

SYSTEMTHEORIE DER NACHHALTIGKEIT

AutorInnen: Thomas Höflehner, Magdalena Gschaider, Martin Kubanek
E-Mail-Adresse: thomas.hoeflehner@uni-graz.at, magdalena.gschaider@uni-graz.at,
martin.kubanek@uni-graz.at
Institution: Institut für Geographie und Raumforschung
Karl-Franzens-Universität Graz
Heinrichstraße 36
A-8010 Graz
Datum: Juni 2013

1. Grundlagen der Nachhaltigkeit

Die berühmteste und am weitesten verbreitete Definition von Nachhaltigkeit ist jene aus dem Brundtland-Report von 1987. In diesem wurde festgehalten, dass „*Nachhaltig eine Entwicklung ist, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.*“ (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013). Ausgehend von dieser Definition haben sich im Laufe der Jahre viele weitere Definitionen und Konzepte entwickelt.

In der Regel geht man von 3 Dimensionen oder Säulen der Nachhaltigkeit aus, von denen jede andere Ansprüche an eine nachhaltige Entwicklung stellt. Es handelt sich dabei um:

- **Ökologische Nachhaltigkeit:** es soll kein Raubbau an der Natur erfolgen und nur so viel an Ressourcen entnommen werden, wie sich regenerieren kann.
- **Soziale Nachhaltigkeit:** Ein Staat oder eine Gesellschaft sollte so organisiert sein, dass sich die sozialen Spannungen in Grenzen halten und Konflikte nicht eskalieren, sondern auf friedlichem und zivilem Wege ausgetragen werden können.
- **Ökonomische Nachhaltigkeit:** Eine Gesellschaft sollte wirtschaftlich nicht über ihre Verhältnisse leben, da dies zwangsläufig zu Einbußen der nachkommenden Generationen führen würde. Allgemein gilt eine Wirtschaftsweise dann als nachhaltig, wenn sie dauerhaft betrieben werden kann.

Zusätzlich kann man noch zwischen starker und schwacher Nachhaltigkeit unterscheiden. Schwache Nachhaltigkeit beschreibt Handlungsweisen, bei denen davon ausgegangen wird, dass natürliche Ressourcen durch Human- und Sachkapital ersetzt werden können. Ein Abbau an natürlichen Ressourcen kann somit noch als nachhaltig bezeichnet werden, wenn im sozialen oder ökonomischen Bereich das Kapital gesteigert wird. Bei starker Nachhaltigkeit wird die ökologische Dimension über die anderen Dimensionen gestellt, weil sie die Grundlage für die eingebetteten Subsysteme bildet. Im Gegensatz zur schwachen Nachhaltigkeit können bei starker Nachhaltigkeit natürliche Ressourcen nicht durch Human- oder Sachkapital substituiert werden. (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013)

Abb. 1 veranschaulicht das Konzept der starken Nachhaltigkeit.



Abbildung 1: Drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (verändert nach Chapin et. al., 2009)

Um nachhaltig handeln zu können, müssen die ökonomische, soziale und ökologische Dimension immer als Gesamtsystem betrachtet werden. Aufgrund der vielfältigen Interaktionen und Rückkopplungen kann dieses Mensch-Umwelt-System auch als „komplex-adaptives System“ beschrieben werden.

2. Komplex-Adaptive Systeme

Systeme werden als komplex-adaptiv bezeichnet, wenn sie aus mehreren zusammenhängenden und miteinander interagierenden Elementen bestehen und die Fähigkeit besitzen, aus Erfahrung zu lernen. Zu den wichtigsten Eigenschaften von komplex-adaptiven Systemen zählen Rückkopplungen, Selbstorganisation und Emergenz.

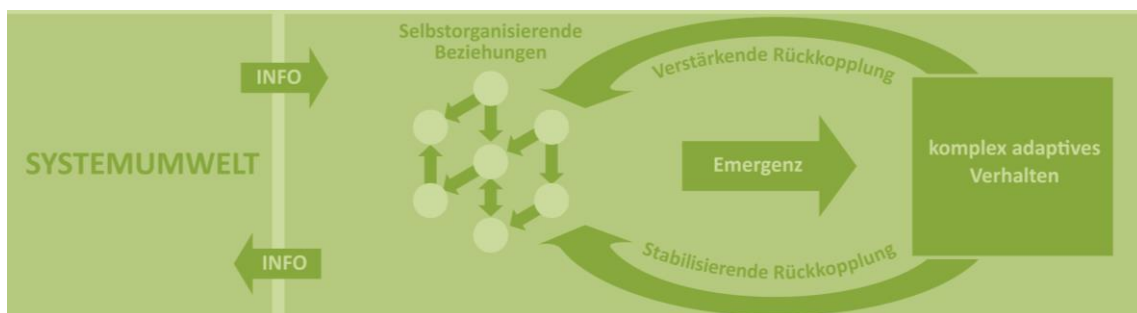


Abbildung 2: Komplex adaptive Systeme (verändert nach Andrus, 2005)

Unter Emergenz versteht man die spontane Herausbildung von neuen Eigenschaften oder Strukturen eines Systems infolge des Zusammenspiels seiner Elemente. Dabei lassen sich die emergenten Eigenschaften des Systems nicht – oder jedenfalls nicht offensichtlich – auf Eigenschaften der Elemente zurückführen, die diese isoliert aufweisen. Bei Rückkopplungen wird zwischen stabilisierenden und verstärkenden unterschieden. Stabilisierende Rückkopplungen helfen dem System, seinen Zustand zu erhalten, während verstärkende Rückkopplungen eher dazu führen, dass ein System seinen Zustand ändern wird. (Walker und Salt, 2006, S. 164)

Ein Beispiel: Auch Regionen können als komplex-adaptive Systeme betrachtet werden. Aufgrund der komplexen Interaktionen zwischen sozio-ökonomischen und ökologischen Systemen entstehen je nach Nutzungsintensität unterschiedliche Kulturgradienten der Regionen: natürliche und naturnahe, agrarisch-forstliche sowie städtisch-industrielle und technisch-infrastrukturelle Systeme.



Weitere Beispiele wären: Aktienmärkte, soziale Insekten (z.B. Bienen) und Ameisenkolonien, Gruppen in sozialen Systemen (z.B. politische Parteien), Unternehmen für Produktion und Dienstleistung, Internet und Cyberspace, Stromnetz, Mobilfunknetz, Vogelschwärme, ...

3. Adaptionenzyklen

Laut Holling (2001) durchlaufen alle komplex-adaptiven Systeme im Zuge ihrer Entwicklung vier Phasen: Wachstumsphase, Erhaltungsphase, Zerstörungsphase und Erneuerungsphase. Diese müssen jedoch nicht zwingend in dieser Reihenfolge ablaufen.



Abbildung 3: Modell des Adaptionenzyklus mit den vier Phasen (verändert nach Holling, 2001)

Im Folgenden werden die 4 Phasen des Adaptionenzyklus kurz erklärt. Diese Ausführungen stützen sich im Wesentlichen auf Holling (2001):

- **Wachstumsphase** (r-Phase): In dieser Phase befindet sich das System in raschem Wachstum. r ist dabei die maximale Wachstumsrate in den Wachstumsmodellen.
- **Erhaltungsphase** (K-Phase): Der Übergang zwischen r- und K-Phase ist durch inkrementelle Veränderungen gekennzeichnet. In der Erhaltungsphase werden Ressourcen aufgebaut und Energie gespeichert. Die Interaktionen und Verbindungen der Systemelemente nehmen zu.
- **Zerstörungsphase** (Ω -Phase): Der Übergang zwischen K- und Ω -Phase passiert meistens blitzartig und unvorhergesehen, ausgelöst durch ein Ereignis. Die zuvor angesammelten Ressourcen und Energie werden freigesetzt und die Verbindungen zwischen den Systemelementen lösen sich. Das System wird zerstört.
- **Erneuerungsphase** (α -Phase): Nach der Zerstörung des Systems stehen alle Möglichkeiten offen und es kommt zu einer schnellen Phase der Neuorganisation und Entwicklung.

Es gibt drei wichtige Eigenschaften, die den Adaptionenzyklus eines Systems beeinflussen (Holling und Gunderson, 2002)

- **Potenzial:** bezeichnet die Auswahl an Möglichkeiten für ein System und beinhaltet das Ansammeln von Ressourcen, Wissen und Innovationen.
- **Verbundenheit:** beschreibt die Interaktionen und Organisation der einzelnen Systemelemente. Sie bestimmt, wie stark ein System von äußeren Änderungen beeinflusst wird.

- **Resilienz:** ist die Fähigkeit eines Systems, Störungen zu tolerieren und auszugleichen, ohne in einen anderen Zustand zu wechseln.

Ein Beispiel: Die Wachstumsphase einer Region kann durch starkes Wirtschaftswachstum, innovative Geschäftsideen oder neu gewählte Regierungen gekennzeichnet sein. In der Erhaltungsphase erfolgt eine zunehmende Speicherung der Ressourcen, eine verstärkte Kooperation der AkteurInnen sowie eine Steigerung der Effektivität innerhalb der Region. Externe oder interne Störungen, wie z.B. Naturkatastrophen oder Wirtschaftskrisen, können das vorhandene Netzwerk wieder zerstören. In der darauf folgenden, durch Unsicherheit geprägten Erneuerungsphase werden die bisher gebunden Potenziale wieder freigesetzt, wodurch wieder alle Optionen für neue Entwicklungen offen stehen.

4. Panarchie

Da Systeme nie ganz abgeschlossen sind, stehen sie in vielfältiger Verbindung zu anderen Systemen. Die Adaptionszyklen eines Systems finden daher auf verschiedenen hierarchischen Skalenebenen statt, die auf unterschiedliche Weise miteinander verbunden sind.



Abbildung 4: Die Skalenebenen der Panarchie und ihre Remember- und Revolt-Verbindungen (verändert nach Holling, 2001)

Laut Holling (2001) gibt es zwei wichtige Beziehungstypen:

- **Revolt:** ein kleinräumiger und schneller Zyklus befindet sich in der Zerstörungsphase und kann dadurch in einem übergeordneten langsameren Zyklus ebenfalls Veränderungen auslösen.
Ein Beispiel: Lokale AktivistInnen bewirken eine Veränderung der regionalen Organisationen und Institutionen.
- **Remember:** großräumige und langsamere Zyklen unterstützen untergeordnete Ebenen in der Erneuerungsphase.
Ein Beispiel: Die zuständige Landesregierung übernimmt interimistisch die Geschäfte einer zahlungsunfähigen Gemeinde.

Zur Veranschaulichung unterschiedlicher Rückkopplungen wird in der Systemtheorie häufig auf das Modell vom „Ball auf der Oberfläche“ zurückgegriffen.

5. Ball auf der Oberfläche

Das Modell vom „Ball auf der Oberfläche“ zeigt vereinfacht die Prozesse innerhalb des Systems. Dabei stellt die Position des Balles den Zustand eines Systems dar. Die Oberfläche zeigt die Gesamtheit der Funktionen im System sowie die bestehenden Rückkopplungsmechanismen. Abbildung 5 veranschaulicht das Modell. (Chapin et al., 2009)

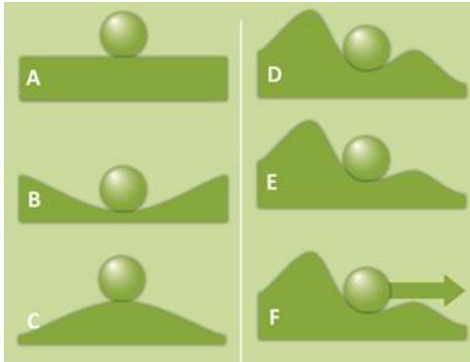


Abbildung 5: Ball auf der Oberfläche (verändert nach Chapin et al., 2009)

Im Folgenden werden die einzelnen Systemzustände beschrieben. Diese Ausführungen stützen sich auf Chapin et al. (2009):

- Abb. 5A) In einem chaotischen System ohne Rückkopplungen ist es nicht möglich vorherzusehen, wie sich der Systemzustand ändern wird.
- Abb. 5B) Ein System mit stabilisierenden Rückkopplungen ist weniger anfällig gegenüber Störungen. Der Ball hat die Tendenz, wieder in die ursprüngliche Position zurückzukehren.
- Abb. 5C) Ein System mit verstärkenden Rückkopplungen tendiert dazu instabil zu sein. Dies wird ersichtlich, da sich der Ball auf der nach oben gewölbten Fläche befindet.
- Abb. 5D) Die meisten Systeme besitzen verschiedene Systemzustände. Dies wird dargestellt durch unterschiedliche Vertiefungen und Aufwölbungen der Oberfläche.
- Abb. 5E) Meistens kehrt das System nach einer Störung in den ursprünglichen Systemzustand zurück. Ist die Störung jedoch zu groß, überschreitet der Ball eine kritische Schwelle und das System geht in einen alternativen Zustand über. Bei komplex-adaptiven Systemen kommt hinzu, dass die Oberfläche, durch ihre Fähigkeit zu lernen, ständigen Veränderungen unterliegt.
- Abb. 5F) Die Fähigkeit, Störungen zu tolerieren (Resilienz), ist vor allem davon abhängig, wie sich ein System an der kritischen Schwelle verhält. Das Verhalten im Störfall wird meist von vorangegangenen Änderungen beeinflusst, was dazu führt, dass sich ein System in eine bestimmte Richtung weiterentwickelt (Pfadabhängigkeit).

Ein Beispiel: In Regionen bestimmt die Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung die Höhe des Nährstoffeintrages in Oberflächengewässer. Ab einer gewissen Menge Düngemittel (Überschreiten der kritischen Schwelle) nimmt die Produktion von Algen überhand, das Wasser wird trüb, die Sauerstoffkonzentration nimmt rapide ab und das Gewässer kippt.



6. Pfadabhängigkeit

Pfadabhängigkeit ist ein Konzept, das vor allem in den Wirtschaftswissenschaften sehr gerne verwendet wird, um die Trägheit und Inflexibilität von Organisationen zu beschreiben. Auch im Bereich der Technologie und Technologieentwicklung wird dieses Konzept oft verwendet, um die Dominanz einer gewissen Technologie (z.B. QUERTZ/QUERTY-Tastatur) zu erklären. Vereinfacht lässt sich sagen, dass vorangegangene Entscheidungen Einfluss auf die zukünftigen Handlungsoptionen haben. Diese Entscheidungen können dann mehr oder weniger zufällig durch Rückkopplungen dazu führen, dass eine bestimmte Handlungsweise dominant wird. Die Pfadbildung wird in drei verschiedene Phasen eingeteilt (Sydow et al, 2009):

- **Präformationsphase:** Diese Phase ist durch eine Vielzahl an möglichen Handlungsalternativen gekennzeichnet. Durch stabilisierende Rückkopplungen wird die Auswahlmöglichkeit nach und nach eingeschränkt. Der sogenannte kritische Verzweigungspunkt markiert den Übergang zur nächsten Phase.
- **Formationsphase:** Es stehen nur mehr wenige Handlungsalternativen zur Auswahl und durch die selbstverstärkenden Prozesse bildet sich ein dominantes Handlungsmuster heraus. Mit dem Lock-In-Effekt werden dominante Entscheidungsmuster fixiert und geben die Richtung zukünftiger Entwicklungen vor. Dadurch ergeben sich schwer umkehrbare Entwicklungsprozesse. Der Lock-In-Effekt markiert den Übergang zur letzten Phase.
- **Lock-In Phase:** durch die vorangegangenen Entwicklungen wird eine Handlungsalternative als dominierendes Entscheidungsmuster fixiert. Sie gibt den Pfad für zukünftige Entwicklungen vor.

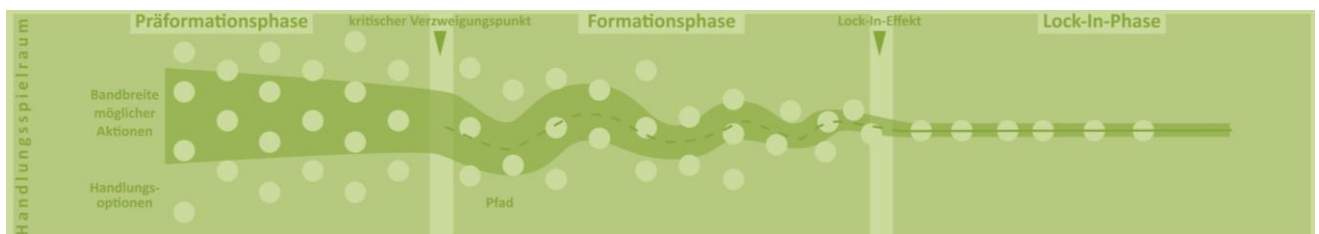


Abbildung 6: Phasen einer pfadabhängigen Entwicklung (verändert nach Sydow et. al., 2009)

Die Entwicklung von Pfaden geschieht nicht immer nur zufällig. Durch die bewusste Gestaltung solcher Entwicklungspfade können neue Rahmenbedingungen für die Umsetzung von erfolgreichen Nachhaltigkeitsstrategien geschaffen werden.

7. Zusammenfassung

Nachhaltiges Handeln setzt eine gesamtheitliche Betrachtungsweise von sozial-ökologischen Systemen voraus. Da lebende Systeme unterschiedliche Zyklen durchlaufen, braucht es ein dynamisches Weltbild, das auch skalenübergreifende Beziehungsgeflechte berücksichtigt. Durch die komplexen internen Beziehungen eines Systems entstehen bei bewussten oder unbewussten Eingriffen vielfältige Folgewirkungen. Durch Rückkopplungen kommt es zur Herausbildung von spezifischen Handlungsoptionen, welche die Richtung zukünftiger Entwicklungen vorgeben.



Dies bedeutet aber auch, dass durch wohldurchdachtes Eingreifen Prozesse auf nachhaltigere Pfade umgelenkt werden können.

8. Quellen

Andrus, D.C. (2005): Complex adaptive system. Wikimedia Commons.
<http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Complex-adaptive-system.jpg>

Aachener Stiftung Kathy Beys (2013) Lexikon der Nachhaltigkeit
http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_563.htm, Zugriff am 15.06.2013

Chapin, F.S.III, Folke, C. und G.P. Kofinas (2009): A Framework for Understanding Change. In: Chapin, F.S.III, Folke, C. und G.P. Kofinas (Hrsg.): Principles of Ecosystem Stewardship. Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World. Springer Verlag, New York, S.3-28.

Holling C.S. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. In: Ecosystems Vol.4, 390-405.

Holling und Gunderson (2002): Resilience and Adaptive Cycles. In: Gunderson, L.H. und Holling C.S. (Hrsg.): Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems. Island Press, Washington, S.25-62

Sydow, J., Schreyögg, G. und J. Koch (2009): Organizational Path Dependence: Opening the Black Box. In: Academy of Management Review, Vol.34 (4), S.689-709.

Walker, B., Salt, D. (2006): Resilience thinking.sustaining ecosystems and people in a changing world. Island Press, Washington D.C, 1. Auflage, 174 S.