

GREENPEACE NETZSTUDIE

STUDIE ZUM LUXEMBURGISCHEN IMPORT VON STROM AUS ERNEUERBAREN
ENERGIEN UNTER SPEZIELLER BERÜCKSICHTIGUNG NEUER
HOCHSPANNUNGSLEITUNGEN ZWISCHEN LUXEMBURG UND FRANKREICH

DR.-ING. ECKEHARD TRÖSTER

energynautics GmbH, Deutschland
Im Auftrag von Greenpeace Luxemburg

5. Mai 2011

energynautics GmbH
Mühlstraße 51, 63225 Langen, Germany
Telefon: +49 (0) 61 51 - 870 40 51 00
e.troester@energynautics.com

Fondation Greenpeace Luxembourg
B.P. 229, L-4003 Esch/Alzette, Luxembourg
www.greenpeace.lu

Copyright Information

Alle Inhalte dieser Veröffentlichung unterliegen dem © Copyright der **energynautics** GmbH und Greenpeace Luxembourg.

Sofern nicht anders angegeben, sind alle Inhalte (inklusive Text, Grafiken, Logos, Bilder und angefügte Dokumente), Design und Layout Eigentum der **energynautics** GmbH und Greenpeace Luxembourg. Jegliche unerlaubte Veröffentlichung, Vervielfältigung oder sonstige Wiedergabe sind strengstens verboten und stellen eine Verletzung des Urheberrechts dar.

1 INHALTSVERZEICHNIS

1	INHALTSVERZEICHNIS.....	2
2	EINLEITUNG UND ZIEL DER STUDIE.....	3
3	DAS LUXEMBURGISCHE HOCHSPANNUNGSNETZ	4
3.1	Ist-Zustand	4
3.2	Ausbaupläne.....	6
4	LAST	7
4.1	Lastszenarien.....	9
5	ERZEUGUNG.....	11
6	SPEICHER	13
7	VERSORGUNGSSICHERHEIT.....	14
8	IMPORT VON ERNEUERBAREN ENERGIEN	16
9	TRANSFER	20
10	ZUSAMMENFASSUNG	21
11	LITERATURVERZEICHNIS	24

2 EINLEITUNG UND ZIEL DER STUDIE

Das Stromnetz des Landes Luxemburg weist momentan Verbindungen zu zwei direkten Nachbarländern auf. Es ist einerseits im südlichen Teil des Landes mit dem belgischen Netz im Westen, andererseits mit dem deutschen Netz im Osten verbunden. Im Norden besteht darüber hinaus noch eine zweite Verbindung zum deutschen Versorgungsnetz. Da die Erzeugungskapazitäten des Landes nicht ausreichen, um den Energiebedarf zu decken, ergibt sich zwangsläufig eine Situation, die die Luxemburger Energieversorger dazu zwingt, Energie aus Belgien und Deutschland zu importieren. Ein Direktimport aus Frankreich ist bisher nicht möglich, da keine Übertragungskapazitäten von und nach Frankreich vorliegen.

Dies soll sich in naher Zukunft ändern, da zwischen Luxemburg und Frankreich zurzeit eine zusätzliche Übertragungsleitung mit 225 kV Nennspannung gebaut wird und eine weitere 225 kV Wechselstromleitung parallel dazu in Planung ist. Neben der Erhöhung der Versorgungssicherheit wird von der Regierung u.a. angeführt, dass durch den Bau der beiden Leitungen der weitere Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien am luxemburgischen Strommix gefördert wird (Gouvernement du Luxembourg, 2010).

Diese Argumentation wird von Greenpeace Luxemburg angezweifelt. Daher stellen sich folgende Fragen, die in der Studie zu beantworten sind:

- Unter welchen Bedingungen können diese neuen Hochspannungsleitungen zum Import von Strom aus erneuerbaren Energien beitragen?
- Wie und über welche bestehenden oder neu zu bauenden Leitungen können größere Mengen Strom aus erneuerbaren Energien nach Luxemburg importiert werden?

Um diese Fragen beantworten zu können, ist die Gesamtsituation Luxemburgs zu analysieren und im Kontext mit der gesamteuropäischen Situation und dem Ziel einer Erhöhung des regenerativen Stromanteils in Europa und des damit gegebenenfalls verbundenen notwendigen Netzausbaus in Luxemburg zu sehen. Hierbei soll insbesondere auf drei verschiedene Aspekte eingegangen werden:

1. Regenerative Energieerzeugung in Luxemburg
2. Transfer von Energie durch Luxemburg
3. Import von erneuerbarer Energie

Hierzu werden zunächst der Ist-Zustand ermittelt und mögliche Zukunftsszenarien hergeleitet. Anschließend wird auf die einzelnen Fragestellungen eingegangen und die Ergebnisse abschließend beurteilt. Es werden keine Lastflussberechnungen durchgeführt, sondern lediglich eine Literaturstudie, wobei in mehreren Quellen Lastflussberechnungen aufgeführt sind.

3 DAS LUXEMBURGISCHE HOCHSPANNUNGSNETZ

3.1 IST-ZUSTAND

In Luxemburg gibt es zwei 225 kV Transportnetze (CREOS und SOTEL), wobei an das SOTEL-Netz ausschließlich Industrieverbraucher angeschlossen sind. Beide Netze können gekoppelt werden, was aber bislang nur für Ausnahmefälle vorgesehen ist, da die Verbraucher (Lichtbogenöfen) im SOTEL-Netz die Netzqualität im CREOS-Netz stark beeinflussen können. Die Gas- und Dampfturbine Twinerg ist das einzige nennenswerte Kraftwerk in Luxemburg (350 MW). Außerdem besitzt Luxemburg eines der größten Pumpspeicherkraftwerke Europas (Vianden 1096 MW, geplanter Ausbau auf 1296 MW).

In **Abbildung 1** ist das Luxemburger Transportnetz und dessen Anbindung an die Nachbarländer schematisch dargestellt.

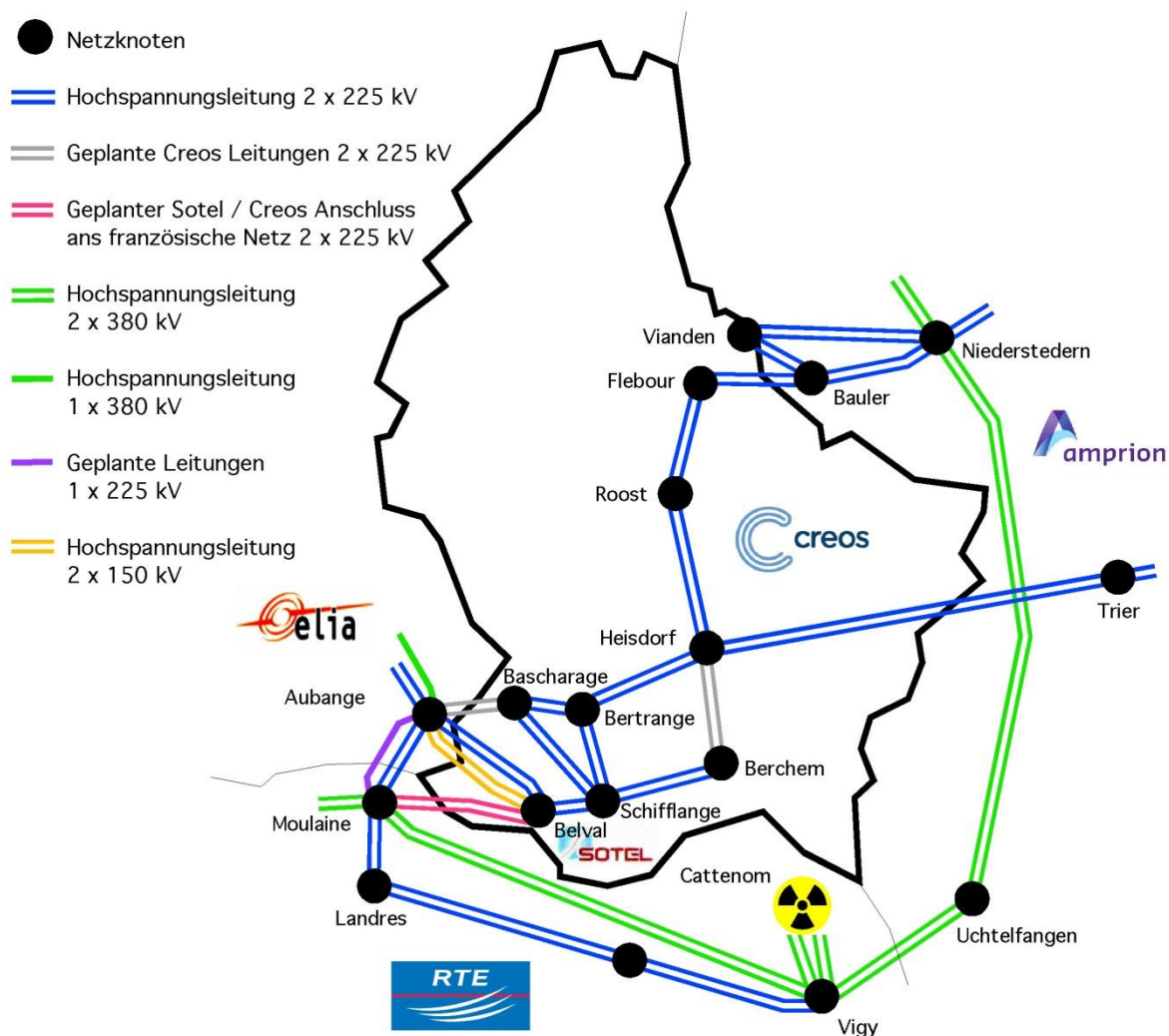


Abbildung 1: Ist-Zustand und Ausbaupläne des luxemburgischen Hochspannungsnetzes und Anschlüsse zu Nachbarländern. Quelle: Greenpeace Luxemburg

Das deutsche Amprion-Netz (früher RWE) und das CREOS-Netz (früher CEGEDEL) sind über zwei 220 kV Doppelleitungen miteinander verbunden. Die Verbindung zwischen SOTEL und dem belgischen Netz (ELIA) erfolgt mit einer 220 kV und einer 150 kV Leitung. Die geplante 220 kV Doppelleitung zwischen dem französischen Netz (RTE) in Moulaine und SOTEL in Belval ist rot eingezeichnet.

Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Kuppelleitungen und zugehörigen Übertragungskapazitäten, die Luxemburg mit Deutschland und Belgien hat.

Deutschland > Pumpspeicher Vianden				Spannung	Max. Leistung
DE	Niederstedem	LU	Vianden	220 kV	460 MVA
DE	Niederstedem	LU	Vianden	220 kV	230 MVA
DE	Bauler	LU	Vianden	220 kV	345 MVA
DE	Bauler	LU	Vianden	220 kV	230 MVA
					1.265 MVA
Deutschland > Luxemburg					
DE	Bauler	LU	Flebour	220 kV	260 MVA
DE	Bauler	LU	Roost	220 kV	260 MVA
DE	Trier	LU	Heisdorf	220 kV	490 MVA
DE	Quint	LU	Heisdorf	220 kV	490 MVA
					1.500 MVA
Belgien > Luxemburg					
BE	Aubange	LU	Belval	220 kV	358 MVA
BE	Aubange	LU	Belval	220 kV	358 MVA
BE	Aubange	LU	Belval	150 kV	100 MVA
BE	Aubange	LU	Belval	150 kV	100 MVA
					916 MVA

Tabelle 1: Übersicht der Kuppelleitungen zwischen Luxemburg und Deutschland bzw. Belgien Quelle: (ENTSO-E, Statistical Yearbook 2009)

3.2 AUSBAUPLÄNE

Die Ausbaupläne nach dem Zehnjahresplan (ENTSO-E, Ten Year Network Development Plan, 2010) von ENTSO-E sehen im Wesentlichen drei neue Verbindungen in Luxemburg und die Verstärkung der Verbindung zwischen Frankreich und Belgien in direkter Nachbarschaft zu Luxemburg vor (**Abbildung 1** und **Tabelle 2**).

Von	Nach	Spannungsebene	Projektfortschritt	Erwartete Inbetriebnahme
FR Moulaine	LU Belval	1 x 220kV	Planungs- und Genehmigungsphase	2010 ¹
LU Bascharage	BE Aubange	2 x 225kV	Planungs- und Genehmigungsphase	2013
LU Heisdorf	LU Berchem	2 x 225kV	Planungs- und Genehmigungsphase	2012/2020
FR Moulaine	BE Aubange	1 x 220kV (Erweiterung)	Im Bau	2010

Tabelle 2: Geplante Netzverstärkungen in Luxemburg und Umgebung
Quelle: (ENTSO-E, Ten Year Network Development Plan, 2010)

¹ Diese Verbindung hat sich verzögert.

4 LAST

Für den notwendigen Netzausbau sind die zu erwartenden zukünftigen Lastspitzen von entscheidender Bedeutung. In der Regel gibt es in Europa eine relativ gute Korrelation zwischen der Bevölkerungsentwicklung und der Entwicklung des Stromverbrauchs und damit auch der Lastspitzen.

Abbildung 2 zeigt die Bevölkerungsentwicklung in Luxemburg in den letzten 30 Jahren sowie den Pro-Kopf-Stromverbrauch. Es ist erkennbar, dass die Bevölkerung in den letzten Jahren zugenommen hat, während der Pro-Kopf-Stromverbrauch in den letzten zehn Jahren nahezu konstant war bzw. sogar leicht abgenommen hat. Im Vergleich zu anderen Ländern hat Luxemburg mit ca. 13.000 kWh/a aufgrund des hohen Industrieanteils einen relativ hohen Stromverbrauch pro Kopf. Zum Vergleich: Deutschland, Belgien und Frankreich haben einen Pro-Kopf-Verbrauch von 7200 bis 8600 kWh/a (data.worldbank.org, 2010).

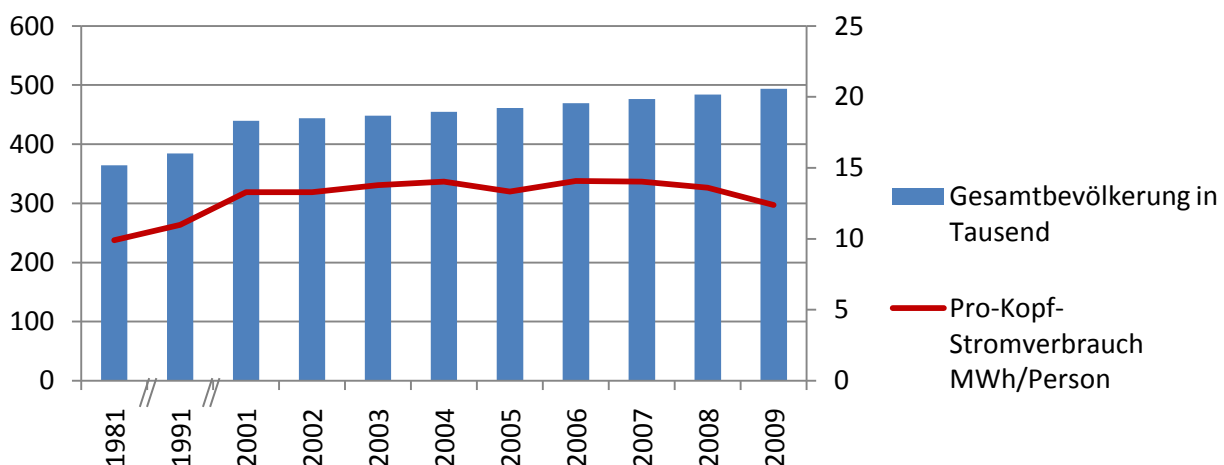


Abbildung 2: Bevölkerungsentwicklung und Pro-Kopf-Stromverbrauch seit 1981
Quelle: (STATEC Luxembourg, 2010)

Tabelle 3 zeigt die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung bis 2030 auf Basis der Daten von Eurostat (Eurostat, 2010). In der CEGEDEL-Netzstudie (Regli & Kaiser, 2004) entspricht der Wert für 2020 der dort maximal angenommenen Bevölkerungsentwicklung.

	2010	2015	2020	2025	2030
(Eurostat, 2010)	494.153	523.024	551.045	578.966	606.654
Jährliche Zunahme		1,14%	1,05%	0,99%	0,94%

Tabelle 3: Prognose der Einwohnerentwicklung in Luxemburg bis 2030.
Quelle: (Eurostat, 2010)

Auf Grundlage dieser Entwicklung ist trotz sinkendem Pro-Kopf-Verbrauch mit einer Steigerung des Stromverbrauchs und damit der Lastspitzen zu rechnen.

Der jährliche Lastgang in Luxemburg ist in Form von Tagesmaxima in **Abbildung 3** dargestellt. Man kann deutlich die Wochenarbeitsstage von den Wochenenden unterscheiden, darüber hinaus sieht man eine verminderte Last während der Urlaubszeiten im Sommer und Winter, in denen die Schwerindustrie heruntergefahren wird. Die Ursache für den außerordentlichen Lastanstieg in den Abendstunden am 9. September 2009 (siehe auch **Abbildung 4**) konnte im Rahmen dieser Studie nicht ermittelt werden. Da der Wert vollkommen aus der Reihe fällt, wurde er im Weiteren nicht berücksichtigt. Im Gegensatz zu den Profilen anderer mitteleuropäischer Länder ist der Verbrauch im Winter nicht wesentlich höher im Vergleich zum Sommer, trotzdem ist die Schwankungsbreite relativ hoch (Minimallast 350 MW bis Maximallast 1100 MW) und weist lediglich eine Volllaststundenzahl² von 5600 h auf.

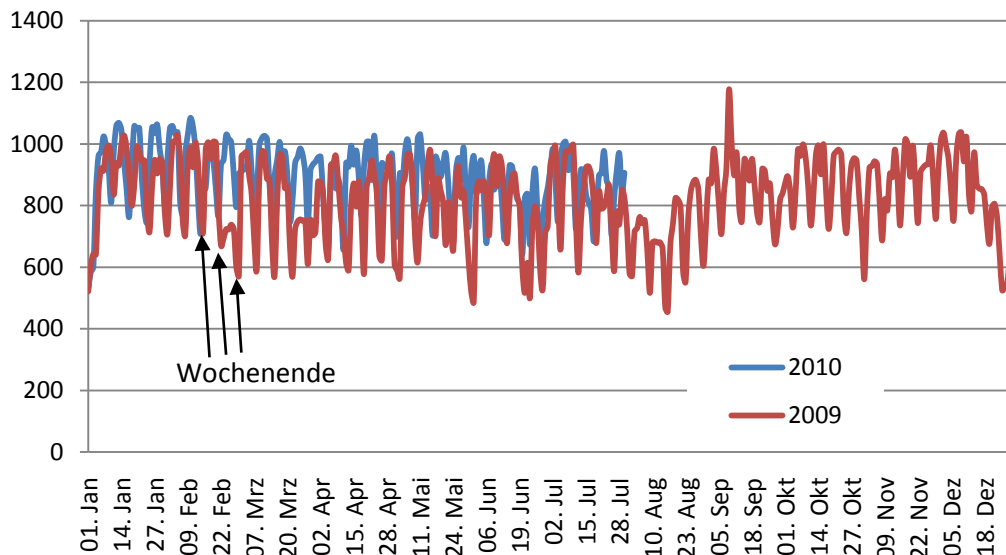


Abbildung 3: Tagesmaxima in MW für 2009 und 2010

Quelle: (www.entsoe.eu, 2010)

Abbildung 4 zeigt den Tageslastgang am 10.2.2010, an dem die höchste Leistungsspitze (außer dem Ausreißer am 9.9.2009, der ebenfalls dargestellt ist) und den Tageslastgang am 16.8.2009, an dem der niedrigste Tagesmaximalwert erreicht wurde. Generell sieht man einen typischen Tagesverlauf, der Maxima zur

² Die Volllaststundenzahl gibt das Verhältnis aus Jahresstromverbrauch in MWh zur maximal auftretenden Last in MW an und ist ein Indikator für die Schwankungsbreite der Last. Bei niedrigen Volllaststunden ergibt sich in der Regel ein höheres Potential, durch Demand Side Management die Maximallast zu reduzieren. Dies ist für Luxemburg der Fall. Zum Vergleich: Deutschland hat eine Volllaststundenzahl von ca. 7000 h.

Mittagszeit und in den frühen Abendstunden aufweist. Die niedrigsten Werte werden in den frühen Morgenstunden erreicht.

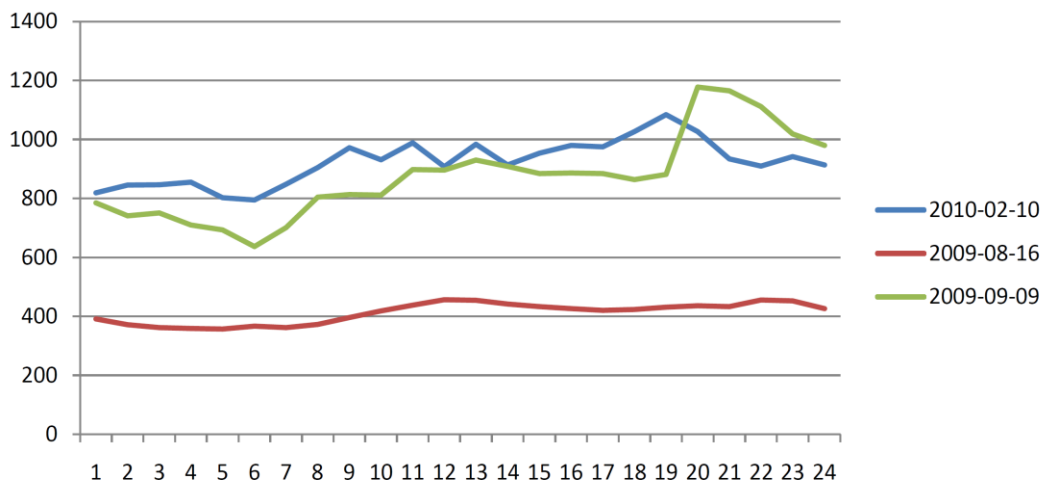


Abbildung 4: Tageslastgang an drei verschiedenen Tagen in MW
Quelle: (www.entsoe.eu, 2010)

4.1 LASTSZENARIEN

Im Gegensatz zu der CEGEDEL-Netzstudie (Regli & Kaiser, 2004), in der nur das CREOS Netz betrachtet wird, wird in dieser Studie die gesamte Stromversorgung Luxemburgs inklusive dem SOTEL Netz untersucht. Da das SOTEL Netz zur Versorgung der Schwerindustrie dient, ergibt sich eine ähnliche Gesamtsituation wie im benachbarten Deutschland. Dort wird eine Lastzunahme von lediglich 0,5%³ pro Jahr angenommen (Regli & Kaiser, 2004), welches mit einer Abnahme der Schwerindustrie begründet wird. Dieser Ansatz ist daher auch für Luxemburg als realistisch anzusehen.

Durch geeignete Maßnahmen wie die gezielte Steuerung von Lasten (Demand Side Management, DSM⁴) lassen sich die Lastspitzen reduzieren (Klobasa, 2010). Damit ist die Annahme in der CEGEDEL-Netzstudie (Regli & Kaiser, 2004), dass die prozentuale Zunahme der Lastspitzen doppelt so hoch wie die Zunahme der Bevölkerung ist, nicht mehr gegeben. Daher soll als Mittelszenario die Lastzunahme proportional zum prognostizierten Bevölkerungsanstieg erfolgen. Die Zunahme liegt dann geringfügig unterhalb des Minimalszenarios der CEGEDEL-

³ Beispiel: Ein Glasschmelzofen benötigt für eine Produktion von 15 Tonnen Glas pro Tag eine Anschlussleistung von 1,2 MW, welches 0,1% der Lastspitze Luxemburgs entspricht.

⁴ Lastmanagement ist in verschiedenen Industriebereichen möglich und wird teils schon praktiziert, beispielsweise in Kühlhäusern, bei der Wasserversorgung oder in Schmelzöfen. Zukünftig soll dies auch in Privathaushalten verstärkt zum Einsatz kommen, beispielsweise bei der Tiefkühltruhe, Waschmaschine, Wärmepumpe oder dem Laden von Elektroautos.

Beispiel: Ein Kühlhaus hat in der Regel eine Anschlussleistung von 0,2 bis 1 MW. Da die Temperatur gewissen Schwankungen unterliegen darf, kann 35% der Leistung so gesteuert werden, dass die Kühlaggregate nur in Zeiten laufen, in denen die Last in Luxemburg niedrig ist (z.B. nachts).

Netzstudie und ist bis zum Jahr 2015 nahezu identisch mit den Annahmen im Bericht der luxemburgischen Regierung über die Versorgungssicherheit im Strombereich in Luxemburg (Gouvernement du Luxembourg, 2010), dargestellt in **Abbildung 5**.

Das Minimalszenario geht von keinem Anstieg der Lastspitzen aus, da hier davon ausgegangen wird, dass durch massive Energieeffizienzmaßnahmen der Energieverbrauch nur geringfügig steigt und zusätzlich durch Flexibilitätsmaßnahmen die Lastspitzen auf dem heutigen Niveau gehalten werden können.

Als Maximalszenario wird der Referenzwert von 2,6% Zuwachs pro Jahr, wie er in der CEGEDEL-Netzstudie hergeleitet wird, verwendet. Dieser Wert ist insbesondere auch dann realistisch, wenn sich zusätzliche Schwerindustrie⁵ ansiedelt oder ein stärkerer Anteil von Elektromobilen und auch Wärmepumpen in Luxemburg zum Einsatz kommt, die, wenn sie nicht intelligent gesteuert werden, zu höheren Lastspitzen führen können.

Alle Angaben in MW	2010	2015	2020	2025	2030
Minimalszenario	1.084	1.084	1.084	1.084	1.084
Mittelszenario	1.084	1.147	1.209	1.270	1.331
Maximalszenario	1.084	1.232	1.402	1.592	1.810

Tabelle 4: Angenommene Lastspitzen in Luxemburg, Quelle: energynautics

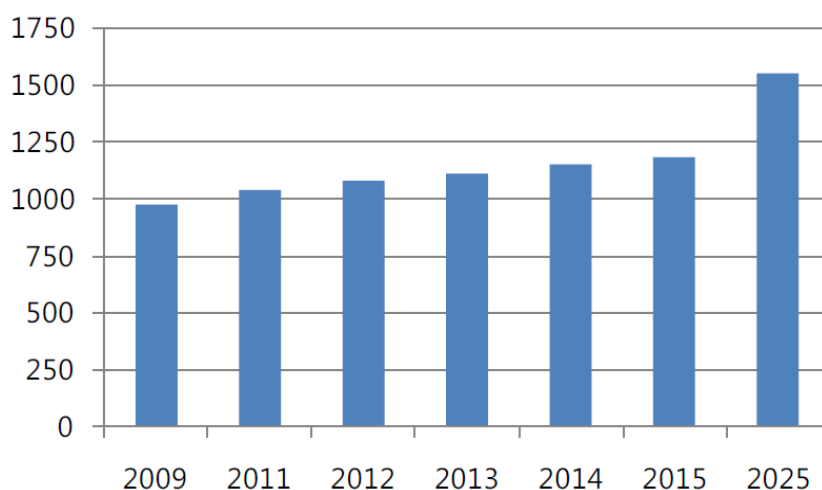


Abbildung 5: Netzlast in Luxemburg 2009 und Prognose der Entwicklung bis 2025 (Summe der Last/Lastprognosen für das Übertragungsnetz der Creos und das Industriernetz der Sotel, alle Werte in MW / Quelle: (Gouvernement du Luxembourg, 2010))

⁵ Ca. 50% des Stromverbrauchs in Luxemburg erfolgt durch Industriebetriebe, welches einen sehr hohen Pro-Kopf-Stromverbrauch in Luxemburg zur Folge hat. Bei Ansiedlung weiterer Schwerindustrie könnte es kurzfristig zu deutlich höheren Steigerungsraten des Stromverbrauchs kommen. In der Schwerindustrie gibt es in der Regel gute Möglichkeiten Lastmanagement vorzunehmen, so dass die Lastspitzen nicht notwendigerweise stark steigen müssen.

5 ERZEUGUNG

Luxemburg ist zum größten Teil auf den Import von Strom angewiesen (**Abbildung 6**). Neben dem GuD-Kraftwerk Twinerg (350 MW) speisen sechs kleine Wasserkraftwerke auf der Hochspannungsebene ein. Der Anteil regenerativer Energieträger an der luxemburgischen Stromerzeugung betrug im Jahr 2009 etwa 6%.

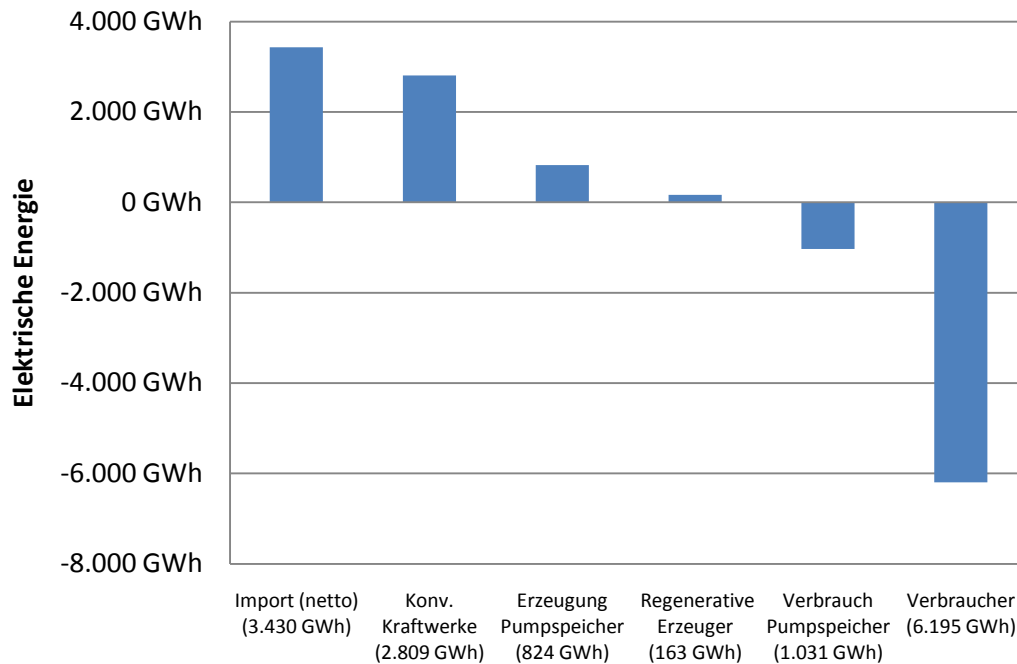


Abbildung 6: Erzeugung, Import und Verbrauch in GWh in 2009
Quelle: (ENTSO-E, Statistical Yearbook 2009)

Der Luxemburger Aktionsplan für erneuerbare Energien sieht vor, im Jahr 2020 einen Zielwert von 11,8% des Stromverbrauchs durch regenerative Energieerzeugung im eigenen Land zu decken. **Tabelle 5** zeigt die Aufteilung auf die einzelnen Energieträger für die Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien in Luxemburg.

	2010		2015		2020	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Wasserkraft	38	107	38	107	44	124
<1MW	2	6	2	6	3	7
1MW-10MW	36	100	36	100	41	117
>10MW	0	0	0	0	0	0
Geothermie	0	0	0	0	0	0
Photovoltaik	27	20	88	65	113	84
Windenergie	35	60	105	192	131	239
Biomasse	13	70	36	200	59	334
<i>fest</i>	5	25	13	77	30	190
<i>Biogas</i>	8	44	23	123	29	144
Insgesamt	113	257	267	564	347	781

Tabelle 5: Strom aus erneuerbaren Energien in Luxemburg
Quelle: (Gouvernement du Luxembourg, 2010)

Die Angaben der luxemburgischen Regierung bleiben teilweise deutlich unterhalb dem in einer Potenzialstudie (Ragwitz, et al., 2007) ermittelten realisierbaren Potential für 2020 (**Tabelle 6**). Während Wasserkraft und Windenergie sehr gut mit dem ermittelten realisierbaren Potential übereinstimmen, liegt Photovoltaik am unteren Rand der ausgewiesenen Spanne.

Alle Anlagen in GWh/a	Angaben in 2005	Status quo 2005	realisierbares Potenzial 2010	realisierbares Potenzial 2020	technisches Potenzial	theoretisches Potenzial
Biomasse ⁶	473	827	827	2.170	6.479	10.038
Geothermie	0	0	0	0	0	0
Kleinwasserkraft	102	106	106	137	140	175
Photovoltaik	19	26 - 43	26 - 43	59-176	7.607	33.167
Windkraft	53	118	118	237	5.146	20.584
TOTAL	647	1077 - 1094	1077 - 1094	2603 - 2720	19.372	63.964

Tabelle 6: Potenziale für Strom aus erneuerbaren Energien in Luxemburg
Quelle: (Ragwitz, et al., 2007)

Betrachtet man das technische Potential in **Tabelle 6**, so gibt es hier insbesondere noch erhebliches Potential im Bereich der Photovoltaik und der Windenergie.

⁶ Heizwert; das angegebene Potenzial ist daher nicht vollständig in Strom umsetzbar.

6 SPEICHER

In Vianden, direkt an der Grenze zu Deutschland, verfügt Luxemburg über eines der größten Pumpspeicherkraftwerke Europas mit einer Leistung von 1096 MW. Bis zum Jahr 2013 wird die Kapazität auf 1296 MW ausgebaut, jedoch steht durch Generalrevisionen bis 2020 kontinuierlich jeweils ein Maschinensatz (100 MW) nicht zur Verfügung. Das Kraftwerk hat keinen natürlichen Zufluss und trägt daher nicht zur Nettostromerzeugung in Luxemburg bei.

Weil die Leistung des Kraftwerks die installierte Leistung Luxemburgs bei weitem übersteigt, muss der Pumpstrom aus dem Ausland importiert werden und kann nicht in Luxemburg produziert werden. Außerdem ist das Kraftwerk, obwohl es in Luxemburg liegt, ausschließlich mit dem Amprion-Netz verbunden. Als Ausgleich ist mit Amprion vertraglich eine jederzeit zur Verfügung stehende Anschlussleistung von 980 MVA über die beiden 220 kV Doppelleitungen vereinbart.

Generell kann das Pumpspeicherkraftwerk zum zeitlichen Ausgleich schwankender erneuerbarer Stromproduktion herangezogen werden und kann daher einen Beitrag zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in Europa leisten. Ein weiterer Netzausbau in Luxemburg ist dafür nicht notwendig⁷.

⁷ Bei sehr hohem Anteil erneuerbarer Energien in Luxemburg könnte eine Verstärkung bzw. Neubau von Leitungen nach Vianden sinnvoll sein, um den überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien zu speichern. Diese Situation ist allerdings in naher Zukunft eher unwahrscheinlich.

7 VERSORGUNGSSICHERHEIT

Anhand der maximalen Übertragungsleistung (**Tabelle 1**) lässt sich abschätzen, welche Leistungsspitzen durch Import gedeckt werden können. Demnach ergibt sich eine maximale Leistung von 1.500 MVA aus Deutschland und eine maximale Leistung von 916 MVA aus Belgien. Bei Anwendung des (N-1)-Kriteriums⁸ kommt man für Deutschland auf ca. 1.010 MVA und Belgien auf 816 MVA. Bei einer Kopplung der beiden Netze und Anwendung des (N-1)-Kriteriums wäre aus beiden Ländern eine maximale Leistung von 1.926 MVA beziehbar.

Ein Vergleich mit der Last (**Tabelle 4**) zeigt, dass bei Annahme einer Vollversorgung durch Import⁹ das Minimal- und das Mittelszenario bis 2030 gut erfüllt werden kann. Auch das Maximalszenario kann erfüllt werden, allerdings ist aufgrund der groben Abschätzung ohne Durchführung einer Lastflussberechnung keine endgültige Aussage machbar.

Die CEGEDEL-Netzstudie (Regli & Kaiser, 2004) kommt zu dem Ergebnis, dass die Übertragungskapazitäten aus Deutschland zur Versorgung des CREOS-Netzes bis mindestens 2016 ausreichend sind. Spätestens 2024 werden neue Leitungen benötigt. Die Studie gibt als Empfehlung, unter anderem auch den Neubau einer Leitung im Süden Luxemburgs zu erwägen.

Alternativ zum Neubau einer Leitung im Süden wird im Consentec-Gutachten (Consentec; Prof. Dr.-Ing. Haubrich, 2005) zur Erhöhung der Versorgungssicherheit sowohl im SOTEL- als auch im CREOS-Netz ein Zusammenschluss der beiden Netze vorgeschlagen¹⁰. In diesem Gutachten wird darauf hingewiesen, dass der Bau einer neuen Verbindung zwischen dem SOTEL-Netz und dem französischen Netz, so wie sie im Bau ist, nicht zur Versorgungssicherheit im CREOS-Netz beiträgt und den Zusammenschluss der beiden Netze sogar unmöglich machen kann, wenn nicht zusätzliche Maßnahmen im französischen Netz ergriffen werden. Diese Maßnahmen betreffen den Ausbau des 380 kV Netzes zwischen Moulaine und Aubange oder alternativ der Zubau von 380/220 kV-Transformatoren in Moulaine. Ohne diese Maßnahmen kann es zu Überlastun-

8 Das (N-1)-Kriterium wird angewandt, um die Versorgungssicherheit zu überprüfen. Demnach muss bei Ausfall eines Betriebsmittels (z.B. einer Leitung) die Stromversorgung aufrechterhalten werden können.

9 Die Annahme einer Vollversorgung durch Import ist sehr konservativ, da insbesondere das GuD-Kraftwerk Twinerg die Importleistung deutlich reduzieren kann und auch die dezentralen Kraftwerke (Wasser, Wind, Biomasse) zur Reduzierung der Importleistung beitragen.

10 Im SOTEL-Netz gibt es viele industrielle Verbraucher, die die Netzqualität maßgeblich durch Flicker verschlechtern, daher ist der Zusammenschluss umstritten. Als Gegenmaßnahme wäre allerdings eine Reduzierung der Flicker durch Kompensationsanlagen möglich.

gen im französischen Netz kommen, wenn die beiden Netze zusammengeschlossen werden.

Demgegenüber werden in einer Kurzstellungnahme (Zander, 2005) weitere Optionen aufgeführt (wie z.B. der Ausbau der 150 kV-Leitung nach Belgien und Verwendung von Querregeltransformatoren), die auch dazu dienen können, die beiden Netze trotz Verbindungsleitung zwischen dem SOTEL-Netz und dem französischen Netz zu koppeln und somit die Versorgungssicherheit zu erhöhen.

Die verschiedenen Studien, die größtenteils auf Lastflussberechnungen beruhen, lassen den Schluss zu, dass für die Versorgungssicherheit ein Netzausbau zwischen Luxemburg und Frankreich nicht zwangsläufig notwendig ist, sondern dass diese durch andere Maßnahmen sichergestellt werden kann, wie z.B. durch den dauerhaften Zusammenschluss der beiden Netze.

8 IMPORT VON ERNEUERBAREN ENERGIEN

Tabelle 7 zeigt die Im- und Exporte Luxemburgs mit Belgien und Deutschland sowie den Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix des jeweiligen Landes (positive Werte bedeuten Export aus Luxemburg, negative Werte Import nach Luxemburg). Da rechnerisch die gesamte Importenergie aus Deutschland bezogen wird, kann der Anteil regenerativer Energien des Imports Luxemburgs mit 15,4% angesetzt werden. Durch einen Zugang zum französischen Markt wird der Import aus Deutschland reduziert, dies hat allerdings heute noch keinen wesentlichen Einfluss auf die rechnerische Quote erneuerbarer Energien des Importstroms, da der Anteil erneuerbarer Energien in Frankreich aufgrund hoher Anteile von Wasserkraft nahezu identisch mit dem Anteil Erneuerbarer in Deutschland ist. Da Deutschland sich ein höheres Ziel bis 2020 im Bezug auf den Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor gesteckt hat, ist davon auszugehen, dass zukünftig durchaus der rechnerische Anteil regenerativer Energien am Importstrom weniger stark zunimmt, wenn Strom aus Deutschland durch Strom aus Frankreich ersetzt wird, als dies bei reinem Bezug aus Deutschland der Fall wäre.

	Import	Export	Differenz	Anteil Erneuerbare Energien an der Stromproduktion	
				2008	Ziele 2020
Belgien	-911	1.868	957	5,3%	20,9%
Deutschland	-5.115	728	-4.387	15,4%	38,6%
Frankreich	0	0	0	14,4%	27,0%
Luxemburg Gesamt	-6.026	2.596	-3.430	4,1%	11,8%

Tabelle 7: Im- und Exporte 2009 in GWh
 Quelle: (ENTSO-E, Statistical Yearbook 2009)
 Anteil erneuerbarer Energien am Strommix 2008
 Quelle: (Eurostat, 2010), Tabelle: tsien050
 Ziele 2020: National Renewable Energy Action Plans
 Quelle: (Europäische Kommission, 2011)

Nach der Richtlinie 2009/28/EG (Europäisches Parlament, 2009) kann laut Artikel 6 ein statistischer Transfer bestimmter Mengen aus erneuerbaren Quellen zwischen einzelnen Mitgliedstaaten der Europäischen Union erfolgen. Solch ein Transfer bietet sich insbesondere dann an, wenn erneuerbare Quellen in anderen Ländern einfacher und kostengünstiger erschlossen werden können. Bei dieser Vorgehensweise werden keine Anforderungen an Netztransferkapazitäten gestellt, da es eine reine statistische Verrechnung im Nachgang ist. Der Anteil erneuerbarer Energien in Europa und statistisch gesehen der Anteil am luxemburgischen Verbrauch könnte daher bei Anwendung dieser Option ohne weite-

ren Netzausbau in Luxemburg erhöht werden. Ähnliches gilt für Artikel 7, 8 und 11, in dem gemeinsame Projekte der Mitgliedsstaaten behandelt werden. Diese Strategie wird von der luxemburgischen Regierung (Gouvernement du Luxembourg, 2010) aktiv verfolgt. In wie weit die Aussage, dass Luxemburg „als einziges Land **zwingend** auf die Kooperationsmechanismen angewiesen ist“ zutreffend ist, ist in Anbetracht der Potentiale, wie sie in der Potentialstudie (Ragwitz, et al., 2007) beschrieben sind, anzuzweifeln.

Eine weitere Möglichkeit Strom aus erneuerbaren Energien zu importieren wird in Artikel 9 und 10 der Richtlinie 2009/28/EG beschrieben. Hierbei geht es um Projekte in Drittstaaten außerhalb der Europäischen Union, beispielsweise Strom aus Sonnenenergie in Nordafrika. Im Gegensatz zum statistischen Transfer werden hier strenge Vorgaben gemacht, die notwendigen Verbindungskapazitäten im Übertragungsnetz zuzuweisen. Dies betrifft neben dem Ursprungsland und dem Bestimmungsland auch Transitdrittländer und kann daher mit erheblichen Netzausbaumaßnahmen verbunden sein. Diese Option wird im Aktionsplan für erneuerbare Energien (Gouvernement du Luxembourg, 2010) nicht weiter behandelt, da sie gegenüber dem statistischen Transfer mit erheblichem administrativen Mehraufwand verbunden ist. Da Luxemburg keine direkte Grenze mit EU-Drittstaaten hat, ist diese Option nur in Kooperation mit anderen Staaten als sinnvoll zu erachten (beispielsweise der Aufbau eines gemeinsamen Supergrids zum Transport von Strom aus Windenergie aus der Nordsee oder Sonnenenergie aus Südeuropa). Im Alleingang ist diese Option weniger attraktiv und sollte erst nach dem Ausschöpfen anderer Möglichkeiten (wie z.B. stärkerer Ausbau eigener Ressourcen und statistischer Transfer) genutzt werden. Ein Netzausbau in Luxemburg ist daher für die beschriebene Option zunächst nicht notwendig.

Eine zentrale Fragestellung von Greenpeace Luxemburg ist, wie das Netz ausgebaut werden muss, damit ein höherer Anteil erneuerbarer Energien in Luxemburg erreicht werden kann. Dazu muss zunächst beantwortet werden, aus welchen Gründen Netzausbauten im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien notwendig sind. Hierfür gibt es zwei entscheidende Gründe:

1. Integration: Erneuerbare Energien werden in vielen Fällen an Orten erzeugt, wo ein hohes technisches Potential vorliegt (Beispielsweise Wind in der Nordsee), aber nicht unbedingt die Verbraucherzentren liegen. Möchte man trotzdem die Energie aus den Anlagen möglichst komplett abnehmen, müssen die Leitungskapazitäten zu den Anlagen adäquat dimensioniert werden und eine großräumige Verteilung der Energie über das Transportnetz hin zu den Verteilnetzen und den Endverbrauchern ermöglicht werden.
2. Versorgungssicherheit: Da es aufgrund der fluktuierenden Einspeisung regenerativer Energien (insbesondere Windenergie und Photovoltaik) zu

sehr verschiedenen Lastflüssen innerhalb des Transportnetzes kommen kann, ist das Netz zum Erreichen einer hohen Versorgungssicherheit so zu dimensionieren, dass es mit den verschiedensten Extremsituationen zurechtkommt. Beispielsweise dreht sich der Lastfluss zwischen Mittel- und Nordeuropa in Abhängigkeit der Jahreszeit um: Im Sommer wird sehr viel Wasserkraft aus Skandinavien nach Mitteleuropa transportiert, während im Winter, wenn die Wasserspeicher zugefroren sind, ein erhöhter Lastfluss aus Mitteleuropa nach Skandinavien erfolgt. Dieses Phänomen wird sich mit Erhöhung des Anteils regenerativer Energien in Europa auch auf andere Regionen in ähnlicher Form ausbreiten.

Zu 1: Da Luxemburg über keine ausgeprägten Potentiale erneuerbarer Energien verfügt, die zu einem verstärktem Ausbau des Übertragungsnetz führen müssen, wie sie beispielsweise für Offshorewindparks oder auch für große solarthermische Kraftwerke notwendig wären, ist aus dieser Sicht kein Ausbau des Übertragungsnetzes notwendig. Bei verstärktem Ausbau dezentraler Erzeugungseinheiten wie Photovoltaik und Windenergie ist dagegen allerdings schon von notwendigen Maßnahmen auszugehen, die allerdings hauptsächlich das Verteilnetz betreffen. Solche Maßnahmen können neben dem Netzausbau z.B. auch die intelligente Steuerung von Verbrauchern und Erzeugern sowie der Einsatz von Speichern sein, welches man unter dem Begriff „Smart Grid“ zusammenfasst.

Zu 2: Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit bei hohem Anteil regenerativer Energien im Versorgungssystem sind großflächige Ausgleichsmöglichkeiten innerhalb des Verbundnetzes zu schaffen. Diese werden in erster Linie auf der 380 kV-Ebene und einem gegebenenfalls zu schaffenden Hochspannungsgleichstromnetz (Supergrid) erfolgen. Da Luxemburg kein Transferland für Energie ist und auch aufgrund seiner geographischen Lage nicht notwendigerweise ein Transferland werden muss, stellt sich die Frage des Netzausbaus auf Grundlage der Versorgungssicherheit weniger im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien, sondern um einen eventuell wachsenden Bedarf an Energie zu decken.

Langfristig, mit Hinblick auf einen hohen Anteil regenerativer Energien im Stromverbund und dem damit verbundenen notwendigen weiträumigen Ausgleich von Energie, kann es für Luxemburg sinnvoll sein, eine Vollversorgung aus allen Richtungen (Belgien, Deutschland, Frankreich) zu ermöglichen, die den 380 kV-Ring um Luxemburg entlasten. Darüber hinaus wäre eine direkte oder indirekte Anbindung an ein Supergrid denkbar.

Anschauungsbeispiel

Import von Windenergie von der französischen Atlantikküste

Um einen Import von Windenergie, die an der französischen Atlantikküste erzeugt wird, zu ermöglichen muss zunächst die Integration des Windparks in das französische Netz sichergestellt werden, so dass die größtmögliche Menge abgenommen werden kann. Hierzu sind gegebenenfalls Netzausbauten im französischen Netz notwendig. Aufgrund der Charakteristik des Netzverbunds wird der Strom soweit wie möglich in der Nähe der Erzeugung verbraucht. Der Windpark erhöht damit den Anteil erneuerbarer Energien in Frankreich und kann über statistischen Transfer (Europäisches Parlament, 2009) an Luxemburg übertragen werden. Ein Netzausbau in Luxemburg ist für diesen Zweck nicht notwendig. Ein physischer Import von Strom aus einem Windpark an der Atlantikküste ist zwar denkbar und über entsprechende Direktverbindungen z.B. auf Hochspannungsgleichstrombasis realisierbar, widerspricht jedoch dem Gedanken des Netzverbunds und würde die Kosten unnötig in die Höhe treiben.

9 TRANSFER

Um eine Energieversorgung in Europa mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien zu erreichen, wird ein großräumiger Ausgleich von elektrischer Energie in Abhängigkeit des Angebots notwendig. In diesem Abschnitt soll kurz die Rolle Luxemburgs diesbezüglich beleuchtet werden.

Luxemburg ist ein kleines Land mitten in Mitteleuropa. Es ist von Deutschland, Frankreich und Belgien umgeben. Es ist keine ausgeprägte spezielle geografische Lage erkennbar, das heißt, es sind keine großen Gebirge (wie die Alpen) oder Meere in der Nähe. Luxemburg ist daher nicht als prädestiniertes Transferland, wie z.B. Dänemark, zu bezeichnen.

In Luxemburg gibt es keine 380 kV Leitungen, die typischerweise für den Transport von hohen Mengen von Energie über längere Entfernungen (mehrere 100 km) verwendet werden. Wie **Abbildung 1** zeigt, ist Luxemburg von einem Ring von 380 kV Leitungen in den Nachbarländern umgeben, notwendige Ausbauten zum großräumigen Ausgleich von Energie werden daher zunächst auf diesen Trassen erfolgen. Ein Ausbau der Transferkapazitäten in Luxemburg ist daher nicht notwendig.

Durch Zusammenschluss der beiden luxemburgischen Netze, wie er insbesondere im Consentec-Gutachten (Consentec; Prof. Dr.-Ing. Haubrich, 2005) untersucht wird, kann zumindest ein minimaler Transfer ermöglicht werden.

10 ZUSAMMENFASSUNG

Luxemburg hat keine prädestinierten regenerativen Ressourcen, die dazu führen würden, dass Luxemburg zu einem Exportland (wie z.B. Wasserkraft aus Norwegen) für erneuerbare Energien werden wird. Ein Netzausbau auf Grundlage des Exports erneuerbarer Energien ist daher nicht notwendig.

Stattdessen wird Luxemburg aufgrund seines hohen Stromprokopfverbrauchs auch auf absehbare Zeit Importland für elektrische Energie bleiben. Durch Aufbau eigener Erzeugungskapazitäten aus erneuerbaren Energien kann die Abhängigkeit vom Ausland reduziert werden. Hier gibt es insbesondere im Bereich der Photovoltaik und Windenergie noch deutliches Potential gegenüber den Zielen der luxemburgischen Regierung. Durch die verstärkte Einbindung dezentraler Energieerzeuger können insbesondere im Verteilnetz Netzausbaumaßnahmen notwendig werden.

Das Pumpspeicherwerk Vianden kann zum Ausgleich schwankender erneuerbarer Stromproduktion herangezogen werden, es spielt aber heute noch keine entscheidende Rolle bei der Erhöhung des regenerativen Energieanteils in Luxemburg, daher sind auch hier keine Netzausbauten notwendig.

Durch eine Zunahme der Bevölkerung in Luxemburg wird es zu einem weiteren Anstieg des Energieverbrauchs und der Lastspitzen kommen, die für den Netzausbau maßgeblich sind. Durch geeignete Maßnahmen, wie Demand Side Management und Energieeffizienz, kann diesen Lastspitzen entgegengewirkt werden, so dass ein moderater Anstieg der Last um ca. 1%/a als realistisch angesehen werden kann. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, ist der steigende Bedarf langfristig zu sichern. Netzstudien (Consentec; Prof. Dr.-Ing. Haubrich, 2005) zeigen, dass durch moderate Ausbaumaßnahmen (wie z.B. dem Zusammenschluss des Sotel- und Creos-Netzes) die Versorgungssicherheit durch Import aus dem Ausland gesichert werden kann. Zusätzliche Verbindungsleitungen sind nicht zwangsläufig dafür notwendig.

Der Anteil von Strom aus erneuerbaren Energien (EE) am Stromverbrauch in Luxemburg lag 2008 bei ca. 4,1%. Dem Importstrom, der maßgeblich aus Deutschland kommt, kann man einen Anteil von ca. 15,4% bescheinigen. Zusätzliche Leitungen nach Frankreich (14,4% EE Anteil in 2008) würden den Import aus Deutschland zwar reduzieren, dies hätte aber zurzeit keinen wesentlichen Einfluss auf die Quote. Durch höhere EE Ziele von Seiten Deutschlands bis 2020 ist allerdings davon auszugehen, dass der Anteil von EE am Importstrom weniger stark zunimmt, wenn verstärkt Strom aus Frankreich bezogen wird. Diese Berechnung wird jedoch so nicht offiziell angewandt und gibt auch nur einen groben Anhaltspunkt.

Stattdessen bietet die Richtlinie 2009/28/EG (Europäisches Parlament, 2009) die Möglichkeit eines statistischen Transfers (Artikel 6) von erneuerbaren Energien aus einem anderen Mitgliedsland oder ein gemeinsames Projekt (Artikel 7 und 8) durchzuführen. Bei dieser Vorgehensweise werden keine Anforderungen an Netztransferkapazitäten gestellt, da es eine reine statistische Verrechnung im Nachgang ist. Der Anteil erneuerbarer Energien in Europa und statistisch gesehen der Anteil am luxemburgischen Verbrauch könnte daher bei Anwendung dieser Option ohne weiteren Netzausbau in Luxemburg erhöht werden.

Darüber hinaus bietet die Richtlinie die Möglichkeit, aus Drittstaaten der EU einen Direktimport vorzunehmen. Da Luxemburg keine direkte Grenze mit Drittstaaten der EU hat, ist diese Option nur in Kooperation mit anderen Staaten als sinnvoll zu erachten (Beispielsweise der Aufbau eines gemeinsamen Supergrids zum Transport von Strom aus Windenergie aus der Nordsee oder Sonnenenergie aus Südeuropa). Ein Netzausbau in Luxemburg ist daher für die beschriebene Option zunächst nicht notwendig.

Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit bei hohem Anteil regenerativer Energien im Versorgungssystem sind großflächige Ausgleichsmöglichkeiten durch Übertragungskapazitäten innerhalb des Verbundnetzes zu schaffen. Diese werden in erster Linie über die Höchstspannungsleitungen auf der 380 kV Ebene oder einem Supergrid auf Basis der Hochspannungsgleichstromübertragung erfolgen. Luxemburg ist ein kleines Land ohne Höchstspannungsleitungen der 380 kV Ebene mit. Dieses Netz kann in der heutigen Form nicht als Transfer großer Leistungen verwendet werden. Da die Netze in den umliegenden Ländern (Frankreich, Deutschland, Belgien und Niederlande) schon heute deutlich stärker ausgebaut sind, und Luxemburg geografisch keine Schlüsselposition (wie z.B. Dänemark) einnimmt, wird ein verstärkt notwendiger Transfer von regenerativen Energien nicht durch Luxemburg führen bzw. führen müssen.

Abschließend soll auf die Fragen der Einleitung eingegangen werden:

- Unter welchen Bedingungen können die neuen Hochspannungsleitungen zum Import von Strom aus erneuerbaren Energien beitragen?
- Wie und über welche bestehenden oder neuzubauenden Leitungen können größere Mengen Strom aus erneuerbaren Energien nach Luxemburg importiert werden?

In der heutigen Situation, in der ein vergleichsweise kleiner Anteil der europäischen Energieversorgung durch regenerative Energien gedeckt wird, ist es unerheblich, über welche Leitungen Luxemburg versorgt wird, solange die Versorgungssicherheit gewährleistet wird. Eine Erhöhung des Anteils von Strom aus erneuerbaren Energien sollte weitestgehend im eigenen Land und über statistische Transfermechanismen bzw. gemeinsame Projekte erfolgen. Langfristig sollte

sich Luxemburg an dem Aufbau eines Supergrids beteiligen, um erneuerbaren Strom direkt importieren zu können bzw. die Funktion der statistischen Transfermechanismen aufrechterhalten zu können. Hierfür sind gegebenenfalls neue Leitungen zur Anbindung an das Supergrid notwendig, das hängt jedoch sehr stark von der Ausgestaltung des Supergrids ab. Ergebnisse der europäischen Netzstudie für Greenpeace International, die im Januar 2011 veröffentlicht wurde, zeigen, dass ein solcher Ausbau nicht notwendigerweise erfolgen muss, sondern die bestehenden Kapazitäten in Luxemburg ausreichend sind¹¹.

¹¹ Luxemburg wird in der Studie nur sehr grob abgebildet, eine genauere Aussage ist nur bei detaillierteren Lastflussberechnungen möglich.

11 LITERATURVERZEICHNIS

Consentec; Prof. Dr.-Ing. Haubrich. (2005). *Technische und wirtschaftliche Auswirkungen einer Zusammenschaltung der Übertragungsnetze auf dem Gebiet des Großherzogtums Luxemburg mit denen in Frankreich und Belgien*. Aachen.

Creos Luxembourg. (2009). *Creos Annual Report 2009*. Strassen.

data.worldbank.org. (2010). Abgerufen am 17. 12 2010 von <http://data.worldbank.org/>

ELIA Belgium. (2009). *Elia Facts & Figures 2009*. Brussels.

ENTSO-E. (2009). *Statistical Yearbook 2009*. Brussels.

ENTSO-E. *System Adequacy Forecast 2010-2025*. Brussels.

ENTSO-E. (2010). *Ten Year Network Development Plan*. Brussels.

Europäische Kommission. (2011). *National Renewable Energy Action Plans*. Von http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/action_plan_en.htm abgerufen

Europäisches Parlament. (2009). *Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates*. Straßbourg.

European Comission. (2010). *Eurostat - Population*. Abgerufen am 2010 von <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/population/introduction>

Eurostat. (2010). *Eurostat*. Abgerufen am 08. Dezember 2010 von <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home>

Gouvernement du Luxembourg. (2010). *Bericht über die Versorgungssicherheit im Strombereich in Luxemburg*. Luxembourg.

Gouvernement du Luxembourg. (2010). *Luxemburger Aktionsplan für erneuerbare Energien*. Luxembourg.

Greenpeace International, EREC. (2009). *Renewables 24/7 Infrastructure Needed to Save the Climate*.

Klobasa, M. (2010). Market Potential of Demand Response Options for Wind Integration in Germany. *9th International Workshop on Large-Scale*

Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Power Plants (S. 8). Quebec: Energynautics GmbH.

Oeding, D., & Oswald, B. R. (2004). *Elektrische Kraftwerke und Netze*. Heidelberg: Springer Verlag.

R+T, AS&P, & L.A.U.B. (2004). *Ein Integratives Verkehrs- und Landesentwicklungskonzept für Luxemburg*. Darmstadt, Frankfurt/Main, Mainz.

Ragwitz, M., Biermayr, P., Cremer, C., Faber, T., Kranzl, L., Resch, G., et al. (2007). *Bestimmung der Potenziale und Ausarbeitung von Strategien zur verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien in Luxemburg*. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Energy Economics Group TU Wien, BSR-Sustainability.

Regli, H., & Kaiser, A. (2004). *CEGEDEL Netzstudie 2025 - Technischer Schlussbericht*. Zürich.

RTE, F. (2009). *RTE activity report 2009*. La Défence Cedex.

STATEC Luxembourg . (2010). *STATEC Luxembourg*. Abgerufen am 08. Dezember 2010 von <http://www.statec.lu/en>

www.entsoe.eu. (2010). Abgerufen am 15. 12 2010 von <https://www.entsoe.eu/resources/data-portal/country-packages/>

Zander, W. (2005). *Kurzstellungnahme zum Gutachten der Consentec*. Aachen.