

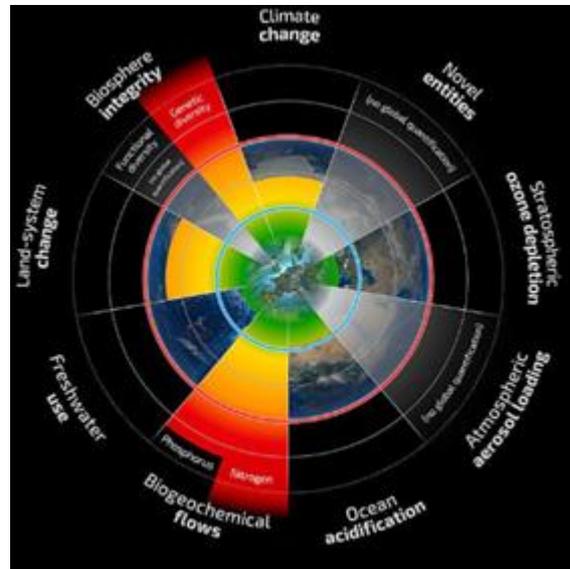
Dieser Text gehört zur Diskussion Rahmen der Ausarbeitung des INFO 2015<sup>1</sup> der Zukunftswerkstatt Jena und bezieht sich direkt auf die Ausschreibung zur **Frage der Komplexität**<sup>2</sup>.

Dieser Text<sup>3</sup> ist Bestandteil der Ausarbeitung zum Thema „Anthropozän und Planetare Grenzen“ (einem Anwendungsgebiet der Komplexitätstheorie)

---

## Das Konzept „Planetare Grenzen“

Viele der bereits 1972 im Bericht an den Club of Rome diskutierten „Grenzen des Wachstums“<sup>4</sup> sind bereits überschritten. Es geht dabei nicht nur um den Verbrauch vorhandener Ressourcen, sondern vor allem die Grenzen der Selbstregulierung vieler Stoff-, Energie- und ökologischer systemischer Netzwerke wurden überschritten.



Um dies darzustellen, wurde von Rockström und anderen vom *Stockholm Resilience Center* (Rockström et al. 2009a<sup>5</sup>, Rockström et al. 2009b<sup>6</sup>, Rockström et al. 2009c<sup>7</sup>, Rockström 2015<sup>8</sup>, siehe auch Steffen et al. 2004<sup>9</sup>) das Konzept der „Planetaren Grenzen“ entwickelt. Diese Grenzen kennzeichnen das Maß, an dem die Belastbarkeit der Regulationsprozesse, die sogenannte „Resilienz“, überschritten wird.

„Durch das Überschreiten dieser Grenzen erhöht sich das Risiko, dass der Einfluss des Menschen die Erde weniger lebensfreundlich macht, dass Bemühungen zur Armutsbekämpfung beeinträchtigt werden, und dass sich das menschliche Wohlergehen in vielen Teilen der Welt verschlechtern könnte, auch in reichen.“ (Will Steffen 2015<sup>10</sup>)

Das Leben auf der Erde beruht auf sehr komplexen Regulationsmechanismen, bei denen sich physikalische, chemische und biologische Prozesse so regulieren, dass hochgeordnete Strukturen existieren und sich entwickeln können. Dies wurde bereits etwas mystisch als Eigenschaft einer „lebendigen Erde“ („Gaia“<sup>11</sup>) diskutiert. Dabei bilden sich Gleichgewichtszustände aus, bei denen Stoff-, Energie- und Entropieflüsse so ausgeglichen sind, dass der je-

---

<sup>1</sup> [http://wiki.zw-jena.de/index.php?title=INFO\\_2015](http://wiki.zw-jena.de/index.php?title=INFO_2015)

<sup>2</sup> <http://wiki.zw-jena.de/index.php?title=Ausschreibungen>

<sup>3</sup> [http://wiki.zw-jena.de/images/e/ed/Kritische\\_Schwellwerte\\_1.pdf](http://wiki.zw-jena.de/images/e/ed/Kritische_Schwellwerte_1.pdf)

<sup>4</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Die\\_Grenzen\\_des\\_Wachstums](http://de.wikipedia.org/wiki/Die_Grenzen_des_Wachstums)

<sup>5</sup> (abgerufen 2015-05-18)

<sup>6</sup> <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

<sup>7</sup> <http://www.ecologyandsociety.org/3180/appendix1.pdf>

<sup>8</sup> [http://www.greattransition.org/images/GTI\\_publications/Rockstrom-Bounding\\_the\\_Planetary\\_Future.pdf](http://www.greattransition.org/images/GTI_publications/Rockstrom-Bounding_the_Planetary_Future.pdf)

<sup>9</sup> [http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007761/IGBP\\_ExecSummary\\_eng.pdf](http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007761/IGBP_ExecSummary_eng.pdf)

<sup>10</sup> <https://www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen/vier-von-neun-planetaren-grenzen201d-bereits-ueberschritten>

<sup>11</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Gaia-Hypothese>

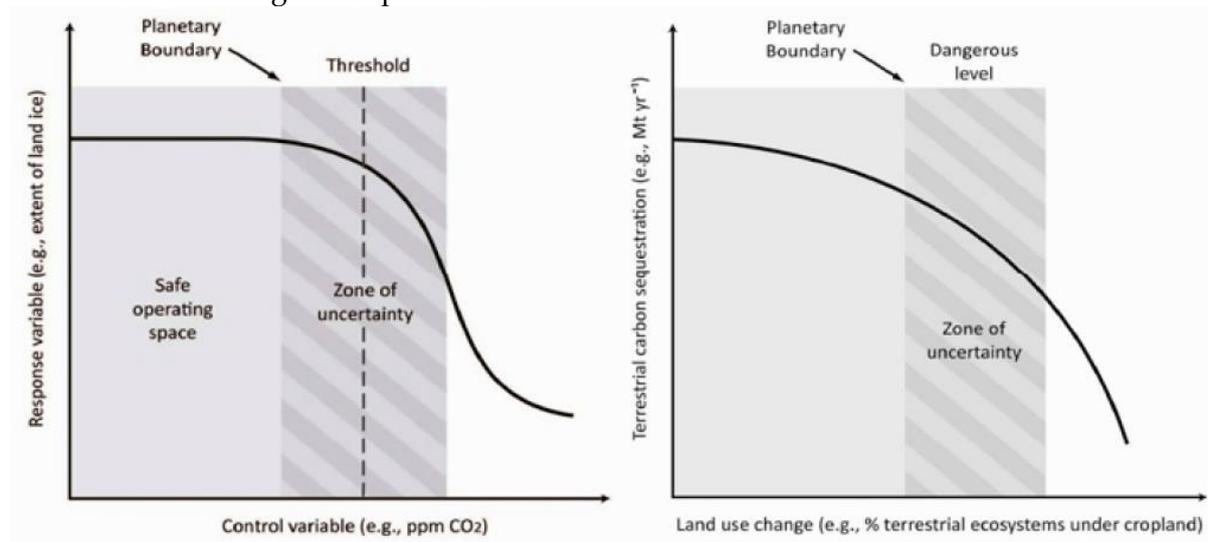
weilige komplexe Zustand über sehr lange Zeiträume hinweg aufrecht erhalten wird. (vgl. Steffen et al. 2004<sup>12</sup>) Diese Stabilität ist aber sehr fragil.

Derartige Systeme haben die Eigenschaft, dass geringe Veränderungen (z.B. die Entnahme von Ressourcen oder das Einleiten von Abfällen) lange Zeit auch nur geringe Folgen haben, aber an bestimmten Schwellwerten plötzlich zusammenbrechen können. Das System „kippt“ dann in ein anderes Prozessverhalten, das sich vom vorigen radikal unterscheiden kann. (Scheffer et al 2009<sup>13</sup>)

Für viele Systeme können diese Kippunkte auch quantitativ bestimmt werden, und im Konzept „**Planetare Grenzen**“ werden die Bereiche, innerhalb derer die Parameter liegen, die dem Kippunkt sehr nahe sind, als kritische Bereiche bezeichnet.

## Umkippprozesse nach dem Erreichen von Schwellwerten

Für zwei Prozesse sind im Folgenden solche Zusammenbruchs- bzw. Umkippprozesse gezeigt. Auf der x-Achse befindet sich die Kontrollvariable (z.B. der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Atmosphäre oder die veränderte Landnutzung), auf der y-Achse die Folge (z.B. die Menge des Landeises oder die irdische Kohlenstoffbindung) (aus Rockström 2009b<sup>14</sup>). Es ist zu sehen, dass innerhalb der Unsicherheitszone, in der Nähe des Schwellwerts das Systemverhalten sich mehr oder weniger abrupt ändert.

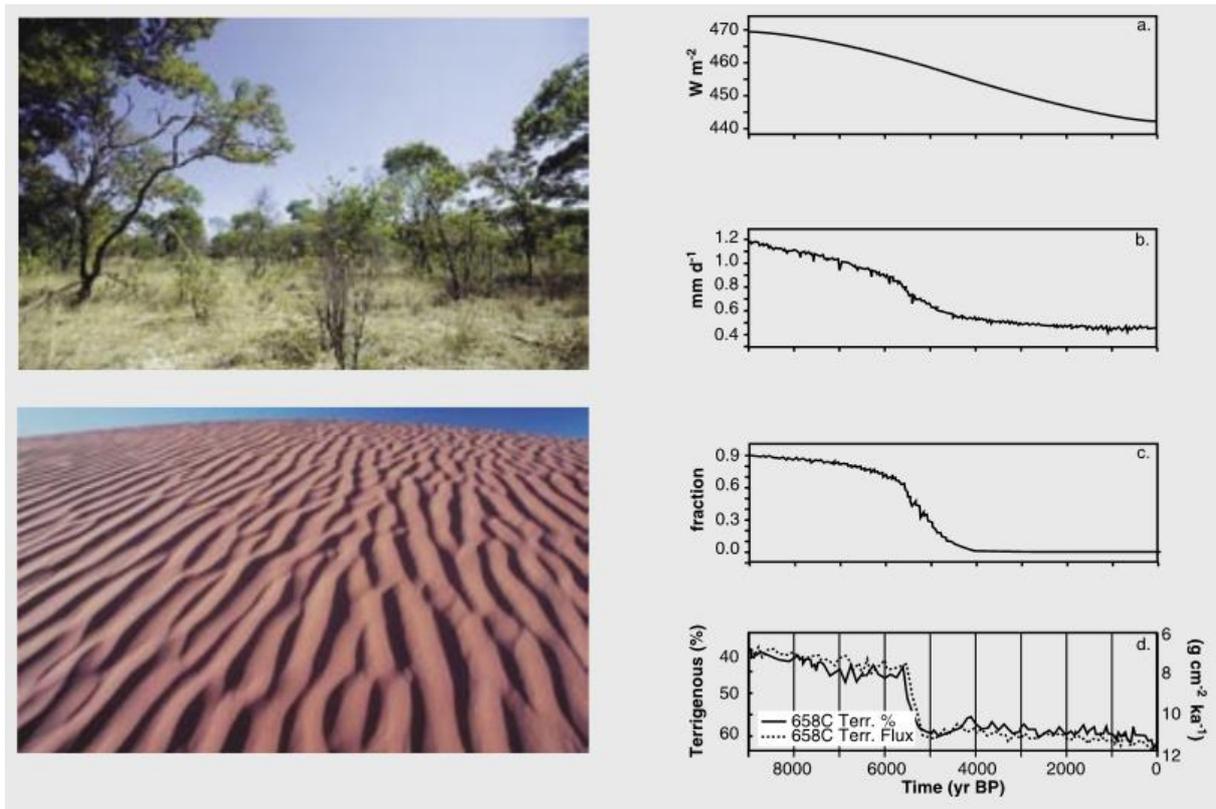


<sup>12</sup> [http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007761/IGBP\\_ExecSummary\\_eng.pdf](http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007761/IGBP_ExecSummary_eng.pdf)

<sup>13</sup> <http://www.uvm.edu/~pdodds/files/papers/others/2009/scheffer2009a.pdf>

<sup>14</sup> <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/ES-2009-3180.pdf>

Als Beispiel kann der Beginn der aktuellen Trockenzeit in der Sahel-Wüste vor ca. 5500 Jahren diskutiert werden (aus Steffen 2004: 13<sup>15</sup>, deMenocal et al. 2000<sup>16</sup>):



Eine Veränderung der Sonneneinstrahlung durch eine leichte Änderung der Erdbahn (Diagramm a) führt zu einem trockenerem Klima (Diagramm b). Die Monsunregen hängen zwar von der Lage der Erdbahn ab, aber sie führen nur zu fast kontinuierlichen Veränderungen. Die daraufhin sinkende Vegetation zeigt schon eine Beschleunigung des Abbaus während des gesamten Prozesses. Noch sprunghafter – nämlich innerhalb von 4 Jahrhunderten – steigt der Anteil offenen Bodens ohne Pflanzenbedeckung, der sich in gesteigerten Sedimentierungsraten im Ozean neben dieser Zone in Mauretanien äußert (Diagramm d).

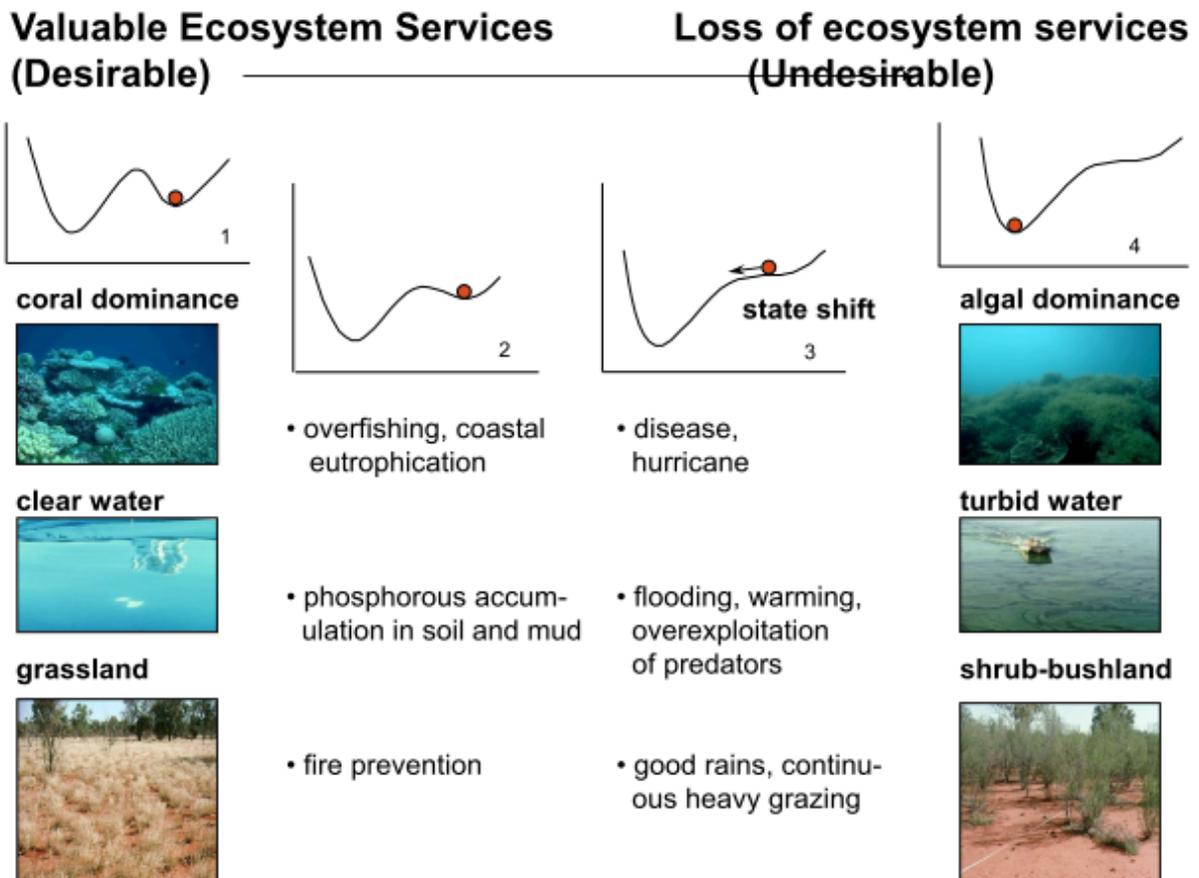
Ein solcher abrupter Wandel beim Erreichen eines Kippunktes kann simuliert werden, wenn Wechselbeziehungen zwischen Ozean, Atmosphäre und Vegetation betrachtet werden, die von einer relativ kontinuierlichen Veränderung einer Variable, nämlich der Sonneneinstrahlung, beeinflusst werden.

„Die abrupte klimatische Reaktion auf eine kontinuierliche Strahlungsänderung beruht auf positiven Rückkopplungen zwischen Veränderungen der subtropischen Vegetation, der Albedo und der Niederschläge.“ (deMenocal et al. 2000)

<sup>15</sup> [http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007761/IGBP\\_ExecSummary\\_eng.pdf](http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007761/IGBP_ExecSummary_eng.pdf)

<sup>16</sup> [http://www.ldeo.columbia.edu/~peter/site/Papers\\_files/deMenocal.etal.2000.pdf](http://www.ldeo.columbia.edu/~peter/site/Papers_files/deMenocal.etal.2000.pdf)

Das Kippverhalten kann man sich auch anders vorstellen (Bild aus Rockström 2012<sup>17</sup>):



Dabei werden zweidimensionale Schnitte in eine Potentialfläche gelegt und der der jeweilige Systemzustand ist durch die rote Kugel verkörpert. Die eben beschriebenen rückkoppelnden Potentialflächen haben die Eigenschaft, dass sich der Systemzustand durch mehr oder weniger stabile Bereiche bewegen kann. Im ersten Bild auf der linken Seite befindet sich das System in einem von zwei möglichen stabilen Zuständen (die Kugel ruht im rechten Potentialtopf). Wenn sie ein Stück weiter bewegt wird, verändert sich auch die Potentialfläche (wegen den Rückkopplungseffekten), neben dem bisher stabilen „Tal“ bildet sich ein weiteres, noch tieferes Tal... bis die Kugel plötzlich in dieses Tal, d.h. den anderen Zustand hineinrollt und dort eine neue stabile Position einnimmt.

Dies geschieht nach und nach bereits jetzt für viele Ökosysteme. Für den gesamten Planeten ist zu erwarten, dass es auch für die Menge solcher umgekippten Ökosysteme einen Schwellwert gibt, ab dem das gesamte irdische biosphärische System umkippen könnte. In der folgenden Abbildung (aus Barnowsky et al. 2012<sup>18</sup>) wird noch einmal auf eine andere Weise dargestellt:

<sup>17</sup> <http://www.arctic-council.org/arr/wp-content/uploads/2012/11/Keynote-1-Rockstr%C3%B6m.pdf>

<sup>18</sup> [digital.csic.es/bitstream/10261/55208/1/nature11018.doc](http://digital.csic.es/bitstream/10261/55208/1/nature11018.doc)

