zugehörige Verkehrsnetz ungeachtet seiner 'konkreten Existenz' formal durch ein System<sup>13)</sup>  $\Gamma_{VA} = [V, R]$  beschrieben werden, welches wir als geschlossen voraussetzen wollen<sup>14)</sup>. Hierbei gebe  $V = \{v_i / i=1, n\}$  die Menge der in  $G$  gelegenen

12) Dieser allgemeine Ansatz erscheint ausreichend, da die weiters beschriebenen Verfahren sich trotz ihrer hier erfolgten regionalen wie objektbezogenen Einbindung problemlos auf sämtliche in nachstehender Klassifikation aufgeführten Transportsysteme anwenden lassen:

<u>Wegenetz</u>		
Radio	Telephon	Nachrichten, Informationen, Energie
Fernsehen	Kabelverkehr	
Funk	Versorgungsleitung	
Flugverkehr	Eisenbahnverkehr	Güter, Personen (Energie)
Schiffsverkehr	Straßenverkehr	
Netz hat keine konkrete Existenz	Netz existiert unabhängig vom Transportverkehr	

(verändert nach HURST (1974, 54))

13) Dieser Begriff soll hier im Sinne der von WINTGEN (1968) vorgeschlagenen mengentheoretischen Definition verstanden werden. Legt man etwa das bei HURST (1974) verwendete Systemverständnis zugrunde, handelt es sich bei  $\Gamma_{VA}$  um ein sehr stark eingeschränktes partielles Teilsystem des allgemeinen Verkehrssystems (WINTGEN (1968, 874) nennt  $[N, R]$  ein partielles Teilsystem von  $[M, S]$ , wenn  $N \subseteq M$  sowie  $R \subseteq S|_N$  gilt).

14) Dies ist natürlich prinzipiell eine sehr restriktive Annahme, die nun zwar zunächst notwendig erscheint und sich hinsichtlich unserer Konkretisierung von  $\Gamma$  rechtfertigen läßt (vgl. S. 23), die jedoch auch zumindest bezüglich der Bedeutung des Einflusses anderer Verkehrsarten im Verlauf der Arbeit verschiedentlich relativiert werden wird.



und über  $V_A$  kommunizierenden Raumeinheiten, sowie  $R \subseteq V \times V$  als Relation über  $V$  die Art und Weise der Beziehungen zwischen den einzelnen  $v_i$  an.  $\Gamma_{V_A}$  ist so als 'Abbild' des bestehenden Verkehrsnetzes, als geometrischer<sup>15)</sup> Graph<sup>16)</sup> im  $\mathbb{R}^n$  anzusehen. In diesem Sinne werden die Elemente von  $V$  als Knoten, die von  $R$  als Kanten des Graphs bezeichnet<sup>17)18)</sup>.

2. Hinsichtlich  $\Gamma_{V_A}$  sollen nun folgende Einschränkungen gemacht werden:

- (1)  $\Gamma_{V_A}$  sei planar, d.h., möge eine geometrische Realisierung im  $\mathbb{R}^2$  besitzen<sup>19)</sup>.

15) Vgl. DÖRFLER/MÜHLBACHER (1972, 7)

16) Zu den Beziehungen zwischen System und Graph vgl. die Bemerkungen bei WINTGEN (1968, 870).

17) Im englischen Schrifttum wird gelegentlich eine Unterscheidung zwischen 'vertex' und 'node' bzw. 'edge' und 'linkage' getroffen, wobei sich diese Begriffe einmal auf den Graph, zum anderen auf das zugrundeliegende konkrete Verkehrsnetz beziehen. Wir werden, ähnlich wie TAAFFE/GAUTHIER (1973, 101) eine derartige Unterscheidung nicht treffen und überhaupt die Begriffe Graph und Netz weiterhin als synonym verwenden, da Unklarheiten nicht zu befürchten sind; vgl. auch VETTER (1970, 30).

18) Für die Elemente von  $R$ , die Kanten, soll je nach Problemstellung entweder eine Paardarstellung  $(v_i, v_j) \in R$  oder eine Kennzeichnung der Form  $e_k$  mit  $e_k \in \{e_i / i = 1, m\} = R$  verwendet werden.

19) Wollte man hier ganz exakt vorgehen, müßte man einem neuen Graph einführen, etwa  $\Gamma_{V_A}^*$ , der als isomorphes Abbild von  $\Gamma_{V_A}$  im  $\mathbb{R}^2$  zu gelten hätte;  $\Gamma_{V_A}^*$  wäre dann plättbar,  $\Gamma_{V_A}$  die geometrische Realisierung im  $\mathbb{R}^2$  und damit planar; vgl. z.B. DÖRFLER/MÜHLBACHER (1972, 30).

Anschaulich bedeutet die Eigenschaft der Planarität, daß bei einer graphischen Darstellung des betrachteten Verkehrsnetzes in der Ebene es eine Möglichkeit gibt, daß sich die durch  $R$  vorgegebenen Verbindungen zwischen den Elementen von  $V$  nur in diesen Elementen selbst schneiden. Daß dies oft auf verschiedene Weise möglich ist, erscheint einleuchtend; auf das hiermit angeschnittene Problem der Isomorphie verschiedener Darstellungen von  $\Gamma_{V_A}$  sei an dieser Stelle nur hingewiesen (vgl. auch DÖRFLER/MÜHLBACHER (1972, 16)).

(2) R sei eine symmetrische, irreflexive Relation<sup>20)</sup>, d.h.

- o  $\Gamma_{VA}$  ist schlicht
- o  $\Gamma_{VA}$  ist ungerichtet.

(3)  $\Gamma_{VA}$  enthalte keine isolierte Knoten, d.h. es gelte die

$$\text{Beziehung } \bigwedge_{v_i} \bigvee_{v_j} (v_i, v_j) \in R$$

3. Eine Kantenfolge  $w_{ij} = (v_i = v_{i_0}, \dots, v_{i_r} = v_j)$  der Länge r auf  $\Gamma_{VA}$  sei definiert als Element der Menge  $W^r = {}^{r+1}V$ , falls die Bedingungen

$$1.2./1. \quad \bigwedge_{\mu} (v_{i_\mu}, v_{i_{\mu+1}}) \in R$$

erfüllt sind. Gilt überdies

$$1.2./2. \quad \bigwedge_{\mu \neq r} (v_{i_\mu} \neq v_{i_r})$$

so wird  $w_{ij}$  auch als Weg zwischen  $v_i$  und  $v_j$  bezeichnet. Ist schließlich außerdem

$$1.2./3. \quad \bigwedge_{\substack{1 \leq \mu, \nu < r \\ \mu \neq \nu}} (v_{i_\mu} \neq v_{i_\nu}) \wedge v_i = v_j$$

20) Vgl. etwa SACHS(1973, 21); eine Unterscheidung zwischen symmetrischen und ungerichteten Graphen, wie sie KAUFMANN(1971, 74) trifft, machen wir nicht.

Diese zweite Einschränkung bedeutet, daß wir annehmen wollen, daß, wenn Raumeinheit  $v_i$  mit Raumeinheit  $v_j$  kommuniziert,  $v_j$  ebenfalls mit  $v_i$  in Beziehung steht:

$$(v_i, v_j) \in R \implies (v_j, v_i) \in R$$

und daß außerdem die Existenz von Schlingen (SACHS, 1973, 21) nicht gestattet ist:

$$(v_i, v_i) \notin R$$

Das Vorhandensein von Mehrfachkanten (WINTGEN, 1968, 870), welches z.B. bei gleichzeitiger Berücksichtigung verschiedener Verkehrsarten wichtig erscheinen mag, ist schon durch die Definition der Kanten als Relationselemente ausgeschlossen worden.

so heißt  $\mathcal{W}_{ij}$  ein Kreis<sup>21)</sup>.

4. Bezeichne  $\mathcal{W}_{ij}$  einen Weg zwischen den Knoten  $v_i$  und  $v_j$ .<sup>22)</sup>

so definieren wir eine neue Relation  $R^+$  durch

$$1.2./4. \quad v_i R^+ v_j \iff \bigvee_{r \geq 1} \bigvee_{\mathcal{W} \in \mathcal{W}^r} (\mathcal{W} \mathcal{W}_{ij})$$

Hierdurch werden "indirekte" Verbindungen zwischen Knoten erklärt, so daß  $R^+$  als eine Erweiterung von  $R$  aufzufassen ist.

Im Gegensatz allerdings zu  $R$  ist  $R^+$  offensichtlich eine Äquivalenzrelation und liefert damit eine Klasseneinteilung der Menge  $V$  in disjunkte, nicht miteinander kommunizierende Teilmengen<sup>23)</sup>; diese werden zusammen mit der auf sie restringierten Relation  $R$  auch als Komponenten des Graphs bezeichnet<sup>24)</sup>. In diesem Sinne wollen wir weiterhin voraussetzen, daß

$$1.2./5. \quad \bigwedge_{i \in V} \bigwedge_{j \in V} \bigvee_{\mathcal{W} \in \mathcal{W}^r} (\mathcal{W} = \mathcal{W}_{ij})$$

gilt, d.h., daß  $\Gamma_{VA}$  aus lediglich einer Komponente besteht.

5. Es sei nun  $\Gamma_{VA}$  solcherart gegeben. Durch geeignete Abbildungsvorschriften  $\mathcal{M}_r$  mit

21) Die hier verwendeten Bezeichnungen orientieren sich weitgehend an DÖRFLER/MÜHLBACHER(1972) wie auch SACHS(1973). Im übrigen ist die Notation in diesem Zusammenhang auch in der stärker mathematisch ausgerichteten Literatur keineswegs einheitlich (vgl. auch DOMSCHKE(1972), LIEBLING(1970) und KAUFMANN(1971)).

22) Da durch jede Kantenfolge zwischen zwei Knoten auch ein Weg zwischen ihnen definiert ist, kann man sich hier auf solche beschränken.

23) Vgl. etwa SACHS(1973, 22).

24) Es handelt sich hierbei um Teilsysteme im Sinne von WINTGEN(1968), vgl. auch Anmerkung 28).

1.2./6.

$$V \times V \longrightarrow \mathbb{R} \text{ und}$$

$$\mathcal{M}_r(v_i, v_j) = \begin{cases} r_{ij}^d \neq 0 & \text{für } v_i R v_j \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

lassen sich auf verschiedene Weisen den Kanten  $e_1$  jeweils eindeutig reelle Zahlen zuordnen, die als Wert derselben bezeichnet werden sollen. Damit erhalten wir aus dem ursprünglichen einen bewerteten Graph  $[V, R, \mathcal{M}_r]$ , welcher offensichtlich für eine jede derartige Abbildung durch eine Adjazenzmatrix  $r^D$  eindeutig beschrieben werden kann.

Daß es verschiedene sinnvolle Möglichkeiten zu einer solchen Bewertung gibt, ist einleuchtend, wird sich allerdings sicherlich auch als Funktion von VA erweisen; zur Konstruktion von  $\mathcal{M}_r$  könnte man etwa

- o Binärmaße im Hinblick auf das Vorhandensein/Nichtvorhandensein von Beziehungen
- o Entfernungsmaße
- o Belastungsmaße
- o 'Restriktionsmaße' (maximale Kapazitäten o.ä.)
- o subjektive Bewertungsmaße
- o Bedienungsmaße

verwenden.

Eine jede derartige Abbildung  $\mathcal{M}_r$  heiße Basisbewertung oder Dimensionierung des Graphen.

6. Es sei  $\Gamma_{VA}$  ein durch  $\mathcal{M}_r$  dimensionierter Graph. Es scheint sinnvoll, den Bewertungsvorgang auch auf indirekte Verbindungen auszudehnen. Zu je zwei Knoten  $v_i$  und  $v_j$  mit  $(v_i, v_j) \notin R$  gibt es nach 1.2./5. eine nicht-leere Menge von Wegen  $\{W_{ij}\} = \mathcal{W}^+$ . Zunächst möge nun jeder Weg durch geeignete Verknüpfung der den Kanten in  $\mathcal{W}^+$  durch  $\mathcal{M}_r$  zu-

geordneten Werten mittels je einer reellen Zahl gekennzeichnet werden; aus der hierdurch mit  $\mathcal{W}^+$  korrespondierenden Zahlenmenge sei durch eine zweite Verknüpfungsvorschrift schließlich dem Paar  $(v_i, v_j) \in V \times V$  eine reelle Zahl als Wert dieser indirekten Beziehung zugewiesen<sup>25)</sup>. Letztlich können wir also auch im Falle indirekter Verbindungen eine Abbildung

$$1.2./7. \quad \mathcal{L}_{(r)x} \quad V \times V \longrightarrow \mathbb{R}$$

ansetzen, die gleichfalls als Matrix gegeben sein kann und die weiterhin als Netzfunktional  $(r)_x^F$  bezeichnet werden soll; sie beschreibt, wenn auch in je verschiedener Weise, quantitativ das gesamtheitliche Interaktionsmuster des Verkehrsnetzes.

Sei nun  $(r)_x^F$  ein Funktional hinsichtlich einer gegebenen Basis-

---

25) Schematisch ließe sich dieser Vorgang vielleicht folgendermaßen veranschaulichen:

$$\mathcal{W}_{ij}^1 \longrightarrow (r)^{b_1} (r^{d_{i_1} i}, r^{d_{i_2} i}, \dots) = (r)^{b_1}$$

$(v_i, v_j)$

$$\mathcal{W}_{ij}^2 \longrightarrow (r)^{b_2} (r^{d_{i_1} i}, r^{d_{i_2} i}, \dots) = (r)^{b_2}$$

und  $(r)^{b_1} ((r)^{b_1}, (r)^{b_2}) = (r)_x^f_{ij} = \mathcal{L}_{(r)x}(v_i, v_j)$ .  
 Hierbei könnte z.B. die Verknüpfung  $(r)^{b_1}$  in der Summierung sämtlicher Werte bestehen, so daß die  $(r)^{b_i}$  irgendwie als 'Längen' der zugehörigen  $\mathcal{W}_{ij}^k$  zu betrachten wären, während  $(r)^{b_1}$  beispielsweise eine Minimierung oder Maximierung der Größen  $(r)^{b_i}$  angeben mag.

Bewertung  $\alpha_r$ <sup>26)</sup>. Es sei weiter  $(r)x_i^{f_i}$  ein Zeilenvektor von  $(r)x^F$ .  
dann heiÙe eine Abbildung

$$1.2./8. \quad \hat{z}_{(r,x)t} : \left\{ (r)x_i^{f_i} \right\} \longrightarrow \mathbb{K}$$

Knotenstrukturierung oder Erreichbarkeitsfunktion<sup>27)</sup>.

7. Damit ist für diese Untersuchung ein sich weitgehend auf formale Operationalisierungen stützender Ansatz für eine im systemanalytischen Sinne von HURST(1974) stark isolierte Behandlung eines Teilkomplexes des Verkehrsraumes auf einer ersten Stufe vorgezeich-

---

26) Zur Gestaltung eines solchen Funktionals existieren auch zu gegebener Bewertung noch eine Vielzahl von Möglichkeiten. Die einzige hier anzubringende Forderung nach jeweils nachvollziehbarer, sinnvoller Verfahrensweise ist natürlich höchst schwach und bietet jeden Freiraum. Vernünftige Ansätze zu weitergehenden Restriktionen wären durchaus denkbar und würden eine selbständige Funktionaltheorie sicherlich beträchtlich vereinfachen helfen; man könnte etwa

- o  $\mathcal{L}_{(r)x}(v_i, v_j) \neq 0$  für  $i \neq j$
- o  $\mathcal{L}_{(r)x}(v_i, v_i) = 0$
- o  $\mathcal{L}_{(r)x} \Big|_R = \alpha_r$
- o  $\mathcal{L}_{(r)x}(v_i, v_j) = \mathcal{L}_{(r)x}(v_j, v_i)$

fordern, um von einem Funktional zu sprechen (so entspräche letzteres in gewisser 'natürlicher' Weise der Symmetrieeigenschaft der Relationen  $R$  und  $R^+$ ).

Von derartigen Einschränkungen wurde hier jedoch abgesehen, weil es zunächst auf eine Darstellung und Aufbereitung schon verwendeter funktionaler Ansätze zur Strukturierung des Netzes ankam, jene jedoch, wie man den folgenden Seiten entnehmen kann, mit den eben aufgeführten Zusätzen jeweils nur teilweise vereinbar sind. Es hätten dann in verstärktem Maße zusätzliche Arbeitsschritte zwischengeschaltet werden müssen. Immerhin liegt es nahe, nur Abbildungen mit der ersten Eigenschaft als 'echte' Funktionale anzuerkennen; allerdings können auch die später ebenfalls verwendeten Basisbewertungen selbst etwa als 'triviale' Funktionale nicht ausgeschlossen bleiben.

27) Auch ohne die eben genannten Restriktionen wird es im Folgenden nicht immer möglich sein,  $\hat{z}_{(r,x)t}$  geschlossen anzugeben, so daß nicht nur ein Rückgriff auf zusätzliche, vielleicht als 'abgeleitete' Funktionale zu bezeichnende Umformungen notwendig ist, sondern ge-

net<sup>28)</sup>: ausgehend von einer Verkehrsart bzw. dem hierdurch vorgegebenen Verkehrsnetz sind verschiedene Basisbewertungen  $\alpha_r$  des zugehörigen Graphs vorzunehmen. Zu jeder Dimensionierung sind, als Zwischenstufe, diverse Funktionale  $(r)_x^F$  zu konstruieren, welche die Netzbeziehungen unter je verschiedenem Gesichtspunkt charakterisieren. Einem jeden Funktional sind dann eine Reihe Strukturierun-

---

gentlich auch zu einer Erreichbarkeitskennzeichnung verschiedene Funktionale gleichzeitig herangezogen werden müssen; in diesen Fällen ließe sich vielleicht von 'komponierten' Strukturierungen sprechen (vgl. etwa S. 50).

28) Dieser zunächst bewußt formal gehaltene Ansatz zur Begriffserklärung ist in verschiedenster Hinsicht erweiterungsfähig, was an dieser Stelle aber nur kurz angedeutet werden soll.

Betrachtet man als Urbilder der Erreichbarkeitsfunktionen nicht Zeilenvektoren, sondern gewisse Mengen derselben, so könnte man im weitesten Sinne von einer Teilnetzstrukturierung sprechen, was allerdings nur dann in etwa anschaulichen Vorstellungen entspräche, wenn sich die jeweils gebildeten Teilnetze  $\Gamma_i = [V_i, R | V_i]$

mit  $V = \bigcup_i V_i$  als einkomponentig erwiesen. Eine Betrachtung der

$\Gamma_i$  für sich als geschlossene Einheiten ohne Beachtung ihrer gegenseitigen Kommunikation führt weiter zum Begriff der Netzstrukturierung: eine solche wäre als reelle Abbildung des Funktionals selbst anzusehen — was natürlich auch hinsichtlich  $\Gamma_{VA}$  möglich ist.

Die meisten bisherigen Untersuchungen zur quantitativen Netzanalyse haben diesen letzten Ansatz gewählt (etwa KANSKY (1963), VETTER (1970), GARRISON/MARBLE (1963)); wir werden auf Beispiele hierzu und entsprechende Strukturierungen noch zurückkommen.

Es muß aber beachtet werden, daß beide Begriffe hier von den auf Knotenbeziehungen basierenden Funktionalen abgeleitet sind; da Entsprechendes ebenfalls hinsichtlich äquivalenter Kanten- oder Inzidenzmatrizen sinnvoll erscheint (vgl. DÖRFLER/MÜHLBACHER (1972, 55)), wird vermutlich auch auf diesem Wege zu Netz- oder Teilnetzstrukturierungen zu gelangen sein, was hier jedoch nicht weiter verfolgt werden soll.

gen  $\hat{r}(r,x)_t$  zuzuordnen<sup>29)</sup> — die jetzt durch einen Vektor  $S_{rt}(v_i)$  jeweils beschrieben werden mögen — so daß schließlich zur Erreichbarkeitskennzeichnung<sup>30)</sup> von  $\Gamma_{VA}$  eine Matrix

$$S = \begin{matrix} S_{11}(v_i) \\ \\ S_{1t_1}(v_i) \\ \\ S_{pt_p}(v_i) \end{matrix}$$

zur Verfügung steht.

---

29) Hierdurch wird gleichzeitig auf den engen Bezug zum Funktionsbegriff verwiesen, der nun im Sinne von Interaktion bzw. Verflechtung verstanden wird. Zur "Funktion" eines Netzsystems lassen sich natürlich bei dem hier angedeuteten Verständnis prinzipiell ähnliche Aussagen machen, wie hinsichtlich des Terminus "Struktur": genau so wenig etwa, wie nur durch eine bestimmte Abbildung  $\hat{r}(r,x)_t$  die "Struktur" des Verkehrsnetzes erfaßt werden kann, erscheint es möglich, vermittels nur einer bestimmten Matrix  $(r)_x^F$  die "Funktion" desselben zu beschreiben; insofern wurde hier auch die Bezeichnung funktional vorgezogen. (Weitergehende Ausführungen hierzu erscheinen nicht notwendig, auch nicht hinsichtlich einer begrifflichen Abgrenzung gegenüber der Verwendung dieser Bezeichnung bei CAROL (1956), da dieser von einem anderen Funktionsbegriff ausging). Ergänzend sei darauf hingewiesen, daß wir zwar eine Darstellung gewählt haben, bei der die Strukturierung über ein Funktional geschieht; betont werden muß jedoch, daß die Konstruktion von Funktionalen sicherlich gelegentlich erst durch die explizite Berücksichtigung und Verwendung von Strukturierungen geschehen kann (vgl. z.B. im Folgenden das Funktional  ${}_4F$ ). Wir wollen hierauf jedoch nicht näher eingehen, doch mag dieser Zusatz verdeutlichen, daß Funktionalerstellung sowie Knotenstrukturierung sich als zwei Aspekte, als zwei Perspektiven in der Analyse dieses räumlich organisierten Untersuchungsgegenstandes erweisen und sie hierbei sogar nicht einfach als komplementär zu gelten haben, sondern, jedenfalls in unserem Modell, ihre Differenzierung sachlogisch zwar vernünftig, im Grunde aber in gewisser Weise künstlich ist, da abhängig von der jeweiligen Interpretation und Sehweise.

30) Der Begriff "Erreichbarkeit" wird dabei zunächst im eher umgangssprachlichen Sinne weitgehend synonym mit "Positionierung", insofern also als Kennzeichnung der Beziehungen eines Netzelementes zu den übrigen verstanden. Später wird gezeigt, daß diese Auffassung in einem präziseren Sinne durchaus unzureichend und weitgehend zu relativieren ist (vgl. S. 108f).



Tatsächlich hat es nun zwar verschiedentlich Versuche gegeben, bestimmte Verkehrsnetze in entsprechender Weise strukturell zu erfassen, doch läßt sich dabei, abgesehen von einem allfälligen Mangel an unterschiedlichen Dimensionierungsversuchen, zudem eine deutliche Beschränkung auf nur einige wenige Erreichbarkeitsfunktionen feststellen. Wichtiger allerdings als die Frage nach der Objektivität der Auswahlkriterien für diese oder jene Strukturierung erscheint dabei, daß eine solche Vorgehensweise, die nicht auf eine systematische Analyse verschiedener Abbildungen  $\hat{Z}_{(r,x)t}$  rekurriert, überdies — zumindest so lange, wie nicht vermittels einer solchen verlässliche Hinweise auf Möglichkeiten einer Substitution verschiedener, und, entscheidender noch, die Notwendigkeit einer gleichzeitigen Verwendung bestimmter komplementärer Strukturierungen gegeben sind — nicht sicherzustellen vermag, daß durch den gewählten Ansatz sämtliche bedeutsame 'Sichtweisen' ausreichend Berücksichtigung finden. Denn es ist abzusehen, daß eine dergestaltige simultane Verwendung möglichst vieler unterschiedlicher im obigen Sinne gebildeter Knotenstrukturierungen zu teilweise erheblicher Redundanz in Form von Interkorrelationen zwischen den Zeilenvektoren von S führen wird. Damit ist auf einer zweiten Verarbeitungsstufe eine zunächst dimensionsspezifische Zusammenfassung 'gleichartiger' Beschreibungen  $S_{rt}(v_i)$  durch

$$\mathbb{R}^{t \times p \times n} \longrightarrow \mathbb{R}^{u \times p \times n} \quad \text{mit}$$

$$(v_i)$$

$$1.2./9. \quad \mathcal{N}(S) = S^+ = S_{1u_1}^+(v_i) \quad u_i \leq t_i$$

$$S_{pu_p}^+(v_i)$$

zu sogenannten Strukturkomponenten angezeigt, die allerdings nun ihrerseits anlässlich eines interdimensionalen Vergleichs enge Beziehungen

aufweisen und schließlich auf einer dritten Ebene zu generellen Strukturkomponenten vermittelt

$$\mathbb{R}^{u \times p \times n} \longrightarrow \mathbb{R}^{q \times n} \quad \text{mit}$$

$$S_1^{++}(v_i)$$

1.2./10.

$$\mu(S^+) = S^{++} =$$

$$q \leq \sum_1^p u_i$$

$$S_q^{++}(v_i)$$

zusammengefaßt werden können und in höchst verdichteter Weise eine bestmögliche Approximation der jeweiligen "Netzstruktur" darstellen dürften<sup>31)</sup>.

Mit Hilfe dieses Modellansatzes läßt sich nun unter Rekurs auf die auf S.4 nur undifferenziert bezeichnete Grundproblematik der Untersuchungsgang dieser Arbeit wie folgt darstellen und präzisieren — auf das zu Demonstrationszwecken verwendete Eisenbahnnetz des süddeutschen Raumes (vgl. Abb. 2 ) gehen wir in Abschnitt 1.3. kurz geson-

31) Denkbar, von uns jedoch nicht weiter verfolgt, erscheint ein alternativer Ansatz, in dem die Strukturierungen direkt dimensionsun-spezifisch kongregiert werden:

$$\mu: \mathbb{R}^{t \times p \times n} \longrightarrow \mathbb{R}^{q' \times n}$$

$$\mu'(S) = 'S^{++} = \begin{pmatrix} 'S_1^{++}(v_i) \\ \\ 'S^{++}(v_i) \end{pmatrix}$$

$$q' \leq \sum_1^p t_i$$

Über die Beziehung zwischen q und q' kann allerdings keine allgemeine Angabe gemacht werden. Durch diese Verfahrensweise sind jedoch keine dimensionsspezifische Eigenheiten, etwa als Indikatoren bewertungscharakteristischer Erreichbarkeitsdefizite, mehr nachweisbar.

dert ein:

- o Zunächst sollen im 2.Abschnitt bereits gebräuchliche und eine Reihe neu definierte, insgesamt 21, Strukturierungen (vgl. auch die Übersicht auf S.106) unter gelegentlicher Betonung der jeweiligen methodischen Verfahrensweise vorgestellt und ihre gegenseitigen Beziehungen sowie die entsprechenden, sich über sie ausdrückenden Raum Aspekte näher dargelegt werden; wir greifen hierzu auf drei (einen topologischen und zwei, später jedoch zusammengefaßte aktuelle) Dimensionierungsansätze und vier hierdurch bestimmte Funktionale zurück.
- o Werteverteilungsmuster und Korrelogramme legen die Existenz dreier verschiedener, mehr oder weniger dimensionsinvarianter Aspekte einer Verkehrsnetzorganisation nahe, die mit "lokal", "global" und "regional" umschrieben werden können, und die sich, wie in Abschnitt 3.1. gezeigt werden wird, unserem Modell entsprechend als allerdings korrelierte Strukturkomponenten "Bedeutung", "Primärlage" und "Sekundärlage" genannt — manifestieren.
- o Ebenfalls den vorstehenden theoretischen Ausführungen gemäß, wird in Abschnitt 3.2. ein Aufweis der Existenz genereller Strukturkomponenten gleicher Bezeichnung geführt werden.
- o Es schließt sich in Abschnitt 3.3. der Versuch einer "strukturellen" Typisierung der Knotenelemente auf der Basis eben dieser generellen Strukturkomponenten an; das hierbei verwendete Verfahren führt zur Ausbildung von 6 verschiedenen Knotentypen, deren räumliches Gefüge in unserem Beispielnetz (vgl. Abb.53<sup>†</sup>) unter Einschluß der Resultate vorausgegangener Abschnitte Anlaß gaben zur Skizze eines schematisierten Modells einer räumlichen Organisation konstitutiver Knotentypen (vgl. Abb.57 ).
- o Einen weitergehenden und im systemanalytischen Sinne 'umfassenderen' Aspekt greifen wir im 4.Abschnitt auf. Wir rekurrieren auf das eingangs gestellte Postulat, Verkehr als Reaktion auf Interaktionsbedürfnisse zu betrachten und sehen nun die generellen Strukturkomponenten als in Relation befindlich zu anderen, diese "Verkehrsspannung" verursachenden, beispielhaft

sozialökonomischen Charakteristika betreffender Netzelemente. Eine derartige Beziehung zwischen "Verkehrsstruktur" und "Wirtschaftsstruktur" läßt sich nun — und zwar signifikant nachweisen, macht jedoch, nicht zuletzt allerdings aus Gründen, die das Datenmaterial betreffen, im Detail manche interpretatorische Schwierigkeit — abgesehen einmal von grundlegenden theoretischen und verfahrenstechnisch bedingten Problemen, deren Behandlung, auch anhand beispielhaft diskutierter Literaturtitel, vergleichsweise breiten Raum einnimmt.

- o Entsprechend der multiplen Verwendung des Begriffes "Erreichbarkeit" im Rahmen verkehrsgeographischer Analysen lag es nahe, Überlegungen hinsichtlich der Möglichkeit einer sinnvollen und sicherlich auch im Blick auf eine potentielle 'Anwendung' brauchbaren Operationalisierung in unserem Modell anzustellen: gewissermaßen als Ausblick und Anregung zu weiterführenden Arbeiten wird dies das wesentliche Anliegen des 5. Abschnittes sein, wobei Fragen interpretatorischen und meßtheoretischen Gehalts im Vordergrund stehen werden.
- o Treten dabei in den Abschnitten 4 und 5 eher theoretische und verfahrenstechnische Aspekte immer deutlicher hervor, so wird der in Teilen dieser Untersuchung sehr stark mathematisierte Hintergrund im Anhang — in dieser Form zweifellos Zugeständnis an die 'Lesbarkeit' des Hauptteils, dennoch aber integraler Bestandteil desselben — vollends thematisiert: wir werden hier schließlich, gemäß unseren Anmerkungen auf S.6, neben einer knappen Einführung in das im Abschnitt 2.4.1. verwendete Entropiekonzept eine ausführliche Herleitung der Funktionale  $(r)_2^F$  (vgl. S.31f) und  $(r)_3^F$  (vgl. S.55f) sowie der Strukturierung  $S_{39}(v_i)$  (vgl. S.61f) liefern und soweit als möglich den hierbei verwendeten mathematischen Sätzen die entsprechenden Beweise zufügen.

Sowohl der beträchtliche Umfang unseres Beispielnetzes, wie auch die z.T. rechentechnisch ziemlich aufwendigen Indexkonstruktionen zur Strukturierung machten eine weitgehende EDV-Benutzung durch eine Viel-

zahl<sup>32)</sup> nicht-standardisierter Rechenprogramme, die von uns selbst erstellt wurden, notwendig. Zudem war die Anwendung einer Reihe multivariater quantitativer Verfahren unumgänglich; herangezogen wurden insbesondere die Faktorenanalyse (Abschnitt 3), die Distanzgruppierung (Abschnitt 3.3.), die lineare Einfach- und Mehrfachregression (Abschnitt 4) sowie die kanonische Korrelationsrechnung (Abschnitt 4). Im Einzelnen wird an entsprechender Stelle hierauf näher eingegangen<sup>33)</sup>

### 1.3. Das Netz

Daß als Basis für diese Arbeit nur ein 'aktuelles' Netz, nicht aber ein 'abstraktes' (wie etwa die Tinkler'schen Snowflake-Netze (TINKLER, 1972b)) in Frage kam, scheint schon mit dem Verweis auf Bemühungen um unterschiedliche Dimensionierungsansätze ausreichend begründet. Während nun die Auswahl des Eisenbahnverkehrs als Verkehrsart sich infolge der zeitlich relativ stabilen Netzanlage sowie aufgrund der Möglichkeit der Beschaffung von Angaben zur Netzbelastung über das Kursbuch direkt anbot<sup>34)</sup>, war für die Festlegung von Süddeutschland als Arbeitsgebiet folgendes maßgebend: die vorausgesetzte notwendige Abgeschlossenheit des Untersuchungsraumes hinsichtlich gleichartiger Verkehrsbeziehungen zu randlich umgebenden Raumeinheiten (vgl. S. 7) schien auf quasi natürliche Weise weitgehend nur durch bestimmte Naturgegebenheiten (Meer, Gebirge) oder aber durch Einfluß von Landesgrenzen möglich zu erreichen. Im Bereich der Bundesrepublik bot sich, da zudem im Gegensatz zu den meisten bisher netztheoretisch untersuchten Gebieten ein Raum mit einem relativ umfangreichen und recht differenzierten Netz behandelt werden sollte, so das gemeinsame Gebiet Bayerns und Baden-Württembergs an. Im Nordwesten wurde dann das Untersuchungsgebiet durch eine zunächst südöstlich parallel Spessart und Odenwald und schließlich wenig nördlich von Heilbronn bei Bad

---

32) Für sämtliche Berechnungen stand uns der Computer des RHRZ Universität Bonn zur Verfügung.

33) Die zu eben genannten Verfahren verwendeten Computerprogramme wurden von W. D. RASE (Faktorenanalyse) und F. J. KEMPER (Distanzgruppierung) geschrieben, bzw. dem SSP (Regression) und COOLEY/LOHNES (1971) (kanonische Korrelation) entnommen.

34) Allerdings muß leider vermerkt werden, daß weitergehende Angaben, etwa zur Personen- oder Güterauslastung der einzelnen Streckenabschnitte von den zuständigen Stellen der Deutschen Bundesbahn nicht zu erhalten waren.

Friedrichshall ost-westlich bis zum Rhein verlaufende Grenze markiert (vgl. Abb. 1).

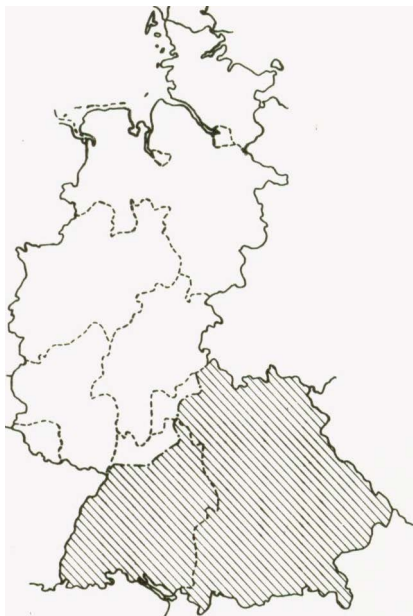


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

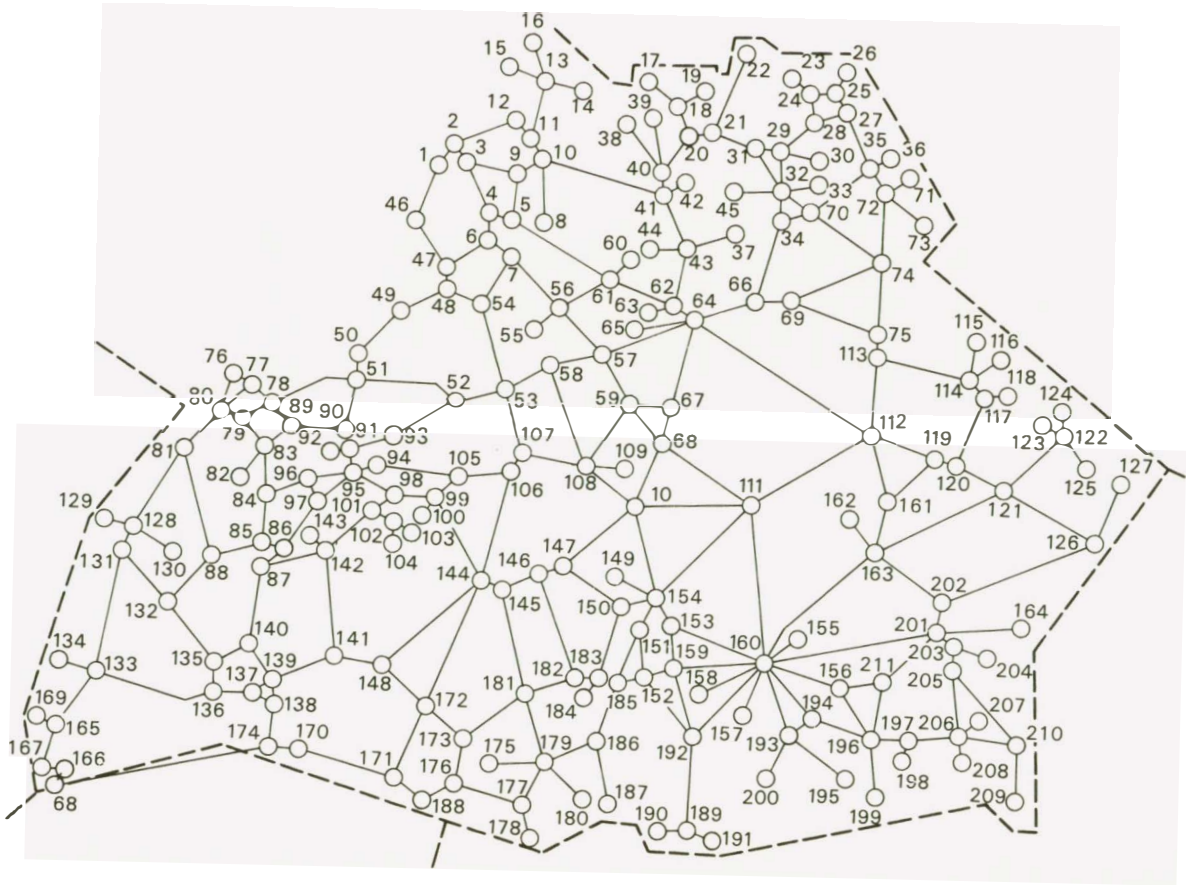
Es ist leicht anzusehen, daß eine Berücksichtigung sämtlicher von Eisenbahnen angefahrener Ortschaften sowie der hierdurch definierten Streckenabschnitte als Netzelemente aus rein arbeitstechnischen Gründen nicht sinnvoll war. Es mußte daher zunächst unter den durch Knoten zu repräsentierenden angeschlossenen Ortschaften eine Auswahl getroffen werden. Eine Zufallsauswahl stand aus naheliegenden Gründen nicht zur

Lohr	42 Schesslitz	83 Pforzheim	124 B.-Eisenstein	165 Müllheim
Gemünden	43 Furchheim	84 Calw	125 Grafenau	166 Lörrach
Wernfeld	44 H6chstadt	85 Hochdorf	126 Passau	167 Weil
Würzburg	45 Hollfeld	86 Eutingen	127 Freyung	168 Basel-B.
Rottendorf	46 Wertheim	87 Horb	128 Appenweier	169 Neuenburg
W.-Heidingsfeld	47 Lauda	88 Freudenstadt	129 Kehl	170 Radolfzell
Ochsenfurt	48 Königshofen	89 Mühlacker	130 Bad Griesbach	171 Friedrichshafen
Kitzingen	49 Osterburken	90 Bietigheim	131 Offenburg	172 Aulendorf
9 Waigolshausen	50 Bad Friedrichshall	91 Ludwigsburg	132 Hausach	173 Kisslegg
10 Schweinfurt	51 Heilbronn	92 Markgröningen	133 Freiburg	174 Singen
11 Ebenhausen	52 Schwäbisch Hall	93 Backnang	134 Breisach	175 Isny
12 Bad Kissingen	53 Craillsheim	94 Waiblingen	135 Willingen	176 Hergatz
13 Bad Neustadt	54 Weikersheim	95 Stuttgart	136 Donaueschingen	177 Immenstadt
14 Königshofen i.Gr.	55 Rothenburg o.d.T.	96 Remlingen	137 Immendingen	178 Oberstdorf
15 Bischofsheim	56 Steinach	97 Böblingen	138 Tuttlingen	179 Kempten
16 Fladungen	57 Ansbach	98 Plochingen	139 Hattlingen	180 Pfronten
17 Rogach	58 Comhühl	99 Göppingen	140 Rottweil	181 Memmingen
18 Coburg	59 Gunzenhausen	100 Boll	141 Inzigkofen	182 Mindelheim
19 Neustadt	60 Uhlfeld	101 Wendlingen	142 Tübingen	183 Türkheim
20 Lichtenfels	61 Neustadt	102 Kirchheim	143 Entringen	184 Bad Wörrishofen
21 Marktzeuln	62 Fürth	103 Weilheim	144 Ulm	185 Buchloe
22 Ludwigstadt	63 Cadolzburg	104 Oberlenningen	145 Neu-Ulm	186 Kaufbeuren
23 Bad Steben	64 Nürnberg	105 Schwäbisch-Gm.	146 Günzburg	187 Füssen
24 Selbitz	65 Großhabersdorf	106 Aalen	147 Neuoffing	188 Lindau
25 Hof	66 Hersbruck	107 Goldshöfe	148 Herbertingen	189 G.-Partenkirchen
26 Feilitzsch	67 Pleinfeld	108 Nördlingen	149 Walden	190 Griesen
27 Oberkotzau	68 Treuchtlingen	109 Wemding	150 Gesserthausen	191 Mittenwald
28 Münchberg	69 Neukirchen/S.	110 Donauwörth	151 Bobingen	192 Weilheim
29 Neuenmarkt	70 Furchlaibach	111 Ingolstadt	152 Kufering	193 Holzkirchen
30 Bischofsgrün	71 Waldsassen	112 Regensburg	153 Mering	194 Kreuzstraße
31 Kulmbach	72 Wiesau	113 Schwandorf	154 Augsburg	195 Bayerischzell
32 Bayreuth	73 Bärnau	114 Cham	155 Ismaning	196 Rosenheim
33 Warmensteinbach	74 Weiden	115 Waldmünchen	156 Grafting	197 Frien
34 Schnabelwaid	75 Irenenlohe	116 Furth i.W.	157 Wolfratshausen	198 Aschau
35 Marktrewitz	76 Neudorf	117 Miltach	158 Herrsching	199 Kiefersfelden
36 Schirnding	77 Bruchsal	118 Ketting	159 Geltendorf	200 Lenggries
37 Schirndingsmühle	78 Bretten	119 Raddorf	160 München	201 Mühlhof
38 Dietersdorf	79 Gröchingen	120 Straubing	161 Neufarn	202 Neumarkt-St.Veit
39 Maroldsweisach	80 Karlsröhe	121 Plattling	162 Rottenburg	203 Tüßling
40 Breitengüßbach	81 Rastatt	122 Wiesel	163 Landshut	204 Burghausen
41 Bamberg	82 Wildbad	123 Bodenmais	164 Simbach	205 Garching

206 Traunstein  
207 Waging  
208 Ruhpolding  
209 Berchtesgarden  
210 Freilassing  
211 Wasserburg

Abb. 2: Die im Beispielnetz berücksichtigten Ortschaften

Abb 2 Das Beispielnetz





Diskussion<sup>35)</sup>. Im Gegensatz zu VETTER(1970), der die im Arbeitsgebiet gelegenen übergeordneten zentralen Orte, sofern an eine Bahnstrecke angeschlossen, als Knoten des Graphs deklarierte, gingen wir bei der Konstruktion von  $\Gamma$  vom Eisenbahnnetz selbst aus<sup>36)</sup>. Wir verwendeten ein aufbauendes<sup>37)</sup> Verfahren, welches sich, basierend auf der Übersichtskarte (K) zum DB-Kursbuch (Gesamtausgabe Winter 1972/73), durch folgende Schritte kennzeichnen läßt:

- (1) Übernahme des im Untersuchungsgebiet gelegenen Schnell- und Eilverkehrstreckennetz
- (2) Übernahme sämtlicher in K eingetragener und an den durch (1) festgelegten Strecken befindlicher Knotenpunkte mit Ausnahme reiner Durchgangsknoten sowie Knoten, die lediglich eine Nahverkehrsabzweigung zu Endknoten besitzen
- (3) Übernahme sämtlicher Strecken, die von den unter (2) definierten Knotenpunkten ausgehen, sofern nicht schon berücksichtigt
- (4) Übernahme sämtlicher in K eingetragener und an den durch (3) bestimmten Strecken gelegener Knoten zuzüglich Endknoten, mit Ausnahme reiner Durchgangsknoten
- (5) Übernahme sämtlicher von den unter (4) beschriebenen Knoten ausgehenden Kanten
- (6) Übernahme sämtlicher durch die Anwendung von (5) noch verbliebener Endknoten.

Damit wurde ein Netz fixiert, welches  $n = 211$  Knoten und  $m = 289$  Kanten aufweist<sup>38)</sup> (vgl. Abb. 2).

---

35) Neben der Möglichkeit einer eventuellen Nichtberücksichtigung etwa von Städten wie München oder Stuttgart hätte dieser Ansatz erhebliche Probleme in der Kantenzuordnung zwischen zufällig gewählten Knoten aufgeworfen.

36) Vgl. hierzu auch S.95f

37) Vom real vorhandenen Gesamtnetz ausgehend eine gewisse Anzahl von Knoten zu streichen, erschien dagegen arbeitsökonomisch zu aufwendig.

38)  $\Gamma$  — auf den Zusatz VA verzichten wir nun vorerst — enthält sämtliche 'wichtigen' Knotenpunkte, etwa im Sinne von Anstoß- und Hauptanstoßbahnhöfen, und erscheint ausreichend differenziert. Da es sich um keine 'Stichprobenkonstruktion' handelt, kommt natürlich Fragen der Signifikanzüberprüfung bei den verschiedenen statistischen Verfahren späterhin nur geringe Bedeutung zu und ist demgegenüber ein gewissermaßen deterministischer Standpunkt gegebenenfalls durchaus legitim.

## 2. Die Strukturierungen

Die Ableitung nachfolgend vorzustellender Strukturierungen geschah gemäß unseres allgemeinen Ansatzes über drei Basisbewertungen.

Wir verwendeten eine topologische Dimensionierung, bei der durch

$$2./1. \quad {}_1^D = ({}_1^d_{ij}) \quad \text{mit}$$

$${}_1^d_{ij} = \begin{cases} 1 & , \text{falls } v_i R v_j \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

das Vorhanden- bzw. Nichtvorhandensein direkter Zugverbindungen gekennzeichnet wird. Die ebenfalls berücksichtigte aktuelle Dimensionierung geschah aus zweierlei Perspektive, einmal als "Entfernungs-" kennzeichnung über

$$2./2. \quad = ({}_2^d_{ij}) \quad \text{mit}$$

$${}_2^d_{ij} = \begin{cases} \text{km-Entfernung zwischen } v_i \\ \text{und } v_j, \text{ falls } v_i R v_j \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

sowie schließlich als "Belastungs-" kennzeichnung vermittelt

$$2./3. \quad {}_3^D = ({}_3^d_{ij}) \quad \text{mit}$$

$${}_3^d_{ij} = \begin{cases} \text{Anzahl täglich zwischen } v_i \\ \text{und } v_j \text{ verkehrender Züge,} \\ \text{falls } v_i R v_j \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Letztere sind beide gleichermaßen als Pendant zur Darstellung 2./1. aufzufassen, da der topologische Ansatz sowohl als Belastungs-, wie Entfernungsbewertung interpretiert werden kann. Insofern wird allerdings weiterhin auf eine vergleichende Betrachtung der Ergebnisse bezüglich 2./2. und 2./3. meist verzichtet und lediglich eine Gegenüberstellung topologischer und aktueller Strukturierungen vorge-

nommen werden.

2.1. Das Funktional  $(r)_1^F$  (r= 1,3)

2.1.1. Die Strukturierung  $S_{r1}(v_i)$  (r= 1,3)

Zu der wohl einfachsten Erreichbarkeitskennzeichnung der Knoten von gelangen wir etwa über das Funktional  $(r)_1^F$ , welches durch

2.1./1.  $(r)_1^F = ((r)_1^{f_{ij}}) = (r_{d_{ij}})$

als Basisfunktional als trivial definiert gelten kann. Die hieraus über

2.1./2.  $S_{r1}(v_i) = \sum_{j=1} (r)_1^{f_{ij}}$

abgeleiteten Strukturierungen geben die Anzahl der in einem Knoten v. inzidenten Kanten (r = 1) bzw. der von diesem zu sämtlichen direkt benachbarten Knoten verkehrenden Züge (r = 3) an<sup>40)</sup>. Für  $S_{11}(v_i)$  ist die Bezeichnung Nodalität, Valenz, Grad oder auch Ordnung von  $v_i$  üblich; gelegentlich sollen diese Begriffe nun auch für das nicht-topologische Analogon verwendet werden.

In beiden Fällen<sup>41)</sup> wird offensichtlich, daß infolge der ausschließ-

40) Zu unterscheiden von  $S_{31}(v_i)$  ist die Anzahl der täglich in  $v_i$  zusammenkommenden Züge. Eine solche Kennzeichnung berücksichtigt zusätzlich einen direkten Zügeverkehr zwischen in  $\Gamma$  nicht direkt benachbarter Knoten und wird weiters nicht verwendet. Diese Beschränkung quasi auf einen 'Nahverkehr' impliziert allerdings eine gewisse Unterschätzung der im Ferverkehrsnetz bedeutsamen Haltepunkte bzw. relative Überschätzung z.B. von Endknoten.

41) Ein entsprechendes Vorgehen für r = 2 unterblieb, da die Summe der Entfernungen eines Knotenpunktes zu sämtlichen benachbarten als eine zu obigen äquivalente Beschreibung nicht sinnvoll erschien; z.B. hätte eine Entfernungsmittelung infolge der Notwendigkeit des Einbezugs der je zu berücksichtigenden Knotenzahl selbst zu Verzerrungen geführt, sofern nicht durch geeignete, jedoch fehlende Gewichtungsschemata die 'Bedeutung' der Knoten ausreichend berücksichtigt würden. Auch ist zu beachten, daß eine direkte Verbindung im Sinne der km-Entfernung keineswegs immer die kürzeste Entfernung bedeuten muß.

lichen Berücksichtigung direkter Knotenbeziehungen die  $S_{r1}(v_i)$  eher zu einer Kennzeichnung lokaler Netzqualitäten dienlich sind, als globale Verhältnisse beschreiben. Dies zeigt sich nicht nur direkt in den Darstellungen der räumlichen Werteverteilungen<sup>42)</sup> (vgl. Abb. 2, aus der

42) Die Abbildungen basieren sämtlich auf transformierten und standardisierten Werten, auf die auch in der übrigen (textlichen) Darstellung im allgemeinen zurückgegriffen wird. Auf eine Wiedergabe dieser Werte mußte aus drucktechnischen Gründen leider verzichtet werden; zur Transformationsart vgl. nachstehende Tabelle:

Tab. 1: Übersicht der Transformationen sämtlicher Strukturierungen  $S_{rt}(v_i)$

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r										
1	a	a		d		a	d	d		d
2	a	a	a	a	nicht verwendet-----					
3	b	c		b	c	d		c	c	b

Hierbei bedeutet:

a:  $\sqrt{v}$       b:  $\sqrt[4]{v}$       c:  $\log_e$       d:  $\log_{10}$

-: nicht transformiert

Zur Überprüfung der Notwendigkeit einer Transformation wurde generell nicht einfach das sogenannte 'Schiefe-Kriterium' benutzt (vgl. etwa PUDLATZ(1975,29) oder auch BAHRENBERG/GIESE(1975,12)), da dies lediglich eine notwendige, in vielen Fällen aber keine hinreichende Bedingung für eine angenäherte Normalverteilung liefert und in der Art, wie es in der angegebenen Literatur Anwendung fand, nicht immer leicht zu interpretieren scheint. Wir bedienen uns dementsprechend eines von GEBHARDT(1966) entwickelten Tests, der auf einer Analyse zweier aus den dritten und vierten Stichprobenmomenten gebildeten Teilgrößen basiert; die hierzu notwendigen Rechnungen konnten mittels eines vom gleichen Autor geschriebenen Computerprogrammes durchgeführt werden.

für  $r = 1$  die Nodalitäten ja sogleich abzulesen sind, sowie Abb. 4<sup>†</sup> für  $r = 3$ ), sondern offenbart sich in charakteristischer Weise

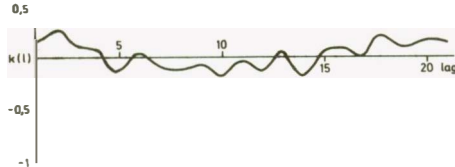


Abb. 3: Korrelogramm zu  $S_{11}(v_i)$

ebenfalls in den zugehörigen Korrelogrammen<sup>43)</sup> (vgl. Abb. 3 und Abb. 4<sup>†</sup>), die als völlig insignifikant und ohne erkennbare, sich über die verschiedenen lags fortsetzenden Trends diese Strukturierungen als aus-

43) Zu jeder Strukturierung wurde in den nächsten Abschnitten als Zusatzinformation neben dem Raumverteilungsmuster ein Korrelogramm zugefügt, welches die räumlich-autokorrelativen Eigenheiten der jeweiligen Kennzeichnung abbildet. Der einem Knoten  $v_i$  zugewiesene Wert wird dabei verglichen mit den Kennzeichnungen der zu jenem in verschiedenen 'lags' befindlichen Elemente, wobei zwei Knoten  $l$  lags auseinanderliegen, falls der kürzeste Weg zwischen ihnen die Länge  $l$  besitzt (vgl. auch den Begriff der Distanz auf S. 32). Vermittels der Formel

$$k(l) = \frac{\sum_i (S_{rt}(v_i) \cdot \sum_j S_{rt}(v_j) \cdot 12^{f'_{ij}})}{\sum_i S_{rt}^2(v_i) \cdot \sum_i (\sum_j S_{rt}(v_j) \cdot 12^{f'_{ij}})^2}^{1/2}$$

mit  $12^{f'_{ij}} = \begin{cases} 1 & \text{falls } 12^{f_{ij}} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

(vgl. auch 2.2./1.) ist es dann möglich, für jeden lag einen Korrelationskoeffizienten  $k(l)$  zu den entsprechenden Strukturierungen zu ermitteln (vgl. CLIFF/HAGGETT/ORD/BASSET/DAVIES (1975, 158)). Die Interpretationsmöglichkeiten sind — durchaus bewußt — diesbezüglich sicher nicht voll ausgeschöpft worden; es sollte lediglich eine ergänzende Demonstration des für die Strukturierung bezeichnenden räumlichen Verbreitungsaspektes erfolgen.

gespröchen 'lokale' Indizes ausweisen.

Dabei tritt unter den Werten jeweils deutlich die besondere Stellung Münchens ( $v_{160}$ ), für  $r = 3$  noch stärker diejenige Stuttgarts ( $v_{95}$ ) hervor<sup>44)</sup>. Während nun  $S_{31}(v_i)$  schon entschiedener auf vorhandene Bedeutungsunterschiede zwischen den Knoten aufmerksam macht — man beachte auch die Hervorhebung des näheren Stuttgarter Raumes in Abb. 4<sup>+</sup> — besitzt  $S_{11}(v_i)$  augenscheinlich nur eine gering differenzierende Kraft<sup>45)</sup>,

44) Im topologischen Fall sei besonders auf den vergleichsweise großen Anteil von Endknoten ( $S_{11}(v_i) = 1$ ) und Knoten mit Valenz 3 sowie auf das ausgesprochene Fehlen von Durchgangsknoten als Folge des von uns gewählten Netzkonstruktionsverfahrens hingewiesen, was die nachfolgende Abbildung eindrucksvoll belegt:

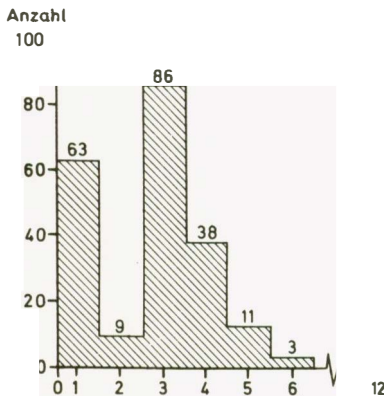


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung zu  $S_{11}(v_i)$

45) Innerhalb der jeweiligen Nodalitätsklasse ist der entsprechende Wert natürlich nichtssagend. Ähnlich äußern sich auch TAAFFE/GAUTHIER (1973, 120): "Even in the case of airline traffic, when direct linkages between centers is a plausible indicator of relative importance, the degree of the node is a poor discriminator among centers in the hierarchy. This is obvious in the number of nodes having identical rankings..."

Tab. 2: Korrelationen zwischen sämtlichen Strukturierungen  $S_{jk}(v_i)$

jk	11	12	13	14	15	16	17	18	19	11o	31	21	32	33	22	23	24	34	35	36	37	38	39	31o	
11																									
12	.74																								
13	.07	.40																							
14	-.40	-.60	-.07																						
15	-.46	-.77	-.67	.03																					
16	.97	.79	.08	-.60	-.60																				
17	.90	.93	.28	-.07	-.70	.93																			
18	.90	.91	.23	-.53	-.66	.92	.99																		
19	-.23	-.47	-.20	.92	.84	-.44	-.41	-.37																	
11o	.96	.84	.13	-.48	-.56	.96	.96	.97	-.31																
31	.85	.64	.01	-.40	-.41	.83	.77	.78	-.22	.84															
21	.52	.27	-.18	-.17	-.13	.49	.40	.42	-.05	.50	.56														
32	.47	.40	-.07	-.33	-.28	.48	.46	.47	-.21	.50	.60	.86													
33	.09	.40	.91	-.23	-.60	.14	.27	.22	-.33	.15	.00	-.21	-.09												
22	-.33	-.53	-.10	.81	.70	-.49	-.48	-.45	.75	-.40	-.29	-.24	-.37	-.20											
23	-.41	-.63	-.35	.78	.83	-.55	-.56	-.53	.79	-.48	-.39	-.36	-.53	-.44	.86										
24	-.35	-.57	-.38	.74	.82	-.49	-.51	-.47	.76	-.42	-.32	-.30	-.42	-.42	.86	.93									
34	.85	.69	.03	-.50	-.50	.87	.80	.80	-.33	.85	.99	.57	.62	.04	-.44	-.50	-.44								
35	.82	.64	-.01	-.46	-.44	.82	.76	.77	-.29	.82	.97	.62	.69	-.01	-.37	-.47	-.39	.98							
36	.81	.67	.04	-.44	-.45	.81	.77	.78	-.25	.82	.98	.56	.65	.01	-.33	-.43	-.35	.97	.98						
37	.98	.73	.02	-.42	-.46	.96	.89	.90	-.25	.97	.83	.52	.46	.08	-.31	-.41	-.35	.83	.82	.79					
38	-.29	-.47	-.10	.94	.80	-.49	-.43	-.39	.98	-.35	-.27	-.06	-.19	-.27	.78	.76	.74	-.37	-.32	-.28	-.31				
39	-.76	-.81	-.19	.68	.70	-.83	-.83	-.82	.53	-.82	-.86	-.43	-.58	-.24	.58	.67	.59	-.90	-.89	-.90	-.77	.55			
31o	.44	.29	-.14	-.10	.01	.40	.37	.38	.18	.42	.62	.38	.41	-.15	-.01	.04	.06	.58	.57	.59	.40	.11	-.38		
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	11o	31	21	32	33	22	23	24	34	35	36	37	38	39		

wenn auch zwischen beiden Maßen sich ein Korrelationskoeffizient von  $C_{11/31} = 0.85$  errechnet<sup>46)</sup>. Dennoch aber ist zu erwarten, daß der Beitrag von  $S_{11}(v_i)$  für eine allgemeine topologische Strukturkomponentenkennzeichnung zumindest im Rahmen lokaler Beschreibung insofern beiträglich ist, als ebenso wie für  $r = 3$  auf das hier erfaßte Grundgerüst des Graphs die übrigen Strukturierungen naturgemäß weithin aufbauen und es in deutlicher Weise eine Art Grobgliederung im Hinblick auf Beziehungsfelder innerhalb der Knotenmenge liefern dürfte.

2.2. Das Funktional  $(r)_2^F$  (r = 1, 2)

2.2.1. Die Strukturierung  $S_{r(2,1,2)}(v_i)$ <sup>47)</sup> (r = 1, 2, 3)

Die im vorigen Abschnitt definierte, jeweils direkte Kommunikation zwischen Knoten beschreibende Strukturierung  $S_{r1}(v_i)$  legt natürlich eine Erweiterung auf indirekte Bezüge nahe. Es scheint einleuchtend, daß die Netzposition eines Knotens oder dessen Erreichbarkeit nicht nur durch die eigene, sondern ebenso durch die 'Bedeutung' seiner Nachbarlemente in einer zunächst nicht höher spezifizierten Umgebung bestimmt wird.

In diesem Sinne führen wir das Funktional  $(r)_2^F$  ein, welches, mit  $\mathcal{W} = (v_i = v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_l} = v_j)$  als einem beliebigen Weg aus  $\mathcal{N}_{ij}$  durch

$$2.2./1. \quad (r)_2^F = (r)_2^{f_{ij}} \quad \text{mit} \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$(r)_2^{f_{ij}} = \begin{cases} \min_{\mathcal{W} \in \mathcal{N}_{ij}} \left\{ \sum_{k=1}^{l-1} r^{d_{i_k i_{k+1}}} \right\}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases}$$

46)  $C_{11/31}$  bedeutet: Korrelation zwischen  $S_{11}(v_i)$  und  $S_{31}(v_i)$ . Die Korrelationsmatrix der Strukturierungen ist in Tab. 2 wiedergegeben.

47) Dies ist zu lesen als:  $S_{12}(v_i)$  und  $S_{21}(v_i)$  und  $S_{32}(v_i)$ . Eine derartige Schreibweise wird dadurch notwendig, daß den verschiedenen Dimensionierungen eine unterschiedliche Anzahl von Strukturierungen zugewiesen werden und damit eine durchgängige entsprechende Doppelindizierung nicht möglich ist. (Die formale Alternative, jedem Strukturierungsansatz ein gesondertes und nur hier einfach indiziertes Zeichen zuzuordnen, erwies sich insgesamt gesehen als zu unübersichtlich.)



festgelegt sein möge<sup>48)</sup>. Die Elemente dieser Matrix sind damit als Maß für die kürzeste Verbindung zwischen je zwei verschiedenen Knoten zu interpretieren, jeweils im Rahmen der betreffenden Dimensionierung; diese Größen werden gelegentlich auch als Distanz bezeichnet ( $\square(v_i, v_j)$ ). Im topologischen Fall handelt es sich einfach um die geringste Anzahl von Kanten<sup>49)</sup>, die zu durchlaufen nötig ist, um von  $v_i$  nach  $v_j$  zu gelangen; für  $r = 2$  wird die kürzeste km-Entfernung entlang einer Bahnstrecke zwischen den beiden Netzelementen angegeben. Auf welche Weise sich  $(r)_2^F$ , die sog. "kürzeste Wege Matrix" (shortest-path-matrix<sup>50)</sup>) aus  $r^D$  berechnen läßt, ist im Anhang, S.118f. ausführlich dargestellt.

Nun sei  $x_1 \in \mathbb{N}$  und  $x_2 \in \mathbb{R}$ . Wir definieren  $S_{r(2,1)}(v_i)$  durch

$$2.2./2. \quad S_{r(2,1)}(v_i) = \sum_{j=1}^n (r)_2^{f'_{ij}} \quad \text{mit} \quad r = \begin{cases} 1 \\ 2 \end{cases}$$

$$(r)_2^{f'_{ij}} = \begin{cases} 1 & , \text{falls } 0 < (r)_2^{f_{ij}} < x_r \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

In Abhängigkeit von Dimensionierung und Wahl von  $x_r$  wird hierdurch die Anzahl von Verkehrsknoten bis zu einer bestimmten Distanz von einem Knoten  $v_i$  aus angegeben. Da eine direkte Entsprechung für  $r = 3$  infolge fehlender korrespondierender Entfernungskennzeichnung natürlich nicht möglich war, wurde die Strukturierung

48) Offensichtlich ist ein analoges Vorgehen für  $r = 3$  nicht sinnvoll; dies zeigt sich deutlicher weiter unten bei der Besprechung der jeweiligen abgeleiteten Indizes.

49) Für diese topologische Bewertung allein ließe sich die Definition zu

$$(1)_2^{f_{ij}} = \min_1 \{ \underbrace{w / w}_{ij} \ominus w \}$$

vereinfachen.

50) Vgl. hierzu auch TAAFFE/GAUTHIER(1973,131) und HAGGETT/CHORLEY(1969,36).

$$2.2./3. \quad S_{32}(v_i) = \sum_{j=1}^{(2)2^{f_{ij}}} \quad \text{mit}$$

$$(2)2^{f_{ij}} = \begin{cases} S_{31}(v_i) & , \text{ falls } 0 < (2)2^{f_{ij}} \leq x_2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

hinzugezogen, die die Summe aller in einem vorgegebenen Distanzbe-  
reich (km-Entfernung) um  $v_i$  täglich in den dort befindlichen Knoten  
durch direkte Verbindungen zusammentreffender Züge ausdrückt.

Auch hier liegt der schon eingangs erwähnte Gedanke zugrunde, daß  
die Fähigkeit eines Knotenelementes mit anderen zu kommunizieren um-  
so größer ist, je mehr Knoten, bzw. je mehr Transportgelegenheiten in  
einer gewissen Umgebung verfügbar sind. Jedoch verliert sich offen-  
bar der Einfluß von Nachbarknoten mit wachsender Entfernung. Damit  
kommt entscheidender Bedeutung einer konkreten Wahl der  $x_r$  zu, wel-  
che allerdings nur durch eine subjektiv vergleichende Auswertung  
unterschiedlicher durchgeführter Ansätze zu begründen und hier nicht  
näher zu erläutern ist. Unsere Überlegungen führten schließlich dazu,  
im Hinblick besonders auf den östlichen Netzteil — welcher, grob  
gesprochen, sowohl durch eine hohe mittlere Nodalität, wie eine über-  
durchschnittliche mittlere kürzeste Entfernung zwischen benachbar-  
ten Verkehrsknoten gekennzeichnet ist —  $x_1 = 3$  und  $x_2 = 50$  km zu  
setzen<sup>51)</sup>.

Die Abbildungen 6<sup>+</sup>, 7<sup>+</sup> und 8<sup>+</sup> vermitteln einen Eindruck von entspre-  
chenden Raumverteilungen. Sämtlich ist eine deutlich globale, besser:  
regionale Komponente erkenntlich. Diese kommt aber, wie sich leicht  
nachvollziehen läßt, sowohl durch vorzüglich lokale Beziehungen, wie  
durch umgebungsgerichtete Verhältnisse gleichermaßen zustande, was  
insbesondere für  $S_{12}(v_i)$  gilt; hier wird auch ein sichtlich hervor-  
gehobener östlicher Netzteil gegenüber dem Netzrand sowie einem zwei-  
ten, im zentralen Bereich Baden-Württembergs gelegenen Gebiet mit

51) Trivialerweise ist  $S_{12}(v_i) = S_{11}(v_i)$  für  $x_1 = 1$ .

weitgehend mittleren Werten abgegrenzt<sup>52)</sup>.

Dagegen vollzieht sich im Rahmen der aktuellen Dimensionierung eine auffällige Verschiebung: sowohl für  $S_{21}(v_i)$  wie in noch stärkerem Maße für  $S_{32}(v_i)$  sind die höchsten Werte nun im westlichen Netzteil in der Umgebung von Stuttgart ( $v_{95}$ ) zu finden; dies einmal infolge der (auch durch die Netzkonstruktion bedingten) kurzdistanziellen Knotenpunkthäufungen, zum anderen aber auch gerade wegen der dort stärksten Intensität der Zugverbindungen.

Eine zweite Häufung von Elementen mit höheren Werten besonders der  $S_{21}(v_i)$ -Strukturierung ist westlich von München ( $v_{160}$ ) auszumachen mit Zentrum etwa bei Kaufering ( $v_{152}$ ) bzw. Geltendorf ( $v_{159}$ ) im Falle  $S_{32}(v_i)$ <sup>53)</sup>

Insgesamt wird jedenfalls offensichtlich, daß es sich im Gegensatz zu der wenn auch östlich verschobenen, doch eher zentral-peripheren topologischen Beschreibung — die aber infolge der speziellen Netzgestalt dennoch deutliche Affinität auch zur Strukturierung  $S_{11}(v_i)$  aufweist<sup>54)</sup>

52) Der Wert, beispielsweise,  $S_{12}(v_{32})$  ist sicher auf  $S_{11}(v_{32})$ ,  $S_{12}(v_{34})$  jedoch (man beachte:  $S_{12}(v_{34}) > S_{12}(v_{32})$ ) auf weitergehende Beziehungen zurückzuführen, da von  $v_{34}$  aus sowohl  $v_{62}$ ,  $v_{57}$  wie auch etwa  $v_{112}$  für  $x_1 = 3$  zu erreichen sind.

Ähnliches gilt für die Position Münchens: trotz einer Nodalität von  $S_{11}(v_{160}) = 12$  reichen die indirekten Beziehungen nicht aus, um einen ebenso hohen  $S_{12}(v_i)$ -Wert zu erhalten, wie z.B. Ingolstadt ( $v_{111}$ ).

53) Gerade daran wird deutlich, daß hier nicht unbedingt die durch  $S_{r1}(v_i)$  besonders ausgezeichneten, sondern oftmals solche Knoten hervorgehoben werden, die von diesen in einiger Entfernung gelegen sind. Diese Tatsache mag in einer stärker globalen Akzentuierung vielleicht auch die relativ positive Kennzeichnung des nördlichen Netzabschnittes zumindest für  $S_{21}(v_i)$  erklären helfen; wieweit es sich in diesem Bereich noch um vorkriegszeitlich bedingte Verhältnisse handelt, ist überdies nicht abzuschätzen.

54) Man vgl. hierzu auch  $C_{11/12} = 0.74$ .

bei  $S_{32}(v_i)$  sowie  $S_{21}(v_i)$  um, räumlich gesehen, tatsächlich eher ringförmige, nach innen wie randlich an Intensität abnehmende Kennzeichnung handelt, welche aber zumindest im ersten Fall ihren Ursprung in der mehr abseitigen Lage aktuell bedeutsamer Knoten und -häufungen besitzen und so letztlich eine Art Umgebungsbeschreibung liefern dürften.

Die Korrelogramme scheinen dies weitgehend zu bestätigen: es sind signifikante mittlere positive Korrelationswerte für die ersten lags nachweisbar. Während nun aber hinsichtlich der aktuellen Dimensionierung die übrigens nahezu identisch verlaufenden Kurven<sup>55)</sup> zwischen dem 4. und 10. lag um die Nulllinie schwanken, zeigt sich für  $S_{12}(v_i)$  neben deutlich höherer Anfangskorrelation ein gleichmäßiger, relativ steiler Abfall zu allerdings nicht sonderlich bedeutsamen negativen Werten; immerhin Hinweis auf regelmäßigeres Raumverteilungsmuster, wie es in idealtypischer Form später beispielsweise bei  $S_{14}(v_i)$  oder  $S_{15}(v_i)$  noch vorgestellt werden wird.

### 2.2.2. Die Strukturierung $S_{r3}(v_i)$ (r = 1, 3)

Wie wir schon versuchten anzudeuten, geschah die Konkretisierung der Größen  $x$  unter 2.2.1. zwar auf der Basis einer Vielzahl differierender Versuchsanordnungen, doch bleibt sie trotz postulierter Sinnvollheit der abgeleiteten Strukturierungen gleichwohl eine höchst subjektive Entscheidung.

Insofern liegt es nahe, nach einem Ansatz zu suchen, welcher in gewisser Weise entsprechende Resultate für eine Vielzahl verschiedener  $x_r$ -Werte simultan berücksichtigt. Aussichtsreich erscheint uns hier ein Vorgehen über die Häufigkeitsverteilung der Knoten bzw. Züge hinsichtlich unterschiedlicher diskreter Werte  $x_r$  bezüglich eines jeden Knotenpunktes. Während dabei formal die Festlegung der verschiedenen Distanzen für  $r = 1$  unproblematisch ist<sup>56)</sup>, erweisen sich ent-

---

55) Man beachte auch den Wert  $C_{32/21} = 0.86$ , dagegen aber  $C_{12/21} = 0.27$  und  $C_{12/32} = 0.40$ .

56) Man legt einfach für jedes  $v_i$  die Werte

$$x_1 = 1, 2, 3, \dots, \text{Max}_j \{ (1)_2 f_{ij} \} \text{ zugrunde.}$$

sprechende Überlegungen für die aktuelle Dimensionierung erneut als diffiziler insofern ja von quasi 'natürlichen' Distanzen nun nicht mehr die Rede sein kann. Da nähere Untersuchungen zeigten, daß eine entsprechende Verwendung des Funktional  $(2)_2^F$  sich nicht sinnvoll ermöglichen läßt<sup>57)</sup>, muß auch in diesem Fall auf topologische Distanzbeziehungen rekurriert werden.

So führen wir zunächst die Größen

$$2.2./4. \quad = \sum_{j=1}^n (r)_2^{f_{ij}''''} \quad \text{mit}$$

$$(r)_2^{f_{ij}''''} = \begin{cases} 1 & , \text{falls } (1)_2^{f_{ij}} = k \text{ und } r = 1 \\ S_{31}(v_i) & , \text{falls } (1)_2^{f_{ij}} = k \text{ und } r = 3 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

für  $k = 1, 2, \dots, \text{Max}_j \{ (1)_2^{f_{ij}} \}$  und alle  $i$

ein und bilden damit entsprechend für jeden Knoten einen Vektor

$$2.2./5. \quad r^{\vee} i = (r^y_{ik})$$

Dieser beschreibt dann, wie erwünscht, die Verteilung der Anzahl der Knoten ( $r = 1$ ) bzw. Züge ( $r = 3$ ) für topologische Distanzringe um  $v_i$ .

57) Im wesentlichen bearbeiteten wir folgende zwei Möglichkeiten:

- o die notwendigen Schwellenwerte wurden auf verschiedene Weisen, jedoch weitgehend willkürlich festgelegt, z.B. (50, 100, 150, ...) oder (25, 50, 75, ...);
- o die Distanzgrößen wurden sozusagen 'intern' definiert, indem wir sie als die mittlere km-Entfernung zu den im 1., 2., ... topologischen Distanzring gelegenen Knoten bestimmten.

Abgesehen davon, daß in beiden Fällen sehr oft die unerwünschten mehrgipfligen Verteilungen entstanden, beim ersten Ansatz sogar zumindest bei ausreichend erscheinender Ringzahl eine Reihe von ihnen unbesetzt blieb, konnte im zweiten Fall zudem u.a. insonderheit die Frage, ob bei der Entfernungsmitteilung für eine beliebige Distanzschwelle die zur Bestimmung der vorherigen schon berücksichtigten Knoten erneut mitzuzählen oder auszuschließen seien, einfach nicht sinnvoll entschieden werden.

Eine genauere Inspektion dieser Vektoren erwies nun, daß bis auf wenige, hier tatsächlich vernachlässigbare Ausnahmen<sup>58)</sup> mit wachsendem  $k$  die Werte der  $r y_{ik}$  zunächst ansteigen, dann aber wieder abnehmen. Damit liegt nahe, einen Knoten als umso erreichbarer zu betrachten, je mehr

2.2./6. 
$$\text{Max}_k \{ r y_{ik} \}$$

in Richtung auf kleinere  $k$  verschoben ist<sup>59)</sup>. Da aber die  $r y_i$  unterschiedliche Längen besitzen sowie außerdem neben Modalwert auch die Form der durch jenen beschriebenen Verteilung nicht unwichtig erscheint, wird deren Schiefe und nicht der 'häufigste Wert' selbst zu Quantifizierung herangezogen und als neue Strukturierung verwendet:

2.2./7. 
$$S_{r3}(v_i) = \text{Schiefe}(r y_i)$$

Damit kann nun ein Knoten als umso besser positioniert betrachtet werden, je geringer einerseits die Distanz zum Ring mit der größten Knoten- oder Zugmenge, je höher andererseits gleichzeitig aber auch die Anzahl der überhaupt zu berücksichtigenden Distanzringe ist<sup>60)</sup>. Die Abbildungen  $10^+$  und  $11^+$  veranschaulichen deutlich, daß eine verstärkt globale Auswirkung der Konzentration hochnodaler, im östlichen Netzteil gelegener Knoten entscheidend wird, sowie die etwas pe-

58) Diese Ausnahmen treten naturgemäß stärker für  $r = 3$  hervor, da sich durch den Einbezug von  $S_{31}(v_i)$  eine weitaus größere Variationsbreite ergibt.

59) Die Größe  $r y_i$ , die die Anzahl von Knoten bzw. Zügen in dem am stärksten besetzten Ring um  $v_i$  beschreibt, kommt ja offensichtlich als Strukturierung selbst nicht in Frage, da hiermit keine Aussage über die Entfernung des Distanzringes verbunden ist.

60)  $\text{Max}_j \{ (1)_2^{f_{ij}} \}$  selbst besitzt allerdings allein offenbar keinen Einfluß auf  $S_{r3}(v_i)$ , wie sich einerseits aus den Abbildungen  $10^+$  und  $11^+$  ergibt, zum anderen auch noch in Abschnitt 2.2.3. hervorgehoben wird.

riperen Ballungen, der Züge besonders, im Raume München und Stuttgart Einfluß nehmen. Es werden nicht mehr gerade unbedingt Knoten mit hohen  $S_{r1}(v_i)$ -Werten hervorgehoben, sondern wesentlich solche, die zu jenen

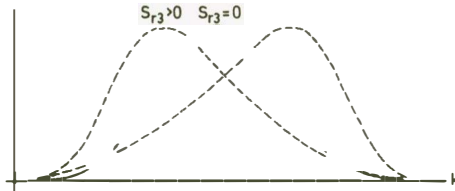


Abb. 9: Schematische Darstellung zur Verteilung  $r^{(k)}_i$

eine topologische Distanz von etwa 2,3 oder 4 besitzen<sup>61)</sup>. Hieraus resultiert ein von Nordosten nach Südwesten verlaufender, die Netzelemente hervorhebender Streifen, welcher als Resultat einer Transformation der Bewertung kleinräumlicher Umgebungsbeziehungen in eine stark generalisierte, global zu interpretierende und sicherlich auch als Funktion der speziellen Netzgestalt aufzufassende Differenzierung von  $\Gamma$  zu betrachten ist. Diese großräumliche Komponente schlägt sich überdies eindeutig in den entsprechenden Korrelogrammen nieder, die, besonders für  $r = 3$ , sich in ihrem ruhigeren Verlauf und der für die ersten lags wesentlich höheren positiven wie für die mittleren lags wichtigen negativen Werte auffällig von den zu  $S_{r(2,1,2)}$  gehörigen abheben; an anderer Stelle wird auf diesen räumlichen Verbreitungsaspekt nochmals zurückzukommen sein, vgl. z.B. S.73

Unterstützung findet das Vorstehende schließlich, nun in anderer Größenordnung, weiterhin dadurch, daß sich die Strukturierungswerte von Knoten hoher Valenz sowie 'zugehörigen' Endknoten oft nur unwesent-

61) Als Beispiel vgl. etwa  $S_{13}(v_{119})$  und  $S_{13}(v_{75})$  bzw. die Werte  $S_{33}(v_{140})$  und  $S_{33}(v_{38})$ .

lich voneinander unterscheiden<sup>62)63)</sup>, während andererseits benachbar-  
te Elemente mit gleicher Ordnung gelegentlich infolge unterschied-  
licher bevorzugter Richtungen der 'kürzesten' Wege jetzt energisch  
differenziert werden<sup>64)</sup>.

### 2.2.3. Die Strukturierung $S_{r(4,2)}(v_i)$ (r = 1, 2)

Die schon in Anmerkung 60) ausgesprochene Vermutung, daß zwischen  
 $S_{r3}(v_i)$  und  $\text{Max}_j \{ (1)2^f_{ij} \}$  keine direkte Beziehung bestehe, findet  
sich nun in den Korrelationswerten von -0.08 (für r = 1) und -0.23  
(für r = 3) weitgehend bestätigt. Immerhin jedoch gestattet jene Größe  
ebenfalls eine sinnvolle Erreichbarkeitsinterpretation, mit der in  
der netzanalytisch befaßten Literatur schon mehrfach gearbeitet wor-  
den ist<sup>65)</sup>. Definieren wir also

---

62) Vgl. z.B.  $v_{32}$  und  $v_{33}$  oder  $v_{128}$  und  $v_{129}$ , sowie, für r = 3, etwa  
 $v_{108}$  und  $v_{109}$ .

63) Dabei zeigt sich allerdings, daß die  $S_{33}(v_i)$ -Werte für Endknoten  
im allgemeinen etwas höher liegen, als für die entsprechenden An-  
schlußknoten. Diese Besonderheit, die vielleicht geläufigen Vor-  
stellungen von Erreichbarkeit oder Güte der Netzangebundenheit zu  
widersprechen scheint, ist darauf zurückzuführen, daß die unter  
2.2./7. definierte Strukturierung als Maß für eine Häufigkeits-  
verteilung betrachtet werden muß: da Endknoten sehr oft durch einen  
wesentlich stärkeren Anstieg in der Besetzung der ersten Distanz-  
ringe charakterisiert sind, als die Anschlußknoten — weil für  
diese sich die Berücksichtigung von zunächst eben einer Reihe  
Knoten mit geringer Valenz nicht sehr günstig auswirkt — wer-  
den jene in ihrer quantitativen Kennzeichnung relativ, wenn auch  
absolut gesehen durchaus geringwertig, bevorzugt. Ausnahmen, die in  
11 von 63 Fällen vorliegen, sind nur dann nachweisbar, wenn die An-  
schlußknoten sehr stark mit dem Gesamtnetz verbunden erscheinen.  
Dieser Ansatz kleinräumiger Relativierung globaler Netzbeziehun-  
gen basiert so aber entscheidend auf der aktuellen Dimensio-  
nierung und tritt im topologischen Kontext nicht auf, wenn man  
von zwei Fällen absieht; es handelt sich um die Knotenpaare  
 $v_8/v_{10}$  bzw.  $v_{60}/v_{61}$ , wobei spezielle ungünstige Verteilungen  
maßgebend zu sein scheinen, ohne daß jedoch die Verhältnisse ge-  
nauer geklärt werden konnten.

64) Man vgl. hierzu auch  $C_{11/13} = 0.07$  sowie  $C_{31/33} = 0.00$  und ande-  
rerseits  $C_{13/33} = 0.91$ .

65) Vgl. dazu etwa MURACO(1971, 390), GARRISON(1960, 129) oder auch  
WERNER(1968, 136).



$$2.2./8. \quad S_{r(4,2)}(v_i) = \text{Max}_j \{ (r)2^{f_{ij}} \}$$

so beschreibt diese Strukturierung die Distanz eines Knotens  $v_i$  zu den jeweils am weitesten entfernt gelegenen und damit die Position der einzelnen Elemente bezüglich des Netzrandes. Darüberhinaus finden, neben verschiedenartigen Bezeichnungen für  $S_{14}(v_i)$  — etwa assoziierte Zahl, Königszahl<sup>66)</sup> oder auch topologischer Radius (vgl. z. B. KAUFMANN (1971, 78), VETTER (1970, 48), KANSKY (1963, 28), HAGGETT/CHORLEY (1969, 46)) — zusätzlich bestimmte Begriffe zur Kennzeichnung für durch  $S_{14}(v_i)$  in charakteristischer Weise ausgezeichnete Knotenmengen Verwendung: so ist

$$2.2./9. \quad Z_1 = \{ v_i / S_{14}(v_i) = \text{Min}_j \{ S_{14}(v_j) \} \}$$

als Zentrum,

$$2.2./10. \quad P_1 = \{ v_i / S_{14}(v_i) \quad \text{Max}_j \{ S_{14}(v_j) \} \}$$

dagegen als Peripherie des Netzes bekannt; die Größe

$$2.2./11. \quad d_1 = \text{Max}_i \{ S_{14}(v_i) \} = \text{Max}_i \text{Max}_j \{ (1)2^{f_{ij}} \}$$

heißt auch Netzdurchmesser (vgl. etwa KAUFMANN (1971, 79) oder KANSKY (1963, 12)).

Beide Mengen, Zentrum wie Peripherie<sup>67)</sup> sind in Abbildung 12<sup>+</sup> und 13<sup>+</sup>

66) Nach dem Mathematiker D. KÖNIG, auf den dieses Maß zurückgeht.

67) Außerdem wurden die Ergänzungen

$$Z_1' = Z_1 \cup \{ v_i / S_{14}(v_i) = \text{Min}_j \{ S_{14}(v_j) \} + 1 \}$$

sowie

$$P_1' = P_1 \cup \{ v_i / S_{14}(v_i) = d_1 - 1 \}$$

eingetragen. Im übrigen gilt:  $\text{Min}_i \{ S_{14}(v_i) \} = 11, d_1 = 21$

und  $\text{Min}_i \{ S_{22}(v_i) \} = 338, d_2 = 654$ ; vgl. Anmerkung 68).

zusätzlich kenntlich gemacht<sup>68)69)</sup>. Die Raumverteilungsmuster weisen, gleichermaßen wie die entsprechenden Korrelogramme, die Strukturierung  $S_{r(4,2)}(v_i)$  als entscheidend durch eine globale Verbreitungskomponente bestimmt aus; der vom westlichen Netzrand ins Innere bis  $v_{146}$  bzw.  $v_{150}$  verlaufende 'Keil' gut erreichbarer Knoten deutet dabei

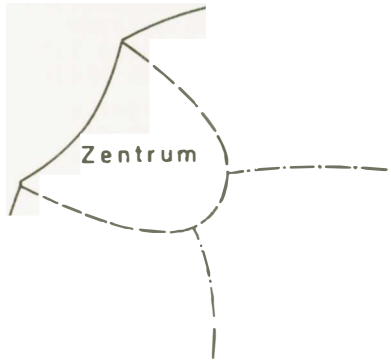


Abb.14: Schema zur Lage der Zentrumsknoten

68) Eine direkte Übertragung der eben eingeführten Begriffe auf die Dimensionierung  $r = 2$  ist formal zwar möglich, erscheint in dieser Form jedoch nicht besonders brauchbar, da es sich infolge der weitaus größeren Wertemenge von  $\mathcal{L}(2,2)$  bzw.  $\mathcal{Z}(2,2)$  bei  $Z_2$  und  $P_2$  im allgemeinen dann jeweils um einelementige Mengen handeln dürfte; damit wird wieder ein Rückgriff auf — subjektive — Grenzwerte notwendig. Wir haben hier, vgl. Abbildung 13<sup>+</sup>, nach Transformation und Standardisierung von  $S_{22}(v_i)$  folgende Schranken verwendet:

$$Z_2 = \{ v_i / S_{22}(v_i) \leq -1.75 \}$$

$$P_2 = \{ v_i / S_{22}(v_i) \geq 1.25 \}$$

69) Natürlich heben sich beide Begriffe deutlich von ihrer umgangssprachlichen Verwendung ab. Die Abbildungen lassen erkennen, daß z.B. Peripherie in beiden Fällen auch nicht annähernd als eine Art 'äußerer Kranz' um  $\Gamma$  zu verstehen ist; während für den topologischen Ansatz zwar der nördliche, für  $r = 2$  der östliche und südwestliche Netzrand weitgehend abgeschlossen wird, fallen der Osten resp. Norden sowie beide Male insbesondere der Süden durch deutlich günstigere Erreichbarkeitsverhältnisse auf. Auch das Zentrum befindet sich, jedenfalls im topologischen Kontext keineswegs ein-

auf die(formale)Funktion der Zentrumsnoten als Verbindungsglieder dreier großräumlicher Netzregionen hin,vgl.Abb.14<sup>70)</sup>.

drücklich in der Mitte von  $\Gamma$ ,sondern erscheint ausgesprochen randlich gelegen.Topologisch gesehen ist aber der Weg

$\mathfrak{M} = (v_{52},v_{53},v_{107},v_{108})$  als Zentrums(kern) als eine Art zentrale Achse zu interpretieren,die bei geeigneter ropologisch invarianter Verschiebung der Netzelemente auch optisch in den Mittelpunkt gerückt werden könnte;im aktuellen Bereich findet eine leichte süd-östlich Verschiebung der zentralen Knoten statt.

70)Auffällig erscheint die räumlich gesehen gewissermaßen senkrecht hierzu verlaufende Anordnung der durch die  $S_{r3}(v_i)$ -Strukturierung hervorgehobenen Knoten(vgl.Abbildungen 10<sup>+</sup> und 11<sup>+</sup>),welche die Vermutung nahelegt,das die Zentrumsnoten zusätzlich eine relativ ausgeglichene Verteilung  $r \eta_i$  aufweisen.Die entsprechenden Häufigkeitspolygonzüge unterstützen dies jedoch nur teilweise,heben aber andererseits nochmals die Bedeutung der Nähe zu den hochnodalen Knoten von  $\Gamma$  hervor:für  $r = 1$  vollzieht sich offenbar eine Verschiebung der Modalwerte zu geringeren Distanzgrößen bei gleichzeitiger 'Verbreiterung' der Verteilung im Verlauf des Weges

$\mathfrak{M} = (v_{52},v_{53},v_{107},v_{108})$ .Ähnliches liefern auch die Werte für die mittlere Entfernung zu sämtlichen Knoten,ausgedrückt in Distanz-

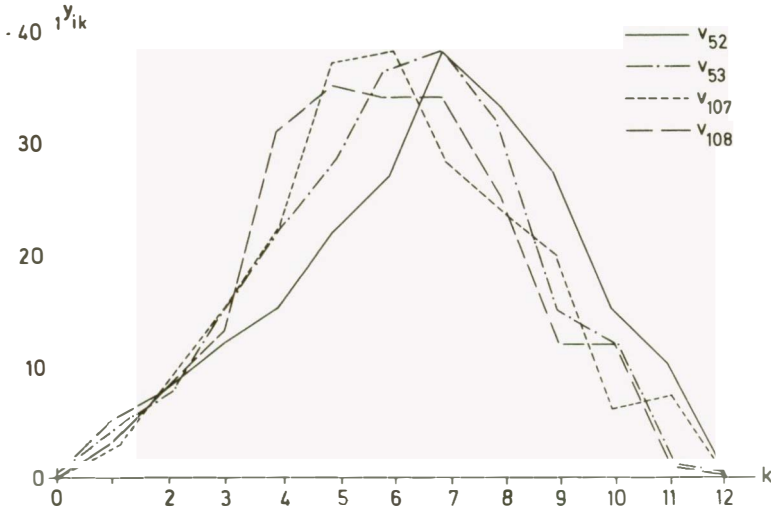


Abb.15:Die Verteilung  $r \eta_i$  der Zentrumsnoten

Insgesamt bestehen offensichtlich erneut große Übereinstimmungen zwischen beiden Dimensionsansätzen, die sich in  $C_{14/22} = 0.82$  nieder-

einheiten:  ${}_1\bar{y}_{52} = 6.73, {}_1\bar{y}_{53} = 6.14, {}_1\bar{y}_{107} = 6.07$  und  ${}_1y_{108} = 5.88$ ; damit wird über die  $S_{14}(v_i)$ -Strukturierung hinaus eine zusätzliche

Differenzierung der Zentrumselemente ermöglicht. Hinsichtlich des aktuellen Bewertungsansatzes ergeben sich prinzipiell analoge Verhältnisse, doch spielt jetzt allerdings für die Lokalisation des Verteilungsgipfels die Nähe zu Stuttgart eine ebenfalls entscheidende Rolle. So weist der Knoten  $v_{107}$  (Goldshöfe) die mit Abstand höchst Zughäufigkeit schon im 4. Distanzring auf, da die topologische Entfernung sowohl zu Stuttgart, Nürnberg wie auch München jeweils 4 beträgt und demonstriert damit beispielhaft ein Charakteristikum der  $S_{r_3}(v_i)$ -Strukturierung: nämlich die Suche nach einer Optimal-position in Bezug auf die Nodalitätsverhältnisse verschiedener Netzbereiche.

Bemerkenswert wird so auch hier die Verlagerung der Modi für die Knotenfolge  $\eta = (v_{107}, v_{106}, v_{146}, v_{147}, v_{150}, v_{185})$ , wobei  $v_{185}$  klar wegen  $(1)2_{95,185}^f = 8$  eine Sonderstellung einnimmt, die sich auch in  ${}_1\bar{y}_{185} = 7.03$  dokumentiert. Wegen der vergleichsweise großen Bedeutung des Zugverkehrs in Stuttgart, Nürnberg und München ist aber

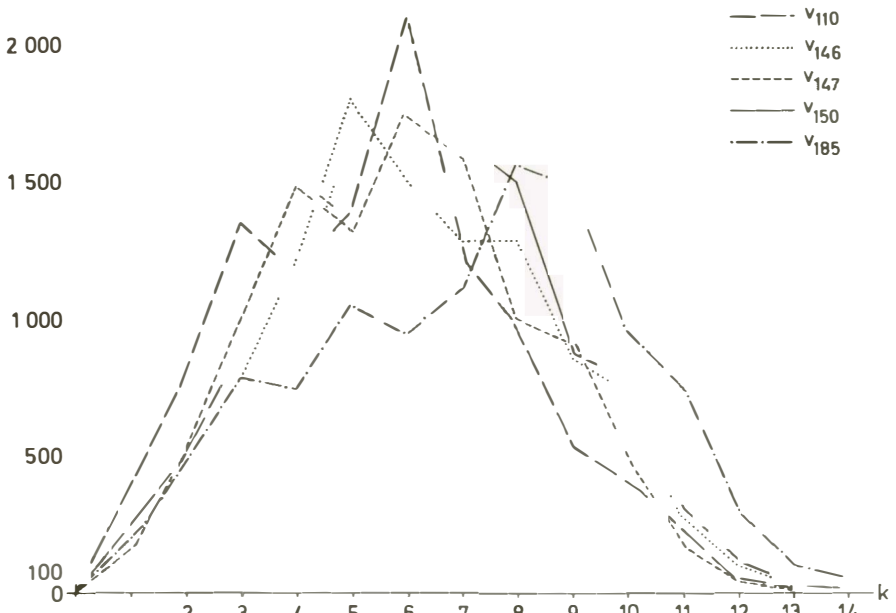


Abb. 16: Die Verteilung  ${}_3\eta_i$  ausgewählter Zentrums-knoten

schlagen. Auf feinere Unterschiede hinsichtlich der Beziehungen zu den lokal-regionalen Beschreibungsmaßen  $S_{r1}(v_i)$  und  $S_{r(2,2,1)}(v_i)$  soll darüberhinaus nicht eingegangen werden; wichtig erscheint nur, daß die Korrelationswerte, wenn auch im aktuellen Bereich durchaus geringer, durch signifikant negativen Ausfall die später noch aufzugreifende Aussage nahelegen, daß Netzabgelegenheit und lokale Knotenbedeutung zumindest bis zu einem gewissen Grad invers aufeinander bezogen sind.

2.2.4. Die Strukturierung  $S_{r(5,3)}(v_i)$  (r= 1,2)

Eine nachträglich nähere Analyse der  $S_{r(4,2)}(v_i)$ -Werte verdeutlicht allerdings nun eine bemerkenswerte Unzulänglichkeit dieses Maßes<sup>71)</sup>: zwar erfolgt eine Fixierung sozusagen des maximalen 'Aktionsradius', nichts ist jedoch bezüglich eines jeden Knotens über einen entsprechenden 'Aktionsaufwand' zu erfahren, welchen wir für  $r = 1$  etwa definieren wollen als Anzahl notwendiger Distanzschritte, von  $v_i$  aus eine Menge anderer, insonderheit sämtliche anderen Netzelemente zu erreichen<sup>72)</sup>.

darüberhinaus eine eindeutige Veränderung der Distanzmittelwerte  $\bar{y}_i$  nun nicht mehr gegeben, wenn auch im ganzen eine Abnahme (für  $r = 1$ : Zunahme) mit der Entfernung von Stuttgart in Richtung München zu beobachten ist.

71) Entscheidend ist natürlich hier die jeweils verfolgte Fragestellung: so kann es in der Anwendung Situationen geben, in denen die assoziierte Zahl der weiter unten einzuführenden Strukturierung sicherlich vorzuziehen ist. Man vgl. z.B. die Bemerkungen von ALAO(1973,116) zu einer Untersuchung von KISSLING(1969,95) im Zusammenhang einer Kantenstrukturierung.

72) Nachfolgendes Beispiel belegt, daß der Gesamtaufwand, zu sämtlichen

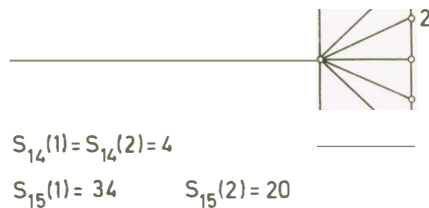


Abb. 17: Beispiel zur Unterscheidung von  $S_{14}(v_i)$  und  $S_{15}(v_i)$

Dem kann aber, in trivialer Analogie auch für  $r = 2$ , vermittels eines Ansatzes

$$2.2./12. \quad S_{r(5,3)}(v_i) = \sum_{j=1}^n (r) 2^{f_{ij}} \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Rechnung getragen werden<sup>73)</sup>. Erneut erhalten wir damit eine entschiedene

übrigen zu gelangen, für zwei im Sinne der  $S_{14}(v_i)$ -Kennzeichnung gleichwertige Knoten sehr unterschiedlich sein mag. Derartige Verhältnisse können dann dazu führen, daß z.B. durch zusätzliche Kanteneinfügungen in ein Netz die jeweiligen  $S_{14}(v_i)$ -Werte nicht, die Distanzen zu topologisch nahegelegenen Knoten sehr wohl günstig beeinflußt werden und damit gleichermaßen der erwähnte 'Aktionsaufwand':

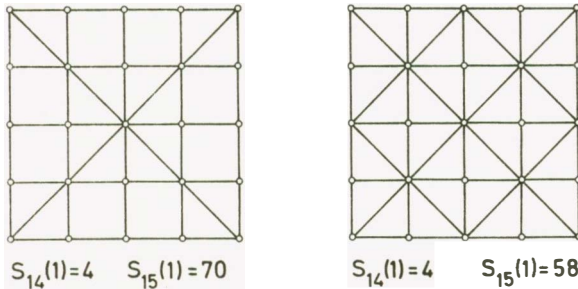


Abb.18: Beispiel zur Unterscheidung von  $S_{14}(v_i)$  und  $S_{15}(v_i)$

Auf dieses Problem hat schon WERNER(1968,136) bei dem Versuch einer möglichst eindeutigen Gesamtnetzkennezeichnung durch die Verteilung sämtlicher  $S_{14}(v_i)$ -Werte hingewiesen; er konnte zeigen, daß die assoziierte Zahl dies eben nicht, das unter 2.2./12. definierte Maß  $S_{15}(v_i)$  jedoch sehr wohl zu leisten vermag.

73) Diese Strukturierung findet sich in der Literatur unter der Bezeichnung Shimbel-Index (siehe etwa SHIMBEL(1953), MURACO(1971,390), WERNER(1968,136), BRIGGS(1975,19), ALAO(1973,116)) oder wird einfach als 'Erreichbarkeitsindex'(vgl. KANSKY(1963,30), der allerdings explizit metrische Distanzeinheiten voraussetzt, TAAFFE/GAUTHIER(1973,135) oder HAGGETT/CHORLEY(1969,32)) gekennzeichnet; letzteres deutet schon auf eine oftmals isolierte Verwendung dieses Maßes hin, was jedoch, wie später zu zeigen sein wird, der Knotencharakterisierung nicht adäquat erscheint.

den einen globalen Raumaspekt betonende Strukturierung, die, wie Verteilungsmuster (Abbildungen  $19^+$  und  $20^+$ ), Korrelogramme sowie die Werte  $C_{14/15} = 0.83$  und  $C_{22/23} = 0.86$  gleichermaßen belegen, trotz grundsätzlich anderer Fragestellung enge Beziehungen dennoch zu  $S_{r(4,2)}(v_i)$  aufweist; immerhin ist für  $r = 1$  zumindest die wesentlich stärkere Differenzierung der Netzelemente <sup>74)</sup> hervorzuheben. Ebenfalls muß wiederum die große Ähnlichkeit über die Dimensionierung hinweg herausgestellt werden, die sich zu  $C_{15/23} = 0.84$  zusammenfassen läßt. Kleinere Differenzen allerdings existieren: so fällt etwa die unterschiedliche Bewertung der Knoten  $v_{102}, v_{103}, v_{104}$  auf, die bei der aktuellen Beschreibung infolge relativ guter Netzanbindung deutlich besser abschneiden. Überhaupt ist für  $r = 2$  die Position der nördlichen und westlichen Netzelemente gegenüber der im Osten und Süden gelegenen verbessert; die Bevorzugung letzterer im topologischen Ansatz ist erneut auf die hohe Valenz in diesem Netzbereich zurückzuführen, zumal eine Verschiebung der unter dieser Strukturierung besterreichbarsten Knoten im Verhältnis zur  $S_{14}(v_i)$ -Kennzeichnung ebenfalls nach Osten stattgefunden hat.

#### 2.2.5. Die Strukturierung $S_{24}(v_i)$

In Ergänzung zu  $S_{r(5,3)}(v_i)$  soll noch eine weitere, ähnliche Beschreibung zugefügt werden, die — von MURACO (1971) allerdings in einem anderen Zusammenhang vorgeschlagen — auf einem vielleicht etwas 'realistischeren' Ansatz beruht, insofern nicht mehr Entfernungen zwischen einem Knoten und sämtlichen anderen, sondern lediglich die Distanzen zu bestimmten, ausgezeichneten, das Gesamtnetz durchziehende Wege zugrundegelegt werden. Es erscheint sinnvoll, auf sog. 'kürzeste Wege' durch  $\Gamma$  zu rekurrieren und zu postulieren, daß  $v_i$  auch dann als umso erreichbarer zu klassifizieren sei, je näher dieser Knoten an einem solchen Weg gelegen ist.

Nun ist natürlich klar, daß ohne vorherige Fixierung einer die potentiellen Anfangs- und Endknoten eines derartigen Weges umfassenden Knotenmenge  $\bar{V}$  jener nicht in vernünftiger Weise bestimmt werden kann.

---

74) Eine weitergehende Abhebung von der ass. Zahl wird noch bei der Konstruktion der dimensionsspezifischen Strukturkomponenten deutlich werden, vgl. S. 73.

In Anbetracht der Größe von  $\Gamma$ , eher aber noch im Hinblick auf eine ausreichende Differenzierung der einzelnen Netzelemente — besonders auch der auf einem solchen Weg befindlichen — liegt es nahe, von mehreren, sich gewissermaßen ergänzenden, solcherart herausgehobenen Kantenfolgen auszugehen. Hierzu verwendeten wir, in Anlehnung an MURACO(1971), folgendes Verfahren:  $\Gamma$  wurde, natürlich in seiner konkreten Lagedimension, in ein in 16 Sektoren zu je  $22.5^\circ$  aufgeteiltes Achsensystem eingespannt, wobei es wesentlich aber nur auf die Einordnung der äußerst randlich gelegenen Knoten ankam. Bei der Auswahl nun der in  $\bar{V}$  zusammengefaßten Elemente war ein völlig objektives Vorgehen allerdings nicht immer möglich. Abgesehen von einer möglichst exzentrischen Position griffen wir jedoch auf folgende allgemeine Kriterien zurück:

- o sämtliche Endknoten in dem entsprechenden Bereich wurden in  $\bar{V}$  aufgenommen<sup>75)</sup>
- o jeder Sektor sollte, wenn möglich, mindestens zwei Elemente aus  $\bar{V}$  enthalten
- o für je zwei in einem Sektor befindliche Elemente  $v_i, v_j \in \bar{V}$  sollte gelten:  $(1) 2^{f_{ij}} \geq 2$ .

Jeweils drei benachbarte Sektoren wurden darüberhinaus zusammengenom-

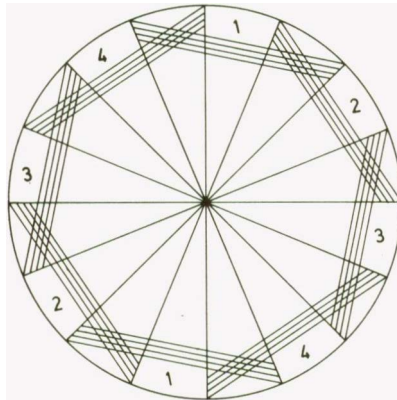


Abb.21: Schema zur Bildung der Netzsektorbereiche

75) Eine Ausnahme bilden, wegen unzureichender Randlage, die Knoten  $v_{38}$  und  $v_{39}$ .



men,wobei,um eine zu große Rigidität in der Bestimmung der Anfangs- und Endknoten zu vermeiden,die Bildung einer Überlappungszone der beiden äußeren mit den je anschließenden Sektorengruppen beabsichtigt war.Für die dadurch entstandenen vier Sektorbereiche schloß sich getrennt die Bestimmung der kürzesten Wege von sämtlichen dort gelegenen Knoten zu den im 'gegenüberliegenden' Komplement befindlichen für die aktuelle Dimensionierung  $r = 2$  an<sup>76)</sup> und schließlich die Ermittlung der dabei durch die kürzeste Länge gekennzeichneten vier Kantenfolgen;vgl.Abb.21 und Abb.22<sup>†</sup>.

Als Strukturierung kann damit in sinnvoller Weise die Größe

$$2.2./13. \quad S_{24}(v_i) = \sum_{k=1}^4 (2)2^{f_{i(k)}} \quad \text{mit}$$

$$(2)2^{f_{i(k)}} = \text{Min}_j \{ (2)2^{f_{ij}} / v_j \in \mathcal{N}^k \}$$

Verwendung finden;Abb.23<sup>†</sup> macht deutlich,daß dabei auch hier der globale Raumaspekt in den Vordergrund tritt<sup>77)</sup>.

Infolge des Rückgriffs auf vier verschiedene Wege werden nun die auf diesen selbst gelegenen Netzelemente nicht besonders stark hervorgehoben,mit Ausnahme von  $v_{110}$  sowie des Bereichs des Kreuzungspunktes der Wege im Süden von  $\Gamma$ ;diese Knoten mußten schon nach den vorigen Kennzeichnungen als relativ exponiert gelten und erfahren wegen der Nähe zu München ( $v_{160}$ ) und,wie jetzt deutlich geworden ist,recht guter Verbindung nach Norden und Nordwesten unerwartet positive Bewertung.

2.2.6.Die Strukturierung  $S_{r(6,4)}(v_1)$  (r= 1,3)

Die vormals schon unter 2.2.3. geäußerte Vermutung,daß nämlich insge-

76)Von einem entsprechenden Ansatz für  $r = 1$  wurde wegen zu geringer Differenzierungsmöglichkeit abgesehen.

77)Insofern wäre,auch wegen  $C_{22/24} = 0.86$  und  $C_{23/24} = 0.93$ ,es bei der Analyse weniger umfangreicher Netze vermutlich angebracht, wegen des geringeren Arbeitsaufwandes mit dieser Kennzeichnung statt mit der assoziierten Zahl oder dem Shimmel-Index zu arbeiten.

samt gesehen mit größerer Netzabgelegenheit im Sinne der  $S_{r(4,2)}(v_i)$ -Strukturierung eine Verringerung der lokalen Knotenbedeutung einhergehe, kann nun durch die Resultate der letzten Abschnitte und die entsprechenden Korrelationswerte (vgl. Tb. 2) als weiterhin unterstützt betrachtet werden. Während es damit offensichtlich möglich ist, vermittels der schon vorgestellten Beschreibungsmaße diese beiden räumlichen Organisationsaspekte getrennt zu erfassen, fehlt bislang ein Ansatz, der sie gleichermaßen zu berücksichtigen trachtet. Immerhin scheint es doch plausibel, Knoten mit hohen  $S_{r(4,2)}(v_i)$ - und  $S_{r1}(v_i)$ -Werten als jedenfalls lokal besser angebunden anzusehen, als solche mit gleicher assoziierter Zahl, jedoch geringerer Valenz — gleichsinnige Überlegungen mögen für den umgekehrten Fall angestellt werden. Dies läßt sich auch anders akzentuieren: hohe Nodalität fängt einen Teil einer negativen Bewertung z. B. in der  $S_{r(4,2)}(v_i)$ -Kennzeichnung auf, während andererseits Netzelemente geringeren Grades durch günstige Globallage — etwa als Endknoten im Innern des Netzes — immer noch als relativ bedeutsam angesehen werden müssen; damit ist auch trivial, daß abgelegene Endknoten, im Extremfall in der Netzperipherie, unter dieser zweifachen Benachteiligung im allgemeinen am schlechtesten abschneiden.

Um insofern im Rahmen unseres Versuchs, möglichst vielfältige Strukturierungsansätze zur Netzuntersuchung hinzuzuziehen, eine Überbewertung global zentraler, jedoch mit geringer Valenz versehener, bzw. andererseits eine Unterbewertung abgelegener, hochnodaler Elemente entgegenzuwirken, soll angestrebt werden, beiden räumlichen Aspekten simultan in einer Kennzeichnung Rechnung zu tragen. Dabei dürfte klar sein, daß dies in 'reiner' Form lediglich für die topologische Dimensionierung möglich sein kann, wenn wir etwa  $S_{16}(v_i)$  durch

$$2.2./14. \quad S_{16}(v_i) = \frac{S_{11}(v_i)}{S_{14}(v_i)}$$

definieren. Dagegen erfordert eine Realisierung im Bereich der aktuellen Bewertung offensichtlich einen komponierten Ansatz, der nun am besten vermittels

$$2.2./15. \quad S_{34}(v_i) \quad \frac{S_{13}(v_i)}{S_{22}(v_i)}$$

beschrieben wird<sup>78)79)</sup>.

Wie nun aus Abb.24<sup>†</sup> und Abb.25<sup>†</sup> sowie insbesondere über die zugehörigen Korrelogramme(die im Vergleich zu Abb.3 und Abb.4<sup>†</sup> zwar als sichtlich geglättet,jedoch in nur geringfügigem Maße zu signifikanter Größenordnung verschoben sind) deutlich wird,kann infolge einer verstärkten Berücksichtigung lokaler Tendenzen von einer der zur Peripherie entsprechenden Beziehung etwa zur Menge der Zentrumsnoten in beiden Dimensionierungen nicht die Rede sein — der Einfluß der Nodalitätsstrukturierung schlägt(vgl.  $C_{11/16} = 0.97$  bzw.  $C_{31/34} = 0.99$  entschieden durch,während andererseits  $C_{14/16} = -0.60$  und  $C_{22/34} = -0.44$  gilt<sup>80)81)</sup>.

78)Der Normierungsansatz über  $d_r$  ist allerdings in unserem Zusammenhang nicht unbedingt erforderlich,schaltet jedoch allgemein in einem elementweisen Netzvergleich die Netzgröße als Einflußfaktor weitgehend aus.

79)Natürlich hätte statt  $S_{r(4,2)}(v_i)$  auch  $S_{r(5,3)}(v_i)$  benutzt werden können,wobei allerdings eine analoge Größe zu  $d_r$  festzulegen gewesen wäre.Es hat sich jedoch gezeigt,daß die Strukturierung in der oben angegebenen Form jedenfalls mit  $r = 1$  wesentlich einfacher für nicht zu umfangreiche Netze gar 'per Hand' zu bestimmen und in der Lage ist,über korrespondierende Häufigkeitsverteilung in charakteristischer Weise offensichtlich verschieden konstruierte Netze in ihrer Gesamtheit ausreichend zu differenzieren.Zumindest  $S_{16}(v_i)$  stellt sich damit für diesen Zweck(nicht jedoch bezüglich der räumlichen Kategorisierung der Erreichbarkeitsverhältnisse einzelner Knoten) als entscheidende Alternative zu  $S_{15}(v_i)$  dar;vgl. auch WERNER(1968,136),LEUSMANN(1974,60) sowie hier S.70f.

80)Die Vermutung,daß diese Werte allerdings durch die Beziehungen zur  $S_{r1}(v_i)$ -Strukturierung überlagert werden,findet sich bestätigt;korreliert man z.B. partiell nach  $S_{11}(v_i)$ ,so ergibt sich der absolut wesentlich höhere Wert  ${}_{11}C_{14/16} = -0.96$ .

81)Keine wesentlich neue Information über die Dimensionsbeziehungen liefert die wiederum beachtliche Korrelation  $C_{16/34} = 0.87$ ,da sie auf  ${}_{11}C_{16/34} = 0.31$  gedrückt werden kann und bei gleichzeitiger Ausschaltung auch des Einflusses der assoziierten Zahl mit  $-0.06$  völlig verschwindet.

2.2.7. Die Strukturierung  $S_{r(7,5)}(v_i)$  (r= 1,3)

Insofern schon  $S_{r(6,4)}(v_i)$  in der Zusammensetzung aus einer lokalen, weitgehend durch den Knoten selbst bestimmten sowie einer globalen, über die Distanzen zu den übrigen Netzelementen festgelegten Größe zumindest entfernt an ein Potential — eines Knotens  $v_i$  bezüglich erinnert, liegt es nahe, zwei Vorschlägen aus der Literatur (GOKHMAN/LIPETS(1966) — unter Verweis auf VASILEVSKIY — und ISARD/TUNG(1963)) folgend, mit dem bekannten Gravitationsansatz ein auf postulierten Interaktionen beruhendes 'echtes' Potentialmaß ebenfalls ergänzend zu betrachten. Da es uns hierbei weniger auf die genauere Herleitung nebst Einzelheiten dieses Ansatzes von theoretischer Seite her ankommt, kann Nachfolgendes zur Erstellung dieser neuen Kennzeichnung genügen:

Es stehe  $\alpha_i$  und  $\alpha_j$  für die 'Bedeutung', den 'Wert' oder den 'Einfluß' der Knoten  $v_i$  bzw.  $v_j$ , während  $\delta_{ij}^r$  eine zunächst nicht näher spezifizierte Entfernung zwischen ihnen messe. Über Hypothesisierung eines invers gestalteten Einflusses jener Entfernung auf das Ausmaß der Kommunikation zwischen Knoten läßt sich dann die Interaktion nach dem vielfach durchgeführten Verfahren in der ursprünglich von STEWARD(1947) und ZIPF (1946) verwendeten Form durch

$$2.2./16. \quad s_{ij} = \alpha_i \cdot \alpha_j \cdot (\delta_{ij}^r)^{-1}$$

annehmen und als Potential von  $v_i$

$$2.2./17. \quad s(v_i) = \sum_{j=1}^n s_{ij} = \alpha_i \cdot \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot (\delta_{ij}^r)^{-1}$$

in allgemeinsten Form definieren.

Eine Konkretisierung dieser noch lediglich formalen Kennzeichnung<sup>82)</sup>

---

82) ABLER/ADAMS/GOULD(1972,216) führen aus: "Potential at a point may be thought of as a measure of the proximity of that point to all other places in the system, or as a measure of aggregate accessibility of that point to all the other points in a region. Potential at a point is simply an aggregate measure of the influence of all distant places on that point."

zu einer brauchbaren Strukturierung liegt dabei nun in aktueller Dimensionierung auf der Hand:wir beschreiben einerseits die 'Bedeutung' eines Knotens durch  $S_{31}(v_i)$ ,während zum anderen

$$2.2./18. \quad \delta_{ij}^3 \quad \begin{array}{ll} (2)2^{f_{ij}} & ,\text{falls } i \neq j \\ \frac{1}{2} \cdot \text{Min}_j \{(2)2^{f_{ij}}\} & ,\text{falls } i = j \end{array}$$

gesetzt wird<sup>83)</sup>,so daß sich mit 2.2./17. die Darstellung

$$2.2./19. \quad S_{35}(v_i) = S_{31}(v_i) \cdot \left( \sum_{j \neq i}^n S_{31}(v_j) \cdot (2)2^{f_{ij}^{-1}} + 2 \cdot S_{31}(v_i) \cdot \text{Min}_j \{(2)2^{f_{ij}}\}^{-1} \right)$$

ergibt.

Der topologische Fall erweist sich allerdings drüberhinaus als etwas problematischer,denn die naheliegende Analogie, $S_{11}(v_i)$  sowie  $(1)2^F$  in entsprechender Weise zu verwenden,führt infolge der diskreten Wertebereiche der zugehörigen Abbildungen zu einer relativ gesehen höchst unzureichend differenzierenden Knotenbeschreibung.Was die Entfernungskennzeichnung hier angeht,erscheint es uns sinnvoller<sup>84)</sup>,im Gegensatz zu den oben genannten Autoren mit

83)Diese Spezifizierung der Größe  $\delta_{ii}^3$  entspricht damit nicht dem in GOKHMAN/LIPETS(1966,226) geäußerten Vorschlag,den entsprechenden Summenterm in 2.2./17. einfach zu ignorieren;vgl.hierzu auch ABLER/ADAMS/GOULD(1972,217).

84)Immerhin zeigt sich nämlich,wie diverse Versuchsberechnungen mit unterschiedlicher Bedeutungskennzeichnung belegen,unter Verwendung einfacher topologischer Distanzen,daß bei etwa gleichem  $\alpha_i$ -Wert der entferntere von zwei Netzelementen häufig ein größeres Potential zugewiesen bekommt,als das mit der geringeren assoziierten Zahl;dies hängt dabei offensichtlich weniger von den 'Werten' der in der jeweiligen Umgebung gelegenen Knoten ab,sondern dürfte vielmehr in der Tatsache begründet sein,daß selbst für topologisch abgelegene Elemente die Interaktion mit weit entfernten immer noch infolge der nur jeweils um eine Einheit zunehmenden Distanz einen vergleichsweise großen Beitrag zum Potentialwert liefert.

$$2.2./20. \quad \delta_{ij}^1 \quad \begin{cases} (1)2^f_{ij} & , \text{falls } i \neq j \\ \left( \frac{1}{2} \cdot \text{Min}_j \{ (1)2^f_{ij} \} \right)^2 = \frac{1}{4} & , \text{falls } i = j \end{cases}$$

anzusetzen. Hinsichtlich einer Konkretisierung der  $\alpha_i$  schließlich<sup>85)</sup> bietet sich zwar neben  $S_{11}(v_i)$  noch  $S_{16}(v_i)$  zunächst an, doch muß diese Strukturierung wegen der schon erfolgten Berücksichtigung der Distanzbeziehungen ausgeschlossen werden, so daß unter den bereits vorgestellten Indizes als vernünftiger Ansatz einzig  $S_{15}(v_i)$  verbleibt. Allein, auch die hierauf basierenden Resultate erweisen sich als recht unbefriedigend; nicht nur, weil diese Kennzeichnung ja umgekehrt proportional zur Knotenbedeutung ist und damit in der ursprünglichen Form 2.2./12. zudem mit der Entfernungsbeschreibung 2.2./20. kollidiert, sondern gleichermaßen, da sie sich bezüglich der Interaktionsfähigkeit eines Knotens — die ja aus den beiden Komponenten: Gesamtbeziehung zum Netz wie: direkte Ausstrahlungsmöglichkeit zusammengesetzt ist — einzig auf erstere, und selbst dies nur unvollkommen, bezieht.

Auf diesen Punkt wird noch in Abschnitt 2.3.1. kurz zurückzukommen sein; letztlich stellt sich aber auch die dort noch einzuführende Strukturierung  $S_{18}(v_i)$  als die für unsere Zwecke verwendungsfähigste Kennzeichnung dar, die endlich, hinsichtlich einer entschiedeneren Berücksichtigung der lokalen Komponente in Kombination mit zusätzlicher Gewichtung durch die Nodalität, zur Definition<sup>86)</sup>

85) In GOKHMAN/LIPETS (1966, 226) wird dabei von keiner rein topologischen Beschreibung ausgegangen, sondern aktuelles Zahlenmaterial verwendet, was hier jedoch nicht beabsichtigt ist.

86) Ein Netzelement läßt sich durch etwa gleichen  $S_{18}(v_i)$ -Wert sowohl infolge zentraler Netzlage, wie auch durch randliche Netzposition mit hoher 'Nodalitätsumgebung' kennzeichnen; die simultane Verwendung der  $S_{11}(v_i)$ -Strukturierung bewirkt im übrigen eine erhebliche Vereinfachung im Rahmen der anschließenden Datentransformation.

$$2.2./21. \quad S_{17}(v_i) = S_{11}(v_i) \cdot S_{18}(v_i) \cdot \left( \sum_{j \neq i}^n S_{11}(v_j) \cdot S_{18}(v_j) \cdot (1)2 f_{ij}^{-2} + 4 \cdot S_{11}(v_i) \cdot S_{18}(v_i) \right)$$

führt.

Eine Gegenüberstellung der dimensionsspezifischen Ansätze 2.2./19. und 2.2./21. auf räumlicher Verteilungsbasis in Abb.26<sup>†</sup> und Abb.27<sup>†</sup> macht einen vergleichsweise auffälligen Unterschied deutlich, der seinen Niederschlag ebenfalls in den entsprechenden Korrelogrammen findet. Lediglich das dem topologischen Bereich zugeordnete weistbereichsweise signifikante Werte auf, deren Anordnung eine auch optisch nachweisbare wichtige globale Tendenz belegt, die nur an einigen wenigen Stellen durch lokale Besonderheiten<sup>87)</sup> modifiziert erscheint<sup>88)</sup>.

Ein derartiges, wenn auch nicht direkt mit dem unter 2.2.3. bzw. 2.2.4. herausgestellten vergleichbares, so aber dennoch auffälliges Kern-Rand-Gefälle ist demgegenüber für die aktuelle Dimensionierung nicht zu beobachten<sup>89)</sup>; das Verteilungsbild setzt sich jetzt — abgesehen von dem nun natürlich viel häufigeren Auftreten lokaler Abweichungen — eher aus drei kleineren 'Erreichbarkeitsbereichen' um Stuttgart ( $v_{95}$ ), München/Augsburg ( $v_{160}/v_{154}$ ) und Nürnberg ( $v_{64}$ ) zusammen, wobei das erste Gebiet wie bei der  $S_{11}(v_i)$ -Strukturierung am deutlichsten ausgeprägt ist.

87) Man vgl. z.B.  $v_{32}, v_{95}$  oder auch  $v_{133}$ .

88) Diese Abweichungen sind jedoch weniger index-, als vielmehr netzspezifisch zu begründen.

89) Man vgl. auch  $C_{17/15} = -0.70$ , aber  $C_{35/23} = -0.47$ . Ein partieller Korrelationsansatz nach  $S_{r1}(v_i)$  unterstreicht dies, insofern sich der Wert für  $r = 1$  auf  $-0.74$  absolut erhöht, für die aktuelle Bewertung dagegen mit  $-0.46$  absolut leicht verringert. Noch wichtiger wird eine solche partielle Korrelation nach  $S_{11}(v_i)$  für eine Beurteilung der Beziehung zwischen  $S_{17}(v_i)$  und  $S_{35}(v_i)$  selbst: der zunächst mit  $C_{17/35} = 0.76$  nach dem Vorstehenden erstaunlich hohe Wert verschwindet nämlich völlig zu  ${}_{11}C_{17/35} = 0.05$ .

2.3. Das Funktional  $(r)_3^F$  (r= 1,3)

2.3.1. Die Strukturierung  $S_{r(8,6)}(v_1)$  (r= 1,3)

Aus den letzten Abschnitten dürfte deutlich geworden sein, welche besonderen Stellenwert die 'kürzeste-Wege-Matrix', mithin das Funktional  $(r)_2^F$  im Rahmen quantitativer Netzanalysen im hier propagierten Sinne besitzt. Eine Betrachtung der schematischen Darstellung in Abb.28 zusammen mit einer erneuten Realisierung der Definition 2.2./1. allerdings läßt vermuten, daß bezüglich der dieser zugrundeliegenden Men-

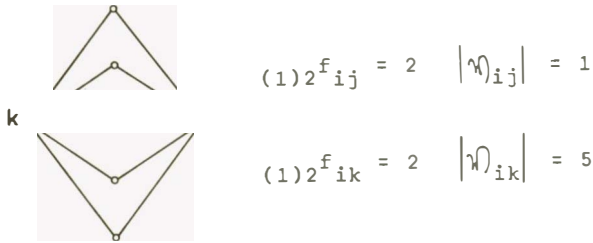


Abb.28: Beispiel zur Motivation von  $S_{r(8,6)}(v_i)$

ge  $W_{ij}$  aller möglichen Wege zwischen zwei verschiedenen Knoten  $v_i$  und  $v_j$  nicht nur jenes Element mit der kürzesten Länge von Wichtigkeit ist, sondern darüberhinaus gleichermaßen die Mächtigkeit<sup>90)</sup> von  $W_{ij}$  selbst zur Beschreibung der Erreichbarkeitsverhältnisse sinnvoll herangezogen werden kann.

Rekurriert man in diesem Zusammenhang auf den im Anhang in Satz 1 bewiesenen Sachverhalt, daß die Elemente der Matrix  $(_{(1)}_1^F)^{z_1}$  jeweils die Gesamtzahl möglicher Kantenfolgen der Länge  $z_1$  zwischen zwei Knoten angeben<sup>91)</sup>, so bietet sich in leichter Erweiterung obiger Überle-

90) Die Mächtigkeit von  $W_{ij}$ ,  $|W_{ij}|$  wird gegeben durch die Anzahl der in dieser Menge enthaltenen Elemente.

91) In ähnlicher Weise kann  $(_{(3)}_1^F)^{z_1}$  interpretiert werden: die Elemente dieser Matrix, für  $z_1=2$  etwa sind aufzufassen als Anzahl theoretisch verschiedener Möglichkeiten, über lediglich direkte Zugverbindungen zwischen je zwei Knoten mit einmaligem 'Aufenthalt'



gungen<sup>92)</sup> als ein auch indirekte Kommunikation wesentlich intensiver als etwa  $(r)2^F$  berücksichtigender weiterer Funktionalansatz die Matrix

$$2.3./1. \quad (r)3^F_{z_1} = \sum_{z=1}^{z_1} ((r)1^F)^z \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

am, durch welche — noch in Abhängigkeit von  $z_1$  — jeweils die Anzahl sämtlicher Verbindungsmöglichkeiten zweier Netzelemente bis zur Distanz  $z_1$  beschrieben wird.

Wenn nun auch diese Festsetzung in der Literatur verschiedentlich konkrete Anwendung fand und zu durchaus verwertbaren Resultaten geführt hat<sup>93)</sup>, erscheint sie uns in dieser Form dennoch insofern unbefriedigend, als hierbei sämtliche Kantenfolgen ungeachtet ihrer tat-

von  $v_i$  nach  $v_j$  zu gelangen.

Es leuchtet ein, daß für  $r = 2$  ein Analogon nicht existiert, da zunächst hohe Werte in  $(2)1^F$  eine relativ gesehen schlechte Verbindung repräsentieren. Die bei der Deutung der Elemente der potenzierten Matrix auftretenden Schwierigkeiten sind dann weder durch eine quasi 'inverse' Interpretation zu beheben, noch dadurch, daß man statt von  $(2)1^F$  von der Matrix  $(1/(2)1^{f_{ij}})$  ausginge. Es müßte schon mit speziellen gewichteten Distanzfunktionen angesetzt werden, deren Werte zwar von der Entfernung zwischen den Knoten abhängig, jedoch nicht als echte Entfernungsmaße aufzufassen wären; vgl. hierzu GAUTHIER(1968, 81), der allerdings sein Verfahren nicht näher expliziert.

92) Der Übergang von Wegen zum allgemeineren Ansatz vermitteltels Kantenfolgen hat im wesentlichen rechentechnische Gründe. Offen bleibt allerdings trotz des (bislang jedoch praktisch nicht erprobten) Alternativverfahrens von ROSS/HARARY(1952), wie groß das Ausmaß der damit notwendig eingeschlossenen redundanten Information ist und welchen Einfluß diese tatsächlich nun auf die endgültige numerische Kennzeichnung nimmt; man vgl. hierzu auch TAAFFE/GAUTHIER(1973, 125)

93) Vgl. zu derartigen Anwendungen z.B. die Arbeiten von PITTS(1965), MURACŌ(1971) oder auch TAAFFE/GAUTHIER(1973); letztere bezeichnen  $(r)3^F_{z_1}$  kurz als 'accessibility-matrix'.

sächlichen Länge als gleichbedeutend aufgefaßt werden und so völlig undifferenziert in die Berechnungen eingehen.

Hierdurch ist die Einführung einer zusätzlichen Gewichtungsgröße  $z_2$  (mit  $0 < z_2 < 1$ ) und damit die Betrachtung von<sup>94)</sup>

$$2.3./2. \quad (r)3^F z_1/z_2 = \sum_{z=1}^{z_1} (z_2 \cdot (r)1^F)^z \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

nahegelegt;  $z_2$  kommt hierbei die Aufgabe zu, über die entsprechenden Potenzen die Bedeutung von Kantenfolgen unterschiedlicher Längen für eine Erreichbarkeitskennzeichnung zu kontrollieren. Allerdings wird damit gleichzeitig die durchaus nicht unproblematische Frage nach sinnvollem Wertebereich auch dieses zweiten Parameters aufgeworfen, zu der in der Literatur tatsächlich keine eindeutigen Tendenzen festzustellen sind — wir gehen hierauf im Anhang näher ein. Als Ergebnis der dort (S.123f) ausführlich dargelegten Überlegungen soll an dieser Stelle eine Konkretisierung in Form von

$$2.3./3. \quad (r)3^F = \sum_{z=1} (1/\text{Max} \{ S_{r1}(v_i) \})^z \cdot (r)1^F)^z \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

erfolgen und damit, da die durch dieses Funktional beschriebenen Elemente jeweils ein Maß für die direkte wie indirekte Verbindungen berücksichtigende Interaktionsintensität darstellen, als weitere Strukturierung

$$2.3./4. \quad S_{r(8,6)}(v_i) = \sum_{j=1} (r)3^f_{ij} \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

vorgeschlagen werden.

Immerhin weisen jedoch Abb.29<sup>+</sup> und Abb.30<sup>+</sup> zumindest in der hier gewählten Klassenbreite jeweils zur Strukturierung  $S_{r(7,5)}(v_i)$  nahezu identische Raumverteilungsmuster aus, so daß sich, zumal auch die Kor-

94) Vgl. TAAFFE/GAUTHIER(1973,132), GARRISON(1960,135), HAGGETT/CHORLEY(1969,41) und LEUSMANN(1974,240).

relogramme nicht zu neuartiger Erkenntnis beitragen, eine weitergehende Interpretation erübrigt; die Dimensionsbeziehung ist dabei mit  $C_{18/35} = 0.78$  erneut recht hoch, wiederum aber vorzüglich infolge  ${}_{11}C_{18/35} = 0.19$  auf den gemeinsamen Einfluß von  $S_{11}(v_i)$  zurückzuführen.

2.4. Das Funktional  ${}_{(r)}4^F$  ( $r = 1, 3$ )

2.4.1. Die Strukturierung  $S_{37}(v_1)$  und  $S_{r(9,8)}(v_1)$  ( $r = 1, 3$ )

Trotz gewichtiger, an entsprechender Stelle schon näher explizierter Unterschiede ist den bisherigen Ansätzen über die Funktionale  ${}_{(r)}i^F$  (mit  $i = 1, 2, 3$ ) sämtlich gemeinsam, daß sie als im wesentlichen deterministisch angesehen werden müssen<sup>95</sup>). Es soll nun im folgenden abschließend versucht werden aufzuzeigen, wie die Dimensionierungen  ${}_1^D$  bzw.  ${}_3^D$  überdies auch in natürlicher Weise zu Strukturierungen herangezogen werden können, welche den Akzent deutlich auf eine eher probabilistische Sichtweise verlagern — ein Aspekt, der in der einschlägigen Literatur bislang weitgehend unbeachtet geblieben ist<sup>96</sup>). Man betrachte hierzu zunächst etwa die Strukturierungen  $S_{r1}(v_i)$  und  $S_{r(2,1)}(v_i)$ : ein Knoten ist ja als umso erreichbarer zu betrachten, je höher sein Grad bzw. die Modalitäten der ihn umgebenden Netzelemente ausfallen. Postulieren wir nun jeweils eine prinzipiell gleichartige Beanspruchungswahrscheinlichkeit, so ließe sich aber umgekehrt auch ein 'Unsicherheitsfaktor' für einen fiktiven Entscheidungsträger hinsichtlich der Auswahl inzidenter Kanten oder verkehrender Züge einführen, der mit steigender Valenz ebenfalls zunimmt. Diese so mit einem jeden Knoten verbundene 'Unsicherheit' vermag dann über das Funktional

$$2.4./1. \quad {}_{(r)}4^F = ({}_{(r)}4^{f_{ij}}) \quad \text{mit} \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

$${}_{(r)}4^{f_{ij}} = r^{d_{ij}} / S_{r1}(v_i)$$

95) Für  ${}_{(r)}3^F$  allerdings scheint eine wahrscheinlichkeitstheoretische Interpretation gleichermaßen zulässig, worauf besonders NYSTUEN/DACEY (1961, 413) und auch STEPHENSON (1974, 383) verwiesen haben.

96) Man vgl. jedoch die Arbeiten von TINKLER (1972a), SEMPLE/WANG (1971) und LEUSMANN (1974).

— dessen Elemente als Wahrscheinlichkeiten eines einschrittigen Überganges von  $v_i$  nach  $v_j$  aufzufassen sind — beispielsweise vermittels des Entropiekalküls (vgl. hierzu auch S. 133f) durch

$$2.4./2. \quad S_{37}(v_i) = \sum_{j=1}^n {}_34f_{ij} \cdot \text{ld}({}_34f_{ij})^{97)}$$

quantifiziert werden. Wir erhalten — auf diesem von SEMPLE/WANG (1971) ursprünglich für den topologischen Fall vorgeschlagenen Weg<sup>98)</sup> — so eine Kennzeichnung, die gute Erreichbarkeit bei möglichst gleichmäßiger Kantenauslastung festlegt, während deutliche Konzentrationen auf einige der von einem Knoten ausstrahlenden Verkehrswege geringe Werte erbringen und schlechte Zugänglichkeit akzentuieren<sup>99)100)</sup>; dies hat

97) Hierbei bezeichnet  $\text{ld}$  (logarithmus dualis) den Logarithmus zur Basis 2;  $({}_r)4f_{ij} \cdot \text{ld}({}_r)4f_{ij}) = 0$  gelte für  $({}_r)4f_{ij} = 0$ .

98) Es wurde schon an anderer Stelle kurz darauf hingewiesen (LEUSMANN (1974)), daß aber für  $r = 1$  in entsprechender Weise keine zu  $S_{11}(v_i)$  unterschiedliche Information gewonnen werden kann und so auf ein topologisches Analogon zu verzichten ist. Es gilt doch:

$$\begin{aligned} - \sum_j {}_{14}f_{ij} \cdot \text{ld}({}_{14}f_{ij}) &= \sum ({}_{11}f_{ij} / S_{11}(v_i)) \cdot (\text{ld}(S_{11}(v_i)) - \text{ld}({}_{11}f_{ij})) \\ &= 1/S_{11}(v_i) \cdot (\sum {}_{11}f_{ij} \cdot \text{ld}(S_{11}(v_i)) - \sum {}_{11}f_{ij} \cdot \text{ld}({}_{11}f_{ij})) \\ &= 1/S_{11}(v_i) \cdot (S_{11}(v_i) \cdot \text{ld}(S_{11}(v_i)) - \sum {}_{11}f_{ij} \cdot \text{ld}({}_{11}f_{ij})) \\ &= \text{ld}(S_{11}(v_i)) \end{aligned}$$

und dies belegt, daß die über den Entropiebegriff mit einem Knoten im topologischen Kontext verknüpfte 'Unsicherheit' nichts anderes ist, als der binäre Logarithmus der entsprechenden Nodalität. Für  $r = 3$  findet demgegenüber quasi eine Kantengewichtung durch die auf diesen täglich verkehrenden Züge statt.

99) CHAPMAN (1973, 331) verwendet in ähnlichem Zusammenhang die kennzeichnenden Begriffe 'centrality' bzw. 'eccentricity'.

100) Durch die Redundanzwerte:  $(\text{ld}(S_{11}(v_i)) - S_{37}(v_i)) / \text{ld}(S_{11}(v_i))$  wäre dann ein zusätzliches Maß für die auf topologisch lokale Bedeutung bezogene Gleichmäßigkeit der Bedienung der direkten Knotenumgebung fixiert; diesem Ansatz soll hier jedoch nicht weiter nachgegangen werden.

allerdings zur Folge, daß wegen der totalen Konzentration des Verkehrsflusses (ungeachtet seiner Stärke) auf eine einzige Kante natürlich keine Differenzierung zwischen den Endknoten mehr möglich ist. Abb. 31<sup>†</sup> macht deutlich, daß es sich wiederum um ein ausgesprochen lokales Maß handelt, welches, trotz allerdings wesentlich differenzierterem Aussagevermögen, enge Beziehungen zur Nodalitätsstrukturierung erkennen läßt: es gilt  $C_{37/11} = 0.98$  und  $C_{37/31} = 0.83^{101}$

Nun läßt sich der eingangs dieses Abschnittes dargestellte Gedankengang, daß die Anzahl der sich eine Distanzeinheit von  $v_i$  entfernt befindlichen Netzelemente entscheidenden Einfluß auf dessen Erreichbarkeit besitzt durch Einbezug nachfolgender, weiter entfernter Distanzringe sinnvoll erweitern. Wir greifen hierzu auf die unter 2.2.2. im Zusammenhang mit der Strukturierung  $S_{r_3}(v_i)$  eingeführten Häufigkeitsverteilung  $r_{ij}$  zurück und definieren unter Annahme einer additiven Zusammensetzung einzelner 'Teilunsicherheiten' als neuen Index

2.4./3. 
$$S_{r(9,8)}(v_i) = - \sum_k (r_{y_{ik}} / \sum_{j \neq i} S_{r_1}(v_j)) \cdot \text{ld}(r_{y_{ik}} / \sum_{j \neq i} S_{r_1}(v_j))^{102} \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 103 \end{pmatrix}$$

Im Unterschied zu den früheren Ausführungen interessiert nun der Wert  $r_{y_i}$  wenig; es kommt vielmehr darauf an, ob bezüglich eines jeweils

101) Interessant ist dabei ein Vergleich der dimensionsspezifischen partiellen Korrelationen: während  ${}_{31}C_{37/11} = 0.93$  gilt, ergibt sich andererseits  ${}_{11}C_{37/31} = -0.03$ . Hieraus läßt sich schließen, daß für diese Strukturierung lediglich das 'Verteilungsmuster' bezüglich der in einem Knoten inzidenten Kanten, nicht jedoch der Umfang des 'Flußmaterials' selbst eine Rolle spielt. Dies aber führt nach den vorliegenden Resultaten zu der Erkenntnis, daß im allgemeinen mit steigender topologischer Valenz die Zugverteilung gleichmäßiger wird.

102) Oder:  $S_{r(9,8)}(v_i) = \text{ld}(\sum_{j \neq i} S_{r_1}(v_j) - (1/\sum_{j \neq i} S_{r_1}(v_j)) \cdot (\sum_k r_{y_{ik}} \cdot \text{ld}(r_{y_{ik}}))$

103) Auch dies ist keine 'reine' aktuelle Kennzeichnung, sondern es finden erneut topologische Distanzringe Verwendung.

neu fixierten Standpunktes  $v_i$  die übrigen Knoten (resp. der Zugverkehr) überhaupt in wenigen Distanzringen konzentriert oder relativ gleichmäßig verteilt sind (ist) — im letzten Fall erhält man beispielsweise wieder hohe  $S_{r(9,8)}(v_i)$ -Werte.

Die Abbildungen 32<sup>+</sup> und 33<sup>+</sup> bestätigen mit den zugehörigen Korrelogrammen nur noch die erwartete Akzentuierung des globalen Erreichbarkeitsaspektes und verweisen trotz der nord-nordöstlichen Verschiebung des 'Zentrums' klar auf eine Korrespondenz zu  $S_{r(4,2)}(v_i)$  bzw.  $S_{r(5,3)}(v_i)$ . Die in diesem Zusammenhang beachtenswerten Korrelationen nebst der partiellen Größen  ${}_{14}C_{38/22} = 0.09$  sowie  ${}_{15}C_{38/23} = 0.28$  lassen außerdem für die aktuelle Dimensionierung erkennen, daß auch hier die Belastung der Netzelemente eine eher untergeordnete Rolle spielt; es ist festzustellen, daß mit größerer Netzabgelegenheit die Knoten- bzw. Zugverteilung auf die einzelnen Distanzringe gleichmäßiger wird und insofern lokale Knoten-(Zug-)konzentrationen hinsichtlich der Gesamtnetzbeziehungen nahe der Peripherie gelegener Knoten von nur geringer Bedeutung sind.

#### 2.4.2. Die Strukturierung $S_{39}(v_i)$ und $S_{r10}(v_i)$ (r= 1.3)

Auch im Rahmen des hier anstehenden wahrscheinlichkeitstheoretischen Interpretationsansatzes erscheint die explizite Berücksichtigung indirekter Knotenbeziehungen als eine vernünftige Ergänzung bisheriger Strukturierungsversuche. Wir wollen uns abschließend nun noch diesem Problem kurz zuwenden und dabei von der Frage nach Gleichgewichtsflußzuständen in  $\Gamma$  ausgehen.

Der Grundgedanke läßt sich dabei wie folgt beschreiben: wenn man jedem Knoten  $v_i$  eine bestimmte, auf die inzidenten Kanten und damit die direkt benachbarten Netzelemente mittels einer Funktionsvorschrift  $f_r$  zu verteilende Flußmenge zuweist, so wird offensichtlich durch wiederholte Anwendung dieses Verteilungsverfahrens eine iterativ kennzeichenbare Prozedur festgelegt. In diesem Zusammenhang liegt die Frage nahe, ob ein Gleichgewichtszustand zu beschreiben möglich ist, für den sich in nachfolgenden Iterationsschritten keine Umverteilung der Flußmenge mehr vollzieht; ersichtlich ließe sich ja in einem solchen Falle die Menge der schließlich in jedem Knoten zusammen-

treffenden Flußanteile als Erreichbarkeitskennzeichnung interpretieren, insofern sie als Indikator der 'Anziehungskraft' der jeweiligen Netzelemente gelten könnte.

Es zeigt sich, wie im Anhang auf S.137 faustförmlichst dargestellt ist, daß ein solcher Gleichgewichtszustand zumindest für die hier in Betracht stehenden Basisfunktionale im Prinzip existiert, allerdings jedoch entschieden als Funktion des fixierten Flußzuordnungsverfahrens betrachtet werden muß. Dies bezüglich können darüberhinaus grundlegende Unterschiede zwischen aktueller und topologischer Dimensionierung aufgezeigt werden, insofern  $f_3$  durch die Anzahl der auf den einzelnen Kanten verkehrenden Züge vollständig vorgegeben ist, während man hinsichtlich einer Definition von  $f_1$  weitgehend Freiheit besitzt. Nach verschiedentlichen Versuchsansätzen erschien uns so schließlich für  $r = 1$  die gleichermaßen einfache wie sinnvolle Zuordnungsvorschrift

2.4./4.  $f_1 : V \times V \longrightarrow \mathbb{R}$  mit

$$f_1(v_i, v_j) = S_{11}(v_j) \cdot 1_{d_{ij}} / \sum_{k=1}^n S_{11}(v_k) \cdot 1_{d_{ik}}$$

angebracht, für die sich die Gleichgewichtskennzeichnung durch die Strukturierung

2.4./5.

$$S_{110}(v_i) = (n \cdot S_{11}(v_i) \cdot \sum_j S_{11}(v_j) \cdot 1_{d_{ij}}) / (\sum_l S_{11}(v_l) \cdot \sum_j S_{11}(v_j) \cdot 1_{d_{lj}})$$

überdies in geschlossener Form angeben läßt, vgl. Anhang.

Während Raumverteilungsmuster in Abb. 34<sup>+</sup>, Korrelogramm sowie die Werte  $C_{110/11} = 0.96$  bzw.  $C_{110/12} = 0.84$  diese Strukturierung als lokales Maß bei Berücksichtigung indirekter großräumlicher Beziehungen ausweisen, gingen wir für den aktuellen Bereich  $r = 3$  in etwas ande-

rer Weise vor<sup>104)</sup>. Ausgangspunkt war — unter Rückgriff auf die engen Beziehungen des im Anhang, S. 137 näher geschilderten Flußverteilungsalgorithmus' zur Theorie der Markoff-schen Ketten — die Matrix M der 'mittleren Erstdurchlaufzeiten'. Die mit dieser Matrix<sup>105)</sup>, welche möglicherweise als selbständiges Funktional hätte verwendet werden können<sup>106)</sup>, verbundene, auf den aktuellen Zugverteilungswahrscheinlichkeiten basierende einfache Erreichbarkeitsinterpretation (je größer die Matrixelemente  $m_{ij}$ , desto schlechter die Verbindungsmöglichkeiten zwischen  $v_i$  und  $v_j$ ) ermöglicht zwei Strukturierungsansätze: über die Spaltensummen

$$2.4./6. \quad S_{39}(v_i) = \sum_{j=1} m_{ji}$$

erhält man, gewissermaßen als aktuelle Erweiterung der Strukturierung  $S_{r(5,3)}(v_i)$ , die Summe der Erwartungswerte der Anzahl von Schritten, die zur erstmaligen Erreichung von  $v_i$  von sämtlichen Knoten aus benötigt werden, während demgegenüber vermittelt der jeweiligen Zeilenmaxima

$$2.4./7. \quad S_{310}(v_i) = \max_j \{m_{ij}\}$$

die Frage nach der 'Entfernung' des von  $v_i$  aus am schlechtesten er-

104) Man beachte etwa  ${}_{11}C_{110/12} = 0.72$ .

Die auch aus globaler Sicht durchaus bemerkenswerte Sensibilität der Strukturierung  $S_{110}(v_i)$  zeigt sich in der Dreiteilung der Endknotenmenge; es werden differenziert: randlich gelegene Endknoten, deren Anschlußknoten eine Valenz nicht über 4 besitzen, Endknoten im Netzzinnern sowie Endknoten um München. Bei diesen wird auch ein Unterschied zu  $S_{18}(v_i)$  deutlich: da schlug der Einfluß Münchens auf die angrenzenden Knoten wesentlich stärker durch, nun stehen allgemein großräumliche Netzbeziehungen im Vordergrund.

105) Vgl. etwa KEMENY/SNELL (1960, 78)

106) Vgl. auch BROWN/HOLMES (1971) sowie BROWN/ODLAND/GOLLEDGE (1970), andererseits aber die kritischen Einwände zu einer derartigen Betrachtungsweise bei STEPHENSON (1974, 384).



reichbaren Knoten in gewisser Analogie zu  $S_{r(4,2)}(v_i)$  beantwortet wird.

Beide Ansätze sind nun von durchaus globalem Charakter. Wenn auch besonders auf die Ähnlichkeiten der durch  $S_{39}(v_i)$  und  $S_{r(5,3)}(v_i)$  bestimmten Raummuster hinzuweisen ist, muß dennoch auf eine Reihe wesentlicher Unterschiede aufmerksam gemacht werden: zum einen besitzt der kern-randliche-Erreichbarkeitsabfall nicht mehr eine so einfache konzentrische Form<sup>107)</sup> und hat sich auch in seiner Intensität randlich verschoben. Andererseits lassen sich zwei bedeutsame 'Kerne' ( $v_{64}$  und  $v_{95}$ ) ausmachen (München tritt in diesem Zusammenhang infolge der randlichen Netzlage weit weniger deutlich hervor), durch deren Einfluß auf umgebende Netzelemente die ringförmige Erreichbarkeitsabnahme offensichtlich überlagert wird: zentral im Sinne etwa der  $S_{r(4,2)}(v_i)$ -Kennzeichnung gelegene Knoten schneiden trotz z.T. aktuell geringer Bedeutung wegen gleichzeitiger Nähe zu beiden genannten Zentren relativ gut ab (vgl. Abb. 35<sup>+</sup>). Schließlich ist auch bei  $S_{39}(v_i)$  eine stärkere Differenzierung der Endknoten zu vermerken.

Im Vergleich mit sämtlichen bisherigen Ansätzen zeigen sich andererseits bezüglich des Indexes  $S_{310}(v_i)$  erhebliche Abweichungen im Raumverteilungsmuster wie im Verlauf der Korrelogrammkurve. Eine Erklärung hierfür ist vermutlich durch die Überlagerung zweier durchaus gegensätzlicher Einflußkomponenten gegeben (vgl. Abb. 36<sup>+</sup> und Abb. 37): die durch  $S_{310}(v_i)$  beschriebene 'Distanz' zum jeweils 'entferntesten' Knoten wird ja — z.B. im negativen Sinne — sowohl durch global netzabgelegene Positionen, wie auch durch hohe Valenzen und spezifische Zugverteilungen auf inzidente Kanten entscheidend beeinflußt. So dürfte das schlechte Abschneiden vorzüglich des baden-württembergischen Bereichs wohl teilweise auf den weitreichenden Einfluß Stuttgarts sowie der diesen Knoten umgebenden, ebenfalls mit hohen Zugzahlen versehenen Netzelemente, teilweise aber auch auf die schon mehrfach angesprochene recht einheitliche Netzgestaltung etwa im Sinne der  $S_{11}(v_i)$ -

---

107) Dies läßt sich allerdings infolge der Klassenbildung in Abb. 35<sup>+</sup> nur andeutungsweise direkt ablesen.

Strukturierung zurückzuführen sein. Letzteres verhindert offensichtlich einen zu schnellen 'Austritt' einer Flusseinheit in den nordöstlichen Netzbereich; hinzu kommt vermutlich außerdem, daß für einen aus eben diesem Gebiet eintreffenden Verkehrsfluß auch nur eine ausgesprochen schwach gezielte Kanalisierung in Richtung auf angestrebte Zielknoten stattfinden kann.

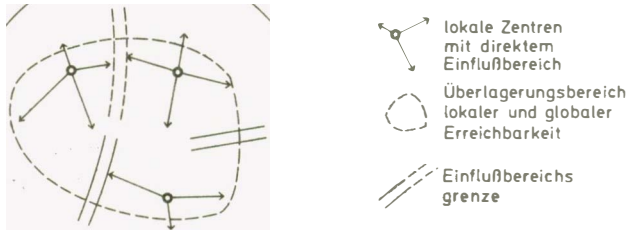


Abb.37:Schema zum Raumverteilungsmuster von  $S_{310}(v_i)$

Zwei weitere Besonderheiten verdienen abschließend hervorgehoben zu werden: das vergleichsweise schlechte Resultat für die durch hohe  $S_{31}(v_i)$ -Werte gekennzeichneten Knoten muß, wie oben angedeutet, primär als Folge der hierdurch bedingten großen 'Auswahlfreiheit' angesehen werden. So betrachtet scheint dann auch die mit wenigen Ausnahmen durchgängige Bevorzugung der Endknoten vor den entsprechenden Anschlußknoten trotz natürlich einer deutlich globalen Differenzierung konsistent: von jenen aus gesehen, ist ja die Steuerung des Flusses zunächst einmal optimal.

### 3. Die Strukturkomponenten

Im vorstehenden Teil der Arbeit ist deutlich gemacht worden, daß die Erreichbarkeit eines Knotens nicht als eine fixierte, eindeutig bestimmte Größe 'struktureller' Art aufgefaßt werden kann, sondern daß sich je nach Fragehaltung und damit je nach Funktional- bzw. Strukturierungsansatz verschiedene Möglichkeiten aufzeigen lassen, Erreichbarkeitsverhältnisse unterschiedlich und nicht einfach alternativ zu beschreiben. Ein rückblickender Vergleich der einzelnen Kennzeichnungen (vgl. auch die Zusammenstellung S. 106) über die räumlichen Verteilungsmuster wie auch insbesondere über die zugeordneten Korrelogramme zeigt nun in Entsprechung der im 1. Abschnitt geäußerten Gedanken auf, daß zum einen trotz erheblich differierender Problemstellungen in der jetzt vorliegenden Matrix

3./1. 
$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & (v_i) \\ \vdots & \\ S_{310} & (v_i) \end{pmatrix}$$

tatsächlich durchaus redundante Strukturierungen kombiniert sind, andererseits aber die Unterscheidung zwischen je einer einen lokalen, regionalen sowie globalen Raumaspekt beschreibenden Indexmenge angebracht sein dürfte. Es wird nun im folgenden darzulegen sein, ob und wie sich diese Strukturierungsgruppen nach einer faktorenanalytischen Verarbeitung von S darstellen lassen. Dabei gehen wir, wie vormals näher ausgeführt (vgl. S. 16f, besonders Anm. 31)) zunächst dimensionsspezifisch und erst anschließend fortschreitend zur generellen Strukturkomponentenbestimmung vor, mit der hier erneut hervorzuhebenden Einschränkung (vgl. S. 25), in lediglich topologischen ( $r = 1$ ) und aktuellen ( $r = 2, 3$ ) Ansatz zu differenzieren, und werden im Zuge dieser Ausführungen bei besonderer Berücksichtigung der Beziehungen jeweils zwischen den Komponenten die mit den eingangs unserer Arbeit formulierten Arbeitszielen verknüpften Fragen aufgreifen und diskutieren.

### 3.1. Der dimensionsspezifische Ansatz

#### 3.1.1. Das faktorenanalytische Verfahren

Zur faktorenanalytischen Untersuchung von  $S^{108)}$  wurde das Verfahren der Hauptachsenanalyse (ÜBERLA, 1968) verwendet, zur Kommunalitäten-schätzung der quadrierte multiple Korrelationskoeffizient einer jeden Strukturierung benutzt<sup>109)</sup>

Nach den üblichen Extraktionskriterien lassen sich nun für beide Dimensionierungen je drei charakteristische, für die weitere Untersuchung relevante Faktoren nachweisen, wenngleich im aktuellen Fall in nicht ganz so eindeutiger Weise. Diese Tatsache, zusammen mit der im nicht-topologischen Bereich etwas geringeren reproduzierten Gesamtvarianz mag als Folge der hinsichtlich  $r = 3$  schon mehrfach hervorgehobenen größeren Komplexität der bewerteten Netzkonfiguration angesehen werden<sup>110)</sup>; nichtsdestoweniger dürfen die Erklärungssätze

---

108) Die Zeilenvektoren von  $S$  sind jetzt als Variable, die Knoten als Objekte aufzufassen.

109) Als verfahrenstechnische Alternative griffen wir zusätzlich auf die sog. 'Alpha-Faktorisierung' zurück. Diese, weniger von einem statistischen, als vielmehr psychometrischen Ansatz ausgehende Methode schien uns deshalb angebracht, insofern hierbei basierend auf einer als bekannt angenommenen Population versucht wird, auf die Gesamtheit aller möglichen Variablen rückzuschließen. Extrahiert werden solche Faktoren, welche im Sinne des Konzepts der  $\alpha$ -Generalisierbarkeit ("Man versteht unter dem Koeffizienten  $\alpha$  das Quadrat der Korrelation einer beobachteten Variablen mit der tatsächlichen Variablen (in der Grundgesamtheit aller denkbaren Größen). Es ist der Varianzanteil, den eine beobachtete Variable mit ihrer wirklichen Größe gemeinsam hat" (ÜBERLA (1968, 150))) maximale Korrelation mit korrespondierenden Faktoren der Variablen Grundgesamtheit besitzen. Es zeigt sich jedoch, wie im übrigen auch in anderen der wenigen geographischen Untersuchungen, die dieses Verfahren verwendeten (z. B. GRIGGS/MATHER (1975) oder LO (1975)), daß die Resultate nahezu identisch sind mit den Ergebnissen der Hauptachsenanalyse, so daß, auch in Anbetracht des noch geringen Bekanntheitsgrades dieses Verfahrens auf eine weitergehende Darstellung verzichtet werden kann (vgl. ÜBERLA (1968, 149) und besonders KAISER/COFFREY (1965)).

110) In ähnlicher Weise sind wohl auch die nur hier gelegentlich geringeren Kommunalitäten zu erklären.

Topologische Dimensionierung

	nicht rotiert	varimax-rotiert	quartimin-rotiert
1.	6.8	70.0%	5.4 56.7%
2.	1.7	17.6%	2.8 29.2%
3.	1.0	10.3%	1.3 14.1%
4.	0.2	1.8%	1.3 13.5%

Aktuelle Dimensionierung

$\lambda$	nicht rotiert	varimax-rotiert	quartimin-rotiert
1.	7.8	60.2%	5.8 49.4%
2.	2.8	21.8%	4.1 34.8%
3.	1.1	8.6%	1.9 15.9%
4.	0.5	4.2%	2.2 16.0%

	Faktor $S_{1j}^+(v_i)$				Faktor $S_{1j}^+(v_i)$				Nr.
	11	12	13	komm.	11	12	13		
	0.97	0.10	-0.03	.96	1.08	0.16	-0.12		1
	0.78	0.36	0.37	.97	0.73	-0.12	0.28		
	0.07	0.09	0.93	.96	-0.06	0.11	0.98		
	-0.33	-0.93	0.02	.99	-0.04	1.02	0.19		4
Variable $S_{1j}(v_i)$	-0.41	-0.76	-0.50	.99	-0.14	0.69	-0.40		
	0.93	0.32	-0.03	.98	0.95	-0.12	-0.16		6
	0.93	0.28	0.22	.87	0.94	-0.02	0.13		7
	0.94	0.24	0.17	.94	0.98	0.03	0.08		8
	-0.13	-0.96	-0.11	.98	0.20	1.08	0.03		9
	0.97	0.18	0.05	.87	1.05	0.09	-0.05		10
	varimax-rotiert				quartimin-rotiert				

	Faktor $S_{3j}^+(v_i)$				Faktor $S_{3j}^+(v_i)$				Nr.
	31	32	33	komm.	31	32	33		
	0.97	-0.15	-0.19	.99	1.14	0.21	-0.12		1
	0.41	-0.11	-0.83	.86	-0.06	-0.46	0.94		
	0.44	-0.27	-0.81	.92	-0.04	-0.60	0.90		
	0.03	-0.47	0.42	.39	0.22	-0.22	-0.58		
	-0.15	0.89	0.16	.85	0.13	1.00	-0.13		
	-0.22	0.94	0.18	.97	0.06	1.03	-0.13		6
Variable $S_{jk}(v_i)$	-0.16	0.93	0.14	.90	0.11	1.02	-0.10		
	0.93	-0.28	-0.20	.99	1.06	0.04	-0.10		
	0.92	-0.23	-0.28	.97	0.99	0.04	0.02		
	0.95	-0.18	-0.21	.97	1.10	0.14	-0.09		10
	0.81	-0.23	-0.12	.72	0.96	0.08	-0.16		11
	-0.16	0.80	-0.07	.68	-0.08	0.74	0.18		12
	-0.82	0.52	0.06	.94	-0.95	0.18	0.25		13
	0.63	0.23	-0.22	.50	0.76	0.42	0.06		14
	varimax-rotiert				quartimin-rotiert				

Tab. 3: Ergebnisse der dimensionsspezifischen Faktorenanalyse

als ausgesprochen hoch gelten (97.9% resp. 90.6% Varianzerklärung). Bei einer zunächst durchgeführten Varimax-Rotation resultierten Faktorenmuster (vgl. Tb. 3), deren vorläufige Darstellung in zweidimensionalen Schnittebenen durch die Faktorräume ebenso eine nachfolgende zusätzliche Schiefrotation angebracht erscheinen ließen, wie das durch eine Überprüfung der vorliegenden Konstellation mittels des Bargmann-Testes (ÜBERLA (1968, 185)) festgestellte Fehlen einer signifikanten Einfachstruktur<sup>111)112)</sup>. Das zu diesem Zweck verwendete Oblimin-Programm erbrachte mit dem sog. Quartimin-Kriterium (vgl. ÜBERLA (1968, 213)) die besten Ergebnisse<sup>113)</sup> im Sinne des genannten Bargmann-Testes, wenngleich Einfachstruktur nach diesem recht konservativen Prüfverfahren auch dann noch nicht völlig erreicht werden

---

111) Damit war auch gleichzeitig implizit ein Ansatz zur Beantwortung der Frage nach den Beziehungen der Strukturkomponenten einer jeden Dimensionierung untereinander gegeben.

112) Gehen wir von unserer ursprünglichen Hauptfrage, nämlich der Suche nach Strukturkomponenten aus, so wird die Faktorenanalyse unter anderem quasi als 'Redimensionalisierungsverfahren' verstanden, bei dem es vom geometrischen Standpunkt aus darum geht, "einen möglichst niederdimensionalen Raum zu finden, in dem alle Variablen enthalten sind und in diesen gemeinsamen Faktorraum von ( $u_p$ ) Dimensionen die Variablen auch zu projizieren"

(ÜBERLA (1968, 76)).

Diese Lösungen sind aber in dem Sinne nicht eindeutig, als verschiedene Koordinatensysteme im Faktorraum die Ausgangskorrelationen je gleich gut reproduzieren, da die Konfiguration unverändert bleibt; damit ist die Notwendigkeit zur Rotation, für die sich als Anhalt das Konzept der Einfachstruktur bewährt hat, gegeben. Aus dieser Sicht ist der gelegentlich geäußerten Kritik an der Verwendung schief-rotierter Lösungen (im Bereich der Geographie vgl. etwa BÄHR/GOLTE (1974)) entgegenzuhalten, daß die Entscheidung über das angemessene Rotationsverfahren nun keine Frage mehr des faktorenanalytischen Ansatzes selbst, sondern lediglich der vorliegenden Datenkonstellation resp. der durch diese gegebenen Interpretationsmöglichkeiten ist.

113) Dabei werden die Koordinatenachsen so konstruiert, daß die Summe der Kreuzprodukte der quadrierten Faktorenladungen minimiert wird. Erfahrungsgemäß liefert dieses Verfahren allerdings leicht überhöhte Faktorkorrelationen, doch konnten diese ohne weiteres in Kauf genommen werden.

konnte<sup>114)</sup>.

### 3.1.2. Die topologische Dimensionierung

Die mit dem topologischen Ansatz verknüpfte Faktorkonfiguration läßt nun folgende Interpretationsmöglichkeit zu (vgl. auch Tb. 3 und Abb. 38):

- o Im Faktor  $S_{11}^+(v_i)$  erscheint zwar die Nodalität als Einzelindex an bevorzugter Position, liefert aber bei der näheren Betrachtung und Analyse auch der Faktorenwerte nichts sonst, als ein grobes, undifferenziertes und gelegentlich nicht ganz stimmiges Grundgerüst, welches andere Variablen erst ausfüllen. Insgesamt zeigt sich eine weitgespannte Substituierbarkeit von vorzugsweise lokale und regionale Aspekte beschreibenden Bedeutungskennzeichnungen, so daß dieser Faktor die Strukturkomponente "Bedeutung" konstituiert (vgl. Abb. 39<sup>+</sup>); da es sich bei den hier berücksichtigten Variablen um solche handelt, die wesentlich auf der Kommunikationsfähigkeit der Knoten untereinander basieren, kann  $S_{11}^+(v_i)$  auch als Faktoren der Knotenbeziehungen gedeutet werden. So ist verständlich, daß trotz der für weite Teile von  $\Gamma$  beherrschenden Position Münchens die räumliche Faktorenwertverteilung deutlich die bestimmende Kraft einzelner anderer hervorragender Zentren (etwa  $v_{32}, v_{64}, v_{111}$  oder  $v_{154}$ ) kenntlich werden läßt — gerade infolge der Berücksichtigung der Gesamtnetzbezüge aber dominieren diese oftmals über lokal durchaus gleichwertige Knoten<sup>115)</sup>.
- o Der zweite Faktor,  $S_{12}^+(v_i)$ , auf den die Strukturierungen  $S_{14}(v_i)$ ,  $S_{15}(v_i)$  sowie  $S_{19}(v_i)$  hoch laden, bildet lagebezogen die Position eines jeden Knotens im Gesamtnetz ab (vgl. Abb. 40<sup>+</sup>) und soll

---

114) Diese Schiefrotation führte zu zum Teil wesentlichen Korrekturen in der Bedeutung der einzelnen Faktorenwerte. Was eine Kennzeichnung der Faktoren (über die Variablen) selbst anlangt, so ergaben sich infolge Ladungsverschiebungen wichtige Veränderungen nur für die aktuelle Dimensionierung.

115) Man vergleiche beispielsweise  $v_{110}$  und  $v_{95}$  hinsichtlich dieser Faktorenwerte sowie einiger Strukturierungen.

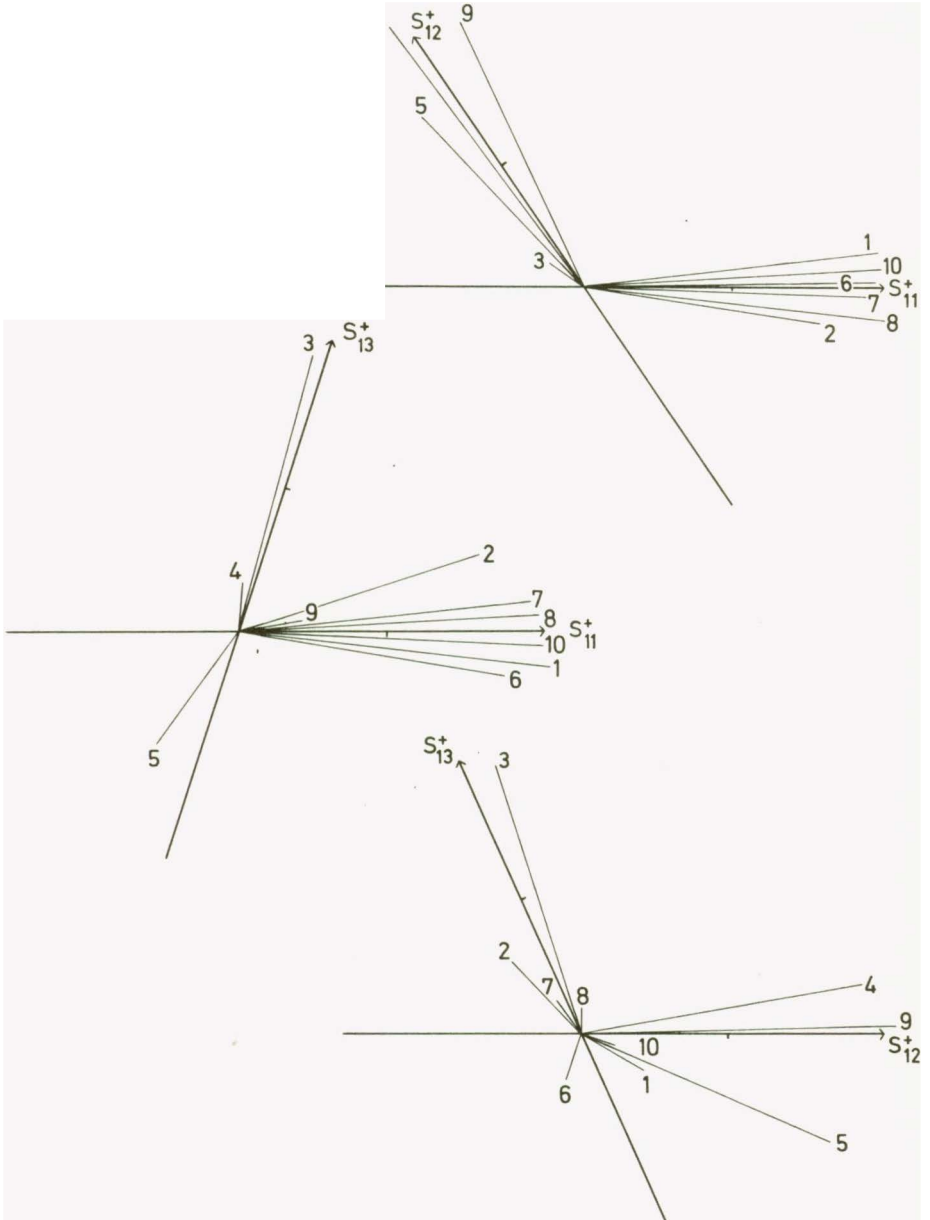


Abb.38: Variablenkonfiguration im 3-dimensionalen Faktorraum der topologischen Dimensionierung



als Strukturkomponente die Bezeichnung: "Primärlage" erhalten<sup>116)</sup>. Das Raummuster dieses Faktors bedeutet eine nordwest-südöstlich verlaufende 'Gasse' gut im Sinne dieser Komponente bewerteter Knoten, verbunden mit einem allgemeinen randlichen Erreichbarkeitsabfall;  $S_{12}^+(v_i)$  kann so auch als Faktor der Netzabgelegenheit betrachtet werden.

Interessanterweise finden regionale Aspekte keinerlei Berücksichtigung, sind jedoch, was als besonders bemerkenswert gelten kann, andererseits bei der varimaxrotierten Lösung über einen wenn auch nur marginalen Einfluß der Strukturierungen  $S_{12}(v_i)$  und  $S_{16}(v_i)$  auf  $S_{12}^+(v_i)$  durchaus nachweisbar. Im orthogonalen System führen sie allerdings zu erheblichen Verzerrungserscheinungen, die sich darin äußern, daß Endknoten ungeachtet ihrer Netzlage jeweils höhere Komponentenwerte zugewiesen bekommen, als die entsprechenden Anschlußknoten. Da hier keine Rückführung auf einen speziellen Index möglich ist, erscheint dieses Phänomen tatsächlich als Effekt einer nicht vollständig zur Einfachstruktur rotierten Lösung<sup>117)</sup>.

Das Verfahren der Schiefrotation legt weiters eine durchaus bedeutsame Beziehung zwischen den Strukturkomponenten der Lage und der Bedeutung offen, die sich in  $C_{11/12}^+ = -0.55$  manifestiert.

Damit muß festgehalten werden, daß trotz einiger im Sinne von  $S_{11}^+(v_i)$  randlich gelegener 'Zentren' (nun im Sinne von  $S_{11}^+(v_i)$ )

---

116) In Unterscheidung zu der noch zu besprechenden "Sekundärlage"-Komponente. Primär mag hier soviel bedeuten wie: 'in bezug auf das Gesamtnetz'.

117) Die mittlere Differenz zwischen den je beiden beteiligten Faktorenwerten beträgt 0.249 und ist damit erstaunlich hoch. Durch den immerhin merklichen Einfluß von Variablen, die  $S_{12}^+(v_i)$  über die schiefrotierte Lösung wesentlich nicht bestimmen, ist hier Abgelegenheit im topologischen Sinne für höhernodale Knoten etwa als schwerwiegender anzusehen, als für Endknoten, da von hier die Verbindung ohnehin zunächst einmal zum entsprechenden Anschlußknoten führt; im übrigen nimmt die genannte Differenz mit wachsender Valenz des Anschlußknotens ebenfalls zu.

mit besserer Primärlage eine generelle Bedeutungsanhebung der Knoten parallel läuft.

- o Die hinsichtlich des Bewertungsverhältnisses von End- und Anschlußknoten oben angedeuteten Besonderheiten können auch für  $S_{13}^+(v_i)$  konstatiert werden, wobei allerdings die relativ günstige Kennzeichnung der Endknoten nun auch nach der Quartimin-Rotation in Fällen erhalten bleibt, in denen der Anschlußknoten eine Valenz von  $S_{11}(v_i) \geq 5$  besitzt. Da andere Rotationsverfahren infolge der insgesamt und insonderheit hinsichtlich der übrigen Faktoren günstigen Ergebnisse durch den Quartimin-Ansatz nicht in Frage kamen, kann hier nicht entschieden werden, ob es sich hierbei um ein verfahrenstechnisches Problem, oder nur um eine residuale Beeinflussung der Strukturierungen  $S_{12}(v_i)$  bzw.  $S_{15}(v_i)$  handelt; die Möglichkeit einer eindeutigen Rückführung auf  $S_{13}(v_i)$  zumindest, wodurch dieser Faktor wesentlich definiert wird, ist jedenfalls nicht gegeben.

$S_{13}^+(v_i)$  muß nun, wie Ladungsverteilung, Raummuster der Faktorenwerte und Korrelogramm (vgl. Abb. 41<sup>†</sup>) anzeigen, letztlich als kombiniertes und umfassendes Resultat einer z.T. überragenden Bedeutung der Netzelemente im östlichen und mittleren Netzteil im Sinne der Interpretation von  $S_{13}(v_i)$  aufgefaßt werden. Diese Strukturkomponente, der wir die Bezeichnung "Sekundärlage" zuweisen wollen, beschreibt als 'Vermittler' zwischen äußerem und innerem Netzbereich die regional begrenzte Fernwirkung in letzterem gelegener Knoten und findet so in Abhängigkeit der speziellen Netzgestalt ihre konkrete räumliche Ausprägung in einer Netzteilung Bayern vs. Baden-Württemberg; die Korrelationen mit den beiden übrigen Komponenten sind daher lediglich mittelmäßig:  $C_{11/13}^+ = 0.30$  und  $C_{12/13}^+ = -0.39$ .

### 3.1.3. Die aktuelle Dimensionierung

Wir können uns hier auf folgende Anmerkungen beschränken (vgl. auch Tb.3 und Abb.42):

- o  $S_{31}^+(v_i)$  beschreibt in analoger Interpretation wie  $S_{11}^+(v_i)$  die Strukturkomponente "Bedeutung" für den nicht-topologischen Bereich; auch hier wird der Einfluß der Strukturierung  $S_{31}(v_i)$  entscheidend durch die übrigen, absolut hoch ladenden Kennzeichnungen sinnvoll modifiziert, was zu einer stärkeren Differenzierung der Netzelemente führt. Am deutlichsten tritt in Abb.43<sup>+</sup> der Stuttgarter Raum hervor, während die vormals so hoch bewerteten Knoten im mittleren Netzteil an Bedeutung verloren haben<sup>118)</sup>.
- o Die stark positiven Ladungen der Variablen  $S_{22}(v_i), S_{23}(v_i), S_{24}(v_i)$  und  $S_{38}(v_i)$  sowie große Ähnlichkeit in Raumverteilung der Faktorenwerte (vgl. Abb.44<sup>+</sup>) und Korrelogramm lassen  $S_{32}^+(v_i)$  zunächst auch als aktuelles Äquivalent zur topologischen Komponente  $S_{12}^+(v_i)$  erscheinen, so daß auch hier von einer "Primärlage" gesprochen werden kann. Allerdings zeigt sich dann doch in den negativen Ladungen von  $S_{21}(v_i)$  und  $S_{32}(v_i)$  ein beachtlicher Einfluß regionalaspektbezogener Strukturierungen, der gerade durch die Quartimin-Rotation zustande gekommen ist<sup>119)</sup>; hier schlägt

---

118) Interessant ist der verhältnismäßig große Einfluß der Strukturierung  $S_{310}(v_i)$ , zu dessen Erklärung schon früher niedergelegte Äußerungen hilfreich sind: über dieses Maximum der mittleren Erstdurchlaufzeiten für einen Knoten werden nicht abgelegene oder 'bedeutungslose' Knoten, sondern eher jene hervorgehoben, die zumindest gerade im lokalen Aspekt der Bedeutungskomponente recht gut abschneiden; die Wahrscheinlichkeit, von einem solchen Knoten  $v_i$  'schnell' zu einem entlegenen zu kommen, ist ja deutlich geringer, als umgekehrt z.B. von diesem zu  $v_i$  selbst.

Daß aber dennoch die Lagekomponente nicht gänzlich unbeachtet bleiben kann, zeigt der Ladungswert der Variablen auf  $S_{32}^+(v_i)$  mit 0.42; gerade diese Größe hat sich nach der Schiefrotation gegenüber dem orthogonalen Ansatz etwa verdoppelt.

119) Die Schiefrotation bewirkt hier im übrigen in ähnlicher Weise wie oben eine 'Umkehrung' der relativen Bevorzugung der Endknoten.

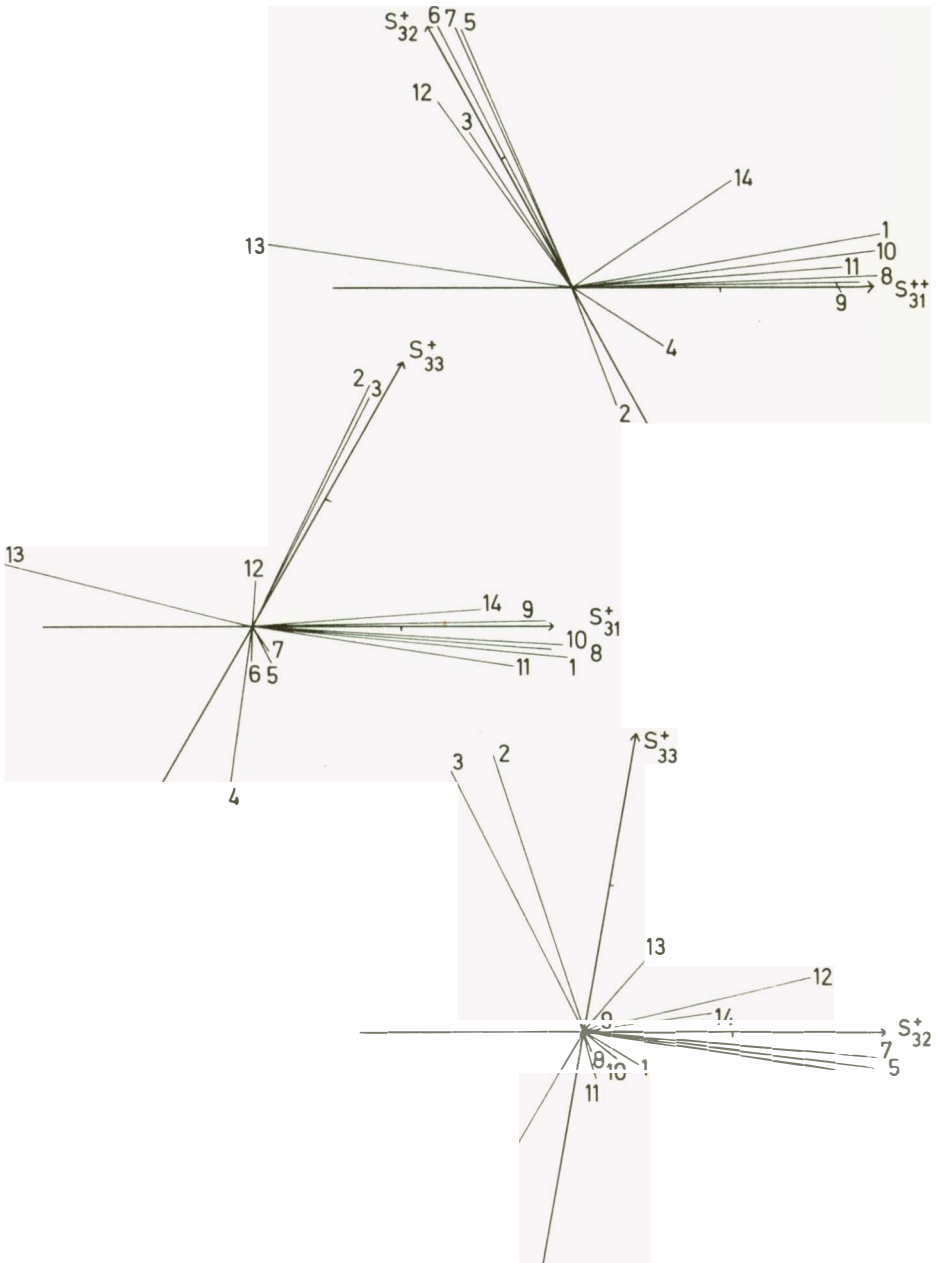


Abb.42: Variablenkonfiguration im 3-dimensionalen Faktorraum der aktuellen Dimensionierung

sich nieder, daß primärabgelegene Knoten von Erreichbarkeitszentren — gemessen an der Anzahl zur Verfügung stehender Zugverbindungen — relativ weiter entfernt sind, als die im Netzinnern positionierten Elemente. Ebenfalls analog zu  $r = 1$  belegt  $C_{31/32}^+ = -0.48$ , daß mit Annäherung an den Netzrand die Knotenbedeutung abnimmt. Der nun absolut etwas geringere Wert dürfte vermutlich auf häufigeres Auftreten von Netzelementen mit hervorragender Primärlage, jedoch geringer aktueller 'Bedeutung' (z.B.  $v_{111}$ ) zurückzuführen sein.

- o Auf  $S_{33}^+(v_i)$  nehmen vorzüglich die Strukturierungen  $S_{21}(v_i)$  und  $S_{32}(v_i)$  Einfluß — mittlere negative Ladung ist zudem für  $S_{33}(v_i)$  nachweisbar<sup>120)</sup>. Erneut (vgl. Abb. 45<sup>+</sup>) handelt es sich damit um eine Strukturkomponente der "Sekundärlage", die nun aber, anders als in der topologischen Dimensionierung, eher unter regionalem Aspekt betrachtet werden muß<sup>121)</sup>. Hohe Faktorenwerte deuten auf eine regional bevorzugte Lage infolge einer 'Beeinflussung' durch andere Netzelemente hin; wegen der eher randlichen Primärlage bedeutsamer Knoten oder Knotenhäufungen (vgl. hierzu auch  $C_{32/33}^+ = 0.18$  mit dem entsprechenden Wert für  $r = 1$ ) ist aller-

---

120) Wenn auch die Bedeutung von  $S_{32}(v_i)$  durch die schiefachsige Lösung verstärkt wird, findet man dennoch, von zwei Ausnahmen abgesehen ( $v_{125}/v_{122}$  und  $v_{126}/v_{127}$ ), nicht die nach Kenntnis der Bewertungsverteilung dieser Strukturierung zu erwartende und schon bekannte relative Bevorzugung von Endknoten, welche auch hier bei der Varimax-Lösung häufig, jedoch nicht durchgängig vorhanden ist. Vermutlich kann dies als eine Folge der unten beschriebenen Überlagerung verschiedener ringförmiger Bewertungssysteme durch diesen Faktor betrachtet werden. Überdies zeigt ein Vergleich der räumlichen Faktorenwertdarstellung für die beiden in Betracht kommenden Achsensysteme zwar eine große Ähnlichkeit, aber ebenso, daß im Einzelnen bedeutsame Verschiebungen stattgefunden haben. So werden z.B. nach der Rotation zur 'verbesserten' Einfachstruktur im Sinne von  $S_{31}^+(v_i)$  wichtige Knoten erheblich besser bewertet als vorher; andererseits müssen umgekehrt dort angrenzende Netzelemente 'Verluste' hinnehmen.

121) Da es sich allerdings auch um eine Darstellung der Zughäufigkeiten handelt, läßt sich natürlich keine so auffällige Korrespondenz der räumlichen Werteverteilung mit der Netzgestalt selbst feststellen, wie noch für  $r = 1$ .

dings in solchen Fällen die Gesamtzugverteilung nach Distanzringen mehr durch eine negative Schiefe gekennzeichnet.

### 3.2. Die generellen Strukturkomponenten

Zusammenfassend kann also nach den Faktorenanalysen der ersten Verarbeitungsstufe von S festgehalten werden, daß zumindest hinsichtlich unseres Beispielnetzes [ eine auf Knotenkennzeichnung basierende 'Netzstruktur' als aus drei Strukturkomponenten bestehend aufzufassen ist (vgl. Abb. 46). Die erste, die wir als 'Bedeutung' bezeichnet haben, und welche unter Berücksichtigung vorzugsweise lokaler und regionaler Aspekte Strukturierungen zusammenfaßt, die die Position der Knoten bezüglich deren Fähigkeit, mit anderen Netzelementen zu kom-

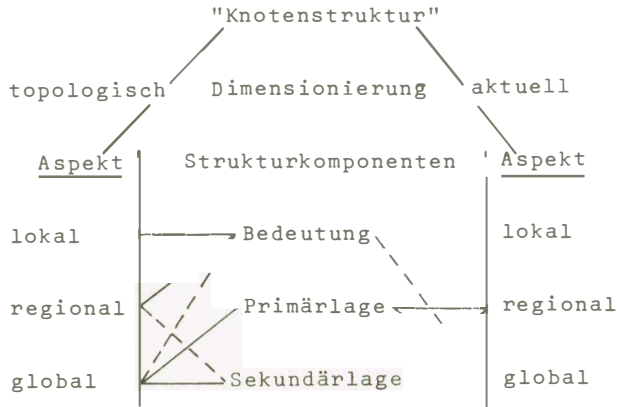


Abb. 46: Kompositionsschema zur "Netzstruktur"

munizieren, beschreiben, läßt sich so schematisch ungeachtet verschiedener, durch die spezielle Gestalt von [ bedingter Abweichungen durch die Skizze in Abb. 47 veranschaulichen.

Als zweite Komponente wurde im topologischen wie aktuellen Ansatz die 'Primärlage' ausgeschieden, durch welche unter globaler Betrachtungsweise (im aktuellen Bereich auch bei Berücksichtigung marginaler

Einflüsse regionaler Aspekte) die Lage eines Knotens im Gesamtnetz Bewertung findet und insgesamt ein in der Abstraktion in Abb.47 angedeutetes Kern-Rand-Gefälle der Erreichbarkeit nachgewiesen erscheint.

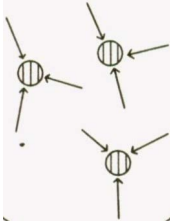
Während nun diese beiden Strukturkomponenten wohl als in ihrer jeweiligen Ausprägung weitgehend netzunspezifisch aufgefaßt werden können, ist offensichtlich bei der interessanten, von interpretatorischer Seite her allerdings gleichermaßen problematischen 'Sekundärlage' der speziellen Realisierung von  $\Gamma$  großes Gewicht beizumessen. Vermutlich muß  $S_{31}^+(v_i)$  in Ergänzung des schon Gesagten generalisiert eher als Beschreibung einer Art Durchgangs- oder Verbundringes zwischen innerem und äußerem Netzteilgebiet, die räumliche Verteilung der Faktorenwerte von  $S_{33}^+(v_i)$  dagegen als Ergebnis einer Art Interferenz zweier verschiedener Ringsysteme — ein regional (um München, Stuttgart und im nördlichen Netzgebiet) und ein global ausgeprägtes<sup>122)</sup> — betrachtet werden, vgl. erneut Abb.47.

Neben diesen doch nicht unerheblichen dimensionsspezifischen Differenzen ist ebenso kritisch anzumerken, daß im Gegensatz zu den beiden vorgenannten Komponenten hier eine große Abhängigkeit von der Natur der verwendeten Strukturierungen bestehen dürfte, was insbesondere den topologischen Fall betrifft. Insofern wäre über die Überprüfung der hier ausgeschiedenen Strukturkomponenten an idealisierten Netzen, etwa den zentrierten, symmetrischen 'Snowflake-Netzen' nach TINKLER(1972), hinaus eine Verifizierung der Existenz und Konkretisierung z.B. des räumlichen Verteilungsmusters einer Sekundärlagenkomponente auch über gezielte Entwicklung weiterführender Strukturierungsansätze notwendig.

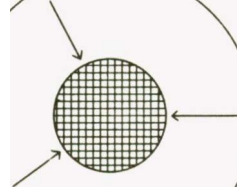
Trotz dieser Einschränkung legt dieses Resultat gleichwohl den Ver-

---

122) U.a. wird dadurch konkret für einige Knoten verstärkt ein Teil des gesamtnetzbezogenen, für andere ein Teil des jeweilig regional ausgebildeten Ringes entscheidend (wobei vereinzelt eine weitere Modifizierung in Abhängigkeit der eigenen  $S_{31}^+(v_i)$ -Bewertung eintritt); jedenfalls schlagen sich die engen Beziehungen zwischen Knotenbedeutung und Sekundärlage für  $r = 2, 3$  in  $C_{31/33}^+ = 0.50$  deutlich nieder.



$S_{j_1}^+(v_i)$



$S_{j_2}^+(v_i)$

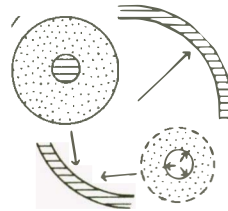
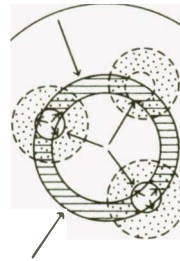
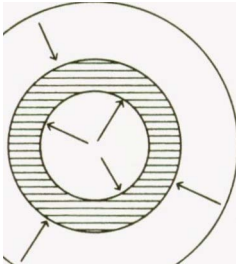


Abb.47: Schematische Raumverteilung der Faktorenwerte (topologische und aktuelle Dimensionierung)



such einer dimensionsunspezifischen Integration der Strukturkomponenten in einem weiteren Arbeitsschritt gemäß den Ausführungen auf S.16f nahe.

Zu diesem Zwecke wurde die Matrix

3.2./1. 
$$\begin{pmatrix} S_{11}^+(v_i) \\ \vdots \\ S_{33}^+(v_i) \end{pmatrix}$$

in eine weitere, gleichartige und durch die infolge der Schiefrotation nachgewiesenen Korrelationen zwischen den Strukturkomponenten letztlich ermöglichte Faktorenanalyse eingegeben. Es handelt sich bei diesem Versuch einer Extraktion genereller Strukturkomponenten  $S_j^{++}(v_i)$

Tab. 4: Korrelationsmatrix der dimensionsspezifischen Strukturkomponenten  $S_{jk}^+(v_i)$

	11	12	13	31	32	33
11	1.00	-0.55	0.30	0.84	-0.55	0.25
12	-0.55	1.00	-0.39	-0.47	0.88	0.23
13	0.30	-0.39	1.00	0.13	-0.49	-0.34
31	0.84	-0.47	0.13	1.00	-0.49	0.50
32	-0.55	0.88	-0.49	-0.48	1.00	0.18
33	0.25	0.23	-0.34	0.50	0.18	1.00

$13_C^+$

um einen Ansatz, der einerseits der Kanonischen Korrelationsanalyse (s.u.) nicht unähnlich ist, andererseits aber auch dem Konzept einer Faktorenanalyse höherer (hier: zweiter) Ordnung recht nahesteht. Ausgangs-

basis ist die Korrelationsmatrix in Tb.4, deren Diagonalmatrizen bei der Besprechung der dimensionsspezifischen Faktorlösungen schon betrachtet wurden; so sind hier lediglich einige Anmerkungen zur Interkorrelationsmatrix  $^{13}C^+$  zuzufügen.

Grundsätzlich spiegeln sich hier in konzentrierter Form jene Beziehungen wider, die schon bei der Interpretation der einzelnen Strukturkomponenten sowie der Betrachtung der diese konstituierenden Strukturierungen diskutiert worden sind. Zweifellos entsprechen die Korrelationen zwischen den beiden ersten Komponenten bei je unterschiedlicher Dimensionierung den bisherigen Erwartungen und kommt andererseits deutlich die Invarianz eben dieser Kennzeichnungen über die beiden Ansätze hinweg zum Ausdruck. Gesondert hinzuweisen ist jedoch auf die mit den Sekundärlagebeschreibungen verbundenen Werte, zumal sich hier erneut die erheblichen, schon in den vorigen Abschnitten herausgestellten Unterschiede manifestieren. So ist etwa  $C_{13/33}^+ = -0.3^{11}$

vor dem Hintergrund einerseits der durch  $S_{33}^+(v_i)$  betont regionalen Bezüge sowie der vergleichsweise hohen Korrelation mit der entsprechenden Bedeutungskennzeichnung, andererseits der ein globales Raummuster beschreibenden Komponente  $S_{13}^+(v_i)$  — wodurch ja weithin Knoten ausgezeichnet sind, die in nicht ausreichender Nähe zu aktuell-bedeutsamen, lokalen Zentren sich befinden — zu betrachten. In entsprechender Art schlägt sich diese unterschiedliche Betrachtungsweise, die der Sekundärlage in topologischem und aktuellem Bereich anzumessen ist, in den Beziehungen zur zweiten Strukturkomponente der jeweils anderen Dimensionierung nieder: dem negativen Wert von  $C_{13/32}^+$  steht so, vermutlich infolge der im Sinne von  $S_{12}^+(v_i)$  schon global abgelegenen Position verschiedener 'umgebungswirksamer' Knoten wie etwa  $v_{95}, v_{64}$  oder  $v_{160}$ , die — wenn auch nur schwache — positive Korrelation  $C_{12/33}^+$  gegenüber<sup>123)</sup>

Die Hauptachsenanalyse nun lieferte drei neue, zusammen 94.9% Varianz

123) Die übrigen Werte in  $^{13}C^+$  dagegen erscheinen wenig bedeutsam bzw. erfordern keine gesonderten Erklärungen.

Tab. 5: Ergebnisse der dimensionsspezifischen Faktorenanalyse

Faktorenmuster(Primärfaktoren)

		Faktoren $S_j^{++}(v_i)$		
		1	2	3
	11	0.77	-0.20	0.34
	12	-0.07	0.97	0.01
Variable	13	0.00	-0.15	0.65
$S_{jk}^+(v_i)$	31	0.91	-0.25	0.01
	32	-0.12	0.91	-0.05
	33	0.69	0.21	-0.40

Interkorrelationen der Faktoren  $S_j^{++}(v_i)$

	1	2	3
1	1.00	-0.19	-0.03
2	-0.19	1.00	-0.47
3	-0.03	-0.47	1.00

reproduzierende Faktoren<sup>124)</sup> (vgl. Tb.5), die ebenfalls sowohl varimax-, wie oblique-rotiert wurden<sup>125)</sup>.

124) Genauer: 94.9% der Varianz der eingegebenen Strukturkomponenten, die ihrerseits 97.9% bzw. 90.6% der ursprünglichen Datenvarianz wiedergeben.

125) Hier erbrachte die schiefachsige Lösung — bei Verwendung jetzt des Biquartimin-Kriteriums (vgl. GORSUCH(1974,196)) — keine nennenswerten interpretatorischen Verschiebungen, führte jedoch erneut zu erheblichen Veränderungen in der Faktorenwertkennzeichnung sowie allgemein zu einem 'reinerem' Faktormuster.

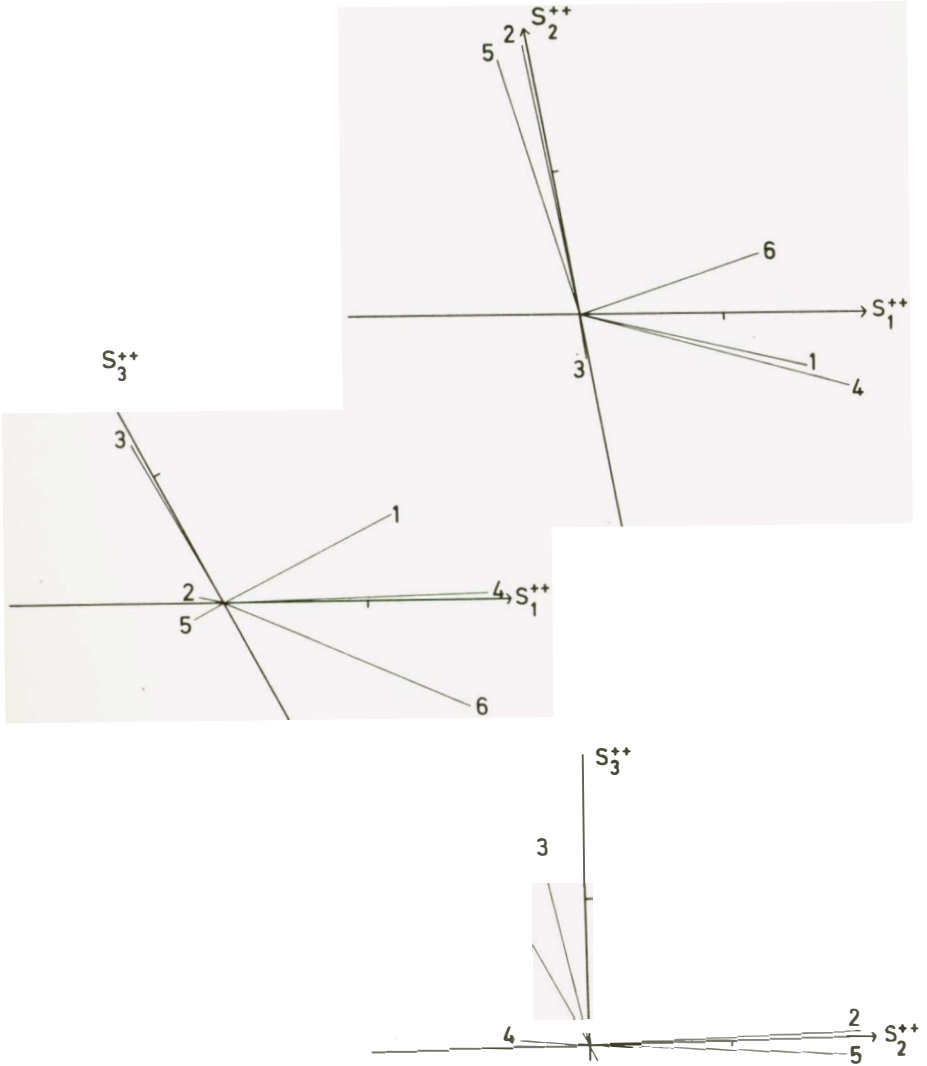


Abb.48: Variablenkonfiguration im 3-dimensionalen bewertungs-  
unspezifischen Faktorraum

Erwartungsgemäß fand eine Verknüpfung der dimensionsspezifischen zu weitgehend dimensionsunspezifischen oder generellen Strukturkomponenten  $S_j^{++}(v_i)$  statt. Bei Verwendung der gleichen Bezeichnungsweise wie oben unter 3.1. ist allerdings eine gewisse Reinterpretation notwendig, da  $S_{33}^+(v_i)$  insonderheit in die generelle Bedeutungskennzeichnung integriert wird und  $S_3^{++}(v_i)$  schließlich vorzüglich topologisch determiniert erscheint (vgl. auch die Abbildungen  $49^+$ ,  $50^+$  und  $51^+$ ). Jedenfalls erweist sich damit "Netzstruktur" unter der in dieser Arbeit spezifischen Blickrichtung als ein hypothetisches Konstrukt höherer Ordnung, welches sich konstituiert aus generellen Strukturkomponenten, diese ihrerseits durch solche dimensionsspezifischer Natur determiniert erscheinen und wobei letztere selbst unterschiedliche Strukturierungen integrieren.

### 3.3. Die 'aspektbezogene' Knotentypisierung

#### 3.3.1. Das Verfahren

Die komponentielle Aufspaltung, wie sie nun in

3.3./1.

$$\begin{pmatrix} S_1^{++}(v_i) \\ S_2^{++}(v_i) \\ S_3^{++}(v_i) \end{pmatrix}$$

vorliegt, ermöglicht jetzt eine aspektbezogene<sup>126)</sup> 'strukturelle'

---

126) Zu unterscheiden hiervon ist eine 'dimensionsspezifische' Typisierung. Eine solche kann etwa die Frage verfolgen, ob bestimmte Knotenelemente in ihrer Erreichbarkeitskennzeichnung vorzüglich durch topologische oder durch aktuelle Netzbezüge charakterisiert werden können. Dieser Ansatz wurde von uns probeweise auf der Basis zweier verschiedener Datenmengen durchgespielt, wobei auf denjenigen, der auf je einem konzentrierten, aspektunspezifischen Bewertungsindex in jeder Dimensionierung beruht, später noch kurz zurückzukommen sein wird. Die Anwendung andererseits des oben vorgeschlagenen Verfahrens der Distanzgruppierung der Matrix  $S^+$  erbrachte jedoch nur recht unbefriedigende Resultate, insofern die bemerkenswerten Ähnlichkeiten der Strukturkomponenten über die Dimensionierungen hinweg durch den Gruppierungsalgorithmus implizit aufgegriffen wurden und zu Knotentypen führten, die den hier vorgestellten aspektbezogenen nahezu gleichwertig erschienen.

Typisierung der Netzelemente hinsichtlich je spezifischer, mit den einzelnen generellen Komponenten verknüpfter Erreichbarkeitsverhältnisse (lokal, global, 'vermittelnd'), wobei jene durch das Verfahren der Distanzgruppierung realisiert wurde.

Hierbei allerdings war den zwischen den Gruppierungsvariablen  $S_j^{++}(v_i)$  als Folge der oblique-Rotation bestehenden Beziehungen explizit Rechnung zu tragen<sup>127)</sup> (vgl. auch BERRY(1960,112), KING(1969,195), MAYFIELD(1967,131)). Dies geschah dadurch, daß nicht das übliche orthogonale Bezugssystem, sondern der schiefwinkliger Faktorraum zur Berechnung der als Ähnlichkeitskriterium bezüglich der Knoten heranzuziehenden Distanz zwischen deren geometrischer Repräsentation Verwendung fand<sup>128)</sup>, wobei sich jene durch

3.3./1.

$$\sum_{j_1=1}^3 \sum_{j_2=1}^3 (S_{j_1}^{++}(v_i) - S_{j_2}^{++}(v_i)) \cdot (S_{j_1}^{++}(v_k) - S_{j_2}^{++}(v_k)) \cdot C_{j_1}^+ / j_2$$

bestimmen ließ<sup>129)</sup> (vgl. KING(1969,236) oder KEMPER(1975,43)). Als auf

127) Die ebenfalls gelegentlich formulierte Forderung einer vergleichbaren Skalierung der verwendeten Variablen (vgl. etwa BERRY(1960,114) oder KING(1969,195)) konnte weitgehend als erfüllt angesehen werden; zur Problematik der Datenstandardisierung in diesem Zusammenhang vgl. jedoch JOHNSTON(1972,300).

128) Über Natur und Ausmaß von Verzerrungen, die bei einer 'orthogonalen' Gruppierung korrelierter Variablen entstehen können, liegen bislang keinerlei Erfahrungen vor.

129) Von der Möglichkeit einer zusätzlichen Berücksichtigung der unterschiedlichen 'Bedeutsamkeit' der einzelnen Strukturkomponenten (vgl. etwa BÄHR(1975,246)), die durch eine entsprechende Gewichtung derselben in die Distanzberechnung hätte eingebracht werden können, wurde jedoch kein Gebrauch gemacht. Wir halten einen solchen Ansatz lediglich dann für angebracht, wenn eine weitergehend objektive Rückführung dieser Gewichtungsparemeter auf die interne Datenmasse selbst durchführbar wird (vgl. auch BOCK(1974,76)), was allerdings hier auch bei Verwendung der Eigenwerte (bzw. der Varianzerklärungsanteile) infolge der direkten Abhängigkeit dieser Größen von Art und Auswahl der ursprünglich zugezogenen Strukturierungen nicht sinnvoll schien.

dieser Basis operierende und zur konkreten Typenbildung führende Iterationsverfahren wurden zunächst probeweise die beiden gängigsten Techniken, die Schwerpunktmethod sowie die Methode des minimalen Distanzzuwachses (vgl. z.B. SPENCE/TAYLOR (1970), WARD (1963) oder BÄHR (1971)) eingesetzt. Ähnlich wie im Zusammenhang anderer Untersuchungsvorhaben (vgl. etwa BÄHR (1975, 246)) zeigte jedoch auch hier das Schwerpunktverfahren deutliche Tendenzen zur Ausbildung höchst schwierig interpretierbarer, durch Kettenbildung gestörter, ungleichgewichtiger Typen, so daß desweiteren trotz des mit diesem verbundenen technischen Problems des Speicherplatz- und Rechenzeitbedarfs (vgl. auch BÖHM/KEMPER/KULS (1975, 13)) auf den obigen zweitgenannten Ansatz zurückzugreifen war.

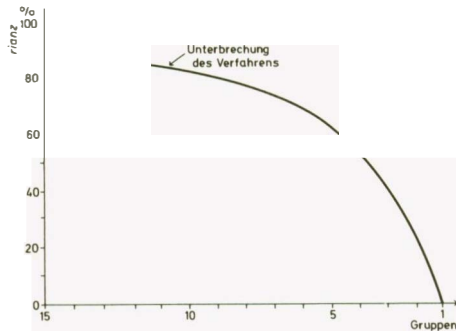


Abb.52: Varianzreproduktionskurve der Knotentypisierung

Da für den Abschluß des Gruppierungsprozesses bislang keine allgemeingültigen objektiven Kriterien formuliert sind und auch das von BÄHR (1971) vorgeschlagene Verfahren einer Observierung des Verlaufs der Varianzreproduktionskurve (vgl. Abb.52) hier keine wesentliche Hilfestellung leistete, orientierten wir uns weitgehend an einem Vergleich der unterschiedlichen Gruppierungsergebnisse selbst und beendeten den Iterationsvorgang bei Vorliegen von 11 Gruppen; unter Rückgriff auf die die verschiedenen Gruppen kennzeichnenden Faktorenwertmittel (vgl.

Abb.53<sup>†</sup> und Tb.6) der drei generellen Strukturkomponenten wurden jene dann über eine 'subjektive' inhaltliche Interpretation zu 6 verschiedenen "Strukturtypen" zusammengefaßt.

Tab. 6: Mittelwert und Standardabweichung zu den Knoten-  
gruppen der Distanzgruppierung

	$S_1^{++}(v_i)$	$S_2^{++}(v_i)$	$S_3^{++}(v_i)$
1	2.22 0.52	-0.57 0.26	-1.19 0.23
2	1.76 0.26	-1.13 0.60	1.07 0.19
3	0.16 0.35	-1.60 0.32	0.94 0.61
4	0.67 0.36	-0.46 0.55	0.03 0.47
5	0.20 0.37	-0.42 0.29	0.94 0.25
Gruppe 6	-0.29 0.38	-0.01 0.55	-0.08 0.53
7	0.57 0.46	0.59 0.44	-0.55 0.34
8	0.81 0.43	1.78 0.47	-1.28 0.46
9	-1.45 0.24	-0.40 0.51	0.49 0.33
10	-1.37 0.42	0.70 0.36	-0.12 0.33
11	-0.98 0.33	1.14 0.61	-1.12 0.31



### 3.3.2. Die Knotentypen

Als Resultat des Gruppierungsverfahrens können wir folgende Knotentypen unterscheiden (vgl. Abb. 53<sup>+</sup>)<sup>130)</sup>:

#### Typ 1: "stark beziehungszentrale" Knoten

Unter dieser Bezeichnung sollen die jeweils 5 der Gruppen  $G_1$  und  $G_2$  zugeordneten Netzelemente zusammengefaßt werden. Konstitutiv für diesen Knotentyp ist die beiden Objektmengen gemeinsame, stark positive Erreichbarkeitskennzeichnung durch  $S_1^{++}(v_i)$  — die infolge besonderer aktueller Umgebungsbeziehungen in  $G_1$  ihr Maximum findet — sowie einer als mäßig bis gut zu bezeichnenden Primärlage. In Anbetracht dieser entscheidenden Gemeinsamkeiten schien trotz der allerdings deutlichen und eine 'automatische' Kombination dieser Gruppen im weiteren Verlauf des Iterationsprozesses verhindernden Differenzen bezüglich der generellen Sekundärlagenkomponente eine Zusammenlegung statthaft, zumal durch  $S_3^{++}(v_i)$  hauptsächlich eine topologisch bestimmte räumliche Differenzierung sonst eher gleichartiger Elemente eingebracht wird.

#### Typ 2: "lagezentrale" Knoten

Dieser Typus, realisiert von den Knoten der Gruppe  $G_3$ , ist eindeutig determiniert durch besonders gute Primärlage indizieren-

---

130) Trotz des für eine Typisierung relativ großen Homogenitätsgrades der einzelnen Knotengruppen sowie der insgesamt gesehen ausgeprägten konzentrischen räumlichen Anordnung (vgl. auch Abb. 53<sup>+</sup>) verlief eine vom Ansatz her recht naheliegende zusätzliche Distanzgruppierung mit Zusammenhangsforderung infolge fortgesetzter Kettenbildung einerseits und zum anderen Ausscheiden mehrerer einelementiger 'Gruppen' ausgesprochen negativ. Nähere Betrachtung zeigte, daß dies zwar auch auf die bislang schon recht spezifischen Einfluß nehmende Sekundärlagekomponente zurückzuführen, insonderheit jedoch durch vereinzelt auftretende (z. B. bei  $v_{95}$ ,  $v_{111}$ ,  $v_{160}$ ) absolut sehr hohe Werte hinsichtlich einer der beiden übrigen Faktoren bedingt war; interessanterweise spielte darüber hinaus die Existenz im Netzinne gelegener Endknoten eine geradezu untergeordnete Rolle.

de stark negative Werte auf  $S_2^{++}(v_i)$  und weist in seiner räumlichen Situation eine auffällige Affinität zu entsprechenden Verteilungsmustern von  $S_{12}^+(v_i)$  bzw.  $S_{31}^+(v_i)$  resp. dem vor-  
mals definierten Netzzentrum auf. Wiewohl hinsichtlich der generellen Bedeutungskennzeichnung zwischen den Knoten erhebliche Differenzen bestehen, würden die durchaus engen, sich in einem gleichartigen Mittelwert auf Komponente  $S_3^{++}(v_i)$  dokumentierenden Bezüge zu den Elementen von  $G_5$  zu einem Zusammenschluß gerade dieser beiden Klassen im nachfolgenden Iterationsschritt des Gruppierungsverfahrens führen; die daraus resultierende entscheidende Überdeckung charakteristischer Untergruppendifferenzen jedoch war mit wesentlichstes Kriterium zur Unterbrechung dieses 'blinden' Knotenzuordnungsvorganges an genannter Stelle.

### Typ 3: "vermittelnde" Knoten

Mit dieser Vokabel erfolgt eine nachträgliche Zusammenfassung zunächst infolge unterschiedlicher Faktorkombinationen in drei verschiedene Gruppen ausgebildeter Netzelemente. Dieser Typ ist charakterisiert einerseits durch Objekte von  $G_6$ , deren 'strukturellen' Kennziffern sämtlich nahe dem Mittelwert 0,0 liegen. Da aufgrund des keinerlei Schwerpunkte aufweisenden räumlichen Verteilungsbildes sowie wegen des etwa gleichanteiligen zahlenmäßigen Auftretens von End-, Anschluß- und Knoten anderer Art in dieser Gruppe von interpretatorischer Seite den Netzelementen keine besondere Funktion zugewiesen werden konnte, mag die Bezeichnung "lageneutral" verwendet werden; die relativ geringe Bedeutungszuweisung durch  $S_1^{++}(v_i)$  erscheint jedoch immerhin bemerkenswert, zumal im Verlauf des Gruppierungsprozesses eine baldige Zusammenlegung mit  $G_9$ , einer 'reinen' Endknotengruppe, indiziert ist.

Im Gegensatz zu diesen mehr oder weniger vereinzelt und ohne erkennbares Muster im Gesamtnetz plazierten lageneutralen Knoten werden durch die Elemente der hier ebenfalls integrierten Gruppen  $G_4$  und  $G_5$  die Objekte der bisher besprochenen Typen nahezu ringförmig umschlossen. Auch hier zeigt sich in beiden Fällen

eine noch mäßig gute, kaum differierende Primärlagekennzeichnung; die eine Aufspaltung in einen östlichen und einen westlichen Halbbring verursachenden Unterschiede hinsichtlich  $S_1^{++}(v_1)$  und  $S_3^{++}(v_1)$  allerdings geben Veranlassung zu einer nachgeordneten Unterscheidung in "schwach-" und "bedingt beziehungscentrale" Knoten (für  $G_4$  bzw.  $G_5$ ).

#### Typ 4: "lageperiphere" Knoten

Infolge der speziellen Netzgestalt von  $\Gamma$  sind die Elemente dieses, die Gruppen  $G_7$  und  $G_8$  umfassenden Typs zum großen Teil auf das Gebiet Baden-Württembergs beschränkt; während sie im Norden und Nordosten vereinzelt vorzüglich als Anschlußknoten in Erscheinung treten, konzentrieren sie sich hier in einem relativ homogenen, zusammenhängenden Netzbereich. In einer stärker generalisierenden Betrachtungsweise ist hiermit trotz noch mäßig guter Bedeutungskennzeichnung — welche im übrigen weiterhin besser ist, als bei den Elementen des Typs 2 — ein zweiter, äußerer Ring vermittelnder Knoten angedeutet, für den die in  $G_8$  ihr Maximum erreichende primärkomponentiell — und, gerade auch in dieser Gruppe, sekundärpositionell — bestimmte Abgelegenheit entscheidend wird.

#### Typ 5: "lagecentrale" Endknoten

In dieser ersten 'reinen' Endknotengruppe werden Objekte zusammengefaßt, die aufgrund mäßig hoher Sekundärlagenbewertung vorzugsweise im inneren bzw. südlichen Netzteil gelegen und durch eine noch vergleichsweise gute, der der Elemente des Typs 3 etwa entsprechende Primärposition gekennzeichnet sind. Auffällig ist andererseits der im Vergleich zu sämtlichen anderen Gruppen absolut niedrigste Wert der Bedeutungskomponente hier in  $G_9$ , welcher auf die schon bei der Besprechung der einzelnen Strukturkomponenten hervorgehobene Tatsache einer deutlichen relativen Benachteiligung von Endknoten in Netzbereichen hoher genereller Lage- und Beziehungscentralität zurückgeht.

Typ 6: "abgelegene" Endknoten

Kennzeichnend für diesen, durch einen Zusammenschluß der ebenfalls jeweils lediglich aus Endknoten bestehenden Gruppen  $G_{10}$  und  $G_{11}$  hervorgehenden Typ ist eine sich deutlich von der der übrigen Typen abhebende Faktorkombination, wobei sich allerdings, was die Einzelwerte der Strukturkomponenten anbetrifft, entscheidende, erneut durch  $S_3^{++}(v_i)$  bedingte gruppenspezifische Unterschiede zwischen  $G_{10}$  und  $G_{11}$  nachweisen lassen; diese finden, ähnlich der Differenzierung von  $G_4$  und  $G_5$ , räumlichen Niederschlag in einer schwerpunktmäßigen Konzentration der Elemente von  $G_{10}$  im östlichen und südlichen Netzgebiet.

#### 4. Sozialökonomische Verhältnisse und "Netzstruktur"

##### 4.1. Die Fragestellung

Während im Vorstehenden gezeigt werden konnte, daß im Sinne des unter 1.2. beschriebenen Modells die auf eine Verkehrsart restringierte 'Netzstruktur' unseres Beispielnetzes  $\Gamma$  durch drei generelle, d.h. weitgehend dimensionsunspezifische Strukturkomponenten zu approximieren möglich ist, mag man sich nun kurz darauf besinnen, daß ja der Verkehr selbst im allgemeinen ein bestimmtes Interaktionsbedürfnis zwischen Raumeinheiten indiziert, die Strukturkomponenten solcherart auch als Abbildung der dadurch beschriebenen 'Verkehrsspannung' aufzufassen sind und insofern eine enge Beziehung zwischen 'Verkehrsstruktur' und anderen chorisch fixierbaren Charakteristika betreffender Netzelemente postuliert werden kann.

Nehmen wir an, letztere sei in formaler Analogie zu  $S^{++}$  ebenfalls durch eine Matrix  $W^{++}$  zusammengefaßt, so steht damit zur eingehenderen weiteren Analyse insonderheit einer 'sozialökonomischen Motivierung' der 'Netzstruktur' eine Untersuchung von Art und Ausmaß einer Relation  $P$  in

$$4.1./1. \quad S^{++} P W^{++}$$

zur Diskussion<sup>131)132)</sup>.

131) Ohne Zweifel muß angenommen werden, daß  $P$  in entscheidender Weise von der Verkehrsart abhängig ist, so daß zunächst die Beschränkung auf  $S^{++}$  anstelle einer Verwendung von  $S$  angebracht erscheint, vgl. S. 116f.

132) Selbstverständlich ist die hier beabsichtigte summarische Beschreibung der auf die 'Verkehrsstruktur' einwirkenden oder/und durch diese selbst beeinflussten Faktoren wiederum nur approximativ möglich. Infolge der Tatsache, daß wir in einem Gebiet  $G$  eine "Wirtschaftsstruktur" etwa ebensowenig als solche als existent betrachten wie eine "Verkehrsstruktur", noch sich jene damit direkt erfassen läßt, erscheint zu einer ausreichenden Operationalisierung von  $W$  (analog zu  $S$ ) eine im Prinzip ähnliche Vorgehensweise wie hinsichtlich des Verkehrs angezeigt. Geht man dabei von einem hier nicht näher zu spezifizierenden System gesamtgesellschaftlicher Art aus, sind zwar natürlich verschiedentlich formale und rechen-technische Modifikationen vorzunehmen (so etwa wird ein Rückgriff auf Funktionale nicht generell möglich und sinnvoll sein), doch

Obzwar von den bereits publizierten, sich explizit mit dieser Fragestellung auseinandersetzen den Untersuchungen nur die Arbeit von O'SULLIVAN(1968) gleich der unserigen auf Knotenstrukturierungen basiert, wollen wir im folgenden kurz nicht nur auf diese, sondern ebenso auf die auf Netzstrukturierungen bezogenen Untersuchungen von KANSKY(1963), GARRISON/MARBLE(1965) sowie VETTER(1970) eingehen<sup>133)</sup>, zumal dieser Betrachtung durchaus erläuternde Funktion hinsichtlich unseres eigenen Ansatzes unter 4.2. zukommt.

Drei Punkte verdienen hervorgehoben zu werden:

- o Es findet jeweils nur eine geringe Zahl von Strukturierungen Verwendung<sup>134)</sup>. Ansätze zur Berücksichtigung verschiedener Verkehrsarten (Eisenbahn- und Straßennetz) sowie Dimensionierungen (topologische Beschreibung und Verwendung von km-Entfernungen) sind zwar mit Ausnahme der Arbeit von O'SULLIVAN(1968) nachweisbar, werden jedoch höchst ungleichgewichtig, unsystematisch und ohne Analyse ihrer gegenseitigen Bezüge direkt in einem Ansatz der Art S P W, d.h. ohne vorherige Strukturkomponentenbildung verarbeitet. Damit bleibt weithin offen, welcher Zusammenhang durch die mitgeteilten Ergebnisse tatsächlich beschrieben wird und auch, inwieweit diese als redundant angesehen werden müssen.

---

lassen sich gleichwohl die notwendigen Strukturierungen auf diversen, den Dimensionierungen entsprechenden Ansätzen gröberen (etwa Aufteilung nach Wirtschaft, Bevölkerung, Politik etc.) oder feineren (z.B. weitergehende Aufspaltung in die verschiedenen Wirtschaftsbereiche) Charakters aufbauen. Zu beachten ist ferner, daß in diesem Sinne zumindest theoretisch sämtliche sinnvoll definierbaren in G gelegenen Raumeinheiten Berücksichtigung finden könnten, zur Analyse von P jedoch eine Beschränkung auf V notwendig wird.

133) Hierbei ist dann entweder eine Stichprobe von Netzen aus verschiedenen Staaten oder Gebieten oder eine Aufteilung eines Netzes in eine Reihe von Teilnetzen zugrundegelegt; vgl. auch die Ausführungen weiter unten.

134) O'SULLIVAN(1968) benutzt lediglich die Kennzeichnungen  $S_{11}(v_i)$  und  $S_{14}(v_i)$ ; GARRISON/MARBLE(1965) arbeiten mit insgesamt 7, KANSKY(1963) mit 5 und VETTER(1970) mit 4 verschiedenen Maßen, für die im einzelnen auf die entsprechenden Arbeiten verwiesen werden soll.

- o Die Relation P wird grundsätzlich aufgelöst, indem jede Netzstrukturierung gesondert über

4.1./2.  $S_{kj} P_i W$

auf ihre Beziehung zu W analysiert wird, wobei KANSKY(1963) eine zusätzliche Aufteilung von W nach Bewertungsansätzen (etwa verschiedene Wirtschaftsbereiche) für wichtig erachtet. Allerdings: so detaillierte Information hierdurch auch gegeben werden mag so kann diese Verfahrensweise doch dem ursprünglichen Anliegen einer Aussage über die Beziehung zwischen den 'Strukturen' zweier Systeme nicht voll gerecht werden, da eine fehlende simultane Berücksichtigung der  $S_{kj}$  auch durch nachträglichen Versuch der Zusammenfassung der  $p_i$  nicht ausreichend und dies selbst recht problematisch erscheint<sup>135)</sup>.

---

135) Dieses Problem ist im übrigen einzig von KANSKY(1963, 105) erkannt zwar auch hier nur unzureichend expliziert, immerhin jedoch über eine Interpretation von P als "correlation system" zu lösen versucht worden: die Beziehungen zwischen den einzelnen Netzstrukturierungen und dimensionsspezifischen Abschnitten von W werden hierbei über erstere zu sogenannten "individual relationships", diese wiederum vermittelt einer Aggregation hinsichtlich der Bewertungsansätze in W zu übergeordneten, wohl matrixförmig zu denkenden "partial relationships" zusammengefaßt. Dieses insoweit folgerichtig erscheinende Vorgehen wird jedoch dann weitgehend fragwürdig, wenn KANSKY auf eine Betrachtung von Art und Ausmaß der jeweiligen Beziehung in concreto verzichtet und zunächst die "individual relationships" zu Binärvektoren transformiert (Beziehung erscheint signifikant(1) oder nicht signifikant(0)), diese dann vermittelt Regeln der zweielementigen Booleschen Algebra auf einen Wert zusammenzieht und letztere schließlich als Ausgangsbasis für eine gleichartige Beschreibung summarischer Natur der "partial relationships" verwendet. Denn was letztendlich bleibt, ist nichts als die überdies infolge der spezifischen verwendeten Rechenregeln (so reicht nach KANSKY etwa zur Kennzeichnung eines signifikanten Vektors schon die Existenz eines einzigen Elementes mit dem Wert 1 aus; d.h. eine einzige Strukturierung mit 'bedeutsamer' Beziehung zum jeweils diskutierten Bereich aus W soll genügen, letzteren als entscheidend mit der gesamten 'Netzstruktur' verbunden zu betrachten) höchst unzureichend begründete Feststellung des Vorhanden- oder Nicht-Vorhandenseins derartiger Beziehungen — inhaltliche Aussagen bleiben notwendigerweise ausgespart und auf Betrachtungen an den  $p_i$  selbst beschränkt.

- o Der durch 4.1./2. beschriebene Ansatz wird generell im Sinne einer in der jeweiligen Richtung eindeutig bestimmbar Abhängigkeitsrelation (KANSKY(1963,39) spricht von "functional relationship") interpretiert<sup>136)</sup>. Als interessant mag gelten, daß hierbei zwei völlig gegensätzliche Auffassungen konkurrieren, die zwar im Einzelnen von den Autoren nicht näher diskutiert sind, vermutlich aber in folgender Weise begründet werden können<sup>137)</sup>:

1. GARRISON/MARBLE(1965) resp. KANSKY(1963) begreifen offensichtlich die 'Verkehrsstruktur'(sowie deren Veränderung in der Zeit) in erster Linie als Antwort auf bestimmte vorfindliche oder dynamisierte Bedürfnisausprägungen, insofern sie von einer Gleichung der Art

$$4.1./3. \quad S = P'(W)$$

ausgehen. Erscheint nun bei den genannten Arbeiten, in denen ja ein Rückgriff vorzüglich auf durchaus noch im Aufbau befindliche Netze diverser Entwicklungsländer erfolgt, eine derartige Argumentation und Vorgehensweise noch valide, wird sie aber doch wohl fragwürdig, wenn, wie bei VETTER(1970), ein längstens fertiggestelltes Verkehrssystem zur Diskussion steht. Beziehungen zwischen der seit Jahrzehnten weitgehend schon unveränderten 'Struktur'(zumind. bezüglich einzelner Dimensionierungen) eines Netzes und z.B. dem heutigen Wirtschaftspotential eines Gebietes können dann zwar (sicher auch 'sinnvoll') hypothetisiert, nicht jedoch, wie wir glauben, im Sinne einer Be-

---

136) Diese Betrachtungsweise wird im übrigen mit als ein Grund für die eben geschilderte Aufspaltung von P angesehen werden können; aus rechentechnischer Sicht findet hierbei durchgängig das Verfahren der einfachen oder multiplen Regressionsanalyse Verwendung.

137) Hinsichtlich anderer Verkehrsarten als des Eisenbahnverkehrs stellen sich die nachfolgend angedeuteten Probleme teilweise noch wesentlich komplizierter dar.



dingtheit jener durch letztere logisch einwandfrei analysiert werden.

2. Dieser Einwand läßt sich zu einer nachgerade konträren Argumentation erweitern: man mag, wie es auf der anderen Seite O'SULLIVAN implicite wohl getan hat, postulieren, daß eben diese 'Struktur' eines schon seit geraumer Zeit bestehendes Verkehrsnetzes selbst entscheidenden Einfluß auf etwa wiederum bestimmte anthropogeographische Komponenten des jeweiligen Gebietes genommen habe und insofern eine Spezifizierung von 4.1./1. gemäß

4.1./4.  $W = P'(S)$

für sinnvoll erachten. Allein, auch dieser Ansatz erscheint höchstens bezüglich ganz bestimmter Basisbewertungen vernünftig, da natürlich neben der beizeiten fixierten Anlage des Netzes wiederholte 'Anpassungen' an veränderte Erfordernisse (vermittelt etwa der zwischen den Raumeinheiten verkehrenden Züge im Rahmen einer aktuellen Bewertung) unterstellt werden muß.

#### 4.2. Einige Ergebnisse

Der im Vorstehenden geäußerten Kritik entsprechend halten wir nun zur Analyse von 4.1./1. die kanonische Korrelationsrechnung<sup>138)</sup> für das Verfahren der Wahl<sup>139)</sup>. Entscheidend wird insbesondere, daß keinerlei Abhängigkeitsdeklaration notwendig und ebenso eine strukturkomponenten-

---

138) Auf eine ausführliche formale Darstellung dieser Methode kann an dieser Stelle verzichtet werden; man vgl. hierzu COOLEY/LOHNES(1971),

139) Diese Kritik, die sich, wie deutlich geworden sein mag, insonderheit an eher logischen und verfahrenstechnischen Problemen orientierte, wird wohl auch nicht gegenstandslos durch die teilweise recht 'guten' Ergebnisse, die die genannten Arbeiten beibringen. Wenn etwa KANSKY bei Operationalisierung von 4.1./2. bzw. 4.1./3. vermittelt Regressionsanalyse feststellen kann, daß die in der Netzstrukturierung "n" (reine Knotenzahl) mitgegebene Varianz zu 80% durch einen kombinierten, den technologischen Entwicklungsstand der betrachteten Staaten beschreibenden Index erklärbar ist, so darf diese Tatsache zwar als wichtig und interessant gelten, bezieht sich jedoch ebenso wie die Resultate hinsichtlich der meisten anderen Netzkennzeichnungen (vgl. KANSKY(1963,48)) im Grunde eben nicht eigentlich auf eine 'Netzstruktur'; dies einerseits, wie schon mehrfach angedeutet, aufgrund einer fehlenden Berücksichti-

spezifische Aufspaltung von P nicht erforderlich ist, sondern bei Berücksichtigung der Kovariationen innerhalb wie zwischen den Strukturkomponentenmengen über Linearkombination der Zeilenvektoren von  $S^{++}$  und  $W^{++}$  für sich verschiedene, innerhalb des jeweiligen Bereichs zueinander orthogonale, paarweise korrespondierende kanonische Vektoren maximaler Korrelation gebildet werden.

Während dabei die Art der Beziehung durch jeweils eine die Korrelation der kanonischen Vektoren  $\hat{S}_i$  bzw.  $\hat{W}_i$  (140) mit den Strukturkomponenten  $S_i^{++}$  resp.  $W_i^{++}$  beschreibende Ladungsmatrix<sup>141)</sup> indiziert wird, ist durch die zugehörigen kanonischen Korrelationswerte  $p_i$  das Ausmaß derselben festgelegt; insofern erhält man auch hier damit in

$$4.2./1. \quad \begin{matrix} \hat{A} & & \hat{A} \\ S & P & W \end{matrix}$$

abschließend so etwas wie ein "correlation system", jedoch offenbar in einer doch anderen Bedeutung als der von KANSKY definierten.

gung 'echter' Strukturkomponenten (zumindest im verkehrlichen Bereich) bzw. der internen Beziehungen zwischen all diesen Einzelmaßen (die, wie Korrelationstabellen bei KANSKY(1963,62) oder GARRISON/MARBLE(1965,75) nachweisen, teilweise durchaus beträchtlich sind), zum anderen aber auch wegen einer nur unzureichenden Abbildung der Netze durch diese Indizes selbst (vgl. besonders JAMES/CLIFF/HAGGETT/ORD(1970)). Hinzu kommt weiterhin, daß nicht selten in netztheoretischen Untersuchungen die meist notwendige Auswahl zu berücksichtigender Verkehrsknotenpunkte nicht nach 'netzimmanenten' Kriterien vorgenommen wird, sondern in entscheidender Weise später durch W oder  $W^{++}$  zusammengefaßte Information anderer Systeme mit einfließt; besonders deutlich wird dies bei VETTER(1970), der als Knotenpunkte nahezu ausschließlich Zentrale Orte verwendet und dessen Teilräume (obgleich nicht näher ausgeführt) auf der Basis bevölkerungs- und wirtschaftsgeographischer Gegebenheiten gebildet sein dürften. Dergleichen, so kann vermutet werden, wirkt sich natürlich späterhin in 'positivem' Sinne auf die 'Erklärungswerte' der Strukturierungsvarianz aus.

140) Hierbei handelt es sich um kanonische Faktorenwerte; vgl. z.B. RAY/LOHNES(1973) oder MONMONIER/SCHNELL(1972).

141) Es hat sich gezeigt, daß diese Größen (auch Strukturkoeffizienten genannt) für eine Interpretation der Ergebnisse weit bedeutungsvoller sind, als die zur Erstellung der Linearkombinationen bestimmten kanonischen Gewichtszahlen (vgl. MONMONIER/FINN(1973)).

Bei der Anwendung dieses Verfahrens bezüglich  $\Gamma$  ist natürlich zu berücksichtigen, daß im Gegensatz zu den im gegebenen Rahmen durchaus verallgemeinerungsfähigen Netzstrukturkomponenten den jetzt zu analysierenden Relationen nur höchst spezifische Aussagekraft und Generalisierbarkeit in allenfalls beschränktem Umfang zukommen wird. Während nämlich die Verwendung der schon besprochenen extrahierten Strukturkomponenten genereller Art durch unser Modell quasi vorgezeichnet ist, traten hinsichtlich der Erstellung von  $W^{++}$  erhebliche Schwierigkeiten auf: wird doch die Möglichkeit einer Auswahl verschiedenartigen aussagekräftigen Zahlenmaterials durch die Betrachtung von Ortschaften (im Gegensatz etwa zu Landkreisen oder Raumeinheiten höherer Ordnung) ohnehin eingeschränkt, so erst recht hier infolge der Berücksichtigung einer Vielzahl bevölkerungsmäßig sehr kleiner Siedlungen; weiters konnte dann nur auf solche Größen zurückgegriffen werden, die in beiden von  $\Gamma$  durchzogenen Bundesländern gleichermaßen zugänglich waren. Diese Verhältnisse nötigten zu einer Beschränkung<sup>142)</sup> auf folgende, wegen ihrer geringen Anzahl direkt im Sinne von  $W$  verwendeten Kennzeichnungen:

$W_1(v_i)$ : Erwerbstätige in der Landwirtschaft in Prozent der Erwerbstätigen am Wohnort

$W_2(v_i)$ : Bevölkerungsdichte

$W_3(v_i)$ : Einpendler in Prozent der Erwerbstätigen am Arbeitsort

$W_4(v_i)$ : Prozentuales Bevölkerungswachstum im Zeitraum 1950-1970

$W_5(v_i)$ : Industriebeschäftigte je 1000 Einwohner<sup>143)144)145)</sup>.

---

142) Dabei mußte natürlich von der Existenz zu den aufgeführten weitgehend äquivalenten bzw. komplementären Strukturierungen (z.B. absolute Bevölkerungszahl, Auspendler etc.) abgesehen werden. Im übrigen war mit dieser 'mangelhaften' Datenlage auch ein weitergehender Ansatz zu einer bewertungsspezifischen Konstruktion von  $W$  unterbunden.

143) Hierbei handelt es sich, mit Ausnahme der Daten von  $W_5$ , die für Bayern auf das Jahr 1969 bezogen sind, jeweils um Volkszählungsergebnisse von 1970.

144) Die Daten wurden sämtlich logarithmisch transformiert  $W_1$  zur Basis 10, die übrigen Variablen zur Basis  $e$ .

145) Auch diese Daten konnten aus redaktionellen Gründen hier leider nicht mitgeliefert werden.

Eine detaillierte Diskussion der Korrelationen in Tb.7 kann hier unterbleiben; immerhin wird deutlich, daß die Relation zwischen 'Netzstruktur' und der hier durch W allerdings nur ausgesprochen unvollkommen approximierten sozialökonomischen 'Struktur' vorzüglich auf Komponente  $S_1^{++}(v_i)$  basieren wird, insofern einzig diese hohe Korrelation mit den  $W_j(v_i)$  aufweist, wobei letztere untereinander aber

Tab 7: Korrelationsmatrix der generellen Strukturkomponenten und der sozialökonomischen Variablen

	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$S_1^{++}$	$S_2^{++}$	$S_3^{++}$
$W_1$	1.00	-0.85	-0.45	-0.26	-0.39	-0.43	0.01	0.08
$W_2$	-0.85	1.00	0.51	0.28	0.40	0.52	-0.11	0.03
$W_3$	-0.45	0.51	1.00	0.15	0.13	0.31	-0.15	0.07
$W_4$	-0.26	0.28	0.15	1.00	0.22	0.24	-0.06	-0.25
$W_5$	-0.39	0.40	0.13	0.22	1.00	0.26	0.06	-0.25

doch teilweise recht eng verbunden sind.

Entsprechend der Zeilenzahl von  $S^{++}$  konnten drei kanonische Korrelationswerte  $p_i$  mit zugehörigen, in Tb.8 vermittels Kennzeichnung durch ihre Ladungsmatrizen wiedergegebenen Faktoren  $\hat{S}_j(v_i)/\hat{W}_j(v_i)$  bestimmt werden<sup>146)</sup>.

146) Eine weitergehende Charakterisierung der Faktoren erschien uns nicht möglich. Zwar wurde von STEWART/LOVE(1968) vorgeschlagen (und noch von RAY/LOHNES(1973) im geographischen Kontext verwendet), etwa vermittels der spaltenspezifischen Ladungsquadratsumme — aufgefaßt in Analogie zur Faktorenanalyse als reproduzierter Varianzanteil — sowie der hieraus abgeleiteten Redundanzwerte (vgl. RAY/LOHNES(1973,53) — angesehen als eine Art 'Überlappungsvarianz' zwischen beiden Strukturkomponentenmengen — einen zu-

Im ersten kanonischen Faktor lassen sich — unter Herausstellung zwar der Variablen  $W_1(v_i)$  und  $W_2(v_i)$  — sämtliche in  $W$  eingegebene Merkmale als zu einer einzigen konstitutiven "sozialökonomischen Komponente" zusammengezogen erkennen. Der so eindeutige Bezug von

Tab. 8: Ergebnisse der kanonischen Korrelationsrechnung

	$S_1/W_1$	$S_2/W_2$	$S_3/W_3$
$S_1^{++}$	1.00	-0.11	0.04
$S_2^{++}$	-0.22	0.25	0.71
$S_3^{++}$	-0.13	-0.73	-0.26
$W_1$	-0.81	-0.00	-0.36
$W_2$	0.96	-0.21	-0.14
$W_3$	0.57	-0.18	-0.23
$W_4$	0.54	0.47	-0.36
$W_5$	0.54	0.38	0.25
<hr/>			
$P_i$	0.53	0.43	0.18
$\text{Chi}^2$	118.36	49.60	6.99
df	15	8	3
Sign.	0.01	0.01	0.10

$W_1(v_i)$  zu  $S_1^{++}(v_i)$  gibt Anlaß zu der Feststellung, daß die 'Bedeutung' eines Knotens im unter 3.1. definierten Sinne als eng und in höchst verschränkter Weise mit den verschiedensten sozialökonomischen Daten, bevorzugt aber mit der Bevölkerungsdichte (positiv) sowie der Beschäf-

---

sätzlichen interpretatorisch wichtigen Ansatz aufzugreifen, doch konnten diese Überlegungen mittlerweile als nicht ausreichend fundiert, teilweise unsinnig nachgewiesen werden (vgl. NICEWANDER/ WOOD (1974)).

tigung im agrarischen Wirtschaftsbereich(negativ) verknüpft anzusehen ist.

Die graphische Darstellung einiger wichtiger kanonischer Faktorenwerte in Abb.54<sup>+</sup> vermittelt insofern wieder ein erwartetes Bild: auf der einen Seite die schlecht erreichbaren, vorzüglich randlich gelegenen Knoten geringer 'Bedeutung', ausgezeichnet mit gleichermaßen unterdurchschnittlichen sozialökonomischen Verhältnissen über die  $W_j(v_i)$ , andererseits vereinzelte Netzelemente bzw. Häufung derselben im Stuttgarter Raum(worin sich im übrigen wieder der Einfluß der Strukturkomponente  $S_{33}^+(v_i)$  auf  $S_1^{++}(v_i)$  dokumentiert), für die besondere lokale Verkehrsbedeutung mit überdurchschnittlichen Werten auf den  $W_j(v_i)$  gekoppelt erscheint<sup>147)</sup>.

Im Gegensatz zu diesem so klaren Resultat muß eine Interpretation der beiden übrigen Faktoren als eher problematisch bezeichnet werden. Als doch etwas fragwürdig darf besonders die Verknüpfung der Sekundärlage(negativ) mit Bevölkerungswachstum sowie Industriebeschäftigung(beides positiv) im zweiten Faktor gelten, wenn diese auch in Anbetracht der weiter vorn durch das räumliche Verteilungsbild von  $S_{13}^+(v_i)$  angeregten Interpretation dieser Komponente als 'Netzteilungsfaktor' aus der Sicht der 'Wirtschaftskraft' der beiden betrof-

---

147)Die Abb.54<sup>+</sup> ließe sich auch in der relativ groben vorliegenden Form durchaus weitergehend interpretieren, müßte man nicht letztlich doch die Größen  $W_j(v_i)$  als insgesamt zu wenig aussagekräftig bezeichnen zur Analyse tieferliegender Beziehungen zwischen Netzstrukturkomponente 'Bedeutung' und sozialökonomischem Standard der betreffenden Ortschaften. Man könnte z.B. das Muster der nur 'einseitig', d.h. von nur einer der beiden Variablenmengen hervorgehobenen Knoten näher untersuchen, um ganz spezifische 'Defizite' in einem der beiden Bereiche aufzudecken. Besonders deutlich wird dies bei den Elementen, die einmal sehr positiv, auf der anderen Seite jedoch stark negativ beurteilt werden; diese Netzobjekte dürften sich als recht interessant erweisen, weil vermutlich durch lokale Besonderheiten dem allgemeinen Interpretationsschema entzogen(so wird z.B. in  $v_{19}$  die eben beschriebene Diskrepanz eindeutig durch stark überdurchschnittlichen Industriebeschäftigtenbesatz hervorgerufen).

fenen Bundesländer vielleicht auch nicht so abwegig erscheint<sup>148)</sup> — man vergleiche auch die erneute Differenzierung in einen östlichen und einen im Westen gelegenen, um Stuttgart zentrierten Netzteil in Abb. 55<sup>+</sup>.

---

148) Wir erinnern an dieser Stelle daran, daß ja gemäß Abschnitt 3.2. die generelle Komponente  $S_3^{++}(v_i)$  in vorzüglicher Weise auf  $S_{13}^+(v_i)$  basiert, diese, in ihrer räumlichen Ausprägung doch so von  $S_{23}^+(v_i)$  differenzierte, topologische Strukturkomponente nun aber als plausibel und theoretisch stimmig gelten konnte, jedoch diesbezüglich im Gegensatz zu sämtlichen anderen Faktoren hinsichtlich einer Verallgemeinerung über  $\Gamma$  hinaus Bedenken anzumelden waren. Insofern ist in leichter Erweiterung der oben angedeuteten Problematik die unter 3.2. geäußerte Kritik möglicherweise auch hier nicht unangebracht und ließe sich zur Frage transformieren, ob bzw. inwieweit der Einbezug einer derartigen, besonders auf topologische Verhältnisse abgestellten Komponente störend auf die Analyse von P einwirke. Diesen Überlegungen wurde in zweifacher Weise nachgegangen: einmal über den Verzicht von  $S_3^{++}(v_i)$  in der kanonischen Analyse, zum anderen vermittels Durchführung einer solchen bei Verwendung lediglich der Komponenten  $S_j^+(v_i)$ .

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt kurz und in Beschränkung auf das Wesentliche zusammenfassen:

- o Im ersten Fall findet eine dem Bisherigen analoge isolierte Zuordnung der  $S_j^{++}(v_i)$  zu jeweils einem der beiden kanonischen Faktoren statt, wobei sich eine völlig identische Interpretation des ersten bei nahezu unveränderten Zahlenwerten ergibt, hinsichtlich des zweiten Faktors eine Signifikanzverbesserung der entsprechenden Korrelation (0.05%-Niveau,  $p_2 = 0.216$ ) sowie eine leicht differierende Variablenkombination resultiert. Entscheidend ist aber lediglich, daß  $W_4(v_i)$  herausgefiltert wurde; man muß wohl tatsächlich den entsprechenden Wert von -0.361 in Tb. 8 auf den in  $W_3(v_i)$  immerhin noch vorhandenen Effekt von  $S_3^{++}(v_i)$  zurückführen, zumal die die Primärlage nicht,  $S_3^{++}(v_i)$  jedoch, wenn auch geringwertig, mit  $W_4(v_i)$  korreliert.
- o Hervorzuheben ist beim zweiten Ansatz nicht so sehr die nochmalige Erhöhung der mit der Primärlage verbundenen kanonischen Korrelation als vielmehr die Tatsache, daß die nun schon bekannte differenzierte Komponentenzuweisung an verschiedene Faktoren nun auch für  $S_{21}^+(v_i)$  und  $S_{22}^+(v_i)$ , nicht jedoch für  $S_{23}^+(v_i)$  zutrifft;  $S_{23}^+(v_i)$  wird demgegenüber einmal als eng verbunden mit der Bedeutungskennzeichnung, dann aber auch in Kombination mit der Primärlage infolge rändlicher Position verschiedener wichtiger Zentren mit nähräumlicher 'Ausstrahlungskraft' betrachtet.

Ebenfalls nicht so eindeutig nimmt sich die allerdings schon weniger bedeutsame Kombination von Primärposition einerseits<sup>149)</sup> und Agrarbeschäftigung und Bevölkerungszuwachs (beides negativ) andererseits aus — netzrandlich besonders im Norden und Osten gelegene, jedoch nicht als typische Agrargemeinden (sondern vielfach durchaus mit nennenswertem (klein)-industriellen Besatz versehen) zu bezeichnende Ortschaften sind nun tatsächlich teilweise durch stärkeren Bevölkerungsrückgang gekennzeichnet, jedoch ist eine gewisse Verzerrung durch den Einfluß von  $S_3^{++}(v_i)$  nicht zu verkennen, vgl. Anm. 148).

Ungeachtet derartiger Vorbehalte bleibt aber — wobei die Verknüpfungen der beiden 'reinen' Lagekomponenten mit W vermutlich durch Auffüllung dieser Matrix sinnfälliger werden dürften — entscheidend, daß überhaupt derartige Beziehungen nachweisbar sind und es die Bedeutungskomponente ist, welche in vergleichsweise besonderem Ausmaß in charakteristischer Relation zu den sozialökonomischen Gegebenheiten steht; mit der hier ferner noch einmal hervorgehobenen entschiedenen Separierung<sup>150)</sup> der unterschiedlichen Strukturkomponenten und

---

149) Man beachte, daß hohe Komponentenwerte eine 'schlechte', d.h. abgelegene Primärlage kennzeichnen.

150) Die Folgerung, daß, zumindest im Nachhinein begründet, offensichtlich doch eine komponentenspezifische Aufspaltung der Relation P in 4.4./1. ausreiche, erscheint aus schon erwähnten Gründen nicht stichhaltig: abgesehen von den mit einer Anwendung dieses Verfahrens verbundenen logischen Schwierigkeiten vermag z.B. eine Regressionsanalyse die Interkorrelationen zwischen den unabhängigen Variablen (hier der  $W_j(v_i)$ ) nicht vernünftig zu berücksichtigen (dieses Problem der Multikollinearität macht schon, allerdings noch kaum auf ihre Brauchbarkeit getestete, kompliziertere Ansätze, etwa die sog. 'Ridge-Analysis' nach HOERL/KENNARD (1970) notwendig); hinzu kommt noch, daß eben dies bei dem kanonischen Verfahren auch bezüglich der sonst zu abhängigen, isolierten Größen erklärten Komponenten  $S_j^{++}(v_i)$  möglich ist. Dies schlägt sich in zwar geringen, für die Interpretation der kanonischen Faktoren nicht unbedingt bedeutsamen Ladungen nieder, ist jedoch für den eigentlichen rechentechnischen Verarbeitungsvorgang von entscheidender Bedeutung. Bei probeweise durchgeführten multiplen Regressionen mit den  $S_j^{++}(v_i)$  als abhängigen Variablen ließen sich denn auch entscheidende Unterschiede zu den oben dargestellten Resultaten nachweisen, was hier am Beispiel von  $S_1^{++}(v_i)$  belegt werden mag. Wir er-



Zuordnung zu gesonderten kanonischen Faktoren erfolgt im übrigen eine nochmalige Bestätigung der vormals durch die Faktorenanalyse so deutlich charakterisierten Trennung derselben.

---

hielten hier die Gleichung:

$$S_1^{++}(v_i) = 0.479W_2(v_i) + 0.097W_5(v_i) + 0.074W_4(v_i) + 0.069W_3(v_i) \\ + 0.080W_1(v_i)$$

mit einer multiplen Korrelation von 0,53. Die standardisierten Regressionskoeffizienten lassen erkennen, daß nach diesem Modellansatz lediglich die Bevölkerungsdichte erklärend herangezogen wird; aufgrund der teilweise recht starken Beziehungen der übrigen Variablen zu  $W_2(v_i)$  bleiben diese unberücksichtigt. Besonders gilt dies für die oben noch sinnfällig integrierte Komponente  $W_1(v_i)$ , welche hier nun sogar mit einem wenn auch insignifikanten positiven Regressionskoeffizienten versehen ist.

## 5. Schlußbetrachtungen

### 5.1. Resümee

Zu Anfang schon, im ersten Abschnitt, wurde betont, daß es uns in dieser Arbeit weniger darum gehen sollte, eine Art "Anwendungsbezogenheit" neuerer verkehrsgeographischer Forschung zu demonstrieren oder gar Fragen der "Planungsrelevanz" in den Vordergrund zu stellen. Wir griffen vielmehr quasi propädeutisch hinsichtlich nachfolgender, stärker empirisch orientierter Untersuchungen den in der netztheoretischen Literatur recht häufig, gleichwohl aber weithin eher unreflektiert verwendeten Begriff der "Netzstruktur" auf und versuchten, anhand theoretischer Überlegungen sowie Konkretisierung an einem Beispielnetz darzustellen, wie eine solche als aus (drei) verschiedenen, miteinander korrelierten 'Strukturkomponenten' zusammengesetzt aufzufassen ist und diese zu anderen, sozialökonomischen Objektkennzeichnungen korrespondiert. Hierbei konnte nachgewiesen werden, daß — basierend (vgl. die Zusammenstellung in Abb. 56) auf einer Vielzahl verschiedenartiger, eben nicht lediglich alternativ verwendbarer, selbst wieder auf unterschiedlichen Dimensionierungsansätzen beruhender Strukturierungen — diese Komponenten 'Bedeutung', 'Primärlage' und 'Sekundärlage' durchaus unterschiedliche Aspekte einer Verkehrsnetzorganisation, nämlich lokale, regionale und globale Bezüge — wenn auch nicht immer in 'reiner' Form — widerspiegeln. Diese Resultate ermöglichten darüberhinaus im dimensionsunspezifischen, 'generellen' Ansatz eine 'strukturelle' (Aspekt-)Typisierung der Netzelemente, mit deren Hilfe 6 verschiedene Knotentypen differenziert werden konnten. Obzwar die Allgemeingültigkeit der genannten Strukturkomponenten und damit gleichermaßen der beschriebenen Knotengruppen durch unser Beispielnetz noch keineswegs abgesichert ist, mag aber deutlich geworden sein, daß es dennoch vielversprechend erscheint, jene, bzw. die jeweils konstitutiven Strukturierungen zum Ausgangspunkt weiterführender Analysen zu machen und damit auch eine Überprüfung des in Abb. 57 schematisierten, in seiner Grundtendenz ausgesprochen konzentrisch gefügten Modells der räumlichen Konfiguration der diversen Knotentypen anzustreben.

Abb.56: Übersicht über die verwendeten Strukturierungen

topologische Dimensionierung	aktuelle Dimensionierung km-Entfernung
$S_{11}(v_i) = \sum (1)1^f_{ij}$	
$S_{12}(v_i) = \sum (1)2^f_{ij}$ mit $(1)2^f_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{falls } 0 < (1)2^f_{ij} \leq 3 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$	$S_{21}(v_i) = \sum (2)2^f_{ij}$ mit $(2)2^f_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{falls } 0 < (2)2^f_{ij} \leq 50 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$
$S_{13}(v_i) = \text{Schiefe}(y_{ik})$ mit $y_{ik} = \sum (1)2^{f''}_{ij}$ und $(1)2^{f''}_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{falls } (1)2^f_{ij} = k \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$	
$S_{14}(v_i) = \text{Max}_j \{ (1)2^f_{ij} \}$	$S_{22}(v_i) = \text{Max}_j \{ (2)2^f_{ij} \}$
$S_{15}(v_i) = \sum (1)2^f_{ij}$	$S_{23}(v_i) = \sum (2)2^f_{ij}$
	$S_{24}(v_i) = \sum (2)2^{f''}_{i(k)}$ mit $(2)2^{f''}_{i(k)} = \text{Min}_j \{ (2)2^f_{ij} / v_j \in \mathbb{N}^k \}$
$S_{16}(v_i) = \frac{S_{11}(v_i)}{S_{14}(v_i)}$ mit $d_1 = \text{Max}_i \{ S_{14}(v_i) \}$	$S_{34}(v_i) = \frac{S_{31}(v_i)}{S_{22}(v_i)} \cdot d_2$ mit $d_2 = \text{Max}_i \{ S_{22}(v_i) \}$
$S_{17}(v_i) = S_{11}(v_i) \cdot S_{18}(v_i) \cdot \left( \sum_{j \neq i} S_{11}(v_j) \cdot S_{18}(v_j) \cdot (1)2^{f-2}_{ij} + 4 \cdot S_{11}(v_i) \cdot S_{18}(v_i) \right)$	$S_{35}(v_i) = S_{31}(v_i) \cdot \left( \sum_{j \neq i} S_{31}(v_j) \cdot (2)2^{f-1}_{ij} + 2 \cdot S_{31}(v_i) \cdot \text{Min}_j \{ (2)2^f_{ij} \}^{-1} \right)$
$S_{18}(v_i) = \sum (1)3^f_{ij}$	
$S_{19}(v_i) = - \sum (y_{ik} / \sum_{j \neq i} S_{11}(v_j)) \cdot \text{ld}(y_{ik} / \sum_{j \neq i} S_{11}(v_j))$	
$S_{110}(v_i) = (n \cdot S_{11}(v_i) \cdot \sum S_{11}(v_j) \cdot d_{ij}) / (\sum S_{11}(v_1) \cdot \sum S_{11}(v_j) \cdot d_{ij})$	
vgl. S.26ff $(r)1^F$ mit $r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$ und: $(r)1^f_{ij} = r^d_{ij}$	vgl. S.31ff $(r)2^F$ mit $r = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ und: $(r)2^f_{ij} = \begin{cases} \text{Min}_w \{ \sum r^d_{i_k i_{k+1}} \}, & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases}$

Zugverkehr	Bezeichnung	Literatur (Auswahl)
$S_{31}(v_i) = \sum (3)1^f_{ij}$	Nodalität Valenz Grad	TAAFFE/GAUTHIER (1973,119)
$S_{32}(v_i) = \sum (2)2^f_{ij}$ mit $(2)2^f_{ij} = \begin{cases} S_{31}(v_i) & \text{falls } 0 < (2)2^f_{ij} \leq 50 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$		
$S_{33}(v_i) = \text{Schiefe}(3y_{ik})$ mit $3y_{ik} = \sum (3)2^f_{ij}$ und $(3)2^f_{ij} = \begin{cases} S_{31}(v_i) & \text{falls } (1)2^f_{ik} = \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$		
	Assoziierte Zahl Königszahl Radius	MURACO(1971,390) WERNER(1968,136)
	Shimbel-Index	BRIGGS(1972,19) TAAFFE/GAUTHIER (1973 135)
$(v_j) \cdot (2)2^{f-1}_{ij} +$ $-1)$	Knotenpotential	GOKHMAN/LIPETS(1966,223) ISARD/TUNG(1963) ABLER/ADAMS/GOULD (1972,216)
$S_{36}(v_i) = \sum (3)3^f_{ij}$		GARRISON(1960,132) GAUTHIER(1968,84) STUTZ(1973 63)
$S_{37}(v_i) = - \sum (3)4^f_{ij} \cdot \text{ld}((3)4^f_{ij})$ $S_{38}(v_i) = - \sum (3y_{ik} / \sum S_{31}(v_j)) \cdot \text{ld}(3y_{ik} / \sum S_{31}(v_j))$ $S_{39}(v_i) = \sum m_{ji}$ $S_{310}(v_i) = \text{Max}\{m_{ij}\}$	Knotenentropie	vgl. SEMPLE/WANG(1971)
vgl. S.55ff $(r)3^F$ mit $r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$ und: $(r)3^F = \sum_i (1/\text{Max } S_{r1}(v_i))^z \cdot (r)1^F)^z$	vgl. S.58ff $(r)4^F$ mit $r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$ und: $(r)4^f_{ij} = r^d_{ij} / S_{r1}(v_i)$ Zur Definition von M vgl. S.137ff	

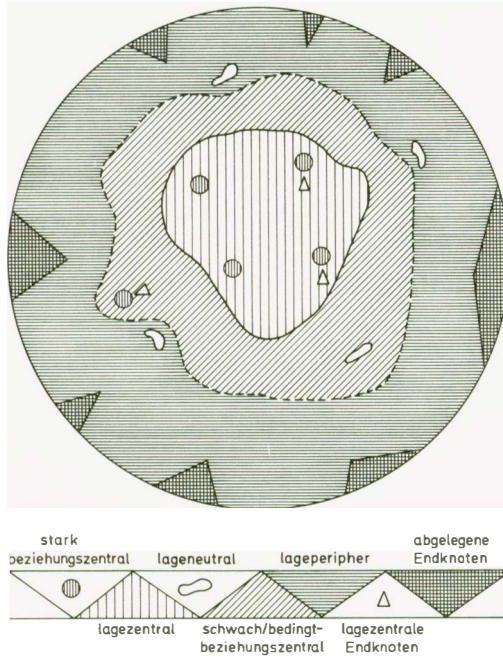


Abb.57:Modell der räumlichen Organisation der verschiedenen Knotentypen

## 5.2.Ausblick

Dieses, vorzüglich auf einer Betrachtung der unterschiedlichen 'Strukturaspekte' beruhende Vorgehen ist allerdings grundsätzlich durch einen anderen Ansatz, welcher wesentlich die eingangs getroffene Netzbewertungsdifferenzierung in Rechnung stellt, zu ergänzen möglich. Eine derartige Betrachtungsweise, die schließlich zu einer — nun aspektunspezifischen — Dimensionskennzeichnung der Knotenelemente führen kann, mag etwa das Ziel verfolgen, topologische wie aktuelle Positionierung derselben zu vergleichen, um hierbei mögliche Überein-

stimmungen bzw. Mißverhältnisse aufzudecken und dazu dienen, durch gezielte Maßnahmen eventuell dargestellte Diskrepanzen zu beseitigen. Soweit derartige vergleichende Gegenüberstellung schon bei einer Behandlung der einzelnen Strukturierungen selbst angezeigt erschien, sind wir hierauf im Vorstehenden bereits eingegangen; gleichzeitig haben wir jedoch darauf hingewiesen, daß aufgrund der insgesamt doch recht großen Ähnlichkeiten der dimensionsspezifischen Strukturkomponenten Entsprechendes nicht über eine Typisierung der Knoten auf der Basis der unfaktorierten Matrix  $S^+$  gelang.

Insofern liegt es nahe, einen anderen, sozusagen allerdings 'gröberen' Weg zu beschreiten, indem, im Grundsatz einem Vorschlag von MURACO (1971) folgend, dimensionsspezifisch die diversen Strukturkomponentenkennzeichnungen auf je einen Wert zusammengezogen, diese Beschreibungen als "generelle Erreichbarkeitsindizes" interpretiert und aus dieser Sicht die Übereinstimmung zwischen topologischer und aktueller Lagebeziehung der einzelnen Knoten getestet werden.

Es wird nicht verkannt, daß ein solcher Ansatz in gewisser Weise nun gerade der in dieser Arbeit vertretenen Auffassung einer 'Netzstruktur' entgegensteht, die ja natürlich entsprechend zurückwirkt auf den Begriff der 'Erreichbarkeit'. Tatsächlich ist 'Erreichbarkeit', ähnlich wie 'Struktur', "... a slippery notion, however; one of those common terms that everyone uses until faced with the problem of defining and measuring it" (GOULD (1969, 64)); Definitionen wie die von STUTZ: "the degree of connection of one node to all other nodes in a network is called the accessibility of that node" (STUTZ (1973, 61)) sind da aber offensichtlich wenig hilfreich, insofern sämtliche der hier vorgestellten Strukturierungen nach eben diesem Prinzip — INGRAM (1971) nennt es "integral accessibility" — erstellt wurden und obengenannter Autor selbst, wenn auch unbeabsichtigt, demonstriert hat, wie sehr so verstandene 'Erreichbarkeit' allein durch Änderung formaler Gewichtsgrößen zu relativieren ist.

Wenn wir dennoch kurz auf diesen Punkt, mehr noch allerdings auf die im Verfolg dieser Gedanken entstehenden Probleme eher meßtheoretischer Natur eingehen, so deswegen, weil trotz der noch aufzuzeigenden Schwierigkeiten gerade dieser Weg über einen umfassenden Erreichbar-

keitsindex sich vielleicht als für praktische Belange zumindest im Prinzip am zugänglichsten erweisen könnte; die eben schon erwähnten Vorbehalte dagegen mögen — sofern erst einmal erkannt<sup>151)</sup> — vermittels geeigneter Berücksichtigung der verschiedenen Strukturaspekte z.T. wieder aufgefangen werden.

Wir wollen also, ausgehend von den dimensionsspezifischen Resultaten der Faktorenanalysen im Abschnitt 3.1., unter der grundlegenden Annahme einer Dekomponierbarkeit der 'Erreichbarkeit' diese selbst als Funktion der vorliegenden Strukturkomponenten betrachten<sup>152)</sup>:

$$5./1. \quad E_r(v_i) = \mathcal{J}(S_{r1}^+(v_i), S_{r2}^+(v_i), S_{r3}^+(v_i)) \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Von den sicherlich vielfältigen Möglichkeiten einer Konkretisierung

---

151) Eben dies muß eigentlich als das Entscheidende hervorgehoben werden; im netztheoretischen Schrifttum zeigt sich sehr deutlich, daß bislang zum Zwecke einer Abschätzung von Knotenerreichbarkeit mehr oder weniger wahllos einfach bestimmte, meist isolierte Strukturierungen Verwendung gefunden haben. Zwar beschreiben z.B. TAAFFE/GAUTHIER(1973, 136) recht detailliert die grundsätzlichen Unterschiede der zur  $S_{15}(v_i)$ - bzw.  $S_{18}(v_i)$ -Kennzeichnung führenden Konstruktionsprinzipien und weisen gleichzeitig auf eine Inversionsbeziehung zwischen diesen beiden Strukturierungen hin; andererseits betrachten sie jedoch beide Ansätze als durchaus gleichwertig und erklären verschiedene, sich am Beispielnetz aufzeigende Differenzen lediglich aus der mehr 'verfahrenstechnischen' Perspektive einer unterschiedlichen Betonung redundanter Knotenverbindungen.

152) Im Rahmen anderer Untersuchungen, z.B. bei Netzvergleichsanalysen, mag eine vorgeschaltete Faktorenanalyse als zu aufwendig erscheinen. In solchen Fällen kann zur Knotenkennzeichnung wohl auch eine durch eine entsprechende Funktionsvorschrift definierte Verknüpfung verschiedener Strukturierungen — statt der Strukturkomponenten — ausreichend sein, allerdings nur, sofern eine implizite Berücksichtigung der 'Mehrdimensionalität' der 'Struktur' gesichert ist. Als geeignet dürften sich hierbei aufgrund der vorliegenden Resultate vermutlich die Ansätze:

$$E_1'(v_i) = \mathcal{J}'(S_{13}(v_i), S_{14}(v_i), S_{18}(v_i)) \quad \text{und}$$

$$E_3'(v_i) = \mathcal{J}''(S_{32}(v_i), S_{22}(v_i), S_{36}(v_i))$$

erweisen; die grundlegenden Überlegungen weiter unten bleiben jedoch unberührt.

dieser Funktionsvorschrift wollen wir einen einfachen Ansatz herausstellen. Hierbei betrachten wir den Ursprung des zugrundeliegenden Faktorraum nach geeigneter Verschiebung<sup>153)</sup> als relativen Bezugspunkt, insofern 'Erreichbarkeit' als durch die Distanz eines jeden im Faktorraum gelegenen und zu einem Netzelement korrespondierenden Punktes zu eben diesem Nullpunkt aufgefaßt und dabei eine interfaktorische — oder 'strukturkomponentielle' — Additivität postuliert werden soll. 'Erreichbarkeit' wird so eine Funktion der Summe komponentenspezifischer Distanzbeiträge zur globalen Distanz eines jeden zu berücksichtigenden Raumpunktes zum Ursprung, wobei sich diese nun aber als von dem jeweils ausgewählten Distanzmodell abhängig erweist.

Als einfachste Fälle ergeben sich:

o Man wähle

$$5./2. \quad E_r^1(v_i) = \sum_{j=1}^3 S_{rj}^+(v_i)^{154)} \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Hierbei wird angenommen, daß sich die 'Erreichbarkeit' einfach additiv aus den jeweiligen Komponentenanteilen zusammensetzt; die Analogie zur orthogonalen City-Block-Metrik (Minkowski-Konstante 1) wird deutlich, vgl. Abb. 58.

o Man setze<sup>155)</sup>:

$$5./3. \quad E_r^2(v_i) = \left( \sum_{j_1=1}^3 \sum_{j_2=1}^3 S_{rj_1}^+(v_i) \cdot S_{rj_2}^+(v_i) \cdot C_{rj_1/rj_2}^+ \right)^{1/2} \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

153) Um die Verhältnisse anschaulicher zu gestalten, wurde der Ursprung derart verschoben, daß sämtliche Faktorenwerte positiv wurden; wegen erneuter Standardisierung hat diese Koordinatentransformation keinen Einfluß auf die Ergebnisse.

154) Wegen der negativen Interpretationsrichtung der Primärlagenkomponente ist zuvor eine Spiegelung derselben vorzunehmen.

155) Zum Verständnis und zur Ableitung dieses Sachverhaltes sei hier an den Kosinussatz erinnert.



Da  $C_{rj_1/rj_2}^+$  dem Kosinus des zwischen beiden Achsen bestehenden Winkels entspricht, wird hier die Distanz eines Raumpunktes zum Ursprung direkt in Entsprechung unseres euklidischen Verständnisses ausgedrückt (vgl. Abb. 58; Minkowski-Konstante 2).

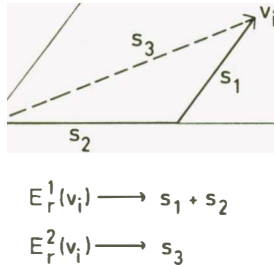


Abb. 58: Schema zur Konstruktion der Erreichbarkeitsindizes

Beiden Ansätzen ist gemein, daß sie eine grundsätzliche Gleichbedeutbarkeit sämtlicher beteiligter Faktoren voraussetzen. Demgegenüber sind natürlich auch Verfahren denkbar, bei denen den Komponenten entsprechend einem postulierten Grad der Einflußnahme auf die Erreichbarkeitsverhältnisse charakteristische Gewichte zugeordnet werden. Da zu diesem Fragenkomplex bislang keinerlei Untersuchungen vorliegen, verbleiben, will man nicht auf eine beliebig gesetztes Außenkriterium zurückgreifen, lediglich die zugehörigen Eigenwerte  $\lambda_{rj}$  der Faktorlösungen als Gewichtungsgrößen<sup>156)</sup>. In diesem Sinne wollen

156) Zweifellos ist die Größe der Eigenwerte und damit die angenommene Bedeutsamkeit der Strukturkomponenten als wesentlich durch die Anzahl der auf den entsprechenden Faktoren absolut hoch ladenden Variablen bestimmt anzusehen; man müßte also sicher sein, weitgehend sämtliche mögliche sinnvolle Strukturierungen in die Untersuchung miteinbezogen zu haben. Hierfür jedoch sind weitere Arbeiten notwendig.

Andererseits muß aber auch hinsichtlich der beiden genannten Ansätze eingewendet werden, daß jedenfalls im topologischen Kontext wegen der noch nicht hinlänglich geklärt erscheinenden Bedeutung der Komponente  $S_{13}^+(v_1)$  die Annahme eines jeweils gleichgewichtigen Beitrags eines jeden Faktors ebenfalls nicht unproblematisch sein dürfte.

wir — z.B. in Erweiterung von 5./2. — als zusätzliche Möglichkeit die Vorschrift<sup>157)</sup>

$$5./4. \quad E_r^3(v_i) = \sum_{j=1}^3 \lambda_{rj} \cdot S_{rj}^+(v_i) \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

erwähnen<sup>158)</sup>.

Durch Vergleich der durch diese Ansätze generierten Raumverteilungsmuster konnten nun infolge der unterschiedlichen Annahmen teilweise erhebliche Differenzen festgestellt werden, die nochmals die Problematik derartiger Erreichbarkeitsbeschreibungen, zumindest jedoch deutlich deren bei einer Interpretation ständig zu berücksichtigenden Grenzen aufzeigen: hinsichtlich der aktuellen Dimensionierung läßt sich nachweisen, daß z.B.  $E_3^2(v_i)$  den mehrkernigen Charakter des Netzes betont, während  $E_3^3(v_i)$  eine besondere Affinität zu  $S_{31}(v_i)$  aufweist; letzteres ist sicher als Folge der weitaus stärkeren Gewichtung dieses Faktors anzusehen. Demgegenüber werden durch  $E_3^1(v_i)$  — offensichtlich als Resultat einer vergleichsweise bedeutsamen Einflußnahme von  $S_{32}^+(v_i)$  — noch Knoten mit zentraler Primärlage wesentlich mehr hervorgehoben, als unter  $E_3^2(v_i)$ . Ähnlich verhält es sich im topologischen Fall, wo auch gerade für  $E_1^2(v_i)$  die Komponente der Sekundärlage übermäßig betont wird; insgesamt erhalten wir jedoch hier in allen Fällen ein ausgesprochen konzentrisches Muster eines Kern-Rand-Erreichbar-

---

157) Entsprechendes ließe sich natürlich auch hinsichtlich des Ansatzes 5./3. formulieren.

158) MURACO (1971) hat diesen Ansatz gewählt; die gleichfalls von ihm vorher durchgeführte Faktorenanalyse basierte jedoch lediglich auf 7 Indizes, die zudem von der Dimensionierungsseite her nicht getrennt wurden. Dies führte dann zu einer Kennzeichnung, die u.E. zumindest aus theoretischer Sicht als ein Artefakt zu gelten hat, zumal offensichtlich überdies keine Berücksichtigung, d.h. hier 'Umpolung' negativ zu interpretierender Faktoren stattfand.

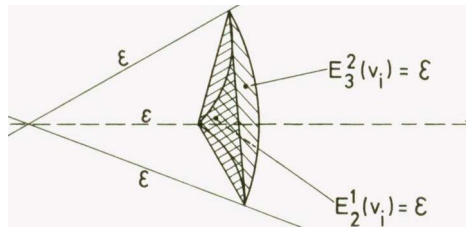
keitsgefälles<sup>159)</sup>.

Wie schon angedeutet, fehlt jedoch leider ein objektives Kriterium,

159) Die Veränderungen der Erreichbarkeitskennzeichnung, die beim Übergang von  $E_3^1(v_i)$  zu  $E_3^2(v_i)$  auftreten — insbesondere eine Bedeutungsabnahme der Knoten mit günstiger Primärlage und eine Bedeutungszunahme bei solchen Elementen, die eine besonders bevorzugte Sekundärlage oder/und hohe 'Bedeutung' aufweisen — sind recht charakteristischer Natur und leicht als Ergebnis der jeweiligen Modellannahmen zu erklären.

Man vergleiche etwa verschiedene Punkte im Faktorraum mit gleichem  $E_3^1(v_i)$ -Wert  $\xi$ , welcher sich jedoch auf unterschiedliche

Weise aus den komponentenspezifischen Beiträgen der Faktoren zusammensetzen möge. Als geometrischen Ort solcher Raumpunkte erhält man dann ein Dreieck, dessen Ecken auf den Koordinatenachsen gelegen sind. Da andererseits nun der geometrische Ort sämtlicher



Punkte mit  $E_3^2(v_i) = \xi$  als ein schiefes Kugeldreieck zu denken ist, dessen Ecken mit denen des anderen auf den Achsen zusammenfallen, werden natürlich bei dieser zweiten Kennzeichnung solche Knoten relativ bevorzugt, die in der Nähe einer der Ecken der Dreiecke liegen. Hinzu kommt, und das begründet die spezifische Betonung der dritten Komponente besonders bei  $E_3^2(v_i)$ , daß es auch auf die Faktorkorrelation, d.h. den Winkel zwischen den Achsen ankommt; in unserem Fall führt der geringe Wert  $C_{32/33}^+$  gerade zu der besonderen Hervorhebung primärrandlich gelegener, jedoch von der Sekundärlage her besonders gut erreichbarer Knotenelemente.

nach welchem man sich eindeutig für einen 'wahren' Distanzansatz entscheiden könnte und es ist insbesondere völlig ungeklärt, ob für beide Dimensionierungen zur Quantifizierung der 'Erreichbarkeit' notwenigerweise die gleichen Modellannahmen zugrunde zu legen sind. Eine derartige Entscheidung erweist sich aber im höchsten Maße bedeutsam, wie eine Gegenüberstellung der enorm differierenden Korrelationswerte  $C_{E_1^3/E_3^3} = 0.814$ ,  $C_{E_1^1/E_3^1} = 0.600$  bzw.  $C_{E_1^2/E_3^2} = 0.345$  offenbart. Diese Feststellung allerdings, daß in einer auf die Anpassung aktueller Netzbezüge an die topologischen Gegebenheiten gerichteten Betrachtungsweise sich jene als je nach Ansatz zu etwa 66%, 36% oder auch nur 12% im statistischen Sinne 'erklären' lassen, erscheint uns — wenn auch sozusagen ex negativo — durchaus wertvoll; sie belegt doch eindrücklich die enorme Bedeutung, die offensichtlich bei Bemühungen um eine verbesserte Angleichung dimensionsbezogener Erreichbarkeitsverhältnisse der jeweils in der Praxis zugrundeliegenden Fragestellung, d.h. insbesondere einer Entscheidung hinsichtlich einer Bevorzugung bestimmter Strukturaspekte, zukommt und legt andererseits den Schluß nahe, daß auf dem hier explizierten Wege ohne weitergehende Untersuchungen nur schwerlich ein sinnvoller, jedoch verallgemeinerungsfähiger spezifischer Ansatz zur Erreichbarkeitsbeschreibung gegeben werden kann<sup>160)</sup>.

---

160) Gemeint ist, daß wir uns — völlig anders als bezüglich der Strukturierungen und Strukturkomponenten — nicht veranlaßt sehen können, eines der hier erwähnten Verfahren herauszuheben und für weitere Arbeiten zu empfehlen. Das bedeutet nicht, daß diese Ansätze nicht dennoch, jeder für sich, durchaus plausible und beachtenswerte Resultate liefern würden. Betrachtet man z.B. die Größe  $E_3^1(v_i)$ , so zeigt die Residuendarstellung (bei Deklaration von  $E_3^1(v_i)$  zur abhängigen Variablen) in Abb. 59<sup>+</sup> sehr deutlich die relative Vorrangstellung des Stuttgarter Raumes und hebt darüberhinaus sowohl das westlich von München gelegene Gebiet wie auch einen Teil des nord- und nordöstlichen Netzbereichs hervor — Netzteile, die schon bei der bisherigen Analyse in entsprechendem Sinne Beachtung fanden.

Es liegt nahe, dieses spezifische Raumverteilungsmuster der Residuen mithilfe zusätzlicher unabhängiger Variablen aufzuarbeiten und durch diese den Erklärungssatz der aktuellen Erreichbarkeitsbeschreibung anzuheben zu suchen; hierzu bieten sich die in Abschnitt 4 eingeführten sozialökonomischen Maße  $W_j(v_i)$  geradezu an. Allein, man stellt fest, daß hierdurch weder die charakteristische Residuenkonfiguration entscheidend verändert, noch das Bestimmtheitsmaß (jetzt 50.6%) beträchtlich erhöht wird. Als Regres-



fassung nicht nur wenig sinnvoll — da die Beziehungen zwischen den einzelnen Verkehrsnetzen unberücksichtigt bleiben mußten — sondern überhaupt allgemein kaum möglich sein, weil  $\Gamma_{VA}$ . ja jeweils unterschiedliche Knotenmengen zugrundeliegen. Damit wiederum kann natürlich möglicherweise entscheidender Informationsverlust eintreten, welcher allerdings über einen anderen Ansatz zu verringern möglich sein könnte: Man bilde zunächst

$$5./6. \quad V' = \bigcup_{i=1}^S V_i$$

sowie

$$5./7. \quad R' = \bigcup_{i=1}^S R_i \quad R'' \quad \text{mit } R'' \subseteq V_i \times V_j \quad \text{für } i \neq j^{161)}$$

und betrachte schließlich den Graph

$$5./8. \quad {}^+\Gamma = [V', R']$$

Bei dieser Art der Erfassung der Überlagerung diverser partieller Teilsystems des Gesamtverkehrssystems geht der Graph  ${}^+\Gamma$  nun im allgemeinen einer Reihe von bislang vorausgesetzter Eigenschaften verlustig, so etwa Planarität, Einkomponentigkeit etc.. Entscheidender dürfte jedoch wohl sein, daß — abgesehen vielleicht von einer rein topologischen Betrachtungsweise — eine alternative Dimensionierung und erst recht die daraus abzuleitenden Strukturierungen mit erheblichen interpretatorischen Problemen belastet sind.

Wenn es dagegen gelänge, durch spezifische Methoden die zuletzt ange-deuteten Schwierigkeiten in den Griff zu bekommen, wäre man einem umfassenden Modell zu Beschreibung des Verkehrsraumes ein großes Stück näher gekommen.

---

161) Damit beschreibt  $R'$  sämtliche Beziehungen, die zwischen den einer je spezifischen sowie jeweils verschiedenen Verkehrsart(en) zugeordneten Knotenelementen bestehen.

6. Anhang: Theoretische Ausführungen und Ergänzungen<sup>162)</sup>

6.1. Zur Bestimmung von  $(r)_2^F$

Da es sich bei  $\Gamma$  um ein sehr umfangreiches Netz handelt, war es nicht möglich, die aus  $(r)_2^F$  abgeleiteten Strukturierungen direkt aus dem Graph zu entnehmen, ebenfalls nicht aus  $(r)_1^F$ . Damit bestand die Notwendigkeit,  $(r)_2^F$  explizit zu berechnen.

In der geographischen Literatur wird — neben einer Bestimmung durch reine 'Inspektion' des Netzes (vgl. HAGGETT/CHORLEY(1969,43)) — für  $r = 1$  in diesem Zusammenhang häufig auf die Potenzierung von  $(1)_1^F$  verwiesen, bei der sich die gesuchte Matrix sozusagen als 'Nebenprodukt' gewinnen läßt (vgl. HAGGETT/CHORLEY(1969,36), TAAFFE/GAUTHIER(1973,135)). Dieses Verfahren beruht auf

Satz 1: Die Elemente der Matrix  $((1)_1^F)^z = ((1)_1^f_{ij}^{(z)})$  geben die Anzahl möglicher Kantenfolgen zwischen  $v_i$  und  $v_j$  der Länge  $z$  an.

Beweis: Für  $z = 1$  ist die Behauptung nach Definition von  $(1)_1^F$  trivialerweise richtig.

Nimmt man an, daß die Aussage für  $z = z' - 1$  gültig sei, so folgt der Satz aus der Beziehung

6.1./1.  $(1)_1^f_{ij}^{(z')} = \sum_{k=1}^n (1)_1^f_{ik}^{(z'-1)} \cdot (1)_1^f_{kj}$

162) In diesem Anhang werden verschiedentlich bestimmte (mathematische Sätze verwendet. Es wurde versucht, da dies in der geographischen Literatur bisher nur in Einzelfällen geschehen ist, so weit als möglich die entsprechenden Beweise ebenfalls zuzufügen, sofern diese nicht zu umfangreich sind oder zu sehr auf spezielle mathematische Voraussetzungen zurückgreifen. In diesen Fällen ist auf die relevante Literatur verwiesen. Sofern nicht explizit anders vermerkt, ist bei der Betrachtung von Graphen bzw. der zugehörigen Adjazenzmatrix in diesen Sätzen immer von Netzen in dem in Abschnitt 1 festgelegten Sinne auszugehen. Damit ist aber nicht ausgeschlossen, daß jene gelegentlich bei ausführlicherer Formulierung etwa der Voraussetzungen allgemeinere Gültigkeit haben können, als in unserem Zusammenhang angegeben.

da  $(1)_1^F k_j = 1$  genau dann, wenn  $v_k$  und  $v_j$  direkt verbunden sind.

Auf die Potenzen  $((1)_1^F)^z$  selbst wird noch an anderer Stelle zurückzukommen sein (vgl. Abschnitt 6.2.);  $(1)_2^F$  gewinnt man nun dadurch, daß sukzessiv bis zu  $z = d_1$  (vgl. 2.2./11.) für jeden Exponenten die in  $((1)_1^F)^z$  neu hinzugekommenen, erstmalig von 0 verschiedenen Elemente durch den Wert von  $z$  ersetzt werden, da diese Größe ja dann an-

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

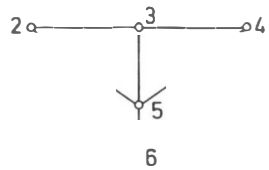


Abb.6o: Beispiel zu Satz 1

$$((1)_1^F)^2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 4 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 4 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \longrightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 2 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$((1)_1^F)^3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 4 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 6 & 2 & 6 & 1 \\ 4 & 6 & 4 & 6 & 7 & 2 \\ 1 & 2 & 6 & 2 & 6 & 1 \\ 2 & 6 & 7 & 6 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 2 & 1 & 4 & 0 \end{pmatrix} \longrightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

gibt, in wieviel Schritten überhaupt zwischen je zwei betrachteten Knoten eine Verbindung herzustellen ist (vgl. Abb.6o).

Auch diese Methode ist, so praktikabel sie für kleinere Netze erscheint, hinsichtlich umfangreicherer ausgesprochen 'unwirtschaftlich' und im übrigen für die aktuelle Dimensionierung  $r = 2$  in dieser Form nicht verwendbar. Gerade auch aus diesem Grunde sowie der Möglichkeit einer



Reihe rechentechnischer Vereinfachungen<sup>163)</sup> im Falle der recht schwach besetzten Matrix  $(r)_1^F$  wurde von uns der im folgenden beschriebene, für beide Dimensionierungen gleichermaßen verwendbare Algorithmus benutzt<sup>164)</sup>. Bei diesem erweist es sich als sinnvoll, nicht von  $(r)_1^F$  direkt, sondern einer hieraus abgeleiteten Matrix  $(r)_1^{\bar{F}}$  auszugehen, die durch Ersetzen sämtlicher Elemente mit dem Wert 0 durch eine Zahl, die größer ist als die Summe aller Matrixelemente, entsteht<sup>165)</sup>; ausgenommen hiervon werden allerdings die Diagonalelemente. Diese Matrix  $(r)_1^{\bar{F}}$  wird nun schrittweise zur Matrix  $(r)_1^{\bar{F}^{(n)}}$  mit  $n = |V|$  umgeformt, wobei für beliebiges  $k$ <sup>166)</sup> mit  $1 \leq k \leq n$  gelten

---

163) Für  $r = 3$  wäre z.B. eine Abänderung der Matrixmultiplikationsvorschrift nötig. Ersetzt man auch hier (vgl. oben) den Wert der außerhalb der Diagonalen befindlichen Nullelemente durch sehr große Zahlen, so sind die Verknüpfungen  $\circ$  und  $\oplus$  durch

$$a \circ b = a + b \quad \text{bzw.} \quad a \oplus b = \text{Min} \{a, b\}$$

einzuführen und die Produktelemente zweier Matrizen A und B damit durch

$$c_{ij} = \oplus \sum_k a_{ik} \circ b_{kj} = \text{Min}_k \{a_{ik} + b_{kj}\}$$

definiert. Man vgl. das Beispiel bei TAAFFE/GAUTHIER (1973, 138); der Rechenaufwand ist allerdings auch hierbei beträchtlich.

164) Dieses Verfahren — eine Variante des 'Cascade-Algorithmus', der der Gruppe der Matrixalgorithmen zuzuordnen ist — findet vorzüglich im Bereich der Wirtschaftswissenschaften Verwendung. Für weitergehende Details vgl. etwa DOMSCHKE (1972, 10 und 34), DÜRFLENER/MÜHLBACHER (1972, 71) und HAGGETT/CHORLEY (1969, 201).

165) Hierauf kann verzichtet werden, wenn in dem zugehörigen Rechenprogramm entsprechende zusätzliche logische Abfragen eingebaut werden. Generell wird damit aber die Vorschrift 6.1./2. umständlicher, da zusätzliche Fälle unterschieden werden müssen. Im Falle sehr schwach besetzter Matrizen erscheint dies jedoch hinsichtlich einer Rechenzeiterparnis angebracht. Zusätzliche Einsparungen lassen sich darüberhinaus z.B. durch eine entsprechende Berücksichtigung der Symmetrie von  $(1)_1^F$  erreichen; man vgl. hierzu auch ELMAGHRABY (1970).

166) Formal setzen wir fest:

$$(r)_1^{\bar{F}} = (r)_1^{\bar{F}^{(0)}}$$

soll

$$6.1./1. \quad (r)_1 \bar{f}_{ij}^{(k)} \begin{cases} (r)_1 \bar{f}_{ij}^{(k-1)}, & \text{falls } \begin{pmatrix} i & j \\ i & k \\ j & k \end{pmatrix} \vee \\ \text{Min} \{ (r)_1 \bar{f}_{ij}^{(k-1)}, \\ (r)_1 \bar{f}_{ik}^{(k-1)} + (r)_1 \bar{f}_{kj}^{(k-1)} \} & \text{sonst} \end{cases}$$

Mit diesem Ansatz gilt dann

Satz 2: Es ist

$$6.1./3. \quad (r)_1 \bar{f}^{(n)} = (r)_2 \bar{f}$$

Diese Behauptung ergibt sich aus folgendem

Satz 2: Es sei  $\omega_{ij}^x = (v_i = v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_t} = v_j)$  mit  $t \geq 2$  ein kürzester Weg zwischen  $v_i$  und  $v_j$ . Dann gilt:

$$6.1./4. \quad (r)_1 \bar{f}_{ij}^{(k)} = (r)_2 f_{ij} \quad \text{für } k = \text{Max} \{ i_s \}^{167)} \\ 1 < s < t$$

Beweis: Für  $k = 1$  ist die Behauptung sicherlich richtig, da wegen

$$\omega_{ij}^x = (v_i, v_1, v_j) \\ (r)_1 \bar{f}_{i1} = (r)_2 f_{i1} \\ (r)_1 \bar{f}_{1j} = (r)_2 f_{1j}$$

auch

$$(r)_1 \bar{f}_{ij}^{(1)} = (r)_1 \bar{f}_{i1} + (r)_1 \bar{f}_{1j} = (r)_2 f_{ij}$$

gilt. Nehmen wir nun an, daß die Behauptung 6.1./4. für  $k = k' - 1$

167) Dies bedeutet: die Länge des kürzesten Weges zwischen je zwei Knoten wird schon in dem Schritt der Matrixumformung erreicht, der dem größten Knotenindex aller 'Zwischenknoten' zwischen ihnen auf einem kürzesten Weg entspricht.

richtig sei. Man betrachte

$$\mathcal{W}_{ij}^x = (v_{i_1} = v_{i_1}, \dots, v_{i_1}, v_k, v_{i_m}, \dots, v_{i_t} = v_j) \text{ mit } k' = \text{Max} \{i_s\}_{1 < s < t}$$

Hierbei ist nach 6.1./2. lediglich noch der Fall

$$({}_r)_1 \bar{f}_{ij}^{(k')} = ({}_r)_1 \bar{f}_{ik'}^{(k'-1)} + ({}_r)_1 \bar{f}_{jk'}^{(k'-1)} \text{ interessant. Wegen}$$

$k' \geq \text{Max} \{i_s\}_{1 < s < l}$  sowie  $k' \geq \text{Max} \{i_s\}_{m < s < t}$  ist aber sowohl

$$({}_r)_1 \bar{f}_{ik'}^{(k'-1)} = ({}_r)_2 f_{ik'} \text{, als auch } ({}_r)_1 \bar{f}_{jk'}^{(k'-1)} = ({}_r)_s f_{k'j} \text{ und}$$

damit, weil  $\mathcal{W}_{ij}^x$  als kürzester Weg über  $v_k$ , vorausgesetzt wurde, ebenfalls

$$({}_r)_1 \bar{f}_{ij}^{(k')} = ({}_r)_2 f_{ik'} + ({}_r)_2 f_{k'j} = ({}_r)_2 f_{ij} \text{ .}$$

Da nun für beliebige Knotenpaare immer  $\text{Max} \{i_s\} \leq n$  gilt, ist damit

$({}_r)_2^F$  spätestens im n-ten Schritt dieses Verfahrens erreicht.

Zur Demonstration vgl. Abb.61 sowie HAGGETT/CHORLEY(1969,200).

$$({}_1)_1^F = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad ({}_1)_1 \bar{F} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & + & + & + \\ 1 & 0 & + & 1 & + \\ + & + & 0 & 1 & + \\ + & 1 & 1 & 0 & 1 \\ + & + & + & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ (mit '+' } \geq 9 \text{)}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & + & + & + \\ 1 & 0 & + & 1 & + \\ + & + & 0 & 1 & + \\ + & 1 & 1 & 0 & 1 \\ + & + & + & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 & + & 2 & + \\ 1 & 0 & + & 1 & + \\ + & + & 0 & 1 & + \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ + & + & + & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 & + & 2 & + \\ 1 & 0 & + & 1 & + \\ + & + & 0 & 1 & + \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ + & + & + & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 & 3 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 2 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

k = 1                      k = 2                      k = 3                      k = 4

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 3 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 2 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = ({}_1)_2^F$$

k = 5

3      4      5  
Abb.61: Beispiel zu Satz 2

6.2. Zur Bestimmung von  $(r)3^F$

Im Abschnitt 2.3.1. wurde die Frage aufgeworfen, welche Werte in dem die direkten und indirekten Knotenbeziehungen berücksichtigenden Funktionalansatz

$$6.2./1. \quad (r)3^F z_1^{z_2} = \sum_{z=1}^{z_1} (z_2 \cdot (r)1^F)^z \quad (0 < z_2 < 1) \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

den Größen  $z_1$  und  $z_2$  sinnvoll zuzuordnen seien. Hierzu wurden folgende Überlegungen angestellt.

Betrachten wir zunächst den Parameter  $z_1$ . In der Literatur finden sich diesbezüglich drei Vorschläge:

- (1) Man setze  $z_1 = z^+ = d_1$  (PITTS(1965), CARTER(1969), ABLER/ADAMS/GOULD(1972), GAUTHIER(1968), TAAFFE/GAUTHIER(1973)).
- (2) Man setze  $z_1 = z^{++} = \text{Min} \{ z_1' /_{i,j} (r)3^F_{ij}(z_1') \neq 0 \}$  (WERNER(1968), GARRISON(1960), TINKLER(1972a)).
- (3) Man setze  $z_1 = z^{+++} = \infty$  (GARRISON(1965), NYSTUEN/DACEY(1961), LEUSMANN(1974b)).

Zu (1) : Dieser Ansatz, bei dem als höchste Potenz der Netzdurchmesser angegeben wird, ist sicherlich rechentechnisch am einfachsten und liefert zunächst auch eine einleuchtende Interpretation: für  $d_1$  ist gerade die Grenze erreicht, für die es möglich wird, von jedem Knoten aus mindestens einen Weg zu jedem anderen Netzelement zu berücksichtigen, was noch für  $d_1 - 1$  für Peripherieknoten nicht zutreffen konnte; für jeden Weg oder jede Kantenfolge einer Länge  $> d_1$  erhält man andererseits für jeden Knoten redundante Interaktionsinformation. Aber genau hier liegt das Problem: Redundanz<sup>168)</sup> enthält

---

168) Auf die Bedeutung der redundanten Information weisen besonders TAAFFE/GAUTHIER(1973, 131) hin. Eine Möglichkeit zur Berücksichtigung lediglich nicht-redundanter Verbindungen versuchen ROSS/HARARY(1952) zu geben, doch ist dies Verfahren bislang nicht weiter erprobt worden.

schon eine beliebige Matrixpotenz mit  $z > 1$ , doch geht diese in sehr unterschiedlicher Weise in die Elemente ein, insofern der Beitrag zum Interaktionsmaß z.B. für zentrumsnahe Knoten wesentlich größer ist, als für abgelegene Elemente. So ist TINKLER's Bemerkung: "The use of the topological diameter is quite arbitrary as indeed is the more exact requirement that the solution matrix (vgl. weiter unten) be reached before powering is stopped..." (TINKLER(1972a, 27)) in diesem Kontext nur zu unterstreichen und damit zu begründen, daß insbesondere hinsichtlich peripherer Knoten relativ zu den übrigen noch keine ausgeglichene Bewertungsbeschreibung im Sinne der Redundanzberücksichtigung generiert zu sein braucht.

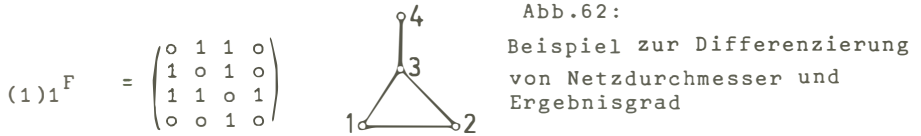
Zu (2) : Die in der eben wiedergegebenen kritischen Äußerung TINKLER's enthaltene Angabe, mit der Beendigung der Potenzierung zu warten, bis die sogenannte "solution matrix" erreicht sei, entspricht inhaltlich dem zweiten oben genannten Vorschlag. Unter dieser "Ergebnismatrix" ist diejenige zu verstehen, die infolge fortgesetzter Potenzierung lediglich nicht-verschwindende Elemente enthält; der hierzu notwendige kleinste Exponent, eben  $z^{++}$ , soll entsprechend als "Ergebnisgrad"<sup>169)</sup> ("solution time") bezeichnet werden<sup>170)</sup>. Diesem Ansatz liegt der Gedanke zugrunde, daß erst von  $z^{++}$  ab garantiert ist, daß jeder Knoten gleichzeitig durch dieselbe Schrittlänge von sämtlichen anderen Knoten irgendwie, jedoch mindestens einmal erreicht werden kann. Dies ist zweifellos richtig, und für  $z^+$  etwa keineswegs immer erfüllt, wie das Beispiel in Abb. 62 zeigt. Für dieses Netz ist demnach  $d_1 = 2$ , der Ergebnisgrad jedoch  $z^{++} = 4$ , womit zusätzlich unterstrichen wird,

---

169) VETTER(1970, 50) bezeichnet ihn als 'Lösungszeit'.

170) Zu diesen Begriffen vgl. auch WERNER(1968), GARRISON(1960), TINKLER(1972a), ALAO(1970). Gelegentlich finden sich diese Bezeichnungen auch für die Matrix  $(r)_3 F_1^{d_1}$  (ABLER/ADAMS/GOULD(1972)) oder die Matrix  $(r)_1 F_1^{d_1}$  (PITTS(1965)).

daß im Gegensatz zu den Angaben bei VETTER(1970,50), GARRISON/MARBLE(1965,63) oder BAKER(1974,52) Ergebnisgrad und topologischer Netzdurchmesser zwei verschiedene, voneinander



$( (1)_1^F )^2 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad ( (1)_1^F )^3 = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 4 & 1 \\ 3 & 2 & 4 & 1 \\ 4 & 4 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 0 \end{pmatrix} \quad ( (1)_1^F )^4 = \begin{pmatrix} 7 & 6 & 6 & 4 \\ 6 & 7 & 6 & 4 \\ 6 & 6 & 11 & 2 \\ 4 & 4 & 2 & 3 \end{pmatrix}$

unabhängige Größen sind, für die die Beziehung  $d_1 \leq z^{++}$  gilt<sup>171)</sup>. Dies wird weiterhin dadurch deutlich, daß die Existenz von  $z^{++}$  in dem eben eingeführten Sinne für beliebige Netze keineswegs gesichert ist, was gelegentlich wohl übersehen wurde (man vgl. etwa HAGGETT/CHORLEY(1969,41), VETTER(1970,50), GARRISON(1960,130), GARRISON/MARBLE(1965,63)).

Matrizentheoretisch kommt es darauf an, eine zusätzliche Annahme über die "Zyklizität" von  $(r)_1^F$  zu machen. Wir definieren:

Def. 1: Eine Matrix A heißt zyklisch vom Grade l genau dann, wenn es eine Permutation  $\mathcal{G}$  gibt, mit der

$$\mathcal{G} \cdot A \cdot \mathcal{G}^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & A_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & A_{l-1} & \dots \\ A_1 & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

171) Es ist dies jedoch auch z.T. eine Frage der Terminologie: wird etwa  $(1)_3^F$  als Lösungsmatrix bezeichnet, so sind dann, allerdings trivialerweise, Ergebnisgrad und Netzdurchmesser identisch.

gilt mit quadratischen Nullmatrizen in der Diagonalen und beliebigen Matrizen  $A_i$ .

Mit dieser Definition (vgl. auch z.B. SOLOW(1952,35) und HERSTEIN(1952,686)) gelten zunächst folgende Sätze:

Satz 3: Das Basisfunktional  $(r)_1^F$  eines ungerichteten Netzes ist höchstens zyklisch vom Grade 2.

Beweis: Die Behauptung folgt einfach aus der Symmetrie ( $r = 1$ ) bzw. der symmetrischen Besetzung ( $r = 2, 3$ ) mit nicht-verschwindenden Elementen der Matrix.

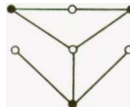
Satz 4: Das Basisfunktional  $(r)_1^F$  eines ungerichteten Netzes ist zyklisch vom Grade 1 oder primitiv<sup>172)</sup> genau dann, wenn der zugehörige Graph mindestens einen Kreis mit ungerader Knotenzahl enthält.

Beweis: Wir nennen einen Graphen "paar", wenn sich die zugrundeliegende Knotenmenge  $V$  so in zwei disjunkte Teilmengen  $V^1$  und  $V^2$  aufspalten läßt, daß jede Kante Knoten aus jeweils beiden Mengen verbindet<sup>173)</sup>.

Nun sei zunächst  $(r)_1^F$  primitiv. Falls es sich bei dem Graph um einen Baum (d.h. ein kreisloses Netz) oder einen solchen mit nur 'geraden' Kreisen handelte, so wäre er in beiden Fällen paar<sup>174)</sup> und  $(r)_1^F$  ließe sich

172) Vgl. etwa HERSTEIN(1952,685)

173) Vgl. z.B. DÖRFLER/MÜHLBACHER(1971,34). Als Beispiel möge etwa folgendes Netz dienen:



174) Man braucht lediglich, ausgehend von einem beliebigen Knoten, die disjunkten Mengen der Netzelemente mit 'gerader' und 'ungerader' Distanz zu diesem bilden und zu zeigen, daß innerhalb dieser Mengen zwei beliebige Knoten nicht durch eine Kante verbunden werden können. Zum exakten Nachweis dieser einleuchtenden Tatsache vgl. DÖRFLER/MÜHLBACHER(1972,34).

mittels einer Umnummerierung in die Form

$$\sigma_{(r)1}^F \cdot \sigma^{-1} = \begin{array}{cc} \bigcirc & v^1 \\ \text{-----} & | \text{-----} \\ & \bigcirc & v^2 \end{array}$$

bringen. Dies aber wäre nach Definition 1 ein Widerspruch zur Voraussetzung.

Das Netz enthalte jetzt einen 'ungeraden' Kreis. Wenn nun  $(r)1^F$  nicht primitiv wäre, müßte der Graph paar sein, d.h. in dem betrachteten Kreis müßten abwechselnd Elemente der einen bzw. der anderen Knotenteilmenge aufeinander folgen. Dies ist aber ersichtlich nur bei einer geraden Anzahl von Kreisknoten möglich, was ebenfalls zu einem Widerspruch führt.

Nehmen wir nun unsere Überlegungen hinsichtlich der Größe  $z^{++}$  wieder auf, so läßt sich festhalten, daß ein Ergebnisgrad genau dann existiert, falls der Graph mindestens einen Kreis mit ungerader Knotenzahl enthält:

Satz 5: Das Basisfunktional  $(r)1^F$  eines ungerichteten Netzes ist primitiv genau dann, wenn es eine kleinste natürliche Zahl  $z^{++} \neq 0$  gibt, mit der

$$((r)1^F)^{z^{++}} > 0$$

wird; diese Zahl heie Ergebnisgrad.

Beweis: Setzen wir die Existenz eines Ergebnisgrades voraus, dann ist mit  $(r)1_{ii}^{f(z^{++})}$  auch  $(r)1_{ii}^{f(z^{++}+1)}$  von 0 verschieden. Wäre andererseits  $(r)1^F$  nicht primitiv, so könnte dagegen  $(r)1_{ii}^{f(z)}$  höchstens für gerade Werte



von  $z$  von  $o$  verschieden sein.

Der Beweis der Umkehrung ist allerdings relativ umfangreich bzw. erfordert Rückgriffe auf einige matrizentheoretische Voraussetzungen und soll so hier nicht ausgeführt werden<sup>175)</sup>; man vgl. hierzu etwa FROBENIUS(1912,463)<sup>176)</sup>.

Dieses Ergebnis läßt sich also jetzt auch so formulieren, daß man das einem Baum oder nur 'gerade' Kreise enthaltene Netz zugeordnete Basisfunktional  $(r)_1^F$  durch Potenzieren nicht auf eine Form bringen kann, die keine verschwindenden Elemente mehr enthält. Es sei angemerkt, daß eine wesentliche Voraussetzung für den eben dargestellten Sachverhalt neben der Forderung des Zusammenhangs des Netzes die formale Setzung  $(r)_1^{f_{ii}} = o$  ist. Es läßt sich leicht zeigen, daß, falls auch nur für einen Index  $i$   $(r)_1^{f_{ii}} \neq o$  gälte, ein Ergebnisgrad immer existiert<sup>177)</sup>. Diese Tatsache wird gelegentlich ausgenutzt, indem z.B. die Diagonalelemente von  $(1)_1^F$  sämtlich auf den Wert 1 gesetzt werden (so etwa bei TINKLER(1972a,21) und auch ALAO(1970,88)), führt jedoch zu Interpretationsproblemen hinsichtlich der Matrixpotenzen und entbehrt auch für  $r \neq 1$  jeglicher logischer Grundlage.

Durch das Vorstehende dürfte deutlich geworden sein, daß

---

175) Auch bei ALAO(1970,86), wo diese Frage aufgegriffen wird, wird der Beweis nicht vollständig, sondern lediglich unter Verweis auf ein matrizentheoretisches Lemma geführt.

176) WIELAND(1950,648) gibt — allerdings ohne Beweis — im übrigen eine für beliebige nicht-negative Matrizen gültige, bestmögliche und allein von  $n$  abhängige Abschätzung nach oben durch die Ungleichung

$$z^{++} \geq n^2 - 2n + 2$$

177) Dann ist ja eine Permutation  $G$ , wie sie in Definition 1 gefordert wurde, natürlich nicht mehr möglich anzugeben.

auch die Verwendung des Ergebnisgrades keine für beliebige Netze sinnvolle Kontrollgröße für den Potenzierungsmechanismus darstellt, wobei hinzukommt, daß selbst in diesem Falle sich redundante Information für die Knoten in recht unterschiedlicher Stärke angesammelt haben kann, ohne daß die Möglichkeit bestünde, dies wieder auszugleichen<sup>178)</sup>.

Zu (3) : Dieser Ansatz versucht, den eben aufgezeigten Schwierigkeiten dadurch zu begegnen, daß die Potenzierung gar nicht abgebrochen wird. Damit ist allerdings ein unendlicher Summenterm konstruiert, welcher im allgemeinen über den folgenden Satz geschlossen bestimmt wird:

Satz 6: Es sei A eine beliebige Matrix. Dann gilt:

$$\sum_{z=1}^{\infty} A^z = (I - A)^{-1} - I \quad \text{falls} \quad \lim_{z \rightarrow \infty} A^z = 0$$

Beweis: Nach Voraussetzung ist  $\lim_{z \rightarrow \infty} (I - A^z) = 0$ . Daher besitzt

$I - A^z$  für genügend große z eine nicht-verschwindende Determinante. Dies trifft dann infolge der Identität

$$I - A = (I - A) \cdot \sum_{z'=1}^z A^{z'-1}$$

auch für die Matrix  $(I - A)$  zu. Daher existiert

$(I - A)^{-1}$ . Nach linksseitiger Multiplikation obiger Gleichung mit dieser Matrix ergibt sich

$$\sum_{z'=1}^z A^{z'-1} = (I - A)^{-1} \cdot (I - A^z)$$

---

178) Betrachtet man einmal obiges Beispiel in Abb.62 und hier die Verbindungen von  $v_1$  mit  $v_2$  und  $v_4$ , so existieren im ersten Fall 11, im zweiten 6 verschiedene Möglichkeiten, in bis zu 4 Schritten eine solche herzustellen. Fassen wir dabei eine jede Verbindung als redundant auf, die mindestens eine Kante doppelt enthält, so fallen einmal 9, das andere mal 4 wieder aus; d.h. der Anteil der Redundanz beträgt im ersten Fall etwa 82%, im zweiten ungefähr 67%.

Hieraus folgt wegen  $\lim_{z \rightarrow \infty} (I - A^z)$  I die Behauptung

Das eigentliche Problem hierbei ist jedoch, daß man bei  $z_2 \cdot (r)1^F$  nicht ohne weiteres annehmen kann, daß die Folge der Matrixpotenzen gegen 0 konvergiert. Einige Autoren, so etwa GARRISON(1960), HARVEY(1972) oder STUTZ(1973), haben dies vorausgesetzt, wohl mit der Begründung, daß es ausreichend sei, sich zu vergewissern, daß sämtliche  $z_2 \cdot (r)1^F_{ij} < 1$  seien<sup>179)180)</sup>. Dies reicht jedoch nicht aus, wie das Beispiel in Abb.63 belegt.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} = (1)1^F$$

Abb.63: Beispiel zu Satz 6  $\lim_{z \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{2} \cdot (1)1^F \right)^z = (0.\bar{3})_{ij}$

Es kommt vielmehr in entscheidender Weise auf die Beziehung

179) Im Falle  $r = 1$  also einfach als Folge der Annahme  $0 < z_2 < 1$ .

180) Aus diesem Grunde wurde dann in einigen Arbeiten (z.B. bei GAUTHIER(1968,84), HARVEY(1972,231), STUTZ(1973,63)) — um die rechen-technisch aufwendige Inversion zu vermeiden — der Potenzierungsvorgang wiederum bei einem relativ großen Exponenten abgebrochen, in der Annahme, daß dann sämtliche Matrixelemente hinreichend nahe bei 0 gelegen wären. Weiter unten ist jedoch dargestellt, daß dies nur bei bestimmten Voraussetzungen korrekt ist; TINKLER(1974,176) weist in diesem Zusammenhang konkret auf ein aus der Arbeit von GAUTHIER(1968) selbst zu entnehmendes Gegenbeispiel dafür hin, daß die Ungleichung

$$0 \leq (r)1^F_{ij}(z) \leq (r)1^F_{ij}(z-1) \leq (r)1^F_{ij} \quad \text{nicht gültig zu sein braucht.}$$

Abgesehen davon, stellt sich hier erneut die Frage nach dem 'Grenz-exponenten'; eine theoretisch einigermaßen abgesicherte gleichgewichtige Berücksichtigung sämtlicher indirekter Verbindungsmöglichkeiten ist schließlich nur durch die in Satz 6 beschriebene Inversenbildung gegeben.

zwischen  $z_2$  und dem größten Eigenwert  $\lambda_{\max}({}_{(r)1}F)$  an. Es gilt nämlich der Satz:

Satz 7: Es sei  $A$  eine beliebige Matrix. Dann ist

$$\lim_{z \rightarrow \infty} A^z = 0 \text{ genau dann, wenn } \left| \lambda_{\max}(A) \right| < 1 \text{ gilt.}$$

Beweis: Zum Beweis dieses Satzes, der im allgemeinen Fall, d.h. bei Auftreten mehrfacher Eigenwerte, auf die Darstellung von  $A$  durch die Jordan'sche Normalform zurückgreift, vgl. etwa DEBREU/HERSTEIN(1953, 603)<sup>181)</sup>.

Angewendet auf unsere Matrix  $z_2 \cdot {}_{(r)1}F$  bedeutet dies, daß wegen  $\lambda_{\max}(z_2 \cdot {}_{(r)1}F) = z_2 \cdot \lambda_{\max}({}_{(r)1}F)$  schließlich

$$6.2./2. \quad z_2 < 1 / \lambda_{\max}({}_{(r)1}F)$$

erfüllt sein muß, um die Konvergenz sicherzustellen; gleichzeitig wird dann aber auch  ${}_{(r)3}F > 0$ , wie auf matrizentheoretischem Wege bei DEBREU/HERSTEIN(1953, 602) näher ausgeführt ist<sup>182)183)</sup>.

---

181) Grundsätzlich siehe auch ZURMÜHL(1964, 269 und 271)

182) Vgl. auch TINKLER(1972a, 28), TINKLER(1974, 176), LEUSMANN(1974a, 63) und LEUSMANN(1974b, 241).

183) Natürlich läßt sich im allgemeinen formal die Inverse zu  $(I - z_2 \cdot {}_{(r)1}F)$  auch für Werte von  $z_2$  berechnen, die nicht der Bedingung 6.2./2. genügen (vgl. ZURMÜHL(1964, 269)). Damit allerdings ist die Positivität der resultierenden Matrix nicht mehr notwendigerweise gegeben, was andererseits natürlich nicht bedeutet, daß — zumindest für einige Werte  $z_2$  — die errechneten  $S_{r(8,6)}(v_i)$ -Werte nicht doch positiv sein könnten. Gerade dies wird vermutlich eine der Ursachen sein, daß die inkorrekte Anwendung von Satz 6 nicht aufgefallen ist. Dies gilt besonders für die Arbeit von STUTZ(1973), da dessen standardisierter Erreichbarkeitswert immer positiv ist. Welchen Informationsgehalt nun bei falscher Wahl von  $z_2$   $(I - z_2 \cdot {}_{(r)1}F)^{-1}$  besitzt, dies muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben (vgl. auch TINKLER(1974, 178)).

Damit erweist sich der hinsichtlich des Parameters  $z_1$  für sinnvoll erachtete Ansatz  $z^{+++} = \infty$  (vgl. auch 2.2./3.) als eng mit der Frage nach der Gestalt der zweiten Größe  $z_2$  verknüpft; eine beliebige Wahl derselben ist nicht möglich, insofern eine obere Grenze durch das Netz bzw. die 'Netzbelastung' selbst immer vorgegeben ist.

Die Effektivität der Auswahl verschiedener Werte unterhalb dieser Grenze ist bislang allerdings noch nicht untersucht worden. Zwar hat STUTZ(1973) in seiner Sensitivitätsanalyse versucht, dieses Problem anzugehen, doch ist seine Untersuchung nicht nur auf lediglich ein Netz beschränkt — welches zudem wegen  $2 \leq S_{11}(v_i) \leq 4$  als nicht sehr differenziert erscheint — sondern es fand überdies gerade die Beziehung 6.2./2. keine Beachtung. Wohl wird deutlich, daß die durch  $S_{18}(v_i)$  definierte Erreichbarkeitskennzeichnung wesentlich von  $z_2$  mitbestimmt wird, insofern offensichtlich mit größerem  $z_2$  eine relative Verbesserung zentraler und eine relative Verschlechterung peripher gelegener Knoten und damit eine verstärkte Differenzierung eintritt; jedoch sind die Resultate zumindest zur Hälfte aus genannten Gründen überhaupt nicht verwertbar<sup>184)</sup>.

Aus rechentechnischen Gründen wurde von uns schließlich hinsichtlich für  $z_2$  der Wert

$$6.2./3. \quad z_2 = 1/\text{Max} \{ S_{r1}(v_i) \}$$

---

184) Infolge  $2 \leq S_{11}(v_i) \leq 4$  und damit ebenfalls  $2 \leq \lambda_{\max}((1)1^F) \leq 4$  muß für das STUTZ'sche Beispielnetz auf jeden Fall  $z_2 < 0.5$ , aufgrund der ebenfalls gültigen Abschätzung  $S_{11}(v_i) \leq \lambda_{\max}((1)1^F)$  (vgl. COLLATZ/SINOGOWITZ(1957)) sogar  $z_2 < 0.357$  gelten; vermutlich ist  $z_2 < 0.3$ , siehe auch die Arbeit von TINKLER(1974,177).

verwendet(vgl. auch NYSTUEN/DACEY(1961,413)),da hierdurch die höchst rechenaufwendige Bestimmung der Eigenwerte vermieden werden konnte. Infolge der Einschachtelungsmöglichkeit für den größten Eigenwert vermittels

$$6.2./4. \quad \min_i \{ S_{r1}(v_i) \} \leq \lambda_{\max}((r)1^F) \leq \max_i \{ S_{r1}(v_i) \}$$

(vgl.DEBREU/HERSTEIN(1953,599)) muß zwar der theoretisch denkbare Fall  $\lambda_{\max}((r)1^F) = \max_i \{ S_{r1}(v_i) \}$  hier ausgeschlossen werden<sup>185)</sup>,

doch handelt es sich bei  $\lambda_{z_2}$  in dieser Form erfahrungsgemäß um eine Größe,die bei umfangreichen Netzen immer oben explizierten Forderungen genügt<sup>186)</sup>.

### 6.3.Zur Entropie

Analytische Ansätze über den Entropiebegriff,welcher seinerzeit von BOLTZMANN im Bereich der Thermodynamik eingeführt wurde,sind erst kürzlich für geographische Untersuchungen fruchtbar geworden<sup>187)</sup>. Sie alle gehen zurück auf die in den Rahmen der Kommunikationstheorie gestellten Arbeiten von HARTLEY(1928) resp.SHANNON/WEAVER(1949). Hier kann natürlich diesbezüglich keine ausführliche Ableitung von theoretischer Seite her geleistet werden,so daß eine kurze Einführung

185)Dieser tritt etwa bei spaltensummenkonstanten Matrizen auf.Im obigen Beispiel in Abb.63 ist tatsächlich  $\max_i \{ S_{r1}(v_i) \} = 2$ ,ebenso aber auch die maximale Wurzel der charakteristischen Gleichung  $-\lambda^3 + 3\lambda + 2 = 0$ .In derartigen Fällen muß der in 6.2./3. angegebene Wert geringfügig verkleinert werden.

186)Abgesehen von eben zitierter Ausnahme gilt nämlich für unzerlegbare Matrizen(vgl.Definition 2 in Abschnitt 6.4) immer die Verschärfung der Ungleichung 6.2./4.

$$\min_i \{ S_{r1}(v_i) \} < \lambda_{\max}((r)1^F) < \max_i \{ S_{r1}(v_i) \}$$

(vgl.BECKMANN/KÜNZI(1973,106)).

187)Vgl. etwa u.a. SEMPLE/GOLLEDGE(1964),GEISENBERG/MÄLICH(1971),KILCHENMANN(1973),CLAYTON/LAMPRECHT(1974),MEDVEDKOV(1967 und 1970),SEMPLE/WANG(1971),GATZWEILER(1974),GUREVICH(1969).

in die Verwendungsmöglichkeiten sowie eine knappe Gegenüberstellung des klassischen und transklassischen Informationsbegriffs ausreichen mag(vgl. auch MASER(1971)).

Geht man aus von einem bestimmten, endlichen Zeichenvorrat  $Z = \{ a, b, \dots, x \}$  und fragt, was unter Information einer aus diesen Zeichen zusammengesetzten Nachricht zu verstehen sei, so beantwortet HARTLEY dies mit dem Hinweis auf die Auswahlfreiheit bzw. Unvorhersehbarkeit aus der Sicht eines Perzipienten, welche auf binäre Entscheidungen zurückgeführt werden soll. Da dieses Rekurrieren exakt nur für den Fall mit  $|Z| = 2^P$  möglich ist, benutzte HARTLEY den sich hierbei ergebenden Informationsgehalt einer einelementigen Nachricht

$$6.3./1. \quad IF = \text{ld}|Z| \quad \text{bit}^{188)}$$

für die übrigen Fälle, d.h. falls  $|Z| \neq 2^P$ , als Definition; eine Nachricht der Länge  $k$  ist damit allgemein durch

$$6.3./2. \quad IF_k = k \cdot \text{ld}|Z| \quad \text{bit}$$

gekennzeichnet.

Die Erkenntnis, daß eine solcherart definierte Nachrichteninformation lediglich auf dem Umfang des Repertoires und ihrer eigenen Länge basiert, andererseits aber diese Größen als bekannt vorausgesetzt werden müssen, führte dann zur transklassischen statistischen Informationstheorie. Im Rahmen der Kommunikationswissenschaften sind es im allgemeinen ja nicht die Einzelbuchstaben, sondern Wörter und Sätze, die als Bedeutungsträger fungieren, jedoch nicht immer zu einem stationären Repertoire zusammengefaßt werden können, nicht jeweils gleiche oder für jeden Empfänger identische Interpretation liefern etc. Deswegen wurde Information nun als ein Maß für die Unwahrscheinlichkeit des Eintreffens eines zufälligen Ereignisses  $e_i$  aus einem Ereignisraum aufgefaßt. Fordert man hierbei neben der alleinigen Bestimmtheit durch die dem Ereignis zugeordnete Wahrscheinlichkeit  $p_i$  (also:

---

188) Information wird bei Zugrundelegung des Logarithmus zur Basis 2 (ld--logarithmus dualis) in der bit-Einheit gemessen (für binary digit).

$I(\bar{e}_i) = f(p_i)$  zusätzlich

- o  $f(p_i) \geq 0$
- o  $f(1) = 0$
- o  $p_i > p_j \implies f(p_i) < f(p_j)$
- o  $f(0) = \infty$
- o  $f(p_i \cdot p_j) = f(p_i) + f(p_j)$  für unabhängige Ereignisse

(vgl.auch MASER(1971,145)),so läßt sich zeigen,daß einzig die Logarithmusfunktion diesen Bedingungen genügt,so daß entsprechend

6.3./3.  $I(\bar{e}_i) = -\text{ld } p_i$  bit

definiert werden kann<sup>189)</sup>.Dies erweist sich schließlich für den Fall, daß alle Ereignisse gleichwahrscheinlich sind(d.h.  $p_i = 1/n$  für alle  $i$ ,falls der Ereignisraum  $n$  Elemente umfaßt) wegen

6.3./4.  $-\text{ld}(1/n) = \text{ld } n = IF(\bar{e}_i)$

als Verallgemeinerung der ursprünglichen HARTLEY'schen Definition. Berücksichtigt man nun,daß die Information  $I(\bar{e}_i)$  ja gleichfalls mit der Wahrscheinlichkeit  $p_i$  eintritt,bietet sich die Definition

6.3./5.  $\bar{I}(\bar{e}_i) = -p_i \cdot \text{ld } p_i$  bit<sup>190)</sup>

als mittlere Information von  $e_i$  an;dies führt bei Berücksichtigung sämtlicher möglicher Elementarereignisse zum Begriff der Entropie

---

189)Zu einem etwas anderen Ansatz vgl.die Arbeit von HENZE/HOMUTH (1974).Die Basis des Logarithmus ist hierbei natürlich beliebig,jedoch hat sich 2 weithin eingebürgert.

190)Zusätzlich setzen wir  $p_i \cdot \text{ld } p_i = 0$  für  $p_i = 0$ ;vgl.Anm.97).



6.3./6. 
$$E = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \lg p_i \quad \text{bit}$$

als Maß für die mittlere Information des Gesamtereignisraumes.

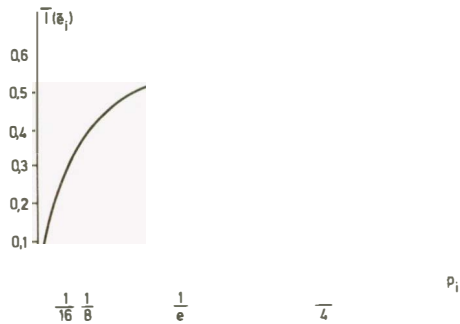


Abb.64: Mittlere Information als Funktion der Wahrscheinlichkeit  $p_i$

Zwei Anmerkungen scheinen in diesem Zusammenhang noch interessant. Betrachten wir etwa in unserem Netz  $\Gamma$  einen Knoten  $v_i$  mit  $S_{11}(v_i) = k$ , dessen aktuelle Bedeutung, gemessen mittels  $S_{31}(v_i)$ , sowie die Verteilung der hierdurch angegebenen Züge auf die in  $v_i$  inzidenten  $k$  Kanten. Fassen wir  $(3)_4 f_{ij} = 3^{d_{ij}} / S_{31}(v_i)$  als Wahrscheinlichkeit für eine Benutzung der  $j$ -ten Kante auf, so entsteht zunächst die Frage, wann die hierdurch mit  $v_i$  verknüpfte Entropie  $E_i = S_{37}(v_i)$  (vgl. 2.4./2.) ihren kleinsten, resp. Maximalwert annimmt. Ersteres ist ersichtlich dann der Fall, wenn der gesamt Verkehrsfluß auf einer, etwa der  $j$ -ten Kante konzentriert ist, so daß wegen  $3^{d_{ij}} = S_{31}(v_i)$  von einer 'Unsicherheit' nicht mehr die Rede sein kann;  $E_i$  hat in diesem Fall den Wert 0. Größte Unbestimmtheit herrscht jedoch dann, wenn sich der Zugverkehr gleichmäßig auf alle Kanten verteilt und

sich die  $(3)_4 f_{ij}$  zu  $1/k$  ergeben; als Information erhält man dann, wie in 6.3./4.,  $E_i = 1/k$  (zu einer exakten Ableitung dieses Sachverhaltes vgl. etwa HENZE/HOMUTH(1974,10)).

Letzteres führt schließlich zu einer weiteren, gelegentlich recht nützlichen Größe: geht man z.B. von der Annahme aus, daß eine möglichst gleichmäßige Zugverteilung auf die je inzidenten Kanten aus vielleicht infrastrukturellen Gründen wünschenswert sei, bleibt das Problem abzuschätzen, wie weit die realen Verhältnisse von dieser Vorstellung abweichen oder wie sich die Verhältnisse in einer Zeitreihe verändert haben. Ein hierfür adäquates Maß ist nach Normierung durch

$$6.3./7. \quad R = (E_{\max} - E_i) / E_{\max} = 1 - E_i / 1/k$$

als "Redundanz" gegeben; diese Größe wurde etwa im Rahmen einer Gesamt-netzanalyse in etwas veränderter Form — Vergleich idealer Netztypen mit aktuellen Netzkonfigurationen — von SEMPLE/WANG(1971) verwendet.

#### 6.4. Zur Strukturierung $S_{39}(v_i)$

Ausgangspunkt für die Behandlung der unter 2.4.2. eingangs explizierten Frage war einmal die Annahme, daß jedem Knoten  $v_i$  eine bestimmte Flußmenge  $r_i^{u_0}$  die man sich beispielsweise für  $r = 3$  durch  $S_{31}(v_i)$ , im topologischen Fall einfach durch eine 'Einheit' realisiert denken mag — zur Verfügung stehe, andererseits die Vorgabe einer dimensionsspezifischen Flußverteilungsvorschrift

$$6.4./1. \quad f_r: V \times V \longrightarrow R$$

welche den Anteil von  $r_i^{u_0}$ , der von  $v_i$  direkt nach einem beliebigen  $v_j$  gelangen soll, beschreibt. Weiterhin setzen wir voraus, daß

$$6.4./2. \quad \sum_{j \neq i} r(v_i, v_j) = \sum_{j \neq i} r f_{ij} = 1$$

sowie

$$6.4./3. \quad r f_{ij} \neq 0 \longleftrightarrow d_{ij} \neq 0$$

gelte; beides schien realistisch zu sein, einmal, daß die gesamte Flußmenge verteilt wird und nichts in  $v_i$  'zurückbleibt', zum anderen, daß sämtliche zu  $v_i$  adjazente Knoten bedacht werden.

Formulieren wir unseren Ansatz in vektorieller Schreibweise indem wir  $\tilde{u}_r^0 = (r u_1^0, \dots, r u_n^0)$  und  $\mathcal{F}_r = (r f_{ij})$  setzen, so gelangen wir nach einmaliger Anwendung des Verteilungsmechanismus' zu einem neuen Flußvektor  $\tilde{u}^1$  durch

$$6.4./4. \quad \tilde{u}_r^1 = \tilde{u}_r^0 \cdot \mathcal{F}_r$$

mit  $r u_j^1 = \sum_{i \neq j} r u_i^0 \cdot r f_{ij}$ ; iteriert man dieses Verfahren, so ergibt sich bei konstanter Matrix  $\mathcal{F}_r$  für den l-ten Schritt die Beziehung

$$6.4./5. \quad \tilde{u}_r^l = \tilde{u}_r^{l-1} = \tilde{u}_r^0 \cdot \mathcal{F}_r^l$$

Die Frage nun, ob sich bei dieser Prozedur schließlich eine Art Gleichgewichtszustand einstellt in dem Sinne, daß eine erneute Anwendung der Verteilungsfunktion keine weitere Umverteilung der Flußanteile in den Knoten mehr bewirkt, ist insofern identisch mit der Frage nach Existenz und Gestalt des die Gleichung

$$6.4./6. \quad \tilde{u}_r^l = \tilde{u}_r$$

erfüllenden Linkseigenvektors  $\tilde{u}_r$  von  $\mathcal{F}_r$  zum Eigenwert 1.

Zunächst: daß  $\mathcal{F}_r$  immer 1 als Eigenwert besitzt, ja daß sogar grundsätzlich  $\lambda_{\max}(\mathcal{F}_r) = 1$  gilt, erweist sich als trivial, da  $\mathcal{F}_r$  zeilensummenkonstant zu 1 ist; man vgl. hierzu 6.2./4. Damit existiert  $\tilde{u}_r$  immer. Auskunft über weitere Eigenschaften dieses Vektors gibt der sogenannte "Satz von Frobenius". Wir schicken vorweg:

Def. 2: Eine Matrix heißt unzerlegbar oder irreduzibel genau dann, wenn es eine Permutation  $\mathcal{G}$  gibt, mit der

$$\mathcal{G} A \mathcal{G}^{-1} = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ 0 & A_3 \end{pmatrix}$$

mit quadratischen Untermatrizen  $A_1$  und  $A_3$  wird.

Dann besagt

Satz 8: Für eine unzerlegbare, nicht-negative Matrix  $A$  gilt:

- o  $\lambda_{\max}(A)$  ist einfach, reell und positiv
- o  $\lambda_{\max}(A) \geq |\lambda_i(A)|$
- o zu  $\lambda_{\max}(A)$  existiert ein bis auf Vielfache eindeutig bestimmter positiver Eigenvektor  $\vec{u} > 0$
- o  $\lambda_{\max}(A)$  ist der einzige Eigenwert, zu dem ein nicht-negativer Eigenvektor gehört.

Beweis: Zum Beweis vgl. FROBENIUS (1908, 1909 und 1912) sowie WIELAND (1950) und DEBREU/HERSTEIN (1953, 598).

Sämtliche, für Satz 8 notwendige Voraussetzungen nun sind hinsichtlich  $\mathcal{F}_r$  erfüllt. Trivialerweise ist  $\mathcal{F}_r > 0$ ; außerdem gilt

Satz 9:  $\mathcal{F}_r$  ist unzerlegbar.

Beweis: Es reicht aus zu zeigen, daß  ${}_1D$  unzerlegbar ist; wegen 6.4./3. weisen  $\mathcal{F}_r$  und  ${}_rD$ , infolge 2./3. auch  ${}_1D$  und  ${}_3D$  dieselbe symmetrische Besetzung mit nicht-verschwindenden Elementen auf. Die im Falle einer Zerlegbarkeit von  ${}_1D$  existente Permutation würde offensichtlich einer vollständigen Zerlegung der Knotenmenge in zwei disjunkte Teilmengen  $V^1$  und  $V^2$  derart ent-

sprechen, daß  $d_{ij} = 0$  gälte, falls  $v_i \in V^1$  und  $v_j \in V^2$ . Anders ausgedrückt: es wäre möglich, die Knotenmenge so zu zerteilen, daß zwischen Elementen der beiden entstehenden Teilmengen keine Verbindungskante bestünde. Dies aber ist nach der Voraussetzung des Zusammenhanges von  $\Gamma$  ausgeschlossen.

Damit läßt sich nun folgendes über den gesuchten Vektor aussagen:

- o Erfüllt eine beliebige Funktion  $f_r$  obige Bedingungen, so existiert  $\check{\mu}_r$  immer;
- o  $\check{\mu}_r$  ist bis auf ein Vielfaches eindeutig bestimmt und reell;
- o  $\mu_r > 0$ ;
- o  $\mu_r$  ist unabhängig von  $\check{\mu}_r^0$ , d.h. die Ausgangsflußmenge eines jeden Knotens spielt für den Gleichgewichtszustand keine Rolle.

Entscheidend beeinflußt wird allerdings die spezielle Gestalt von  $\check{\mu}_r$  durch die Vorschrift  $r f_{ij}$ , weshalb der Konstruktion dieses Flußverteilungsalgorithmus' einige Aufmerksamkeit zu schenken ist.

In einem ersten Ansatz gingen wir von der Annahme aus, daß jeder Knoten in jedem Iterationsschritt die zur Verfügung stehende Flußmenge gleichanteilig (für  $r = 1$ ) resp. entsprechend der aktuellen Zugbelastung der inzidenten Kanten (für  $r = 3$ ) über diese an die benachbarten Netz-elemente abgeben sollte. Hiermit wird dann  $f_r = (r)_4^F$  oder

$$6.4./7. \quad r d_{ij} / S_{r1}(v_i) \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

(vgl. auch Abschnitt 2.4., besonders 2.4./1.).

Gleichzeitig läßt sich der gesuchte Gleichgewichtsvektor aber auch geschlossen angeben:

$$\text{Satz 10: Mit } f_r = (r)_4^F \text{ gilt} \quad r = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$$

$$6.4./8. \quad \mu_r = (1 / \sum_{i=1} S_{r1}(v_i)) \cdot (S_{r1}(v_1), \dots, S_{r1}(v_n))$$

Beweis: Es reicht aus, den standardisierten Fall zu betrachten. Dann ist aber

$$\sum_{i=1}^n r_i^u \cdot r_{ij}^d = \sum_{i=1}^n S_{r1}(v_i) \cdot r_{ij}^d / S_{r1}(v_i)$$

$$\sum_{i=1}^n r_{ij}^d = \sum_{j=1}^n r_{ji}^d \cdot S_{r1}(v_i) \cdot r_j^u$$

Damit erhält man ein zwar interessantes, für unsere Zwecke allerdings unbrauchbares Resultat. Bemerkenswert erscheint dieses Ergebnis insofern, als die Strukturierung  $S_{r1}(v_i)$  somit nicht nur enge Beziehungen zur Knotenentropie (vgl. Anm. 98), sondern gleichermaßen zu dem in v. zu erwartenden Anteil eines stochastischen Netzflusses aufweist. Dies wurde kürzlich ebenfalls von TINKLER (1973) erkannt; dessen Ansicht, daß hiermit "...a new angle on the ancient concept of nodality" aufgedeckt sei, da "...the degree of a node as a proportion of the sum of all degrees in the network, is exactly the amount of randomly circulating flow to be expected at that node" (TINKLER (1973, 150)) können wir in dieser Form jedoch nicht zustimmen. Dies ergibt sich aus

Satz 11: Die Grenzverteilung des eine Art 'random walk' in einem Netz beschreibenden Flusses ist nur dann mit dem durch 6.4./6. gekennzeichneten Linkseigenvektor  $\mu_r$  identisch, wenn  $\mathcal{F}_r$  primitiv ist.

Beweis: Die Behauptung folgt aus einer Erweiterung von Satz 8. Es läßt sich zeigen (vgl. DEBREU/HERSTEIN (1953, 598)), daß bei gleichen Voraussetzungen über das auf S. 139 Gesagte hinaus gilt:

- o ist A zyklisch vom Grade 1, so existieren 1 Eigenwerte der Form

$$\lambda_k(A) = \lambda_{\max}(A) \cdot e^{2\pi i k / l} \quad \text{mit} \quad \left| \lambda_k(A) \right| = \lambda_{\max}(A)$$

und  $k = 1, 1$

Ist somit  $(r)_4^F$  zyklisch vom Grade 2 (vgl. Satz 3 und 4), so existiert zwar  $\tilde{\mu}_r$  in der oben angegebenen Form als Links-

eigenvektor in der Gleichung 6.4./6.; infolge des Auftretens des betragsgleichen Eigenwertes  $\lambda^+((r)_{4^F}) = -1$  kann er jedoch nicht mehr quasi als Konvergenzerggebnis des eingangs geschilderten Iterationsprozesses angesehen werden, sondern jenes wird praktisch durch einen zweiten, zu  $\lambda^+$  gehörigen 'Grenzverteilungsvektor' überlagert<sup>191)192)</sup>.

In einen anderen Kontext gestellt: betrachtet man  $\mathcal{F}_r$  der Form 6.4./7. als Übergangsmatrix einer Markoff'schen Kette über dem Zustandsraum  $V^{193)}$ , so ist im Falle der Imprimitivität von  $r^D$  die Kette ergodisch

191) Nach geeigneter Permutation der Knotenindizes gilt:

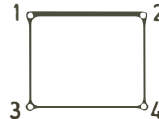
$$\check{\mu}_r^+ = (1/\sum_i S_{r1}(v_i)) \cdot (-S_{r1}(v_1), \dots, -S_{r1}(v_i), \dots, S_{r1}(v_n)).$$

192) Man betrachte, lediglich zum Zwecke der Demonstration, folgende einfache topologische Beispiele:

o

$${}^1D = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \mathcal{G}_1 D \mathcal{G}^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

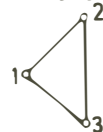
$$({}^1)_{4^F} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



${}^1D$  ist zyklisch vom Grade 2. Gehen wir von  $\check{\mu}^0 = (1, 0, 2, 6, 1, 0)$  aus, so erhält man weiter die Vektoren  $(8, 8, 6, 6), (6, 6, 8, 8), (8, 8, 6, 6), \dots$ . Evidentlich tritt keine Konvergenz auf, ob dennoch der Eigenvektor  $(1/4, 1/4, 1/4, 1/4)$  existiert.

o Untersucht man indes

$${}^1D = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad ({}^1)_{4^F} = \begin{pmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 0 \end{pmatrix}$$



so erhält man mit  $\check{\mu}^0 = (1, 0, 2, 6)$  den Grenzvektor  $(6, 6, 6)$ , so daß  $\check{\mu} = (1/3, 1/3, 1/3)$  wird.

193) Zur Theorie der Markoff'schen Ketten vgl. insbesondere die Arbeit KEMENY/SNELL(1960).

mit zwei zyklischen Klassen. Die für reguläre Ketten, d.h. bei Primitivität von  $\mathcal{P}_r$  bekannte Konvergenz von  $\mathcal{F}_r$  zu einer Wahrscheinlichkeitsmatrix  $\mathcal{F}^+$  mit lauter gleichen Zeilenvektoren — deren jeder als sogenannter "unique fixed point probability vector" (vgl. CHORLEY/HAGGETT(1969, 579)) den von uns gesuchten Gleichgewichtsvektor darstellt — entfällt dann und ist durch die 'Cesaro-Summierbarkeit' zu ersetzen (vgl. KEMENY/SNELL(1960, 99)).

Nun, unbrauchbar ist das Resultat von 6.4./8. jedoch deswegen, weil wiederum für beide Dimensionen keine neue Information durch die Gleichgewichtskennzeichnung geliefert wird. Daher ist offensichtlich eine andere Verteilungsfunktion heranzuziehen. Dies aber erscheint höchstens für  $r = 1$  sinnvoll, da  ${}_3 f_{ij}$  durch die Zugverteilung auf die in  $v_i$  inzidenten Kanten quasi vorgegeben ist, eben genau in dem Sinne, wie unter 6.4./7. definiert; wir werden hierauf gleich zurückkommen und betrachten zunächst eine zweite Möglichkeit zur Gestaltung von  ${}_1 f_{ij}$ .

Erneut gingen wir von der Voraussetzung einer direkten Kommunikation aus, diesmal jedoch derart, daß die in  $v_i$  zur Verfügung stehende Flußmenge entsprechend der Anzahl der in den adjazenten Knoten inzidenten Kanten aufgeteilt wurde. Wir legten fest:

$$6.4./9. \quad {}_1 f'_{ij} = (S_{11}(v_j) \cdot {}_1 d_{ij}) / \left( \sum_{k=1}^n S_{11}(v_k) \cdot {}_1 d_{ik} \right)$$

Mit diesem Ansatz gilt:

Satz 12: Es sei  $\mathcal{F}'_1 = ({}_1 f'_{ij})$ . Dann ist

$$6.4./10. \quad \tilde{u}'_1 = \left( n / \left( \sum_1 S_{11}(v_1) \cdot \sum_j S_{11}(v_j) \cdot {}_1 d_{1j} \right) \right) \cdot \left( S_{11}(v_1) \cdot \sum_j S_{11}(v_j) \cdot {}_1 d_{1j}, \dots, S_{11}(v_n) \cdot \sum_j S_{11}(v_j) \cdot {}_1 d_{nj} \right)$$



Beweis :Es reicht wieder aus,den unstandardisierten Fall zu betrachten:

$$\begin{aligned}
 & \sum 1 u'_i \cdot 1 d_{ij} \\
 &= \sum_i (S_{11}(v_i) \cdot \sum_k S_{11}(v_k) \cdot 1 d_{ik} \cdot (S_{11}(v_j) \cdot 1 d_{ij})) / (\sum_k S_{11}(v_k) \cdot 1 d_{ik}) \\
 &= \sum_i S_{11}(v_i) \cdot S_{11}(v_j) \cdot 1 d_{ij} \\
 &= S_{11}(v_j) \cdot \sum_i S_{11}(v_i) \cdot 1 d_{ji} \\
 &= 1 u'_j
 \end{aligned}$$

Wir erhalten also auch in diesem Fall eine recht einfache und leicht zu interpretierende Lösung:der Gleichgewichtszustand ist für jeden Knoten beschrieben durch die Summe der Nodalitäten der adjazenten Knoten,gewichtet mit der eigenen Valenz;auch jetzt wird der in  $v_i$

zu erwartende Anteil eines zufällig durch das Gesamtnetz [ zirkulierenden Flusses lediglich durch lokale Knoteneigenschaften bestimmt.

Wir wählten nun für unsere Zwecke  $\tilde{u}'_1$  in der in 6.4./10. festgelegten Form als neue Erreichbarkeitsstrukturierung in 2.4.2.,wenngleich sicherlich eine Reihe von Erweiterungsmöglichkeiten gegeben sind<sup>194)</sup>; diese führen jedoch zu nicht mehr so einfach zu interpretierenden Resultaten und sind z.T. auch nicht mehr geschlossen darstellbar.

194)Man könnte einmal etwa die'Bedeutung' der benachbarten Knoten, hier durch die Valenz gemessen,differenzierter,z.B. vermittelt der Strukturierung  $S_{16}(v_i)$  zu erfassen suchen(vgl.LEUSMANN(1975)). Andererseits erscheint ein Ansatz sinnvoll,nicht von  $1 D$ ,sondern einer Matrix  $1^d D$  auszugehen,mit

$$1^d_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{für } \sum_{k_1} \dots \sum_{k_{d-1}} 1^{d_{ik_1}} \cdot 1^{d_{k_1 k_2}} \cdot \dots \cdot 1^{d_{k_{d-1} j}} = 1 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (i \neq j)$$

wodurch das Nodalitätskonzept quasi auf beliebige Distanzringe  $d$  erweitert wird;Gewichtungsgrößen für die verschiedenen Distanzen erscheinen allerdings notwendig.Zu einem dritten Ansatz,dessen Resultat nicht mehr geschlossen anzugeben und so auf eine Verwendung des Iterationsverfahrens explizit angewiesen ist,vgl. LEUSMANN(1975,136).

Greifen wir nun nochmals den Fall der aktuellen Dimensionierung  $r = 3$  auf. Wie wir sahen führte der einzig sinnvoll erscheinende Ansatz für  ${}_3 f_{ij}$  unter 6.4./7. zu einer vom Informationsgehalt her mit der  $S_{31}(v_i)$ -Strukturierung identischen Kennzeichnung. Da, wie oben angedeutet, bei primitiven Matrizen die Gleichgewichtsbeschreibung nichts anderes ist, als der Fixvektor der durch  $f_3$  dem Netz zugeordneten Markoff'schen Kette, lag es in unserem Beispiel mit primitiver Dimensionierung  ${}_3 D$  nahe, in diesem Zusammenhang nach einer alternativen Kennzeichnung der Knoten zu suchen. Im Sinne einer Berücksichtigung indirekter Knotenbeziehungen bot sich hierbei das Konzept der "mittleren Erstdurchlaufzeit" (mean first passage time) an (vgl. KEMENY/SNELL(1960,78)). Es handelt sich hierbei um die Analyse einer Matrix  $M$ , deren Elemente die mittlere Anzahl von Schritten angeben, die benötigt werden, das erste mal von  $v_i$  zu  $v_j$  zu gelangen. Diese Erwartungswertmatrix ermöglichte zwei weitere Strukturierungen im aktuellen Bereich (vgl. Abschnitt 2.4.2.); sie berechnet sich durch

$$6.4./11. \quad M = (I - M_1 + E \cdot M_1(\text{diag})) \cdot M_2^{195}$$

mit:  $M_1 = (I - ({}_3 F - \xi \cdot \mu_3))^{-1} \xi \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$

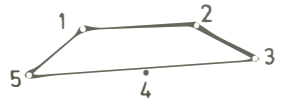
$$E = \xi \cdot \xi^t$$

$$M_2 = \begin{pmatrix} 1/3 u_1 & 0 \\ 0 & 1/3 u_n \end{pmatrix}$$

195) Zur Instruktion diene etwa folgendes Beispiel:

$$\begin{pmatrix} 0 & .5 & 0 & 0 & .5 \\ .5 & 0 & .5 & 0 & 0 \\ 0 & .5 & 0 & .5 & 0 \\ 0 & 0 & .5 & 0 & .5 \\ .5 & 0 & 0 & .5 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 6 & 6 & 4 \\ 6 & 5 & 4 & 6 & 6 \\ 6 & 4 & 5 & 4 & 6 \\ 6 & 6 & 4 & 5 & 4 \\ 4 & 6 & 6 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$



## 7. Summary

Recent studies in transport geography, particularly in the U.S., can be characterized as follows:

- o analysis of network elements, their position in the complete network and the network itself,
- o analysis of the interaction patterns caused by the network elements and the complete network,
- o analysis of the interdependence of network elements, complete network and interaction patterns on the one hand, and social, economic, and political factors on the other hand.

These aspects are considered to be the basic elements of a spatial analysis integrating structural and functional approaches. In this context "structure" is not seen as a quality inherent in the network itself, just waiting to be discovered. Rather, the network is "structured" by indicators describing it in different ways.

This approach as well as the very formal model of a "analysis of network structure" developed out of it is applied to the South German railway network. At the beginning of the second chapter a number of both customary and newly defined "structures" (cf. fig. 56 on p. 106/7) are presented in their topological and "actual" dimensions. These "structures" can be summed up in three correlated "structural components" describing the characteristics of different aspects of the organisation of a traffic network. These structural components — termed "significance", "primary location" and "secondary location" — lead to a typology of nodal elements described in chapter 3.3. This typology is the basis of a model sketch of the spatial organisation of constitutive node-types (cf. fig. 57).

Another more comprehensive aspect from a systems analytic point of view is pursued in chapter four. The study demonstrates significant correlations between "network structure" and "economic structure". Just as in chapter five (containing comments on the concept of accessibility) procedural and theoretical questions are becoming increasingly important. This points at another purpose of the study: using an abstract terminology, derived from the language of formal mathematics it is possible to rectify some vague or even incorrect terms and concepts sometimes used and

thereby classify the scattered methodical and theoretical approaches as well as mathematical procedures(cf.chapter 6).

At the same time this implies that the problems of what is called "relevance for planning" were more or less neglected:the study deliberately renounces to demonstrate any supposed practical orientation of modern research in transport geography,because such a task cannot really be tackled before relevant procedures have been developed at all,and before they have been tested in regional studies with respect to any further practical application.It is precisely to the solution of this problem that the study at hand hopes to contribute.

## 8. Literaturverzeichnis

- ABLER, R., ADAMS, J., GOULD, P.: Spatial Organization. London, 1972
- ALAO, N.: A Note on the Solution Matrix of a Network-in: Geogr. Analysis, 1970, S. 83-88
- ders.: Some Aspects of Network Theory-in: Geographia Polonica, 25, 1973, S. 107-137
- BÄHR, J.: Regionalisierung mit Hilfe von Distanzmessungen-in: Raumforschung und Raumordnung, 1971, S. 11-19
- ders.: Migration im Großen Norden Chiles. Bonner Geogr. Abhandlungen, Heft 50, Bonn, 1975
- BÄHR, J., GOLTE, W.: Eine bevölkerungs- und wirtschaftsgeographische Gliederung Chiles-in: Geoforum, 1974, S. 25-42
- BAHRENBURG, G., GIESE, E.: Zum Problem der Normalität und der Transformationen bei der Faktorenanalyse bzw. Hauptkomponentenanalyse-in: GIESE, E.: Symposium "Quantitative Geographie" Gießen 1974. Gießener Geogr. Schriften, Heft 32, Gießen, 1975
- BAKER, L.: A Selection of Geographical Computer Programs. London, 1974
- BECKMANN, M. J., KÜNZI, H. P.: Mathematik für Ökonomen II, Lineare Algebra. Berlin, 1973
- BERGE, C.: The Theory of Graphs. London, 1958
- BERRY, B. J. L.: The Impact of Expanding Metropolitan Communities upon the Central Place Hierarchy-in: Annals, Ass. of Am. Geogr., 1960, S. 112-116
- BESHERS, J. M., LAUMANN, E. O.: Social Distance: a Network Approach-in: Am. Soc. Rev., 1967, S. 225-236
- BLACK, W. R.: Growth of the Railway Network of Maine: a Multivariate Approach. Discussion Paper No. 5, Univ. of Iowa, 1967
- BOCK, H. H.: Automatische Klassifikation. Göttingen, 1974
- BÖHM, H., KEMPER, F. J., KULS, W.: Studien über Wanderungsvorgänge im innerstädtischen Bereich am Beispiel von Bonn. Arbeiten z. Rhein. Landeskunde, Heft 39, Bonn, 1975
- BRIGGS, K.: Introducing Transportation Networks. London, 1972
- BROWN, L. A., HOLMES, J.: The Delimitation of Functional Regions, Nodal Regions and Hierarchies by Functional Distance Approach-in: Journal of Reg. Science, 1971, S. 57-72
- BROWN, L. A., ODLAND, J., GOLLEDGE, R. G.: Migration, Functional Distance and

- the Urban Hierarchy-in:Econ.Geogr.,1970,S.472-485
- BUNGE,W.:Theoretical Geography.Lund Studies in Geography,Ser.C,  
No.1,Lund,1962
- BUSACKER,R.G.,SAATY,Th.L.:Endliche Graphen und Netzwerke.München,1968
- CAROL,H.:Zur Diskussion um Landschaft und Geographie-in:Geographica  
Helvetica,1956,S.111-132
- CARTER,F.W.:An Analysis of the Medieval Serbian Oecumene:aTheoret-  
ical Approach-in:Geogr.Annaler,Ser.B,1969,S.39-56
- CHAPMANN,G.P.:The Application of Information Theory to the Analysis  
of Population Distribution in Space-in:Econ.Geogr.,1970,Supp.,  
S.317-331
- ders.: The Spatial Organisation of the Population of the United  
States and England & Wales-in:Econ.Geogr.,1973,S.325-343
- CHORLEY,R.J.,HAGGETT,P.:Models in Geography.New York,1967
- CLAYTON,C.:Communication and Spatial Structure-in:Tijdschr.v.econ.  
en soc.geografie,1974,S.221-227
- CLATON,C.,LAMPRECHT,J.L.:Information Theory and Geographical Diffe-  
rentiation-in:Geogr.Annaler,Ser.B,1974,S.78-89
- CLIFF,A.D.,HAGGETT,P.,ORD,J.K.,BASSETT,K.A.,DAVIS,R.B.:Elements of  
Spatial Structure.London,1975
- COLLATZ,L.,SINOGOWITZ,U.:Spektren endlicher Graphen-in:Abh.aus dem  
Math.Sem.d.Univ.Hamburg,1957,S.63-77
- COOLEY,W.W.,LOHNES,P.R.:Multivariate Data Analysis.New York,1971
- DEBREU,G.,HERSTEIN,I.N.:Nonnegative Square Matrices-in:Econometrica,  
1953,S.597-607
- DÖRFLER,W.,MÜHLBACHER,J.:Graphentheorie für Informatiker.Berlin,1972
- DOMSCHKE,W.:Kürzeste Wege in Graphen:Algorithmen,Verfahrensverglei-  
che.Meisenheim,1972
- ELMAGHRABY,S.E.:Some Network Models in Management Science.Berlin,1970
- FANO,P.L.:Organization, City Size Distributions and Central Places-  
in:Papers, Reg. Science Ass.,22,1968,S.29-38
- FEICHTINGER,G.:Stochastische Modelle demographischer Prozesse.Ber-  
lin,1972
- FOCHLER-HAUKE,G.:Verkehrsgeographie.Braunschweig,1963
- FORD,L.R.,FULKERSON,D.R.:Flows in Networks.Princeton,1962
- FROBENIUS,G.:Über Matrizen aus positiven bzw. nicht-negativen Elemen-  
ten-in:Sitzungsbr.d.Press.Akad.d.Wiss.,1908(S.471-476),

- 1909(S.514-518),1912(S.456-477)
- GARRISON,W.L.:Connectivity of the Interstate Highway System-in:Papers,  
Reg.Science Ass.,6,1960,S.121-137
- GARRISON,W.L.,MARBLE,D.F.:The Structure of Transportation Networks.  
Washington,1961
- dies.: Factoranalytic Study of the Connectivity of a Transportation  
Network-In:Papers,Reg.Science Ass.,12,1963,S.231-238
- dies.: Graph Theoretic Concepts(Aus:A Prolegomenon to the Foreca-  
sting of Transportation Development,1965)-in:HURST,M.E.E.:  
Transportation Geography.London,1974
- GATZWEILER,H.P.:Zur Selektivität interregionaler Wanderungen.Bonn,1974
- GAUTHIER,H.P.:Transportation and the Growth of the Sao Paulo Econo-  
my-in:Journ.of Reg. Science,1968,S.78-94
- dies.: Transportation Geography.The East Lakes Geographer,Dec.1971
- GEBHARDT,F.:Verteilung und Signifikanzschranken des 3. und 4. Stich-  
probenmomentes bei normalverteilten Variablen-in:Biometri-  
sche Zeitschrift,1966,S.219-241
- GEISENBERGER,S.,MÄLICH,W.:Informationstheoretische Messung regio-  
naler Konzentrationserscheinungen-in:Raumf.u.Raumordnung,  
1971,S.19-24
- GOKHMAN,V.M.,LIPETS,Y.G.:Some Trends of Soviet Regional Studies-in:  
Papers,Reg. Science Ass.,18,1966,S.223-229
- GOLLEGDE,R.G.,AMADEO,D.M.:Some Introductory Notes on Regional Divi-  
sion and Set Theory-in:Prof.Geographer,1966,S.14-19
- GORSUCH,R.L.:Factor Analysis.London,1974
- GOULD,P.:Spatial Diffusion.Res.Paper,No.4,Ass.of Am.Geogr.,Washington,  
1969
- GRIGGS,J.A.,MATHER,P.M.:Factorial Ecology and Factor Invariance an  
Investigation-in:Econ.Geogr.,1975,S.368-382
- GUREVICH,B.L.:Geographical Differentiation and its Measures in a  
Discrete System-in:Soviet Geography,Rev.&Translation,1969,  
S.387-413
- HAGGETT,P.:Einführung in die kultur- und sozialgeographische Regional-  
analyse.Berlin,1973
- HAGGETT,P.,CHORLEY,R.J.:Network Analysis in Geography.London,1969
- HARARY,F.:Graphs and Matrices-in:SIAM-Review,1967,S.83-90

- HARARY, F., NORMAN, R. Z., CARTWRIGHT, D.: Structural Models. New York, 1965
- HARTLEY, R. V. L.: Transmission of Information-in: Bell System Techn. Journal, 1928, S. 535-563
- HARVEY, D.: Explanation in Geography. London, 1969
- HARVEY, M. E.: The Identification of Development Regions in Development Countries-in: Econ. Geogr., 1972, S. 229-243
- HAY, A. M.: Connection and Orientation in Three West African Road Networks-in: Reg. Stud., 1971, S. 315-319
- HAYNES, R. E., IP, P.: Population, Economic Development and the Structure of Transportation in the Province of Quebec, Canada-in: Tijdschr. v. econ. en soc. geografie, 1971, S. 356-363
- HENZE, E., HOHMUTH, H. H.: Einführung in die Informationstheorie. Braunschweig, 1970
- HERBERT, B., MURPHY, E.: Evolution of an Accessibility Surface: The Case of the United States Air Network-in: Proc., Ass. of Am. Geogr., 1971, S. 75-79
- HERSTEIN, I. N.: Comments on SOLOW's "Structure of Linear Models"-in: Econometrica, 1952, S. 685-686
- HOERL, A. E., KENNARD, R. W.: Ridge Regression: Biased Estimation for Non-orthogonal Problems-in: Technometrics, 1970, S. 55-67
- dies.: Ridge Regression: Application to Nonorthogonal Problems-in: Technometrics, 1970, S. 69-82
- HOMBACH, P. J.: Zur Strukturanalyse von Verkehrsnetzen. Staatsarbeit, Bonn, 1977
- HURST, M. E. E.: Transportation and the Societal Frameworks-in: Econ. Geogr., 1973, S. 163-180
- dies.: Transportation Geography. London, 1974
- INGRAM, D. J.: The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form-in: Reg. Stud., 1971, S. 101-107
- ISARD, W., TUNG, T. H.: Some Concepts for the Analysis of Spatial Organization, Part I-in: Papers, Reg. Science Ass., 11, 1963, S. 17-40
- JAMES, G. A., CLIFF, A. D., HAGGETT, P., ORD, J. K.: Some Discrete Distributions for Graphs with Applications to Regional Transport Networks-in: Geogr. Annaler, Ser. B, 1970, S. 14-21
- JOHNSTON, R. J.: Grouping and Regionalizing: Some Methodological and Technical Observations-in: Econ. Geogr., 1972, S. 293-305



- KAISER, H.F., COFFREY, J.: Alpha Factor-Analysis-in: Psychometrika, 1965, S.1-14
- KANSKY, K.J.: Structure of Transportation Networks. Res. Pap., No.84, Univ. of Chicago. Chicago, 1963
- KATZ, W.: A New Status Index Derived from Sociometric Analysis-in: Psychometrika, 1953, S.39-43
- KAUFMANN, A.: Einführung in die Graphentheorie. München, 1971
- KEMENY, J.G., SNELL, J.L.: Finite Markov Chains. London, 1960
- KEMPER, F.-J.: Die Anwendung faktorenanalytischer Rotationsverfahren in der Geographie des Menschen-in: GIESE, E.: Symposium "Quantitative Geographie" Gießen 1974. Gießener Geogr. Schriften, Heft 32, Gießen, 1975, S.34-47
- KILCHENMANN, A.: Die Merkmalsanalyse für Nominaldaten-eine Methode zur Analyse von qualitativen geographischen Daten basierend auf einem informationstheoretischen Modell-in: Geoforum, 1973, S.33-45
- KING, L.J.: Statistical Analysis in Geography. Englewood Cliffs, 1969
- KIRSCHNER, H.: Zusammenhänge zwischen Eisenbahnnetzen und wirtschaftlicher Ausstattung von Räumen, dargestellt am Beispiel Hessen. Staatsarbeit, Bonn, 1975
- KISSLING, C.C.: Linkage Importance in a Regional Highway Network-in: Can. Geogr., 1969, S.113-129
- KLEMMER, P.: Die Faktorenanalyse im Rahmen der Regionalforschung-in: Raumforschung und Raumordnung, 1971, S.6-11
- KOWALSKY, H.-J.: Lineare Algebra. Berlin, 1967
- LAUE, R.: Graphen als Strukturmodelle lebender Systeme-in: Wiss. Zeitschr. d. Karl-Marx-Univ. Leipzig, math.-nat. Reihe, 1968, S.547-555
- ders.: Elemente der Graphentheorie und ihre Anwendung in der biologischen Wissenschaft. Braunschweig, 1971
- LEINBACH, T.R.: Transportation Geography 1: Networks and Flows-in: Progress in Geography, 8, 1976, S.178-207
- LEUSMANN, C.: Netze-ein Überblick über Methoden ihrer strukturellen Erschließung in der Geographie-in: Erdkunde, 1974a, S.55-67
- ders.: Zur Gliederung von Netzen-in: Zeitschr. f. Wirtschaftsgeogr., 1974b, S.239-247
- ders.: Über einen einfachen Gleichgewichtsfluß in Netzwerken-in: Env. and Planning, A, 1975, S.127-140

- LIEBLING, T.M.: Anwendung der Graphentheorie auf Planungs- und Tourenprobleme des städtischen Straßendienstes. Berlin, 1970
- LO, C.P.: Changes in the Ecological Structure of Hong Kong 1961-1971: a Comparative Analysis-in: Env. and Planning, A, 1975, S. 941-963
- MAC KINNON, R.D., HODGSON, M.J.: Optimal Transportation Networks: a Case Study of Highway Systems-in: Env. and Planning, A, 1970, S. 267-284
- MARCHAND, B.: An Introduction to the Topological Analysis of Geographical Spaces: the Topology of Central Place Theory-in: Geogr. Analysis, 1973, S. 205-213
- MASER, S.: Grundlagen der allgemeinen Kommunikationstheorie. Stuttgart, 1971
- MAYFIELD, R.C.: A Central Place Hierarchy in Northern India-in: GARRISON, W.L., MARBLE, D.F.: Quantitative Geography 1. Studies in Geography, No. 13, NW-Univ., Evanston, 1967
- MEDVEDKOV, Y.V.: The Concept of Entropy in Settlement Pattern Analysis -in: Papers, Reg. Science Ass., 18, 1966, S. 165-168
- ders.: An Application of Topology in Central Place Analysis-in: Papers, Reg. Science Ass., 20, 1967, S. 77-84
- ders.: Entropy: An Assessment of Potentialities in Geography-in: Econ. Geogr., 1970, S. 306-316
- MEINKE, D.: Neure Ansätze zur Bildung von Regionen-in: Raumforschung und Raumordnung, 1970, S. 1-8
- MONMONIER, M.S., FINN, F.E.: Improving the Interpretation of Geographical Canonical Correlation Models-in: Prof. Geographer, 1973, S. 140-142
- MONMONIER, M.S., SCHNELL, G.A.: The Tractor in New York and Pennsylvania 1930-1964-in: Proceedings, Ass. of Am. Geogr., 1972, S. 70-75
- MORENO, J.L.: The Sociometry Reader. New York, 1960
- MORLEY, C.D., THOMAS, I.B.: A Markov Decision Model for Network Flows-in: Geogr. Analysis, 1972, S. 180-193
- MURACO, W.A.: Intraurban Accessibility-in: Econ. Geogr., 1971, S. 388-405
- NICEWANDER, W.A., WOOD, S.A.: Comments on "A General Correlation Index"-in: Psych. Bull., 1974, S. 92-94
- NYSTUEN, J.D., DACEY, M.F.: A Graph Theory Interpretation of Nodal Regions-in: Papers, Reg. Science Ass., 7, 1961, S. 29-42

- OBST,E.:Allgemeine Wirtschafts-und Verkehrsgeographie.Lehrbuch der  
Allgemeinen Geographie,BD VII.Berlin,1965
- O'SULLIVAN,P.M.:Accessibility and the Spatial Structure of the Irish  
Economy-in:Reg.Stud.,1968,S.195-206
- ORD,J.K.:On a System of Discrete Distributions-in:Biometrika,1967,  
S.649-656
- ORE,O.: Graphs and Their Uses.New York,1963
- OTREMBA,E.:Allgemeine Geographie des Welthandels und Weltverkehrs.  
Erde und Weltwirtschaft,Bd.4.Stuttgart,1957
- ders.: Verkehrsgeographische Forschung-in:Schriftenreihe der Deut-  
schen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft,Reihe S,Sonder-  
druck 1,S.343-359.Köln,1969
- OTREMBA,E.,auf der HEIDE,U.:Handels- und Verkehrsgeographie.  
Darmstadt,1975
- PACKHAM,R.W.:Social Network Analysis in Geography-in:Swansea Geogr.,  
1973,S.51-58
- PITTS,F.R.:A Graph Theoretic Approach to Historical Geography-in:  
Prof.Geographer,1965,S.15-20
- PREDÖHL,A.:Verkehr-in:Handwörterbuch der Sozialwissenschaften,1961,  
S.102-111
- PUDLATZ,H.:Zur Transformation der Variablen bei mangelnder Normalver-  
teilung-in:GIESE,E.:Symposium "Quantitative Geographie" Gießen  
1974.Giessener Geogr.Schriften,H.32,Gießen,1975,S.29-33
- RAY,D.M.,LOHNES,F.R.:Canonical Correlation in Geographical Analysis-  
in:Geographia Polonica,25,1973,S.49-65
- REED,W.E.:Indirect Connectivity and Hierarchies of Urban Dominance-in:  
Annals,Ass.of Am.Geogr.,1970,S.770-785
- ROGERS,A.:A Markovian Policy Model of Interregional Migration-in:  
Papers,Reg.Science Ass.,17,1966,S.205-224
- ders.: Matrix Analysis of Interregional Population Growth and Distri-  
bution-in:Papers,Reg.Science Ass.,18,1966,S.177-196
- ROSENBLATT,D.:On the Graphs and Asymetric Forms of Finite Boolean Re-  
lation Matrices and Stochastic Matrices-in:Naval Research  
Logistics Quaterly,1957,S.151-167
- ROSS,I.C.,HARARY,F.:On the Determination of Redundancies in Sociome-  
tric Chains-in:Psychometrika,1952,S.195-208

- SACHS, H.: Beiträge zur Graphentheorie. Leipzig, 1973
- SCHLIEPHAKE, K.: Die Entwicklung der Verkehrsgeographie in Mitteleuropa in den letzten Jahren-in: Zeitschr. f. Wirtschaftsgeogr., 1972, S. 230-234
- ders.: Geographische Erfassung des Verkehrs. Giessener Geogr. Schriften, H. 28. Gießen, 1973
- ders.: Verkehr als regionales System-in: Mitt. d. Geogr. Ges. Hamburg, Bd. 64, 1976, S. 127-152
- SCHMIDT, U.: Der Fernsprehdienst der Deutschen Bundespost. Nürnberger wirtschafts- und sozialgeogr. Arbeiten, Bd. 26. Nürnberg, 1977
- SEMPLE, R. K., GOLLEDGE, R. G.: An Analysis of Entropy Changes in a Settlement Pattern over Time-in: Econ. Geogr., 1964, S. 157-160
- SEMPLE, R. K., WANG, L. H.: A Geographical Analysis of Changing Redundancy in Inter-Urban Transportation Links-in: Geogr. Annaler, Ser. B, 1971, S. 1-5
- SENDER, G.: Verkehrsgeographie-in: Westermanns Lexikon der Geographie, Bd. IV. Braunschweig, 1970, S. 821-822
- SHANNON, C. E., WEAVER, W.: The Mathematical Theory of Communication. Urbana, 1949
- SHIMBEL, A.: Structural Parameters of Communication Networks-in: Bull. of Math. Biophysics, 1953, S. 501-507
- SMITH, R. H. T.: Concepts and Methods in Commodity Flow Analysis-in: Econ. Geogr., 1970, S. 404-416
- SÖÖT, S.: National Airline Networks: A Graph Theoretic Analysis-in: Cahiers de Geogr. de Québec, 1975, S. 461-474
- SOLOW, R.: On the Structure of Linear Models-in: Econometrica, 1952, S. 29-46
- SPENCE, N. A., TAYLOR, P. J.: Quantitative Methods in Regional Taxonomy-in: Progress in Geography, 2, 1970, S. 1-64
- STEINER, D.: Die Faktorenanalyse-ein modernes statistisches Hilfsmittel des Geographen für die objektive Raumgliederung und Typenbildung-in: Geographica Helvetica, 1965, S. 20-34
- STEPHENSON, L. K.: On Functional Regions and Indirect Flowa-in: Geogr. Analysis, 1974, S. 383-385
- STEWART, J. Q.: Empirical Mathematical Rules Concerning the Distribution and Equilibrium of Population-in: Geogr. Rev., 1947, S. 461-485

- STEWART,D.K.,LOVE,W.A.:A General Correlation Index-in:Psych.Bull.,  
1968,S.160-163
- STUTZ,F.:Accessibility and the Effect of Scalar Variation on the Power-  
red Transportation Connectivity Matrix-in:Geogr.Analysis,  
1973,S.61-66
- TAAFFE,E.J.,MORILL,R.L.,GOULD,P.R.:Transport Expansion in Underdeve-  
loped Countries-in:Geogr.Rev.,1963,S.503-529
- TAAFFE,E.J.,GAUTHIER,H.L.:Geography of Transportation.Englewood  
Cliffs,1973
- TAPIERO,C.S.,BOOTS,B.:Structural Inference in Transportation Networks  
in:Env.and Planning,A,1974,S.411-418
- TAYLOR,Z.:Accessibility of Urban Transport Systems.The Case of  
PoznanCity-in:Geographia Polonica,33,1976,S.121-141
- TINKLER,K.J.:A Coefficient of Association for Binary Data-in:Area,1971,  
S.31-35
- ders.: The Physical Interpretation of Eigenfunctions of Dichotomous  
Matrices-in:Transactions,Inst.of Brit.Geogr.,55,1972a,S.17-46
- ders.: Bounded Planar Networks:A Theory of Radial Structures-in:  
Geogr.Analysis,1972b,S.5-33
- ders.: Letter to the Editor-in:Transactions,Inst.of Brit.Geogr.,57,  
1973,S.149-150
- ders.: On Summing Power Series Expansion of Accessibility Matrices  
by the Invers Method-in:Geogr.Analysis,1974,S.175-178
- TUTTE,W.T.:Connectivity in Graphs.London,1966
- ÜBERLA,K.:Faktorenanalyse.Berlin,1968
- ULLMANN,E.L.:Geography as Spatial Interaktion-in:HURST,M.E.E.:Trans-  
portation Geography.London,1974,S.29-40
- VETTER,F.:Netztheoretische Studien zum niedersächsischen Eisenbahnnetz.  
Abh.d.1.Geogr.Inst.d.Freien Univ.Berlin,Bd.15.Berlin,1970
- WARD,J.H.:Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function-in:  
Journal of Am.Stat.Ass.,1963,S.236-244
- WATSON,J.W.:Geography:A Disciplin in Distance-in:Scottish Geogr.Mag.,  
1955,S.1-13
- WERNER,C.:Zur Geometrie von Verkehrsnetzen.Abh.d.1.Geogr.Inst.d.Frei-  
en Univ.Berlin,Bd.10.Berlin,1966

- WERNER,C. et al.:A Research Seminar in Theoretical Transportation Geography-in:HORTON,F.:Geographic Studies of Urban Transportation and Network Analysis.Studies in Geography,No.16,NW-Univ., Evenston,1968,S.128-170
- WHEELER,J.O.:Introduction:Societal and Policy Perspectives in Transportation Geography-in:Econ.Geogr.,1973,S.ii und 181-184
- ders.: An Overview of Research in Transportation Geography-in:The East Lakes Geographer,Dec. 1971,S.3-12
- WIELAND,H.:Unzerlegbare,nicht negative Matrizen-in:Math.Zeitschr.,1950, S.642-648
- WINTGEN,G.:Zur mengentheoretischen Definition und Klassifikation kybernetischer Systeme-in:Wiss.Zeitschr.d.Humboldt Univ.Berlin,1968, S.867-886
- ZIPF,G.K.:Human Behavior and the Principle of Least Effort.Reading, 1949
- ZURMÜHL,R.:Matrizen.Berlin,1964
- Kursbuch der Deutschen Bundesbahn,Gesamtausgabe Winter 1972/73
- Beiträge zur Statistik Bayerns,Hefte 303a/b und 304a/b.Bayerisches Statistisches Landesamt,1972
- Statistik von Baden-Württemberg,Gemeindestatistik 1970,Heft 2 und Heft 4a;Gemeindestatistik 1972,Heft 3.Statistisches Landesamt Baden-Württemberg,1972f



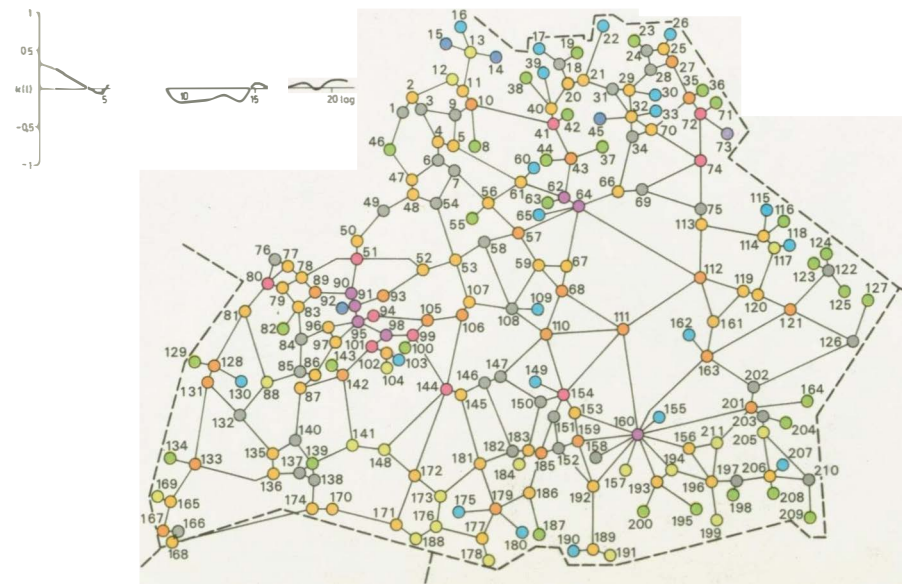


Abb. 4 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{31}(v_i)$

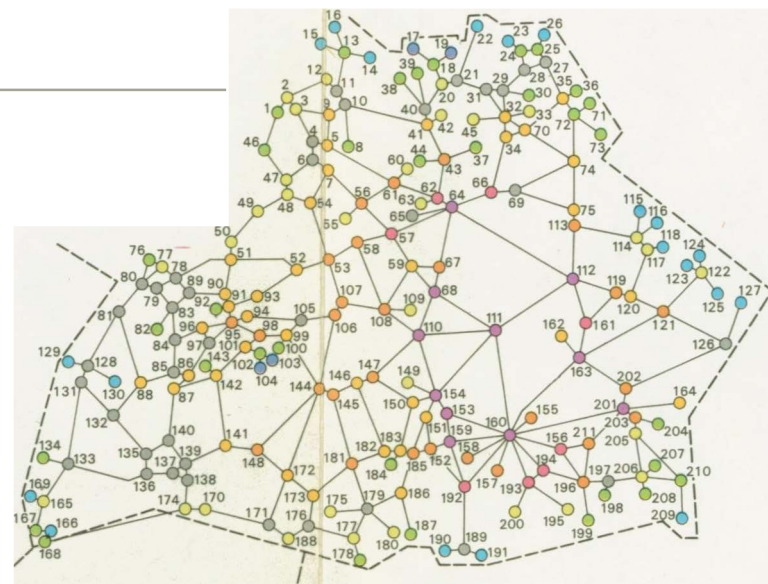


Abb. 6 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{12}(v_i)$

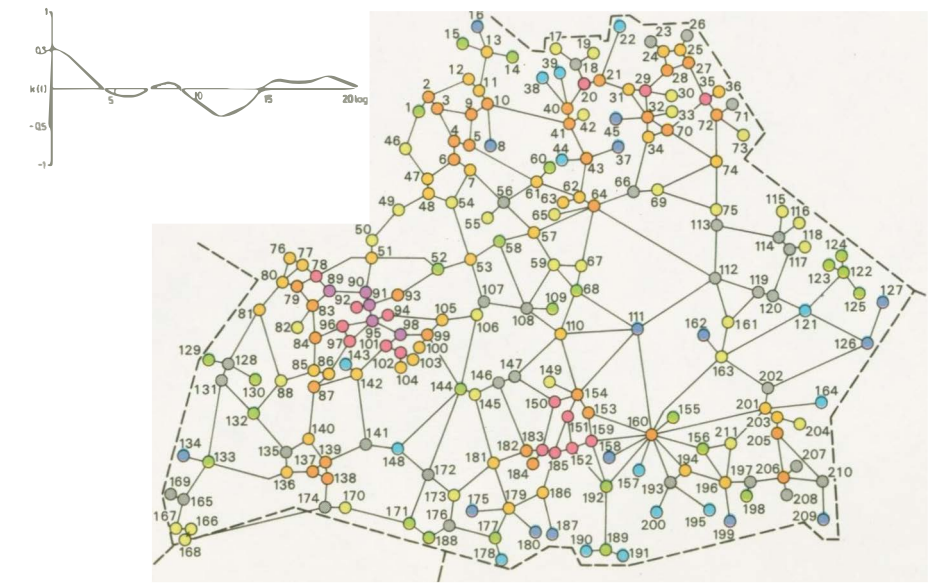


Abb. 7 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{21}(v_i)$

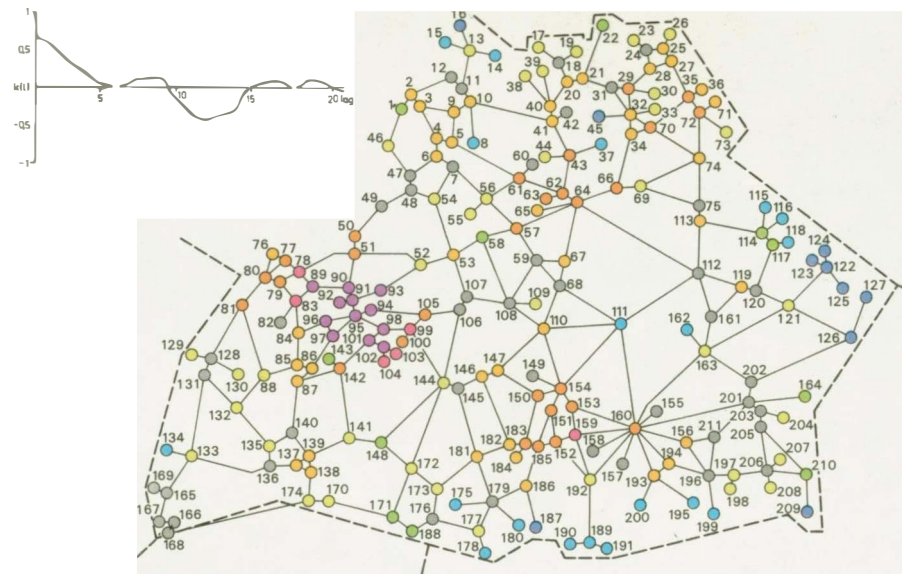


Abb. 8 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{32}(v_i)$

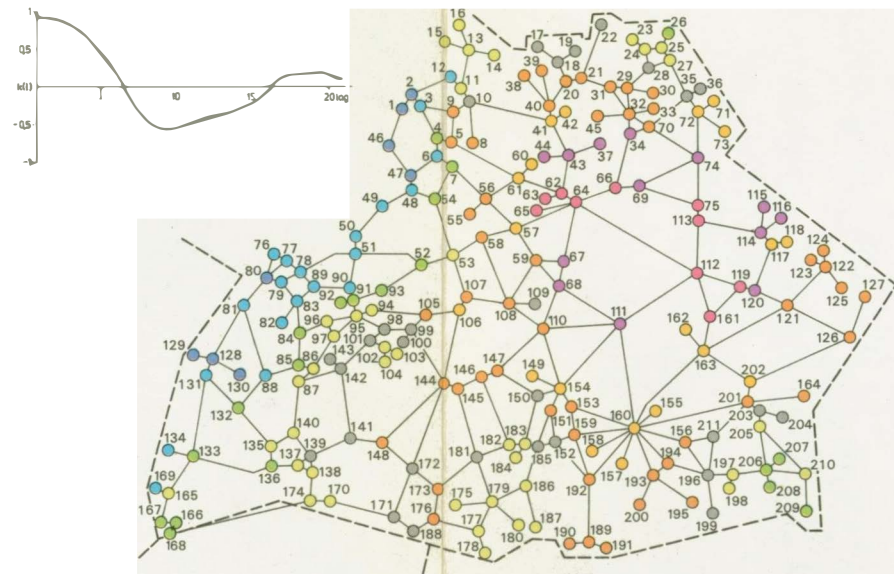


Abb. 10 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{13}(v_i)$

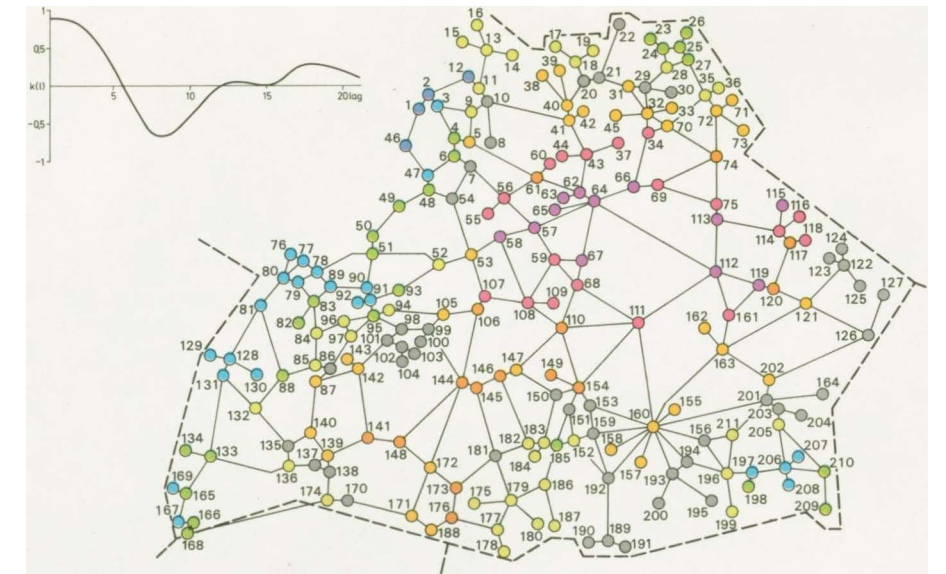


Abb. 11 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{33}(v_i)$

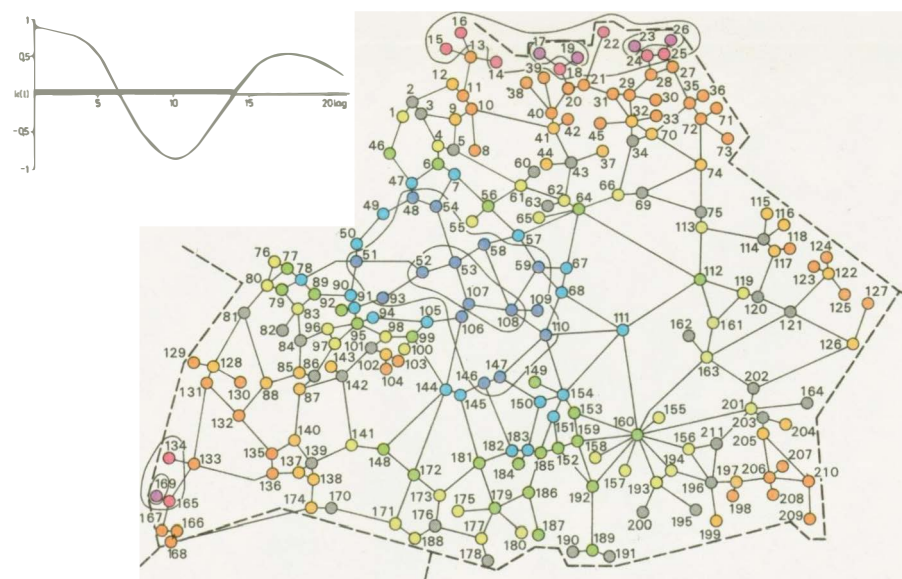


Abb. 12 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{14}(v_i)$

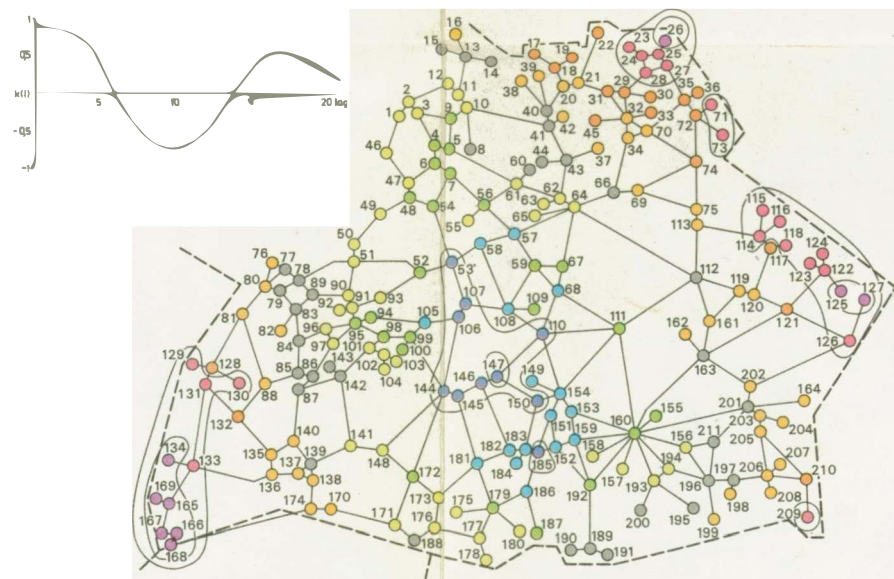
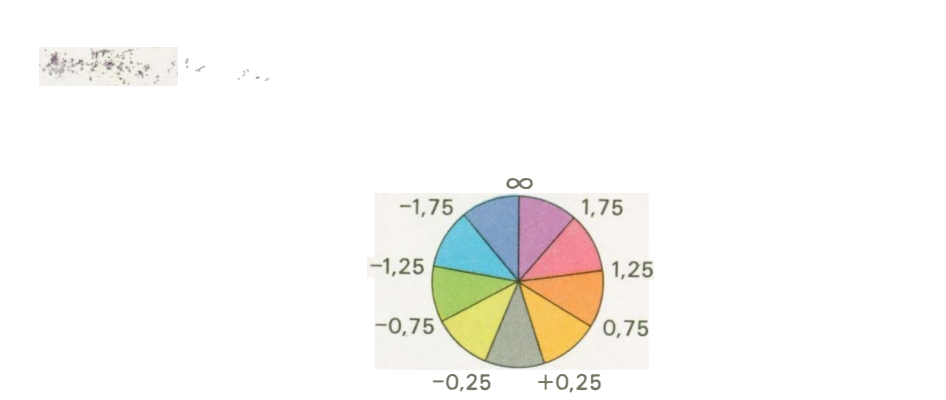


Abb. 13 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{22}(v_i)$





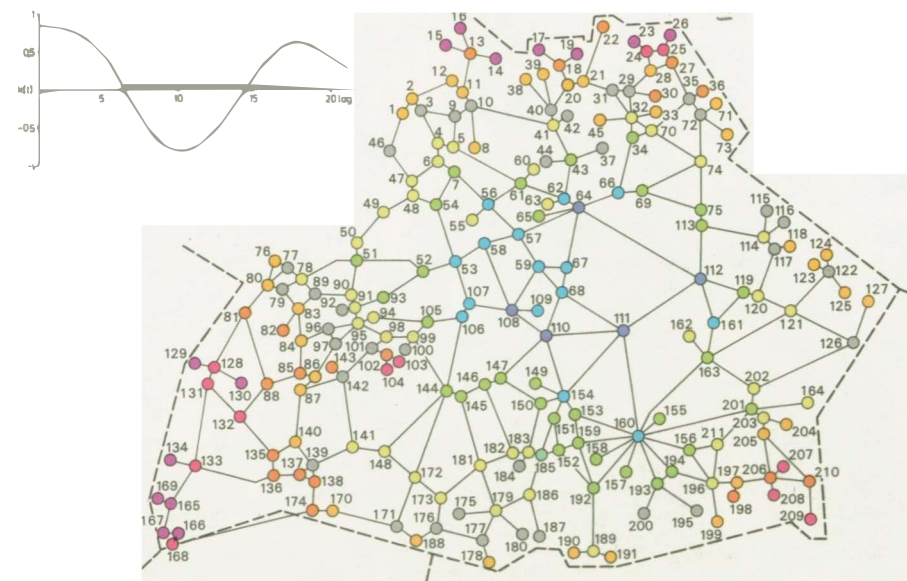


Abb. 19 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{15}(v_i)$

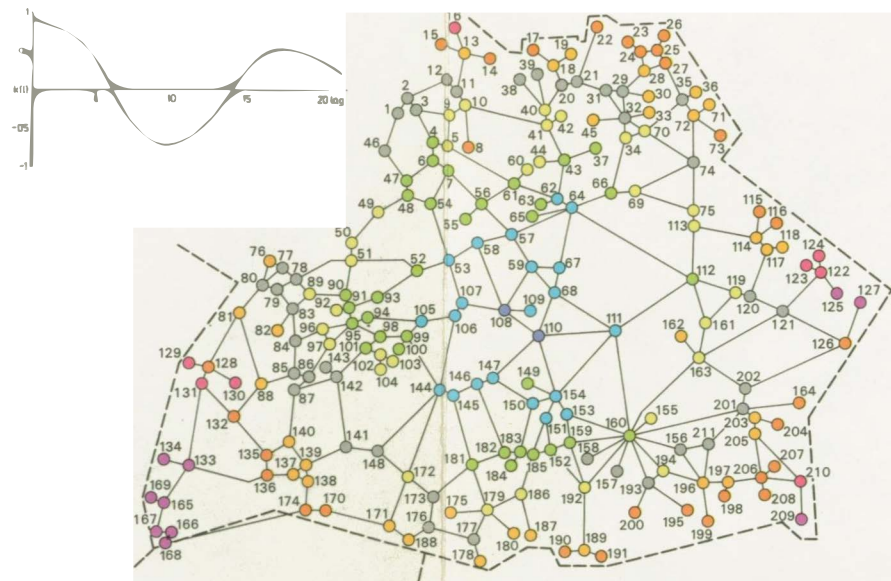


Abb. 20 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{23}(v_i)$

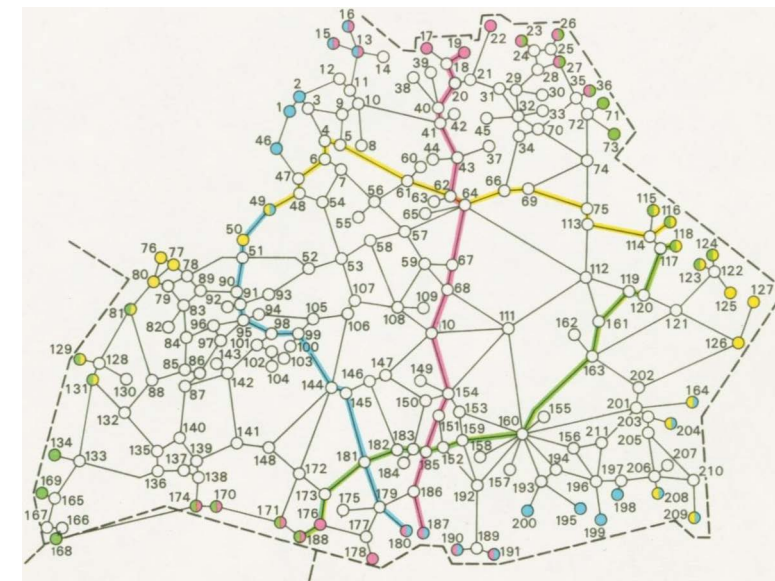


Abb. 22 Die kürzesten Wege durch  $\Gamma$

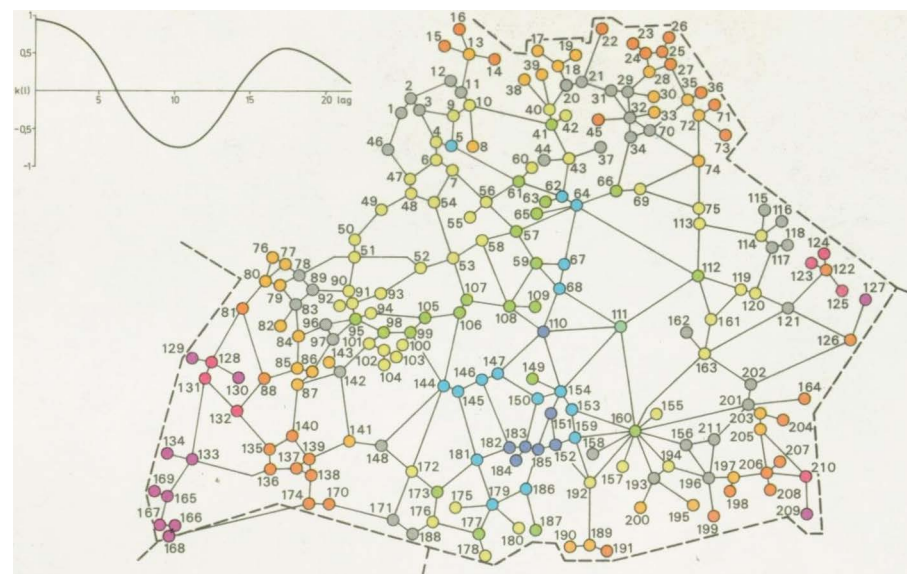


Abb. 23 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{24}(v_i)$

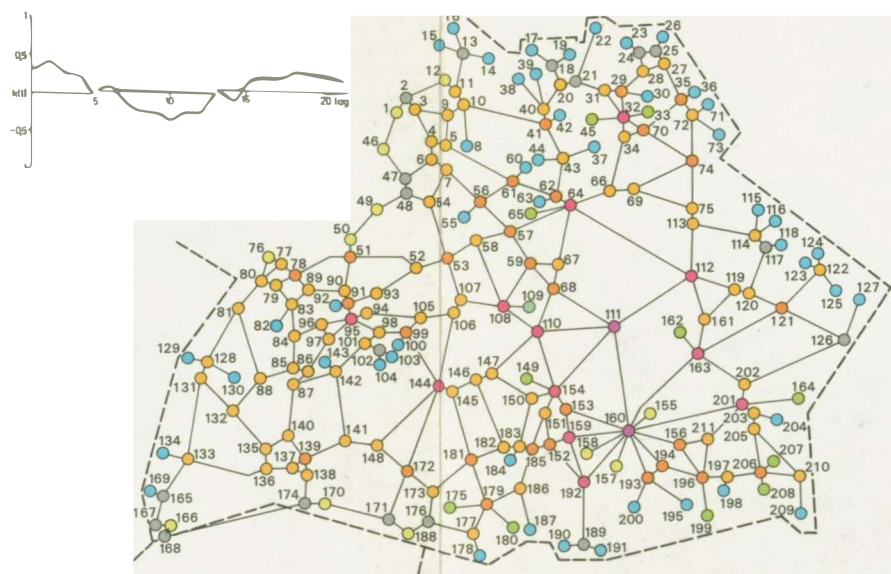


Abb. 24 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{16}(v_i)$

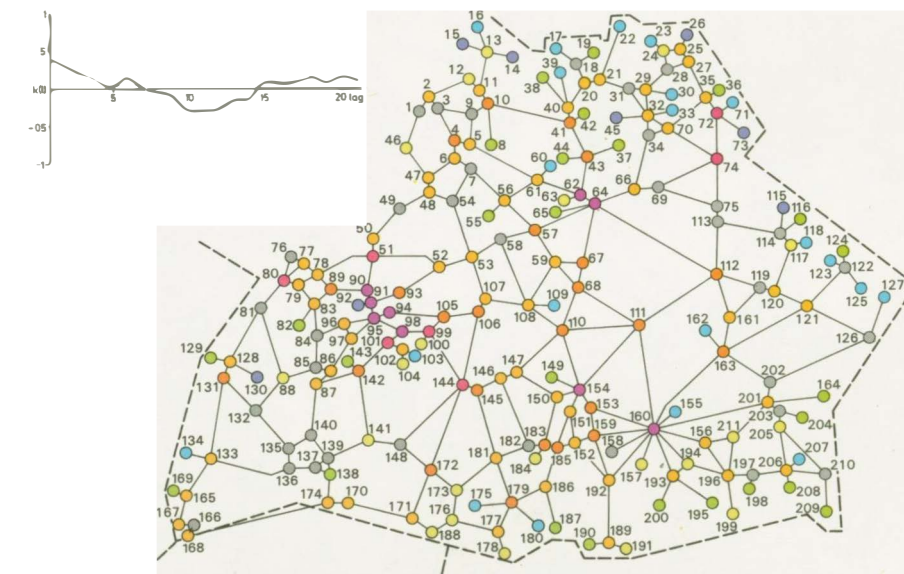


Abb. 25 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{34}(v_i)$

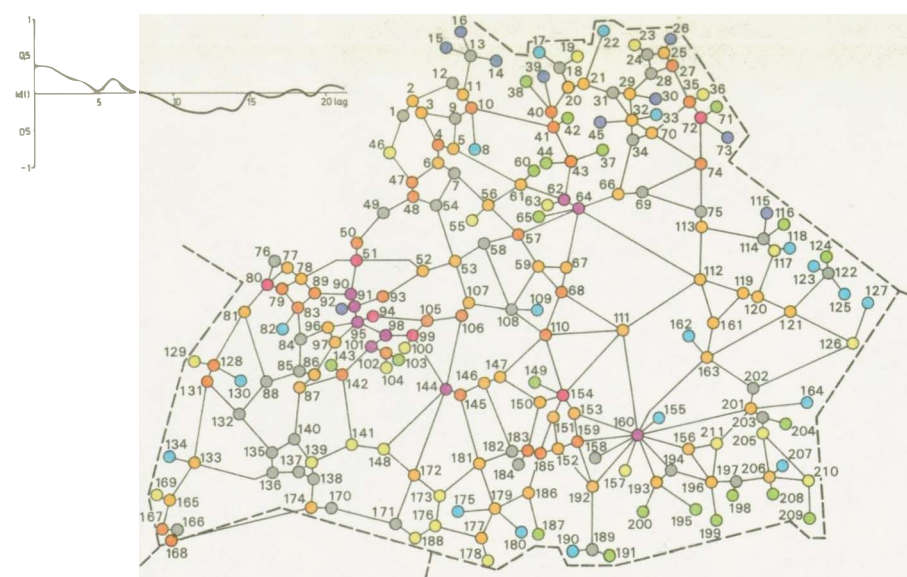


Abb. 26 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{35}(v_i)$

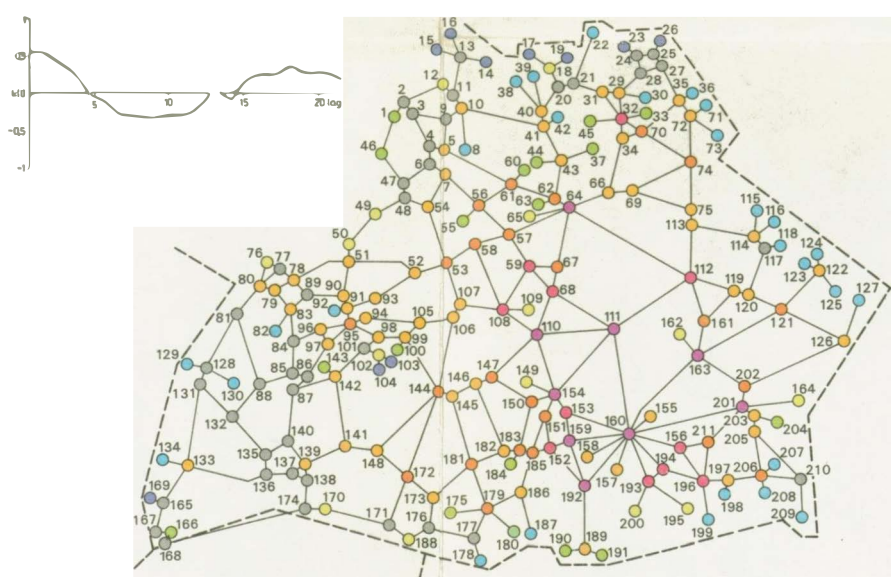
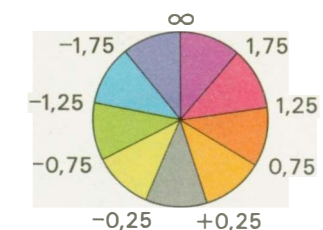


Abb. 27 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{17}(v_i)$





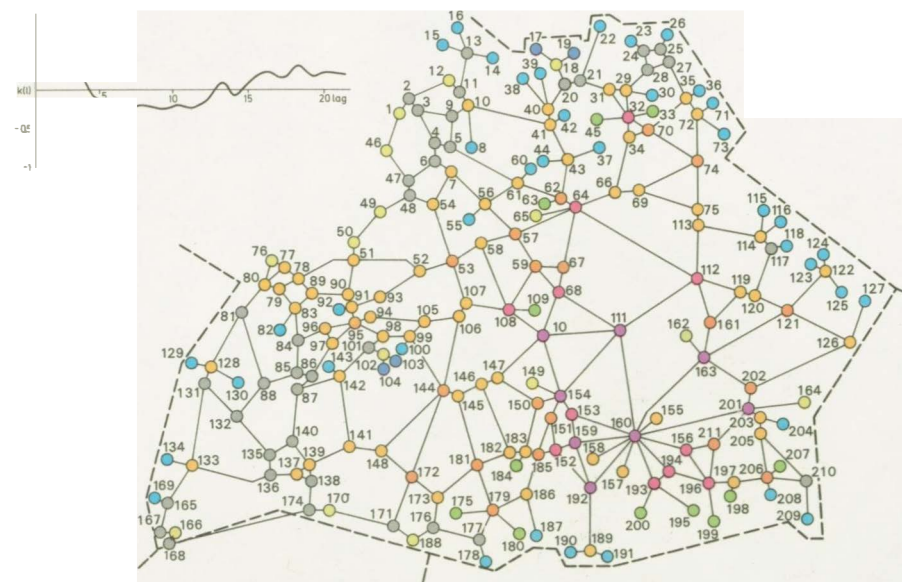


Abb. 29 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{18}(v_i)$

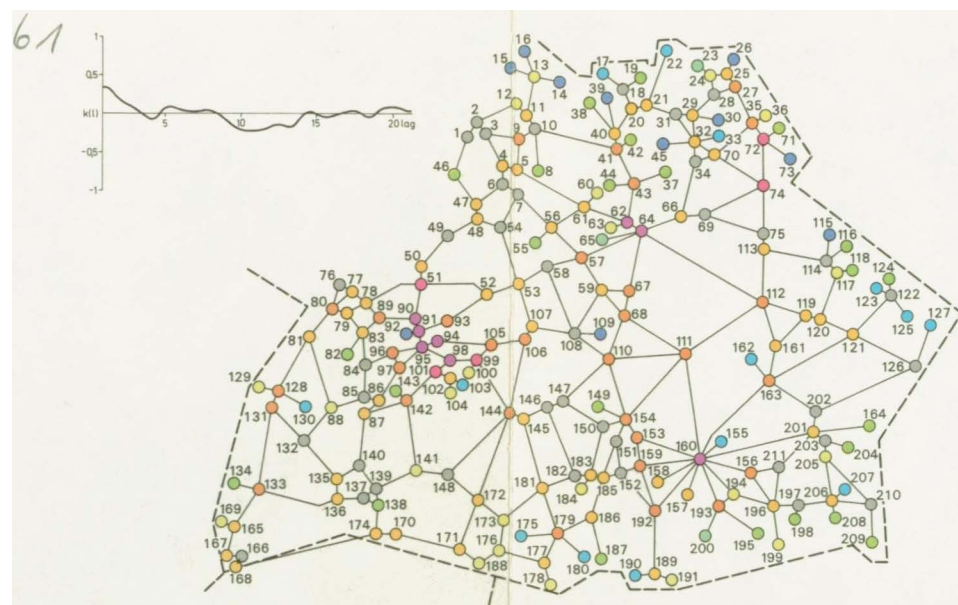


Abb. 30 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{36}(v_i)$

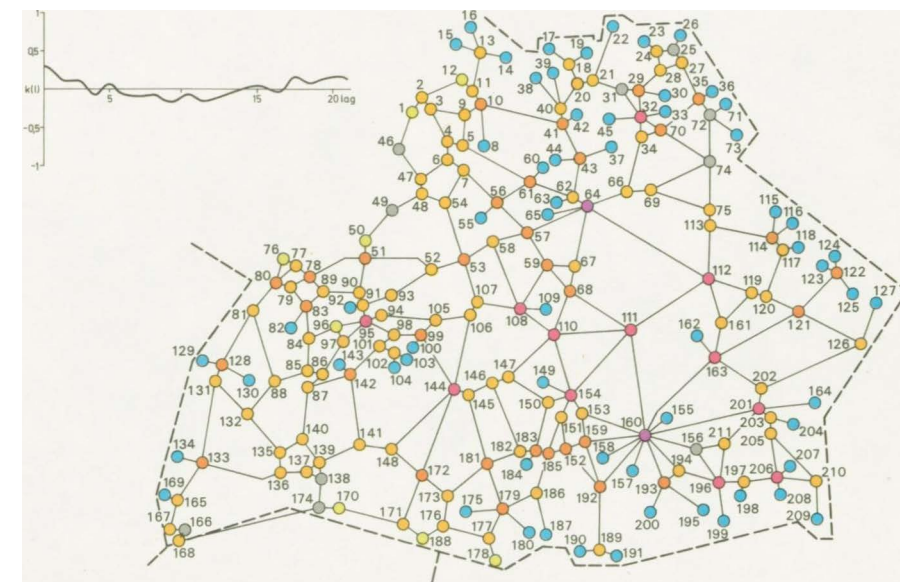


Abb. 31 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{37}(v_i)$

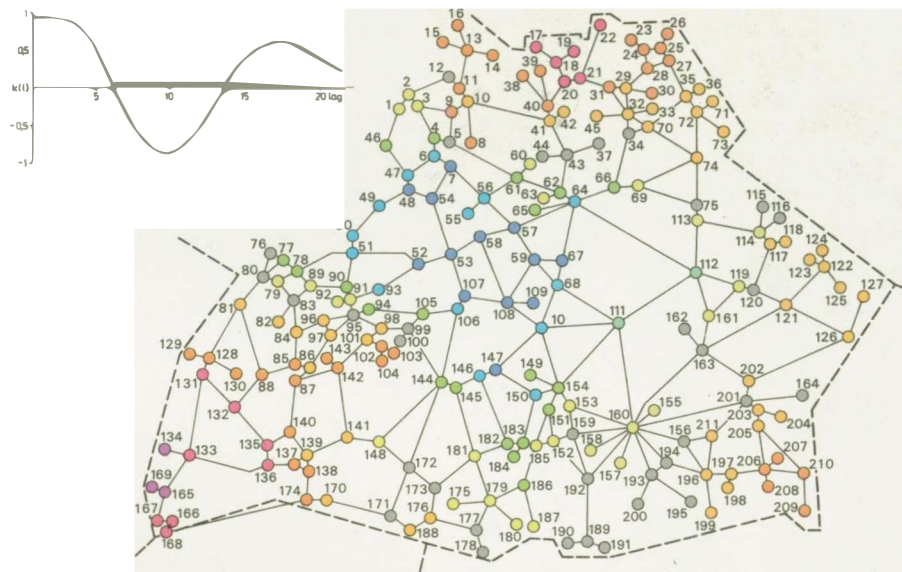


Abb. 32 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{19}(v_i)$

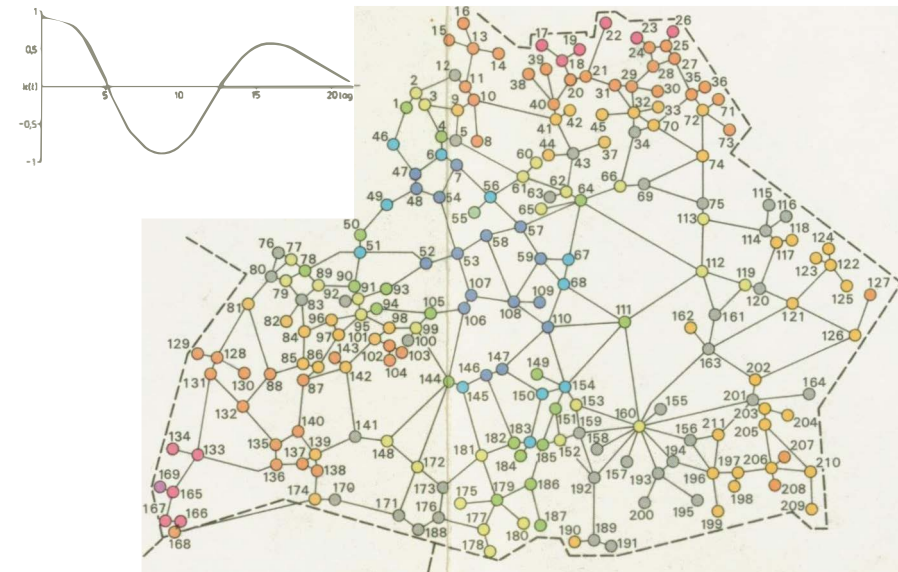


Abb. 33 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{38}(v_i)$

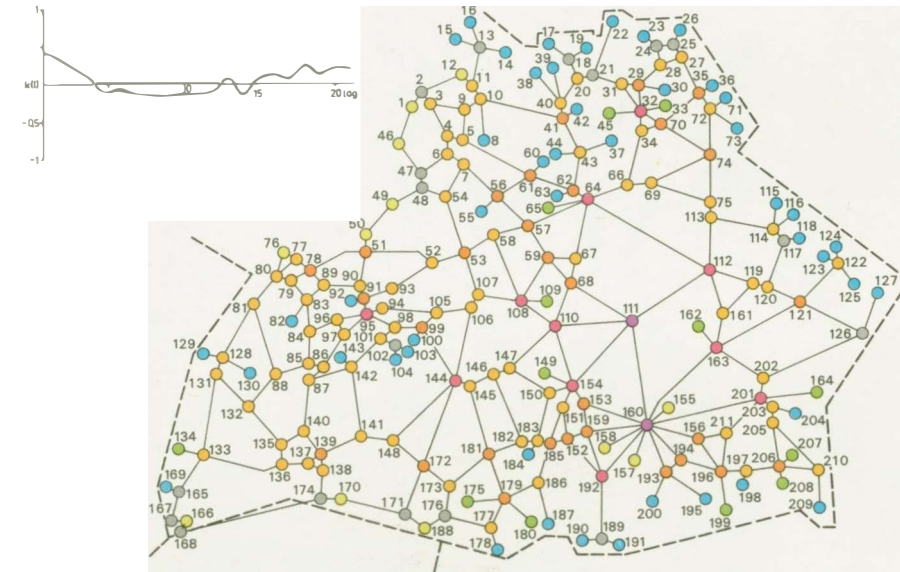


Abb. 34 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{110}(v_i)$

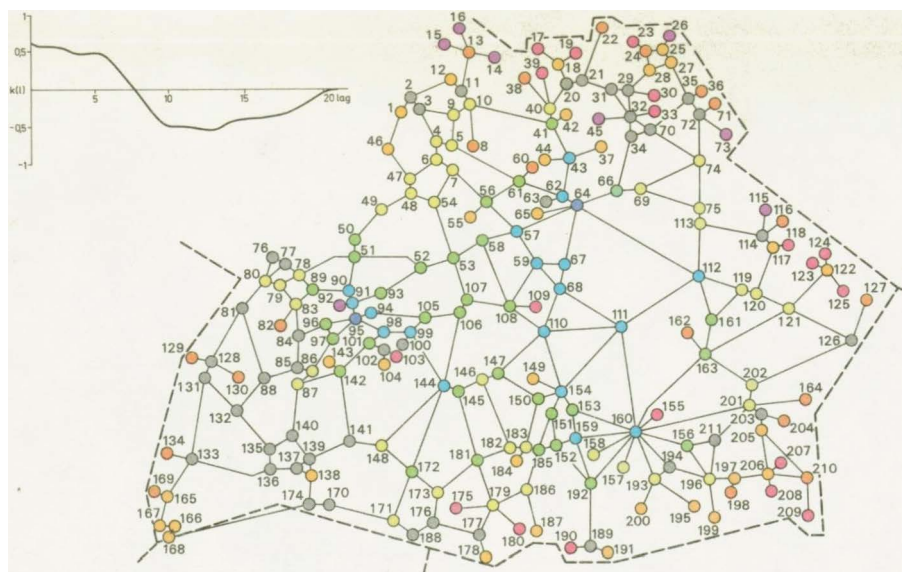


Abb. 35 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{39}(v_i)$

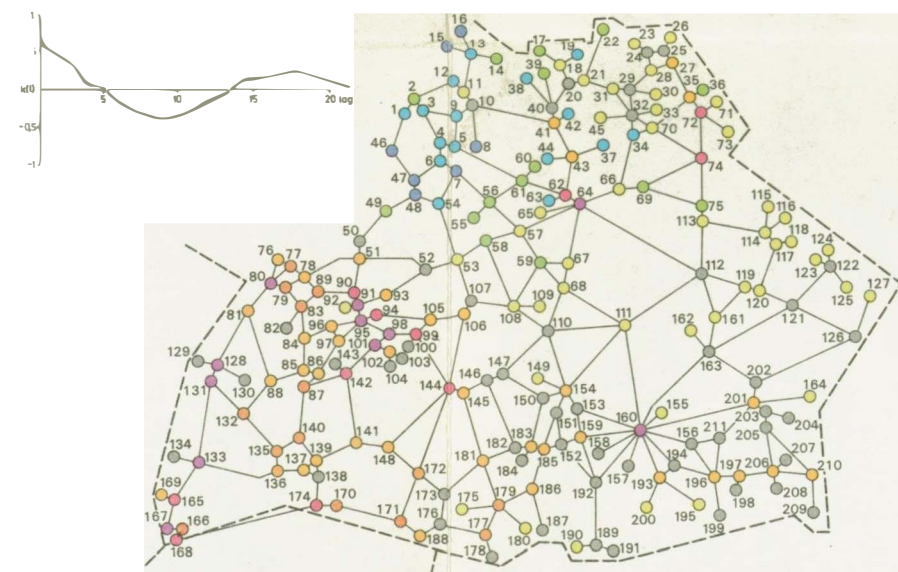


Abb. 36 Werteverteilung und Korrelogramm zu  $S_{310}(v_i)$





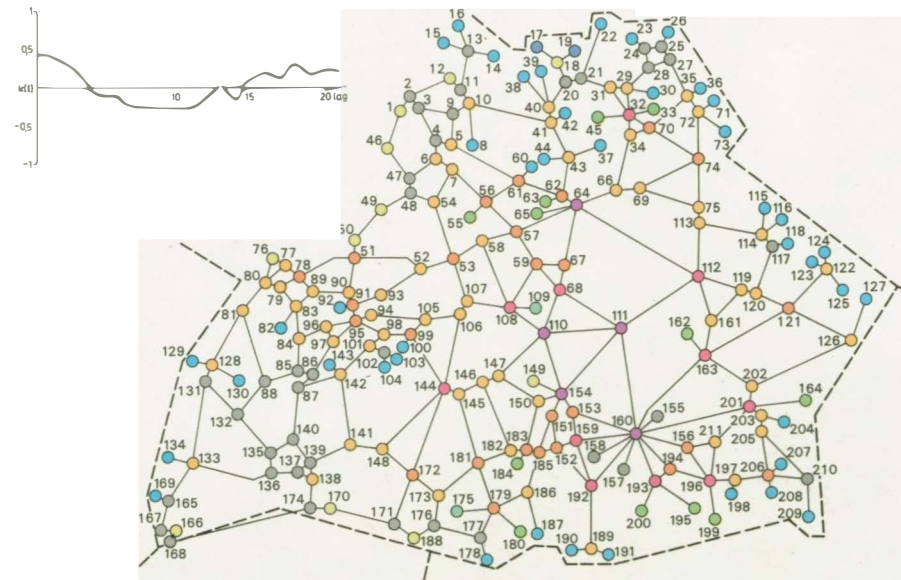


Abb. 39 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Bedeutung'  $S_{11}^+(v_i)$  und Korrelogramm

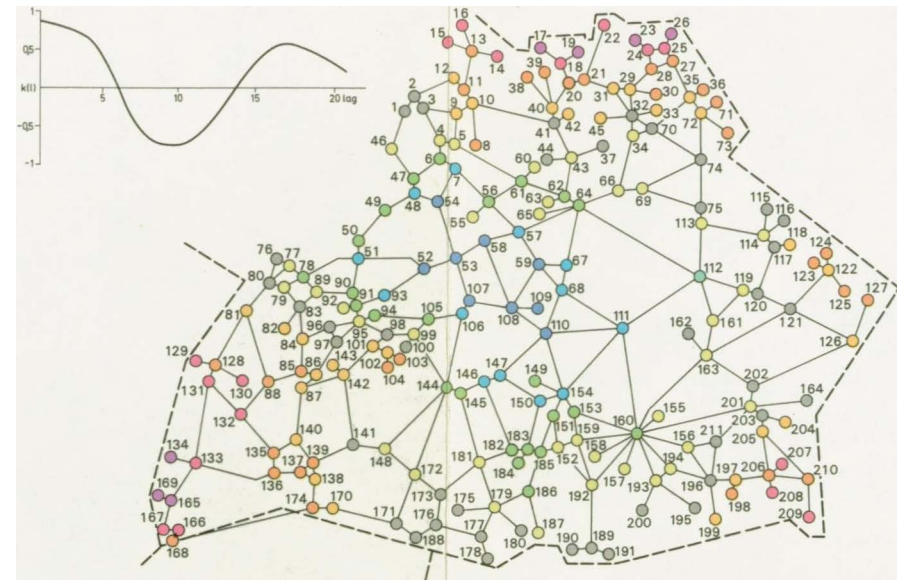


Abb. 40 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Primärlage'  $S_{12}^+(v_i)$  und Korrelogramm

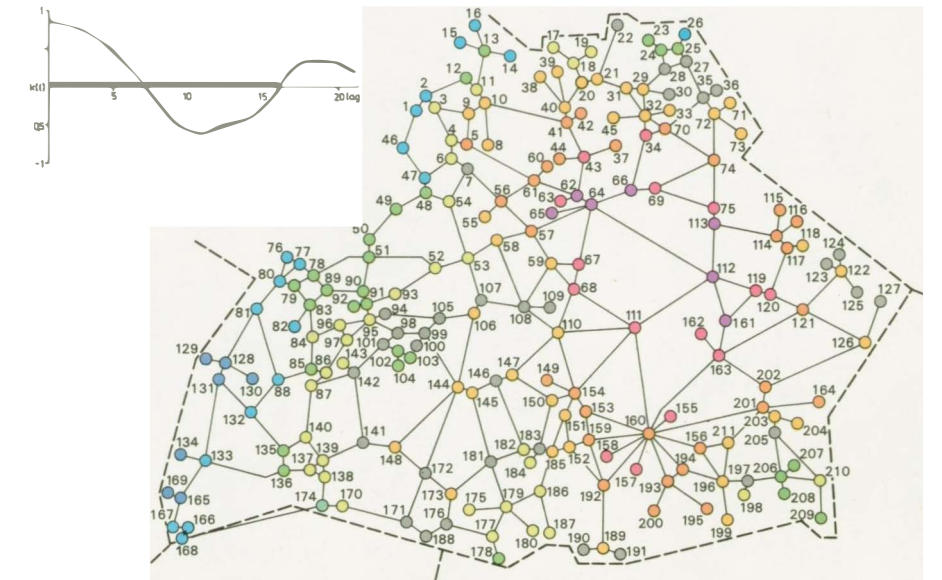


Abb. 41 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Sekundärlage'  $S_{13}^+(v_i)$  und Korrelogramm

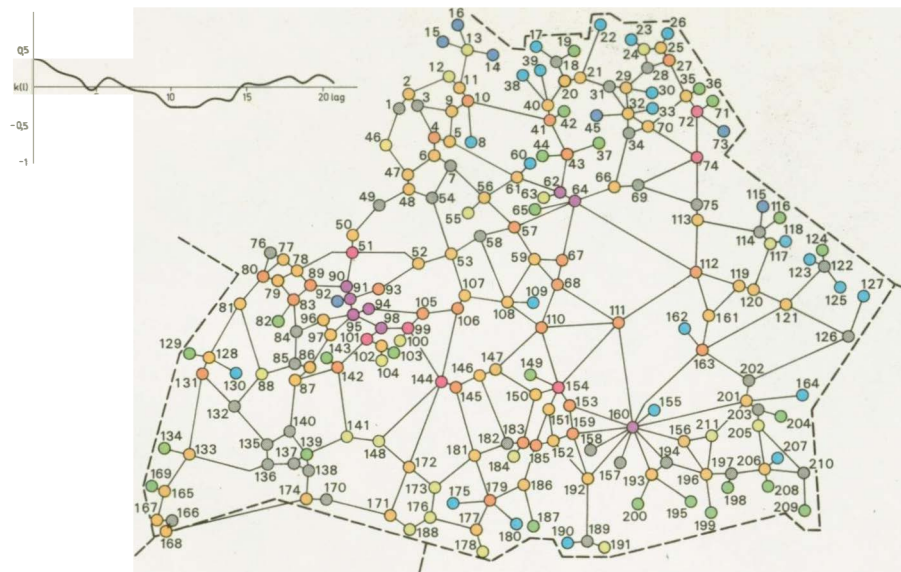


Abb. 43 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Bedeutung'  $S_{31}^+(v_i)$  und Korrelogramm

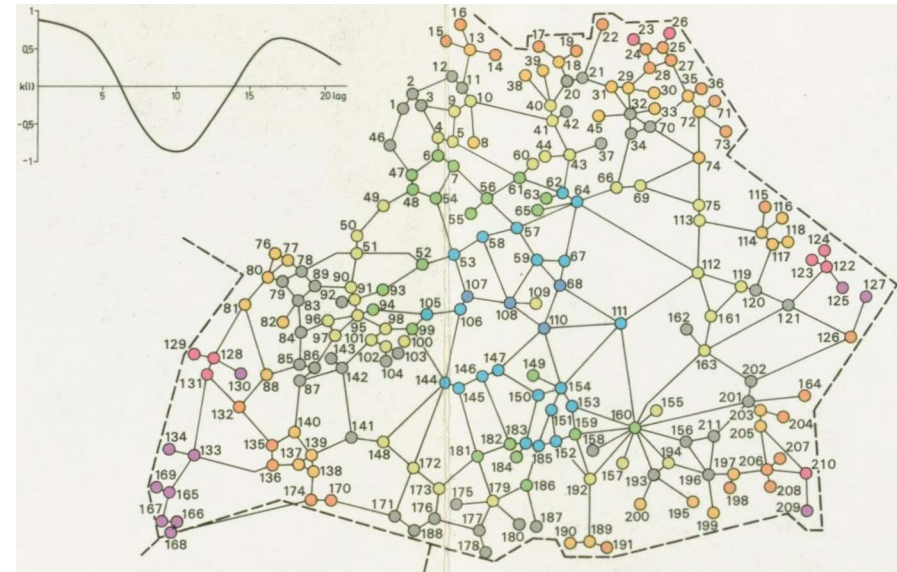


Abb. 44 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Primärlage'  $S_{32}^+(v_i)$  und Korrelogramm

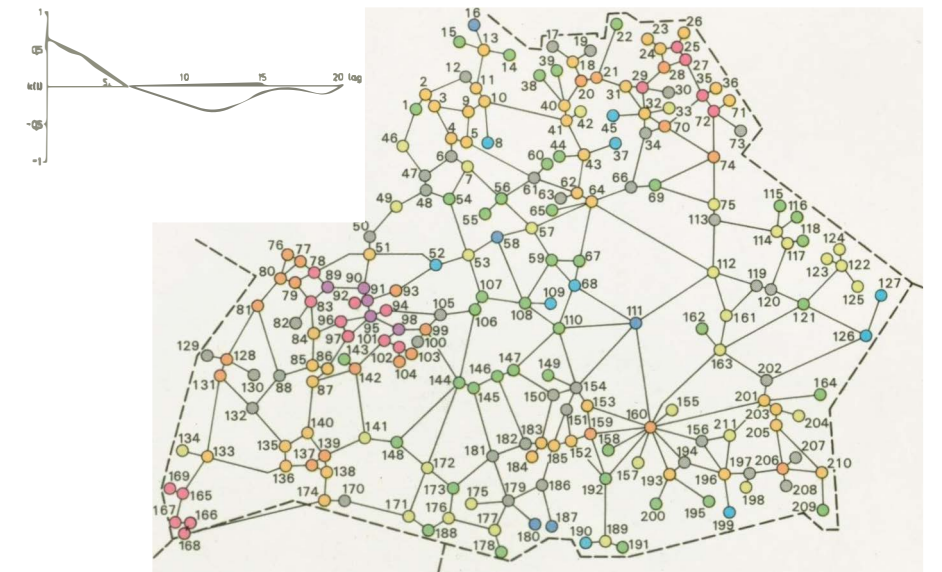


Abb. 45 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Sekundärlage'  $S_{33}^+(v_i)$  und Korrelogramm

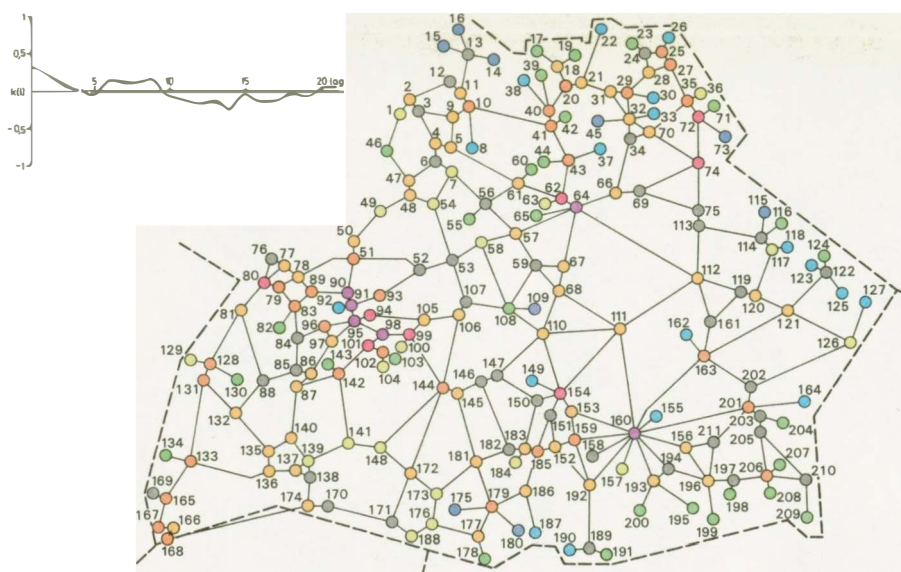


Abb. 49 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Bedeutung'  $S_1^+(v_i)$  und Korrelogramm

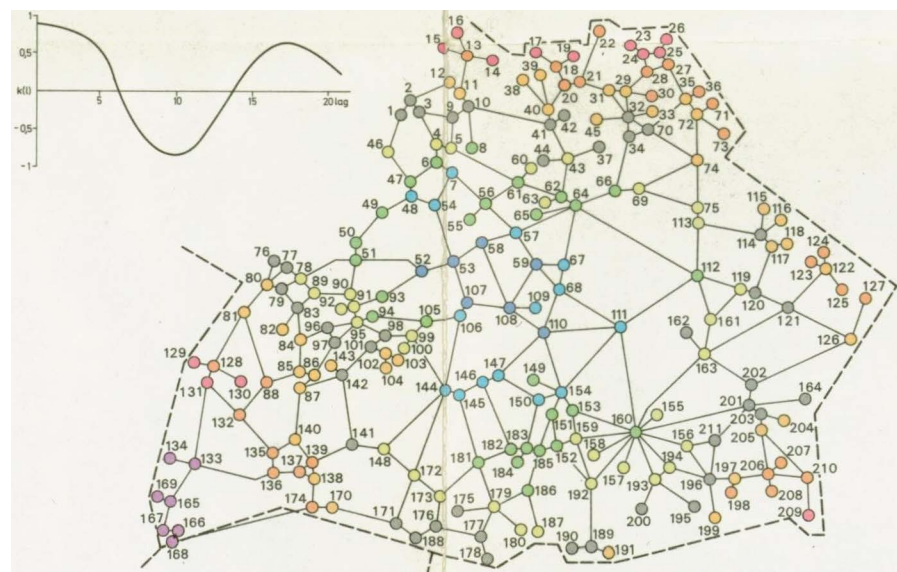
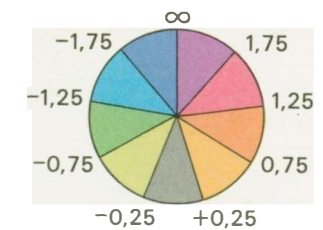


Abb. 50 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Primärlage'  $S_2^+(v_i)$  und Korrelogramm





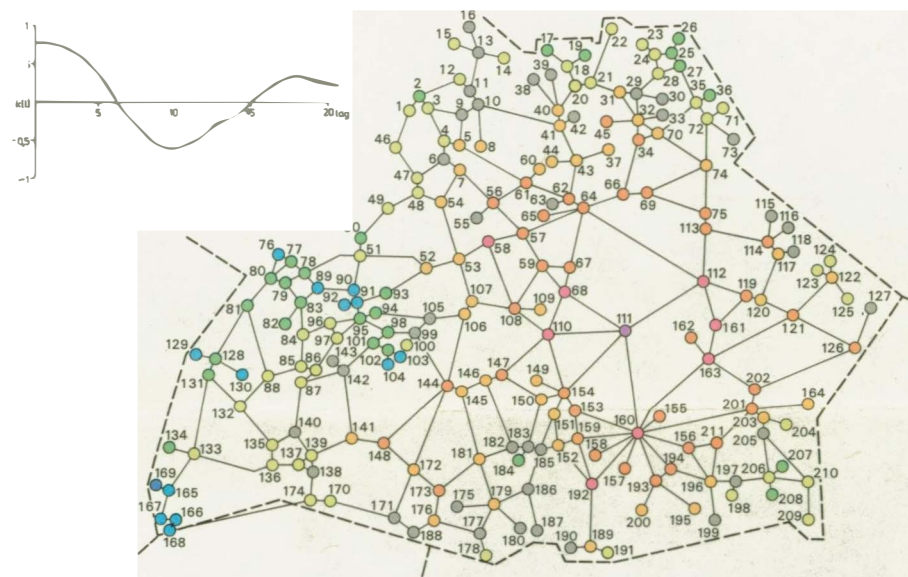


Abb. 51 Faktorenwerteverteilung zu Faktor 'Sekundärlage'  $\hat{S}_3^*(v_i)$  und Korrelogramm

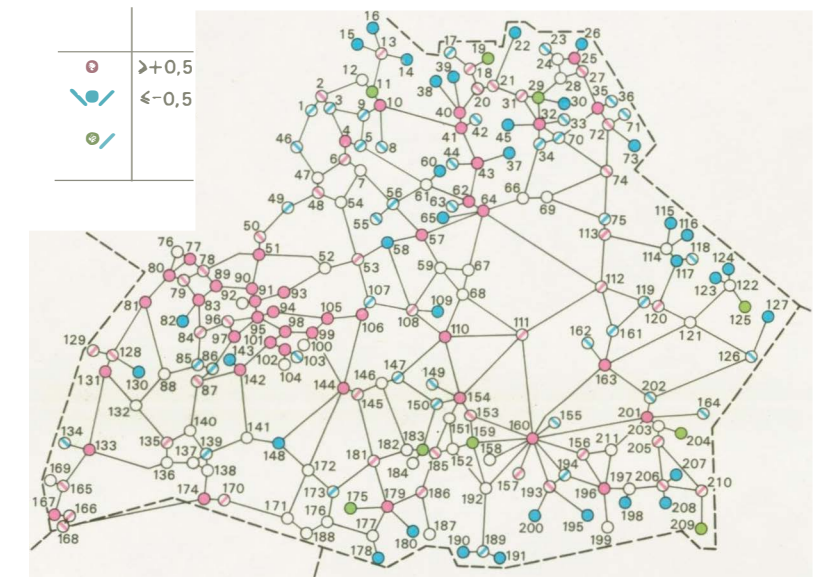
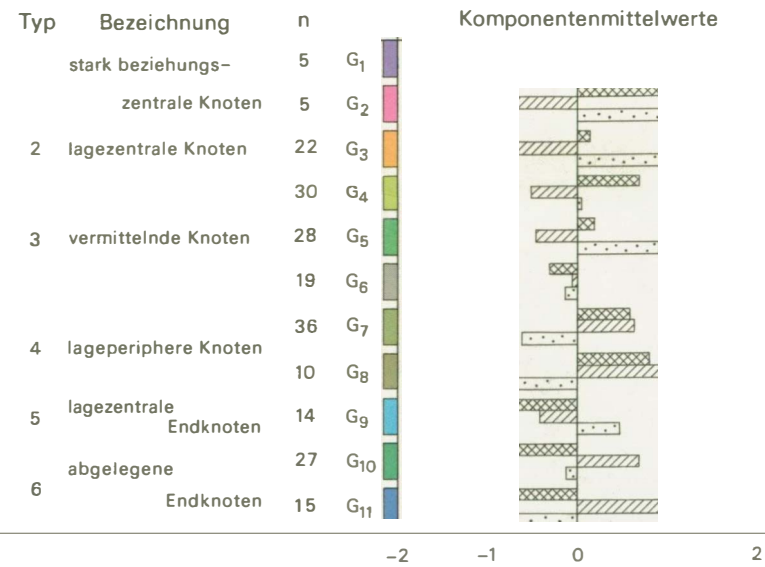


Abb. 54 Kanonische Faktorenwerte zu  $\hat{S}_1(v_i) / \hat{W}_1(v_i)$

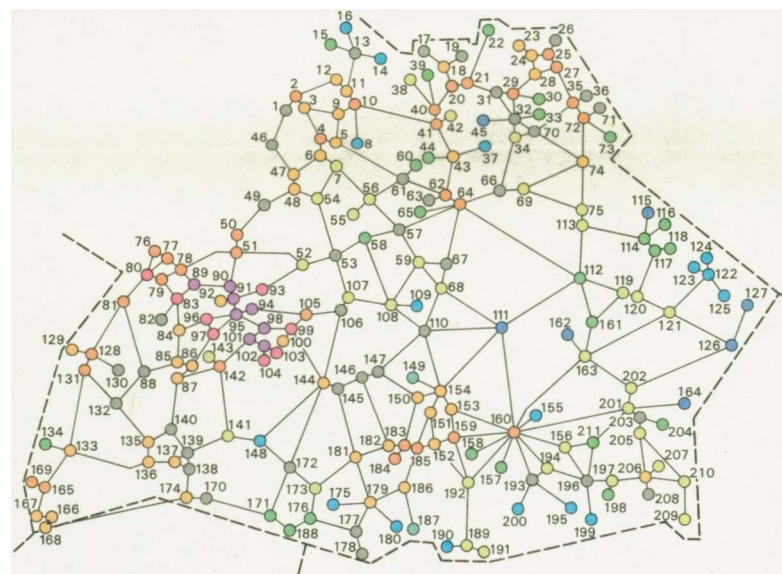
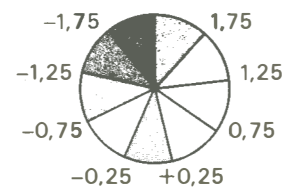


Abb. 59 Residuen der 'Erreichbarkeit'

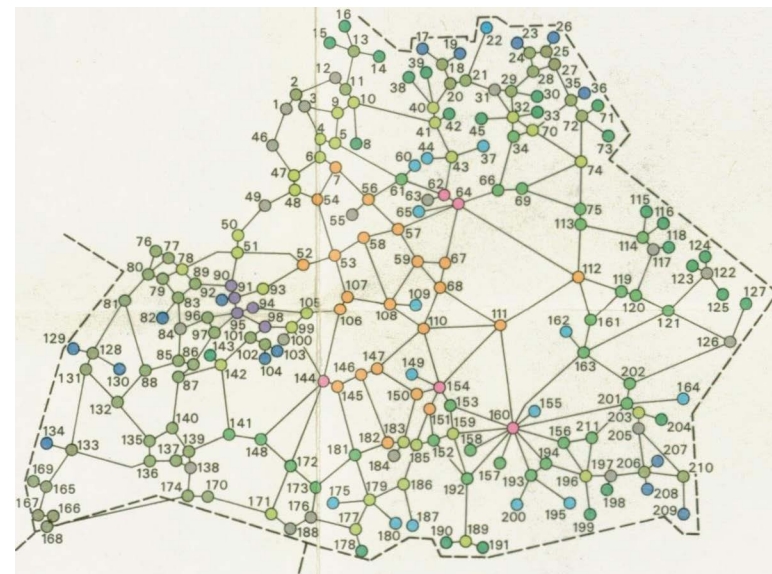


Abb. 53 Ergebnisse der aspektbezogenen Knotentypisierung

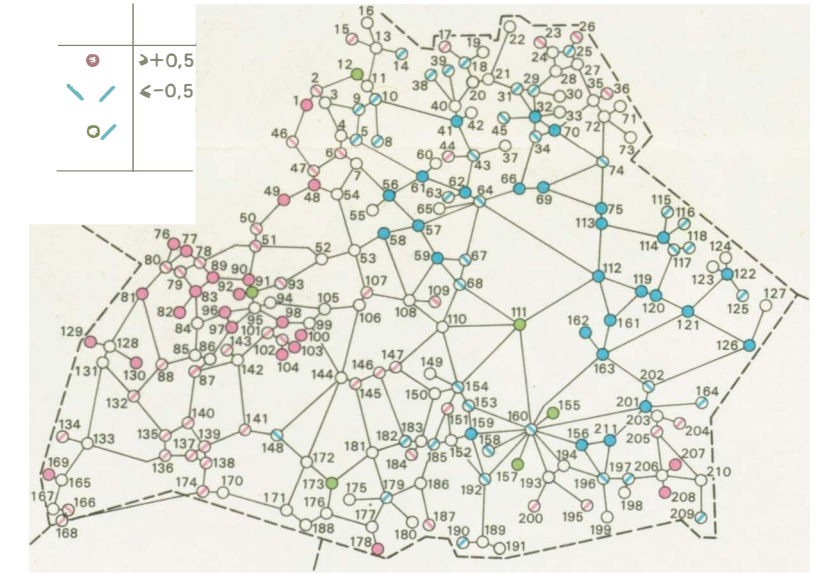


Abb. 55 Kanonische Faktorenwerte zu  $\hat{S}_2(v_i) / \hat{W}_2(v_i)$