

Zeitschrift:	Mitteilungen / Vereinigung Schweizerischer Versicherungsmathematiker = Bulletin / Association des Actuaires Suisses = Bulletin / Association of Swiss Actuaries
Herausgeber:	Vereinigung Schweizerischer Versicherungsmathematiker
Band:	68 (1968)
Artikel:	Probleme der Kybernetik
Autor:	Gruner, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-966962

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Probleme der Kybernetik

Von W. Gruner, Zürich

Der nachfolgende Artikel ist eine etwas umgearbeitete Fassung eines Referates, das der Verfasser in diesem Frühjahr im Kolloquium der Versicherungsmathematiker in Zürich gehalten hat.

Definition

Was ist Kybernetik?

Das Wort «Kybernetik» stammt aus dem Griechischen und könnte mit «Lehre der Steuerung» übersetzt werden. Der Schöpfer der Kybernetik, *Norbert Wiener*, definiert das neue Wissenschaftsgebiet als «Wissenschaft der Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine».

Abgrenzung

Die Wienersche Definition zeigt schon an, dass diese neue Wissenschaft eine Querverbindung zwischen der organischen und der anorganischen Naturwissenschaft darstellt. Effektiv geht aber diese Querverbindung bedeutend weiter, indem die Kybernetik auch Anwendung in der Soziologie, Nationalökonomie und sogar Pädagogik findet. Sie ist als Brücke einerseits zutiefst mit der Praxis verbunden, andererseits benötigt sie zu ihrem theoretischen Aufbau die abstraktesten Teile der Mathematik und Logik. Ähnlich wie bei der Kybernetik verhält es sich auch bei anderen Disziplinen. Es hat sich – namentlich in den letzten Jahrzehnten – eine Reihe neuer Wissenschaften entwickelt, die einerseits mit der Wirklichkeit direkt verbunden sind, andererseits in ihrem theoretischen Aufbau unzweifelhaft zur Mathematik zählen.

Als ältestes dieser Gebiete ist wohl die Geometrie zu nennen. Im 17. Jahrhundert ist die Wahrscheinlichkeitsrechnung entstanden. Als neuere Gebiete dieser Art erwähne ich die Spieltheorie und die Informationstheorie. Die Kybernetik baut namentlich auf den letztgenannten drei Disziplinen auf.

Objekt der Kybernetik

Was ist das Objekt der Kybernetik? Was soll im Sinne der Wiener-schen Definition geregelt werden?

Das grundlegende Objekt der Kybernetik ist das *System*. Ein System ist ein Ding, das gewisse Zustände annehmen kann. Der Begriff «System» ist dabei so allgemein gefasst, dass darunter praktisch fast jedes Ding verstanden werden kann. Zum Beispiel fällt unter diesen Be-griiff ein Automobil, eine Differentialgleichung, eine Versicherungsgesell-schaft oder die gesamte Volkswirtschaft eines Landes. In der heutigen kybernetischen Literatur wird häufig statt des Begriffes «System» der Begriff «Maschine» gebraucht, wobei im Begriff der Maschine meist ein bestimmter Zweck mit dem betreffenden System verbunden ist. Es ist dabei durchaus möglich, dass – je nach der vorliegenden kybernetischen Untersuchung – das gleiche System auf verschiedene Zwecke hin geprüft wird. So kann z. B. ein Automobil als Maschine zum Zwecke der Ortsver-änderung angesehen werden. Im nationalökonomischen Bereich kann jedoch das Automobil auch als Maschine betrachtet werden, für die eine Garage gemietet werden muss. Wir werden im Folgenden gelegentlich als Beispiel ein System betrachten, das zur Herstellung von Gruppenversi-cherungsofferten dienen soll. Dabei ist es zunächst gleichgültig, ob diese Herstellung konventionell mit Tischrechenmaschinen erfolgt oder mit Hilfe eines Computers. Es lassen sich aber gerade an diesem Beispiel einige der wichtigen Probleme der Kybernetik beleuchten.

Einteilung der Systeme

In der Kybernetik werden die Systeme nach ganz anderen Kriterien eingeteilt als etwa in der klassischen Naturwissenschaft. Die Kybernetik unterscheidet hauptsächlich nach zwei Kriterien:

1. Determiniertheit,
2. Komplizität.

Nach dem ersten Kriterium unterscheidet man vollständig determi-nierte und probabilistische Systeme. So ist z. B. ein idealer Computer ein determiniertes System. Der reale Computer jedoch, bei dem mit gewissen Ausfällen gerechnet werden muss, ist als ein probabilistisches System anzusehen. Das Gehirn eines Lebewesens ist ohne Zweifel ein probabilisti-

sches System. Das Gedächtnis, das – grob genommen – mit dem Speicher eines Computers verglichen werden kann, behält die aufgenommenen Daten nicht immer auf die Dauer. Es besteht die Möglichkeit des «Vergessens».

Hinsichtlich des Kriteriums der Komplizität werden in der Kybernetik drei Stufen unterschieden:

1. Stufe: einfache Systeme;
2. Stufe: komplizierte Systeme, die aber noch im einzelnen erfasst werden können;
3. Stufe: äusserst komplizierte Systeme, bei denen die Unterlagen und die praktischen Möglichkeiten der detaillierten Beschreibung fehlen.

Die Systeme der 3. Stufe sind immer probabilistisch.

Der abstrakte Begriff des Systems

Wir haben schon oben erwähnt, dass ein System ein Ding ist, das gewisse Zustände annehmen kann. Dabei steht für den Kybernetiker in erster Linie der *Übergang* von einem Zustand in einen anderen im Vordergrund. Jeder solche Übergang kann mathematisch beschrieben werden als Abbildung der Menge seiner Zustände in sich. Bei kontinuierlichem Verlauf der Übergänge wird statt der endlichen Abbildung die infinitesimale Abbildung für die Darstellung des Überganges betrachtet. Die Abbildung ist im allgemeinen nicht für alle Zeiten fest gegeben. Das System erleidet einen gewissen Einfluss von aussen her, der eine Änderung der Abbildung der Menge der Zustände in sich hervorruft. Dieser Einfluss wird als *Input* des Systems bezeichnet.

Andererseits ist das Resultat eines Überganges nicht nur eine Veränderung im inneren Zustand des Systems, sondern das System selbst wirkt auf die Aussenwelt. Diese Auswirkung wird *Output* des Systems genannt.

Mathematisch lässt sich dann das System wie folgt beschreiben:

Bedeutet $x(t)$ der Input im Zeitpunkt t , $z(t)$ der innere Zustand des Systems und $y(t)$ der Output im gleichen Zeitpunkt, so gelten folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned}y(t) &= f(z(t), x(t)) \\z(t+1) &= g(z(t), x(t)).\end{aligned}$$

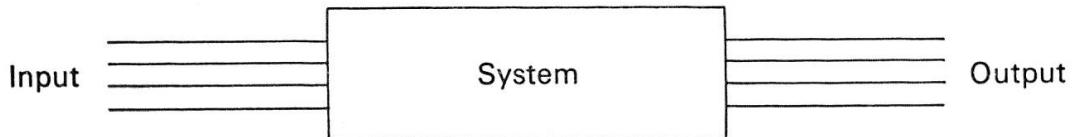
$f(z, x)$ heisst die Ausgabefunktion

$g(z, x)$ die Überführungsfunktion.

Bei kontinuierlicher Betrachtungsweise wird statt $z(t + 1)$ $\frac{dz}{dt}$ durch die Überführungsfunktion bestimmt.

Mit diesen beiden Funktionen ist die kybernetische Struktur der Maschine vollständig beschrieben.

Im allgemeinen werden die Grössen $x(t)$, $y(t)$ und $z(t)$ nicht durch gewöhnliche Zahlen dargestellt, sondern durch Vektoren, d.h. jede dieser Grössen kann aus mehreren Komponenten bestehen. Diese Komponenten sind selbst oft nicht gewöhnliche Zahlen, sondern Grössen, die nur die Werte 0 und 1 annehmen, d.h. sogenannte «Bits». Graphisch lässt sich ein solches System durch einen Kasten darstellen. Die «Drähte» links bedeuten den Input, die «Drähte» rechts den Output.



Am Beispiel der «Gruppenoffertenmaschine» sei die Situation noch näher erläutert. Hier setzt sich der Input einmal aus der Personalliste des Kunden, ferner aus den Wünschen des Kunden und aus den Ideen des Kundenbesuchers zusammen. Schliesslich gehören auch die vorgeschriebenen Gruppentarife mit allen damit verbundenen Regeln zum Input.

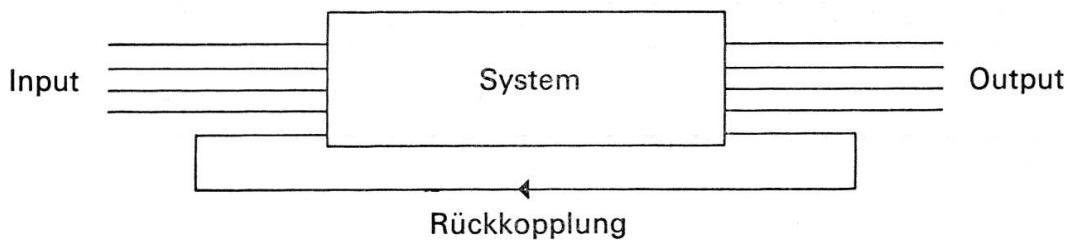
Als Output wird eine Tabelle erscheinen mit entsprechendem Begleittext, die die Resultate der Berechnungen wiedergibt. Während die Personalliste und die Regeln des Gruppentarifes als Teil des Inputs sowie die Ausgangstabelle als Output weitgehend formalisiert sind, d.h. mathematisch erfassbar, liegt in der genauen Beschreibung der Wünsche des Kunden, d.h. der Bemessung der Versicherungsleistungen und Prämien, die eigentliche Schwierigkeit. Es muss zunächst vom Sachbearbeiter ein Formalisierungsprozess stattfinden, der sich meist in einer Art Protokoll niederschlägt, das die Grundlage der nachfolgenden Berechnung bildet. Wir werden am Schluss unserer Betrachtung sehen, dass gerade hier eine der Grenzen der Kybernetik liegt; die Kybernetik muss stets schon von einem vorhandenen Formalismus ausgehen.

Kopplung von Systemen

In der Technik und auch beim Lebewesen lassen sich Systeme zusammensetzen, indem der Output des Systems A zum Input des Systems B wird. Umgekehrt lassen sich auch komplizierte Systeme auf diese Weise in einfache Systeme zerlegen. Dabei können die Ausgabe- und Überführungsfunktionen auf einfachere Funktionen zurückgeführt werden. Lassen sich dabei der Input $x(t)$, der Zustand $z(t)$ und der Output $y(t)$ als «Bitvektoren» darstellen, so kann die Zerlegung der Systeme so weit fortgesetzt werden, bis die Funktionen f und g auf einen einzigen Funktionstypus reduziert sind. Die dabei auftretenden Elementarsysteme lassen sich dann durch einfache elektrische Schaltungen realisieren. Man kommt mit Hilfe dieser Zerlegung direkt auf den Aufbau der heutigen Computer.

Rückkopplung und Regelung

Die Kopplung von Systemen lässt auch den Fall zu, dass ein Teil des Output eines Systems auf den Input des gleichen Systems zurückgeschaltet wird, wie dies die folgende Zeichnung zeigt:



Diese *Rückkopplung* ist in der Kybernetik von fundamentaler Bedeutung. Sie gestattet erst eigentlich die Regelung und Steuerung von Vorgängen. Einer der ältesten Regler im technischen Bereich ist der *Fliehkraftregler bei der Dampfmaschine von Watt*:

Zwei Kugeln sind durch Gelenke mit der senkrechten Achse der Dampfmaschine verbunden. Bei einer eventuellen Erhöhung der Geschwindigkeit der Maschine drehen sich die Kugeln ebenfalls schneller und entfernen sich durch die Zentrifugalkraft von der Achse. Durch diese Bewegung wird ein Ventil der Dampfzufuhr gedrosselt, die Geschwindigkeit sinkt wieder. Damit können automatisch Leerläufe der Maschinen

und eine damit verbundene Zerstörung derselben verhindert werden. Das Prinzip der Rückkopplung ist hier evident. Wichtig ist dabei, dass die Regelung unabhängig davon erfolgt, durch welche Ursache die plötzliche Erhöhung der Geschwindigkeit zustande gekommen ist.

Im biologischen Bereich lassen sich zahlreiche Beispiele solcher Rückkopplungen aufweisen. Man beachte z. B. nur, welche Bewegungen und inneren Vorgänge bei einem Ballspieler vorkommen, der versucht, einen Ball zu fangen. Dabei gehen die meisten Bewegungen vollständig unbewusst vor sich.

Die Regelung eines Systems braucht nicht unbedingt durch eine Rückkopplung beschrieben zu werden. Vielfach wirken die Einflüsse der Aussenwelt direkt auf den Regler, und der Regler wirkt dann seinerseits auf die Maschine. Man kann sich dies in Form eines Spieles vorstellen. Die Störfaktoren der Aussenwelt stellen den einen Spieler dar, der andere Spieler ist der Regler. Ist der Regler selbst kein Mensch, so muss der Erfinder des Reglers diesen so konstruieren, dass seine Strategie immer zum Gewinn führt.

Wir können uns fragen, ob sich bei der oben beschriebenen «Gruppenoffertenmaschine» auch irgendwelche derartigen Überlegungen anstellen lassen. Solange die Gruppenofferte von Hand gerechnet wird, stellt sich hier meistens kein Problem. Auch bei der Berechnung mit Computer ist es natürlich möglich, für jede Offerte ein besonderes Programm zu erstellen. Es lässt sich jedoch, wie im folgenden kurz skizziert wird, ein allgemeines Programm aufstellen, das weitgehend jede Gruppenofferte berechnen kann und somit eine Gewinnstrategie dieses Spielproblems darstellt.

Man geht dabei von folgenden Überlegungen aus: Bei jeder Offerte müssen bestimmte Beziehungen zwischen Leistung, Prämien, Besoldung usw. bestehen. Diese Beziehungen lassen sich in Form eines linearen Gleichungssystems darstellen. Das oben beschriebene Protokoll besteht dann einfach darin, das Gleichungssystem im gegebenen Fall aufzustellen. Die Auflösung desselben kann nun durch ein einheitliches Programm erfolgen. Die Methode, die zu jedem Offertentypus ein eigenes Programm erstellt, würde dagegen schon in einfachen Fällen zu einer Unzahl von Programmen führen. Wird z. B. eine gemischte Versicherung vorgesehen, zusammen mit einer Überlebenszeitrente und einer Waisenrente, und sind ferner sämtliche Größen proportional der Besoldung des Angestellten, so sind schon in diesem Fall mehr als 70 grundsätzlich ver-

schiedene Varianten möglich, wobei selbstverständlich Varianten, bei denen die Prämie einmal 10%, das andere Mal 6% der Besoldung beträgt, nur als eine gezählt sind. Die Zahl der Varianten erhöht sich bedeutend, wenn noch Invaliden- und Invalidenkinderrenten mitversichert sind oder die Leistungen und Prämien zum Teil direkt in Franken vorgeschrieben sein können. Es dürfte an diesem Beispiel ersichtlich sein, dass zumindest Gedanken, die aus der Kybernetik stammen, in der Versicherungslehre Anwendung finden können.

Varietät

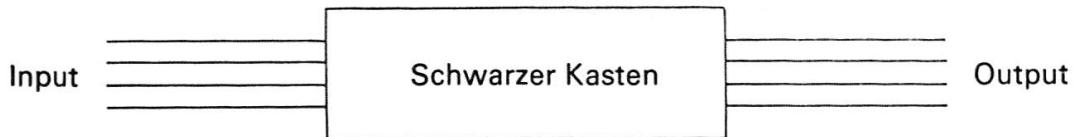
Die Anzahl der möglichen Zustände eines Systems ist ein Mass für seine *Varietät*. Dabei wird als Mass meistens der Logarithmus dieser Anzahl zur Basis 2 genommen. Dass hierbei der Logarithmus zur Basis 2 vorzugsweise verwendet wird, liegt in der Darstellung der Zustände durch Bitvektoren begründet. Vielfach besteht z. B. das System aus einer Kombination von Schaltern, die entweder offen oder geschlossen sein können. Gibt es im System 20 solcher Schalter, so sind offenbar 2^{20} Zustände möglich. Misst man diese mit dem Logarithmus, so ergibt sich genau 20, d. h. gerade die Zahl der Schalter. Auch dann, wenn die Zustände sich nicht auf solche Schalter zurückführen lassen, gibt die Varietät ein gutes Bild. Man sieht auch leicht, dass bei zwei unabhängigen Systemen die logarithmische Varietät die Summe der Varietäten der einzelnen Systeme ist.

Wie früher erwähnt, kann ein Übergang von einem Zustand in einen anderen als Abbildung der Menge der Zustände in sich betrachtet werden. Die Bildmenge ist meistens eine echte Teilmenge der ursprünglichen Menge, d. h. ihr Mass hat sich verringert. Bei der Verarbeitung durch das System geht somit Varietät verloren. Dies ist jedoch oft erwünscht. Erinnern wir uns an die Wirkung einer Klimaanlage in einem Flugzeug. Sie soll die Temperatur, die Feuchtigkeit, den Luftdruck möglichst konstant halten. Der Passagier des Flugzeuges erhält damit eine angenehme Reise, doch geht ihm die Information über den äusseren Wetterverlauf verloren.

Schwarzer Kasten

Wir sind bis jetzt davon ausgegangen, dass das System in seiner Struktur bekannt ist. Namentlich in der Biologie ist es im allgemeinen

nicht möglich, die Struktur eines Systems, z. B. das Gehirn eines Lebewesens, vollständig zu analysieren. Hier behilft man sich mit dem schwarzen Kasten.



Die Zahl der Möglichkeiten ist für die Struktur des schwarzen Kastens ungeheuer, auch wenn die Varietät des Input und Output gering ist. So würde bei einem Input von vier Eingängen und einem Output mit der gleichen Zahl von Ausgängen die Zahl der theoretisch möglichen schwarzen Kästen bereits $16^{16} = 2^{64}$ betragen, auch wenn nur *ein* innerer Zustand vorausgesetzt wird. Zur Erforschung der Struktur des schwarzen Kastens setzt man verschiedene Inputvarianten ein und testet den jeweiligen Output. Dadurch lassen sich gewisse Einsichten hierüber gewinnen. Man kann für irgendeinen Input auf Grund der Testergebnisse die Wahrscheinlichkeit berechnen, mit der ein bestimmter Output erscheinen soll. Der schwarze Kasten ist ein Computer, bei dem die Herstellerfirma vergessen hat, die «Soft-ware» mitzugeben.

Turing-Maschine, Grenzen der Kybernetik

Unter den von der Kybernetik untersuchten Möglichkeiten von Systemen und Maschinen sei hier noch die schon 1936 von A. M. Turing theoretisch aufgestellte Maschine erwähnt. Sie ist gleichsam der Prototyp aller Computer. Es lässt sich beweisen, dass alles, was ein noch so komplizierter Computer berechnen kann, grundsätzlich auch der Turing-Maschine möglich ist. Neumann zeigte sogar, dass die Turing-Maschine, gekoppelt mit einer geeigneten Montieranlage, sich selbst reproduzieren kann. Das bedeutet, dass es prinzipiell möglich ist, im anorganischen Bereich die Zellteilung eines Lebewesens zu simulieren. Andererseits zeigt gerade die Turingmaschine auch die Grenzen der Kybernetik. Nach einem Satz von Church ist es nicht möglich, alle Theoreme des Prädikatenkalküls, d. h. der gewöhnlichen Logik, mit einer solchen Maschine generell zu entscheiden. Aber auch im Rahmen der entscheidbaren Probleme gibt es eine Menge Probleme, die schon aus rein zahlenmässigen

Gründen ungelöst bleiben. So lässt sich zwar theoretisch eine absolut zuverlässige «Schachmaschine» konstruieren, die jeden Meisterspieler schlagen könnte. Sie würde jedoch 10^{95} Jahre brauchen, um den «richtigen» Zug jeweils zu finden. Die bisherigen Versuche, gute Schachspieler durch Lernmaschinen zu simulieren, sind bis jetzt nur sehr unbefriedigend ausgefallen. Man muss dabei berücksichtigen, dass die Erfahrungen eines Schachmeisters schwerlich exakt formal zu erfassen sind. Dieses Problem weist auf eine weitere Grenze der Kybernetik hin. Die Kybernetik kann nur erfassen, was bereits irgendwie formalisiert ist. Darin liegen auch die hauptsächlichen Schwierigkeiten bei dem Versuch, Übersetzungsmaschinen für natürliche Sprachen zu konstruieren. Die natürlichen Sprachen sind selbst nicht als vollständig formalisiert zu betrachten.

Der eigentliche Prozess der Formalisierung ist etwas, was zwar dem Menschen gelingen kann, der Maschine aber versagt bleibt.

Literaturangaben

Stafford Beer: Kybernetik und Management¹⁾.

W. Ross Ashby: An introduction to cybernetics.

Mortimer Taube: Der Mythos der Denkmaschine.

¹⁾ In diesem Buch findet sich ein ausführliches Literaturverzeichnis über die Kybernetik und verwandte Gebiete.

