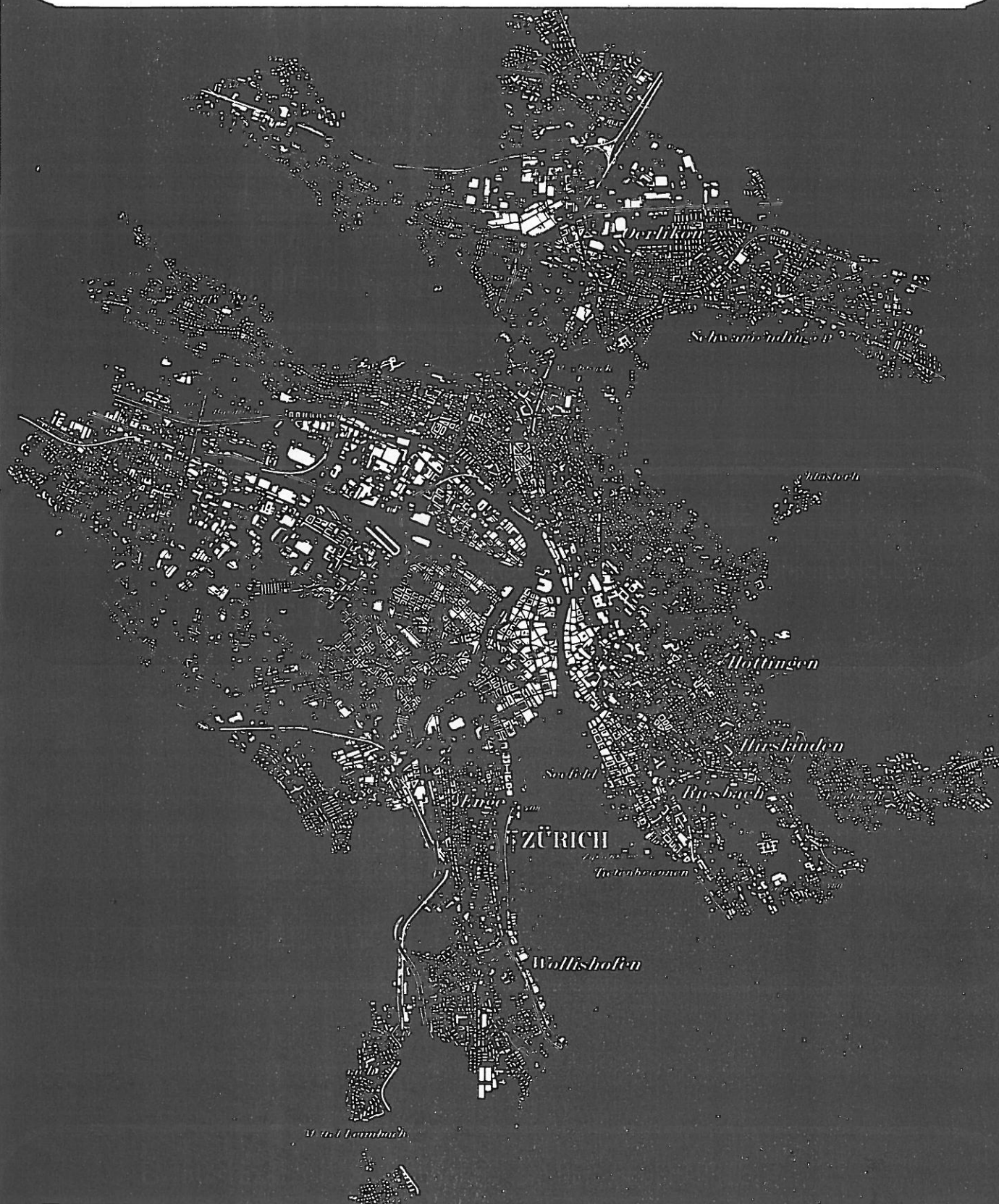


ENTROPIE ALS MISCHUNGSMASS IN DER GEOGRAPHIE -
DARGESTELLT AN EINER UNTERSUCHUNG UEBER DIE FUNKTIONELLE
ENTMISCHUNG IN DER STADT ZÜRICH 1965 - 1975



MATTHIAS BUERGIN

ENTROPIE ALS MISCHUNGSMASS IN DER GEOGRAPHIE -
DARGESTELLT AN EINER UNTERSUCHUNG UEBER DIE FUNKTIONELLE
ENTMISCHUNG IN DER STADT ZUERICH 1965 - 1975

DIPLOMARBEIT
AM GEOGRAPHISCHEN INSTITUT DER
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN ZUERICH

VON
MATTHIAS BUERGIN

REFERENT: PROF. DR. D. STEINER
KORREFERENT: DR. P. HITZ

ZUERICH, ENDE DEZEMBER 1978

suburbia

hier

zont es

grün

hier

parkt

verkehr:

der lärm

schwand hin

man ruht

sich sehr

hier

wohnts

auf schön

hier

sonnts

am hang:

komm

lass uns

gehn

ich

weil mich

lang

kurt marti

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	1
I. KOMPILATORISCHER TEIL	3
1. ALLGEMEINES	3
2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	7
2.1 Historische Entwicklung	7
2.2 Mathematische Formulierungen	8
3. DIE ENTROPIE IN DER INFORMATIONSTHEORIE	11
3.1 Die Informationstheorie	11
3.2 Information	11
3.3 Messbarkeit der Information	12
3.4 Entropiefunktion	14
3.5 Eine Interpretation von H	17
4. WEITERE INFORMATIONSTHEORETISCHE KONZEPTE	19
4.1 Relative Entropie	19
4.2 Redundanz	19
5. ZWEIDIMENSIONALE ERWEITERUNG DES ENTROPIE- KONZEPTS	24
5.1 Gesamtentropie	24
5.2 Bedingte Entropie	25
5.3 Abhängigkeitsentropie	25
5.4 Anwendungen	26
6. INFORMATIONSGEWINN	29
6.1 Methode	29
6.2 Anwendungen	31
7. DAS DEKOMPOSITIONSTHEOREM	33
7.1 Methode	33
7.2 Anwendungen	34
8. ENTROPIEMAXIMIERUNG	37
8.1 Methode	37
8.2 Anwendungen	42
9. RAEUMLICHE ENTROPIE	45
9.1 Methode	45
9.2 Anwendungen	47

II. PRAKTISCHER TEIL: FUNKTIONELLE ENTMISCHUNG UNTER- SUCHT MIT DEM ENTROPIEKONZEPT, DARGESTELLT AM BEISPIEL DER STADT ZUERICH (1965 - 1975)	50
10. EINFUEHRUNG	50
11. DIE STADT ALS FUNKTIONSGEFUEGE	53
12. PLAEDoyer FUEr EINE FUNKTIONSMISCHUNG	56
12.1 Funktionsmischung	56
12.2 Nachteile	57
12.3 Vorteile	58
12.4 Konsequenzen	64
13. UNTERSUCHUNG DER FUNKTIONELLEN ENTMISCHUNG IN ZUERICH	66
13.1 Die Idee	66
13.2 Das Modell	66
13.3 Datenbeschaffung	72
13.3.1 Wohnen und Arbeiten	72
13.3.2 Versorgen	73
13.4 Resultate und Interpretation	76
13.4.1 Der Zustand 1965	79
13.4.2 Der Zustand 1970	80
13.4.3 Der Zustand 1975	82
13.4.4 Zustandsänderung	83
13.5 Weitere Untersuchungsmöglichkeiten	86
14. SCHLUSSBETRACHTUNG	88
III. ANHANG	90
A. COMPUTERPROGRAMM ENTROP-M	90
B. COMPUTERPROGRAMM ENTMIS	98
C. DATEN	107
D. LITERATURVERZEICHNIS	112

VORWORT

Diese Arbeit entstand auf Anregung von Herrn Prof. Dr. D. Steiner unter dem Aspekt der Verbreitung neuer Methoden und Hilfsmittel in der Geographie. Eine administrative Panne hat dazu geführt, dass die Arbeit nicht schon im Oktober, sondern erst im Dezember abgeschlossen werden konnte.

Neben Herrn Prof. Steiner, der auch das Referat übernommen hat und mir in vielen spontanen, kurzen und langen Diskussionen wertvolle Anregung und Kritik vermittelt hat, möchte ich auch folgenden Personen meinen Dank aussprechen:

- Frau Dr. M. Ostheider, Geographisches Institut ETH, für die anregenden Diskussionen und das Durchlesen des Manuskriptes.
- Den Herren Dobszay und Gutbrodt, Stat. Amt der Stadt Zürich, für ihre Hilfe bei der Datenbeschaffung.
- Den Herren Höfliger, Jacobi und Tomasoni vom ORL-Institut für ihre Unterstützung bei der Datenbeschaffung und ihre Hinweise zur Verwendung des ENTROP-M Computerprogramms.
- Herrn Dr. P. Hitz, ORL-Institut für die Hilfe bei der Installation des ENTROP-M Computerprogramms.
- Dem Rektorat der ETH für die Bewilligung meines Gesuchs um Aufschieben des Abgabetermins.
- Meinen Studien- und anderen Kollegen für ihre Kritik, Diskussion und nicht zuletzt für ihre moralische Unterstützung.
- Meiner Freundin B. Häberle für ihre Geduld, die gemeinsamen Diskussionen und die Reinschrift des Manuskripts.

Die Arbeit wurde bewusst in zwei Teile gegliedert, die im Grunde beide für sich allein stehen könnten. Es schien mir unerlässlich, über das in geographischen Kreisen weitgehend unbekannte Entropiekonzept einiges mehr zu erklären, als nur seine Verwendung - meinem Arbeitsthema entsprechend - als Mischungsmass. So wurde daraus der erste, kompilatorische Teil.

Der Umfang der verarbeiteten Literatur war so gross, dass die verschiedenen Ideen zu einem kompakten Konglomerat vermischt wurden. Dies verunmöglicht mir, die verschiedenen Werke, trotz ihren wichtigen Beiträgen, jeweils einzeln zu zitieren. Auch scheint mir, dass dadurch das kontinuierliche Lesen der Arbeit erschwert wird. Jedoch habe ich die Werke mit geschweiften Klammern { } und Ziffern, die auf das Literaturverzeichnis hinweisen, vermerkt, wenn ich Text oder Darstellung mehr oder weniger unverändert übernommen habe, wenn es sich um grundlegende Werke handelt und wenn spezifische Gedanken oder spezielle Begriffe verwendet wurden.

I. KOMPILATORISCHER TEIL

1. ALLGEMEINES

Im ersten Teil meiner Arbeit möchte ich den Entropiebegriff vorstellen und aufzeigen, wie er in den letzten 10-15 Jahren Eingang auch in die Geographie gefunden hat. Zuerst sollen einige Grundlagen aus der Physik und der Informationstheorie beleuchtet werden, um die Herkunft und das Verständnis für die Entropie zu klären. Alsdann seien die hauptsächlichsten Anwendungsmöglichkeiten theoretisch dargestellt, wobei ich jeweils die besprochenen Methoden anhand von Beispielen erläutere. Diese Beispiele stammen praktisch durchwegs aus der Human-, Sozial- und Wirtschaftsgeographie. Wie es mit dieser Art von neuen Methoden in der Geographie ist, habe ich die Anwendungen ohne Ausnahme den verschiedenen Publikationen des englischen Sprachraumes entnommen, resp. entnehmen müssen, was einmal mehr auf eine Dominanz der englischen und amerikanischen Forschung auf diesem Gebiet hinweist. Ich möchte hier auch anführen, dass, wenn sich im Verlauf meiner Arbeit zwar keine Beispiele aus der physischen Geographie finden werden, es sie dennoch gibt. Ich habe aber weitgehend darauf verzichtet, sie zu berücksichtigen und zu untersuchen, da dies erstens einen Arbeitsaufwand für eine Diplomarbeit erheblich über dem verantwortbaren Mass bedeutet hätte, und zweitens mein fachliches Interesse eben eher auf humangeographischer Seite liegt. Es stellen sich auch gewisse Parallelen zu anderen Methoden heraus, vorallem zu solchen der Statistik. Es sind dies: Varianz, Korrelation und räumliche Autokorrelation. Wieso dann überhaupt noch ein neues Konzept wie die Entropie? Im Gegensatz zu den bekannten Methoden erlaubt das Entropiegesetz eine bedeutende Erweiterung der Anwendung. Es bietet als Vorteil die Möglichkeit einer Abstraktion in dem Sinn, dass, wie in den entsprechenden Kapiteln nochmals betont wird,

die untersuchten Phänomene nicht unbedingt mit metrischen, sondern auch mit Nominaldaten beschrieben sein können, die man wiederum mit Kardinalzahlen erfassen kann. Zudem kann mit der Entropie, wenn das Maximierungskonzept angewendet wird, das Graviationsmodell, wie es in den Sozialwissenschaften Verwendung findet, entwickelt werden. Und zwar meint Wilson {82}, dass dies auf eine natürlichere Art und Weise geschieht als bei der Herleitung von der Newton'schen Mechanik und so komplexere Situationen behandelt werden können.

An dieser Stelle ist auch die Frage angebracht, wie es in der Geographie mit der Verwendung von solchen Analogiemodellen, wie die Entropie eines darstellt, steht. Im Sog der allgemeinen Quantifizierung der Wissenschaften, die auch vor der Geographie - warum sollte sie auch - keinen Halt gemacht hat, verbreitete sich die Vorstellung immer mehr, die Realität durch idealisierende Darstellungen, sogenannte Modelle, zu repräsentieren. Dies wurde bedingt durch die Erkenntnis über die Unmöglichkeit, die Komplexität unserer Wirklichkeit ganz in den Griff zu bekommen. So sind Modelle immer Vereinfachungen, was bestärkt wird durch die Tatsache, dass sie sehr oft nur auf willkürlich abgegrenzte Teilsysteme der Umwelt angewendet werden.

Verschiedene Abstraktionsstufen kennzeichnen die Art eines Modells, wie aus Fig. 1 ersichtlich wird.

zunehmende Abstraktion	Realität	Bsp.: Landschaft
↓	-----	-----
↓		
↓	Bildhafte Modelle	Luftbild
↓		
↓	Analog- Modelle	Landkarte
↓		
↓	Symbol- Modelle	Statistik
↓		

Fig. 1 : Verschiedene Abstraktionsstufen bei Modellen

Bei Analogiemodellen werden meist Phänomene aus der einen Wissenschaft in die andere übertragen. In unserem Fall also aus der Physik, einer exakten Wissenschaft, in der mit wiederkehrenden Ereignissen operiert wird, hinüber in die Geographie, die, wie schon oben vermerkt, hier als Sozialwissenschaft verstanden wird, in der die Phänomene durch ein einmaliges Auftreten charakterisiert sind.

In Fig. 2 sind einige wichtige Beispiele dargestellt, wie die Physik anhand von Analogiemodellen Eingang in die Geographie gefunden hat.

Jahr	Autor	Physikalische Grundlage	Anwendung
1921	Hotelling	Wärmeleitung	Migration
1929	Reilly	Gravitation	Interaktion zwischen zwei Bevölkerungszentren
1946	Stanislawski	Diffusion	Innovationsvorgänge
1951	Enke	El. Schaltung	Räumliches Gleichgewicht
1954	Lösch	Brechung von Licht und Schall	Ablenkung von Verkehrswegen in Landschaften als räumliche Medien
1966	Ellen & Doris	El. Ströme	Analyse des Freizeit- und Erholungsverkehrs
1969	Tobler	Diffusion	Migration

Fig.2 : Beispiele von physikalischen Analogiemodellen in der Geographie
(Quellen: Haggett {45}, Wilson {82})

Natürlich sind auch einige kritische Stimmen laut geworden. Beim Gravitationsmodell z.B. wurde die Konsequenz und

Genauigkeit des Umsetzens der physikalischen Variablen in geographische in Frage gestellt. Aber es muss ebenfalls gesagt sein, dass immer wieder Komplementärmodelle entwickelt worden sind und immer noch werden, um die aufgetretene Varianz der Interaktionswerte bei den herkömmlichen Gravitationsmodellen zu erklären, resp. zu reduzieren.

Ein weiteres, Skepsis anregendes Problem stellt die Tatsache dar, dass Plancks 1900 festgestellte Quantelung der Energie und Heisenbergs 1927 postulierte Unschärferelation nur sehr langsam in die Sozialwissenschaften hineinsickern. Diese beiden Novitäten bedeuteten nämlich eine erhebliche Umkrempe- lung physikalischen Denkens. So waren die deterministischen Gesetze der Physik in Frage gestellt, bekamen diese doch damit nur noch den Status von "Approximationen von hoher Wahrscheinlichkeit, denen riesige aber endliche Grundgesamtheiten zugrunde liegen." (zit. Haggett {45}). Eine vollkommen neue Betrachtungsmöglichkeit des menschlichen Verhaltens, in der freier Wille und Determiniertheit gleichzeitig zum Zuge kommen müssen, wurde dadurch ermöglicht; eine Erkenntnis, die sich die Benutzer von deterministischen Analogmodellen nur in beschränktem Mass einverleibt haben.

Es ist deshalb von grundlegender Bedeutung, dass bei jeder Anwendung einer Analogie eine neue Interpretation erfolgt und nach dem Sinn gefragt wird. So meint Wilson (zit. aus {82}): "The borrowed concepts must stand up in their own right in the theory being developed", denn Richtigkeit und Glaubwürdigkeit werden durch diese Anleihe von formalen Konzepten nicht mitgeliefert. Dies wird auch deutlich, wenn Wilson {82} in Zusammenhang mit einer Studie Berry's über die Entropie einer Stadt {10} dahingehend argumentiert, dass eine Analogie dieser Art erst dann zulässig wird, wenn die genaue Bedeutung des Ausdrucks 'Entropie einer Stadt' definiert ist. Ich möchte mich zum Ende dieser Einführung einem Zitat aus Haggett {45} anschliessen: "Wenn solche Analogieschlüsse auch ihre Gefahren mit sich bringen, so sind sie doch anregende Quellen von Hypothesen."

2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Ich möchte gleich vorausschicken, dass mir als Nicht-Physiker in der Bearbeitung dieses Kapitels deutliche Schranken gesetzt sind. Es soll aber auch nur ein Hinweis sein, mit dessen Hilfe die geschichtliche Herkunft und ein paar grundsätzliche Gedanken erläutert werden.

2.1. Historische Entwicklung

Das Wort 'Entropie' kommt vom griechischen 'entrepein', was soviel wie 'umkehren' bedeutet und auf die in diesem Zusammenhang untersuchten reversiblen (umkehrbaren) resp. irreversiblen physikalischen Prozesse hinweist. Der Begriff wurde in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts durch führende Leute der damaligen Wissenschaft eingeführt, um den energetischen Zustand eines Systems zu beschreiben:

1850 formulierte R.J.E. Clausius, Lord Kelvin und W.M. Rankine den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre.

1865 prägt Clausius den Begriff der Entropie.

1877 L. Boltzmann untersucht die Entropie unter den Gesichtspunkten der statistischen Mechanik und verknüpft sie mit dem Logarithmus der Wahrscheinlichkeit.

1900 M. Planck legt den, mit der von Boltzmann gefundenen Verknüpfung verbundenen Proportionalitätsfaktor fest, der sich als identisch mit der Boltzmann-Konstante herausstellt.

'Entropie' ist heute neben 'Energie' einer der wichtigsten Begriffe in Thermodynamik und statistischer Mechanik.

2.2 Mathematische Formulierungen

Die Entropie entspricht bei Energieumsetzung demjenigen Teil der Energie, der nicht in Arbeit umgesetzt wird, d.h. ist also eine Grösse, proportional zur Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu leisten. Dieses Verhalten kommt im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zum Ausdruck: In einem geschlossenen System nimmt die Entropie bei irreversiblen Prozessen immer zu oder bleibt gleich. Dabei gilt folgendes:

$$*2.1* \quad dS = \frac{1}{T} dE + \frac{1}{T} \sum_k X_k dx_k$$

dS : Aenderung der Entropie S

dE : Aenderung der inneren Energie

X_k : Kraft, die von aussen entlang der Koordinate x_k auf das System wirkt.

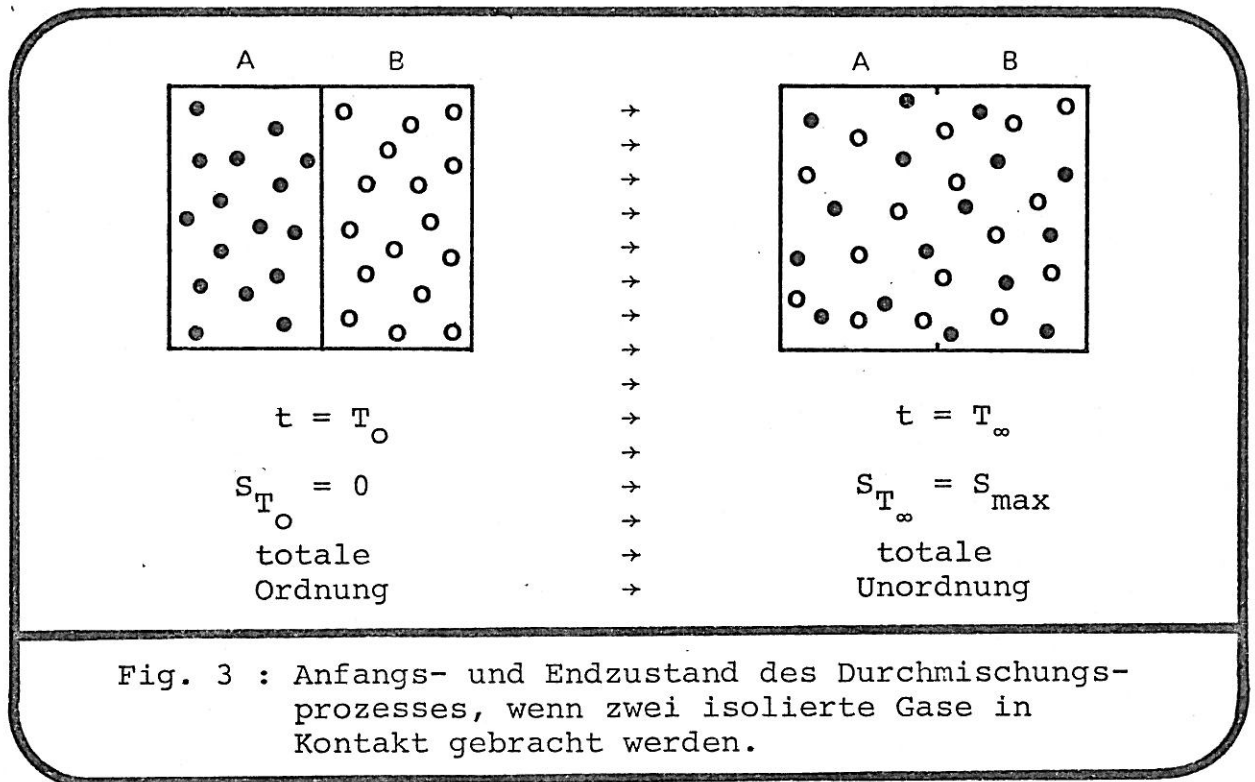
So entspricht der Ausdruck:

$$\sum_k X_k dx_k$$

der Arbeit, die auf das System wirkt. Mathematisch wird der zweite Hauptsatz dann wie folgt formuliert:

$$*2.2* \quad dS \geq 0$$

Aus folgenden Ueberlegungen soll ersichtlich werden, dass auch ein Zusammenhang zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit eines Zustandes besteht. Betrachten wir zwei mögliche thermodynamische Zustände Z_1 und Z_2 mit entsprechender Entropie S_1 und S_2 , wobei $S_1 \geq S_2$; so tritt der Zustand Z_1 wegen *2.2* mit grösserer Wahrscheinlichkeit auf. Wir können dies an folgendem Beispiel erklären (s. Fig. 3): Wenn zwei isolierte, verschiedene Gase unter gleichen Bedingungen in Kontakt gebracht werden, so beginnen sie zu diffundieren. Obwohl keine äusseren Kräfte wirksam sind, finden wir die Gase nach einer gewissen Zeit homogen durchmischt. Wenn wir den Ordnungszustand des Systems betrachten, können wir einen Prozess verfolgen, der von selbst von hoher zu niedriger Ordnung abläuft. Die kleinste Wahrscheinlichkeit besitzt nun der Zustand, dass zur Zeit t_1



ein Gas im Raum A und das andere im Raum B vorhanden ist. Die grösste Wahrscheinlichkeit hat der Zustand, dass in jedem Raum gleich viele Gaspartikel von beiden Sorten vorhanden sind. Infolge der Wärmebewegung besteht in jedem, aus zahlreichen Teilchen (Atome, Moleküle u.ä.) zusammengesetzten geschlossenen System das Bestreben, den Zustand grösster Wahrscheinlichkeit oder eben grösster Unordnung zu erreichen. Zustandsänderungen, bei denen die Energie zunimmt, sind gerade die nicht umkehrbaren in der Thermodynamik.

Die entsprechende mathematische Ueberlegung ist folgende: (nach Gerthsen & Kneser {40}). Es gilt:

$$*2.3* \quad S_{\text{Total}} = \sum S_i$$

Wenn S von der Wahrscheinlichkeit p abhängig sein soll, können wir annehmen:

$$*2.4* \quad S = f(p)$$

dann folgt

$$*2.5* \quad S_{\text{Total}} = f(p_1) + f(p_2)$$

oder nach Anwendung der Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung:

$$*2.5* \quad S_{\text{Total}} = f(p_1 p_2)$$

f ist die grundlegende Funktion, und es muss gelten:

$$*2.6* \quad f(p_1 p_2) = f(p_1) + f(p_2)$$

Durch zweimaliges Differenzieren erhält man:

$$*2.7* \quad f'(p_1 p_2) + p_1 p_2 f''(p_1 p_2) = 0$$

Es kann gezeigt werden, dass der Ansatz

$$*2.8* \quad f(p) = a \ln p$$

zur Lösung der Differenzialgleichung führt. Es besteht also eine Proportionalität zwischen Entropie und dem Logarithmus der Wahrscheinlichkeit eines Zustandes.

Durch Berechnung eines einfachen Beispiels kann die Konstante a in *2.8* als Boltzmann-Konstante $k = 1,3608 \times 10^{-23}$ Joule/Kelvin bestimmt werden. Entsprechend wird auch Gleichung *2.8* Boltzmann-Gleichung benannt und lautet in Originalform:

$$*2.9* \quad S = k \ln W$$

Wobei W für die thermodynamische Wahrscheinlichkeit steht.

Es ist nun verständlich geworden, dass Entropie als Mass für (Un)Ordnung, die einem physikalischen System eigen ist, interpretiert werden kann.

3. DIE ENTROPIE IN DER INFORMATIONSTHEORIE

3.1 Die Informationstheorie

Diese nun dreissig-jährige Theorie wurde 1948 vom Mathematiker Claude E. Shannon als neuer Wissenschaftszweig begründet. Seine grundlegende Arbeit 'A Mathematical Theory Of Communication' {69} befasst sich mit der Messbarmachung von Information und deren Uebertragung und Codierung. Diese Methoden wurden vorallem auf elektrische Schaltungen und Kommunikationssysteme angewendet. Doch schon ein Jahr später erweiterte Weaver {69} die Theorie für Anwendungen auch auf biologischem Gebiet (Nervensysteme). In noch weitergehenden Entwicklungen präsentieren sich die informationstheoretischen Konzepte als kaum mehr wegzudenkende Hilfsmittel in vielen Sozial- und Naturwissenschaften wie Linguistik, Psychologie, Soziologie, Architektur, Geographie, Geologie, Biologie, Genetik u.a.m.

3.2 Information

Der Begriff der Information ist eine sehr verschwommene Angelegenheit. Man führe sich einmal vor Augen, wieviele verschiedene Meinungen und Ansichten über die Bedeutungen dieses so oft in den Mund genommenen Wortes existieren. So möchte ich mich darauf beschränken, hier lediglich eine Arbeitsdefinition zu geben.

In der Alltagssprache reden wir von Information, wenn wir uns mit Lesen, Zuhören, Beobachten usw. Kenntnis über ein Thema, das bisher noch nicht oder nicht besonders gut bekannt war, verschaffen. Information ist also die 'Kapazität, Wissen zu vergrössern. Es kann, muss aber nicht so sein' (Betak {12}).

Wenig anders ist die Bedeutung des Begriffs als 'terminus

technicus', wenn Information als dasjenige definiert wird, 'das Unsicherheit oder Ungewissheit beseitigt oder reduziert' (Attneave { 4 }). Es scheint mir wesentlich, an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Informationstheorie auf keinen Fall Bezug nimmt auf Bedeutung, Inhalt oder gar Wert einer Information.

3.3 Messbarkeit der Information

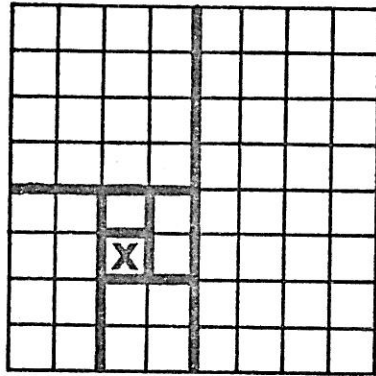
Aus der oben genannten wissenschaftlichen Definition ist leicht ersichtlich, dass Information dann quantitativ erfasst werden kann, wenn es möglich wird, die Ungewissheit zu messen. Die Begriffe 'Information' und 'Ungewissheit' unterscheiden sich nur qualitativ, wobei Ungewissheit den Zustand vor dem Ereignis und Information denjenigen danach charakterisiert. Als identisch sind 'Unsicherheit' und 'Ungewissheit' zu betrachten. Verallgemeinernd dürfen wir sagen, dass die Unsicherheit über den Ausgang eines Ereignisses mit der Anzahl der möglichen Ausgänge wächst. Stellen wir doch z.B. einen Wurf mit einem Würfel dem einer Münze gegenüber, so ist offensichtlich, dass wir über das Eintreffen einer bestimmten Würfel-
 fläche ($n = 6$ Möglichkeiten) wesentlich unsicherer sind als über den Ausgang des Münzwurfs ($n = 2$).

Anhand eines weiteren einfachen Beispiels sei die graduelle Beseitigung von Ungewissheit dargestellt: Wir bestimmen ein Feld auf dem Schachbrett ($n = 64$). Es geht nun darum, das Feld durch geschickte Frageweise zu eruieren. Dabei zeigt sich, dass wir am schnellsten ans Ziel gelangen, wenn wir eine Strategie anwenden, die nach folgendem Prinzip funktioniert:

- Als Antwort dürfen nur zwei Alternativen möglich sein.
- Beide Alternativen müssen gleich wahrscheinlich sein.

Ein solches Vorgehen erlaubt uns, mit 6 Fragen immer auszukommen. (s. Fig. 4)

Mit anderen Worten: Wir können also jedes Feld des Schachbrettes mit einer 6-stelligen Binärziffernfolge (mit z.B. 'I'



X : gesuchtes Feld

Die sechs Fragen (und Antworten):

1. Gehört das Feld zu den 32 Feldern auf der linken Seite ? - Ja.
2. Ist es eins von den 16 Feldern in der unteren Hälfte der restlichen 32 Felder ? - Ja.
3. Befindet es sich in der linken Hälfte der verbleibenden 16 Felder ? - Nein.
4. Gehört es zu den oberen 4 der übrigbleibenden 8 Feldern ? - Ja.
5. Ist es eins der beiden rechten der noch in Frage kommenden 4 Felder ? - Nein.
6. Ist es das untere der beiden letzten Felder ? - Ja.

Fig. 4 : Graduelle Reduktion der Ungewissheit über die Lage eines bestimmten Feldes auf einem Schachbrett. (nach Attneave {4})

für 'ja' und '0' für 'nein') darstellen, weil $2^6 = 64$, was auf eine logarithmische Verknüpfung von Information und Anzahl möglicher Ausgänge hinweist.

Als Mass für die Information oder Ungewissheit wird nun also die Anzahl Binärziffern oder 'bits' (Abk. für binary digits) verwendet, die zur Codierung minimal notwendig sind. Die mathematische Formulierung präsentiert sich folgendermassen:

3.1a $H(n) = \lg n$

oder zur erweiterten Anwendung

$$*3.1b* \quad H(n) = k \log_x n$$

H: Information oder Unsicherheit

ld: Logarithmus dyadicus (Logarithmus zur Basis 2)

n: Anzahl mögliche Ausgänge

x: Basis des Logarithmus

k: Konstante, relevant für die Masseinheit, wird nur bei Vergleichen gebraucht, wenn verschiedene Logarithmen verwendet werden.

3.4 Entropiefunktion

Wir haben bisher nur den Fall betrachtet, wo die möglichen Alternativen alle die gleiche Wahrscheinlichkeit $p = 1/n$ haben. Dies ist jedoch nur ein Spezialfall, der in der Realität sehr selten auftritt.

Bei der Existenz von mehreren ungleich wahrscheinlichen Ausgängen bezeichnen wir

$$*3.2* \quad h_i = \text{ld } 1/p_i \quad \text{mit } i = 1, 2, \dots, n$$

als die Information einer einzelnen Alternative oder partielle Information. Somit wird der durchschnittliche Informationsgehalt eines Ereignisses wie folgt formuliert:

$$*3.3a* \quad H = \sum_i p_i \text{ld } 1/p_i = - \sum_i p_i \text{ld } p_i$$

oder wieder allgemein (s. auch Fig. 5 und 6)

$$*3.3b* \quad H = -k \sum_i p_i \log p_i$$

Die Dimension von H bezeichnen wir mit 'bit'. Entsprechend der verwendeten Logarithmenbasis können auch andere digitale Einheiten als Dimension von H auftreten. So z.B. 'nits', für 'natural digits' bei Verwendung von natürlichen Logarithmen oder 'decits' für 'decimal digits' bei Verwendung von Zehnerlogarithmen, wobei bemerkt sei, dass die 'bit'-Einheiten dem einfachsten Entscheidungsmuster von eindeutigen ja/nein Ent-

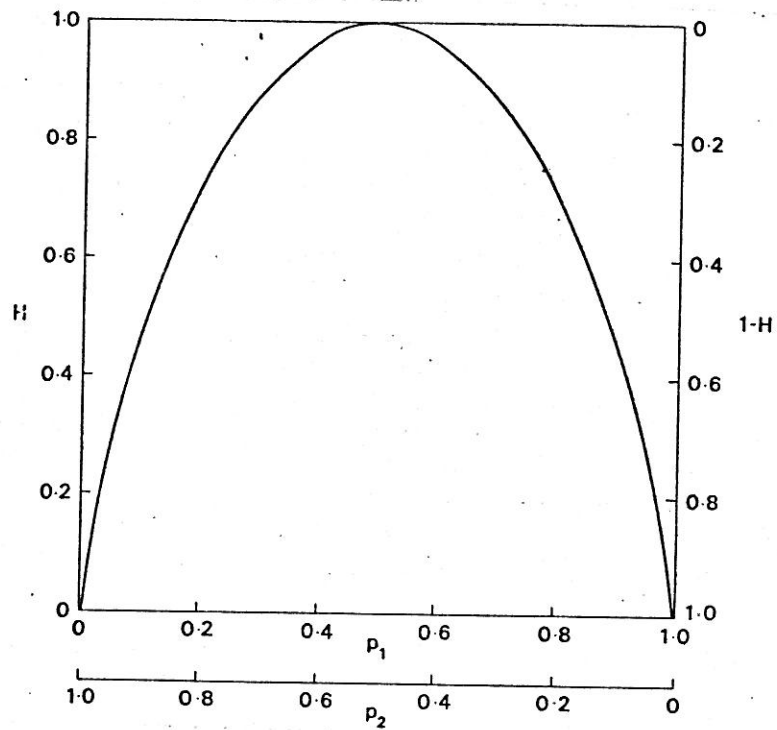


Fig. 5 : Die Entropiefunktion bei $n=2$ (Werte in 'bits')
(aus Chapman [18])

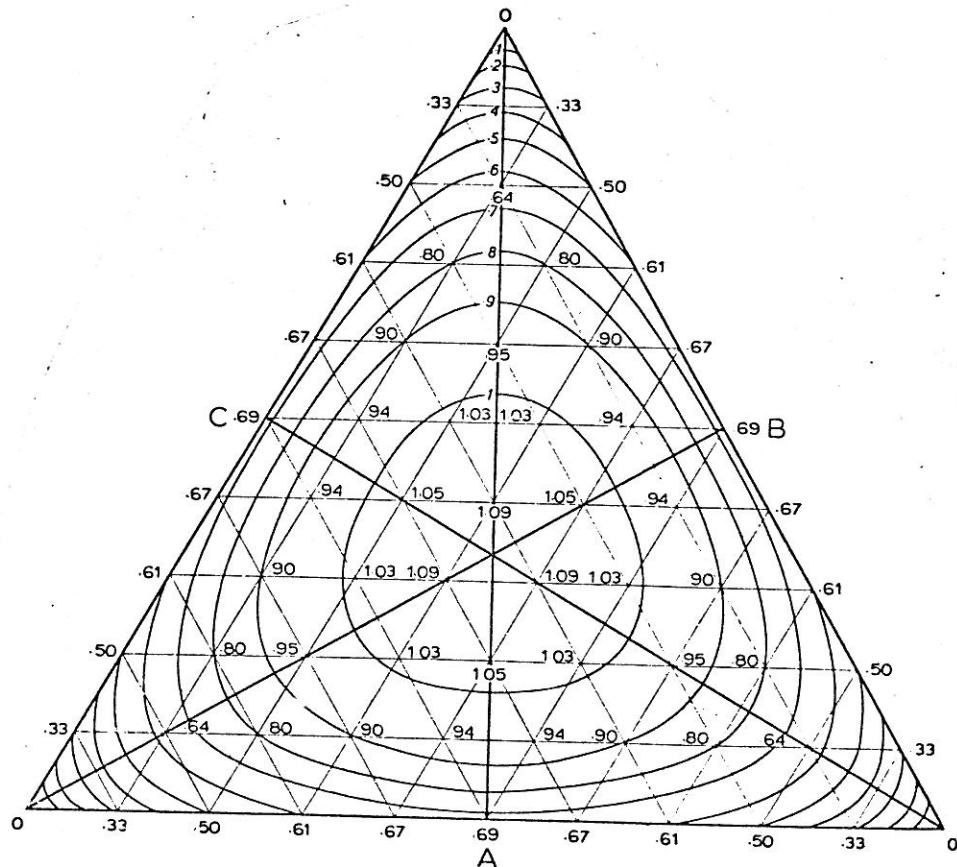


Fig. 6 : Die Entropiefunktion bei $n=3$ (Werte in 'nits')
(aus Chapman [18])

scheidungen entsprechen. Um für die praktische Anwendung möglichst grosse Freiheiten zu erlauben, möchte ich im Folgenden von einem allgemeinen Logarithmus ohne bestimmte Basis Gebrauch machen und schreibe hierfür einfach 'log'. Die Dimension wäre folglich noch 'logit'.

Ein Vergleich mit *2.8* oder *2.9* lässt jetzt auch die Anleihe, welche die Informationstheorie mit dem Ausdruck der Entropie bei der Physik gemacht hat, erkennen.

Der Ausdruck in *3.3* wird oft als Shannon-Wiener-Mass bezeichnet und es finden sich für den gleichen Ausdruck auch die Bezeichnungen Entropie, mittlerer Informationsgehalt, Informationsentropie und Negentropie, was auf ein beträchtliches Durcheinander hinweist und oft eine getrübe Verständlichkeit zur Folge hat. So möchte ich mich im Weiteren nur noch auf den Begriff Entropie beschränken.

Der Wertebereich der Entropiefunktion liegt zwischen $0 \leq H \leq \log n$; in Worten: Zwischen totaler Ordnung und totaler Unordnung. Maximale Ordnung herrscht dann, wenn die Sicherheit über den Ausgang eines Ereignisses am grössten wird, das heisst, wenn es ein p_i^* gibt mit $p_i^* = 1$. Alle andern p_i sind dann gleich Null wegen

$$*3.4* \quad \sum_i p_i = 1$$

In diesem Fall wird der minimale Wert von H erreicht.

$$*3.5* \quad H_{\min} = -1 \log 1 - 0 \log 0 - 0 \log 0 - \dots = 0$$

Maximale Unordnung herrscht bei Gleichverteilung der möglichen Ausgänge; mit anderen Worten bei totaler Unsicherheit, das heisst, alle p_i nehmen den gleichen Wert $p_i = 1/n$ an.

$$*3.6* \quad H_{\max} = n(1/n \log n) = \log n$$

Auf eine mathematische Beweisführung wird hier verzichtet, findet sich aber u.a. bei Theil {77}.

Ein Vergleich zur Statistik lässt erkennen, dass Entropie einen parallelen Fall zur Varianz darstellt. Die Anwendung des Entropiemasses ist nur bei ergodischen Prozessen erlaubt, wobei mit 'ergodisch' jene stochastischen Prozesse bezeichnet werden, bei denen jede erzeugte Verteilung die gleichen statistischen Eigenschaften aufweist. (Quelle: {24}).

3.5 Eine Interpretation von H

Es sollen hier anhand von drei einfachen Beispielen einerseits ein wichtiger Unterschied zwischen den beiden häufigsten Interpretationen und andererseits eine im ersten Moment fragwürdige Erscheinung entschleiert werden, die beim Betrachten der vielen verschiedenen, in Worte gefassten Erklärungen für H auftauchen.

1. Zurückblickend zu Shannons Analyse von Telekommunikationssystemen, erkennen wir, dass H gebraucht wurde, um die Entropie einer Uebertragungsquelle zu bestimmen. Ähnlich wie beim Schachbrettproblem geht es dabei um Ungewissheit als eine Eigenschaft der Quelle.

2. Anders sieht es aus, wenn wir für irgend eine Nation den Flächenanteil jedes Bewohners als Wahrscheinlichkeit in die Formel für H eingeben und über die ganze Bevölkerung summieren. Dies ergibt dann ein direktes Mass für die Gleichheit bezüglich Landverteilung.

3. In diesem Fall sind zwei benachbarte Städte A und B durch einen Fluss, über den keine Brücke führt, getrennt. Betrachten wir den Entropiewert für eine der beiden Städte, stellen wir fest, dass, weil sich keine Bewohner der einen Stadt in der anderen befinden, gilt:

$$*3.7* \quad H(p_A, p_B) = \sum_i p_i \log 1/p_i = 0$$

Der Bau einer Brücke wird dazu führen, dass sich die Bewohner aus verschiedenen Gründen mischen werden. Damit wird auch H anwachsen. Wir messen also eine Heterogenität oder Mischung.

Wenn wir uns das erste Beispiel vor Augen führen, so werden wir uns in Anlehnung an die Thermodynamik gewahr, dass wir es mit Entropie als einer immanenten Grösse zu tun haben, die unabhängig von der Betrachtungsweise existiert. Und fast noch wichtiger: die Grösse H kann dem System ein gewisses Verhalten auferlegen. Hier ist also ein physikalisches System existent, während in den Fällen zwei und drei davon keine Rede sein kann. Wir haben uns dort eben Systeme konstruiert, für die sich eine hypothetische Zugehörigkeit zu Systemen der Informationstheorie finden lassen sollen. Somit hängt der Entropiewert in Analogieverwendungen auch von der Messmethode ab, was deshalb jedem Benutzer die Freiheit gibt, Wahrscheinlichkeits- oder Häufigkeitsverteilungen, die Grösse H führen, gemäss den gewünschten Zwecken zu definieren. Allerdings müssen dabei auftretende Phänomene wie z.B die Bedeutung der Zustände mit maximalen bzw. minimalen H -Werten entsprechend der Systemkonstruktion erklärt werden können.

Die scheinbar paradoxe Situation, dass H als Mass für Gleichheit (in 2.) und gleichfalls als Mass für Hetrogenität (in 3.) ist somit geklärt, denn dieser Bedeutungsunterschied kann der unterschiedlichen Herleitung der Wahrscheinlichkeiten zugeschrieben werden; Wahrscheinlichkeiten, die in einer physikalischen Realität eben nicht existieren.

Es wurde hier also gezeigt, dass bei jeder Anwendung des Entropiekonzeptes, auch wenn Analogien zu physikalischen Systemen nur hypothetisch gezeigt werden können, grossen Wert auf die genaue Definition des Systems, der mit Entropie charakterisierten Eigenschaft und die dabei verwendete Wahrscheinlichkeitsverteilung gelegt werden muss.

4. WEITERE INFORMATIONSTHEORETISCHE KONZEPTE

Es werden im Folgenden einige weitere Begriffe definiert und erklärt, wie sie von der Informationstheorie hervorgebracht wurden und nun von anderen Wissenschaftszweigen verwendet werden, wobei ich möglichst auch Beispiele aus der Geographie zur Darstellung bringen möchte.

4.1 Relative Entropie

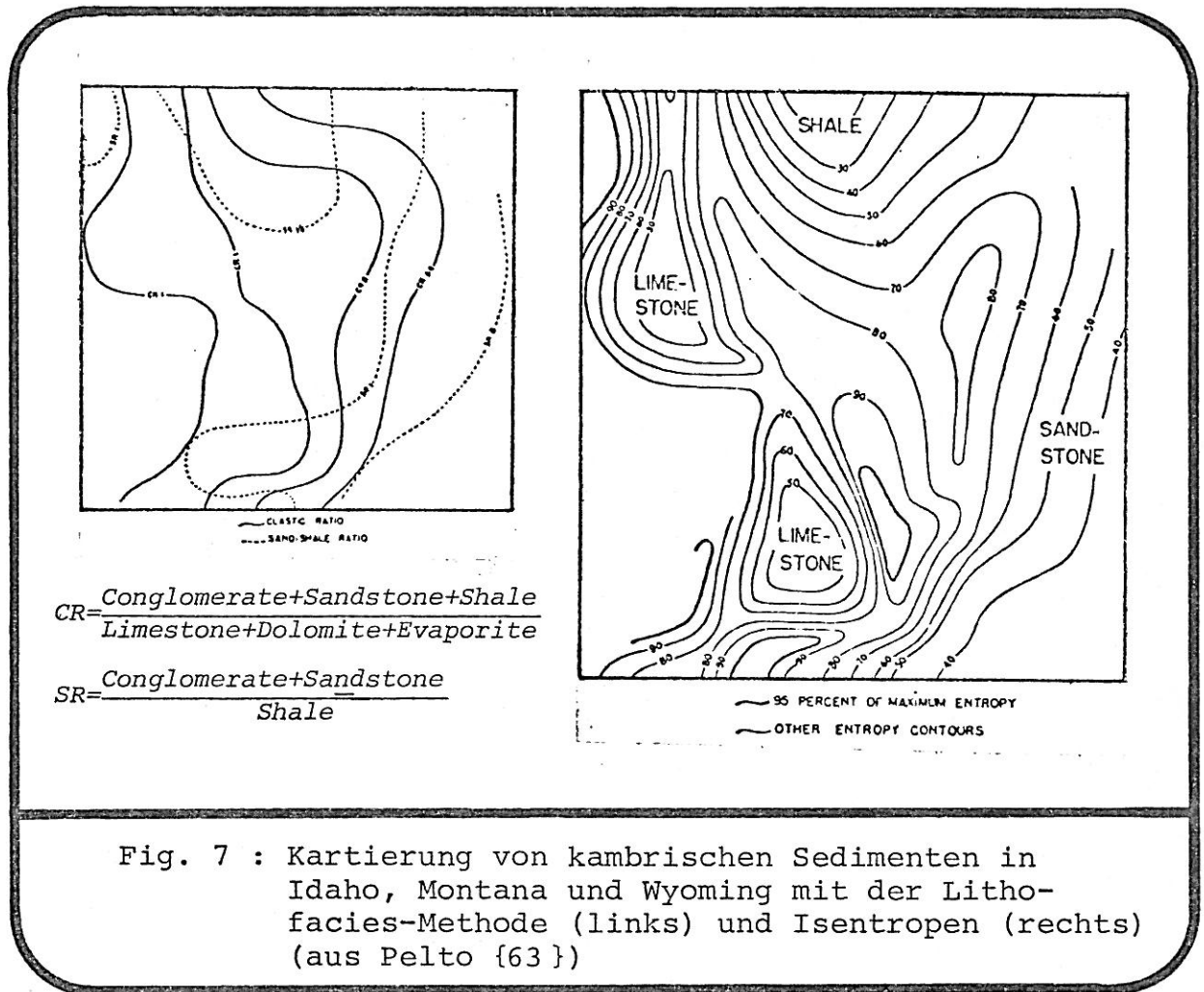
Da die oben gegebene Entropiefunktion von der Anzahl n der Ausgänge eines Ereignisses abhängig ist, müssen wir sie relativieren, wenn Ereignisse mit einer unterschiedlichen Anzahl Möglichkeiten vergleichen wollen. Es wird folglich eine relative Entropie H_r eingeführt:

$$*4.1* \quad H_r = H/H_{\max} = H/\log n$$

Ein Anwendungsbeispiel hierzu aus der Geologie, das aber ohne weiteres Anwendung auf geographischem Gebiet finden kann, liefert Pelto {63} mit der Kartierung von Mehrkomponentensystemen. (s. Fig. 7) Hier wird Entropie und somit auch H_r als reines Mischungsmass verwendet. Er begründet die Anwendung aus dem Gesichtspunkt des Sedimentationsvorganges. In einer Ablagerungszone mit schwankenden Bedingungen sei die Unsicherheit über die Zusammensetzung des Sedimentationsproduktes wesentlich grösser als in einer stabilen Zone. Folglich sei die Applikation des Entropiemasses - bekanntlich ein Mass für Unsicherheit - sehr geeignet.

4.2 Redundanz

Weit verbreiteter aber als die relative Entropie ist der Begriff der Redundanz R , der definiert wird als:



4.2
$$R = 1 - H_r = 1 - H/H_{\max} = \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}}$$

Anhand einiger Beispiele möchte ich den Begriff interpretieren und zeigen, wie vielseitig seine Bedeutung sein kann.

Betrachten wir eine Sprache als Folge von Buchstaben so können wir aus den relativen Häufigkeiten des Auftretens der einzelnen Buchstaben einen Wert für die Entropie und die Redundanz bestimmen. Diese Redundanzwerte geben an, wie voraus sagbar ein Buchstabe in der entsprechenden Sprache ist, wenn man den vorausgehenden kennt. 100% würden eine absolute Bestimmtheit bedeuten, bei 0% wäre ein vorangehender Buchstabe keine Hilfe für das Erraten des nächsten: Diese Idee wurde ebenfalls von Shannon {69} hervorgebracht und in dem Sinn er-

	a	b	c	d	e	f	g
dt.	4,33	1,60	2,67	4,39	14,70	1,36	2,67
engl.	6,42	1,27	2,18	3,17	10,31	2,08	1,52
h	i	j	k	l	m	n	o
4,36	6,83	0,16	0,96	2,93	2,13	8,84	1,77
4,67	5,75	0,08	0,49	3,21	1,98	5,74	6,32
p	q	r	s	t	u	v	w
0,50	0,01	6,86	5,39	4,73	3,19	0,74	1,42
1,52	0,08	4,84	5,14	7,96	2,28	0,83	1,75
x	y	z	-*		H	R	
0,01	0,02	1,42	15,15		4,11	13,47	
0,13	1,64	0,05	18,59		4,03	15,16	

* Zwischenräume und Interpunktionen

Fig. 8 : Relative Buchstabenhäufigkeiten (in %) der deutschen und englischen Sprache, sowie deren entsprechende Entropiewerte H (in 'bits') und Redundanz R (in %).
(nach Reza {66} und Bauer/Goos {9 }).

weitert, dass auch die Syntax in die Untersuchung einbezogen wurde. Cherry {20} bezeichnet die syntaktischen Regeln einer Sprache als eine Einschränkung über die wir aber froh sein müssen, denn dank ihrer Existenz ist es uns möglich, z.B. Texte zu memorieren oder eine mit Fehlern behaftete Meldung der Form: "komme am rfeitag" richtig zu interpretieren. Letzteres aus der 'unbewussten' Kenntnis heraus, dass am Wortanfang die Buchstabensequenz 'rf' nicht vorkommt. Es können da-

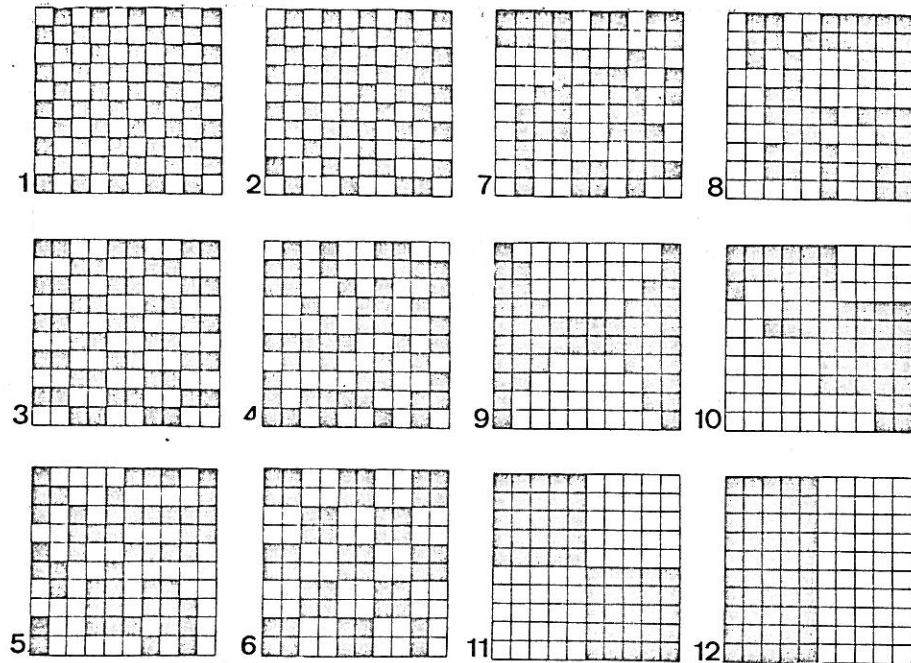
her auch sogenannte Unsinnsätze erzeugt werden, die allein aus den statistischen Eigenschaften der Sprache hervorgehen. Also z.B. "lunehigerig undens und sehrta war verlaeran dennlich beschen man sein selbstatssagt sieht" (Buchstabenapproximation) oder "Jahrhundert aufgestellt wir über alle nur den Begriff in beliebiger Form der menschlichen Hand ab so sehr gross..." (Wortapproximation, beide aus Attneave {4}).

Nach Weaver {69} trifft die Bezeichnung 'Redundanz' die Bedeutung haargenau, denn 'redundant' heisst nichts anderes als 'überflüssig, unnötig'. In der deutschen Sprache wären also demnach 13% der Buchstaben 'überflüssig', wir haben also die Freiheit von 87% selbst zu wählen. (s.a.Fig.8)

Für ein geographisches System betrachtet Marchand {58} die Redundanz als Mass für die Zwänge der Umwelt und den nachträglichen Verlust an Unsicherheit, oder wenn es sich um eine menschliche Gruppe handelt, für den Verlust der Freiheit zu wählen. Unter diesem Gesichtspunkt untersuchte Marchand Landnutzungsmuster in Venezuela und in den USA. Mit der Einführung dreier verschiedener Redundanzbegriffe (interne Redundanz, strukturelle Redundanz, globale Redundanz) gelingt es ihm, die Determiniertheit der Nutzung von verschiedenen Regionen zu bestimmen. Die Ausgangshypothese, dass in einer unterentwickelten Region ein starres Produktionssystem herrscht, das durch die kulturellen Traditionen, Kapitalmangel und die Abwesenheit eines abwechslungsreichen Marktes bestimmt wird, kann numerisch verifiziert werden.

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung des Redundanzkonzeptes liefert Gatrell {38} mit einer Untersuchung über die Komplexität von binären Karten. Er betrachtet die Aussage einer Karte unter dem Aspekt, dass es sich dabei um eine zweidimensionale Sprache im allgemeinsten Sinn handelt, versehen mit den entsprechenden syntaktischen Regeln. Die Bedingungen dieser Regeln werden mit dem Redundanzmass qualitativ erfasst. Es handelt sich also wieder um die Voraussagbarkeit eines Ereignisses, diesmal um die Farbe einer Kartenzelle. (s.Fig.9)

Erwähnenswert sei hier auch die beachtliche, sowohl empirische als auch modellmässige Verbindung zum Konzept der räumlichen Autokorrelation.



Karte	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	R
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500
2	1.566	1.791	1.852	1.824	1.795	0.217
3	1.852	2.000	1.750	1.000	1.881	0.074
4	1.980	1.979	1.991	1.999	1.990	0.010
5	1.999	1.999	1.979	1.993	1.999	0.000
6	1.993	1.144	1.991	1.210	1.982	0.004
7	1.968	1.978	1.996	1.996	1.999	0.016
8	1.913	1.997	1.997	1.990	1.995	0.044
9	1.675	1.933	1.995	1.995	1.999	0.163
10	1.596	1.888	1.981	1.989	1.881	0.202
11	1.503	1.811	1.985	1.918	1.000	0.248
12	1.310	1.544	1.750	1.918	2.000	0.345

H_i : Komplexitätswerte, wobei i für die Ordnung steht, welche die Nachbarschaft der einzelnen Zellen kennzeichnet

R : Redundanzwert der ersten Nachbarschaft ($H_{\max} = 2,0$)

Fig. 9 : Komplexität von binären Karten
(aus Gatrell {38})

5. ZWEIDIMENSIONALE ERWEITERUNG DES ENTROPIEKONZEPTES

Bisher haben wir uns nur mit eindimensionalen Verteilungen beschäftigt. In diesem Kapitel wollen wir einige Konzepte betrachten, die sich mit zwei- oder mehrdimensionalen Erweiterungen des Entropiekonzeptes befassen. Es wird zwar nur der zweidimensionale Fall vorgeführt, aber es ist ohne weiteres möglich, auch eine Erweiterung in höhere Dimensionen zu behandeln und herzuleiten. Ich möchte an dieser Stelle betonen, dass die nachstehend erwähnten Begriffe in der untersuchten Literatur in verwirrender Art und Weise verwendet, d.h. verwechselt werden, sodass ich mich an die Definitionen von Theil {77} halte.

5.1 Gesamtentropie (joint entropy)

Betrachten wir zwei Ereignisse mit den Verteilungen $X_1, \dots, X_m$ mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten p_i ($i = 1, \dots, m$) $Y_1, \dots, Y_n$ mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten p_j ($j = 1, \dots, n$). Wir betrachten ebenfalls die Wahrscheinlichkeit p_{ij} , dass ein Ereignis X_i und Y_j gleichzeitig eintreffen. Wir können uns diese p_{ij} als eine Wahrscheinlichkeitsmatrix vorstellen, wobei sich die Randverteilungen wie folgt berechnen:

$$*5.1a* \quad p_{i.} = \sum_j p_{ij} \quad (p_{i.} \equiv p_i)$$

$$*5.1b* \quad p_{.j} = \sum_i p_{ij} \quad (p_{.j} \equiv p_j)$$

Folglich ist die Entropie der Randverteilungen (oder auch Marginalverteilungen):

$$*5.2a* \quad H(X) = \sum_i p_{i.} \log 1/p_{i.}$$

$$*5.2b* \quad H(Y) = \sum_j p_{.j} \log 1/p_{.j}$$

Die Gesamtentropie der Verteilung berechnet sich dann wie folgt:

$$*5.3* \quad H(X,Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \log 1/p_{ij}$$

Der Maximalwert der Funktion $H(X,Y)$ liegt somit bei

$$*5.4* \quad H(X,Y)_{\max} = \log(m \cdot n)$$

was der Summe der Maximalwerte der Marginalentropien $H(X)$ und $H(Y)$ entspricht.

5.2 Bedingte Entropie (conditional entropy)

Wenn wir annehmen, dass zwischen den beiden obigen Verteilungen eine gewisse 'Korrelation' existiert, so können wir bei Kenntnis über den Ausgang der einen eine verbesserte Aussage über die andere machen. Man spricht daher von einer bedingten Entropie. Die dazugehörigen bedingten Wahrscheinlichkeiten wären dann $p_{ij}/p_{i.}$ und $p_{ij}/p_{.j}$ und geben die Wahrscheinlichkeit an, dass nach Eintreten von X_i ein bestimmtes Y_j eintritt und umgekehrt. Die durchschnittliche bedingte Entropie $H_X(Y)$, welche das Eintreten von Y bei gegebenen X charakterisiert, berechnet sich wie folgt:

$$*5.5* \quad H_X(Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \log p_{i.}/p_{ij}$$

5.3 Abhängigkeitsentropie (mutual entropy)

Im vorhergehenden Abschnitt war von einer 'Korrelation' zwischen den zwei Verteilungen die Rede. Um ein Mass für diesen Zusammenhang zu finden, betrachte man den Ausdruck

$$*5.6* \quad \log p_{ij}/(p_{i.} \cdot p_{.j})$$

Dieser Ausdruck wird gleich Null, wenn stochastische Unabhängigkeit zwischen X und Y besteht. Nun bilden wir wieder einen gewichteten Durchschnittswert und bezeichnen

$$*5.7* \quad J(X,Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \log \frac{p_{ij}}{p_{i.} p_{.j}}$$

als Abhängigkeitsentropie oder auch Information über die Abhängigkeit. Je grösser der Wert dieser Funktion, die das Minimum bei $J = 0$ hat, wird, um so stärker ist die $\{p_{ij}\}$ -Matrix von Abhängigkeit zwischen X und Y charakterisiert.

Für die praktische Anwendung von grosser Wichtigkeit ist die Tatsache, dass die drei in diesem Kapitel behandelten Konzepte miteinander kombiniert werden können, ja man stösst kaum auf ein Beispiel, in dem sie nicht miteinander verwendet werden. Diese Verknüpfungen sind wie folgt:

$$*5.8* \quad H(X,Y) = H(X) + H(Y) - J(X,Y)$$

$$*5.9* \quad H(X,Y) = H(X) + H_X(Y) = H(Y) + H_Y(X)$$

$$*5.10* \quad J(X,Y) = H(Y) - H_X(Y) = H(X) - H_Y(X)$$

Wenn wir einen qualitativen Vergleich zwischen Abhängigkeitsinformation und Korrelation anbringen, so zeigt sich, dass der wesentliche Unterschied darin liegt, dass bei $J(X,Y)$ die Verwendung von Nominalskalen im Gegensatz zur Korrelation praktisch keine Mühe bereitet, was verständlicherweise einen Anwendungsbereich zulässt, der weit grösseren Umfang hat. Dies vorallem aus Gründen der somit verbesserten relativen Zugänglichkeit von Daten.

5.4 Anwendungen

Die Anwendungen für die drei zweidimensionalen Konzepte werden hier wegen oben erwähnter Verknüpfung gemeinsam besprochen. Ausgedehnte Studien darüber verfasste Theil {76, 77}. Seine Untersuchungen sind ökonomischer bis wirtschaftsgeographischer Natur. So z.B. Studien über die industrielle Diversifikation in den USA oder über die Stipendiensituation an der Universität Chicago. Soziologische Aspekte wurden behandelt in der Untersuchung über die Integration der Schwar-

zen in Chicago's Schulen. Ich möchte hier verzichten genauer auf die Darstellung der thematischen Problematik und deren mathematische Implikation einzugehen. Es geht hier im wesentlichen darum, lediglich die Breite des Anwendungsgebietes aufzuzeigen. Allerdings möchte ich mir den Kommentar erlauben, dass die mit solchen Methoden ermittelten analytischen Grössen nur dann sinnvoll erscheinen, wenn sie, wie Theil es auch gemacht hat, in ihrer zeitlichen Entwicklung betrachtet werden:

	$H(X, Y)$	$H(X)$	$H_Y(X)$	$H(Y)$	$H_X(Y)$	$J(X, Y)$
1965	2.232	1.362	.905	1.328	.871	.457
1966	2.285	1.326	.874	1.411	.960	.451
1967	2.299	1.277	.858	1.441	1.022	.419
1968	2.261	1.262	.831	1.430	.999	.431
1969	2.218	1.206	.782	1.437	1.013	.424

X : bezeichnet die Quelle,
hier: sechs verschiedene staatliche Departemente
und Stiftungen, welche finanzielle Beiträge an Y
leisten.

Y : bezeichnet das Ziel,
hier: sieben universitäre Abteilungen, welche Beiträge von X beziehen.

Fig. 10 : Analyse der staatlichen Beiträge für die
University of Chicago. (aus Theil {77})

Schon erwähnt wurde die Arbeit von Gatrell {38} im Zusammenhang mit der Redundanz aber auch er geht noch einen Schritt weiter und verwendet die Abhängigkeitsinformation zur zusätzlichen Charakterisierung von Kartenmustern.

Berry & Schwind {11} verwenden diese Konzepte, um Migrationsprozesse, die ja bekanntlich in Matrixform erfasst werden können, zu analysieren. Das Entropiekonzept ist ihnen dabei sehr nützlich, denn die verschiedenen einzelnen Teilprozesse der Migration, die durch die unübersichtliche Datenmenge beinahe zur Unkenntlichkeit verwischt werden,

können durch diese Methode herausgefiltert und nachträglich mit den Daten präzisiert und verifiziert werden.

Chapman [18] geht mit diesen Konzepten sogar ein Problem der Steuerung eines landwirtschaftlichen Systems an. In seiner Fallstudie in einer indischen Region geht es ihm darum, eine quantitative Abschätzung zu geben, wie es mit der Fähigkeit der Bauern steht, ihre Produktion zu steuern. Die Resultate legen dann auch nahe, dass Unterschiede existieren, sowohl zwischen Gross- und Kleinbauern, wie auch zwischen Eingeborenen und Migrierten. Solch ein Modell könnte, wenn es in grösserem Umfang appliziert würde, unter anderem dabei helfen, landwirtschaftliche Erziehung zu fördern und vorallem auch gezielt einzusetzen.



6. INFORMATIONSGEWINN

6.1 Methode

Wir betrachten ein Phänomen E. Dies werde durch zwei Verteilungen

$X_1, \dots, X_n$ mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten p_i ($i = 1, \dots, n$)
 $Y_1, \dots, Y_n$ mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten q_i ($i = 1, \dots, n$)
 zu verschiedenen Zeitpunkten t_p und t_q beschrieben, wobei t_q den späteren Zeitpunkt bezeichnet. Wir benennen p_i mit Apriori-Wahrscheinlichkeit und die q_i mit Aposteriori-Wahrscheinlichkeit. Dazwischen liegt ein Lernprozess oder eine Nachricht. X beschreibt das Phänomen vor und Y nach Eintreffen der Nachricht. Der Informationsgewinn T, der durch diese Nachricht über das Phänomen anfällt wird definiert als:

$$*6.1* \quad T(q:p) = \sum_{i=1}^n q_i \log q_i/p_i$$

Diese Gleichung stellt nichts anderes dar als die Summe der mit den Aposteriori-Wahrscheinlichkeiten gewichteten Differenzen der Einzelinformationen der i-ten Möglichkeit von X und Y. (s. Fig. 11)

Interessantes Detail von T ist die Tatsache, dass der Wert nie negativ wird, im Gegensatz zu einer einfachen Differenzenbetrachtung. Für eine exakte Beweisführung siehe dazu Theil {77}. Rein Überlegungsmässig erstaunt diese Eigenschaft von T überhaupt nicht, ist doch eine Nachricht immer verbunden mit einem Mehrwissen über ein bestimmtes Phänomen. Im 'schlimmsten' Fall bleibt das Wissen gleich. Dann nämlich, wenn wir erfahren, was wir schon wissen. Ganz bestimmt aber wissen wir dannach nie weniger als zuvor! Die T-Werte 'korrelieren' wie auch schon die gewöhnlichen Entropiewerte stark mit der Varianz. Auch hier liegt wie schon in Kap.5.3 der Vorteil der Anwendung des Konzeptes darin, dass das betrachtete Phänomen nicht mit genauen, d.h. metrischen Zahlenwerten

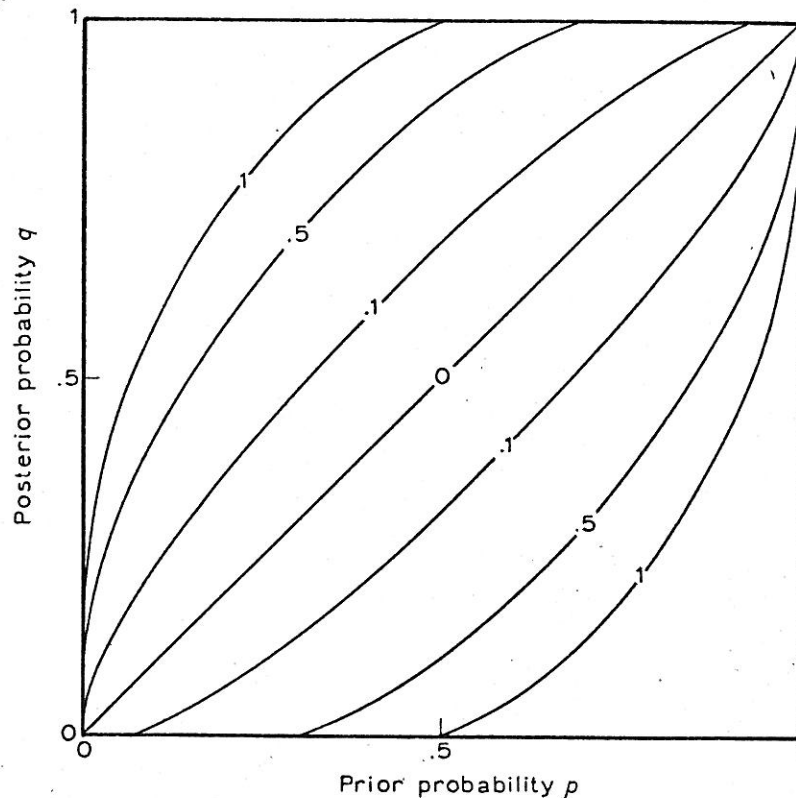


Fig. 11 : Linien gleichen Informationsgewinns (in 'bits') bei $n=2$. (aus Theil {77})

beschrieben werden muss, sondern die Zuweisung zu einer bestimmten Klasse genügt schon. Man kann sich die Erleichterung vorstellen, wenn man sich Situationen vor Augen führt, wo genaue Daten fehlen, was z.B. in Entwicklungsländern keine Seltenheit ist.

Die obige Berechnung kann auch auf zwei gleichzeitige Verteilungen angewendet werden, wobei dem Wert T dann eine 'korrelative' Bedeutung zukommt und somit nicht mehr von Informationsgewinn i.e.S. die Rede sein kann. Es entsteht dabei auch das Problem mit der Gewichtung. Welche der beiden gleichzeitigen Verteilungen hat apriori-, welche aposteriori Charakter? Trotzdem zeigt es sich, wie wir auch später noch sehen werden, dass gerade letztgenannte Möglichkeit eine sehr weit verbreitete Anwendung findet, vorallem in dem Fall, wo irgend eine Verteilung mit der relativen Flächengröße eines

Gebietes als Apriori-Verteilung verglichen wird (s.a.Kap.9).

6.2 Anwendungen

Eine interessante Anwendung bietet Chapman {17} in seiner Analyse über die Bevölkerungsverteilung im Raum. Er geht so vor, dass er die aktuelle räumliche Verteilung ($\hat{=}$ aposteriori) der Bevölkerung mit einer theoretischen vergleicht ($\hat{=}$ apriori) und so einen Wert für die relative Lage einer Siedlung erhält. Er testete seine Methode an 300 amerikanischen Städten und kommt dabei zum Resultat, dass im Laufe der Zeit die Zentralität der Städte abnimmt, dagegen stellt er fest, dass eine Zunahme der Exzentrizität der Satellitenstädte erkennbar ist.

Auf diese Art und Weise lässt sich auch Christallers Idee der zentralen Orte herleiten, wie es Medvedkov {59} mit einer ähnlichen Methode erreicht hat. Er bestimmte nämlich für ein bestimmtes Gebiet eine Verhältniszahl, die angibt, wieviele Städte zufällig und wieviele in einem regelmässigen Muster angelegt sind:

Untersuchte Region	Zentrale Orte	regelmässig angeordnet	zufällig angeordnet
SW-Wisconsin	99	54%	46%
NW-Frankreich 48° - 49° 49' n.B. 0° - 1° 26' ö.L.	122	81%	19%
N-Italien 44° 03' - 45° 30' n.B. 7° 50' - 9° ö.L.	193	60%	40%
Tschechoslowakei 49° 36' - 50° 15' n.B. 14° 51' - 16° 35' ö.L.	134	71%	29%

Fig. 12 : Regelmässigkeit von Siedlungsmustern
(nach Medvedkov {59})

Bei Betrachtung der beiden letztgenannten Anwendungen kommen wir nicht darum herum, hinzuweisen, wie diese auf Grund der schon früher erwähnten Freiheit eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zu definieren, eigentlich sehr paradoxe Erscheinungen liefern: So ist ein reguläres Punktmuster bei Medvedkov dann realisiert, wenn die Entropiefunktion ihr Minimum erreicht; bei Chapman dagegen, wenn sie ihr Maximum erreicht. Die Kritik Chapmans geht dann dahin, dass er die Brauchbarkeit der Methode von Medvedkov in Frage stellt, da dessen maximalem Entropiewert keine vernünftige Bedeutung zugewiesen werden kann.

7. DAS DEKOMPOSITIONSTHEOREM

Eine äusserst interessante Erweiterung des Entropiekonzeptes auf mehrere Betrachtungsebenen bringt wiederum Theil.

7.1 Methode

Er befasst sich nicht mehr nur mit der Entropie eines gesamten Systems E , sondern teilt sie auf auf dessen Subsysteme S . Dieses Verfahren erlaubt uns, auf einfachste Weise Probleme der Aggregation resp. der Disaggregation zu lösen. Die mathematische Herleitung sieht folgendermassen aus:

Wir betrachten eine Verteilung $X_1, \dots, X_n$ un deren Wahrscheinlichkeiten p_i ($i = 1, \dots, n$). Wir nehmen nun an, die X_i seien in kleinere Sets $S_1, \dots, S_G$ gruppiert, sodass jedes X_i in irgend einem S_g ($g = 1, \dots, G$) enthalten ist. P_g bezeichnen wir als Wahrscheinlichkeit von S_g . Es gilt:

$$*7.1* \quad P_g = \sum_{i \in S_g} p_i$$

Somit wird die Entropie auf der Ebene der S_g , die wir als 'between group' Entropie bezeichnen wie folgt definiert:

$$*7.2* \quad H_o = \sum_{g=1}^G P_g \log 1/P_g$$

Es stellt sich jetzt die Frage nach dem Zusammenhang zwischen diesem H_o und der Entropie der nicht aggregierten Gesamtverteilung. Folgende mathematische Entwicklung soll dieses Problem lösen (nach Theil {77}).

$$\begin{aligned} *7.3* \quad H &= \sum_{i=1}^n p_i \log 1/p_i = \sum_{g=1}^G \sum_{i \in S_g} p_i \log 1/p_i \\ &= \sum_{g=1}^G P_g \sum_{i \in S_g} \frac{p_i}{P_g} (\log 1/P_g + \log \frac{P_g}{p_i}) \end{aligned}$$

(Fortsetzung s. nächste Seite)

7.3
(Forts.)

$$= \sum_{g=1}^G P_g \left(\sum_{i \in S_g} \frac{p_i}{P_g} \right) \log 1/P_g + \left[\sum_{g=1}^G P_g \sum_{i \in S_g} \frac{p_i}{P_g} \log \frac{P_g}{p_i} \right]$$

$$= \sum_{g=1}^G P_g \log 1/P_g + \sum_{g=1}^G P_g \left[\sum_{i \in S_g} \frac{p_i}{P_g} \log \frac{P_g}{p_i} \right]$$

Wir erhalten also

7.4
$$H = H_0 + \sum_{g=1}^G P_g H_g$$

wobei

7.5
$$H_g = \sum_{i \in S_g} \frac{p_i}{P_g} \log \frac{P_g}{p_i}$$

Wir können den Ausdruck p_i/P_g (mit $i \in S_g$) als bedingte Wahrscheinlichkeit interpretieren, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass X_i eintritt, wenn wir schon wissen, dass ein bestimmtes S_g eintreten muss, in dem unser X_i enthalten ist. Wir sprechen daher von H_g als 'within group' Entropie. Wie Gleichung *7.4* aussagt, setzt sich die totale Entropie H also zusammen aus der 'between group' Entropie H_0 und der durchschnittlichen 'within group' Entropie.

7.2 Anwendungen

Theil {76, 77} kann seine bisherigen Untersuchungen über die Integration der Farbigen in Chicagos Schulen (s. Kap. 5.4) erweitern, indem er zusätzlich zur Aufteilung der Studenten in Weisse und Nicht-Weisse, die Nicht-Weissen auf spezifischere ethnische Gruppen wie Schwarze, Puertoricaner, Mexikaner, Indianer etc. verteilt und so wesentlich detailliertere Resultate erhält.

Im Zusammenhang mit den Problemen der dritten Welt ist die ungleiche Verteilung der Einkommen schon oft zur

Sprache gekommen. Ein äusserst wertvoller Beitrag zu diesem Thema stellt Theils Untersuchung 'Income Inequality Among Countries: 1949, 1957, 1976' in Theil {76} dar. Mittels Dekompositionstheorem und Informationsgewinn resultieren die folgenden Ergebnisse:

(1) *North America and Northwest Europe*, for which data are available on 13 countries: United States, Canada, United Kingdom, Norway, Sweden, Finland, Denmark, Germany, Netherlands, Belgium, Luxembourg, France and Switzerland

(2) *Southern Europe*, 4 countries: Portugal, Spain, Italy and Greece

(3) *Near East*, 6 countries: Turkey, Syria, Iraq, Lebanon, Israel and Egypt

(4) *Africa*, 5 countries: Kenya, Uganda, Congo (formerly Belgian Congo), Ghana and Nigeria

(5) *Asia*, 8 countries: Pakistan, India, Ceylon, Burma, Thailand, Malaya, Philippines and South Korea

(6) *Latin America*, 18 countries: Mexico, Guatemala, Honduras, Costa Rica, Panama, Colombia, Ecuador, Peru, Bolivia, Paraguay, Chile, Argentina, Brazil, Venezuela, Cuba, Dominican Republic, Puerto Rico and Jamaica.

	1949	1957	1976
Total inequality	.530	.526	.576
Between-set inequality	.456	.462	.545
Within-set inequality	.074	.064	.031
Inequality within			
N. America and Northwest Europe	.077	.062	.021
Southern Europe	.034	.013	.061
Near East	.041	.166	.083
Africa	.051	.038	.012
Asia	.040	.061	.027
Latin America	.145	.089	.080
Between-set inequality as a percentage of total inequality	86.0	87.9	94.6

Fig. 13 : Ungleichheit des Pro-Kopf-Einkommens zwischen 54 Nationen: 1949, 1957, 1976 (Prognose); Angaben in 'nits'.
(aus Theil {76}).

Eine sehr abgerundete Studie über die räumliche Dispersion der amerikanischen Textilindustrie unter Verwendung des Dekompositionstheorems liefert die Arbeit von Griffin/Semple {42}. Sie führen sogar noch eine dritte Betrachtungsebene ein, denn sie geben sich mit den einfachen Gruppierungen

nicht zufrieden, sondern bilden noch Untergruppen. Sie kommen zum Schluss, dass ihr Dispersionsindex eine sehr objektive Methode sei, industrielle Standortmuster zu prüfen, ohne dass eine Datenmanipulation oder statistische Testverfahren vonnöten seien.

8. ENTROPIEMAXIMIERUNG

Dass sich das Entropiekonzept auch für prognostische Zwecke eignet, zeigt das Modell der Entropiemaximierung, dessen Bahnbrecher auf geographischem Gebiet der Engländer Alan Wilson ist, auf dessen Publikationen {82,83,84,85,86} sich das folgende Kapitel im Wesentlichen stützt.

8.1 Methode

Wir machen folgende Ueberlegung: Gegeben sei ein geographisches System, dessen Zustand wir beschreiben möchten. Wir führen nun die Idee der Makro- und Mikrozustände ein. Unter Makrozustand verstehen wir eine Verteilung von Variablen, welche die uns interessierende Systemeigenschaft charakterisiert. Unter Mikrozuständen verstehen wir die verschiedenen möglichen Verteilungen von Elementen des Systems, welche einen Makrozustand herbeiführen können. Wenn wir die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Makrozustandes untersuchen, müssen wir uns vergegenwärtigen, dass wir von der Hypothese ausgehen, in der alle Systemelemente die gleiche Wahrscheinlichkeit aufweisen, sich irgendwo zu befinden. Da nun alle Mikrozustände aus der gleichen Anzahl Elemente bestehen, haben sie ebenfalls die gleiche Wahrscheinlichkeit. Somit ist die Wahrscheinlichkeit eines Makrozustandes eine Funktion der Anzahl Mikrozustände, die ihn verursachen. D.h. wir müssen also eine Wahrscheinlichkeitsfunktion maximieren, um den wahrscheinlichsten Zustand zu eruieren. Entsprechend der Regeln der Kombinatorik ist die Anzahl W Mikrozustände für einen gegebenen Makrozustand:

$$*8.1* \quad W = \frac{N!}{\prod_{i=1}^n (N_i!)}$$

N : Totale Anzahl Elemente

n : Anzahl Gruppierungen von Elementen, die den Makrozustand charakterisieren

N_i : Anzahl Elemente der i -ten Gruppierung

Anstatt die absoluten Häufigkeiten zu verwenden, wollen wir mit Wahrscheinlichkeiten

$$*8.2* \quad p_i = N_i/N$$

operieren. Wir können ebensogut jede monotone Funktion, also auch die logarithmische Form von *8.1* maximieren. Die folgende Herleitung (nach Wilson {84}) basiert auf Stirlings Annäherung

$$*8.3* \quad \ln T! = T \ln T - T$$

$$\begin{aligned} *8.4* \quad \ln W &= \ln N! - \sum_i (N_i \ln N_i - N_i) \\ &= \ln N! - \sum_i \left[N p_i (\ln p_i + \ln N) - N p_i \right] \\ &= \ln N! - N \sum_i p_i \ln p_i - (N \ln N - N) \sum_i p_i \\ &= (\ln N! - N \ln N + N) - N \sum_i p_i \ln p_i \\ &= [N \ln N - N] - [N \ln N - N] - N \sum_i p_i \ln p_i \\ &= -N \sum_i p_i \ln p_i \end{aligned}$$

Wir können nun bei der Maximierung der erhaltenen Gleichung in *8.4*, die uns ja schon vertraut ist, gewisse Nebenbedingungen, die wir exogen ans System stellen, oder die endogen durch das System gegeben sind, mit Hilfe von Lagrange-Multiplikatoren einbeziehen.

Um diese eher etwas theoretischen Gedanken zu veranschaulichen, wollen wir nun ein praktisches Beispiel betrachten (s. Fig.14), wie es zum Beispiel ein Pendlerproblem darstellt. Wir haben eine Matrix $\{T_{ij}\}$, die den Zustand eines städtischen Systems hinsichtlich seines Pendlerstatus charakterisiert. Elemente des Systems wären die einzelnen Bewohner, resp. Arbeiter. Als Makrozustände bezeichnen wir die möglichen Verteilungen von Matrixelementen T_{ij} , sodass sie den Randverteilungen, also der Verteilung der Wohnbevölkerung einerseits und der Arbeits-

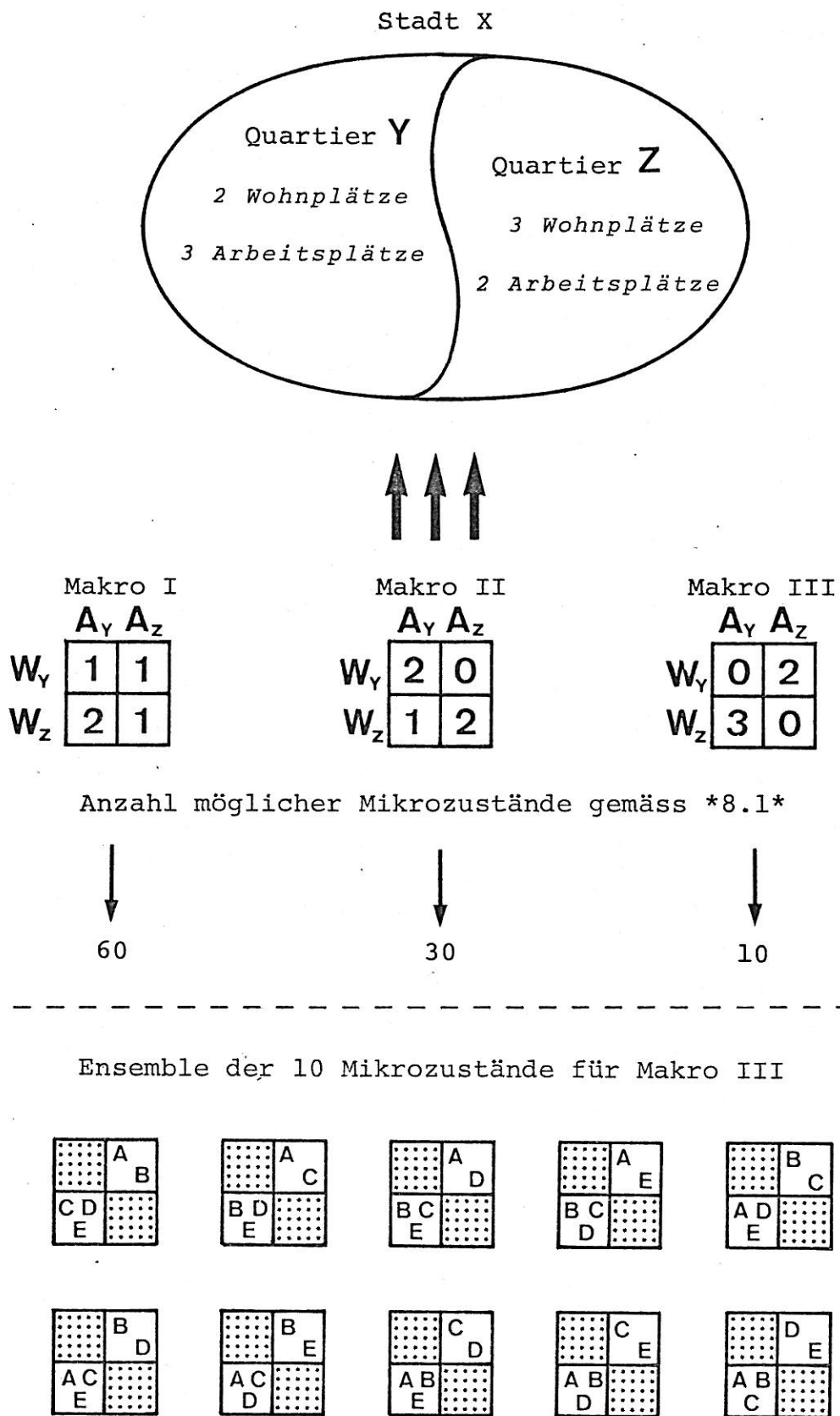


Fig. 14 : Das Konzept der Makro- und Mikrozustände, dargestellt an einem einfachen Pendlerproblem

bevölkerung andererseits in den Quartieren, genügen. Diese sind vom System endogen gegeben:

$$*8.5* \quad W_i = \sum_j T_{ij} \quad (\text{Wohnplätze})$$

$$*8.6* \quad A_j = \sum_i T_{ij} \quad (\text{Arbeitsplätze})$$

Durch eine weitere Bindung c_{ij} wie z.B. die Reisekosten oder die Reisezeit, um von Quartier i nach j zu gelangen, können wir die Pendlerverteilung modifizieren, denn damit werden die Elemente - formal betrachtet - gewichtet.

$$*8.7* \quad \sum_i \sum_j c_{ij} T_{ij} = C$$

C : z.B. totale Ausgaben im System für den Arbeitsweg.

Die oben erwähnten Mikrozustände würden hier entsprechend bedeuten, wie die Arbeiter verteilt sind, um einem Makrozustand gerecht zu werden.

Die Matrixelemente T_{ij} sind in vielen Fällen nur lückenhaft oder überhaupt nicht bekannt, obgleich diese Werte z.B. für eine vernünftige Verkehrsplanung notwendig sind. Unter Zuhilfenahme der Maximierungsmethode erhalten wir einen den Bedingungen entsprechenden, wahrscheinlichsten Zustand.

So ergeben sich durch Maximierung von *8.4* unter *8.5* - *8.7* folgende Gleichungen:

$$*8.8* \quad T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \exp(-\beta c_{ij})$$

$$*8.9* \quad A_i = 1/O_i \exp(-\lambda_i^1) = \left[\sum_j B_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1}$$

$$*8.10* \quad B_j = 1/D_j \exp(-\lambda_j^2) = \left[\sum_i A_i O_i \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1}$$

$\beta, \lambda_i^1, \lambda_j^2$: Langrange-Multiplikatoren für *8.8* - *8.10*
(Lösung muss numerisch gefunden werden.)

Wie wir sehen, sind die Anwendungsmöglichkeiten beinahe unbegrenzt, denn die Bedingungen (in unserem Beispiel *8.5* - *8.7*), unter denen eine Maximierung durchgeführt wird, sind je nach dem betrachteten System mehr oder weniger zahlreich und vor allem auch wählbar. Eine Prognose wird logischerweise umso genauer, je mehr Randbedingungen ins Modell eingegeben werden. Wilson {84} nennt als die hauptsächlichsten Anwendungsgebiete: nationale und regionale Entwicklungsplanungen, Verkehrsplanungen, Energieflussmodelle und Industrie- sowie Gebäudelayouts.

Die in unserem Beispiel erhaltene Gleichung *8.8* für die Elemente der $\{T_{ij}\}$ -Matrix stellt gerade auch die allgemeine Form des Gravitationsmodells dar, wie es in den Sozialwissenschaften im weiteren Sinn verwendet wird, wobei den einzelnen Variablen im allgemeinen Fall folgende Bedeutungen zukommen:

T_{ij} steht für die Interaktion zwischen zwei Zentren O_i und D_j , die durch eine gewisse Distanz oder auch Widerstand c_{ij} in Form von Realdistanz, relativer Distanz, Reisekosten, Reisezeit, dazwischenliegenden Ablenkungen (intervening opportunities) usw. getrennt sind. Dabei ist der Langrangeparameter β eng mit der durchschnittlichen Distanz verbunden. Die beiden Korrekturfaktoren A_i und B_j können als Ausdruck für den Wettbewerb und damit für die Attraktivität der Zentren interpretiert werden. Die Verknüpfung all dieser Terme hat bei Veränderung einzelner oder mehrerer Werte einen komplizierten Wiederangleichungsprozess zur Folge, wenn das System in einen Gleichgewichtszustand zurückkehren soll. Im Gegensatz zur heuristischen Herleitung des Gravitationsmodells als Analogie zur Newton'schen Mechanik, ist oben beschriebene Methode natürlicher und ergiebiger, in dem Sinn, dass sie nun immer weniger den Stellenwert einer direkten Analogie einnimmt und dafür eine Basis für weiterführende Modelle darstellt.

8.2 Anwendungen

Eine der wichtigsten Errungenschaften der Entropiemaximierung ist die Möglichkeit der Herleitung des Gravitationsmodells, wie es im letzten Abschnitt dargestellt wurde. Die damit zusammenhängenden Probleme wurden von Wilson sehr eingehend untersucht, sollen aber aus dem Grund, nur das zum Verständnis Wesentliche darzustellen, hier weggelassen werden. Viele Literaturbeispiele beschränken sich auf eine Herleitung modifizierter Modelle, welche nur selten in der Praxis getestet worden sind. Ich werde im Folgenden nur einige der wenigen praxisorientierten Beispiele zur Darstellung bringen.

Chilton und Poet [21] verwenden in ihrer Studie die Entropiemaximierung gleich zweimal. Erstens erweitern sie eine unvollständige Migrationsmatrix, die aus Volkszählungen stammt. Dies bringt mit sich, dass gewisse unter einem Schwellenwert liegende Daten nicht vorhanden sind. Bekannt sind nur die darüberliegenden Werte und die beiden Randverteilungen. Zweitens wird die durch Entropiemaximierung ergänzte Matrix als Input verwendet, um das Migrationsmuster im Hinblick auf verschiedene Migrationsgruppen zu entflechten. Dabei sind nur noch die Werte für die Randverteilungen bekannt, welche somit die für die Maximierung nötigen Randbedingungen darstellen. Als Problem taucht hier unter anderem die Stirling'sche Annäherung für $\ln T!$ auf, die nur für grosse T gute Resultate liefert. Deshalb fallen bei der Berechnung kleine Werte zu klein aus und - wegen der Subtraktion von der Randverteilung - die grossen zu gross. Die Autoren meinen intuitiv, eine Schätzung mittels Entropie würde theoretisch akzeptable Werte liefern, aber es müsse eben auch noch eine bessere Schätzung für $\ln T!$ gefunden werden. Ueberhaupt stellt sich die Frage nach "goodness-of-fit" Kriterien, wie sie für andere Methoden in Form von statistischen Tests bestehen.

Viele Anwendungen sind mit anderen Methoden gekoppelt, wobei

das Entropiemodell einerseits als Hauptmodell stehen kann oder aber dann reines Hilfsmittel darstellt. Ein Beispiel von letzterem bringt Eastin {27}. Sein Problem ist die Standortwahl von Dienstleistungen in einem gegebenen Einzugsgebiet. Und zwar stellt sich ihm die Frage, wie der Planer dabei die unterschiedlichen demographischen und sozialen Charakteristiken der Benutzer berücksichtigt. So werden die Transportkosten, die als Surrogatdaten Eingang ins Modell finden, mit einer relativen Gewichtung versehen. Die Entropiemaximierung wird nun verwendet, um das sonst unlösbare Weber-Problem zu lösen.

Unzufrieden mit der statischen Anwendung, verknüpft Lee {56} das Entropiemodell mit einem Markov-Modell, um eine Bevölkerungsverteilung über die Zeit zu bestimmen. Er maximiert also die Entropie einer Markovkette, was sich folgendermassen präsentiert:

$$*8.11* \quad H = - \sum_i \sum_j x_i p_{ij} \log p_{ij}$$

x_i : Anfangswahrscheinlichkeit, dass ein Individuum zur Zeit t in i wohnt.

p_{ij} : Element der Uebergangswahrscheinlichkeitsmatrix, dass ein Individuum zur Zeit $t+1$ von i nach j zieht.

Für die Aufstellung der entsprechenden Randbedingungen geht er davon aus, dass die Migration von den "location"-Kosten einerseits und von den Umzugskosten andererseits abhängig ist.

Angespornt durch die Erkenntnis, dass zwei Möglichkeiten bestehen, um das Wesen der Mikrozustände zu beschreiben, änderten Snickars und Weibull {71} das Maximierungsmodell zu einer neuen Form zur Lösung prognostischer Probleme ab. Unter Zuhilfenahme einer probabilistischen Beweisführung wird gezeigt, dass nicht die Entropie H Maximiert, sondern der Informationsgewinn T minimiert werden soll.

$$*8.12* \quad \min \sum_i p_i \log (p_i/q_i)$$

wobei (analog zu Kap. 6) q_i als apriori Wahrscheinlichkeit und p_i als aposteriori Wahrscheinlichkeit und somit als Element der zu schätzenden Verteilung bezeichnet wird. Mit Worten: Es wird die Verteilung $P = \{p_i\}$ gesucht, welche am wenigsten von einer gegebenen Verteilung $Q = \{q_i\}$ abweicht und einem gewissen ebenfalls gegebenen Makrozustand gehorcht. Ihr Modell haben sie anhand von Pendleraufkommen in Stockholm und von Warenlieferungen zwischen den verschiedenen Wirtschaftssektoren Schwedens getestet und kommen zu folgenden Resultaten:

- 1) Der mittlere relative Fehler beträgt 4-7%.
- 2) Ausschlaggebend für bessere Resultate sind nicht die Veränderungen eines Interaktionsmusters, sondern das Muster selbst.
- 3) Andere getestete Modelle, die ohne apriori Information auskommen, weisen einen nicht mehr akzeptablen Fehler von 60-77% auf.

Somit empfiehlt sich das Minimum-Informationsprinzip, das eine synthetische Verbindung klassischer Prognosemodelle mit dem Entropiemaximierungskonzept darstellt, als ein äusserst brauchbares Instrument, um Entwicklungen in den verschiedensten Bereichen der Planung zu prognostizieren.

9. RAEUMLICHE ENTROPIE

Schon früher (vgl. Kap. 4.1) war die Rede von der Problematik der Nichtvergleichbarkeit der Entropiewerte bei verschiedener Klassengrösse, d.h. bei unterschiedlichem n . Es wurde damals auf einen Vergleich mit der maximalen Entropie hingewiesen.

9.1 Methode

Eine andere Möglichkeit bietet die Entropiebestimmung einer kontinuierlichen Verteilung, denn dabei fällt ja die Klasseneinteilung weg. Die kontinuierliche Form der Entropie wurde ebenfalls schon von Shannon [69] präsentiert:

$$*9.1* \quad S(x) = - \int p(x) \log p(x) \, dx$$

Sie hat jedoch den Nachteil, dass sie sich nicht aus der diskreten Gleichung *3.3* herleiten lässt, indem man einfach die Intervallgrösse bis zu einem Grenzwert von 0 streben lässt. Zudem treten bei geographischen Analysen kontinuierliche Verteilungen nur sehr selten auf.

Wenn wir anstelle von p_i in *3.2* $p(x)_i \Delta x_i$ einsetzen, wobei Δx_i die Intervallgrösse darstellt, folgen wir Goldmann [41], um das Problem der diskreten versus kontinuierlichen Entropie zu diskutieren.

$$*9.2* \quad H = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} - \sum p(x)_i \Delta x_i \log(p(x)_i \Delta x_i)$$

Durch Zerlegen ergibt sich:

$$*9.3* \quad H = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} - \sum p(x)_i \log(p(x)_i) \Delta x_i \\ + \lim_{\Delta x \rightarrow 0} - \sum p(x)_i \log(\Delta x_i) \Delta x_i$$

und weiter

$$*9.4* \quad H = - \int p(x) \log p(x) \, dx - \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum p(x)_i \log(\Delta x_i) \Delta x_i$$

Bei Gleichheit aller Δx_i vereinfacht sich der zweite Term der rechten Seite, worauf

$$*9.5* \quad H = -\int p(x) \log p(x) dx - \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \log \Delta x_i$$

Diese Gleichung zeigt deutlich, dass die diskrete Entropie unendlich zunimmt, wenn die Δx_i immer kleiner werden oder mit anderen Worten, wenn immer mehr Intervalle gebildet werden. Somit ist auch verständlich, dass *9.5* auch für ungleiche Δx_i gelten muss. Die kontinuierliche Entropie kann durch Neuordnen von Gleichung *9.4* beschrieben werden:

$$*9.6* \quad -\int p(x) \log p(x) dx = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} - \sum p(x)_i \log(p(x)_i \Delta x_i) \\ + \lim_{\Delta x \rightarrow 0} - \sum p(x)_i \log(\Delta x_i) \Delta x_i$$

Wegen $p(x)_i \Delta x_i = p_i$ ergibt sich

$$*9.7* \quad -\int p(x) \log p(x) dx \cong - \sum p_i \log p_i \\ + \sum p_i \log(\Delta x_i)$$

und schliesslich

$$*9.8* \quad H \cong - \sum p_i \log\left(\frac{p_i}{\Delta x_i}\right)$$

Dieser Ausdruck wird nun von Batty {6} als 'spatial entropy' oder zu deutsch mit 'räumliche Entropie' bezeichnet. Seine Anwendung wird empfohlen, wenn es darum geht, direkt raumbezogene, geographische Analysen zu erstellen.

Um einen Anhaltspunkt für die Grösse der Zonen zu erhalten, müssen wir den Fehler, resp. die Differenz zwischen H und S betrachten, wofür wir einen Toleranzwert ϵ bestimmen müssen. Es muss folglich gelten:

$$*9.9* \quad \left| -\int p(x) \log p(x) dx + \sum p_i \log\left(\frac{p_i}{\Delta x_i}\right) \right| \leq \epsilon$$

Man kann diese räumliche Entropie auch anders begründen. Rein von der mathematischen Form her betrachtet, haben wir es - abgesehen vom Vorzeichen - mit Informationsgewinn (vgl. Kap. 6) zu tun. Betrachten wir die räumliche Entropie unter diesem Gesichtspunkt, so haben wir irgendeine aposteriori Verteilung eines Phänomens, die mit den entsprechenden Fläche, wo das Phänomen auftritt, verglichen wird. Diese Flächenverteilung versteht sich in diesem Fall als apriori Verteilung. Die

'Herleitung' soll nicht verwundern, denn beim Ausdruck $p_i/\Delta x_i$ handelt es sich um eine Wahrscheinlichkeitsdichte, wie sie auch das $p(x)$ in der kontinuierlichen Entropiegleichung *9.1* darstellt.

9.2 Anwendungen

Die Anwendungen dieses Konzeptes sind äusserst interessant, wenn sie mit früher behandelten Konzepten, wie dem Dekompositionstheorem (vgl. Kap. 7) oder der Maximierung (vgl. Kap. 8) kombiniert werden. Es sei gleich an dieser Stelle noch gesagt, dass überhaupt die meisten Entropiekonzepte selten allein dastehen, sondern praktisch immer eben in Kombination untereinander zur Anwendung gelangen, was ihre Effizienz und Vielfalt wesentlich vergrössert.

Die disaggregierte Form von *9.8* sieht dann folgendermassen aus:

$$*9.10* \quad H = - \sum_{g=1}^G p_g \log\left(\frac{p_g}{\Delta x_g}\right) - \sum_{g=1}^G p_g \left[\sum_{i \in S_g} \frac{p_i}{p_g} \log\left(\frac{p_i \Delta x_g}{\Delta x_i p_g}\right) \right]$$

wobei Δx_g die zu p_g gehörende Fläche darstellt. Diese Kombination findet Anwendung bei der Aufgliederung einer Region in verschiedenen Zonen aufgrund der Bevölkerungsverteilung, wie dies z.B. in der Region der englischen Stadt Reading geschah. Zusätzlich wurde die 'within-set' Entropie maximiert, um möglichst homogene Zonen zu erhalten. Das Resultat dieser Untersuchung von Batty { 6 } ist in Fig. 15 wiedergegeben. Daraus ist ganz eindeutig ersichtlich, dass die Zonen mit dichten Besiedlung kleiner sind als diejenigen, die entfernter vom Stadtzentrum liegen und wo die Bevölkerungsdichte nur noch gering ist; ein klassisches Beispiel des Gefälles der Bevölkerungsdichte mit zunehmendem Abstand vom Zentrum, das in unserer Figur die Zonennummer 10 trägt. Gewisse Zonen wie z.B. Nr. 1, 5, 6 und 12 tragen denn auch deutlich den Eigenschaften eines konzentrischen Stadtmodells etwa nach Burgess Rechnung.

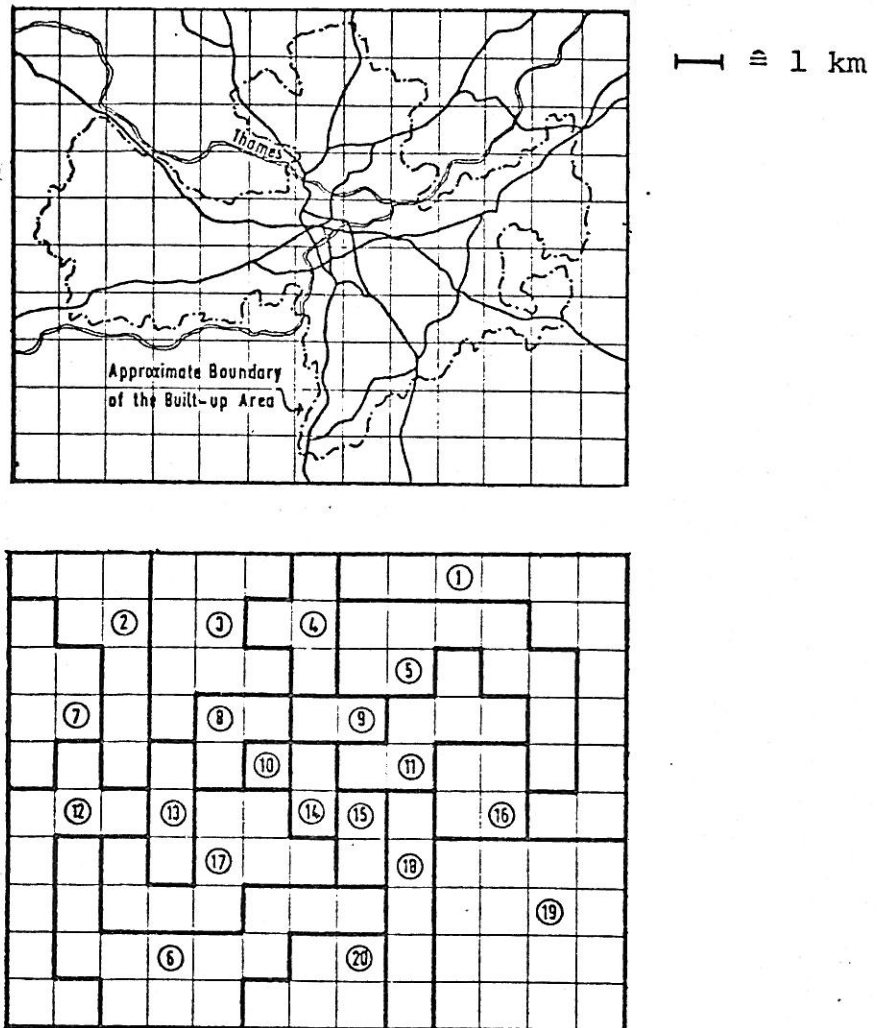


Fig. 15 : Das orthogonale Zonierungssystem der Region Reading (oben) und deren Einteilung in 20 bezüglich Bevölkerungsverteilung homogene Gruppen entsprechend *9.10* (unten).
(aus Batty {6})

Ein anderes Beispiel wäre die Entropie in einer hierarchischen Gliederung der Bezirke der Region Reading, ebenfalls verbunden mit dem Dekompositionstheorem (s. Fig. 16). Dabei ist interessant, dass sich der niedrigste Entropiewert nicht mit dem höchsten, sondern mit dem zweithöchsten Niveau der Hierarchie findet. Dies ist begründbar, wenn man sich gewahr wird, dass dieses Niveau die genaueste annähernde Unterscheidung zwischen ländlichen und städtischen Gebieten repräsentiert.

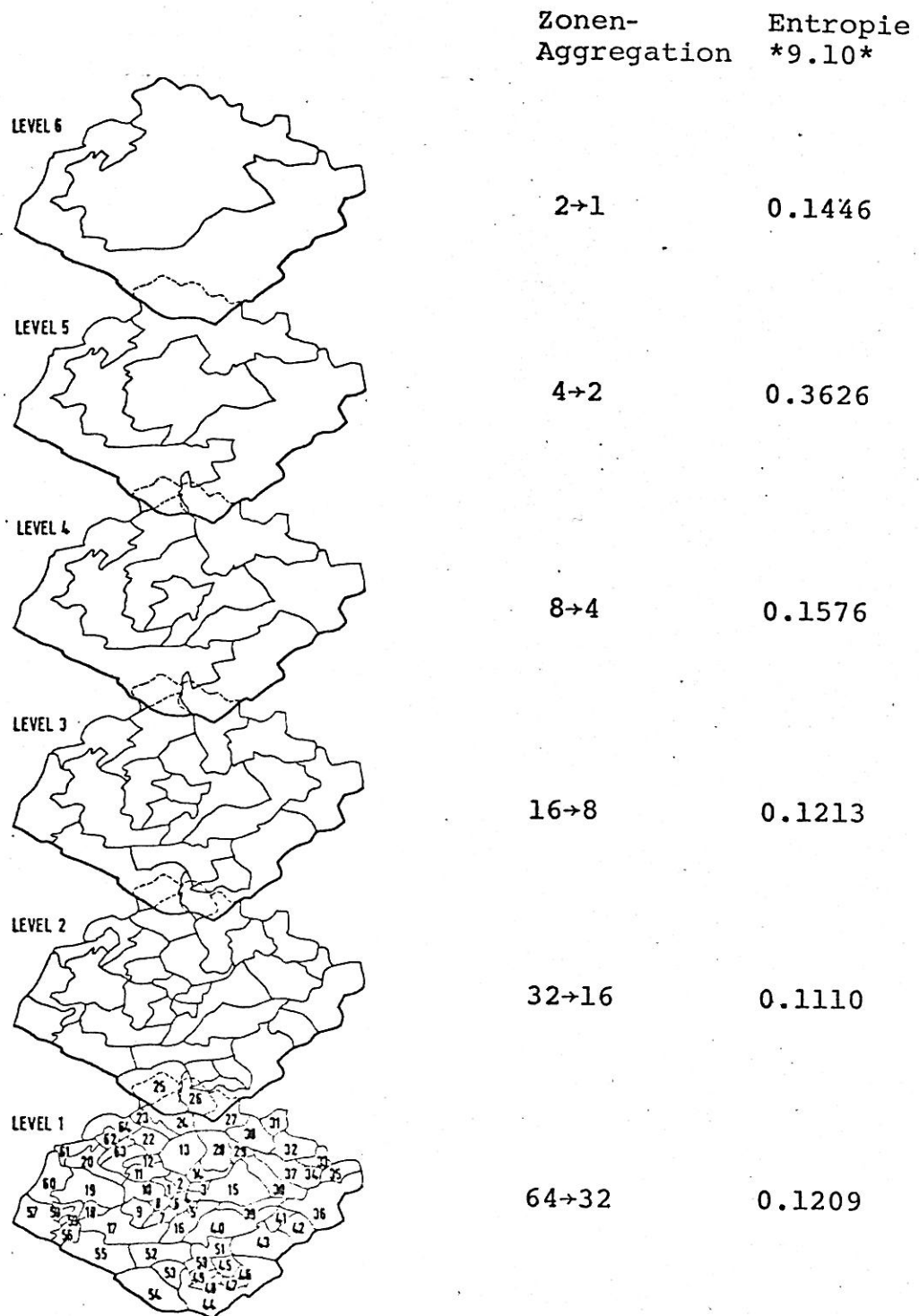


Fig. 16 : Hierarchische Gliederung der Bezirke der Region Reading und die Entropiewerte der Bevölkerungsverteilung gemäss *9.10*.
(aus Batty {7})

II. PRAKTISCHER TEIL:

FUNKTIONELLE ENTMISCHUNG UNTERSUCHT MIT DEM ENTROPIEKONZEPT, DARGESTELLT AM BEISPIEL DER STADT ZUERICH (1965 - 1975)

10. EINFUEHRUNG

Es ist eine weitverbreitete Tatsache, dass sich der in Städten angesiedelte Teil der Menschheit ständig vergrössert. Diese Beobachtung lässt sich auch in der Schweiz bestätigen, ist doch der Anteil der Bewohner in Gemeinden mit mehr als 10'000 Einwohnern seit 1850 mit 6% bis 1970 mit 46% vehement gestiegen. Eine Extrapolation für das Jahr 2000 rechnet sogar mit 53%. Abgesehen von der Problematik des absoluten Bevölkerungswachstums, bringt eine solche Bevölkerungskonzentration neue Probleme (verstopfte Strassen, überfüllte Tramwagen, keine Erholung usw.), mit denen wir Städter tagtäglich konfrontiert werden, und nur die wenigsten Stadtmenschen können sich mit ihrer Situation zufrieden geben. Ein Anlass also, um sich etwas tiefer in diese Thematik einzuarbeiten und zu versuchen, einen neuen Aspekt in die Diskussion um den Urbanisierungsprozess und den Städtebau zu bringen. Oft hört man von Verödung und Entleerung der Städte; gegenüber dem vorher Gesagten eigentlich ein Paradoxon. Doch beim genauen Hinhören stellt man fest, dass sich die Stadtkerne entleeren, wobei 'entleeren' am ehesten mit 'Weggehen und Fehlen des städtischen Lebens' gleichgesetzt werden kann. Es gibt also ein typisch städtisches Leben und eben solche Verhaltensweisen, die den ländlichen diametral gegenüber stehen. Industrialisierung und technischer Fortschritt haben die alten Stadtformen überrumpelt und vielerorts gibt man sich zufrieden, wenn gewisse Spezialfunktionen wie Wohnsiedlung, Verkehrszentrum, Industrievorort usw. erfüllt sind. Aber damit sind die Bedingungen, eine Stadt zu sein, noch lange nicht erfüllt.

Was braucht es aber dazu? Dass eine befriedigende Stadtdefinition nicht in einem Satz gegeben werden kann, scheint klar zu sein, und doch müssen wir uns bemühen, einen gemeinsamen Nenner zu finden, um gemeinsam operieren zu können. Unter den vielen Definitionen habe ich eine etwas ungewöhnliche, aber recht umfassende und nicht in allen Belangen statistisch erfassbare Umschreibung des Phänomens 'Stadt' gewählt, die mir im Folgenden als Richtlinie dienen soll. Diese Aufstellung von Hofer {49} stellt nicht eine im naturwissenschaftlichen Sinne strenge Definition dar, sondern versucht quer durch die wirtschaftlichen, sozialen und assoziativen Gliederungen zu vermitteln:

"Formationen des Zusammenlebens einer Mehrzahl von Menschengruppen auf begrenzter und qualifizierter Fläche erreichen dann die Stufe 'Stadt', wenn sie, in übergreifender oder polarisierender Verbindung des Ungleichen, charakterisierbar werden als

1. Ein qualifizierter zentraler Ort
(Situation und Stadtplan, Polyvalenz, Diversifikation)
2. Eine Rechtsgemeinschaft
(Verfassung, Organe, kommunale Willensbildung)
3. Eine Arena der Gegensätze
(Polarisation und Wechsel der Herrschaftskörper, politische, sozioökonomische, ideologische Kampffelder)
4. Ein Tausch- und Umschlagsplatz
(Marktprinzip von Angebot und Abnahme, Wettbewerb-Konkurrenz)
5. Ein Grossangebot von Arbeitsplätzen
(Kurvatur des Arbeitsmarktes: freie Kräfte - freie Plätze)
6. Ein Playground
(Musse, Müssiggang, Genuss, Vergnügen)
7. Quelle und Entladung kreativer Energien
(Musik, Kunst, Tanz, Wissenschaft, Technologie, Theater, Literatur)

8. Interpenetration der beharrenden und veränderlichen Kräfte (Kontinuität, Destruktion, Modifikation, Versteinerung).
9. Ort ständigen Kernzerfalls und neuer Kernbildung (Niedergang und Wiederaufstieg der Einzelnen und Gruppen)
10. Fluktuation durch die Innenräume (Nichtöffentlicher Blutkreislauf: die Private Stadt der Klubs, Freundeskreise, Gesellschaften)
11. Spielfeld des Unberechenbaren (Die plötzlichen Wechsel von Glück und Unglück. Prognosegrenze, das Spiel der kollektiven Affekte; Gruppendynamik, Massenphänomene)
12. Die Stadt als Zielfeld (Ideogrammata und Utopien: Das Wirken des Gedankenbildes, das Syndrom Urbanität)"

Nicht nur weil immer mehr Leute in Städten wohnen, müssen wir uns mit ihrer Situation auseinandersetzen und einer Zerfall andeutenden Entwicklung entgegenwirken; vielmehr soll auch die Rolle der Stadt als animierendes Agens für die Entstehung und das Weiterbestehen gesellschaftlichen und politischen Bewusstseins in Betracht gezogen werden. Dies bedeutet also, dass die Städte die lebenswichtigen Organe eines Staates sind, an dessen Existenz heute kaum jemand zweifelt oder gar rütteln möchte. Wir können daraus also folgern, dass Städte auch Existenzbedingung für das ländliche Gebiet darstellen.

Mit dieser Arbeit möchte ich meinem Optimismus Aus- und Nachdruck verleihen, dass sich die Stadt wieder zu einer lebensfähigen und anregenden Daseinsform entwickeln kann.

11. DIE STADT ALS FUNKTIONSGEFUEGE

In den Anfängen der Stadtgeographie lag der Schwerpunkt der Betrachtungen auf dem äusseren Erscheinungsbild der Stadt. So wurden Grundrisse, Physiognomien, die Lage in der Landschaft usw. untersucht. Die formalen Objekte standen also im Vordergrund. Immer mehr wendete sich die Forschung auch den genetischen und funktionalen Erscheinungen zu. Auf die Fragen 'wo?' und 'was?' folgten 'wie?' und 'warum?'. Es werden also Tätigkeiten und Bedingungen untersucht, die einen Einfluss auf die Stadt ausüben und somit eine Veränderung bewirken können. Dies entspricht einer Dynamisierung der Betrachtung, weil nicht mehr nur Raum sondern auch Zeit, resp. Bewegung eine Rolle spielen.

Das Ziel, dem jetzt Rechnung getragen werden sollte, formuliert Schöller {67}, cit: "Erfassen der Stadt als kulturgeographische Einheit, ... Gefüge, Bild und Funktion der städtischen Landschaft als Ganzes zu sehen und zu werten, die siedlungsmorphologische und funktionale Einheit in Lage, Entwicklung und Wechselbeziehungen zum landschaftlichen Bereich." Dies heisst, dass Struktur und Funktion nicht getrennt werden sollten, da sie eben zwei verschiedene Aspekte des gleichen Objekts sind. Beide weisen ein Gefüge auf, d.h. die diversen Strukturen und Funktionen sind sowohl untereinander wie auch zwischeneinander überlagert und - wie der Begriff sagt - zusammengefügt, fest verzahnt.

Wie sieht nun ein Funktionsgefüge aus? Dazu betrachten wir zuerst den Begriff 'Funktion'. In Anlehnung an Hofmeister {50} verstehe ich unter 'Funktion' einerseits Nutzung oder Tätigkeit mit Raumbedarf und andererseits Bindung und Verflechtung mit Raumüberwindung. Konkret äussert sich dies u.a. in den Aktivitäten Wohnen, Arbeiten, Erholen, sich Bewegen, welche von Le Corbusier und der Charta von Athen {19} im Jahre 1933 als die Schlüsselfunktionen zum Städtebau proklamiert wurden. Diese Funktionen bezeichne ich als lebensnotwendig

oder auch primär. Sie sind alle an Personen gebunden und gelten nicht nur für die Stadt. Demnach muss es auch ergänzende oder Sekundärfunktionen geben. Diese folgen aus den subjektiven Ansprüchen der Bewohner: Zentralität, Kommunikation, Image und Erlebbarkeit.

Die Konsultation von zwei Lexika {13,47} lieferte für den Begriff 'Gefüge' folgende zwei Definitionen:

"Das Ineinandergreifen der Teile eines Ganzen, so dass sie alle voneinander und vom Ganzen abhängig sind." (cit.{47})

"Kunstreicher Aufbau, Schichtung, innere Ordnung" (cit.{13})

Beide sind meines Erachtens für die Anwendung des Begriffs auf die Stadt unvollständig. Ideal scheint mir eine Kombination zu sein, nämlich:

Gefüge (Def.): "Das kunstreiche Ineinandergreifen der Teile eines Ganzen, so dass sie alle voneinander und vom Ganzen abhängig sind und dass eine innere Ordnung erkennbar ist."

Der Terminus 'Stadt als Funktionsgefüge' soll also zu verstehen geben, wie sehr die Stadt ein Ganzes ist, obwohl Ausenbezüge selbstverständlich nicht fehlen (s.Fig. 17). Wohnungen, Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten, Vergnügungseinrichtungen, Bildungsstätten, Dienstleistungen usw. sind bunt durcheinander gemischt. Auf den ersten Blick! Beim zweiten Hinsehen stellt man jedoch eine gewisse Ordnung fest, die durch Prozesse wie Konzentration, Dispersion, Invasion und Segregation, sowie durch Bevölkerungswachstum überhaupt entstanden ist. Dabei übernimmt der geschichtliche, politische und wirtschaftliche Hintergrund und die bisherige Entwicklung eine vorbestimmende Funktion ein, ähnlich der Klüftung bei der Entstehung von Bergformen.

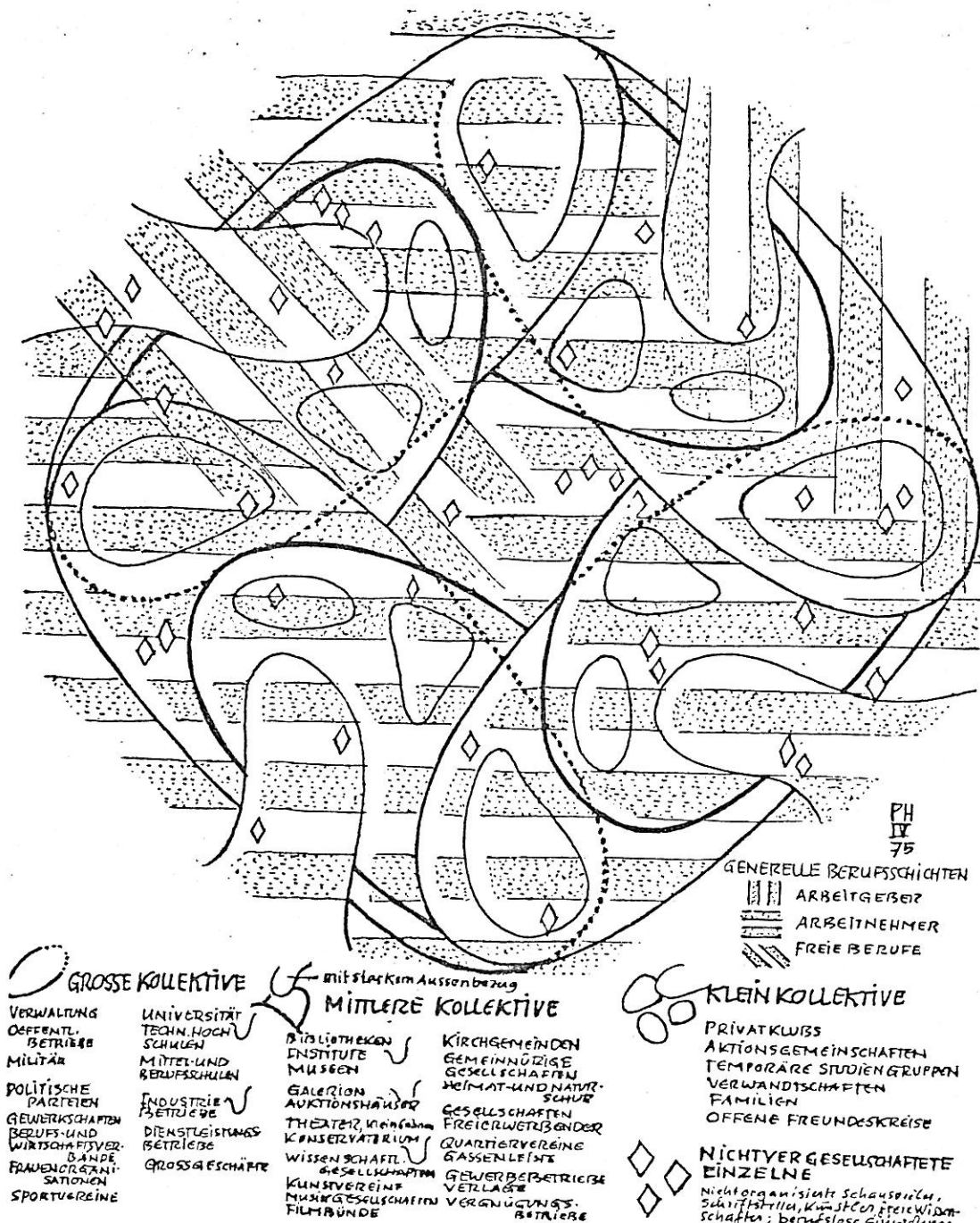


Fig. 17 : Versuch einer Darstellung der Stadt als unteilbares und ganzheitliches Gefüge.
(aus Hofer {49})

12. PLAEDoyer FUEr EINE FUNKTIONSMISCHUNG

12.1 Funktionsmischung

Betrachten wir verschiedene Ordnungszustände eines Funktionsgefüges: Dabei können wir zwischen den beiden Extremen totale Mischung der Funktionen einerseits und totale Entmischung, d.h. die Dominanz einer einzigen Funktion, andererseits, jede Schattierung antreffen. Als Beispiel des erstern können wir die mittelalterliche Stadt nennen. Die zweite Erscheinung tritt in modernen Industriezentren oder den Schlafstädten in Erscheinung. Jetzt zeigt sich aber auch, dass die Grösse der betrachteten Raumeinheit eine massgebende Rolle spielt.

Die im Mittelalter durchmischten Städte waren schon allein wegen ihrer geringen Grösse für die Ideen des Industriezeitalters ungeeignet, denn dieses brachte Produktionsprozesse, die wegen der Rationalisierung und der immer grösser werdenden Arbeitsteilung auch grössere Betriebseinheiten benötigten. Dafür wurden auch mehr Arbeitskräfte und für diese wiederum mehr Dienstleistungen usw. benötigt. Ausschlaggebend für den Standort der Industriebetriebe war primär die Existenz von Infrastruktur (Eisenbahn, Wasserkraft usw.). Wohnungen wurden dort errichtet, wo die Bodenpreise am niedrigsten waren. Zusätzlich konnte die Rendite oft durch Hinterhofbauten für gewerbliche Nutzungen noch erhöht werden. Diese begannen sich durch ihre Immissionen störend auf die Wohnbevölkerung auszuwirken, was aber kaum Widerstand hervorgerufen hat, da man froh sein musste, überhaupt eine Wohnung zu bekommen. Bald aber war diese ungeordnete Entwicklung verschiedenen städtebaulichen Praktikern ein Dorn im Auge, wobei zunächst nur Ordnungs- und Hygienefragen Anlass zu ersten gesetzlichen Regelungen waren (vgl. Albers {2}). Aber auch die ästhetischen Gesichtspunkte liessen zu wünschen übrig, weshalb sich Camillo Sitte in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts mit seinem Hauptwerk {70} diesem Thema widmete.

Erst mit den kritischen Stimmen einiger Sozialpolitiker und mit dem Bestreben der Planer, Gesamtplanungen aufzustellen, wurde zu Beginn unseres Jahrhunderts die Idee der Entmischung verwirklicht. Es entstanden überschaubare Einheiten mit vorwiegend monofunktionalem Gepräge. Ein wichtiger Punkt war die Erstellung von Wohnquartieren mit grossen Grün- und Freiflächen. In der schon erwähnten Charta von Athen {19} bekannte sich eine internationale Gruppe von anerkannten Architekten und Städtebauern ebenfalls zu dieser Entmischung und Funktions-trennung. Damit wurde dieser Idee, einer Wendung von einem Extrem ins andere, mehr Gewicht und Selbstverständnis verliehen.

Zu Beginn der sechziger Jahre unseres Jahrhunderts begann sich jedoch eine neue Kritik zu verbreiten, deren Hauptexponenten Jane Jacobs {52} in den USA, H.P. Barth {5} und A. Mitscherlich {61} in Deutschland waren. Sie bezichtigten die undifferenzierte Funktionstrennung vor allem der Verunmöglichung menschlicher Bezugsstrukturen, Entfaltungsmöglichkeiten und wehrten sich heftig gegen das dadurch induzierte Spezialistentum. Erst an zweiter Stelle treten auch die Bedenken von Verkehrsfachleuten und Oekonomen auf. Auch bieten verschiedene Fortschritte auf dem Gebiet von Maschinen, Arbeitsplatzorganisation, Immissionsschutz usw. neue Möglichkeiten, die nicht gegen eine Funktionstrennung sprechen. Es seien im folgenden Vor- und Nachteile der Funktionsmischung aufgezeigt, wie sie sich heute präsentieren, wobei sich die Argumentation im wesentlichen auf die räumliche Kategorie der Quartiere bezieht.

12.2 Nachteile

Die Nachteile von entmischten Gebieten sind im Prinzip noch gleich gerichtet, wie sie sich zu Beginn des industriellen Zeitalter gezeigt haben. Dazu kommen einige Aspekte volks- und betriebswirtschaftlicher Art, wie sie vor allem in freien, d.h. kapitalistischen Systemen zu beobachten sind.

1. Immission von Staub, Russ und Lärm von Kleinindustrie- und Gewerbebetrieben verursachen eine stark verminderte physische Umweltqualität, womit der Wohnwert und die Attraktivität von solchen Gebieten eminent herabgesetzt wird. Dies hat wiederum - wegen entsprechender Preise - eine Dominanz ganz bestimmter Bevölkerungsschichten, wie Fremdarbeiter und anderer sozial niedriggestellten Arbeiterschichten, zur Folge.
2. Will man diesen Immissionen entgegenwirken, so hat das durch den Einbau von entsprechenden Anlagen, erhebliche finanzielle Mehrbelastungen der Betriebe zur Folge.
3. Eine Verminderung des Wohnwertes kann sich auch durch die potentiellen physischen Gefahren (Explosionen, Unfallgefahr usw.) ergeben.
4. Diese ersten drei Punkte fallen merklich weniger ins Gewicht, wenn es sich bei den ansässigen Betrieben um Kleingewerbe wie Bäcker, Schneider, also immissionsarme Anlagen, handelt. (Zwar gibt es bei einer Backstube gewisse Geruchs- immissionen, aber von schädlich kann dort wahrscheinlich nicht die Rede sein.)
5. In gemischten Gebieten muss die Gebäudedisposition anders konzipiert werden, was höhere Baukosten zur Folge hat. Infrastrukturelle Erschliessung und Entsorgung bringt den Betrieben und der öffentlichen Hand ebenfalls Mehrkosten.

12.3 Vorteile

In der folgenden Liste sind neben den Vorteilen der Durchmischung auch die Nachteile der Entmischung aufgeführt, ist doch das Ziel, wohin sie schliesslich führen sollen, bei beiden Argumenten das gleiche: bessere Durchmischung. Generell können diese Aspekte mit vier Oberbegriffen umschrieben werden: Wirtschaft, phys. Umwelteinflüsse, psych. Umwelteinflüsse und das Syndrom Urbanität. Natürlich findet bei den meisten Punkten eine Ueberlagerung statt.

1. Durch stark entmischte Gebiete erhöht sich das Verkehrsvolumen, denn es müssen längere Wege von der Wohnung zum Arbeitsplatz und zu den Einkaufseinrichtungen zurückgelegt werden, meist ja schon mit einem Verkehrsmittel. Leider ermöglicht der grosse Wohlstand, dass praktisch jeder ein Auto besitzt und deshalb auch benutzt, während der öffentliche Verkehr nicht in dem ihm gebührenden Mass berücksichtigt wird. Diese Volumenvergrösserung des Verkehrs hat trotz Heraufsetzen der Strassenkapazität bisher in den meisten Städten zu Stockungen und Stauungen geführt, die bei den Lenkern eine nervliche Ueberbelastung verursachen können. Die Tatsache, dass die gewonnene Arbeitszeitverkürzung durch die langen Arbeitswege wieder aufgebraucht wird, mutet an wie ein Schildbürgerstreich. Im Uebrigen braucht der stockende Verkehr wesentlich mehr Platz als der fahrende (vgl. auch Bahr dt {5}). Ich glaube, es ist überflüssig, dass wir uns auch noch den Immissionen, die der Verkehr verursacht, eingehend zuwenden, denn wir wissen alle um die Schädlichkeit von Abgasen und Motorenlärm.
2. Eine Begleiterscheinung der Entmischung ist dadurch gegeben, dass die Landreserven auf dem Stadtgebiet für die Erstellung von neuem Wohnraum kaum ausreichen. Die umliegenden Gemeinden als Ausweichmöglichkeit ziehen aus verschiedenen Gründen wie Steuervorteile oder "Naturnähe" (Wohnen im Grünen), vorwiegend die begüterten Schichten an, wodurch nun die Steuereinnahmen der Stadt sinken, was unter Umständen zu einer schwierigen Finanzlage führen kann. Dies vor allem daher, weil diese Abgewanderten weiterhin durch ihre Tätigkeit am Arbeitsplatz in der Stadt verschiedentlich Infrastruktur und andere Dienstleistungen der öffentlichen Hand in Anspruch nehmen (vgl. Jürgensen {36}).
3. Mit der Durchmischung lässt sich eine effektivere Nutzung erreichen, denn durch das Belegen der für das Wohnen ungünstigen Gebäudeteile wie sonnenarme Nordseiten, lärmige Strassenseiten und stark exponierte Erdgeschosse mit

gewerblichen Nutzungen wird die schlechte Wohnqualität seltener und es lässt sich noch eine Rendite aus dieser Nutzung - Büros, Werkstätten, Läden und Lager - erzielen (vgl. Wiegand {80}).

4. Die im Zuge der Funktionsentmischung auf grüner Wiese entstehenden Shopping Centers weisen einen gewissen Widerspruch bei der Standortwahl auf, weil zwischen Angebot und Nachfrage eine zu grosse Lücke klafft. Dabei meine ich wirklich eine Lücke im räumlichen Sinn, denn die einseitige kommerzielle Orientierung hat eine ebensolche einseitige Ausrichtung auf eine motorisierte Kundschaft bewirkt. Dabei wird eine Benachteiligung hinsichtlich der Versorgung der Nichtmotorisierten wie ältere Leute, Jugendliche und auch wenig finanzkräftige Schichten, deutlich. Diese sind für solche Zentren ohnehin kaum interessant, nicht zu sprechen von denen, die nicht willens sind, dort einzukaufen. Eine dezentralisierte Versorgung mittels vermehrter Durchmischung der Quartiere mit kleineren und grösseren Detailhandelseinrichtungen wäre demzufolge angebrachter, zumal auch der Verkehr eingedämmt werden könnte; und wer kennt nicht die Geschichte von der weitaus heimeligeren und gemächlicheren Atmosphäre der "Quartierlädeli". Wie monoton und steril solche Einfkauszentren wirklich sind, wird deutlich, wenn man betrachtet, wieviele heimatlose, entwurzelte und problembeladene Jugendliche, sich diese Symbole der Wohlstandsgesellschaft als Treffpunkt ausgesucht haben. Dort können sie verweilen, frieren nicht, werden in Ruhe gelassen, nichts gefragt und somit auch nicht gefordert (vgl. Stamm {72}).
5. Entmischung führt zu einer unausgeglichene Anwesenheitsdichte in den verschiedenen Stadtgebieten. Am Morgen ergiesst sich ein wahrer Strom von Arbeitenden ins Stadtzentrum, am Abend entleert sich das Gebiet wieder und es bleibt zurück ein beinahe ausgestorbener Fleck überbautes Land, das nicht weiter genutzt wird, obschon die Bodenpreise dort in astro-

nomische Höhen geklettert sind (wurden). Facit: Unternutzung. Eine ebensolche resultiert natürlich auch in den tagsüber beinahe leerstehenden Wohngebieten. Dagegen bedeuten die täglichen, stossweise anfallenden Pendlerströme eine Uebernutzung. Diese Erscheinung entpuppt sich doch als volkswirtschaftlicher Verlust. Man denke da nur etwa an die für jedes Auto doppelt errichteten Parkplätze.

6. Die entmischten Gebiete zeigen deutlich, dass das Spannungsgefälle zwischen städtisch und nicht städtisch geprägten Gebieten immer weiter absinkt, was einer Verarmung der Erfahrungen und einer Herabsetzung der Erlebnispotentiale gleichkommt. "Städtisches findet überall statt", meinte Paul Hofer einmal in einer Vorlesung zur heutigen Situation. Gleichzeitig bedeutet dies in gewisser Hinsicht ein Verlust von Zentralität.
7. Durchmischte Gebiete zeigen einen optimalen Umweltcharakter für Kinder und Jugendliche, denn dort werden sie zum Schauen, Erkunden und zur Auseinandersetzung angeregt und aufgefordert. Um sich in einer Stadt zurecht finden zu können, müssen sie dies in einer städtischen Umgebung, d.h. wo möglichst viele stadtdefinierende Elemente vorhanden sind, lernen und möglichst vielseitige Erfahrungen machen. Eine reine Wohnsiedlung ist dazu denkbar ungeeignet. Auch die anderen Nichterwerbstätigen können von solchen gemischten Gebieten im täglichen Leben profitieren. Ich denke da an die Hausfrau, die sich nicht unbedingt an den Kochherd gefesselt vorkommen muss und die durch Besuche von bildenden und kulturellen Veranstaltungen einer möglichen Langeweile Einhalt gebieten können, ohne dass der Haushalt darunter leiden muss. Sie kann z.B. auch einmal den Schreiner im Parterre ihres Hauses bitten, die verklemmte Haustür zu öffnen, ein kleiner Dienst, der die "gewöhnlichen" nachbarschaftlichen Beziehungen zwischen Hausfrauen übersteigt, aber noch nicht den Einsatz eines teuren Spezialisten erfordert. Es sind also Details und Kleinigkeiten, die zu einer Verbesserung der Lebensbedingungen führen.

8. Als eine der wichtigsten Eigenschaften gemischter Gebiete ist das Entstehen von Oeffentlichkeit zu werten. Für Barth ist Oeffentlichkeit dann und dort gegeben, wenn "eine Begegnung der Individuen als Individualitäten möglich ist, wo die Integration unvollständig ist, d.h. wo es kein durchgehendes, lückenloses Geflecht vermittelnder und mittelbarer Bindungen gibt." (cit. {5}). Der Anfang solchen Verhaltens war auf den einstigen Märkten gegeben, die ja das Zeichen mittelalterlicher Städte waren, resp. das Stadtrecht war gleichbedeutend mit dem Marktrecht. So gilt vom soziologischen Standpunkt als Kriterium der Stadt die möglichst starke Polarisierung zwischen öffentlicher und privater Sphäre. Die Oeffentlichkeit ist notwendig als Bereich für zu befriedigende menschliche Grundbedürfnisse. Ein Bereich, der "einen grossen Verhaltensspielraum und Möglichkeiten zu zwanglosen und vielfältigen Kontakten, zur Selbstdarstellung und Arrangements bietet" (cit. Wiegand {80}). Durch unterschiedliche Zuordnung von Wohn-, Arbeits- und Versorgungsstätten werden sowohl Zahl wie Art der potentiellen Kontaktmöglichkeiten bestimmt. Am meisten und die vielfältigsten bieten natürlich die stark gemischten Gebiete. Jedoch bedingen diese noch keine Oeffentlichkeit. Neben der persönlichen Ueberwindung, die oft durch einen Initialeffekt, für den Orte, an denen etwas los ist wie Cafés, Boulevards Restaurants, sorgen, spielt auch die architektonische Gestaltung eine Rolle. Fehlen von Oeffentlichkeit kann dazu führen, dass die Möglichkeit der Persönlichkeitsentfaltung stark beeinträchtigt wird (vgl. Mitscherlich {61}).
9. Es stellen sich auch gesellschaftliche, resp. politische Probleme. Wenn nämlich ein Bürger an einer Oeffentlichkeit teilhat, entsteht ein Identitätsgefühl mit seiner Stadt. Es hat sich gezeigt, dass sich Städte, wenn sie in Krisenzeiten geraten waren, durch solche Identität behaupten konnten und nicht etwa aufgrund wirtschaftlicher oder obrigkeitlicher Faktoren (vgl. Hofer {49}). Die Abwesenheit von Oeffentlichkeit stellt ein solches Vermögen natürlich in Frage.

10. Durch Entmischung von Arbeits- und Wohnplätzen erhält die Wohnung immer mehr Bedeutung einer Fluchtborg, etwa nach dem Motto "My Home Is My Castle". Dies wird von Spekulanten ausgenutzt und es werden immer mehr "Glück-im-Winkel-Heime" angeboten, die aber meist nur den Prestigebedürfnissen der Bewohner Genüge leisten. "Irgendwo im Diesseits versucht man, ohne die Welt im Ganzen zu verändern, ein kleines Jenseits zu etablieren" (cit. Barth {5}). Diese Entwicklung wird dadurch begünstigt, dass ein solches Verhalten keine engagierte und kreative Aktivität erfordert, was ja viele unbewusst als Weg des geringsten Widerstandes anspricht. Die Privatsphäre wird also denaturiert, womit das stadtdefinierende Spannungsfeld Öffentlichkeit versus Privatsphäre ins Wanken gerät.
11. Vor allem in den Stadtkernen, wo viel Wohnraum verdrängt wurde und nur eine einseitige Nutzung für Arbeitsplätze und Verkauf übrig blieb, erfahren verschiedentlich Gebäude eine Umwidmung. Aus Denkmalschutzgründen lässt man Fassaden stehen, baut dagegen das Innere komplett um und bedient sich modernster technischer Ausstattungen. Diese Nutzungsänderung hat denn auch eine verunsichernde Wirkung auf den Stadtbenützer, hatten diese Fassaden doch ihrem Gebäude, das sie mit seinem ganz bestimmten Nutzungszweck repräsentieren, eine Aussage verliehen. Diese gestalterischen Elemente werden von jederman bewusst oder unbewusst wahrgenommen (vgl. Dorn {26}), so dass sie eine alte Fassade eben falsch interpretieren.
12. Eine gute Durchmischung bedeutet Abwechslung und Komplexität. Vom wahrnehmungspsychologischen Standpunkt ist festgestellt worden, dass weder Einfachheit noch Chaos die menschlichen Bedürfnisse befriedigen. Vielmehr ist ein bestimmtes minimales Mass an Komplexität und Ambivalenz erforderlich, weil somit die geringsten Nuancen alternative Reaktionen erzeugen können. Verschiedene Testuntersuchungen der empirischen Psychologie haben eine grössere Lebenstauglichkeit bei Anwesenheit von Ambivalenz und Komplexität ergeben (vgl. Rapoport & Kantor {64} oder Koestler {53}). D.h. dass bei den Architekten eine grosse Verantwortung aber auch eine interes-

sante Aufgabe liegt, die entsprechenden Fassaden und Räume zu gestalten, eine Aufgabe, zu deren Lösung Gordon Gullen {43} einen meisterhaften Beitrag geleistet hat. Dies gilt aber auch für die andern Stadtbauer und Planer, wenn es darum geht, die verschiedenen Funktionen zu verteilen.

12.4 Konsequenzen

Die kleine Zahl von Nachteilen gegenüber der weitaus längeren Liste von Vorteilen der Funktionsmischung zeigt, wie sehr diese ein echtes Bedürfnis ist. Wichtig ist vor allem, dass sie mehr darauf abzielt, dem Stadtbewohner eine qualitative Hebung der Lebensbedingungen zu ermöglichen und ausgerichtet ist, die spezifischen, menschlichen Bedürfniss, die eben nicht nur aus Bett, Badewanne und vollem Külschrank bestehen, zu befriedigen. Die eher betriebswirtschaftlich gearteten Nachteile wiegen weitaus weniger, als die volkswirtschaftlichen Vorteile, wenn wir die entstehenden, resp. die eingesparten sozialen Kosten und analog die Erträge ebenfalls in die Kalkulation miteinbeziehen. Für mich sind dies der Argumente genug, um entschieden gegen die Entmischung Stellung zu nehmen und somit für eine Mischung der Funktionen zu plädieren. Dabei ist allerdings die Frage nach einer optimalen Mischung nicht geklärt, was aber auch kaum möglich sein wird, da durch die geschichtliche Entwicklung einerseits und die naturgeographischen Grundlagen andererseits - wer kann sich einen Industriekomplex an einem südlich exponierten Hang vorstellen? - in den verschiedenen Stadtteilen auch unterschiedliche Grund- oder Anfangsbedingungen herrschen. Dann stellt sich die Frage, welche Instrumente einem Planer zur Verfügung stehen, um eine Durchmischung voranzutreiben, oder eine Entmischung zu bremsen. Dies soll nicht Gegenstand dieser Arbeit sein, doch möchte ich trotzdem auf den Wohnanteilplan (WAP) in Zürich (vgl. {79}) hinweisen, der den Anteil der Bruttogeschossfläche (BGF) für Wohnzwecke in den verschiedenen Quartieren gesetzlich regeln soll. Damit möchte ich einfach sagen, dass auch bei den Behörden Bemühungen im Gange sind,

wirklich etwas Wirksames zu unternehmen, dies auch wenn der WAP, wie sich nach seiner Veröffentlichung gezeigt hat, auf grossen Widerstand aus den verschiedensten Lagern der politischen und wirtschaftlichen Szene gestossen ist.

13. UNTERSUCHUNG DER FUNKTIONELLEN ENTMISCHUNG IN ZUERICH

13.1 Die Idee

Zwei Faktoren beeinflussten mich, diese Untersuchung durchzuführen:

1. Bei der Lektüre der Dissertation von Wiegand {80}, dessen Bekanntschaft ich während eines Praktikums in einem Planungsbüro machen konnte, haben mich die vielen darin schlummernden Möglichkeiten zur Realisation einer besseren Durchmischung beeindruckt. Es fehlt jedoch eine Untersuchung, welche die Verhältnisse einer bestimmten Stadt genauer und umfassender unter die Lupe nimmt. Dies ist natürlich kein Vorwurf an Wiegand, der seine Arbeit als Erörterung der theoretischen Fragestellung einerseits und als Arbeitsgrundlage für konkrete Planungen andererseits sieht.
2. Meine intensive Beschäftigung mit der Entropie, die Fragestellung nach vermehrter Applikation in der Geographie, zeigte mir die Möglichkeit, die Entropie als quantitatives Mass für Mischung zu verwenden.

Was lag nun näher als der Mischung von städtischen Funktionen mit dem Entropiekonzept zu Leibe zu rücken? Zürich drängte sich als konkretes Untersuchungsobjekt auf, weil sich wegen der geringen räumlichen Distanz der Kontakt zu verschiedenen amtlichen Stellen zwecks Datenbeschaffung ohne grosse zeitliche Hindernisse einstellen konnte. Dazu kommt die Tatsache, dass schon verschiedene Gutachten über die Stadt ausgearbeitet worden sind (ORL-Gutachten {62}) und der Jürgensen-Bericht {35,36,37}), die zum Teil mit ähnlichen Fragestellungen aufgewartet haben, weshalb sie auch als Möglichkeit zum Resultatvergleich dienen können.

13.2 Das Modell

Es ging mir nun darum, die Stadt als System zu erfassen. Nicht einfach das Verhältnis zwischen Arbeits- und Wohnplätzen sollte

analysiert werden, denn damit wäre ja nur ein einzelner Aspekt zur Sprache gekommen. Mir schwebte da eher eine ganzheitliche Betrachtung vor, die das städtische System mit einer makroskopischen Variablen beschreiben könnte.

So wählte ich die drei grundlegenden primären Daseinsfunktionen Wohnen, Arbeiten und Versorgen. Diese sollten nun mit der gewöhnlichen Entropiegleichung *3.3*, die zur Erinnerung hier noch einmal wiedergegeben wird:

$$*3.3* \quad H = - \sum_i p_i \log p_i = \sum_i p_i \log 1/p_i$$

zu einem Wert, eben der Entropie H des aus drei Elementen bestehenden Stadtsystems, zusammengefasst werden, womit wir zunächst ein Mass für die Mischung hätten. Es interessierte mich nun aber nicht nur die statische Zustandsbeschreibung, sondern auch die zeitliche Entwicklung, denn wie schon in Kap. 5.4 erwähnt, können Entropiewerte nur schlecht interpretiert werden, wenn sie isoliert auftreten, da wir den Umgang mit diesen Zahlen noch nicht gewohnt sind. Dies führte mich aufgrund des Datenmaterials, das weiter unten noch genauer beschrieben wird, zu einer Berechnung zu drei Zeitpunkten. Zusätzlich wurde die ganze Untersuchung durch das Einführen des Informationsgewinns T (vgl. Kap. 6) dynamisiert, da nun nicht mehr nur Zustandsunterschiede aufgezeigt werden können, sondern wirklich auch die Veränderungen des Systems überhaupt. Ebenfalls zur Erinnerung:

$$*6.1* \quad T(q:p) = \sum_i q_i \log q_i/p_i$$

Einen dritten Aspekt wurde durch die Informationsgewinnberechnung zwischen Systemen verschiedener Grösse (ganze Schweiz, ganze Stadt Zürich, einzelne Quartiere) Rechnung getragen, wobei hier die relativen Häufigkeiten der grösseren Raumeinheit als a priori und die der kleineren als a posteriori Wahrscheinlichkeiten verstanden wurden: Hiermit soll die Verschiedenartigkeit der Systeme zum Ausdruck kommen. So lassen sich die zu berechnenden Grössen wie in Fig. 18 darstellen.

Damit uns für die Interpretation der berechneten Werte ein möglichst einfacher, d.h. normalisierter Wertebereich zur Ver-

	Schweiz	→ →	Stadt Zürich	→ →	32 Quartiere
1965	H_{CH}	T_{r_1}	$H_{Zü}$	T_{r_2}	H_{Q_i}
↓	$T_{t_1/CH}$		$T_{t_1/Zü}$		T_{t_1/Q_i}
↓					
1970	H'_{CH}	T'_{r_1}	$H'_{Zü}$	T'_{r_2}	H'_{Q_i}
↓	$T_{t_2/CH}$		$T_{t_2/Zü}$		T_{t_2/Q_i}
↓					
1975	H''_{CH}	T''_{r_1}	$H''_{Zü}$	T''_{r_2}	H''_{Q_i}
H	Zustände				
T_t	zeitliche Veränderungen				
T_r	Veränderungen, bedingt durch die unterschiedliche Grösse zweier betrachteter Systeme.				

Fig. 18 : Uebersicht über die zu berechnenden Grössen.

fügung steht, wurden natürliche Logarithmen verwendet und diese dann mit dem Faktor $k = 1/\ln 3 = 0,91024$ multipliziert, was einer Verwendung von Logarithmen zur Basis drei gleichkommt, d.h. der Wertebereich von H liegt zwischen 0 und 1, d.h. es gilt $0 \leq H \leq 1$. Die Einheit von H benenne ich folglich mit 'trits' (tr) als Kurzform von 'tripartite digits'.

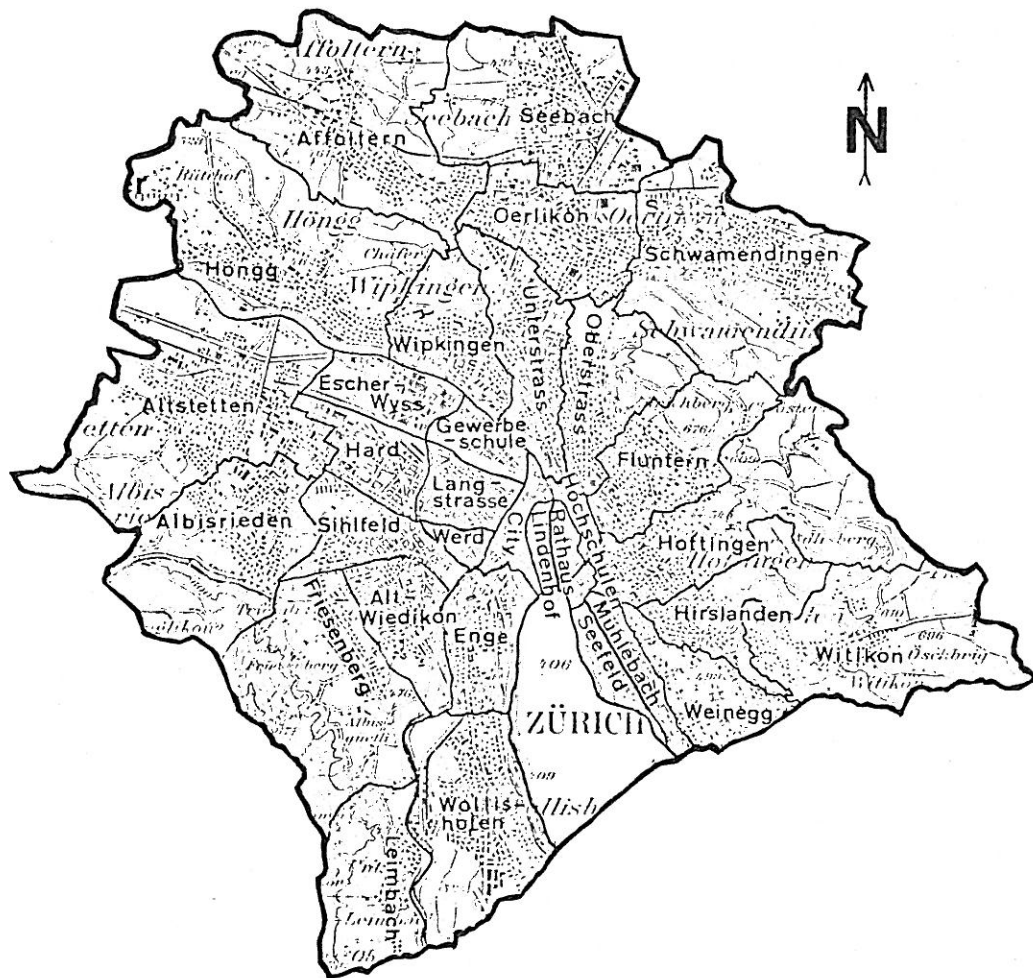
Welches ist nun die beste kleinste räumliche Einheit, um diese Mischung zu berechnen? Drei Möglichkeiten standen zur Diskussion:

1. statistische Zonen (Anzahl: 202)
2. Quartiere (Anzahl: 32)
3. Stadtkreise (Anzahl: 12)

Einer der Wünsche bzw. Folgen der Funktionsmischung ist die Verkehrseindämmung. Deshalb sollten in den betrachteten Einheiten mehr oder weniger alle Einrichtungen zu Fuss erreichbar sein. Bei einem mittleren Zeitaufwand von 15 Minuten entspräche dies einer Fläche von ca. 3 km^2 . Diese Forderung wird aber von den 12 Stadtkreisen nicht erfüllt. Von den verbleibenden zwei Möglichkeiten scheiden die statistischen Zonen aus. Erstens wurden sie für die Volks- und Betriebszählungen möglichst homogen konzipiert, somit würde diese Untersuchung vollständig verfälscht. Zweitens führte es zu einem zu grossen Daten- und Rechenaufwand. Auch wären gewisse Daten gar nicht vorhanden. Wir befassen uns daher mit den 32 Stadtquartieren, was auch deshalb sinnvoll ist, weil praktisch alle früher eigenständige Gemeinden gewesen sind und ihre eigene Entwicklung gehabt haben. Erst mit den beiden Eingemeindungen von 1893 und 1934 kamen sie zur Stadt. (s.Fig.19).

Das Problem, das sich zu guter Letzt stellte, war, die drei Funktionen auf einen Nenner zu bringen. Hier sah ich zwei Möglichkeiten:

1. Anhand der Bruttogeschossflächenanteilen von Wohnen, Arbeitsplätzen und Verkauf hätten relative Häufigkeitsverteilungen berechnet werden können, welche dann Eingang in die beiden Formeln *3.3* und *6.1* gefunden hätten. Diese Möglichkeit musste ich jedoch ablehnen, weil die Flächenwerte ein falsches Bild widerspiegelt hätten. Es bestehen nämlich eklatante Dichteunterschiede zwischen den einzelnen Quartieren, vor allem im Bereich Wohnen: Von Fluntern mit $56,3 \text{ m}^2/\text{Einwohner}$ bis zu Schwamendingen mit $20,0 \text{ m}^2/\text{Einwohner}$ bei einem städtischen Durchschnitt von $38,9 \text{ m}^2/\text{Einwohner}$ (Quelle {37}). Für eine Beurteilung der Mischung sind jedoch Zahlen relevant, die sich auf Personen beziehen.
2. Die verbleibende Alternative nimmt für die Komponente Wohnen die Wohnbevölkerung W , für die Komponente Arbeiten die Arbeitsplätze A und für die Komponente Versorgung ein Surrogat, das als "Anzahl V Personen, die potentiell versorgt wer-



- | | |
|------------------|-------------------|
| 1 Rathaus | 17 Oberstrass |
| 2 Hochschulen | 18 Fluntern |
| 3 Lindenhof | 19 Hottingen |
| 4 City | 20 Hirslanden |
| 5 Wollishofen | 21 Witikon |
| 6 Leimbach | 22 Seefeld |
| 7 Enge | 23 Mühlebach |
| 8 Alt-Wiedikon | 24 Weinegg |
| 9 Friesenberg | 25 Albisrieden |
| 10 Sihlfeld | 26 Altstetten |
| 11 Werd | 27 Höngg |
| 12 Langstrasse | 28 Wipkingen |
| 13 Hard | 29 Affoltern |
| 14 Gewerbeschule | 30 Oerlikon |
| 15 Escher-Wyss | 31 Schwamendingen |
| 16 Unterstrass | 32 Seebach |

Fig. 19 : Die 32 Quartiere der Stadt Zürich
(Massstab 1:100'000)

den können", definiert wird. Eine genaue Beschreibung davon folgt gleich im nächsten Unterkapitel. Für die Verwendung des Entropiekonzeptes bedeutet dieser Ansatz folgendes: In jedem System, das aus einer Raumeinheit besteht, ist eine bestimmte Anzahl Plätze P verfügbar, die von einem Individuum gewissermassen belegt werden können:

$$*13.1* \quad P = W + A + V$$

Je ausgeglichener die drei Werte W , A und V sind, was gleichbedeutend mit einem hohen Entropiewert ist, umso mehr Freiheit hat das Individuum, sich in seinem System zu bewegen. Mit anderen Worten es stehen ihm mehr Möglichkeiten der Aktivität zur Verfügung. Wir haben dann den Zustand hoher Durchmischung. Für die Berechnung von H und T müssen die relativen Häufigkeiten ins Modell eingegeben werden:

$$*13.2* \quad f_1 = W/P$$

$$*13.3* \quad f_2 = A/P$$

$$*13.4* \quad f_3 = V/P$$

womit die Gleichung für H lautet:

$$*13.5a* \quad H = \frac{1}{\ln 3} (W/P \ln P/W + A/P \ln P/A + V/P \ln P/V)$$

oder

$$*13.5b* \quad H = \frac{1}{\ln 3} \sum_{i=1}^3 f_i \ln \frac{1}{f_i} = - \frac{1}{\ln 3} \sum_{i=1}^3 f_i \ln f_i$$

und für den Informationsgewinn

$$*13.6* \quad T(f:e) = \frac{1}{\ln 3} \sum_{i=1}^3 f_i \ln \frac{f_i}{e_i}$$

wobei die f_i die Elemente der a posteriori und die e_i die analog den f_i definierten Elemente einer a priori Verteilung sind.

Um alle in Fig. 18 angegebenen Grössen berechnen zu können, wurde ein einfaches Computerprogramm, das den Namen ENTMIS trägt, entwickelt (s. Anhang B).

13.3 Datenbeschaffung

Die Grundlagen für die nötigen Daten bestanden im Wesentlichen aus den Ergebnissen der Volkszählung (VZ) 1970 {34}, die als Stichdatum den 1. Dezember nennt, und der Betriebszählungen (BZ) von 1965 {28,29,30} und 1975 {31,32,33}, deren Stichtag jeweils der 30. September ist. Ich glaube, dass eine derart kleine zeitliche Nichtübereinstimmung bei den betrachteten Daten kaum ins Gewicht fällt. Weiter hatte ich die Zahlen der Bruttogeschossflächenerhebung des Stadtplanungsamtes zur Verfügung, die seit 1970 jährlich durchgeführt wird und bis 1973 auch schon im Statistischen Jahrbuch der Stadt Zürich {73} veröffentlicht worden ist. Für die entsprechenden Werte von 1965 musste eine Schätzung durchgeführt werden (s. Kap. 13.3.2). Einige dieser Daten sind nicht veröffentlicht und mussten deshalb beim Statistischen Amt der Stadt Zürich oder beim Eidg. Statistischen Amt in Bern direkt bezogen werden.

Da der heutige Stadtkreis 12 (Schwamendingen), bestehend aus den Quartieren Saatlen, Schwamendinge-Mitte und Hirzenbach, erst im Jahre 1971 vom Kreis 11 abgetrennt wurde und deshalb gewisse Grössen nicht verfügbar waren, erscheint er in meinen Berechnungen als ein einziges Quartier. Alle genauen Daten sind in Anhang C wiedergegeben.

13.3.1 Wohnen und Arbeiten

Die Zahlen für die Wohnbevölkerung waren den diversen Jahrgängen des Statistischen Jahrbuches {73} zu entnehmen und stellten somit keine sonderlichen Probleme.

Die Arbeitsplätze erhalten in den Zählungsstatistiken zwei verschiedene Benennungen:

- Beschäftigte (in den BZ)
- Arbeitsbevölkerung (in der VZ)

Durch den Einbezug von Voll- und Teilzeitbeschäftigten kann der geringfügige Unterschied der beiden Zählungen wettgemacht werden. Die Berücksichtigung auch der Teilzeitbeschäftigten ergab sich aus der Ueberlegung heraus, dass diese gerade bei der Berücksichtigung von Hausfrauen, Rentnern, Studenten usw. hinsichtlich der gemischten Ausstattung der Quartiere eine beträchtliche Rolle spielen. Die Zahlen von 1965 und 1970 sind ebenfalls dem Statistischen Jahrbuch {73} entnommen, hingegen stellen die definitiven Ergebnisse von 1975 noch unveröffentlichtes Material dar.

13.3.2 Versorgen

Die Funktion Versorgen zu erfassen, stellte sich als recht problematische Aufgabe heraus. Eine empirische Untersuchung kam aus Zeitgründen nicht in Frage. Jedoch stellte die Rubrik Verkaufsflächen der BGF-Erhebung des Stadtplanungsamtes genügend detailliertes und mehr oder weniger genaues Material dar. In diesen Verkaufsflächen sind neben Detailhandel auch Dienstleistungsbetriebe mit Kundenkontakt, wie Restaurants, Hotels, Kinos, Tankstellen, enthalten. Also alles Einrichtungen, die ausser reinem Verkauf einen beträchtlichen Teil der Freizeit-, resp. Erholungsfunktion ausmachen. Dies lässt folglich der Funktion 'Versorgung' eine wesentlich umfassendere Bedeutung zukommen. Erhältlich waren Zahlen für 1970 (in {73}) und 1974 (noch nicht veröffentlicht). Leider sind die 75-er Werte noch in Bearbeitung, aber der dadurch entstehende Fehler scheint mir nicht so gravierend zu sein, da die jährlichen Veränderungen recht klein sind (Grössenordnung 1%). Hingegen fehlen die Werte für das Jahr 1965 vollständig. Das Computer-Programm ENTROP-M des ORL-Institutes {48} ermöglichte mir aber, eine Schätzung mit der Entropiemaximierungsmethode (vgl. Kap. 8) durchzuführen. Dabei waren nur die Gesamtsumme und die Quartiersummen der BGF nötig, die sich aus dem Gebäudebestand von 1965 im Statistischen Jahrbuch {73}, aus einer Tabelle der durchschnittlichen BGF-Werte pro Quartier und Gebäudeart {75} und einem Angleichungsfaktor, der nötig war, um die nicht für die Ausnutzungsziffer zählenden

Flächen einzubeziehen, berechnen liess. Eine Anwendung dieses Programms in einer ORL-Studie über Zürich-Nord {51} hat gezeigt, dass der entstehende Fehler nur etwa 2% beträgt. Dazu habe ich zusätzlich einen Test mit bekannten Resultaten durchgeführt, der mir abgesehen von zwei extrem groben Abweichungen einen mittleren Fehler von 5% ergeben hat. So scheint der totale Fehler nur etwa 5-7% zu betragen. Dies genügt für meine Untersuchung, da mir ja nicht nur Exaktheit der Untersuchung, sondern auch die methodische Seite ein Anliegen ist.

Bis jetzt stehen aber nur Verkaufsflächen zur Verfügung. Flächen sind aber noch keine Personen. Um dahin zu gelangen, musste ein Versorgungsfaktor berechnet werden, der angibt, wieviele Personen pro m^2 Verkaufsfläche versorgt werden können. Dies ist möglich unter der Verwendung der Tabellen Nr. 1.17 für 1965 und 1.21 für 1975 der Ergebnisse der BZ, woraus die durchschnittliche Fläche pro Beschäftigter in den Ladengeschäften des Detailhandels ersichtlich ist. Für 1970 wurde das arithmetische Mittel angenommen. Um die gleichen Zahlen für Coiffeur- und Kosmetiksalons zu erhalten, die einen nicht zu unterschätzenden Beitrag an die Verkaufsfläche liefern, wurde Herr Georg Suter in Zürich, der ein Geschäft für Coiffeureinrichtung führt, und der Schweiz. Coiffeurmeister-Verband in Bern angefragt, die mir recht genaue Angaben machen konnten:

1975: $20 m^2$ /Beschäftigter

1970: + 10% von 1975: $22 m^2$ /Beschäftigter

1965: + 20% von 1975: $24 m^2$ /Beschäftigter

Aus der Tabelle Nr. 75 des Jürgensen-Berichts {37} lassen sich schliesslich die entsprechenden Zahlen für das Gastgewerbe (incl. Kinos) ausrechnen.

Um die Beschäftigtenzahl in den einzelnen Branchen zu eruieren, konsultierte ich Tabellen 1.02 für 1965 und 1.05 für 1975 der BZ und Tabelle 5.05 der VZ 1970. Das weitere Vorgehen war dann wie folgt (für alle drei Jahre einzeln): Aus obigen Zahlen wurde für die Schweiz eine totale Verkaufsfläche berechnet und durch die Gesamtbevölkerung dividiert, was die gesuchte

Grösse eines durchschnittlichen Flächenbedarfes pro Person lieferte.

1965	:	2,0268 m ² /Pers.	oder	0,4934 Pers./m ²
1970	:	2,3602 m ² /Pers.	oder	0,4219 Pers./m ²
1975	:	2,6312 m ² /Pers.	oder	0,3801 Pers./m ²

Fig. 20 : Gesamtschweizerische Durchschnittswerte für den Flächenbedarf pro Person hinsichtlich der Versorgung, resp. für das Versorgungspotential der Einheitsfläche.

Warum die ganze Schweiz? Wir wissen ja, dass eine Stadt nicht nur für die Versorgung der eigenen, sondern auch für die Bevölkerung der umliegenden Agglomerationsgemeinden und im Falle von Zürich für ein weitgrösseres Umland besorgt ist. Es existieren keine Berechnungen, die diesem Aspekt in genügender Weise Rechnung tragen. So musste ich mich mit einem gesamtschweizerischen Durchschnittswert begnügen, denn hier ist die versorgte Bevölkerung klar umrissen: Die Gesamtbevölkerung, wobei Grenzgänger und Touristen eine vernachlässigbare Grösse darstellen (Die Touristen entsprechen einem Bevölkerungsäquivalent von 30'000 Einwohnern → 5 Promille der Gesamtbevölkerung). Die Verkaufsflächen wurden durch diesen Versorgungsfaktor dividiert, was endlich einen Versorgungswert der Quartiere ergab. Somit sind alle drei Funktionen auf einen Nenner, d.h. auf die gleiche Zählereinheit gebracht worden. Es ist ganz klar, dass sich z.T. Fehler in diese Berechnungen eingeschlichen haben, und zwar überall dort, wo die Daten nicht mit hundertprozentiger Genauigkeit zu beschaffen waren. Aber dieser Fehler, den ich auf 5 - 10% schätze, fällt methodisch ebenfalls nicht ins Gewicht, weil die Quartiere immer gleich betroffen sind. D.h., der relative Fehler beeinträchtigt die Untersuchung nicht.

13.4 Resultate und Interpretation

Die grosse unüberblickbare Datenmenge ist durch den Rechenprozess erheblich geschrumpft, doch noch immer sind die Werte nicht mit einem Blick zu ordnen. In Fig. 21 und 26 (s.S. 85) sind alle berechneten Quartierwerte zusammengefasst.

Quartier	Entropie 1965	Entropie 1970	Entropie 1975	Info.- gewinn 65-70	Info.- gewinn 70-75
1	.62	.65	.62	.002	.002
2	.70	.73	.72	.014	.000
3	.55	.58	.56	.003	.001
4	.56	.57	.57	.001	.002
5	.92	.93	.94	.002	.001
6	.73	.74	.74	.004	.001
7	.90	.91	.90	.006	.006
8	.98	.97	.99	.002	.003
9	.69	.78	.91	.005	.081
10	.90	.92	.91	.001	.001
11	.88	.90	.89	.002	.002
12	.88	.90	.88	.003	.002
13	.96	.97	.98	.003	.001
14	.94	.95	.96	.001	.003
15	.86	.82	.79	.003	.005
16	.93	.95	.95	.002	.008
17	.93	.95	.97	.001	.002
18	.98	.98	.996	.008	.008
19	.87	.92	.94	.008	.001
20	.90	.90	.94	.003	.003
21	.64	.84	.77	.015	.058
22	.87	.89	.91	.002	.004
23	.96	.97	.97	.003	.004
24	.96	.97	.98	.006	.003
25	.92	.91	.89	.001	.002
26	.98	.98	.98	.003	.006
27	.81	.84	.83	.007	.000
28	.83	.84	.86	.004	.001
29	.74	.73	.85	.003	.051
30	.99	.995	.96	.001	.021
31	.75	.79	.79	.010	.002
32	.95	.95	.96	.005	.002

Fig. 21 : Entropie und Informationsgewinn für die 32 Quartiere Zürichs in den Jahren 1965, '70, '75. (Alle Angaben in 'trits'.)

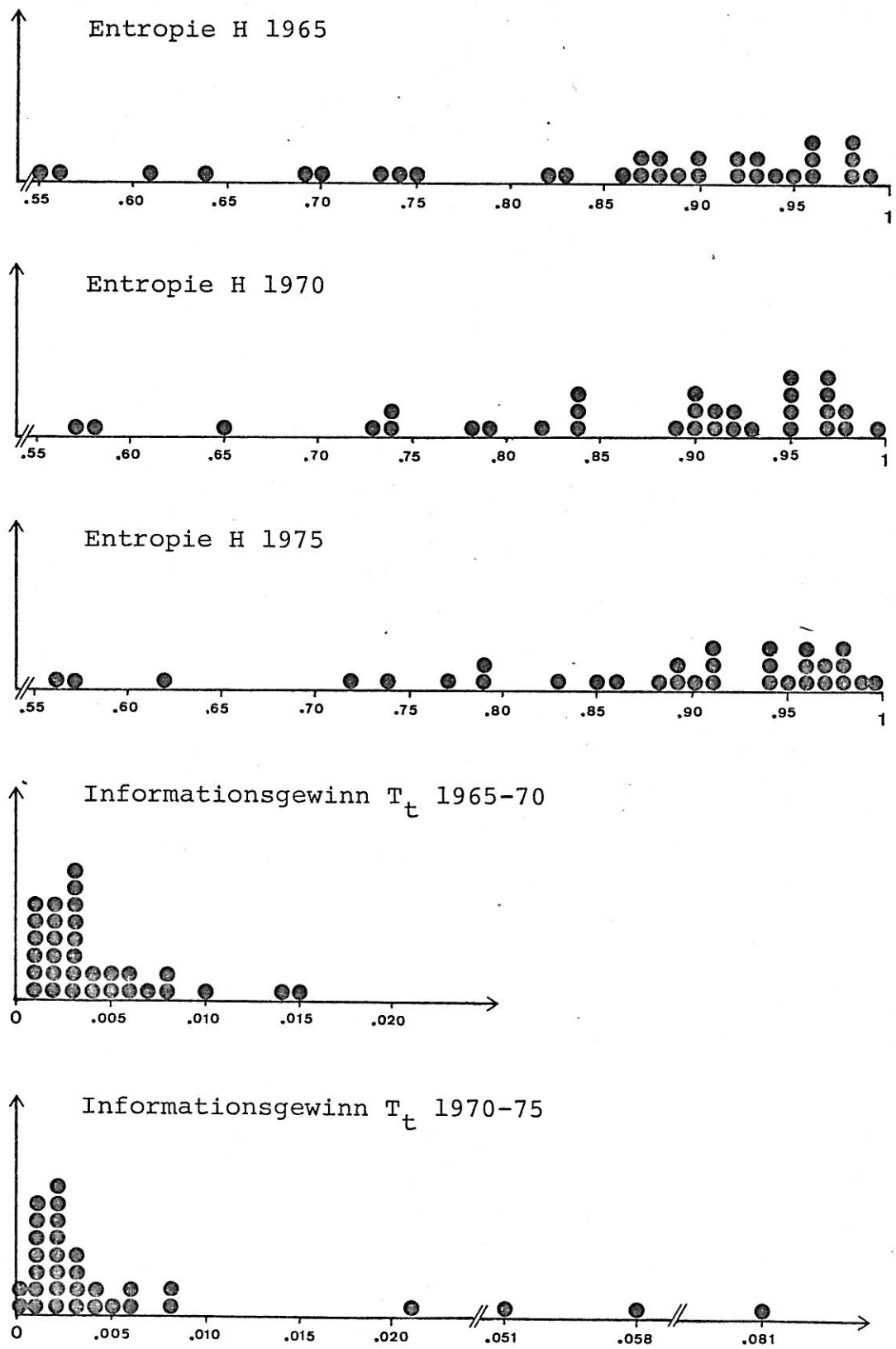
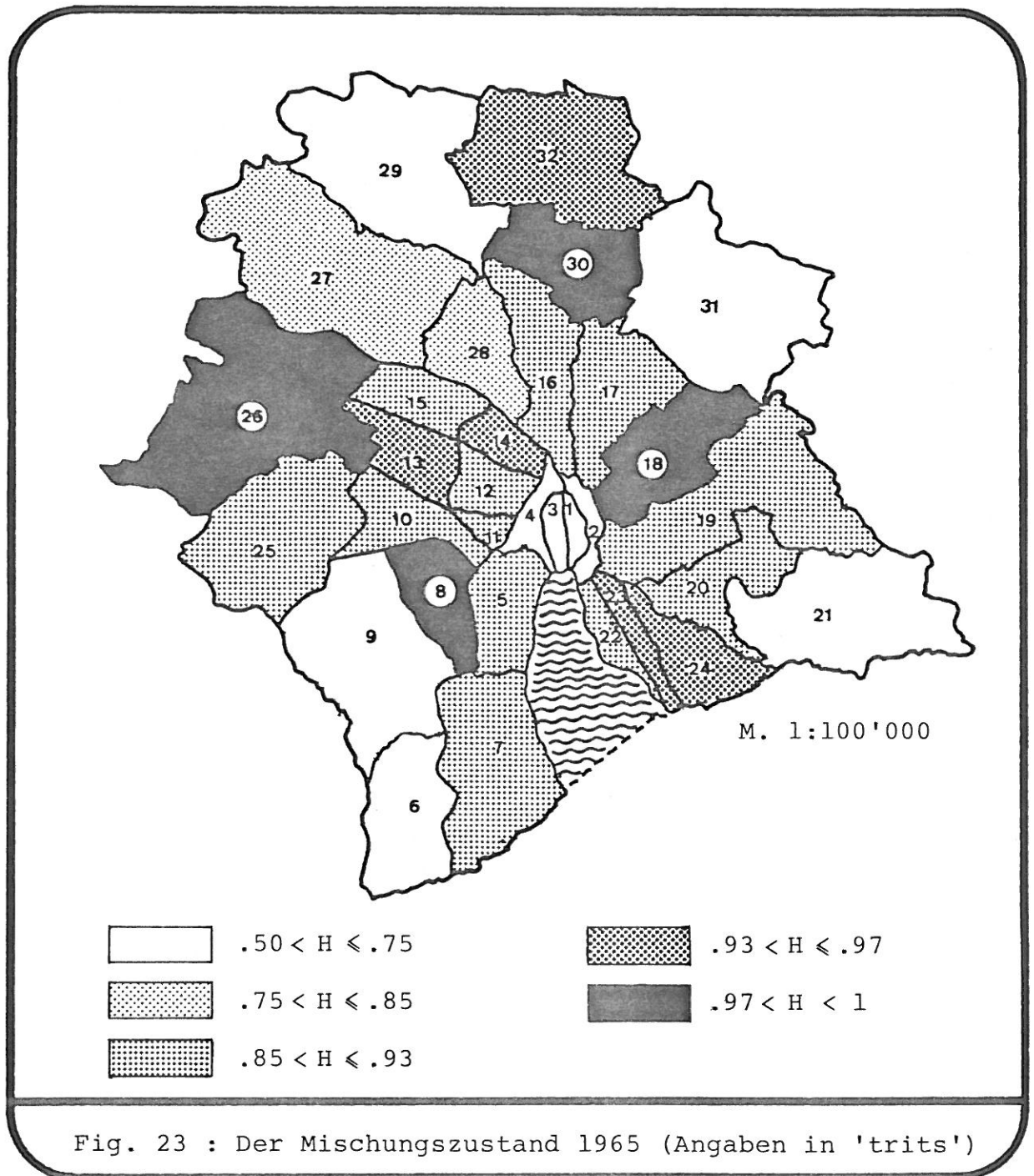


Fig. 22 : Histogramme der Werte aus Fig. 21.

Um die Werte besser analysieren zu können, habe ich eine Histogrammdarstellung (s. Fig. 22, vorangehende Seite) gewählt. Dabei zeigt es sich, da wir nur in wenigen Quartieren eine wirklich dominante Nutzung verzeichnen können, dass sich die Entropiewerte in der Gegend zwischen 0,85 und 1,0 tr kumulieren. Ein Grund dafür ist auch die Funktionskurve für H (s. Fig. 6, S. 15), die in dieser Werteregion eine starke Verflachung zeigt, d.h. grössere Unterschiede, der eingegebenen Daten werden also geglättet. Beim Informationsgewinn liegen 75% aller Werte zwischen 0,001 und 0,005 tr. Dies zeigt, dass eine fünfjährige zeitliche Entwicklung einen sehr geringen Einfluss hinsichtlich der Veränderung eines Quartiers hat. Die relativen Veränderungen sind einfach zu klein. Trotzdem würde eine Vergrösserung der Betrachtungsperioden kaum eine Verbesserung bringen, weil in diesem Fall Nuancen verloren gehen können.

Ein weiteres Problem stellt sich wegen der Permutationsmöglichkeiten oder Konstellationen der f_i , d.h. wenn z.B. f_1 den Wert X hat und f_2 den Wert Y, so ist das Resultat das gleiche, wie wenn $f_1 = Y$ und $f_2 = X$. Bei einer gewissen Kenntnis über ein Quartier, dessen H-Wert grösser als ca. 0,8 tr ist, spielt das keine Rolle, und schon gar nicht, wenn er kleiner ist. Dies vor allem weil wir ja das System Quartier generell hinsichtlich seiner Mischung untersuchen wollen.

Was die Berechnungen nun wirklich gebracht haben, sei im Folgenden dargelegt. Dabei werde ich nicht auf alle Details eingehen, sondern nur Extremwerte und andere wichtige Auffälligkeiten berücksichtigen, sowie einzelne Quartiere etwas hervorhaben.

13.4.1 Der Zustand 1965

1965 haben wir ein Bild, das gekennzeichnet ist durch extrem niedere Werte in der Innenstadt (Quartiere 1 - 4) und in fünf Aussenquartieren (Leimbach, Friesenberg, Affoltern, Schwamendingen und Witikon). Erstere zeigen eine Verdrängung der Wohnnutzung (nur 1 - 7%), während die zweite Gruppe die Schlaf-

quartiere mit nur sehr wenigen Arbeitsplätzen und Versorgungsmöglichkeiten darstellt. Etwas weniger ausgeprägt, aber noch immer als Schlafquartiere erweisen sich Höngg und Wipkingen.

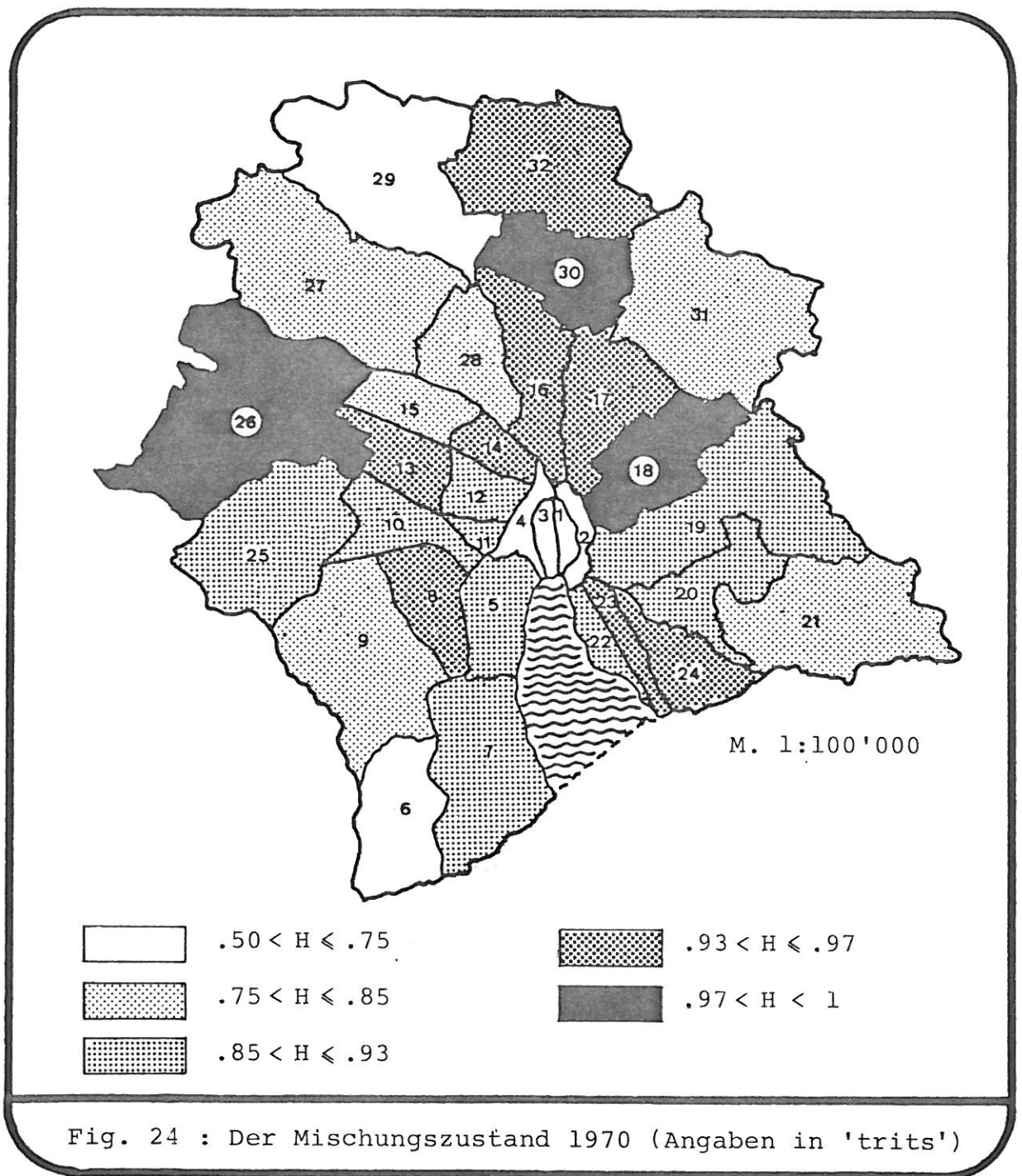
Auf der anderen Seite sind die am stärksten durchmischten Gebiete Altstetten und Oerlikon als eigentliche, relativ autonome Sekundärzentren und daneben, die etwas weniger vom Zentrum entfernten, Altwiedikon und Fluntern. Eine weitere Gruppe von Quartieren, deren Werte sich in der Nähe des städtischen Durchschnitts von $H = 0,94$ tr bewegen, besteht aus Mühlebach, Weinegg, Gewerbeschule, Hard und Seebach. Die restlichen zwölf Quartiere sind schwierig zu charakterisieren, denn sie bewegen sich ziemlich in der Mitte zwischen gemischt und entmischt. Sie gehören ausser Albisrieden zu den 1893 eingemeindeten Vororten, sind aber in ihrer Konstellation sehr verschieden. Wir können sie in drei grobe Kategorien einteilen:

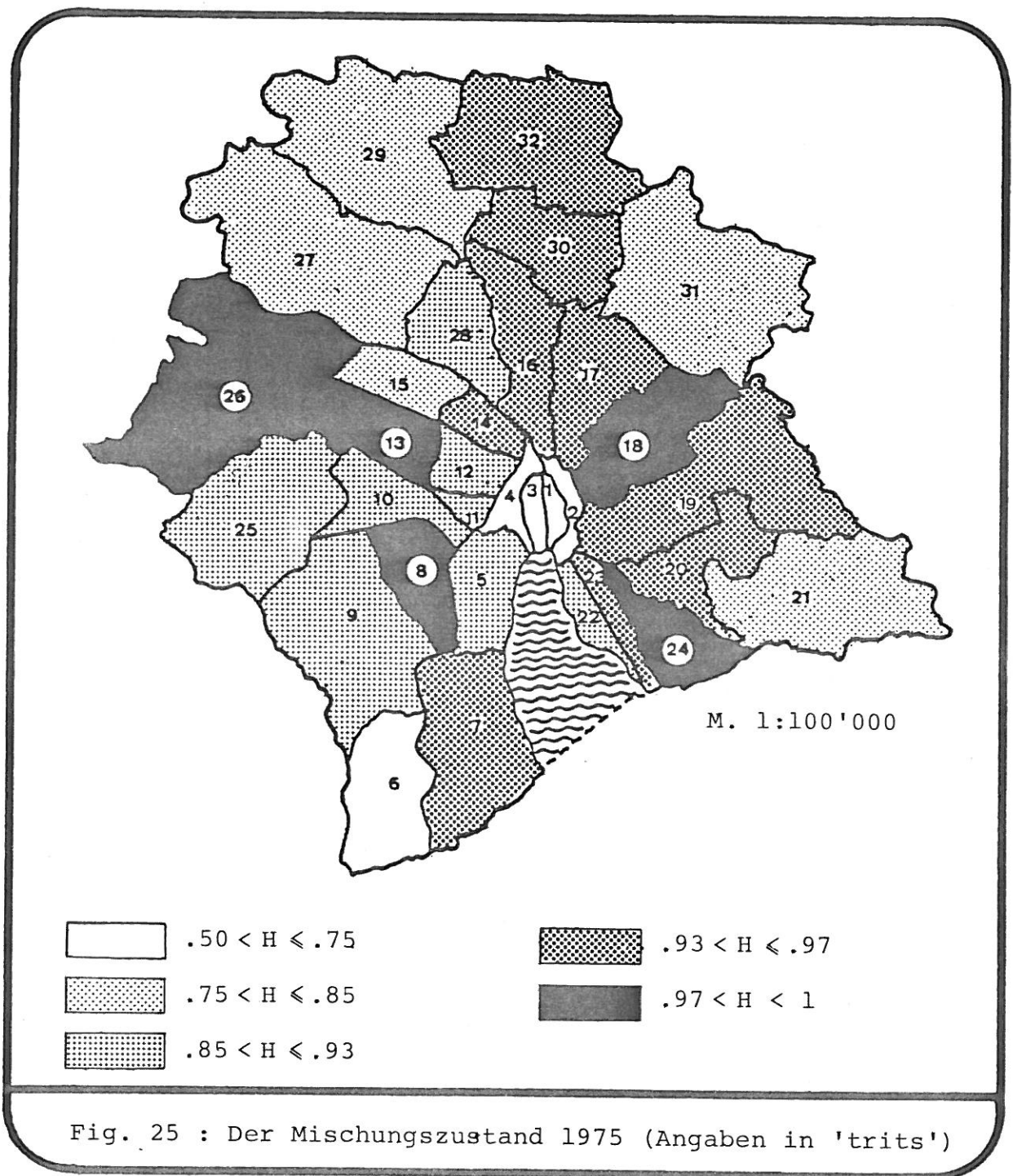
1. Schwerpunkt Wohnen: Wollishofen, Sihlfeld, Unterstrass, Oberstrass, Hirslanden und Albisrieden
2. Schwerpunkt Arbeiten: Escher-Wyss
3. Schwerpunkt Versorgung: Enge, Werd, Langstrasse, Hottingen und Seefeld.

13.4.2 Der Zustand 1970

(Fig. 24, s. nächste Seite). In den Aussenquartieren Leimbach, Friesenberg, Witikon und Schwamendingen, wo bis Mitte der sechziger Jahre praktisch nur Wohnbauten - z.T. für den sozialen Wohnungsbau - erstellt wurden, machte sich natürlich eine gewisse Unzufriedenheit breit. Sie betraf einerseits die Versorgung, resp. die Einkaufsmöglichkeiten und andererseits die langen Wege, die nötig waren, um die Arbeitsplätze in den anderen Quartieren zu erreichen. So wurde diese Unterlassung, die im übrigen ganz typisch scheint für eine bei uns vorherrschende Planungsauffassung, bis zum Jahre 1970 derart verbessert, dass diese Quartiere ausser Leimbach nur mehr zu den am zweitstärksten entmischten gehören. Noch mehr Spezialistentum als bisher

zeigte Escher-Wyss, welches das einzige Quartier der ganzen Stadt ist, das einen Anteil der Funktion Arbeiten von grösser als 60% hat! Einen Schritt in Richtung besserer Mischung haben die beiden Quartiere Ober- und Unterstrass gemacht, während das Abgleiten Wiedikon in die etwas weniger gemischte Kategorie nur eine kleine Grenzüberschreitung bedeutet. Sonst blieb alles beim Zustand von 1965.



13.4.3 Der Zustand 1975

1975 tauchen in der Kategorie der grössten Durchmischung zwei neue Quartiere auf: Hard und Weinegg. Eine Erscheinung, die durch ganz leichte Veränderung zustande gekommen ist. So ist auch Wiedikon wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückgekehrt. Dagegen hat Oerlikon diesen Zustand verlassen, was dahin gehend interpretiert werden kann, dass dieses Quartier be-

ginnt, eine typische Citybildung durchzumachen. Die Erscheinungen sind bezeichnend dafür: Abnahme der Wohnbevölkerung und Zunahme von Arbeitsplätzen und Versorgungsmöglichkeiten.

Die oben beschriebene Wohnbausituatuion u.a. in Friesenberg, hat nun auch in Affoltern vor allem zu den gewünschten Versorgungseinrichtungen geführt. Friesenberg selber hat aus den gleichen Gründen noch einen Rang mehr gutmachen können. Noch immer Stiefkind der städtischen Entwicklung ist Leimbach, das ganz offensichtlich stagniert. Dies nicht zuletzt aus klimatischen Gründen, hat doch Leimbach eine um zwei Stunden kürzere mittlere tägliche Sonnenscheindauer als beispielsweise Witikon (s. Gutersohn {44}), aber auch weil das Einzugsgebiet, bzw. die Wohnbevölkerung relativ klein ist und sich somit für einen Unternehmer der Standort leider kaum lohnt.

13.4.4 Zustandsänderungen

Um Zustandsänderungen zu beschreiben, können einerseits, wie bereits geschehen, die Veränderungen der Entropiewerte betrachtet werden. Es wurde schon oben gezeigt, dass gleiche Entropiewerte aus verschiedenen Konstellationen aus Verteilung der drei Funktionen resultieren können. Zeichnet sich eine Tendenz dieser Art ab, so muss der Informationsgewinn für zeitliche Entwicklung herbei gezogen werden (s. Fig. 21, S. 76).

So hat z.B. in Oberstrass zwischen 1965 und 1970 ein T von 0,00076 tr gereicht, um eine Entropieänderung von 0,93 tr auf 0,95 tr hervorzurufen. Im Gegensatz dazu Weinegg, wo in der gleichen Zeit T 0,0063 tr betrug, die resultierende Entropieänderung lediglich 0,01 tr. Ganz krass ist das Beispiel von Witikon: zuerst ein Sprung von 0,64 tr auf 0,89 tr bei $T = 0,015$ tr, aber dann mit einem $T = 0,058$ tr wieder ein Schritt zurück auf 0,77 tr. Die Erklärung dazu: Da von 1965 bis 1970 der relative Bevölkerungsanteil gleich blieb, trugen nur zwei Funktionen (Arbeiten und Versorgen) zum Informationsgewinn bei.

Im zweiten Zeitabschnitt stieg der Anteil der Versorgungsnutzung um mehr als das zweieinhalbfache, was bei nur schwachem Bevölkerungszuwachs eine grosse Veränderung von allen drei relativen Häufigkeitswerten mit sich brachte.

Den höchsten Informationsgewinn von $T = 0,081$ tr konnte Friesenberg während der zweiten Periode mit seiner schon erwähnten Entwicklung für sich buchen.

Eine etwas präzisere Interpretation des Informationsgewinns im Hinblick auf die Quartierbeschaffenheit geht dahin, dass mit diesem Wert eine Aussage über den Beibehalt des Quartiercharakters gemacht werden kann. Unter diesem Gesichtspunkt kann man dem Quartier Sihlfeld eine sehr grosse Charaktertreue zugestehen, ist doch die Summe der beiden T-Werte die niedrigste von allen, wobei dies die Neubautätigkeit nicht einschränkt. Eine ähnliche Feststellung lässt sich über Oberstrass und Albisrieden machen.

Eine nicht vernachlässigbare Tatsache ist, dass sich räumlich benachbarte Quartiere beeinflussen können, oder gar einen Ausgleich schaffen. So treffen wir vier Paare von Quartieren, die sowohl den gleichen Entropiewert wie auch die gleiche Konstellation aufweisen: Oberstrass/Unterstrass, Höngg/Wipkingen, Hottingen/Hirslanden und Langstrasse/Werd. Ein Ausgleich ist geschaffen worden zwischen Seebach, Oberstrass-Unterstrass und dem dazwischen liegenden Oerlikon (vgl. Fig. 24 und 25).

Es können alle Entropiewerte überall auf dem ganzen Stadtgebiet vorkommen. Dabei entsteht eine Polarität, die von der Entfernung vom Zentrum abhängig ist. Grosse Entfernung vom Zentrum bedeutet immer einen grösseren Wohnanteil. Die City selbst oder Nähe der City bedeutet hohen Anteil an Arbeits- und/oder Versorgungsnutzung. Dies kann bei allen fünf Kategorien belegt werden.

Grosse Probleme gaben mir die Resultate des räumlichen Infor-

Quartier	Informations- gewinn 1965	Informations- gewinn 1970	Informations- gewinn 1975
1	.17	.20	.20
2	.17	.21	.19
3	.26	.28	.27
4	.28	.31	.29
5	.06	.06	.06
6	.26	.26	.28
7	.05	.06	.08
8	.11	.10	.08
9	.30	.24	.07
10	.02	.02	.03
11	.05	.05	.05
12	.02	.03	.03
13	.04	.04	.04
14	.01	.01	.01
15	.30	.32	.32
16	.02	.02	.01
17	.03	.02	.02
18	.08	.09	.06
19	.02	.01	.004
20	.11	.11	.10
21	.41	.40	.26
22	.02	.03	.03
23	.002	.004	.01
24	.06	.06	.09
25	.16	.15	.20
26	.03	.03	.01
27	.16	.16	.20
28	.19	.18	.19
29	.29	.30	.16
30	.02	.01	.01
31	.25	.21	.24
32	.07	.07	.10

Fig. 26 : Informationsgewinn der Quartiere hinsichtlich des gesamtstädtischen Zustandes in den Jahren 1965, '70 und '75. (Alle Angaben in 'trits'.)

mationsgewinns (s. Fig. 26) auf, doch liess sich folgendes grob herauschälen: Beim Vergleich der Werte der ganzen Schweiz, der Stadt Zürich (s. Fig. 27) und der einzelnen Quartiere zeigt sich eigentlich sehr deutlich, dass die Grösse des Systems auch ein Indiz für seine hierarchische Stellung repräsentiert; mit anderen Worten, je höher ein System in der Hierarchie klettert, um so träger wird seine eigene zeitliche Veränderung, da

	Schweiz	Stadt Zürich
H_{1965}	.94591	.94196
H_{1970}	.95556	.96477
H_{1975}	.94214	.96335
T_{65-70}	.00061	.00295
T_{70-75}	.00112	.00098
$T_{CH-Zü/1965}$	.02143	
$T_{CH-Zü/1970}$	.01434	
$T_{CH-Zü/1975}$	.02863	

Fig. 27 : Entropiewerte, zeitlicher Informationsgewinn und Informationsgewinn, beruhend auf dem Grössenunterschied der betrachteten Systeme; für die Schweiz und die Stadt Zürich. (Alle Angaben in 'trits'.)

- wegen den ebenfalls schwieriger zu realisierenden Ueberschreitungen von administrativen und politischen Grenzen - immer mehr ein Ausgleich, eine Art Pufferwirkung, stattfinden kann. Aus dem gleichen Grund werden die räumlichen Unterschiede, d.h. Informationsgewinn mit fallender Hierarchie immer grösser. Das Schema von Fig. 28 (s. nächste Seite) soll Gesagtes verdeutlichen.

13.5 Weitere Untersuchungsmöglichkeiten

Die Reihe der Möglichkeiten, die nur schon mit der Entropiemethode als Mischungsmass realisierbar sind, ist von respekabler Grösse und zeigt die Vielfältigkeit von Entropiekonzepten. Meines Erachtens am wichtigsten erscheinen die folgenden:

- Einbezug von mehr als nur drei Funktionen

	Staat (Schweiz)	Stadt (Zürich)	Quartier
Hierarchie	Supersystem	System	Subsystem
räumliche Ausdehnung	gross	mittel	klein
Zustand bez. Interaktion	geschlossen	offen	offen
Gleichge- wichts- zustand	dynamisch	dynamisch	metastabil
Puffer- möglichkeit	sehr gut	gut	schlecht

Fig. 28 : Leicht idealisierter Vergleich der drei Systeme Staat - Stadt - Quartier.

- Einbezug von mehr als nur drei Zeitpunkten
- Untersuchung der Unterschiede von Quartier zu Quartier: Informationsgewinn aller zweiunddreissig Quartiere miteinander, räumliche Autokorrelation usw.
- Das Aufstellen eines Markov-Modells mit den Uebergängen von einer Kategorie in die andere würde eine Prognose über die Veränderung eines Quartiers ermöglichen. (Dazu sind u.U. kürzere Zeitabstände nötig.)
- Räumlicher Informationsgewinn mit idealisierten Konstellationen, d.h. es soll ein ideales Verhältnis der drei Kategorien, als a priori-Information eingegeben werden. Dadurch kann die Systemhierarchie besser beschrieben und die Subsysteme besser geordnet werden.

14. SCHLUSSBETRACHTUNG

Zum Schluss stellt sich die Frage, ob mit dieser Methode die gegebene Problemstellung, einen wirklich nützlichen Beitrag an die Stadtforschung - in meinem Fall die Analyse und das Verständnis des städtischen Entmischungsprozesses - zu leisten, einigermaßen befriedigt werden kann. Ich möchte meinen ja, obschon sich einige schwache Punkte bei der Entropieanwendung zeigen. So die Abflachung der Kurve gegen den maximalen Wert der Funktion zu, was die Differenzierung der Resultate erschwert. Das Problem der unterschiedlichen Konstellation spielt keine Rolle, wenn wir nur die Mischung als solche betrachten. Was wir von dieser Methode nicht erwarten dürfen, ist dass sie irgendwelche Auskunft über räumliche Verteilung der einzelnen Quartiere gibt. Dafür wäre die Einführung einer zusätzlichen niederen Stufe der Hierarchie oder auch eine Berechnung aufgrund von Rasterdaten eines 100 - 500 m Rasters.

Die positiven und somit sich empfehlenden Seiten des Konzeptes liegen in der Information, die sie wie erwartet hinsichtlich des Makrozustandes der Mischung liefert. Obwohl wir aufgrund mangelnder Erfahrung mit der Interpretation von Entropiewerten Schwierigkeiten zu verzeichnen haben, müssen wir die Hypothese, dass Zürich sich in einer Phase der Entmischung befindet teilweise verwerfen, spricht doch die Summe der Entropieveränderungen stark für eine zunehmende Durchmischung:

$$1965 - 70: \sum_i \Delta H_i = - 0,7 + 7,2 = 6,5 \text{ tr}$$

$$1970 - 75: \sum_i \Delta H_i = - 2,9 + 4,6 = 1,7 \text{ tr}$$

Wir sehen aber, dass 1970 75% der Quartiere eine bessere und 12,5% eine schlechtere Mischung als 1965 aufwiesen. Dagegen waren es 1975 für beiden Entwicklungstendenzen gleich viele Quartiere (je 41%), was soviel bedeutet, dass sich eine Wendung Richtung Entmischung abzeichnet. Aber wegen Mangel an weiteren Vergleichszeitpunkten ist dies schwierig zu überprüfen. Jedoch bietet die Summe aller Informationsgewinne eine Unterstützung dieser These:

$$1965 - 70: \sum_i T_i = 0,134 \text{ tr}$$

$$1970 - 75: \sum_i T_i = 0,288 \text{ tr}$$

Dies ist eine der Summe der Entropieveränderungen entgegengesetzte Erscheinung. Das heisst, auf 1975 musste sich wesentlich mehr verändern, um eine relativ geringe Veränderung zu erzielen, dies im Gegensatz zum vorhergehenden Zeitabschnitt. Es wäre eine im Grunde erfreuliche Erscheinung, wenn Zürichs Quartiere auf dem Weg wären, eine bessere Mischung zu erlangen. Die Frage stellt sich, ob es einen optimalen Mischungszustand wirklich gibt und wie lange es geht, bis er erreicht sein wird. Wahrscheinlich gibt es einen solchen Zustand, aber er wird für jedes Quartier aufgrund seiner bisherigen Entwicklung verschieden aussehen. Es ist auch nicht zu begrüssen, dass überall in der Stadt der gleiche Zustand herrscht. Dies wäre ja eine der Zentralität widersprüchliche Erscheinung.

Eine Anwendung der in dieser Arbeit besprochenen Methode kann dem Planer aber bei entsprechend genauen Daten eine gute Grundlage bieten, um effiziente Entscheide zu treffen.

III. ANHANG

A. COMPUTERPROGRAMM ENTROP-M

Es sind hier nur die Optionen und der Resultat-Output
wiedergegeben.

STARTOPTION	=	1
ENDEOPTION	=	3

OUTPUTOPTION = 1

GENAUIGKEIT = .100000E+01

H SUMMEN DER SPALTEN - RANDVERTEILUNG
 UNTERE GRENZE .2936692+08
 OBERE GRENZE .365+915+09

***M**	SUMMEN DER ZEILEN	- RANDVERTEILUNG
	UNTERE GRENZE	.360702E+08
	OBERE GRENZE	.360702E+08

***H**	ITERATION	1	EPSM	.410062E+06
***H**	ITERATION	2	EPSM	.190735E-05

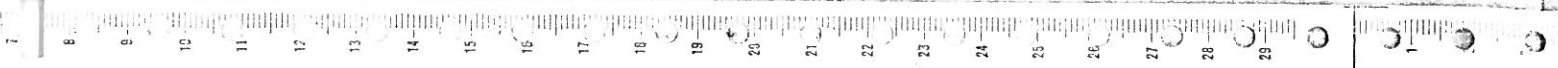
PROJEKT OPERATION 1

T A B E L L E 1 APRIORIVERTEILUNG

	LAGER	PRODUKTION BUERO	VERKAUF	WOHNEN	UEBRIGES	PARKIEREN	SUMMEN
	157470.	44303.	97903.	204574.	35537.	2017.	642665.
RATHAUS	103330.	24613.	209306.	56048.	64505.	20516.	529146.
HOCHSCHULE	150639.	40774.	191967.	91969.	19777.	8103.	630863.
LINDENHOF	323161.	65493.	452837.	82594.	64816.	23737.	1295232.
CITY	456157.	96483.	50136.	783000.	42944.	41572.	1502539.
WOLLISHOFEN							
	83541.	4091.	1248.	126232.	6633.	7611.	237306.
LEIMBACH	426763.	80924.	411876.	60069.	49227.	67031.	1744226.
ENGE	533469.	227512.	163762.	521736.	40236.	43167.	1616322.
ALT-WIEDIKON	215362.	2253.	5023.	374260.	44426.	23602.	673425.
FRIESENBERG	410636.	58792.	90644.	933494.	39636.	37826.	1641777.
SIHLFELD							
	136121.	45918.	92582.	188577.	9250.	17661.	925704.
WERD	343133.	74660.	178123.	483625.	102778.	28355.	1304945.
LANGSTRASSE	297867.	125305.	47762.	472870.	26255.	33968.	1028015.
HARD	302139.	61326.	142586.	362714.	36073.	29176.	984000.
GEWERBESCHULE	432598.	251713.	117334.	80350.	12479.	29627.	935903.
ESCHER-WYSS							
	533949.	50028.	161738.	1001137.	58772.	40091.	1971300.
UNTERSTRASS	233756.	23385.	129100.	599370.	3447.	29808.	1138146.
OBERSTRASS	293359.	10331.	135777.	523633.	158479.	38945.	1133043.
FLUNTERN	345392.	24690.	108230.	58669.	76789.	34216.	1360388.
HOTTINGEN	137700.	13263.	34146.	425090.	36395.	18936.	735601.
HIESLANDEN							
	163393.	4392.	4701.	350433.	17265.	32427.	583263.
WITIKON	162338.	35723.	110167.	366071.	9016.	26758.	759329.
SEEFELD	202334.	62258.	101057.	333417.	20900.	25214.	769850.
MUEHLEBACH	190869.	20523.	37260.	246590.	81724.	13644.	608308.
WEINEGG	467324.	114251.	76091.	657529.	39406.	47925.	1413911.
ALBISPIEDEN							
	711393.	267096.	141532.	919761.	60239.	77779.	2238806.
ALTSTETTEN	366342.	34450.	51558.	705865.	29173.	52879.	1260047.
HOENG	328034.	27117.	40001.	722400.	91073.	24429.	1251572.
WIPKINGEN	338407.	49003.	10252.	512277.	30036.	33724.	961698.
AFFOLTEN	523178.	242564.	123765.	750947.	101725.	64329.	1661933.
OERLIKON							
	551740.	57687.	26492.	343967.	84886.	47327.	1736836.
SCHWAMENDINGEN	445738.	130511.	83690.	519247.	47269.	61544.	1414914.
SEEBACH							
	10433195.	2361225.	3628648.	15942051.	15609351.	16034531.	36450229.
SUMMEN							

TABELLE 1 RAUVERTEILUNG

SPALTEN	LAGER	PRODUKTION	BUERO	VERKAUF	WOHNEN	UEBRIGES	PARKIEREN
UNTERE GRENZE	8334086.	1913316.	2915621.	1202499.	12309443.	1270728.	870553.
OBERE GRENZE	10435195.	2381225.	3628648.	1496575.	15942051.	1580930.	1083450.
GESAMTSUMME	UNTERE GRENZE	OBERE GRENZE	UNTERE GRENZE	OBERE GRENZE	UNTERE GRENZE	OBERE GRENZE	UNTERE GRENZE



UNTERE GRENZE
OBERE GRENZE

ZEILEN

RATHAUS 666559. 666559.
HOCHSCHULE 508226. 508226.
LINDENHOF 629453. 629453.
CITY 125424. 125424.
WOLLISHOFEN 1491187. 1491187.

LEIMBACH 226749. 226749.
ENGE 1762761. 1762761.
ALT-WIEDIKON 1018747. 1018747.
FRIESENBERG 634708. 634708.
STHLEFELD 1029167. 1029167.

WERD 533016. 533016.
LANGSTRASSE 1327834. 1327834.
HAPD 1026023. 1026023.
GEWERBESCHULE 993618. 993618.
ESCHEP-WYSS 927050. 927050.

UNTERSTRASS 1975849. 1975849.
OBERSTRASS 1101964. 1101964.
FLUNTERN 1123658. 1123658.
HOTTINGEN 1355326. 1355326.
HIRSLANDEN 736939. 736939.

WITIKON 540816. 540816.
SEEFELD 702016. 702016.
MUEHLEBACH 733289. 733289.
WEINEGG 603102. 603102.
ALBISRIEDEN 1365984. 1365984.

ALTSTETTEN 2189502. 2189502.
HOENGG 1231542. 1231542.
WIPKINGEN 1257950. 1257950.
AFFOLTERN 830255. 830255.
OERLIKON 1873893. 1873893.

SCHWAMENDINGEN 1672410. 1672410.
SEEBACH 1338937. 1338937.

SUMMEN 3670167. 3670167.

GESAMTSUMME UNTERE GRENZE 360702E+08
OBERE GRENZE 360702E+08

RECHENZENTRUM DER BERN

PROJEKT OPERATION 1

T A B E L L E 1 RESULTATVERTEILUNG

	LAGER	PRODUKTION BUERO	VERKAUF	WOHNEN	UEBRIGES	PARKIEREN	SUMMEN
	163325.	46033.	101543.	104528.	212180.	36858.	665559.
RATHAUS						2092.	
HOCHSCHULE	194103.	23645.	201031.	43555.	53632.	61955.	568226.
LINDENHOF	156302.	40683.	191536.	127349.	91763.	19733.	629453.
CITY	327843.	65430.	452400.	237376.	82514.	23714.	1254021.
MULLISHOFEN	454696.	95754.	49757.	30018.	777004.	41250.	1491187.
	84602.	3909.	1192.	2828.	120610.	6338.	226749.
LEIMBACH						7263.	
ENGE	431298.	61764.	416253.	87590.	526343.	67743.	1762761.
ALT-WIEDIKON	503600.	227572.	163805.	21436.	521909.	43178.	1618747.
FRIESENBERG	193386.	2020.	4510.	7437.	336086.	21373.	604708.
SIHLFELD	407462.	58340.	89948.	70861.	926326.	37537.	1629167.
	150958.	50923.	102673.	39253.	209132.	19808.	583006.
WERD							
LANGSTRASSE	349210.	75976.	161247.	95860.	492108.	28852.	1327334.
HAKO	297869.	125306.	47762.	23388.	472874.	33966.	1028023.
GEWERBESCHULE	344927.	62089.	143892.	49419.	366636.	29443.	993013.
ESCHER-WYSS	423476.	249329.	116224.	12309.	75506.	28752.	927050.
	531174.	58162.	162111.	60725.	1063560.	40184.	1975849.
UNTERSTRASS							
OBERSTRASS	264419.	22351.	124996.	27669.	580310.	26860.	1101964.
FLUNTERN	252047.	10332.	133395.	12484.	522161.	38636.	1129858.
HOTTINGEN	344137.	24598.	107827.	58471.	709731.	34389.	1355326.
HIRSLANDEN	192118.	13284.	34209.	10130.	425646.	18964.	736909.
	151223.	4072.	4359.	2690.	332400.	30058.	540816.
WITTIKON							
SEEFELD	163384.	35843.	110557.	48369.	367306.	26853.	762016.
MUEHLEBACH	206299.	64154.	104134.	28451.	343568.	20712.	793289.
WEINEGG	137187.	20343.	36945.	9608.	244512.	13529.	603162.
ALBISFRIEDEN	449592.	109969.	73253.	15774.	533802.	46137.	1365984.
	636313.	261801.	138415.	50646.	899525.	76066.	2169502.
ALTSTETTEN							
HOENGG	369019.	33677.	50392.	17372.	583697.	51663.	1231342.
WIPKINGEN	330530.	27255.	40205.	16954.	726831.	24584.	1257950.
AFFOLTERN	304157.	44978.	9295.	9007.	64405.	30576.	691255.
OEFLIKON	526436.	244121.	124559.	55060.	755707.	64742.	1073690.
	530663.	55483.	25460.	25985.	907923.	45231.	1672416.
SCHWAMENDINGEN							
SEEBACH	421775.	123502.	79196.	25499.	585995.	56239.	1333937.
	10293840.	2363322.	3625104.	1429766.	15722557.	1067363.	30070167.
SUMMEN							

PROGRAMM ENTERPRISE VERSION 3.0

PROJEKT OPERATION 1

TABELLE 1 POTENTIALE

SPALTEN LAGER PRODUKTION BUERO VERKAUF WOHNEN UEBRIGES PARKIEREN

0. 0. 0. 0. 0. 0.

POTENTIAL DER GESAMTSUMME -.1130+3E-01

T A B E L L E 1 P O T E N T I A L E

ZEILEN

RATHAUS .4731E-01
HOCHSCHULE -.2913E-01
LINDENHOF .9687E-02
CITY .1034E-01
MOLLISHOFEN .3725E-02

LEIMBACH -.3423E-01
ENGE .2187E-01
ALT-WIEDIKON .1157E-01
FRIESENBERG -.9633E-01
SIEHLFELD .3594E-02

WEPO .1148E+00
LANGSTRASSE .2309E-01
HARO .1111E-01
GEWERBSCHULE .2042E-01
ESCHER-WYSS .1810E-02

UNTERSTRASS .1301E-01
OBERSTRASS -.2110E-01
FLUNTERN .8409E-02
HOTTINGEN .7576E-02
HIRSLAUEN .1333E-01

WITIKON -.6426E-01
SEEFELD .1404E-01
MUEHLBACH .4133E-01
WEINEGG .2899E-02
ALBSRIEDEN -.2671E-01

ALTSTETTEN -.1996E-01
HOENGG -.1158E-01
WIPKINGEN .1639E-01
AFFOLTERN -.3668E-01
OERLIKON .1773E-01

SCHWAMENDINGEN -.2765E-01
SEEBACH -.4309E-01

POTENTIAL DER GESAMTSUMME 0.7113343E-01

RECHENZENTRUM DER ...

B. COMPUTERPROGRAMM ENTMIS

Zur Darstellung kommen hier :

- das ganze Programm
- eine Quartierliste
- die Entropiewerte und der zeitliche Informationsgewinn, sowie
- der Informationsgewinn Stadt→Quartier.

PROGRAM ENTMIS (INPUT,OUTPUT, TAPE5=INPUT,TAPE6=OUTPUT,DEBUG=OUTPU
*T)

AUFGABEN DES PROGRAMMS 'ENTMIS' :

DIESES PROGRAMM BERECHNET ANHND DER ENTROPIEMETHODE EIN MASS
FUER DIE MISCHUNG DER FUNKTIONEN :

- 1) WOHNEN (INPUT : WOHNBEVOELKERUNG)
- 2) ARBEITEN (INPUT : ARBEITSBEVOELKERUNG)
- 3) VERSORGUNG (INPUT : ANZHL PERSONEN, DIE VON DEN EINRICHTUNGEN
DES DETAILHANDELS UND DES GASTGEWERBES VESORGT
WERDEN KOENNEN)

FUER DIE JAHRE 1965 UND 1970.

ALS MASS FUER DIE DAZWISCHENLIEGENDE ENTWICKLUNG WURDE EIN
INFORMATIONSGEWINN BERECHNET.

UNTERSUCHUNGSGBIET : 32 QUARTIERE DER STADT ZUERICH.

ERKLAERUNG DER WICHTIGSTEN VARIABLEN :

NQ : QUARTIERNUMMER

NZ : NUMMER DER FUNKTION

P(J,NQ,NZ) : A POSTERIORI WAHRSCHEINLICHKEIT

P(J-1,NQ,NZ) : A PRIORI WAHRSCHEINLICHKEIT

H : ENTROPIE DER A POSTERIORI WAHRSCHEINLICHKEITSVERTEILUNG

T : INFORMATIONSGEWINN VON A PRIORI ZU A POSTERIORI VERTEILUNG

VQ : VERSORGUNGSQUOTIENT

DIMENSION NP(3,32,3),P(3,32,3),H(3,32),
* PR(32),I(2,32),TZ(2),VQ(3),EQ(3)

FT_03=ALOG(3.)

WRITE(6,2000)

2000 FORMAT(*1*,2X,*QUARTIERLISTE*,/,2X,*-----*,///,
2X, 1 RATHAUS*,/,2X,* 2 HOCHSCHULEN*,/,2X,* 3 LINDENHOF*,/,
2X, 4 CITY*,/,2X,* 5 MOLLISHOFEN*,/,2X,* 6 LEIMBACH*,/,


```

*2X,* 1 RATHAUS*,/,2X,* 2 HOCHSCHULEN*,/,2X,* 3 LINDENHOF*,/,
*2X,* 4 CITY*,/,2X,* 5 WOLLISHOFEN*,/,2X,* 6 LEIMBACH*,/,
*2X,* 7 ENGE*,/,2X,* 8 ALT-WIEDIKON*,/,2X,* 9 FRIESENBERG*,/,
*2X,*10 SIHLFELD*,/,2X,*11 WERD*,/,2X,*12 LANGSTRASSE*,/,
*2X,*13 HARD*,/,2X,*14 GEWERBESCHULE*,/,2X,*15 ESCHER-WYSS*,/
*,2X,*16 UNTERSTRASS*,/,2X,*17 OBERSTRASS*,/,2X,*18 FLUNTERN*
*,/,2X,*19 HOTTINGEN*,/,2X,*20 HIRSLANDEN*,/,2X,*21 WITIKON*,
*,/,2X,*22 SEEFELD*,/,2X,*23 MUEHLBEBACH*,/,2X,*24 WEINEGG*,/,
*2X,*25 ALBISRIEDEN*,/,2X,*26 ALTSTETTEN*,/,2X,*27 HOENGG*,/,
*2X,*28 WIPKINGEN*,/,2X,*29 AFFOLTERN*,/,2X,*30 OERLIKON*,/,
*2X,*31 SCHWANENDINGEN*,/,2X,*32 SEEBACH*)
READ(5,1002)VQ(1),VQ(2),VQ(3)
1002 FORMAT(3F10.4)
DO 10 J=1,2
JJ=((J-1)*10)+1960
WRITE(6,2001)JJ
2001 FORMAT(*1*,2X,*REELLE- UND PROMILLEWERTE FUER *,I4,/,2X,
*QUARTIER*,2(3X,*WOHNEN*,8X,*ARBEITEN*,6X,*VERSORGEN*),////////)
DO 11 NQ=1,32
READ(5,1000)(NP(J,NQ,NZ),NZ=1,3)
1000 FORMAT(3I8)
NPTOT=0
NP(J,NQ,3)=NP(J,NQ,3)*VQ(J)
DO 12 NZ=1,3
12 NPTOT=NPTOT+NP(J,NQ,NZ)
DO 13 NZ=1,3
P(J,NQ,NZ)=NP(J,NQ,NZ)/FLOAT(NPTOT)
PR(NZ)=P(J,NQ,NZ)*1000.
13 CONTINUE
WRITE(6,2002)NQ,(NP(J,NQ,NZ),NZ=1,3),(PR(NZ),NZ=1,3)
2002 FORMAT(8X,I2,3(9X,I6),3(8X,F7.2))
H(J,NQ)=0.
DO 14 NZ=1,3
HZ=P(J,NQ,NZ)*ALOG(1./P(J,NQ,NZ))
H(J,NQ)=H(J,NQ)+HZ
14 CONTINUE
H(J,NQ)=H(J,NQ)/FTLOG
11 CONTINUE
10 CONTINUE
DO 15 NQ=1,32
T(NQ)=0.
DO 16 NZ=1,3
TZ=P(2,NQ,NZ)*ALOG(P(2,NQ,NZ)/P(1,NQ,NZ))
T(NQ)=T(NQ)+TZ
16 CONTINUE
T(NQ)=T(NQ)/FTLOG
15 CONTINUE
WRITE(6,2003)
2003 FORMAT(*1*,/,2X,*QUARTIER*,5X,*ENTROPIE 1960*,5X,*ENTROPIE 1970*
*,6X,*INFORMATIONSGEWINN*,/)
DO 17 NQ=1,32
WRITE(6,2004)NQ,H(1,NQ),H(2,NQ),T(NQ)
2004 FORMAT(8X,I2,3(10X,F8.6))
17 CONTINUE
WRITE(6,2005)
2005 FORMAT(/,2X,*ALLE ANGABEN IN *TRITS**)
STOP

```

QUARTIERLISTE

- 1 RATHAUS
- 2 HOCHSCHULEN
- 3 LINDENHOF
- 4 CITY
- 5 WOLLISHOFEN
- 6 LEIMBACH
- 7 ENGE
- 8 ALT-WIEDIKON
- 9 FRIESENBERG
- 10 SIHLFELD
- 11 WERD
- 12 LANGSTRASSE
- 13 HARD
- 14 GEWERBESCHULE
- 15 ESCHER-WYSS
- 16 UNTERSTRASS
- 17 OBERSTRASS
- 18 FLUNTERN
- 19 HOTTINGEN
- 20 HIRSLANDEN
- 21 WITIKON
- 22 SEEFELD
- 23 MUEHLBEBACH
- 24 WEINEGG
- 25 ALBISRIEDEN
- 26 ALTSTETTEN
- 27 HOENGG
- 28 WIPKINGEN
- 29 AFFOLTERN
- 30 OERLIKON
- 31 SCHWAMENDINGEN
- 32 SEEBACH

QUARTIER ENTROPIE 1965 ENTROPIE 1970 INFORMATIONSGEWINN

1	.619663	.647368	.001946
2	.703191	.730666	.013904
3	.550514	.582582	.002584
4	.560954	.572193	.000689
5	.919229	.929254	.002433
6	.737420	.736641	.004190
7	.891131	.912110	.005519
8	.981189	.972578	.001941
9	.690962	.776290	.034990
10	.905219	.916583	.000722
11	.879893	.902493	.002238
12	.876596	.901164	.002613
13	.956199	.965683	.003275
14	.941592	.949635	.000922
15	.863529	.822669	.003082
16	.931636	.949823	.002123
17	.934745	.946572	.000762
18	.976876	.978862	.007978
19	.871980	.920485	.007990
20	.893995	.907116	.002786
21	.639917	.649857	.014985
22	.872875	.893656	.001988
23	.956718	.974233	.003112
24	.962034	.972211	.006263
25	.922778	.911116	.000689
26	.978500	.979096	.003458
27	.816289	.840859	.006698
28	.827069	.841991	.003934
29	.744674	.730063	.003262
30	.989099	.995098	.001170
31	.748493	.790014	.010204
32	.945236	.943088	.004918

ALLE ANGABEN IN 'TRITS'

QUARTIER	ENTROPIE 1970	ENTROPIE 1975	INFORMATIONSGEWINN
1	.647868	.615279	.001543
2	.730666	.723339	.000363
3	.582582	.555955	.000733
4	.572193	.572185	.001916
5	.929254	.935039	.000529
6	.736641	.742982	.000847
7	.912110	.896778	.006301
8	.972578	.987132	.003010
9	.776290	.907278	.081969
10	.916583	.911785	.001216
11	.902493	.892910	.001663
12	.901164	.889286	.001619
13	.965583	.976587	.001085
14	.949635	.959875	.003332
15	.822669	.786200	.005335
16	.949823	.945656	.007880
17	.946572	.965273	.002357
18	.978862	.996229	.003049
19	.920485	.937205	.001423
20	.907116	.937813	.003193
21	.649857	.773821	.058015
22	.893656	.906795	.003917
23	.974233	.969164	.003683
24	.972211	.975963	.003380
25	.911116	.885103	.001921
26	.979096	.983486	.006367
27	.840359	.826510	.000360
28	.841991	.862408	.001444
29	.730063	.846934	.051418
30	.995098	.955341	.021728
31	.790014	.791451	.002418
32	.948088	.955745	.002024

ALLE ANGABEN IN 'TRITS'

QUARTIER	ENTROPIE STADT 1965	ENTROPIE 1965	INFORMATIONSGEWINN STADT→QUARTIER
1	.941963	.619663	.171475
2		.703191	.168053
3		.550514	.255026
4		.560954	.278351
5		.919229	.057331
6		.737420	.257194
7		.891131	.046948
8		.981189	.108717
9		.690962	.297226
10		.905219	.013943
11		.879898	.046623
12		.876596	.020831
13		.956199	.039739
14		.941592	.003609
15		.863529	.334559
16		.931636	.023933
17		.934746	.026339
18		.976876	.083537
19		.871980	.015034
20		.898998	.114476
21		.639917	.405836
22		.872875	.021555
23		.956718	.002210
24		.962034	.063933
25		.922778	.161505
26		.978500	.026610
27		.816289	.163849
28		.827069	.191396
29		.744874	.290918
30		.989099	.020113
31		.748490	.253153
32		.945236	.069660

ALLE ANGABEN IN 'TRITS'

QUARTIER	ENTROPIE STADT 1970	ENTROPIE 1970	INFORMATIONSGEWINN STADT→QUARTIER
1	.964767	.647868	.195422
2		.730666	.205407
3		.582532	.277612
4		.572193	.307003
5		.929254	.056934
6		.736641	.261301
7		.912110	.060520
8		.972578	.101036
9		.776290	.236348
10		.916583	.022375
11		.902493	.051032
12		.901164	.027953
13		.965683	.039121
14		.949635	.005250
15		.822669	.316591
16		.949823	.010436
17		.946572	.020111
18		.978862	.085944
19		.920485	.003234
20		.907116	.106743
21		.649857	.337342
22		.893656	.030233
23		.974233	.004070
24		.972211	.062562
25		.911116	.147711
26		.979096	.031170
27		.840859	.155952
28		.841991	.175639
29		.730063	.297240
30		.995098	.014621
31		.790014	.219551
32		.948088	.074462

ALLE ANGABEN IN 'TRITS'

QUARTIER	ENTROPIE STADT 1975	ENTROPIE 1975	INFORMATIONSGEWINN STADT→QUARTIER
1	.963354	.615279	.204728
2		.723339	.192450
3		.555955	.273623
4		.572185	.292645
5		.935039	.061720
6		.742982	.281096
7		.896778	.080690
8		.987132	.078595
9		.907278	.070428
10		.911785	.026116
11		.892910	.053144
12		.889286	.030163
13		.976587	.043255
14		.959875	.006018
15		.786200	.322259
16		.945656	.010319
17		.965273	.021334
18		.996229	.060054
19		.937205	.003571
20		.937813	.097545
21		.773821	.257137
22		.906795	.025281
23		.969164	.009103
24		.975968	.087332
25		.885103	.201543
26		.983486	.014784
27		.826510	.196665
28		.862408	.188432
29		.846934	.159860
30		.955341	.006138
31		.791451	.235249
32		.955745	.095148

ALLE ANGABEN IN 'TRITS'

C. DATEN

In diesem Teil des Anhangs finden sich die Werte der Daten der drei Funktionen Wohnen, Arbeiten und Versorgen für die 32 Quartiere, die ganze Stadt Zürich und die ganze Schweiz. Dabei hat bei der Funktion Versorgen die Umrechnung von Flächen- auf Personenwerte bereits stattgefunden.

REELLE- UND PROMILLEWERTE FUER 1965

QUARTIER	WOHNEN	ARBEITEN	VERSORGEN	WOHNEN	ARBEITEN	VERSORGEN
1	6139	8603	51574	92.57	129.73	777.70
2	1964	7674	21687	62.58	245.01	692.41
3	2495	14372	62833	31.30	180.33	738.37
4	2427	35819	117121	15.52	230.54	753.83
5	19169	6226	14810	476.78	154.86	368.36
6	3628	399	1395	669.13	73.59	257.29
7	13049	20902	43216	109.10	270.67	560.03
8	17443	13465	10576	420.48	324.58	254.94
9	9980	768	3669	692.24	53.27	254.49
10	28129	10148	34933	384.22	138.61	477.16
11	5636	8670	19367	167.37	257.48	575.15
12	17590	15629	47297	218.47	194.11	587.42
13	13924	6314	11539	438.18	198.70	363.12
14	12013	11601	24383	249.97	242.65	507.38
15	2636	11987	6073	135.47	573.82	290.71
16	29220	11418	29961	413.89	161.73	424.38
17	13816	5440	13651	419.85	165.31	414.84
18	9670	6054	6159	441.90	276.65	261.45
19	15311	7086	28849	298.77	138.27	562.95
20	9193	2778	4948	543.35	164.19	292.45
21	6743	766	1327	763.13	66.69	150.18
22	8938	7779	24161	218.65	191.30	591.05
23	8603	6795	14037	292.27	231.85	470.68
24	6087	3370	4740	459.23	224.71	316.66
25	19640	9559	7782	531.08	258.48	210.43
26	26297	15707	24988	392.54	234.46	373.60
27	17067	2613	8571	599.87	98.67	301.25
28	20648	4326	8365	619.33	129.76	250.91
29	15769	2548	4444	692.81	111.95	195.25
30	21327	19206	27574	313.14	262.00	404.86
31	34359	4268	12820	667.92	82.94	249.14
32	16691	7648	12581	480.43	159.60	319.97

REELLE- UND PROMILLEWERTE FUER 1970

QUARTIER	WOHNEN	ARBEITEN	VERSORGEN	WOHNEN	ARBEITEN	VERSORGEN
1	5002	8530	42519	89.24	152.18	758.58
2	1490	9832	19307	46.65	321.00	630.35
3	2096	14858	53848	29.60	209.85	760.54
4	1848	33739	100245	13.61	248.39	738.01
5	18499	6594	12751	488.69	174.20	337.11
6	3864	509	1248	687.42	90.55	222.02
7	11582	22666	36565	163.56	320.08	516.36
8	16767	13693	9041	424.47	346.65	228.88
9	11284	2077	3434	669.47	123.23	207.30
10	25890	9697	30102	394.13	147.62	458.25
11	4701	7860	14933	170.98	285.88	543.14
12	15229	15894	39746	214.89	224.27	560.84
13	13501	6782	9367	447.79	224.94	327.25
14	11293	9934	20650	269.61	237.16	493.23
15	2182	11665	5242	114.31	611.08	274.61
16	26618	11829	25560	415.86	184.81	399.33
17	12452	5391	12057	416.45	180.30	403.24
18	9044	7215	5281	419.85	334.99	245.16
19	13880	8785	24760	292.67	185.24	522.09
20	8716	3005	4224	546.63	188.46	264.91
21	8645	1488	1223	761.27	131.03	107.70
22	7730	7828	20587	213.86	216.57	569.57
23	7494	6908	11548	287.68	265.18	447.14
24	6673	3936	4088	452.50	270.29	277.21
25	19279	9290	6912	543.36	261.83	194.81
26	27789	16302	21848	421.43	247.23	331.34
27	17109	3741	7438	603.53	131.97	264.50
28	19542	5008	7116	617.13	158.15	224.72
29	18042	3211	4191	709.09	126.20	164.71
30	19785	18331	23428	321.48	297.85	380.67
31	34306	6516	11398	656.95	124.78	218.27
32	20308	9430	11358	494.04	229.41	276.55

REELLE- UND PROMILLEWERTE FUER 1975

QUARTIER	WOHNEN	ARBEITEN	VERSORGEN *	WOHNEN	ARBEITEN	VERSORGEN
1	3977	8269	42058	73.24	152.27	774.49
2	1162	8801	16754	43.48	329.29	627.23
3	1566	12773	49403	24.57	200.46	774.97
4	1045	33063	86732	8.50	269.02	722.47
5	17517	6511	13332	472.67	175.69	351.65
6	4142	520	1466	675.91	84.86	239.23
7	9713	26780	35594	134.18	369.96	495.86
8	15591	13205	10274	399.05	337.98	262.96
9	11179	3299	8919	477.80	141.00	361.20
10	23441	9313	30505	370.53	147.29	482.19
11	4305	8682	15337	151.99	306.52	541.48
12	13578	16785	40585	191.38	236.58	572.04
13	11930	6787	9163	427.91	243.44	328.66
14	10420	11389	19332	250.23	273.50	476.25
15	1759	13168	6338	82.72	619.23	298.05
16	23969	12601	30841	355.57	186.93	457.51
17	11579	6049	11407	398.79	208.33	392.87
18	8337	9067	6746	360.13	348.47	291.40
19	12045	8661	21117	288.00	207.09	504.91
20	7972	3382	4341	507.93	215.48	276.53
21	8981	1435	3159	661.58	105.71	232.71
22	6695	8717	18833	195.50	254.55	549.95
23	6457	7563	11744	250.62	293.55	455.83
24	6259	4393	3624	438.43	307.72	253.85
25	18997	9596	5720	570.26	258.04	171.70
26	28021	18591	28935	370.91	246.09	383.01
27	17650	3552	7483	615.30	123.83	260.87
28	17989	5362	6600	600.61	179.03	220.36
29	18916	3895	9733	581.24	119.68	299.07
30	17601	13102	34495	247.22	268.27	484.51
31	31078	5275	11302	645.37	109.54	245.03
32	19851	10515	10508	484.48	256.63	258.90

* Werte von 1974

REELLE- UND PROMILLEWERTE FÜR DIE SCHWEIZ UND DIE STADT ZÜRICH 1965, 1970 UND 1975

	Wohnen	Arbeiten	Versorgen	Wohnen	Arbeiten	Versorgen
Schweiz						
1965	5945000	2597361	5945000	410,36	179,28	410,36
1970	6269783	2995777	6269783	403,58	192,84	403,58
1975	6405000	2705781	6405000	412,81	174,39	412,81
Zürich						
1965	438800	290434	704935	305,96	202,51	491,53
1970	422640	302595	602781	318,25	227,85	453,90
1975	393722	315128	615565 *	297,28	237,94	464,78

111

* Wert für Ende 1974

D. LITERATURVERZEICHNIS

- {1} Agterberg, F.P.: Geomathematics,
Elsevier Scientific Publ. Co., Amsterdam 1974.
- {2} Albers, Gerd: Ueber den Wandel der Wertmassstäbe im
Städtebau, Diss. Aachen,
Medizin und Städtebau Bd. 1, Berlin/Wien 1957.
- {3} Atteslander, Peter: Dichte und Mischung der Bevölkerung,
Walter de Gruyter Vlg., Berlin 1975.
- {4} Attneave, Fred:
Applications Of Information Theory To Psychology,
Holt & Co., New York 1959.
- {5} Barth, Hans Paul: Die moderne Grossstadt,
Slg. Dialog Bd. 70, Nymphenburger Verlagshandlung,
München 1974.
- {6} Batty, Michael: Spatial Entropy,
in: Geographical Analysis Vol. VI No. 1, 1974, S. 1 - 31
- {7} Batty, Michael: Entropy In Spatial Aggregation,
in: Geographical Analysis Vol. VIII No. 1, 1976, S. 1 - 21
- {8} Batty, Michael & Mackie, S.: The Calibration Of Gravity,
Entropy And Related Models Of Spatial Interaction,
in: Environment & Planning A, Vol. 4 No. 2, 1972,
S. 205 - 234
- {9} Bauer, Friedrich L. & Goos, Gerhard : Informatik - Eine
einführende Uebersicht, Erster Teil,
Heidelberger TB Bd. 80, Springer, Heidelberg 1973.
- {10} Berry, Brian J.L.: Geography Of Market Centers And Re-
tail Distribution,
Prentice Hall, Englewood Cliffs 1967.
- {11} Berry, Brian J.L. & Schwind Paul J.: Information And
Entropy In Migrant Flows,
in: Geographical Analysis, Vol. I No. 1, 1969, S. 5 - 14
- {12} Betak, J.F.: Information Theory As A Basis For Studying
Environmental Complexity: Some Limitations,
in: Environment & Planning A, Vol. 6 No. 3, 1974,
S. 259 - 272
- {13} Brockhaus, Der Neue: Lexikon in 5 Bänden,
Brockhaus, Wiesbaden 1974.
- {14} Carol, Hans: The Hierarchy Of Central Functions Within
The City,
in: Annals Of The Association Of American Geographers,
Vol. 50 No. 4, 1960, S. 419 - 438
- {15} Carter, Harold: The Study Of Urban Geography,
Edward Arnold Ltd., London 1972.

- {16} Chadwick, George: A Systems View Of Planning,
Pergamon Press, Oxford/New York 1971.
- {17} Chapman, G.P.: The Application Of Information Theory
To The Analysis Of Population Distributions In Space,
in: Economic Geography, Vol. 46 No. 2 (Suppl.), 1970,
S. 317 - 331
- {18} Chapman, G.P.: Human And Environmental Systems, A Geo-
grapher's Appraisal,
Academic Press, London/New York 1977.
- {19} Charta von Athen. Lehrsätze,
in: Conrads, Ulrich: Programme und Manifeste zur Archi-
tektur des 20. Jahrhunderts
Berlin/Frankfurt, 1964
- {20} Cherry, Colin: On Human Communication,
Wiley & Sons, New York 1956
- {21} Chilton, R. & Poet, R.W.: An Entropy Maximising Approach
To The Recovery Of Detailed Migration Pattern From
Aggregate Census Data,
in: Environment & Planning A, Vol. 5 No. 1, 1973,
S. 135 - 146
- {22} Chorley, Richard J. & Haggett, Peter: Models In Geography,
Methuen & Co., London 1967.
- {23} Coleman, James S.: Introduction To Mathematical Sociology,
Collier-Macmillan, London 1964.
- {24} Cube, F. & Gunzenhäuser, Rul: Ueber die Entropie von
Gruppen,
Vlg. Schnelle, Quickborn 1967.
- {25} Curry, Leslie: Spatial Entropy,
in: International Geography 2, Univ. Of Toronto Press 1972.
- {26} Dorn, Klaus: Die Altstadt von Zürich,
Vlg. A. Niggli, Teufen 1974
- {27} Eastin, R.V.: Entropy Maximization And Inferred Ideal
Weight In Public Facility Location,
in: Environment & Planning A, Vol. 7 No. 2, 1975, S. 191 -
198
- {28} Eidg. Betriebszählung 1965, Industrie und Gewerbe Bd. 2,
Betriebe, Hauptergebnisse für die Schweiz,
Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 410,
Eidg. Statistisches Amt, Bern 1967.
- {29} Eidg. Betriebszählung 1965, Industrie und Gewerbe Bd. 4,
Betriebe, Hauptergebnisse nach Gemeinden,
Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 412,
Eidg. Statistisches Amt, Bern 1967
- {30} Eidg. Betriebszählung 1965, Industrie und Gewerbe Bd. 5,
Sonderfragen,
Statistische Quellenhefte der Schweiz, Heft 413
Eidg. Statistisches Amt, Bern 1967

- {31} Eidg. Betriebszählung 1975, Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen Bd. 1, Arbeitsstätten, Hauptergebnisse für die Schweiz, Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 605, Eidg. Statistisches Amt, Bern 1977.
- {32} Eidg. Betriebszählung 1975, Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen Bd. 4, Arbeitsstätten, Hauptergebnisse für die Gemeinden, Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 608, Eidg. Statistisches Amt, Bern 1977.
- {33} Eidg. Betriebszählung 1975, Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen Bd. 5, Sonderfragen, Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 609, Eidg. Statistisches Amt, Bern 1977.
- {34} Eidg. Volkszählung 1970, Bd. 5, Schweiz 2, Erwerb und Beruf, Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 533, Eidg. Statistisches Amt, Bern 1974.
- {35} Entwicklungskoordination Stadt Zürich Bd. 1: Die Region Zürich im Rahmen der schweizerischen Volkswirtschaft, von Prognos AG und Institut für Wirtschaftsforschung der ETH Zürich, Zürich 1972.
- {36} Entwicklungskoordination Stadt Zürich Bd. 2: Vorschläge für ein Entwicklungsprogramm der Stadt Zürich, von Harald Jürgensen, Zürich 1973.
- {37} Entwicklungskoordination Stadt Zürich Bd. 3: Entwicklung der Stadt Zürich, Analysen, Trends, Programme, von Peter Iblher & Georg D. Jansen, Zürich, 1972
- {38} Gatrell, Anthony C.: Complexity And Redundancy In Binary Maps, in: Geographical Analysis Vol. IX No. 1, 1977, S. 29 - 41
- {39} Geiger, Martin: Die Standortgüte in städtischen Regionen, Diss ETH Nr. 5097 Juris Vlg., Zürich 1973.
- {40} Gerthsen, Christian & Kneser, Hans O.: Physik, Springer, Berlin 1969, 10. Aufl.
- {41} Goldmann, S.: Information Theory, Prentice Hall, Englewood Cliffs 1955.
- {42} Griffin, John M. & Semple, Robert K.: Spatial-Temporal Trends In Industrial Dispersion, Discussion Paper No. 23 Dept. Of Geography, Ohio State University, Ohio 1971.
- {43} Gullen, Gordon: The Concis Townscape, The Architectural Press, london 1961.
- {44} Guttersohn, H.: Sonnenstrahlung und Bergschatten auf dem Gebiete der Stadt Zürich, SA aus der Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, Zürich 1934.

- {45} Haggett, Peter: Einführung in die kultur- und sozial-geographische Regionalanalyse, Walter de Gruyter, Berlin 1973.
- {46} Hamm, Bernd: Die Organisation der städtischen Umwelt, Soziologie der Schweiz Bd. 6, Huber, Frauenfeld 1977.
- {47} Herder, Der Neue: Wissen im Alphabet, Lexikon in 6 Bd., Herder, Freiburg i. Br. 1972.
- {48} Hitz, Peter & Schmid, Beat: Computerprogramm ENTROP-M, Studienunterlagen ORL Nr. 34, ORL-Institut, Zürich 1978.
- {49} Hofer, Paul: Einführung in die Geschichte des Städtebaus (Dokumentation zur Vorlesung), ETH Zürich, Abt. f. Architektur, Zürich 1975.
- {50} Hofmeister, Burkhard: Stadtgeographie, Georg Westermann Vlg., Braunschweig 1969.
- {51} Jacobi, Henri & Tomasoni, Walter: Utilisation Du Sol, Studienunterlagen ORL Nr. 35, ORL-Institut, Zürich 1978.
- {52} Jacobs, Jane: Tod und Leben grosser amerikanischer Städte, Bauwelt Fundamente 4, Bertelsmann Fachverlag, Gütersloh 1976.
- {53} Koestler, Arthur: The Art Of Creation, Macmillan, New York 1965.
- {54} Korte, Hermann (hrsg.): Soziologie der Stadt, Grundfragen der Soziologie Bd. 11, Juventa Vlg., München 1972.
- {55} Krayenbühl, Frank: Untersuchung über die Entstehung und das Wachstum der Zentren in der Stadt Zürich, Diss. ETH Nr. 3395, Juris Verlag, Zürich 1963.
- {56} Lee, Richard: A Markovian Entropy-Maximising Model Of Population Distribution, in: Environment & Planning A, Vol. 6 No. 6, S. 693 - 702
- {57} Lynch, Kevin: Das Bild der Stadt, Bauwelt Fundamente Bd. 16, Bertelsmann Fachverlag, Gütersloh 1968.
- {58} Marchand, Bernard: Information Theory An Geography, in: Geographical Analysis, Vol. IV No. 3, 1972, S. 234 - 257
- {59} Medvedkov, Yu. V.: The Concept Of Entropy In Settlement Pattern Analysis, in: The Regional Science Assoc., Papers, Vol. XVII, 1967, S. 165 - 168
- {60} Medvedkov, Yu. V.: Entropy: An Assessement Of Potentialities In Geography, in: Economic Geography, Vol 46 No. 2 (Suppl.), 1970, S. 306 - 316

- {61} Mitscherlich, Alexander: Die Unwirtlichkeit unserer Städte - Anstiftung zum Unfrieden, Ed. Suhrkamp 123, Suhrkamp, Frankfurt 1965.
- {62} ORL-Institut: Veränderung der Wohnbevölkerung und der Arbeitsplätze in der Stadt Zürich, Gutachten, Zürich 1969.
- {63} Peltó, Chester, R.: Mapping Of Multicomponent Systems, in: Journal Of Geology, Vol. 62, 1954, S. 501 - 511
- {64} Rapoport, Amos & Kantor, Robert E.: Complexity And Ambiguity In Environmental Design, in: Journal Of The American Institute Of Planners, Vol. XXXIII No. 4, 1970, S. 210 - 221
- {65} Reif, Benjamin: Models In Urban And Regional Planning, Leonard Hill Books, Aylesbury 1973.
- {66} Reza, F.M.: An Introduction To Information Theory, New York 1961.
- {67} Schöller, Peter: Aufgaben und Probleme der Stadtgeographie, in: Schöller, Peter (hrsg.): Allg. Stadtgeographie Wissenschaftl. Buchgesellschaft, Darmstadt 1969.
- {68} Scott, C.H. & Jefferson, T.R.: Entropy Maximising Models Of Residential Location Via Geometric Programming, in: Geographical Analysis, Vol. IX No. 2, 1977, S. 181 - 187
- {69} Shannon, Claude E. & Weaver, Warren: The Mathematical Theory Of Communication, The Univ. Of Illinois Press, Chicago 1949.
- {70} Sitte, Camillo: Der Städtebau nach seinen künstlerischen Grundsätzen, Nachdruck der 3. Aufl. Wien 1901 und des Originalmanuskriptes aus dem Jahre 1889 Schriftenreihe des Inst. f. Städtebau, Raumplanung und Raumordnung Bd. 19, Wien.
- {71} Snickars, Folke & Weibull, Jörgen W.: A Minimum Information Principle: Theory And Practice in: Regional Science & Urban Economics, Vol. 7 No. 1/2, 1977, S. 137 - 168
- {72} Stamm, Hugo: Shopping Centers: Schongebiet der Heimatlosen Jugendlichen in: Tages-Anzeiger, Zürich, 15. 11. 78.
- {73} Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich: 1966, 1971, 1974, 1976 Buchdruckerei Berichthaus Zürich.
- {74} Steiss, Alan Walter: Models For The Analysis And Planning Of Urban Systems, Lexington Books, Toronto/London 1974.
- {75} Surface Moyenne des Immeubles 1970, ORL-Institut Zürich, 1970 (unveröffentlicht).

- {76} Theil, Henri: Economics And Information Theory,
North Holland Publ. Co., Amsterdam 1967.
- {77} Theil, Henri: Statistical Decomposition Analysis,
North Holland Publ. Co., Amsterdam 1972.
- {78} Topsøe, F.: Informationstheorie,
Teubner, Stuttgart 1974.
- {79} Wohnanteilplan (WAP) - eine starke Waffe im Kampf
gegen den Bevölkerungsrückgang,
in: Tages-Anzeiger, Zürich 15. 11. 78.
- {80} Wiegand, Jürgen: Funktionsmischung,
Burckhardt Berichte 1, Vlg. A. Niggli, Teufen 1973.
- {81} Williams, I.: A Comment On The Derivation Of Calibration
Criteria By Batty And Mackie,
in: Environment & Planning A, Vol. 6 No. 5, 1974, S.
603 - 605
- {82} Wilson, Alan G.: The Use Of Analogies In Geography,
in: Geographical Analysis, Vol. I No. 3, 1969, S. 225 - 233
- {83} Wilson, Alan G.: Interregional Commodity Flows: Entropy
Maximizing Approaches,
in: Geographical Analysis, Vol. II No. 3, 1970, S. 255 - 282
- {84} Wilson, Alan G.: Entropy In Urban And Regional Modelling,
Pion Ltd., London 1970.
- {85} Wilson, Alan G.: Papers In Urban And Regional Analysis,
Pion Ltd., London 1972.
- {86} Wilson, Alan G. & Senior, M.L.: Some Relationships Be-
tween Entropy Maximising And Mathematical Programming
Models And Their Duals,
in: Journal Of Regional Science, Vol. 14 No. 2, 1974,
S. 207 - 216