

Von *tipping points* zur gesellschaftlichen Transformation?

Ein (theoretisch-konzeptioneller) Gedankenspaaziergang

“Assuming that tipping points exist, it may be that they are part of the human world, something that people have always lived with.”

– Nuttal 2012, 102 –

von Franziska Allerberger und Johann Stötter

1. Einleitende Gedanken

Vor etwa 2,45 Milliarden Jahren führt ein plötzlicher Anstieg des Sauerstoffes in der Atmosphäre zu einer grundlegenden Änderung des Erdsystems (Sessions et al. 2009). Diese Great Oxidation markiert einen abrupten Übergang von einem ursprünglichen zu einem neuen Systemzustand, der, bis jetzt, irreversibel ist, da der Sauerstoffanteil im Laufe der Erdgeschichte nie wieder auf sein vorheriges Niveau gesunken ist (Holland 2006). Vor etwa 10000 Jahren kommt es im Zuge der Neolithischen Revolution zur Sesshaftwerdung des Menschen. Dieser Wandel und die damit verbundene immer stärker werdende Prägung der Natur durch den Menschen vollzieht sich jedoch nicht abrupt, sondern erfolgt in unterschiedlichen Räumen zu unterschiedlichen Zeiten. Vor etwa 200 Jahren leitet die Industrielle Revolution einen nicht umkehrbaren Prozess ein, der sich in einem globalen Umwelt- beziehungsweise Klimawandel manifestiert (Ehlers 2008). Dabei agiert der Mensch nicht nur als Verursacher, sondern ist vielmehr auch Betroffener dieser Entwicklung (APCC 2014), so dass Wilson (1993, 235) zu Recht die Frage stellt: „Is humanity suicidal?“ Es wird davon ausgegangen, dass der globale Umweltwandel zu starken, nichtlinearen Veränderungen im Erdsystem führen kann, die, bezogen auf eine menschliche Zeitskala, irreversibel sein können (Reid et al. 2010). Der Begriff



Franziska Allerberger beschäftigt sich im Rahmen ihrer Bachelorarbeit mit dem Gedanken von tipping points in unterschiedlichen Disziplinen. Die theoretischen, zum Teil sehr philosophischen Diskussionen rund um die Thematik und darüber hinaus mit dem Betreuer der Arbeit, Johann Stötter, werden nach wie vor geführt und gehen immer mehr auch in die Richtung gesellschaftlicher Transformationsprozesse.

tipping point (Kipppunkt) ist ein markantes Schlagwort, welches mit diesen Prozessen in Verbindung gebracht wird. So haben beispielsweise Lenton et al. (2008) potenzielle *tipping points* in Subsystemen (*tipping elements*) des Klimasystem identifiziert, durch deren Überschreitung ein Übergang in einen qualitativ anderen Systemzustand erfolgt. *Tipping points* gehen somit mit fundamentalen, disruptiven Veränderungen einher (Lenton et al. 2008; Nuttall 2012).

Der Gedanke von *tipping points* wurde ebenfalls im ersten österreichischen Sachstandsbericht aufgegriffen (APCC 2014) und seine Relevanz im März 2017 veröffentlichten Science Plan des Climate Change Center Austria (CCCA) zur strategischen Ausrichtung der Klimaforschung in Österreich erneut hervorgehoben (CCCA 2017). Somit spiegelt sich in der Debatte zu *tipping points* nicht nur die globale Dimension wider, sondern es wird explizit die Verbesserung des Prozessverständnisses von mit potenziellen *tipping points* einhergehenden Dynamiken auf einer regionalen und lokalen Skala in den Vordergrund gestellt. Allerdings wird der Begriff nicht nur im Zusammenhang mit dem Klimasystem, sondern auch in anderen Disziplinen und Kontexten verwendet (u.a. Schelling 1971; Rogers et al. 2005; Kazmerski 2006; Brook et al. 2013; Doyle et al. 2016). Die Bandbreite geht dabei über rein naturwissenschaftliche Arbeiten hinaus und reicht bis hin zu Ansätzen in den Gesellschaftswissenschaften und impliziert somit zum Teil völlig verschiedene Vorstellungen. Außerdem ist in den letzten Jahren ein geradezu inflationärer Gebrauch des Begriffes in wissenschaftlichen Publikationen zu verzeichnen und er wurde zu einem ‚Modewort in aller Munde‘ (Bhatanacharoen et al. o.J.). Dies hat jedoch zur Folge, dass dahinterstehende theoretisch-konzeptionelle Überlegungen immer mehr einem so genannten fuzzy concept entsprechen, welches sich unter anderem einer klaren Definition und Operationalisierung entzieht (Markusen 1999). Auch im Zuge öffentlicher Vortrags- und Diskussionsveranstaltungen werden Begriffe wie *tipping point* oder *point of no return*, dem subjektiven Eindruck nach vor allem als Metapher, sowohl seitens der Wissenschaft als auch Gesellschaft verwendet (Edenhofer & Kempfert 2016; Kromp-Kolb 2017; Guggenberger & Stötter 2017). Doch was genau wird damit zum Ausdruck gebracht? Welche Bilder oder Vorstellungen werden damit generiert und transportiert? Somit ist ein besseres Verständnis der expliziten und impliziten Annahmen, die *tipping points* zugrunde liegen, nicht nur im Sinne wissenschaftlicher Exaktheit relevant. Hervorzuheben ist ebenfalls die metaphorische Bedeutung unter anderem im Bereich der Klimawandelkommunikation (Russill & Nyssa 2009). Vor diesen Hintergründen werden im vorliegenden Beitrag sowohl die begrifflichen als auch thematischen Wurzeln sowie Entwicklungslinien der wissenschaftlichen Diskurse zu *tipping points* aufgezeigt und Möglichkeiten zur Differenzierung verschiedener Vorstellungen dargestellt. Davon ausgehend werden neben Herausforderungen und Limitationen des Konzeptes auch Zusammenhänge zu gesellschaftlichen Transformationsprozessen aufgezeigt. Die Ausführungen basieren dabei im Wesentlichen auf einer Literaturrecherche und Experteninterviews mit Wis-

senschaftlerInnen verschiedener Fachbereiche¹, welche im Zuge der Bachelorarbeit durchgeführt worden sind.

2. *Ein Blick auf grundlegende systemtheoretische Überlegungen und die Wurzeln der tipping point Diskussion*

Um die zugrundeliegenden Mechanismen von *tipping points* zu verstehen, eignet sich ein systemtheoretischer Zugang. Dabei wird ein System definiert als “[...] an interconnected set of elements that is coherently organized in a way that achieves something. [...] [A] **system** must consist of three kinds of things: *elements*, *interconnections*, and a *function or purpose*.” (Meadows 2008, 11; Hervorhebungen im Original). Die Interaktionen zwischen den Elementen weisen unterschiedliche Charakteristika auf, sodass Rückkopplungsmechanismen i) direkt oder indirekt (Klug & Lang 1983) und/ oder ii) positiv (selbstverstärkend) oder negativ (stabilisierend) sein können (Meadows 2008). Auch wenn wir Menschen zu linearem und nicht dynamischem Denken neigen (Ratter 2013), zeigen Grundüberlegungen in den Naturwissenschaften, insbesondere in der Mathematik und Physik, dass sich Systeme nichtlinear verhalten können. Diese bilden den Ausgangspunkt der *tipping point* Diskussion innerhalb dieser spezifischen wissenschaftlichen Community (I 2). So konnte der französische Mathematiker Henri Poincaré bereits Ende des 19. Jahrhunderts zeigen, dass kleine Veränderungen der Ausgangsbedingungen große Auswirkungen haben können (Liening 1999). Auch von Bertalanffy (1968) weist in seiner Allgemeinen Systemtheorie auf Unproportionalitäten hin: „[...] [A] small change [...] will cause a considerable change in the total system.“ Ähnlich argumentiert Ashby, welcher anhand seiner Stufentheorie diskontinuierliche Übergänge zwischen zwei Systemzuständen beschreibt (Ashby 1978). Basierend auf diesen Überlegungen erfolgte eine konkrete Fundierung auf einer theoretischen Ebene. Zum einen bestätigte Lorenz (1963) die Sensitivität gegenüber Ausgangsbedingungen im Zuge der Modellierung der Erdatmosphäre und begründete damit die Chaostheorie, welche unter dem Schlagwort ‚Schmetterlingseffekt‘ bekannt ist (Gleick 1990). Im Zentrum der von Thom (1975) und Zeeman (1977) entwickelten Katastrophentheorie stehen ebenfalls nichtlineare Dynamiken. Dabei wird angenommen, dass Diskontinuitäten nicht von den Zustandsvariablen eines Systems abhängig sind, sondern von wenigen externen Kontrollparametern determiniert werden. Bei der Berücksichtigung von nur vier Parametern ist es möglich, alle Diskontinuitäten auf sieben geometrische Grundmuster, so genannte Elementarkatastrophen, zurückzuführen (Saunders 1986). In beiden Theorien spielen Bifurkationen eine wesentliche Rolle. Diese können qualitativ als ‚Verzweigung‘ beschrieben werden (Müller 1996), wobei ein System nach Überschreiten eines Verzweigungspunkts (Bifurkationspunkt) in einen alternativen stabilen Zustand übergeht und es somit auch zu einer qualitativen Veränderung der Systemdy-

¹ Die Interviews sind im Text mit I 1, I 2, I 3, I 4 und I 5 gekennzeichnet. Für weitere Informationen siehe Anhang.

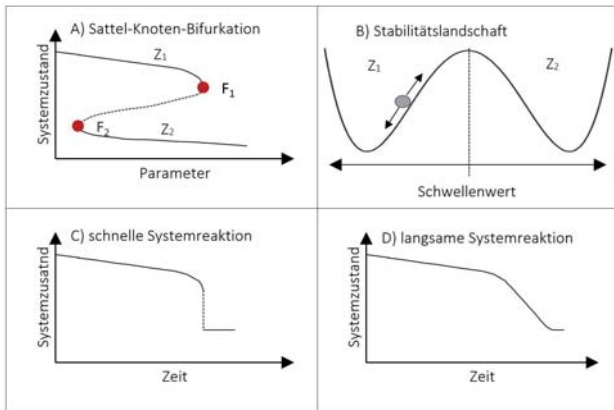


Abb. 1: A) Sattel-Knoten-Bifurkation (SKB); Z_1 und Z_2 : alternative stabile Systemzustände ($\hat{=}$ dynamische Regime), F_1 und F_2 : Bifurkationspunkte ($\hat{=}$ tipping point); B) Stabilitätslandschaft der Resilienz; C) schnelle Systemreaktion; D) langsame Systemreaktion.

Eigene Darstellung nach Scheffer et al. 2009 (A); Scheffer & Carpenter 2003, Walker et al. 2004, Walker & Salt 2006 (B) und Hughes et al. 2013b (C und D).

einen alternativen stabilen Zustand (Z_2) übergeht (Scheffer et al. 2009). Aufgrund der spezifischen Struktur einer SKB können die Übergänge in hohem Maße irreversibel sein, da sie eine Hysterese aufweisen. Um in den Ausgangszustand zurückzukehren ist es somit nicht ausreichend, den Wert des Parameters um den Betrag zu verändern, der zum Überschreiten des Bifurkationspunkts geführt hat. Vielmehr muss die Variable so weit verringert werden, bis F_2 erreicht ist (Scheffer et al. 2001).

Das Resilienz Konzept ist, zumindest im Bereich der Ökologie, eng mit der SKB verbunden, da die Stabilitätslandschaft der Resilienz einen ‚Schnitt‘ durch diese darstellt (Scheffer & Carpenter 2003; Abbildung 1 B)). Der Resilienz Gedanke geht auf den Ökologen Holling (1973) zurück, der bereits Anfang der 1970er Jahre zeigen konnte, dass ökologische Systeme mehrere stabile Zustände einnehmen können. Er definiert Resilienz (ecological resilience) dabei über die Fähigkeit eines ökologischen Systems, Störungen abzufangen und so seine wesentlichen Strukturen und Funktionen aufrecht zu erhalten (Holling 1973). In den späten 1970er Jahren konnte May (1977) schließlich zeigen, dass die Reaktionsweise von Ökosystemen der Struktur einer solchen SKB entsprechen kann. Übersteigen Störungen ein bestimmtes Ausmaß und wird ein Schwellenwert ($\hat{=}$ tipping point) überschritten, kann die Resilienz eines Systems nicht mehr aufrechterhalten werden und das System wechselt in einen alternativen stabilen Systemzustand (Walker & Salt 2006). Allerdings sei darauf verwiesen, dass das

namik kommt (Strogatz 1994). Hinsichtlich *tipping points* sind insbesondere so genannte Sattel-Knoten-Bifurkationen (SKB) von Bedeutung. Wie in Abbildung 1 (A) dargestellt, ist ein wesentliches Charakteristikum einer solchen Bifurkation, dass sich der Zustand eines Systems im Zuge der Veränderung einer Kontrollvariablen beziehungsweise eines Parameters bis kurz vor Erreichen des ersten Bifurkationspunkts zunächst nur geringfügig ändert. Jedoch führen bereits kleine zusätzliche Veränderungen des Parameters in der unmittelbaren Umgebung von F_1 dazu, dass das System in

Resilienz Konzept im Laufe der Zeit eine starke Diversifizierung in den verschiedenen Disziplinen erfahren hat (Davidson et al. 2016) und Zusammenhänge von *tipping points* und Resilienz weiter zu diskutieren sind. Eine zunehmende Diskussion des Systemgedankens, von Nichtlinearitäten sowie Schwellenwerten hält in den 1970er Jahren nicht nur Einzug in der Ökologie, sondern auch in der Geographie. Zu nennen sind an dieser Stelle Publikationen im Bereich der Geomorphologie von Chorley & Kennedy (1972, *Physical geography: A systems approach*) und Schumm (1979, *Geomorphic Thresholds: The Concept and Its Applications*). Phillips (2003) führt Nichtlinearitäten in geomorphologischen Systemen schließlich unter anderem auf Schwellenwerte (*thresholds*) und Hysterese zurück.

Von zentraler Bedeutung sind nichtlineare Dynamiken auch in der Komplexitätstheorie, deren Ursprünge in der Chaostheorie zu finden sind (Egner 2008). Komplexität hat dabei verschiedene Bedeutungen und in Definitionen liegt der Schwerpunkt entweder mehr auf der Struktur oder dem Verhalten von Systemen (Ratter 2012). Weisen Systeme ein komplexes Verhalten auf, resultiert die Komplexität aus den Interaktionen und Prozessen zwischen den Elementen. Dagegen bezieht sich Strukturkomplexität ausschließlich auf die Anzahl der Systemelemente, so dass die Komplexität mit der Anzahl der Elemente zunimmt (Schamanek 1998). Ein wesentliches Merkmal von komplexen Systemen ist zudem Emergenz (Ratter & Treiling 2008). Der Begriff leitet sich vom lateinischen Wort *emergere* (auftauchen, erscheinen) ab und bedeutet, dass neue Systemstrukturen und -eigenschaften durch Interaktionen entstehen können (Ratter & Treiling 2008). Solche emergente Muster sind die Folge von Selbstorganisation, die nicht unter dem Einfluss von externen Faktoren stehen (Ratter 2012).

Alle aufgeführten Theorien implizieren, dass i) Kausalität, das heißt eindeutige Ursache-Wirkungs-Beziehungen, in Frage zu stellen ist (Ratter & Treiling 2008) und ii) komplexe Systeme mit Unsicherheiten und Überraschungen verbunden sind (Ratter 2013).

Auch wenn die erläuterten Hintergründe in der Diskussion um *tipping points* vor allem auf die Naturwissenschaften zurückgehen, wurde der Begriff an sich in den Gesellschaftswissenschaften eingeführt. Zunächst verwendete der Soziologe Grodzin (1957) den Ausdruck *tip-point* bezüglich Segregationsprozessen von schwarzer und weißer Bevölkerung in den USA. Grodzin beschreibt damit einen kritischen Anteil neuer, nicht weißer BewohnerInnen in einem Viertel, der erreicht werden muss, damit es zu einem Wegzug der ursprünglichen weißen Bevölkerung kommt. In Bezugnahme auf diese Arbeit verwendet Schelling (1971) schließlich den Begriff *tipping point*. Die bereits angesprochene enorme Popularität des Begriffs ist vor allem auf das Buch des Journalisten Malcom Gladwell „The tipping point: How little things can make a big difference“ (Gladwell 2000) zurückzuführen. Diese Publikation fand dabei nicht nur in der breiten Öffentlichkeit Widerhall, sondern wurde auch seitens der Wissenschaft in unterschiedlichen Bereichen aufgegriffen (u. a. Scheffer et al. 2003; Rogers et al. 2005; Kazmerski 2006; Jog et al. 2007; Lenton et al. 2008; Doyle et al. 2016).

In den letzten Jahren wurde darüber hinaus eine kontroverse Diskussion über *tip-ping points* auf globaler Ebene geführt. Bei diesen so genannten *planetary scale tipping points* steht nicht nur die generelle Frage im Zentrum, ob ein ‚Kippen‘ einer globalen Dimension möglich ist, sondern vor allem auch, welche Mechanismen und Treiber hierfür relevant sein könnten (Barnosky et al. 2012; Brook et al. 2013; Hughes et al. 2013a; Lenton & Williams 2013). Im Kontext des globalen Klimawandels sind neben potenziellen Kippelementen des Klimasystems (Lenton et al. 2008) zudem deren Interaktionen von Interesse (Kriegler et al. 2009). Aufbauend auf diesen Erkenntnissen zeigen Cai et al. (2016), dass diese wechselseitigen Beziehungen der Kippelemente und somit auch die Reihenfolge des ‚Kippens‘ Anreize zur Mitigation von Treibhausgasen und das Setzen entsprechender Maßnahmen beeinflussen. Abbildung 2 fasst die eben dargestellten Aspekte zusammen.

Theoretische Einbettung	Chaos-, Katastrophen- und Komplexitätstheorie; Resilienzdiskurs u. a. Nichtlinearitäten, Pfadabhängigkeit, Sensitivität gegenüber Ausgangsbedingungen, alternative stabile Systemzustände
Begrifflicher Ursprung	Gesellschaftswissenschaften / Soziologie Tip-point/tipping point im Zusammenhang mit Segregationsprozessen
Popularisierung	u. a. Journalismus Gladwell (2000): <i>The tipping point: How little things can make a big difference</i>
Diskussion der globalen Skala	Kippelemente (<i>tipping elements</i>) des Klimasystems u. a. Interaktionen, Auswirkungen der ‚Kippreihenfolge‘ auf Mitigationsmaßnahmen planetary scale tipping points u. a. Mechanismen und Treiber

Abb. 2: Überblick über grundlegende Aspekte der Diskussion um *tipping points*. Eigene Darstellung

3. *Tipping point ist nicht gleich tipping point – Möglichkeiten der Differenzierung*

Basierend auf diesen Überlegungen werden im Folgenden Möglichkeiten aufgezeigt, wie verschiedene Vorstellungen zu *tipping points* hinsichtlich unterschiedlicher Kontexte differenziert werden können. Dies wird ergänzt durch mögliche Abgrenzungen zu verwandten Begriffen wie *threshold*, *point of no return* oder *turning point*.

Tipping points und Bifurkationen

Bifurkationen werden in Zusammenhang mit *tipping points* sowohl in naturwissenschaftlichen als auch gesellschaftswissenschaftlichen Kontexten verwendet, wobei Unterschiede in den Verständnissen zugrunde liegen. In den Naturwissenschaften werden SKB als „[...] the strongest example or the flagship, of a tipping point [...]“ (I 1) bezeichnet. Starke selbstverstärkende Rückkopplungsmechanismen sind eine wesentliche Voraussetzung, um einen Kippprozess dieser Art zu verursachen (Hughes et al. 2013a; I 1, I 2). In einem erweiterten Verständnis werden *tipping points* nicht ausschließlich auf SKB begrenzt, sondern es schließt auch nichtlineare Dynamiken ein,

die nicht eine solche Struktur aufweisen (Lenton et al. 2008; Brook et al. 2013; Hughes et al. 2013a). Darüber hinaus definieren beispielsweise Lindsay & Zhang (2005) und Holland et al. (2006) *tipping points* zwar über nichtlineare Dynamiken, ohne jedoch einen expliziten Zusammenhang zu Bifurkationen herzustellen. Toms & Villard (2015) argumentieren sogar, dass *tipping points* auch im Zuge von (nahezu) linearem Systemverhalten auftreten können. Ausschlaggebend für die Charakterisierung sind folglich nicht die Dynamiken per se, sondern dramatische, fundamentale Veränderungen in den Eigenschaften eines Systems (Toms & Villard 2015).

Die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse hinsichtlich der SKB haben Scheffer et al. (2003) auf gesellschaftliche Dynamiken übertragen. So argumentieren die AutorInnen, dass innerhalb der Gesellschaft die Schwere eines Umweltproblems lange Zeit unterschätzt wird und somit erforderliche Handlungen ausbleiben. Erst wenn ein kritischer Punkt (Bifurkationspunkt $F_1 = \hat{\text{ tipping point}}$; Abbildung 1 A) erreicht wird, beginnt die Gesellschaft aktiv zu agieren. Darüber hinaus werden Bifurkationen im Zusammenhang mit *tipping points* bezüglich der Diffusion von Innovationen und Meinungen verwendet. Folgt man dem Verständnis von Rogers et al. (2005), markieren Bifurkationspunkte jene ‚Punkte‘ an denen man sich für oder gegen eine bestimmte Innovation/Meinung entscheidet. Geht man über diese individuelle Ebene hinaus, stellen Bifurkationspunkte auch *tipping points* dar. Diese entsprechen dem mathematisch definierten Wendepunkt auf einer sigmoidal geformten Diffusionskurve (Rogers et al. 2005).

Tipping points und Irreversibilität

Eine wesentliche Frage im Kontext von *tipping points* ist, ob die durch ein ‚Kippen‘ verursachte Veränderung irreversibel ist oder nicht. Ausgehend von einer systemtheoretischen Perspektive ist Irreversibilität eine inhärente Systemeigenschaft (I 5). So ist zeitliche Asymmetrie ein Charakteristikum komplexer Systeme. Das heißt, dass im Zuge von Veränderungen, ausgelöst durch einen irreversiblen Prozess, Ausgangsbedingungen in keinem Fall wieder erreicht werden können (Prigogine 1973). Irreversibilität ist damit eine notwendige Bedingung für einen *tipping point*. Dennoch muss zwischen verschiedenen Graden der Irreversibilität, die auch in Verbindung mit der menschlichen Handlungsfähigkeit stehen, unterschieden werden. So können einerseits Menschen die Möglichkeit und Fähigkeiten haben, Veränderungen umzukehren. Dies impliziert neben einer starken Situationsabhängigkeit auch ein ‚schwächeres‘ Verständnis von Irreversibilität, da nicht zwingend genau die gleichen Ausgangsbedingungen erreicht werden müssen (I 3). Zudem wird Irreversibilität entweder als Folge von Hysterese betrachtet (I 1, I 2) oder zwischen Irreversibilität und Hysterese unterschieden (I 4). Ist letzteres der Fall, ist Irreversibilität eine notwendige Bedingung für *tipping points*, Hysterese an sich jedoch nicht ausreichend (I 4).

Tipping points und die Geschwindigkeit des Überganges

Auch wenn der Begriff *tipping point* die Vorstellung eines schnellen oder abrupten Überganges impliziert, ist ein Wechsel des Systemzustands nicht ausschließlich mit einer solchen starken Veränderung in zeitlicher Sicht verbunden. Ein erster, banaler Aspekt ist die Wahl des Beobachterstandpunkts. Viele Übergänge in ‚natürlichen‘ Systemen erscheinen aus einer menschlichen Sicht in keinem Fall abrupt (Hughes et al. 2013b). Geht man aber von den eigentlichen Systemdynamiken aus, ergibt sich ein ganz anderes Bild (I 1). Wird letzteres getan, ist zu differenzieren, ob Zustände eines Systems (Veränderung eines Parameters) oder Trajektorien (Veränderung mit der Zeit) verglichen werden. In Abbildung 1 A) handelt es sich um eine SKB, bei welcher der Systemzustand in Abhängigkeit eines Parameters dargestellt ist. Bei dieser Betrachtungsweise ist ein ‚Kippen‘ immer ‚abrupt‘, da bereits durch kleine Veränderungen des Parameters in der unmittelbaren Nähe eines Bifurkationspunkts ein Übergang in einen anderen Zustand erfolgt. In diesem Fall bezieht sich ‚abrupt‘ somit vielmehr auf die Unproportionalität von Veränderung und den Auswirkungen. Allerdings bleibt dabei die zeitliche Komponente, das heißt die Reaktionszeit des Systems, unberücksichtigt. Reagiert ein System schnell auf Veränderungen, so ist auch der Übergang in einen anderen Zustand abrupt, bei graduellem Zustandswechsel ist die Reaktionszeit entsprechend langsam (Abbildung 1 C) und D)). Deshalb können auch Übergänge mit der Struktur einer SKB graduell erfolgen (Hughes et al. 2013b).

Tipping point vs. threshold vs. point of no return vs. turning point

„[...] [W]e confuse a lot of the times when we use this term tipping point. Is it to mean the threshold or to mean the bifurcation point?“ (I 1). Diese Aussage macht deutlich, dass nicht immer eine klare Abgrenzung verwandter Begrifflichkeiten erfolgt. Dies ist einerseits auf die gestiegene Popularität des Begriffes *tipping point* zurückzuführen: Aus *threshold* in früheren Publikationen wird *tipping point* in späteren Veröffentlichungen, obwohl es sich um den gleichen Sachverhalt handelt (siehe z. B. Scheffer et al. 2001 und Scheffer et al. 2009). Andererseits kann neben diesem begrifflichen Wandel zwischen *tipping point* und *threshold* beziehungsweise *point of no return* hinsichtlich konkreter Aspekte unterschieden werden (Tabelle 1). Erstens kann *threshold* ausschließlich einen kritischen Parameterwert repräsentieren und ist somit nicht auf SKB begrenzt. In dieser Logik wird *tipping point* nur für die beiden Bifurkationspunkte einer SKB verwendet (I 1). Geht man jedoch zweitens von den Systemdynamiken aus, erfolgt die Abgrenzung hinsichtlich der Qualität der Zustandsveränderung: *Tipping points* beziehen sich auf SKB, wohingegen *thresholds* für Übergänge verwendet werden, denen eine andere Dynamik zugrunde liegt (I 2). Dies steht drittens in engem Zusammenhang mit einer Differenzierung bezogen auf eine zeitliche Skala. *Thresholds* werden dabei auf dem Pfad hin zu einem *tipping point* überschritten und fungieren als Trigger, ohne jedoch selbst zu einem ‚Kippen‘

zu führen. Somit gehen *thresholds* („schwächeren“) und *tipping points* („stärkeren“) mit Zustandsveränderungen eines Systems einher, die jeweils eine andere Qualität aufweisen (I 2, I 3). Folgt man viertens der Argumentation von Granovetter (1978) und Doyle et al. (2016), entspricht ein *threshold* einer kritischen Masse oder einem Anteil auf der Mikroskala (Individuum), *tipping points* demzufolge auf der Makroskala (Gruppe) (Rogers et al. 2005). Allerdings ist anzumerken, dass Schelling (1971) *tipping points* zur Beschreibung von Prozessen auf der Mikroskala verwendet.

tipping point im Vergleich zu ...	Möglichkeit der Differenzierung	Bedeutung
1) <i>threshold</i>	a) <i>tipping point</i> = <i>threshold</i>	Begrifflicher Wandel
	b) Qualität der Zustandsveränderung	Falls SKB: <i>tipping point</i> (stärkere Veränderung) Falls andere Dynamik: <i>threshold</i> (schwächere Veränderung)
	c) zeitliche Skala	<i>threshold</i> (s) als Trigger für das Überschreiten eines <i>tipping points</i> → <i>threshold</i> zeitlich früher
	d) Mikro- / Makroskala	Falls Mikroskala (Individuum): <i>threshold</i> Falls Makroskala (Gruppe): <i>tipping point</i>
2) <i>point of no return</i>	a) <i>tipping point</i> = <i>point of no return</i>	Trifft zu falls Veränderung durch das Überschreiten eines <i>tipping points</i> irreversibel ist
	b) zeitliche Skala	<i>point of no return</i> als Auslöser eines unaufhaltbaren Kippprozesses (Überschreiten <i>tipping point</i>) → <i>point of no return</i> zeitlich früher

Tab. 1: Der Begriff tipping point im Vergleich zu threshold und point of no return. Eigene Darstellung

Eine Differenzierung zwischen *tipping point* und *point of no return* lässt sich im Zusammenhang mit Irreversibilität vornehmen (Tabelle 1). Zum einen kann es sich bei einem *point of no return* um eine spezifische *tipping point* Vorstellung handeln, bei welcher der Übergang in einen anderen Zustand irreversibel ist (Liu et al. 2015; I 4). Zum anderen aber wird ein *point of no return* als Auslöser für einen unaufhaltbaren ‚Kippprozess‘ betrachtet, welcher letztendlich zum Überschreiten eines *tipping points* führt (I 3). Somit spiegelt sich auch hier ein Qualitätsunterschied bezüglich der ausgelösten Systemveränderung wider.

Ein etwas anderes Bild ist beim Begriff *turning point* erkennbar. So wird er nicht nur als Synonym für *tipping point* verwendet (Lindsay & Zhang 2005), sondern im Sinne von ‚Umkehr‘ auch als genaues Gegenteil davon angesehen (Downing & Ballantyne o.J.; I 4; I 5).

4. Herausforderungen in der Diskussion zu *tipping points*: Schlaglichter und Denkanstöße

Neben dieser (begrifflichen) ‚fuzziness‘ in der *tipping point* Diskussion, stellen sich eine Vielzahl weiterer Herausforderungen. In den Naturwissenschaften hat sich vor allem in den letzten Jahren ein Forschungsfeld aufgetan, bei welchem es speziell um die Vorhersage und somit der Entwicklung von Frühwarnindikatoren (*early warning signals*, EWS) von *tipping points* geht (u. a. van Nes & Scheffer 2007; Dakos et al. 2008; Scheffer et al. 2009; Dakos et al. 2010; Dakos et al. 2012; Lenton et al. 2012; Veraart et al. 2012; Dakos & Bascompte 2014). Zu diesen generischen Indikatoren zählen zum Beispiel steigende Varianz und Autokorrelation (siehe Scheffer et al. 2009; Dakos et al. 2012 für eine Übersicht und geeignete Methoden), welche allerdings bisher ‚nur‘ für *ex post* ‚Vorhersagen‘ verwendet worden sind (Dakos et al. 2008). Folglich bestehen nach wie vor große Unsicherheiten hinsichtlich des Auftretens beziehungsweise Überschreitens zukünftiger *tipping points* (Dakos et al. 2014). Dies lässt sich unter anderem auf das Fehlen von absoluten Werten der Frühwarnindikatoren zurückführen, die für eine Vorhersage verwendet werden könnten (Scheffer et al. 2012). Somit ist es nicht klar, wann dementsprechende Warnungen ausgesprochen werden sollten (I 1, I 2). Einen weiteren Aspekt hebt Nuttall (2012, 99) hervor: „If no one knows what it is going to be like beyond the tipping point, then how can we prepare for it?“ Dabei geht es nicht nur um eine reine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit solchen Unsicherheiten, sondern auch darum, wie diese gegenüber politischen EntscheidungsträgerInnen oder der breiten Öffentlichkeit kommuniziert werden sollten (Ballard & Lewandowsky 2015). Darüber hinaus haben *tipping points* beispielsweise im Zusammenhang mit dem Klimawandel eine starke negative Konnotation, welche Emotionen wie Angst hervorrufen können (Moser & Dilling 2011). Dabei wirkt Angst nicht zwingend als ‚Treiber zum Handeln‘, denn „[an] excessive focus on negative impacts (i. e. ‚disaster diagnosis‘) without effective emphasis on solutions (a feasible ‚treatment‘) typically results in turning audiences off rather than engaging them more actively“ (Moser & Dilling 2011, 165). Im Hinblick auf gesellschaftliche Transformationsprozesse hin zur Nachhaltigkeit (u. a. WBGU 2011) werden *tipping points* auch im positiven Sinne versucht zu konzeptualisieren (Brohmann & David 2015). Jedoch weisen die AutorInnen darauf hin, dass die Gestaltung von Transformationsprozessen im Sinne des *tipping point* Konzeptes mit Schwierigkeiten behaftet ist und die Möglichkeiten eines darauf basierenden Gestaltens transformativer Veränderungen kritisch zu hinterfragen sind. So ist es unter anderem nicht möglich festzustellen, inwieweit Maßnahmen zum Erfolg einer Transformation beigetragen haben oder zum richtigen Zeitpunkt initiiert worden sind, da ein ‚Kippen‘ erst im Nachhinein als solches bestimmt werden kann. Zudem ist das ‚einfache‘ Übertragen von naturwissenschaftlichen Konzepten auf die Funktionsweise von gesellschaftlichen Systemen, wie bei Scheffer et al. (2003), fraglich (Nuttall 2012; Bentley et al. 2014). Hierbei besteht beispielsweise die Befürchtung einer zu positivistischen und zu verein-

fachten Herangehensweise: „[...] [I]s it feasible and indeed valid to apply the term to the physical world and the human world in the same way? Indeed, can we even talk about a social system in the same way that we talk of ecological systems?“ (Nuttall 2012, 100). Eine in diesem Sinne neutralere Rahmung in der Diskussion um eine gesellschaftliche Transformation findet sich bei Abson et al. (2017). Ausgangspunkt ist nicht die *tipping point* Debatte an sich, sondern die systemtheoretischen Überlegungen von Meadows (2008) hinsichtlich der Veränderlichkeit von Systemen durch *leverage points*. Für eine Transformation erachten Abson et al. (2017) sogenannte *deep leverage points* als entscheidend. Im Gegensatz dazu sind *shallow leverage points* zwar einfacher zu initiieren, jedoch bergen diese nicht das Potenzial einer transformativen (das heißt fundamentalen) Veränderung. Zu den *deep leverage points* zählen neben gesellschaftlichen Strukturen und Institutionen auch Wertesysteme, Ziele und Weltbilder der jeweiligen Akteure (siehe auch O'Brian & Sygna 2013). Die AutorInnen identifizieren dabei drei Bereiche, die für zukünftige Forschungsagenden besonders relevant sind: i) die Rolle von Institutionen, auch bezüglich dem Versagen, systemischen Wandel zu gestalten: *re-structure*, ii) die Verbindung der Menschen zur Natur: *re-connect* und iii) die Art, wie Wissen produziert und in Transformationsprozessen verwendet wird: *re-think*.

5. Literatur

- Abson, D.J. et al. (2017): Leverage points for sustainability transformation. In: *AMBIO* 46(1), 30–39.
- APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Wien, Österreich: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- Ballard, T. & Lewandowsky, S. (2015): When, not if: the inescapability of an uncertain climate future. In: *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 373(2055).
- Barnosky, A.D., Hadly, E.A., Bascompte, J., Berlow, E.L., Brown, J.H., Fortelius, M., Getz, W.M., Harte, J., Hastings, A., Marquet, P.A., Martinez, N.D., Mooers, A., Roopnarine, P., Vermeij, G., Williams, J.W., Gillespie, R., Kitzes, J., Marshall, C., Matzke, N., Mindell, D.P., Revilla, E. & Smith, A.B. (2012): Approaching a state shift in Earth's biosphere. In: *Nature* 486(7401), 52–58.
- Bentley, R.A., Maddison, E.J., Ranner, P.H., Bissell, J., Caiado, C.C.S., Bhatanacharoen, P., Clark, T., Botha, M., Akinbami, F., Hollow, M., Michie, R., Huntley, B., Curtis, S.E. & Garnett, P. (2014): Social tipping points and Earth systems dynamics. In: *Frontiers in Environmental Science*, 2, 1–7.
- Bhatanacharoen, P., Greatbatch, D. & Clark, T. (o.J.): The Tipping Point of the 'Tipping Point' Metaphor: Agency and Processes for Waves of Change.
- Brohmann, B. & David, M. (2015): Tipping Point Konzeptionen im Kontext eines nachhaltigen gesellschaftlichen Wandels. Dessau-Roßlau.
- Brook, B.W., Ellis, E.C., Perring, M.P., Mackay, A.W. & Blomqvist, L. (2013): Does the terrestrial biosphere have planetary tipping points? In: *Trends in ecology & evolution* 28(7), 396–401.
- Cai, Y., Lenton, T.M. & Lontzek, T.S. (2016): Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO2 emission reduction. In: *Nature Climate Change* 6(5), 520–525.
- CCCA (2017): Science Plan. Zur strategischen Entwicklung der Klimaforschung in Österreich.
- Chorley, R.J. & Kennedy, B.A. (1972): Physical geography. A systems approach. In: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 98(418), 867.
- Dakos, V. & Bascompte, J. (2014): Critical slowing down as early warning for the onset of collapse in mutualistic communities. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111(49), 17546–17551.
- Dakos, V., Scheffer, M., van Nes, E.H., Brovkin, V., Petoukhov, V. & Held, H. (2008): Slowing down as an early warning signal for abrupt climate change. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(38), 14308–14312.

- Dakos, V., van Nes, E.H., Donangelo, R., Fort, H. & Scheffer, M. (2010): Spatial correlation as leading indicator of catastrophic shifts. In: *Theoretical Ecology* 3(3), 163–174.
- Dakos, V., Carpenter, S.R., Brock, W.A., Ellison, A.M., Guttal, V., Ives, A.R., Kéfi, S., Livina, V., Seekell, D.A., van Nes, E.H. & Scheffer, M. (2012): Methods for detecting early warnings of critical transitions in time series illustrated using simulated ecological data. In: *PloS one* 7(7), e41010.
- Dakos, V., Carpenter, S.R., van Nes, E.H. & Scheffer, M. (2014): Resilience indicators. Prospects and limitations for early warnings of regime shifts. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370(1659), 20130263.
- Davidson, J.L., Jacobson, C., Lyth, A., Dedekorkut-Howes, A., Baldwin, C.L., Ellison, J.C., Holbrook, N.J., Howes, M.J., Serrao-Neumann, S., Singh-Peterson, L. & Smith, T.F. (2016): Interrogating resilience. Toward a typology to improve its operationalization. In: *Ecology and Society* 21(2).
- Downing, P. & Ballantyne, J. (o.J.): Tipping Point or Turning Point? *Social Marketing and Climate Change*.
- Doyle, C., Sreenivasan, S., Szymanski, B.K. & Korniss, G. (2016): Social consensus and tipping points with opinion inertia. In: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 443, 316–323.
- Edenhofer, O. & Kempfert, C. (2016): Was kostet die Energiewende? Berlin. – Leibniz debattiert.
- Egner, H. (2008): Komplexität. Zwischen Emergenz und Reduktion. In: Egner, H., Ratter, B.M. und Dikau, R. (Hrsg.): *Umwelt als System – System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*. München: Oekom, 39–54.
- Ehlers, E. (2008): *Das Anthropozän. Die Erde im Zeitalter des Menschen*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Gladwell, M. (2000): *The tipping point. How little things can make a big difference*. Boston: Little, Brown.
- Gleick, J. (1990): *Chaos – die Ordnung des Universums. Vorstoß in die Grenzbereiche der modernen Physik*. München: Knaur.
- Granovetter, M. (1978): Threshold models of collective behavior. In: *The American Journal of Sociology* 83(6), 1420–1443.
- Grodzins, M. (1957): Metropolitan segregation. In: *Scientific American* 197(4), 33–41.
- Guggenberger, W. & Stötter, J. (2017): Wer im Glashaus sitzt, sollte kein Öl ins Feuer gießen. Innsbruck. – Wissensdurst Festival.
- Holland, H.D. (2006): The oxygenation of the atmosphere and oceans. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 361(1470), 903–915.
- Holland, M.M., Bitz, C.M. & Tremblay, B. (2006): Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice. In: *Geophysical Research Letters* 33(23).
- Holling, C.S. (1973): Resilience and Stability of Ecological Systems. In: *Annual Review of Ecology & Systematics* 4, 1–23.
- Hughes, T.P., Carpenter, S., Rockström, J., Scheffer, M. & Walker, B. (2013a): Multiscale regime shifts and planetary boundaries. In: *Trends in ecology & evolution* 28(7), 389–395.
- Hughes, T.P., Linares, C., Dakos, V., van de Leemput, Ingrid A & van Nes, E.H.. (2013b): Living dangerously on borrowed time during slow, unrecognized regime shifts. In: *Trends in ecology & evolution* 28(3), 149–155.
- Jog, M.S., Aur, D. und Connolly, C.I. (2007): Is there a tipping point in neuronal ensembles during learning? In: *Neuroscience letters* 412(1), 39–44.
- Kazmerski, L.L. (2006): Solar photovoltaics R&D at the tipping point. A 2005 technology overview. In: *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 150(2–3), 105–135.
- Klug, H. & Lang, R. (1983): *Einführung in die Geosystemlehre*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. – Einführungen.
- Kriegler, E., Hall, J.W., Held, H., Dawson, R. & Schellnhuber, H.J. (2009): Imprecise probability assessment of tipping points in the climate system. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106(13), 5041–5046.
- Kromp-Kolb, H. (2017): Impulsvortrag zur Konferenz: Auftaktveranstaltung der Tiroler k.i.d.Z.21-Austria Schulen. Innsbruck.
- Lenton, T.M. & Williams, H.T.P. (2013): On the origin of planetary-scale tipping points. In: *Trends in ecology & evolution* 28(7), 380–382.
- Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S. & Schellnhuber, H.J. (2008): Tipping elements in the Earth's climate system. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(6), 1786–1793.

- Lenton, T.M., Livina, V.N., Dakos, V., van Nes, E.H. & Scheffer, M. (2012): Early warning of climate tipping points from critical slowing down: comparing methods to improve robustness. In: *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 370(1962), 1185–1204.
- Liening, A. (1999): Komplexe Systeme zwischen Ordnung und Chaos. Neuere Entwicklungen in der Theorie nicht-linearer dynamischer Systeme und die Bedeutung für die Wirtschaftswissenschaft und ihre Didaktik. Münster: LIT.
- Lindsay, R.W. & Zhang, J. (2005): The Thinning of Arctic Sea Ice, 1988–2003. Have We Passed a Tipping Point? In: *Journal of Climate* 18(22), 4879–4894.
- Liu, J., Kattel, G., Arp, H.P.H. & Yang, H. (2015): Towards threshold-based management of fresh-water ecosystems in the context of climate change. In: *Ecological Modelling* 318, 265–274.
- Lorenz, E.N. (1963): Deterministic nonperiodic flow. In: *Journal of the Atmospheric Sciences* 20, 130–141.
- Markusen, A. (1999): Fuzzy Concepts, Scanty Evidence, Policy Distance. The Case for Rigour and Policy Relevance in Critical Regional Studies. In: *Regional Studies* 33(9), 869–884.
- May, R.M. (1977): Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable states. In: *Nature* 269(5628), 471–477.
- Meadows, D.H. (2008): *Thinking in Systems. A Primer*. White River Junction: Chelsea Green Publishing.
- Moser, S.C. & Dilling, L. (2011): Communicating Climate Change: Closing the Science-Action Gap. In: Dryzek, J.S., Norgaard, R.B. und Schlosberg, D. (Hrsg.): *Oxford handbook of climate change and society*. Oxford: Oxford University Press, 161–176.
- Müller, K. (1996): *Allgemeine Systemtheorie*. Opladen: Westdeutscher Verlag. – Studien zur Sozialwissenschaft 164.
- Nuttall, M. (2012): Tipping points and the human world: living with change and thinking about the future. In: *AMBIO* 41(1), 96–105.
- O’Brian, K. & Sygna, L. (2013): Responding to Climate Change: The Three Spheres of Transformation. In: *Proceedings of Transformation in a Changing Climate*, 16–23.
- Phillips, J.D. (2003): Sources of nonlinearity and complexity in geomorphic systems. In: *Progress in Physical Geography* 27(1), 1–23.
- Prigogine, I. (1973): Irreversibility as a Symmetry-breaking Process. In: *Nature* 246(5428), 67–71.
- Ratter, B.M. (2012): Complexity and emergence: key concepts in non-linear dynamic systems. In: Glaser, M. et al. (Hrsg.): *Human-Nature Interactions in the Anthropocene. Potential of Social-Ecological System Analysis*. – Routledge Studies in Environment, Culture and Science. New York, London: Routledge.
- Ratter, B.M. (2013): Surprise and Uncertainty—Framing Regional Geohazards in the Theory of Complexity. In: *Humanities* 2(1), 1–19.
- Ratter, B.M. & Treiling, T. (2008): Komplexität – oder was bedeuten die Pfeile zwischen den Kästchen? In: Egner, H., Ratter, B.M. und Dikau, R. (Hrsg.): *Umwelt als System – System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*. München: Oekom, 23–38.
- Reid, W.V., Chen, D., Goldfarb, L., Hackmann, H., Lee, Y.T., Mokhele, K., Ostrom, E., Raivio, K., Rockstrom, J., Schellnhuber, H.J. & Whyte, A. (2010): Environment and development. Earth system science for global sustainability: grand challenges. In: *Science* 330(6006), 916–917.
- Rogers, E.M., Medina, U.E., Rivera, M.A. & Wiley, C.J. (2005): Complex adaptive systems and the diffusion of innovations. In: *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal* 10(3), 1–26.
- Russill, C. & Nyssa, Z. (2009): The tipping point trend in climate change communication. In: *Global Environmental Change* 19(3), 336–344.
- Saunders, P.T. (1986): *Katastrophentheorie. Eine Einführung für Naturwissenschaftler*. Braunschweig: Vieweg.
- Schamaneck, A. (1998): *Umwelt Management Austria: Einführung in Komplexe Dynamische Systeme*. www.ams.smc.univie.ac.at/~schamane/kds/ov.htm.
- Scheffer, M. & Carpenter, S.R. (2003): Catastrophic regime shifts in ecosystems. Linking theory to observation. In: *Trends in ecology & evolution* 18(12), 648–656.
- Scheffer, M., Westley, F. & Brock, W. (2003): Slow Response of Societies to New Problems. Causes and Costs. In: *Ecosystems* 6(5), 493–502.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. & Walker, B. (2001): Catastrophic shifts in ecosystems. In: *Nature* 413(6856), 591–596.
- Scheffer, M., Bascompte, J., Brock, W.A., Brovkin, V., Carpenter, S.R., Dakos, V., Held, H., van Nes, E.H., Rietkerk, M. & Sugihara, G. (2009): Early-warning signals for critical transitions. In: *Nature* 461(7260), 53–59.

- Scheffer, M., Carpenter, S.R., Lenton, T.M., Bascompte, J., Brock, W., Dakos, V., van de Koppel, J., van de Leemput, Ingrid A., Levin, S.A., van Nes, E.H., Pascual, M. & Vandermeer, J. (2012): Anticipating critical transitions. In: *Science* 338(6105), 344–348.
- Schelling, T.C. (1971): Dynamic models of segregation. In: *The Journal of Mathematical Sociology* 1(2), 143–186.
- Schumm, S.A. (1979): Geomorphic Thresholds. The Concept and Its Applications. In: *Transactions of the Institute of British Geographers* 4(4), 485.
- Sessions, A.L., Doughty, D.M., Welander, P.V., Summons, R.E. & Newman, D.K. (2009): The continuing puzzle of the great oxidation event. In: *Current biology* 19(14), R567–74.
- Strogatz, S.H. (1994): *Nonlinear Dynamics and Chaos. With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co.
- Thom, R. (1975): *Structural Stability and Morphogenesis. An Outline of a General Theory of Models*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co. – Advanced Book Program.
- Toms, J.D. & Villard, M.-A. (2015): Threshold detection. Matching statistical methodology to ecological questions and conservation planning objectives. In: *Avian Conservation and Ecology* 10(1).
- van Nes, E.H. & Scheffer, M. (2007): Slow recovery from perturbations as a generic indicator of a nearby catastrophic shift. In: *The American Naturalist* 169(6), 738–747.
- Veraart, A.J. et al. (2012): Recovery rates reflect distance to a tipping point in a living system. In: *Nature* 481(7381), 357–359.
- von Bertalanffy, L. (1968): *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.
- Walker, B. & Salt, D. (2006): *Resilience Thinking. Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Washington: Island Press.
- WBGU (2011): *Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation*. Berlin. – Hauptgutachten des WBGU.
- Wilson, E.O. (1993): Is humanity suicidal? In: *Biosystems* 31(2–3), 235–242.
- Zeeman, E.C. (1977): *Catastrophe Theory. Selected Papers, 1972–1977*. Reading, Mass. et al.: Addison-Wesley Pub. Co. – Advanced Book Program.

6. Anhang

Interviews:

- I 1 Dr. Vasilis Dakos (Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (ISEM)); zum Zeitpunkt des Interviews: ETH Zürich): Fachbereich/Schwerpunkte: Naturwissenschaften/Ökologie/*tipping points* in ökologischen Netzwerken und Frühwarnindikatoren (EWS). (13.05.2016).
- I 2 Dr. Jonathan F Donges (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)): Fachbereich/Schwerpunkte: Naturwissenschaften/Physik/nichtlineare Dynamiken, Zeitreihenanalyse, sozial-ökologische Systeme, Planetary Boundaries. (08.03.2016).
- I 3 Dr. Matthias Garschagen (Institute for Environment and Human Security, United Nations University (UNU), Bonn): Fachbereich/Schwerpunkte: Gesellschaftswissenschaften/Humangeographie/Klimawandelanpassung, Vulnerabilitäts- und Risikoforschung. (23.03.2016).
- I 4 Prof. Dr. Jakob Rhyner (Vice-Rector, United Nations University (UNU), Bonn): Fachbereich/Schwerpunkte: Naturwissenschaften/Theoretische Physik/Forschung und Management zu/von Umweltrisiken. (22.03.2016).
- I 5 Prof. Dr. Kirsten von Elverfeldt (Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Klagenfurt): Fachbereich/Schwerpunkte: Naturwissenschaften/Physische Geographie/Wissenschafts- und Systemtheorie(n). (18.03.2016).