Mathematische Verfahren zur Analyse theoretisch nicht vor~~aus~~her-sagbarer Phänomene

- Kurzfassung -

Dr. Leo FERRERA

Anhand historischer Beipiele werden die typischen Reaktionen der Menschen auf Spontanphänomene analysiert. Einerseits findet man eine Neigung zur Mystifikation, andererseits wird die Faktizität der Phänomene bestritten. Dabei wird die Rezeptionsbereitschaft durch den objektiven Stand des Beweismaterials kaum beeinflußt. Somit wird die Frage aktuell, inwieweit mathematische Auswertungsverfahren zu einer objektiven Klärung beitragen können.

Aus mathematischer Sicht weisen die Spontanphänomene eine Reihe von Besonderheiten auf, die den Einsatz mathematischer Verfahren erschweren können. Dazu gehören u.a. ein wesentlicher Anteil von qualitativen Daten und die Unmöglichkeit einer vollständigen Datensammlung.

Für das praktische Vorgehen wird vorgeschlagen, von einer speziellen Klassifiaktion der Spontanphänomene auszugehen, die auf dem Vorhandensein oder Fehlen eines intelligenten Urhebers und auf der Existenz und Art einer dem Phänomen zugrundeliegenden Kommunikationsabsicht beruht. Hierdurch erhält man eine erste Orientierung über die in Betracht kommenden mathematischen Methoden.

Zwei Methoden, nämlich das Rechnen mit verknüpften Wahrscheinlichkeiten und die Automatische Klassifikation (cluster analysis) werden mit einiger Ausführlichkeit behandelt; zwei weitere, und zwar die Spieltheorie und die Theorie der fuzzy sets werden kurz skizziert.

Zum Abschluß wird erörtert, inwieweit von den mathematischen Verfahren eine Glättung oder Ausgleichung von Beobachtungsfehlern erwartet werden kann, und welcher Art die Wechselbeziehungen zwischen Beobachtung und Theoriebildung sind. Der Verfasser kommt zu dem Ergebnis, daß mathematische Analyseverfahren - die richtige Auswahl und Anwendung vorausgesetzt - nicht nur dazu dienen können, Folgerungen aus vorhandenem Material abzuleiten, sondern auch dazu Forschungsstrategien aufzuzeigen. Daher ist der Einsatz mathematischer Verfahren zur Analyse von Spontanphänomenen bereits in einer relativ frühen Phase der Forschung sinnvoll.

Mathematische Verfahren zur Analyse theoretisch nicht voraussagbarer Phänomene

Dr. Leo FERRERA

1. Die Problematik der Spontanphänomene

1.1 Definition und Beispiele

Welche Phänomene theoretisch nicht vorhersagbar sind, hängt von dem Erkenntnisstand der jeweiligen Gesellschaft ab. Früher wurden Kometen, Sonnen- und Mondfinsternisse dazu gezählt; heute gehören dazu u.a. Meteoriten, Kugelblitze, Erdbeben, Seuchen, neuartige Erfindungen und Erkenntnisse, Unfälle, Straftaten, Gerüchte, Modetorheiten, und nicht zuletzt die Phänomene aus dem weiten Gebiet der Grenzwissenschaften.

Diese Phänomene sollen kurz als Spontanphänomene bezeichnet werden, ohne daß dadurch ein personifizierter Träger eines Willens impliziert sein soll. Die Einordnung in diese Kategorie bedeutet auch keineswegs, daß ein Phänomen akausal oder grundsätzlich unerklärbar sein muß.

1.2 Die Reaktionen der Menschen am Beispiel der Meteoriten

Die unterschiedlichen Reaktionen der Menschen auf Spontanphänomene sollen anhand des Beispiels der Meteoriten illustriert werden, deren Existenz ja heutzutage nicht mehr umstritten ist. (s. Anm. 1)

In der Antike waren die Meteoriten Gegenstand religiöser Verehrung, später galten sie als Ausdruck des Zorns Gottes. Hingegen wurde in der Aufklärung die Möglichkeit ihrer Existenz als absurd bezeichnet. Namhafte Autoritäten bestritten ihre Existenz, andere wiederum beriefen sich auf diese Autoritäten. Dabei ergaben sich auch Fehldeutungen des vorhandenen Materials, das z.B. von Lavoisier als Eisenkies eingeordnet wurde.

Als erster trat Chladni (1756 - 1827) entgegen der herrschenden Meinung für die Faktizität dieses Phänomens ein. Dabei stieß er auf eine massive moralische Diffamierung, selbst von Seiten angesehener Wissenschaftler. Anzumerken ist, daß Chladni Jurist gewesen war, bevor er sich den Naturwissenschaften zuwandte, und daher wahrscheinlich mit der Bewertung von Zeugenaussagen vertraut war.

1.3 Die allgemeine Rezeptionsproblematik

Es ist keineswegs gewährleistet, daß der Mensch Spontanphänomene vorbehaltlos zur Kenntnis nimmt und sich danach um eine vernünftige Erklärung bemüht. Vielmehr kann stets eine Rezeptionsproblematik auftreten, insbesondere bei Vorliegen erschwerender Umstände, die noch zu erörtern sind.

Diese Fehlhaltung kann sich einerseits in einer Mystifizierung, andererseits in einem Bestreiten der Faktizität äußern. In beiden Fällen beobachten wir dasselbe Spektrum von Verhaltensweisen: autoritative Behauptungen und die Berufung auf Autoritäten, Diffamierung der Andersdenkenden, und schließlich gar eine Störung der Wahrnehmungs- und Kommunikationsvorgänge (selektive Wahrnehmung, Informationsfilterung), soweit sie sich auf die genannten Phänomene beziehen.

Die Rezeptionsproblematik wird insbesondere dann gravierend, wenn die fraglichen Phänomene selten auftreten oder wenn sie sich mit dem jeweiligen Weltbild schwer vereinbaren lassen. Nachdrücklich ist darauf hinzuweisen, daß die Rezeptionsproblematik durch die objektive Beweislage kaum beeinflußt wird. So wurde Jahrtausende lang an unbewiesene Phänomene geglaubt, etwa an Drachen als Erklärung von Eklipsen; andererseits bestanden trotz handgreiflicher Beweise Zweifel, wie u.a. das Beispiel der Meteoriten zeigt. (s. Anm. 2)

2. Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung mathematischer Methoden

2.1 Verborgene Eigenschaften und Zusammenhänge innerhalb umfangreicher Datenbestände

Angesichts dieser Umstände wird die Frage akut, inwieweit man mathematische Analysemethoden zu einer objektiven Klärung heranziehen kann.

In erster Linie kommt die mathematische Statistik in Betracht; einige neuere Spezialgebiete treten hinzu. Gleich vorweg ist vor einem Mißverständnis zu warnen. Endzweck all dieser mathematischen Hilfsmittel soll es nicht sein, Gegner zu überzeugen - die Rezeptionsbereitschaft wird wohl durch mathematische Deduktionen ebensowenig beeinflußt wie durch materielle Beweisstücke - sondern das Datenmaterial "zum Sprechen zu bringen", d.h. verborgene Eigenschaften und Zusammenhänge zwischen Einzeldaten aufzudecken.

2.2 Nichtreproduzierbare Phänomene und die statistische Methode

Zunächst sollen einige verbreitete Irrtümer über die Brauchbarkeit der statistischen Methode und die Voraussetzungen ihres Einsatzes kurz erörtert werden. Die wichtigsten sind:

1. der volkstümliche generelle Manipulationsverdacht, auf den wegen seines unwissenschaftlichen Charakters nicht weiter einzugehen ist;

2. die unzutreffende Gleichsetzung der Statistik schlechthin mit der deskriptiven Statistik, wobei die mathematische (schließende) Statistik ignoriert wird;

3. ein veraltetes Wissenschaftsverständnis, das nur streng deterministische Zusammenhänge gelten lassen will;

4. die irrige Auffassung, wonach Reproduzierbarkeit eine Voraussetzung für die Anwendung statistischer Methoden ist.

Zu dem letztgenannten Problem schreibt Schneeweiss:"Entgegen einer verbreiteten Ansicht können objektive Wahrscheinlichkeiten vielfach auch für solche Ereignisse ... berechnet werden, die sich nicht ständig wiederholen, sofern sie sich nur aus anderen Ereignissen zusammensetzen ...,die ihrerseits als beliebig oft wiederholbar gedacht werden können. Dabei kann die Art der Zusammensetzung selbst (historisch) einmalig sein." (Schneeweiss 1967, S. 28)

Die wichtigsten Leistungen der mathematischen Statistik lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Ein erster Vorteil ergibt sich bei der Beschreibung komplexer Tatbestände. Das Material kann verdichtet und übersichtlicher dargestellt werden.

2. Es ergibt sich die Möglichkeit der Schätzung, z.B. des Schlusses von einer Stichprobe auf die Gesamtheit.

3. Es wird möglich, Zusammenhänge innerhalb des Datenmaterials aufzudecken.

4. Das wichtigste, zugleich aber auch schwierigste Anwendungsgebiet ist die Prüfung von Hypothesen. Insbesondere lassen sich Fragen der Art beantworten: Wie wahrscheinlich ist es, daß die vorliegenden Beobachtungen rein zufällig zustande gekommen sind?

2.3 Die Kontroverse über die Anwendbarkeit der Statistik und die Interpretation der Ergebnisse in umstrittenen Forschungsgebieten

Gerade die zuletzt angedeutete Frage nach der Signifikanz bedarf einer gründlichen Erörterung. Es handelt sich hier um einen Diskussionsgegenstand, bei dem es bereits genug Mißverständnisse und unzulässige Vereinfachungen gegeben hat. (s.Anm.3)

Die Problematik ist um die beiden Begriffe "Ereigniswahrscheinlichkeit" und "Hypothesenwahrscheinlichkeit" konzentriert. Die Ereigniswahrscheinlichkeit bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines bestimmten Ereignisses (z.B. der Ziehung einer bestimmten Zahlenfolge beim Lotto). Hingegen bezieht sich die Hypothesenwahrscheinlichkeit auf die Zuverlässigkeit von Aussagen, etwa der Aussage: "Jeder Würfelseite kommt die Wahrscheinlichkeit 1/6 zu."

Die Kritik richtet sich nun gegen eine Gleichsetzung oder Vermischung der beiden Begriffe. Popper (1969, S. 150) spricht von "Wahrscheinlichkeitsmetaphysik"; ähnlich äußern sich auch Bridgman (1956) und Tornier (1959). Nach Hengst (1966, S.130) bezieht sich die Irrtumswahrscheinlichkeit "stets auf eine Eigenschaft des Schlußverfahrens, nicht aber seines Ergebnisses."

Aus statistischen Auffälligkeiten kann man also nicht auf die Existenz von Ursachen schließen. Begriffe wie "Antizufallswahrscheinlichkeit", "Signifikanz" usw. können rein mathematisch nicht gestützt werden (Tornier 1959, S. 111).

Trotzdem läßt Popper die Wahrscheinlichkeitsaussagen der Physik zu. Er spricht vom "methodologischen Beschluß, Effekte, reproduzierbare Gesetzmäßigkeiten niemals auf gehäufte Zufälle zurückzuführen" (Popper 1959, S. 153).

Was würde es denn praktisch bedeuten, wenn jemand z.B. trotz einer Hypothesenwahrscheinlichkeit von 99 Prozent eine Hypothese ablehnt? Dies ist dann doch wohl der Ausdruck einer subjektiven Voreingenommenheit. Wenngleich die Statistik keine Beweismethode darstellt, ist sie doch eine Forschungsmethode. "Die signifikante Abweichung des beobachteten vom erwarteten Wert hat ... Signalcharakter. Sie fordert dazu auf, durch weitere Hypothesenbildung ... der möglichen Ursache auf die Spur zu kommen". (Mischo 1974, S. 133).

3. Strategien des Vorgehens

3.1 Eigentümlichkeiten der Spontanphänomene aus mathematischer Sicht

Wenn man die Spontanphänomene im Hinblick auf die Anzahl eines mathematischen Auswertungsverfahrens betrachtet, so können folgende Besonderheiten auftreten:

1. Die Phänomene sind nicht reproduzierbar.

2. Es ist nicht gewährleistet, daß alle Phänomene der betrachteten Art, die während des festgelegten Erfassungszeitraumes aufgetreten sind, in die Statistik eingehen (Dunkelziffer in der Kriminalstatistik, nicht gemeldete Erkrankungen in Morbiditätsstatistiken usw.).

3. Es liegen (neben anderen oder ausschließlich) qualitative Merkmale vor.

4. Möglicherweise ist ein Schema von Merkmalen nicht vorhanden, sondern erst aus dem Material zu erarbeiten.

5. Es ist damit zu rechnen, daß nicht in allen Aufzeichnungen alle Merkmale besetzt sind. (z.B. kann in einem Unfallbericht die Rubrik "Zeuge des Unfalls" leer sein.).

6. Es handelt sich um "offene Mengen" (Hengst 1966, S. 40), freilich nicht im Sinne der Topologie, sondern derart, daß jederzeit weitere Elemente hinzutreten können. (Dies gilt selbst dann, wenn man sich von vorneherein auf Phänomene beschränkt, die innerhalb eines gewissen Zeitraums vorgefallen sind, da nämlich Meldungen hierüber noch nachträglich auftauchen können.)

All diese besonderen Eigenschaften, ja selbst ihr gemeinsames Auftreten, schließen einen erfolgreichen Einsatz statistischer Methoden nicht aus. Dies zeigen u.a. Kriminal- und Unfallstatistiken.

3.2 Vorschlag einer Klassifikation der Spontanphänomene

Nicht zuletzt unter dem Gesichtspunkt der Auswahl mathematischer Verfahren dürfte sich folgende Einteilung der Spontanphänomene als praktisch erweisen:

Typ 1: Hierzu gehören alle Spontanphänomene, die ohne Absicht eines intelligenten Urhebers auftreten (z.B. die erwähnten Naturphänomene, ferner Unfälle).

Typ 2: Diese~~n~~ werden durch einen Urheber mit Kommunikationsabsicht ausgelöst (Beispiele: Werbefeldzüge, Eintragungen einer Erfindung, veröffentlichte Innovationen).

Typ 3: Diese gehen ebenfalls auf einen intelligenten Urheber, jedoch ohne Kommunikationsabsicht, zurück (Beispiele sind die meisten Straftaten, aber auch unveröffentlichte Innovationen).

Typ 4: Hierzu sollen Spontanphänomene mit intelligentem Urheber gezählt werden, bei denen erschwerende Bedingungen hinzutreten, insbesondere:

a) Rivalität zwischen den Beteiligten

b) Verschleierungsabsicht.

Ein Beispiel zu 4 a sind Delikte rivalisierender Banden, die sich durch Beweismittelfälschungen gegenseitig zu belasten versuchen. Zu 4b gehören die in der Soziologie übliche Methode der unerkannten Beobachtung und die sog. Desinformation.

3.3 Zusammengesetzte Wahrscheinlichkeiten

Unter ausdrücklichem Hinweis auf die Vorbehalte~~n~~ in Abschnitt 2.3 soll hier in großen Zügen die Möglichkeit der Verknüpfung von Wahrscheinlichkeiten dargestellt werden.

Es mögen n Berichte über ein umstrittenes Phänomen vorliegen. Dabei sei p_i die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Bericht i eine Falschmeldung ist. Unter diesem etwas farblosen Ausdruck sollen alle unzutreffenden Berichte ohne Rücksicht auf die Fehlerursache (Irrtum, Täuschung, Störung bei der Informationsübermittlung usw.) zusammengefaßt werden. Man kann davon ausgehen, daß $p_i < 1$ ist, da man die erkennbaren Falschmeldungen gar nicht in die Analyse einbeziehen wird (das Vorliegen von einwandfreien Falschmeldungen schließt ja die Korrektheit anderer Berichte und die Faktizität des strittigen Phänomens nicht aus). Ebenso kann man $p_i > 0$ voraussetzen, da ja sonst die Frage nach der Faktizität bereits positiv entschieden wäre.

Unter der Voraussetzung, daß die Berichte unabhängig sind, ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß alle Falschmeldungen sind, gleich $p_1 p_2 \ldots p_n$. Dieses Produkt aus Zahlen zwischen 0 und 1 ist kleiner als der kleinste darin vorkommende Faktor. Mit jedem nachträglich hinzukommenden Bericht wird es abermals kleiner.

Die Wirksamkeit dieser Formel soll durch zwei einfache Zahlenbeispiele veranschaulicht werden. Es mögen 100 Berichte vorliegen, die alle mit 99 % Wahrscheinlichkeit falsch sind. Dann ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß alle falsch sind, gleich

0,366 (36,6 %; mit 63,4 % ist mindestens ein Bericht zutreffend!). Würden 1000 solcher Berichte vorliegen, so läge die zusammengesetzte Irrtumswahrscheinlichkeit bei rund 1 : 23000.

Noch geringere Irrtumswahrscheinlichkeiten ergeben sich, wenn man nicht mehr nach diesem groben Verfahren jeden Bericht auf eine einzige Zahl (p_i) reduziert, sondern den Inhalt der Berichte im Detail berücksichtigt.

Hierzu ein Beispiel: Im Zeitalter der Entdeckungsreisen haben zwei Forscher unabhängig voneinander über ein bislang unbekanntes pflanzenfressendes Tier mit einem Horn auf der Nase berichtet. Die zusammengesetzte Irrtumswahrscheinlichkeit lautet nun: $p_1q_1p_2q_2$. Dabei ist p_i die Wahrscheinlichkeit einer Falschmeldung des Beobachters i bezüglich des Merkmals "pflanzenfressend" und q_1 entsprechend für das Merkmal "Horn auf der Nase".

Differenzierte Auswertungen, z.B. mit Hilfe der bedingten Wahrscheinlichkeiten (Bayessche Statistik) sind möglich, doch muß der Überblick an dieser Stelle abbrechen.

Die kritischen Punkte kann man wie folgt zusammenfassen:

1. Die Frage nach der Unabhängigkeit der Berichte kann sehr schwierig, muß aber nicht unlösbar sein. Keinesfalls darf man sich sofort mit dem naiven Argument zufriedengeben, daß doch nur einer vom anderen abgeschrieben habe. Gerade dann, wenn Meldungen über umstrittene Phänomene (und insbesondere die Details!) aus dem Kommunikationsnetz herausgefiltert werden, verliert jenes Argument an Überzeugungskraft.

2. Auch die Schwierigkeiten bei der Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten sollen nicht bagatellisiert werden. Doch dürften diejenigen irren, die ohne Kenntnis des bislang entwickelten Instrumentariums dieses Problem für unlösbar halten. (s.Anm.4)

3. Die Ergebnisse dürfen nicht falsch interpretiert werden. In jedem Falle handelt es sich um eine Ereigniswahrscheinlichkeit, nämlich die Antwort auf die Frage:"Mit welcher Wahrscheinlichkeit sind alle Berichte Falschmeldungen (in dem oben definierten Sinne)?". Auf den grundsätzlichen Unterschied zu Hypothesenwahrscheinlichkeiten (vgl. 2.3) wurde bereits hingewiesen.

4. Man erhält auf diesem Wege keine Auskunft über Hintergründe und Ursachen. (So kann man in dem genannten Beispiel nicht klären, wie die Hörner auf die Nasen und die Nashörner in den Urwald gelangt sind.)

3.4 Automatische Klassifikation

Unter den neueren mathematischen Spezialgebieten ist an erster Stelle die Automatische Klassifikation (s. Anm. 5) in Betracht zu ziehen. Sie zielt darauf ab, Objekte, die durch eine Reihe von Merkmalsausprägungen charakterisiert sind, aufgrund eines vorgegebenen Ähnlichkeitskriteriums in Teilmengen (clusters) einzuteilen. Dadurch soll eine möglicherweise vorhandene Struktur der Objektmenge sichtbar gemacht werden.

Das Gebiet der Automatischen Klassifikation umfaßt eine Vielfalt von Verfahren, die teils deterministischer, teils statistischer Art sind. Einige der statistischen Verfahren kann man als Weiterentwicklung der Diskriminanzanalyse ansehen. Praktische Anwendungen findet man bereits in recht unterschiedlichen Disziplinen, zu denen u.a. Biologie, Psychologie, Soziologie, Astrophysik, Werkstoffkunde und maschinelle Zeichenerkennung (pattern recognition) gehören.

Der Begriff "Klassifikation" ist natürlich sehr umfassend. Überspitzt ausgedrückt, könnte man auch die Einteilung von Sätzen in wahre und falsche als "Klassifikation" ansprechen. In der Hauptsache handelt es sich hier aber um Aufgaben folgender Art:

1. Zerlegung einer Gesamtheit in Teilmengen (clusters) $C_1, C_2, \ldots, C_n$,
2. Testen der Hypothese, wonach ein Objekt einer Teilmenge C_i angehört.

Durch die Bezeichnung der Methode darf man sich nicht zu der Annahme verleiten lassen, daß alles "automatisch", ohne eigenes Zutun abliefe. Vielmehr sind Kriterien für die Einteilung vorzugeben - in Betracht kommen etwa die Minimierung der Abstände innerhalb der Teilmenge oder die Maximierung der Distanzen zwischen den Teilmengen - und das jeweils geeignetste Verfahren muß ausgewählt werden. Besonders die Behandlung von qualitativen Daten erfordert Kenntnisse der Skalierungsmethoden.

3.5 Weitere mathematische Hilfsmittel

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollen hier zwei weitere Gebiete erwähnt werden, nämlich die Spieltheorie und die Theorie der "fuzzi sets".

Die Spieltheorie befaßt sich mit "strategischen Spielen", die gegen die reinen Glücksspiele abgegrenzt werden. Bei einem strategischen Spiel können die Spieler zwischen mehreren Handlungsalternativen wählen, wobei der Erfolg ("Auszahlung") eines Spielers von seiner eigenen Entscheidung und denen der Mitspieler abhängt.

Im ursprünglichen Konzept wurden nur Spiele zwischen mehreren intelligenten Gegenspielern betrachtet. Doch lassen sich auch individuelle Entscheidungssituationen-z.B. die Disposition über Anzahl und Ort der Versuchsbohrungen bei der Ölsuche - als sog. "Spiele gegen die Natur" auf das Grundmodell zurückführen. Die Spieltheorie behandelt auch Situationen mit unvollständiger Information, mit Zufallseinflüssen, mit Koalitionen zwischen Spielern (bei mehr als 2 Parteien) und den Einfluß des Bluffens (s. Anm.6) Es ist offensichtlich, daß die Spieltheorie besonders bei Phänomenen des Typs 4 (vgl. 3.2) in Betracht kommt.

Ein neueres Spezialgebiet ist die Theorie der "fuzzy sets", die 1965 von Zadeh begründet wurde. Eine deutsche Übersetzung des Begriffs scheint sich noch nicht durchgesetzt zu haben - am ehesten könnte man vielleicht von "verschwommenen Mengen" sprechen. Es handelt sich um eine Verallgemeinerung der üblichen

Mengendefinition. Stellt man eine herkömmliche Menge durch eine scharf berandete, schwarz gedruckte Figur auf weißem Papier dar, dann entspricht eine verschwommene Menge einer Darstellung, bei der die im Innern anzufindende schwarze Farbe an den Rändern kontinuierlich in immer heller werdende Grautöne übergeht, bis diese weiter außen unmerklich in dem weißen Umfeld verschwinden.

Die Theorie beruht auf einer streng mathematischen Definition. In der herkömmlichen Mengenlehre gilt eine charakteristische Funktion $f(x; M)$ derart, daß $f(x;M) = 1$ ist, wenn x der Menge M angehört, wogegen $f(x; M) = 0$ ist, wenn x nicht Element von M ist. Bei den verschwommenen Mengen kann nun f jeden beliebigen Wert zwischen 0 und 1 annehmen. Zur Veranschaulichung könnte man sagen, daß ein Element x "nur bedingt" zur Menge M gehöre, doch muß sich hierbei vor falschen Analogien zum Wahrscheinlichkeitsbegriffen in acht genommen werden. Verschwommene Mengen wären etwa die Mengen der Dumm- oder der Glatzköpfe, da niemand eine strenge Abgrenzung angeben kann.

Bei der Beurteilung dieser Theorie muß man sich davor hüten, sich von sprachlichen Assoziationen oder sonstigen gefühlsmäßigen Eindrücken leiten zu lassen (dies würde nur zu Mißverständnissen von der Art führen, wie sie oft genug gegen Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik vorgebracht worden sind.) In Wahrheit nämlich handelt es sich um eine streng mathematische Theorie, die allen in der Reinen Mathematik üblichen Kriterien gerecht wird. Diese Theorie liefert eine "Logik der unexakten Größen" (Goguen, 1967, S. 147). Sie bietet Aussicht auf Erfolg auch in Fällen, wo die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung schwierig erscheint, weil man z.B. die zugrundeliegenden Verteilungen schlecht abschätzen kann oder weil Unsicherheit über die statischen Annahmen (Unabhängigkeit usw.) besteht. (Goguen 1967, S. 145).

Bisher bekannt gewordene Anwendungen beziehen sich auf eine große Vielfalt von Fachgebieten, u.a. Wirtschaftswissenschaften, Biologie, Psychologie, Soziologie, Linguistik, Informationstheorie, Entscheidungstheorie, maschinelle Zeichenerkennung und Automatische Klassifikation. Insgesamt ist festzustellen, daß es sich um eine schwierige, aber äußerst leistungsfähige Methode handelt, deren volle Reichweite noch gar nicht abgeschätzt werden kann. (s. Anm. 7)

4. Die Rolle der mathematischen Analyseverfahren im Erkenntnisprozeß

Mathematische Analyseverfahren können dazu dienen, umfangreiche Datenbestände übersichtlich zu ordnen und darzustellen, Folgerungen aus den Daten abzuleiten und Forschungsstrategien zu entwickeln.

Bei all dem soll nicht außer acht gelassen werden, daß alle Daten fehlerbehaftet sind. Die Fehlerhaftigkeit der Daten ist kein gültiges Argument gegen die Brauchbarkeit mathematischer Methoden - fehlerbehaftet sind schließlich auch alle naturwissenschaftlichen und technischen Messungen. Im Gegenteil wurde eine spezielle mathematische Theorie dazu entwickelt, dieser Tatsache gerecht zu werden, nämlich die Fehler- und Ausgleichsrechnung. Bei den zuvor beschriebenen Methoden, die sich zur Analyse von Spontanphänomenen besonders eignen, ist jedenfalls teilweise eine Ausgleichung von Fehlern möglich. Dies gilt mit Sicherheit bei den originär statistischen Verfahren. Wie erwähnt, sind Verfahren der Automatischen Klassifikation teilweise auf statistischen Methoden aufgebaut; inwieweit hier eine Ausgleichung von Fehlern möglich ist, läßt sich noch nicht abschließend beurteilen. Auf keinen Fall soll die Möglichkeit einer Fehlerausgleichung Nachlässigkeiten bei der Datensammlung rechtfertigen; eine korrekte Datensammlung kann auch nicht durch hochgezüchtete mathematische Analyseverfahren ersetzt werden.

Die mathematische Analyse ist der Datensammlung weder zeitlich noch logisch nachgeordnet; vielmehr stehen Datensammlung und Theoriebildung in einer ständigen Wechselbeziehung. Nicht nur daß die Daten den Ausgangspunkt der theoretischen Analysen bilden, auch umgekehrt können Ergebnisse der theoretischen Erwägungen die Datensammlung beeinflussen. Man kann nun einmal nicht beliebig viele Experimente, Beobachtungen oder Zeugenbefragungen anstellen. Hier sind Zwischenergebnisse der Theoriebildung unentbehrlich, die Hinweise darauf geben, wo und wie weitere Daten zu sammeln sind und worauf hierbei besonders zu achten ist. (s. Anm. 8)

Gewiß besteht die Gefahr, daß eine theoretische Voreinstellung Zeugenbefragungen und Aufschreibungen "färbt". Doch kann dieser Gefahr begegnet werden, allein schon dadurch, daß man sich ihrer bewußt ist, im übrigen kann man Datensammlung und Theoriebildung personell trennen, was sich ja auch nach Temperament, Kenntnisstand und Interessenschwerpunkt der beteiligten Forscher anbietet.

Es gibt in der Wissenschaftsgeschichte eindrucksvolle Beispiele dafür, daß angesehene und einflußreiche Gelehrte behaupteten, es sei für eine Theoriebildung noch zu früh, und man müsse sich bis auf weiteres auf die Materialsammlung beschränken, wobei diese Auffassung in relativ kurzer Zeit durch Erfolge anderer Forscher widerlegt wurde. Eine verspätete Theoriebildung kann sich genau so fatal auswirken wie das Gegenteil, nämlich das voreilige Aufstellen ungeprüfter Behauptungen; in einem Falle zumindest hat die zitierte Einstellung eine wissenschaftliche Disziplin in einem Lande um Jahrzehnte zurückgeworfen und vom internationalen Fortschritt isoliert. (s. Anm. 9)

Aus all den dargelegten Gründen ergibt sich die Schlußfolgerung: Der Einsatz mathematischer Verfahren zur Analyse von Spontanphänomenen ist nicht nur möglich und sinnvoll, sondern geradezu eine Notwendigkeit, und zwar bereits in einer relativ frühen Phase des Erkenntnisprozesses.

Und noch eine letzte Bemerkung über die menschliche Voreingenommenheit und die Grenzen des menschlichen Urteilsvermögens. Es gibt zwingende Beweise dafür, daß die menschliche Fähigkeit zur Informationsverknüpfung ebenso beschränkt ist, wie die Kapazität des Gedächtnisses. Insbesondere kommt es zu Fehlern bei der intuitiven Urteilsbildung.

"Der Versuch, aus zahlreichen richtig erkannten Einzelphänomenen intuitiv ein Gesamturteil zu bilden, führt im allgemeinen zu ziemlich schlechten Ergebnissen, wenn die einzelnen Elemente in komplizierter Weise zusammenhängen und zum Teil einander widersprechen. Der Mensch ist nach Edwards ein konservativer Datenverarbeiter: sein Gesamturteil reagiert viel zu wenig empfindlich gegenüber wirklich erheblichen Veränderungen der Lage; er bleibt im allgemeinen bei einem "normalen", "mittleren", "bisher akzeptierten" Urteil, auch wenn er alle Einzelheiten der veränderten Lage richtig erkannt hat." (Krelle 1968, S. 344; Hervorhebung im Original)

Das Ergebnis, das bei Krelle unter dem Begriff "konservative Verzerrung der intuitiven Datenverarbeitung" zusammengefaßt wird, stützt sich auf psychologische Experimente (s. Anm.10). Diese zeigen unter anderem, daß der Mensch bei der intuitiven Verknüpfung von einfachen Wahrscheinlichkeiten zu Schätzungen kommt, die in extremer Weise vom wahren Wert abweichen; bezüglich solcher Leistungen ist also der Kalkül dem nicht-kalkülisierten menschlichen Denken eindeutig überlegen. Es bleibt - zumindest in Problemsituationen der geschilderten Art - nichts anderes übrig, als sich des Formalismus zu bedienen.

Symptomatisch ist auch die Entwicklung Einsteins, der ursprünglich unter dem Einfluß von E. Mach der Allgemeinen Relativitätstheorie ablehenend gegenübergestanden hatte, aber schließlich im Verlaufe seiner Forschungen zu einer positiven Beurteilung gelangte. Hierzu bemerkt Süssmann (1964, S. 57) - selbst angesichts eines Genies wie Einstein - daß Formeln und Theorien oft klüger sind als ihre Autoren.

Anmerkungen

1) Stark verkürzt und frei wiedergegeben nach Heide 1957, S. 64 - 67

2) Wollte man die Logik gewisser Gegner der Parapsychologie übernehmen, so könnte man "beweisen", daß es keine Erdbeben gibt: Jedermann weiß, daß der Erdboden etwas Festes und Solides ist. In den gelegentlichen Meldungen über angebliche "Erdbeben" - die übrigens recht häufig in der Sauregurkenzeit verlauten - äußert sich die Außenprojektion einer subjektiv empfundenen Unsicherheit und allgemeinen Lebensangst, die sich bei geeigneten psychosozialen Bedingungen auch zu einer Massenpsychose steigern kann. Schäden an Gebäuden lassen sich in natürlicher Weise durch Materialermüdung und Erschütterungen, etwa bei der Vorbeifahrt schwerer Lastzüge, erklären. Und schließlich ist bei den angeblichen seismographischen Aufzeichnungen nicht mit Sicherheit auszuschließen, daß jemand in betrügerischer Absicht dem Gerät einen Fußtritt versetzt hat.

3) Soweit nicht andere Autoren zitiert werden, folgt die Darstellung in verkürzter und freier Wiedergabe dem Aufsatz von Mischo 1974, auf den hier nachdrücklich hingewiesen wird.

4) Zu erwähnen ist u.a. der Ratetest nach Shannon, vgl. z.B. Weltner 1970

5) In der englischen Literatur "cluster analysis". Als derzeit umfassendste Darstellung in deutscher Sprache ist das Buch von Bock 1974 zu nennen (dort weitere Nachweise S. 435 - 467).

6) Eine kurzgefaßte Übersicht bringt Morgenstern 1956

7) Eine lehrbuchmäßige Darstellung bringt Kaufmann 1975, einen Überblick über neuere Anwendungen bietet der von Zadeh u.a. 1975 herausgegebene Sammelband.

8) Ein interessantes historisches Beispiel bringen Neumann & Morgenstern (1967, S. 3): "Die genauen Messungen von Quantität und Qualität der Wärme (Energie und Temperatur) waren das Ergebnis und nicht die Voraussetzung der mathematischen Theorie."

9) Gemeint ist die sog. jüngere historische Schule der deutschen Nationalökonomie, vgl. Schneider 1965, S. 295 - 331. Schneider bezeichnet den Einfluß dieser Schule als "verhängnisvoll" (S. 325 und 331).

10) Insbesondere des bereits zitierten Ward Edwards. Nachweise bei Krelle 1968, S. 344 - 347.

BOCK, H.H. 1974: Automatische Klassifikation. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht

BRIDGMAN, P.W. 1956: Probability, Logic and ESP. Science <u>123</u>: 15 - 17

GOGUEN, J.A. 1967: L-fuzzy sets. Journal of Mathematical Analysis and Applications <u>18</u>: 145-174

HEIDE, F. 1957 Kleine Meteoritenkunde. Berlin: Springer (2. Aufl.)

HENGST, M. 1967: Einführung in die mathematische Statistik und ihre Anwendung. Mannheim: Bibliogr. Institut

KAUFMANN, A. 1975: Introduction to the theory of fuzzy subsets, vol. 1. New York: Academic Press

KRELLE, W. 1968: Präferenz- und Entscheidungstheorie. Tübingen: Mohr

MISCHO, J. 1974: Parapsychische Phänomene im quantitativ-statistischen Modell - ein Roulette für "übersinnliche" Schlußfolgerungen? Teil I: Thesen der Kritiker. Zeitschrift für Parapsychologie und Grenzgebiete der Psychologie <u>16</u>: 125-147

MORGENSTERN, O.1956: Art. "Spieltheorie". Handwörterbuch der Sozialwissenschaften, Band 9, S.706-713

NEUMANN, J.v. & MORGENSTERN, O. 1967: Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten. Würzburg: Physica (2. Aufl.)

POPPER, K. 1969: Logik der Forschung. Tübingen: Mohr

SCHNEEWEISS, H. 1967: Entscheidungskriterien bei Risiko. Berlin: Springer

SCHNEIDER, E. 1965: Einführung in die Wirtschaftstheorie, IV. Teil, 1. Band. Tübingen: Mohr (2. Aufl.)

SÜSSMANN, G. 1964: Die Rolle von Erfahrung und Denken bei Albert Einstein. In: Das Verhältnis von Denken und Erfahrung im wissenschaftlichen Erkennen, hrsg. v. E. Denninger u.a., Mainz, S. 51 - 59

TORNIER, E. 1959: Die Arbeitshypothese "Antizufallswahrscheinlichkeit" - ihr Ursprung und ihre Grenzen. Zeitschrift für Parapsychologie und Grenzgebiete der Psychologie 3: 90-119

WELTNER, K. 1970: Informationstheorie und Erziehungswissenschaft. Quickborn: Schnelle

ZADEH, L.A. 1965: Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes. New York: Academic Press

Summary

MATHEMATICAL PROCEDURE FOR ANALYZING THEORETICALLY UNPREDICTABLE PHENOMENA

by Dr. Leo Ferrera

Typical reactions of men to spontaneous phenomena are analyzed by discussing historical examples. On the one hand one finds a tendency toward mysticism whilst on the other hand the factual nature of the phenomena is denied. Because of this, the reception the data receive is scarcely influenced by the objective quality of data and evidence. Therefore the question becomes essential for what extent mathematical methods of evaluation can be helpful for an objective judgement.

From the mathematical viewpoint, spontaneous phenomena present a series of peculiarities that can make the use of these procedures difficult. Among other things, these peculiarities include a substantial portion of qualitative data as well as the impossibility of a complete collection of all data pertaining to some type of phenomenon.

A practical strategy is proposed here to start from a special classification of spontaneous phenomena. This classification is based on the presence or absence of an intelligent originator of the phenomena and on the existence and nature of an underlying intention to communicate. By this means one receives a first orientation concerning the mathematical methods that come into consideration.

Two methods, namely the application of probabilities for composite events and cluster analysis are discussed in some detail. Two other methods, game theory and the theory of fuzzy sets, are briefly sketched.

Finally, the smoothing and compensation of the observational errors that can be expected from mathematical methods as well as the nature of the interrelations between observation and theory development are discussed. The author comes to the conclusion that mathematical analyzing methods, assuming the correct choice and application have been made, can not only serve to derive inferences from the material on hand, but in addition indicate strategies for further research.

Therefore, the introduction of mathematical methods for the analysis of spontaneous phenomena is useful, even in a relatively early phase of the research.