



Prof. Dr. Edy Portmann
Universität Bern, Schweiz



PD Dr. Rudolf Seising
Friedrich-Schiller-Universität Jena



Hermann Engesser
Chefredakteur Informatik-Spektrum

50 Jahre Fuzzy Sets

Vor fünfzig Jahren publizierte Lotfi Zadeh den Beitrag „Fuzzy Sets“ in der Zeitschrift *Information and Control*. Das vorliegende Themenheft geht auf die grundlegenden Konzepte und Methoden von Fuzzy Sets ein und stellt exemplarisch ihre Anwendung in unterschiedlichen Bereichen dar.

Der Chefredakteur des *Informatik-Spektrums*, Hermann Engesser, dazu im Gespräch mit den beiden Gastherausgebern dieses Themenheftes, Edy Portmann und Rudolf Seising.

Hermann Engesser: Betrachtet man die Begriffskarriere von „fuzzy logic“ in den von Google eingescannten Büchern etc. für die Sprachen Englisch, Deutsch und Italienisch, so lag das Maximum der Popularität vor etwa 20 Jahren. Welche Bedeutung haben Fuzzy-Methoden heute?

Rudolf Seising: Zunächst möchte ich die Begrifflichkeiten unterscheiden. Lotfi Zadeh begründete die Theorie der Fuzzy Sets, als er 1965 den Artikel „Fuzzy Sets“ veröffentlichte. Das war eine erweiterte Sichtweise auf Objekte einer Grundmenge, wenn man sie hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zu Mengen betrachtet. Damals war Zadeh ein wichtiger Vertreter des systemtheoretischen Zugangs in der Elektrotechnik und er hatte vor, die Theorie der Systeme zur Theorie der Fuzzy-Systeme zu erweitern. Auf diese Periode bezieht sich mein Beitrag als „Historisches Stichwort“ in diesem Heft.

Eine „Fuzzy Logik“ hatte Zadeh damals noch gar nicht im Sinn. Diese Entwicklung setzte erst mit den Studien von Joseph Goguen für seine Doktorarbeit ein. Das war zu Beginn der 1970er Jahre und sein Doktorvater war Zadehs Kollege Hans-Joachim Bremermann, ein Mathematik-Professor im Fachbereich Medizin an der University of California in Berkeley (UCB) und Zadeh war Zweitgutachter für Goguens Arbeit. Goguen sprach von einer „Logic of inexact Concepts“. Die Bezeichnung „Fuzzy Logic“ benutzte erstmals der ebenfalls an der UCB lehrende Linguistik-Professor George Lakoff nach einer kurzen Phase der Zusammenarbeit zwischen Zadeh, Lakoff, Goguen sowie auch der UCB-Psychologie-Professorin Eleanor Rosch. Diese Richtung, die Fuzzy Sets in den nicht-technischen Wissenschaften zu etablieren, fruchtete allerdings damals nicht.

Kurz danach, etwa 1973/74 kam Ebrahim Mamdani auf die Idee, eine Dampfmaschine mit einem Fuzzy-Algorithmus zu regeln; diese Aufgabe stellte er seinem Doktoranden Sedrak Assilian und dessen erfolgreiche Arbeit, mit der er auch promovierte, führte dann in den nächsten Jahren zu dem großen „Fuzzy Boom“ in technischen Anwendungssystemen. Dieser große Erfolg dominierte zunächst alle anderen Entwicklungen von „Fuzzy-Methoden“ (wie Sie es nennen) und insbesondere Versuche, die Fuzzy Sets auch in den Sozialwissenschaften zu etablieren wurden kaum wahrgenommen. Erst in den letzten Jahren wurde das wieder etwas stärker und ein Beispiel dazu ist der Beitrag von Thomas Kron und Lars Winter in diesem Heft. Die theoretischen, also vor allem mathematisch-logischen, kategorientheoretischen Arbeiten, die in diesem Heft von Enric Trillas in seinem Beitrag angesprochen werden und die auch Siegfried Gottwald thematisiert, folgten in den 1980er und 1990er Jahren. Schließlich ergaben sich mit neuen Entwicklungen in der Informatik auch Arbeiten zum Data-Mining bzw. Information-Mining mit Fuzzy Methoden.

Edy Portmann: Ich glaube, dass Fuzzy-Methoden gerade wegen den genannten systemtheoretischen Möglichkeiten heute endlich zunehmende Anhängerschaft rund um Digital-Humanities-Themen finden werden. Ich denke hier

vor allem an Geistes- und Kulturwissenschaften einschließlich der Sprach- und Literaturwissenschaften, der Philosophie, der Kunstwissenschaften, sowie der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften, aber auch an Medizinwissenschaften. Generell werden überall wo der Mensch ins Spiel kommt immer weichere, beispielsweise aus dem Soft-Computing entstammende Methoden der Interaktion und Auswertung nötig werden. Diese Methoden ermöglichen, mittels linguistischem Ansatz, immer besser mit natürlicher Sprache umzugehen.

Hermann Engesser: Vor fünfzig Jahren publizierte Lotfi Zadeh den Beitrag „Fuzzy Sets“ in der Zeitschrift *Information and Control*. Welchen Einfluss hat diese Arbeit auf die weitere Entwicklung wissenschaftlicher und technischer Methoden?

Rudolf Seising: Hier will ich zwischen Wissenschaft und Technik unterscheiden, denn „die Wissenschaft“ tat sich sehr schwer mit den Fuzzy Sets. Für Vertreter der exakten Naturwissenschaften, für Mathematiker, insbesondere für die Wahrscheinlichkeitstheoretiker, aber auch für die Statistiker waren die Fuzzy Sets ein rotes Tuch! Was sollte die Fuzzy Set Theorie auch besser können? Auch sahen viele hier einen Angriff auf das Exaktheitsideal!

Schließlich trug auch der Name „fuzzy“ zur Ablehnung bei. Schwammig, fusselig, unscharf – das wollte man in den Wissenschaften gerade nicht sein. Es gab aus verschiedenen Gründen Mißinterpretationen, denen Zadeh des Öfteren folgenden Slogan entgegen hielt: „Fuzzy Logic is not a fuzzy logic!“, den auch Michael Kaufmann in seinem Beitrag aufgreift. In der Technik dagegen war die Fuzzy-Regelung in den 1970er und 1980er Jahren ungeheuer erfolgreich. Der Mamdani-Assilian Regelung, mit der nach der Modell-Dampfmaschine zunächst eine große Zementfabrik und dann die verschiedensten Automatisierungssysteme und Haushaltsgeräte versehen wurden, folgte das Fuzzy-Regelungsprinzip von Takagi und Sugeno. Ich würde das auf die Formel bringen, dass die Wissenschaftler alles genau wissen wollen während mancher Ingenieur/manche Ingenieurin glücklich ist, wenn ihr/sein Ergebnis genau genug ist.

Edy Portmann: Die Ingenieure folgen damit wohl Zadeh's „Principle of Incompatibility“, welches aufzeigt, dass bei näherem Untersuchen eines Problems die Lösungen dazu immer unschärfer werden. In diesem Sinne untersuchen auch immer mehr Betriebswirte und Wirtschaftsinformatiker Anwendungen mit Fokus auf Management-Fragen. Beispielsweise lassen sich Entscheidungen bei anspruchsvollen Aufgaben nicht immer trennscharf mit ja oder nein beantworten. Vielmehr geht es um ein Abwägen unterschiedlicher Einflussfaktoren und die Antwort für eine Problemlösung lautet oft „ja unter Vorbehalt“ oder „sowohl als auch“. Wissenschaft und Technik mögen im Kern ja nach Exaktheit suchen, sobald wir aber mit der Realität konfrontiert werden, braucht es Fuzzy-Methoden zum Abgleich. Man versucht also eine bestmögliche Problemlösung zu finden, auch wenn es nicht die eine Lösung gibt. Diese Art der Entscheidungsfindung bei vagem Sachverhalt lässt sich natürlich auch auf gesellschaftliche, z. B. Smart-City-inhärente Prozesse übertragen, was unter anderem auch Politologen interessiert.

Hermann Engesser: Fuzzy Logik polarisiert, weil sie scheinbar die „klassische“ Aussagenlogik und damit die Grundlagen der Mathematik auflöst. In wie fern handelt es sich hier wirklich um eine Revolution des Geistes, die Michael Kaufmann zur Diskussion stellt.

Rudolf Seising: Die Grundlagen der Mathematik wurden bereits früher problematisiert! In den 1930er Jahren hatte Gödel mit seinem Unvollständigkeitstheorem das Programm von Hilbert torpediert, und der Wiener Kreis (hier Karl Menger und Rudolf Carnap) hatte das „Prinzip der logischen Toleranz“ ausgerufen. Neben der klassischen Logik gab es da auch schon den Intuitionismus, der auf das Aristotelische Gesetz vom ausgeschlossenen Dritten verzichtet und es entstand auch bald schon die Quantenlogik, die das Distributivgesetz nicht gelten lässt. Es gab schon drei- bzw. danach auch mehrwertige Logiken (Lukasiewicz, Post) und Wahrscheinlichkeitslogik (Reichenbach) und nun gibt es eben auch Fuzzy Logiken!

Mir scheint, dass deren große Gegnerschaft daher rührt, dass alle anderen Logiken weiterhin mit exakten Zahlenwerten umgingen, während man in der Fuzzy-Logik mit sprachlichen Begriffen arbeitet. Dieser „linguistic approach“ ist das eigentlich Neue!

Edy Portmann: Gleich wie Enric Trillas in seinem Beitrag in diesem Heft, vermute ich hinter diesem linguistischen Ansatz den Gordischen Knoten der künstlichen Intelligenz. Meines Erachtens werden intelligenter Systeme der Zukunft natürlichsprachig und Common-Sense-basiert schlussfolgern und so traditionelle mathematische Konzepte umgehen, beziehungsweise erweitern. Unter dem Schlagwort „Cognitive Computing“ bringt uns dies kognitive Systeme in Reichweite. Hier sehe ich schon eine Revolution des Geistes.

Rudolf Seising: Ich würde gerne zwischen „Geist“ bzw. Denken einerseits und logischem Schlussfolgern andererseits klar unterscheiden. Ja, damit berührt das Problem die Frage, ob es Künstliche Intelligenz geben wird bzw. was darunter verstanden werden kann.

Ich würde lieber – wenn überhaupt nötig – von Maschinenintelligenz in Unterscheidung zur natürlichen Intelligenz sprechen. Letztere kann ich mit Geist in Verbindung bringen, Maschinenintelligenz aber nicht. Auch wenn zu den alten mathematischen Konzepten neue Konzepte wie die Fuzzy Sets hinzukommen, bleibt es doch Mathematik. Da wird kein Geist revolutioniert.

Edy Portmann: Ich vermute, dass biologische und künstliche Intelligenz in naher Zukunft immer mehr ineinander verschmelzen, sodass sich Menschen und Computersysteme gemeinsam sehr viel intelligenter verhalten können, als es ein Einzelner, eine Gruppe oder auch ein künstliches System jemals alleine tun könnte. Dazu können wir beispielsweise biologische Prozesse und Verfahren, wie sie im menschlichen Hirn vorkommen, nachbauen, damit eine Art der kollektiven Intelligenz entsteht. Zu diesem Zweck werden meines Erachtens jedoch Methoden des Abgleichs zwischen den verschiedenen Formen der Intelligenz, wie beispielsweise Fuzzy-Methoden, an Bedeutung gewinnen. Mit solchen kognitiven Systemen wird der menschliche Geist schlussendlich doch revolutioniert.

Hermann Engesser: Was sagt uns die Evolution der Fuzzy-Welt, insbesondere über künftige Entwicklungen?

Edy Portmann: Wie oben bereits erwähnt, glaube ich fest daran, dass Fuzzy-Methoden für künstliche und kollektive Intelligenz eine zentrale Rolle spielen werden. Generell wird Fuzzy-Logik, Computational-Intelligence und Soft-Computing wohl auch eine entscheidende Rolle innehaben, wenn wir dem Geheimnis der menschlichen Kognition auf die Schliche kommen wollen. Das beleuchten auch Settimo Termini und Marco Tabacchi in ihrem Beitrag. Sie zeigen dabei einen möglichen Weg der Weiterentwicklung in Richtung auf Sprache- und Kognition-basierender experimenteller Wissenschaft, analog zur Physik, in welcher neben theoretischer Modellbildung grundlegende Phänomene mit Experimenten untersucht werden.

Rudolf Seising: Ich denke, dass dies davon abhängen könnte, wie sich die Informations- und Kommunikationstechnik in Zukunft entwickeln wird. Sollten sich Geschwindigkeit und Speichermöglichkeiten enorm vergrößern, so können Berechnungen wiederum um ein Vielfaches genauer sein. Damit könnte ein „genau genug“ wieder an Charme verlieren.

Edy Portmann: Trotzdem wird es immer einen Abgleich zwischen biologischen und technischen Systemen brauchen. Der Mensch beispielsweise hat sich mit seinen inexakten, ungenauen und approximativen Verhaltensmustern über Jahrtausende hinweg entwickelt – und ist immer noch da. Ich glaube auch nicht, dass dieser von Technik obsolet gemacht wird. Aus diesem Grund bin ich stark von Fuzzy-Systemen als Medium und heutige bestmögliche Methode der Adressierung überzeugt.

Rudolf Seising: Ich sehe auch ein großes Potential von Fuzzy Logik für das Feld, das im weitesten Sinne Mensch-Maschine-Kommunikation genannt werden kann. Seit es Computer gibt, versuchen die Menschen, so zu denken, wie Computer funktionieren, um mit diesen Maschinen zu kommunizieren. Wie wäre es aber, wenn die Menschen Maschinen bauen könnten, die so arbeiten, dass ihre Outputs dem menschlichen Output ihres/seines Denkens ähneln? Das wäre so etwas wie sprachliche Ausdrücke. Ich denke, dass etwa in diese Richtung geht, was Zadeh meinte, als er in den 1980er Jahren seinen Artikel „Making Computers think like People“ schrieb.

Hermann Engesser: Verbreitete Ansätze für die Fuzzy-Bedeutungswelten sind Ähnlichkeiten zu Referenzwerten, Präferenz, bedingte Wahrscheinlichkeit (likelihood) und Möglichkeitsgrade (degree of possibility). Wo liegen die Stärken und Schwächen dieser alternativen Herangehensweisen?

Rudolf Seising: Diese vier streng auseinander zu haltenden Bedeutungen der Zugehörigkeit eines Objekts als Element zu einem Fuzzy Set werden von Rudolf Kruse und Christian Borgelt in ihrem Beitrag eingehend behandelt und verglichen. Dabei stellen sie besonders heraus, dass eine entsprechende Interpretation nicht nur von den Zugehörigkeitsfunktionen der ursprünglichen Fuzzy Sets und der diese verknüpfenden Operatoren abhängt, wie es in der klassischen Logik der Fall ist, sondern auch von Annahmen, die von außerhalb kommen. Sie stellen eine mögliche Eigenschaft von Fuzzy Sets zur Diskussion, die mit einem gewissen Risiko „Unabhängigkeit“ genannt werden kann – vielleicht ähnlich der „stochastischen Unabhängigkeit“ von Ereignissen in der Wahrscheinlichkeitstheorie.

Hier wird deutlich, dass die Theorie der Fuzzy Sets tatsächlich und im Kern verschieden ist zur Wahrscheinlichkeitstheorie. Schon drei Jahre nach der Begründung der Fuzzy Set Theorie hatte Zadeh deshalb den Artikel „Probability Measures of Fuzzy Events“ geschrieben, in dem er den wahrscheinlichkeitstheoretischen Begriffen „Ereignis“ und „Wahrscheinlichkeit“ „Fuzzy-Versionen“ gegenüberstellte. Damit machte er nochmals deutlich, dass Wahrscheinlichkeit und Fuzziness in der mathematischen Theorie zwei verschiedene Eigenschaften präsentieren: Ungewissheit und Unschärfe. Wahrscheinlichkeiten sind Maße für die Ungewissheit und hier ist der Begriff der (stochastischen) Unabhängigkeit seit langer Zeit etabliert. Fuzziness beschreibt Unschärfe und deren Deutung als „Ähnlichkeit“, „Präferenz“, „bedingte Wahrscheinlichkeit“ oder „Möglichkeitsgrad“ (um nur die vier von Kruse und Borgelt behandelten zu nennen) zeigt schon an, dass der Begriff der Unschärfe mal näher und mal entfernter von dem der Wahrscheinlichkeit gesehen wird. Positiv gewendet kann man hier von einer großen Flexibilität der Fuzzy Set Theorie sprechen.

Edy Portmann: Spontan kommen mir hier auch weitere Forschungen rund um Zadehs „Möglichkeitstheorie“ in den Sinn, also der grundlegenden mathematischen Theorie, welche als Alternative zur Wahrscheinlichkeitstheorie mit dieser anderen Art Ungenauigkeit, der Unschärfe, umzugehen hilft. Diese Theorie hat Lotfi Zadeh 1978 als Erweiterung seiner Fuzzy-Sets und Fuzzy-Logik präsentiert. Möglichkeiten sind darin nicht mit Wahrscheinlichkeiten verbunden, weswegen die Möglichkeitstheorie eher beschreibt „was ist“ und nicht das, „was nicht ist“. Ein Beispiel: „es ist nicht sicher, dass es regnen wird, aber es ist sicher, dass es Wolken hat“.

Hermann Engesser: Welche Vorteile bieten Fuzzy-Regel basierte Systeme gegenüber traditionellen Knowledge-based Methoden?

Edy Portmann: In seinem Beitrag präsentiert Eyke Hüllermeier Fuzzy-Pattern-Trees als einen neuartigen Zugang der Systemmodellierung. Wegen den hierarchischen und modularen Strukturen und den zugrundeliegenden verschiedenen Typen von möglichen Aggregationsoperatoren vermögen solche Pattern-Trees, seiner Meinung nach, funktionale Abhängigkeiten in einer flexibleren und kompakteren Art und Weise zu repräsentieren. Zudem zeigt er in seinem Beitrag sehr schön die Weiterentwicklung von traditionell wissensbasierten Gestaltungsansätzen für regelbasierte Fuzzy-Systeme hin zu mehr datengetriebenen Ansätzen.

Ausgelöst durch menschliche soziale Software-Interaktionen im Web und auch durch den vermehrten Einsatz von Web-Of-Things-Services, beispielsweise, werden immer mehr Daten und Informationen erzeugt, welche, wenn diese zu sinnvollem Wissen aufbereitet werden, als Quelle für Common-Sense Regeln dienen könnten. Um einer Informationsüberflutung durch Webdaten und –Informationen gescheit entgegenzuwirken, sollten wir meines Erachtens von Top-Down-Modellierung (wie Ontologien) immer mehr zu Bottom-Up-Lernen und Adaption (wie Fuzzy Grassroots Ontologien) kommen, denn wissensbasierte Top-Down-Ansätze sind im Gegensatz zu datengetriebenen Bottom-Up-Ansätzen häufig nicht wirklich skalierbar.

Hermann Engesser: Auf den interdisziplinären Charakter fuzzy-logischer Methoden ist immer wieder hingewiesen worden. Bezieht sich diese Einschätzung auch auf Beispiele aus der Praxis?

Edy Portmann: Eine interdisziplinäre Arbeitsweise beinhaltet voneinander unabhängige Einzel-Wissenschaften, die einer Fragestellung mit ihren jeweiligen Methoden nachgehen. Leider ist so eine interdisziplinäre Arbeitsweise meines Erachtens noch nicht wirklich in der Praxis angekommen. Fuzzy-Methoden werden heute meistens von Ingenieuren, für welche Ergebnisse, wie vorangehend erwähnt, häufig nicht vollkommen sondern genau genug sein müssen, eingesetzt.

Einem transdisziplinären Forschungsansatz folgend, arbeiten heute jedoch immer mehr Institutionen, beispielsweise im Bereich Smart-City-Forschung, in welcher versucht wird Städte intelligenter zu machen, auf den Transfer von wissenschaftlichem Wissen in die Praxis hin. Dabei beinhaltet diese Art der Forschung, als Beitrag zur Lösung urbaner Probleme, einen möglichen Weg, akademische Forschung mehr in die gesellschaftliche Realität zu bringen. Kombiniert mit einem gestaltungsorientierten Action-Design-Zyklus könnte dies auch die Methode der Fuzzy-Community werden, mit welcher Resultate der oben erwähnten experimentellen Wissenschaft in der Praxis erprobt werden können.

Rudolf Seising: Der Beitrag von Bocklisch und Bocklisch in diesem Heft zeigt, wie zumindest eine Möglichkeit interdisziplinärer wissenschaftlicher Zusammenarbeit gelingen kann: Ein Ingenieur und eine Psychologin, Vater und Tochter, profitieren voneinander und finden zur Modellierung von Fuzzy Mustern in ihren jeweiligen Anwendungsgebieten, die so verschieden sind, wie eine Photovoltaikanlage und die Auswertung von Fragebögen mit linguistischen Antwortskalen zur Entscheidungshilfe bei medizinisch-psychologischen Problemen.

Hermann Engesser: Welches sind die Stärken der unterschiedlichen Typen von Fuzzy-Systemen?

Edy Portmann: Schon seit Einführung der Fuzzy-Sets wurde immer wieder Kritik laut, dass der Zugehörigkeitsfunktion eines Fuzzy-Sets keine Unsicherheit zugeordnet ist, was dem Wort zu widersprechen scheint. Was soll man also tun, wenn Unsicherheit über den Wert der Zugehörigkeitsfunktion besteht? Die Antwort auf diese Frage ist die Schaffung von anspruchsvolleren Arten von Fuzzy-Sets, wie beispielsweise Typ-2 Fuzzy-Sets.

Typ-2 Fuzzy-Sets bieten eine Möglichkeit, diese Kritik frontal anzugehen. Mit ihr lassen sich nämlich Unsicherheiten über die Zugehörigkeitsfunktion der Fuzzy-Set-Theorie auf mehr oder weniger einfache Weise angehen. In seinem Beitrag zeigt uns Jerry Mendel, diese Entwicklung sehr schön auf. Übrigens, wenn keine Unsicherheit besteht, reduziert sich ein Typ-2 Fuzzy-Set einfach auf ein Typ-1 Fuzzy-Set.

Rudolf Seising: Zadeh hatte diese Idee schon 1975 in „The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning“ eingeführt, als er ausgehend von einem Fuzzy Set annahm, dass die Werte der Zugehörigkeitsfunktion dieses Fuzzy Sets selbst wieder Fuzzy Sets seien. Das Ganze verallgemeinerte er dann auch sofort: Ein Fuzzy Set ist vom Typ n , ($n = 2, 3, \dots$), wenn seine Zugehörigkeitsfunktion ein Fuzzy Set vom Typ $n - 1$ ist.

Es lässt sich immer darüber streiten, ob solche mathematischen Gebilde sinnvoll oder gar nützlich sind; oft zeigt sich erst später, dass gewissen mathematischen Figuren etwas in der Realität entspricht bzw. es entstehen Anwendungsfelder für zuvor völlig abstrakte mathematische Theorien. Type-2 Fuzzy Sets sind auch innerhalb der Fuzzy Community umstritten, wie auch andere Erweiterungen, wie z. B. die „intuitionistischen Fuzzy Sets“ (Atanassov) oder die „komplexen Fuzzy Sets“ (Buckley, Tamir, Kandel).

So wie Zadeh Ende der 1960er Jahre versucht hat, eine gemeinsame Fassung für die Wahrscheinlichkeit und die Fuzziness eines „Fuzzy Ereignisses“ zu etablieren, so geht es Mendel darum, mit Type-2 Fuzzy Sets zwei verschiedene linguistische Unschärfetypen in einem mathematischen Ausdruck zu fassen. Mit Type- n Fuzzy Sets ergibt sich dann die Möglichkeit auch noch mehrere Arten von Unschärfe zu berücksichtigen.

Hermann Engesser: Welche Vorteile bietet es, bei der Darstellung von Fuzzy-Systemen mehrwertige Logiken zu verwenden?

Rudolf Seising: Diese Frage führt auf historische Details, die ich für die Abfassung meines Buchs über die Geschichte der Fuzzy Set Theorie herangezogen hatte: Da war zum einen der schon erwähnte österreichische Mathematiker Karl Menger, der schon als Mitglied des Wiener Kreises für das Prinzip der logischen Toleranz eine wichtige Rolle spielte und später die t-Normen und s-Normen (t-co-Normen) in die übliche Mathematik einbrachte. Diese Verknüpfungen sind heute fester Bestandteil der Fuzzy Logik. Zum anderen hat er aber auch den deutschen Mathematiker Dieter Klaua beeinflusst, der – wie Siegfried Gottwald in seinem Beitrag zu diesem Heft, aber auch früher schon oft betonte – fast zeitgleich mit Zadeh mehrwertige Mengensysteme betrachtete.

Edy Portmann: Inspiriert von einem Kolloquium, welches Karl Menger in der ersten Hälfte der 1960er Jahre in Ostberlin abhielt, entwickelte Dieter Klaua 1965 unabhängig von Lotfi Zadeh einen generalisierenden Mengenbegriff mit einer gestuften Zugehörigkeitsbeziehung. Als Rahmensystem setzte er für seine mehrwertigen Mengen

Lukasiewicz Logiken ein. Später konzentrierte er sich mehrheitlich auf den dreiwertigen Fall seiner Mengen, die er partielle Mengen nannte. Mit ihnen begründete er eine mengentheoretische Basis für die Intervallarithmetik.

Rudolf Seising: Zadeh selbst hatte erst in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre, also lange vor der Begründung der Fuzzy Sets die mehrwertige Logik durch Stephen Kleene kennengelernt, als er ein Sabbatical am Institute for Advanced Study in Princeton absolvierte. Danach schrieben zwei seiner Doktoranden über mehrwertige Logik in der Elektrotechnik. Einen Zusammenhang zwischen deren Arbeiten und Zadehs späterer Entwicklung der Fuzzy Set Theorie konnte ich aber nie finden. Natürlich kann Fuzzy Logik trotzdem als eine erweiterte mehrwertige Logik interpretiert werden. Es gibt aber auch eine darüber hinausweisende Interpretation, die ich interessanter finde, das ist die der unscharfen Mengen wobei die Zugehörigkeit von Objekten dazu graduell ist. Diese Unschärfe wird oft, beispielsweise in den meisten Fuzzy-Regelungs-Anwendungen linguistisch interpretiert. Zadeh spricht hier von Fuzzy Logik im engeren bzw. im weiteren Sinne.

Hermann Engesser: Linguistischen Informationen sind häufig durch Ungenauigkeit gekennzeichnet. Die verschiedenen technischen Anwendungen von Fuzzy-Logik bieten eine Möglichkeit, intelligentere Computersysteme zu konstruieren, die mit unpräzisen Informationen umgehen können. Wie weit ist man auf diesem Weg schon vorangekommen?

Edy Portmann: Verschiedene Forschungsgruppen in Europa wie aber auch weltweit, beschäftigen sich damit, mit Soft-Computing-Methoden intelligentere Systeme zu bauen. In Europa gibt es beispielsweise große Gruppen in Deutschland, Finnland, Polen, Spanien, Tschechien usw.

Eine vielversprechende Stoßrichtung eruiere ich in „Computing with Words and Perceptions“-Modellen, welche auf Fuzzy-Sets-basierend mit der Unschärfe in natürlicher Sprache umgehen werden können. Die diesen Modelle zugrundeliegende Idee ist, biomimetische Artefakte (wie beispielsweise kognitive Systeme) zu erstellen, welche mit Worten und – in Worten – begründete Wahrnehmungen „rechnen“ können. Diese Modelle sind stark mit Rosalind Piccards (MIT) Affective-Computing und Mitsuo Nagamachis (Universität Hiroshima) Kansei-Engineering verwandt.

In unserem Beitrag illustrieren Sara D'Onofrio und ich diese Entwicklung von Fuzzy-Sets zu Computing-With-Words anhand eines linguistischen Beispiels aus der Meteorologie (d. h. Schnee in Adelboden). Wir glauben, dass auf diesen Modellen basierend das Zeitalter des Cognitive-Computings eingeläutet wurde, welches in diesem Artikel ebenfalls diskutiert wird.

Hermann Engesser: Fuzzy Logik hat auch außerhalb von Naturwissenschaften, Informatik und Technik Anwendungen gefunden, etwa in der Soziologie. Wie verbreitet ist dort inzwischen das Fuzzy-Denken?

Rudolf Seising: Es gab vielerlei Bestrebungen, die Fuzzy Sets auch in den nicht-technischen akademischen Disziplinen zu etablieren. Wie ich schon erwähnte, hatte Zadeh selbst in den ersten Jahren nach Erscheinen von „Fuzzy Sets“ versucht, die Fuzzy Sets in die Linguistik (mit Lakoff) und in der Psychologie (mit Rosch) einzubringen. Er hat auch versucht, sie in der Philosophie und in Biologie und Medizin zu etablieren. Gemeinsam mit Veronica Sanz bzw. mit Marco Tabacchi habe ich vor einigen Jahren am European Centre for Soft Computing in Mieres (Spanien) ein Sonderheft und zwei Sammelband dazu herausgegeben. Franziska Bocklisch (Ko-Autorin eines der Beiträge in diesem Heft) ist Psychologin, Thomas Kron und Lars Winter sind Soziologen, die schon seit Jahren versuchen, Fuzzy Sets in der Soziologie anzuwenden, z. B. in Krons kürzlich erschienenen Buch „Reflexiver Terrorismus“. In ihrem Beitrag für unser Heft fassen sie Soziologie als die Wissenschaft von den sozialen Ordnungen auf. Sie fragen danach, wie diese entstehen und rekonstruieren sie als Fuzzy-Strukturen. Ich selbst erforsche seit Jahren etwas Ähnliches für die Wissenschaftsphilosophie. In deren „strukturalistischer“ Ausrichtung werden wissenschaftliche Theorien als Strukturen verstanden, die sich auch mit der Zeit verändern können. Die Statik und Dynamik solcher Strukturen rekonstruieren ich als Fuzzy-Strukturen, weil ich meine, dass auch wissenschaftliche Begriffe Veränderungen unterworfen werden und daher selten scharf sind.

Edy Portmann: In der Schweiz versuche ich zusammen mit Andreas Meier (Universität Freiburg i.Ü.) und Killian Stoffel (Universität Neuenburg) die Fuzzy-Logik auf Wirtschafts- und Managementwissenschaften anzuwenden,

beispielsweise um bessere Entscheidungssysteme zu bauen, welche auch mit Unschärfe umgehen können. Wir haben dazu eine eigene internationale Fuzzy-Management-Methoden-Buchreihe gegründet und werden Ende September nächsten Jahres an der Universität Freiburg i.Ü. die erste internationale Konferenz in diesem spannenden Forschungsfeld abhalten.

Zudem bin ich daran, Soft-Computing-Methoden als Herzstück für die Weiterentwicklung von Smart-Cities zu Cognitive-Cities zu etablieren. Dabei arbeite ich zusammen mit Matthias Finger (ETH Lausanne) an innovativen Governance-Methoden für Großstädte. Diese Methoden stützen sich unter anderem auf Fuzzy-Logik-basierten komplexen adaptiven Systemen sowie Fuzzy-Cognitive-Maps ab, welche Bart Kosko bereits Mitte 1980er einführte, um soziologische und politische Systeme zu analysieren.

Hermann Engesser: *Herr Portmann, Herr Seising, besten Dank für das Gespräch. Es bleibt also spannend.*