



Aktualisierung der Potenzialanalyse für erneuerbare Energien in Luxemburg



Luxemburg, 08.06.2016



Mario Ragwitz, Felix Reitze & Michael Schön



Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research (Fh-ISI)
Institute for Resource Efficiency and Energy Strategies (IREES GmbH)

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Ziel der Studie

- Reflexion der Daten und Annahmen aus 2007 anhand aktueller Entwicklungen
- Aktualisierung der Potenzialstudie über die erneuerbaren Energien in Luxemburg
- Kritische Reflexion der Daten zu Kosten und Potenzialen der EE-Technologien aus den Jahren 2005-2006
- Identifikation besonders dynamisch veränderter Annahmen und Rahmenbedingungen
 - Wesentliche Veränderungen ergaben sich bzgl. der Technologiekosten der Fotovoltaik und bzgl. der Weltmarktpreise für Biomasse, welche die Opportunitätskosten der Biomasse in Luxemburg beeinflussen

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Überblick über Vorgehen und Methoden

- Datenerfassung und Diskussion mit Experten und Stakeholdern
- Analyse, Aggregation und Assimilation der Daten
- Potenzialbestimmung für die erneuerbaren Energien
- Ableitung von Politikempfehlungen

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Potenziale Erneuerbare Energie in Luxemburg

Technologien:

- Windkraft
- Photovoltaik
- Feste biogene Energieträger
- Flüssige biogene Energieträger
- Gasförmige biogene Energieträger
- Solarthermie
- Geothermie
- Wärmepumpen
- Kleinwasserkraft

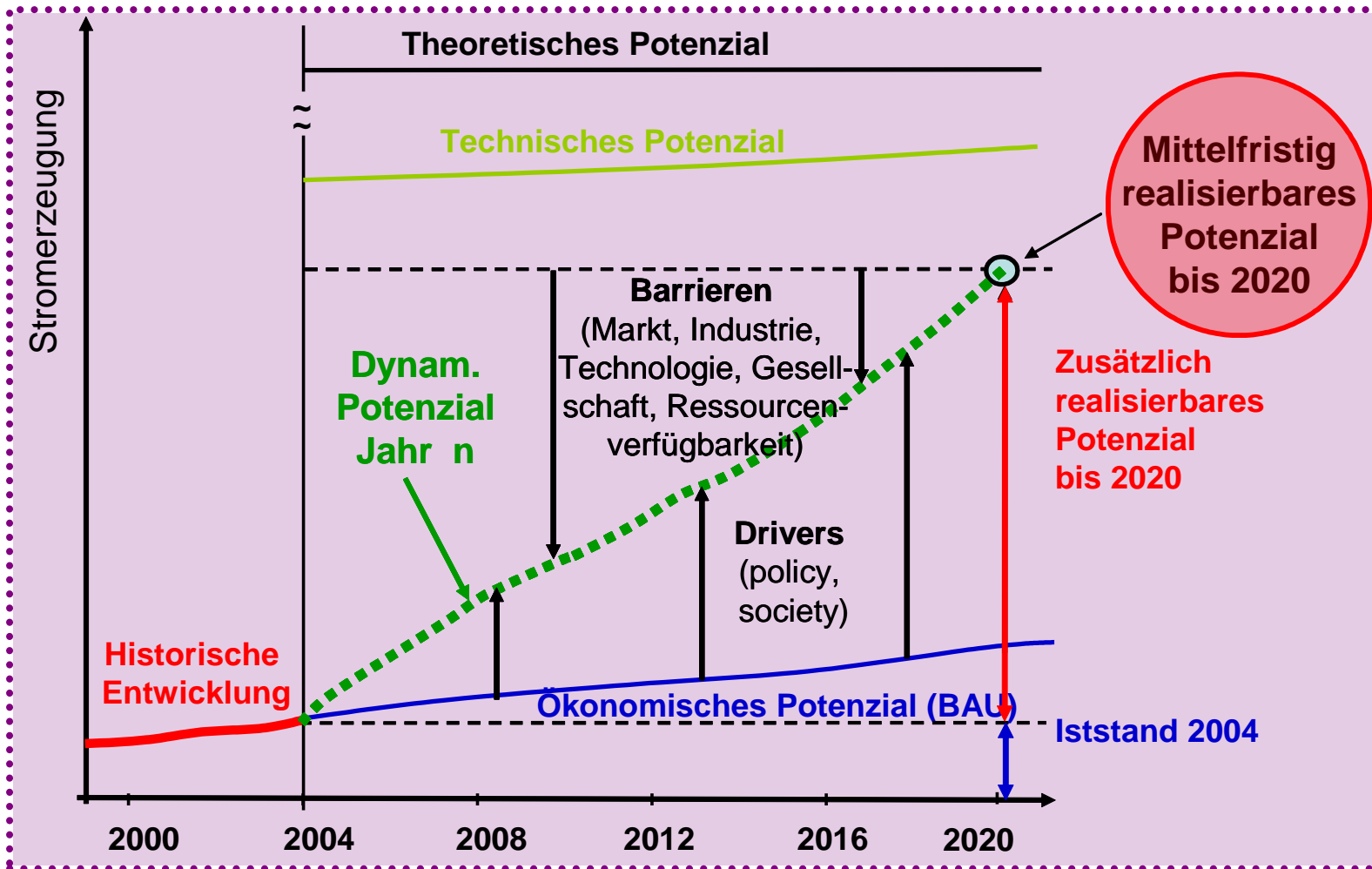
Potenzialtypen:

- Theoretisches Potenzial
- Technisches Potenzial
- Realisierbares Potenzial im Jahr 2020
- Realisierbares Potenzial im Jahr 2010 (LuxRes 2007)

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

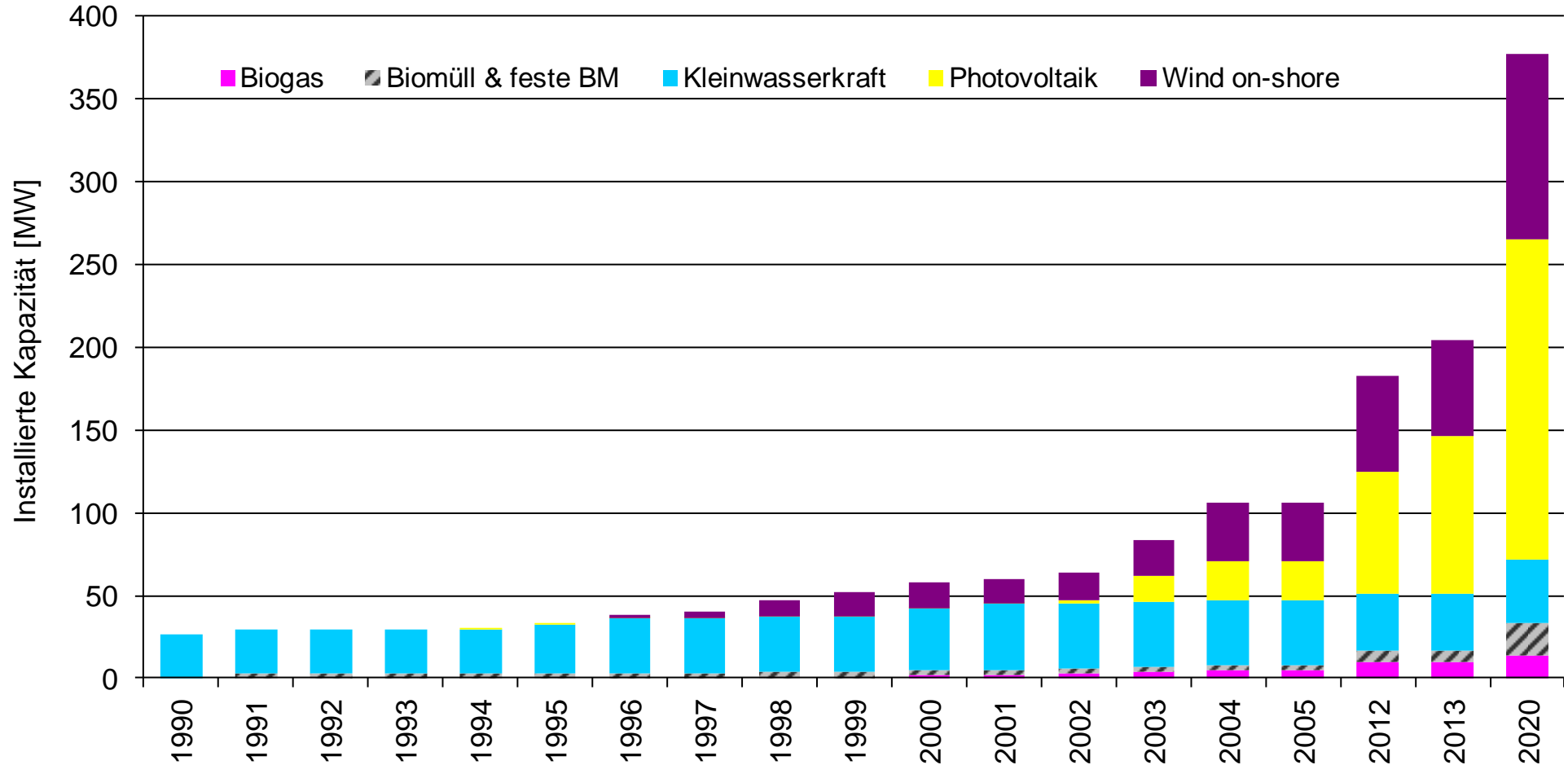
Potentiale: Begriffsdefinition



... das **realisierbare Potential (2010, 2020)** bestimmt sich aus dem technischen Potential der jeweiligen Technologien unter Einbeziehung technischer und sozialer Restriktionen, Planungsaspekten sowie der technologischen Marktentwicklung (Verfügbarkeit der Technologie, Diffusion, etc.).

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg
 Luxemburg, 08. Juni 2016

Vergleich Kapazität im Stromsektor - tatsächliche Entwicklung und realisierbares Potenzial₂₀₀₇



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

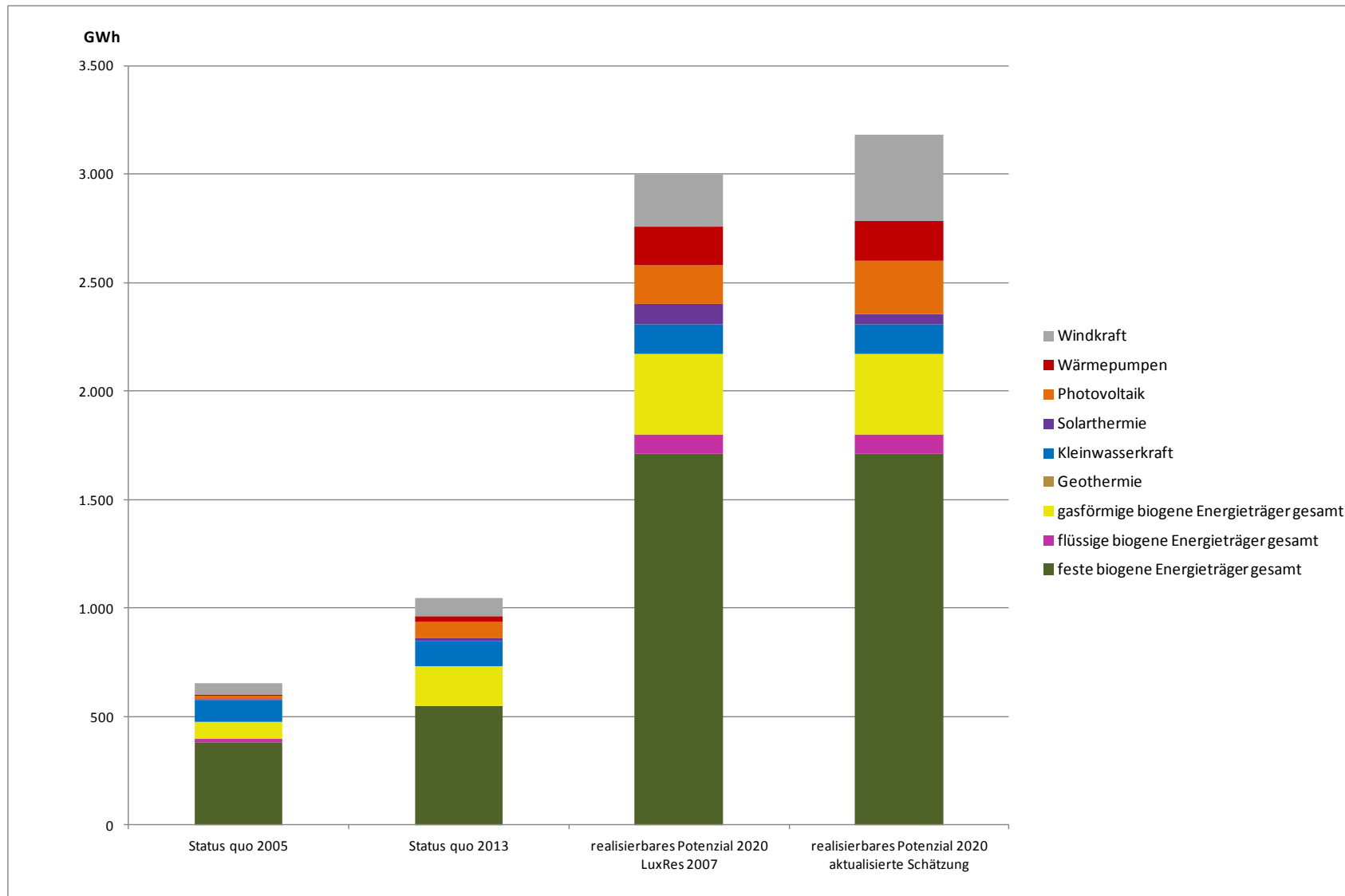
Vergleich LuxRes 2007 vs. Aktualisierung

Alle Angaben in GWh/a		Status quo 2005 2013	Realisierb. Pot. 2010	Realisierb. Pot. 2020	Techn. Pot.	Theor. Pot.
Windkraft	<i>LuxRes 2007</i>	53	118	237	5.146	20.584
	<i>Aktualisierung</i>	83	-	399	5.718	unverändert
Photovoltaik	<i>LuxRes 2007</i>	19	26 – 43	59 – 176	7.607	33.167
	<i>Aktualisierung</i>	74	-	246	7.876	unverändert
Biomasse						
fest	<i>LuxRes 2007</i>	379	610	1.713	4.872	7.027
	<i>Aktualisierung</i>	546	-	unverändert	4.980	7.105
flüssig	<i>LuxRes 2007</i>	15	41	88	326	660
	<i>Aktualisierung</i>	0	-	unverändert	unverändert	unverändert
gasförmig	<i>LuxRes 2007</i>	79	176	369	1.281	2.351
	<i>Aktualisierung</i>	188	-	unverändert	unverändert	unverändert
Solarthermie	<i>LuxRes 2007</i>	3	7 – 10	31 – 96	9.738	74.200
	<i>Aktualisierung</i>	14	-	49	14.579	116.600
Geothermie	<i>Keine Daten verfügbar</i>	0	0	0	0	0
Wärmepumpen	<i>LuxRes 2007</i>	1	30	180	1.516	61.743
	<i>Aktualisierung</i>	26	-	unverändert	unverändert	unverändert
Kleinwasserkraft	<i>LuxRes 2007</i>	102	106	137	140	175
	<i>Aktualisierung</i>	115	-	unverändert	unverändert	unverändert

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

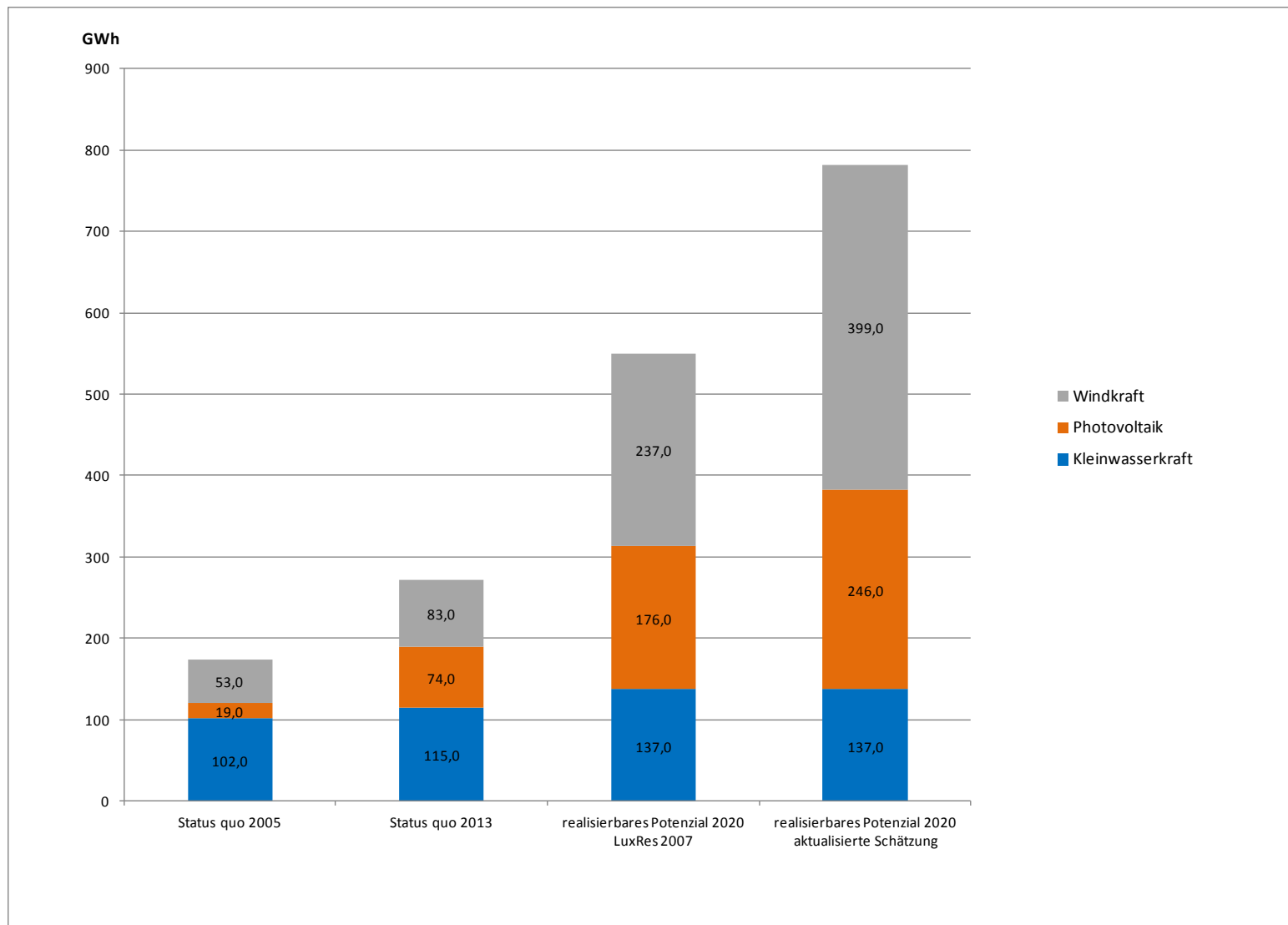
Aktualisierte Potenziale – Wärme und Strom



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

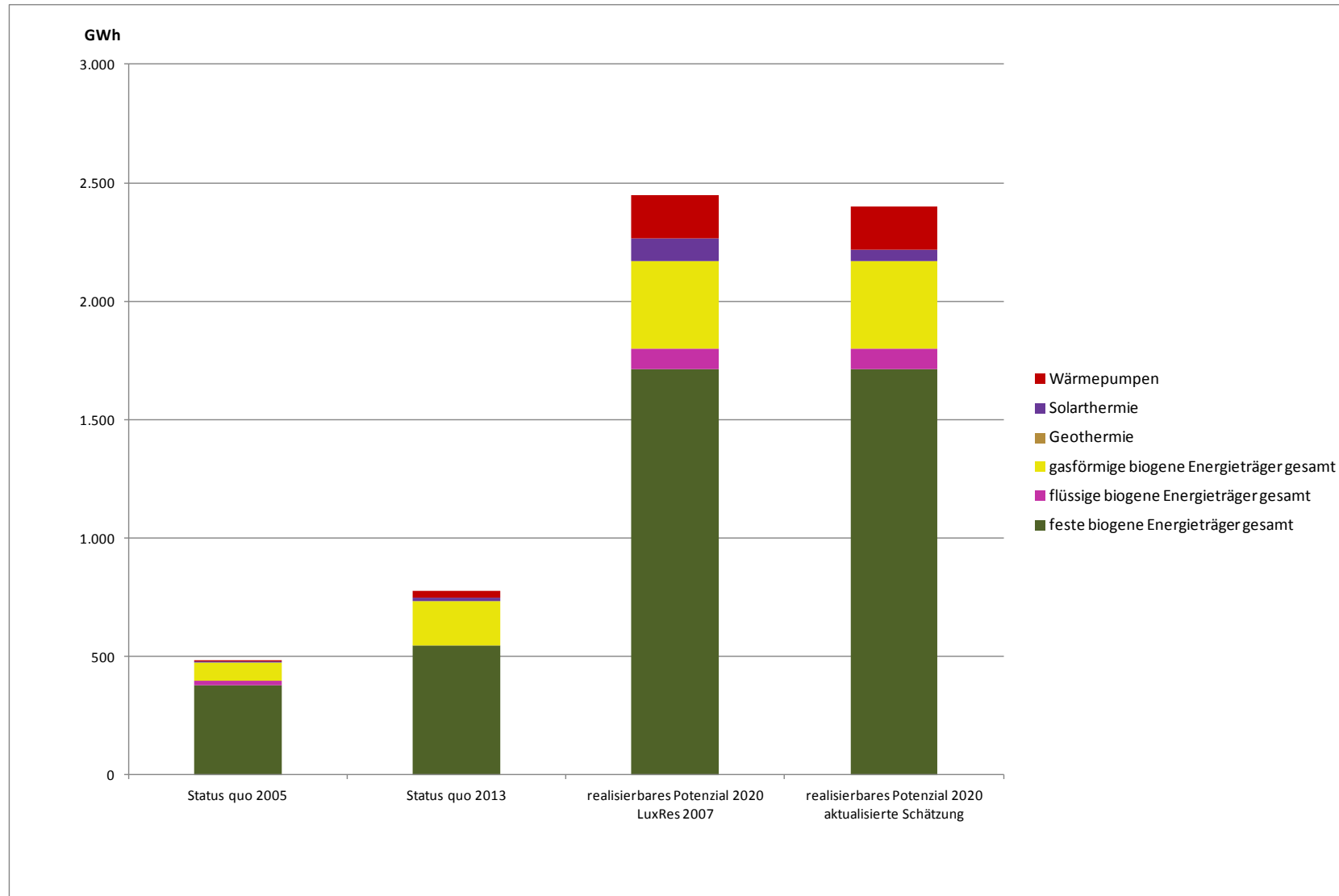
Aktualisierte Potenziale – Strom



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Aktualisierte Potenziale – Wärme



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Windenergie

Theoretisches Potenzial (Annahmen analog zu LuxRes 2007)

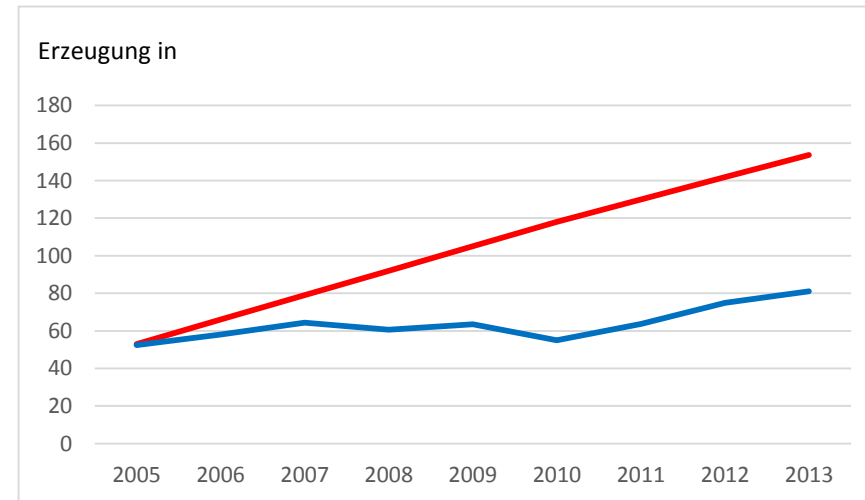
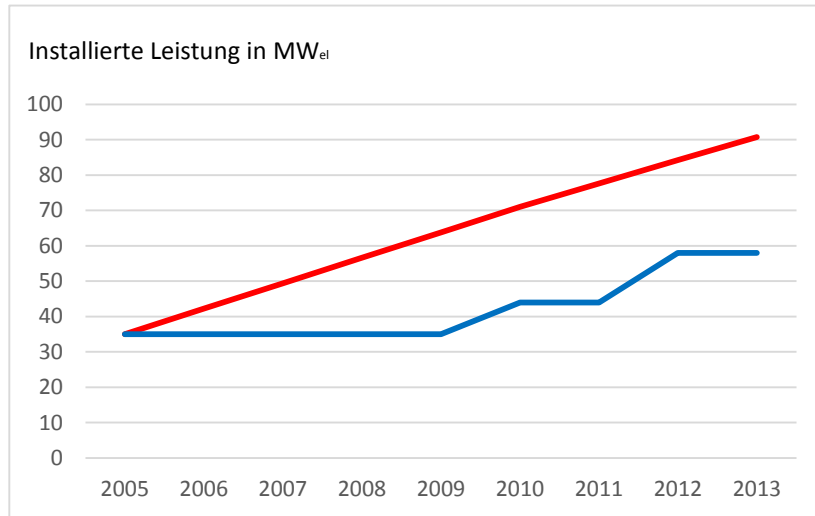
- 1.266 km² geeignete (landwirtschaftliche) Nutzfläche
- Mittlere Windgeschwindigkeit 5 m/s
- 1.800 h/a Auslastung (5 MW-Klasse)
- **Potenzial 20.584 GWh/a**

Technisches Potenzial

- Nur Standorte > 5 m/s (50 %)
- Davon nur 50 % wegen Topografie
- Geänderte Annahme: 2.000 h/a wegen Beschränkung auf „gute“ Standorte und heute üblichen großen Nabhöhen
- **Potenzial 5.718 GWh/a** (ursprünglich 5.146 GWh/a)

Windenergie

Vergleich Schätzung 2007 (rot) mit tatsächlicher Entwicklung (blau)



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Windenergie

Realisierbares Potenzial geschätzt auf Basis konkreter Ausbauplanungen

Installierte Leistung	Ort	Jahr der Inbetriebnahme
7,05 MW	Kehmen-Heischent	2014
12,2 MW	WP Rulljen-Géisdreff	2016
7,7 MW	WP Gemeng Hengescht	2016
11,75 MW	WP Harel-Walter-Eeschpelt	2016
15,5 MW	WP Housen-Petschent	2016
16,1 MW	WP Weiler	2016
3 x 2 bis 3 MW	WP Differdingen	2017
11,5 MW	WP Réiden	2018
6,9 MW	WP Garnich	2018

Quelle: Ministère de l'Économie / Direction générale de l'Énergie

Aktualisierung Juni 2016; Quelle: EurObservER

- *Installierte Leistung Ende 2015: 63 MW*
- *Zubau seit 2013: +4,7 MW; dies entspricht näherungsweise den Erwartungen*

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

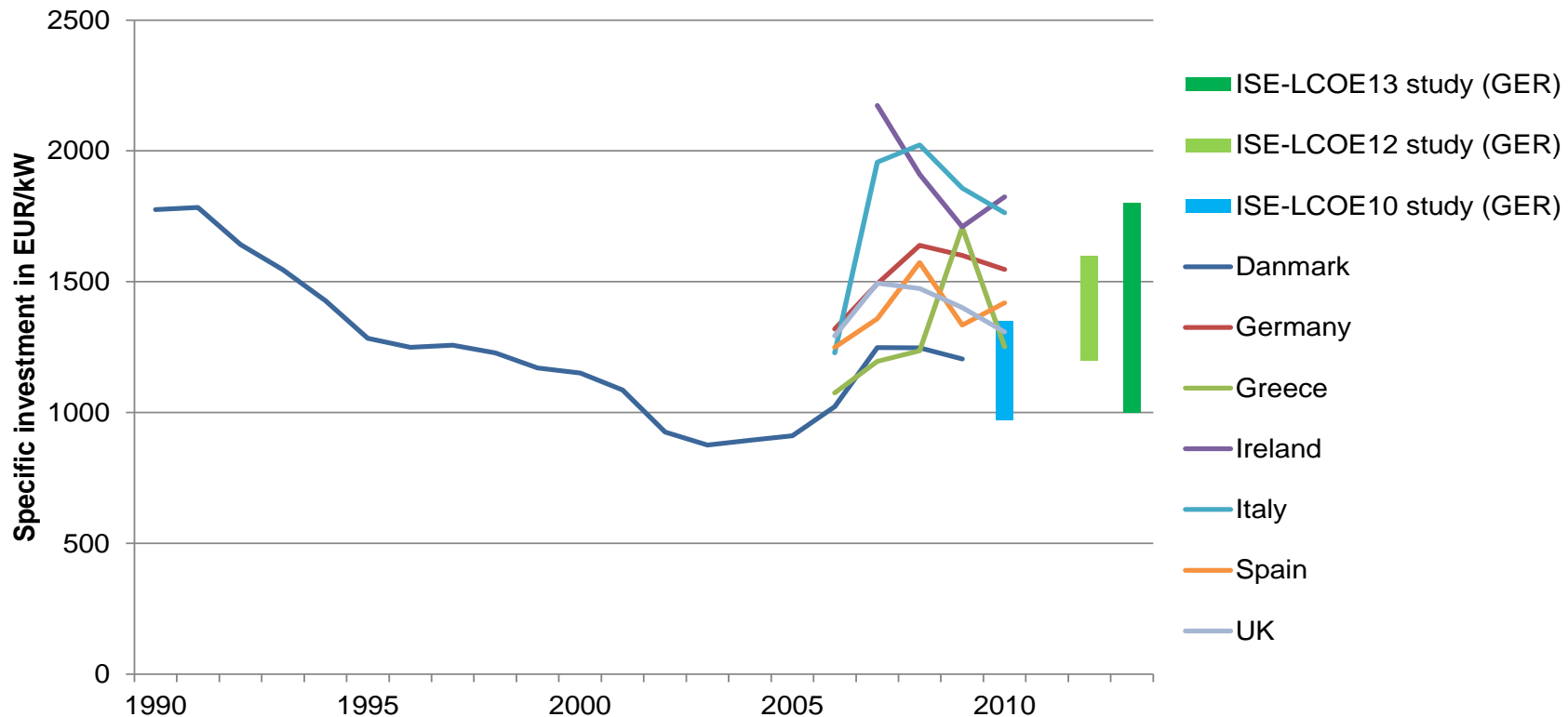
Windenergie

Entwicklung der spezifischen Investitionen für Windanlagen in EU MS

Kostenentwicklung beruht auf Trade-off zwischen technologischem Lernen und Steigerung des Ertrags durch höhere Türme und größere Rotoren

Generell zeigten sich in den vergangenen 7 Jahren keine unerwarteten Kostentrends

Zum Vergleich: ursprüngliche Annahme für LX in 2013: 1.463 €/kW



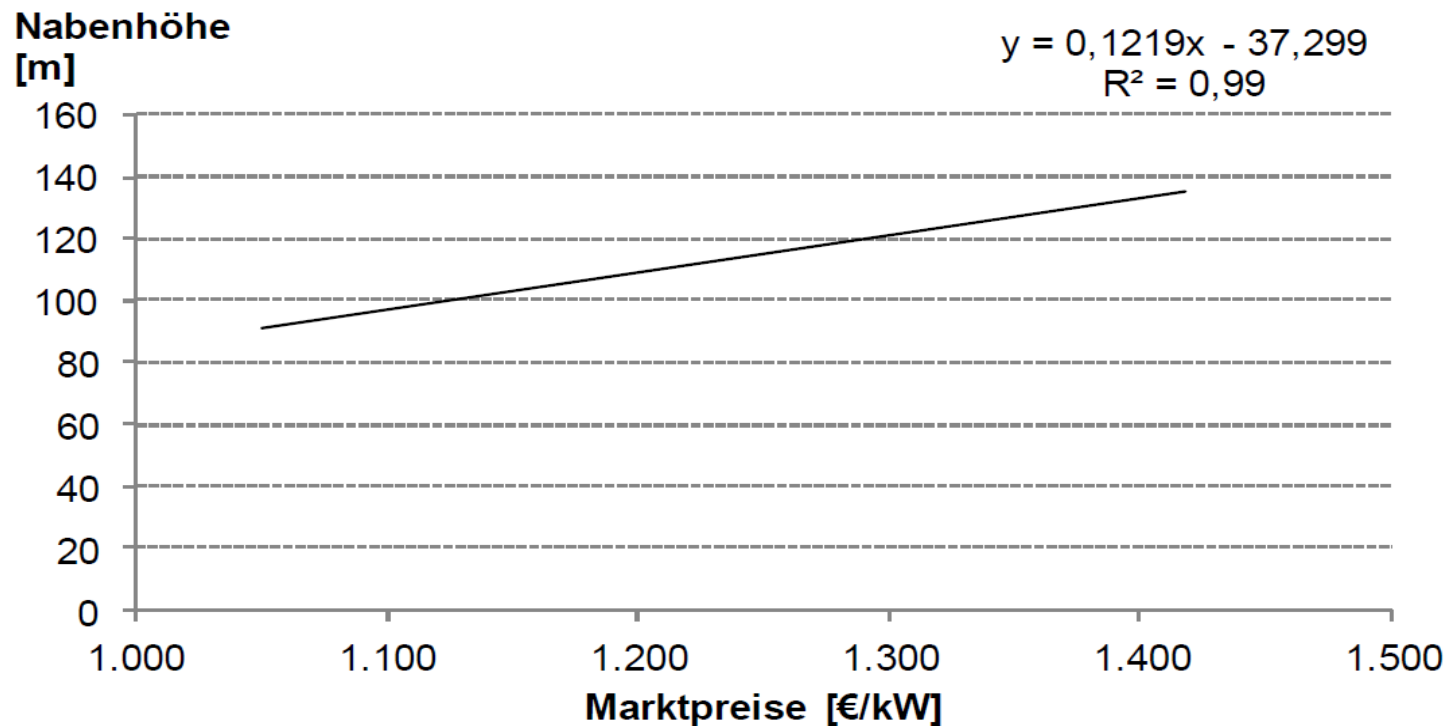
Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Windenergie

In den vergangenen Jahren jedoch deutliche Ertragssteigerungen durch größere Nabhöhen und größeres Rotor-Generator Verhältnis

Beispiel: Abhängigkeit zwischen spezifischen Investitionen für Windanlagen und Nabhöhe der Anlagen



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Windenergie

Weitere Annahmen zum realisierbaren Potenzial und Ergebnis

	Inst. Kapazität [MW]	Erzeugung [GWh/a]
Bestandsanlagen, zum Teil betroffen von Repowering	58,3	116,6*
Geplante Projekte 2014-2020	96,2	192,4
Abschätzung für weiteren Zubau ohne konkrete Planung	10,0	20,0
Abschätzung Zuwachs durch Repowering	35,0	70,0
Summe des realisierbaren Potenzials in 2020	199,5	399,0

* Rechnerisch bei 2.000 h/a

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Windenergie

Fazit Windenergie

- Politisches Ziel 2020 mit Stromerzeugung von 237 GWh/a erreichbar (realisierbares Potenzial ca. 400 GWh/a)
- Hemmnis könnte Akzeptanz von großen Windenergieanlagen darstellen.
- In LuxRes 2007 erwartete Erzeugungskostenreduktion um 10 % zwischen 2007 und 2015 in etwa eingetreten

Photovoltaik

Theoretisches Potenzial (Annahmen analog zu LuxRes 2007)

- Durchschnittliche Globalstrahlung 1.043 kWh/m²*a
- Nutzbare Landesfläche von 212 km², berücksichtigt Flächenkonkurrenz zu Solarthermie
- Mittlerer Wirkungsgrad 15 %
- **Potenzial 33.167 GWh/a**

Technisches Potenzial

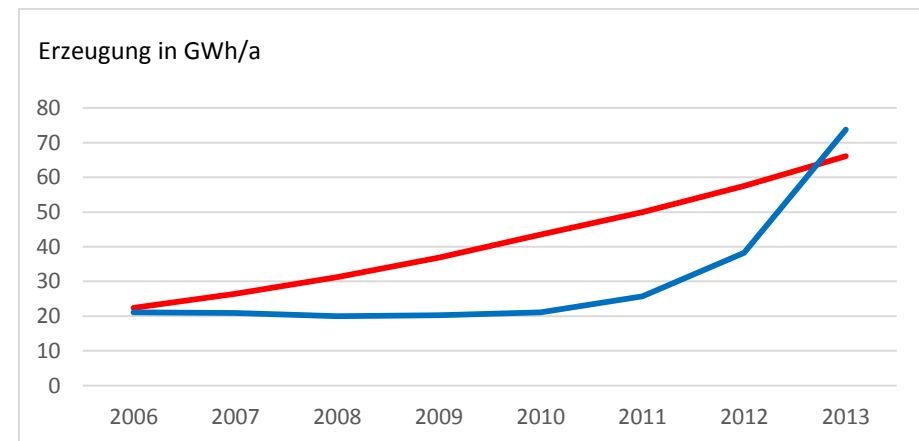
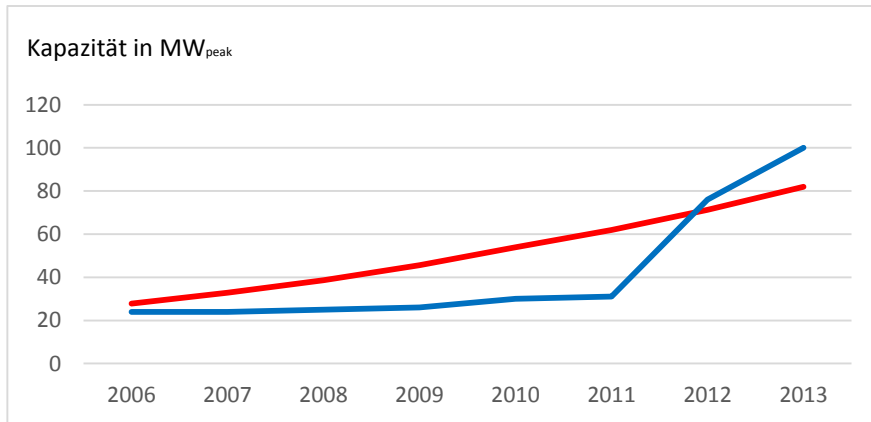
- Geänderte Annahme: Gebäudebestand 2020: 160.000, spiegelt Bevölkerungsentwicklung wider; abgeleitet aus Baugenehmigungen
- 10 % entsprechend 42 km² der verfügbaren Fläche für Freiflächenanlagen nutzbar; bei diesen Flächen keine Flächenkonkurrenz zu Solarthermie
- **Potenzial 7.876 GWh/a** (ursprünglich 7.607 GWh/a)

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Photovoltaik

Vergleich Schätzung 2007 („oberer Diffusionspfad“; rot)
mit tatsächlicher Entwicklung (blau)



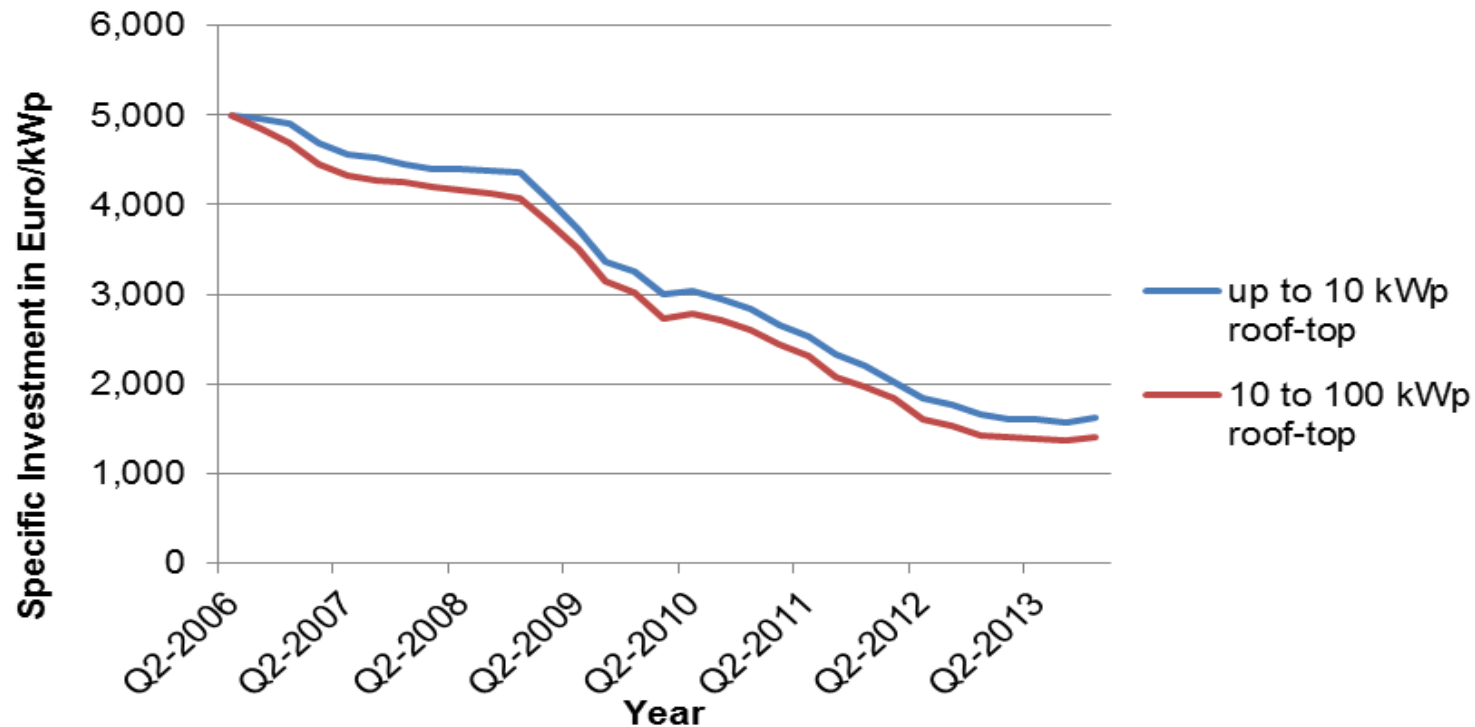
Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg
Luxemburg, 08. Juni 2016

Photovoltaik

Entwicklung der spezifischen Investitionen für PV-Anlagen

Lernrate von 20% wurde in den letzten 10 Jahren recht genau erreicht, die globale Marktentwicklung und somit die Kostensenkung war aber stärker als erwartet

Zum Vergleich: Annahme für LX in 2013: 2.390 – 2.830 €/kW



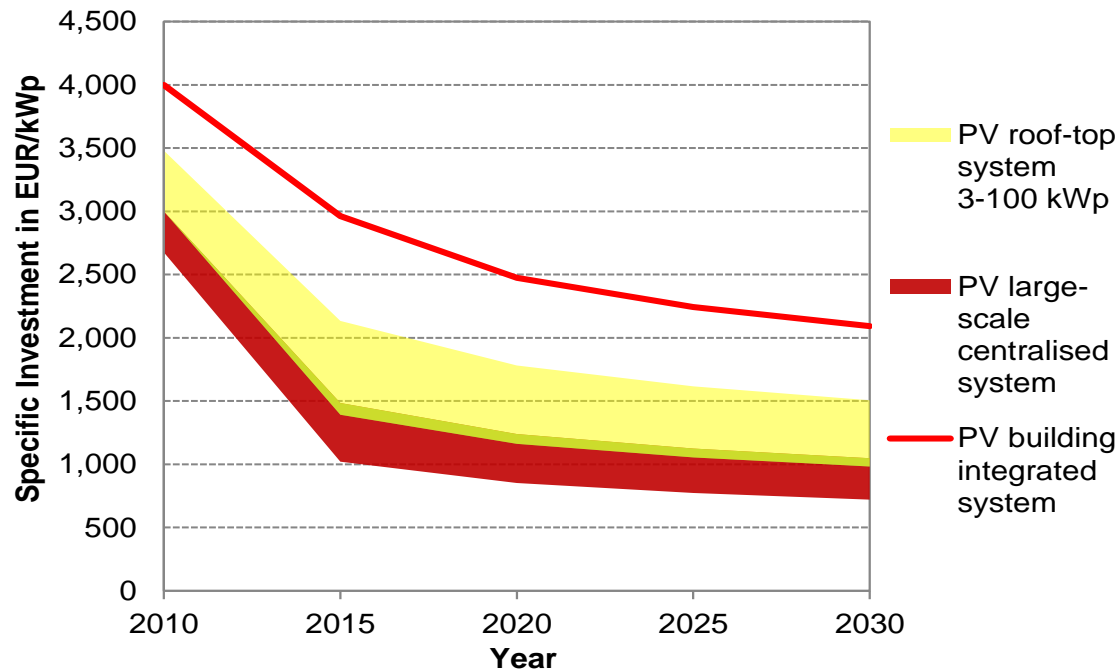
Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Photovoltaik

Entwicklung der spezifischen Investitionen für PV-Anlagen

Für die Zukunft wird weiterhin von einer Lernrate von etwa 20% ausgegangen.



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg
Luxemburg, 08. Juni 2016

Photovoltaik

Realisierbares Potenzial

- In Anbetracht der tatsächlichen Entwicklung ab ca. 2011 nur noch Betrachtung eines ambitionierten Diffusionspfades
- $30 \text{ MW}_{\text{peak}}/\text{a}$ Zubau (ursprünglich $+15 \text{ \%/a}$, entspr. 12 bis $28 \text{ MW}_{\text{peak}}/\text{a}$)
- Spezifischer Ertrag (nur) $806 \text{ kWh}/\text{kW}_{\text{peak}}\cdot\text{a}$; würdigt Nutzung auch schlechterer Flächen
- **Potenzial 2020: ca. $305 \text{ MW}_{\text{peak}}$, ca. 246 GWh/a**
(ursprünglich oberer Diffusionspfad: $218 \text{ MW}_{\text{peak}}$, 176 GWh/a)

Aktualisierung Juni 2016; Quelle EurObservER

- *Zubau 2014 und 2015: jeweils ca. $15 \text{ MW}_{\text{peak}}$*
- *Installierte Leistung Ende 2015: $125 \text{ MW}_{\text{peak}}$*
- *Erzeugung 2015: 108 GWh*

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Photovoltaik

Fazit Photovoltaik

- Realisierbares Potenzial wird um knapp die Hälfte höher eingeschätzt als oberer Diffusionspfad in LuxRes 2007.
- Dies entspricht immer noch nur 3% des technischen Potenzials.
- Potenzial wird dominiert von Freiflächenanlagen; für diese derzeit keine Einspeisevergütung.
- Optimal ausgerichtete Freiflächenanlagen könnten gleichen Ertrag bei geringerer installierter Leistung generieren.
- Aufdachanlagen sollten immer Option darstellen.
- Anreize für Speichertechnologien sollten Gesamtoptimum des Betriebs garantieren.

Biomassenutzung

Teilbereich feste biogene Energieträger

- Energieholz
- Alt- und Restholz
- Feste landwirtschaftliche Reststoffe
- Energiepflanzen
- Biogener Müllanteil
- Klärschlamm

Teilbereich flüssige biogene Energieträger (aus)

- Energiepflanzen (Bioethanol, Biodiesel)
- Altspeiseöle und -fette

Teilbereich gasförmige biogene Energieträger (aus)

- Grünschnitt und Landschaftspflege
- Bioabfälle
- Schlachtabfälle
- Gülle
- Energiepflanzen
- Klär- und Deponiegas

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Wesentliche, allgemein gültige Annahmen

- **Die Grobstruktur Luxemburgs wird beibehalten:**
35 % Waldflächen , 49 % landwirtschaftliche Flächen (Wiesen, Weiden, Ackerflächen), 16 % sonstige Flächen.
- Die **Nutzung** aller erneuerbaren Ressourcen geschieht **nachhaltig**
- Die **Flächenkonkurrenz** unterschiedlicher Energieträger wird schon beim theoretischen Potenzial **berücksichtigt**, d.h. die Potenzialgruppen sind jeweils addierbar.
- **Landwirtschaftliche Nutzflächen** werden bis 2020 zu **20 % für den Energiepflanzenanbau** genutzt.
- Jeweils **gleiche landwirtschaftliche Flächenressourcen für feste, flüssige und gasförmige biogene Energieträger** vorgesehen.
- Restriktionen durch Vorgaben des **Natur- u. Umweltschutzes** werden bei den realisierbaren Potenzialen **berücksichtigt**.

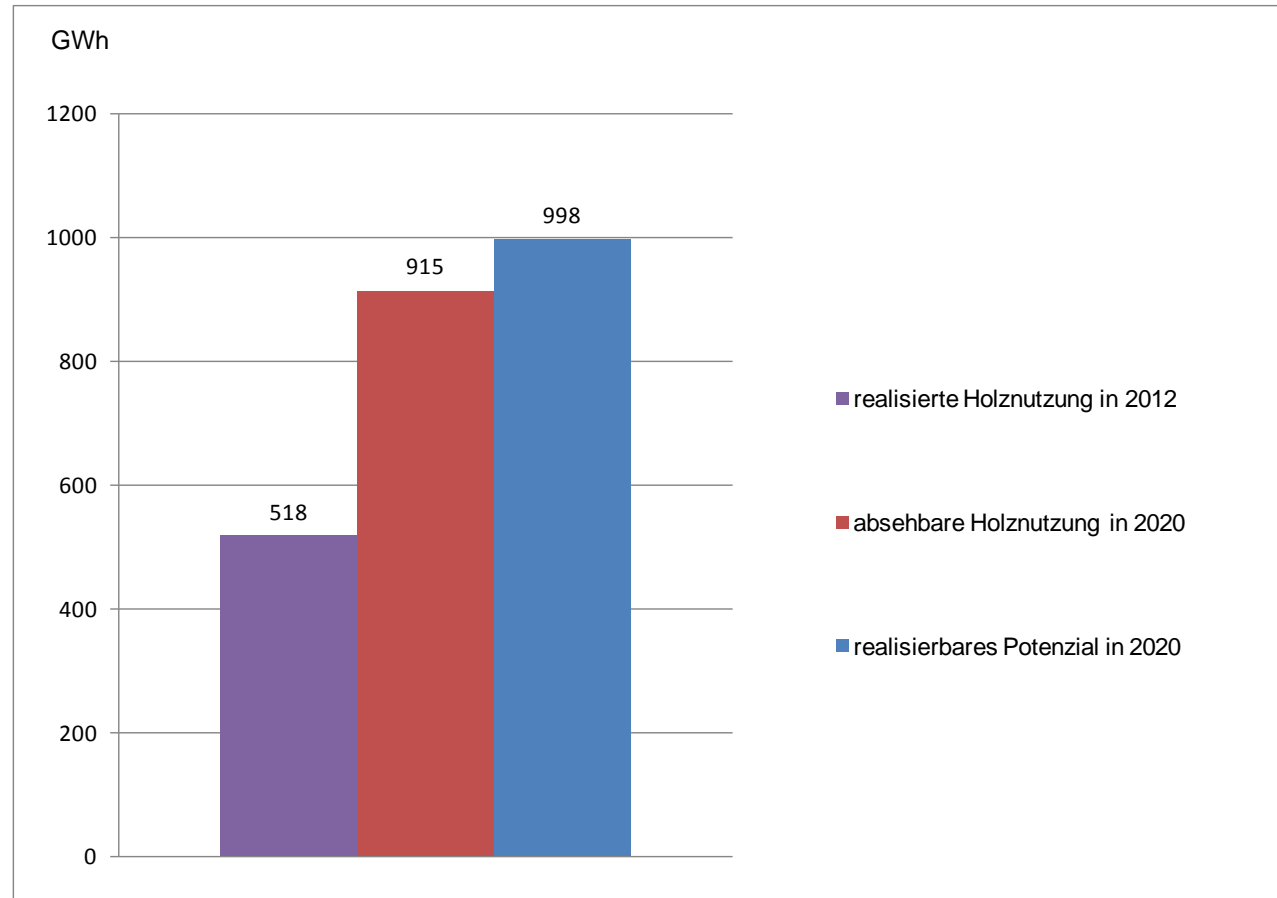
Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Energetische Holznutzung

- **Energieholz** ⇒ Waldflächen, Pelletproduktion/-import
- **Alt- und Restholz** ⇒ holzverarbeitende Industrie, Anfall von Holzabfall

- Nur Zuwachs an Holz wird bei nachhaltiger Nutzung berücksichtigt, der aktuelle Baumbestand bleibt beim Potenzial unberücksichtigt
- Betrachtung von aktuellem Anlagenbestand und geplanten Neuanlagen, aktuell etwa 5,8 MW_{th} in Betrieb (Annahme 7.000 Vollaststunden)
- Verschiedene Neuanlagen privater Betreiber bis 2020 auf Basis von Energieholz geplant, z.B. in Kirchberg



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Feste Energieträger

- **Feste landwirtschaftliche Reststoffe**
 - ⇒ ca. 61.500 ha Ackerflächen in Luxemburg, keine gravierenden Änderungen gegenüber LuxRes 2007 bei Massentierhaltung oder Getreide- bzw. Strohertrag
 - ⇒ **realisierbares Potenzial in 2020: ~ 280 GWh**
- **Energiepflanzen**
 - ⇒ aktuell zwischen 500 – 590 ha Anbaufläche, der größte Anteil ist Silage-Mais zur Biogasproduktion
 - ⇒ **LuxRes 2007 – Potenziale von 284 GWh in 2020** (evt. leicht überhöht)
- **Biogener Müllanteil**
 - ⇒ absoluter Müllanteil ggü. LuxRes 2007 leicht angestiegen, biogener Müllanteil nach wie vor bei etwa 37 %, Verstromung von Biomüll leicht angestiegen
 - ⇒ **realisierbares Potenzial von LuxRes 2007 beibehalten (insgesamt ~150 GWh in 2020)**
- **Klärschlamm**
 - ⇒ Kompostierungsgrad gestiegen, Exporte/Importe beachten
 - ⇒ **realisierbares Potenzial von 24 GWh in 2020 aus LuxRes 2007 beibehalten**

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Flüssige biogene Energieträger

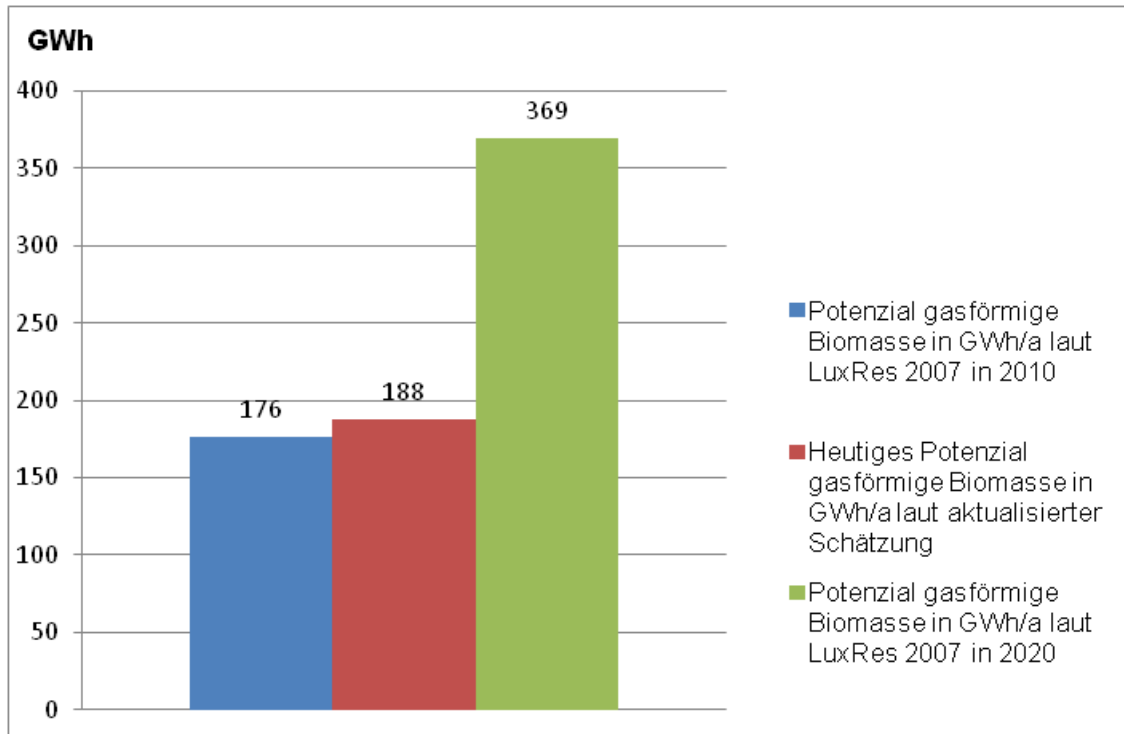
- **Energiepflanzen** ⇒ **Bioethanol, Biodiesel**
Rahmenbedingungen bzw. Flächenpotenziale essentiell, z.B. Abschaffung der Stilllegungspflicht für landwirtschaftliche Flächen in 2009, stärkere Bedeutung von Nachhaltigkeits- und Naturschutzaspekten, Diskussion um Flächenkonkurrenz zwischen Anbau für Nahrungsmittel und Energiepflanzen
⇒ **realisierbares Potenzial (60 GWh) in 2020 aus LuxRes 2007 (dürfte nicht erreicht werden)**
- **Altspeiseöle und -fette** ⇒ Absoluter Anfall ging zwischen 2008 und 2012 um ca. 20 % zurück, Umgang in Hotel- und Gaststättengewerbe (inkl. Schnellimbissen und Fastfoodketten) essentiell für realisierbares Potential
⇒ **LuxRes 2007 – Potenziale von 28 GWh in 2020 wird beibehalten (langfristig eher leicht steigender Trend)**

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Gasförmige biogene Energieträger

Teilbereiche **Grünschnitt und Landschaftspflege, Bioabfälle, Schlachtabfälle** und **Gülle** (⇒ Biogas) und Teilbereich **Klär- und Deponiegas**,
etwa 30 Biogasanlagen 2013 in Betrieb,
installierte **Leistung in 2013** für Bio- (7,9 MW) und Klär- bzw. Deponiegas (2,1 MW)
zusammen ca. 10 MW, die jährliche **Stromerzeugung** lag bei **56 GWh**



- keine Informationen über zukünftige Entwicklungen der Anlagen, z.B. beim Biogasverband verfügbar
- zukünftige Kostenentwicklung bei Biogasanlagen unklar

realisierbares Potenzial in 2020:

Grünschnitt:	81 GWh,
Bioabfälle:	36 GWh,
Schlachtabfälle:	2 GWh,
Gülle:	≤ 117 GWh,
Energiepflanzen:	95 und
Klär-/Deponiegas:	38 GWh

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Kurzanalyse: Solarthermie

Theoretisches Potenzial

- Annahmen zu Globalstrahlung und nutzbarer Landesfläche entsprechend LuxRes 2007 (analog zu PV)
- Geänderte Annahme: Einsatz von Vakuum-Röhrenkollektoren mit $550 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ statt Flachkollektoren mit $350 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$
- **Potenzial ca. 116.600 GWh/a**
(ursprünglich 74.200 GWh/a; Aktualisierung politisch ohne Bedeutung)

Technisches Potenzial

- Annahmen zu Gebäudebestand analog zu PV
- Wegen Einbindung in Gebäudesystem und aus Rentabilitätsgründen entsprechend LuxRes 2007 Flachkollektoren für Gebäude unterstellt
- Geänderte Annahme: Röhrenkollektoren für Freiflächenanlagen
- **Potenzial: 14.579 GWh/a** (überw. Freifläche; ursprünglich 9.738 GWh/a)

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Kurzanalyse: Solarthermie

Realisierbares Potenzial

- Anpassung an tatsächliche Entwicklung, insbesondere enormen Zubau in 2012 und 2013 um 9,1 MW_{th} entsprechend 50%
- Annahme jährlicher Zubau um 20% bis 2020
 - Ausstattung der meisten Neubauten
 - Nachrüstungen im Bestand
- **Potenzial 2020: Wärmeerzeugung ca. 49 GWh/a**
(ursprünglich 31 GWh/a für konservative Schätzung und 65 GWh/a für ambitionierte Schätzung)

Nicht betrachtet: Tiefengeothermie

- In LuxRes 2007 wegen fehlender Datenbasis Potenzial mit 0 angegeben
- Modellierung der Geothermievorkommen im Rahmen einer Dissertation
- Erhöhte Wärmeströme in Region Bettembourg-Dudelange-Kayl-Schiffange zu erwarten; Aquifer in 700 bis 1.100 m Tiefe mit ca. 40° C; in 2.000 m Tiefe > 70°C zu erwarten
- **Derzeit keine weiteren Daten verfügbar**

Kurzanalyse: Wärmepumpen

Annahmen und Ergebnisse unverändert gegenüber LuxRes 2007

Theoretisches Potenzial

- Auf Basis (oberflächennahe) Erdwärme und Luft: **61.743 GWh/a**

Technisches Potenzial

- In LuxRes 2007 abweichende Annahme zum Gebäudebestand; Korrektur wäre unerheblich: **1.516 GWh/a, davon ca. 200 GWh/a aus Luft-WP**

Realisierbares Potenzial

- Ausstattung von 600 Neubauten pro Jahr aus LuxRes 2007 nach wie vor realistisch
- **Potenzial 2020: Wärmeerzeugung 180 GWh/a;**
keine Aussage zu Aufteilung auf Systeme möglich

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Kurzanalyse: Klein-Wasserkraft

Annahmen und Ergebnisse unverändert gegenüber LuxRes 2007

Theoretisches Potenzial

- Entspricht Abflusslinienpotenzial: **175 GWh/a**

Technisches Potenzial

- Bottom-Up-Analyse damaliger potenzieller Standorte: **140 GWh/a**

Realisierbares Potenzial

- Betrachtung konkreter und potenzieller Standorte
- Wasserkraftwerk an der Sauer mit 5 MW nach wie vor realistisch
- Weitere Steigerung durch Optimierung und sehr kleine Anlagen
- **Potenzial 2020: 46,4 MW, 137 GWh/a**
- Allerdings starke Schwankungen der Erzeugung bei unveränderter Kapazität (zwischen 2001 und 2013: 39 MW und 58 – 121 GWh/a)

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

**Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Daten für die Diskussion

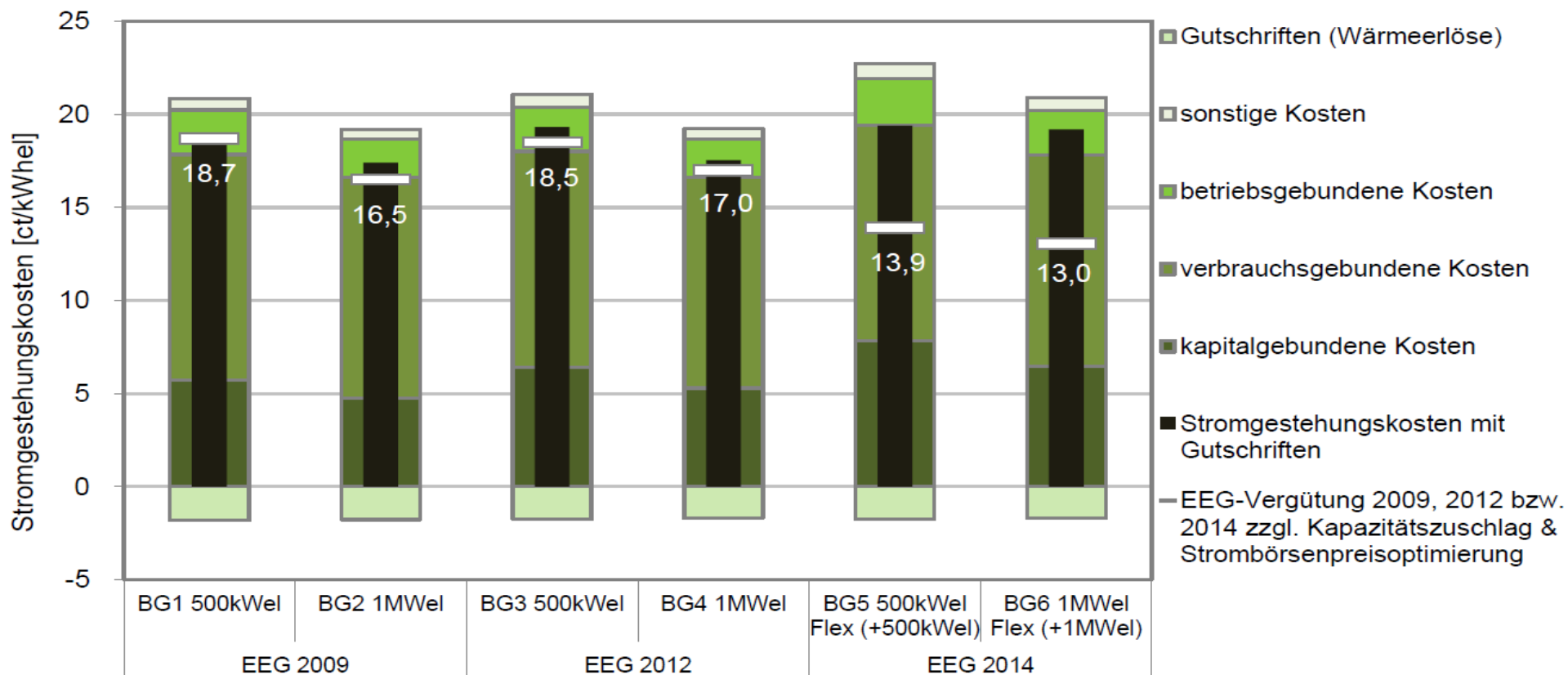
Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Entwicklung der Kosten von Biogas

Entwicklung der Stromgestehungskosten von Biogas

Kostensteigerung insbesondere aufgrund der steigenden spezifischen Investitionen (steigende Anlagenpreise)

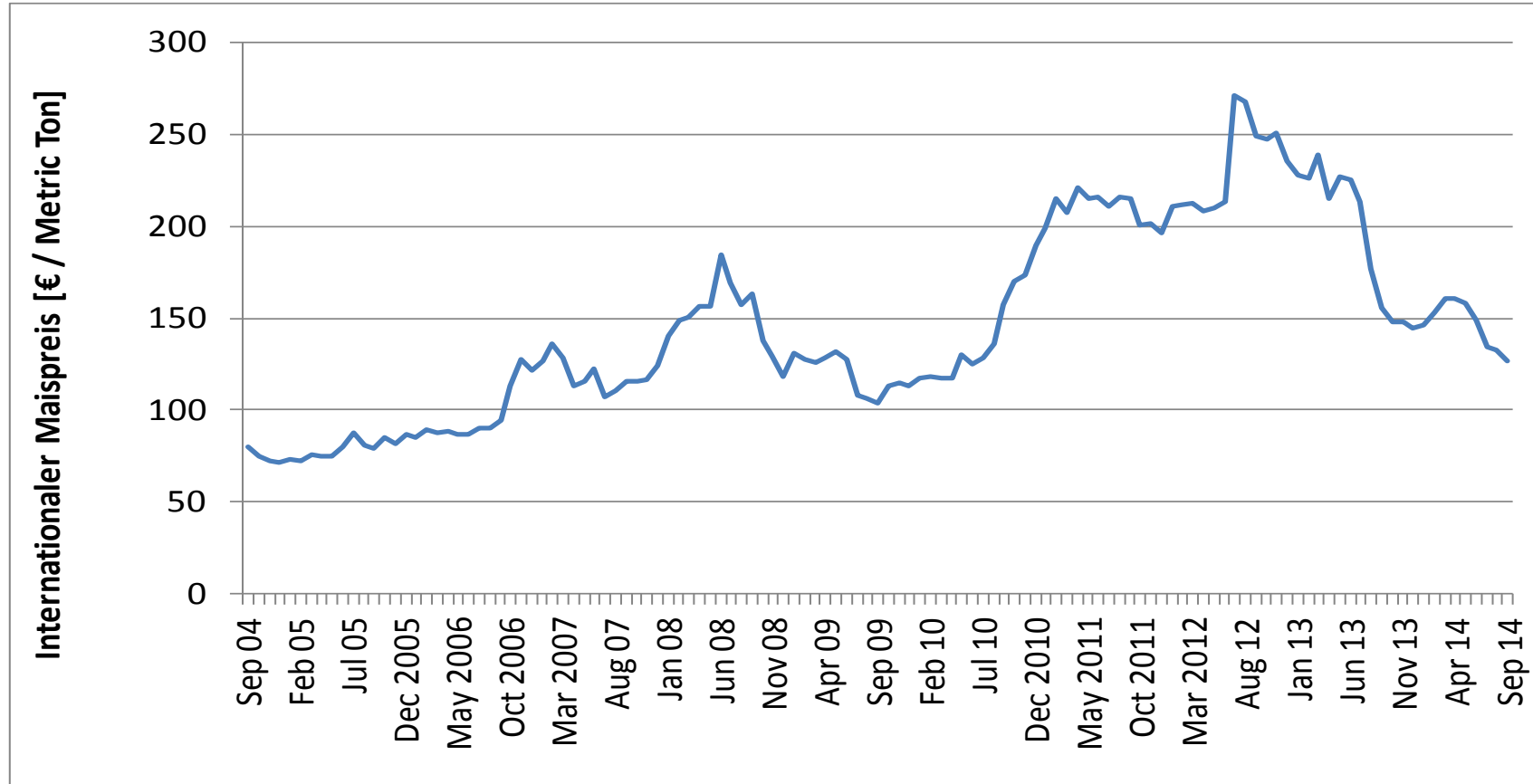


Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016

Entwicklung der Kosten von Biogas

Entwicklung der Brennstoffpreise für Biogasanlagen volatil, Niveau in 2014 ähnlich wie 2007 - 2009



Aktualisierung der Potenzialanalyse für EE in Luxemburg

Luxemburg, 08. Juni 2016