

Muss man den Formalismus beherrschen, um die Formalisten zu schlagen?

Working Paper

Author(s):

Scholz, Roland W.

Publication date:

1994

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-002039458>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Arbeitspapier / UNS 1

**Working Paper
Arbeitspapier**

No. 1

**Muss man den Formalismus beherrschen,
um die Formalisten zu schlagen?**

Roland W. Scholz

Juni 1994

n	p(n)	n/p(n)
10	4	2,5
100	25	4,0
1.000	168	6,0
10.000	1.229	8,1
100.000	9.592	10,4
1.000.000	78.498	12,7
10.000.000	664.579	15,0
100.000.000	5.761.455	17,4
1.000.000.000	50.847.534	19,7
10.000.000.000	455.052.512	22,0

UNS Working Papers

Herausgeber:

Prof. Dr. Roland W. Scholz
Professur für Umweltnatur-
und Umweltsozialwissenschaften UNS
ETH Zentrum HAD
Tel. +41 1 632 5891
Fax +41 1 632 1316
E-mail scholz@uns.umnw.ethz.ch
URL <http://www.uns.umnw.ethz.ch>

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkungen, Persönliches	2
2. Begriffsklärung	3
3. Formalismus und Mathematik	3
3.1. Formalismus als mathematische Schule	3
3.2. Formalismus als Grundprinzip der Mathematik	6
4. Formalismus in der Psychologie	11
5. Nutzen und Grenzen formalistischer Konzeptionen für handlungsbezogene Wissenschaften	15
6. Literatur	17

**Bei dieser Version handelt es sich um
den originalen Redetext
der Einführungsvorlesung
vom 6. Juni 1994.**

Der Text wurde publiziert als:

Scholz, R.W. (1998). Umweltforschung zwischen Formalwissenschaft und Verständnis: Muss man den Formalismus beherrschen, um die Formalisten zu schlagen? In A. Daschkeit & W. Schröder (Eds.), Umweltforschung quergedacht: Perspektiven integrativer Umweltforschung und -lehre (pp. 309–328). Berlin: Springer.

MUSS MAN DEN FORMALISMUS BEHERRSCHEN, UM DIE FORMALISTEN ZU SCHLAGEN ?

Roland W. Scholz

1. Vorbemerkungen, Persönliches

Es hat vermutlich die eine oder den anderen verwundert,

- warum jemand zu einer Antrittsvorlesung zu einer neuen Professur in der neuen Disziplin Umweltnaturwissenschaften ein Thema wählt, in dem der Begriff Umwelt nicht erscheint?
- Wäre nicht der programmatische Titel Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften der neuen Professur und eine wissenschaftliche Reflexion dessen, was unter Natural- and Social Science Interface gemeint ist, näherliegender und dürfte für eine traditionsverbundene Einrichtung wie die ETH genügend Zündstoff liefern?
- Warum stellt der Kandidat nicht die neue, gemeinsam von den Studierenden, Theo Koller und ihm konzipierte Fallstudie vor?
- Und warum wird ein solch gleichermassen wissenschaftsgeschichtlich belastetes wie provozierendes Thema gewählt?

Der Grund ist zum einen ein persönlicher. Der Gedanke, "Man muss den Formalismus beherrschen, um die Formalisten zu schlagen!" hat mich zum einen dazu motiviert, Mathematik zu studieren. Weiterhin hat er gleichermassen mein wissenschaftliches Arbeiten in Psychologie, Entscheidungstheorie und Umweltwissenschaften begleitet und möglicherweise geprägt.

Ich betrachte nun diese Antrittsvorlesung als eine gute Gelegenheit, die Bedeutung und den Sinngehalt dieser Aussage zu prüfen.

Zum anderen entspringt die Wahl des Themas aber auch der Überzeugung, dass einer Auseinandersetzung und einem abgeklärten Umgang mit dem Formalismus für die Wissenschaftsentwicklung heute eine fundamentale Bedeutung zukommt. Dies gilt insbesondere für angewandte Wissenschaften wie die der Umweltnaturwissenschaften, in denen die Entwicklung implizit oder explizit von Kategorien wie der ökologischen Qualität mitbestimmt wird.¹

Ich werde jedoch erst am Ende des Vortrages auf die Umweltwissenschaften eingehen. Wie Sie der Gliederung entnehmen können, erlaube ich mir zunächst einige theoretische Betrachtungen und das Studium der Funktion des Formalismus in zwei Wissenschaften, die gleichermassen zwischen Natur- und Sozialwissenschaften stehen.

¹ Dabei erscheint es mir bemerkenswert, dass Diskussionen über den Wert und die Funktion des Formalismus vornehmlich in Krisen der Entwicklung und der Anwendung von Wissenschaft auftreten.

2. Begriffsklärung

Kommen wir zu einer ersten Begriffsklärung.

Unter einer Formalisierung versteht man das Ersetzen eines Teils der Umgangssprache durch eine formale Sprache, ein Formalsystem, welches durch Symbole und durch eine Syntax bestimmt ist.

Wie viele Begriffe ist auch der Begriff Formalismus vieldeutig. Einige² behaupten sogar, dass es sich beim Begriff Formalismus um einen besonders schillernden Begriff handeln würde, um den es eine ähnliche "heillose Verwirrung" geben würde³ wie um den Begriff Liebe.

Den verschiedenen Definitionen von Formalismus gemein ist, dass die Form im Gegensatz zum Inhalt betont wird. Weiterhin können wir beobachten, dass der Formalismus häufig mit einer "Fetischierung von Mathematik und Technik"⁴ einhergeht.

Man kann⁵ allgemein zwischen

- i) *radikalem Formalismus*,
Es gibt nur die Form, ein Inhalt ist nicht vorhanden.
- ii) Typen von *gemäßigtem Formalismus*
Man betrachtet die Form, da der Inhalt sich aus der Form ableitet.
- iii) und dem *syntaktischen Formalismus* unterscheiden.
Der Inhalt ist die Form.

3. Formalismus und Mathematik

Als Prototyp des Formalismus erscheint dem Nichtmathematiker natürlich die Mathematik als solche. Nun könnte man vielleicht glauben, dass man es bezogen auf das Thema Formalismus *in* der Mathematik wie Friedrich der Grosse halten könnte, der sinngemäss gesagt haben soll, "Ich habe kein Problem mit Mathematikern, denn sie bilden keine Sekten", und die Mathematik als Ganzes abhandeln. Ich möchte nun den Komplex Formalismus und Mathematik aus zwei verschiedenen Perspektiven behandeln. Zunächst möchte ich einen Blick *in die Mathematik* werfen. Die zweite Perspektive ist dann der Blick von aussen, *auf die Mathematik*.

3.1. Formalismus als mathematische Schule

Nun gibt oder gab es natürlich auch oder vielleicht gerade *in der Mathematik* bezogen auf den Grad und die Bedeutung der Formalisierung grundverschiedene Ansichten. Einigen von Ihnen dürfte der sog. Grundlagenstreit der frühen zwanziger Jahre⁶ bekannt sein, in dem sich zwei Lager oder Sekten, nämlich die Intuitionisten und die Formalisten auseinandersetzten.

² Rheinwald, 1984.

³ Interessant und schwierig ist eine ontologische Bestimmung des Formalen, möglich ist hier (vgl. Rheinwald, 1984, S.30) "Form" auf die Form der Gegenstände und "Inhalt" auf das Wesen der Gegenstände zu beziehen.

⁴ Neumann & Otte, 1971.

⁵ Rheinwald, 1984, S.26-30.

⁶ Etwa wie es auf den Tagungen der Deutschen Mathematikervereinigung in den Jahren 1920 bis 1923 von Hilbert vorgestellt wurde.

Lassen Sie mich in Kürze einige Grundsätze des Programms der originären Formalisten in der Mathematik skizzieren. Ihr Anspruch bestand darin, ein Formalsystem zu schaffen, welches in sich widerspruchsfrei ist. Die zentralen "Formeln, die als Bausteine des formalen Gebäudes der Mathematik dienen" - so Hilbert⁷ - "werden Axiome genannt". In der Hilbertschen nichteuklidischen Geometrie etwa wird Geometrie symbolisch oder formal betrieben. Punkte sind Tripel reeller Zahlen, Ebenen sind lineare Gleichungen und Geraden Paare von Gleichungen⁸. Dadurch macht Hilbert sein Axiomensystem für jeden denkbar, der reelle Zahlen denken kann. Ein Widerspruch in den Folgerungen aus den Axiomen wäre nun gleichbedeutend mit einem Widerspruch in der Arithmetik der reellen Zahlen. Dadurch erhält die Geometrie das Gepräge des logischen Formalismus.

Im Gegensatz zur in der Schule gelehrt Euklidischen Geometrie, in der die Anschauung eine wesentliche Erkenntnisgrundlage ist, gehört für Hilbert⁹ nur der rein logische Bestandteil zur Geometrie.¹⁰ Inhaltliche oder anschauliche Betrachtungen werden grundsätzlich ausgeschlossen, oder, wie Hilbert es formulierte, "wenn wir Behauptungen über unendlich viele Zahlen oder Funktionen gewinnen wollen, versagen" - etwa bei einem Verständnis der vollständigen Induktion - "inhaltliche Verfahren".¹¹

Ziel der Formalisten in den 20er Jahren war es, die Frage zu beantworten, ob die Mathematik überhaupt zwingend in dem Sinne sei, dass eine minimale Anzahl von Axiomen¹² existieren würde, die widerspruchsfrei¹³ sind und aus der sich die ganze¹⁴ Mathematik ergäbe. Zentrale Grundlage war dabei die duale Logik. Würde der Nachweis der Widerspruchsfreiheit gelingen, so könnte man mit einem Schlage, so hoffte Hilbert, die Widerspruchsfreiheit der "Thermodynamik, Strahlungstheorie und anderer physikalischer Theorien"¹⁵ beweisen, da sich diese auf die Widerspruchsfreiheit der reellen Zahlen zurückführen liessen. Der Anspruch der mathematischen Formalisten an ihr inhaltsbefreites Formalsystem war extrem gross; so proklamierte Hilbert: "Ich möchte der Mathematik den alten Ruf der unanfechtbaren Wahrheit, der ihr durch die Paradoxien der Mengenlehre verloren zu gehen scheint, wiedergeben; aber ich glaube, dass dies bei voller Erhaltung ihres Besitzstandes möglich ist".

Aber nicht nur Friedrich der Grosse irrte, sondern auch Hilbert. "Geschlagen" - um den etwas provokanten Terminus des Titels meiner Rede aufzugreifen - wurde das Hilbertsche Programm seinerzeit bekanntlich jedoch weniger durch die von dem holländischen Mathematiker Brouwer¹⁶ angeführten sog. Intuitionisten. Die Intuitionisten in der Mathematik weigerten sich beispielsweise, die Gültigkeit eines Grundprinzips der klassischen Logik, des "tertium non datur"¹⁷, für unendliche Mengen zu akzeptieren. Sie waren um einen radikalen Konstruktivismus bemüht und liessen nur mathematische

⁷ Hilbert, 1922, S. 166.

⁸ Baldus, 1922, S.15

⁹ Baldus, 1922, S.12.

¹⁰ "Unsere sinnlichen Wahrnehmungen führen uns zwar zur Aufstellung des Axiomensystems, und der schöpferisch Tätige wird sie beim Suchen nach neuen Erkenntnissen nicht missen können, in der endgültigen Darstellung wird aber auf die sinnlichen Wahrnehmungen nicht mehr Bezug genommen." (Baldus)

¹¹ Hilbert, 1922, S.164-165.

¹² Dies ist das Prinzip der Unabhängigkeit

¹³ Dies ist das Prinzip der Konsistenz.

¹⁴ Dies ist das Prinzip der Vollständigkeit.

¹⁵ Hilbert 1922, S.161.

¹⁶ Brouwer, 1913/1914, 1919.

¹⁷ Brouwer, 1919, S.203-204.

Aussagen zu, die sich aus der "Ur-Intuition"¹⁸ des Zählens konstruktiv ableiten liessen. Wie Herrman Weyl¹⁹ vermerkt, ist für die Intuitionisten Mathematik "mehr ein Tun als eine Lehre."²⁰

Besiegelt wurde das Ende des Hilbertschen Programms durch eine relativ kurze, 1931 erschienene Arbeit mit dem Titel "Ueber formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme."²¹ Der seinerzeit 25-jährige Autor Kurt Gödel zerschlug mit seinem Unvollständigkeitstheorem die Grundlagen des Formalismus, indem er bewies, dass man die logische Widerspruchsfreiheit einer sehr grossen Klasse mathematischer Systeme, unter ihnen die elementare Arithmetik, nur beweisen kann "wenn man Argumentationen benutzt, die so komplex sind, dass ihre innere Widerspruchsfreiheit ebenso anzweifelbar ist wie die Systeme selbst."²²

Vereinfacht ausgedrückt, die Widerspruchsfreiheit eines formalen Systems²³ lässt sich niemals mit dem System selbst zeigen.²⁴

Proposition 1: *Bezogen auf die Fragestellung des Vortrages können wir als erstes Ergebnis festhalten, dass innerhalb der Diskussion über die Grundlegung von Mathematik und Logik der Formalismus in radikaler Ausprägung geschlagen ist. Eine Reduktion der Wahrheit der Mathematik auf die Form ist nicht möglich.*

Ich habe bislang noch keine Gründe angeführt, warum man als Mathematiker den Formalismus beherrschen sollte.

Nun sind, so behaupte ich, die meisten richtigen Mathematiker auch heute noch echte Formalisten. Unter ihnen gibt es eine Reihe bekennender Formalisten.

Der amerikanische Mengentheoretiker Henle hat unlängst²⁵ in dem Kommunikationsjournal der Gemeinschaft der Mathematiker "The Mathematical Intelligencer" dargelegt, wie sich der "moderne" gemässigte Formalismus heute versteht und legitimiert.

Henle²⁶ geht von einer sehr generellen und wohl allgemein akzeptierten Definition eines formalen Systems aus. Ein Formalsystem besteht aus:

- a) einer formalen Sprache (den Symbolen und eindeutigen Regeln der Verknüpfung),
- b) einer Sammlung von Aussagen (den Axiomen) und
- c) den Inferenzregeln (i.e. Regeln, die angeben, wie eine Aussage aus einer anderen abgeleitet wird, d.h. in der Mathematik insbesondere, wie ein Beweis geführt wird).

¹⁸ Meschkowski, 1971, S.127.

¹⁹ Weyl, 1921, S.55.

²⁰ Aus diesem Grund wird mit dem Intuitionismus auch der Begriff der operativen Mathematik verbunden.

²¹ Gödel, 1931.

²² Nagel und Newman, 1964, S.

²³ (einer bestimmten Komplexität)

²⁴ Es sei angemerkt, dass insbesondere die sog. Neue - mengentheoretisch begründete - Mathematik offenbar grösste Schwierigkeiten hatte, Gödels Arbeit anzuerkennen. So wurde beispielsweise in der Bibel der Neuen Mathematik und den Arbeiten des französischen Mathematikerkollektivs Bourbaki das Gödelsche Unvollständigkeitstheorem 1948 erstmalig erwähnt.

²⁵ Henle, 1991.

²⁶ Henle, 1991. p.13.

Als Bedingung und Anspruch der heutigen Formalisten benennt Henle, dass sich

- die Theoreme oder Sätze in einer endlichen Anzahl von Schritten ableiten lassen,
- die gesamte Mathematik unambiguid formalisieren lässt, in dem Sinne²⁷, dass sich die Gültigkeit von mathematischen Sätzen grundsätzlich mit einem geeigneten Computerprogramm²⁸ entscheiden lässt.

Dabei ist es interessant zu wissen, dass sich der gegenwärtige Formalist der Bedrohung, die für die Mathematik durch das Gödelsche Theorem gegeben ist, durchaus bewusst ist, also der Formalist sich in einem dauerhaften Zustand der Unsicherheit befindet, da er²⁹ von der Widersprüchlichkeit seines Systems bedroht wird.

3.2. Formalismus als Grundprinzip der Mathematik

Welche Argumente sprechen nun für einen Formalismus in der gemässigten Form für die gesamte Mathematik?

Eine formalistische Auffassung von Mathematik sei notwendig zur Sicherung des Gerüsts, ist eine gängige, wohl von jedem Mathematiker geteilte Position. Insbesondere wird wiederholt vor "spekulativer Mathematik"³⁰ gewarnt. Das Verlassen der reinen formalistischen Lehre mit ihren präzisen Definitionen und exakten Beweisen könne nicht nur in der Mathematik, sondern auch in den Naturwissenschaften viel Unheil anrichten, da bekanntlich mathematische Aussagen, auch wenn sie unausgereift sind, sich schnell ausbreiten. Als klassisches Beispiel wird die "Italienische Schule" der Algebraischen Geometrie angeführt, die - nach brillantem Start - in den dreissiger Jahren den Boden unter den Füßen verlor, weil viele Ergebnisse ungenau oder falsch waren. Es dauerte lange, bis der Schaden behoben war. Viele Mathematiker hatten sich schon auf die Resultate gestützt.

Diese Argumente für den Formalismus als Grundprinzip der Mathematik kann man vermutlich als wissenschaftshygienisch bezeichnen.

Auf einer ähnlichen, jedoch mehr epistemologischen Ebene liegt eine andere Funktion des Formalismus, die des sequentiellen präzisen und vollständigen formalen Beweises der Mathematik.

Ich möchte dazu einige bekanntere Beispiele aus der elementaren Zahlentheorie liefern. Die elementare Zahlentheorie beschäftigt sich mit dem Aufbau und den Eigenschaften eines der einfachsten, aber auch grundlegendsten Formalsysteme der Mathematik, nämlich der ganzen Zahlen. Eine besondere Rolle spielen in der Zahlentheorie die Primzahlen. Primzahlen sind ganze Zahlen wie 2,3,5,7,..., die die Eigenschaft haben, dass sie nur durch die ganze Zahl 1 und durch sich selbst ganzzahlig teilbar sind. Zahlentheoretiker beschäftigen sich mit Fragen der Art, ob es endlich viele oder unendlich viele

²⁷ Henle, 1991, p 14.

²⁸ Hiermit wird eine quasi mechanistische Verifikation postuliert. Hier ergibt sich ein direkter Rückbezug zum Hilbertschen Programm (siehe Behnke, Remmert, Steiner & Tietz, 1964, S.234).

²⁹ Dies gilt insbesondere für Grundlagenbereiche, wie die Mengenlehre.

³⁰ Schäfer, 1993

Primzahlen gibt, ob sich jede Gerade Zahl, also z.B. $8=3+5$, als Summe zweier Primzahlen darstellen lässt.^{31,32}

Da Probleme der Zahlentheorie für den mathematischen Laien relativ schnell verständlich sind, erlaube ich mir, im folgenden Bezug auf zwei zahlentheoretische Fragestellungen zu nehmen.

Von erkenntnistheoretischer Bedeutung erscheint mir die Existenz des Beweises des Primzahlsatzes. Ein besonderes Charakteristikum der Primzahlen ist es, dass keinerlei Muster oder Ordnung in der Folge der Primzahlen zu sein scheint. So gibt es beispielsweise nur zwei Primzahlen unter den einhundert Zahlen, die unmittelbar kleiner als 10 Millionen sind, jedoch 9 Primzahlen in den 100 Zahlen, die unmittelbar auf die Zahl 10 Millionen folgen³³. Eine gewisse Ordnung in den Primzahlen lässt sich nun aber entdecken, wenn wir eine Art Bevölkerungsstatistik der Primzahlen aufstellen. Berechnet man den Quotienten zwischen Anzahl der Zahlen n und Häufigkeit der Primzahlen $p(n)$ so ergibt sich die Tabelle in Abb. 1.

Abb.1: Der Primzahlsatz

$\lim p(n)=n/\log n$ (vermutet von Karl-Friedrich Gaus (1792) bewiesen von Poussin und Hadamard (1886))		
n	Häufigkeit der Primzahlen kleiner - gleich n	inverse Häufigkeiten der Primzahlen kleiner - gleich n .
n	$p(n)$	$n/p(n)$
10	4	2,5
100	25	4,0
1.000	168	6,0
10.000	1.229	8,1
100.000	9.592	10,4
1.000.000	78.498	12,7
10.000.000	664.579	15,0
100.000.000	5.761.455	17,4
1.000.000.000	50.847.534	19,7
10.000.000.000	455.052.512	22,0

³¹ Es handelt sich bei diesem Problem übrigens um die- immer noch unbewiesene - Goldbachvermutung.

³² Ich habe die elementare Zahlentheorie als Erstsemester gehört und habe dabei ihre Bedeutung und ihren Nutzen lange Zeit voller Argwohn betrachtet. Erst nach Ende meines Mathematikstudiums konnte ich in Interviews mit einer zahlentheoretischen Arbeitsgruppe bei der amerikanischen Telefongesellschaft Bell Laboratories AT&T erkennen, welchen Nutzen zahlentheoretisches Wissen für die Kodierung und Dekodierung von Nachrichten im kommerziellen und militärischen Bereich besitzt. Auch wenn sicher eine etwas differenziertere Bewertung der Bereiche, in denen bei Bell Laboratories mit zahlentheoretischen Anwendungen Nutzen erzielt wird, höchst aufschlussreich sein dürfte, so hat mich der damalige Besuch von der grundsätzlichen Anwendbarkeit mathematischen Wissens überzeugt.

³³ Die Argumentation bzgl. des Primzahlsatzes folgt Davis & Hersch, 1984.

Interessant ist nun, dass die Differenzen der inversen relativen Häufigkeiten von Zehnerpotenz zu Zehnerpotenz etwa 2,3 betragen³⁴. Nun ist der $\log_e 10$ gerade gleich 2,30258, und kein geringerer als Carl - Friedrich Gauss stellte als 15jähriger im Jahre 1792 die Vermutung auf, dass

$$\lim p(n) = n/\log n.$$

Es dauerte jedoch mehr als 100 Jahre, bis die französischen Mathematiker Poussin und Hadamard 1886³⁵ einen klaren und rigiden Beweis für diese Vermutung lieferten.

Die Bedeutung des formalen Beweises ist an diesem Punkt mehr, als dass eine Gewissheit über die Richtigkeit der logarithmischen Verdünnung der Primzahlen mit wachsendem n erzielt wird. Erst durch den formalen Beweis wird hier eine Beziehung zwischen Chaos und Ordnung, d.h. von individueller Gesetzlosigkeit des Erscheinens der Primzahlen und kollektiver, d.h. auf die Gesamtheit bezogener Gesetzmässigkeit hergestellt. Der Gegensatz³⁶ zwischen Zufälligkeit und Gesetzmässigkeit, der die Wissenschaftsentwicklung lange behindert hat, wird durch diesen Beweis aufgehoben und zur Komplementarität. Das, was in der Quantenmechanik für den radioaktiven Zerfall als Grundpostulat formuliert wird, wurde hier exakt innerhalb eines Formalsystems - im übrigen zu einem früheren Zeitpunkt - bewiesen.

Wir können als zweites Ergebnis festhalten:

Proposition 2: *Der gemässigte Formalismus besitzt innerhalb der Mathematik nicht nur eine hohe hygienische Funktion, sondern über die formale exakte Definition und die vollständige Ableitung werden Erkenntniskategorien gewonnen, die ohne den formalen Beweis nicht gegeben wären.*

Der Mathematiker sollte somit den Formalismus beherrschen.

Ich möchte nun dafür argumentieren, dass die 2. Annahme der gemässigten Formalisten, mit einem formalen Computerprogramm liesse sich die Wahrheit eines Beweises verifizieren, aus mehreren Gründen falsch ist.

Ich möchte die Unmöglichkeit der *Fiktion der formalen Verifizierbarkeit* an einem Beispiel illustrieren. Der Jurist, Amateurmatermatiker und Begründer der Zahlentheorie Pierre de Fermat hat eine Vielzahl von grundlegenden Sätzen über die Struktur unseres Zahlensystems entdeckt, unter ihnen die berühmte Fermatsche Vermutung³⁷. Diese entstand bei der Lektüre der Arithmetik von Diophant, und Fermat vermerkte am Rand des Buches, dass die Gleichung

$$x^n + y^n = z^n$$

für natürliche Zahlen n grösser als 2 keine Lösung besitzt, falls x , y und z ganze Zahlen grösser als Null sind.

³⁴ (10,4-8,1 sind beispielsweise 2,3)

³⁵ (unabhängig voneinander)

³⁶ (und damit die Inkompabilität)

³⁷ Siehe Chee, 1984

Abb.2: Die Fermatsche Vermutung

Die Gleichung
 $x^n + y^n = z^n$
ist für ganzzahlige $x, y, z > 0$
und $n > 2$ nicht lösbar.

Das Problem hat ungezählte Mathematiker über dreieinhalb Jahrhunderte zur Verzweiflung getrieben. Um diesen Zustand schneller zu beenden, wurde beispielsweise im Jahre 1905 über die Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften ein Preis von 100.000 Mark für den Beweis der Fermatschen Vermutung ausgesetzt. "Von da an liefen Tausende von sogenannten Beweisen bei der Gesellschaft ein,³⁸ und es wurden sogar viele Beweisversuche in - allerdings weniger berühmten - mathematischen Zeitschriften publiziert, die aber - bedauerlicherweise - alle falsch waren.³⁹

Heute sieht es so aus, dass der Beweis Stück für Stück erarbeitet wird. Zum einen wird die Gültigkeit für immer grössere Zahlen n bewiesen, wobei man etwa 1987 bei $n=125080$ angelangt war.⁴⁰ Andererseits wurde eine Reihe von zentralen Sätzen aus anderen Gebieten der Mathematik, z.B. der Theorie der elliptischen Kurven der Kommutativen Algebra, bewiesen, die über Isomorphiestrukturen an den Fermatschen Satz herangebracht werden können.

Am 23. Juni 1993 um 10:30 Uhr gab es nun folgende Situation⁴¹. Der Mathematiker Andrew J. Wiles lieferte einem hochkarätigen Publikum einen Vortrag, in dem er einen - möglicherweise - vollständigen Beweis präsentierte.

Es musste nun - wie schon häufiger - die Frage beantwortet werden, ob Wiles das Fermatsche Rätsel nun gelöst hat oder nicht. Kriegt er nun das ausgesetzte Preisgeld oder nicht?

Was uns aber interessiert ist, *wie* dieses entschieden wird.

Nichtformale Argumente gegen die formale Entscheidbarkeit

Das Problem beim Wilesschen Beweis ist die ungeheure Schwierigkeit, die in der Tiefe und Breite des Beweises liegt. Da⁴² einen Beweis, nur derjenige verstehen kann, "der selbständig so viel Erfahrung angesammelt hat, dass er den Beweis selbst hätte finden können," muss man diejenigen, die den Beweis verifizieren müssen, auf das Niveau von Wiles bringen. Dies allein ist schon ein grundlegendes Problem, da dazu eventuell niemand in der Lage ist. Denn der Wilessche Beweis ist offenbar von einer solchen Komplexität, dass zumindest unklar ist, ob ein einzelner Mathematiker (und damit auch Wiles selber) heute in der Lage ist, die Vollständigkeit und die Richtigkeit der Ge-

³⁸ König, 1984, S.101.

³⁹ Der wohlhabende Mathematikprofessor Wolfskehl stellte der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften 100'000.- Mark für denjenigen zur Verfügung, der den Beweis der Fermatschen Vermutung gefunden hätte. Siehe König, 1984.

⁴⁰ Chee, 1984; Kranzer, 1984; Wagon, 1986.

⁴¹ Schäfer, FAZ, 1.12.1993, Der Spiegel, 1993 (26), S. 202 - 203.

⁴² Otte, 1994, S.23.

samtheit der Theoreme und der Annahmen, unter denen sie in Verbindung gebracht werden, zuverlässig zu beurteilen.^{43 44}

Man sieht, es gibt nicht nur Beweisnotstände beim Treibhauseffekt, und es gibt offenbar mehr als ein Ozonloch.

Die Entscheidung der Richtigkeit mathematischer Beweise ist somit ein sozialer Akt, der von Personen vollzogen wird, die Einsicht in die Beweisschritte und die dahinter liegenden Strukturen haben müssen. Eine Entscheidung erfolgt letztendlich kollektiv, ein Übergang, der mit einem allgemeinen Wechsel von der "conception of man as rational being" zu einer "conception of man as collective rational being" einhergeht.⁴⁵

Ein weiterer nichtformaler Grund liegt darin, dass die Forderung nach einer sequentiellen, atomistische Verifikation von Beweisen auch ontologischer Blödsinn ist. Die fixe, aber begrenzte ontologische Annahme, "Die Welt besteht aus Einzeldingen"⁴⁶ kommt durch die Vorstellung "Alles ist eine Menge" deutlichst zum Vorschein, weil dies heisst, dass sich die "Welt zerlegt in einzelne Elemente oder Daten."

Die Auffassung "Alles ist eine Menge" mag zwar für die formale Darlegung, aber nicht für ein Verständnis, welches für die Verifikation notwendig ist, angemessen sein. Hier erscheint mir interessant und wichtig, dass kognitionstheoretisch und epistemologisch die Grundlagen der Verifikation die gleichen sind wie diejenigen, die Fermat zu seiner Vermutung geführt haben. Eine Verifikation benötigt eine tiefe holistische Einsicht. Wenn Fermat - bevor offenbar ein Beweis vorgelegen hat - schreibt, dass dies - $x^n + y^n = z^n$ - unmöglich sei, da es unmöglich ist, "einen Würfel in zwei Würfel oder ein Bi-Quadrat in zwei Bi-Quadrate oder eine Ordnung grösser als zwei in zwei Ordnungen des gleichen Grades zurückzuführen",^{47 48} so zeugt dies von einer holistischen, qualitativen Einsicht.

Formale Argumente gegen die formale Verifizierbarkeit

Die Suche nach einem geeigneten Computerprogramm, das die gemässigten Formalisten fordern, also die Konstruktion eines formalen Metasystems, welches solche Sätze verifiziert, ist jedoch auch aus anderen Gründen ein wissenschaftliches Unding.

Der - leider kürzlich verstorbene - Mathematiker Streitberg⁴⁹ zeigte, dass die gesamte Prädikatenlogik erster Ordnung notwendig ist, um die Gültigkeit mathematischer Teilgebiete, z.B. der mathematischen

⁴³ Dabei zeigt die Diskussion um die Gültigkeit des Wileschen Satzes, dass Einzelne, bei der hohen Differenzierung des wissenschaftlichen Gebäudes, heute nicht mehr in der Lage sind, die Gültigkeit zu bestätigen. Die Unsicherheiten, die in der Gruppe der Mathematiker besteht, die die Vollständigkeit und Richtigkeit des 200 Seiten langen Manuskriptes von Wiles zu beurteilen haben, lässt sich auch aus Newslettern in dem Mailboxsystem Gopher entnehmen, in dem Mathematiker sich austauschen.

⁴⁴ Im übrigen gibt es ein ähnliches Problem beim Beweis des 15.000 Seiten dicken Beweises des Vierfarbensatzes. Auch hier dürfte ein Einzelner nicht zuverlässig in der Lage sein, die Richtigkeit des Beweises zu beurteilen.

⁴⁵ Scholz, 1991

⁴⁶ Otte, 1994, S.55.

⁴⁷ Chee, 1984, S.1.

⁴⁸ So zeugt dies von einer ähnlichen qualitativen Einsicht, die etwa benötigt würde, wenn man den Beweis der Inkommensurabilität von Quadrat und Kreis verstehen will.

⁴⁹ Streitberg, 1988.

Statistik, zu beweisen. Da nun aber Wahrheitstafeln - etwa in der Computersprache Prolog - beim Beweis der Sätze der Statistik exponentielle Eigenschaften haben, lässt sich ein mathematisches Teilgebiet, wie die Statistik, aus Komplexitätstheoretischen Gründen nicht mit dem Computer lösen. Ich sehe keinen Grund, warum die von den Formalisten geforderte Metatheorie sich diesem Problem entziehen kann.

Darüberhinaus besteht natürlich auch für Metasysteme, die mathematische Sätze verifizieren sollen, selbst die Forderung nach der Verifikation, was natürlich zu einem Circulum Vitiosum führt.

***Proposition 3:** Das De-Ontologisierungsprogramm der Reduktion der Mathematik auf Sprache und Formalstrukturen, insbesondere die formale Verifizierbarkeit mathematischer Beweise ist als gescheitert zu betrachten. Dabei gibt es formale und nichtformale Gründe für das Scheitern.*

4. Formalismus in der Psychologie

Identifiziert man - wie es häufig getan wird - den Beginn der modernen oder wissenschaftlichen Psychologie mit der Gründung von Wilhelm Wundts Experimentallabor und damit auf die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts, so gilt zweifelsfrei, dass "die Psychologie eine lange Vergangenheit, aber eine kurze Geschichte hat"⁵⁰. Ich finde es nun höchst interessant, dass die Auseinandersetzung mit dem Formalismus in der Psychologie sozusagen ein vorgeschichtliches Thema darstellt.

Immanuel Kant bezweifelte bekanntlich grundsätzlich, dass die Psychologie je zu einer Wissenschaft werden könnte⁵¹. Für ihn waren die exakten Naturwissenschaften mit ihren quantitativen Methoden das Vorbild von Wissenschaft. Verfahren der direkten Messbarkeit von Grössen waren für Kant die Voraussetzung für eine eigentliche Wissenschaftlichkeit. Kant bestritt, dass diese Verfahren auch für das seelische Leben anwendbar seien, da - nach Newtons Paradigma - jegliche Erkenntnis nur auf die physische Wirklichkeit gerichtet sein könne. Genau die entgegengesetzte Position wurde von Kants Nachfolger auf dem Königsberger Lehrstuhl⁵², Friedrich Herbart, vertreten. Herbart gründete seine "Psychologie als Wissenschaft"⁵³ auf der Philosophie eines aufklärerischen Realismus. Seine Gesamtkonzeption muss als Versuch betrachtet werden, die Dynamik des seelischen Geschehens mit exakten formalen Mitteln zu fassen. Lassen Sie uns eine psychologische Analyse von Herbart betrachten.

"Die im Bewusstsein lebendigen Vorstellungen seien a,b ... Trete nun eine neue (c) hinzu, so werden a und b geschwächt. Sollte eine ältere Vorstellung (H) ins Bewusstsein gezogen werden, so könne sie dies nur, wenn a,b oder c verschwinde und freien Raum lasse. Wenn physiologische Hindernisse (mit P bezeichnet) grösser werden, sinke der Wert von a,b... herab....Möglicherweise gelingt es nicht mehr, H bewusst zu machen, zu erinnern. Werden a,b,c durch äussere Reize bewusst erhalten "usw. usf.

⁵⁰ So ein vielzitiertes Ausspruch des berühmten Gedächtnispsychologen Ebbinghaus. Vgl. Ulich, 1993, S.55.

⁵¹ Für diesen Abschnitt siehe auch Hehlmann, 1967, S.126-136.

⁵² In der Zeit von 1809 - 1833.

⁵³ Herbart, 1824/1825.

Der Typ von Herbarts Argumentation ist heute sehr modern. Sie gleicht in verblüffender Weise Argumentationsmustern der künstlichen Intelligenzforschung⁵⁴ und der sogenannten Expertensystemforschung⁵⁵. Herbart glaubte die Psychologie auf Erfahrung, Mathematik und Meta-Physik aufbauen zu können und ist zweifelsfrei der Gründer der formalen, der mathematischen Psychologie.

Die angenommenen Kognitionen und Erlebniseinheiten - die man heute als psychologische Konstrukte bezeichnen würde - werden in einer quasi-mathematischen Darstellung als Krafteinheiten gedacht.⁵⁶ ⁵⁷ Dabei legitimierte Herbart seinen Typ psychologischer Modellbildung, ohne messbare Grössen vorauszusetzen⁵⁸, indem er postulierte, dass sich jedes "hypothetisch angenommene, ja selbst jedes anerkannt unrichtige Gesetz einer Grössenverbindung" berechnen lässt.⁵⁹

Der Übergang von der Gegenstandsebene zur Zeichenebene begründet die Formalisierung und Mathematisierung der Psychologie. Prototypisch ist hier die 1933 erschienene Arbeit "Vectors of Mind"⁶⁰ des amerikanischen Psychologen Thurstone, der ein multivariates statistisches Intelligenzmodell entwarf. Der formale Zugang zur Psychologie fand seinen Höhepunkt in den fünfziger und sechziger Jahren, einer Zeit, in der das Wissenschaftsbild der Psychologie von der Konzeption des Menschen als rationales Wesen beherrscht wurde.⁶¹ ⁶²

Die Erwartungen an diesen Typ von Psychologie waren gross. Der deutsche Sozialpsychologe Hofstaetter⁶³ beschreibt die Zielsetzungen der Formalisten wie folgt: "Offenbar fehlt der Lehre von den menschlichen Empfindungen ein Analogon von den menschlichen Empfindungen und Charaktereigenschaften zu dem allgemeinverbindlichen Ordnungssystem der Chemie. Was wir uns erhoffen können, ist eine Reihe von Ordnungssystemen⁶⁴, von denen sich jeweils angeben lässt, für welche Individuen sie gültig sind."

Auch wenn sich die Erwartungen einfacher physikalischer Analogie nicht erfüllen liessen, so sind Formalismen und Formalsysteme in der Psychologie wichtige Mittel, um neues Wissen zu erzeugen.

⁵⁴ z.B. Anderson, 1983, Kap.3.

⁵⁵ In den achtziger Jahren dieses Jahrhunderts. Vgl. z.B. Dreyfus & Dreyfus, 1987; Feigenbaum & McCorduck, 1984.

⁵⁶ Nur ein Jahrzehnt später wurde in ähnlicher Weise eine "physique sociale" vom belgischen Astronom und Mathematiker Quetelet konstruiert. (vgl. Hehlmann, 1963, S.389)

⁵⁷ Die - wenn-dann-logischen - Gesetzmässigkeiten in der Psyche (seinerzeit Seele genannt) gleichen denen am Sternenhimmel. Deshalb hat man den Herbartischen Formalismus auch Vorstellungsmechanik genannt. Es sei angemerkt, dass sich die Herbartischen Überlegungen positiv auf die pädagogische Praxis auswirkten und Prinzipien wie "geduldiger oder fortschreitender Unterricht" aus seinen theoretischen Überlegungen abgeleitet wurden.

⁵⁸ Das Messproblem wird dabei über die häufig strapazierte Isomorphie-Bedingung gelöst, wobei etwa von Suppes und Zinnes (1963) die Relation zwischen einem empirischen psychologischen Relativ und einem numerischen Relativ in einer axiomatischen Messtheorie formuliert wurde. York.

⁵⁹ In seiner im Jahre 1822 erschienenen Schrift "Über die Möglichkeit und Nothwendigkeit, Mathematik auf Psychologie anzuwenden" formulierte Herbart, dass sich jedes "hypothetisch angenommene, ja selbst jedes anerkannt unrichtige Gesetz einer Grössenverbindung" berechnen lässt.

⁶⁰ Thurstone, 1935.

⁶¹ Siehe hierzu Scholz, 1991.

⁶² Durch den Übergang auf die Ebene der Symbole gelingt es der Psychologie - wie anderen Wissenschaften auch - das Reservoir mathematischer Theorien, von der Fourier-Analyse bis zur Wahrscheinlichkeitstheorie von der Graphentheorie bis zur Differentialgeometrie nutzbar zu machen. Dabei zeichnet sich die Psychologie auch dadurch aus, dass sie mit der Faktorenanalyse eine eigene mathematische Theorie entwickelt hat. Leider lässt sich auch gegen die Faktorenanalyse ein ähnlicher Vorwurf erheben wie gegen die Italienische Schule.

⁶³ Hofstätter, 1953, S.653.

⁶⁴ Eine ähnliche Forderung formuliert Tack, 1976, S.7.

Ein Beispiel ist die von Spearman⁶⁵ entwickelte Faktorenanalyse. Trotz aller berechtigter Kritik an vielen dilettantischen und naiven Anwendungen, die mit diesem Verfahren gemacht wurden⁶⁶, sind multivariate statistische Verfahren, wie Faktoren-, Diskriminanz-, Cluster- oder Logit-Probit Analyse, wichtige Werkzeuge der Erkenntnisgewinnung. Innerhalb des interpretativen strukturalistischen Ansatzes⁶⁷ erlauben sie auf der Zeichenebene Einsicht und damit Verständnis von psychischen Qualitäten, die der qualitativen intuitiven Wahrnehmung u.U. verschlossen bleiben.⁶⁸

Eine zweite, für jede angewandte Wissenschaft zentrale Funktion des Formalismus liegt in der empirischen Verifikation. Wo liegt beispielsweise der Unterschied zwischen einer intuitiven, geschulten, erfahrungs- und theoriebasierten Beurteilung durch einen erfahrenen klinischen Psychologen und einer - möglicherweise hochoriginellen - aber leider scharlataneriehaften parapsychologischen Vorhersage, wenn die Geschichte der Diagnostik zeigt, dass subjektive Urteile, selbst wenn sie von Experten erbracht werden, häufig Reliabilität und Validität vermissen lassen.

Hier sind Formalismen - z.B. statistisch experimentelle Tests - notwendig, um die Güte einer Diagnostik oder die Wirksamkeit einer Therapie nachvollziehbar zu machen.

Proposition 4: *Der Formalismus dient (auch in der Psychologie) zum einen der Verifikation von Aussagen, zum anderen sind Formalsysteme auf Zeichenebene wesentliche Werkzeuge, um Grundlagen für ein erweitertes Verständnis über einen Gegenstand zu erhalten.*

Aber wie weit kann man mit formalen Mitteln oder "psychologischen Periodensystemen" an ein Verständnis der Person oder des Charakters des Menschen herankommen? Kann man - wie es geisteswissenschaftliche Psychologen anzweifeln - die Psyche eines Menschen, seine Persönlichkeit oder seine Intelligenz formal verstehen?

Ich möchte bei der Beantwortung dieser Frage auf eine Unterscheidung⁶⁹ zwischen Verstehen, Begreifen und Erklären zurückgreifen.

Definiert man eine *Erklärung* als *kausale Reduktion*, so trägt dieser Typ von Erkenntnis - zumindest nach Meinung einiger Philosophen, wie etwa Dilthey - nichts zum Verständnis eines Wesens bei.

Unter *Begreifen* wird das "rein logische Erfassen einer sprachlichen Aussage" gefasst. Begreifen geht über Erklären hinaus, da beispielsweise mathematische Sinngehalte nicht kausalanalytisch im Sinne der Naturwissenschaften erklärt werden können. Kognitionspsychologisch formuliert⁷⁰ bezieht sich das Begreifen auf das sequentielle, begriffliche Erschliessen eines Gegenstands.

⁶⁵ Spearman, 1904.

⁶⁶ Stelzl, 1982; Wolins, 1982 .

⁶⁷ Cronbach, 1949.

⁶⁸ Zum Beispiel die experimentelle Forschung zu Wahrscheinlichkeitsschätzungen zeigt, dass zumindest unter bestimmten Randbedingungen das intuitive, diagnostische Urteil ungenau und verzerrt ist. Vgl. z.B. Beck et al., 1962; Meehl, 1954.

⁶⁹ Ich möchte bei der Beantwortung dieser Frage auf eine Unterscheidung des - mir eigentlich überhaupt nicht nahestehenden - Mainzer Psychologen Wellek aus den fünfziger Jahren zurückgreifen, indem ich zwischen Verstehen, Begreifen und Erklären unterscheidet. Wellek führte im übrigen eine verbitterte und zunehmend substanzlosere Dauerfehde mit Hofstätter, dem Hauptrepräsentanten der formalen Psychologie.

⁷⁰ Siehe Scholz, 1987.

Das Begreifen steht in einer gewissen Komplementarität zu dem dritten Begriff, dem *Verstehen*. Dem Verstehen unterliegt, aus der Perspektive der Denkpsychologie, ein holistischer, paralleler, bildhafter Prozess. So "weiss" oder zumindest glaubt der begabte Diagnostiker - Mediziner wie Psychologe - im günstigsten Falle "sofort", beim ersten Anblick des "Falles", zu wissen, "was los ist", und bemüht sich erst nachher um die begrifflich-sprachliche Formulierung und Einordnung des unmittelbar Gehabten und Verstandenen."

Begreifen und Verstehen sind als wechselseitige Akte der Erkenntnisgewinnung anzusehen. Einschränkung muss ich dazu anfügen, dass der wechselseitige Bezug der beiden Formen nicht sehr ausgebildet ist. In verschiedenen psychologischen Experimenten konnte ich Evidenzen sammeln, dass Individuen nicht sehr gut in der Lage sind, beide Formen ergänzend auf eine Problemlösung anzuwenden. Dies mag auch im folgenden, Hegel zugeschriebenen Witzwort zum Ausdruck kommen, der gesagt haben soll: "Von allen meinen Schülern hat mich nur ein einziger verstanden, und der hat mich nicht begriffen".

Man muss verstanden haben, um endgültig begreifen zu können. So muss man etwa das Sinngefüge einer Sprache oder der Mathematik in toto verstanden haben, wenn man imstande sein soll, einen bestimmten mathematischen Satz zu erfassen, d.h. zu begreifen. Jedoch gibt es kein exaktes oder formales Verstehen, sondern nur exaktes Begreifen.

Proposition 5: Verstehen und empathische, intuitive, unformale Prozesse sind wesentliche Erkenntnismittel in Wissenschaft und psychologischer Diagnostik.

5. Nutzen und Grenzen formalistischer Konzeptionen für handlungsbezogene Wissenschaften

Angewandte Wissenschaften wie Psychologie oder Umweltwissenschaften sind kein Selbstzweck und enden nicht im Verstehen oder Begreifen.

Wissen soll, z.B. in der klinischen Psychologie, dazu dienen, "Störungen des Seelenlebens" zu beseitigen.⁷¹ Man erstellt somit Diagnosen, um Entscheidungen zu treffen, um zu handeln.⁷²

Um jedoch eine Störung festzustellen oder zu beseitigen, bedarf es einer Definition des ungestörten, des normalen Zustands. Damit stellt sich für jede handlungs- bzw. umsetzungsorientierte Wissenschaft die Frage, was die Norm- oder Zielgrösse ist.

Wie bestimmt man nun, was eine gesunde Persönlichkeit oder Umwelt ausmacht? Was kennzeichnet einen normalen Charakter oder Umweltzustand?

Grundsätzlich gilt, dass sich Norm- und Zielgrößen im sozialen oder ökologischen Raum nicht ohne *subjektive Setzungen, Werte und Normen* bestimmen lassen.

Solcher Werte bedient sich auch ein Formalist, gemässigter wie radikaler Art. Handelt er und meint, dies ohne Werte zu tun, so betrügt er sich bewusst oder unbewusst. Als bekanntes Beispiel sei hier eine formal abgeleitete und begründete Empfehlung des bekannten Mathematikers und Beraters des amerikanischen Präsidenten im Koreakrieg J. von Neumann⁷³ angeführt. Von Neumann nutzte einen der ersten Grosscomputer und das Gerüst der Spieltheorie, um eine optimale Gewinnstrategie zu entwickeln. Innerhalb des von ihm konstruierten Formalsystems war eine flächendeckende atomare Bombardierung die optimale Strategie. Folglich riet von Neumann Truman zu dieser Strategie. In der historischen Rekonstruktion ist heute unklar, ob v. Neumann sich der in seinem Formalsystem enthaltenen Relationen und seiner Konsequenzen nicht bewusst war, oder ob er sie bewusst in seinen formalen Algorithmen versteckte.

An dem Beispiel wird zweifelsfrei deutlich, dass es Typen von Formalismus gibt, die es zu schlagen gilt.

Ich möchte meinen Vortrag mit einer letzten Frage beenden, deren Antwort weniger in einem "ja oder nein" bezüglich Formalismus verhaftet bleibt. Ich möchte eine Art Synthesis versuchen und dazu die Frage stellen, ob der Formalismus helfen kann, Qualitäten und Ziele therapeutischen Handelns oder Ziele von Umwelthandeln besser verstehbar zu machen. Gibt es auf der Ebene des Begreifens, also quasi halbformal, Kategorien, die für eine Kommunikation über allgemeine Ziele von psychologischem oder ökologischem Handeln hilfreich sein können?

Ich denke, ja. Meines Erachtens zielen psychologisches und umweltnaturwissenschaftliches Handeln immer auf zwei zentrale Grundrelationen, die es aus systemtheoretischer Perspektive zu gestalten gilt.

⁷¹ Siehe Hörmann und Nestmann, 1985.

⁷² vgl. Leichner, 1992.

⁷³ Eine umfassende Darstellung der Rolle von Neumanns als Berater des Weißen Hauses und der Atom-Energie Kommission findet sich in Heims (1980). Vgl. a. Wilson, 1970.

Dies ist zum einen das Verhältnis von *Change and Stability*, zwischen Stabilität und Änderung, und die auf diese Relation bezogene Frage, welche Veränderungsraten ein Mensch oder die Umwelt trägt. Aus formaler oder formalistischer Sicht kann man z.B. nachhaltiges Umwelthandeln als eine Gestaltung von Änderungsraten betrachten, die zu keinen das System gefährdenden, resonanz-katastrophenähnlichen Zuständen führen und - soweit möglich - eine Steuerbarkeit des Systems erhalten, z.B. in der genetischen Entwicklung oder Landschaftsveränderung.

Die zweite Relation ist die Konzeption bzw. die Beziehung zwischen dem *Innen* und dem *Aussen*. Betrachten wir den Menschen als isoliertes Individuum oder in seiner Grundfigur als soziales Wesen? Sprechen wir von Mensch und Umwelt, oder zielen wir auf eine Mitweltkonzeption?

Das Wechselspiel der Relationen Change-Stability und Innen-Aussen ist aus systemtheoretischer Sicht und damit auf halbformaler Ebene, der Ebene der Ziel- und Steuerungsgrößen sowie der Wesensmerkmale einer sozial determinierten handlungsorientierten Wissenschaft, ein Stück begreifbar zu machen.

Durch die Zielsetzung einer systemstabilisierenden Änderungsrate - siehe dazu das Beispiel von John v. Neumann - werden natürlich wesentliche handlungssteuernde Werte nicht bestimmt. Diese festzulegen bleibt Aufgabe eines sozialpolitischen Aushandlungsprozesses. In diesem Prozess wird sozusagen die ökologische Gestalt oder die anzuzielende Persönlichkeit innerhalb stabiler Entwicklungslinien festgelegt. Als Wertkategorien gelten hier beispielsweise der "sicher verwahrte und versorgte Behinderte" oder "das selbstbestimmte Individuum", die "gestaltete Parklandschaft" oder das "sich selbstorganisierende Biotop". Die formale Betrachtung hilft jedoch, um Grundlagen von systemischen Qualitäten, wie z.B. Nachhaltigkeit, besser begrifflich zugänglich zu machen, um zwischen dem, was verschiedenen Zielsetzungen gemein ist und was sie unterscheidet, zu diskriminieren und somit schlußendlich ein Verstehen vorzubereiten.

Proposition 6: *Man muss den Formalismus nicht nur beherrschen, um dort - wo es nötig ist - die Formalisten in Ihrer Beschränktheit zu schlagen, sondern man benötigt Formalismen, um in die Komplementarität zwischen Begreifen und Verstehen einzudringen und um zu zeigen, was wissenschaftlich ableitbar ist und was subjektive Normgrößen sind.*

Dies sind einige der Einsichten, die ich meinen Studierenden vermitteln möchte.

6. Literatur

- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Baldus, R.(1922). *Formalismus und Intuitionismus in der Mathematik*. Karlsruhe i.Br.: Braun.
- Beck, A.T., Ward, C.H., Mendelson, M., Mock, J.E. & Erbaugh, J.K. (1962). Reliability of psychiatric diagnosis II. A study of consistency of clinical judgements and ratings. *American Journal of Psychiatry*, 119, 351-357.
- Behnke, H., Remmert, R., Steiner, H.G. & Tietz, H. (1964). *Mathematik I*. Das Fischer Lexikon. Frankfurt a.M.: Fischer.
- Brouwer, L.E.J. (1913/1914). Intuitionism and formalism. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 20, 81-96.
- Brouwer, (1919). Intuistische Mengenlehre. *Jahresbericht der Deutschen Mathematikervereinigung*, 28, 203-208.
- Chee, (1984). Famous Problems II: Fermat's Last Theorem. *Menemui Mathematik*, 6(1), 1-26.
- Cronbach, L.J.(1949). Statistical methods applied to Rorschach scores, a review. *Psychological Bulletin*, 46, 393-429.
- Davis, P.J. & Hersch, R.H. (1981). *The mathematical experience*. Boston: Birkhäuser.
- Dreyfus, H.L. & Dreyfus, S.E. (1987). *Künstliche Intelligenz. Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition*. Reinbek: Rowohlt.
- Feigenbaum, E. & McCorduck, P. (1984). *Die fünfte Computer-Generation. Künstliche Intelligenz und die Herausforderung Japans an die Welt*. Basel: Birkhäuser.
- Gödel, K. (1931). Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 38, 173-198.
- Hadamard, J.(1896). Sur la distribution des zéros de la fonction $z(s)$ et ses conséquences arithmétiques. *Bulletin de la Société mathématique de France*, 24, 199 - 220.
- Hehlmann, W. (1967). *Geschichte der Psychologie*. Stuttgart: Kröner.
- Heims, J.H. (1980). *John von Neumann und Norbert Wiener. From Mathematics to the Technologies of Life and Death*. Cambridge, Mass.: MIT-Press.
- Henle, J.M. (1991). The Happy Formalist. *The Mathematical Intelligencer*, 13(1), 1218.
- Herbart, J.F. (1822t1969). Über die Möglichkeit und Notwendigkeit, Mathematik auf Psychologie anzuwenden. In: Herbart, J.F., *Kleinere Abhandlungen zur Psychologie* (S.173-198). Amsterdam: Bonset.

- Herbart, J.F. (1824/1968). *Psychologie als Wissenschaft, neu gegründet auf Erfahrung, Metaphysik und Mathematik*. Amsterdam: Bonset.
- Herbart, J.F. (1825/1965). *Lehrbuch zur Psychologie*. Amsterdam: Bonset.
- Hilbert, D.(1922/1965). *Neubegründung der Mathematik*. In: Hilbert, D., *Gesammelte Abhandlungen Bd.III* (S.157-177). New York: Chelsea Publishing Co.
- Hofstätter, P.R. (1953). *Psychologie und Mathematik*. *Studium Generale*, 6(11), 652-661.
- Hörmann, G. & Nestmann, F. (1985). *Die Professionalisierung der Klinischen Psychologie und die Entwicklung neuer Berufsfelder in Beratung, Sozialarbeit und Therapie*. In: M.G. Ash & U. Geuter (Hg.). *Geschichte der deutschen Psychologie im 20. Jahrhundert* (S.252-285). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- König, G. (1984). *Beweisversuche der Fermatschen Vermutung*. *Mathematikunterricht*, 30(1), 100-102.
- Kranzer, W. (1987). *Stand der Fermat-Vermutung*. *Wissenschaftliche Nachrichten*, 73(1), 28-29.
- Leichner, R. (1980). *Diagnostik*. In: R. Asanger & G. Wenniger (Hg.), *Handwörterbuch Psychologie*, (S.80-85). Weinheim: Beltz.
- Meehl, P.E. (1954). *Clinical vs. statistical prediction: A theoretical analysis and a review of the evidence*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Meschkowski, (1971). *Mathematisches Begriffswörterbuch*. Mannheim: Bibliographisches Institut.
- Nagel, E. & Newman, J.R.(1964). *Der Goedelsche Beweis*. Wien: Oldenbourg.
- Neumann, T. & Otte, M. (1971). *Über formale und inhaltliche Logik in der Didaktik, besonders im Mathematikunterricht*. *Studium Generale* (24), 1121-1130.
- Otte, M. (1994). *Das Formale, das Soziale und das Subjektive. Eine Einführung in die Philosophie und Didaktik der Mathematik*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Rheinwald, R. (1984). *Der Formalismus und seine Grenzen*. Königstein/Ts.: Hain.
- Scholz, R.W. (1987). *Cognitive Strategies in Stochastic Thinking*. Dordrecht: Reidel.
- Scholz, R.W. (1991). *Psychological Research in Probabilistic Understanding*. In: R. Kapadia & M. Borovcnik (Eds.). *Chance encounters: Probability in Education*, (pp.213-254). Dordrecht: Kluwer.
- Spearman, C.E. (1904). *Correspondence between General Discrimination and General Intelligence*. *American Journal of Psychology*, 15, 268-276.

- Stelzl, I.(1982). Fehler und Fallen in der Statistik. Bern: Huber.
- Streitberg, B.(1988). On the nonexistence of expert-systems. Statistical Software Newsletter, 14, 55-62.
- Suppes, P. & Zinnes, J.L. (1963). Basic measurement theory. In: R.D. Luce, R.B. Bush & E. Galanter (eds.). Handbook of Mathematical Psychology, Vol.I., (pp. 1-76). New York: Wiley.
- Tack. W.H. (1976). Stochastische Lernmodelle. Stuttgart: Kohlhammer.
- Thurstone, L.L. (1935/1947). The vectors of mind/Multiple factor-analysis: A Development and Expansion of the vectors of mind. Chicago: University of Chicago Press.
- Ulich, D. (1993). Einführung in die Psychologie. Stuttgart: Kohlhammer.
- Vallée Poussin, C. de la (1896a). Recherches analytiques sur la théorie des nombres premiers I. Annales de la Societé scientifique de Bruxelles, 20(2), 183-256.
- Vallée Poussin, C. de la (1896b). Recherches analytiques sur la théorie des nombres premiers II. Annales de la Societe scientifique de Bruxelles, 20(2), 281-397.
- Wagon, S. (1986). Fermat's Last Theorem. The Mathematical Intelligencer, 8(1), 59-61.
- Wellek, A. (1953). Verstehen, Begreifen, Erklären. In: V.E. von Gebattel (Hg.). Jahrbuch für Psychologie und Psychotherapie. Würzburg: Echter.
- Wellek, A. (1956). Mathematik, Intuition und Raten. Studium Generale, 9(10), 537-555.
- Wellek, A. (1958). Der Rückfall in die Methodenkrise der Psychologie und ihre Überwindung. Göttingen: Hogrefe.
- Weyl, H. (1921). Über die Grundlagenkrise der Mathematik. Mathematische Zeitschrift, 10, 39-79.
- Wilson, A. (1970). War Gaming. Harmondsworth: Penguin.
- Wolins, L. (1982). Research mistakes. Ames: Iowa State University Press.

ETH-UNS Working Papers

■ UNS-Working Paper 1 (Out of Print)

Scholz, R.W. (1994). **Muss man den Formalismus beherrschen, um die Formalisten zu schlagen?** Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Scholz, R.W. (1998). Umweltforschung zwischen Formalwissenschaft und Verständnis: Muss man den Formalismus beherrschen, um die Formalisten zu schlagen? [Environmental research between formal science and comprehension: is command of the formalism necessary for beating the formalists?] In A. Daschkeit & W. Schröder (Eds.), *Umweltforschung quergedacht: Perspektiven integrativer Umweltforschung und -lehre* [Environmental research thought laterally: perspectives on integrating environmental research and teaching] (pp. 309–328). Berlin: Springer.)

■ UNS-Working Paper 2 (Out of Print)

UNS (1994). **Lehrstuhlbeschreibung Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften (UNS). Fallstudie, Forschung und Berufspraxis.** Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 3

Mieg, H.A. (1994). **Die Expertenrolle.** Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 4

Heitzer, A. & Scholz, R.W. (1994). **Monitoring and evaluating the efficacy of bioremediation - a conceptual framework.** Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 5 (Out of Print)

Scholz, R.W., Weber, O. & Michalik, G. (1995). **Ökologische Risiken im Firmenkreditgeschäft.** Zürich: ETH-Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Scholz, R.W., Weber, O., and Michalik, G. (1995). *Ökologische Risiken im Firmenkreditgeschäft.* [Ecological risks in loans to enterprises] In Overlack-Kosel, D., Scholz, R.W., Erichsen, S., Schmitz, K. W., and Urban, G. (Eds.), *Kreditrisiken aus Umweltrisiken* [Loan risks due to environmental risks] (pp. 1–49). Bonn: Economica.)

■ UNS-Working Paper 6 (Out of Print)

Scholz, R.W., Heitzer, A., May, T., Nothbaum, N., Stünzi, J. & Tietje, O. (1995). **Datenqualität und Risikoanalysen - Das Risikohandlungsmodell zur Altlastenbearbeitung.** Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Scholz, R.W., Heitzer, A., May, T. W., Nothbaum, N. Stünzi, J., and Tietje, O. (1996). *Datenqualität und Risikoanalysen: Das Risikohandlungsmodell zur Altlastenbearbeitung.* [Data quality and risk analyses. The Risk Action Model of soil remediation] In S. Schulte-Hostede, R. Freitag, A. Kettrup, and W. Fresenius (Eds.), *Altlasten-Bewertung: Datenanalyse und Gefahrenbewertung* [Evaluation of soil remediation cases: analysis of data and evaluation of risks] (pp. 1–29). Landsberg: Ecomed.)

■ UNS-Working Paper 7 (Out of Print)

Scholz, R.W., Mieg, A.H. & Weber, O. (1995). **Mastering the complexity of environmental problem solving by case study approach.** Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Scholz, R.W., Mieg, H.A., and Weber, O. (1997). *Mastering the complexity of environmental problem solving with the case study approach.* *Psychologische Beiträge*, [Contributions to Psychology] 39, 169–186.)

■ UNS-Working Paper 8 (Out of Print)

Tietje, O. & Scholz, R.W. (1995). **Wahrscheinlichkeitskonzepte und Umweltsysteme**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Tietje, O. and Scholz, R.W. (1996). Wahrscheinlichkeitskonzepte und Umweltsysteme. [Concepts of probability and environmental systems] In A. Gheorghe & H. Seiler (Eds.), Was ist Wahrscheinlichkeit? Die Bedeutung der Wahrscheinlichkeit beim Umgang mit technischen Risiken [What is probability? The meaning of probability in the case of technical risks] (pp. 31–49). Zürich: vdf.)

■ UNS-Working Paper 9 (Out of Print)

Scholz, R.W. (1995). **Grenzwert und Risiko: Probleme der Wahrnehmung und des Handelns**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Scholz, R.W. (1996). Grenzwerte und Risiko: Probleme der Wahrnehmung und des Handelns. [Standards and risks: Problems of cognition and of action] In A. Grohmann & G. Reinicke (Eds.), Transparenz und Akzeptanz von Grenzwerten am Beispiel des Trinkwassers [Transparency in the setting of standards and their acceptance in the case of drinking water] (pp. 5–19). Berlin: Erich Schmidt Verlag.)

■ UNS-Working Paper 10 (Out of Print)

Weber, O. (1995). **Vom kognitiven Ungetüm bis zur Unverständlichkeit: Zwei Beispiele für Schwierigkeiten im Umgang mit Grenzwerten**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Weber, O. (1996). Vom kognitiven Ungetüm bis zur Unverständlichkeit: zwei Beispiele für Schwierigkeiten im Umgang mit Grenzwerten. [From cognitive monsters to incomprehensibility: two examples of difficulties in managing standards] In Umweltbundesamt (Ed.), Transparenz und Akzeptanz von Grenzwerten am Beispiel des Trinkwassers. Berichtsband zur Tagung vom 10. und 11. Oktober 1995 (mit Ergänzungen), [Transparency in and acceptance of standards. The case of drinking water] (pp. 133–150). Berlin: Erich Schmidt Verlag.)

■ UNS-Working Paper 11

Oberle, B.M., Meyer, S. B. & Gessler, R.D. (1995). **Übungsfall 1994: Ökologie als Bestandteil von Unternehmensstrategien am Beispiel der Swissair**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 12 (Out of Print)

Mieg, H.A. (1996). **Managing the Interfaces between Science, Industry, and Society**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Mieg, H.A. (1996). Managing the interfaces between science, industry, and society. In: UNESCO (Ed.), World Congress of Engineering Educators and Industry Leaders (Vol. I, pp. 529–533). Paris: UNESCO.)

■ UNS-Working Paper 13 (Out of Print)

Scholz, R.W. (1996). **Effektivität, Effizienz und Verhältnismässigkeit als Kriterien der Altlastenbearbeitung**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Scholz, R.W. (1996). Effektivität, Effizienz und Verhältnismässigkeit als Kriterien der Altlastenbearbeitung. [Efficacy, efficiency and appropriateness as criteria for evaluating soil remediation cases] In: Baudirektion des Kantons Zürich in Zusammenarbeit mit ETH-UNS (Eds.). Grundsätze, Modelle und Praxis der Altlastenbearbeitung im Kanton Zürich: Referate zur Altlastentagung 1996 [Principles, models and the administrative practice of soil remediation in the Canton of Zurich] (pp. 1–22) Zürich: AGW Hauptabteilung Abfallwirtschaft und Betriebe.)

■ UNS-Working Paper 14 (Out of Print)

Tietje, O., Scholz, R.W., Heitzer, A. & Weber, O. (1996). **Mathematical evaluation criteria**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Tietje, O., Scholz, R.W., Heitzer, A., and Weber, O. (1998). Mathematical evaluation criteria. In H.-P. Blume, H. Eger, E. Fleischhauer, A. Hebel, C. Reij, & G. Steiner (Eds.), Towards sustainable land use (pp. 53–61). Reiskirchen: Catena.)

■ UNS-Working Paper 15

Steiner, R. (1997). **Evaluationsbericht: Bewertung der obligatorischen Berufspraxis im Studiengang Umweltwissenschaften durch Betriebe und Studierende**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 16 (Out of Print)

Jungbluth, N. (1997). **Life-cycle-assessment for stoves and ovens**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Jungbluth, N. (1997). Life-Cycle-Assessment for stoves and ovens. 5th SETAC-Europe LCAS Case Studies Symposium, (pp. 121–130), Brussels.)

■ UNS-Working Paper 17

Tietje, O., Scholz, R.W., Schaerli, M.A., Heitzer, A. & Hesse, S. (1997). **Mathematische Bewertung von Risiken durch Schwermetalle im Boden: Zusammenfassung des gleichnamigen Posters auf der Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Konstanz**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 18

Jungbluth, N. (1998). **Ökologische Beurteilung des Bedürfnisfeldes Ernährung: Arbeitsgruppen, Methoden, Stand der Forschung, Folgerungen**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 19 (Out of Print)

Weber, O., Scholz, R.W., Bühlmann, R. & Grasmück, D. (1999). **Risk Perception of Heavy Metal Soil Contamination and Attitudes to Decontamination Strategies**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Weber, O., Scholz, R.W., Bühlmann, R., & Grasmück, D. (2001). Risk Perception of Heavy Metal Soil Contamination and Attitudes to Decontamination Strategies. *Risk Analysis*, Vol. 21, Issue 5, pp. 967–967.)

■ UNS-Working Paper 20

Mieg, H.A. (1999). **Expert Roles and Collective Reasoning in ETH-UNS Case Studies**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 21

Scholz, R.W. (1999). **«Mutual Learning» und Probabilistischer Funktionalismus - Was Hochschule und Gesellschaft von einander und von Egon Brunswik lernen können**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 22 (Out of Print)

Semadeni M. (1999). **Moving from Risk to Action: A conceptual risk handling model**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Semadeni, M. (2000). Moving from risk to action: A conceptual risk handling model. In R. Häberli, R. Scholz, A. Bill, & M. Welti (Eds.), Proceedings of the International Transdisciplinarity 2000 Conference: Transdisciplinarity – Joint Problem-Solving among Science, Technology and Society. ETH Zurich. Workbook I: Dialogue Sessions and Idea Market (pp. 239–234). Zürich: Haffmanns Sachbuch Verlag.)

■ UNS-Working Paper 23 (Out of Print)

Göldenzoph, W., Scholz, R.W. (2000). **Umgang mit Altlasten während dem Transformationsprozess im Areal Zentrum Zürich Nord (ZZN)**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften

(Published as: Göldenzoph, W., Baracchi, C., Fagetti, R., & Scholz, R.W. (2000). Chancen und Dilemmata des Industriebrachenrecyclings: Fallbetrachtung Zentrum Zürich Nord [Opportunities and dilemmas in the recycling of industrial "brownfields": Case study city center Zurich North]. DISP 143 [Docu-

ments and Information on Local, Regional, and Country Planning in Switzerland], 36, 10–17.)

■ UNS-Working Paper 24

Semadeni M. (2000). **Soil and Sustainable Land-Use**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften

■ UNS-Working Paper 25

Sell J., Weber, O., Scholz, R.W. (2001). **Liegenschaftsschätzungen und Bodenbelastungen**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften

■ UNS-Working Paper 26 (Out of Print)

Hansmann, R., Hesse, S., Tietje, O., Scholz, R.W. (2001). **Internet-unterstützte Umweltbildung: Eine experimentelle Studie zur Anwendung des Online-Simulationsspiels SimUlme im Schulunterricht**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Published as: Hansmann, R., Hesse, S., Tietje, O., Scholz, R.W. (2002). Internet-unterstützte Umweltbildung: Eine experimentelle Studie zur Anwendung des Online-Simulationsspiels SimUlme im Schulunterricht. Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften, Nr. 1/2002.)

■ UNS-Working Paper 27

Scholz, R.W., and Weber, O. (2001). **Judgments on Health Hazards to Soil Contamination by Exposed and Not-exposed Residents**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 28

Scholz, R.W., Steiner, R. and Hansmann, R. (2001). **Practical Training as Part of Higher Environmental Education**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 29

Hansmann, R., Scholz, R.W., Crott, H.W., and Mieg, H.A. (2001). **Education in Environmental Planning: Effects of Group Discussions, Expert Information, and Case Study Participation on Judgment Accuracy**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 30

Laws, D., Scholz, R.W., Shiroyama, H., Susskind, L., Suzuki, T., and Weber, O. (2002). **Expert Views on Sustainability and Technology Implementation**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

■ UNS-Working Paper 31

Flüeler, T. (2002). **Robust Radioactive Waste Management: Decision Making in Complex Socio-technical Systems. Part 1 = Options in Radioactive Waste Management Revisited: A Proposed Framework for Robust Decision Making; Part 2 = Robustness in Radioactive Waste Management. A Contribution to Decision Making in Complex Socio-technical Systems**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.

(Part 1 published as: Flüeler, T. (2001a): Options in Radioactive Waste Management Revisited: A Framework for Robust Decision Making. *Journal of Risk Analysis*. Vol. 21, No. 4, Aug. 2001:787-799.

Part 2 published as: Flüeler, T. (2001b): Robustness in Radioactive Waste Management. A Contribution to Decision-Making in Complex Socio-technical Systems. In: E. Zio, M. Demichela & N. Piccinini (eds.): Safety & Reliability. Towards a Safer World. Proceedings of the European Conference on Safety and Reliability. ESREL 2001. Torino (I), 16–20 Sep. Vol. 1. Politecnico di Torino, Torino, Italy:317-325.)

■ UNS-Working Paper 32

Hansmann, R., Mieg, H.A., Crott, H.W., and Scholz, R.W. (2002). **Models in Environmental Planning: Selection of Impact Variables and Estimation of Impacts**. Zürich: ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.