

# Der Satz von Arrow bei ökologischen Entscheidungen

N. Brunner

## Arrow's theorem and ecological decision making

### 1. Einleitung

Die Frage, welcher unter mehreren Kandidaten, welche unter vorgegebenen Alternativen, der bzw. die beste ist, kennt man aus vielen Lebenssituationen. Anders als bei einer gewöhnlichen Extremwertaufgabe ist es oft nicht klar, welche Funktion eigentlich optimiert werden soll. Im Allgemeinen erlaubt nämlich keine Einzige der Wahlmöglichkeiten das gleichzeitige Erreichen aller angestrebten Ziele, was naturgemäß zu Konflikten führt. Die klassische Lösung der Praxis für dieses Entscheidungsproblem ist die Wahl. Dabei bildet sich jeder Wähler (z. B. als Mitglied in einer Kommission) für sich eine Meinung über die möglichen Kandidaten oder Vorhaben, was man formal mit einer Vergleichsrelation (Reihung) ausdrückt. Ein Wahlverfahren (es ist im Folgenden nicht wichtig, welches mathematische Modell man zur Beschreibung heranzieht) hat die endliche Folge dieser Reihungen als Input (nicht immer wird diese volle Information benötigt und abgefragt) und berechnet als Output, welcher der angetretenen Kandidaten gewählt ist (eventuell mit der Möglichkeit für mehrere „gleich gute“ Kandidaten) bzw. welches Vorhaben verwirklicht werden soll.

Auch im ökologischen, ökonomischen, politischen und rechtlichen Kontext finden sich derartige Wahlverfahren, und zwar nicht nur in der offensichtlichen Form von Ab-

stimmungen in Gremien, sondern auch in einer leicht abgewandelten Form als ein Sonderfall von Entscheidungsregeln: Mögliche Alternativen (die Kandidaten) werden nach vorgegebenen Kriterien verglichen, zu denen Daten, z. B. durch Fachgutachter, erhoben werden. Enthalten die Daten nur ordinale Information, dann entspricht die Entscheidungsfindung einer gedachten Wahl: Der Input ist eine Folge von Reihungen der Alternativen unter verschiedenen sachlichen Gesichtspunkten (man kann sich also die Gutachter als Wähler vorstellen) und der Output eine Empfehlung an die Entscheidungsträger.

So lassen sich bei ästhetischen Kriterien, etwa zur Bewertung von möglichen Trassen einer Autobahn unter dem Gesichtspunkt des Landschaftsschutzes, oft nur qualitative Vergleiche treffen. Auch benötigen manche intuitive Entscheidungsverfahren a priori nur ordinale Daten, wie z. B. Entscheidungsbäume. (Die Bedeutung solcher Methoden in der Agrarökonomie demonstrieren z. B. DARNHOFER et al., 1997.)

Der Vertrieb von einschlägigen Softwarepaketen zur Entscheidungsfindung hat sich mittlerweile zu einem Wirtschaftszweig entwickelt. Verbreitet sind z. B. Programme auf der Basis von AHP (Analytical Hierarchy Process), das auch gelegentlich an der Universität für Bodenkultur gelehrt wird. (Vgl. die ökologische Anwendung bei SEPPÄLÄ, 1999.) Nach welchen Kriterien soll man aus die-

### Zusammenfassung

Wir zeigen anhand des Satzes von Arrow, wie die Anwendung abstrakter Konzepte der Wohlfahrtstheorie die Auswahl von formalisierten Entscheidungsverfahren für ökologische Fragestellungen erleichtern kann.

**Schlagerworte:** Formalisierte Entscheidungsverfahren der Ökologie, ökonomische Wohlfahrtstheorie.

### Summary

We survey an application of decision theory in environmental risk management and illustrate, by means of Arrow's theorem, how basic concepts of social welfare theory transform into applicable postulates that may aid the preparation of ecological and political decisions.

**Key words:** Multiple criteria decision aid in ecology, social welfare theory (economy).

sem Angebot wählen? Eine erste Hilfestellung dazu erhält man über eine axiomatische Analyse der Entscheidungsregeln. Denn z. B. beruht AHP auf mathematischen Konzepten, wie Eigenvektoren (vgl. SAATY, T., 1980). Wie anders, als durch Axiome, will man verstehen, worauf eine Entscheidung mit AHP beruht?

## 2. Der Unmöglichkeitssatz

Jedes Wahlverfahren (allgemeiner jede Entscheidungsregel) entspricht einer anderen Antwort auf die Frage, welches ist die beste Alternative? Die Anwendung von Entscheidungsregeln kann deshalb das Problem der fehlenden (unbekannten?) Zielfunktionen nicht unmittelbar lösen: Aus dem Zielkonflikt wird ein Methodenstreit über die Auswahl des „richtigen“ Verfahrens. Nicht ausgeschlossen ist jedoch zunächst eine indirekte axiomatische Lösung: Gibt es Axiome der Entscheidungstheorie, die jeder rationale Mensch akzeptiert? Wird dadurch vielleicht sogar ein Wahlverfahren eindeutig charakterisiert?

1. Eine bei Wahlen wünschenswerte Anforderung ist z. B. das Axiom der *Anonymität*: Die Wähler werden gleich behandelt.
2. Analog werden die meisten Wahlverfahren die Kandidaten gleich behandeln: *Neutralität*.
3. Ebenso einsichtig ist die Forderung der *Nachvollziehbarkeit*, wonach sich das Wahlergebnis durch einen Vergleich (z. B. Reihung) der möglichen Kandidaten begründen lässt. Dabei sollen bei jeder Konstellation von angetretenen Kandidaten einer oder mehrere im Sinn dieser Relation „am besten“ sein.
4. Für diese Relation kann dann das Axiom der *Vergleichbarkeit* gefordert werden, dass je zwei Kandidaten entweder gleich gut sind oder einer besser ist als der andere, die
5. *Transitivität*, dass A besser als C ist, wenn A besser ist als B und B besser als C, oder
6. das *Pareto Kriterium*: A ist besser als B, wenn A für keinen Wähler schlechter ist und für mindestens einen Wähler besser ist als B. Zu dieser Liste kommt noch die
7. *Unabhängigkeit von dritten Alternativen*, dass der Vergleich zwischen A und B nicht davon abhängen soll, welche anderen Kandidaten C sich bewerben.

Was bedeuten diese Axiome? Wir illustrieren sie anhand von einfachen (aber extremen – erst ab dem vierten Beispiel gelten Neutralität und Anonymität) Wahlverfahren.

1. Bei einer *externen Reihung* ist die Wahl überflüssig, weil

das Ergebnis bereits feststeht. Die Wähler (aber nicht die Kandidaten) werden ignoriert und daher gleich behandelt, die Auswahl des besten Kandidaten ist auf Grund der Reihung nachvollziehbar, es gelten Transitivität, Vergleichbarkeit und man kann (bei geeigneten externen Vorgaben) auch die Unabhängigkeit von dritten Alternativen sicherstellen. Die Pareto Bedingung gilt aber offensichtlich nicht, weil ja die individuellen Ansichten irrelevant sind.

2. Der *starke Diktator*: Das Vorhaben A ist genau dann besser als (oder gleich gut wie) B, wenn dies der starke Diktator (= ein vorgegebener Wähler, etwa der Bürgermeister) so sieht. (Im ökologischen Kontext, wo die Kriterien die Rolle der gedachten Wähler spielen, entspricht dies der Entscheidung auf der Basis eines einzigen Indikators.) Das Axiom der Anonymität wird offensichtlich verletzt. Weil die Information über die individuellen Präferenzen fast irrelevant ist, wird auch die Pareto Bedingung verletzt. (Der Diktator sei zwischen A und B indifferent, die anderen Wähler bevorzugen A. Trotzdem wird B nicht ausgeschieden.) Wenn man voraussetzt, wie allgemein im Folgenden, dass die individuellen Vergleiche ebenfalls (obige) Annahmen der Rationalität erfüllen (Vergleichbarkeit, Transitivität), dann sind die Nachvollziehbarkeit, Vergleichbarkeit und Transitivität erfüllt (der Gesellschaft wird ja eine der individuellen Reihungen aufgezwungen). Weil je zwei Kandidaten paarweise verglichen werden, spielt auch keine dritte Alternative eine Rolle.
3. Vor der *hierarchischen Abstimmung* werden die Wähler nach ihrem Einfluss (Rang) angeordnet. A ist dann besser als B, wenn ein Wähler dieser Meinung sein kann, ohne dass die ranghöheren Wähler ihm widersprechen: Sie sind ebenfalls dieser Meinung oder indifferent zwischen A und B. (In einer Familie werden z. B. die Eltern das neue Auto aussuchen und die Kinder auswählen lassen, welche Farbe es hat.) Bis auf die Verletzung der Anonymität (der ranghöchste Wähler ist ein *schwacher Diktator* und zwingt der Gesellschaft seine strikten Präferenzen auf) sind bei diesem Verfahren alle Anforderungen erfüllt. Es wird im rechtliche Kontext bei der Abwägung unter absoluten Prioritäten zwischen den Kriterien eingesetzt.
4. Bei der *Mehrheitsabstimmung* wird A gewählt, wenn die meisten Wähler für A stimmen. (Für sie ist A der beste Kandidat.) Verbreitet ist das Verfahren z. B. bei Abstimmungen in Gremien. Weil keine Reihung der Kandidaten erzeugt wird, ist die Entscheidung zunächst nicht

nachvollziehbar. Dies lässt sich allerdings durch eine Modifikation des Verfahrens beheben: A ist besser als B, wenn A mehr Stimmen als B erreicht. Dadurch wird eine transitive Relation definiert, die aber, weil die individuellen Meinungen über die zweitbesten usw. Kandidaten irrelevant sind, die Pareto Bedingung verletzt. Schlagend wird dieser Verzicht auf Information dann, wenn ein Kandidat C gewählt wird, der für die Mehrheit der Wähler am schlechtesten ist, wofür es auch historische (und aktuelle) Beispiele gibt. (Es genügt eine uneinige Mehrheit von weniger als  $2/3$  der Wähler, wo je 50 % für A vor B vor C sind bzw. für B vor A vor C, damit eine Minderheit von mehr als  $1/3$  der Wähler, für die C am besten ist, die Wahl entscheidet.) Diese Abstimmung lässt sich dann auch nicht durch einen paarweisen Vergleich erklären, sie hängt von irrelevanten Alternativen ab. (Konkret hängt der Vergleich zwischen A und C von B ab: Bei der paradoxen Abstimmung wird C unter den Alternativen A, B, C ausgewählt. Steht nur der Vergleich von A und C an, wird A gewählt.) Diese Defekte waren übrigens der Ausgangspunkt der modernen Analyse von Wahlverfahren.

5. Bei der *einstimmigen Wahl* ist A besser als oder gleich gut wie B, wenn alle Wähler dieser Ansicht sind bzw. alle Kriterien in diese Richtung deuten. (Dieses Verfahren wird manchmal zur vergleichenden Beurteilung von Belastungen des Bodens eingesetzt; vgl. BRÜGGEMANN und STEINBERG, 1999.) Der einzige Defekt ist hier die Verletzung der Vergleichbarkeit, sobald sich zwei Wähler bzw. Kriterien widersprechen. Die Konsequenz könnte eine (z. B. im mittelalterlichen Polen gefährliche) Lähmung des Entscheidungsprozesses sein: Wer soll dann gewählt werden, welches Vorhaben wird verwirklicht?
6. Bei der *Mehrheitswahl* ist A besser als (oder gleich gut wie) B, wenn die Mehrheit der Wähler dem zustimmt. (Gewählt wird dann der *Condorcet Sieger*.) Wenn z. B. ein Finanzanalytiker wissen möchte, welche Verringerung des Ertrags der von ihm beratene Anleger zur Reduktion des Risikos (Varianz) in Kauf nehmen will, wird er mehrere Szenarien vorlegen und den Anleger ersuchen, je zwei davon zu vergleichen. Wenn darüber (wie bei institutionellen Anlegern) von einem Komitee abgestimmt wird, definiert dies einen Vergleich, der die einstimmige Wahl ergänzt. Die Vergleichbarkeit aller Vorhaben bzw. Kandidaten und die Unabhängigkeit von dritten Alternativen sowie eine, allerdings nur abgeschwächte, Form der Pareto Bedingung sind erfüllt.

(Wenn A für keinen Wähler schlechter als B ist, so gilt dies auch für das Wahlergebnis. Eine Minderheit, für die A besser ist, kann sich jedoch nicht gegen eine indifferente Mehrheit durchsetzen.) Diese Relation ist jedoch nicht unbedingt transitiv und erlaubt nicht einmal immer die Ermittlung eines besten Kandidaten, weil es zirkuläre Präferenzen geben kann: Das ist die Paradoxie von Condorcet. (Gegeben seien etwa drei Wähler mit den jeweiligen Präferenzen ABC, d. h. A besser als B und B besser als C, BCA und CAB. Dann stimmen jeweils zwei Wähler den Aussagen zu, dass A besser ist als B, B besser als C und C besser als A; ein Kreis.) Ein Analytiker, der mit solch einem Komitee arbeitet, kann nur hoffen, dass diese Intransitivität einen Bereich betrifft, der bei der aktuellen Marktlage ohnedies nicht mit einem effizienten Portfolio erreicht werden könnte. Praktisch angewandt wird dieses Verfahren als Bestandteil von Softwarepaketen zur Entscheidungsfindung; z. B. in Kanada das Verfahren Electre für Fragen der Elektrizitätswirtschaft (vgl. PHANEUF, 1986). Eine Anwendung im Bereich der Abfallwirtschaft findet man bei HOKKANEN et al., 1995.

7. Das *Borda Verfahren*. Jeder Entscheidungsträger soll die Vorhaben mit 1 für das beste Projekt, 2 für das Nächste, usw. benoten, also mit individuellen Rangzahlen. (Bei z. B. 9 Vorhaben erhält die schlechteste Variante 9 Punkte.) Je geringer die Punktesumme ist, desto besser ist das Vorhaben. (In der Praxis wird dieses Verfahren, mit den Kriterien als den gedachten Wählern, z. B. unter dem Titel „Nutzwertanalyse“ beim Vergleich von technischen Projekten eingesetzt, vgl. BECHMANN, 1988.) Der einzige Defekt ist hier die Möglichkeit der Manipulation durch die Einführung von Scheinkandidaten, also die Abhängigkeit von dritten Alternativen. (Gegeben seien die drei Wähler von vorhin. Beim Vergleich der drei Kandidaten A, B, C werden A, B, C mit je 6 Punkten als gleich gut eingeschätzt. Vergleicht man nur A und B ohne C, dann ist A mit 4 Punkten besser als B mit 5 Punkten.)

Die Überprüfung der gängigen Wahlverfahren auf die Anforderungen der Rationalität zeigt somit, dass immer eines oder mehrere dieser Axiome verletzt werden, was sich in der Form von paradoxen Wahlergebnissen äußert. Tatsächlich kann es auch gar kein ideales Wahlverfahren ohne Defekte geben (und daher auch allgemein kein solches Entscheidungsverfahren). Das ist der Inhalt des folgenden Theorems, benannt nach seinem Entdecker Kenneth J.

Arrow (geb. 1921, 1971 Ehrendoktor der Universität Wien, 1972 Wirtschaftsnobelpreis gemeinsam mit Hicks). Er hatte zunächst in New York Mathematik studiert und Kurse in Logik belegt, wechselte aber schließlich zu einem Wirtschaftsstudium. Während er 1948–49 in Chicago an seiner Dissertation arbeitet, bemerkt er, wie nützlich die allgemeine Theorie der Relationen aus der Logik ist, um Entscheidungsprobleme zu modellieren. Das Ergebnis, der Unmöglichkeitssatz, wurde schließlich vor rund 50 Jahren veröffentlicht (ARROW, 1951).

### Satz von Arrow

*Ab 2 Wählern und 3 Kandidaten verletzt jedes denkbare Wahlverfahren eines der o.a. Axiome.*

Der Beweis beruht darauf, dass ein solches Wahlverfahren eine Variante der Mehrheitswahl wäre: A ist besser als B, wenn fast alle Wähler (sie bilden eine „dominante Koalition“) dem zustimmen. Gemeint ist mit „fast alle“, dass die „Dissidenten“ eine Menge vom Maß 0 bzgl. eines (vom Verfahren abhängigen) endlich additiven zweiwertigen Maßes bilden. Weil für eine endliche Menge das Maß auf einen Punkt konzentriert ist, gibt es einen schwachen Diktator (wie beim zweiten und dritten Beispiel.) Für unendlich viele Wähler liefert diese Konstruktion umgekehrt Entscheidungsverfahren, die frei von allen Defekten sind. Vorausgesetzt wird dabei die Existenz geeigneter Maße, was (gemeinsam mit Überlegungen, welche Koalitionen „erlaubt“ sind) wieder zurück zur Logik führt (vgl. BRUNNER and MIHARA, 2000).

### 3. Ausblick

Die komplexen Probleme, wie sie z. B. regelmäßig bei Fragen der Umweltpolitik auftreten (soll die Produktion von PVC wegen gesundheitlicher Bedenken verboten werden?), hat ein Bedürfnis nach standardisierten Entscheidungsverfahren entstehen lassen. Die Lehre aus dem Satz von Arrow wird hier offensichtlich ignoriert: Wenn bei der Auswahl einer optimalen Lösung unter der gleichzeitigen Berücksichtigung von unterschiedlichen Kriterien auch qualitative Daten eingehen sollen, wie es etwa bei ökologischen, rechtlichen oder wirtschaftlichen Fragestellungen nicht unüblich ist, dann gibt es dazu kein ideales Verfahren. Dies wird auch durch praktische Erfahrungen unterstrichen, vgl. etwa die

Literatur zur fragwürdigen Rolle von standardisierten Verfahren beim Thema PVC (u. a. BRAS-KLAPWIJK, 1998).

Die Bewertung wird zwangsläufig einen axiomatischen Defekt akzeptieren müssen, aber welchen? Dazu wird man sich (vor der Wahl bzw. Bewertung) fragen, welche Axiome erfüllt werden sollen. Dabei muss man sich über ihre inhaltliche Bedeutung im Klaren sein, die Auswahl der Axiome hängt also auch von der Problemstellung ab: Neben ethischen Aspekten können je nach geprüftem Sachverhalt auch naturwissenschaftliche Fragen eine Rolle spielen, wie unsere Beispiele unten illustrieren. Hingegen könnte eine Bewertung von rein quantitativen („kardinal skalierten“) Daten ohne Defekt erfolgen. (Man bilde und vergleiche für jede Alternative das geometrische Mittel ihrer einzelnen Parameter.) Das ist jedoch nur bedingt ein Ausweg: Sind immer quantitative Daten vorhanden? Und wenn sie theoretisch ermittelt werden könnten (z. B. eine Erhebung der – mehrjährigen Zyklen unterliegenden – Populationsgrößen von Tierarten in einem Gebiet), reicht dazu die Zeit (in Österreich etwa bei einem UVP-Verfahren 9 bzw. 6 Monate)?

1. Nur implizit kommen in der bisherigen Diskussion die Voraussetzungen über den *Definitionsbereich* der Verfahren vor: Die Regel (Wahl, Bewertung) liefert für jeden möglichen Input einen Output (d. h.: sie ist überall definiert). Gleichzeitig soll (bis auf die Einschränkung der Rationalität) jede Kombination von individuellen Präferenzen möglich sein. Diese aus dem Anliegen der Unvoreingenommenheit begründete Annahme wird bei den oben stehenden Beispielen erfüllt. Ein mögliches Problem ist, dass nützliche Vorinformation über die Gesellschaft ignoriert wird (und der Definitionsbereich zu groß ist): Bei „unimodalen Wählern“ mit von links zu einem Gipfel aufsteigenden und dann nach rechts abfallenden Parteipräferenzen ist die Mehrheitswahl (nicht aber die Mehrheitsabstimmung) ohne Defekt (vgl. CHICHILNISKY and HEAL, 1983).
2. Andererseits könnte mehr *Sachwissen* vorausgesetzt werden, als vorhanden ist. Will man z. B. die Schädigung von Pflanzen durch die beiden Luftschadstoffe NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> beurteilen, dann muss man wissen, ob beide Schadstoffe gleichzeitig einwirken oder etwa nacheinander und in welcher Reihenfolge. (So wird das Immissionsmuster variieren, je nachdem, wie die Emittenten relativ zur Windrichtung verteilt sind.) Ohne dieses Wissen wird man allenfalls auf Grund der Konzentrationen „unscharf“ vergleichen, wann eine „möglicherweise größere“ Schädigung vorliegt, was nicht transitiv ist. (Jetzt ist der Definitionsbereich zu klein.)

3. Das Motiv der *Anonymität*, Gerechtigkeit unter den Wählern, ist im sachlichen Kontext der Bewertung unter Kriterien unanwendbar. Tatsächlich sind Kriterien ungleich wichtig, was in der Praxis durch Wertgewichte ausgedrückt wird. Bei deren Ermittlung, z. B. mit Oberzielen zur relativen Beurteilung der Kriterien, wird jedoch an irgendeiner Stelle dieser Hierarchie die Vermutung der Anonymität stehen.
4. Die praktische Notwendigkeit zu einer Entscheidung führt zum Axiom der *Vergleichbarkeit*. Notfalls werden die Wahlregeln so verschärft, dass Vergleiche erzwungen werden. Wo ethische Probleme noch offen sind (vgl. die Diskussionen über die gesellschaftlich geforderten Grenzen der Forschung), wird dann allerdings durch die Entscheidungsregeln das Ergebnis der Diskussion vorgegeben. (Man kann sich das so vorstellen, als ob im Mittelalter über astronomische Fragen abgestimmt worden wäre.)
5. Die *Nachvollziehbarkeit* ist insbesondere dann gegeben, wenn eine *transitive* Relation zum Vergleich der Alternativen konstruiert wird. Dabei können jedoch implizit Strategien zur Bewältigung von Unsicherheit vorausgesetzt sein: Beim Vergleich ungenauer Daten (Messfehler) wird z. B. die Relation „möglicherweise besser“ a priori ausgeschlossen, denn sie ist i.A. nicht transitiv (vgl. als klassisches Beispiel die Toleranzrelationen bei POINCARÉ, 1913).
6. Die *Pareto Bedingung* ist bei Wahlen selbsterklärend, nicht jedoch bei Bewertungen, wo es bloß eine Vermutung ist, dass die Gesamtwirkung in dieselbe Richtung weisen wird, wie alle Teilaspekte. Weniger Staub (bei sonst gleichen Immissionen) muss z. B. nicht unbedingt eine „geringere Umweltbelastung“ bedeuten, weil ja auch mangels Pufferwirkung die Versauerung des Bodens steigen könnte. Auch könnte das Wertsystem einen Vergleich nach „pessimistischen Szenarien“ (klassisch „verzichte auf unbekannte Pilze wegen des Szenarios einer letalen Vergiftung“) fordern, der i.A. die Pareto Bedingung verletzt.
7. Die *Unabhängigkeit von dritten Alternativen* ist gerade im umweltrechtlichen Kontext sehr erwünscht, weil sie die Manipulation durch Scheinalternativen unterbindet. Sie kann jedoch im Konflikt zu allgemeinen Forderungen stehen, etwa der nach einer Beurteilung lediglich ökonomischer Aspekte. (Nach dem „Gesetz von Angebot und Nachfrage“ wird ja ein Wert erst durch die anderen Objekte bestimmt.)

Der Satz von Arrow legt somit nahe, dass man zunächst die für Bewertungsverfahren akzeptablen Defekte prüfen wird. Dabei gehen sachliche und ethische Gründe ein: Sind die Axiome mit den naturwissenschaftlichen Modellen verträglich? Entsprechen die Axiome den Vorgaben des Wertsystems. Insbesondere wird sich diese Untersuchung in jedem Einzelfall wiederholen müssen, zumindest dann, wenn ein anderer Sachverhalt bewertet wird. Im Idealfall wird die Analyse der Axiome sogar zu einer konkreten Bewertungsregel führen (vgl. auch die Monografie von BRUNNER, 2001). Grundsätzlich kann man aus axiomatischer Sicht feststellen, dass die Abwehr unakzeptabler Vorhaben (Entscheidung über die Zulässigkeit auf Grund von Grenzwerten) einfacher ist, als die Suche nach den besten Alternativen. Und bei der Suche nach den Optima ist es ratsam, mannigfache Ansätze der Bewertung einzusetzen und damit unterschiedliche Reihungen der Varianten zu generieren: Bei der anschließenden Diskussion über diese Unterschiede wird sich oft von selbst die Frage klären, welche Axiome der konkreten Problemstellung entsprechen.

Diese Übersicht ist aus einem Vortrag am 24. 10. 2001 bei einem Seminar der Salzburger Verwaltungsakademie in St. Gilgen hervorgegangen.

## Literatur

- ARROW, K. J. (1951): Social Choice and Individual Values. Cowles Foundation for Research in Economics. Yale University.
- BECHMANN, A. (1988): Die Nutzwertanalyse. In: STORM, P.-C. und T. BUNGE (Hrsg.): Handbuch der UVP. Berlin. Abschnitt 3555.
- BRAS-KLAPWIJK, R. M. (1998): Are Life Cycle Assessments a Threat to Sound Public Decision Making? *International Journal of Life Cycle Assessment* 3, 333.
- BRÜGGEMANN, R. und C. STEINBERG (1999): Ein Ansatz zur Methodik der vergleichenden Bewertung von Bodenbelastungen. *Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 11, 135.
- BRUNNER, N. and H. R. MIHARA (2000): Arrow's Theorem, Weglorz' Models and the Axiom of Choice. *Mathematical Logic Quarterly* 46, 335.
- BRUNNER, N., I. FIALA und J. WIMMER (2001): Vergleichen und Entscheiden im Umweltschutz. Berlin.
- CHICHILNISKY, G. and G. HEAL (1983): Necessary and Sufficient Conditions for a Resolution of the Social Choice Paradox. *Journal of Economic Theory* 31, 68.

- DARNHOFER, I., R. GRETZMACHER und W. SCHNEEBERGER (1997): Modeling farmer's decisions for oats-vetch adaption in the Ethiopian Highlands. *Die Bodenkultur* 48 (2) 271–280.
- HOKKANEN, J. et al. (1995): The Choice of a Solid Waste Management System using ELECTRE II Decision Aid Method. *Waste Management & Res.* 13, 175.
- PHANEUF, Y. (1986): EIS Process and Decision Making. University of Montreal.
- POINCARÉ, H. (1913): *The Value of Science*. Paris (Übersetzung 1963).
- SAATY, T. J. (1980): *The Analytical Hierarchy Process*. New York.
- SEPPÄLÄ, J. (1999): Decision Analysis as a Tool for Life Cycle Impact Assessment. In: *LCA Documents*. Bd. 4. Bayreuth.

### **Anschrift des Verfassers**

**a.o. Univ. Prof. Dr. Norbert Brunner**, Institut für Mathematik und angewandte Statistik, Universität für Bodenkultur, Peter Jordan Str. 82, A-1190 Wien; e-mail: brunner@edv1.boku.ac.at

Eingelangt am 11. Dezember 2001

Angenommen am 15. Juli 2002