

Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Netzkonzepten

Projektbericht

Veronika Lawrence, Carmen Scheer, Nicholas Cariss, Maximilian Junker,
Christian Keck, Stefan Ludowicy, Dominik Schneider

21. Juni 2016

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	4
2 Stand der Forschung	4
2.1 Carrier-Netzwerke	4
2.2 Möglichkeiten der Energieeinsparung in Netzwerken	4
2.3 Energie-effiziente Technologien	5
3 Problemstellung	5
3.1 Motivation	5
3.2 Ziele	7
4 Methoden/Vorgehen	7
4.1 Modellierung	7
4.2 Simulationsansatz	7
4.2.1 Softwareentwicklung	7
4.2.2 Entwicklung des Routing-Algorithmus	8
4.2.3 Komplexität bei der Entwicklung	8
5 Ergebnisse, Beitrag, Diskussion	8
5.1 Algorithmus	8
5.2 Software	8
5.3 Abschätzung des Energieverbrauchs	8
6 Präsentation und Auswertung der Ergebnisse	8
7 Diskussion	8
8 Ausblick	8

Abbildungsverzeichnis

1	Weltweiter Stromverbrauch nach Sektoren, basierend auf [bibid]	6
2	Anteil von ICT am weltweiten Stromverbrauch, basierend auf [bibid] und [bibid]	6

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

Hier muss auch was stehen, oder? In der vorliegenden Arbeit... Sollten wir evtl die Unterkapitel-Aufteilung weg lassen?

2 Stand der Forschung

Definition Wirtschaftlichkeit, Carriernetz

Betriebskosten, Wirtschaftlichkeit, etc. CAPEX OPEX Wirtschaftlichkeit Definieren
Wir betrachten einen Teil der Betriebskosten, nämlich:

2.1 Carrier-Netzwerke

Gegenstand der Projektarbeit bildet ein hinsichtlich der Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit zu optimierendes Carrier-Netzwerk.

Unter einem Carrier „versteht man [...] eine Gesellschaft, die mindestens drei Übertragungswege betreibt, die über eine Vermittlungsstelle miteinander verbunden sein müssen“ (aus: [**carrier**]). Ein Carrier-Netzwerk stellt somit physikalische Transportwege und -verfahren zur Verfügung und bildet die Grundlage für sogenannte Value Added Services von Providern, welche auf den Carrier-Diensten aufsetzen [**fassnacht**]. „Bei den TK-Transportwegen unterscheidet man leitergebundene Verbindungen auf der Basis von Kupferkabeln oder Lichtwellenleitern sowie Funkverbindungen wie Satellitenverbindungen, Richtfunkstrecken und Rundfunkverbindungen“ (Aus: Ebd.).

Somit umfasst ein Carrier-Netzwerk nicht nur das physikalische Backbone-Netz, sondern auch das Zugangs- und Aggregationsnetzwerk. Im Rahmen des Projektes entfällt die Betrachtung der Optimierungspotentiale des Zugangsnetzes zugunsten einer ausführlicheren Simulation von wirtschaftlichen und energieeffizienten Netzkonzepten im Backbone- und Aggregationsnetzwerk. So bildet der Broadband Network Gateway (BNG) die niedrigste Netzelementebene. Multi-Service Access Nodes (MSAN), Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM), enhanced NodeBs (eNodeB) und weitere Netzelemente der nächsttieferen Hierarchiestufe fallen somit aus der Betrachtung.

2.2 Möglichkeiten der Energieeinsparung in Netzwerken

Um den Energieverbrauch im Carrier-Netzwerk berechnen zu können, bedarf es an Werten der im Backbone verwendeten Netzkomponenten. Innerhalb der Simulation wird für die Berechnung des Gesamtverbrauchs auf die definierten Werte zurückgegriffen, die in einer Datenbank gespeichert sind. Ziel dieser Arbeit ist die Simulation und Berechnung des gesamtheitlichen Energieverbrauchs. Deshalb verwendet die Berechnung die von den beiden Wissenschaftler Ward Van Heddeghem und Filip Idzikowski in ihrer Veröffentlichung [**vanhedde**] zusammengetragenen Werte. Die Quelle beinhaltet zum einen das analytische Model der Berechnung und zum anderen ein Datenblatt [**vanhsheet**] des Energieverbrauchs der unterschiedlichen Hersteller. Das Datenblatt gliedert die Geräte nach den Unterschiedlichen Layer IP/MPLS, Ethernet, OTN, WDM - (OSI-Layer: 3-2-1-1). Zu beachten ist beim Verwenden der Werte, dass es sich um Werte unter typischen Lastbedingungen handelt, die sich nach der Kapazität der Komponente richtet und nicht nach dem aktuellen Durchsatz. Des Weiteren geben die Werte nur den Stromverbrauch für den Betrieb an, ein Verbrauch für Kühlung o.Ä. ist nicht enthalten. Der Gesamtverbrauch des

Core-Networks ergibt sich aus der Summe aller Verbräuche der einzelnen Schichten.

$$P_{core} = P_{ip} + P_{ethernet} + P_{otn} + P_{wdm} \quad (1)$$

2.3 Energie-effiziente Technologien

Der aktuelle Stand der Forschung bietet verschiedene Konzepte und Technologien für das Einsparen von Energie in Carrier-Netzen. In dieser Arbeit sollen ausgewählte Konzepte und Technologien genutzt werden, um die Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Netzen zu analysieren. Betrachtet wurden im Rahmen der Literaturrecherche die folgenden Konzepte und Technologien:

Das erste Konzept sieht eine Vereinfachung des Netzes vor, welche durch eine geographische Aufteilung des Netzes in Submodule (Global - Kontinental - National - Regional - Zugang) erfolgen kann [aleksic2014].

Das zweite Konzept befasst sich mit der dynamischen Abschaltung unterlasteter Netzkomponenten. Tageszeitabhängige Schwankungen des Traffics in Netzen ermöglichen eine individuelle und dynamische Abschaltung von Switches und Links unter der Berücksichtigung der QoS-Bedingungen [aleksic2013]. Dabei werden Algorithmen zur Identifikation von individuell abschaltbaren Links verwendet [fisher].

Bei den Technologien beschränkt sich diese Arbeit auf optische leitungsvermittelnde Switches und das Hybrid Optical Switching (HOS). Optische leitungsvermittelnde Switches basieren auf mikro-elektromechanischen Systemen, die die geringste Menge an Energie benötigen und eine hohe Portanzahl besitzen. Das Hybrid Optical Switching verwendet eine Kombination aus optischen und elektronischen Netzknoten, die optische Leitungen, Bursts, und Pakete effizient durch Switches können. Durch die Kombination von langsamen und schnellen Switches, können Wellenlängenbereiche dynamisch zwischen zwei Switches geändert werden. Das temporäre Abschalten von ungenutzten Ports des schnellen Switches ermöglicht eine Energieeinsparung. [aleksic2013]

3 Problemstellung

Wie oben beschrieben existieren bereits einige Möglichkeiten, den Energieverbrauch in Carrier-Netzwerken zu senken. Allerdings werden diese Möglichkeiten noch nicht umfänglich in realen Netzwerken umgesetzt. Ein denkbarer Grund für diesen Rückstand realer Backbone-Netze sind wirtschaftliche Bedenken der Netzbetreiber. Im Folgenden wird die Motivation für Netzbetreiber beschrieben, den Energieverbrauch ihrer Netze stärker zu berücksichtigen, sowie die Ziele dieser Arbeit.

3.1 Motivation

Obwohl der Stromverbrauch der OECD-Staaten seit mehreren Jahren stagniert oder sogar leicht zurück geht, wachsen die globalen Verbräuche weiter an (vgl. Abbildung 1). Dies kann vor allem auf Schwellenländer zurückgeführt werden, die in kurzer Zeit ein rasantes wirtschaftliches Wachstum erleben.

Da aller Bemühungen zum Trotz die fossilen Energieträger Erdöl, Kohle und Erdgas weiterhin ca. 81% der weltweiten Energieerzeugung ausmachen [statista] und diese Ressourcen nicht regenerierbar sind, sind langfristig steigende Energiekosten ([iea2015], S. 40f) ein großes Risiko für ICT-Provider weltweit, die insgesamt mit steigenden Kosten zu kämpfen haben.

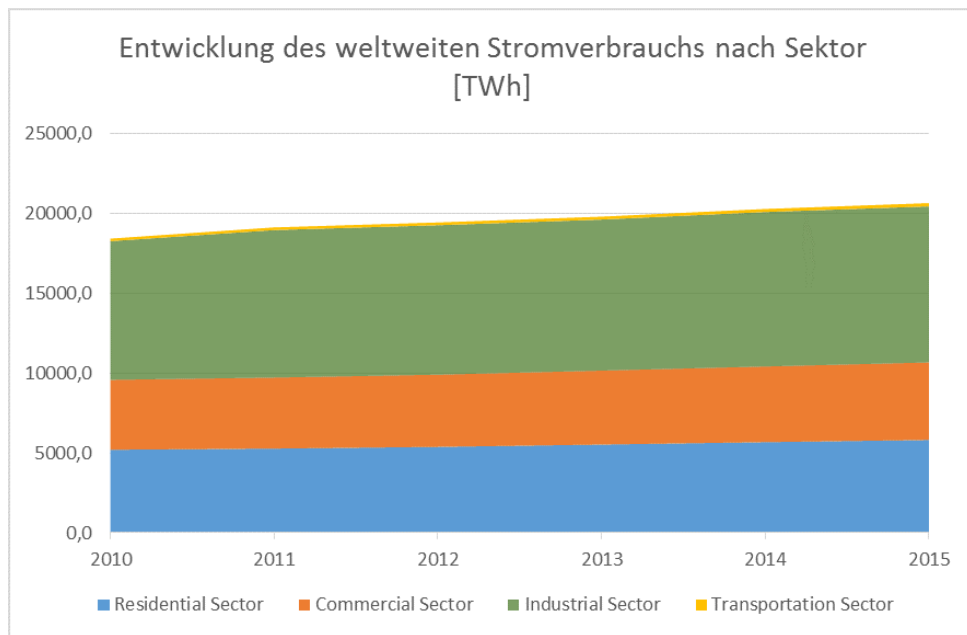


Abbildung 1: Weltweiter Stromverbrauch nach Sektoren, basierend auf [bibid]

Steigende Energiekosten für sich genommen wären schon ein starkes Argument, Netze effizienter zu gestalten. Der Effekt der Kosten wird allerdings potenziert durch den Fakt, dass der Stromverbrauch von ICT von 2007-2012 stärker gewachsen ist als der globale Stromverbrauch (vgl. [vanHeggedhem] S.9). Schon 2012 betrug der Anteil von ICT am globalen Stromverbrauch etwa 5% (s. Abbildung 2)

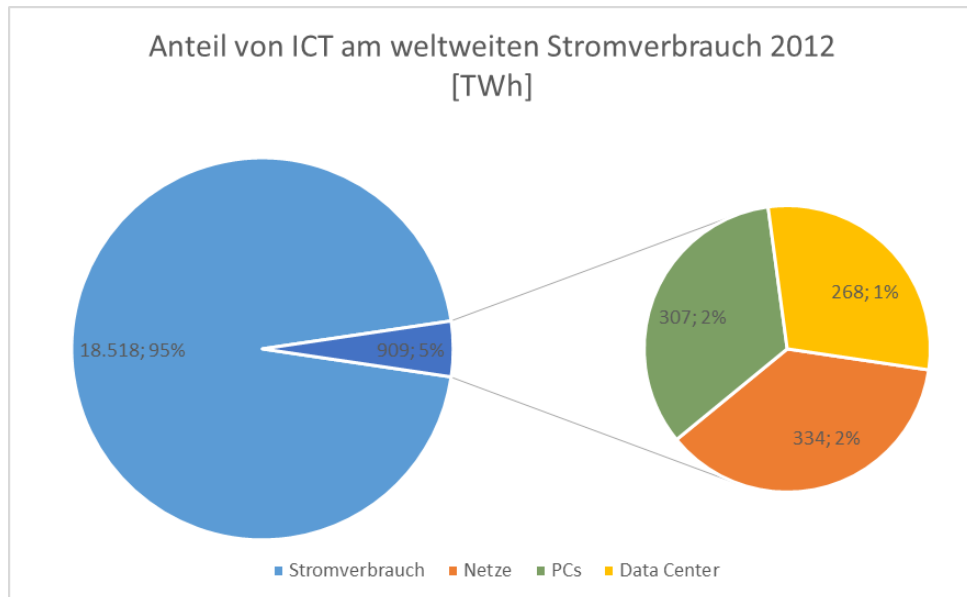


Abbildung 2: Anteil von ICT am weltweiten Stromverbrauch, basierend auf [bibid] und [bibid]

Seit dem ist der Anteil der Bevölkerung weltweit, der das Internet verwendet, von 20,6% (2007) auf 43,4% (2015) gestiegen [itu]. Dieses Wachstum wird sich in der nächsten Zukunft nicht verlangsamen. Weiterhin sorgen steigende Datenvolumen pro Nutzer für eine wachsende Netzlast. Welchen Effekt die Industrie 4.0 und das Internet of Things auf die Netze weltweit haben werden, lässt sich momentan noch nicht abschätzen. Eins jedoch steht fest: Das Netz der Zukunft wird mehr Daten zu bewältigen haben als jemals zuvor.

3.2 Ziele

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, abzuschätzen, wie viel Energie bzw. Kosten durch Verwendung energieeffizienter Technologien eingespart werden können.

Zur Erreichung dieses Ziels ist zum einen eine Literaturrecherche zu den bestehenden Technologien nötig, die es ermöglichen, den Energieverbrauch von Netzen zu senken. Die Ergebnisse dieser Literaturrecherche befinden sich in Kapitel 2.

Es soll eine Software entwickelt werden, die es ermöglicht, zwei hypothetische Netze miteinander zu vergleichen, zum einen ein konventionelles Netz, wie es heutzutage Stand der Technik ist, zum anderen ein energieeffizientes Netz, das die vorhandenen Technologien und Konzepte zur Effizienzsteigerung sinnvoll einsetzt. Anhand des abgeschätzten Energieverbrauchs der beiden Netze wird das Energiesparpotenzial sowie die möglichen Kosteneinsparungen durch den Betrieb des energieeffizienten Netzes ausgegeben. Die Ergebnisse der Softwareentwicklung sowie die Abschätzung des Energieverbrauchs befinden sich in Kapitel 5.

Die Softwarelösung wird als objektorientierte Java Desktop Anwendung mit einer Einteilung der Klassen in die drei Bereiche Model, View und Controller implementiert.

Der Prozess der Softwareentwicklung soll nach dem Wasserfallmodell ablaufen. Die Programmaufteilung und geforderte Funktionen sind bereits vor der Implementierung hinreichend bekannt, so dass die Anwendung eines agilen Entwicklungsmodells hier keine entscheidenden Vorteile bietet. Das genaue Vorgehen in der Softwareentwicklung wird im folgenden Kapitel erläutert.

4 Methoden/Vorgehen

4.1 Modellierung

Zwei Netze modelliert (Quellen), um sie gegenüberstellen zu können. Techniken aus Kapitel 2 Energieeffiziente Technologien eingesetzt. Aufgrund der Recherche ist Simulation nötig.

4.2 Simulationsansatz

4.2.1 Softwareentwicklung

Anforderungen an eine mögliche Simulationssoftware erarbeitet Entscheidung/Festlegung Entwicklungsmodell / Technologiestack / Systemlandschaft, weil.... Start Softwareentwicklung - Requirements - Spezifikation - Design Implementierung

4.2.2 Entwicklung des Routing-Algorithmus

4.2.3 Komplexität bei der Entwicklung

5 Ergebnisse, Beitrag, Diskussion

5.1 Algorithmus

5.2 Software

5.3 Abschätzung des Energieverbrauchs

6 Präsentation und Auswertung der Ergebnisse

7 Diskussion

8 Ausblick