

Wissenschaft zum Mitmachen, Wissenschaft als Prozess: Offene Wissenschaft

“... [this process is to normal research as driving is to pushing a car.](#)” (Tim Gowers, Fields-Medaillen-Preisträger, wenige Tage nach dem Start des Polymath-Projektes¹)

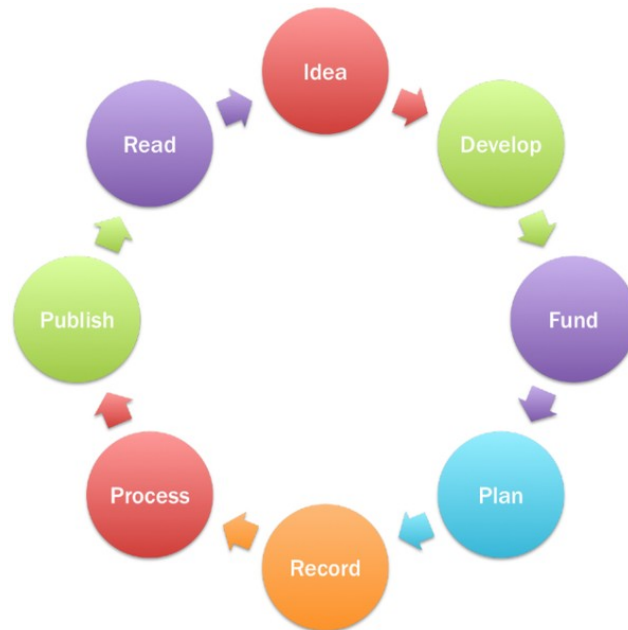
Participatory science, science as a process: Open Science

Summary: This chapter looks at the research cycle and at the opportunities it provides to open up the scientific communication processes that take place during the course of such a cycle. Specifically, it highlights some of the ways in which online platforms like blogs and wikis can be used to enhance scientific research and to harness the potential of open collaboration, both between specialists and across a wider community.

Forschung ist ein komplexer Kommunikationsprozess zwischen den beteiligten Wissenschaftlern sowie dem Gegenstand und der Methodik der Forschung und nicht zuletzt der Fach- und breiteren Öffentlichkeit. Dieser Prozess wird in charakteristischer Weise durchlaufen und daher oft als Forschungszyklus beschrieben. Dessen wesentliche Schritte stellt Infokasten 1 vor.

Infokasten 1: Der Forschungszyklus. Die Abbildung ist übernommen aus einem [Vortrag von Cameron Neylon](#)² und lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennungs-Lizenz](#)³.

Nachfolgend sind wichtige Kommunikationsvorgänge innerhalb des Zyklus' fett hervorgehoben, die traditionell öffentlichen unter ihnen zusätzlich kursiv.



Ein typisches Forschungsprojekt beginnt mit einer **Idee** - zum Beispiel mit einer Beobachtung, die es zu erklären, einer Vermutung, die es zu be- oder widerlegen gilt oder aber mit der Feststellung, dass bestimmte Daten fehlen, veraltet oder ungenau sind. Kurz: Die Projektinitiatoren decken eine **Wissenslücke** auf, die zumindest teilweise geschlossen werden soll.

Im nächsten Schritt wird **überprüft**, ob die vermeintliche Wissenslücke tatsächlich eine ist, welche markanten **Wahrzeichen** sich in ihrer Nähe befinden, wie **verlässlich** die entsprechenden Schilderungen sind und auf welchen **Daten** sie beruhen. Daraus ergibt sich, welche **Ausgangspositionen** und **methodischen Ansätze** am erfolgversprechendsten für die Lückenschliessung erscheinen. Wenn diese identifiziert sind, kann die konkrete **Planung** beginnen.

Dazu gehört die Auswahl geeigneter **Kooperationspartner**, mit denen zusammen schließlich ein **Projektantrag** erstellt wird, welcher die Projektidee so aufbereitet, dass sie die programmatischen Anforderungen der potentiellen Forschungsförderer erfüllen. Die so eingereichten Projektvorschläge werden **begutachtet** und einige der dabei am besten **bewerteten** Projekte letztendlich **gefördert**.

Ist dieses Nadelöhr glücklich überstanden, so können **Projektmitarbeiter eingestellt**, für das Projekt erforderliche **Materialien und Instrumente beschafft** und mit diesen dann **Daten aufgenommen** und **analysiert** werden. Schließlich ist der **erste Pfeiler** für die Überbrückung der Wissenslücke gesetzt, und aus diesem Anlass wird ein **Artikel geschrieben** und bei einer Fachzeitschrift oder Konferenz **eingereicht**, wo er einen **erneuten Begutachtungszyklus** durchläuft und bei positivem Ausgang **formal publiziert** wird. Dadurch erfährt die Fachwelt erstmalig von dem Projekt (wenn sie denn **Zugang** zu dem Artikel hat – derzeit ist nur etwa

ein Fünftel aktueller wissenschaftlicher Zeitschriftenartikel per Open Access verfügbar), bei entsprechendem **Medienecho** auch die breitere Öffentlichkeit. Daraus resultierendes Feedback durchläuft traditionell ebenfalls einen Begutachtungszyklus, ehe es möglicherweise seinerseits **formal publiziert** wird.

Von der ursprünglichen Idee bis zu einer solchen ersten formalen Veröffentlichung der daraus resultierenden Forschungsergebnisse vergehen typischerweise viele Monate und nicht selten mehrere Jahre, wobei die beiden Begutachtungsschritte einen wesentlichen Teil dieses Zeitraumes einnehmen. Wenn die Fachöffentlichkeit letztendlich von den ersten Ergebnissen eines Projektes erfährt, ist dieses oft schon beendet oder weit fortgeschritten – Verbesserungsvorschläge können also nicht oder nur mit großer Verspätung berücksichtigt werden. Die zunehmende Digitalisierung der Wissenschaft im Verein mit dem rasanten Fortschreiten der Nutzung des Internets und des World Wide Web wirft die Frage auf, wie sich dieser Umbruch für eine im Vergleich zu papierbasierten Medien effizientere Wissenschaftskommunikation nutzen lässt.

Dieser Problematik wollen wir uns nähern, indem wir dem bisher beschriebenen klassischen Ansatz der nicht-öffentlichen Forschung denjenigen der offenen, öffentlichen Forschung gegenüberstellen, welche im Englischen als “open science” oder “open research” bekannt ist (siehe [einführendes Video](#)⁴). Dabei geben Wissenschaftler ihren durch Forschung erarbeiteten Informationsvorsprung vor Fachkollegen und der Öffentlichkeit zu wesentlichen Teilen oder gar vollständig auf und tauschen ihn gegen die Möglichkeit ein, in jeder Phase des Projektes Kommentare und Anregungen zum bisherigen und weiteren Verlauf, Angebote zur Mitarbeit oder tatsächliche tatkräftige Mithilfe zu erhalten und so schneller voranzukommen.

Infokasten 2: Glossar

Crowdsourcing: Öffentliche Einladungen zu (meist unbezahlter) Mitarbeit in der Hoffnung, dass andere die Angebote annehmen und tatsächlich zum Gelingen des Projektes beitragen.

Citizen science: Die Einbeziehung von Menschen ohne wissenschaftliche Berufstätigkeit in die Durchführung von Forschungsprojekten.

Open Access: Die für Leser kostenlose Verfügbarmachung der formell publizierten wissenschaftlichen Literatur.

Offene Wissenschaft: Der Verzicht auf unnötige Geheimhaltung in der Wissenschaft.

Noch hat niemand systematisch untersucht oder getestet, unter welchen Bedingungen sich dieser Tausch lohnt, doch aufbauend auf der Erkenntnis, dass es prinzipiell möglich ist,

wesentliche Aspekte der [Wissenschaft online zu betreiben](#)⁵, gibt es erste Ueberlegungen und Experimente dazu. Die Darstellung des Themas hier ist nur kurz; eine ausführlichere Behandlung samt weiterer Beispiele findet sich im just erschienenen Buch "[Reinventing Discovery](#)"⁶ von Michael Nielsen.

Am Nachmittag des 27. Januar 2009 veröffentlichte der Mathematiker Tim Gowers einen neuen Eintrag in seinem Blog: [Is massively collaborative mathematics possible?](#)⁷ Darin lud er die Fachwelt ein, gemeinsam mit ihm an einem mathematischen Problem zu arbeiten, und zwar in aller Öffentlichkeit. [Einige Tage später](#)⁸ stellte er das Problem – die [Suche](#)⁹ nach einem kombinatorischen Beweis für ein Theorem aus der Kombinatorik, für welches bisher nur ein nicht-kombinatorischer Beweis vorlag – sowie seine Gedanken zu möglichen Lösungsansätzen im Detail vor und schrieb den eingangs zitierten Satz, wonach sich offene und traditionelle Wissenschaft unterscheiden wie das Fahren und Schieben eines Autos.

Gowers hatte 1998 die Fields-Medaille erhalten, eine Auszeichnung, die weithin als das mathematische Äquivalent eines Nobelpreises angesehen wird. Er ist also bekannt, sein Blog wird gelesen, und die Gedanken, die er darin äußert, werden ernst genommen. Das Projekt – auf den Namen Polymath 1 getauft – hatte das Interesse einer Reihe von Mathematikern geweckt, darunter auch [Terry Tao](#)¹⁰, Fields-Medal-Preisträger 2006. In den Blogs von Gowers, Tao und anderen sowie in einem eigens angelegten [Polymath-Wiki](#)¹¹ betrieben sie einen intensiven Gedankenaustausch und näherten sich als Gruppe Schritt für Schritt der Lösung an, indem Ideen schnell veröffentlicht, geprüft und anschließend weiterentwickelt oder verworfen wurden.

Am 10. März schrieb Gowers, dass der Beweis [wahrscheinlich erbracht](#)¹² sei, und zwar in einer allgemeineren Form als ursprünglich angestrebt. Interessanterweise dauerte es dann noch bis zum 20. Oktober, bis eine erste formale Veröffentlichung [entworfen](#)¹³ war, die bislang immer noch nicht erschienen ist, während eine weitere schließlich Mitte 2010 erschien und – der anderweitigen Offenheit des gesamten Projektes zum Trotz – der Öffentlichkeit [nicht zugänglich](#)¹⁴ ist.

Das Projekt stieß über die Mathematik hinaus auf Interesse unter Wissenschaftlern, auch und gerade nach den ersten sechs Wochen, denn ein in so kurzer Zeit durchlaufener Forschungszyklus ist extrem ungewöhnlich, selbst fuer offene Projekte.

Kernstück der offenen Wissenschaft ist das offene Laborbuch: Viele Wissenschaftler, insbesondere in den laborbasierten Wissenschaften, führen ein Laborbuch, worin sie ihre Untersuchungen protokollieren. Bis vor wenigen Jahren ausschließlich papierbasiert, werden auch Laborbücher zunehmend vom generellen Trend zur Digitalisierung erfasst, und von einem digitalen zu einem öffentlichen Laborbuch sind es aus technischer Sicht nur zwei kleine Schritte – das Einstellen ins World Wide Web und die Anpassung der Nutzerrechte, so dass jeder mitlesen kann. Alternativ können auch von vornherein web-basierte Plattformen genutzt werden, zum Beispiel Blogs und Wikis, wie im Falle des Polymath-Projektes. Wikis sind digitale Sammlungen von untereinander verlinkten Dokumenten, die von mehreren Personen über das

Web bearbeitet werden können und aus der Abfolge dieser Bearbeitungen eine öffentliche Versionsgeschichte zur Verfügung stellen, die es ermöglicht, nachzuvollziehen, wer wann welche Änderungen vorgenommen hat.

Das bekannteste Beispiel für ein Wiki ist die Wikipedia – eine enzyklopädische Sammlung von Artikeln in vielerlei Sprachen zu fast allen Themen, für die sich eine große Anzahl von Menschen interessieren. Es gibt jedoch eine Vielzahl anderer Wiki-Plattformen, und einige davon beschäftigen sich mit wissenschaftlichen Themen, einschließlich der Protokollierung von Forschung, just wie in Laborbüchern üblich.

Zu den ersten Laborbüchern dieser Art zählen diejenigen der Chemiker Jean-Claude Bradley (Drexel University) und Cameron Neylon (Science and Technology Facilities Center) sowie des Biophysikers Steven Koch (University of New Mexico), und in einem von ihnen gemeinsam verfassten [Buchkapitel](#)¹⁵ gehen sie detailliert darauf ein, wie sie Wikis zum Drug Design, zur Erfassung der Löslichkeit chemischer Verbindungen in organischen Lösungsmitteln oder mit Studenten zur Erfassung von Experimenten im Rahmen von Laborpraktika verwenden.

Obwohl offene Laborbücher prinzipiell ein besseres Medium zur Kommunikation von Forschungsergebnissen darstellen als Fachzeitschriften (die meist nur eine kleine Auswahl der Dokumentation eines Forschungsprojektes veröffentlichen), sind letztere schlicht und einfach etablierter, und die Veröffentlichung von Artikeln darin nach wie vor Voraussetzung für ein Weiterkommen auf der wissenschaftlichen Karriereleiter. Das Schreiben solcher Fachartikel kann ebenfalls mittels web-basierter Plattformen (Wikis, Google Docs) erfolgen und die eingereichte Version des Manuskriptes auf Preprint-Servern öffentlich archiviert werden. Gleiches gilt für Anträge auf Forschungsförderung, welche offene Wissenschaftler immer häufiger ebenfalls offen erstellen. In den letzten Jahren sind eine ganze Reihe von Initiativen entstanden, welche Crowdsourcing-Prinzipien zur Forschungsförderung anwenden. Im Rahmen der [SciFund-Initiative](#)¹⁶ gingen kürzlich sogar 49 Projektideen gemeinsam auf die Plattform RocketHub, um darüber die für die Umsetzung ihrer jeweiligen Ideen notwendigen Gelder per Crowdsourcing einzusammeln.

Aus technischer Sicht kann praktisch jeder Aspekt der Wissenschaftskommunikation, der digital auf einem Desktop-Computer stattfindet, auch öffentlich über das Web erfolgen, und was uns davon abhält, sind im wesentlichen Gewohnheiten oder andere kulturelle Befindlichkeiten. So schmücken sich Forschungsförderungsorganisationen zwar gern mit den Projekten, die sie unterstützen, aber bislang ist keine unter ihnen bereit, öffentlich zu machen, aus welchen Gründen gerade diese Projekte ausgewählt wurden und welche anderen Kandidaten warum abgelehnt wurden oder welche Anträge auf Forschungsförderung sie gerade bearbeitet.

Ob es aus Sicht des Gesamtsystems Wissenschaft überhaupt Sinn macht, Forschung generell zu begutachten, bevor sie durchgeführt wird, darf wohl auch bezweifelt werden. Eine mögliche Alternative bestünde darin, zumindest einen Teil der Forschungsmittel auf Basis vergangener Leistungen zu vergeben, mit Übergangsregelungen für Neuankömmlinge im System – wie Absolventen oder Bildungsausländer – für die bereits Fördermöglichkeiten existieren, obgleich

keine transparenten. Das Howard Hughes Medical Institute verfolgt eine solche auf Personen fokussierte Förderstrategie, die [im Vergleich](#)¹⁷ zu derjenigen der traditionell verfahrenenden National Institutes of Health deutlich mehr wissenschaftliche Durchbrüche erzeugt hat.

Eine verwandte Gewohnheit ist die, dass der Begutachtungsprozess eines Artikels vor seiner Veröffentlichung erfolgt. Angesichts der technischen Möglichkeiten des elektronischen Publizierens, Kategorisierens, Suchens und Filterns im Web muss dem nicht unbedingt so sein. Einige Fachzeitschriften haben dies bereits erkannt: *Atmospheric Chemistry and Physics* zum Beispiel stellt die eingereichten Manuskripte erst online und lässt sie dann für die formelle Veröffentlichung begutachten, wobei nicht nur die üblichen zwei bis drei Reviewer – die anonym bleiben können – ihre Gutachten öffentlich abgeben, sondern jeder Interessierte sich (unter vollem Namen) beteiligen darf. Von dieser Möglichkeit machen zwar nur wenige Gebrauch, doch sind es immerhin [weit mehr](#)¹⁸, als in den eher seltenen und nach formal begutachteten Publikationen ausgetragenen traditionellen Debatten. 2011 feierte die Zeitschrift ihr [zehnjähriges Bestehen](#)¹⁹, als Bestplatzierte im Zeitschriftenranking auf dem Gebiet und mit einer der geringsten Ablehnungsraten von Manuskripten. Andererseits erlangte ein dieses Jahr in Science – also nach klassischem Peer review – veröffentlichter Artikel traurige [Berühmtheit](#)²⁰, nachdem er bereits im Dezember letzten Jahres (nach einer Pressekonferenz der Autoren und einer Vorabveröffentlichung) in zahlreichen Blogs als irreführend und anderweitig stark mangelhaft eingestuft worden war.

Ein weiterer Aspekt der offenen Wissenschaft ist, dass sich Forschung und Lehre viel stärker verzahnen lassen – die Aufzeichnungen des Polymath-Projektes oder Eintragungen in offenen Laborbüchern stellen reichhaltige Quellen für die Lehre dar, da sich die dabei ablaufenden Erkenntnisprozesse bis hin zu Details nachvollziehen lassen, die normalerweise nicht mit veröffentlicht werden. Einerseits können Dozenten die [Reiseleitung](#)²¹ bei Exkursionen zu solchen Quellen übernehmen, andererseits können Studenten sich auf eigene Faust auf den Weg machen und vielleicht durch einen cleveren Beitrag zu laufenden oder auch bereits abgeschlossenen Projekten die Aufmerksamkeit ihrer zukünftigen Kollegen gewinnen.

Offene Forschungsprojekte sind nicht auf akademische Umgebungen beschränkt – oft kann jeder Interessierte dabei mitmachen und somit Wissenschaft als Prozess erfahren. Bis zum Public Viewing vor dem Berliner Reichstag ist es noch ein weiter Weg, doch wer hätte gedacht, dass sich die breite Öffentlichkeit einmal für Live-Übertragungen von [Geigerzähler-Messwerten aus Tokio](#)²² interessieren würde oder für Zitierstile und Fußnoten in Doktorarbeiten und dass gar ein damit befasstes Projekt mit dem [Grimme Online Award](#)²³ ausgezeichnet werden würde?

Schon jetzt gibt es eine Reihe von Citizen-Science-Projekten, die sich reger [Beteiligung von Nichtakademikern](#)²⁴ erfreuen, und [wissenschaftliche Fachgesellschaften](#)²⁵ und [-zeitschriften](#)²⁶ arbeiten ebenso mit Wikipedia zusammen wie [Universitäten](#)²⁷, [Bibliotheken, Archive oder Museen](#)²⁸.

Auch der EHEC-Ausbruch in diesem Frühjahr hat noch einmal das Potential von web-basierter offener Kollaboration deutlich gemacht: Als die ersten DNA-Sequenzen des Erregers ermittelt

worden waren, wurden sie auf GitHub – einer Plattform, die sonst Programmierer dazu verwenden, gemeinsam an Software-Projekten zu arbeiten – [veröffentlicht](#)²⁹ und unter Mitarbeit zahlreicher Spezialisten im In- und Ausland innerhalb kurzer Zeit so verbessert, dass sich die auf dieser Basis erfolgten Analysen in ihren Schlussfolgerungen nicht von den Monate später formell veröffentlichten unterschieden.

Infokasten 3: Die Grenzen der Offenheit

Die in diesem Kapitel beschriebenen Beispiele offener Wissenschaft sollten aufzeigen, welcher Grad von Offenheit in der Forschung prinzipiell möglich ist, wenn die Beteiligten dies wollen.

Das ist derzeit eher selten, denn die gegenwärtigen Anreizsysteme im Wissenschaftssystem stehen dem entgegen: Stellen werden primär nach Reputation vergeben, und die erwächst in fast allen Disziplinen durch formal begutachtete Veröffentlichungen und deren Zitierhäufigkeit sowie die Menge der eingeworbenen Forschungsgelder. Schon das Verhältnis dieser Kenngrößen (etwa der finanzielle Aufwand pro erhaltenem Zitat) spielt bislang kaum eine Rolle, ebensowenig wie viele andere denkbare Kriterien, wie zum Beispiel die Verwendbarkeit in der Lehre, der Innovationsgrad der Forschung, die Bereitstellung von Daten oder Methoden, die Vermittlung der Forschungsergebnisse an Nichtwissenschaftler oder die generelle Relevanz für die Gesellschaft.

So sehen Wissenschaftler beispielsweise die Verbesserung von Wikipedia-Artikeln im eigenen Fachgebiet oder in der eigenen Sprache oft als Zeitverschwendung in Bezug auf ihre Forschung an, ebenso die Verfügbarmachung von Daten nach einer erfolgten formalen Publikation. Es kommt jedoch allmählich Bewegung in diese Diskussionen: In Einzelfällen wurden Professorenstellen zumindest zum Teil [aufgrund von hochwertigen Wikipedia-Beiträgen vergeben](#)³⁰, oder Datensätze und andere Kommunikationsformen werden [wie klassische Publikationen zitiert](#)³¹, wodurch deren Urheber schon jetzt an Reputation gewinnen.

In der Medizin wird der Nutzen der offenen Kommunikation von Forschungsergebnissen vielleicht [am deutlichsten](#)³²: Von dem Moment an, da ein Resultat feststeht, bis zu seiner formellen Veröffentlichung verstreicht wertvolle Zeit, in welcher andere Ärzte und die breitere Fachöffentlichkeit die Resultate nicht kennen und folglich nach altem Wissensstand weiterbehandeln. In der Tat sind einige der aktivsten offenen Projekte in der Biomedizin [angesiedelt](#)³³.

Abschließend bleibt zu hoffen, dass viele Wissenschaftler bald einmal Gelegenheit haben, wie Tim Gowers ihr Gefährt der Wissenschaft zu fahren, statt es zu schieben. [Je eher, desto besser](#)³⁴.

- 1 <http://gowers.wordpress.com/2009/02/01/questions-of-procedure/#comment-1701>
- * Dieser Artikel nutzt Hyperlinks zum Referenzieren, wie es in Blogs und Wikis üblich ist, und ergänzt diese durch Fußnoten, gedacht für die gedruckte Version. Alle hier erwähnten nicht-permanenten Hyperlinks sind auf http://openwetware.org/index.php?title=User:Daniel_Mietchen/Notebook/Open_Science/2011/11/08&oldid=565058 archiviert.
- 2 <http://friendfeed.com/danielmietchen/66ecf1fb/research-cycle-slide-30-of-cameron-neylon>
- 3 <http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>
- 4 http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Open_research.ogg&oldid=60638256
- 5 <http://michaelnielsen.org/blog/doing-science-online/>
- 6 Nielsen, M. Reinventing Discovery: The New Era of Networked Science. Princeton University Press. Princeton. 2011. 280pp. ISBN 978-0-691-14890-8. <http://michaelnielsen.org/blog/reinventing-discovery/>
- 7 <http://gowers.wordpress.com/2009/01/27/is-massively-collaborative-mathematics-possible/>
- 8 <http://gowers.wordpress.com/2009/02/01/a-combinatorial-approach-to-density-hales-jewett/>
- 9 <http://numberwarrior.wordpress.com/2009/03/25/a-gentle-introduction-to-the-polymath-project/>
- 10 <http://terrytao.wordpress.com/>
- 11 <http://michaelnielsen.org/polymath1>
- 12 <http://gowers.wordpress.com/2009/03/10/problem-solved-probably/>
- 13 <http://arxiv.org/abs/0910.3926>
- 14 <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-14444-8>
- 15 Bradley, J.-C., Lang, A. S. I. D., Koch, S. and Neylon, C. (2011) Collaboration Using Open Notebook Science in Academia, in Collaborative Computational Technologies for Biomedical Research (eds S. Ekins, M. A. Z. Hupcey and A. J. Williams), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: [10.1002/9781118026038.ch25](https://doi.org/10.1002/9781118026038.ch25)
- 16 <http://hurricaneconomy.blogspot.com/2011/11/behind-scenes-chez-nanoville.html>
- 17 http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1498967
- 18 http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/most_commented_papers.html
- 19 <http://egu2011.wordpress.com/2011/04/05/celebration-10-years-of-interactive-open-access-publishing-at-egu-ga-2011/>
- 20 <http://blogs.discovermagazine.com/loom/category/arsenic-life/>
- 21 <http://cspannagel.wordpress.com/2008/05/18/der-offentliche-wissenschaftler/>
- 22 http://park30.wakwak.com/~weather/geiger_index.html
- 23 http://de.guttenplag.wikia.com/index.php?title=GuttenPlag_Wiki:Grimme_Online_Award&oldid=292224
- 24 <http://the-scientist.com/2011/09/18/public-solves-protein-structure/>
- 25 http://meta.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Expert_Participation_Survey_-_Wikimania_2011.pdf&page=3
- 26 http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wikipedia:Wikipedia_Signpost/2011-09-26/News_and_notes&oldid=453905160#Academic_journals_consider_partnering_with_Wikipedia
- 27 http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wikipedia:School_and_university_projects&oldid=452176450
- 28 http://outreach.wikimedia.org/w/index.php?title=Wikipedian_in_Residence&oldid=24318
- 29 <https://github.com/ehc-outbreak-crowdsourced/BGI-data-analysis/wiki>
- 30 <http://blog.wikimedia.org/2011/04/06/tenure-awarded-based-in-part-on-wikipedia-contributions/>
- 31 http://blogs.openaccesscentral.com/blogs/gigablog/entry/news_from_another_of_our
- 32 <http://friendfeed.com/mndoci/a9cbc1d7/one-video-every-life-scientist-should-watch>
- 33 <http://dx.doi.org/10.1038/nchem.1149>
- 34 <http://www.guardian.co.uk/education/2011/may/22/open-science-shared-research-internet>