

Hans-Werner Sinn
Alfons J. Weichenrieder

Die biologische Selektion der Risikopräferenz

1. Instrumentale Präferenzen
2. Die Evolution der Risikopräferenzen
3. Ein Selektionsmodell
4. Die selektiv-dominante Entscheidungsregel
5. Verwandte Ansätze in der Biologie
6. Ökonomische Interpretation des Ergebnisses
7. Schlußbemerkungen

99/2199(6)-ifo

1. Instrumentale Präferenzen

Die ökonomische Theorie neigt dazu, die Präferenzen der Menschen als gegeben zu betrachten. Ja, es ist geradezu die Grundlage des methodologischen Individualismus, die Präferenzen des einzelnen zum Maß aller Dinge zu erklären. Für Ökonomen gibt es keine guten Präferenzen und keine schlechten. Die Wünsche und Bedürfnisse sind, wie sie sind, und niemand darf sie hinterfragen oder sich gar anmaßen, Werturteile über sie auszusprechen. Mit beinahe schon dogmatischer Sturheit wird das Menschenbild des *homo oeconomicus* aufrechterhalten, der nach Maßgabe fester Ziele individuell kluge Entscheidungen trifft und allenfalls durch Systemfehler in den sozialen Spielregeln zu kollektiv irrationalen Verhalten veranlaßt werden kann.

Die Tabuisierung der individuellen Präferenzen ist als Grundlage für die wirtschaftspolitische Beratung unerlässlich, denn ohne sie würde der Willkür der Berater und Politiker Tür und Tor geöffnet. Sie hilft dabei, die wirtschaftspolitischen Ratschläge auf die Verbesserung der Wirtschaftsordnung und des Wirtschaftsaufbaues zu konzentrieren. Ungeachtet dieses wohlbegründeten methodologischen Postulats der *normativen* Theorie ist es jedoch ein erheblicher Mangel der *positiven* ökonomischen Theorie, daß sie sich über die Begründung und Erklärung von Präferenzen bislang recht wenig Gedanken gemacht hat.¹

In diesem Beitrag mißachten wir das Tabu der Ökonomen, denn wir wollen den Versuch unternehmen, beobachtbare Aspekte der Risikopräferenz des Menschen zu erklären bzw. falsifizierbare Hypothesen über die Eigenschaften der menschlichen Risikopräferenz aus tieferliegenden Ursachen herzuleiten. Diese tieferliegenden Ursachen sehen wir in der Grundpräferenz des genetischen Überlebenswunsches, an der alles Leben auf dieser Erde auf dem Weg der biologischen Evolution ausgerichtet wurde. Genetisch kodierte Präferenzen, die dieser Grundpräferenz widersprachen, konnten nicht entstehen. Wer derartige Präferenzen hatte, dessen Gene weilen in aller Regel nicht mehr unter uns. Nur „gute“ oder „nützliche“ Präferenzen sind beobachtbar – so unverständlich dies vom Standpunkt ökonomischer Präferenztheorie auch klingen mag.

Biologisch-evolutionäre Theorien der Präferenzbildung sind zwar unter Ökonomen nicht gerade populär, aber mit der Entwicklung der Soziobiologie (vgl. z. B. Hamilton 1964, Trivers 1971, Wilson 1975, Smith 1964, Dawkins 1976) hat auch in unserer Disziplin ein Umdenkungsprozeß begonnen. Insbesondere Hirshleifer (1977, 1982) hat durch seine Arbeiten wichtige Brücken zwischen den Disziplinen geschlagen.²

Ein dem Biologen offenkundiges Beispiel für die Art der evolutionären Präferenzsteuerung, an die wir denken, sind menschliche Grundbedürfnisse wie Hunger und Durst. Natürlich hatte

die Befriedigung dieser Bedürfnisse den Zweck, das Überleben des Genträgers Mensch zu sichern, und diene nicht etwa dazu, introspektiv empfundene Glücksgefühle zu erzeugen. Noch deutlicher wird dieser Punkt am Beispiel der Sexualität. Daß der Mensch von einem intensiven Sexualtrieb gelenkt wird, hat selbstverständlich damit zu tun, daß dieser Trieb in einem langwierigen, Jahrmillionen dauernden genetischen Auswahlprozeß übriggeblieben ist, der nichts weiter zum Ziel hatte, als das Überleben unseres Genpools zu sichern. Offenkundig hätten die Gene, die für unsere Intelligenz verantwortlich sind, nicht überlebt, wenn sie sich nicht mit den Sexualgenen verbündet hätten, die wiederum unserem Lebensablauf, unserem Wünschen und Wollen einen tiefen Stempel aufgedrückt haben.

Hunger, Durst und Sexualität sind offenbar instrumentale Präferenzen. Sie sind zweckmäßig und nützlich, weil sie uns, ohne daß es uns bewußt sein mag, zu Verhaltensweisen veranlassen, die der tieferliegenden Grundpräferenz des Überlebens unseres Genpools Genüge tun.

Daß diese Präferenzen heute, in einer Umwelt, die der genetischen Evolution davongelaufen ist, bisweilen ganz und gar nicht mehr zweckmäßig sind, steht auf einem anderen Blatt. Trunkenheit, Fettleibigkeit und Prostitution sind die dekadenten Ausflüsse von Präferenzen, die in der Zeit unserer Genese einmal nützliche Funktionen hatten, heute aber bisweilen in die Irre leiten. Die positive Erklärungskraft des biologisch genetischen Ansatzes wird durch die normative Bedeutungslosigkeit, in die unsere moderne Welt manche Grundpräferenz des Menschen getrieben hat, jedoch in keiner Weise geschwächt.

2. Die Evolution der Risikopräferenzen

Biologisch-genetische Ursachen lassen sich in besonderem Maße auch für die Risikopräferenzen des Menschen verantwortlich machen. Ungewisse Entscheidungssituationen, bei denen wirtschaftliche Wahlhandlungen keine deterministischen Konsequenzen haben, sondern Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Ergebnissen induzieren, sind in den menschlichen Gesellschaften der Jäger und Sammler und auch bei unseren tierischen Vorfahren die Regel gewesen. Irgendwie mußte trotz der Ungewißheit entschieden werden, und von der Qualität der gewählten Entscheidungsregel oder eben „Präferenz“ hing das Überleben des Genpools ab. Gute Präferenzen haben reichliche Nahrung verschafft und das Überleben des Genpools ermöglicht. Schlechte endeten in Unterernährung und Untergang.³

Die ökonomische Theorie ist voll von Entscheidungsregeln bei Unsicherheit, die von Theoretikern mehr oder weniger *ad hoc* postuliert wurden. Zu diesen Regeln gehört die Minimax-Regel von Wald (1945), die Minimax-Regret-Regel von Niehans (1948) und Savage (1951), Shacks (1952, S. 9-31) Fokusgewinn- und -verlust-Regel, Langes (1943) Modus-Spannweitenkriterium, das

Krelle-Schneider-Kriterium der äquivalenten Gewinne und Verluste (Krelle 1957, Schneider 1964), das μ - σ -Kriterium, das zuerst von Fisher (1906, S. 406 ff.) verwendet wurde, Machinas (1982) Non-expected-utility, das Erwartungsnutzenkriterium von Bernoulli (1738) und von Neumann und Morgenstern (1947) und vieles andere mehr.

Auch die Natur hat in Jahrmlionen, in schier unermesslichen Versuchsreihen, die verschiedenen Entscheidungsregeln ausprobiert, und was sich bewährt hat, das steuert heute – bewußt oder unbewußt – unser Verhalten. Ob das Bewährte zugleich schon die bestmögliche Entscheidungsregel ist, weiß man natürlich nicht, denn die Evolution verlief in endlicher Zeit und geht stets weiter voran. Dennoch erscheint es uns als sinnvolle Forschungsstrategie, die Frage zu stellen, welche Entscheidungsregeln bei Risiko bzw. welche Risikopräferenzen durch einen perfekten, idealtypischen Selektionsprozeß bestimmt werden. Die Antwort auf diese Frage verspricht wichtige Hypothesen über die Gestalt der menschlichen Risikopräferenzen.

Wir unterstellen bei unserer Untersuchung primär die Lebensverhältnisse primitiver Urgesellschaften in vorkultureller Zeit, in denen das malthusianische Bevölkerungsgesetz uneingeschränkt galt und in der die Menschen und ihre tierischen Vorfahren sich als Jäger und Sammler ernährt haben. Die danach liegende Zeitspanne des genetischen Selektionsprozesses ist relativ so kurz, daß sie vernachlässigt werden kann.

Neben der genetischen Evolution von Präferenzen gibt es natürlich auch eine kulturelle Evolution. Nur der Kürze halber konzentrieren wir uns in diesem Artikel auf die biologische Evolution. Die Übertragung unserer Überlegungen auf die kulturelle Evolution, bei der statt Genpools Memepools selektiert werden – um mit Dawkins (1976) zu sprechen –, ist relativ offenkundig, soll aber hier nicht versucht werden.⁴

Ein zentraler Begriff für unsere Diskussion der Risikopräferenzen ist die „Risikoaversion“. Unsere Vorfahren hatten zwischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Naturaleinkommen zu wählen, die die Form einer Jagdbeute oder einer Sammlerausbeute, jedenfalls eines Nahrungsmittelstromes annahmen. Als Risikoaversion wollen wir die Abneigung gegenüber der Streuung der Verteilung bei gegebenem Mittelwert bezeichnen oder, was gleichbedeutend ist: die Bereitschaft, eine Vergrößerung der Streuung der Wahrscheinlichkeitsverteilung nur dann zu akzeptieren, wenn sie mit einer Vergrößerung ihres Mittelwertes (oder Erwartungswertes) „belohnt“ wird. Entsprechend ist „Risikoneutralität“ eine Präferenzeigenschaft, die durch eine Gleichgültigkeit gegenüber einer Streuungsvergrößerung bei gegebenem Mittelwert gekennzeichnet ist. Risikoaversion ist die Präferenzeigenschaft, die das Versicherungswesen begründet, denn Versicherungen leben von der Minderung des Erwartungswertes der Ein-

kommensverteilungen ihrer Kunden, mit der diese die Verminderung der Streuung ihrer Verteilung erkaufen müssen. Alle oben genannten Entscheidungskriterien bei Risiko sind in der Lage, Risikoaversion abzubilden, und in der Regel wird diese Präferenzeigenschaft in der ökonomischen Literatur unterstellt.

Nicht nur die ökonomische, auch die biologische Literatur ist voll von Studien über die Risikopräferenzen von Lebewesen. Generell scheint die Hypothese der Risikoaversion eine große Erklärungskraft zu besitzen, wenn es darum geht, die adaptive Qualität bestimmter Verhaltensweisen oder Eigenschaften von Pflanzen und Tieren unter Unsicherheitsaspekten zu beurteilen. So ist die Annahme der Risikoaversion verwendet worden, um die Futtersuche von Säugetieren und Vögeln zu beschreiben (Battalio, Kagel, McDonald 1985, Caraco 1981), um die Sexualität zu erklären (Real 1980) oder gar um die Bergmannsche Regel herzuleiten, nach der Lebewesen einer Art um so größer zu sein pflegen, je weiter nördlich auf der Erde sie leben (Boyce 1979). Die Literatur zu diesen Themen ist kaum zu übersehen, fest steht aber, daß sie der Hypothese der Risikoaversion ein solides empirisches Fundament verschafft hat.⁵

Wie die Beispiele schon zeigen, sehen die Biologen das Problem der Risikopräferenzen allerdings nicht vornehmlich unter dem Aspekt der individuellen Entscheidung zwischen verschiedenen Handlungsalternativen, deren jede eine andere Wahrscheinlichkeitsverteilung von Ergebnissen bringt. Vielmehr machen sie meistens keinen besonderen Unterschied zwischen der Erklärung von Verhaltensmustern und phänotypischen Eigenschaften, die individuell gar nicht veränderbar sind. Darüber hinaus wird die Risikoaversion (z. B. in Form konkaver Fitneß-Funktionen oder Nutzenfunktionen mit negativer Bewertung der Varianz) in der Regel nur postuliert oder heuristisch begründet, ähnlich wie das die Ökonomen traditionellerweise auch zu tun pflegen. Versuche, die Risikoaversion selbst aus dem genetischen Selektionsprozeß zu erklären, sind auch in der Biologie äußerst rar. Über die Ausnahmen wird in Abschnitt 5 berichtet.

Die Evolution der Risikopräferenzen hat entscheidend damit zu tun, daß das Gesetz der großen Zahlen zum Zuge kommt. Da Risikoentscheidungen durch stete Wiederholung in „praktisch“ sichere Zeitpfade der Genpopulation übersetzt werden, kann ihre selektive Qualität an der Größe der Population gemessen werden, die nach einer langen Zeitspanne entsteht. Um hier ganz präzise zu sein, wollen wir sagen, daß eine Strategie dann eine größere *selektive Qualität* als eine andere aufweist, wenn ihre Verfolgung langfristig mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit die größere Population erzeugt. Manche Biologen würden „selektive Qualität“ mit „Fitneß“ gleichsetzen, indes wird dieser Begriff nicht einheitlich verwendet. Meistens versteht man unter Fitneß lediglich die Relation zwischen den unmittelbaren Nachkommen

einer Generation und der Größe dieser Generation selbst. Wenn, wie in diesem Aufsatz, diese Relation eine stochastische Größe ist, dann besteht zur selektiven Qualität ein nichttrivialer Zusammenhang, der erst noch aufzudecken ist.

Man beachte, daß die Definition der selektiven Qualität nicht impliziert, daß die Präferenz mit der minderen selektiven Qualität auf die Dauer aus der Population verschwindet. Zwar könnte man argumentieren, daß die größere Population mächtiger ist und die kleinere durch Krieg oder Raub von Nahrungsmitteln völlig verdrängen und vernichten wird. Indes ist eine wirklich scharfe Selektion der Präferenzen nicht offenkundig, wenn die eine nur eine größere Population als die andere hervorbringt, ohne daß klar wäre, um wieviel größer diese Population ist.

Ein schärferes Selektionskriterium ist das der *selektiven Dominanz*. Als selektiv dominant wollen wir eine Präferenz bezeichnen, wenn sie ein solch starkes Populationswachstum induziert, daß im Vergleich zu ihr die relativen Größen von Populationen, die aus anderen Präferenzen resultieren, mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit gegen Null konvergieren. Eine Präferenz, die gegenüber anderen selektiv dominant ist, wird sich deshalb auch ohne physische oder ökonomische Verdrängung der schwächeren Population durchsetzen. Es ist zulässig, daß die inferioreren Präferenzen ebenfalls zu wachsenden Populationen führen, indes sind die relevanten Wachstumsraten in einem noch zu präzisierenden Sinne niedriger als bei der besten Präferenz, und der Abstand der beiden Wachstumsraten überträgt sich in einen im Laufe der Zeit anwachsenden relativen Abstand der resultierenden Populationen.

3. Ein Selektionsmodell

Das Wachstum einer Population wird von der Zahl der selbst wieder die Reproduktionsreife erlangenden Kinder bestimmt. Wir wollen Q_t als den Wachstumsfaktor der Generation t bezeichnen und diesen Faktor als Quotient aus der Kinderzahl K_t und der Größe der Elterngeneration G_t definieren:

$$Q_t = K_t / G_t$$

Q_t ist das, was in deterministischen genetischen Modellen als Fitness bezeichnet wird. Wenn die Größe der ersten betrachteten Generation G_1 gegeben ist, dann beträgt die Größe der Generation mit der laufenden Nummer T offenbar

$$G_T = G_1 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_{T-1}$$

Die Höhe der Kinderzahl einer jeden Generation hängt von der Nahrungsmittelversorgung ab, die den Populationen zur Verfügung steht, sowie auch von der natürlichen Fruchtbarkeit, die eine Obergrenze für Q_t definiert. Unter malthusianischen Bedingungen ist die natürliche Fruchtbarkeit keine bindende Beschränkung. Vielmehr steht die Kinderzahl in einer einfachen proportionalen Beziehung zu dem für die Kinder verfügbaren Nahrungsmittelvorrat. Wenn der für Kinder verfügbare Nahrungs-

mittelvorrat verdoppelt wird, so verdoppelt sich die Zahl der Kinder, die heranwachsen und die nächste Elterngeneration bilden. Ohne Beschränkungen der Allgemeinheit können wir die Einheiten, in denen die Nahrungsmittelproduktion gemessen wird, so wählen, daß die Nahrungsmittelmenge, die für Kinder zur Verfügung steht, der Kinderzahl K_t numerisch gleich ist. Die gesamte Nahrungsmittelproduktion einer Generationsperiode, also das ökonomische „Einkommen“, wird dann durch

$$Y_t = \lambda G_t + K_t = G_t (\lambda + Q_t)$$

gemessen, wobei λ ein konstanter Vervielfachungsfaktor ($\lambda > 1$) ist, der den Mehrkonsum der Eltern im Vergleich zu den Kindern mißt.

In jeder Generation ist der Wachstumsfaktor Q_t eine Zufallsgröße, die durch eine ganz bestimmte objektive Wahrscheinlichkeitsverteilung gekennzeichnet ist. Wenn die Größe der Elterngeneration G_t bereits historisch vorgegeben ist, legt diese Verteilung in offenkundiger Weise zugleich die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Kinderzahl K_t und des Einkommens Y_t fest.

Die Verteilung von Q_t wird sowohl durch die Zufallseinflüsse der Natur als auch durch die ökonomischen Wahlhandlungen der Genträger bestimmt. Jeder Generation steht ein fester Vorrat an Handlungsalternativen offen, deren jede eine ganz bestimmte Wahrscheinlichkeitsverteilung von Q_t generiert. Es wird zugelassen, daß, bedingt durch exogene Umwelteinflüsse, die Menge der verfügbaren Verteilungen von Q_t von Generation zu Generation gewissen Änderungen unterworfen ist. Insbesondere darf sich die jeweils beste Verteilung, was immer sie sein mag, im Zeitablauf verändern.⁶

Bei den offenstehenden Handlungsalternativen gibt es solche, die mit wenig, und solche, die mit viel Unsicherheit behaftet sind. Es gibt solche, die einen hohen Ertrag versprechen, und solche, die eher bescheidene Ausbeuten erwarten lassen. Materiell kann man hier an alternative Jagdmethoden, Sammelmuster, Wanderungsentscheidungen, jahreszeitliche Vorratspolitiken und vieles mehr denken. Wir unterstellen, daß die konkreten Handlungen nach Maßgabe von genetisch fixierten Entscheidungsregeln oder Präferenzen ausgewählt werden, die einem biologischen Trial-and-Error-Prozeß unterworfen werden. Bedingt durch die Zufälle der genetischen Mutation mag es viele verschiedene Urvpopulationen gegeben haben, die sich und ihre Nachkommen auf unterschiedliche Entscheidungsregeln festgelegt haben. Die Frage ist, welche dieser Urvpopulationen und damit welche Entscheidungsregel es geschafft hat, sich im Evolutionsprozeß durchzusetzen.

Um die Frage nach der selektierten Entscheidungsregel zu beantworten, ist es nützlich, sich zuvor an die Bedeutung der einfachen Erwartungswertregel für Spielsituationen zu erinnern.

4. Die selektiv-dominante Entscheidungsregel

Gesetzt den Fall, ein Spieler könne zwischen zwei Spielstrategien mit den stochastischen Nettogewinnen X und X' wählen, wobei der Erwartungswert der ersten größer als der der zweiten sei [$E(X) > E(X')$]. Welche Strategie wird er wählen, wenn er die Möglichkeit hat, die Spiele bei unverändertem Einsatz sehr häufig zu wiederholen, und er langfristig eine möglichst hohe Gewinnsumme zu erzielen bestrebt ist? Die Antwort auf diese Frage ist einfach: natürlich die Strategie mit dem höheren Erwartungsgewinn bei jedem einzelnen Spiel, d. h. X . Was auch immer die Gestalt der Wahrscheinlichkeitsverteilungen von X und X' sein mag, diese Entscheidung führt auf die Dauer mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zur größeren Gewinnsumme, vorausgesetzt natürlich, daß die Spiele im Zeitablauf ein hinreichendes Maß an stochastischer Unabhängigkeit aufweisen.

Das „Spiel“ der Evolution hat eine etwas andere Struktur, denn es ist kein Spiel mit konstantem Einsatz. Durch die Generationenverknüpfung, wie sie oben beschrieben wurde, wird ein Spiel mit endogen bestimmtem Einsatz definiert, wie es aus der Portfoliotheorie bekannt ist. Je größer der zufällige Erfolg einer Generation, je größer also die Nahrungsmittelproduktion, desto größer ist die Kinderzahl und desto größer die Generation in der nächsten Periode, in der erneut eine Wahl zwischen alternativen Strategien mit stochastischem Ergebnis stattzufinden hat. Kurz: Im Gegensatz zur Situation des Spielers verknüpft die Natur die Generationenrisiken nicht additiv, sondern multiplikativ.

Wegen der multiplikativen Verknüpfung ist nicht die einfache Erwartungswertregel, sondern eine logarithmische Erwartungswertregel vorteilhaft. Dies erkennt man sofort durch Logarithmierung der zweiten Gleichung:

$$\ln G_T = \ln G_1 + \ln Q_1 + \ln Q_2 + \dots + \ln Q_{T-1}.$$

Die Logarithmierung macht aus der multiplikativen Verknüpfung wieder eine additive Verknüpfung und impliziert, daß die Erwartungswertregel des Spielers nun völlig analog auf die Logarithmen der stochastischen Wachstumsfaktoren $Q_1, Q_2, \dots, Q_{T-1}$ angewendet werden kann.

Wir wollen der Einfachheit halber unterstellen, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Wachstumsfaktoren zwischen den Generationen nicht korreliert sind. Dann ist es klar, daß die Regel, die stets den jeweils höchsten Erwartungswert des Logarithmus von Q , $E(\ln Q)$, auswählt, die höchstmögliche selektive Qualität im Sinne der obigen Definition aufweist. Die Wahl der Handlungsalternativen, die $E(\ln Q)$ maximieren, führt auf die Dauer mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zum höchsten Wert des Logarithmus der Population und damit natürlich auch zum höchstmöglichen Wert der Population selbst. Wie groß die Anfangspopulation ist, spielt dabei genausowenig eine Rolle, wie das Anfangsvermögen des Spielers Einfluß auf die Endvermögenswerte hat, die bei alternativen Entscheidungsre-

geln herauskommen. Am größten ist auf die Dauer jene Population, die stets den erwarteten Logarithmus von Q maximiert, und das gilt selbst dann, wenn sie anfangs am kleinsten war.⁷

Das Ergebnis kann und muß im Sinne der oben definierten selektiven Dominanz noch erheblich verschärft werden, wenn man zeigen möchte, daß die logarithmische Erwartungsnutzenregel in irgendeinem bedeutsamen Sinne tatsächlich selektiert wird. In der Tat ist eine solche Verschärfung möglich. Wie es in einem separaten Aufsatz (Sinn 1993) mit Hilfe der Ungleichung von Tschebyscheff formal nachgewiesen wird, führt die Wahl der Strategie, die $E(\ln Q)$ maximiert, nicht nur mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zur höheren Population als jede andere Strategie, sie führt sogar zu einer Populationsgröße, im Vergleich zu der die relative Größe der Population, die aus einer beliebigen anderen Strategie folgt, gegen Null schrumpft. Genauer gesagt strebt der Quotient der beiden Populationen gegen Werte, die mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit unterhalb einer im Laufe der Zeit gegen Null schrumpfenden Schranke bleiben. Wenn es in den Anfängen der menschlichen Evolution sehr viele Populationen gab, die unterschiedliche Strategien verfolgten, so bedeutet dies, daß heute die Vertreter anderer Strategien, als $E(\ln Q)$ zu maximieren, einen verschwindend kleinen Anteil an der Gesamtpopulation haben und daß praktisch alle Menschen genetische Präferenzmuster in sich tragen, die mit der Maximierung des erwarteten Logarithmus des Wachstumsfaktors Q im Einklang stehen. Diese Entscheidungsregel oder Präferenzstruktur ist in der Tat selektiv dominant gegenüber allen anderen.

5. Verwandte Ansätze in der Biologie

Das stochastische Logarithmus-Prinzip ist von einer so fundamentalen Bedeutung für die Entwicklung der Arten, daß es verwunderlich wäre, wenn es in der Evolutionsbiologie keine Rolle spielte. Zwar herrschen in diesem Fach, wie schon erläutert, nach wie vor deterministische Erklärungsansätze vor, und auch die risikotheorietischen Ansätze arbeiten zumeist mit *ad hoc* postulierten oder experimentell begründeten Entscheidungsregeln. Doch gibt es mit den Beiträgen von Cohen (1966, 1967), Tuljapurkar und Orzack (1980) und Tuljapurkar (1982) beachtenswerte Ausnahmen.⁸ Logarithmische Selektionskriterien tauchen dort in einer mehr oder weniger zentralen Funktion auf.

Die Beiträge von Cohen sind besonders interessant, weil es auch dort um die Maximierung des erwarteten Logarithmus eines Wachstumsfaktors geht und weil sie analytische Schwächen aufweisen, deren Aufdeckung für das Problemverständnis wichtig ist. Cohen betrachtet das „Entscheidungsproblem“ von Bäumen, die sich durch Samenbildung vermehren und den zeitlichen Verlauf der Samenkeimung verzögern können. Er zeigt, daß eine Verzögerung des Keimungsvorganges für einen Teil des Samenbestandes als vorteilhafte Risikodiversifikation interpretiert wer-

den kann, weil sie die Gefahren ungünstiger Umweltverhältnisse zu mindern in der Lage ist. Cohen berechnet die optimale Keimungsstrategie unter der Hypothese,

- daß die Maximierung des erwarteten Logarithmus des Wachstumsfaktors auf die Dauer den höchstmöglichen Erwartungswert des Samenbestandes liefert
- und daß die Maximierung dieses Erwartungswertes das Ziel oder Ergebnis des biologischen Evolutionsprozesses ist.⁹

So richtig die von Cohen verwandte Entscheidungsregel ist, ihre Begründung ist im doppelten Sinne falsch. Erstens stimmt es nicht, daß die Maximierung des erwarteten Logarithmus von Q auf die Dauer den höchstmöglichen Erwartungswert des Samenbestandes liefert. Wegen der auch von Cohen unterstellten stochastischen Unabhängigkeit der Wachstumsfaktoren ist der Erwartungswert der Population zum Zeitpunkt T

$$E(G_T) = G_1 \cdot E(Q_1) \cdot \dots \cdot E(Q_{T-1}),$$

und offenbar wird er genau dann maximiert, wenn die periodenspezifischen einfachen Erwartungswerte der Wachstumsfaktoren maximiert werden.

Zweitens hat die Maximierung des Erwartungswertes von G_T wegen der extremen Schiefe der Populationsverteilung, die aus der multiplikativen Verknüpfung der Wachstumsfaktoren resultiert, keinerlei selektive Qualität. Man kann Beispiele konstruieren, bei denen der Erwartungswert der Populationsgröße mit fortschreitender Zeit gegen unendlich geht, die Art jedoch mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit dem Untergang geweiht ist.

Den Argumentationsfehler hat die biologische Literatur, auch unter Mitwirkung von Cohen selbst, inzwischen erkannt (Lewontin und Cohen 1969, Tuljapurkar und Orzack 1980), aber sie hat ihn noch nicht wirklich korrigiert.¹⁰ Man hat die Verteilungsparameter der auf die Dauer entstehenden Population spezifiziert und sehr komplexe multivariable Wachstumsmodelle konstruiert, in denen logarithmische Gesetzmäßigkeiten eine Rolle spielen.¹¹ Indes ist die selektive Dominanz, die Cohens stochastische Logarithmusregel trotz aller Fehler der Beweisführung aufweist, nach unserem besten Wissen bislang noch nicht bewiesen worden (vgl. aber Sinn 1993).¹²

Abgesehen von diesem Umstand haben die Biologen dem Problem der Selektion von Entscheidungsregeln im engeren Sinne bislang ohnehin keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Meistens geht es um genetisch fixierte Eigenschaften des Phänotypus und darum, wie diese Eigenschaften das stochastische Reproduktionsverhalten beeinflussen. Auch wird die Selektion von Reiz-Reaktions-Mustern studiert. Die Frage jedoch, welche zielgerichtete Entscheidungsregeln vernunftbegabte Entscheidungsträger anwenden, wurde von Biologen unseres Wissens noch nicht gestellt.

Ein wichtiger Aufsatz, der sich genau dieser Frage widmet und bezeichnenderweise aus der Feder eines Ökonomen stammt, ist jener von McAfee (1984). McAfee unterstellt, daß die menschliche Evolution Entscheidungsregeln selektiert hat, die die erwartete Lebensdauer des Phänotyps maximieren, weil damit implizit auch die erwartete Kinderzahl maximiert werde. Sodann nimmt er an, daß die biologischen Akteure seines Modells wiederholten stochastischen Entscheidungssituationen ausgesetzt sind, bei denen sie Nahrung sammeln können, die entweder sofort gegessen oder für späteren Konsum gelagert wird. Auf der Basis dieser Annahmen gelingt es ihm zu zeigen, daß die optimale Entscheidungsregel durch einen Erwartungsnutzenansatz mit (abnehmender absoluter) Risikoaversion gekennzeichnet ist.¹³

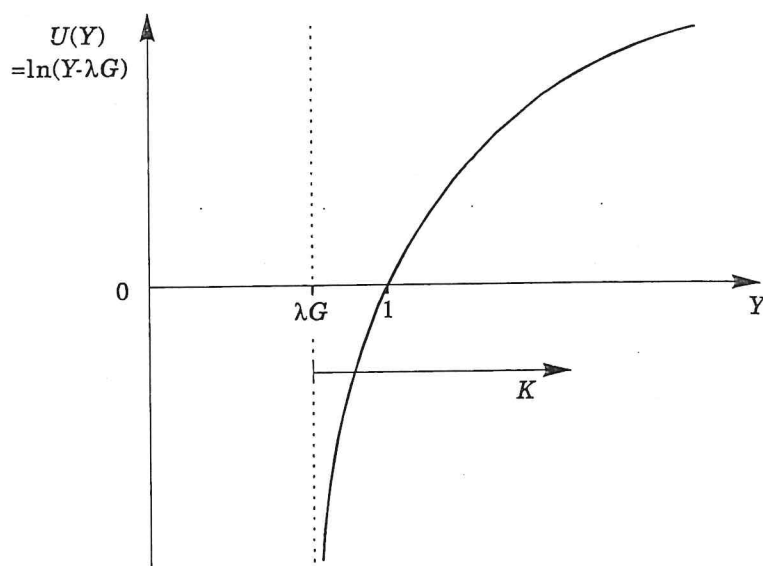
McAfees Ansatz ist mit dem hiesigen von der Fragestellung, nicht aber von der Modellstruktur her verwandt. Bei ihm gibt es keine intergenerative Verknüpfung und keinerlei formale Überlegungen zur selektiven Dominanz. Die Maximierung der erwarteten Kinderzahl wird nur postuliert, und sie ist, wie gezeigt, eben *nicht* kompatibel mit dem Logarithmusgesetz. Gleichwohl könnte dieser Ansatz für eine Fortentwicklung unseres Modells, bei dem die Generationsperiode in Unterperioden mit separaten Entscheidungsproblemen aufgespalten wird, einen nützlichen Beitrag leisten.

6. Ökonomische Interpretation des Ergebnisses

Um zu verstehen, was die stochastische Logarithmus-Regel aus ökonomischer Sicht bedeutet, ist ein erneuter Blick auf die Definitionsgleichungen $Q = K/G$ und $Y = \lambda G + K$ nötig. Zunächst einmal ist festzuhalten, daß – da die Elternpopulation G in der Entscheidungssituation konstant ist – die Maximierung von $E(\ln Q)$ identisch mit der Maximierung von $E(\ln K)$ ist. Sodann ist in Rechnung zu stellen, daß der Nahrungsmittelverbrauch der Elterngeneration, λG , ein Teil der Gesamtproduktion Y ist. Aus beidem folgt, daß die selektiv dominante Entscheidungsstrategie durch einen Erwartungsnutzenansatz beschrieben werden kann, bei dem die Nutzenfunktion logarithmisch ist und den den Elternkonsum übersteigenden Gesamtkonsum als Argument hat. Die nachfolgende Abbildung stellt die resultierende Nutzenfunktion graphisch dar. Das Ergebnis hat eine Reihe von nicht-trivialen Implikationen für Entscheidungen bei Unsicherheit.

Erstens ist festzuhalten, daß die Evolution das Erwartungsnutzenkriterium hervorbringt. Angesichts Dutzender von anderen Entscheidungsregeln, die in der Literatur gerade in den letzten Jahren diskutiert wurden – man denke hier insbesondere an die sogenannte Non-expected-utility-Literatur –, ist dies ein bemerkenswertes Ergebnis. Evolutionär generierte Präferenzen genügen all den Neumann-Morgensternschen Rationalitätsaxiomen, die man braucht, um die Erwartungsnutzenregel abzuleiten, auch dem in der neueren Literatur vielgeschmähten Unabhängigkeitsaxiom.¹⁴

Die selektiv dominante Erwartungsnutzenfunktion



Zweitens ist Risikoaversion eine selektiv dominante Präferenzeigenschaft. Sie zeigt sich darin, daß die Nutzenfunktion $U(Y)$ konkav ist. Gleichmäßige Streuungen um einen gegebenen Mittelwert sind evolutionär von Nachteil. Die Intuition hierfür läßt sich leicht gewinnen, wenn man einmal zwei Populationen vergleicht, deren eine (wegen einer sicheren Produktionsstrategie) in jeder Generation vier Kinder und deren andere mal sechs und mal zwei Kinder pro Elternpaar erzeugt. Der Mittelwert der Kinder pro Elternpaar ist bei beiden Populationen gleich, doch sicherlich wächst die erstgenannte schneller. Um ein Absinken der Kinderzahl von 4 auf 2 in einer Generation zu kompensieren, ist in einer anderen eine Zunahme von 4 auf 8 und nicht etwa nur auf 6 vonnöten. Mit der Streuung muß der Erwartungswert zunehmen, um einen evolutionären Nachteil zu vermeiden. Genau dies ist es, was man unter Risikoaversion versteht.

Drittens ist die Nutzenfunktion logarithmisch, wenn auch nur bezogen auf den Konsum der Kinder. Die logarithmische Nutzenfunktion hat eine lange Tradition in der Risikothorie. Schon Bernoulli (1738) fand sie plausibel, als er seinen berühmten Aufsatz zur Erwartungsnutzenregel schrieb, und in der psychophysischen Literatur taucht diese Funktion immer wieder auf. So weisen die Weber-Fechnerschen Experimente mit Reizmessungen verschiedenster Art stark auf logarithmische Empfindungsfunktionen hin, weil sich zeigte, daß Reizschwellen stets nur in Relation zum Grundreiz definiert sind (Weber 1834, Fechner 1860a und b). Auch zeigen neurologische Messungen, daß die

elektrische Impulsfrequenz in Nervenbahnen eine logarithmische Funktion der Reizstärke ist (Fröhlich 1921, Adrian 1928). Schließlich lassen sich die berühmten Cross-modality-matching-Experimente, die Stevens (1959) in Harvard durchführte, als Bestätigung logarithmischer Grundpräferenzen interpretieren (vgl. Sinn 1980, S. 130 ff.), und auch die biologischen Experimente mit Tauben, die Caraco et al. (1980) durchgeführt haben, weisen auf eine logarithmische Nutzenfunktion hin.¹⁵ Es ist sicher kein Zufall, daß die logarithmische Funktion einerseits eine so prominente Rolle in verschiedenen Fachgebieten hat, die sich mit der Erkundung der menschlichen Präferenzen beschäftigen, und sich andererseits in unserer Studie als Ergebnis einer dominanten Evolutionsstrategie erweist.

7. Schlußbemerkungen

Unser Aufsatz soll ein Denkanstoß sein, der interdisziplinäre Ansätze vereint und zumindest unserer eigenen Disziplin, der Ökonomie, Anregungen gibt. Das Modell, aus dem die Logarithmus-Regel folgt, ist das einfachste, das wir uns zur Behandlung des Themas vorstellen können. Sicher ist, daß es viele sinnvolle Erweiterungen und Modifikationen gibt, deren Erforschung sich trotz des gewiß progressiv ansteigenden formalen Aufwandes lohnen sollte.

Zu diesen Modifikationen gehört es, eine differenziertere Zeitstruktur mit Perioden, die kürzer als eine Generation sind, einzuführen. Man müßte dann aus der Logarithmus-Regel für generative Risiken Nutzenfunktionen für sub-generative Risiken herleiten, und die Frage ist, ob diese Nutzenfunktionen erneut logarithmisch sind oder andere Eigenschaften haben.

Eine andere Modifikation, die sich aufdrängt, besteht in der Berücksichtigung einer Ressourcenrivalität zwischen verschiedenen Populationen. Das von uns untersuchte Evolutionsmuster unterstellt, daß – ausgehend von der Urpopulation, in der die Entscheidungsregel erstmals durch genetische Mutation festgelegt wird – eine sehr große Zahl von Folgegenerationen heranwachsen kann, ohne daß sich die individuell nutzbaren Ressourcen durch dieses Wachstum spürbar verknappen. Angesichts des geringen Umfangs menschlicher Urpopulationen, von denen die Biologen und Historiker berichten, schien uns diese Annahme zulässig zu sein. Die menschliche Evolution könnte tatsächlich unter Bedingungen einer fehlenden Ressourcenrivalität abgelaufen sein. Indes ist das malthusianische Gleichgewicht in historischer Zeit sicherlich erreicht worden und konnte erst kürzlich, mit der industriellen Revolution, wieder (temporär) überwunden werden. Ob und in welchem Maße solche Verknappungs- und Rivalitätseffekte für die Evolution der Risikopräferenz eine Rolle gespielt haben, bleibt zu prüfen.

Interdisziplinäre Ansätze, wie der hier vorgestellte, haben ihre Tücken. Ehe die Früchte der Forschungsarbeiten zu ernten sind,

steht die mühsame Einarbeitung in eine neue Terminologie und eine unbekannte, meist unüberschaubare Literatur bevor. Und oft findet man sich dennoch nach getaner Arbeit zwischen zwei Stühlen wieder. Der Gefahr, daß dies im vorliegenden Fall ebenso sein könnte, sind wir uns bewußt. Trotzdem halten wir den beschrittenen Weg für erfolgversprechend. Stigler und Becker (1977, S. 89), zwei Nobelpreisträger der Ökonomie, haben einmal beklagt, daß innerhalb der Volkswirtschaftslehre gerade das Gebiet der Risikotheorie voll ist von *Ad hoc*-Annahmen. Will man gegen derartige Tendenzen ankämpfen, so kann ein Blick über den dichten Zaun des eigenen Fachbereichs nicht schaden, um auf der Suche nach zusätzlichen Erklärungsmustern fündig zu werden. Im konkreten Fall konnte hier nachgewiesen werden, daß ein Risikoverhalten, wie es bisher nur durch axiomatische Annahmen plausibel gemacht werden konnte, sich aus einem ganz einfachen Evolutionsmodell generieren läßt.

Die Autoren bedanken sich bei Günther Hesse und Frank Parsche für nützliche Literaturhinweise.

Anmerkungen:

1 Man beachte allerdings die Anpassungstheorie von Simon (1955), die Konsumtheorie von Lancaster (1966), die Gewöhnungstheorie von Stigler und Becker (1977) und vielfältige Theorien zum Einfluß der Werbung (z. B. Borden 1942, Kaldor 1950, Telser 1962, Taylor und Weis-erbs 1972). Eine sehr frühe Ausnahme bildet Veblen (1899), der den Einfluß von Status- und Nachbarschaftseffekten auf den Konsum untersucht. Frank (1987) argumentiert, daß Gefühlseigenschaften, etwa bezüglich Schuldgefühlen und Rachegefühlen, rational begründbar sind.

2 Vgl. auch die Beiträge im „Papers & Proceedings“-Band des *American Economic Review* 1978 und in dem von Dupré (1987) herausgegebenen Sammelband.

3 Die Begriffe „Präferenz“ und „Entscheidungsregel“ werden in diesem Aufsatz synonym gebraucht. In der ökonomischen Literatur ist der Begriff „Entscheidungsregel“ allgemeiner als „Präferenz“, weil die Entscheidungsregel noch individuelle Unterschiede zuläßt. Dieser Aufsatz behandelt die Selektion einer Entscheidungsregel bei Risiko einschließlich einer wohldefinierten Präferenzstruktur.

4 Zum Verhältnis von biologischer zu sozialer Evolution vgl. man z. B. Boyd und Richerson (1980) oder Witt (1985, 1987) und die dort angegebene Literatur.

5 Eine ausgezeichnete Übersicht findet man bei Stephens und Krebs (1986, Kap. 6).

6 Es wird unterstellt, daß es in jeder Periode zumindest eine Verteilung gibt, die das völlige Aussterben der Art sicher vermeidet: $Q > Q_{\min} > 0$. Ein Selektionsmodell mit Ruinwahrscheinlichkeiten findet man bei Farrell (1970).

7 Für ein stochastisches intertemporales Portfolioproblem, bei dem ein Investor alle Erträge stets reinvestiert, ist ein ähnliches Ergebnis von Latané (1959) bewiesen worden. Latané Beweis läßt sich jedoch nicht im

Sinne der im folgenden Absatz erörterten Eigenschaft der selektiven Dominanz interpretieren. Daß der logarithmische Erwartungsnutzenmaximierer selektiert wird, ist unseres Wissens in der Literatur noch nicht bewiesen worden. Vgl. auch Abschnitt 5.

8 Vgl. auch Haldane und Jayakar (1963) und Karlin und Lieberman (1974).

9 Vgl. besonders Cohen (1967, S. 10): „For any organism, long term natural selection selects those traits which maximize the long term expectation of its population size.“

10 Gleichwohl erfreut sich Cohens Ansatz einer gewissen Popularität, weil er plausible Implikationen bezüglich des genetischen Entwicklungsprozesses aufweist. $E(\ln Q)$ als Fitneß-Kriterium zu wählen, ist dasselbe, wie das geometrische Mittel der Q -Verteilung, $\exp E(\ln Q)$, zu wählen. Real (1980) argumentiert, das geometrische Mittel sei ein gutes Fitneß-Kriterium, weil der Wert dieses Mittelwertes im Gegensatz zum arithmetischen Mittel $E(Q)$ durch den potentiellen Ausfall nur einer Generation auf Null getrieben wird. Dieses Argument ist zutreffend, stützt aber nicht nur die logarithmische Nutzenfunktion. Neben dem geometrischen Mittel nehmen noch viele andere mathematische Mittelwerte (z. B. die sogenannten Sicherheitsäquivalente bei der Klasse der Nutzenfunktionen mit einer relativen Risikoaversion von mehr als eins; vgl. Sinn 1980) den Wert Null an, wenn Ausprägungen mit dem Wert Null eine strikt positive Wahrscheinlichkeit haben.

11 Vgl. insbesondere Tuljapurkar (1982).

12 Tuljapurkar und Orzack (1980) behaupten, daß die Überlebensqualität einer Entscheidungsregel u. a. von dem Mittelwert und der Varianz des Logarithmus Q abhängen, weil beide bei häufiger Wiederholung den Mittelwert und die Varianz des Logarithmus der langfristigen Populationsverteilung G_T bestimmen. So richtig der letzte Teil dieser Aussage ist, so wenig stimmt der erste. Wie in Sinn (1993) gezeigt wird, kommt es auf die Varianz nicht an. Selektive Dominanz erfordert die Maximierung von $E(\ln Q)$ ohne Berücksichtigung der Varianz von $\ln Q$.

13 Es gilt hier allerdings die Einschränkung, daß alle Ausprägungen der Wahrscheinlichkeitsverteilung positiv sein müssen. Streuen die Verteilungen in den negativen Bereich, so daß der Tod nicht ausgeschlossen ist, dann kann unter Umständen eine Risikovorliebe nötig sein, um die erwartete Lebensspanne zu maximieren. Vgl. dazu auch Rubin und Paul (1979) und Sinn (1982).

14 Vgl. die ausführliche Übersicht bei Machina (1987).

15 Konkret schätzen Caraco et al. eine Nutzenfunktion $U(s) = \ln(1 + s)$, wobei s die Anzahl der Futterkörner pro Zeiteinheit angibt.

Literatur:

Adrian, E. D.: *The basis of sensation: The action of the sense organs*. London, 1928.

Battalio, R. G., Kagel, J. H. und McDonald, D. N.: „Animals' choices over uncertain outcomes: Some initial experimental results“, *American Economic Review*, 1985, 75, S. 597–613.

Bernoulli, D.: *Specimen theoriae novae de mensura sortis. Commentarii academiae Scientiarum imperialis Petropolitanae*. Tomus 5, Petersburg, 1738.

- Borden, N. H.: *The economic effects of advertising*. Homewood, 1942.
- Boyce, M. S.: „Seasonality and patterns of natural selection for life histories“, *American Naturalist*, 1979, 114, S. 569–583.
- Boyd, R. und Richerson, P. J.: „Sociobiology, culture and economic theory“, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 1980, 1, S. 97–121.
- Cohen, D.: „Optimizing reproduction in a randomly varying environment“, *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 12, S. 119–129.
- Cohen, D.: „Optimizing reproduction in a randomly varying environment when a correlation may exist between the conditions at the time a choice has to be made and the subsequent outcome“, *Journal of Theoretical Biology*, 1967, 16, S. 1–14.
- Caraco, Th.: „Risk-sensitivity and foraging groups“, *Ecology*, 1981, 62, S. 527–531.
- Caraco, Th., Martindale, St. und Whittam, Th. S.: „An empirical demonstration of risk-sensitive foraging preferences“, *Animal Behavior*, 1980, 28, S. 820–830.
- Dawkins, R.: *The selfish gene*. New York, 1976.
- Dupré, J. (Hrsg.): *The latest on the best. Essays on evolution and optimality*. Cambridge Mass., und London, England, 1987.
- Farrell, M. J.: „Some elementary selection processes in economics“, *Review of Economic Studies*, 1970, 37, S. 305–319.
- Fechner, G. T.: *Elemente der Psychophysik, Erster Theil*. Leipzig, 1860a.
- Fechner, G. T.: *Elemente der Psychophysik, Zweiter Theil*. Leipzig, 1860b.
- Fisher, I.: *The nature of capital and income*. London, 1906.
- Frank, R. H.: „If homo economicus could choose his own utility function, would he want one with a conscience?“, *American Economic Review*, 1987, 77, S. 593–604.
- Fröhlich, F. W.: *Grundzüge einer Lehre vom Licht und Farbensinn: Ein Beitrag zur allgemeinen Physiologie der Sinne*. Jena, 1921.
- Haldane, J. B. S. und Jayakar, S. D.: „The solution of some equations occurring in population genetics“, *Journal of Genetics*, 1963, 58, S. 291–317.
- Hamilton, W. D.: „The genetic theory of social behavior: I. and II.“, *Journal of Theoretical Biology*, 1964, 7, S. 1–52.
- Hirshleifer, J.: „Economics from a biological viewpoint“, *Journal of Law and Economics*, 1977, 20, S. 1–52.
- Hirshleifer, J.: „Evolutionary models in economics and law: Cooperation versus conflict strategies“, *Research in Law and Economics*, 1982, 4, S. 1–60.
- Kaldor, N.: „The economic aspects of advertising“, *Review of economic Studies*, 1950/51, 18, S. 1–27.
- Karlin, S. und Lieberman, U.: „Random temporal variation in selection intensities: I. Case of large population size“, *Theoretical Population Biology*, 1974, S. 355–382.
- Krelle, W.: „Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung“, *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 1957, 113, S. 632–677.
- Lancaster, K.: „A new approach to consumer theory“, *Journal of Political Economy*, 1966, 74, S. 132–157.

Biologische Selektion der Risikopräferenz

- Lange, O.: „A note on innovations“, *Review of Economics and Statistics*, 1943, 25, S. 19-25.
- Latané, H. A.: „Criteria for choice among risky ventures“, *Journal of Political Economy*, 1959, 67, S. 144-155.
- Lewontin, R. C. und Cohen, D.: „On population growth in a randomly varying environment“, *Proceedings for the National Academy of Science USA*, 1969, 62, S. 1056-1060.
- Machina, M. J.: „Expected Utility' analysis without the independence axiom“, *Econometrica*, 1982, 50, S. 277-323.
- Machina, M. J.: „Choice under uncertainty: Problems solved and unsolved“, *Journal of Economic Perspectives*, 1987, 1, 121-154.
- McAfee, R. P.: The nature of risk aversion, Discussion Paper, University of Western Ontario, 1984.
- Neumann, J. v. und Morgenstern, O.: *Theory of games and economic behavior*. Zweite Auflage, Princeton, 1947.
- Niehans, J.: „Zur Preisbildung bei ungewissen Erwartungen“, *Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik*, 1948, 84, S. 433-456.
- Real, L. A.: „On Uncertainty and the law of diminishing returns in evolution and behavior“, in: J. E. R. Staddon (Hrsg.): *Limits to Action: The allocation of individual behavior*. Durham, North Carolina, 1980, S. 37-64.
- Rubin, P. H. und Paul, C. W.: „An evolutionary model of taste for risk“, *Economic Inquiry*, 1979, 17, S. 585-596.
- Savage, L. J.: „The theory of statistical decision“, *Journal of the American Statistical Association*, 1951, 46, S. 55-67.
- Schneider, H.: *Der Einfluß der Steuern auf die unternehmerische Investitionsentscheidung*. Tübingen, 1964.
- Shackle, G. L. S.: *Expectations in economics*. Zweite veränderte Aufl., Cambridge, 1952.
- Simon, H. A.: „A behavioral model of rational choice“, *Quarterly Journal of Economics*, 1955, 69, S. 99-118.
- Sinn, H.-W.: *Ökonomische Entscheidungen bei Ungewißheit*. Tübingen, 1980.
- Sinn, H. W.: „Kinked utility and the demand for human wealth and liability insurance“, *European Economic Review*, 1982, 17, S. 149-162.
- Sinn, H.-W.: The selective dominance of Bernoulli's utility function, CES Discussion Paper, Universität München, erscheint 1993.
- Smith, J. M.: „Group selection and kin selection“, *Nature*, 1964, 201, S. 1145-1147.
- Stephens, D. W. und Charnov, E. L.: „Optimal foraging: Some simple stochastic models“, *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1982, 10, S. 251-263.
- Stephens, D. W. und Krebs, J. R.: *Foraging theory*, Princeton, 1986.
- Stevens, S. S.: „Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration, and electric shock“, *Journal of Experimental Psychology*, 1959, 57, S. 201-209.
- Stigler, G. und Becker, G.: „De gustibus non est disputandum“, *American Economic Review*, 1977, 67, S. 76-90.
- Taylor, L. D. und Weisbergs, D.: „Advertising and the aggregate consumption function“, *American Economic Review*, 1972, 62, S. 642-655.

Risikowahrnehmung von Individuen

- Telser, L. G.: „Advertising and cigarettes“, *Journal of Political Economy*, 1962, 70, S. 471-499.
- Trivers, R. L.: „The Evolution of reciprocal altruism“, *Quarterly Review of Biology*, 1971, 46, S. 35-58.
- Tuljapurkar, S. D. und Orzack, S. H.: „Population dynamics in variable environments: I. Long run growth rates and extinction“, *Theoretical Population Biology*, 1980, 18, S. 314-342.
- Tuljapurkar, S. D.: „Population dynamics in variable environments: III. Evolutionary dynamics of *r*-selection“, *Theoretical Population Biology*, 1982, 21, S. 141-165.
- Veblen, Th.: *The theory of the leisure class*. New York, 1899.
- Wald, A.: „Statistical decision functions which minimize the maximum risk“, *Annals of Mathematics*, 1945, 46, S. 265-280.
- Weber, E. H.: *De pulsu, resorptione, auditu et tactu. Annotationes anatomicae et physiologicae*. Lipsiae, 1834.
- Wilson, E. O.: *Sociobiology: The new synthesis*. Cambridge (MA), 1975.
- Witt, U.: „Economic behavior and biological evolution. Some remarks on the sociobiology debate“, *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 1985, 141, S. 365-389.
- Witt, U.: *Individualistische Grundlagen der evolutorischen Ökonomik*, Tübingen, 1987.