

Nutzerzentriertes Green Web Engineering

Eva Kern

Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld
Institut für Softwaresysteme
Campusallee, 55761 Birkenfeld
e.kern@umwelt-campus.de

Abstract: Green IT, Green by IT und Green Software thematisieren den Beitrag der IKT zur Ressourcen- und Energieeffizienz. Optimierungsmöglichkeiten zur Verringerung des Energieverbrauchs durch den Datentransfer von Multimediainhalten werden - trotz steigender Verbräuche durch das Internet - wenig bis gar nicht berücksichtigt. Hier setzt Green Web Engineering an. Im folgenden Beitrag werden Prinzipien nachhaltiger Webentwicklung vorgestellt und diese aus Nutzersicht bewertet, um den Mensch in den Fokus zu setzen.

1 Einleitung

Der Datenverkehr im Internet wächst zunehmend [Kr12]. Ein Ende dieses Wachstums scheint, vor allem durch das Streben nach „Always on - Anywhere & Anytime“ [Be12], nicht in Sicht. Der ständig zunehmende Datenverkehr hat auch eine stetige Zunahme des durch Server, Endgeräte und Infrastruktur verursachten Energieverbrauchs zur Folge. Einer der Hauptverursacher dieser Entwicklung ist der steigende Transfer von Multimediainhalten. Die Verbräuche, die das World Wide Web verursacht, werden jedoch aktuell wenig bis gar nicht aus Sicht von Multimediainhalten und Software betrachtet. Hier setzen Prinzipien des Green Web Engineering an: „Green Web Engineering beschreibt die Kunst des Entwickelns, Entwerfens, Wartens, Administrierens und Nutzens einer Webseite in einer solchen Weise, dass direkte und indirekte Energieverbräuche innerhalb des vollständigen Lebenszyklus einer Webseite verringert werden.“ (übersetzt nach [Di10]). Sich aus der Umsetzung dieser Empfehlungen ergebende Potentiale zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz der IKT werden von Dick et al. [Di12a] analysiert.

Im folgenden Beitrag wird auf die aus Nutzersicht relevanten Prinzipien des Green Web Engineering eingegangen, um die Webentwicklung angepasst an den Menschen zu betonen. Um einen ersten Eindruck von der Nutzerakzeptanz für diese Prinzipien (z. B. Verkleinerung der Fotos oder Reduzierung der Farben in Grafiken) zu erhalten, wurde eine Befragung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analyse werden diskutiert und zusammengefasst. Zum Schluss wird ein Ausblick gegeben.

2 Stand der Forschung

Die bisherigen Bemühungen und Forschungsanstrengungen haben v. a. die Hardware-Seite im Visier und versuchen, durch Steigerung der Energieeffizienz Umweltvorteile zu erzielen. Es existieren bereits verschiedene Ansätze zur Reduktion des Energieverbrauchs der eingesetzten Technologien [Ba11, Di10], der Telekommunikation [Tu12] und der beteiligten Komponenten in mobilen und eingebetteten Systemen [Ba01]. Eine weitere Herangehensweise zur Verringerung des durch Datenverkehr verursachten Energieverbrauchs ist die Entwicklung energieeffizienter Routing-Algorithmen, die gleichzeitig eine möglichst hohe Performanz aufweisen [Di12b].

Bezogen auf den Energie- und Ressourcenverbrauch von Medien existieren verschiedene Studien, die bspw. den Energieverbrauch durch digitalen Musikkonsum betrachten [Ba12], den ökologischen Fußabdruck von Fernsehen dem der Videos-on-Demand gegenüberstellen [Ch11] oder auf verschiedene Video Streaming Verfahren eingehen [Li09]. Dabei spielen insbesondere die übertragenen Datenmengen eine Rolle. Der von Waltsgott [Wa12] vorgeschlagene Ansatz verfolgt das Ziel, diese zu minimieren, um Web Applikationen hinsichtlich ihres Energieverbrauchs zu optimieren. Neben Handlungsempfehlungen für ein Green Web Engineering [Di10] existiert ein Ansatz zur effizienten Nutzung von Web Content Management Systemen hin zur Entwicklung eines sogenannten „Green CMS“, das die Auslastung der CPU und der genutzten Netzwerkbandbreite reduziert [Ci12]. Der Schwerpunkt der Betrachtung von „Medien“ und „Nachhaltigkeit“ bzw. „Energieeffizienz“ liegt aktuell v. a. im mobilen Bereich [Di12b, Ba01, Wa12], da hier aufgrund des Batteriebetriebs die zur Verfügung stehenden Ressourcen besonders limitiert sind.

3 Maßnahmen für ein Green Web Engineering

Die im Folgenden vorgestellten Maßnahmen beziehen sich insbesondere auf mediale Online-Inhalte, die vom Nutzer wahrgenommen werden. Beispielsweise werden Optimierungsvorschläge für Quellcode außen vor gelassen, da dem Website-Besucher derartige Änderungen nur indirekt (z. B. durch geringere Wartezeiten) bewusst werden. Auf eine ausführliche Beschreibung der Maßnahmen wird an dieser Stelle verzichtet, Details zur Umsetzung der folgenden Maßnahmen sind [Di10, Ki08, So07] zu entnehmen.

3.1 Aktivität und Aufmerksamkeit des Nutzers

Neben den Optimierungspotentialen für die verschiedenen Elemente der Website kann der Nutzer einen aktiven Beitrag zur Steigerung des sogenannten Green Web leisten [Di10]. Dabei spielt insbesondere die aufmerksame Online-Nutzung des Internets eine wichtige Rolle.

3.2.1 Nutzer-Caches des Webbrowsers konfigurieren

Durch Browser-Caches sind bereits abgerufene Inhalte bei einem erneuten Abruf zum einen schneller erreichbar und zum anderen wird der durch das Ansehen der Inhalte verursachte Datenverkehr reduziert. Um das serverseitige HTTP-Caching zu unterstützen und die Ressourceneffizienz zu steigern, sollten große Browser-Caches konfiguriert werden, die beim Beenden des Browsers nicht gelöscht werden [Di10].

3.2.2 Tools bewusst auswählen und nutzen

Neben der Unterstützung des HTTP-Caching sollte der Browser außerdem mit HTTP-Kompression umgehen können. Dies ist bei modernen Browsern der Fall [Ki08]. Mittels der Kompressionsverfahren kann die Größe des Inhalts einer Website auf bis zu ein Viertel der Ursprungsgröße reduziert werden [We09].

Große Mengen an Datentransfer können außerdem durch das Verwenden von Werbeblockern, die das Laden von Werbebildern und -animationen verhindern, eingespart werden. Simons et al. [Si10] fanden durch Messungen an verschiedenen PCs und Browsern heraus, dass der Stromverbrauch zur Darstellung von Werbeanzeigen bei durchschnittlich 2,5 Wh liegt. Gemessen wurde über eine Zeit von ca. zwei Stunden. Das automatische Laden von Flash und anderen animierten, aktiven Inhalten kann durch Flashblocker verhindert werden. Dies erscheint insbesondere deshalb sinnvoll, da für das Jahr 2015 erwartet wird, dass Videoinhalte (ohne Peer-to-Peer Video-Downloads) ca. 58% des übertragenen Datenvolumens im Internet ausmachen werden [Ci11]. Größter Wachstumstreiber in diesem Bereich ist die Videonutzung durch Privatpersonen [Kr12]. Mit Hilfe von Blockern kann derartige Inhalt zunächst gesperrt werden und muss durch erneutes Klicken aktiviert werden. Es ist davon auszugehen, dass der Nutzer die Inhalte auf diese Weise bewusster abspielt. Die Maßnahme stellt lediglich eine nachträgliche Funktionsweise dar, da es sich um die Behandlung von Symptomen, nicht der Ursache selbst (Ausblenden statt Entfernen von Werbebannern) handelt. Aus Nutzersicht und aufgrund der Beschaffenheit des Internets, das sich insbesondere durch Werbung finanziert, ist dies aktuell jedoch kaum anders lösbar.

3.2.3 Internet aufmerksam und bewusst nutzen

Abgesehen von dynamischen Inhalten sollten alle Internetangebote bewusster genutzt werden. Dies schließt die aufmerksame Auswahl von Websites ebenso ein wie das Vermeiden von unnötigen Suchanfragen, Downloads etc. Des Weiteren können alternative Suchmaschinen wie Blackl und Ecosia genutzt werden.

Mit Hilfe von entsprechenden Webbrowser-Erweiterungen ist es dem Nutzer möglich, selektiv zu browsen. So wird z. B. über die Add-Ons „Green Power Indicator“ oder „Green Web“ angezeigt, ob die aktuell aufgerufene Website mit Ökostrom betrieben wird [Ke12]. Diese erste Bereitstellung von zusätzlichen Informationen zur Website, könnte durch die Entwicklung eines Labels für „nachhaltige Webangebote“ oder Hinweise zum Ökologischen Fußabdruck der Site bzw. deren Stromverbrauch ergänzt werden. In diesem Zusammenhang fehlen aktuell jedoch sowohl die Kriterien als auch Ansätze zur Überprüfung der Einhaltung derselben.

3.2 Wahrnehmbare Optimierungsmaßnahmen medialer Inhalte

Multimedialinhalte machen etwa 98% des über das Internet übertragenen Datenvolumens aus [Ki08]. Daher erscheint es sinnvoll, die medialen Inhalte zu optimieren, um die Energie- und Ressourceneffizienz im Web zu steigern.

3.2.4 Optimierung von Fotos

Statische Inhalte wie Fotos können ohne großen Aufwand optimiert und die Dateigröße dadurch erheblich verringert werden. Das JPEG-Format bietet sich hier durch seinen spezifischen Kompressionsalgorithmus an. Meta-Informationen sind zur Verwendung von Bildern im Internet in der Regel nicht notwendig und können entfernt werden. Zudem ist darauf zu achten, dass durch Skalierung von Fotos auf die gewünschte Größe vor dem Upload unnötiger Traffic vermieden wird. Die Skalierung sollte nicht erst über entsprechenden HTML-Code geschehen [Ya13].

Empfohlene Richtwerte für die verschiedenen Einstellungsoptionen sind [Ze10, Uç]: Kompression: Qualitätsstufe von 65, Größe: längste Seite des Bildes: 400 bis 600 Pixel, Auflösung: in der Regel 72dpi. Viele Tools bieten bereits die Möglichkeit, eine Bilddatei direkt mit an das Web angepassten Einstellungen zu speichern. So wird dem Anwender der Aufwand der manuellen Anpassung verschiedener Einstellungen abgenommen. Der Einfluss des Nutzers auf die Einstellungen hängt vom jeweiligen Tool ab. Es gilt - soweit möglich - immer zu prüfen, ob standardmäßig die optimale Version gewählt wird.

3.2.5 Optimierung von Grafiken

Aufgrund des guten Kompressionsalgorithmus empfiehlt es sich, Grafiken im PNG-Format mit einer möglichst hohen Kompressionsstufe zu speichern [FO08]. Genau wie im Fall der Fotos ist auch hier darauf zu achten, dass die Grafiken vorab mit Hilfe von Bildbearbeitungstools skaliert und komprimiert werden, um unnötigen Datenverkehr zu vermeiden. Eine weitere Optimierungsmöglichkeit ist der Verzicht auf Farbverläufe. Dadurch ist es mit nur geringem Qualitätsverlust möglich, den Farbmodus von RGB-Vollfarben zu einer indizierten Palette zu ändern [Di10].

4 Analyse der Nutzerakzeptanz

Da die präsentierten Optimierungsmaßnahmen nicht ohne Auswirkungen auf die Qualität der Medieninhalte bleiben, macht eine Umsetzung nur Sinn, wenn das Ergebnis von den Besuchern einer Site akzeptiert wird. Die Nutzer als größte aktive Gruppe im Internet und deren Akzeptanz im Web spielen eine entscheidende Rolle [Wi12].

4.1 Methodisches Vorgehen

Als Erhebungsinstrument wird ein Fragebogen genutzt, um eine große Gruppe zu ihrer Einstellung zu „Nachhaltigkeit und Internet“ zu befragen. Ziel der Untersuchung ist es, aus den Ergebnissen ein möglichst umfassendes Bild von der Akzeptanzbereitschaft für Websites, die hinsichtlich ihrer Energie- und Ressourceneffizienz optimiert wurden, zu

erhalten und zu erfahren, ob Nutzer selbst in diesem Kontext aktiv werden (wollen). Medienbeispiele ergänzen die Fragen.

4. 2 Aufbau des Fragebogens

Der verwendete Fragebogen ist aus vier Teilen aufgebaut: Teil A dient dazu, den Nutzer an das Thema heranzuführen und einen Eindruck von seiner Einstellung gegenüber der Thematik „Nachhaltigkeit und Internet“ zu erhalten. Im Teil B wird darauf abgezielt zu erfahren, inwieweit die durch die Optimierung hervorgerufenen Einschränkungen akzeptiert werden. Dazu werden die Nutzer gebeten, sich Medienbeispiele anzusehen, damit sie Fragen zu diesen beantworten können. Im Anschluss an die Akzeptanzfragen wird der Nutzer in Teil C zu seiner eigenen Aktivität für ein Green Web befragt. Der abschließende Teil D greift psycho- und demografische Angaben auf, um einen Zusammenhang zwischen den behandelten Themen und der Persönlichkeit der Umfrageteilnehmer herzustellen.

4. 3 Durchführung der Befragung

Die Nutzerumfrage wurde als Online-Fragebogen mit Hilfe der Online-Umfrage-Applikation LimeSurvey¹ konzipiert. Die Erhebung fand vom 3. April bis 1. Mai 2013 statt. Die Befragten erhielten, abgesehen von Hinweisen zur Nutzung des Online-Tools, keinerlei Instruktion zur Beantwortung der Fragen.

5 Ergebnisse der Befragung

Für die Auswertung liegen insgesamt 308 vollständig ausgefüllte Fragebögen vor. Die Geschlechterverteilung der Teilnehmenden an der Umfrage ist mit 45,13 % Teilnehmerinnen und 54,87 % Teilnehmern relativ ausgeglichen. Diese Personen sind überwiegend Vollzeit-Studierende (61,04 %) aus Rheinland-Pfalz (43,51 %) im Alter von 20 bis 29 Jahren (71,10 %). Es handelt sich daher nicht um eine für die Gesamtheit der Internetnutzer repräsentative Stichprobe. Dennoch vermitteln die Ergebnisse einen guten Eindruck zur Akzeptanz und Aktivität im Green Web.

Im Folgenden wird v. a. auf die Ergebnisse der Fragebogen-Teile B und C eingegangen. In einem nächsten Schritt kann sowohl die Akzeptanz als auch die Aktivitätsbereitschaft in Zusammenhang mit den erhobenen demografischen Daten und der Medienaffinität der Teilnehmer gebracht werden.

¹ <http://www.limesurvey.org/>

5. 1 Nutzerakzeptanz für Green Web Engineering Maßnahmen

Die Fragen zur Akzeptanz von Optimierungsmaßnahmen im Web wurden nach den Medientypen „Foto“ und „Grafik“ gegliedert. Insgesamt zeigt sich durch die Antworten der Nutzer, dass eine Akzeptanz für Optimierungsmaßnahmen im Web vorhanden ist.

5.1.1 Fotos

Um die Akzeptanz von Optimierungen von Fotos zu analysieren, wurde ein Foto, das als hochaufgelöste Originaldatei vorlag, entsprechend der in Abschnitt 3 vorgestellten Handlungsempfehlungen mit der Freeware „Radical Image Optimization Tool“ (RIOT) komprimiert, minimiert und die EXIF-Daten entfernt.

Tabelle 1 Gegenüberstellung des Original-Fotos und des für das Web optimierten Fotos

| Eigenschaft | Bild01 | Bild02 (optimiert) |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Dateityp | JPEG-Bild (.jpg) | JPEG-Bild (.jpg) |
| Größe auf Datenträger | 335 KB (343.464 Bytes) | 36,0 KB (36.864 Bytes) |
| Breite x Höhe | 600 x 400 px | 600 x 400 Pixel |
| Auflösung | 240 dpi | 72 dpi |

Im Rahmen der Befragung bekamen die Teilnehmenden die in Tabelle 1 genannten Versionen des Fotos präsentiert. Es stellte sich heraus, dass 74,35 % der Befragten einen Unterschied zwischen beiden feststellen können.



Abbildung 1: Gegenüberstellung von Bild01 (original, links) und Bild02 (optimiert, rechts)

Um herauszufinden welcher Grad der Optimierung bzw. Komprimierung von Fotos aus Sicht der Nutzer akzeptiert wird, wurde das Foto den Umfrageteilnehmern in verschiedenen starken Abstufungen gezeigt. Die unterschiedlichen Qualitätsstufen wurden insbesondere durch verschiedene Interpolationsverfahren erreicht. Die Ergebnisse zeigen, dass Abstufung 3 von den meisten Nutzern noch akzeptiert wird. Bei diesem Foto handelt es sich um eine Datei, die mit dem Catmull-Rom Verfahren auf eine Größe von 600 x 400 px und eine Auflösung von 72 dpi reduziert und mit einer JPEG-Qualität von 65 gespeichert wurde. Gegenüber der Originaldatei konnte die Dateigröße so auf 0,32 % der ursprünglichen Größe verkleinert werden (von 14,7 MB auf 48,0 KB).

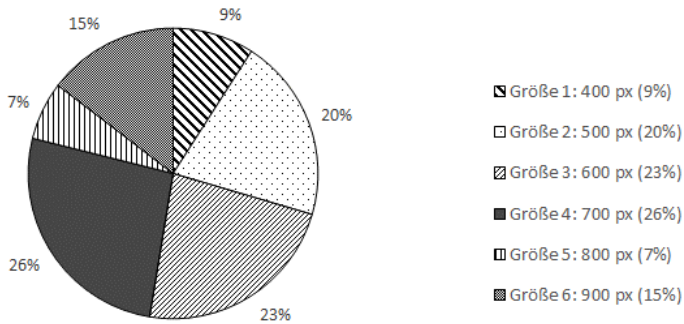


Abbildung 2: Ergebnis der Frage nach der Größe, die noch als angenehm empfunden wird

Allgemein wird für den Webbereich eine Größe von 600 bis 400 px für die längste Bildseite vorgeschlagen [Uç]. Um die Frage, ob diese Größe von Nutzern noch akzeptiert wird, zu beantworten, wurde das Foto in verschiedenen Größen (400 bis 900 px) erstellt. Es stellte sich heraus, dass die Größe, die von Seiten der Nutzer noch als angenehm empfunden wird, etwas größer ist als allgemein empfohlen. Sie liegt bei 600 bis 700 px für die längste Bildseite (49,35 % der Befragten).

5.1.2 Grafiken

Bei der Analyse der Akzeptanz für Optimierungsmaßnahmen von Grafiken lag der Fokus auf der Akzeptanz unterschiedlicher Farbpaletten. Zur Bearbeitung der Grafikdateien (Änderung der Größe, Auflösung und Farbtiefe) wurde das Tool paint.NET gewählt.

Beim Vergleich zweier Grafikversionen (Tabelle 2) konnte mehr als die Hälfte der Befragten (57,14 %) keinen Unterschied feststellen. Dies lässt vermuten, dass Nutzer bei grafischen Darstellungen eher bereit sind, Einschränkungen hinzunehmen als bei Fotos, da diese Änderungen weniger stark bis gar nicht wahrgenommen werden. Dies bestätigt auch die Frage nach der akzeptierten Abstufung. Hier geben 46,75 % an, keinen Unterschied zwischen vier Versionen der Grafik feststellen zu können. Die Frage bezog sich auf eine Grafik ohne Verlauf, die mit Hilfe von verschiedenen Verfahren komprimiert wurde.

Tabelle 2 Gegenüberstellung der optimierten und der nicht-optimierten Grafik

| Eigenschaft | Grafik01 (original) | Grafik02 (optimiert) |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Dateityp | PNG-Bild (.png) | PNG-Bild (.png) |
| Größe auf Datenträger | 80,0 KB (81.920 Bytes) | 17,58 KB (15.417.344 Bytes) |
| Breite x Höhe | 1000 x 114 Pixel | 1000 x 114 Pixel |
| Auflösung | 600 dpi | 72 dpi |
| Modus | RGB-Farbe | Indizierte Farbe, 8Bit/Kanal |

5. 2 Nutzerbereitschaft zur Aktivität im Bereich Green Web

Die im Rahmen der Befragung adressierten Aktivitäten beziehen sich insbesondere auf die aufmerksame Nutzung des Internets. Bei gleichen Informationen verschiedener Anbieter können sich 37,34 % der Befragten vorstellen, „Website wird mit Ökostrom betrieben“ als ein Kriterium zur Auswahl einer Website zu sehen, 15,26 % können sich dies unabhängig von der gegebenen Information vorstellen und 27,60 % schließen dies für sich aus. Der Grund für die Ablehnung ist insbesondere die kritische Beurteilung der Differenzierung zwischen Ökostrom und Nicht-Ökostrom.

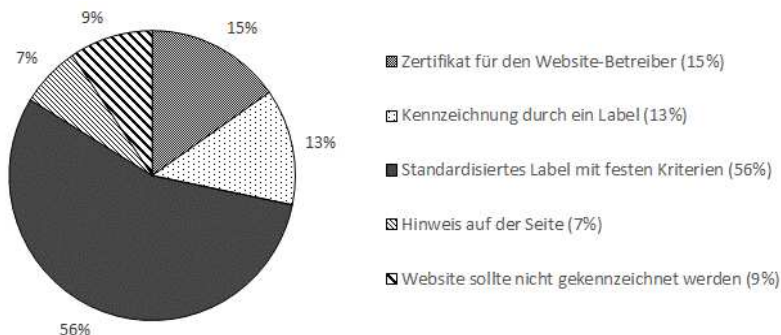


Abbildung 3 Ergebnis der Frage nach der Form der Kennzeichnung nachhaltiger Websites

Eine Kennzeichnung von nachhaltigen Websites können sich die befragten Nutzer am ehesten über ein standardisiertes Label mit festen Kriterien vorstellen (55,52 %, vgl. Abbildung 3), welches in Form einer „Ampel“ (Energieeffizienzklasse) gestaltet ist (vgl. Abbildung 4). Nach Meinung der Umfrageteilnehmer sollte dieses Label von unabhängigen Organisationen vergeben werden.

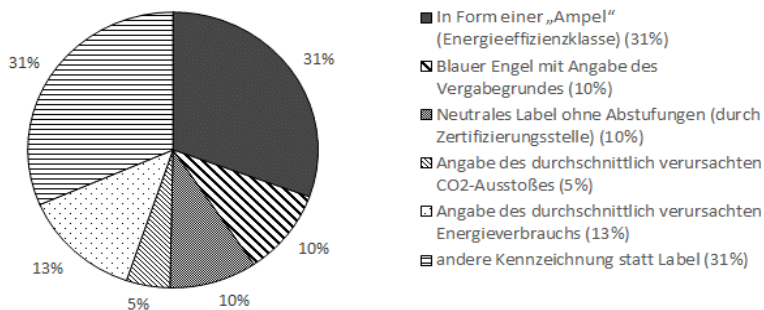


Abbildung 4 Ergebnisse der Frage nach der Labelart zur Kennzeichnung nachhaltiger Websites

Bereits aktiv sind die befragten Personen in der Blockierung von in der Regel unerwünschten Inhalten. So nutzen 60,71 % einen Werbe-Blocker, 84,42 % einen Popup-Blocker, einen Flash-Blocker haben die meisten (54,22 %) nicht installiert. Hinsichtlich der vorgenommenen Einstellungen verhält es sich ähnlich: Die Browsereinstellungen zur Blockierung von Popup-Fenstern haben 69,16 % geändert.

Bezogen auf die Änderung der JavaScript-Aktivierung halten sich die Ja- (42,53 %) und Nein-Antworten (43,18 %, Rest: „weiß nicht“) etwa die Waage. An den Einstellungen zum Laden von Grafiken haben nur 19,81 % der Nutzer etwas geändert.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Um den zunehmenden Datenverkehr im Internet zu reduzieren, existieren bereits erste Ansätze, die jedoch bisher erst wenig Beachtung in der Praxis finden. Viele der Optimierungsmaßnahmen wirken sich auf die entsprechenden Medieninhalte im Web aus, die Einschränkungen werden von der Mehrheit der Nutzer akzeptiert. Dies konnte durch eine nutzerzentrierte Befragung herausgefunden werden. Ein Web Engineering, das an Mensch, Organisationen und Umwelt angepasst ist, hat das Potential, einen Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz der IKT zu leisten.

Im nächsten Schritt gilt es, die Handlungsempfehlungen im Bereich Green Web zu optimieren und weiter zu verbreiten. Dabei sollte weiterhin ein nutzerzentrierter Ansatz verfolgt werden, d. h. der Nutzer einbezogen werden. Zudem ist geplant, an die Vorarbeiten anzuknüpfen und die von Nutzerseite akzeptierten Maßnahmen auf ihre Energieeinsparpotentiale zu untersuchen.

Um insbesondere den Nutzer in seiner Anwendung der vorgestellten Empfehlungen zu unterstützen, erscheint eine Entwicklung entsprechender Werkzeuge sinnvoll. Eine Möglichkeit wäre ein Browser-Add-on zur (De-)Aktivierung der beschriebenen Browser-Konfigurationen über nur einen Klick. Für spezielle Fälle, bspw. auf der Suche nach Bildmaterial in Druckqualität, können die Einstellungen dann kurzfristig geändert werden.

Literaturverzeichnis

- [Ba01] Barthel, C.; Lechtenböhmer, S.; Thomas, S.: GHG Emission Trends of the Internet in Germany. <http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/1511/attach/Paper%202.pdf>, 13.10.2009.
- [Ba11] Baliga, J. et al.: Energy consumption in wired and wireless access networks. In Communications Magazine, IEEE, 2011, 49; S. 70-77.
- [Ba12] Bach, D.: The Dark Side of the Tune: The Hidden Energy Cost of Digital Music Consumption.
- [Be12] Behrendt, S.: Entlastend und belastend zugleich. Der ökologische Fußabdruck unserer digitalen Medienwelt. In (Gräßer, L.; Hagedorn, F. Hrsg.): Medien nachhaltig nutzen. Beiträge zur Medienökologie und Medienbildung. kopaed, Düsseldorf, München, 2012; S. 19–30.
- [Ch11] Chandaria, J.; Hunter, J.; Williams, A.: The carbon footprint of watching television, comparing digital terrestrial television with video-on-demand: Sustainable Systems and Technology (ISSST), 2011 IEEE International Symposium on, 2011; S. 1-6.
- [Ci11] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2010–2015. White Paper, San Jose, 2011.

- [Ci12] Ciman, M.; Gaggi, O.; Sbrignadello, M.: Toward the Creation of a Green Content Management System. In (Filipe, J. Hrsg.): Web information systems and technologies. 7th international conference ; revised selected papers. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012; S. 408–412.
- [Di10] Dick, M.; Naumann, S.; Held, A.: Green Web Engineering. A Set of Principles to Support the Development and Operation of "Green" Websites and their Utilization during a Website's Life Cycle. In (Filipe, J.; Cordeiro, J. Hrsg.): Proceedings of the Sixth International Conference on Web Information Systems and Technologies, Volume 1, Valencia, Spain, April 07-10, 2010. INSTICC Press, Setúbal, 2010; S. 48–55.
- [Di12a] Dick, M. et al.: Green Web Engineering - Measurements and Findings. In (Arndt, H.-K.; Knetsch, G.; Pillmann, W. Hrsg.): Man Environment Bauhaus: Light up the Ideas of Environmental Informatics. Proceedings of the 26th International Conference EnviroInfo; Federal Environment Agency, Dessau, 2012. Shaker Verlag, Aachen, 2012a; S. 599–606.
- [Di12b] Ding, R.; Muntean, G.-M.: A Context-aware Cross-layer Energy-efficient Adaptive Routing Algorithm for WLAN Communications, 2012b.
- [FO08] FOCUS Online: Green-IT: Wenige Geräte sind umweltfreundlich. http://www.focus.de/digital/multimedia/cebit-2008/greenpeace-studie_aid_263992.html, 02.01.2013.
- [Ke12] Kern, E. et al.: Towards more Transparency in Supporting a Green Web. Environmental Informatics Prize 2012 for Students. In (Arndt, H.-K.; Knetsch, G.; Pillmann, W. Hrsg.): Man Environment Bauhaus: Light up the Ideas of Environmental Informatics. Proceedings of the 26th International Conference EnviroInfo; Federal Environment Agency, Dessau, 2012. Shaker Verlag, Aachen, 2012; S. 45–54.
- [Ki08] King, A. B.: Website optimization. Speed, search engine & conversion rate secrets. O'Reilly, Beijing, 2008.
- [Kr12] Kremp, M.: Weltweiter Datenverkehr soll sich bis 2016 vervierfachen - SPIEGEL ONLINE. <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/weltweiter-datenverkehr-soll-sich-bis-2016-vervierfachen-a-836495.html>, 17.01.2013.
- [Li09] Li, Y.; Reisslein, M.; Chakrabarti, C.: Energy-efficient video transmission over a wireless link. In Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2009, 58; S. 1229-1244.
- [Li13] Lin-Hi, N.: Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Greenwashing. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9119/greenwashing-v7.html>.
- [Si10] Simons, R. J.; Pras, A.: The Hidden Energy Cost of Web Advertising, 2010.
- [So07] Souders, S.: High performance web sites. Essential knowledge for frontend engineers ; [14 steps to faster-loading web sites]. O'Reilly, Beijing, 2007.
- [Tu12] Tucker, R. S.: Energy consumption in telecommunications: Optical Interconnects Conference, 2012 IEEE, 2012; S. 1-2.
- [Uç] Uçkanleitungen: Bilder für Webseiten optimieren. Anleitungen zu Open-Source-Programmen und Web-Publishing. <http://uckanleitungen.de/bilder-fuer-webseiten-optimieren/>, 10.03.2013.
- [Wa12] Waltsgott, J.; Meißner, K.: Towards Mobile Energy-Adaptive Rich Internet Applications: ICIW 2012, The Seventh International Conference on Internet and Web Applications and Services, 2012; S. 184-187.
- [We09] WebSiteOptimization.com: HTTP Compression. <http://www.websiteoptimization.com/speed/tweak/compress/>, 04.05.2013.
- [Wi12] Wilhelm, D. B.: Nutzerakzeptanz von webbasierten Anwendungen. Modell zur Akzeptanzmessung und Identifikation von Verbesserungspotenzialen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2012.
- [Ya13] Yahoo! Inc.: Best Practices for Speeding Up Your Web Site. <http://developer.yahoo.com/performance/rules.html>, 30.01.2013.
- [Ze10] Zellfelder, D.: Bilder fürs Internet optimieren. <http://www.foto-howto.de/presentieren/bilder-fuer-internet-optimieren/>, 10.03.2013.