



ISOE-Diskussionspapiere **35**

Engelbert Schramm
Susanne Kieb

Beispiele klimabedingter Risiken

Versuch einer Typologie

Engelbert Schramm, Susanne Kieb

Beispiele klimabedingter Risiken

Versuch einer Typologie

Zu diesem Text

Beispiele klimabedingter Risiken werden verschiedenen Risikoklassen zugeordnet. Risiken lassen sich nicht nur als systemische Risiken erfassen, sondern auch danach unterscheiden, wie gut sich der wahrscheinliche Schadensfall und das wahrscheinliche Schadensausmaß kalkulieren lässt. Für ein besseres Verständnis des Risikos wird hier insbesondere der Einfluss des Klimawandels auf die Entwicklung des Risikos und seine Einschätzung betrachtet. Für diese erste Entfaltung des Verständnisses klimabedingter Risiken wird vergleichend die Typisierung des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen herangezogen.

About this text

Examples of climate induced risks are assigned to different risk categories. Risks may not just be recognized as systemic risks but are also distinguished by how well the probable liability case and the extent of damage can be calculated. In order to better understand the risk, the impact of climate change on the risk development and its assessment is specifically considered. For this initial development of an understanding of climate induced risks the typing of the German Advisory Council on Global Change are taken into account in a comparative manner.

ISOE-Diskussionspapiere, Nr. 35
ISSN 1436-3534

Engelbert Schramm, Susanne Kieb

Beispiele klimabedingter Risiken

Versuch einer Typologie

Herausgeber:
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH
Hamburger Allee 45
60486 Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 2013

Inhalt

1	Einleitung.....	5
2	Klassische und nicht-klassische Risiken	6
2.1	Sicherheit der Risikoaussagen	6
2.2	Exkurs zur Bestimmbarkeit von Risiken.....	7
2.3	Klassische Risiken	8
2.4	Nicht-klassische Risiken	8
2.5	Risikotypologie des WBGU.....	9
2.6	Zielorientierung beider Klassifikationskonzepte.....	10
3	Typologie von Beispielen klimabedingter Risiken	11
3.1	Unmittelbare klimabedingte Risiken	11
3.1.1	Überschwemmungen und Hochwasser.....	11
3.1.1	Überschwemmungen als klassisches oder nicht-klassisches Risiko?	13
3.1.2	Stürme	15
3.2	Mittelbare klimabedingte Risiken.....	16
3.2.1	Auftreten des Borkenkäfers in Deutschland	16
3.2.2	Pathogener Pflanzenbefall durch Oomyceten	19
3.2.3	Chemikalien in der Umwelt.....	23
4	Reflektion der Risikozuordnungen und neuen Risikotypologie.....	26
4.1	Hinweise auf eine mögliche Einordnung der WBGU-Risikotypen zu klassischen und nicht-klassischen Risikogruppen.....	27
5	Erweiterung der Risikosystematisierung	28
6	Ausblick	30
	Literatur	31

1 Einleitung

Im Rahmen von konzeptionellen Grundlegungen für die transdisziplinäre Projektarbeit des LOEWE Biodiversität und Klima Forschungszentrum (BIK-F), Frankfurt am Main, hat sich dessen Projektbereich Wissenstransfer und sozial-ökologische Dimensionen auch mit dem Risikobegriff beschäftigt. Insbesondere wird untersucht, welche Potenziale der Risikobegriff für eine klimabezogene Biodiversitätsforschung hat – sowohl für die Synthese ihrer Ergebnisse als auch für deren Kommunikation in die Gesellschaft. Im Mittelpunkt dieser vorbereitenden Betrachtung stehen klimabedingte Risiken.

Der Begriff „klimabedingte Risiken“ bezeichnet Risiken, die durch das Klimasystem verursacht sind, entweder direkt oder indirekt (z.B. durch das verstärkte Auftreten von invasiven Arten in der Folge der Klimaveränderung). In analytischer Hinsicht sind die klimabedingten Risiken, vor allem, wenn auch der Verursachungszusammenhang betrachtet werden soll, als systemische Risiken zu behandeln (vgl. Keil et al. 2008), als Risiken, die durch eine (anthropogene) Änderung des Klimasystems bewirkt werden, aber auf andere Systeme, insbesondere Ökosysteme bzw. die mit diesen zusammenhängenden sozial-ökologische Versorgungssysteme (vgl. Hummel et al. 2011) ausstrahlen. Da die Betrachtung systemischer Risiken analytisch aber aufwändig ist, stellt sich die Frage, ob klimabedingte Risiken vereinfacht auch als konventionellere Risiken gefasst werden können, die methodisch weniger voraussetzungsvoll analysiert werden.

Daher werden im Folgenden klassische und nicht-klassische Risiken unterschieden. Für die Unterscheidung spielt dabei vor allem die Kalkulierbarkeit eines Risikos eine Rolle. Nach dieser Unterteilung werden Beispiele klimabedingter Risiken in ihren Eigenschaften untersucht und entsprechend der Erfüllung von Abgrenzungskriterien den Risikoklassen zugeordnet.

Ziel ist es, anhand dieser versuchten Zuordnungen den neuen Ansatz zur Risikosystematisierung zu entfalten. Dabei wird hauptsächlich der Einfluss des Klimawandels auf die Entwicklung des Risikos und seine Einschätzung betrachtet. Darüber hinaus wird betrachtet, wieweit sich über diese Risiken bisher sichere Aussagen treffen lassen, also eine gesicherte Wissensbasis besteht. Zur Verbesserung der Aussagen wird vergleichend eine andere Typisierung, die des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), mit herangezogen.

2 Klassische und nicht-klassische Risiken

2.1 Sicherheit der Risikoaussagen

Risiken sind Folgen von Handlungen, die im Urteil einer überwiegenden Zahl der Menschen entweder eindeutige Schäden sind (oder zumindest als unerwünscht gelten). Um Risiken sicherer einschätzen zu können, versuchen Wirtschaftsunternehmen, insbesondere Versicherungen, ebenso wie Risikoforscher die Risiken aufbauend auf vorhandenen Beobachtungen oder anderen Daten zu den Eintrittten von Schäden oder unerwünschten Ereignissen eingehend zu untersuchen.

Dabei werden, aufbauend auf statistischen Verfahren mit häufig komplexen Rechnungen, die Schadenshöhe und die Wahrscheinlichkeit der Schadensereignisse kalkuliert. Auch der Grad der Verlässlichkeit über die Aussage zur Wahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses wird hierbei bestimmt; bei gegebener Datengrundlage kann diese Abschätzungssicherheit bei klassischen Risiken statistisch ermittelt werden (WBGU 1998).

Ähnlich wie bei klassischen Risiken gewinnt die Frage nach künftigen Risikoentwicklungen auch bezogen auf klimabedingte Risiken an Bedeutung. Generell unterliegen die prospektive Einschätzung von Klimaveränderungen und die daran gekoppelten Risiken jedoch erheblichen Unsicherheiten.

In der Klimaforschung liegen unterschiedlichste Szenario-Modellierungen vor, wie sich das Klima in Zukunft entwickeln und verändern wird. Diese Szenarien sind mittlerweile regionalisiert. Damit lassen sich auch spezifische klimabedingte Risiken verknüpfen. Um die Risikoaussage abzusichern, ist zu fragen, welches Szenario und somit welche klimabedingten Risiken zukünftig am wahrscheinlichsten sind. Allerdings fehlen zur Bewertung eines auf Klimaveränderung zurückgehenden Risikos empirische Beobachtungsdaten. Alternativ behilft man sich damit, eine Einschätzung vorzunehmen, die auf subjektiven Expertenurteilen aufbaut. Diese werden miteinander verglichen und ihre Angaben ggf. miteinander verrechnet (WBGU 1998: 53ff.). Abschätzungssicherheit lässt sich hier nur noch im Rückgriff auf subjektive Wahrscheinlichkeiten erhalten. Dazu werden mit Hilfe der Bayesschen Regel berechnete posteriore Wahrscheinlichkeiten aller betrachteten Zukunftsszenarien verglichen (Min/Hense 2005).¹

Im Gegensatz zu klassischen Risiken lassen sich bei nicht-klassischen Risiken vor dem Eintritt eines ersten Schadensereignisses keine objektiv gesicherten Risikoausa-

¹ Die posteriore Wahrscheinlichkeit eines Szenarios kalkuliert sich zum einen daraus, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Beobachtung (z.B. Schadenshöhe) bei einem bestimmten Szenario eintritt. Zum anderen bezieht sie mit ein, wie hoch überhaupt die Wahrscheinlichkeit ist, dass das jeweilige Szenario eintritt (priorische Wahrscheinlichkeit). Diese priorische Wahrscheinlichkeit kann jedoch nur über eine subjektive Einschätzung von Experten definiert werden. Das Szenario mit der höchsten posterioren Wahrscheinlichkeit kann schließlich als gültig angesehen werden.

gen mehr gewinnen. Bestenfalls gelingt hier eine Absicherung der Aussagen zur Wahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses aufbauend auf subjektiven Wahrscheinlichkeiten. Möglichkeiten zur weiteren Konzeptualisierung dieser nicht-klassischen Risiken bietet die Diskussion über ökologische Risiken (Breckling/Müller 2000, Bredemeier/Schulte-Bisping 2000, Eser 2000, Jaeger 2000) bzw. systemische Risiken (vgl. Keil et al. 2008, Neitzel 2007, Renn & Keil 2008).

Die Bestimmbarkeit von Risiken hängt jeweils von den Aussagen über den Eintritt von Schadensereignissen ab. Im engeren Sinne charakterisiert der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltfragen (WBGU) die Bestimmbarkeit eines Risikos durch die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens, das dadurch entstehende potentielle Schadensausmaß sowie die Abschätzungssicherheit beider Faktoren (WBGU 1998). Ähnliche Risikokalküle können auch für unerwünschte Ereignisse über deren Eintrittswahrscheinlichkeit, das Ausmaß an Unerwünschtheit und die Abschätzungssicherheit beider Faktoren aufgestellt werden.

2.2 Exkurs zur Bestimmbarkeit von Risiken

Teilt man Risiken primär nach der Sicherheit der Risikoaussage oder -bestimmung ein, macht es Sinn, den Begriff der „Bestimmbarkeit“ zu hinterfragen. In der einschlägigen Literatur wurden drei Termini ausfindig gemacht, die teilweise synonym verwendet werden: Bestimmbarkeit, Kalkulierbarkeit und Berechenbarkeit.

Nach eigenen Überlegungen kann „Bestimmbarkeit“ von Risiken in zweierlei Hinsicht gefasst werden:

- einerseits in dem Sinne, dass es möglich ist, beteiligte Risikofaktoren zunächst zu *identifizieren* und schließlich (egal in welcher Weise, z.B. qualitativ oder quantitativ) erfassen oder ausdrücken zu können;
- andererseits in dem engeren Sinne, dass bestimmte Risikoaussagen *mit einer gewissen Sicherheit* kalkuliert werden können.

Kalkulierbarkeit kann insofern bedeuten, dass ein Risiko in quantifizierter Weise mathematisch berechenbar ist. Kalkulierbarkeit und Berechenbarkeit können somit in gleicher Weise verwendet werden. Bestimmbarkeit im engeren Sinne geht jedoch über die reine Berechenbarkeit hinaus, indem der Kalkulation eine gewisse (Abschätzungs-) *Sicherheit* zugesprochen wird.

Diese Begriffsunterscheidungen stellen Vorschläge zur Differenzierung dar. Sie wurden noch nicht anhand der Literatur genauer überprüft, lehnen sich allerdings an Aussagen des WBGU (1989: 53ff.) an. Im weiteren Text wird diese terminologische Einteilung nicht berücksichtigt.

Für eine allgemein gut funktionierende Risikokommunikation braucht es allerdings eine einheitlich verstandene, anerkannte reflektierte Terminologie, um bei dem Kommunikationsaustausch Missverständnissen im wissenschaftlichen sowie politisch-

öffentlichen Diskurs vorzubeugen (Scheer et al. 2010). Die oben angeführten Überlegungen können hier zu einer Sensibilisierung für terminologische Differenzierungen beitragen.

2.3 Klassische Risiken

In Anlehnung an die oben erwähnten Kriterien des WBGU werden unter der Kategorie der klassischen Risiken solche zusammengefasst, von denen entweder die Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens sowie das potentielle Schadensausmaß bekannt und (mathematisch) bestimmbar sind oder mindestens letzteres kalkulierbar ist. Ausschlaggebend für die Quantifizierung von Risiken ist eine gute und dichte Datengrundlage aus bisherigen statistischen Erhebungen oder ausreichenden Erfahrungswerten über entsprechende Schadensereignisse (WBGU 1998). Einschätzungen zur Sammlung von ökologischen Daten geben Friedrich/Brauner (2009). Klassische Risiken (R) können demnach über die Berechnung des Produktes von Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens (W) und potentielltem Schadensmaß (S) definiert werden: $R=W \cdot S$ (SRU 1999, WBGU 1998). Diese methodische Bestimmungsweise findet meist bei Risiken mit „ein“-fachen und bekannten Kausalbeziehungen zwischen Schadensursache und -auswirkung ihre Anwendung (Breckling/Müller 2000). Das soll für die Kausalbeziehungen heißen, dass es um *einen* betrachteten Faktor geht, der eine Veränderung eines anderen Systemelements bedingt. Somit könnte man Risiken bei einfachen technischen Systemen dazu zählen (ebd.).

Um Risiken besonders sicher kalkulieren zu können (wie es für die Versicherungen wichtig ist), bedarf es einer hohen Dichte an Daten, die zuverlässig, kontinuierlich und (wieder)überprüfbar sind. Der WBGU präzisiert, dass eine sicherere Abschätzung dieser Risiken bei „großen Datenmengen mit geringer Varianz, langen Beobachtungszeiträumen mit kleinen Zeitspannen zwischen Ursachen und Wirkungen und einer hohen Konstanz und Robustheit möglicher intervenierender Variablen“ (WBGU 1998: 54) möglich ist.

2.4 Nicht-klassische Risiken

Unter nicht-klassische Risiken hingegen werden in dieser Arbeit neuartige Risiken gefasst, die einerseits bisher so noch nicht aufgetreten sind und/oder aufgrund der unberechenbaren Entwicklung des Klimawandels und bisher fehlender Erfahrung in ihren Auswirkungen, Zusammenhängen und Schadensausmaßen nicht genau bestimmt werden können (z.B. als frequentistische Wahrscheinlichkeit). Überwiegend handelt es sich bei dieser Risikokategorie um Risiken mit komplexen, vernetzten Ursache-Wirkungsketten, die somit sehr schwer oder überhaupt nicht absehbar sind. Beispielsweise können Ökosysteme mit ihrem komplexen Wirkungsgeflecht unterschiedlichster Komponenten bis heute nicht vollständig beschrieben und analysiert werden, wodurch darin auftretende Risiken ebenso schwer fassbar werden. Der Klimawandel

ist ein treibender, entscheidender Faktor, der einerseits bis dato gänzlich unbekannte Risiken hervorrufen kann. Andererseits kann er bei bekannten Risiken zu neuen Ausprägungen führen, die bislang nicht erfasst wurden. Da viele Wechselwirkungen in vielschichtigen Systemen mangels fehlender (statistischer) Aufzeichnungen nicht mathematisch erfassbar und auswertbar sind, sind Bewertungen und Einschätzungen nicht-klassischer Risiken von der allgemeinen Erfahrungs- und Wissensbasis der Experten abhängig, auf deren subjektiven Einschätzung in solchen Fällen Bezug genommen wird (WBGU 1998); Ökosysteme sind ein gutes Beispiel.

Eine erste Annäherung an die Erfassung nicht-klassischer Risiken wäre möglich, wenn genügend beteiligte Einflusskomponenten des komplexen Systems sowie Kenntnisse über deren Verknüpfungen und die Wechselwirkungen zwischen beteiligten Komponenten vorhanden sind. Wenn sie schließlich noch gemessen werden können, modifizieren sich die nicht-klassischen Risiken laut Definition zu klassischen Risiken.

Für die Kategorie der nicht-klassischen Risiken kann abschließend gesagt werden, dass weder Eintrittswahrscheinlichkeit noch Schadensausmaß bekannt sind. Aufgrund der sozial-ökologischen Wechselwirkungen im Anthropozän werden jedoch zunehmend Abschätzungen über derartige Risiken erforderlich. Hierbei kann beispielsweise auf die Risikotypologie des WBGU zurückgegriffen werden.

2.5 Risikotypologie des WBGU

Die Typologie des WBGU (1998) unterscheidet sich zu der oben ausgeführten hinsichtlich ihrer Bewertungskriterien und der Anzahl an Risikoklassen. Neben den bereits erwähnten grundlegenden Bewertungsdimensionen wie Schadenseintrittswahrscheinlichkeit, Schadenshöhe und Abschätzungssicherheit, dienen die fünf weiteren Dimensionen

- Ubiquität von Risikoversursacher und -folgen,
- Persistenz von Risikoversursacher und -folgen,
- Reversibilität der Folgen,
- Latenz (Verzögerung des Schadeneintritts),
- Mobilisierungspotential für Verweigerung, Protest und Widerstand,

die ebenfalls als Bewertungskriterien gefasst werden können, einer näheren Zuordnung von Risiken in spezifisch definierte Typkategorien, die eine globale Wirkung entfalten können. Diese nach griechischen Göttern benannten Risikotypen des WBGU (1998: 58ff.) lauten Damokles, Zyklon, Pythia, Pandora, Kassandra und Medusa.

Mit diesem Konzept einer differenzierten Typologie versucht der WBGU Umweltrisiken ganzheitlich zu erfassen, die zwei Bedingungen erfüllen. Zum einen können sie eine globale Wirkung entfalten, zum anderen entstehen sie aus einer unmittelbaren sozial-ökologischen bzw. Mensch-Umwelt-Wirkungskette. Dadurch werden verschie

denste Risiken, wie z.B. technologische, Gesundheits-, Stoff-, Klima- oder andere Naturrisiken, in die Betrachtungen mit einbezogen.

2.6 Zielorientierung beider Klassifikationskonzepte

Die Risikostrukturierung des WBGU wurde speziell dafür angelegt, um letztendlich für Gefahren- und Schadensereignisse Handlungsmöglichkeiten und -empfehlungen für politische Entscheidungsträger ableiten zu können. Sie beschränkt sich jedoch keinesfalls auf nicht-klassische Risiken, sondern umfasst auch Risiken, die von der Praxis überwiegend als klassische Risiken behandelt werden.

Im Unterschied zum eher handlungsorientierten Ansatz des WBGUs, wird bei der Unterscheidung klassischer und nicht-klassischer Risiken die Bestimmbarkeit als entscheidendes Differenzierungsmerkmal herangezogen. Mit der Frage nach der Bestimmbarkeit von Risiken geht damit auch die Frage nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand ebenso wie erkenntnistheoretische Aspekte einher. Im späteren Kapitel zur „Erweiterung der Risikosystematisierung“ werden dazu weitere konzeptionelle Ausführungen und Überlegungen ergänzt, die die Bedeutung und Dimensionen der erkenntnistheoretischen Aspekte beleuchtet.

3 Typologie von Beispielen klimabedingter Risiken

Um einen besseren Überblick über verschiedene klimabedingte Risiken zu erhalten, wird versucht, ausgewählte klimabedingte Risiken sowohl entsprechend der Sicherheit der Risikoaussagen als auch der WBGU-Systematik einzuordnen.

3.1 Unmittelbare klimabedingte Risiken

Zu den unmittelbaren klimabedingten Risiken gehören die potentiellen Schadensereignisse, die direkt von den (abiotischen) Elementen des Klimasystems (Lufttemperatur, Niederschlag, Wind etc.) verursacht werden. Im Folgenden werden Überschwemmungen und Hochwasser ebenso wie Stürme als Beispiele dargestellt und erörtert.

3.1.1 Überschwemmungen und Hochwasser

Hochwasser und Überschwemmungen² sind neben starken Sturm- und Hagelereignissen die am häufigsten auftretenden sogenannten Naturkatastrophen in Deutschland (GDV 2011b). Sie gelten als Naturgefahren und können in Deutschland bei Schadensfällen von Versicherungen und Rückversicherungen über Elementarschadenversicherungen getragen werden, da sie für die Konzerne durch bekannte und ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeiten und Ausmaße von Überschwemmungsschäden kalkulierbar sind. Als kalkulierbar gelten für Versicherungen auch Schadensereignisse, für die zwar keine Wahrscheinlichkeit bekannt ist, aber deren Ausmaß mit einer hohen Abschätzungssicherheit über eine Schadensfunktion berechenbar ist (WBGU 1998).

Für die generelle Berechnung von Schadensausmaßen bei Überflutungsvorfällen müssen die Schäden quantifizierbar und messbar sein – beispielsweise durch die Angabe der Anzahl an Verletzten, Schadenskosten betroffener Gebäude etc. (SRU 1999). Das Ausmaß eines Naturereignisses wird somit in eine konkrete Schadenshöhe übersetzt, die als ökonomischer Wert mittels Extremwertstatistik und Wiederkehrperioden des Ereignisses (GDV 2011a) bestimmt werden kann. *Flächendeckende* Daten mit Auskunft über Hochwasserschäden liegen seit 2000 vor (GDV 2011a).

Als entscheidendes Hilfsmittel für die Kalkulation von Überschwemmungs-, Rückstau- und Starkregenrisiken dient das Zonierungssystem ZÜRS Geo, das 2001 für die deutsche Versicherungswirtschaft eingeführt wurde (GDV 2011b, GDV 2011c). Mittels festgelegter Gefahrenklassen ermöglicht es Aussagen über das lokale Gefährdungspotential in Deutschland, wozu Wiederkehrperioden von Hochwässern als Wahrscheinlichkeit bestimmt und Ausmaße von Überschwemmungen überschlagen wurden (GDV 2008).

² Die Begriffe Hochwasser und Überschwemmungen werden im Weiteren der Einfachheit halber synonym verwendet.

Um das Gesamtrisiko von Überflutungen besonders sicher kalkulieren zu können – wie es in der Versicherungsbranche notwendig ist –, bedarf es einer hohen Dichte an Daten, die (relativ) zuverlässig, möglichst kontinuierlich und (wieder)überprüfbar sind.

Anhand historischer Aufzeichnungen erarbeitete C. Weikinn eine umfassende und bedeutende Quellensammlung, in der deutsche Hochwasserberichte von den letzten ein- bis zweihundert Jahren zusammengefasst sind (Schmidt 2003). Vereinzelt gibt es aber auch besonders alte und vermutlich lückenlose historische Hochwasseraufzeichnungen, die beispielsweise für den Main in Eibelstadt bis 1546 zurückreichen können (und um Höchststände aus dem benachbarten Würzburg ergänzt bis 1342 zurückverfolgbar sind); für die Lahn in Limburg lässt sich eine Zeitreihe seit 1258 aufstellen. Die Zuverlässigkeit historischer (Mess-)Daten muss allerdings in jedem Fall hinsichtlich ihrer Qualität (Regelmäßigkeit, Einheitlichkeit, etc.) kritisch hinterfragt werden (Schmidt 2003).

Daten von Niederschlagszeitreihen für Deutschland beginnen in der Regel erst Mitte des 20. Jahrhunderts (Behrendt 2005). Als gegenwärtige Datengrundlage dienen insbesondere die Daten, die von über 200 Wasserwirtschaftsämtern in ZÜRS Geo zusammengeführt und ausgewertet wurden (GDV 2008). Versicherungen und Rückversicherungen verfolgen außerdem die bisherige Entwicklung von Hochwasser- und Überschwemmungsereignissen durch eigene Verzeichnungen. Des Weiteren gibt es Hochwassermeldestellen, die die gegenwärtigen Ereignisse und zeitnahe Veränderungen im Pegelstand regelmäßig dokumentieren (HLUG 2011).

Bislang basiert die Fähigkeit zur Hochwasserrisikoanalyse auf statistischen Analysen der aufgezeichneten und rezenten hydrologischen und klimatischen Messungen, die durch Simulationsmodelle zur Hochwasserentstehung ergänzt werden (WBGU 1998: 156).

Für die prognostische Risikoeinschätzung sind nur kurzfristige Vorhersagen einer anstehenden, lokalen Überschwemmungsentwicklung möglich. In diesem Fall werden zeitnahe hydrologische Kenngrößen in Kombination mit regionalen Abflussmodellen und aktuellen Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ausgewertet (HLUG 2011). Somit ist die Bestimmung der gegenwärtigen Eintrittswahrscheinlichkeit möglicher Überschwemmungen von Extremwetterlagen abhängig (WBGU 1998: 154). Für diese sind nur ca. drei Tage mit höherer Sicherheit abschätzbar (ebd.).

Soweit Überschwemmungen und Hochwasser als klimabedingte Risiken gefasst werden, ist nach diesen Darlegungen insbesondere noch die Frage offen, welche Rolle der schleichend eintretende Klimawandel für die Bestimmbarkeit von Hochwasserrisiken spielt. In der Versicherungswirtschaft wird der Klimawandel bewusst wahrgenommen. Der Rückversicherer Münchner Rück setzt sich bereits seit dem Jahr 1974, in dem der geschäftsinterne Forschungsbereich GeoRisikoForschung eingeführt wurde, mit der Thematik des Klimawandels auseinander (Munich Re 2012). Für eine erweiterte Forschung wurde von der Münchner Rück zudem das Corporate Climate Centre (CCC) 2008 gegründet (ebd.). Durch die frühzeitige Auseinandersetzung mit dem Thema

Klimawandel gilt die Münchner Rück diesbezüglich als ein Pionier in der Versicherungswirtschaft.

Nichtsdestotrotz wurde erst 2008 die deutschlandweite Studie „Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadenssituation in der deutschen Versicherungswirtschaft“ (GDV 2011a) von der Gesellschaft deutscher Versicherungen (GDV) begonnen, um erstmals für die gesamte deutsche Versicherungswirtschaft einen genaueren Eindruck der potentiellen Entwicklung von Naturrisiken im Zuge des Klimawandels zu bekommen, der als allgemeiner Referenzrahmen für die deutschen Versicherungen dient.

Zur Identifizierung potentieller Trends wurden hierfür Projektionen durchgeführt, die Klimaszenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change in Kombination mit einem internationalen und zwei regionalen Klimamodellen sowie dem hydrologischen Modell SWIM rechnen (GDV 2011a, GDV 2011b). Zusammenfassend lässt sich für Hochwasserereignisse generell feststellen, dass bei der Betrachtung der „Mittel der Treibhausszenarien und der Modellketten [bis 2100] mit einer Verdopplung der Schäden [...] gerechnet werden [muss]“ (GDV 2011a: 4). Dagegen sind regional betrachtet auch Rückgänge von Überflutungsschäden möglich. Einheitlich für alle Klimaszenarien konnte die Verkürzung der Wiederkehrperioden von Hochwasserereignissen ermittelt werden (GDV 2011a: 21). Außer den eben genannten Annahmen, konnten keine weiteren einheitlichen Trendentwicklungen simuliert werden. Die projizierten Ergebnisse unterscheiden sich teilweise stark in ihren regionalen Ausprägungen (Ausmaß und Richtung) voneinander. Das liegt nicht zuletzt daran, dass verschiedene Szenario-Rechnungen als alternative Entwicklungsmöglichkeiten durchgeführt wurden. Im Allgemeinen ist laut der Studie des GDV eine quantitative Zunahme von extremen Hochwasserereignissen denkbar (GDV 2011a).

3.1.1 Überschwemmungen als klassisches oder nicht-klassisches Risiko?

Ausschlaggebendes Merkmal zur Differenzierung von klassischen und nicht-klassischen Risiken stellt, wie einführend dargelegt, die Bestimmbarkeit dar. Als klassische Risiken wurden jene Risiken definiert, deren Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder zumindest deren Ausmaß aufgrund ausreichender Datenlage bekannt und zu berechnen ist.

Wie das Beispiel der Versicherungen und Rückversicherer zeigt, sind Überschwemmungen und Hochwasser bis dato kalkulierbar, wenn auch die Versicherungen als Folge des Klimawandels künftig mit Veränderungen und Anpassungen ihres Systems rechnen müssen (GDV 2011a).

Die Voraussetzung zur Bestimmung eines Risikos ist eine ausreichende Datengrundlage, die für Hochwasserereignisse vorhanden sind. Das kann daran liegen, dass Hochwasser die mit am häufigsten auftretenden Naturgefahren in Deutschland sind und somit in der Vergangenheit bis zur Gegenwart durch vielfache Beobachtungen und Messungen regelmäßig dokumentiert wurden (GDV 2011a).

Aussagen und Berechnungen zum Schadensausmaß von Überschwemmungen sind eigens durch die Quantifizierbarkeit des Ereignisses und die Übersetzung in messbare Faktorenwerte wie Schadenskosten etc., möglich. Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass für die Charakterisierung von Hochwasserrisiken hauptsächlich *abiotische Umweltfaktoren* wie Niederschlagsmenge, Bodenkapazität und andere hydrologische Kenngrößen und deren Wechselwirkungen untersucht werden, die als abiotische Faktoren gut quantifizierbar, wiederholbar und intersubjektiv (nach)messbar sind.

Die Fähigkeit, zeitnahe Hochwasserprognosen entsprechend aktueller Wetterdaten erstellen zu können (HLUG 2011), untermauert, dass Hochwasserrisiken kalkulierbar sind.

Da Wahrscheinlichkeit und Ausmaß bekannt sind und Versicherungen bisher mit diesen Risiken „umgehen konnten“ und damit Risiken kalkuliert haben, ließe sich ableiten, dass Hochwasserrisiken entsprechend der neuen Typologie in die Kategorie der klassischen Risiken zugeordnet werden könnten. Zumindest gilt das für bisherige und rezente Entwicklungen. „Versicherungen können beispielsweise noch recht gut mit Risiken umgehen, bei denen eine hohe Abschätzungssicherheit auf der Schadensumfangseite herrscht, auch wenn die Abschätzungssicherheit bei den Eintrittswahrscheinlichkeiten zu wünschen übrig lässt“ (WBGU 1998: 55).

Obwohl die Prozesse von Hochwasserereignissen grundsätzlich bekannt sind, stellt der Klimawandel neue Herausforderungen für die Bestimmbarkeit von Hochwasserrisiken dar, weil er neue Ausprägungen von Hochwasserereignissen herbeiführen kann. Die Folgen der Klimaveränderungen und die daraus resultierende Gestaltung der Hochwassereigenschaften sowie deren Kalkulierbarkeit werden somit unsicher. Es kann sich bei Hochwasserrisiken folglich auch um ein neuartiges Risiko handeln. Dieser Gedanke würde jedoch für eine Einordnung als nicht-klassischen Risikos sprechen.

Bei den Hochwasserrisiken handelt es sich um ein bekanntes Risiko, dass schon bereits vor der Kenntnis und Vergegenwärtigung des Klimawandels aufgezeichnet und beobachtet wurde. Durch den Klimawandel und dessen unvorhersehbare Entwicklung erhält es nun aber neue Ausprägungen, deren Ausmaß und Gestalt bisher noch nicht langfristig und durchgängig dokumentiert werden konnten.

Hochwasserrisiken haben bei der Einordnung nach der neuen Typologie eine Sonderstellung, da sie wegen einer hohen quantitativen Datendichte und mathematisch-statistischer Kenntnisse zwar in einem gewissen Maße kalkulierbar sind und entsprechende Kalkulationen auch in der Praxis von den Versicherungen vorgenommen werden, aber in Hinblick auf die komplexen Veränderungen durch den Klimawandel große Unsicherheiten über die Risikoentwicklung vorhanden sind (WBGU 1998).

Man könnte davon ausgehen, dass sich mit zunehmender Zeit die Datengrundlage zu neuen, beobachteten Hochwasserereignissen sowie das Wissen zur Messung dieser Ereignisse so verdichten, dass künftige Trendentwicklungen besser ersichtlich werden, wodurch sich Abschätzungsunsicherheiten verringern könnten.

Einordnung nach WBGU

Einerseits ordnet der WBGU Überschwemmungen in die Kategorie Damokles ein, sofern eine gute Datenlage gegeben ist. Für Überschwemmungen in dieser Klasse ist demnach ihre Eintrittswahrscheinlichkeit bekannt, jedoch sehr gering, was mit hoher Abschätzungssicherheit gesagt werden kann. Ebenso ist auch das Schadensausmaß der potentiellen Hochwässer bekannt und fällt mit großer Sicherheit sehr hoch aus.

Andererseits können Überschwemmungen laut dem WBGU auch in die Kategorie Zyklon gehören, vorausgesetzt für das Schadensausmaß gelten die gleichen Bedingungen wie beim Damokles-Typ. Für Hochwasser der Zyklon-Klasse braucht jedoch keine Eintrittswahrscheinlichkeit bekannt zu sein, womit die Abschätzungssicherheit auch sehr gering oder gar unbekannt ist.

3.1.2 Stürme

Mit den Stürmen und ihren Risiken verhält es sich ähnlich wie mit den Überschwemmungen. Sturmrisiken sind auch in sogenannten Elementarschadensversicherungen inbegriffen. Ähnlich wie die bereits diskutierten Überschwemmungen werden auch sie in wirtschaftlicher und versicherungsmathematischer Hinsicht kalkuliert.

Mit dem Klimawandel stellt sich auch hier die Frage, wie sicher die Kalkulierbarkeit von Stürmen bei den sich verändernden Klimaelementen und der Klimadynamik bleibt.

Stürme und extreme Hagelereignisse zählen mit den Hochwässern zu den häufigsten Naturgefahren in Deutschland (GDV 2011b). Mit der Versicherung von Sturmschäden verhält es sich wie mit den Überschwemmungen: Sie können als Elementarschaden versichert werden, aus den gleichen Gründen, die im vorherigen Kapitel aufgezeigt wurden. Die Versicherbarkeit muss jedoch nicht zwangsläufig bedeuten, dass diese schadensbringenden Ereignisse vollständig kalkulierbar sind. Grundsätzlich werden Sturmschäden versichert, die den Hausrat, Gebäude und andere Sachgüter betreffen. Nur wenige Versicherungen versichern z.B. hingegen Schäden an Wäldern. Eine sogenannte Wald-Sturmversicherung bietet die Axa seit 2000 an (VSDW 2012, DKKV 2003). Sie umfasst eine Absicherung für Waldbesitzer gegenüber Sturm- und Schneebruchschäden. Der Versicherungsbeitrag setzt sich dann u.a. entsprechend der Sturmrisikolage, der Größe der zu versichernden Waldfläche, den auftretenden Baumarten und -altersklassen und der vereinbarten Versicherungssumme zusammen (VSDW 2012). Laut dem Deutschen Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) besteht bei Sturmschäden in der Forstwirtschaft nur eine geringe Versicherungsdichte (DKKV 2003). Der Abschluss der bisher angebotenen Versicherungen lohnt sich für Betroffene kaum, da die Prämien sehr hoch sind und in keinem Verhältnis stehen (Wern 2012).

Laut Versicherungen sollen Schadensvolumen durch extreme Stürme wie die von Kyrill trotz Klimawandel in Zukunft für die Versicherungswirtschaft beherrschbar sein (GDV 2011b).

Stürme als klassische oder nicht-klassische Risiken?

Für eine Zuordnung dieses klimabedingten Risikos kann die gleiche Argumentation wie bei den Hochwässern angeführt werden. Die Sturmrisiken stellen nach unserer Meinung ein neuartiges Risiko dar, für die bislang Eintrittswahrscheinlichkeiten und Ausmaße in der Versicherungsbranche kalkuliert werden konnten.

Einordnung nach WBGU

Sturmrisiken werden hier wie Hochwasserrisiken eingeschätzt und damit den Risikotypen Damokles und/oder Zyklon zugeteilt.

3.2 Mittelbare klimabedingte Risiken

Die folgenden exemplarisch diskutierten mittelbaren klimabedingten Risiken beziehen sich im Gegensatz zu den oben vorgestellten Beispielen nicht allein auf den direkten Einfluss bestimmter Klimaelemente (wie z.B. Niederschlag, Wind, etc.), sondern hier haben die Klimaelemente eine weiterreichende Antriebsfunktion für biologische und ökologische Veränderungen. Diese Veränderungen führen wiederum zu einer Gefährdung für verschiedene Organismen. Es besteht somit eine Art Risikokette bzw. ein risikobehaftetes Wirkungsgeflecht zwischen abiotischen und biotischen Faktoren (Bredemeier/Schulte-Bisping 2000).

Um ein realitätsnäheres Bild von Prozessen und Auswirkungen mittelbar klimabedingter Risiken zu erhalten, könnten, wie am Beispiel der ökotoxikologischen Wirkung von Umweltchemikalien auf Organismen gezeigt wird, zudem multiple Stressoren und deren gleichzeitige Wirkung auf Organismen untersucht werden. So lassen sich weitere klimabedingte Risiken identifizieren.

3.2.1 Auftreten des Borkenkäfers in Deutschland

Der Borkenkäfer ist einer der bedeutsamsten Forstschädlinge der deutschen Wälder. Er stellt eine große und entscheidende Gefährdung für Fichten dar, welche durch seine Einnistung in der Rinde stark geschädigt werden können. Bei ausreichendem Befall kann es bis hin zum Absterben des Baumwirtes kommen.

Den Borkenkäfern (*Scolytinae*) gehören die zwei in den deutschen Wäldern dominierende Arten Buchdrucker (*Ips typographus* L.) und Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus* L.) an. Beide Arten befallen die Fichte an unterschiedlichen Stellen. Während der Kupferstecher vor allem junge oder Kronen alter Bäume als auch abgefallenes Kronenmaterial befällt, greift der Buchdrucker vitale Fichten am Stamm an (LWF 2011a). Der Befall wird u.a. durch die Kronenverfärbung von außen sichtbar. Die Käfer nisten sich zur Brut in der Rinde der Fichte ein und fressen dort das Bastgewebe. Dadurch kommt es zu einer Unterbrechung des Nährstoff- und Wassertransports in der Pflanze (LWF 2011b). Zur Abwehr gegen das Eindringen der Borkenkäfer reagiert die Fichte mit Harzausfluss. Ab einer bestimmten Käferanzahl reicht diese

Rückwirkung jedoch nicht mehr aus, sodass bereits eingedrungene Käfer Duftstoffe aussenden, die weitere Borkenkäfer anlocken. Das hat einen weiter zunehmenden Befall zur Folge.

Aus den angelegten Eiern im Wirtsbaum entwickeln sich über das Larven- und Puppenstadium schließlich die vollständigen Insekten (LWF 2011b). Innerhalb eines Jahres können sich mehrere Brutgenerationen entwickeln, die bereits als Jungkäfer zu neuen Fichten ausschwärmen. Zudem werden noch weitere Geschwisterbruten von einem Weibchen angelegt. So können durch ein Weibchen, überschlagen mit drei Jungkäfergenerationen und zwei Geschwisterbruten bis zu 100.000 Nachkommen entstehen (LWF 2011a).

Die Brutaktivität kann bis Ende der Vegetationszeit anhalten (Petercord 2009). Da die Borkenkäfer wechselwarme Insekten sind, sind ihr Flugverhalten, ihre Entwicklung bzw. Entwicklungsgeschwindigkeit und daher die Generationenzahl pro Jahr von Klima- und Witterungsumständen abhängig. Ebenso ist ihr Schwärmverhalten witterungsbedingt.

Bei ca. 9°C Lufttemperatur liegt der allgemeine Schwellenwert für die Aktivität der beiden Borkenkäferarten (LWF 2011a). Bei niedrigeren Werten verfallen die Insektenstadien in eine Kältestarre, wodurch sie im Winter bei anhaltenden Minustemperaturen bis ca. -10°C gut überleben können. Bei zunehmenden Temperaturen über 16°C verläuft die Brutentwicklung entsprechend schneller und die Zeiträume zwischen dem Anlegen neuer Generationen verkürzt sich (LWF 2011c).

Der Schwärmflug des Buchdruckers beginnt ab einer Lufttemperatur von 16,5°C (LWF 2011a, Lobinger 1994). An diesem Richtwert orientiert sich z.B. auch die Forschung der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Als limitierende Temperaturobergrenze für den Käferflug konnte Lobinger (1994) durch ein Experiment in Bayern den Wert von 30°C feststellen. Beim Kupferstecher verhält es sich ein wenig anders. Für ihn konnte bei der Untersuchung von 1994 eine Untergrenze von 16,8 bis 17°C erforscht werden, jedoch keine obere Temperaturbegrenzung, bei der sich sein Schwärmflug einstellt (Lobinger 1994). Anhand von Beobachtungen der Flugaktivität lässt sich ableiten, welche Anzahl an ausgereiften Käfern oder Jungkäfern über das Jahr aktiv ist, was als dominierender Indikator für die Befallsintensität durch den Käfer und seine Ausbreitung angesehen werden kann. Warme und trockene Witterungsverhältnisse werden als begünstigende Ausbreitungsfaktoren des Borkenkäfers gesehen (LWF 2011a). Triebenbacher (2009) misst für den Schwärmflug einer außerdem vorangesetzten Temperatursumme Bedeutung zu.

Darüber hinaus spielt für eine große Ausbreitung oder eine Massenvermehrung das Brutplatzangebot eine entscheidende Rolle. Nach Schadereignissen wie Windwurf, Schneebruch oder starker Trockenheit sind in großer Menge leicht und schnell befallbares Holzmaterial (liegendes Restholz) oder geschwächte Wirtsbäume für den Borkenkäfer vorhanden, was seine Vermehrungsmöglichkeit erhöht. (Petercord 2009)

Dem kann allerdings insofern entgegengewirkt werden, indem zuverlässig eine „saubere Waldwirtschaft“ (Triebenbacher/Immler 2007) betrieben wird. Das bedeutet, dass Totholz und das durch Wetterschäden entstandene Restholz aus dem Wald geräumt werden (Triebenbacher/Immler 2007).

Zusammengefasst sind das Schwärmverhalten, die Brutentwicklung, der Brutraum und somit die Käferdichte in den Waldbeständen für den Befallsverlauf einer Region entscheidend (Profft et al. 2008). Diese Faktoren werden wiederum hauptsächlich durch die Witterungsverhältnisse bedingt.

Nach allen bisherigen Erläuterungen bedeutet das, dass warme, trockene und schnee-arme Winter z.B. die Vermehrung des Borkenkäfers begünstigen, weil in einer solchen milden Jahreszeit viele der überwinterten Käfer (egal in welchem Entwicklungsstadium) leicht überleben. Das hat zu Folge, dass die Ausgangspopulation im anschließenden Frühjahr sehr hoch ist. (Triebenbacher/Immler 2007)

Da diese Schadinsekten auf Witterungsverhältnisse reagieren, kann ihre übermäßige Vermehrung und Ausbreitung aufgrund katalysierender Umstände, als mittelbar klimabedingtes Risiko angesehen werden. Dieses Risiko bedeutet in erster Linie die Gefährdung von Bäumen, insbesondere der Fichte, indem deren erforderliche Wachstumsbedingungen negativ beeinflusst werden. Weisen Wirtsbäume jedoch eine große Ausgangsvitalität auf, können beispielsweise Krankheiten oder Schädlingsbefall besser ausgehalten bzw. abgewehrt werden. Wie vital ein Baum vor einem Befall ist, bestimmen andere biotische und abiotische Wachstumsbedingungen, wie Wasserzufuhr, Temperatur etc. (Profft et al. 2008).

Zur Überwachung und besseren Risikoeinschätzung von Borkenkäfern werden deutschlandweit Daten aufgenommen. Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) beobachtet in Gesamtbayern seit 2004 über das sogenannte „Borkenkäfer-Monitoring“ mehrere tausend Borkenkäferfallen bzw. Fallenpaare bei einem räumlichen Grundraster von 32x32 km. Aus wöchentlichen Untersuchungen der Borkenkäferfallen werden damit über das Jahr stichprobenartig die eingegangenen Käfer gezählt und dadurch die Schwärm- und Ausbreitungsaktivität dokumentiert (LWF 2011d).

In Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz hingegen wird die Flugaktivität der Borkenkäfer bereits seit 1990 durch die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) registriert (LWF 2010). Im Freistaat Thüringen werden Beobachtungen zur Schädlingsthematik von forstlichen Meldediensten an die Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (Abteilung Waldschutz) gegeben (Profft et al. 2008). Doch im Gegensatz zu anderen genannten Bundesländern erfasst der forstliche Meldedienst laut der Quelle in erster Linie Schadholzmengen, die auf Forstschädlinge zurückzuführen sind (ebd.). Ob Thüringen ein ebenso genaues Borkenkäfer-Monitoring wie Bayern hat, konnte nicht geklärt werden. Nichtsdestotrotz reichen die Aufnahmen zu den Schadholzbeständen in Thüringen bis auf 1947 zurück (ebd.). Dies bietet eine umfangreiche Datengrundlage, die ermöglichen könnte, die Bedeu-

tung der rezenten Klimaveränderung für das Auftreten und die Ausbreitung des Borkenkäfers zu skizzieren.

Ausbreitung des Borkenkäfers in Deutschland als klassisches oder nicht-klassisches Risiko?

Im Allgemeinen ist „der Zusammenhang zwischen Borkenkäferbefall und Witterungsgeschehen [...] hinlänglich bekannt“ (Profft et al. 2008). Die genaue Identifizierung von Aktivitätstemperaturen belegt die gut untersuchte Abhängigkeit der Borkenkäfer von der Temperatur. Zwar sind ähnlich genaue Schwellenwerte zu komplexeren Witterungszusammenhängen bisher nicht bekannt (vgl. Kieb 2011). Dennoch lässt sich sagen, dass grundlegende Kenntnisse zu den Wirkungszusammenhängen zwischen klimatischen Verhältnissen, dem Borkenkäfer und seinen Wirtspflanzen existieren. Gemeinsam mit den vorhandenen Datenaufzeichnungen verschiedener Institutionen sind auf den ersten Blick gute Bedingungen gegeben, das Auftreten und ggf. die Ausbreitung des Borkenkäfers in Deutschland zu kalkulieren. Das könnte zunächst für ein klassisches Risiko sprechen. Dagegen ist zu bezweifeln, ob diese Wirkungsbeziehungen in ein Risikokalkül gebracht werden können, wie es in der Einleitung genannt wurde. Immerhin erschweren unsichere Variablen wie das forstwirtschaftliche Handeln oder die ungewisse Klimaentwicklung in der Zukunft die Bestimmbarkeit des Risikos „Borkenkäfer“. Vor allem der aktuelle Diskurs zum Waldumbau der deutschen Forste birgt für eine prognostische Risikoeinschätzung eine so hohe Unsicherheit, dass man an dieser Stelle von einem nicht-klassischen Risiko sprechen könnte.

Einordnung nach WBGU

Nach den WBGU-Kriterien konnte für die Borkenkäfer-Thematik kein eindeutiger oder genauer Risikotyp identifiziert werden. Die meisten mit der Thematik übereinstimmenden Eigenschaften wurden für den Risikotyp Zyklus festgestellt.

3.2.2 Pathogener Pflanzenbefall durch Oomyceten

In der auf den Klimawandel bezogenen Masterarbeit von Nam (2012) wird die pathogene Wirkung von Oomyceten auf Buchensamen unter dem Einfluss verschiedener Temperaturbedingungen untersucht. Die Ergebnisse wurden am 29. Mai 2012 im Rahmen eines BiK-F-Workshops vorgestellt und diskutiert. Experimentell kann eine Temperaturerhöhung einen verstärkten Befall von Wirtschaftsbäumen durch die bisher als Forstschädling kaum betrachtete Gruppe der Oomyceten bewirken; diese Phytopathogene könnten für die Forstwirtschaft in den einheimischen Wäldern starke Schädigungen verursachen. Um darauf in Zukunft mit angemessenen Handlungsmöglichkeiten reagieren und Schadenspotentiale eindämmen zu können, ist eine ausreichende Risikoforschung überhaupt erst aufzubauen. Das Verstehen von Pathogenen im Kontext des Klimawandels verlangt u.a. Kenntnisse über das Reagieren der Organismen auf bestimmte Witterungsverhältnisse und ihre Beziehung zu anderen Umweltfaktoren.

Bei der Workshop-Diskussion zeigte sich, dass die Risiken in Bezug auf phytopathogene Oomyceten der Gattungen *Pythium* und *Phytophthora* ebenso wie auch deren Einfluss auf die natürliche Umwelt noch weitgehend unstrukturierte Probleme darstellen. Diese sind einerseits durch noch nicht ausreichendes Wissen, andererseits aber auch durch strittige Bewertungen gekennzeichnet.

Ein grundlegendes Problem besteht darin, dass allein die genetische Diversität der erforschten Gattungen und somit die eigentlich vorhandene Artenvielfalt der Oomyceten noch unbekannt ist. Nicht einmal alle bisher entdeckten Arten sind wissenschaftlich beschrieben. Es ist davon auszugehen, dass es noch zahlreiche unentdeckte Arten gibt. Damit besteht die Möglichkeit unvorhergesehener Entwicklungen, was eine sichere Abschätzung der durch Oomyceten verursachten Risiken erschwert. Hinzu kommt, dass Verbreitungs- und Befallsmuster der Pathogene nicht vollständig bekannt sind. Einen weiteren Unsicherheitsfaktor stellt das Befallsverhalten der Oomyceten dar, welches sich verändern kann, indem die Pathogene z.B. ihren Wirtskreis auf andere Baumarten ausdehnen. Solche plötzlichen Ereignisse wurden in einzelnen Fällen bereits beobachtet (vgl. Petercord nach BiK-F 2012). Das Befallsverhalten der Pathogene ist wahrscheinlich von den Eigenschaften des Wirts abhängig. Allerdings sind von vielen Stämmen pathogener Arten bisher weder ihre aktuellen oder potentiellen Wirtspflanzen bekannt, noch deren genaue Wechselwirkungen im Klimawandel.

Das Auftreten eines pathogenen Organismus an einer Wirtspflanze bedeutet nicht gleichzeitig dessen parasitäre Wirkung. Dazu muss erst ein spezifischer Schwellenwert überschritten werden, der den symbiotischen Pilz zu einem parasitären Schädling werden lässt (vgl. Obwald nach BiK-F 2012). Derzeit sind solche Schwellenwerte, wann ein Pilz für die Wirtspflanze schädlich wird, nicht bekannt.

Eine weitere Herausforderung für die Risikoeinschätzung bei Oomyceten ist die Schwierigkeit, einen pathogenen Befall der Wirtspflanzen optisch rechtzeitig zu erkennen. In der Regel werden die Schäden erst zu wesentlich späteren Zeitpunkten sichtbar, als sie in Wirklichkeit infiziert wurden (vgl. Hickler nach BiK-F 2011). Für solche Fälle bedarf es beispielsweise besserer Bestimmungsmethoden. Im Allgemeinen fehlt es laut der Workshopteilnehmer an geeigneten Werkzeugen, wie z.B. Referenzkatalogen und Infrastruktur, um einen guten und überregionalen Wissens- und Forschungsaustausch zu ermöglichen. Wie sich gezeigt hat, werden Schnelltests zur Analyse von Oomycetenarten erwünscht. Für diese Bestrebungen ist es notwendig, die Risiken eines schädlichen Pflanzenbefalls zu quantifizieren. Das kann aber noch nicht in allen Fällen vorgenommen werden, da eine Bezifferung des Risikopotentials im ökologischen Kontext sehr kompliziert ist (vgl. Obwald nach BiK-F 2012).

Der erste Stressor für die Buche ist entsprechend des aufgeführten Beispiels der pathogene Befall durch Oomyceten. Hierbei sind die gegenseitigen Wirkungsprozesse und -zusammenhänge größtenteils unbekannt. Im Zuge des Klimawandels stellt die Temperaturzunahme jedoch einen weiteren Einflussparameter für die Entwicklung des Pathogens und somit für die Auswirkungen auf die Wirtspflanze dar. Es entsteht eine Art Wirkungsfolgen„kette“. Für die Wirtspflanze ist der Temperaturanstieg damit

ein weiterer Stressor. Da die Untersuchungsergebnisse der Masterarbeit (Nam 2012) nur ein erster Schritt zur Erfassung multipler Stressoren und komplexer Wirkungsgefüge sind, besteht Einigkeit, darüber hinaus weitere Umweltstressoren, wie Niederschlag etc. zu analysieren. Dadurch können Witterungsverhältnisse bestimmt werden, die die Ursachen für die Ausbreitung und Veränderungen von Pathogenen genauer erklären können. Das wurde in diesem Ausmaß noch nicht untersucht. Bisher wurden nur wenige, sehr spezielle Modelle für Witterungs-Schädlingsbefall-Szenarien durchgerechnet (vgl. Hickler nach BiK-F 2012). Dennoch besteht die Möglichkeit, aus bisherigen konkreten Witterungsbeobachtungen und Schädlingsreaktionen erste Analogschlüsse bei gleichen oder ähnlichen Witterungsbedingungen zu ziehen, ohne dass statistische Nachweise vorliegen. Ebenso fehlen im Allgemeinen weitere Studien über die Wirkungen der Oomyceten auf andere Baumarten sowie Studien über co-evolutionäre Wirkungszusammenhänge mit anderen Organismen.

Generell wurden Oomyceten im Workshop als Risiko angesehen, das es einzudämmen gilt. Der Erkenntnisstand darüber ist noch sehr ausbaufähig (vgl. dazu entsprechende Hinweise von Oßwald und Petercord, BiK-F 2012). Viele Teilnehmer zeigten daher großes Interesse und Offenheit zu weiterführender gemeinschaftlicher Forschung. Antreibender Faktor dafür ist das einheitliche Ziel, nachhaltig im Wald- und Forstbereich zu wirtschaften und zu handeln. Letztendlich hängt jedoch die Forschungskapazität stark von den Finanzierungsmöglichkeiten ab (vgl. BiK-F 2012).

Ziel fortschreitender Risikoforschung im Bereich der Phytopathogene sollte eine Erarbeitung von Risikostufen sein, über die sich – je nach Wissensstand – z.B. anhand von Temperaturschwellen zumindest qualitative Risikoaussagen treffen lassen.

Pathogener Pflanzbefall durch Oomyceten als klassisches oder nicht-klassisches Risiko?

Nach den vielen Erläuterungen der vorhandenen Wissens- und Methodenlücken in der deutschen Forschung kann das Risiko in Deutschland bestenfalls als nicht-klassisches Risiko kategorisiert werden. Schließlich kann das Risiko weder für das Auftreten eines Stressors noch für das Auftreten mehrerer Stressoren bisher mathematisch bestimmt werden. Grund dafür ist, dass statische Beobachtungen fehlen und nur vereinzelte (zeitlich begrenzte) oder sehr spezifische Experimente unternommen wurden, die sich (noch) nicht verallgemeinern lassen. Hinzu kommt, dass das Risiko in einem ökologischen Kontext eingebettet ist, in dem sich vielschichtige und komplexe Wirkungsnetze zwischen einzelnen Elementen aufbauen. Die Identifizierung und messbare Erfassung multipler Stressoren sowie die Analyse der komplexen, vielschichtigen Wirkungsnetze, die zwischen den einzelnen Systemelementen bestehen, gestaltet sich sehr schwierig.

Elementare Prozesse und beteiligte Komponenten des behandelten Beispiels sind teilweise in der deutschen Forschung bislang nicht ausreichend definiert und statistisch nachgewiesen. Deswegen können in diesem Fall umfassende Risikoeinschätzungen bisher hauptsächlich (nur) durch subjektive Expertenurteile vorgenommen werden.

Einordnung nach WBGU

Für die Zuordnung des Risikos „Pathogener Pflanzenbefall durch Oomyceten“ in eine der WBGU-Typologien werden dazu die einzelnen Ordnungskriterien des WBGU erörtert.

Eintrittswahrscheinlichkeit: Sie ist noch unbekannt, wird aber nach den Expertenmeinungen aus dem Workshop als hoch eingeschätzt.

Schadensausmaß/-potential: Nach Ansicht der Autoren wird das Schadensausmaß als größtenteils unbekannt beurteilt, da noch viele Unsicherheiten (z.B. über das Befallverhalten) vorhanden sind und konkrete Erfahrungen und wissenschaftliche Untersuchungen fehlen. Bisherige Phänomene sprechen jedoch dafür, dass neue Schadensauswirkungen und -ausbreitungen in Zukunft erwartet werden können und diese hoch ausfallen können, wenn sich z.B. der Wirtspflanzenkreis von Oomyceten vergrößert.

Abschätzungssicherheiten: Die Abschätzungssicherheit über Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß ist sehr gering, wenn nicht sogar unbekannt.

Ubiquität: Oomycetenarten sind global weit ausgebreitet und können je nach Verbreitungsweise schwer kontrollierbar sein, wodurch eine flächenhafte Weiterausbreitung schwer verhindert werden. Somit kann ihre Ubiquität als sehr hoch und zugleich nicht genau bekannt angesehen werden.

Persistenz: Kann als hoch eingeschätzt werden.

Reversibilität der Folgen: Die Reversibilität eines Befall durch Oomyceten ist vom Grad des Befalls bzw. seiner Intensität abhängig (vgl. Protokoll Oßwald) und wird wohl teilweise kaum rückgängig gemacht werden können. Eine gänzliche Abtötung der Bäume kann für den ökologischen und ökonomischen Zweck ggf. durch Wiederaufforstung kompensiert werden. Demnach sind die pathogenen Schäden nur schwer oder aufwendig reversibel.

Latenz: Eine Jahre überdauernde Verzögerungszeit zwischen Ursache und Wirkung ließ sich aus den Workshopgesprächen nicht ableiten. Sicherlich hängt sie hauptsächlich von der Befallsintensität und den klimatischen Bedingungen ab. Was dagegen einen erhöhten Risikofaktor darstellt und stärkere Abschätzungsunsicherheit mit sich bringt, ist die Tatsache, dass ein Befall optisch erst wesentlich später zu erkennen ist, als er tatsächlich eingetreten ist.

Mobilität: Wie sich auf dem Workshop gezeigt hat, ist ein gewisses Mobilitätspotential bei dem Risikobeispiel vorhanden, da seitens der Umweltforscher und Forstbetriebe das Risiko zwar wahrgenommen wird, in der Politik jedoch nach Ansicht von Herrn Prof. Oßwald keinen Anklang findet (vgl. BIK-F 2012).

Entsprechend der Erläuterungen zu den Typisierungskriterien des WBGU wäre das Risiko für einen potentiell phytopathogenen Einfluss von Oomyceten auf Buchensamen bei den Risikotypen Pandora oder Pythia einzuordnen.

3.2.3 Chemikalien in der Umwelt

Um Risikoaussagen über die Wirkungen von Chemikalien (Schadstoffen, Hormon- und Pestizidrückständen) in der Umwelt treffen zu können, werden in der Forschungsdisziplin Ökotoxikologie viele Untersuchungen und Experimente unter Laborbedingungen durchgeführt (Oehlmann et al. 2010, Reifferscheid 2010, Fenner et al. 2009, Suter 2009, Keil et al. 2008).

In der Ökotoxikologie wird zur Risikobestimmung grundlegend ein Berechnungsmodell, wie bei den klassischen Risiken ($R=W*S$) verwendet. Es ist nur entsprechend des Untersuchungsgegenstands angepasst. Das toxikologische Risiko berechnet sich aus dem Produkt von Exposition und Toxizität (SRU 1999). Dabei beschreibt Exposition die Verteilung eines Schadstoffes und die Toxizität die Wirkung des Stoffes (Jaeger 2000).

$$\begin{array}{ccc} \text{Risiko} = \text{Wahrscheinlichkeit eines potentiellen Schadens} * \text{potentielles Schadensausmaß} & & \\ \downarrow & & \downarrow \\ \text{Risiko} = \text{Exposition eines Schadstoffes} * \text{Toxizität} \end{array}$$

Mithilfe dieser Formel können Dosis-Wirkung-Abschätzungen für definierte Substanzen vorgenommen werden (Reifferscheid 2010). Bei dieser Berechnung handelt es sich um eine „mono-faktorielle“ Betrachtung, d.h. eine eindimensionale Risikoabschätzung, die sich nur auf die Schadenswirkung *eines* toxischen Stoffes auf *einen* Umweltparameter bezieht. Um umfassendere Risikoeinschätzungen für Schadenserignisse auf verschiedenen Ebenen zu erreichen, hält Reifferscheid eine rein mathematische Berechnung ökotoxikologischer Risiken für zweifelhaft. Seiner Ansicht nach sollte der Schwerpunkt der Risikobeurteilung auf Klassifikationen, qualitativen Abwägungen und normierter Konventionen beruhen (ebd.). Statt der Berechnung einer Wahrscheinlichkeit sollten Überschreitungen von Qualitätsnormen, Umweltrechtlinien und kritischen Konzentrationen beurteilt und eine Unterscheidung zwischen akuten und chronischen toxischen Ereignissen vorgenommen werden (ebd.). Bei der Bestimmung des Schadensausmaßes bzw. der -wirkung müssten gefährdete Umweltziele und -rezeptoren, wie z.B. eine gefährdete Gebietsgröße, identifiziert werden. Reifferscheid spricht bei dieser umfassenden und qualitativeren Möglichkeit zur Risikoerfassung von einer „Gefahrenabschätzung“. Je nach Komplexität des behandelten ökotoxikologischen Beispiels empfiehlt Reifferscheid, darüber hinausgehende Risiken zu beachten, wie beispielsweise physikalisch-morphologische, ökologische und sozio-ökonomische Risiken. Dies hätte zum Vorteil, dass man sich an eine holistische Risikoeinschätzung annähert.

Einfache umweltschadstoffliche Ursache-Wirkung-Analysen werden durch Testverfahren vorgenommen, die die toxische Wirkung von Stoffen auf Stellvertreterorganismen nach internationalen standardisierten Richtlinien beurteilen (Oehlmann et al. 2010, Fenner et al. 2009). Zur detaillierten Erforschung mutagener, hormoneller Schadstoffe werden heutzutage immer mehr suborganismische und molekulare Tests verwendet (Oehlmann et al. 2010, Reifferscheid 2010, Fenner et al. 2009).

Doch nicht nur Ausgangsschadstoffe können die Umwelt belasten, sondern auch deren chemische Umwandlungsprodukte, die bei dem Abbau der Ausgangssubstanzen entstehen und fortwährend eine ähnliche oder geringe toxische Wirkung (in der Umwelt) wie der Ausgangsstoff haben können (Fenner et al. 2009). Daher ist für eine Umweltrisikoeinschätzung neben der Erkennung der toxischen Ausgangsstoffe zusätzlich auch die Identifizierung der Umwandlungsprodukte von großer Bedeutung. Um in Gewässer gezielt nach bestimmten Umwandlungsprodukten suchen zu können, müssen diese zunächst bekannt sein. Mithilfe eines computergestützten Systems können ausgehend von einem Ausgangsstoff potentielle Umwandlungsprodukte anhand experimentell ermittelter Stofftransformationsregeln und Molekülanalysen, „vorhergesagt“ werden (Fenner et al. 2009). Sind die (potentiellen) Umwandlungsprodukte schließlich bekannt, können Gewässerproben darauf hin untersucht werden. Dazu wurde ein neues Verfahren konzipiert, das zur Findung und Analyse von Umwandlungsstoffen hochauflösende Massenspektroskopien, Flüssigchromatographien und Tandemmassenspektroskopien nutzt (Fenner et al. 2009).

Diese Verfahrensweisen wurden von der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz für die Bewertung von Gewässerbelastungen durch Chemikalien wie Pestizide, Arzneimittel, Biozide und sogenannte „Aktivverbindungen“ entwickelt (ebd.).

Die ökotoxikologische Formel ist also nur ein Hilfsmittel, die komplizierten biochemischen Wirkungsbeziehungen zu vereinfachen, um Risiken besser messbar und beurteilbar zu machen. Bei diesem Ansatz wird zunächst von simplen Ursache-Folgen-Prozessen ausgegangen.

Um komplexere Zusammenhänge bestimmbar zu machen, werden verschiedene Untersuchungsdesigns ausprobiert (Oehlmann et al. 2010, Suter 2009), in denen zusätzliche Einflussparameter so einbezogen werden, dass auch Risikoausprägungen bei multiplen Stressoren abgebildet werden können.

In der aktuellen Forschung werden meist die Schadstoffauswirkungen auf Kleinorganismen in Abhängigkeit unterschiedlicher klimatischer Bedingungen wie Lichtintensität (Suter 2009) oder Temperatur (Oehlmann et al. 2010) experimentell untersucht. Studien zeigen, dass mit der Veränderung bestimmter Klimaparameter eine veränderte Wirkungsweise von Schadstoffen bei Organismen zu erwarten ist, was sich in speziellen Auswirkungen für den Organismus zeigen kann.

In einer Untersuchung von Suter (2009) stellte sich beispielsweise heraus, dass Algen wesentlich empfindlicher auf Schadstoffkonzentrationen reagieren, wenn sie einer höheren Lichtintensität (UV-Strahlung) als im Normalfall ausgesetzt sind. Haben sich Algen jedoch an eine höhere UV-Belastung gewöhnt, reagieren sie auch auf Cadmium-Konzentrationen toleranter.

Ein anderer Fall zeigt beispielweise, dass eine Zunahme der Wassertemperatur bzw. allgemeiner Temperaturstress eine Zunahme der Wirkungsintensität toxischer Substanzen bei Organismen hervorrufen kann (Oehlmann et al. 2010).

Die Erfassung multipler Stressoren in der Ökotoxikologie ist bis dato in gewissem Maße möglich. Voraussetzung ist hierfür eine molekulare Untersuchung z.B. von sogenannten Markerproteinen (Proteinexpression), die Rückschlüsse auf die Exposition eines Organismus gegenüber multiplen Stressoren zulässt (Suter 2009). Solch ein Verfahren weist das Potential auf, globalen Analysen zu dienen. Andere analytische Methoden stellen die Genexpressionen oder die Analyse von Metaboliten dar (ebd.).

Chemikalien in der Umwelt als klassisches oder nicht-klassisches Risiko?

In der Ökotoxikologie gibt es, wie erläutert, Methoden, um toxikologische Risiken anhand einer Formel zu quantifizieren und zu bestimmen. Dementsprechend würde das für eine Charakterisierung als klassisches Risiko sprechen. Doch im Gegensatz zu den Laboruntersuchungen lassen sich Chemikalien in der natürlichen Umwelt bei sich ändernden Klimabedingungen wesentlich schwieriger beschreiben.

Für die ökotoxikologische Risikobeurteilung gibt es Umweltqualitätsnormen zur Einzelstoffbewertung, jedoch nicht für Kombinationseffekte. Das bedeutet, dass multiple Stressoren nach dem aktuellen Forschungsstand noch nicht (einheitlich) durch Klassifizierungen und erst recht nicht durch Formeln bestimmt werden können (Oehlmann et al. 2010). Hier gibt es also noch Erkenntnislücken. Weitere Wissenslücken über das Anpassungspotential von Arten bei sich ändernden Klimaverhältnissen und die davon abhängige Sensitivität gegenüber Schadstoffen (ebd.) können nur anhand exemplarischer Laboruntersuchungen geschlossen werden. Pampus (2012) hat dahingehend einen Versuch für Hessen erarbeitet.

Einordnung nach WBGU

Risikobeispiele wie Pflanzenmittelrückstände in der Umwelt ordnet der WBGU als Pandora-Typ ein.

Die Formulierung ökotoxikologischer Risiken in einer Formel zeigt, dass Aussagen zur Risikowahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß bei eindimensionalen Betrachtungen gemacht werden können. Das widerspricht allerdings der Definierung des Pandora-Typs, für den keine Wahrscheinlichkeits- und Ausmaßeinschätzungen möglich sein sollen.

4 Reflexion der Risikozuordnungen und neuen Risikotypologie

In dieser Arbeit wurde anhand einiger Beispiele untersucht, welche klimabedingten Risiken bis dato berechenbar sind. In Verbindung mit dem Klimawandel stand im Wesentlichen die Frage zur Debatte, ob bisher bekannte oder künftige, tendenziell noch unbekannte Risiken für menschliches Handeln kalkulierbar bleiben.

Risiken kalkulieren zu können oder mathematisch zu berechnen, ist das eine und stellt bis jetzt schon verschiedene Herausforderungen für die Wissenschaft dar. Doch werden Risiken in dem Sinne „berechenbar“ bleiben, als dass sie auch für den Menschen „handhabbar“ sind bzw. werden, und ein angemessener Umgang mit ihnen möglich sein wird? Auf diese Frage geben wir hier bewusst keine Antwort; die Frage ist jedoch weiterführend und sollte an anderer Stelle aufgenommen werden.

Für die dargestellten Beispiele klimabedingter Risiken war wider Erwarten noch keine ganz eindeutige Einordnung in klassische oder nicht-klassische Risiken möglich. Es hat sich herausgestellt, dass erhebliche Wissenslücken vorhanden sind, sobald eine multidimensionale Betrachtung bei der Analyse ökologischer Systeme angegangen wird. Das zeigten insbesondere die letzten Beispiele. Zur weiteren Erforschung können nur exemplarische Untersuchungen vorgenommen werden; angesichts der sozial-ökologischen Ursache-Wirkung-Komplexe wird es schwierig, hierbei von Untersuchungen unter Laborbedingungen aus zu extrapolieren.

Bei der Betrachtung klimabedingter Risiken stellt selbstverständlich der globale Klimawandel den größten Unsicherheitsfaktor dar. Aufgrund der relativ kurzen Datenzeitreihen, die die starken Veränderungen seit den 1970er Jahren zeigen, ist der Klimawandel und die damit verbundenen Risiken nur sehr schwer bzw. kaum einschätzbar. Mit zunehmender Zeit wird sich jedoch die Datenlage erweitern und verdichten und genauere Simulationen zulassen. Auch eine Verfeinerung der Modelle und eine verbesserte Berücksichtigung von Natur/Gesellschaft-Wechselwirkungen kann dabei unterstützen, hier Nicht-Wissen abzubauen. Da durch den Klimawandel außerdem sich bisher komplett unbekannte Risiko-Effekte ereignen können, wie z.B. bei dem Auftreten bisher unbekannter phytopathogener Organismen, wird es immer eine Rest-Unsicherheit geben (besser ausgedrückt ein Rest Nicht-Wissen), welches dafür spricht, hier eine nicht-klassische Risikobetrachtung durchzuführen.

Hochwasserereignisse gelten für Versicherungen und für die Hydrologen (noch) als kalkulierbar; ähnlich gehen Versicherungen auch mit Orkanen und Wirbelstürmen um. Doch hinter diesen Phänomenen stecken komplizierte Wirkungsprozesse, die insbesondere durch den Klimawandel komplexere Strukturen annehmen (können). Klassische Risiken existieren in der definierten reinen Form eigentlich nicht. Diese Klasse zeigt nur eine Methode, mit der komplizierte oder nicht-klassische Risiken vereinfacht und annähernd beschrieben werden können (siehe Abbildung 1). Dies ist bisher allerdings nur bei einer eindimensionalen, „mono-faktoriellen“ Betrachtungs-

weise möglich. Dass aber gerade bei Hochwässern, Stürmen oder toxikologischen Untersuchungsgegenständen die Möglichkeit zur Beschreibung durch eine Formel besteht, lässt folgende Vermutung zu: Bei klimabedingten Risiken – seien es unmittelbare oder mittelbare – ist bis dato eine Kalkulation solange möglich, wie vorrangig abiotische Faktoren in Systemen untersucht werden, weil diese leichter quantifizierbar und messbar sind (ökonomische Schäden in Euro, Wasserstände im Metern, etc.) als die Beziehungen zwischen dynamischen Organismen.

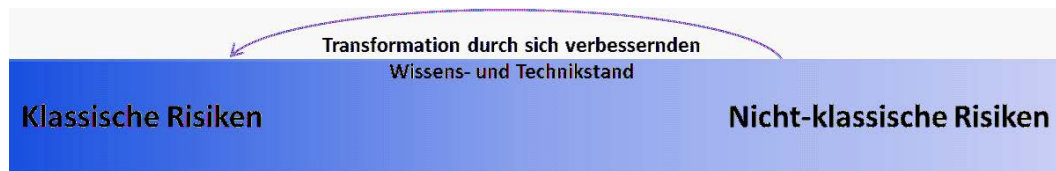


Abbildung 1: Transformation von nicht-klassischen Risiken zu klassischen Risiken

Mit Risikoeinschätzung gehen immer gewisse Unsicherheiten einher. Wo v.a. Unsicherheiten im Wissen zu Wirkungen ökologischer Prozesse bestehen und daraus Risiken erwachsen können, sollte sich die Gesellschaft in diesen Fällen umso mehr auf die Vorsorge konzentrieren (Jaeger 2000, Keil et al. 2008). Zum Umgang mit jetzigen und künftigen Risiken und bei einer Risikobeurteilung im öffentlich-politischen Diskurs sollte zudem nicht vergessen werden, auch die Verantwortbarkeit absehbarer Schäden zu begutachten (Eser 2000).

4.1 Hinweise auf eine mögliche Einordnung der WBGU-Risikotypen zu klassischen und nicht-klassischen Risikogruppen

Die Risikotypen Damokles und Zyklon des WBGU könnten – soweit sich unsere an wenigen Beispielen durchgeführte Betrachtung verallgemeinern lässt – klassischen Risiken (nach unserer Typologie) zugeordnet werden, während Typ Pythia und Pandora eindeutig als nicht-klassische Risiken angesehen werden könnten.

Kassandra könnte den nicht-klassischen Risiken zugeschrieben werden, da vom WBGU hierzu Beispiele über die Destabilisierung terrestrischer Ökosysteme etc. aufgeführt werden. Allerdings soll beim Typ Kassandra die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadenspotential bekannt sein, was wiederum für ein klassisches Risiko sprechen würde. Da aber zeitliche Verzögerungen bei diesem Typ eine Rolle spielen, womit wahrscheinlich mehr Unsicherheit über die Auswirkungen entsteht, könnte es sich doch um ein nicht-klassisches Risiko handeln.

Medusa kann als Sonderfall betrachtet werden, weil es hier weniger um die wissenschaftliche Kenntnis über das Risiko an sich geht, sondern vielmehr um die unterschiedliche Risikowahrnehmung von Experten und der Öffentlichkeit (Laien).

5 Erweiterung der Risikosystematisierung

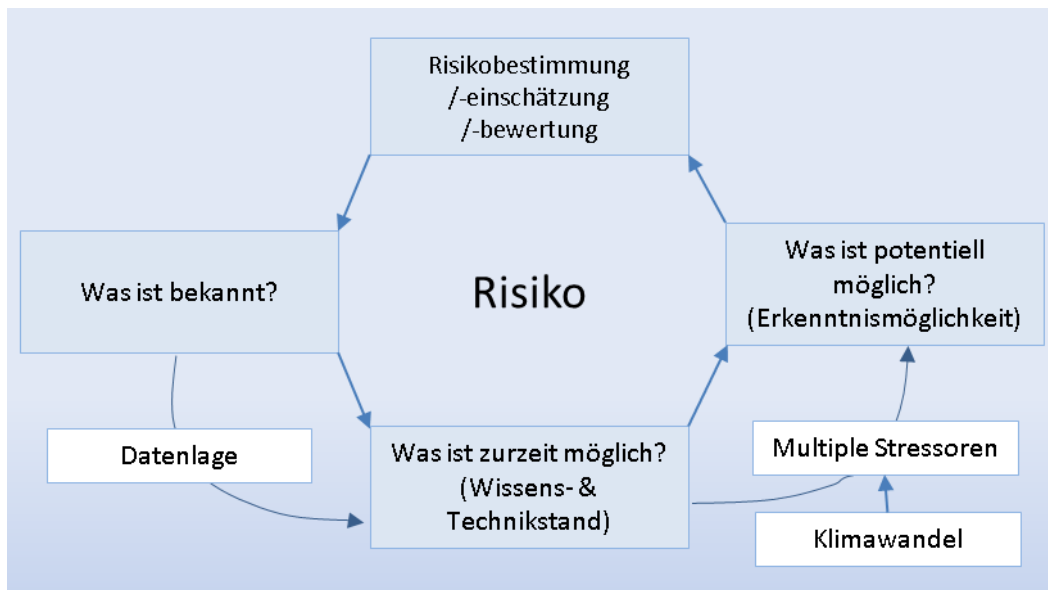


Abbildung 2: Schematischer Kreis zu erkenntnistheoretischen Prozessen
(eigene Darstellung)

Um die abgehandelten Beispiele der neuen Risikotypisierung zu zuordnen, bedarf es grundlegend einer Klärung von drei entscheidenden Fragen, die in einfacher Anlehnung an die Erkenntnisvorstellungen von Renn in der Abbildung 2 veranschaulicht sind:

1. Was für Aufzeichnungen, Daten und statistische Erhebungen sind bislang vorhanden?
2. Was ist somit über das Risiko bis dato bekannt? Wie ist der Wissenstand über mögliche Prozesse und Wirkungsweisen? Welche technischen Möglichkeiten bestehen, um Informationen und Wissen über das Risiko zu generieren?
3. Was für Erkenntnisgewinne sind potentiell und in Hinblick auf die Zukunft für den Menschen noch möglich?

Die angesprochenen Grundaspekte wurden in der Abhandlung meist alle beleuchtet. In Zeiten des vielschichtigen Klimawandels reichen jedoch Kenntnisse über direkte Ursache-Wirkungsprozesse mit einfachen Kausalketten und den Schadenseinfluss eines Faktors auf ein Objekt nicht mehr aus. Risikobehaftete Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Umweltelementen sind vernetzt und können daher durch multiple Stressoren beeinflusst werden. Der Klimawandel bringt neue Stressbedingungen für Organismen mit sich, die andere Risikobeziehungen beeinflussen können. Wechselbeziehungen verändern sich mit dem Klimawandel oder es treten ganz neue auf. Die Bestimmbarkeit von Risiken sollte besonders in Hinblick auf den derzeitigen klimatischen Wandel immer wieder neu erfragt werden, da sich vieles ändert (auch die wissenschaftlichen Erkenntnisse) und damit die Risikobewertung (mit dem Ziel Risiken bestimmbar zu machen). Aus diesem Grund ist die Abbildung 2 symbolisch

als Zirkel dargestellt. Die Aktualität der jeweiligen Erkenntnis- oder Forschungsstände müssen allerdings nicht immer in dieser Reihenfolge hinterfragt werden.

Zu Beginn der Arbeit wurden erste Definitionsannäherungen für ökologische und systemische Risiken aufgeführt. Ökologische Risiken können nach unserer Ansicht als eine Untergruppe der systemischen Risiken angesehen werden, insofern als all ihre Eigenschaften der Recherche zufolge in der Definition der systemischen Risiken wiederzufinden sind. Die Merkmalsbeschreibungen der systemischen Risiken in der Literatur reichen jedoch weiter als die Charakterisierungen der ökologischen. Angenommen, es gibt ökologische Risiken, die sich aufgrund ihrer Komplexität und verflochtenen Wirkungsbeziehungen als nicht-klassische Risiken einordnen lassen und sich nur auf ökologische Sachverhalte beziehen. Dann gäbe es auch Risiken, die sich allein in gesellschaftlichen Systemen abspielen und dabei aber verschiedene Gesellschaftssysteme gleichzeitig infizieren (z.B. Auswirkungen des Finanzsystems auf Immobilienmarkt und Wirtschaftssektoren während der Wirtschaftskrise). Risiken, die sich von rein gesellschaftlichen oder natürlichen Bereichen auf jeweils andere Bereiche ausweiten können sind sozial-ökologische Risiken, die sich als Schnittstelle zwischen den nur sozial oder natürlich geprägten Risiken darstellen. Ein Beispiel dafür wäre der Schädlingsbefall im Forst, der zu Verlust von Bäumen führt, die nicht mehr für die wirtschaftliche Weiterverarbeitung genutzt werden können, was wiederum finanzielle Einbußen für den Forstwirt zur Folge hat.

Systemische Risiken können laut den Definitionen am Anfang als nicht-klassische Risiken angesehen werden, weil sie so komplex strukturiert sind, dass ihre Bestimmbarkeit nur schwer oder gar nicht möglich ist. Wie bereits herausgearbeitet wurde, können systemische bzw. komplexe Risiken zum Teil vereinfacht erfasst und damit bestimmt werden (Transformation von nicht-klassischen Risiken zu klassischen Risiken). Doch es gibt auch Risiken, die durch den Klimawandel überhaupt nicht bekannt und vorhersehbar sind.

6 Ausblick

Der Klimawandel stellt einen gewissen Kehrpunkt im Wissens- und Erkenntnisstand dar. Die vergesellschaftete Menschheit ist zwar wegen der verbesserten fortschreitenden Technik (Hardware), Datenerfassung und -verarbeitung, Rechentechnik (Software), Computersystemleistungen, Modellen und mathematischer Grundlagenforschung zunehmend besser fähig, Faktoren in ihren Verhältnissen zu berechnen und Beziehungsnetze detaillierter darzustellen. Und in heutigen Rechnungen werden auch schon Fehlerkoeffizienten und Unsicherheitsfaktoren auf mathematisch komplexe Weise berücksichtigt. Eine mehrdimensionale Betrachtung von Risiken verlangt auch diese komplexen Wege zu deren Bestimmung.

Doch wegen bisher noch nicht ausreichend lang erhobener statistischer Daten über die Wirkungen des Klimawandels, reicht das bisherige Wissen zur umfassenden Berechnung und Bestimmung nicht aus. Zum einen kommen Computerprogramme und Rechenleistungen etc. an ihre Grenzen oder es fehlt vielleicht noch an der passenden statistischen Methode für die Berechnungen. In solchen Fällen, wo die Wissenschaft zurzeit noch an ihre Erkenntnisgrenzen stößt, sind ein subjektives Augenmaß und die Einschätzung von Experten notwendig. Das Expertenurteil ist wichtig, auch wenn hiermit – ggf wegen fehlender, fachlich fundierter und bewiesener Fakten oder Ergebnisse, aber auch wegen stark auseinanderklaffender Bewertungen – eine hohe Unsicherheit in der Risikoabschätzung mit einhergeht.

Der Klimawandel ist an sich unberechenbar; sei es im Sinne der mathematischen Bestimmbarkeit, der methodischen Bestimmbarkeit oder in dem Sinne, dass er für die Menschen auch noch nicht vollständig verständlich und be„greifbar“ ist, weil sie an die Grenzen ihrer Vorstellungskraft gelangen.

Doch auch die Menschheit selbst stellt einen entscheidenden Unsicherheitsfaktor dar, denn die künftigen Verhaltensweisen und der Einfluss einzelner Menschen(gruppen) bzw. der Gesellschaft im lokalen bis globalen Kontext sind keineswegs vorhersehbar.

Eine wahre Tücke für die „Risiko-er-forschung“ kann außerdem sein, dass bestimmte Risiken erst dann auffallen und wahrgenommen werden, wenn sie eingetreten sind. Und meist werden Risiken erst wahrgenommen, wenn sie wirklich gesellschaftsrelevante Auswirkungen mit sich bringen oder eine Bedrohung für die Menschheit, ihre Güter, oder für ihre Überlebens- und Genusssicherung darstellen.

Literatur

- Behrendt, J. (2005): Das Nationale Klimadatenzentrum des Deutschen Wetterdienstes. DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.): Klimastatusbericht 2005, 70–74.
http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne__berichte/ksb2005__pdf/08__2005,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/08_2005.pdf (31.05.2012)
- BiK-F (2012): Protokoll des Workshops „Oomycetenerkrankungen als Risiko für den Wald in der Folge des Klimawandels“ vom 29. Mai 2012. Frankfurt am Main (unveröffentlicht)
- Breckling, Broder/Felix Müller (2000): Der ökologische Risikobegriff – Einführung in eine vielschichtige Thematik. In: Broder Breckling/Felix Müller (Hg.): Der ökologische Risikobegriff. Theorie der Ökologie, Band 1. Frankfurt am Main, 1–18
- Bredemeier, Michael/Hubert Schulte-Bisping (2000): Zeitreihenanalyse und ökologische Risikoabschätzung. In: Breckling, Broder/Felix Müller (Hg.): Der ökologische Risikobegriff. Theorie der Ökologie, Band 1, Frankfurt am Main, 153–160
- DKKV – Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (Hg) (2003): Orkane über Europa – Katastrophenvorsorge in grenzüberschreitender Perspektive.
www.dkkv.org/de/publications/ressource.asp?ID=121 (28.05.2012)
- Eser, Uta (2000): Zur Relevanz des ökologischen Risikobegriffs für das politisch-gesellschaftliche Handeln. In: Broder Breckling/Felix Müller (Hg.): Der ökologische Risikobegriff. Theorie der Ökologie, Band 1. Frankfurt am Main, 181–190
- Fenner, Kathrin/Susanne Kern/Judith Neuwöhner/Heinz Singer/Beate Escher/Juliane Hollender (2009): Umwandlungsprodukte – relevante Risikofaktoren? Eawag News 67d, 15–18.
http://www.eawag.ch/medien/publ/eanews/news_67/en67d_fenner.pdf (31.05.2012)
- Friedrich, Susanne/Oliver Brauner (2009): Die Möglichkeiten des ökosystemaren Monitoring, Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität zu erkennen. Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland IV, 50–51
<http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript246.pdf> (11.06.2012)
- GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hg.) (2008): „ZÜRS Geo“: Zonierungssystem für Überschwemmungsrisiko und Einschätzung von Umweltrisiken.
<http://www.gdv.de/2008/08/geo-informationssystem-zuers-geo-zonierungssystem-fuer-ueberschwemmungsrisiko-und-einschaetzung-von-umweltrisiken/> (17.05.2012)
- GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hg.) (2011a): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadenssituation in der deutschen Versicherungswirtschaft. Kurzfassung Hochwasser.
http://www.gdv.de/wp-content/uploads/2012/01/Klimakonferenz_2011_PIK_Studie_Hochwasser.pdf (15.05.2012)

- GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hg.) (2011b): Herausforderung Klimawandel. Antworten und Forderungen der deutschen Versicherer.
http://www.gdv.de/wp-content/uploads/2011/11/Broschuere_Herausforderung_Klimawandel_2011.pdf (15.05.2012)
- GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hg.) (2011c): Hochwasserinformationen für alle. Versicherungswirtschaft will Zonierungssystem für Überschwemmungsgebiete öffentlich machen.
<http://www.gdv.de/2011/05/hochwasserinformationen-fuer-alle-versicherungswirtschaft-will-zonierungssystem-fuer-ueberschwemmungsgebiete-oeffentlich-machen/> (17.05.2012)
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hg.) (2011): Hochwasservorhersage.
<http://www.hlug.de/start/wasser/hochwasser/bausteine-des-hochwasserschutzhochwasservorsorge/hochwasservorhersage.html> (31.05.2012)
- Hummel, Diana/Thomas Jahn/Engelbert Schramm (2011): Social-Ecological Analysis of Climate Induced Changes in Biodiversity – Outline of a Research Concept. Knowledge Flow Paper Nr. 11. Frankfurt am Main
- Jaeger, Jochen (2000): Vom „ökologischen Risiko“ zur „Umweltgefährdung“: Einige kritische Gedanken zum wirkungsorientierten Risikobegriff. In: Broder Breckling/Felix Müller (Hg.): Der ökologische Risikobegriff. Theorie der Ökologie, Band 1. Frankfurt am Main, 203–210
- Keil, Florian/Gotthard Bechmann/Klaus Kümmerer/Engelbert Schramm (2008): Systemic Risk Governance for Pharmaceutical Residues in Drinking Water. In: GAIA 17/4, 355–361
- Kieb, Susanne (2011): Rezente Klimaveränderung im Fichtelgebirge (Oberfranken) und ihre Auswirkung auf das Wachstum der Fichte. Bachelorarbeit Universität Bayreuth (unveröffentlicht)
- Lobinger, Gabriela (1994): Die Lufttemperatur als limitierender Faktor für die Schwärmaktivität zweier rindenbrütender Fichtenborkenkäferarten, *Ips typographus* L. und *Pityogenes chalcographus* L. (Col., Scolytidae). Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 67, 14–17.
<http://www.springerlink.com/content/n6019391122647h6/> (30.10.2011).
- LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hg.) (2010): Borkenkäfer-Monitoring der FVA Freiburg.
http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/insekten/fva_borkenkaefermonitoring/index_DE (21.07.2010)
- LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hg.) (2011a): Borkenkäfer.
<http://www.lwf.bayern.de/waldbewirtschaftung/waldschutz/schaedlinge-und-baumkrankheiten/verzeichnis/borkenkaefer/35337/> (03.11.2011).
- LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hg.) (2011b) : Nadelnutzholzborkenkäfer. Biologie und Verhaltensweise.

- <http://www.lwf.bayern.de/waldbewirtschaftung/waldschutz/downloads/borkenkaefer/nadelnutzholzborkenkaefer.pdf> (01.11.2011)
- LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hg.) (2011c): Allgemeines zum Borkenkäfer.
<http://www.lwf.bayern.de/waldbewirtschaftung/waldschutz/downloads/borkenkaefer/allgemeines-zum-borkenkaefer.pdf> (03.12.2011)
- LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hg.) (2011d): Borkenkäfermonitoring.
<http://www.lwf.bayern.de/waldbewirtschaftung/waldschutz/downloads/bayerisches-borkenkaefermonitoring-im-internet.pdf> (29.11.2011)
- Min, Seung-Ki/Andreas Hense (2005): Nachweis und Zuordnung von Klimaänderungssignalen im 20. Jahrhundert unter Berücksichtigung der Modellunsicherheiten. DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.): Klimastatusbericht 2005, 18–32.
http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/einzelne__berichte/download__ksb2005,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/download_ksb2005.pdf (01.06.2012)
- Munich Re (Münchner Rück) (Hg.) (2012): Klimawandel – Wissen umsetzen, Lösungen entwickeln.
<http://www.munichre.com/corporate-responsibility/de/strategy-challenges/challenges/climate-change/default.aspx> (17.05.2012)
- Nam, Bora (2012): Risikoabschätzungen im Rahmen des transdisziplinären Forschungsprojekts: Auswirkungen des Klimawandels auf potenziell pathogene Oomyceten und heimische Forstsysteme. Masterarbeit im Studiengang „Mensch und Umwelt“. Goethe-Universität Frankfurt am Main (unveröffentlicht)
- Oehlmann, Jörg/Ruth Müller/Anne Seeland/Agnes Sieratowicz/Simone Galluba/Matthias Oetken/Ulrike Schulte-Oehlmann (2010): Klimawandel und Schadstoffwirkung – Verändert sich die Ökotoxizität von Chemikalien unter zukünftigen Klimabedingungen? bfg (Bundesanstalt für Gewässerkunde): Risikobewertung stofflicher Belastungen 04/2010, 23–34.
http://www.bafg.de/nn_162342/DE/05__Wissenstransfer/04__Publikationen/03__BfG__Veranstaltungen/BfG-Veranstaltungen201004,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BfG-Veranstaltungen201004.pdf (21.06.2012)
- Pampus, Miriam (2012): Einschätzungen zu möglichen und bereits nachweisbaren Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Biodiversität in Hessen.
<http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim/endberichte/naturschutz.pdf> (04.06.2012)
- Petercord, Ralf (2009): Waldschutz und Klimawandel – „Wettlauf“ mit den Schädlingen? LWF Wissen 63, 61–69.
<http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-wissen/63-fichte-im-klimawandel/index.php> (17.09.2012)
- Profft, Ingolf/Ulf Baier/Michael Seiler (2008): Borkenkäfer als Vitalitätsindikator für einen standortgerechten Fichtenanbau. Forst und Holz 63, 2, 32–37.
http://www.waldundklima.net/klima/klima_docs/fuh_profft_etal_2008_01.pdf (17.09.2012)

- Reifferscheid, Georg (2010): Ökotoxikologische Risikobewertung im Rahmen der BfG-Aufgaben. bfg (Bundesanstalt für Gewässerkunde): Risikobewertung stofflicher Belastungen 04/2010, 10–22.
http://www.bafg.de/nn_162342/DE/05__Wissenstransfer/04__Publikationen/03__BfG__Veranstaltungen/BfG-Veranstaltungen201004,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BfG-Veranstaltungen201004.pdf (21.06.2012)
- Renn Ortwin/Florian Keil (2008): Systemische Risiken: Versuch einer Charakterisierung. GAIA 17/4: 355–361
- Scheer, Dirk/Stefan Gold/Christina Benighaus/Ludger Beninghaus/Julia Ortleb/Ortwin Renn (2010): Kommunikation von Risiko und Gefährdungspotential aus Sicht verschiedener Stakeholder. Abschlussbericht. BfR Wissenschaft.
http://www.bfr.bund.de/cm/350/kommunikation_von_risiko_und_gefaehrungspotenzial_aus_sicht_verschiedener_stakeholder.pdf (01.05.2012)
- Schmidt, Martin (2003): Hochwasser und Hochwasserschutz in der Historie und Umweltdiskussionen heute. In: Deutsche Wasserhistorische Gesellschaft e.V. (Hg.): Wasserhistorische Forschungen Schwerpunkt Antike, Band 2, 17–34
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hg.) (1999): Umwelt und Gesundheit. Risiken richtig einschätzen. Sondergutachten.
http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/1999_SG_UmweltundGesundheit.pdf?sessionid=E5D971B45DDAABF3A89AEE3DD2321FDB.1_cid137?__blob=publicationFile (01.05.2012)
- Suter, Marc (2009): Zusammenspiel multipler Stressoren. Eawag News 67 d, 19–21.
http://www.eawag.ch/medien/publ/eanews/news_67/en67d_suter.pdf (21.06.2012)
- Triebenbacher, Cornelia (2009): Das Borkenkäferjahr 2009 – so wechselhaft wie das Wetter. Regnerische Witterung bremst Borkenkäfer, erschwert aber auch ihre Bekämpfung. LWF aktuell 72, 18–21.
<http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-aktuell/72-waldschutz/das-borkenkaeferjahr-2009.pdf> (29.11.2011)
- Triebenbacher, Cornelia/Thomas Immler (2007): Aktuelle Borkenkäfersituation in Bayern. Forstschutz Aktuell 40, 5–7.
http://bfw.ac.at/400/pdf/fsaktuell_40.pdf#page=5 (29.11.2011)
- VSDW – Versicherungsstelle Deutscher Wald (Hg.) (2012): Ein starker Zusammenschluss zum Schutz Ihres Waldes.
http://www.vsdw.de/html/ueber_uns.html (31.05.2012)
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Hg.) (1998): Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umwelt Risiken. Jahresgutachten 1998.
http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg1998/wbgu_jg1998.pdf (01.05.2012)
- Wern, Stefan (2012): mdl. Mitteilung im Rahmen des BIK-F-Workshops „Neue Pflanzenkrankheiten als Risiko für den Wald: Oomycetenbefall in der Folge des Klimawandels“. Frankfurt am Main, 29.5. 2012