

Risiko

von Jürgen Eichberger, Joachim Funke, Ute Mager und Ulrich Platt

Dieser Text ist die herausgeberisch und redaktionell bearbeitete, aber noch nicht abschließend lektorierte und ungesetzte **Vorabveröffentlichung** eines Kapitels, das im Band

**Umwelt interdisziplinär
Grundlagen – Konzepte – Handlungsfelder**

**herausgegeben von Thomas Meier, Frank Keppler, Ute Mager,
Ulrich Platt und Friederike Reents**

bei Heidelberg University Publishing (heiUP; <https://heiup.uni-heidelberg.de/>) Open Access und in gedruckter Form erscheinen wird.

Text © die Autoren 2023



Dieser Text ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0 veröffentlicht.

DOI: <https://doi.org/10.11588/heidok.00033350>

Risiko

Jürgen Eichberger¹, Joachim Funke², Ute Mager^{3, 4} und Ulrich Platt^{4, 5}

¹ Alfred-Weber-Institute for Economics, Universität Heidelberg

² Psychologisches Institut, Universität Heidelberg

³ Institut für deutsches und europäisches Verwaltungsrecht, Universität Heidelberg

⁴ Heidelberg Center for the Environment (HCE), Universität Heidelberg

⁵ Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg

Zusammenfassung: Der Risikobegriff ist zum Schlüsselbegriff des 21. Jahrhunderts geworden. Der Beitrag geht dem Verständnis dieses ursprünglich aus der Seeschifffahrt stammenden Begriffs in den Disziplinen der Ökonomie, Naturwissenschaft, Psychologie, Ethik, Rechtswissenschaft und Soziologie nach, zeigt die unterschiedlichen Erkenntnisinteressen und unterstreicht die Notwendigkeit einer interdisziplinären Risikoforschung auch und gerade in den Umweltwissenschaften.

Schlüsselbegriffe: Ökonomischer Risikobegriff, Naturwissenschaftlicher Risikobegriff, Risikowahrnehmung, Rechtswissenschaftlicher Risikobegriff, Sozialwissenschaftlicher Risikobegriff, Ethischer Umgang mit Risiken

Einleitung

Im Jahre 1986 veröffentlichte der Soziologe Ulrich Beck das Buch „Risikogesellschaft“; 1991 folgte die Arbeit des Juristen und Soziologen Niklas Luhmann „Soziologie des Risikos“. Dies zeigt, dass in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine gesellschaftliche Veränderung bewusst geworden ist, für die das Konzept „Risiko“ grundlegenden Erklärungswert hat. Dem entspricht, dass der Begriff „Risiko“ aktuell in einer Vielzahl von Disziplinen nicht nur Verwendung findet, sondern zumindest in Teilgebieten sogar eine zentrale Bedeutung hat. Allerdings ist der Begriff nicht neu. Seinen Ursprung hat er im italienischen Seeversicherungsrecht des Mittelalters (Heun, Rechtswissenschaft, 2011, 380–381). Luhmann hebt hervor, dass der Begriff ein voll entwickeltes Entscheidungsbewusstsein voraussetze. Zentraler Inhalt des Konzepts Risiko ist in der Tat das abwägende Vorausdenken der Folgen von Entscheidungen. Hierzu leisten die unterschiedlichen Disziplinen in unterschiedlicher Weise einen Beitrag. Ein Problem ergibt sich daraus, dass die Disziplinen den Begriff des Risikos nicht einheitlich verwenden. Zudem ist das Verhältnis zu ähnlichen Begriffen unklar. Zu nennen sind etwa die Begriffe Ambiguität, Chance, Gefahr oder Gefährdung, Vulnerabilität, Ungewissheit, Unsicherheit, Wahrscheinlichkeit oder Zufall. Dem steht der Begriff der Sicherheit gegenüber, der mit der Entstehung des modernen Staates im Sinne der *securitas publica* zum zentralen Staatszweck wurde (Heun 2011, 376–377).

Disziplinäre Verständnisse des Konzepts „Risiko“

Begriff und Konzept des Risikos haben ihren Ursprung in der Ökonomie. Es ging ursprünglich um die Absicherung des unsicheren Ausgangs eines Wagnisses, namentlich im Seehandel. Von diesem Ausgangspunkt hat sich eine analytische Differenzierung des Risikos entwickelt, die zu unterscheiden weiß zwischen Unsicherheiten bezüglich zukünftiger nicht zu beeinflussender Zustände (z. B. Hagelschlag), Unsicherheiten über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge (z. B. Auswirkungen eines Unternehmenskaufs) sowie der persönlichen Risikobereitschaft. Das Interesse ist darauf gerichtet, die Unsicherheiten zu kalkulieren, wobei die Tatsachengrundlagen bestmöglich zu ermitteln sind (für Beispiele s. den Abschnitt „Das kalkulierte Risiko in der Ökonomie“). Des Weiteren entwickelt die Ökonomie Instrumente, um das verbleibende Risiko aufzufangen wie etwa Versicherungen oder Diversifikation des Portfolios. Im Rahmen der Betriebswirtschaftslehre werden Konzepte eines strukturierten Risikomanagements erarbeitet, wobei als positives Pendant des Risikos die Chancen, auch spekulatives Unternehmerrisiko genannt, von Bedeutung sind. In der Ökonomie finden sich damit fast alle Elemente, die im Umgang mit Risiken im Sinne von Entscheidungen unter Unsicherheit von Bedeutung sind und in Teilen von den anderen Wissenschaften in spezialisierter Weise behandelt werden. Insbesondere die Naturwissenschaften (s. den Abschnitt „Das ermittelte Risiko in der Naturwissenschaft“) arbeiten, wenn auch auf einem anderen Feld, an der Minimierung von Unsicherheiten im Kausalverlauf, indem sie experimentell Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge erforschen, etwa die Giftigkeit von Stoffen ermitteln. Die Psychologie untersucht die individuelle Risikowahrnehmung und Ursachen für verzerrte Risikowahrnehmung und behandelt damit den Aspekt der persönlichen Risikobereitschaft. Die hohe Relevanz dieser Forschung auch für die Ökonomie zeigt sich daran, dass die Psychologen Daniel Kahneman und Amos Tversky für ihre Entwicklung der *Prospect Theory* 2002 den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften erhielten. Die Strukturierung des Risikomanagements im Unternehmen enthält Erkenntnisse für jegliches Risikomanagement auch außerhalb von Unternehmen und bildet die Grundlage etwa auch für die rechtliche Gestaltung von Prozessen der Entscheidungsfindung unter Unsicherheit. Die rechtliche Perspektive fügt insbesondere Aspekte der Legitimität der Entscheiderinnen und Entscheider hinzu, die verfassungsrechtlich fundiert sind. Mit Legitimität im Sinne von verantwortlicher Entscheidung befasst sich auch die Ethik, deren Erkenntnisse als Reflexionsmaßstab wiederum für die rechtliche Gestaltung herangezogen werden können. Gewissermaßen als externer Beobachter untersucht die Soziologie Ursachen und Auswirkungen zunehmender Risiken und zunehmenden Risikobewusstseins.

Angesichts der Breite der Verwendung des Risikobegriffs in den verschiedensten Disziplinen bedarf es des disziplinären Überblicks, um die Relevanz von „Risiko“ als Konzept für die Umweltwissenschaften beurteilen zu können. Dabei wird es um Risikokalkulation, Risikoermittlung, Risikogefühl, Risikoverantwortung, Legitimation für das Eingehen von Risiken und das Verständnis der modernen Gesellschaft als Risikogesellschaft gehen.

Risiko in den verschiedenen Disziplinen

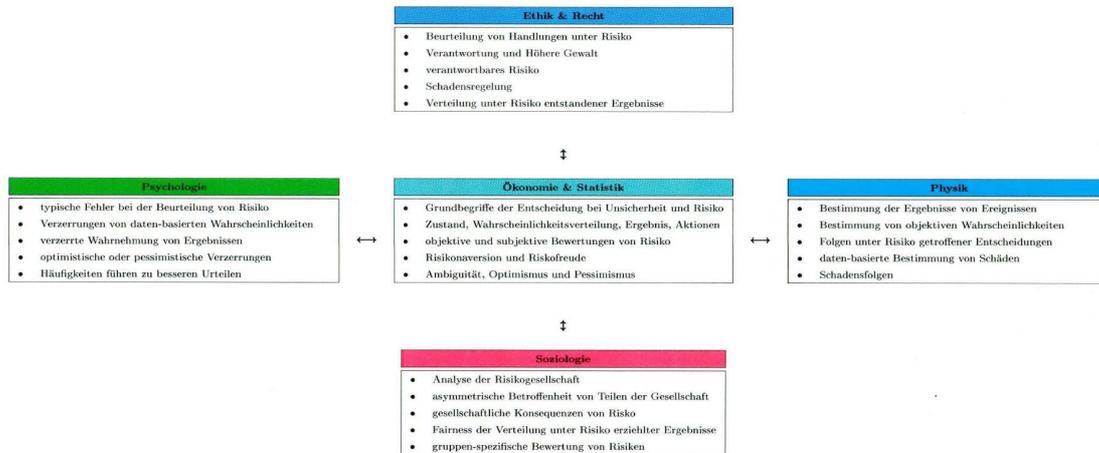


Abb. 1: Risiko in den verschiedenen Disziplinen

Das kalkulierte Risiko in der Ökonomie

Ökonomische Handlungen finden im Allgemeinen unter Bedingungen von Unsicherheit statt. Das Ergebnis einer Handlung hängt von Umständen ab, die nicht unter der Kontrolle des Entscheidungsträgers bzw. der Entscheidungsträgerin stehen. Eine Entscheidung bei Unsicherheit erfordert ein Abwägen von möglichen, aber unsicheren, positiven und negativen Folgen einer Handlung. Man spricht von „Chancen und Risiken“, die mit einer Aktivität verbunden sind.

Zustände der Welt bestimmen das Ergebnis einer Handlung

Ökonomen beschreiben Unsicherheit dadurch, dass das Ergebnis einer Handlung im Allgemeinen nicht nur von der gewählten Aktion abhängt, sondern auch von Faktoren, die der Entscheidungsträger bzw. die Entscheidungsträgerin nicht beeinflussen kann. Diese, das Ergebnis einer Handlung mitbestimmenden Faktoren nennen Ökonomen *Zustände der Welt*. Relevante Zustände der Welt können beispielsweise bei der landwirtschaftlichen Produktion die Wetterbedingungen sein oder bei der Absatzplanung wirtschaftspolitische Ereignisse, die das Kaufverhalten beeinflussen.

Wenn der bedingende Zustand der Welt zum Zeitpunkt der Entscheidung bekannt ist, so findet die Entscheidung unter Sicherheit statt. Andernfalls spricht man von einer Entscheidung bei Unsicherheit (Knight 1921). Die folgenden Beispiele illustrieren anhand von drei ökonomischen Anwendungen die Konzepte „Zustände der Welt“, „Aktionen“ und

„Auszahlungen“, die zur Analyse einer Entscheidung bei Unsicherheit unterschieden werden müssen.

Beispiel 1: Schadensfall

Der Eigentümer oder die Eigentümerin eines hochwassergefährdeten Hauses überlegt, ob er oder sie in bauliche Schutzmaßnahmen gegen Hochwasser, beispielsweise in den Bau eines Damms oder die Installation von Pumpen, investieren soll. Vereinfachend nehmen wir an, das Haus habe einen finanziellen Wert von W , falls kein Hochwasserschaden eintritt. Im Falle einer Überschwemmung rechnet der Eigentümer oder die Eigentümerin mit einem Vermögensschaden von S , der aber durch Investition in Schutzmaßnahmen in Höhe von K vollständig abgewendet werden könnte. Abzuwägen ist, ob eine Investition in Schutzmaßnahmen erfolgen soll oder nicht.

Mögliche Aktionen des Hauseigentümers oder der Hauseigentümerin sind „Investition“, d. h. in Schutzmaßnahmen zu investieren, oder „keine Investition“, d. h. keine Maßnahmen zu ergreifen. Der Hauseigentümer oder die Hauseigentümerin muss entscheiden, welche Aktion gewählt werden soll. Das Ergebnis der gewählten Aktion hängt davon ab, ob bei einem Hochwasser ein Schaden eintritt oder nicht. Mögliche *Zustände der Welt* sind Zustand 1 (kein Schaden) oder Zustand 2 (Schaden). Die folgende Tabelle 1 stellt den Zusammenhang zwischen Handlung, Zuständen und Ergebnissen dar.

	Zustand 1: kein Schaden	Zustand 2: Schaden
Investition	W - K	W - K
Keine Investition	W	W - S

Da jede Aktion des Hauseigentümers oder der Hauseigentümerin zu zwei möglichen Ergebnissen führen kann, lässt sich seine Entscheidungssituation als Wahl zwischen zwei zustandsabhängigen Ergebnissen in einem Schaubild veranschaulichen. In Abb. 1 ist jeder Aktion eine Kombination (x_1, x_2) von Werten zugeordnet. Der Wert auf der Abszisse bezeichnet den Vermögenswert im Zustand 1, x_1 und der Wert auf der Ordinate den Vermögenswert im Zustand 2, x_2 . Auf der 45-Grad-Linie liegen risikolose Vermögenswertkombinationen, bei denen $x_1 = x_2$ gilt, das heißt bei denen die Auszahlung in beiden Zuständen gleich ist. Abseits der 45-Grad-Linie liegen Vermögenskombinationen, die ein Risiko beinhalten, da $x_1 \neq x_2$ gilt.

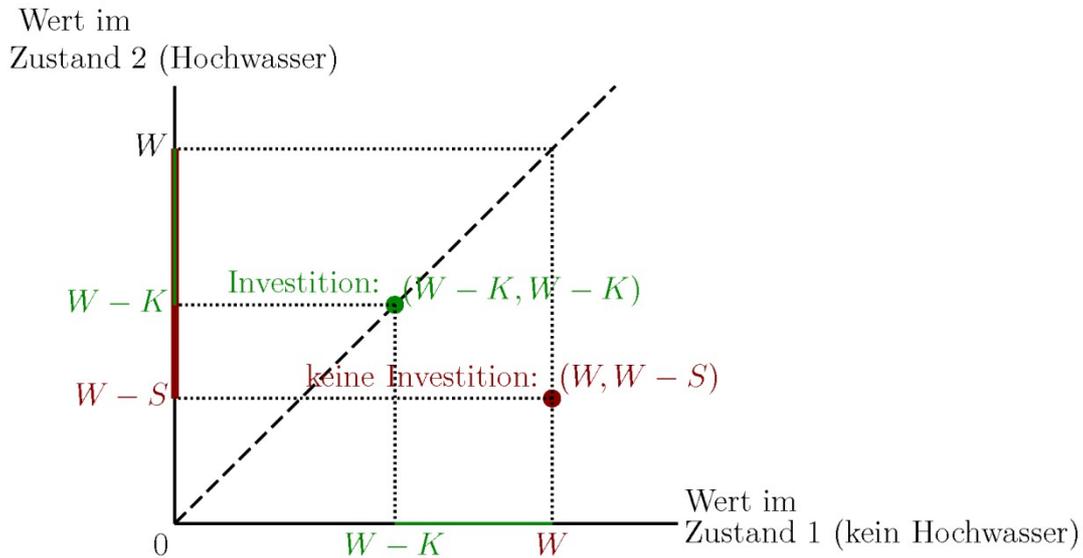


Abb. 2: Schadensversicherung

Bei einer Investition in Schutzmaßnahmen ergibt sich in jedem Zustand das gleiche Ergebnis in Höhe des Werts der Immobilie abzüglich der Investitionskosten, $W - K$, da bei einem Hochwasser ein Vermögensschaden vermieden wird. Ohne Investition dagegen ergibt sich ein Vermögenswert von W , falls kein Hochwasser eintritt, beziehungsweise ein um den Wasserschaden S verminderter Wert $W - S$ im Schadensfall.

Beispiel 1 illustriert den Prototyp eines Versicherungsproblems, wie es sowohl im privaten Bereich, bei Schadensversicherungen, aber auch im Umweltbereich bei der Abwehr von Umweltschäden vorkommt. Konkrete Beispiele aus dem Bereich der Umweltökonomik finden sich im Abschnitt über „Das ermittelte Risiko in der Naturwissenschaft“. Wie weiter unten ausgeführt wird, hängt die Entscheidung des Hauseigentümers oder der Hauseigentümerin sowohl von der Wahrscheinlichkeit eines Schadens als auch von seiner Risikoneigung ab.

In ähnlicher Weise kann auch eine Vermögensanlageentscheidung modelliert werden.

Beispiel 2: Wertpapierkäufe

Ein Vermögensverwalter oder eine Vermögensverwalterin erwägt eine Investition in ein Portfolio aus zwei Wertpapieren. Die Kurse der Wertpapiere seien unter anderem von der allgemeinen Wirtschaftslage abhängig. Bezüglich des Kurses zum Zeitpunkt des Verkaufs sieht der Investor oder die Investorin zwei Zustände der Welt als relevant an: Zustand 1 repräsentiere den Fall „Hochkonjunktur“ (H) und Zustand 2 den Fall einer „Rezession“ (R). In der Tabelle 2 sind die erwarteten Auszahlungen der beiden Wertpapiere bei einer Investition von jeweils 100 Geldeinheiten aufgeführt.

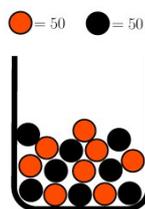
	Wirtschaftslage	
	Zustand 1: Hochkonjunktur	Zustand 2: Rezession
Aktie	140	80
Festgeld (5%)	105	105

Der Investor oder die Investorin muss entscheiden, welcher Anteil der Investitionssumme von 100 Euro in Aktien beziehungsweise in Festgeld angelegt werden soll. Ein Portfolio mit einem Aktienanteil von α Prozent und einem Festgeldanteil von $(1 - \alpha)$ Prozent erbringt im Zustand 1 bei Hochkonjunktur eine Auszahlung von $140\alpha + (1 - \alpha)105 = 105 + 35\alpha$ beziehungsweise von $80\alpha + (1 - \alpha)105 = 105 - 25\alpha$ im Zustand 2 bei einer Rezession. Durch Investition des gesamten Betrages in Festgeld ($\alpha = 0$) kann der Investor oder die Investorin jedes Risiko vermeiden und in jedem Zustand einen Wert von 105 realisieren. Allerdings verzichtet er dann auch auf die Chance eines höheren Ertrags von $105 + 35\alpha$ im Zustand 1. Der höchste, aber auch riskanteste Ertrag wird bei einem reinen Aktienkauf ($\alpha = 1$) erzielt.

Durch die Wahl eines *diversifizierten Portfolios*, $0 < \alpha < 1$, kann der Investor oder die Investorin eine seinen oder ihren Risikopräferenzen entsprechende Kombination von Risiko (Schwankungsbreite) und Ertrag erzielen. Ein Portfolio von $\alpha = 1/2$ beispielsweise ergibt einen Ertrag von 122,5 im Falle der Hochkonjunktur und von 92,50 bei einer Rezession. Die diversifizierte Investition reduziert die Schwankungsbreite und damit das Risiko um den Preis eines geringeren Durchschnittsertrags.

Das dritte Beispiel stellt eine abstrakte Entscheidung über zwei Wetten dar. Solche Entscheidungssituationen werden häufig in Laborexperimenten in der Ökonomik und der Psychologie verwendet, um das Entscheidungsverhalten einer Versuchsperson bei Unsicherheit zu untersuchen.

Beispiel 3: Wette auf die Farbe einer Kugel



In einer Urne befinden sich 50 rote und 50 schwarze Kugeln. Bevor eine Kugel gezogen wird, muss die Versuchsperson entscheiden, ob sie lieber auf Rot, W_{Rot} , oder auf Schwarz, W_{Schwarz} , wetten soll. Nachdem die Versuchsperson eine Wette abgegeben hat, wird eine Kugel aus der Urne gezogen. Die Versuchsperson erhält eine Auszahlung gemäß der von ihr gewählten Wette. Handlungsalternativen sind Wetten auf die Farbe der Kugel, W_{Rot} und W_{Schwarz} . Die möglichen Zustände der Welt sind durch die möglichen Farben der gezogenen Kugel bestimmt. Das Ergebnis der Aktion hängt von der gewählten Wette und dem Zustand der Welt

ab, in diesem Falle 100 Geldeinheiten, wenn auf die richtige Farbe gewettet wurde. Andernfalls sei die Auszahlung 0.

	Die Farbe der gezogenen Kugel ist	
	Zustand 1: rot	Zustand 2: schwarz
Wette auf Rot (W_{Rot})	100	0
Wette auf Schwarz (W_{Schwarz})	0	100

Abb. 4 zeigt die beiden Wetten, W_{Rot} und W_{Schwarz} , als zustandsabhängige Auszahlungen.

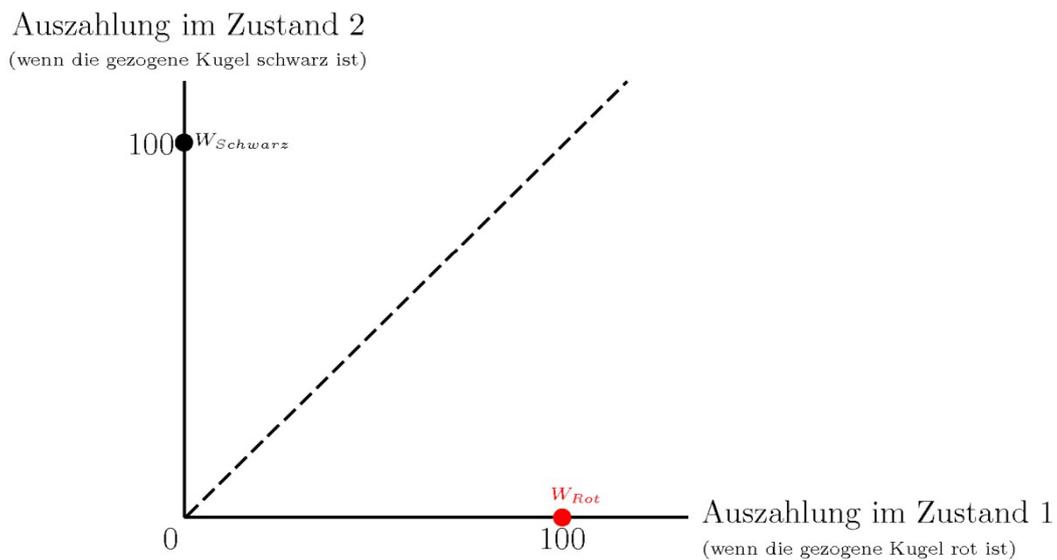


Abb. 4: Wette auf eine rote Kugel

Die drei Beispiele illustrieren, wie Entscheidungen bei Unsicherheit modelliert werden können. Eine Entscheidung bei Unsicherheit liegt vor, wenn die Konsequenzen einer Aktion von einem unbekanntem Ereignis, einem „Zustand der Welt“, abhängen. Die Wahl einer Aktion entspricht der Wahl einer Liste von zustandsabhängigen Ergebnissen.

Bei Entscheidungen unter Unsicherheit gehen Ökonomen und Ökonominen sowie Statistiker und Statistikerinnen im Allgemeinen davon aus, dass die Menge der möglichen Zustände dem Entscheidungsträger bzw. der Entscheidungsträgerin bekannt ist. Zudem wird traditionell angenommen, dass dem Entscheidungsträger bzw. der Entscheidungsträgerin die Wahrscheinlichkeiten des Eintretens der Zustände bekannt sind. Wenn jedem für eine Entscheidung relevanten Zustand der Welt eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden kann, so spricht man von einer *Entscheidung unter Risiko*. Die Wahrscheinlichkeiten von Zuständen können auf Grund von statistischen Beobachtungen oder von künstlich erzeugten Zufallsmechanismen bekannt sein. Liegen dagegen nur partielle oder ungenaue Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Zustände vor, so spricht man von einer *Entscheidung unter Ambiguität*.

Entscheidungssituationen unter Risiko, bei denen die Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Zustände der Welt bekannt ist, sind der am häufigsten betrachtete Fall von Entscheidungen bei Unsicherheit. In den folgenden Abschnitten werden zunächst die Analysemethoden für den in der Ökonomik mit Abstand am häufigsten untersuchten Fall von Entscheidungen unter Risiko dargestellt und diskutiert, bevor neuere Ansätze zur Analyse von Entscheidungen unter Ambiguität skizziert werden.

Entscheidung unter Risiko: Wahl von Lotterien

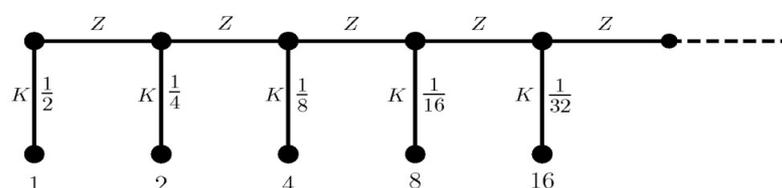
Glücksspiele oder Lotterien sind seit den frühen Epochen der Menschheitsgeschichte bekannt. Ob es sich um Würfel, Münzwürfe, Urnen oder raffiniertere Zufallsmechanismen wie Roulette handelt, immer wetten Spieler und Spielerinnen auf das Ergebnis eines zufällig bestimmten Ereignisses. Ebenso alt wie Glücksspiele sind auch die Versuche, optimale Strategien für solche Lotterien zu finden. Spätestens seit dem 17. Jahrhundert haben sich vor allem Mathematiker intensiv mit der Frage beschäftigt, welchen Einsatz eine Lotterie wert ist. Christian Huygens (1629–1695) und mehrere Mitglieder der Basler Familie Bernoulli haben sich mit der Frage des Werts von Lotterien befasst und dabei die Grundlagen der modernen Statistik gelegt. Eine Lotterie $P := (x_1, p_1; x_2, p_2; \dots; x_n, p_n)$ ist durch eine Liste von Auszahlungen x_s für jeden Zustand s und die dazu gehörige Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Zustandes p_s beschrieben. Als erstes Bewertungskriterium wurde der Erwartungswert der Lotterie $EW(P) := \sum_{s=1}^n p_s x_s$ vorgeschlagen. Da man bei vielfacher Wiederholung des Spiels mit einer durchschnittlichen Auszahlung in Höhe des Erwartungswertes rechnen kann, wurde der *Erwartungswert* einer Lotterie als „fairer“ Wert der Lotterie angesehen. Allerdings stellte sich schnell heraus, dass der Erwartungswert einer Lotterie das „Risiko“ der Lotterie vernachlässigt. Daniel Bernoulli (1700–1782) brachte diese Kritik in seinem berühmten *St. Petersburg Paradox* schon früh zum Ausdruck. Er schlug auch sogleich ein alternatives Kriterium, den *Erwartungsnutzen*, vor, der nicht nur die durchschnittliche Auszahlung einer Lotterie, sondern auch die subjektive Bewertung des Risikos berücksichtigt, das mit den unsicheren Auszahlungen einhergeht.

Box: St. Petersburg-Paradox

In einem Brief an seinen Cousin beschreibt Daniel Bernoulli (1700–1782) im Jahre 1738 das folgende Glücksspiel:

„Peter tosses a coin and continues to do so until it should land ‚heads‘ when it comes to the ground. He agrees to give Paul one ducat if he gets ‚heads‘ on the very first throw, two ducats if he gets it on the second, four if on the third, eight if on the fourth, and so on, so that with each additional throw the number of ducats he must pay is doubled. Suppose we seek to determine the value of Paul’s expectation.“

Die beschriebene Wette auf einen wiederholten Münzwurf kann im folgenden Schaubild dargestellt werden.



Wie einfach zu berechnen ist, hat diese Lotterie einen unendlich hohen Erwartungswert.

„Although the standard calculation shows that the value of Paul’s expectation is infinitely great, it has, he said, to be admitted that any fairly reasonable man would sell his chance, with great pleasure, for twenty ducats. The accepted method of calculation does, indeed, value Paul’s prospects at infinity though no one would be willing to purchase it at a moderately high price“ (translated from the Latin in Bernoulli (1954, 31)

Kein vernünftiger Spieler oder vernünftige Spielerin wäre bereit, für dieses Spiel einen beliebig hohen Einsatz zu wagen. Der Erwartungswert eignet sich daher nicht als Bewertungskriterium für eine Wette. Stattdessen schlägt Daniel Bernoulli vor, zwischen dem Nutzen einer Geldeinheit und dem *nominalen Wert* der Geldeinheit zu unterscheiden:

„...Now it is highly probable that any increase in wealth, no matter how insignificant, will always result in an increase in utility which is inversely proportionate to the quantity of goods already possessed“ Bernoulli (1954, 25)

Die Annahme von umgekehrt proportionalen Nutzenzuwachsen bedeutet, dass eine Geldbetrag mit dem Logarithmus des Geldbetrags bewerten werden soll.

Der Logarithmus, den Bernoulli im St. Petersburger-Paradox entwickelt, ist jedoch nur ein möglicher Typ konkaver Nutzenfunktionen zur Bewertung der zustandsabhängigen Auszahlungen. Im Allgemein kann jede monoton zunehmende reellwertige Funktion verwendet werden. Wenn die Wahrscheinlichkeiten der Auszahlungen bekannt sind, eignet sich der Erwartungsnutzen als Entscheidungskriterium vor allem deshalb, weil die Krümmung der Nutzenfunktion ein natürliches Maß für die Risikoneigung des Entscheidungsträgers bzw. der Entscheidungsträgerin darstellt.

Zu den wichtigsten Maßen, die die Risikoneigung eines Entscheidungsträgers bzw. einer Entscheidungsträgerin beschreiben, gehören das *Sicherheitsäquivalent* und die *Risikoprämie*. Als Sicherheitsäquivalent bezeichnet man den sicheren Geldbetrag, der aus Sicht des Entscheidungsträgers bzw. der Entscheidungsträgerin der riskanten Lotterie äquivalent ist. Das Sicherheitsäquivalent ist der Geldbetrag, zu dem der Betreiber oder die Betreiberin einer Lotterie bereit wäre die Lotterie zu verkaufen. Ein verwandtes Maß ist die Risikoprämie, d. h. die Differenz zwischen Erwartungswert und Sicherheitsäquivalent der Lotterie . Die Risikoprämie ist der Betrag, den ein Entscheidungsträger oder eine Entscheidungsträgerin bereit wäre, für die vollständige Versicherung eines Risikos zu zahlen.

Box: Risikoneigung eines Entscheidungsträgers bzw. einer Entscheidungsträgerin

Mit Risikoprämie wird die Zahlungsbereitschaft für die Vermeidung eines Risikos bezeichnet, d. h. der Vergleich des Nutzens des Erwartungswerts einer Lotterie mit dem Erwartungsnutzen der Lotterie. Die folgende Abbildung illustriert diesen Zusammenhang.

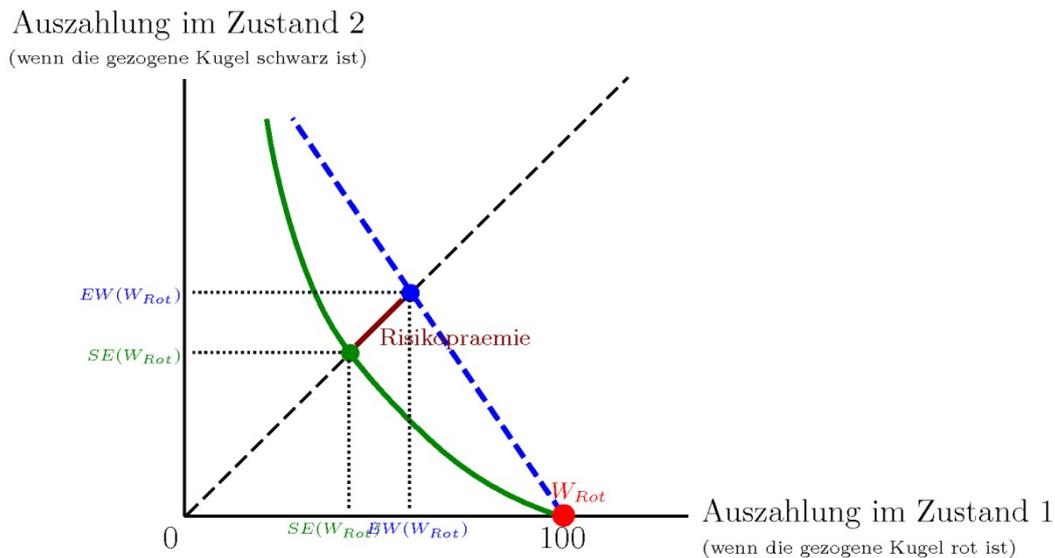


Abb. 6: Risikoprämie

Würde der Entscheidungsträger bzw. die Entscheidungsträgerin die Lotterie mit dem Erwartungswert bewerten, so wären alle zustandsabhängigen Auszahlungen auf der blauen gebrochenen Linie für ihn gleichwertig zu der Lotterie. Dies gilt insbesondere für eine sichere Auszahlung in Höhe des Erwartungswerts, der blaue Punkt auf der 45-Grad-Linie. Bewertet er oder sie dagegen die Wette auf Rot gemäß dem Erwartungsnutzen-Kriterium, dann liegen die äquivalenten zustandsabhängigen Auszahlungswerte bei einer konkaven Nutzenfunktion auf der konkaven grün eingezeichneten Indifferenzkurve. In diesem Fall wäre das Sicherheitsäquivalent, der grüne Punkt auf der 45-Grad-Linie, kleiner als der Erwartungswert. Die Differenz zwischen den Werten $EW(W_{Rot})$ und $SE(W_{Rot})$, der braune Abschnitt auf der 45-Grad-Linie, reflektiert die Risikoprämie, die ein risiko-scheuer Akteur oder Akteurin bereit wäre, für die vollständige Versicherung des Risikos zu zahlen.

Allgemein kann man die Risikoneigung eines Entscheidungsträgers bzw. einer Entscheidungsträgerin durch die Nutzenfunktion beschreiben, indem man den Nutzen einer sicheren Auszahlung in Höhe des Erwartungswerts einer Lotterie mit dem Erwartungsnutzen dieser Lotterie vergleicht.

Ursprünglich zur Bewertung von Glücksspielen entwickelt, kann die Erwartungsnutzentheorie auch zur Bewertung ökonomischer Risiken herangezogen werden, wenn die Wahrscheinlichkeiten der Zustände der Welt bekannt sind. Die Ökonometrie als Teildisziplin der Wirtschaftswissenschaften befasst sich damit, Wahrscheinlichkeiten ökonomisch relevanter Ereignisse aus statistisch erhobenen Datensätzen zu schätzen. In der ökonomischen Theorie hat sich die Erwartungsnutzentheorie als fruchtbares Konzept bei der Analyse von Entscheidungen unter Unsicherheit erwiesen. Der Zusammenhang zwischen objektiven Kennzahlen der Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Zustände der Welt, wie zum Beispiel dem Erwartungswert und der Varianz (oder Volatilität), und der subjektiven Risikoneigung bildet die Grundlage der ökonomischen Analyse in vielen Teilbereichen der

Wirtschaftswissenschaften wie zum Beispiel der Theorie der Finanzmärkte, der Bankentheorie, aber auch der Industrieökonomik und Vertragstheorie.

Die Annahme, dass Wirtschaftssubjekte bei Unsicherheit gemäß dem Erwartungsnutzen-Kriterium entscheiden, ist allerdings nicht direkt überprüfbar. Grundsätzlich beobachtbar ist nur das Entscheidungsverhalten von Versuchspersonen in ökonomischen und psychologischen Experimenten zur Entscheidungstheorie. Das Erwartungsnutzen-Kriterium impliziert ein Unabhängigkeitskriterium, demzufolge für einen oder einer Erwartungsnutzenmaximierenden der Wert einer komplexen Lotterie gleich der Summe der Werte ihrer Komponenten sein muss. Diese Eigenschaft von Entscheidungen kann in Experimenten überprüft werden. In ihrem grundlegenden Werk „*Game Theory and Economic Behavior*“ stellten von Neumann und Morgenstern (1948) erstmals eine axiomatische Fundierung des Erwartungsnutzen-Kriteriums im Kontext von Entscheidung bei Risiko vor. Axiome sind dabei grundlegende Annahmen an das Entscheidungsverhalten, die sicherstellen, dass ein angenommenes Entscheidungskriterium das beobachtete Entscheidungsverhalten repräsentiert. Erstaunlicherweise können von Neumann und Morgenstern (1948) zeigen, dass außer einigen generellen Basisannahmen nur ein Axiom, das *Unabhängigkeitsaxiom*, für das Erwartungsnutzen-Kriterium notwendig und hinreichend ist.

Bereits wenige Jahre nach dieser Axiomatisierung gelang es Allais (1953), eine Entscheidungssituation bei der Wahl von Lotterien zu generieren, in der die Versuchspersonen in Experimenten systematisch gegen das Unabhängigkeitsaxiom verstoßen. Das Allais-Paradox stellt daher die Hypothese in Frage, dass das Entscheidungsverhalten von Versuchspersonen generell als den Erwartungsnutzen maximierendes Verhalten modelliert werden kann. Das Allais-Paradox steht am Beginn eines Forschungsprogramms, das in der Folge zu den bahnbrechenden experimentellen und theoretischen Arbeiten der Prospekt-Theorie von Kahnemann und Tversky (1979) führte. In einer Vielzahl von Experimenten konnten Psychologen und Psychologinnen sowie Ökonomen und Ökonominen eine Reihe von typischen Verstößen gegen das Unabhängigkeitsaxiom als robustes Verhalten nachweisen, die zu einer Anpassung der Erwartungsnutzentheorie im Rahmen der Prospekt-Theorie führten. Der Abschnitt „Das gefühlte Risiko in der Psychologie“ stellt einige dieser typischen Verhaltensweisen dar.

Eine wesentliche Voraussetzung der Theorien der Entscheidung unter Risiko, sowohl für die Erwartungsnutzentheorie als auch die Prospekt-Theorie, stellt die Annahme dar, dass die Entscheidungsträger und -trägerinnen die Wahrscheinlichkeiten der Zustände der Welt kennen. In ökonomischen Entscheidungssituationen, die häufig auftreten, wie beispielsweise bei Anlageentscheidungen in Finanzmärkten oder bei der Versicherung von Vermögensschäden, sind die Wahrscheinlichkeiten oft durch langfristige Zeitreihen von Beobachtungen ökonometrisch zuverlässig abschätzbar.

Viele andere Entscheidungssituationen unter Unsicherheit erfüllen diese Voraussetzung jedoch nicht. Beispiele finden sich im Zusammenhang mit Umweltproblemen oder bei Problemen der Ausbeutung von natürlichen Ressourcen. Die Abschnitte „Das ermittelte Risiko in der Naturwissenschaft“ und „Das verantwortete Risiko in der Ethik“ bieten vielfache Beispiele. In Situationen von Unsicherheit, bei denen nur wenige oder keine

Wahrscheinlichkeiten für die Zustände der Welt bekannt sind, können Entscheidungskriterien wie die Erwartungsnutzentheorie oder die Prospekt-Theorie daher nicht angewendet werden.

Seit Mitte des letzten Jahrhunderts hat sich aus diesem Grunde der verhaltenstheoretische Ansatz etabliert, der aus dem Entscheidungsverhalten von Versuchspersonen nicht nur deren Risikoneigung (wie bei von Neumann und Morgenstern 1948), sondern auch die *subjektiven Wahrscheinlichkeiten* für die Zustände der Welt abzuleiten versucht, die die Versuchspersonen durch ihre Entscheidungen offenbaren.

Entscheidung bei Unsicherheit: Unbekannte Wahrscheinlichkeiten

Ausgangspunkt der Untersuchung von Savage (1954) ist der Umstand, dass bei vielen Entscheidungen unter Unsicherheit zu wenig objektive Informationen in Form von Daten über relevante Einflussfaktoren vorliegen, um deren Wahrscheinlichkeit auf Grund der beobachteten Häufigkeiten zu schätzen. In seinen „*Foundations of Statistics*“ entwickelte Savage (1954) eine axiomatische Grundlage der Erwartungsnutzentheorie mit *subjektiven Wahrscheinlichkeiten*. Der Grundgedanke, wie aus beobachtetem Verhalten auf die für den Entscheidungsträger oder die Entscheidungsträgerin zu Grunde liegende subjektive Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses geschlossen werden kann, kann mit Hilfe einer dem **Beispiel 3** ähnlichen Entscheidungssituation illustriert werden.

Ein Entscheidungsträger oder eine Entscheidungsträgerin kann wie im Beispiel 3 auf die Farbe einer aus einer Urne gezogenen Kugel wetten. Bekannt sei, dass die Urne 90 Kugeln der Farben Rot (R), Blau (B) oder Grün (G) enthält. Zunächst muss der Entscheidungsträger bzw. die Entscheidungsträgerin zwischen den Lotterien A und B wählen. Bei Lotterie A erhält der oder die Entscheidende 100 Geldeinheiten, wenn die gezogene Kugel rot ist, und andernfalls nichts. Lotterie B bringt 100 Geldeinheiten, wenn die gezogene Kugel blau ist, und sonst nichts. Lotterie A unterscheidet sich von Lotterie B nur durch die Farbe (den Zustand der Welt), auf die gewettet wird.

Wenn eine Person Lotterie A der Lotterie B vorzieht, so kann man daher daraus schließen, dass sie die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die gezogene Kugel die Farbe Rot (R) hat, für höher einschätzt als die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die gezogene Kugel die Farbe Blau (B) hat. Unter einigen Regularitätsannahmen (Axiomen) kann man aus dem Entscheidungsverhalten der Person deren „subjektive Wahrscheinlichkeit“ für die Zustände der Welt (hier die unbekannte Farbe der gezogenen Kugel) ableiten.

Wie im Falle der Axiome von von Neumann und Morgenstern (1948) ermöglichte die Axiomatisierung durch Savage (1954) eine empirische Überprüfung der subjektiven Erwartungsnutzenhypothese. Nur wenige Jahre später schlug Ellsberg (1961) ein Experiment vor, um die Theorie subjektiver Wahrscheinlichkeiten zu testen.

Ellsberg-Paradox (Ellsberg 1961)

Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen an diesem Experiment können auf die Farbe einer aus einer Urne gezogenen Kugel wetten. Die Urne enthält 30 Kugeln der Farbe Rot (R) und 60 Kugeln, die entweder Blau (B) oder Grün (G) sind. Vier mögliche Lotterien (Wetten auf die Farbe der gezogenen Kugel) stehen zur Auswahl. Die möglichen Wetten sind als zustandsabhängige Auszahlungen in der folgenden Tabelle dargestellt.

Zunächst muss die Versuchsperson zwischen Lotterie A und Lotterie B wählen. Bei Lotterie A gewinnt der Entscheidungsträger bzw. die Entscheidungsträgerin 100 Geldeinheiten, wenn die gezogene Kugel rot ist, und andernfalls nichts. Lotterie B gewinnt, wenn die gezogene Kugel blau ist.

Danach musste eine Entscheidung über die Lotterien C und D getroffen werden. Bei Lotterie C gewinnt die Versuchsperson 100 Geldeinheiten, wenn die gezogene Kugel rot (R) oder grün (G) ist, während sie bei Lotterie D gewinnt, wenn die gezogene Kugel die Farbe Blau (B) oder Grün (G) hat.

Dieses Experiment ist in den letzten Jahrzehnten vielfach wiederholt worden. Wie bereits im ersten Experiment von Ellsberg (1961) zeigt es sich, dass etwa 60 Prozent der Versuchspersonen die Lotterie A gegenüber der Lotterie B bevorzugen (), aber bei der Wahl zwischen C und D die Lotterie D der Lotterie C vorziehen (). Die typische Begründung für diese Entscheidungen betont, dass man bei den Lotterien A und D wisse, dass die Wahrscheinlichkeit eines Gewinns von 100 Geldeinheiten ein Drittel, beziehungsweise zwei Drittel, betrage, während bei den Lotterien B und C die Gewinnwahrscheinlichkeit unbestimmt sei.

Dieses Verhalten ist jedoch für keine subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilung mit der Erwartungsnutzenhypothese vereinbar.

Das Ellsberg-Paradox ist in erster Linie ein Widerspruch gegen die Hypothese von Savage (1954), dass die Unsicherheit über die Wahrscheinlichkeiten der Zustände der Welt durch eine subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilung repräsentiert werden könne. Offenbar ist die Modellierung der Unsicherheit komplexer. Partielle Information, wie die bekannten Wahrscheinlichkeiten von Rot und damit natürlich auch von Blau oder Grün im Ellsberg-Paradox, verzerrt das Entscheidungsgewicht dieser Zustände gegenüber den Zuständen, über deren Wahrscheinlichkeit nichts bekannt ist. Ellsberg (1961) bezeichnet Unsicherheit ohne vollständige Information über die Wahrscheinlichkeiten der Zustände der Welt als *Ambiguität*.

Das Ellsberg-Paradox stimulierte in den vergangenen fünfzig Jahren eine große Zahl theoretischer und empirischer Studien. Während empirischen Studien weitere Verhaltensweisen bei Entscheidungen unter Unsicherheit aufdeckten (siehe hierzu auch den Abschnitt „Das gefühlte Risiko in der Psychologie“), entwickelten sich auf Seiten der Theorie neue Repräsentationsformen wie der *Choquet-Erwartungsnutzen* (Schmeidler 1989), der *Erwartungsnutzen mit multiplen Wahrscheinlichkeitsverteilungen* (Ghirardato et al. 2004) und andere Entscheidungskriterien bei Unsicherheit, die dem Umstand der Ambiguität Rechnung tragen können.

Situationen, in denen keine auf Häufigkeiten basierenden Wahrscheinlichkeitsabschätzungen möglich sind, kennzeichnen Entscheidungsprobleme vor allem im Bereich der Medizin, der Umwelt- und Ressourcenökonomik und der Wirtschaftspolitik. Die Forschung zur Entscheidung bei Unsicherheit hat sich daher in den letzten Jahrzehnten zu einem interdisziplinären Gebiet entwickelt, in dem Psychologen und Psychologinnen, Neurologen und Neurologinnen, Mathematiker und Mathematikerinnen, Statistiker und Statistikerinnen und Ökonomen und Ökonominen in vielfältiger Weise interagieren. Die neueren Entwicklungen der künstlichen Intelligenz finden einen Widerhall in den Arbeiten von Gilboa und Schmeidler (2002), die abweichend vom Grundmodell von Savage (1954) nicht Zustände der Welt, sondern fall-gestützte Auswertungen großer Datensätze zur Basis der Entscheidungstheorie bei Unsicherheit machen.

Das ermittelte Risiko in der Naturwissenschaft

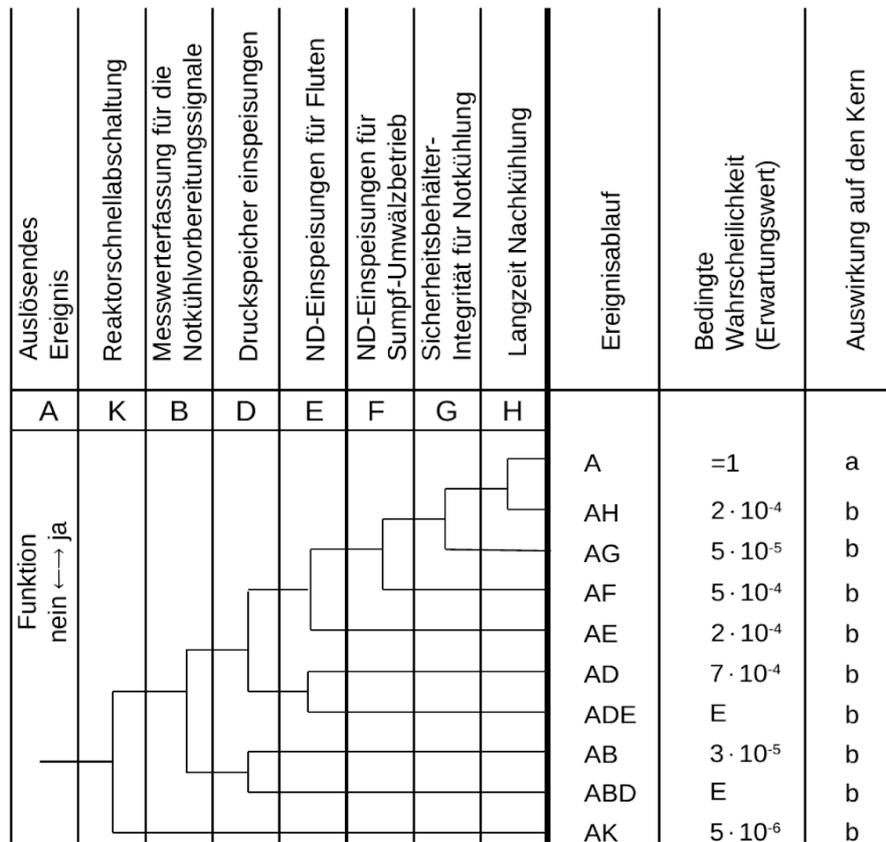
In der Naturwissenschaft bezeichnet man als Risiko die Wahrscheinlichkeit, mit der eine betrachtete Person oder ein betrachteter Gegenstand auf eine Gefahr stößt. Wahrscheinlichkeit bezeichnet hier eine Einstufung von Aussagen und Urteilen (als Grundbegriff der Logik verstanden) nach dem Grad ihrer Gewissheit bzw. Wahrheit (vgl. Abschnitt 1.2). Eine Gefahr besteht, wenn ein Ereignis oder ein Zustand, der schädliche Auswirkungen haben kann, droht. Beispielhaft lassen sich dafür Hochwasser, ein Tsunami, Vulkanausbrüche, Erdbeben (siehe USGS = *United States Geological Survey*) (→ Geowissenschaften), nukleare Unfälle (GfR 1990) oder Feuer nennen. Kurz gesagt, lässt sich Gefahr als die „mögliche Ursache eines Schadens“ definieren.

Ein Risiko ergibt sich, wenn zur Gefahr ein weiterer Faktor hinzukommt, die Vulnerabilität oder Exposition (siehe Scheer et al. 2010; Lelieveld 2010). Beispiele: Ein Hochwasser ist nur gefährlich, wenn man sich im Überschwemmungsgebiet aufhält bzw. dort wohnt; ein Vulkanausbruch ist ungefährlich, wenn man nicht im Gefährdungsgebiet ist; das Risiko aufgrund eines Feuers kann durch Brandschutzmaßnahmen (Fluchtwege, automatische Löscheinrichtungen) verringert werden.

Risiko lässt sich nach der folgenden Formel berechnen (siehe z. B. Scheer et al. 2010):

$$\text{Risiko} = \text{Gefahr} \times \text{Vulnerabilität}$$

Damit wäre ein Risiko als die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer Gefahr definiert, welches durch die Vulnerabilität oder Exposition vergrößert oder verkleinert wird. (In den Rechtswissenschaften werden Risiko und Gefahr ähnlich definiert, siehe auch Abschnitt 6: „Das legitimierte Risiko im Recht“, der Begriff der Vulnerabilität wird allerdings kaum verwendet.) In der Praxis kann die konkrete Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gefahr (und bei bekannter Vulnerabilität auch des Risikos) sehr komplex sein. Hierzu wurden für Unfälle in Nuklearanlagen eigens spezielle Methoden entwickelt, die auf Ereignisablaufdiagrammen beruhen (siehe z. B. GfR 1990). Bei diesen Diagrammen werden an jedem Verzweigungspunkt den sich aufteilenden Pfaden Verzweigungswahrscheinlichkeiten zugeordnet und diese Wahrscheinlichkeiten gewichtet aufsummiert. Mittlerweile werden derartige Methoden auch für die Abschätzung vieler anderer (technischer) Risiken eingesetzt.



a: Kein Kernschmelzen, b: Kernschmelzen

Abb. 7: Ereignisbaum eines Störfalles in einem Kernkraftwerk. Ganz links ist das „Auslösende Ereignis“ A (großes Leck im Kühlkreislauf) dargestellt. Eine Verzweigung nach oben bedeutet „ja“ für die entsprechende Reaktion, eine Verzweigung nach unten „nein“. Im Beispiel ist die erste Entscheidung die, ob eine Reaktor-Schnellabschaltung durchgeführt wird. Die Wahrscheinlichkeit für „nein“ wird mit $5 \cdot 10^{-6}$ (also fünfmal pro Million derartiger Fälle) abgeschätzt. Falls keine Reaktor-Schnellabschaltung („nein“) eintritt, ist ein großer Unfall (Reaktor Kernschmelze) wohl unvermeidlich. Findet eine Reaktor-Schnellabschaltung hingegen statt („ja“), kommt es für den weiteren Verlauf auf die Funktion des Nachkühlsystems an (u. s. w.). Insgesamt ergibt sich in diesem Beispiel eine Wahrscheinlichkeit von $2,7 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr und pro Reaktor für einen großen Unfall.

Die Aufgabe, die Größe eines Risikos zu ermitteln oder zu beeinflussen, lässt sich also in zwei Teilaufgaben aufspalten:

- 1) Ermittlung oder ggf. Beeinflussung der Gefahr, d. h. Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit für ein potenziell gefährliches Ereignis.
- 2) Ermittlung oder ggf. Beeinflussung der Vulnerabilität, also der individuellen oder gesellschaftlichen Fähigkeit, der Gefahrensituation begegnen zu können.

Die Ermittlung von Gefahren: Gefahren können durch eine ganze Reihe von Verfahren ermittelt werden. Denkbar sind Überlegungen zu Gefährdungsmechanismen (etwa im Falle von Chemiewerken oder Nuklearanlagen), alternativ auch die Analyse statistischer Daten aus der Vergangenheit. Hierbei stützt man sich auch auf menschliche Aufzeichnungen (z. B. von Erdbeben oder Überschwemmungen) und Rekonstruktionen von Ereignissen in der Vergangenheit aus natürlichen „Archiven“ (z. B. zeigen Schichten mit erhöhtem Sulfatanteil im Gletschereis Vulkanausbrüche an (siehe z. B. Cole-Dai et al. 2021)). Damit lässt sich beispielsweise feststellen, wie häufig und in welcher Intensität Erdbeben, extreme

Wetterereignisse, Überschwemmungen, Tsunamis oder Vulkanausbrüche in einer bestimmten Region bisher vorkamen.

In den letzten Jahrzehnten haben insbesondere die Risiken der Kernenergiegewinnung großes Interesse geweckt. Dabei stellte sich allerdings heraus, dass diese schwer zu ermitteln sind. Aus diesem Grund wurden umfangreiche Studien angefertigt, die zum Teil eigens entwickelte Methodiken anwandten (z. B. US Nuclear Regulatory Commission 1975, auch bekannt als „WASH-1400-Studie“, Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Gesellschaft für Reaktorsicherheit 1990).

Die Beeinflussung von Gefahren: Gefahren lassen sich teilweise durch menschliches Handeln beeinflussen. Beispiele dafür sind Gebäudebrände, Waldbrände, Überschwemmungen, Sturmflutereignisse. Andere Gefahren sind vom Menschen bisher nicht beeinflussbar, etwa Erdbeben, Tsunamis, Vulkanausbrüche, extreme Wetterereignisse oder Meteoreinschläge.

Die Ermittlung der Vulnerabilität: Die Vulnerabilität kann ebenso wie die Gefahr durch Überlegungen oder aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Zu nennen sind beispielsweise Erfahrungsdaten zu Opferzahlen in der Folge von Erdbeben, Tsunamis oder Epidemien.

Die Beeinflussung der Vulnerabilität: Die Vulnerabilität von Individuen, Gruppen und Gesellschaften kann in der Regel in vielfältiger Weise beeinflusst werden. Eine klassische Maßnahme zur Verringerung der Vulnerabilität durch Brände ist die Einrichtung der Feuerwehr. Dagegen kann die Vulnerabilität im Falle von Vulkanausbrüchen durch Evakuierung aus gefährdeten Gebieten, bei Erdbeben durch angepasste Bauweise verringert werden.

Bereich von Risiken: Risiken können unterschiedliche Bereiche und Zeiträume betreffen, also vom individuellen Lebensrisiko, über Risiken für Personengruppen (Einwohner und Einwohnerinnen einer Stadt, die von einem Erdbeben betroffen ist), Risiken für Völker bis hin zu Risiken für die Existenz der Menschheit. Zeitlich können sich Risiken über die jetzige Generation, über viele Generationen oder sogar über alle künftigen Generationen erstrecken.

Das „Restrisiko“

Das sogenannte Restrisiko ist letztlich ein gesellschaftlich akzeptiertes Risiko. Beispiele dafür sind die persönlichen Risiken aufgrund von Autounfällen, Krankheiten, Verbrechen oder Luftverschmutzung.

Problematisch wird der Begriff des Restrisikos bei extremen Zahlenwerten im Produkt ($\text{Risiko} = \text{Gefahr} \times \text{Vulnerabilität}$, s. o.). Das Risiko kann bei extrem kleiner Gefahr doch insgesamt beträchtlich sein, wenn die Vulnerabilität im Einzelfall besonders hoch ausfällt. Umgekehrt kann ein hohes Risiko trotz geringer Vulnerabilität aus der großen Eintrittswahrscheinlichkeit der Gefahr entstehen. Letzteres beschreibt den Bereich von „Alltagsmissgeschicken“.

Beispiele für die erstgenannte Art von problematisch hohen Risiken sind nukleare Unfälle. Hier mag die Wahrscheinlichkeit des Eintritts sehr gering sein, die Vulnerabilität hingegen ist regelmäßig außergewöhnlich hoch und auch schwer beeinflussbar. So haben die Unfälle von

Tschernobyl und Fukushima zur Verseuchung ganzer Landstriche geführt. Noch extremere Beispiele sind der Einschlag eines großen Meteors oder ein Supervulkan-Ausbruch, wobei es sich um Ereignisse handelt, welche die Menschheit vernichten könnten (siehe Abschnitt „Existenzielle Risiken der Menschheit“ bzw. Bostrom 2013).

Problematisch ist bei derartig extremen Verhältnissen regelmäßig die Ermittlung der Gefahr, da aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit keine statistischen Daten zur Verfügung stehen.

Persönliche Risiken

Leben bedeutet das Eingehen von Risiken. Die menschliche (technologische) Zivilisation erhöht zwar einerseits die Risiken (siehe „Existenzielle Risiken“), hat aber auch viele Wege gefunden, Gefahren und Vulnerabilität zu vermindern. Beispiele für letzteres sind das Gesundheitssystem und der Verbraucherschutz (siehe z. B. das Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR, <https://www.bfr.bund.de/de/start.html>, das Bewertungen von Risiken im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes vornimmt) sowie die Feuerwehr und der Unfallschutz.

Existenzielle Risiken der Menschheit

Die Menschheit als Ganzes ist naturgemäß in ihrer Existenz durch eine größere Zahl verschiedener Risiken bedroht (siehe z. B. Bostrom 2013). Einige dieser Risiken sind auch Gegenstand von mehr oder minder realistischen Science-Fiction Darstellungen und von Katastrophenfilmen. Die korrespondierenden Eintrittswahrscheinlichkeiten und dementsprechend das Ausmaß der Gefahr lassen sich allerdings sehr schwer abschätzen. Andererseits ist die Vulnerabilität vermutlich extrem hoch. Insgesamt führt das zu der verwunderlichen Tatsache, dass über diese Risiken kaum geforscht wird.

Eine Auswahl existentieller Risiken:

- } Einschlag eines großen Meteors (siehe z. B. Trierhoff 2010);
- } Ausbruch eines Supervulkans (siehe z. B. Bryan et al. 2010);
- } Supernova Explosion oder Gammastrahlenausbruch in der Nähe unseres Sonnensystems;
- } Invasion durch eine außerirdische Spezies;
- } Globaler Atomkrieg gefolgt von „Nuklearem Winter“ (Crutzen and Birks 1982);
- } Ungebremster → Klimawandel;
- } Pandemie, evtl. als Folge künstlich hergestellter Krankheitserreger;
- } Entwicklung superintelligenter Computer (Chalmers 2010; Bostrom 2016);
- } Ökologischer Kollaps des Erdsystems;
- } Technologischer Unfall (siehe z. B. Kupferschmidt 2018).

Während die ersten vier der genannten Risiken unabhängig von der menschlichen Aktivität auf der Erde bestehen, werden die restlichen Risiken durch menschliche Aktivität hervorgerufen und sind daher prinzipiell beeinflussbar. Auch die Gefahr von Meteoreinschlägen lässt sich möglicherweise beeinflussen (siehe z. B. Sval, Owen und Miller 2016 bzw. Zeeh o.J.).

Risikowahrnehmung

Eine sehr relevante Frage im Zusammenhang mit Risiken ist, wie das Risiko vom Individuum bzw. von der Gesellschaft eingeschätzt wird. Grundsätzlich ist also zu unterscheiden zwischen objektiv vorhandenem Risiko und wahrgenommenem Risiko (vergleiche Abschnitt 4).

Das gefühlte Risiko in der Psychologie

Das Erkenntnisinteresse der Psychologie ist auf die individuelle und kollektive Risikowahrnehmung gerichtet, die empirisch untersucht und konzeptionell/theoretisch erklärt werden soll. Methoden der empirischen Forschung bilden Befragungen, Experimente und Simulationen von Entscheidungssituationen unter Unsicherheit.

Ein Beispiel: Sie wollen das Haus verlassen, es ist trübes Wetter und Sie schauen auf Ihre Wetter-App, um eventuell einen Regenschirm mitzunehmen. Dort lesen Sie: „Regenwahrscheinlichkeit heute bei 30 %“. Was bedeutet das? Dass es (a) an Tagen wie diesen zu 30 % regnet? Dass es (b) in 30 % des Gebiets regnet? Dass es (c) zu 30 % in der angegebenen Zeit regnet? Die richtige Antwort (a) haben viele Menschen nicht vor Augen (siehe die entsprechenden Daten bei Gigerenzer et al. 2005) und schätzen das Risiko daher falsch ein.

Die empirische Forschung hat gezeigt, dass direkte Rückschlüsse vom Risikoverhalten auf die Risikowahrnehmung nicht möglich sind, da die Einschätzung von Handlungsmöglichkeiten, Chancen, Risiken und Eintrittswahrscheinlichkeiten subjektiv zu unterschiedlich ist. Dennoch lassen sich statistisch relevante Beobachtungen machen: So zeigen junge Männer eine überdurchschnittliche Risikoneigung in bestimmten Lebensbereichen (siehe zum Überblick Byrnes, Miller und Schafer 1999; Josef et al. 2016). Risiken werden tendenziell unterschätzt, wenn sie freiwillig eingegangen werden, zeitlich weit entfernt liegen oder der zu erwartende Schaden gering ist. Beispiele hierfür sind das Rauchen, der Alkoholkonsum oder das Lotteriespiel mit geringen Einsätzen. Auch die positive Nutzeneinschätzung verleitet dazu, das Risiko zu unterschätzen, wofür sich als Beispiel das Autofahren anführen lässt.

Zwei Positionen haben in den letzten 50 Jahren die Debatten zur Risiko-Einschätzung in der Psychologie beherrscht: Das „*Heuristics-and-Biases*“-Programm („Programm der Urteilsverzerrungen“) von Kahneman und Tversky (siehe programmatisch: Tversky und Kahneman 1974) sowie das ABC-Programm („*Adaptive Behavior and Cognition*“) von Gerd Gigerenzer und seinem Team (siehe programmatisch: Gigerenzer, Todd, und The ABC Research Group 1999). Beide sind von der Annahme einer begrenzten menschlichen Rationalität geleitet, die der Psychologe und Nobelpreisträger Herbert Simon mit dem Begriff „*bounded rationality*“ charakterisiert hat (Simon 1947). Beide Positionen werden nachfolgend kurz vorgestellt.

Das „Heuristics-and-Biases“-Programm

Die Untersuchungen von Kahneman und Tversky haben gezeigt, dass die Aversion gegenüber Verlusten größer ist als die Freude an gleich großen Gewinnen. Dies findet Bestätigung in

dem von ihnen beobachteten Framing-Effekt, wonach ein- und dasselbe Risiko je nach Formulierung zu unterschiedlicher Risikobereitschaft führt. Danach wird bei der Formulierung als Gewinnoption mehrheitlich die risikolose („sichere“) Option einer riskanteren Option mit gleicher oder höherer Gewinnmöglichkeit vorgezogen. Im Falle der Formulierung als Verlustoption wird dagegen die riskantere Option einer risikolosen Option mit gleichem Erwartungswert vorgezogen.

Die von Kahneman und Tversky (1979) vorgelegte „*prospect theory*“ illustriert den Effekt am Beispiel einer fiktiven asiatischen Krankheit (siehe Kasten „asiatische Krankheit“).

Box: „Asiatische Krankheit“

Den Studienteilnehmern und -teilnehmerinnen wird zunächst folgende Problembeschreibung vorgelegt (Kahneman und Tversky 1984, 343):

Problem 1: Stellen Sie sich vor, dass sich die USA auf den Ausbruch einer ungewöhnlichen asiatischen Krankheit vorbereitet, von der man erwartet, dass sie 600 Leute töten wird. Zur Bekämpfung der Krankheit wurden zwei alternative Vorgehensweisen A und B vorgeschlagen. Gehen Sie davon aus, dass die exakten wissenschaftlichen Auswirkungen der beiden Programme wie folgt sind:

Falls Programm A angenommen wird, werden 200 Menschen gerettet („sichere Option“).

Falls Programm B angenommen wird, gibt es eine 1/3 Wahrscheinlichkeit, dass 600 Menschen gerettet werden und eine 2/3 Wahrscheinlichkeit, dass keine Leute gerettet werden („riskante Option“).

72 Prozent der Versuchsteilnehmer bevorzugten unter dieser Beschreibung Programm A, bei dem 200 (von 600) Menschen die Krankheit sicher überleben. Das risikoreichere Programm B, das sich auch als Lotteriespiel mit Menschenleben auffassen lässt, wurde mehrheitlich gemieden. Unter dieser Beschreibung der Programme verhielten sich die Teilnehmer und Teilnehmerinnen demnach risiko-avers.

In einer zweiten Befragung wurden die zu erwartenden Konsequenzen der beiden Programme (nunmehr Programm C und D genannt) nicht mehr mittels der Zahl der Überlebenden, sondern mit der Zahl der Sterbenden beschrieben (Kahneman und Tversky 1984, 343).

Problem 2:

Falls Programm C angenommen wird, werden 400 Leute sterben („sichere Option“).

Falls Programm D angenommen wird, gibt es eine 1/3 Wahrscheinlichkeit, dass niemand sterben wird und eine 2/3 Wahrscheinlichkeit, dass 600 Leute sterben werden („riskante Option“).

78 Prozent der Befragten entschieden sich diesmal für Variante D, obwohl das Zahlenverhältnis von 200 Überlebenden zu 400 Todesopfern bei den Optionen A und C sowie B und D gleich ist. Dieser Effekt zeigte sich auch dann, wenn die Problembeschreibungen 1 und 2 von ein und denselben Personen (Experten und Expertinnen wie Laien und Laiinnen) innerhalb weniger Minuten bewertet werden sollten: Die Programme A und D wurden bevorzugt, die Programme B und C gemieden.

Ein weiteres Phänomen ist etwa die Relativierung absoluter Werte. So ist die Bereitschaft, das Risiko eines Verlustes von 10 Euro einzugehen, deutlich unterschiedlich ausgeprägt, je

nachdem, ob dieser Verlust in Bezug auf eine Ausgangssumme von 20, 100 oder 1.000 Euro droht. Bemerkenswert ist das Phänomen einer erhöhten Risikobereitschaft bei Gruppenentscheidungen gegenüber Individualentscheidungen. Dabei spielt auch das Vertrauen in die wissenschaftlichen und politischen Institutionen und Eliten als Mechanismus der Komplexitätsreduktion eine wichtige gesellschaftliche Rolle mit Auswirkung für die individuelle Risikoeinschätzung. In diesem Zusammenhang ist wiederum relevant, dass Experten und Expertinnen die Neigung zeigen, ihre Fähigkeit zur Risikoeinschätzung für besser zu halten als es die Einschätzungsmöglichkeiten objektiv sind (Dunning-Kruger-Effekt; siehe z. B. Dunning et al. 2003).

Das ABC-Programm: Häufigkeiten anstelle von Wahrscheinlichkeiten

Die evolutionspsychologische Perspektive, die in der Psychologie spätestens seit Cosmides (1989; siehe auch Buss 2014) einen festen Platz in der Landschaft „großer“ Theorien einnimmt, weist der Umwelt eine größere Bedeutung zu. Der Grundgedanke lautet: Im Laufe der Evolution haben Menschen sehr wohl gelernt, Häufigkeiten von Ereignissen abzuschätzen; nicht ausreichend gelernt wurde der Umgang mit Wahrscheinlichkeiten (ein Konzept, das erst im 17. Jahrhundert entwickelt wurde).

Ein einfaches Beispiel (vgl. Gigerenzer 1991): Ob man die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Medikamenten-Nebenwirkung (probabilistisch) mit 0,0025 % angibt oder ob man (frequentistisch) von 25 Erkrankungen pro 100.000 Anwendungen spricht, macht einen erheblichen Unterschied im Verständnis der Menschen aus. Risikoabschätzungen und Wahrscheinlichkeitsurteile profitieren davon, wenn bei der Aufgabenstellung evolutionär bewährte Mechanismen genutzt werden können. Dies bedeutet zugleich, dass keine besondere Unterrichtung und kein spezielles Training in Wahrscheinlichkeitstheorie notwendig sind, um mit unserem Gehirn vernünftige Leistungen in der Risikoabschätzung zu erzielen, wie es ja gelegentlich gefordert wurde (z. B. von Richard E. Nisbett et al. 1987) – eine einfache Änderung des Darstellungsformats von probabilistisch zu frequentistisch bewirkt bereits enorme Verbesserungen.

Der Nachfolger von Gerd Gigerenzer im Amt des Direktors am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin, Ralph Hertwig, betont einen wichtigen Unterschied in der Untersuchung von Risiken (Meta-Analyse bei Wulff et al. 2018, Nida-Rümelin, 2005): Auf der einen Seite stehen beschreibungsbasierte Bewertungen von Risiken (z. B. „die Einnahme von Medikament ABC führt in 1 % der Fälle zu Sehstörungen“), auf der anderen Seite erfahrungsbasierte Risikourteile (man geht oft bei Rot über die Ampel, wenn kein Verkehr zu sehen ist, und schließt daher auf ein niedriges Risiko in derartigen Situationen). Beide Formen der Risikobeurteilung kommen im Alltag vor. Bei der erfahrungsbasierten Risiko-Ermittlung kommt es ganz wesentlich auf das „*sampling*“ an (siehe dazu Fiedler 2000), damit keine kurzfristigen Fehlurteile entstehen (Fiedler 2012).

Die Psychologie trägt damit zur Verbesserung der Rationalität von Risikoentscheidungen bei, indem sie Wahrnehmungsverzerrungen und damit einhergehende Manipulationsmöglichkeiten aufdeckt. Forscherinnen und Forscher wie Gerd Gigerenzer fordern eine „risikokompetente“ Gesellschaft ein und sprechen gar von einer

„Risikointelligenz“ als einer Grundvoraussetzung, um sich in einer hochtechnisierten Gesellschaft zurechtzufinden. Angesichts der Bedeutung von Risiken in einer „Weltrisikogesellschaft“ (Beck 2008) scheint eine Ausbildung im Umgang mit Risiken nicht unvernünftig. Entsprechend gibt es seit 2009 ein Zentrum für Risiko-Kompetenz (<https://www.hardingcenter.de>).

Das verantwortete Risiko in der Ethik

Für die Ethik stellt sich das Problem der Risikoentscheidung als Frage, inwieweit das Eingehen von Risiken moralisch vertretbar ist (Nida-Rümelin 2005, 3). Dies führt zu den philosophischen Wurzeln der Entscheidungstheorie, die sich im Utilitarismus (systematische Entwicklung erstmals durch Jeremy Bentham (1748–1832) und John Stuart Mill (1806–1873)) finden. Deren moralischer Imperativ ist das größte Glück der größten Zahl (Nida-Rümelin 2005, 9.). Handlungen müssen demzufolge auf ihre Konsequenzen bedacht werden (zu den Aussagen im Einzelnen Bentham 1789; Mill 1861). Teilt man die Prämisse, so ermöglicht dieser Ansatz einen nicht nur rationalen, sondern auch moralischen Umgang mit berechenbaren Risiken. Je größer allerdings die Ungewissheit über die Konsequenzen von Handlungen ist, umso weniger verhilft der utilitaristische Ansatz zu moralisch begründbarer Handlungsanleitung. Denkbar wäre die Orientierung an dem, was subjektiv für das wahrscheinlichste Szenario gehalten wird. Dies verhilft allerdings bestenfalls zu einem Sicherheitsgefühl und kann Handlungsanleitung nur für solche Risiken sein, deren Auswirkungen auf den Entscheidungsträger oder die Entscheidungsträgerin beschränkt bleiben. Möglich ist auch die Orientierung an der ungünstigsten Prognose. Der Nachteil ist, dass dieser Ansatz den Stillstand befördert. In der Praxis hat sich in Gestalt des Vorsorgeprinzips eine gemäßigte Variante dieses Ansatzes durchgesetzt (→ Umweltrecht). Die moralische Grundlegung dieser Haltung hat insbesondere Hans Jonas in seinem Werk „Das Prinzip Verantwortung“ aus dem Jahr 1979 entwickelt. Darin stellt er in Anlehnung an den kantischen kategorischen Imperativ (Handle nur nach derjenigen Maxime, durch die du zugleich wollen kannst, dass sie ein allgemeines Gesetz werde) einen neuen kategorischen Imperativ auf, der lautet: „Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlung verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden. Oder negativ ausgedrückt: Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlung nicht zerstörerisch sind für die künftige Möglichkeit solchen Lebens.“ (Jonas 1979, 36). Als Vorläufer lässt sich Albert Schweitzers Ethik der Ehrfurcht vor dem Leben nennen. Hans Jonas begründet damit eine Umkehr des Verhältnisses zwischen Mächtigen und Ohnmächtigen (so Moser 2016, 56). Nicht mehr die Ohnmächtigen haben sich vor den Mächtigen zu rechtfertigen, sinnbildlich: die Menschen vor Gott, die Untertanen und Untertaninnen vor dem König oder der Königin, sondern die Mächtigen sind verantwortlich für die Ohnmächtigen, sinnbildlich in der Verantwortung der Eltern für den Säugling, die nicht nur objektiv besteht, sondern auch intuitiv gefühlt wird. Angesichts der erreichten Macht der Menschheit über die Natur bestehe auch zwischen Menschheit und Natur ein Verhältnis zwischen Mächtigen und Ohnmächtigen, die die Menschen nicht nur objektiv in die Verantwortung nimmt, sondern an ihr Verantwortungsgefühl appelliert. Diese

Verantwortung leitet sich gerade nicht aus einem Sollen im Sinne einer rechtlichen oder gesellschaftlichen Verpflichtung ab, sondern aus dem Können, also aus Macht. Je mächtiger die Menschen sind, desto verantwortlicher sind sie (Moser 2016, 57). Das Problem besteht darin, dass daraus eine tendenziell grenzenlose Verantwortung folgt, die nicht mehr an pflichtwidriges und schuldhaftes Handeln Einzelner und damit an nachvollziehbare Kausalverläufe anknüpft. Vielmehr umfasst dieser Verantwortungsbegriff das Unvorhersehbare. Damit sind „nicht mehr Einzelpersonen, sondern ganze Organisationen und Staaten...nunmehr diejenigen Akteure, an die sich der zukunftsethische Aspekt von Verantwortung richtet.“ (Moser 2016, 60). Das Prinzip der → Nachhaltigkeit (→ Umweltrecht) entspricht mit seinem Appell an die Sorge um die zukünftigen Generationen diesem weiten Verantwortungsbegriff von Jonas. Er geht jedoch auch noch darüber hinaus, indem er die Verantwortung der Menschen auf die gesamte Natur um ihrer selbst willen erstreckt (Moser 2016, 51 mit Verweis auf Jonas 1979, 97). Wenn die Moralgemeinschaft (Begriff bei Moser 2016, 63) auf alles Leben ausgedehnt wird, stellen sich die Probleme der Güterabwägung neu. Im Kern geht es den nicht-anthropozentrischen Moralkonzepten im Anschluss an Jonas um eine Umkehr der Verfügungsansprüche. „Während in der anthropozentrischen Sichtweise die Einschränkung einer prinzipiell unbegrenzten Verfügung über die Natur zu rechtfertigen ist“, geht es hier darum, „die Verfügung über eine prinzipiell unverfügbare Natur unter Rechtfertigungszwang“ zu stellen. (Moser 2016, 63 mit Verweis auf Gorke 1999, 289).

Ein weiteres Problem, das ethische Fragen aufwirft, ist die Tatsache, dass diejenigen, die eine Risikoentscheidung treffen, nicht notwendig identisch sind mit denjenigen, die von den Folgen dieser Entscheidung betroffen sein werden. Sowohl der Gedanke der Pflichtethik wie auch eine vertragstheoretische Perspektive erweisen es als erstrebenswert, dass die betroffenen Personen selbst die für sie relevanten Risiken informiert übernehmen oder ablehnen oder zumindest die Instanzen zu gestalten oder zu kontrollieren, welche die sie betreffenden Risikoentscheidungen vornehmen. Dies führt zu Fragen der Legitimation, die auch für die rechtliche Gestaltung von Risikoentscheidungsprozessen zentral sind. Angesichts von Risiken, die grenzüberschreitend oder sogar global bestehen, erscheint diese ethische Forderung immer schwerer zu erfüllen.

Das legitimierte Risiko im Recht

Bedenkt man, dass die Funktion des Rechts darin besteht, Erwartungen zu stabilisieren, also für Sicherheit zu sorgen, so verwundert nicht, dass der Umgang mit Risiken, die sich gerade durch Unsicherheit und Unvorhersehbarkeit auszeichnen, eine große Herausforderung für die Rechtsordnung darstellt (Di Fabio 1994, 7–10). Während das Recht schon immer eine Antwort darauf zu geben hatte, wer für einen Schaden verantwortlich ist und demzufolge haftet, geht es im Umgang mit Risiken zuvörderst um die Frage, wer entscheidet, welche Risiken und in welchem Ausmaß Risiken eingegangen werden (Di Fabio 2003, 163–167). Die Frage der Haftung bleibt, wird aber sekundär.

Lange bevor der Risikobegriff in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts zuerst im Versicherungsrecht, später insbesondere im Arzneimittelgesetz, der Strahlenschutzverordnung

sowie dem Bundesberg-, Chemikalien- und Gentechnikgesetz Eingang in das Recht fand (zum Auftreten des Risikobegriffs in den unterschiedlichen (Verwaltungs-)Rechtsgebieten: Klafki 2017, 10–20.), gab es den für das Gefahrenabwehrrecht (Polizei- und Ordnungsrecht) grundlegenden Begriff der Gefahr. Das Vorliegen einer konkreten Gefahr ist Voraussetzung für das Eingreifen der Polizei bzw. Ordnungsbehörden (so in §§ 1 Abs. 1 und 3 Polizeigesetz Baden-Württemberg wie auch in den anderen Polizeigesetzen in Deutschland). Eine konkrete Gefahr wird definiert als eine Sachlage oder ein Verhalten, das bei ungehindertem Ablauf des zu erwartenden Geschehens aus Sicht eines objektiven Beobachters bzw. einer objektiven Beobachterin ex ante mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein polizeilich geschütztes Rechtsgut schädigen wird (allgemeine Ansicht, siehe nur BVerwG, Urteil vom 26. 2. 1974 – I C 31/72 – BVerwGE 45, 51; s. zum Gefahrenbegriff auch Di Fabio, 1994, 30–33). Die Sicht des „objektiven Beobachters bzw. der objektiven Beobachterin ex ante“ verdeutlicht, dass es sich um die Prognose eines Kausalverlaufs handelt. Die hinreichende Wahrscheinlichkeit ist keine feste, sondern eine graduelle Größe: Je gewichtiger das Schutzgut und je größer der zu erwartende Schaden, umso geringer sind die Anforderungen an die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts, um eine konkrete Gefahr als Voraussetzung polizeilichen Einschreitens anzunehmen. Begriffliche Verwirrung entsteht dadurch, dass zum einen zwei unterschiedliche Konzepte in Bezug auf das Verhältnis der Begriffe Gefahr und Risiko zueinander bestehen und dass zum anderen in Spezialgesetzen der Begriff der Gefahr anders definiert wird als im allgemeinen Gefahrenabwehrrecht.

Nach dem herkömmlichen Verständnis besteht im Sprachgebrauch der Juristen und Juristinnen zwischen den Begriffen Gefahr, Risiko und Restrisiko ein Verhältnis der graduellen Abstufung (Klafki 2017, 12–13; Di Fabio 1994, 105; Heun, 2011, 378–379). Es unterscheidet sich damit von dem naturwissenschaftlichen Begriff der Gefahr im Sinne von Risiko = Gefahr x Vulnerabilität. Während die konkrete Gefahr dem Staat sofortiges Eingreifen zur Gefahrenabwehr erlaubt – z. B. Anhalten eines betrunkenen Autofahrers oder einer betrunkenen Autofahrerin und Hinderung der Weiterfahrt –, berechtigt ein Risiko den Staat nur zu Maßnahmen der Risikoverminderung – z. B. zur Aufstellung von Anforderungen an die Sicherheit von Autos oder Kernkraftwerken. Ein auch bei Treffen aller Vorsichtsmaßnahmen letztlich nie auszuschließendes Restrisiko wird schließlich als so fernliegend und unwahrscheinlich eingeschätzt, dass es als sozialadäquat hinzunehmen ist (BVerfG, Beschluss vom 8. 8. 1978 – 2 BvL 8/77 – BVerfGE 49, 89, Ls. 6: „Ungewissheiten jenseits dieser Schwelle praktischer Vernunft sind unentrinnbar und insofern als sozialadäquate Lasten von allen Bürgern zu tragen.“), z. B. das Unfallrisiko im Straßenverkehr oder „letzte Ungewissheiten jenseits der gegenwärtigen Erkenntnisfähigkeit“ bei Experimenten am CERN-Teilchenbeschleuniger (BVerfG, Beschluss vom 18. 2. 2010 – 2 BvR 2502/08 – BVerfGK 17, 57).

Nach anderem Verständnis unterscheiden sich Gefahr und Risiko grundlegend. Während einer Gefahr eine sichere Tatsachenbasis und ein vorhersehbarer Kausalverlauf zugrunde liegt – ein Kind läuft vor ein Auto; Öl dringt in grundwasserhaltiges Erdreich –, ist ein Risiko durch eine ungewisse Tatsachengrundlage und einen ebenso ungewissen Kausalverlauf

gekennzeichnet (Klafki 2017, 13–15). Exemplarisch lässt sich dafür der Streit um schädliche Auswirkungen von Glyphosat nennen.

Gemeinsam ist aber beiden Konzepten, dass sowohl der Gefahren- als auch der Risikobegriff die Elemente der Wahrscheinlichkeit und des Schadens enthalten.

Ein naturwissenschaftlich geprägtes Verständnis des Gefahrenbegriffs findet sich im Produktsicherheitsgesetz. Dort wird in § 2 Nr. 10 Gefahr als „mögliche Ursache eines Schadens“ definiert. Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß sind dagegen dem Risikobegriff zugeordnet. Dessen Definition lautet gemäß § 2 Nr. 23 „die Kombination aus der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gefahr und der Schwere des möglichen Schadens“. Vergleichbar sind auch die Legaldefinitionen in der Lebensmittelbasisverordnung (Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit). Art. 3 Nr. 9 definiert Risiko als eine Funktion der Wahrscheinlichkeit einer die Gesundheit beeinträchtigenden Wirkung und der Schwere dieser Wirkung als Folge der Realisierung einer Gefahr. Gefahr ist wiederum in Art. 3 Nr. 14 definiert als ein biologisches, chemisches oder physikalisches Agens in einem Lebensmittel oder Futtermittel oder einen Zustand eines Lebensmittels oder Futtermittels, der eine Gesundheitsbeeinträchtigung verursachen kann. Art. 3 enthält zudem Definitionen der Begriffe Risikoanalyse, Risikobewertung, Risikomanagement und Risikokommunikation.

Es sind die Risiken aufgrund unsicherer Kenntnisse über die Tatsachen und aufgrund unsicheren Kausalverlaufs, die rechtlich am schwierigsten zu handhaben sind (Scherzberg 2004, 220–223). Die wesentliche Frage ist, wem die Befugnis zukommt, über das Ob und Wie in Bezug auf das Eingehen von Risiken zu entscheiden. In einem freiheitlich-demokratischen Rechtsstaat wie Deutschland (vgl. die Staatsstrukturprinzipien in Art. 20 Abs. 1–3 Grundgesetz) ergeben sich hierfür Anforderungen aus dem Demokratie- und dem Rechtsstaatsprinzip. Das Rechtsstaatsprinzip verlangt, dass Risikoentscheidungen auf bestmöglicher Wissensgrundlage getroffen werden, was die Einbindung von wissenschaftlichem Sachverstand erfordert (BVerfG, Beschluss vom 8. 8. 1978 – 2 BvL 8/77 – BVerfGE 49, 89 – Kernenergie; Scherzberg 2004, 221). Angesichts verbleibender Unsicherheit genügt Sachverstand allein jedoch nicht zur Legitimation von Risikoentscheidungen. Die Abwägungsentscheidung über den Nutzen des Risikos und die Nachteile bei Nichteingehen des Risikos auf der einen Seite im Verhältnis zu Schadenswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß auf der anderen Seite ist eine wertende Entscheidung, die nach ethischen Standards, wie unter 5. dargelegt, möglichst von denen zu treffen ist, die von den Folgen betroffen sein werden (s. auch Klafki 2017, 25–27 m. w. N.). Überführt in die Logik des demokratischen Staates ist dies das unmittelbar demokratisch legitimierte Parlament in seiner Funktion als Gesetzgeber (so schon Murswiek, 1985, 400). Es bedarf also der Rechtfertigung für die Verlagerung von Entscheidungen aus dem Parlament auf die supra- oder internationale Regelungsebene, in die Verwaltung oder auf private Sachverständige. Letztlich müssen alle wesentlichen Entscheidungen unmittelbar demokratisch legitimiert sein (BVerfGE 49, 89 – Kernenergie). Diese Entscheidungen

betreffen neben dem „Ob“ auch die Frage, in welcher Weise und in welchem Ausmaß ein Risiko eingegangen werden soll. Insoweit ist Risikovorsorge gegen die damit stets auch verbundenen Freiheitsbeschränkungen von Grundrechtsträgern und -trägerinnen abzuwägen. Je nachdem, ob Gefährlichkeit oder Ungefährlichkeit nachzuweisen ist, werden Risiken, das heißt aber auch Innovationen und Investitionen, erleichtert oder erschwert.

So wie der Begriff der konkreten Gefahr im allgemeinen Polizei- und Ordnungsrecht den Staat zu freiheitsbeschränkenden Eingriffen zum Schutz von Rechtsgütern, der objektiven Rechtsordnung und Einrichtungen des Staates ermächtigt, so bildet die Abgrenzung zwischen Risiko und Restrisiko die Eingriffsschwelle für freiheitseinschränkende Vorsorgemaßnahmen in Ausübung der staatlichen Schutzpflicht (Scherzberg 2004, 241). Nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts ist der Staat nur dann einklagbar zum Tätigwerden verpflichtet, wenn es um den Schutz eines hochrangigen Rechtsguts geht (z. B. Gesundheit) und bisher noch keine oder nur offensichtlich unzureichende Maßnahmen getroffen wurden (BVerfG, Beschluss vom 14. 1. 1981 – 1 BvR 612/72 – BVerfGE 56, 54). In Bezug auf zu ergreifende Maßnahmen steht dem Gesetzgeber ein weiter Einschätzungsspielraum zu, wobei die Grenze die Angemessenheit des Eingriffs gegenüber den von diesen Maßnahmen betroffenen Personen ist (BVerfG, Beschluss vom 29. 10. 1987 – 2 BvR 624/83 u. a. – BVerfGE 77, 170.). Angesichts der Tatsache, dass es sich regelmäßig um auch in der Wissenschaft streitige Fragen der Schädlichkeit handelt, sind die Entscheidungen für oder gegen ein Risiko (z. B. Atomausstieg) hochpolitischer Natur. In einem freiheitlich-demokratischen Staat werden die Grundentscheidungen des „Ob“ und „Wie“ im Parlament getroffen, wobei regelmäßige Wahlen die Gewichte etwa für mehr oder weniger Umweltschutz verschieben können. Zwischen den Wahlen kann durch Inanspruchnahme von Meinungs-, Presse-, Versammlungs- und Vereinigungsfreiheit wie auch Petitionen Einfluss auf die Entscheidungsfindung im Parlament genommen werden. Vergleicht man dieses Konzept mit dem ethischen Ansatz von Hans Jonas wird deutlich, dass nach der rechtlichen Struktur des Vorsorgeprinzips zwar hohe Anforderungen an die Rechtfertigung der Verfügung über die Natur gestellt werden, aber die damit verbundenen Einschränkungen der menschlichen Handlungsfreiheit ebenfalls unter erheblichem Rechtfertigungszwang stehen.

Der rechtliche Umgang mit Risiko verlangt nicht zuletzt eine Neuausrichtung von Rechtsetzung und Verwaltung. „Risikorecht muss seine eigenen Wirkungen antizipieren und dadurch reflexiv werden“ (Pitschas 2012, Rn. 177). Das heißt, das Recht muss ständig neue wissenschaftlichen Erkenntnisse in sich aufnehmen und verarbeiten, was letztlich nur dadurch gelingen kann, dass das Gesetz den Sicherheitsmaßstab umschreibt und dieser von der Exekutive aufgrund ihrer Kompetenz zu eigener Maßstabsbildung aktualisiert wird (Pitschas 2012, Rn. 186). Risikoverwaltungsrecht verlangt zudem nach neuen Handlungsformen der Risikokommunikation und Abstimmung zwischen Verwaltung, Sachverständigen, Unternehmen und Öffentlichkeit (Pitschas 2012, Rn. 181), wie dies in den zahlreichen Verfahren der Öffentlichkeitsbeteiligung etwa im Immissionschutzrecht, Wasserrecht, Luftverkehrsrecht oder Straßenrecht stattfindet. Das Risikoverwaltungsrecht ist damit zu einer eigenständigen Materie des Verwaltungsrechts geworden.

Das gesellschaftsprägende Risiko in der Soziologie

Wie bereits eingangs dargelegt, hat die Soziologie Ende der 1980er Jahre das Risiko als global gesellschaftsprägendes Phänomen erkannt. Als Gegenbegriff fungiert der Begriff der Gefahr. Während die Gefahr sich nach soziologischem Verständnis dadurch auszeichnet, dass sie der Umwelt im weiten Sinne zugerechnet wird, man ihr also ausgesetzt ist, bezeichnet der Begriff des Risikos die schädlichen Folgen einer Entscheidung. Während die Menschen Jahrtausende lang Hunger, Krankheit und Krieg als „Gefahr“ erlebt haben, erscheint infolge naturwissenschaftlichen Erkenntnisfortschritts und globaler politischer Organisation heute ein Großteil der Katastrophen als Folge menschlicher Entscheidung und damit sowohl zurechenbar als auch beeinflussbar.

Wird der Begriff des Risikos mit der Zurechnung von Entscheidungen verknüpft, so hängt die Zahl der Risiken von der Vielfalt der Entscheidungsmöglichkeiten ab. Die freiheitliche Gesellschaft Hand in Hand mit dem Zuwachs an wissenschaftlicher Erkenntnis befördert demzufolge die Entwicklung zur Risikogesellschaft. Dieser 1986 von dem Soziologen Ulrich Beck verwendete Begriff bezeichnet eine Gesellschaft, in der

- } die Vergangenheit die Determinationskraft für die Gegenwart verliert und an deren Stelle Vermutungen über die Zukunft zur Ursache gegenwärtigen Handelns werden;
- } das Rationalitätsmonopol der Wissenschaften gebrochen wird, weil auch die Wissenschaft die Zukunft nicht nach ihren Kriterien von wahr oder unwahr, sondern nur unter dem ihr fremden Kriterium von wahrscheinlich und unwahrscheinlich beurteilen kann; damit einher geht eine Entmachtung der Naturwissenschaften, denn Aussagen über Risiken enthalten notwendig implizit Aussagen über kulturelle Wertvorstellungen hinsichtlich eines lebenswerten Lebens;
- } die Strategien zur Bewältigung von Risiken ihrerseits riskant sind, so dass die angestrebte Sicherheit sich als „unabschließbares Bedürfnis“ erweist (Beck 1986, 30);
- } hinsichtlich der Betroffenen die Unterscheidung von arm und reich ebenso wie die nationalstaatlicher Grenzen zwar nicht völlig, aber doch tendenziell unterlaufen werden;
- } das zivilisatorische Selbstgefährdungspotential zu einer Gesellschaft der Angst führt, welche einerseits eine Tendenz zu „einem legitimen Totalitarismus der Gefahrenabwehr“ hervorruft, andererseits die „Utopie einer Weltgesellschaft ein Stück realer oder zumindest dringlicher“ werden lässt (Beck 1986, 106).

Diese Einsichten erhöhen das Problemverständnis, befördern aber nicht unmittelbar die Problemlösung.

Darüber hinaus befasst sich die Soziologie in ihrem empirischen Zweig mit der Untersuchung von Konflikten und gesellschaftlichen Konsequenzen, die sich aus dem Eingehen von Risiken ergeben, mit asymmetrischen Betroffenheiten durch Risiken, der Fairness der Verteilung von unter Risiken erzielten Ergebnissen sowie der gruppenspezifischen Bewertung von Risiken, wobei letztes Überschneidungsbereiche mit dem Erkenntnisinteresse der Psychologie aufweist.

Die Bedeutung des Risikobegriffs am Beispiel des Klimawandels

Die verschiedenen Erkenntnisinteressen, aber auch das Zusammenspiel zwischen den Wissenschaften lässt sich am Beispiel des Klimawandels verdeutlichen.

(*Naturwissenschaft*) Die Naturwissenschaften untersuchen schon seit etwa zwei Jahrhunderten die Ursachen des Klimawandels, seine genaue Ausprägung und die sich daraus ergebenden Folgen (siehe auch → Klimawandel und Abb. x).

Bereits seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ermöglichten die zunehmenden Erkenntnisse über die Natur der elektromagnetischen Strahlung, insbesondere der Infrarot- oder Wärmestrahlung, die theoretische Berechnung der Erdtemperatur als Gleichgewicht zwischen Energiezufuhr durch Sonneneinstrahlung und Abstrahlung durch Wärmestrahlung. Überraschenderweise ist die Erde deutlich wärmer als erwartet. Wie sich herausstellte, liegt die Ursache in der Absorption und Emission von Wärmestrahlung durch die Atmosphäre (Fourier 1827), genauer, bestimmter Bestandteile der Atmosphäre (vor allem Wasserdampf und Kohlendioxid, CO₂), die wir heute Treibhausgase nennen. Auf dieser Basis waren Vorhersagen einer zukünftigen Klimaerwärmung aufgrund der damals schon erwarteten Zunahme des CO₂-Gehaltes der Luft durch die Verbrennung fossiler Materialien möglich (damals hauptsächlich Kohle). Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden erstmals quantitative Voraussagen gemacht, etwa über die Folgen einer zukünftigen Verdopplung des CO₂ Gehaltes der Atmosphäre (Arrhenius 1896). Wasserdampf ist (vor allem, weil seine Konzentration in der unteren Atmosphäre viel größer ist als die von CO₂) ein noch wirksameres Treibhausgas als CO₂, allerdings wird die Wasserdampfkonzentration im Wesentlichen durch die Temperatur bestimmt (höhere Temperatur – mehr Wasserdampf) und stellt damit ein Verstärkungselement dar.

Allerdings wurde die Erwärmung damals noch nicht als Problem für die Menschheit gesehen.

In den Folgejahrzehnten wurden die Kenntnisse über die Physik und Chemie unserer Atmosphäre immer umfangreicher und detaillierter. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts kann nicht nur die sich stets beschleunigende Zunahme des atmosphärischen CO₂-Gehaltes gemessen und dokumentiert werden, sondern es wurde auch die Klimawirkung zahlreicher weiterer atmosphärischer Spurengase (wie z. B. Methan, Lachgas, Fluorchlorkohlenwasserstoffen) entdeckt.

Die Zunahme der Konzentration dieser Gase konnte in der Folge auch zweifelsfrei auf anthropogene Aktivitäten zurückgeführt werden. Hauptursache ist dabei die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Öl, Erdgas), aber auch die Waldrodung und Trockenlegung von Sümpfen spielen eine Rolle. Obwohl die Konzentration vieler Treibhausgase in der Atmosphäre z. T. eine Million Mal geringer ist als die von CO₂, kann die Treibhauswirkung beträchtliche Bruchteile (bis zu einigen %) derer von CO₂ erreichen. Mittlerweile sind die Kreisläufe aller Klimagase gut bekannt, so dass weitere Verstärkungseffekte (wie etwa vermehrte Methanfreisetzung durch höhere Temperatur) quantifiziert werden können. Diese Verstärkung beträgt insgesamt in der Tat ein Vielfaches des ursprünglichen Klimaantriebs durch die CO₂-Zunahme. Damit besteht die Gefahr einer Instabilität des Klimasystems in der Weise, dass sich die Temperaturzunahme verselbständigt. Dazu kommt noch die Gefahr von Kippelementen, d. h. durch den Klimawandel angestoßene Vorgänge auf der Erde, die zu einer irreversiblen Klimaänderung führen. Beispiele sind der Verlust des Meereises in der

Arktis, wodurch weniger Sonneneinstrahlung zurückgeworfen wird, die Arktis sich schneller erwärmt, so dass wiederum mehr Meereis schmilzt, u. s. w.

Die Einführung von Klima-Modellrechnungen seit den 1960er Jahren (Watanabe) erlaubten dann nicht nur detaillierte Voraussagen der Erderwärmung und deren regionale Ausprägung, sondern auch die Vorhersage weiterer Konsequenzen wie die Änderung der Niederschlagsmengen, Verschiebung von Klimazonen, Änderungen des jahreszeitlichen Temperaturverlaufes, Stürme, Überschwemmungen, Anstieg der Meeresspiegel, Gletscherschmelze und weiteren Folgen der Klimawandels. Seit etwa dieser Zeit – also etwa seit den 60 Jahren – wird der Klimawandel von der Wissenschaft als potentielle und mittlerweile auch reale Gefahr gesehen. Eine Zusammenfassung des neuesten Standes der Wissenschaft ist in den Berichten der Arbeitsgruppe I des Welt Klimarates (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) niedergelegt, siehe z. B. den 6. Sachstandsbericht von 2021 (IPCC 2021). Die Gefahren, Auswirkungen und Vulnerabilität des Klimawandels werden von der Arbeitsgruppe II des IPCC behandelt, siehe IPCC 2014 sowie nunmehr IPCC 2022.

(*Recht*) Angesichts dieser naturwissenschaftlichen Erkenntnisse, die zeigen, dass es sich um einen menschengemachten Klimawandel handelt, werden Gegenmaßnahmen immer dringlicher. Dies erfordert vor allem internationales Zusammenwirken, denn es handelt sich um die „Tragödie der Allmende“ (*tragedy of the commons*) in globaler Dimension (Wagner 2021, 2257).

Ein erster Schritt zu weltweiter Kooperation stellte die UN-Klimarahmenkonvention von 1992 dar. In diesem Rahmen treffen sich seither alljährlich die Vertragsstaaten zur „*Conference of the Parties*“ (COP), wobei deren Beratungen in der Regel in unverbindliche Beschlüsse münden. Eine erste verbindliche Maßnahme wurde mit dem Kyoto-Protokoll von 1997 vereinbart, das einen weltweiten Treibhausgasemissionszertifikatehandel institutionalisierte. Im Rahmen der EU erfolgte die Umsetzung durch den Erlass der Treibhausgasemissionszertifikate-Richtlinie im Jahre 2003 mit den entsprechenden Umsetzungsmaßnahmen in den Mitgliedstaaten. 2012 wurde der Luftverkehr in den Anwendungsbereich einbezogen. Es bedurfte jedoch weiterer Reformen, um einem Überangebot an Zertifikaten entgegenzuwirken. Erst seit 2018 entfaltet das Instrument Wirkungen (Kreuter-Kirchhof 2019, 399). Mit dem Green Deal werden zukünftig auch die Sektoren Verkehr und Gebäude in den Zertifikatehandel einbezogen.

Auf der Konferenz in Paris 2015 erfolgte dann die verbindliche Einigung von 196 Mitgliedstaaten, die globale Erwärmung unter 2 Grad Celsius zu halten und möglichst auf 1,5 Grad zu begrenzen. Dieses Ziel soll durch jeweils nationale Anstrengungen erreicht werden. Inzwischen zeichnet sich ab, dass unter Zugrundelegung des 1,5 Grad-Ziels das verbleibende CO₂-Budget bis 2030 aufgebraucht sein wird, bei Zugrundelegung von 2 Grad sind es 80 % des Budgets. Damit wird deutlich, dass die Ziele durch die bisherigen Anstrengungen nicht erreicht werden können.

Infolgedessen hat die Europäische Union weitere Maßnahmen beschlossen, um dem Klimawandel entgegenzuwirken. Zu nennen ist die Verordnung 2018/1999 vom 11. 12. 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz (ABl. 2018

Nr. L 328/1). Das Ziel dieser Verordnung ist es, die erforderlichen Rechtsgrundlagen für ein „zuverlässiges, inkludierendes, kosteneffizientes, transparentes und berechenbares Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz zu schaffen“, um die im Übereinkommen von Paris 2015 vereinbarten Zielvorgaben zu erreichen. Angestrebt wird die Förderung von Energieeffizienz und Energieeinsparungen sowie die Entwicklung neuer und erneuerbarer Energieformen. Hierzu werden unter Beteiligung der Öffentlichkeit integrierte nationale Energie- und Klimapläne erarbeitet. Vorgesehen ist zudem ein Dialog über klima- und energiepolitische Fragen unter Einbeziehung der verschiedenen Akteure und Akteurinnen der Zivilgesellschaft. Regelmäßige Berichte an die Kommission über den Stand der Durchführung der integrierten nationalen Energie- und Klimapläne sowie die Erarbeitung einer nationalen Langfrist-Strategie fordern von den Mitgliedstaaten einerseits Rechenschaft abzulegen, andererseits vorausschauend tätig zu werden. Inzwischen ist eine weitere Verordnung ergangen, die als Europäisches Klimagesetz bezeichnet wird (Verordnung 2021/1119 vom 30. 6. 2021 zur Schaffung eines Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität, ABl. 2021 L 243/1). Darin wird das Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 vorgegeben. Um dieses Ziel zu erreichen, soll bis zum Jahr 2030 eine Senkung der Treibhausgase um mindestens 55 % gegenüber dem Stand von 1990 verwirklicht werden. Die Kommission überprüft in regelmäßigen Abständen, ob die ergriffenen Maßnahmen erfolgreich sind. Auch der Dialog mit allen Teilen der Gesellschaft soll helfen, die Ziele der Verordnung zu erreichen (Schlacke/Köster/Thierjung 2021, 620–624; Lorenzen 2022a, 156). Wie genau diese Ziele erreicht werden sollen, gibt die Verordnung allerdings nicht vor.

Umstritten ist die Aufnahme von Atomenergie (Lorenzen 2022b) und Erdgas in die sogenannte Taxonomie-Verordnung (Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen, ABl. L 198/13), die einen Rahmen zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen bildet, indem sie ermöglicht, dass Finanzprodukte als ökologisch nachhaltig vermarktet werden. Während sich bei der Atomenergie vor allem die Frage der Endlagerung stellt, entsteht bei Erdgas ebenfalls CO₂, wenn auch weniger als bei der Kohleverstromung. Auch hier sind Risikoabwägungen vorzunehmen.

In Deutschland hat das Bundesverfassungsgericht in seinem Aufsehen erregenden und umstrittenen Beschluss vom 24. 3. 2021 (BVerfGE 157, 30 – 1 BvR 2656/18 u. a.) festgestellt, dass das Grundrecht auf Leben und körperliche Unversehrtheit auch den Schutz vor den Gefahren des Klimawandels umfasst und eine objektivrechtliche Schutzpflicht auch in Bezug auf künftige Generationen begründet. Die Vereinbarkeit staatlicher Maßnahmen mit Art. 20a GG sei Voraussetzung für die verfassungsrechtliche Rechtfertigung staatlicher Eingriffe in Grundrechte. Daraus ergebe sich auch eine Verpflichtung zur Sicherung grundrechtsgeschützter Freiheit über die Zeit und zur verhältnismäßigen Verteilung von Freiheitschancen über Generationen. „Subjektivrechtlich schützen die Grundrechte als intertemporale Freiheitssicherung vor einer einseitigen Verlagerung der durch Art. 20a GG aufgegebenen Treibhausgasreduzierungslast in die Zukunft.“ (Leitsatz 4 der Entscheidung). Art. 20a GG gewährleiste, mit den natürlichen Lebensgrundlagen so sorgsam umzugehen, dass nachfolgende Generationen diese nicht nur um den Preis radikaler eigener

Enthaltbarkeit bewahren können. Diese Schonung künftiger Freiheit verlange, den Übergang zu Klimaneutralität rechtzeitig einzuleiten. Das Bundesverfassungsgericht hat, anknüpfend an die Entscheidung des Gesetzgebers, das Pariser Klimaschutzziel zum Inhalt des Art. 20a GG erklärt und den Gesetzgeber aufgefordert, das Klimaschutzgesetz nachzubessern, da es keine hinreichenden Vorkehrungen für die Zeit nach 2030 trifft. Daraufhin hat der Gesetzgeber das Klimaschutzgesetz geändert und neue Minderungsziele für die Zeit nach 2030 eingefügt (s. Erstes Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 18. 8. 2021, BGBl. I, 3905). Ein weiteres wichtiges Gesetz im Bereich des Klimaschutzes ist das Kohleausstiegsgesetz, wonach die Kohleverstromung schrittweise verringert und spätestens Ende 2038 vollständig eingestellt werden soll (BGBl. 2020 I, 1818).

Eine neuere Entwicklung stellt es dar, dass Einzelpersonen oder Umweltorganisationen Unternehmen wie RWE oder RDS, die Muttergesellschaft der Shell-Gruppe, verklagen. Hier stellen sich schwierige Zurechnungsfragen wie auch Fragen der Gewaltenteilung. Während das Landgericht Essen die Klage des Peruaners Lluyia gegen RWE wegen fehlender Zurechenbarkeit der Emissionen zu diesem Unternehmen abgewiesen hat (LG Essen, Urteil vom 15. 12. 2016, 2 O 285/15, nicht rechtskräftig), hat ein niederländisches Gericht auf die Klage von Umweltvereinigungen die RDS zu einer Reduktion ihres Treibhausgasausstoßes um 45 % bis zum Jahr 2030 verurteilt (Rechtbank Den Haag, Urteil vom 26. 5. 2021, C/09/571932 / HA ZA 19–379). Sinn und Berechtigung einer solchen Verurteilung sind zweifelhaft, denn andere Unternehmen, die keiner derartigen Verpflichtung unterliegen, könnten nun ihren Absatz von Erdölprodukten steigern, so dass der Klimaeffekt verpufft (Wagner 2021, 2263). Gerichte in den USA haben daher abgelehnt, Klagen aus außervertraglicher Haftung für Klimaschutzpolitik zu nutzen und auf die Kompetenzen von Legislative und Exekutive verwiesen (Wagner 2021, 2263). In der Tat erscheint ein individuelles Vorgehen selbst gegen international agierende Unternehmen angesichts eines globalen Problems wenig zielführend. Es ist nicht Sache der Gerichte Klimapolitik zu betreiben, sondern die Aufgabe der Staatengemeinschaft im Wege internationaler Vereinbarungen den Klimawandel zu bekämpfen, Aufgabe der supranationalen wie nationalen Gesetzgebung, die Vereinbarungen umzusetzen und Aufgabe der Verwaltung die Gesetze zu vollziehen, beispielsweise Windenergieanlagen zu genehmigen oder Fördermaßnahmen für Solaranlagen zu bewilligen. Im Rahmen gesetzlicher Vorgaben haben dann auch Unternehmen ihre Emissionen anzupassen, unbeschadet dessen, dass sie aus eigenem Antrieb auf eine Reduktion von Treibhausgasen hinwirken können, wie dies etwa Stromerzeuger und Stromerzeugerinnen aus Eigeninteresse zum Teil bereits jetzt tun.

Um die „Tragödie der Allmende“ zu beenden, ist allerdings ein Ausmaß an internationaler Kooperation erforderlich, das angesichts des Zustands der Welt unrealistisch erscheint. Dies hat auch die letzte Klimakonferenz in Glasgow gezeigt, auf der die neben der EU größten CO₂-Emittenten China, USA, Indien und Russland sich nicht auf gemeinsame Ziele einigen konnten. Insbesondere haben die genannten Staaten das „*Global Coal to Clean Power Transition Statement*“ nicht unterzeichnet. Aber auch die Bereitschaft in der Bevölkerung, Beeinträchtigungen hinzunehmen, die sich aus der Umstellung auf erneuerbare Energien ergeben, ist nicht stets vorhanden („*not in my backyard*“). Dies gilt etwa für die notwendigen

Überlandleitungen, um den windgenerierten Strom vom Norden in den Süden zu führen sowie überhaupt für die Errichtung von Windenergieanlagen. Auch die Errichtung von Wasserkraftwerken oder großflächigen Solaranlagen ist mit erheblichen Eingriffen in die Umwelt verbunden. Dies erfordert Risikoabwägungen, die wiederum auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen und auch einer Kostenkalkulation bedürfen, denn:

Ökonomie: Die Umstellung auf erneuerbare Energien wird teuer. Um optimale Strategien zur Bewältigung des Klimawandels zu entwickeln, müssen die Kosten der verschiedenen Maßnahmen des Klimaschutzes bei einer Entscheidung über das bestmögliche Maßnahmenbündel gegeneinander abgewogen werden. Dies ist die Perspektive der Ökonomie. Erschwert wird diese Entscheidung, da sowohl die Kosten als auch die Effektivität der einzelnen Maßnahmen mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet sind.

Der negative Einfluss hoher CO₂-Emissionen auf den Klimawandel ist wohl bekannt. Weit weniger weiß man hingegen über die finanziellen Kosten und die eventuellen Klimaschäden alternativer die CO₂-Emissionen reduzierender Technologien. Einer fast völligen Vermeidung von CO₂-Emissionen durch Kernenergie stehen langfristige unbekannte finanzielle Kosten der Endlagerung und eventuelle Schäden durch radioaktive Verseuchung der Umwelt gegenüber. Einer substanziellen Reduzierung der CO₂-Emissionen durch gasbetriebene Kraftwerke hat den Nachteil hoher Beschaffungskosten und großer Versorgungsrisiken. Erneuerbare Energienutzung von Wind und Sonne vermeidet zwar CO₂-Emissionen vollständig, weist aber große Versorgungsschwankungen auf und ist daher auf zusätzliche stabile Energieformen angewiesen. Zudem verursacht sie schwer abschätzbare Kosten gesellschaftlichen Widerstands.

Die genaue Erforschung und Bestimmung der Konsequenzen der verschiedenen alternativen Energieträger erfolgt in den Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Diese Forschung zeigt jedoch, dass verschiedene Maßnahmen der CO₂-Vermeidung mit unterschiedlichen Kosten und Risiken einhergehen. Die ökonomische Theorie stellt Konzepte und Methoden für die notwendigen Entscheidungen über den optimalen Mix an Energieträgern zur Verfügung. Insbesondere erforscht sie, wie eine bestmögliche Entscheidung auch bei großen Risiken und bei großer Unsicherheit auf Grund fehlender Daten möglich ist. Dabei hat sich gerade in den letzten Jahrzehnten eine fruchtbare Zusammenarbeit mit der Psychologie ergeben. Bei der Bewertung von Kosten und Risiken unterschiedlicher Maßnahmen zeigen sich individuelle Bewertungsunterschiede von Risiken, die ihre rein ökonomische Bewertung auf Grund des durchschnittlich erwarteten Ertrags und des durch die Schwankungsbreite der Erträge gemessenen Risikos als unvollständig erscheinen lassen. Individuen bewerten Risiken oft relativ zur eigenen finanziellen und gesellschaftlichen Situation zum Zeitpunkt der Entscheidung und tendieren dazu die subjektiv wahrgenommenen Wahrscheinlichkeiten optimistisch oder pessimistisch zu verzerren.

Angesichts der objektiv großen Unsicherheiten über Kosten und Erträge von Maßnahmen gegen den Klimawandel und der objektiv großen Risiken der einzelnen Maßnahmen ist es wenig verwunderlich, dass ein Konsens über die geeigneten Maßnahmen gegen den Klimawandel schwer herzustellen ist. Konflikte, die aus dieser Situation entstehen, müssen in

der politischen Arena und in der juristischen Auseinandersetzung geklärt werden. Das ökonomische Kalkül kann dabei immer nur Messzahlen für die Risiken und die Konsequenzen der zur Abwägung anstehenden Maßnahmen bereitstellen. Die letztendlich subjektive Bewertung dieser Kriterien ist in der ökonomischen Analyse im Allgemeinen nicht möglich.

Psychologie: Die oben genannten Verzerrungen in der Wahrnehmung von Klimarisiken aufzudecken, ist Aufgabe der Psychologie. Das Problem besteht darin, dass klimabewusstes Handeln Einsicht in systemische Zusammenhänge verlangt, die den individuellen Lebenszusammenhang räumlich und zeitlich weit überschreiten. Umso wichtiger ist es, den Klimawandel als ein persönlich erfahrbares, lokales und präsenten Risiko zu zeigen und die Gewinne aus sofortigem Handeln zu verdeutlichen anstatt die Schrecken der Zukunft auszumalen. Angesichts realer Betroffenheit können sich die Eigenschaften entfalten, die Menschen zu erfolgreichem Handeln in hochkomplexen Situationen befähigen wie z. B. Erfindergeist, Teamfähigkeit, Optimismus und Resilienz.

Zusammenfassung: Die Bedeutung des Konzepts Risiko für die Umweltwissenschaften

Der Überblick über die Disziplinen und das Beispiel des Klimawandels zeigen wie nach jeweiliger Disziplin unterschiedlich, breit, schillernd, aber auch wie grundlegend der Begriff des Risikos für Wissenschaft, Staat und Gesellschaft ist. Die jeweilige disziplinäre Risikoforschung hat einerseits verschiedene Funktionen, hat andererseits untereinander eine Vielzahl von Bezügen. Die wesentlichen Funktionen sind die Beförderung rationalen Entscheidens durch Reduktion der Unsicherheiten im Wissen (Ökonomie, Naturwissenschaft), durch Kalkulation (Ökonomie), und durch Aufdeckung von Wahrnehmungsverzerrungen (Psychologie) sowie die Gewährleistung moralisch vertretbarer (Philosophie) und rechtsstaatlich und demokratisch legitimierter Entscheidung (Rechtswissenschaft).

Für die Umweltwissenschaften, deren Gegenstand das Mensch-Umwelt-Verhältnis ist, ist die ethisch-rechtliche Gestaltung dieses Verhältnisses zentral. Sowohl ethische wie rechtliche Prinzipien fordern, dass Risikoentscheidungen bestmögliches Wissen über das jeweilige Risiko voraussetzen. Dies verweist auf die Bedeutung der Naturwissenschaften, die sich im Recht in zahllosen Grenzwerten mit Sicherheitszuschlag oder auch in dynamischen Tatbestandsmerkmalen wie etwa dem „Stand der Technik“ niederschlägt, die wiederum nach dem jeweiligen naturwissenschaftlichen Kenntnisstand auszubuchstabieren sind. Die Bedeutung der Ökonomie geht über die spezifischen Erkenntnisziele der → Umweltökonomie hinaus; sie bildet ein Grundmuster für den Umgang mit Risiken, auch für die Strukturierung des Risikomanagements. Angesichts unterschiedlicher Verständnisse insbesondere auch in Abgrenzung zu verwandten Begriffen ist die Risikokommunikation ein Teilgebiet der Umweltwissenschaften, das Interdisziplinarität voraussetzt, denn hier geht es darum, naturwissenschaftliche Erkenntnisse unter Berücksichtigung der divergierenden Risikowahrnehmung unterschiedlicher Akteure nach Maßgabe der ethisch-rechtsstaatlichen

Anforderungen an Entscheidungsprozesse zu vermitteln (s. dazu die Studie Kommunikation von Risiko und Gefährdungspotenzial aus Sicht verschiedener Stakeholder, Scheer et al. 2010).

Die Reflexion des Risikobegriffs und die Risikoforschung in der Umweltwissenschaft trägt dazu bei, die Rationalität von Risikoentscheidungen zu erhöhen. Dies ist angesichts der Tatsache, dass Entscheidungen unter Unsicherheit, sobald sie Folgen für Dritte generieren können, zwangsläufig streitig, also politisch sind, ein wichtiger Beitrag.

Literaturverzeichnis

- Allais, Maurice. 1953. „The So-called Allais Paradox and Rational Decision under Uncertainty.“ *Econometrica* 21: 503–46.
- Arrhenius, Svante. 1896. „On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground.“ *Philosophical Magazine and Journal of Science* 41(251): 237–76.
- Beck, Ulrich. 2008. „Weltrisikogesellschaft.“ Frankfurt: Suhrkamp.
- Beck, Ulrich. 1986. „Risikogesellschaft.“ Berlin: Suhrkamp.
- Bentham, Jeremy. 1789. "Eine Einführung in die Prinzipien der Moral und Gesetzgebung." Saldenburg: Senging, 2013.
- Bernoulli, Daniel. 1954. „Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk.“ *Econometrica* 22(1): 23–36.
- Bostrom, Nick. 2013. „Existential Risk Prevention as Global Priority.“ *Global Policy* 4(1): 15–31.
- Bostrom, Nick. 2016. „Superintelligenz. Szenarien einer kommenden Revolution.“ Berlin: Suhrkamp.
- Bryan, Scott E., Ingrid U. Peate, David W. Peate, Stephen Self, Dougal A. Jerram, Michael R. Mawby, J.S. (Goonie) Marsh und Jodie A. Miller. 2010. „The Largest Volcanic Eruptions on Earth.“ *Earth-Science Reviews* 102 (3–4): 207–29.
- Bundesminister für Forschung und Technologie. 1980. „Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke. Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risiko.“ Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Buss, David M. 2014. „Evolutionary Psychology. The New Science of the Mind.“ 4. Aufl. Boston, MA: Allyn and Bacon.
- Byrnes, James P., David C. Miller und William D. Schafer. 1999. „Gender Differences in Risk Taking. A Meta-Analysis.“ *Psychological Bulletin* 125(3): 367–83. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.125.3.367>.
- Chalmers, David J. 2010. „Singularity. A Philosophical Analysis“. *J. Consciousness Studies* 17: 7–65.
- Cole-Dai, Jihong, David G. Ferris, Joshua A. Kennedy, Michael Sigl, Joseph R. McConnell, T. J. Fudge, Lei Geng, Olivia J. Maselli, Kendrick C. Taylor und Joseph M. Souney. 2021. „Comprehensive Record of Volcanic Eruptions in the Holocene (11.000 years)

- From the WAIS Divide, Antarctica Ice Core.“ *JGR Atmospheres* 126(7).
<https://doi.org/10.1029/2020JD032855>.
- Cosmides, Leda. 1989. „The Logic of Social Exchange. Has Natural Selection Shaped How Humans Reason? Studies with the Wason Selection Task.“ *Cognition* 31: 187–276.
- Crutzen, Paul J. und John W. Birks. 1982. „The Atmosphere after a Nuclear War. Twilight at Noon.“ *Ambio* 11(2/3): 114–25.
- Di Fabio, Udo. 1994. „Risikoentscheidungen im Recht. Zum Wandel der Dogmatik im öffentlichen Recht, insbesondere am Beispiel der Arzneimittelüberwachung.“ Tübingen: Mohr Siebeck.
- Di Fabio, Udo. 2003. „Risikovorsorge – uferlos?“ *Zeitschrift für das gesamte Lebensmittelrecht*: 163–73.
- Dunning, David, Kerri Johnson, Joyce Ehrlinger und Justin Kruger. 2003. „Why People Fail to Recognize Their Own Incompetence.“ *Current Directions in Psychological Science* 12: 83–6. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.01235>.
- Ellsberg, Daniel. 1961. „Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms.“ *Quarterly Journal of Economics* 75: 643–69.
- Fiedler, Klaus. 2000. „Beware of Samples! A Cognitive-Ecological Sampling Approach to Judgment Biases.“ *Psychological Review* 107(4): 659–76.
<https://doi.org/10.1037/0033-295X.107.4.659>.
- Fiedler, Klaus. 2012. „Meta-Cognitive Myopia and the Dilemmas of Inductive-Statistical Inference.“ Herausgegeben von Brian H. Ross. *Psychology of Learning and Motivation – Advances in Research and Theory* 57: 1–55.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394293-7.00001-7>.
- Fourier, Joseph. 1827. „Mémoire sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires (On the Temperatures of the Terrestrial Sphere and Interplanetary Space).“ *Annales de Chimie et de Physique* XXVII: 136–67.
- Gesellschaft für Reaktorsicherheit. 1990. „Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B: eine Untersuchung / Ges. für Reaktorsicherheit GfR.“ Im Auftr. d. Bundesministers für Forschung u. Technologie. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Ghirardato, Paolo, Fabio Maccheroni und Massimo Marinacci. 2004. „Differentiating Ambiguity and Ambiguity Attitude.“ *Journal of Economic Theory* 118: 133–73.
- Gilboa, Itzhak und David Schmeidler. 2002. „A Theory of Case-Based Decisions.“ Cambridge: Cambridge University Press.

- Gigerenzer, Gerd. 1991. „How to Make Cognitive Illusions Disappear. Beyond, Heuristics and Biases.“ In *European Review of Social Psychology* 2, herausgegeben von Wolfgang Stroebe und Miles Hewstone, 83–115. New York: Wiley.
- Gigerenzer, Gerd, Ralph Hertwig, Eva van den Broek, Barbara Fasolo und Konstantinos V. Katsikopoulos. 2005. „A 30 % Chance of Rain Tomorrow‘. How Does the Public Understand Probabilistic Weather Forecasts?“ *Risk Analysis* 25: 623–9. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00608.x>.
- Gigerenzer, Gerd, Peter M Todd und The ABC Research Group. 1999. „Simple Heuristics That Make Us Smart.“ New York: Oxford University Press.
- Gorke, Martin. 1999. „Artensterben. Von der ökologischen Theorie zum Eigenwert der Natur.“ Stuttgart: Klett-Cotta.
- Heun, Werner. 2011. „Staatliche Risikosteuerung und Verfassung.“ *Zeitschrift Rechtswissenschaft (RW)*: 376–99.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectorial Aspects*, herausgegeben von Christopher B. Field, Vicente R. Barros, David Jon Dokken, Katharine J. Mach, Michael D. Mastrandrea, T. Eren Bilir, Monalisa Chatterjee, Kristie L. Ebi, Yuka Otsuki Estrada, Robert C. Genova, Betelhem Girma, Eric S. Kissel, Andrew N. Levy, Sandy MacCracken, Patricia R. Mastrandrea, Leslie L. White. Zugriff am 28. September 2021. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Hrsg. von Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, Anna Pirani, Sarah L. Connors, Clotilde Péan, Sophie Berger, Nada Caud, Yang Chen, Leah Goldfarb, Melissa I. Gomis, Mengtian Huang, Katherine Leitzell, Elisabeth Lonnoy, Robin Matthews, Tom K. Maycock, Tim Waterfield, Özge Yelekçi, Rong Yu und Botao Zhou. Zugriff am 18. März 2022. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf.
- Josef, Anika K., David Richter, Gregory R. Samanez-Larkin, Gert G. Wagner, Ralph Hertwig und Rui Mata. 2016. „Stability and Change in Risk-Taking Propensity Across the Adult Life Span.“ *Journal of Personality and Social Psychology* 111(3): 430–50. <https://doi.org/10.1037/pspp0000090>.
- Jonas, Hans. 1979. „Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation.“ Frankfurt am Main: Suhrkamp.

- Kahneman, Daniel und Amos Tversky. 1979. „Prospect Theory. An Analysis of Decision Under Risk.“ *Econometrica* 47: 263–91.
- Kahnemann, Daniel und Amos Tversky. 1984. „Choices, Values, and Frames.“ *American Psychologist* 39 (4): 341–50. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.39.4.341>.
- Klafki, Anika. 2017. „Risiko und Recht. Risiken und Katastrophen im Spannungsfeld von Effektivität, demokratischer Legitimation und rechtsstaatlichen Grundsätzen am Beispiel von Pandemien.“ Tübingen: Mohr Siebeck.
- Knight, Frank H. 1921. „Risk, Uncertainty, and Profit.“ New York: Houghton Mifflin.
- Kreuter-Kirchhof, Charlotte. 2019. „Emissionshandel und Erneuerbare Energien-Richtlinie. Instrumente zur Umsetzung der Klimaschutzstrategie der EU.“ *Zeitschrift für Umweltrecht*: 396 – 404.
- Kupferschmidt, Kai. 2018. „Could Science Destroy the World? These Scholars Want to Save Us from a Modern-day Frankenstein.“ *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aas9440>.
- Lelieveld, Jos, Daniel Kunkel und Mark G. Lawrence. 2010. „Global Risk of Radioactive Fallout after Major Nuclear Reactor Accidents.“ *Atmos. Chem. Phys.* 12: 4245–58. <https://www.atmos-chem-phys.net/12/4245/2012/acp-12-4245-2012.pdf>.
- Lorenzen, Jaqueline. 2022a, „Das EU-Klimagesetz im Lichte von Demokratie- und Effektivitätsprinzip.“ *Zeitschrift für Europäisches Umwelt- und Planungsrecht (EurUP)*: 156–65.
- Lorenzen, Jaqueline. 2022b. „Nachhaltige Kernenergie? – Eine rechtliche Einordnung der Kommissionsinitiative zu "grünen" Investitionen in Kernkraft.“ *Zeitschrift für nachhaltige Unternehmensführung (ESG)*: 12–7.
- Luhmann, Niklas. 1991. „Soziologie des Risikos.“ Berlin: De Gruyter.
- Mill, John Stuart. 1861. "Utilitarismus." Hamburg: Meiner, 2006.
- Moser, Susanne. 2016. „Verantwortung im Spannungsfeld zwischen Machtentfaltung und Verletzlichkeit. Die Umkehr des Verantwortungsverständnisses bei Hans Jonas.“ *Labyrinth. An International Journal for Philosophy, Value Theory and Sociocultural Hermeneutics* 18(1): 46–66.
- Murswiek, Dietrich. 1985. „Die staatliche Verantwortung für die Risiken der Technik.“ Berlin: Duncker & Humblot.
- Nisbett, Richard E., Geoffrey T. Fong, Darrin R. Lehman und Patricia W. Cheng. 1987. „Teaching Reasoning.“ *Science* 238(30): 625–31. <https://doi.org/10.1126/science.3672116>.

- Nida-Rümelin, Julian. 2005. „Theoretische und angewandte Ethik. Paradigmen, Begründungen, Bereiche.“ In *Angewandte Ethik. Die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung*, herausgegeben von Julian Nida-Rümelin, 2–87. Stuttgart: Alfred Kröner Verlag.
- Pitschas, Rainer. 2012. „§ 42 Maßstäbe des Verwaltungshandelns.“ In *Grundlagen des Verwaltungsrechts Band II*. 2. Aufl. München: C.H. Beck.
- Savage, Leonard J. 1954. „Foundations of Statistics.“ New York: Wiley.
- Simon, Herbert A. 1947. „Administrative Behavior.“ New York: Macmillan.
- Scheer, Dirk, Stefan Gold, Christina Benighaus, Ludger Benighaus, Julia Ortleb und Ortwin Renn. 2010. „Kommunikation von Risiko und Gefährdungspotenzial aus Sicht verschiedener Stakeholder, Abschlussbericht Bundesinstitut für Risikobewertung“, herausgegeben von Ellen Ulbig, Rolf F. Hertel, und Gaby-Fleur Böhl. Berlin: Pressestelle des Bundesinstituts für Risikobewertung.
- Scherzberg, Arno. 2004. „Risikosteuerung durch Verwaltungsrecht. Ermöglichung oder Begrenzung von Innovationen?“ *Veröffentlichungen der Vereinigung der Deutschen Staatsrechtslehrer* 63: 214–63.
- Schlacke, Sabine, Miriam Köster und Eva-Maria Thierjung. 2021. „Das ‚Europäische Klimaschutzgesetz‘ und seine Konsequenzen.“ In *Europäische Zeitschrift für Wirtschaftsrecht*: 620–26.
- Schmeidler, David. 1989. „Subjective Probability and Expected Utility Without Additivity.“ *Econometrica* 57: 571–87.
- Syal, Megan B., J. Michael Owen und Paul L. Miller. 2016. „Deflection by Kinetic Impact. Sensitivity to Asteroid Properties.“ *Icarus* 269: 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2016.01.010>.
- Trieloff, Mario. 2010. „Auf den Spuren des kosmischen Dauerregens.“ *DFG Forschung* 2/2010: 11–3. Weinheim: WILEY-VCH.
- Tversky, Amos und Daniel Kahneman. 1974. „Judgement Under Uncertainty. Heuristics and Biases.“ *Science* 185: 1124–31. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>.
- USGS (United States Geological Survey). „Volcano Hazard Assessments Are Based on the Geologic Record.“ https://volcanoes.usgs.gov/vhp/hazard_assessments.html (zuletzt aufgerufen am 6.4.2021).
- US Nuclear Regulatory Commission. 1975. Oct. „Reactor Safety Study, an Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants.“ WASH-1400, (NUREG 75/014).

von Neumann, John und Oskar Morgenstern. 1948. „The Theory of Games and Economic Behavior.“ 2. Aufl. New Jersey: Princeton University Press.

Wagner, Gerhard. 2021. „Klimaschutz durch Gerichte.“ In *Neue Juristische Wochenschrift*: 2256–63.

Wulff, Dirk U, Max Mergenthaler-Canseco und Ralph Hertwig. 2018. „A Meta-Analytic Review of Two Modes of Learning and the Description-Experience Gap.“ *Psychological Science* 144(2): 140–76. <https://doi.org/10.1037/bul0000115>.

Zeeh, Stefan. o.J. "Vom Ende aller Tage." *Journal@RupertoCarola*. <https://www.uni-heidelberg.de/studium/journal/2009/03/asteroid.html> (letzter Zugriff am 17. November 2022).

Abbildungsnachweise:

Abb. 1: eigene Darstellung

Abb. 2: eigene Darstellung

Abb. 3: eigene Darstellung

Abb. 4: eigene Darstellung

Abb. 5: eigene Darstellung

Abb. 6: eigene Darstellung

Abb. 7: Gesellschaft für Reaktorsicherheit 1990, Abb. 5–2