

Dieser Artikel ist Teil des  
**Open Source Jahrbuchs 2007**

Bernd Lutterbeck  
Matthias Bärwolff  
Robert A. Gehring (Hrsg.)

**Open Source**  
Jahrbuch 2007

Zwischen freier Software und Gesellschaftsmodell

erhältlich unter [www.opensourcejahrbuch.de](http://www.opensourcejahrbuch.de).

Die komplette Ausgabe enthält viele weitere interessante Artikel. Sie können diesen und andere Artikel im Open-Source-Jahrbuch-Portal kommentieren oder bewerten: [www.opensourcejahrbuch.de/portal/](http://www.opensourcejahrbuch.de/portal/). Lob und Kritik sowie weitere Anregungen können Sie uns auch per E-Mail mitteilen.

# Warum ist Open-Access-Entwicklung\* so erfolgreich? Stigmergische Organisation und die Ökonomie der Information\*\*

FRANCIS HEYLIGHEN



(CC-Lizenz siehe Seite 563)

Die explosionsartige Entwicklung von freien und Open-Source-Informationsgütern steht im Widerspruch zu der konventionellen Weisheit, dass Märkte und kommerzielle Organisationen für eine effiziente Güterverteilung notwendig sind. Diese Arbeit schlägt einen theoretischen Ansatz zur Erklärung dieses Phänomens vor, der Konzepte der Ökonomie und Theorien der Selbstorganisation aufgreift. Eine einmal erstellte und über das Internet zugänglich gemachte Information kann nicht mehr als knappes Gut betrachtet werden, da sie praktisch ohne Kosten vervielfältigt werden kann. Darüber hinaus profitiert der Urheber von ihrer freien Verbreitung, da dies die Qualität der Information verbessert und sein Ansehen steigert. Dies bietet Menschen bereits einen ausreichenden Anreiz, zu Open-Access-Projekten beizutragen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Organisationen sind Open-Access-Communities offen, dezentralisiert und selbstorganisierend. Koordination wird durch Stigmergie erreicht: Listen mit aktuell anstehenden Arbeiten, *work in progress*, führen Interessierte zu den Aufgaben, bei denen ihr Beitrag verspricht, am ertragreichsten zu sein. Dies umgeht sowohl die Notwendigkeit einer zentralisierten Planung als auch einer *unsichtbaren Hand* des Marktes.

*Schlüsselwörter:* Stigmergie · Informationsgüter · Soziobiologie · Community

---

\* Gemeint ist der Herstellungsprozess von freier Software und freien Inhalten – wie in Abschnitt 1 zu lesen, unterscheidet der Autor nicht zwischen Open Access und Open Source (Anm. d. Red.).

\*\* Aus dem Englischen von Birgit Hollenbach und Gerhard Schöppe.

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren sind wir Zeugen einer überraschend schnellen und erfolgreichen Verbreitung von Free-, Libre-, Open-Access-, Open-Content- oder Open-Source-Informationsgütern geworden. In dieser Arbeit werde ich nicht auf die interessanten, doch manchmal komplizierten Unterschiede der genauen Formen der Verteilung, die mit diesen Begriffen verknüpft sind, eingehen, sondern mich auf den ihnen gemeinsamen Charakterzug konzentrieren, nämlich, dass sie nicht proprietär sind. Sie sind nicht Eigentum einer bestimmten Person oder Organisation, die das alleinige Recht zu ihrer Verbreitung hat. Sie alle sind Teil der *creative commons*<sup>1</sup>, zu denen jeder freien Zugang hat, die jeder frei nutzen wie auch – in vielen Fällen – verändern kann. Auch werde ich die Unterschiede zwischen verschiedenen Medien oder Zielanwendungen, wie Text, Bilder, Musik und Software, ignorieren und mich stattdessen auf ihre gemeinsame Eigenschaft als pure Information konzentrieren, die ohne Begrenzung vervielfältigt werden kann. Abkürzend werde ich sie alle als „Open Access“ bezeichnen. Komplexe Software-Anwendungen, Websites, Fachzeitschriften oder Magazine, Bücher, Bilder, Podcasts, Videos und sogar ganze Enzyklopädien werden von ihren Urhebern jedermann zum Nachschlagen, zum Gebrauch und sogar zum Umgestalten zur Verfügung gestellt; und das kostenlos und ohne Einschränkung. Die vielleicht bekanntesten Beispiele sind das Betriebssystem *Linux*<sup>2</sup> (Moody 2002), das beginnt, mit *Microsoft Windows* als Standardsystem für Heimcomputer zu konkurrieren und *Wikipedia*<sup>3</sup>, eine internationale, im Internet verfügbare, gegenwärtig größte Enzyklopädie (Lih 2004). Weiterhin sind zu nennen *ArXiv*<sup>4</sup> und andere Internet-Archive, in der Tausende Forscher ihre wissenschaftlichen Ergebnisse frei zugänglich machen, bevor sie in proprietären Fachzeitschriften erscheinen (Hajjem et al. 2005), und schließlich das World Wide Web selbst, diese Sammlung von Kommunikationsprotokollen und Software-Anwendungen für die transparente Verbreitung von hypermedialen Inhalten über das Internet (Berners-Lee und Fischetti 1999).

Diese Entwicklungen revolutionieren unsere Gesellschaft. Auf der einen Seite stellen sie einen der Grundsätze der heutigen Marktökonomie in Frage, nämlich die Idee, dass geistiges Eigentum für einen Innovationsimpuls notwendig sei. Auf der anderen Seite eröffnen sie großartige Möglichkeiten:

- Software, technisches Know-how, wissenschaftliche Kenntnisse und Allgemeinbildung werden frei verfügbar – für die Länder und Menschen, die dies am meisten benötigen, es sich jedoch am wenigsten leisten können, dafür zu bezahlen.

---

1 *Creative commons*, aus dem englischen Originaltext so übernommen, ist eine gemeinnützige Gesellschaft, die verschiedene Standard-Lizenzverträge im Internet veröffentlicht; der Begriff lässt sich aber auch als *kreatives Gemeinwesen* übersetzen (Anm. d. Übers.).

2 <http://www.linux.org>

3 <http://wikipedia.org>

4 <http://www.arxiv.org>

- Die Leute werden befähigt und angeregt, intellektuell kreativ zu werden und damit anderen zu helfen.
- Es wird die Gefahr wirtschaftlicher Monopolstellungen im Bereich der Softwarestandards oder Nachrichtenverbreitung verringert.
- Erstellen wie auch Verteilen von Informationsmaterial – wann und wo es auch immer benötigt wird – erfolgt sehr viel schneller und in größerem Umfang als vorher.

Diese klar aus dem Internet resultierende Entwicklung blieb in der jüngsten Vergangenheit der Dotcom-Blase weitgehend unbeachtet, da sich die Gelehrten eher auf die vielversprechenden Möglichkeiten zur kommerziellen Ausbeutung des Netzes konzentrierten (Howcroft 2001). Mit dem Aufkommen des Webs und seinen medialen Fähigkeiten, Informationen zu liefern fragten sich die meisten Experten, wie große Unternehmen wie *ABC* oder *Time Warner* genug *Content* produzieren könnten, um die enorme Nachfrage nach Informationen zu befriedigen, die das Internet mit sich bringen würde. Gegenwärtig sind es die Webnutzer selbst, die diesen *Inhalt* produzieren, mit Millionen von Blogs und Wikis, Nachrichten, Meinungsforen, Unterhaltungs- und Informationsbeiträgen und dies alles zu einem Bruchteil der Kosten, welche die Unternehmen als Investition geplant hatten.

Die Entwicklung kam weniger überraschend für die Pioniere des World Wide Web (zu denen ich mich selbst zähle, da ich die komplexe Website *Principia Cybernetica*<sup>5</sup> bereits 1993 erstellt habe; vergleiche dazu auch Heylighen 1994). Bevor ein wirtschaftliches Interesse am Internet einsetzte, herrschte unter den Beteiligten eine Kultur der Freiheit, der Zusammenarbeit und des Teilens – nicht eine der Konkurrenz und des Ausschlusses vor. Die ersten Internetnutzer waren größtenteils Forscher, die es als selbstverständlich erachteten, die Ergebnisse ihrer Arbeit öffentlich zugänglich zu machen, ohne hierfür Geld zu verlangen. Hiermit folgten sie einfach jener grundlegenden Haltung, welche die Wissenschaft zum Antrieb von sozialer, technologischer und ökonomischer Weiterentwicklung macht: Veröffentliche deine Ergebnisse und Ideen in so weitem Rahmen als irgend möglich, so dass andere sie verwenden, kritisieren und verbessern können. Vor 1996 war praktisch jede Information und Software im Netz kostenfrei zugänglich, was ihre Erfinder jedoch nicht daran zu hindern schien, kreativ zu sein oder zusätzliches Material und verbesserte Versionen mit halsbrecherischer Geschwindigkeit zu veröffentlichen.

Dieser freie Geist wurde durch den Dotcom-Boom („com“ steht für *commercial*) in den Hintergrund gedrängt, als sich Unternehmen *en masse* auf das Internet stürzten, in der Hoffnung, mittels Werbung, Verkauf oder durch geistiges Eigentum Gewinne erzielen zu können (Howcroft 2001). Das Platzen der Spekulationsblase im Jahr 2001 machte deutlich, dass das große Geld im Internet nicht so leicht zu machen war, wie viele Menschen geglaubt hatten. Zum Teil lag dies einfach daran, dass bereits sehr viel

5 <http://pespmc1.vub.ac.be>

kostenlos im Netz zur Verfügung stand – warum sollte man also umständlich die teure Encyclopedia-Britannica-Website abonnieren, wenn man anderswo nahezu identische Informationen kostenlos erhalten konnte? Dies bedeutet natürlich nicht, dass das Internet nicht auch für kommerzielle Transaktionen genutzt werden kann, wie es beispielsweise die äußerst erfolgreichen Unternehmen *Amazon* und *eBay* zeigen. Diese fungieren jedoch im Grunde genommen eher als Stütze des Verkaufs herkömmlicher materieller Gebrauchsgüter denn als Verkäufer reiner Informationsgüter.

Die Entwicklung lässt vermuten, dass etwas Besonderes an der Verbreitung von Informationen durch das Internet ist, das im Widerspruch zu konventionellen Aussagen über Ökonomie steht. In dieser Veröffentlichung wird versucht, die tieferliegenden Mechanismen, die dem Erfolg von Open-Access-Entwicklung und -Verbreitung zugrunde liegen, aus der Perspektive komplexer, sich entwickelnder Systeme genauer zu untersuchen. Zunächst soll jedoch ausführlicher darauf eingegangen werden, warum das Phänomen an sich für viele so erstaunlich war.

## 2 Wirtschaftstheorie und Open-Access-Entwicklung

Nach dem klassischen Wirtschaftsmodell sind Menschen eigennützig und würden keinen Finger rühren, um anderen zu helfen – etwa Informationsgüter zur Verfügung stellen – ohne eine Gegenleistung zu erhalten. Die traditionelle Ökonomie beruht auf der Annahme, dass Eigentumsrechte notwendig sind, um einen Anreiz zur Produktion zu schaffen. Nur wenn man die Produktion voll unter Kontrolle hat, kann man auch eine Gegenleistung von denjenigen verlangen, die das Produkt nutzen wollen. Zudem geht das freie Marktmodell davon aus, dass Wettbewerb für die Produktionsoptimierung notwendig ist: Wenn die Menschen einem die Produkte nicht mehr abkaufen, weil sie die der Konkurrenten bevorzugen, wird man gezwungen sein, das eigene Produkt entweder zu verbessern oder den Preis zu senken. Wenn alle größeren Produzenten zusammenarbeiten wie in einem Kartell, dann wird hiermit der Wettbewerb unterlaufen und die Preise können ohne eine entsprechende Qualitätsverbesserung in die Höhe steigen.

Auf den ersten Blick verstößt die Open-Access-Community gegen all diese ökonomischen Prinzipien (vgl. Lerner und Tirole 2002): Menschen produzieren Informationen oder Software kostenlos, erlauben es anderen, diese nach Belieben zu verwenden und arbeiten dabei gemeinsam an größeren Unternehmungen, wie z. B. *Linux* oder *Wikipedia*. Dennoch hat diese Community in kürzerer Zeit bei niedrigeren Kosten qualitativ bessere Produkte hervorgebracht als spezialisierte Privatunternehmen, die seit Jahrzehnten im Geschäft sind.

Noch ungewöhnlicher wird es, wenn Aspekte der Organisation und Kontrolle mit erwogen werden. Laut gängiger Theorie ist der größte Vorteil der freien Marktwirtschaft gegenüber der planorientierten Wirtschaft die Koordination. Eine zentrale Planungsinstitution könnte niemals alle notwendigen Informationen sammeln und

verarbeiten, um zu entscheiden, was wann und wo am besten herzustellen sei. Freie Marktwirtschaft hingegen funktioniert wie von einer *unsichtbaren Hand* gesteuert: Die Zuordnung der entsprechenden Menge an Rohstoffen für die Produktion jeder benötigten Ware regelt sich automatisch (von Hayek 1945). Dies geschieht durch das Gesetz von *Angebot und Nachfrage* sowie das Preissystem: Wo immer die Nachfrage nach einer Ware größer ist als das Angebot, wird der Preis höher, und die Anbieter werden somit dazu motiviert, die Produktion des Artikels zu steigern. Auf diese Weise werden Angebot und Nachfrage wie von selbst durch einen negativen Rückkoppelungsmechanismus ohne die Notwendigkeit umständlicher Planung aufeinander abgeglichen.

Die *Institutionenökonomie* fügt den Kräften des Marktes allerdings eine weitere Qualität hinzu: Ihre Hauptannahme ist, dass konkurrierende Marktteilnehmer beginnen werden, formale Kooperationen einzugehen und so Organisationen oder Firmen gründen, um Transaktionskosten zu senken (Williamson und Masten 1995). Transaktionskosten entstehen aus der Notwendigkeit, jeglichen Austausch von Gütern, Dienstleistungen oder Finanzen über Verhandlungen und Abmachungen regeln zu müssen. Diese Verhandlungen sind zeit- und arbeitsaufwändig, sie verfehlen dabei allerdings die Aufhebung grundsätzlicher Ungewissheiten (Ist dieses Produkt oder diese Dienstleistung zuverlässig? Gibt es Lücken im Vertrag?). Eine Firma baut nun auf eine Reihe vereinbarter Vorschriften, die das Zusammenspiel ihrer Beschäftigten steuern, um ständige Verhandlungen und Ungewissheiten zu vermeiden. Dies erfordert das Ziehen einer klaren Grenze zwischen denjenigen, die der Organisation zugehörig sind (und daher ihre Vorschriften befolgen sollen) und denen, die nicht dazugehören. Damit verringert sich auch die Möglichkeit, dass vertrauliche Informationen aus dieser Gruppe nach außen dringen, wo sie von Konkurrenten ausgenutzt werden könnten.

Zwar mögen Vorschriften verlässlicher sein als ein freier Markt, doch sind sie weniger flexibel, da sie sich nicht automatisch an neue Bedingungen anpassen können. So benötigt die Organisation eine intelligente Führung, um die Tätigkeiten der Mitarbeiter zu koordinieren und sie dorthin zu leiten, wo die wichtigsten Aufgaben vorliegen. Dies wird normalerweise durch eine hierarchische Struktur erreicht, mit einem CEO oder einem Führungsstab an der Spitze, der die Arbeit plant und kontrolliert sowie Anweisungen an die unteren Ebenen erteilt. Ein derartiges Kontrollsystem muss außerdem sicherstellen, dass die Angestellten nach den Regeln spielen und nicht etwa eigennützig handeln, ohne die gebührende Leistung zu erbringen. Anders ausgedrückt muss das Management der allgegenwärtigen Gefahr, die von *Trittbrettfahrern* ausgeht, im Bedarfsfall durch wirkungsvolle Sanktionen entgegenwirken.

Das Paradoxe an der Open-Access-Community ist, dass sie die meisten dieser Organisationsprinzipien zu ignorieren scheint. Im Allgemeinen kann jeder zu jedem beliebigen Zeitpunkt einer bestimmten Community beitreten oder sie wieder verlassen, es gibt keine offiziellen Mitglieder oder Angestellte, da die Beitragenden dazu neigen, sich in unterschiedlichem Maße zu beteiligen. Zudem ist die Community üblicherweise

se dezentralisiert, ohne eine offizielle, hierarchische Struktur oder Bestrafungen für Trittbrettfahrer. Raymond (1999) bezeichnet dieses lose, sich selbst organisierende Kooperationsmodell als *Basar*, im Gegensatz zu dem Modell der *Kathedrale*, welches sich durch geschlossene, zentralisierte, hierarchische Organisationen auszeichnet. Auch kann sich die dezentralisierte Koordination nicht auf Marktmechanismen verlassen, da keine Produktpreise existieren, die anzeigen, wo die Nachfrage am höchsten ist.

Zusammengefasst läuft die Open-Access-Entwicklung nicht nur den üblichen Weisheiten der Geschäftswelt zuwider, sondern auch einigen grundlegenden Annahmen der Wirtschaftstheorie. Dies bedeutet, dass hier eine alternative Theorie zu entwickeln ist, um erklären zu können, wie Open Access funktioniert.

### 3 Anreize für information sharing<sup>6</sup>

Die erste grundlegende Eigenschaft der Information ist in ihrer nichtmateriellen Natur angelegt. Information ist nicht dem physikalischen Gesetz des Erhalts von Masse und Energie unterworfen und kann daher auch keiner wirtschaftlichen Beschränkung durch Knappheit unterliegen. Wenn man erst einmal ein Stück Information, beispielsweise in Form eines Computerprogramms, erhalten hat, kann man dieses uneingeschränkt und nahezu ohne weitere Kosten vervielfältigen und verbreiten. Das Verteilen dieser Kopien an andere raubt die Information jedoch nicht dem ursprünglichen Besitzer. Die Tatsache, dass man eine bestimmte Information verwendet, schließt die gleichzeitige Verwendung der gleichen Information durch andere in keiner Weise aus. Diese Eigenschaft wird in der Ökonomie als *non-rivalry*<sup>7</sup> (z. B. Martens 2004) bezeichnet. Die grundlegende Annahme der wirtschaftlichen Knappheit wird hier ins Gegenteil verkehrt. Wie mit nichtrivalisierenden Gütern umzugehen ist, wird in Wirtschaftstheorien jedoch kaum erörtert (De Long und Froomkin 1998).

Eine weitere wichtige Eigenschaft von Informationen ist ihre nur *unvollständige Ausschlussmöglichkeit* gegenüber anderen. So ist es zwar möglich, andere von der Nutzung eines Informationsgutes auszuschließen – etwa durch Copyright-Rechte, Patentierung oder Kopierschutz. Doch werden diese Verbote durch die einfach zu bewerkstelligende Vervielfältigung von Informationen zunehmend schwerer umsetzbar. Dies stellt für die herkömmliche Ökonomie ein Problem dar, da davon ausgegangen wird, dass jeder Produzent einer Ware, gleichgültig ob diese Ware rivalisierend ist oder nicht, einen Anreiz für die weitere Produktion der Ware benötigt und Maßnahmen erforderlich sind, um Konsumenten anzuhalten, für das Produkt zu zahlen (Martens 2004; De Long und Froomkin 1998).

In Open-Access-Communitys sehen wir jedoch, dass ganz andere Anreize vorherrschen. Zuerst einmal erklärt die Non-rivalry-Eigenschaft von Informationen, warum

---

6 Zur Erläuterung des Begriffs *sharing* und zur Problematik seiner Übersetzung möchte die Redaktion auf den Artikel von Bernd Lutterbeck auf Seite 461 in diesem Buch hinweisen.

7 Deutsch: nichtrivalisierend (Anm. d. Red.).

Open-Access-Entwicklung auch mit wenigen Anreizen funktioniert. Angenommen, man hat die notwendigen Mittel (Hardware, Software, Expertise, Zeit etc.) zur Verfügung, so kann man ein Informationsgut zur eigenen Verwendung erstellen (ein Programm, eine Bibliografie, ein Gedicht, ein Foto von seinem Hund usw.) und dieses Gut dann auch anderen ohne großen zusätzlichen Aufwand zur Verfügung stellen. Auf diesem Weg kann mit geringem Einsatz der eigenen Zeit im Rahmen eines Hobbys, einer zufälligen Entdeckung oder eines schnell getippten *hacks*<sup>8</sup> trotzdem ein Informationsgut entstehen, das tausend anderen von Nutzen ist (vgl. Ghosh 1998).

Auch wenn die direkten Auswirkungen voraussichtlich eher gering sind, kann der Nutzen für andere auch dem Urheber selbst indirekt zugute kommen. Selbst wenn die Benutzer in der Umgebung durch die Verwendung des Beitrags nur ein bisschen effizienter oder produktiver arbeiten können oder einfach glücklicher werden, dann bedeutet dies schon eine Verbesserung des eigenen Lebens in der Gemeinschaft, auch wenn niemand weiß, wer der Urheber ist. Die Vorstellung, etwas zur Gemeinschaft beizutragen appelliert an den Instinkt von Altruismus oder *Wohltätigkeit*, der auch Anlass ist Geld, für karitative Zwecke zu spenden oder ehrenamtlich tätig zu werden. Dies ist ein erster Anreiz für die gemeinschaftliche Nutzung von Informationsgütern (Weber 2004). Obwohl in der Soziobiologie und der evolutionären Psychologie (Buss 1995) nachgewiesen werden konnte, dass dem Altruismus ein klares genetisches Motiv zugrunde liegt, scheint Altruismus allein keine ausreichend starke Eigenschaft zu sein, um ein komplexes Wirtschaftssystem zu tragen, wie das Trittbrettfahrerproblem (vgl. Heylighen 2007) und das Versagen des Kommunismus zeigen.

Zunächst sollten wir festhalten, dass das klassische Trittbrettfahrerproblem nicht für Non-rivalry-Produkte gilt. Ein Trittbrettfahrer ist jemand, der von dem Einsatz anderer profitiert, ohne eine entsprechende Gegenleistung zu erbringen. Die meisten Nutzer von Open-Access-Informationen fallen unter diese Kategorie: Sie verwenden von anderen erstellte Produkte, tragen selbst aber nichts oder wenig zu ihnen bei. Dieses offensichtliche „Parasitentum“ oder der fehlende Grundsatz der Gegenseitigkeit ist nicht wirklich ein Problem, denn die Urheber profitieren nicht etwa weniger von ihren Produkten, nur weil andere ebenfalls Zugriff darauf haben. Dies erklärt bereits, warum in Open-Access-Communities die üblichen Überwachungs- und Bestrafungsmechanismen fehlen, die in anderen sozialen Gruppen im Laufe der Geschichte entwickelt wurden, um Profiteure abzuschrecken. Im Folgenden werden wir außerdem zeigen, dass die Urheber von ihrem Produkt mehr als die bloßen *Konsumenten* profitieren und sich so einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil gegenüber Trittbrettfahrern sichern.

Im Folgenden sollen die mehr eigennützigen Motive betrachtet werden, die dazu führen, dass man eine Arbeit Open Access zur Verfügung stellt. Der minimale Aufwand, den es kostet, seine Ergebnisse mit anderen zu teilen, wird mehr als genug durch die Tatsache entschädigt, dass andere Verbesserungen am Produkt vorschlagen

8 Ein kleines effektives Computerprogramm oder eine Codeverbesserung.

oder durchführen die sich für den Urheber lohnen. Beispielsweise könnte das Interesse an einer bestimmten historischen Persönlichkeit oder einem geografischen Ort dazu führen, dass man sein Wissen in einem Artikel in der *Wikipedia* veröffentlicht. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Artikel andere dazu anregt weitere, dem Autor bisher unbekannt Details hinzuzufügen und ihm so weiterzuhelfen. Die gewollte und öffentlich zugängliche Präsentation von Informationen führt zusätzlich zu Feedback (wobei es sich auch um eine nette Bemerkung wie „gute Arbeit“ handeln kann oder darum, dass man darauf aufmerksam gemacht wird, dass ein Programm nicht ganz so genutzt wird, wie man erwartet hat). Feedback („Rückmeldung“) ist die Grundlage des Lernens. Selbst wenn das eigentliche Produkt durch die Veröffentlichung nicht verbessert wird, so wächst doch vielleicht die eigene kreative Kompetenz.

Wenn die Möglichkeit, ein besseres Produkt zu erhalten und sich selbst zu verbessern nicht Anreiz genug bietet, gibt es eine noch stärkere Motivation, einen Beitrag zur Gemeinschaft zu leisten: Man wird hierdurch innerhalb der Gemeinschaft sichtbar und erntet Anerkennung für seine Expertise, seine Arbeit und seinen Altruismus. Psychologen nehmen an, dass der Gewinn an Achtung, Anerkennung oder hohem Ansehen innerhalb der eigenen Gemeinschaft ein elementares menschliches Streben ist (Maslow 1970). Aus der Sicht der evolutionären Psychologie (Buss 1995) ist dieses Streben wahrscheinlich sogar elementarer als das Streben nach Reichtum, da auch (prä-)historisch gesehen die Person mit dem höchsten Status in der Gruppe sowie so den besten Zugang zu materiellen Ressourcen erhält – zusätzlich zu Partnern, Freunden, Unterstützung oder auch Informationen. Studien haben ergeben, dass das Erwerben eines guten Rufes tatsächlich einen entscheidenden Anreiz für viele darstellt, sich an Open-Source-Entwicklungen zu beteiligen (Lerner und Tirole 2002).

Einer der Wege, wie sich diese Entwickler ein herkömmliches Einkommen sichern können, ist die Erhebung eines Beratungshonorars für das Produkt (z. B. Software oder Blogs), das selbst jedoch kostenlos zur Verfügung gestellt wird. Ist eine komplexe Software erst einmal von vielen Nutzern angenommen worden, so könnten einige der Anwender bereit sein, für Hilfe bei speziellen Problemen zu bezahlen und sich hierfür an die einzig wirklichen Experten, nämlich die Erfinder der Software, wenden wollen. Urheber von Produkten mit literarischem oder künstlerischem Inhalt könnten ähnliche Methoden anwenden. Beispielsweise könnte eine Rockband ihre Aufnahmen kostenlos zur Verfügung stellen und wenn sie auf diese Weise ausreichend bekannt geworden ist, ihre Einnahmen durch Konzertveranstaltungen sichern. Ebenso gut könnten Schriftsteller oder Journalisten kostenlosen Zugang zu ihren Texten (z. B. Blogs) ermöglichen und Geld durch Interviews oder Lesungen für ein limitiertes Publikum verdienen.

Diese Art des Geldverdienens macht mehr Sinn, als den Zugang zu proprietären Informationen kostenpflichtig zu machen, da es sich auf das Einzige bezieht, an dem es in einer Informationsgesellschaft zunehmend mangelt: persönliche Aufmerksamkeit (Simon 1971). Wie viel Informationen auch immer von einer Person frei zugänglich

gemacht werden, ein wichtiger Teil der Fachkenntnis des Urhebers bleibt immer verborgen (Reber 1993) und daher für eine einfache Vervielfältigung unzugänglich. Solch ein intuitives Wissen kommt erst dann zum Tragen, wenn es gilt, ein ganz bestimmtes Problem zu lösen oder eine Frage zu beantworten. Da jede Person nur über eine begrenzte Zeit, Energie und Aufmerksamkeit verfügt, um sich mit einem speziellen Thema zu befassen, besitzt dieses verborgene Wissen nicht die Eigenschaften von *non-rivalry* oder uneingeschränkter Vervielfältigung, die charakteristisch sind für explizite Informationen. Das Gesetz des Marktes bestimmt daher, dass Menschen bereit sind, zu bezahlen, um die persönliche Aufmerksamkeit eines Experten zu erhalten.

Wenn man jedoch seinen Rat für gutes Geld verkaufen will, so muss man den Kunden von seinem Sachverstand überzeugen. Hierbei spielt der Ruf eine wichtige Rolle. Ein noch direkterer Weg, um Anerkennung für die eigene Expertise zu erlangen, ist, die Produkte öffentlich (und möglichst kostenlos) zugänglich zu machen, so dass die Menschen sich selbst überzeugen können, wie gut man ist. Dies wird jedoch sehr viel schwieriger, wenn man in einer Firma arbeitet, denn dort ist es für einen Außenstehenden kaum ersichtlich, wer was innerhalb dieser geschlossenen Organisation beigetragen hat (vgl. Lerner und Tirole 2002). Ein ähnliches Verfahren wird bereits in akademischen Kreisen angewandt: Die wissenschaftliche Fachkenntnis wird anhand der Quantität und Qualität der Publikationen gemessen, und das Einkommen orientiert sich stark an dieser Wahrnehmung von Fachkenntnis. Studien haben gezeigt, dass eine Open-Access-Publikation die Anzahl der Zitationen erhöht, welche das direkteste Maß für die Wahrnehmung und das Ansehen des Autors darstellt (Hajjem et al. 2005).

Was dieser Art der Entlohnung jedoch fehlt, ist ein Weg, die anfänglichen Investitionen zu bezahlen, die vor dem Erstellen von verwertbaren Informationen gemacht werden müssen. Dies beinhaltet Hardware, Software, Internetzugang und Bildung. Glücklicherweise sinken die Preise all dieser notwendigen Faktoren dank des andauernden Fortschritts in der IT. Der teuerste Teil, die allgemeine Schulbildung, wird in den meisten Ländern (nahezu) kostenlos angeboten, da die finanzielle Belastung von der gesamten Gesellschaft getragen wird, die längst verstanden hat, dass gut ausgebildete Arbeitskräfte allen zugute kommen. Weiterführende Bildung bleibt üblicherweise teuer, wenn es auch meist Stipendien für diejenigen gibt, deren Zukunft am vielversprechendsten erscheint (z. B. gemessen an den Arbeiten, die sie bereits veröffentlicht haben). Aber auch hier gilt das Versprechen, dass Fortschritte in der Informationsverarbeitung und -verbreitung und der damit einhergehenden Open-Access-Philosophie bald dazu führen werden, dass Fortbildungsmaterialien für alle Bereiche im Internet frei zur Verfügung gestellt werden können.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Siehe z. B. <http://www.wikibooks.org> und <http://www.globaltext.org>.

## 4 Selbstorganisation durch Stigmergie

Um die dezentralisierte Organisation zu verstehen, die Open-Access-Entwicklungen charakterisiert, lassen sich Anregungen aus den neuesten Theorien zur Selbstorganisation (z. B. Heylighen und Gershenson 2003) und der komplexen adaptiven Systeme beziehen (z. B. Muffatto und Faldani 2003). Ein hier bedeutsames Konzept, das in kollektiven Intelligenzmodellen (Heylighen 1999) und der Simulation von Schwarmverhalten (Bonabeau et al. 1999) angewandt wird, ist das der Stigmergie (Susi und Ziemke 2001). Ein Prozess ist stigmergisch, wenn eine von einem Agenten begonnene Arbeit (im Griechischen *ergon*) ein Zeichen (*stigma*) hinterlässt, der andere Agenten dazu anregt, diese Arbeit fortzusetzen.

Dieses Konzept wurde ursprünglich entwickelt, um zu erklären, wie ein „Basar“ unintelligenter und unkoordinierter Termiten den Bau ihrer aufwändigen, „kathedralenähnlichen“ Termitenhügel bewerkstelligt (Grassé 1959). Die zugrundeliegende Annahme ist, dass eine Termiten an einer beliebigen Stelle ein wenig Tonerde ablegt, und dass die so entstehenden Haufen andere Termiten dazu anregen, an gleicher Stelle etwas hinzuzufügen, statt den Aufbau eines eigenen Haufens zu beginnen. Auf diese Weise wachsen die Haufen in die Höhe bis sie andere, ähnlich konstruierte Säulen berühren. Die Termiten kommunizieren nicht darüber, wer wann wo was oder wie zu tun hat. Die einzig bestehende Kommunikation ist indirekt; die von einigen begonnene Arbeit liefert anderen die Information, wo sie ihren eigenen Beitrag leisten können. Auf diese Weise besteht keine Notwendigkeit für einen zentral kontrollierten Plan, ein Arbeitsschema oder organisierte Arbeitsteilung.

Obwohl Menschen gewiss wesentlich intelligenter sind als soziale Insekten und miteinander kommunizieren, funktioniert die Entwicklung von Open Access jedoch im Wesentlichen nach dem gleichen Stigmergie-Prinzip (vgl. Elliot 2006 sowie die Simulation von Robles et al. 2005). Jegliches Dokument und auch jede Softwarekomponente, die auf die Website einer Community gestellt oder dort überarbeitet wird, ist umgehend Gegenstand intensiver Begutachtung durch interessierte Mitglieder der Community. Sobald eines von ihnen eine Schwachstelle entdeckt, etwa einen Bug, einen Irrtum oder eine fehlende Funktionalität, wird das Communitymitglied versuchen, den Fehler selbst zu beheben oder ihn zumindest dem Rest der Community mitteilen, was wiederum jemand anderen zur Problemlösung anregen könnte.

Wie bei der stigmergischen Organisation von Insekten (Bonabeau et al. 1999) ist der Prozess auch hier selbstverstärkend oder autokatalytisch (Heylighen 1999; Heylighen und Gershenson 2003): Je mehr hochqualitatives Material sich auf der Website der Community befindet, desto mehr Menschen werden sich animiert fühlen, es zu begutachten – folglich stehen noch mehr Menschen zur Verfügung, um weitere Verbesserungen vorzunehmen. Open Access profitiert demnach von einem positiven Rückkopplungsmechanismus, der erfolgreiche Projekte noch weiter ankurbelt. Dies erklärt das explosionsartige Wachstum von Systemen wie *Wikipedia* oder *Linux*. (Ein

möglicher Nachteil dieser „reich wird reicher“-Dynamik ist, dass gleich gute, wettbewerbsfähige Projekte aufgrund von Zufallsschwankungen oder Sequenzeffekten nicht die kritische Masse zum *take-off* erreichen.)

Auch wenn den meisten großangelegten Open-Access-Projekten (wie z. B. *Linux*) eine oder mehrere zentrale Persönlichkeiten (wie z. B. Linus Torvalds) vorstehen, die die allgemeine Richtung vorgeben, in die sich das Projekt bewegen soll, ist diese Kontrolle immer noch wesentlich weniger strikt als in herkömmlichen hierarchisch organisierten Strukturen. Die Arbeit erfolgt normalerweise dezentral und selbstorganisierend. Das Fehlen detaillierter Planung wird mehr als kompensiert, da Informationen über den aktuellen Projektstand vollständig und kostenlos zugänglich sind und es so jedem möglich ist, jederzeit zu irgendetwas beizutragen. Dadurch ergibt sich ein sehr viel breiteres Spektrum an Perspektiven und Erfahrungen, die angewendet werden, um das Auffinden und Lösen von Problemen zu erleichtern, was Raymond (1999) als „Linus’ Gesetz“ bezeichnet: „Given enough eyeballs, all bugs are shallow“. <sup>10</sup> Da außerdem die Beitragenden ihre Aufgabenbereiche selbst wählen, werden sie im Regelfall auch interessierter, motivierter und sachkundiger in diesem Bereich sein.

Auf diese Weise profitiert Open-Access-Entwicklung von der evolutionären Dynamik der *Variation*, *Rekombination* und *Selektion* (van Wendel de Joode 2004; Muffatto und Faldani 2003). Offenheit zieht eine größere Anzahl verschiedenartiger Teilnehmer an, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer Kreuzbefruchtung ihrer Ideen steigt, die zu neuen Kombinationen führt. Hierdurch nimmt die Variation stark zu, was für evolutionäre Neuentwicklungen notwendig ist. Darüber hinaus wird Selektion in einer großen und vielfältigen Community gefördert, da neue Ideen unter vielen verschiedenen Bedingungen ausgetestet werden und dadurch Fehler und Schwachstellen, die in einem homogeneren Umfeld nicht aufgefallen wären, systematisch behoben werden. Alles in allem führt dies zu größerer Flexibilität, Innovation und Funktionssicherheit.

Stigmergie ist jedoch mehr als nur zufällige Variation und natürliche Selektion. Die sichtbaren Spuren der durchgeführten Arbeit fungieren als Mottensystem (Heylighen 2007), indem Informationen gespeichert und der Community (indirekt) mitgeteilt werden. Auf diese Weise koordiniert dieser Mittler weitere Tätigkeiten zu den Aufgaben, wo eine Bearbeitung am ertragreichsten sein wird. Hierfür wird ein gemeinsamer Arbeitsbereich (*shared workspace*) benötigt, der für alle Beitragenden zugänglich ist (ähnlich wie das Blackboard-System der KI). In diesem externen Datenspeicher wird vermerkt, welche Aufgaben bereits erledigt wurden und welche Probleme noch offen sind. Einen mächtigen derartigen Arbeitsspeicher bietet das Web, da es den Speicher bereitstellt und *sharing* von jeglichem Work-in-progress-Informationsgut ermöglicht.

Um besser verstehen zu können, auf welche Art und Weise Open-Access-Communities funktionieren, müssen wir genauer zwischen direkter und indirekter Stigmergie unterscheiden. Bei direkter Stigmergie, wie am Beispiel des Termitenhügelbaus ge-

<sup>10</sup> Zu Deutsch etwa: „Alle Bugs verlieren an Größe, wenn sie nur von genügend Augenpaaren betrachtet werden“ (Anm. d. Red.).

zeigt, ist es der Stand des Arbeitsprozesses selbst, der den weiterführenden Beitrag fördert. Indirekte Stigmergie hingegen kann anhand des Beispiels von Ameisen verdeutlicht werden, die Spuren aus Pheromonen erzeugen und dadurch andere Ameisen zu Futterquellen leiten. Die Spur selbst ist nur ein „Nebenprodukt“ der eigentlich durchgeführten Arbeit – der Nahrungssuche und deren Transport zum Nest. Die speziell hierfür produzierte Signalspur wird benötigt, weil die Aufgabe – die sprichwörtliche „Nadel (Futter) im Heuhaufen (Umgebung) finden“ – ohne detaillierte Hinweise sonst zu komplex wäre. Indirekte Stigmergie verwendet also ein zusätzliches Hilfsmittel für die Informationsspeicherung. Trotzdem trägt die hieraus entstehende Koordination weiterhin den Stempel der dezentralisierten Selbstorganisation: Die Information ist an niemand Bestimmten direkt gerichtet und kann – aber muss nicht – von einem einzelnen Individuum in einem bestimmten Moment aufgegriffen werden.

In Open-Access-Entwicklungen kann indirekte Stigmergie in solchen Internet-Foren beobachtet werden, in denen Bugs oder Wünsche zu Programmfunktionen eingestellt werden. Die Foren selbst sind nicht Teil des sich entwickelnden Informationsguts, werden aber regelmäßig von dessen Entwicklern zu Rate gezogen und richten somit deren Aufmerksamkeit auf die Aufgaben, die für Weiterbearbeitung lohnenswert erscheinen. Das Problem solcher Hilfsmittel ist allerdings, dass die Komplexität der (Selbst-)Organisation erhöht wird, insbesondere wenn eine Menge potenziell relevanter Informationen eingestellt wird, so dass sich Prioritäten nur noch schwer setzen lassen. Auch hier können wir eine Lektion von den sozialen Insekten lernen. Die Spuren, die Ameisen durch Pheromonsignale setzen, zeigen eine effiziente Form des sich verstärkenden Lernens (Heylighen 1999): Spuren, die zu reichhaltigen Futterquellen führen, werden von vielen Ameisen genutzt und dadurch verstärkt, während Spuren zu ungenügenden oder leeren Futterstellen verblassen und letztendlich verschwinden. Da Ameisen bevorzugt der markanteren Spur folgen, sichert dies, dass die wichtigsten Aufgaben oder Angebote zuerst angegangen bzw. genutzt werden.

Auf Open-Access-Entwicklung angewandt, heißt dies, dass anpassungsfähige Mechanismen notwendig sind, um die dringlichsten Anfragen hervorzuheben. Ein Beispiel für einen solchen Mechanismus kann man bei *Wikipedia* finden: Wenn ein Wort von einem Nutzer dort als Hyperlink markiert wird, aber noch kein Artikel zu diesem Begriff existiert, wird eine leere Seite erstellt. Dies soll andere einladen, diese leere Seite nun mit Inhalt zu füllen. Es handelt sich hier um direkte Stigmergie; immer, wenn Leute nach diesem speziellen Begriff suchen, werden sie sofort zu der Aufgabe geleitet, die noch erledigt werden muss. Doch wenn mehrere tausend noch unvollständige Einträge existieren, müssen Prioritäten gesetzt werden. Statt nun ein Zentralkomitee entscheiden zu lassen, welche Einträge am dringlichsten sind, wird bei *Wikipedia* eine einfache Form der gemeinsamen Entscheidungsfindung angewandt (vgl. Heylighen 1999): Die Einträge, zu denen die meisten Hyperlinks führen, werden als erste in der automatisch erstellten Liste „Wikipedia:Most wanted articles“<sup>11</sup> aufgelistet.

11 In der deutschen *Wikipedia* ist diese Liste unter „Wikipedia:Fehlende Artikel“ zu finden (Anm. d. Red.).

Ein solcher Mechanismus, der die kollektive Nachfrage abbildet, kann als nicht-proprietäre Entsprechung des Marktes gesehen werden. Dort ordnet der Preismechanismus sehr effizient Ressourcen zu jener Produktion von Gütern zu, nach denen die Nachfrage am größten ist, indem er die größtmögliche finanzielle Belohnung bietet. Ähnlich hierzu bietet ein Most-wanted-Auftrag die größte Aussicht auf Anerkennung für geleistete Arbeit wie auch Zufriedenheit aufgrund der altruistischen Tat. Eine solche stigmatische Priorisierung funktioniert wohl sogar noch effizienter als ein Markt, da hier keine Notwendigkeit für umständliche und oft irrationale Kauf- und Verkaufshandlungen, Tarifrunden oder Spekulationen besteht, die letztendlich den Preis einer Ware festlegen – was zu den bekannten chaotischen Preisschwankungen von Gütern an der Börse führt. Obwohl darüber hinaus der Preis als – sehr abstraktes – stigmatisches Signal ausgelegt werden könnte, ist er jedoch lediglich eine eindimensionale Größe. Dagegen können Open-Access-Aufgaben auf einer Website nach voneinander unabhängigen stigmatischen Kriterien geordnet werden, wie Dringlichkeit, Schwierigkeitsgrad, erwarteter Nutzen, notwendige Fachkenntnis etc. Auf diese Weise würde Interessierten geholfen, die am besten auf sie zugeschnittene Aufgabe zu finden.

## **5 Fazit**

Seit dem Zerfall der Sowjetunion wird allgemein angenommen, dass Märkte, private Eigentumsrechte und kommerzielle Organisationen für die effiziente Produktion und Verbreitung von Gütern notwendig seien. Diese Ansicht wird nicht nur durch das anscheinende Scheitern des Kommunismus, sondern auch durch zwei Jahrhunderte wirtschaftswissenschaftlichen Denkens gestützt, aus denen ausgeklügelte (Denk-)Modelle hervorgingen, die vorgeben, aufzuzeigen, dass der Markt die optimale Möglichkeit für die beste Allokation von Rohstoffen sei. In den letzten Jahren jedoch tauchte die gemeinschaftliche Entwicklung von Open-Access-Informationsgütern im Web als augenfällige Ausnahme zu dieser konventionellen Lehre auf. In der hier vorliegenden Arbeit wurden Erklärungsansätze für dieses Phänomen vorgeschlagen.

Ich habe zunächst aufgeführt, dass sich die wirtschaftlichen Grundbegriffe Wettbewerb und Ausschlussprinzip der Güternutzung nicht auf die gemeinsame Informationsnutzung im Internet anwenden lassen. Eine einmal erstellte Information kann nicht mehr als knappes Gut betrachtet werden, daher gibt es grundsätzlich auch keinen Anlass, den Zugang zu ihr zu beschränken. Im Gegenteil ist es eher wahrscheinlich, dass der Urheber von seiner frei verbreiteten Information profitiert, da hierdurch die Qualität der Informationen verbessert werden kann und die Fachkompetenz und das Ansehen des Urhebers steigen. Darüber hinaus kommt Open Access eindeutig allen anderen zugute, insbesondere denjenigen, die andernfalls zu arm wären, um sich den Zugang zu Informationen leisten zu können.

Weiter benutzte ich das Paradigma der Selbstorganisation durch Stigmatergie, um zu erklären, wie Open-Access-Entwicklung effizient koordiniert werden kann. Dank

der Websites, die Work-in-progress-Projekte auflisten, werden Interessierte, die sich an der gemeinschaftlichen Entwicklung eines Informationsguts beteiligen wollen, erfolgreich zu den Aufgaben geleitet, bei welchen ihr Beitrag höchstwahrscheinlich am ertragreichsten ist. Hierbei ist sowohl die Notwendigkeit einer zentralisierten Planung als auch einer *unsichtbaren Hand* des Marktes, die Angebot und Nachfrage aufeinander abstimmt, überflüssig.

Diese hier beschriebenen Innovationen scheinen derart fundamental, dass sie unser sozio-ökonomisches System revolutionieren können (vgl. Weber 2004) und bieten Anlass zu der Hoffnung, in der Zukunft etwa die Entwicklung von Bildung, Demokratisierung und Wirtschaft anregen zu können. Während Open-Access-Verteilung auf materielle Güter nicht anwendbar ist, wird der Anteil der Materialkosten an den Gesamtkosten jeder Ware oder Dienstleistung immer geringer in einer Gesellschaft, die immer stärker von Informationen abhängig ist.

Daher wird es theoretisch vorstellbar, dass der größte Teil an wirtschaftlicher Wertschöpfung letztendlich in einem Open-Access-System entsteht. Um ein solches Szenario weniger spekulativ erscheinen zu lassen, wird man zunächst das komplexe Thema der Informationserstellung dort zu untersuchen haben, wo ein beträchtliches Maß an materieller Investition erforderlich ist, wie etwa in der pharmazeutischen Forschung mit ihrer kostenintensiven Ausstattung. Dort also, wo Patente und andere Dokumente mit „aussperrenden“ Funktionen überhand nehmen. Dieses Vorhaben wirkt weit weniger entmutigend, wenn man sich bewusst wird, dass diese Art von Forschung meist aus öffentlichen Mitteln finanziert wird und somit normalerweise ein Open-Access-Gut ist.

Um mit dem bestehenden marktorientierten System tatsächlich konkurrieren zu können, wird die immer noch junge Open-Access-Gemeinde weiter aus ihren Erfahrungen lernen müssen, also an ihren verbleibenden Schwächen arbeiten und weiter auf ihre Stärken bauen. Hierfür ist vor allem die Entwicklung besserer Standards und Regeln sowie leistungsfähigerer Softwarelösungen notwendig, um das Stigmergieprinzip gebührend einzubinden und den Akteuren ihre Anerkennung und Resonanz zu bieten, welche nach der bisherigen Analyse die wesentlichen Antriebsfaktoren für den Erfolg von Open Access sind.

Beispielsweise ist es zurzeit im Wikipedia-System – das ansonsten alle Änderungen an allen Dokumenten von allen Nutzern sehr detailliert verfolgt – nicht möglich, einen Überblick darüber zu erhalten, wie viel ein bestimmter Nutzer bisher schon zum System beigetragen hat. Mit dem Versionskontrollsystem von *Wikipedia* sollte es jedoch möglich sein, zu ermitteln, wie viel der eingegebenen Textbeiträge eines Nutzers im aktuellen Stand der Enzyklopädie bestehen bleiben. Dies wäre ein verwendbares Maß für die Quantität und Qualität der Beiträge und würde einem Bewertungssystem für Fachkompetenz und Aktivität des Autors entsprechen. Auch könnte die Aufgabengliederung und -priorisierung durch Verwendung weiterentwickelter Algorithmen (aufbauend etwa auf Googles *PageRank* oder der Hebbischen Lernregel) ermöglicht

werden (Heylighen 1999). Der Einsatz intelligenter Methoden für die Koordination der Verbreitung von Informationsgütern könnte das World Wide Web von einem bloßen gemeinschaftlich genutzten Datenspeicher oder einem geteilten Arbeitsraum in ein echtes „Globales Gehirn“ für die Menschheit verwandeln, das in der Lage wäre, jedes auch noch so vielschichtige Problem effizient zu lösen (Heylighen 1999, 2004).

## Literatur

- Berners-Lee, T. und Fischetti, M. (1999), *Weaving the Web. The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by its Inventor*, HarperCollins, San Francisco.
- Bonabeau, E., Dorigo, M. und Theraulaz, G. (1999), *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, Oxford.
- Buss, D. M. (1995), 'Evolutionary Psychology: A New Paradigm for Psychological Science', *Psychological Inquiry* 6(1), S. 1–30. <http://homepage.psy.utexas.edu/homepage/group/BussLAB/pdffiles/ANewParadigmforPsych.PDF> [12. Feb 2007].
- De Long, J. B. und Froomkin, A. M. (1998), 'The Next Economy?', in D. Hurley, B. Kahin und H. Varian (Hrsg.), *Internet Publishing and Beyond: The Economics of Digital Information and Intellectual Property*, MIT Press, Cambridge.
- Elliot, M. (2006), 'Stigmergic Collaboration: The Evolution of Group Work', *M/C Journal* 9(2). <http://journal.media-culture.org.au/0605/03-elliott.php> [22. Jan 2007].
- Ghosh, R. A. (1998), 'Cooking Pot Markets: An Economic Model for the Trade in Free Goods and Services on the Internet', *First Monday* 3(3). [http://www.firstmonday.dk/issues/issue3\\_3/ghosh/index.html](http://www.firstmonday.dk/issues/issue3_3/ghosh/index.html) [22. Jan 2007].
- Grassé, P.-P. (1959), 'La reconstruction du nid et les coordinations inter-individuelles chez *bellicositermes natalensis* et *cubitermes* sp. la theorie de la stigmergie', *Insectes Sociaux* 6, S. 41–81.
- Hajjem, C., Harnad, S. und Gingras, Y. (2005), 'Ten-Year Cross-Disciplinary Comparison of the Growth of Open Access and How it Increases Research Citation Impact', *IEEE Data Engineering Bulletin* 28(4), S. 39–47. <http://sites.computer.org/debull/A05dec/hajjem.pdf>.
- Heylighen, F. (1994), 'World-Wide Web: A Distributed Hypermedia Paradigm for Global Networking', in 'Proceedings of SHARE Europe, Spring 1994, The Changing Role of IT in Business', Genf, S. 355–368.
- Heylighen, F. (1999), 'Collective Intelligence and its Implementation on the Web', *Computational and Mathematical Theory of Organizations* 5(3), S. 253–280.
- Heylighen, F. (2004), 'Das Globale Gehirn als neue Utopia', in R. Maresch und F. Rötzer (Hrsg.), *'Renaissance der Utopie'*, Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Heylighen, F. (2007), 'Mediator Evolution', in D. Aerts, B. D'Hooghe und N. Note (Hrsg.), *'Worldviews, Science and Us'*, World Scientific, Singapore.

- Heylighen, F. und Gershenson, C. (2003), 'The Meaning of Self-organization in Computing', *IEEE Intelligent Systems* **18**(4), S. 72–75.
- Howcroft, D. (2001), 'After the Goldrush: Deconstructing the Myths of the Dot.com Market', *Journal of Information Technology* **16**(4), S. 195–204.
- Lerner, J. und Tirole, J. (2002), 'Some Simple Economics of Open Source', *Journal of Industrial Economics* **50**(2), S. 197–234.
- Lih, A. (2004), Wikipedia as Participatory Journalism: Reliable Sources?, in '5th International Symposium on Online Journalism'. <http://jmsc.hku.hk/faculty/alih/publications/utaustin-2004-wikipedia-rc2.pdf> [22. Jan 2007].
- Martens, B. (2004), *The Cognitive Mechanics of Economic Development and Institutional Change*, Routledge, Oxford.
- Maslow, A. H. (1970), *Motivation and Personality*, 2. Aufl., Harper & Row, New York.
- Moody, G. (2002), *Rebel Code: Linux and the Open Source Revolution*, Perseus Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Muffatto, M. und Faldani, M. (2003), 'Open Source as a Complex Adaptive System', *Emergence* **5**(3), S. 83–100.
- Raymond, E. S. (1999), *The Cathedral and the Bazaar: Musings on Linux and Open Source from an Accidental Revolutionary*, O'Reilly & Associates, Cambridge, MA, USA.
- Reber, A. S. (1993), *Implicit Learning and Tacit Knowledge*, Oxford University Press, New York.
- Robles, G., Merelo, J. J. und Gonzalez-Barahona, J. M. (2005), Self-Organized Development in Libre Software: A Model based on the Stigmergy Concept, in '6th International Workshop on Software Process Simulation and Modeling', St. Louis, MI, USA.
- Simon, H. A. (1971), Designing Organizations for an Information-Rich World, in M. Greenberger (Hrsg.), 'Computers, Communication, and the Public Interest', Johns Hopkins Press, Baltimore, MD, USA.
- Susi, T. und Ziemke, T. (2001), 'Social Cognition, Artefacts, and Stigmergy', *Cognitive Systems Research* **2**(4), S. 273–290.
- Weber, S. (2004), *The Success of Open Source*, Harvard University Press, Cambridge, MA und London.
- Williamson, O. E. und Masten, S. E. (1995), *Transaction cost economics*, Edward Elgar.
- van Wendel de Joode, R. (2004), 'Innovation in Open Source Communities Through Processes of Variation and Selection', *Knowledge, Technology & Policy* **16**(4), S. 30.
- von Hayek, F. A. (1945), 'The Use of Knowledge in Society', *American Economic Review* **35**(4), S. 519–530.