

Datenanalyse des Stromaußenhandels Deutschlands 2005-2013



V 1.0, © 2014 by Dr. rer. nat. Thomas Hoppe, Datenlabor Berlin.

Einleitung

Zwischen dem zweiten Weltkrieg bis zur Wiedervereinigung war Deutschland in vier Sektoren aufgeteilt, die von den Alliierten zunächst verwaltet, später geprägt wurden. Die Zeiten des Kalten Krieges sind lange vorbei und immer noch ist Deutschland unter vier Mächten aufgeteilt. Diesmal sind es jedoch Energieunternehmen. Genauer, die Betreiber von Übertragungsnetzen, die Deutschland in vier Regionen aufgeteilt haben (siehe Abb. 1). Die Übertragungsnetze dieser Betreiber dienen dazu große Energiemengen über weite Distanzen zu verteilen, lokale Verteilnetze zu versorgen und über Kuppelstellen (Schnittstellen zu Übertragungsnetzbetreibern der Nachbarländer Deutschlands) den Stromaustausch im Fall von Über- und Unterkapazitäten sicher zu stellen. Durch § 17 Absatz 1 StromNZV [1] sind die Übertragungsnetzbetreiber verpflichtet die Lastflüsse (die übertragenen Energiemengen) ihrer Netze an den Kuppelstellen ins Ausland zu veröffentlichen. Die so dokumentierten Strommengen stellen die Datenbasis für die vorliegende Datenanalyse der Energieaussenwirtschaft Deutschlands dar.

Nach dem Atomunglück von Fukushima und der am 30. Juni 2011 durch den Bundestag beschlossenen Energiewende, ist die Frage der Energiewirtschaft Deutschlands verstärkt von öffentlichem Interesse. Insbesondere Daten über die Energieaussenwirtschaft erlauben es aus volkswirtschaftlicher Perspektive einen Blick auf den Energieaußenhandel Deutschlands vor und nach der Energiewende 2011 zu werfen.

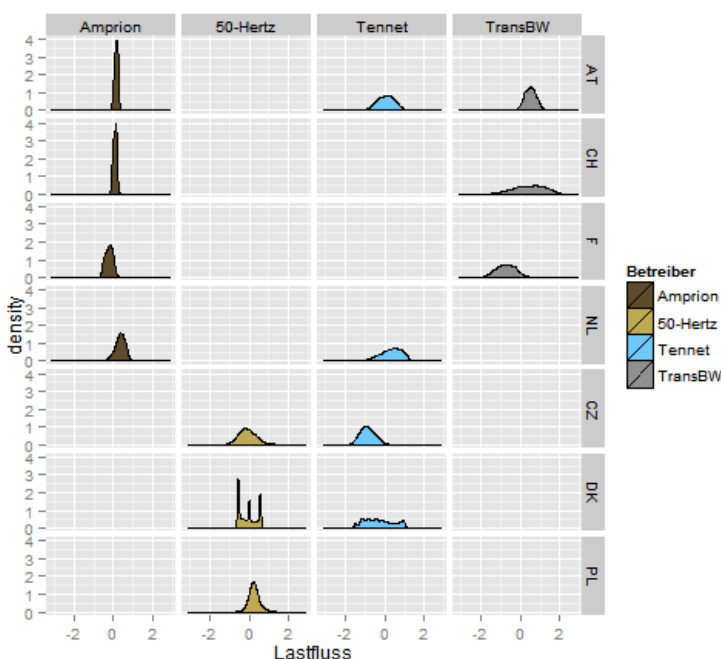
Abb. 1: Deutsche Übertragungsnetzbetreiber



Hintergrund

Wie in der Einleitung dargestellt, haben die vier Übertragungsnetzbetreiber 50-Hertz, Amprion, Tennet TSO, TransBW Deutschland unter sich aufgeteilt (Abb. 1). Jeder Übertragungsnetzbetreiber hat eine oder mehrere Kuppelstellen - so werden die Schnittstellen zwischen in- und ausländischen Übertragungsnetzen bezeichnet - zu einer kleinen Anzahl von Nachbarländern (Abb. 2).

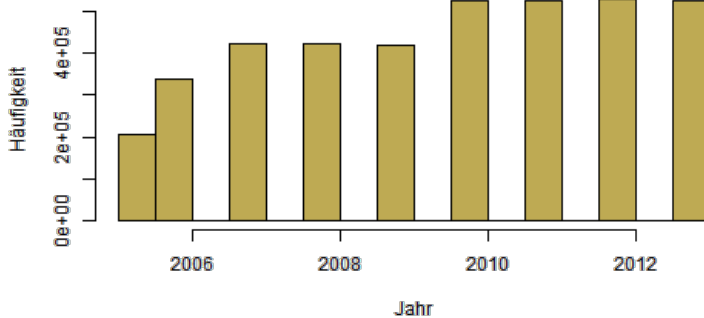
Abb. 2: Stromaußenhandel pro Land und Betreiber



Seit 2005 sind die Betreiber der Übertragungsnetze dazu verpflichtet die an den Kuppelstellen ex- und importierten Energiemengen zu veröffentlichen [1]. Alle übertragungsnetzbetreiber tun dies in viertelstündigen Intervallen, 50-Hertz seit Anfang 2005, Amprion und Tennet seit Mitte 2005. TransBW, welches 2012 aus der EnBW Transportnetze AG hervorgegangen ist, veröffentlicht die Lastflüsse seit Anfang 2010. Für CZ, DK und PL liegen die Lastflüsse an den Kuppelstellen seit Anfang 2005, für AT und NL seit Mitte 2005 und für CH und F seit Anfang 2006 vor. Abb. 3 dokumentiert die jährliche Anzahl der Messwerte. Bedingt durch fehlende Messwerte zwischen 2005 und 2009, können die dokumentierten Werte und folgenden Betrachtungen für den Zeitraum zwischen 2005 und 2009 (inkl.) daher lediglich als Untergrenze betrachtet werden.

Diese Daten können durch eine Recherche leicht gefunden werden, ihre Zusammenstellung erfordert jedoch einigen Aufwand, da die Betreiber sie in unterschiedlichen Formaten und mehr oder weniger leicht herunterladbar bereitstellen. Insbesondere dokumentieren einige Betreiber pro Zeitintervall

Abb. 3: Anzahl der Messwerte pro Jahr



sowohl die Exportmengen als auch die Importmengen, andere hingegen lediglich die Gesamtmenge des ex- oder importierten Stroms. Auch dokumentieren die Betreiber nicht im Detail, ob es sich jeweils um die Leistung (MW) oder die Energie (MWh) handelt. Allen Betreibern gemein ist, dass es sich bei den dokumentierten viertelstündigen Lastflüssen um das viertelstündige Mittel handelt.

Die Daten bilden einen interessanten Grundstock für eine Analyse des deutschen Energieaussenhandels. Einerseits ist die viertelstündige Aufzeichnung detailliert genug, um Fragestellungen hinsichtlich täglicher Schwankungen des Stromaußenhandels zu beantworten, andererseits bildet die kontinuierliche Aufzeichnung der Lastflüsse die Möglichkeit,

monatliche, saisonale und jährliche Effekte zu untersuchen, insbesondere auch Veränderungen vor oder nach der Energiewende. Hinzukommen sowohl Vergleiche bzgl. der Übertragungsbilanz zu den einzelnen Nachbarländern. Ein Vergleich der einzelnen Übertragungsnetzbetreiber hinsichtlich ihres Energie Ex-/Imports in einzelne Nachbarländer hingegen erscheint nicht zweckmäßig.

Auf den ersten Blick drängen sich die folgenden Fragen bzgl. des Energieaussenhandels Deutschlands auf:

1. Ist Deutschland ein Energieex- oder -importland?
2. Erfolgt der Ex- oder Import pro Nachbarland ausgeglichen, oder gibt es reine Export- bzw. Importländer?
3. Hat die Energiewende 2011 nachweisbare Auswirkungen auf die Energieaussenwirtschaft Deutschlands? Falls ja, welche?
4. Wie entwickelte sich der Energieaussenhandel Deutschlands zwischen 2005 und 2013 insgesamt und bezogen auf die einzelnen Nachbarländer? Gab es seit 2011 Veränderungen?
5. Gibt es saisonale Schwankungen im Energieaussenhandel insgesamt und bezogen auf die einzelnen Nachbarländer?
6. Gibt es analoge Schwankungen monatlich und täglich?

Vorgehensweise

Vorverarbeitung

Bereits beim Herunterladen der Daten wurden diese in das "tidy format" [2] überführt, um die Analyse zu vereinfachen. Pro Messung wurden die Tages-, Monats- und Jahresangaben zusammengefasst und in das Datenformat "Date" konvertiert.

Insgesamt stehen 3.910.195 Messungen zur Verfügung, die sich wie folgt auf die vier Übertragungsnetzbetreiber aufteilen:

Betreiber Lastflußmessungen

50-Hertz	1.262.208
Amprion	1.039.432
TennetTSO	1.187.796
TransBW	420.759
Gesamt	3.910.195

Bis auf die bereits im Hintergrund erwähnten Daten, konnten keine weiteren fehlenden Daten identifiziert werden. Fehler konnten in den Daten nicht festgestellt werden.

Eine Analyse nach Ausreißern wurde nicht durchgeführt, die - sowohl hinsichtlich Häufigkeiten als auch Höhe der Messwerte - geplotteten Daten gaben, ergaben keine Hinweise auf Ausreißer. Eine Bereinigung der Daten wurde daher nicht durchgeführt.

Dateninspektion

Die Daten wurden unter unterschiedlichen Gesichtspunkten inspiziert:

1. Häufigkeiten der Messwerte pro Land und Betreiber.
2. Häufigkeit der ¼ stündigen Im- und Exportmengen.
3. Jährlicher Gesamtstromim- und -export.
4. Täglicher Gesamtstromim- und -export.
5. Vergleich der Länder hinsichtlich jährlicher Stromim-/exportmengen
6. Charakteristik der jährlichen Stromim-/exportmenge pro Land
7. Jährliche Schwankungen des Stromim-/exports pro Land

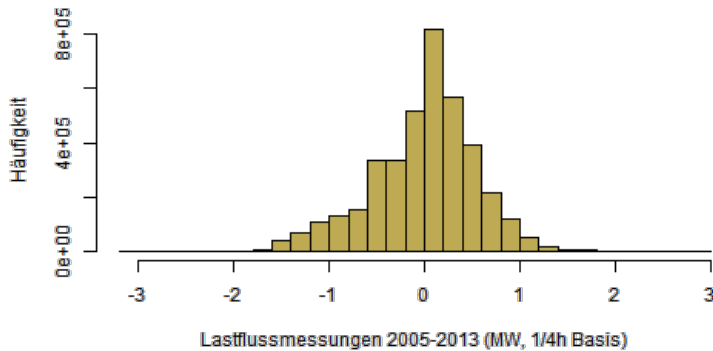
Eingesetzte Verfahren

In dieser ersten Analyse wurden zunächst keine weiteren statistischen oder data mining Verfahren eingesetzt.

Ergebnisse

Alein die Häufigkeitsverteilung der vorliegenden Messwerte (Abb. 4) zeigt, dass Deutschland zwischen 2005 und 2013 öfter Strom exportierte (positive Lastflüsse) als importierte (negative Lastflüsse).

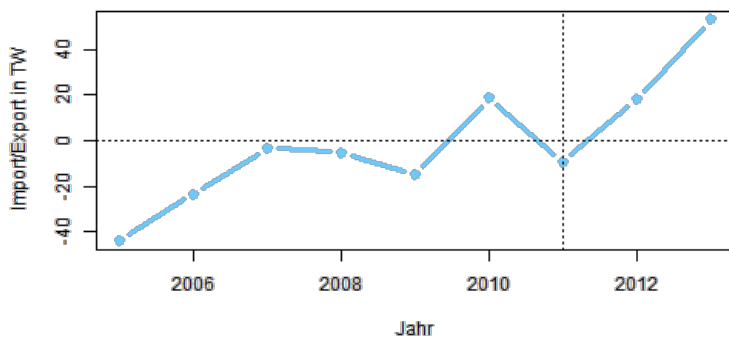
Abb. 4: Häufigkeit der 1/4h in denen Import/Export erfolgte



Die jährlich summierten Messwerte bestätigen, dass der jährliche Gesamtstromexport Deutschlands in diesem Zeitraum wuchs (Abb. 5) und die im Jahr 2011 beschlossene Energiewende nur einen temporären Effekt auf die Stromaußenhandelsbilanz hatte.

Die horizontale Nulllinie und die vertikale Linie im Jahr 2011 dienen in dieser und den folgenden Grafiken dazu den Unterschied zwischen Import (negative Energiemengen) und Export (positive Energiemengen) transparenter zu machen, und das Jahr der Energiewende hervorzuheben.

Abb. 5: Import/Export von Strom in Deutschland



Alle Import-/Exportmengen zusammengefasst (Abb. 5) wird eine Transition Deutschlands von einem Stromimportland (2005-2009) zu einem Exportland (ab 2009) erkennbar. Dem allgemeinen Trend des Rückgangs der importierten Energiemengen und der Zunahme der exportierten Energie standen lediglich zwei Rezessionen entgegen. Die eine im Zeitraum 2008-2009 in dem die Bankenkrise anscheinend Auswirkungen auf den Stromaußenhandel hatte, die andere 2011 in der die Energiewende anscheinend Verunsicherungen am Markt erzeugte.

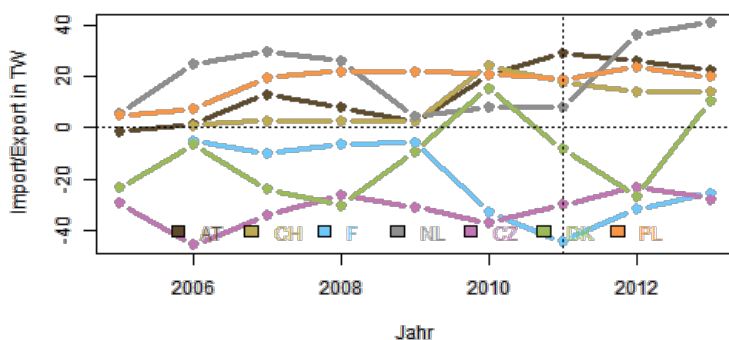
Werden die Messwerte pro Land und Betreiber gegenüber gestellt (Abb. 2) wird ersichtlich, dass es pro Land und Betreiber Unterschiede im Stromim- und -export gibt. Hierbei fallen insbesondere die Verteilungen von Frankreich (F), der Schweiz (CH),

den Niederlanden (NL), Polen (PL) und Dänemark (DK) ins Auge. Aus Frankreich wird anscheinend überwiegend Strom importiert, in die Schweiz, die Niederlande und nach Polen wird hingegen überwiegend Strom exportiert.

Darüber hinaus weisen die Energiemessungen von 50-Hertz nach Dänemark eine interessante Verteilung mit drei Spitzenwerten bei rd. -600KW, 0 und 600KW auf. Entsprechend der Dokumentation von 50-Hertz [3] kann gefolgert werden, dass die Häufungen der Import- und Exportmengen durch die technische Begrenzung der Übertragungsleitungen und häufige Auslastung dieser maximalen Übertragungskapazitäten bedingt sind.

Es drängt sich die Frage auf: "Wie die Stromaußenhandelsbilanz Deutschlands pro Nachbarland gestaltet ist?", i.E. "Von wo importiert Deutschland Strom und wohin wird Strom exportiert?" Stellt man die im- und exportierten jährlichen Strommengen pro Land gegenüber (Abb. 6), ergibt sich ein klares Bild.

Abb. 6: Stromimport/-export pro Nachbarland



Deutschland importiert jährlich mehr Strom aus Frankreich, der Tschechei und Dänemark (exklusive der Jahre 2010 und 2013) als es Strom dorthin exportiert. Österreich, die Schweiz, die Niederlande und Polen sind im betrachteten Zeitraum Exportländer, in die mehr Energie exportiert als von ihnen importiert wird.

Die Betrachtung der monatlichen Stromim- und -exporte in die Schweiz im Zeitraum 2006-2013 offenbart interessante Details (Abb. 7). Während in den Jahren 2006-2009 das Saldo der Im- und Exporte über das Jahr nahezu konstant blieb und sich auf geringem Gigawatt-Niveau bewegte, stieg es ab 2010 signifikant an und zeigt einen ausgeprägten wellenförmigen Verlauf.

Einen analogen wellenförmigen Verlauf zeigt auch der Stromim-/export nach Österreich (Abb. 8) und der Stromexport nach Polen

(Abb. 9).

Abb. 7: Jährlicher Stromimport/Export aus/nach F

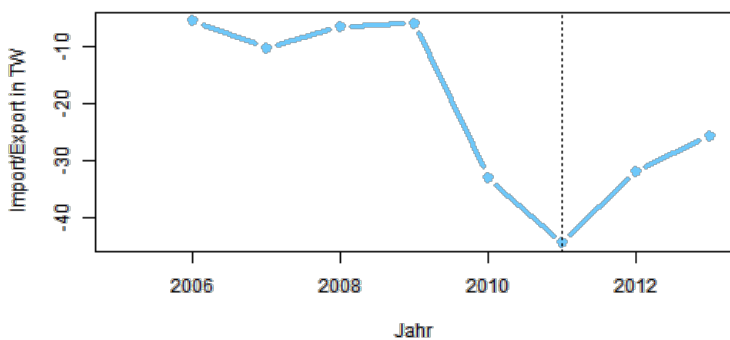


Abb. 8: Jährliche Verteilung der Lastflüsse von/nach CH

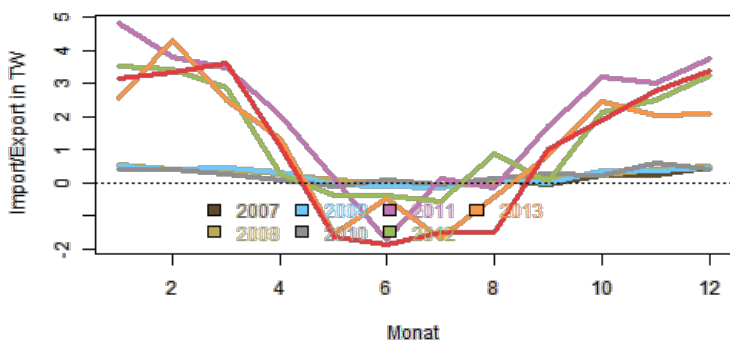


Abb. 9: Jährliche Verteilung der Lastflüsse von/nach AT

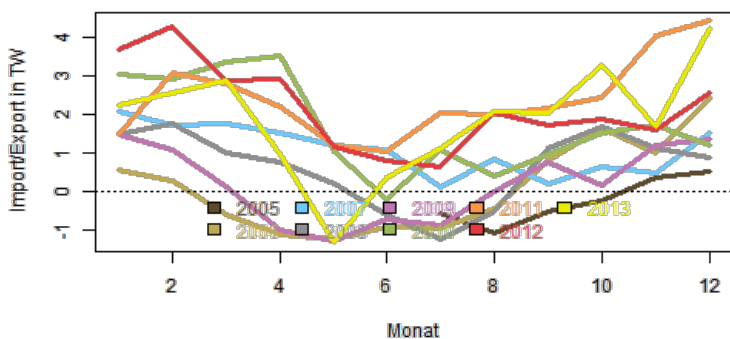
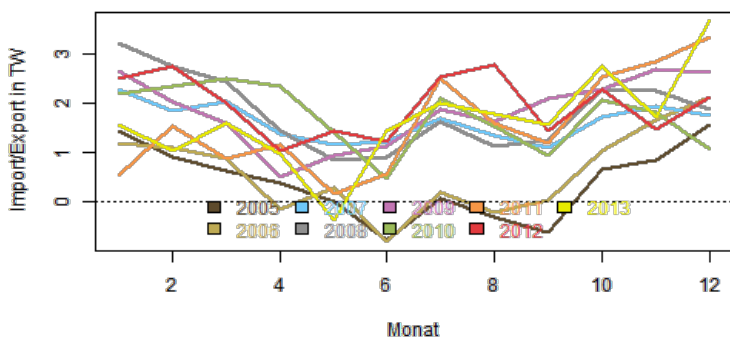


Abb. 10: Jährliche Verteilung der Lastflüsse von/nach PL



eine Untergrenze darstellen können.

Obwohl die Dateninspektion sehr systematisch für jeden Betreiber, jedes Nachbarland und auf Tages, Monats oder Jahresebene erfolgte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass interessante Aspekte in den Diagrammen übersehen wurden. Die in diesem Report zusammengestellten Aussagen bilden die "highlights" der aus den Daten ableitbaren Informationen.

Folgerungen

Bereits diese erste visuelle Analyse der Lastflüsse an den Kuppelstellen führt zu interessanten Erkenntnissen.

1. Deutschland hat sich innerhalb von neun Jahren von einem Energieimporteur zu einem energieexportierenden Land entwickelt.
2. Bekanntermaßen setzt Frankreich auf Nuklearenergie. Über den gesamten betrachteten Zeitraum hat Deutschland Nuklearstrom aus Frankreich importiert. Während dies bis 2009 nicht verwunderlich ist, da bis dahin Deutschland Energieimporteur war, kann man sich fragen, warum der Import auch ab 2010 nicht abnahm, sondern sich im Gegenteil nahezu verdreifachte (vergl. Abb. 7)?
3. Hingegen hat sich im betrachteten Zeitraum der Energieimport aus der Tschechei, die im wesentlichen Strom aus Kohle- und Kernkraftwerken erzeugt, ab 2009 um rund 1/3 reduziert.
4. Der Stromaußenhandel mit der Schweiz hat sich ab 2010 gravierend verändert. Seit 2004 existierten Bemühungen und Verhandlungen einen europäischen Strombinnenmarkt zwischen der CH und der EU zu etablieren. 2010 wurden diese Verhandlungen seitens der Schweiz nochmals intensiviert, soweit bekannt ist, wurde bis heute jedoch noch kein Vertrag ratifiziert. Ob dieser Veränderung ein bilaterales Abkommen zugrundeliegt, konnte bisher noch nicht ermittelt werden.
5. Aus dem jährlichen Verlauf der Stromim-/exporte kann direkt auf die Art der Stromgewinnung in der Schweiz geschlossen werden (Abb. 8). Zwischen September und April ist die Schweiz auf importierten Strom angewiesen und zwischen April und September ist ihre Exportbilanz positiv. In den Wintermonaten ist die Schweiz einerseits durch die kältere Witterung und andererseits, durch leere Speicherstauseen auf Stromimporte angewiesen. Erst zum Ende des Winters füllen sich die Speicherstauseen mit Schmelzwasser, so dass in der warmen Jahreszeit - wenn sowieso weniger Energie für Beleuchtung und Heizung benötigt wird - Strom exportiert werden kann.
6. Der selbe Effekt der Stromgewinnung durch Wasserkraft spiegelt sich auch in der Energiehandelsbilanz mit Österreich wieder (Abb. 9), wobei die Energiemengen über den gesamten betrachteten Zeitraum stärker schwanken.
7. Auch beim Stromexport nach Polen ist diese Schwankung ersichtlich, hier jedoch wird die Stromgewinnung durch Wasserkraft im Sommer keine Rolle spielen, da Deutschland das ganze Jahr über Strom nach Polen exportiert.

Bedingt durch die bereits am Anfang beschriebene Unvollständigkeit der Daten, müssen die Aussagen bzgl. der Jahre 2005-2009 mit vorsicht interpretiert werden, da die saldierten Handelsmengen lediglich

Wie erste Plots der saldierten Lastflüsse zeigen liegt den Daten ein saisonaler Effekt zu grunde. Dieser wurde für AT, CH und PL wie oben beschrieben im Detail betrachtet. Auf eine weitergehende Zeitreihenanalyse der Daten wurde für die erste Fassung dieses Reports bewusst verzichtet.

Bildnachweis

Abb.1: Francis McLloyd, [CC-BY-SA](#)

Referenzen

[1] Verordnung über den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen (Stromnetzzugangsverordnung) vom 25.7.2005, <http://www.gesetze-im-internet.de/stromnzv/> (letzter Zugriff: 24.5.2014).

[2] Tidy Data, Hadley Wickham, Vorabdruck, eingereicht beim Journal of Statistical Software, <http://vita.had.co.nz/papers/tidy-data.pdf> (letzter Zugriff: 24.5.2014).

[3] Veröffentlichungen gemäß Ziffer 5 der Congestion Management Guidelines, <http://www.50hertz.com/de/116.htm> (letzter Zugriff: 24.5.2014).