

Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Netzkonzepten

Projektbericht

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

20. 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	6
4 Methoden/Vorgehen	6
4.1 Modellierung	6
4.2 Simulationsansatz	6
4.2.1 Softwareentwicklung	6
4.2.2 Entwicklung des Routing-Algorithmus	7
4.2.3 Komplexität bei der Entwicklung	9
5 Ergebnisse, Beitrag, Diskussion	9
5.1 Algorithmus	9
5.2 Software	10
5.3 Abschätzung des Energieverbrauchs	10
6 Präsentation und Auswertung der Ergebnisse	10
7 Diskussion	10
8 Ausblick	10

Abbildungsverzeichnis

1	Verteilung der weltweiten Energieerzeugung nach Energieträger im Jahr 2013 (Quelle: statista)	6
2	Programmablaufplan zur Anwendungslogik	8
3	Programmablaufplan zum übergreifenden Anteil des Routing-Algorithmus .	9
4	Rekursiver Anteil des Routing-Algorithmus	10

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 Modell 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 switchen 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

3.1 Motivation

Steigende Netzlast, steigende Datenvolumen, höherer Energieverbrauch, Industrie 4.0/Internet of Things, Klimawandel, steigende Energiekosten, Wirtschaftlichkeit

Nach einer Schätzung des ICT-Analysehauses Gartner erzeugte die Informations- und Kommunikationstechnologie im Jahr 2007 rund 2% des globalen Ausstoßes an CO₂, was dem Ausstoß der Flugzeugbranche entspricht [gartner]. 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. Es ist also unabdingbar, den CO₂-Ausstoß, der durch ICT im Allgemeinen verursacht wird, drastisch zu verringern.

Da aller Bemühungen zum Trotz die fossilen Energieträger Erdöl, Kohle und Erdgas weiterhin ca. 81% der weltweiten Energieerzeugung ausmachen [statista], ist die Reduktion des Energieverbrauchs von ICT-Infrastruktur ein wichtiger Ansatz, um den CO₂-Ausstoß zu verringern. Natürlich sind neben dem Bemühen, ICT grüner zu gestalten, wirtschaftliche Bedenken ein weiterer wichtiger Treiber für das Streben nach mehr Energieeffizienz. Langfristig steigende Energiekosten ([iea2015], S. 40f) sind ein großes Risiko für ICT-Provider weltweit, die insgesamt mit steigenden Kosten zu kämpfen haben.

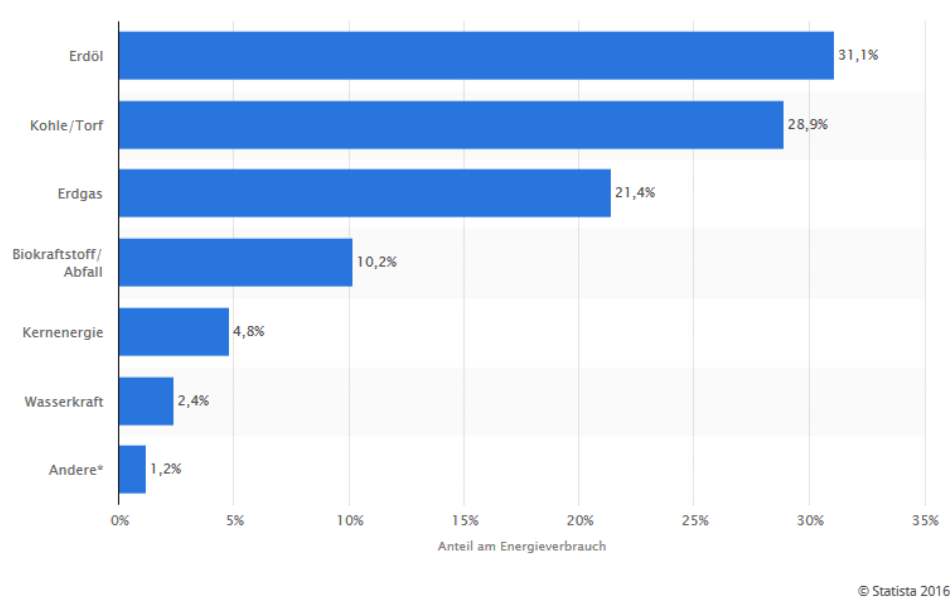


Abbildung 1: Verteilung der weltweiten Energieerzeugung nach Energieträger im Jahr 2013 (Quelle: statista)

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die ökonomischen Zwänge, die sich aus ineffizienten Netzen ergeben. 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 berechneten Energieverbrauchs der beiden Netze wird das Energiesparpotenzial sowie die möglichen Kosteneinsparungen durch den Betrieb des energieeffizienten Netzes ausgegeben.

3.2 Ziele

Wie viel Energie/Kosten kann durch Verwendung energieeffizienter Technologien eingespart werden?

Zu diesem Zweck soll eine Software erstellt werden, die unterstützt.

4 Methoden/Vorgehen

4.1 Modellierung

Zwei Netze modelliert (Quellen), um sie gegenüberstellen zu können. Techniken aus Kapitel 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

Zur Simulation des Netzwerkes, der Lastverteilung und des elektrischen Stromverbrauches des Netzwerkes ist ein iteratives Berechnen für einzelne Zeitabschnitte abhängig von der Netzlast, des Traffic-Ursprungs und des Traffic-Ziels notwendig. Grundlegend ist das Ziel, für jeden Zeitabschnitt die beste erzielbare Lösung zur stromsparenden Bewältigung (Durchleitung) des Traffics zu berechnen. Über die Dauer eines Zeitabschnittes (einer Iteration) bleiben die Routing-Entscheidungen und die Wahl der abzuschaltenden Hardware gleich. Diese werden je Iteration initial einmal berechnet. Durch die Anpassung der Iterationsdauer und der dazu passenden Anpassung der Netzlast-Daten lässt sich ein genaueres, verfeinertes Modell durchrechnen, so dass ein realistischeres Resultat zu erwarten ist.

Um zu entscheiden, welches Routing für die einzelnen Netzlastprofil-Einträge je Iteration am "besten" ist, wird je mögliche Route eine dynamische Penalty (Kosten-Faktor) berechnet. Anschließend wird für das Netzlastprofil die Route mit der niedrigsten errechneten Penalty, welche die Datendurchsatzgrenzen der Hardware und somit der einzelnen Verbindungen nicht überschreiten, als beste Route angenommen. Um eine schnelle praktische Ausführungszeit zu erreichen beinhaltet dieser Algorithmus Intelligenz um schlechte Routen frühzeitig zu ignorieren und zum Beispiel Schleifenbildung zu verhindern.

Da die zur Verbindungsbewertung verwendete Penalty mehreren Faktoren wie Latenz, elektr. Stromverbrauch, Kapazität der Verbindung und auch An-/Aus-Status der Hardware berücksichtigen muss, und diese einzelnen Faktoren je nach Verwendungszweck des Netzes unterschiedliche Gewichtung haben, müssen die einzelnen Anteile mit vom Anwender der Simulationssoftware festgelegten Gewichtungsfaktoren multipliziert werden. Damit kann der Nutzer die Netzsimulation auf seine Anforderungen ansatzweise anpassen.

Alles in allem ist ein Regelsatz zur Penaltyberechnung je Iteration notwendig, an Hand welchem die Algorithmus-Implementierung jeweils versucht das lokale Optimum zum Routingproblem als Lösung zu finden. Der folgende Regelsatz stellte sich beim logischen durchspielen einer solchen Simulation als Grundlage heraus:

- Zum Anfang jeder neuen Iterations-Zeitphase sind alle Geräte und alle Ports soweit diese dies unterstützten ausgeschaltet
- Das Aktivieren eines Devices kostet Penalty (hoch)
- Das Aktivieren eines Ports kostet Penalty (niedrig)
- Das Ausschalten des Port-Energiesparmodus kostet keine Penalty, um vermeidbares aktivieren anderer Hardware / Ports zu vermeiden. Energiesparmodus-Capability zählt lediglich zur Berechnung des Stromverbrauchs.
- Um niedrige Paketlaufzeiten durch das Netz sicherzustellen, kostet jeder Hop / genutzte Verbindung eine weitere Penalty (hoch)

Einzelne Verbindungen haben zusätzlich zu dem dynamischen Anteil außerdem jeweils eine feste Penalty basierend auf Verstärkeranzahl + Länge -> statischer Wert in Datenbank.

Berechnung elektr. Stromverbrauch

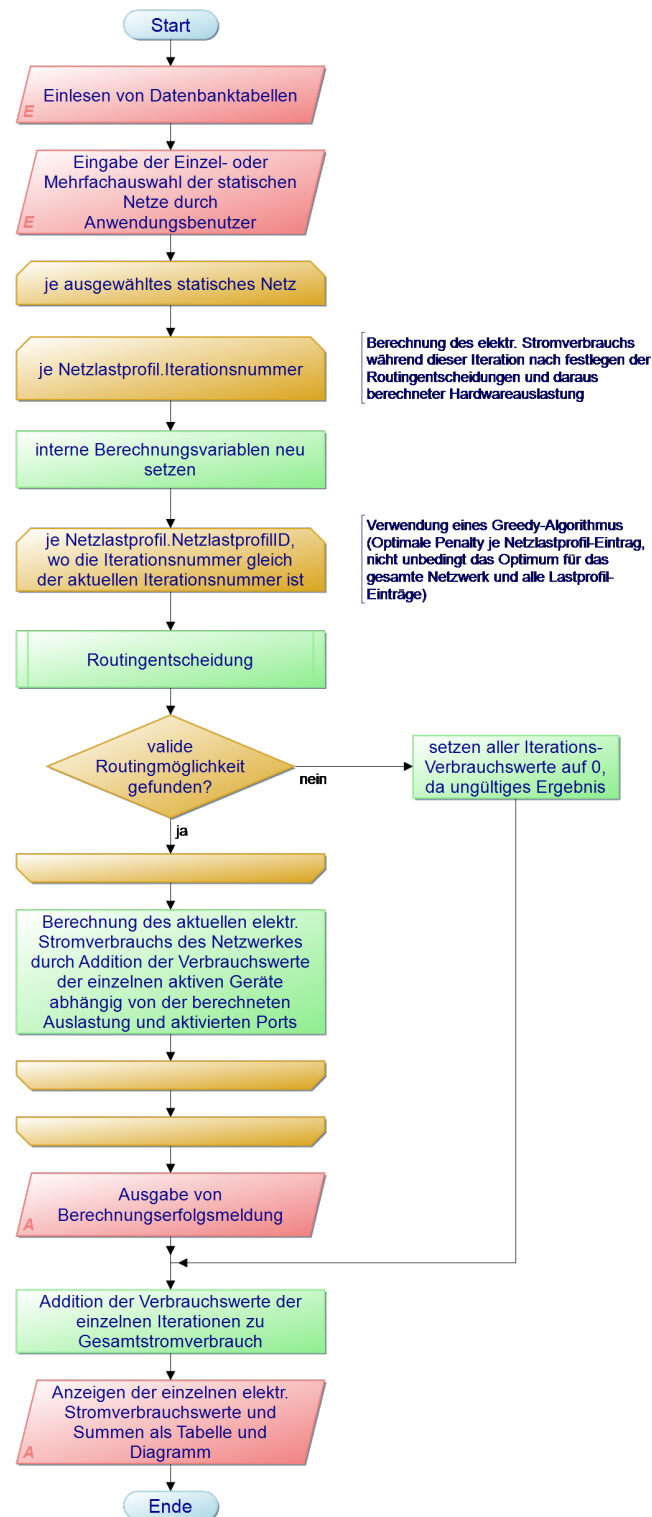


Abbildung 2: Programmablaufplan zur Anwendungslogik

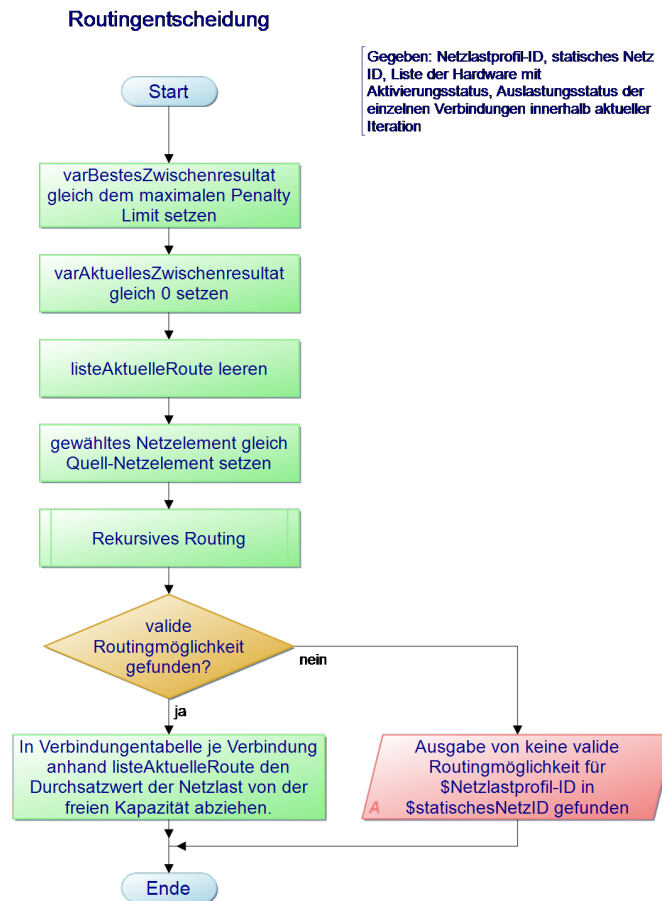


Abbildung 3: Programmablaufplan zum übergreifenden Anteil des Routing-Algorithmus

4.2.3 Komplexität bei der Entwicklung

5 Ergebnisse, Beitrag, Diskussion

5.1 Algorithmus

Das Ziel des teilweise entwickelten Algorithmus ist das effiziente und realitätsnahe abschätzen der zu erwartenden Energieverbrauchswerte von Backbone-Netzwerken sowohl mit als auch ohne Einsetzen der Energieeinspartetechnologien. Es stellte sich während der genaueren Analyse und zu Anfang der Implementierungsphase der Software allerdings heraus, dass der gewählte generische Ansatz einerseits sehr komplex ist und andererseits auf vielen Annahmen und Verallgemeinerungen beruht, die im Vergleich zu echten existierenden Backbone-Netzwerken die Vergleichbarkeit und damit die Praxistauglichkeit der in Entwicklung befindlichen Softwarelösung fast unmöglich machen. Um die Schwächen des entwickelten Algorithmus auszugleichen oder abzuschwächen ist deutlich mehr Bearbeitungszeit notwendig als für diese wissenschaftliche Arbeit zur Verfügung steht. Weiterhin zeigt eine Begutachtung der Aufgabenstellung dieser Arbeit, dass die detaillierte Ausarbeitung eines solchen Algorithmus nicht Teil des geforderten oder erwartbarem Umfangs ist. Aufgrund der genannten Probleme entschieden wir uns dazu, auf die Dokumentation der geleisteten Entwicklung und die Erfüllung der Aufgabenstellung dieser Arbeit den Schwerpunkt zu setzen.

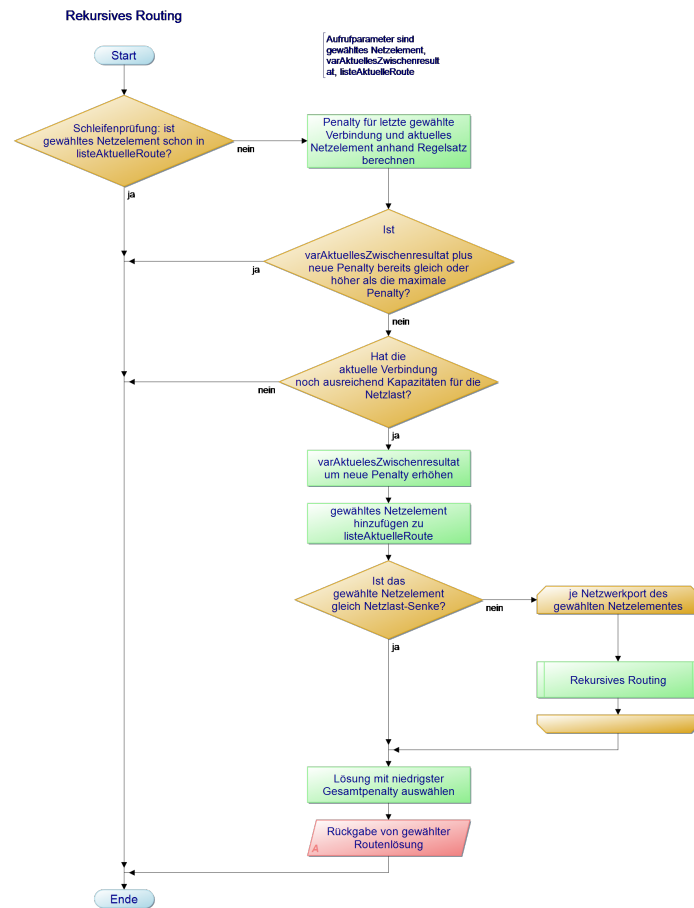


Abbildung 4: Rekursiver Anteil des Routing-Algorithmus

5.2 Software

5.3 Abschätzung des Energieverbrauchs

6 Präsentation und Auswertung der Ergebnisse

7 Diskussion

8 Ausblick