

Stadt Luzern

Grundlagen für eine Energie- und Klimastrategie der Stadt Luzern

Fachbericht zum Teilprojekt «Grundlagen»

Schlussbericht
17. August 2010

941_be_tp_grundlagen_100816.doc

Begleitgruppe

Gregor Schmid, Peter Schmidli und Patrick Weibel, Umweltschutz Stadt Luzern

Projektgruppe

Begleitgruppe und Stefan Roth (Stadtrat), Ursula Stämmer-Horst (Stadträtin), Andrea Beck (Umwelt + Energie Kt. Luzern), Peter Bucher (Beauftragter Wirtschaftsfragen), Beat Heggli (Leiter Immobilien), Jiri Jordan (Umweltschutz Littau), Roland Koch (Tiefbauamt), Mark Ineichen (Stadtplanung), Markus Keiser (Leiter ewl Wärmetechnik AG), Rolf Samer (Leiter ewl Verkauf AG)

Die Autoren danken Begleit- und Projektgruppe für ihre wertvollen Beiträge zum vorliegenden Bericht.

Erarbeitet durch

econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich
www.econcept.ch / + 41 44 286 75 75

AutorInnen

Georg Klingler, dipl. Umwelt-Natw. ETH
Walter Ott, lic. oec. publ., Raumplaner ETH/NDS, dipl. El. Ing. ETH
Daniel Philippen, dipl. Umwelt-Natw. ETH
Mirco Lothar (Praktikant), BA Politikwissenschaften

Dateiname: 941_be_tp_grundlagen_100816.doc Speicherdatum: 17. August 2010

Inhalt

	Zusammenfassung	i
1	Einleitung Grundlagenbericht	1
2	Grundlagen der 2000-Watt-Gesellschaft	3
2.1	Einleitung	3
2.2	Allgemeine Zielsetzungen und Abgrenzungen	4
2.3	Bilanzierungsmethodik für die Operationalisierung der Zielsetzungen	5
3	Aktueller Energieverbrauch der Stadt Luzern	8
3.1	Datenerhebung	8
3.2	Bilanz des Energieverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen	9
3.2.1	Zusammenfassende Übersicht	9
3.2.2	Fossile Energieträger	15
3.2.3	Kernbrennstoffe	19
3.2.4	Erneuerbare Energieträger	20
3.2.5	Graue Energie	21
4	Bisherige Energiepolitik und aktuelle Rahmenbedingungen	26
4.1	Bisherige Energiepolitik der Stadt Luzern	26
4.1.1	Einleitung und aktuelle Zielsetzungen	26
4.1.2	Luftreinhaltung und Klimaschutz	28
4.1.3	Förderung der Energieeffizienz	32
4.1.4	Förderung erneuerbarer Energien	34
4.1.5	Energieberatung und Forschung	35
4.1.6	Raumplanung und Städtebau	35
4.1.7	Fazit und Ausblick	36
4.2	Energiepolitische Rahmenbedingungen für die Stadt Luzern	38
4.2.1	Kantonale Energie- und Klimapolitik	38
4.2.2	Nationale sowie globale Energie- und Klimapolitik	40
5	Energienachfrage und CO₂-Emissionen: Referenzentwicklung bis 2050	42
5.1	Treiber von Energieverbrauch und Emissionen	42
5.1.1	Bevölkerungsentwicklung bis 2050	42
5.1.2	Wirtschaftswachstum bis 2050	44
5.1.3	Energiebezugsfläche	44
5.1.4	Mobilität	45
5.1.5	Energiepreise	46

5.1.6	Klimaentwicklung	47
5.2	Referenzentwicklung 2050	47
5.2.1	Referenzszenario der Energienachfrage der Stadt Luzern	50
5.3	Handlungsbedarf	52
6	Potenziale für Energieeffizienz und erneuerbare Energien	54
6.1	Energieeffizienz: Aktueller Stand und Einsparpotenziale	55
6.1.1	Effizienzpotenziale beim Wärmebedarf von Gebäuden	56
6.1.2	Energieeffizienz bei der Bereitstellung von Prozesswärme	59
6.1.3	Energieeffizienz im Elektrizitätsbereich	59
6.1.4	Energieeffizienz in der Mobilität	60
6.1.5	Verbesserung der Energienutzung mittels Einsatz von WKK	61
6.1.6	Fazit zum Energieeffizienz-Potenzial	62
6.2	Erneuerbare Energie: nutzbare lokale Ressourcen	63
6.2.1	Erneuerbare Wärme	64
6.2.2	Erneuerbare Elektrizität	71
6.2.3	Fazit zum Nutzungspotenzial erneuerbarer Energien	73
7	Fazit Referenzentwicklung und Potenzialanalyse	74
	Anhang	76
A-1	Erster Anhang: Primärenergieverbrauch und CO ₂ -Emissionen nach Energieträgern, Verbrauchergruppe und Energienutzungen	76
A-2	Zweiter Anhang: Aufteilung Verbrauchergruppen und Energienutzungen	79
	Glossar	80
	Literatur	81

Zusammenfassung

Ausgangslage und Ziele

Die Eindämmung der Klimaerwärmung, die Verknappung der Erdöl- und Erdgasvorräte (Peak Oil und Gas), die zunehmende Konzentration der verbleibenden Vorräte an Erdöl und Erdgas auf wenige und oftmals politisch problematische Länder (geopolitische Risiken und Abhängigkeiten) sowie Überlegungen zu einer global gerechten Verteilung des Zugangs zu Energie und Ressourcen zeigen die Notwendigkeit einer Strategie für eine zukunftsfähige Energieversorgung mit einer stark reduzierten CO₂-Intensität.

econcept AG hat im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Stadt Luzern eine umfassende Energie- und Klimastrategie für die Stadt Luzern (inkl. Stadtteil Littau) erarbeitet. Die Arbeiten wurden in den Jahren 2009 und 2010 durchgeführt und in zwei Fachberichten zusammengefasst: dem «Fachbericht zum Teilprojekt Grundlagen» und dem «Fachbericht zum Teilprojekt Strategie». In der vorliegenden Zusammenfassung werden die wichtigsten Erkenntnisse aus beiden Teilprojekten bzw. Fachberichten dargelegt.

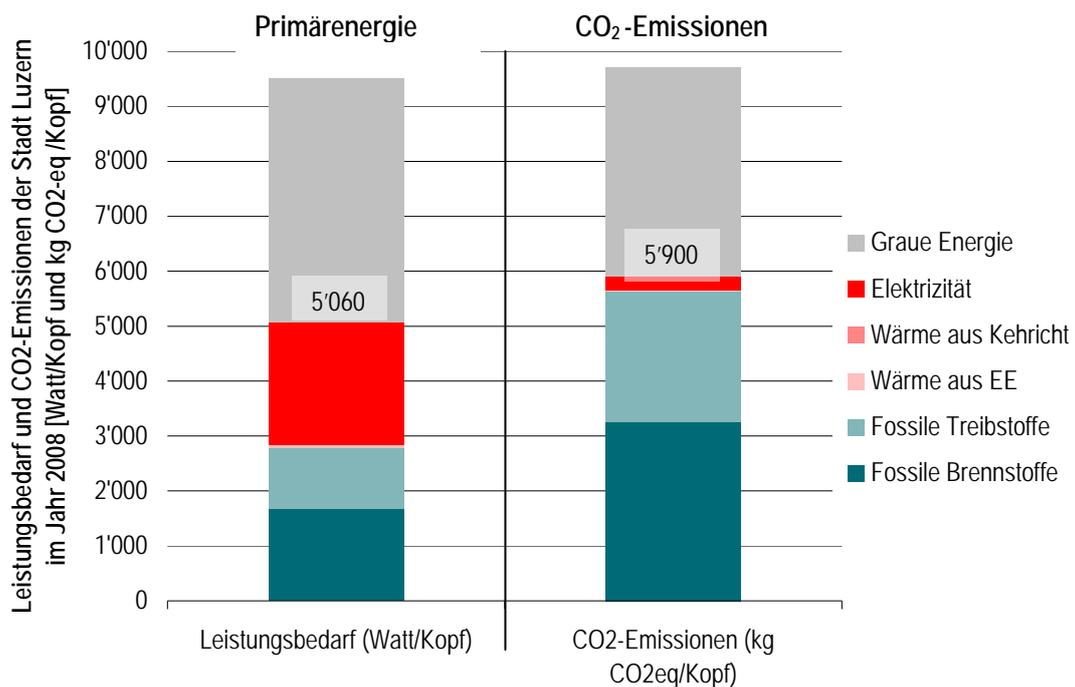
Ziel der Energie- und Klimastrategie ist das Erreichen der aus wissenschaftlicher Sicht geforderten Zielsetzungen, nach denen die globalen CO₂-Emissionen (CO₂-eq) gegenüber dem Jahr 2000 bis ins Jahr 2050 um 50% bis 85% gesenkt werden müssen, um die Klimaerwärmung im Rahmen von 2 bis 2.4 Grad zu halten. Bei einer Überschreitung der 2 Grad Grenze wird mit potenziell gravierenden und schwer kontrollierbaren Folgen für die Menschheit gerechnet. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die CO₂-Emissionen bis ins Jahr 2050 weltweit auf **1 Tonne pro Kopf und Jahr** stabilisiert werden. Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft ergänzt und erweitert diese Zielsetzung mit der Vorgabe eines maximalen Leistungsbedarfs von **2000-Watt pro Kopf**, wovon maximal 500 Watt aus fossilen Energiequellen stammen dürfen, um die Emissionen von 1 Tonne CO₂-eq pro Kopf und Jahr nicht zu überschreiten. Beide Zielsetzungen beziehen sich im vorliegenden Bericht auf den Primärenergieverbrauch innerhalb der Gemeinde Luzern (ausser Flugverkehr).

Unter Berücksichtigung der nationalen als auch kantonalen energie- sowie klimapolitischen Rahmenbedingungen und Programme soll die städtische Strategie den kommunalen Handlungsspielraum ausschöpfen, um die CO₂- und die Luftschadstoffemissionen zu reduzieren, die Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Energien zu verringern und volkswirtschaftliche Chancen einer nachhaltigkeitsorientierten Energie- und Klimapolitik zu nutzen. Die Strategie soll dabei die Kohärenz des staatlichen Handelns verbessern, die Integration von Energiepolitik, Klimaschutz und Luftreinhaltung in andere Politikbereiche anstreben, bestehende Synergien nutzen, das Verursacherprinzip umsetzen und möglichst hohe Effizienz und Effektivität erzielen.

Ist-Zustand und Handlungsbedarf

Die Zielsetzungen der Energie- und Klimastrategie der Stadt Luzern sowie alle nachfolgend aufgeführten Zahlen beziehen sich auf den Verbrauch von Primärenergie auf dem Gemeindegebiet (inkl. Littau). In der folgenden Figur werden der Leistungsbedarf und die CO₂-Emissionen der LuzernerInnen im Jahr 2008 aufgezeigt (inkl. graue Energie).

«Leistungsbedarf und CO₂-Emissionen der EinwohnerInnen der Stadt Luzern im Jahr 2008»



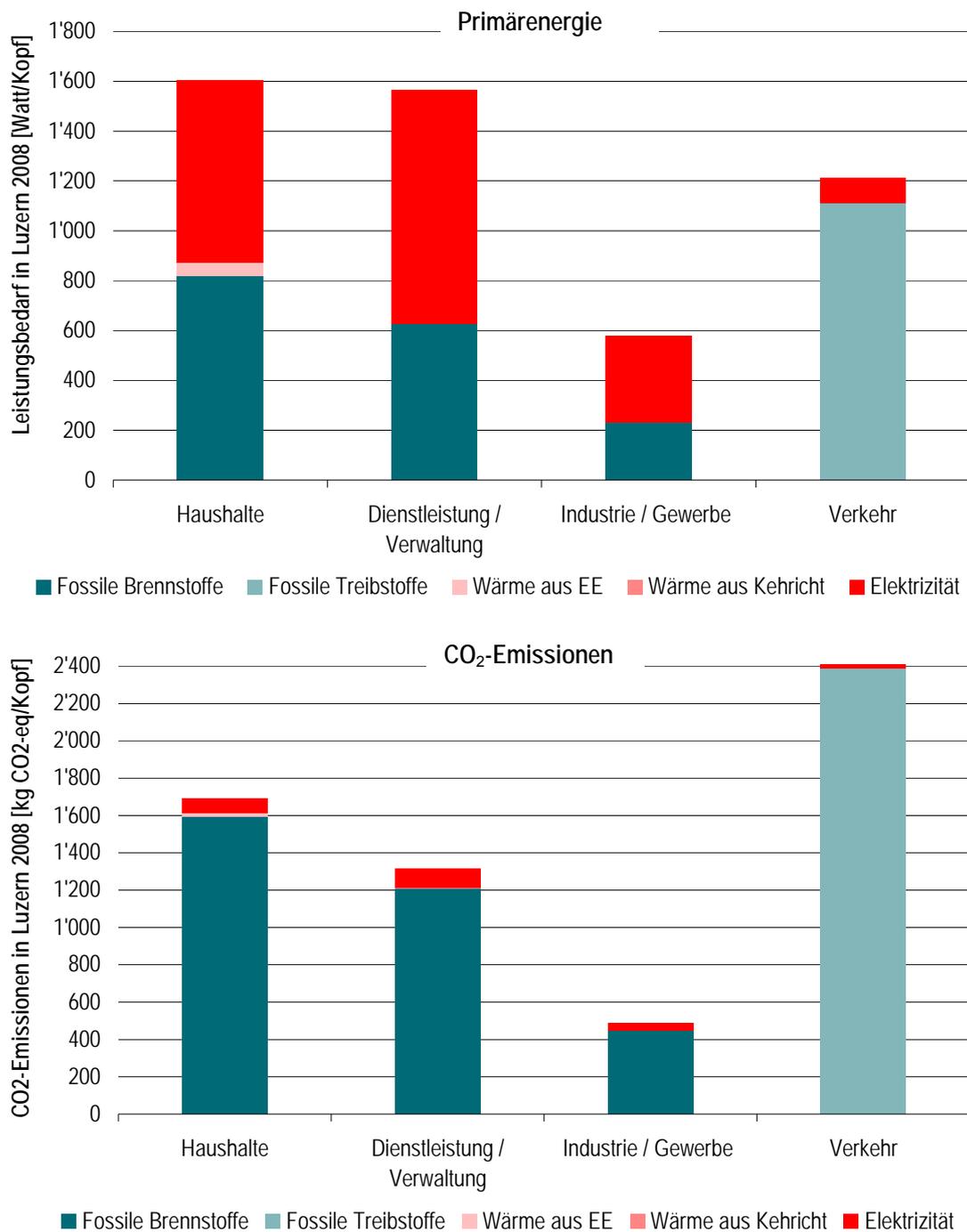
econcept

Figur 1: Leistungsbedarf und CO₂-Emissionen der EinwohnerInnen der Stadt Luzern im Jahr 2008 (gerundete Werte)

Der Leistungsbedarf sowie die CO₂-Emissionen liegen mit rund 5'060 Watt und 5.9 Tonnen pro Kopf deutlich unter dem schweizerischen Durchschnitt von ca. 6'160 Watt und 8.4 Tonnen pro Kopf im Jahr 2008. Aufgrund der gewählten Methodik wird die graue Energie im Folgenden nicht näher analysiert.

Die Analyse des Energieverbrauchs und der Emissionen von Treibhausgasen der Verbrauchergruppen «Haushalte», «Dienstleistung/Verwaltung», «Industrie/Gewerbe» und «Verkehr» erlaubt Rückschlüsse auf die grössten Primärenergieverbraucher und CO₂-Emittenten (vgl. folgende Figur). Dies ist vor allem für die Massnahmenentwicklung von Relevanz.

«Pro-Kopf Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen nach Verbrauchergruppen»



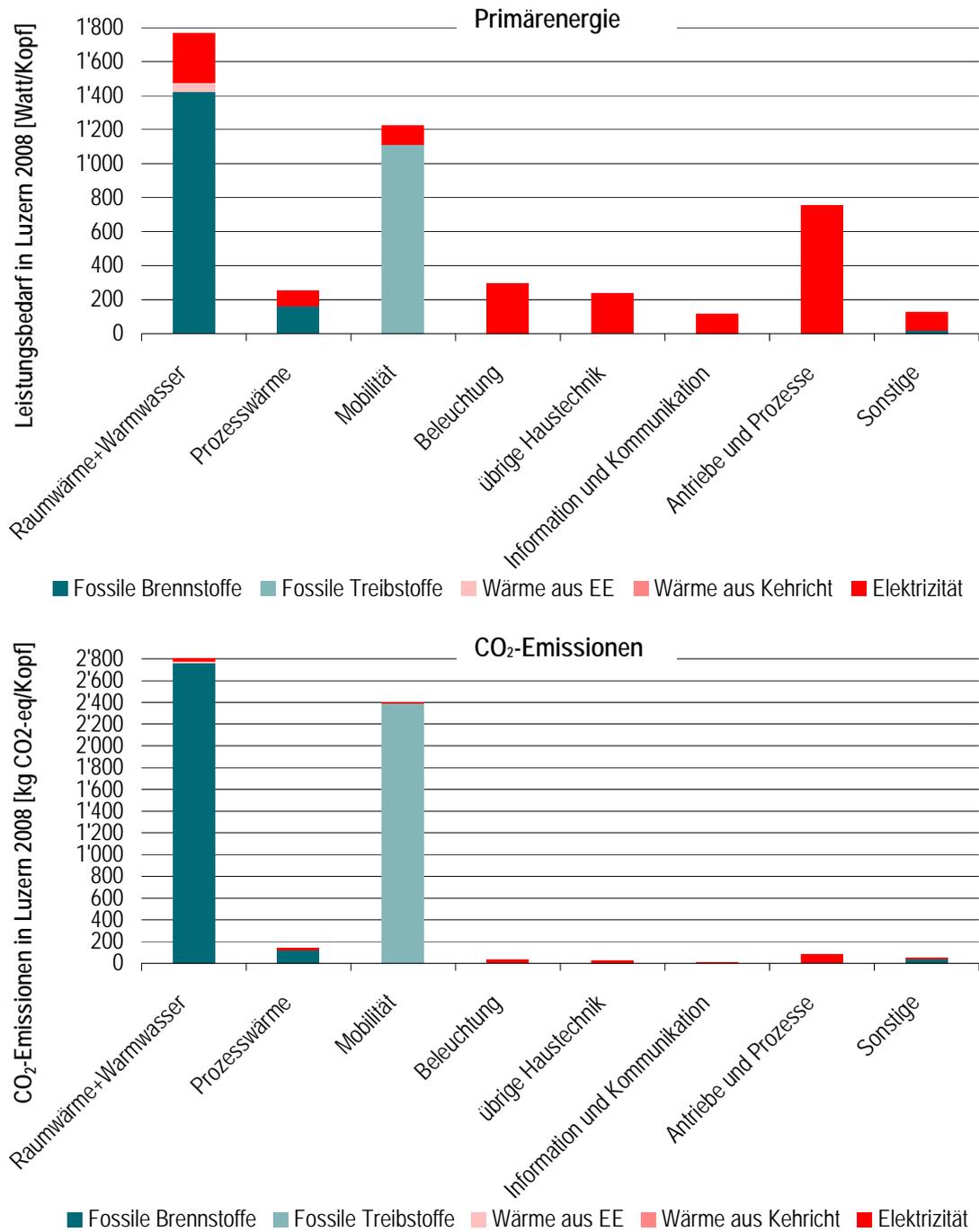
econcept

Figur 2: Primärenergieverbrauch (obere Figur) und CO₂-Emissionen (untere Figur) der Stadt Luzern nach Verbrauchergruppen im Jahr 2008

Eine Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf die wichtigsten Verwendungszwecke, dient der weiteren Konkretisierung der Ansatzpunkte für die Senkung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Die Figuren zeigen, dass Raumwärme und Warmwasser sowie Mobilität und Traktion für unsere Betrachtungen mit Abstand die wichtigsten

ten Energienutzungen sind. Der Verbrauch an Elektrizität für die verschiedenen Nutzungen trägt am meisten zum Primärenergieverbrauch bei, gefolgt von fossilen Brenn- und Treibstoffen.

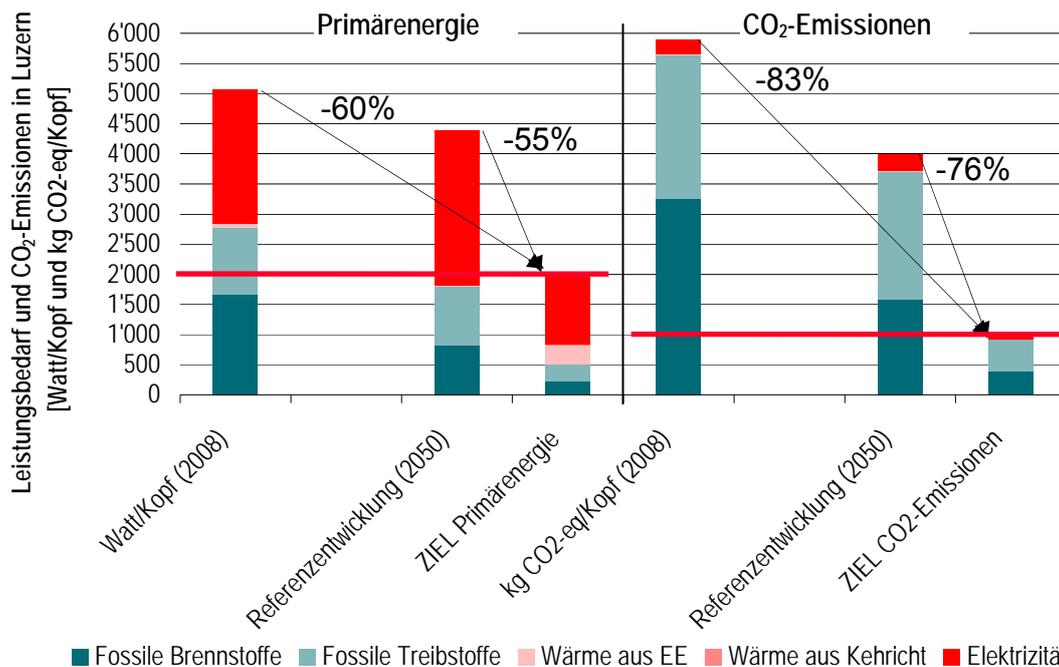
«Pro-Kopf Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen nach Verwendungszwecken»



Figur 3: Primärenergieverbrauch (obere Figur) und CO₂-Emissionen (untere Figur) der Stadt Luzern im Jahr 2008 nach Verwendungszwecken. Quellen: ewl, BFE 2008, eigene Berechnungen.

Der Vergleich mit den Zielsetzungen der Strategie zeigt, dass starke Reduktionen nötig sind, um die Ziele zu erreichen. Nachfolgende Figur zeigt zusammenfassend die Situation im Jahr 2008, die Referenzentwicklung ohne zusätzliche Massnahmen und die Zielsetzungen betreffend Leistungsbedarf und CO₂-Emissionen.

«Ist-Zustand, Referenzentwicklung bis 2050 und Zielwert der 2000-Watt-Gesellschaft für den Primärenergiebedarf (links) und die CO₂-Emissionen (rechts)»



econcept

Figur 4: Vergleich des Ist-Zustandes (2008), der Referenzentwicklung bis 2050 und der Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft für den Primärenergieverbrauch und den Ausstoss an CO₂-eq

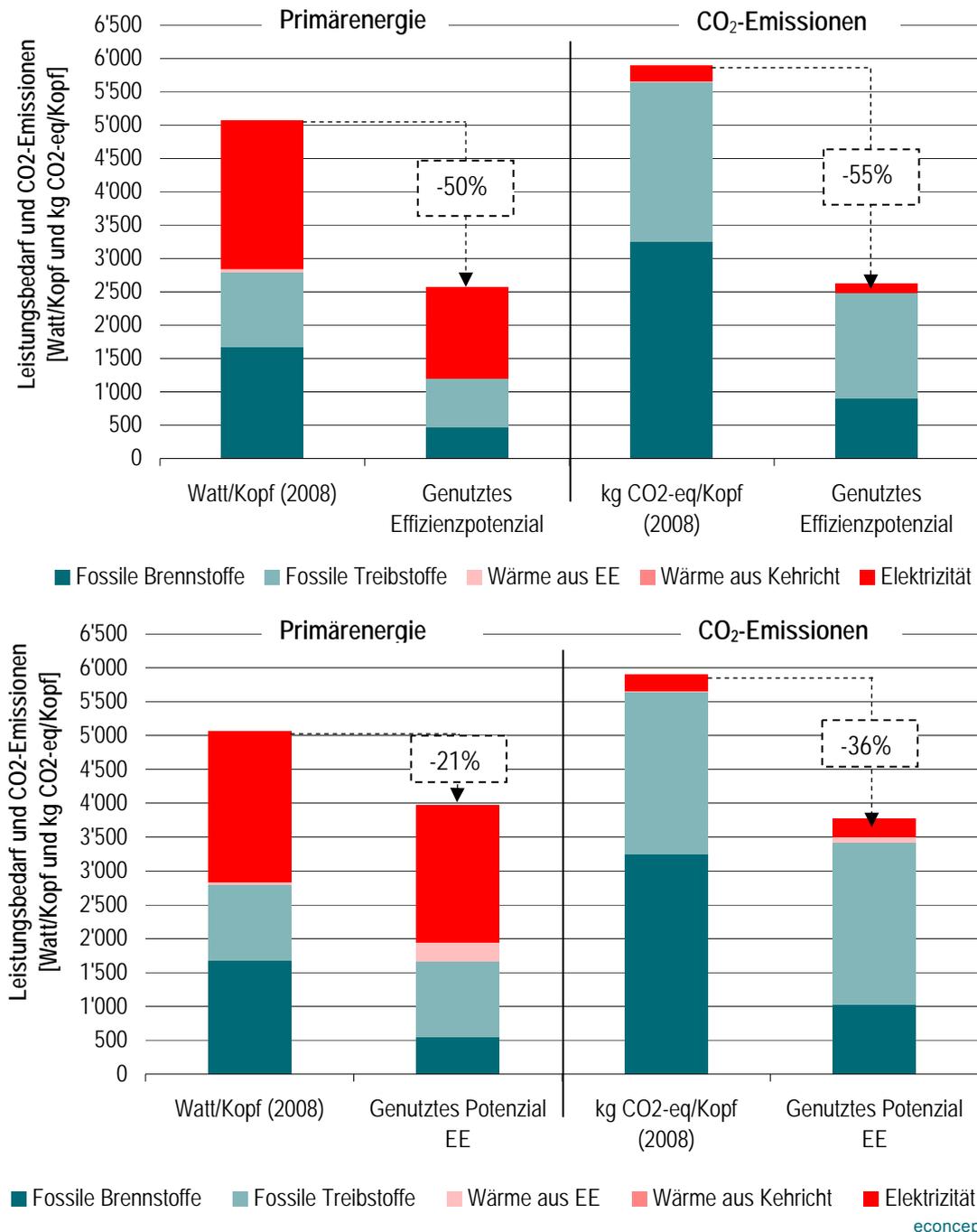
Die berechnete Differenz zwischen der heutigen Situation, dem Referenz- und dem Zielzustand in Luzern im Jahr 2050 zeigt, dass grosse Anstrengungen erforderlich sind: Der Primärenergieeinsatz muss gegenüber 2008 um ca. 60% und der durch den Primärenergieverbrauch verursachte Treibhausgasausstoss um ca. 83% reduziert werden. Gegenüber der zu erwartenden Referenzentwicklung betragen die Reduktionsziele noch 55% bei der Primärenergie und 76% bei den Treibhausgasemissionen. Um bei fossilen Energieträgern die Limite von 500 Watt bzw. insgesamt das Ziel von 1 Tonne CO₂ pro Kopf zu erreichen, besteht ein besonders grosser Handlungsbedarf zur Verringerung des Verbrauchs an Treib- und auch Brennstoffen.

Für die Ermittlung der Handlungsspielräume wurden die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien auf dem Gebiet der Stadt Luzern analysiert.

Potenziale der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien

Die Wirkungen der Nutzung der Energieeffizienzpotenziale und der Potenziale der erneuerbaren Energien werden nachfolgend gezeigt.

«Potenziale für die Reduktion des Leistungsbedarfs und des Ausstosses an CO₂ durch Nutzung des Effizienzpotenzials (obere Figur) und durch die Nutzung erneuerbarer Energien (untere Figur) »



Figur 5: Leistungsbedarf und CO₂-Emissionen der Stadt Luzern im Jahr 2008 und nach Nutzung der vorhandenen Energieeffizienz-Potenziale (obere Figur) sowie nach Substitution der nicht-erneuerbaren Energieträger mit den auf dem Gemeindegebiet potenziell vorhandenen erneuerbaren Energien (unter Berücksichtigung des Mehrbedarfs an Strom für die Nutzung von Umweltwärme bei einer zukünftigen Jahresarbeitszahl von 4)

Die Analyse der Effizienzpotenziale und der Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien auf dem Gebiet der Stadt Luzern zeigt, dass die Steigerung der Energieeffizienz den grösseren Beitrag zur Zielerreichung leisten kann. Die nachfolgende Zusammenstellung verdeutlicht, dass die geforderten Reduktionen zur Erreichung des Zielwertes von minus 60% beim Primärenergieverbrauch und minus 83 % beim CO₂-Ausstoss im Vergleich zum Jahr 2008 mit Beachtung der Referenzentwicklung und einer Kombination aus Massnahmen für Energieeffizienz und erneuerbare Energien grundsätzlich erreicht werden kann.

(Werte gerundet)	Referenzentwicklung 2008	Referenzentwicklung 2050	Genutztes Effizienzpotenzial	Genutztes Potenzial erneuerbare Energien
Primärenergie	Watt / Kopf	Watt / Kopf	Watt / Kopf	Watt / Kopf
Fossile Brennstoffe	1'675	820	465	550
Fossile Treibstoffe	1'110	985	735	1'110
Wärme aus EE	50	18	0	285
Wärme aus Kehricht	2.45	2.15	0	3.2
Elektrizität	2'225	2'570	1'375	2'030
Graue Energie	4'435			-- nicht untersucht --
TOTAL PE (ohne graue Energie)	5'060	4'395	2'575	3'980
CO ₂ -Emissionen	kg CO ₂ eq/ Kopf	kg CO ₂ eq/ Kopf	kg CO ₂ eq/ Kopf	kg CO ₂ eq/ Kopf
Fossile Brennstoffe	3'250	1'585	905	1'035
Fossile Treibstoffe	2'385	2'115	1'575	2'385
Wärme aus EE	20	7	0	75
Wärme aus Kehricht	1.3	1.10	0	1.7
Elektrizität	245	280	150	270
Graue Energie	3'804			-- nicht untersucht --
TOTAL CO₂ (ohne graue Energie)	5'900	3'990	2'630	3'765

Tabelle 1: Vergleich des Ausgangsjahres (2008) mit den Beiträgen zur Zielerreichung (2000 Watt / Kopf und 1 Tonne CO₂ eq / Kopf) von Referenzentwicklung sowie Nutzung der Potenziale für Energieeffizienz und erneuerbare Energien

Massnahmenswerpunkte für die Energie- und Klimastrategie

Die Wirkungsabschätzungen der bisherigen Massnahmen der Stadt Luzern im Bereich Energie und Klima zeigen, dass ein «Weiter-wie-bisher» nicht zielführend ist, wenn die Zielsetzungen von 2000-Watt und 1-Tonne-CO₂ erreicht werden sollen. Folgende Tabelle zeigt die Wirkungsabschätzung der bisherigen Massnahmen, unterteilt in Massnahmen des Aktionsplans Luftreinhaltung und Klimaschutz (APLK) und Fördertätigkeit des Energiefonds (wobei zu beachten ist, dass ein grosser Teil der separat ausgewiesenen APLK-Massnahmen ebenfalls über den Energiefonds finanziert wird). Dabei handelt es sich um Schätzungen, die eine Grössenordnung wiedergeben. Da im APLK Emissionsreduktionen auf Stufe Endenergie ausgewiesen werden, wurden diese für die Schätzungen mit einem Faktor 1.4 in Primärenergie bedingte Emissionen umgerechnet.

	Einsparung und Substitution durch EE	Anteil am Endenergieverbrauch 2008	Reduktion CO ₂ -Emissionen	Reduktion CO ₂ -Emissionen
(Gerundete Werte)	Endenergie	Endenergie	Endenergie	Primärenergie
Jährliche Wirkungen APLK (Stand 2009)	ca. 51 TJ / a	ca. 1%	ca. 3'050 t / a	ca. 4'270 t / a
Gesamte Wirkungen APLK (absolute Einsparungen bei einer Laufzeit von 10 Jahren)	ca. 510 TJ	ca. 10%	ca. 30'500 t	ca. 42'680 t
Jährliche Wirkungen Energiefonds (Stand 2009)	ca. 17 TJ / a	ca. 0.25%	ca. 740 t / a	ca. 1'040 t / a

Tabelle 2: Schätzung der Wirkungen der bisher beschlossenen und in Umsetzung befindlichen Massnahmen im Bereich Energie und Klima

Die nachfolgenden Massnahmen werden nach folgendem Prinzip erarbeitet: Ausgehend von der bestehenden Ziellücke zwischen 2008 und der anvisierten Zielsetzung – 2000-Watt und 1 Tonne CO₂-eq pro Kopf – werden die Schwerpunkte identifiziert, bei denen der grösste Handlungsbedarf besteht. Für jeden Schwerpunkt werden besonders wirksame und dringliche Massnahmen hergeleitet, deren Priorisierung sich hauptsächlich am Beitrag zur Zielerreichung misst ("backcasting").

Folgende sieben Massnahmenswerpunkte konnten für die Energie- und Klimastrategie der Stadt Luzern hergeleitet werden:

- 1 **Mobilität:** Insbesondere Massnahmen, die energieeffiziente Mobilität fördern, d.h. Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf Fuss-, Fahrrad- und den öffentlichen Verkehr.
- 2 **Gebäude:** Insbesondere Massnahmen, die auf eine Reduktion des Einsatzes von Brennstoffen für Raumwärme und Warmwasser sowie die Nutzung der Einsatzpotenziale für erneuerbare Energien abzielen.
- 3 **Energieerzeugung und Energieversorgung:** Insbesondere Massnahmen, die zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger im Strommix und zur effizienten Erzeugung von Wärme und Strom führen (Optimierung der Exergienutzung).
- 4 **Geräte, Anlagen, Prozesse:** Insbesondere Massnahmen, die auf eine Erhöhung der Stromeffizienz abzielen.
- 5 **Vorbildrolle Stadt Luzern:** Massnahmen, die insgesamt den Energiebedarf der Verwaltung und der stadteigenen Liegenschaften reduzieren und dabei die bestehenden Reduktionsmöglichkeiten aufzeigen (Demonstrationsobjekte) sowie die Marktentwicklung durch entsprechende Nachfrage der Stadt anstossen (Demonstrationseffekt, Know-how-Diffusion zu regionalen Unternehmungen).
- 6 **Bildung, Aus- und Weiterbildung:** Insbesondere Massnahmen für eine ausreichende Versorgung mit Fachleuten, die im Gebäude- und im Prozessbereich wissen, wie die Ziele erreicht werden können.

7 Information, Kommunikation und Beratung: Insbesondere Massnahmen, die die Bevölkerung mit den Zielsetzungen und den Möglichkeiten im Gebäude-, Konsum- und Mobilitätsbereich vertraut machen (InvestorInnen und GrossverbraucherInnen als Hauptzielgruppen einerseits sowie Investitions- und Verbrauchsentscheidungen als Ansatzpunkte für Information und Motivation andererseits).

Graue Energie: Wegen des hohen Anteils des grauen Energieverbrauchs werden auch für den Bereich "energie- und klimaschonender Konsum" Massnahmen vorgeschlagen. Es sind Massnahmen, die auf eine Begrenzung des eigenen Konsums bzw. auf einen energiebewussten Umgang mit dem Konsum abzielen.

Die Massnahmen für alle Schwerpunkte inkl. graue Energie werden jeweils nach den drei Säulen der vorliegenden Energie- und Klimastrategie – Effizienz, erneuerbare Energien und Suffizienz – geordnet. Folgende Tabelle gibt eine qualitative Übersicht darüber, welche Massnahmenswerpunkte für welche der drei Säulen wie relevant sind.

Massnahmenswerpunkte	Effizienz	Erneuerbare	Suffizienz
1 Mobilität	+++	+	++
2 Gebäude	+++	+++	++
3 Energieerzeugung und Energieversorgung	++	++	+
4 Geräte, Anlagen, Prozesse	+++	+	+
5 Vorbildrolle Stadt Luzern	++	++	+
6 Bildung, Aus- und Weiterbildung	+	+	+
7 Information, Kommunikation und Beratung	+	+	+
Graue Energie	+	+	++

Tabelle 3: Zuordnung der sieben Massnahmenswerpunkte auf die drei Säulen der Energie- und Klimastrategie der Stadt Luzern

Die im Folgenden vorgeschlagenen Massnahmenansätze sind als Grundlage für die Ausarbeitung von konkreten Aktionsplänen mit Umsetzungshorizonten von 5 bis 10 Jahren gedacht. Es werden für die definierten Schwerpunkte zusammenfassend die Massnahmentitel und die Wirkungsabschätzung gezeigt – die Herleitungen und Beschreibungen der Massnahmen sind im Fachbericht zum Teilprojekt «Strategie» zu finden.

Schwerpunkt 1: Mobilität

Die Massnahmen sind auf den Handlungsbereich der Stadt Luzern abgestimmt (gegliedert nach den Bereichen Effizienz, Erneuerbare und Suffizienz) und zeigen auch die wichtigsten, die nicht in den Zuständigkeitsbereich der Stadt Luzern fallen. Die Priorisierung einzelner Massnahmen erfolgt in allen Massnahmenswerpunkten über folgende Kriterien:

- Wirkung 2050: Beitrag zur Zielerreichung bzw. Wirkung der Massnahme
- Kosten: Schätzung der Kostengünstigkeit der Massnahme

— Zeithorizont: Wichtigkeit der Massnahme für langfristige Entwicklungen (Anlagen und Technologien mit langer Lebensdauer)

Nachfolgend die vorgeschlagenen Massnahmenansätze im Mobilitätsbereich:

	Nr.	Massnahmenansatz	Wirkung 2050 (t CO ₂ -eq / a)	Kosten	Zeit- horizont	Bemerkung
Effizienz	M1	Priorität für LV bei Bau, Unterhalt und Nutzung der Verkehrsinfrastruktur	Ca. 19'000	+(++)	+++	Die Kosten können im Rahmen von ohnehin anfallenden Sanierungsarbeiten gesenkt werden. Hohe Kosten für die Realisierung des Tiefbahnhofs
	M2	Priorität für ÖV bei Bau, Unterhalt und Nutzung der Verkehrsinfrastruktur	Ca. 19'000	+++	+++	
	M3	Weiterführen der Parkplatzbewirtschaftung, langfristige Anpassung des Parkplatzreglements	Bei M1 und M2 angerechnet. ++	+	+	Wirkungen bei den Massnahmen M1 und M2 angerechnet
	M4	Siedlungsentwicklung, ÖV-Nutzung und ÖV-Erschliessung prospektiv beeinflussen	Bei M2 angerechnet. +	+	++	Die Wirkungen und die Kosten variieren je nach Art der Massnahme.
	M5	Verkehrslenkung und -beruhigung	Bei M1 und M2 angerechnet. +	+	+	Annahme: Personelle Kapazität im Tiefbauamt vorhanden.
	M6	Aktive Promotion von energieeffizienten und stadtgerechten Fahrzeugen	M6, M7 und M8: Ca. 14'500	+	+	Annahme: Kosten für eine halbe Stelle
Erneuerbare	M7	Schaffung einer Aufladeinfrastruktur für Elektromobile ("Stromtankstellen") mit Ökostrom	M6, M7 und M8: (14'500)	+	+	Für die Bewertung des Strommixes wird ein Primärenergiefaktor von 2 zugrunde gelegt..
	M8	Förderung elektrischer Leichtfahrzeuge	M6, M7 und M8: (14'500)	+	+	
Suffizienz	M9	Attraktive Zonen / Quartiere mit hoher Lebens- und Aufenthaltsqualität schaffen	Bei M1 und M2 angerechnet. ++	++	+++	Die Wirkungen im Suffizienzbereich sind schwer abschätzbar. Grundsätzlich können weitergehende Wirkungen erzielt werden.
	M10	Förderung von nachhaltigen Quartieren mit Haushalten ohne eigene Personenwagen	Bei M1 und M2 angerechnet. ++	+	+	
	M11	Sensibilisierung für die Umweltwirkung der Mobilität und Promotion des LV	Wirkt auf alle Massnahmen +++	+	+	Annahme: Kosten für eine halbe Stelle
Andere Zuständigkeiten	M12	Überregionale Koordination des ÖV und prospektive ÖV-Erschliessung in Entwicklungsgebieten (vgl. M4)	Bei M2 angerechnet. ++	++	++	Abwicklung durch Verkehrsverbund
	M13	Ausbau der lokalen/regionalen ÖV-Kapazitäten (Trolleybus im Stadtzentrum, S-Bahn) und Promotion des ÖV	Bei M2 angerechnet. +++	+++	+++	
	M14	Mobilitätsberatung	Wirkt auf alle Massnahmen	+	+	
	M15	Einsatz von effizienten Fahrzeugen im ÖV, Steigerung der Energieeffizienz im ÖV	Ca. 3000	++	+	Annahme: Investitionen sind wirtschaftlich wegen Energiepreisen
<ul style="list-style-type: none"> — Prüfung von Ausbau und Bewerbung des Park+Ride-Angebots an wichtigen regionalen Standorten — Steuervergünstigungen für stadtvträgliche Fahrzeuge (hohe Effizienz oder Einsatz erneuerbarer Energien - wird umgesetzt). — CO₂ - Abgabe auch für den MIV und den Güterverkehr. — Energetische Verbesserungen bei der Fahrzeugflotte. — Steuerabzüge für autofreie Haushalte, Reduktion der zulässigen Steuerabzüge für MIV-Wegekosten 						

- Parkplätze für ökologisch vorteilhaften MIV
- Einführung von Umweltzonen

Tabelle 4: Zusammenfassung und Priorisierung der Mobilitätsmassnahmen
 +++ = gross/hoch/langfristig, ++ = mittel, + = klein/niedrig/kurzfristig

Die Mobilitäts-Massnahmen können zu drei Stossrichtungen zusammengefasst werden:

- 1 Vermeidung von Verkehr sowie Stärkung des öffentlichen Verkehrs und des Langsamverkehrs bzw. Verlagerung des MIV auf den ÖV und den LV. Prioritär sind folgende Massnahmenansätze zu vertiefen (Nennung gemäss Rangfolge):
 - 1.1 LV: M1, M9, M10 sowie M3 und M5,
 - 1.2 ÖV: M2, M12, M13, M3, M5, sowie M4, M10
- 2 Technologische Verbesserung und Elektrifizierung des verbleibenden Verkehrs. Die Bewertung des eingesetzten Stroms spielt bei der Bewertung der Massnahmen eine wichtige Rolle. Prioritär sind folgende Massnahmenansätze zu vertiefen (Nennung gemäss Rangfolge):
 - 2.1 MIV: M6, M7 und M8
 - 2.2 ÖV: M15
- 3 Verbesserung der Lebens- und Aufenthaltsqualität in der Stadt sowie Förderung einer nachhaltigen Quartierentwicklung: M9 und M10 – vgl. Massnahmen unter Punkt 1.

Die Massnahmenansätze M11 und M14 sind flankierend umzusetzen und insbesondere mit M6 zu koordinieren. Wegen den vielen Einflüssen der Massnahmenansätze untereinander (z.B. keine Einschränkung des MIV, wenn nicht gleichzeitig der LV und der ÖV attraktiver werden) und der wichtigen Rolle der Infrastrukturentwicklung, empfehlen wir, die Vertiefung aller Massnahmenansätze in einem Aktionsplan «stadtgerechte Mobilität», der gemeinsam von Umweltschutz- und Tiefbauamt erarbeitet und umgesetzt wird (oder gemeinsame Überarbeitung der Leitlinien kommunale Verkehrsplanung).

Die Wirkungsabschätzung zeigt, dass mit den vorgeschlagenen Massnahmenansätzen bei einer entsprechenden Umsetzungstiefe beachtliche Wirkungen erzielt werden können: Es kann schätzungsweise eine Reduktion auf 787 Watt und 1'530 kg pro Kopf erreicht werden (2008: 1'220 Watt/Kopf und 2'400 kg CO₂ eq/Kopf). Die Ziele der **2000-Watt-Gesellschaft** sind aber tiefgreifender: Der Primärenergiebedarf für Mobilität sollte bis ins Zieljahr um mehr als zwei Drittel (Ziel: ca. 400 Watt / Kopf gemäss Novatantis 2005) und die Treibhausgasemissionen um mehr als drei Viertel gesenkt werden. Das zeigt, dass diese Zielsetzungen nur gemeinsam mit den übergeordneten Partnern beim Kanton und dem Bund erreicht werden können. Die Tatsache, dass mit der Ausklammerung der Autobahn und des Flugverkehrs knapp die Hälfte der Emissionen des Jahres 2008 nicht im direkten Einflussbereich der Stadt liegen, zeigt dass Gemeinden in ihren Bemühungen um eine nachhaltige Zukunft der Mobilität besonders auf weitergehende und unterstützende Massnahmen von Bund und Kanton angewiesen sind. Die Stadt soll

deswegen ihre gemeinsamen Aktivitäten mit anderen Städten ausbauen und eine verstärkte Zusammenarbeit mit den übergeordneten Ebenen anstreben.

Schwerpunkt 2: Gebäude

Nachfolgend die vorgeschlagenen Massnahmenansätze im Gebäudebereich. Bei den Angaben der Wirkungen werden wegen dem starken Einfluss der Referenzentwicklung die Wirkungen, die zusätzlich zur Referenzentwicklung resultieren und in Klammern die Gesamtwirkungen im Jahr 2050 angegeben.

	Nr.	Massnahmenansatz	Wirkung 2050 (t CO ₂ -eq / a)	Kosten	Zeit- horizont	Bemerkung
Effizienz	G1	Günstige Finanzierungsmöglichkeiten schaffen für energetische Sanierungen (und eventuell auch für energieeffiziente Neubauten)	G1 und G2: Ca. 33'000 (131'500)	+	+++	Es wird davon ausgegangen, dass im Rahmen von G2 (und G3) die heutigen Förderbeiträge mindestens verdoppelt werden.
	G2	Förderung energetischer Sanierungen, die den Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft gerecht werden	Siehe G1	+++	+++	
	G3	Mustersanierung ganzer Stadtquartiere	Bei G1 und G2 angerechnet.	+++	+++	
	G4	Betriebsoptimierung der haustechnischen Anlagen und Modernisierung von Heizungsanlagen	Ca. 2'200 (8'900)	++	+(+)	
	G5	Baurechtliche Anreize für Energieeffizienz und erneuerbare Energien verbessern	Bei G1 und G2 angerechnet +	+	+	
	G6	Nutzung von städtischem Bauland mit besten energetischen Baustandards	Bei G1 und G2 angerechnet +(+)	+	+++	
	G7	Ausbau der Energieberatung	++	+	+++	
	G8	Reglemente und Gebührenordnungen überprüfen	(+)	+	++	
Erneuerbare	G9	Baurechtliche Hemmnisse für Solar-energienutzung abbauen (vgl. G4)	Bei G10 angerechnet	(+)	+	
	G10	Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien und Umweltwärme	Ca. 1'000+2'600 (4'000+10'300)	+++	+(+)	Nur wärmeseitige Wirkungen. Diese hängen vom eingesetzten Strommix ab.
	G11	Dächerscan und Portal zu geeigneten Dachflächen für die Sonnenenergienutzung schaffen	Bei G10 angerechnet	++	+	Einmaliger Auftrag und ständige Pflege der Datenbank.
Suffizienz	G12	Anreize für verdichtetes, kompaktes Bauen schaffen	Bei G1 und G2 angerechnet ++(+)	+	+++	Wirkungen schwer abzuschätzen.
	G13	Differenziertes Heizen fördern	Bei G4 angerechnet	+	+	

Andere Zuständigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> — Prüfen ob Sanierungspflicht im Gebäudebereich mit definierten energetischen Mindestanforderungen sinnvoll und praktikabel wäre (vgl. Beispiele Genf, Bern und Neuchâtel). — Forderung einer angekündigten weiteren Verschärfung der energetischen Standards für Neubauten in der MuKE: — Der Einsatz erneuerbarer Energien im Gebäudebereich könnte durch die Erhöhung respektive Erweiterung der «80/20%-Regel» erfolgen — Verbesserte Solarstromförderung — Graue Energie im Bauwesen / Anpassung des kantonalen Abfallgesetzes — Schaffung von Anreizen zur Reduktion der Wohnfläche pro Person oder Einführung einer gewissen Obergrenze an CO₂ Emissionen, die für das Wohnen emittiert werden dürfen.
------------------------	---

Tabelle 5: Zusammenfassung und Priorisierung der Gebäudemassnahmen

+++ = gross/hoch/langfristig, ++ = mittel, + = klein/niedrig/kurzfristig

Die Gebäudemassnahmen können zu drei Stossrichtungen zusammengefasst werden:

- 1 Reduktion des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser infolge von Sanierungen und Betriebsoptimierungen. Prioritär sind folgende Massnahmen umzusetzen (Nennung gemäss Rangfolge): G1, G2, G4, G12, G3, G6, G5, G8
- 2 Einsatz von erneuerbaren Energieträgern und Umweltwärme zur Deckung des verbleibenden Energiebedarfs. Prioritär sind folgende Massnahmen umzusetzen (Nennung gemäss Rangfolge): G10, G9, G11
- 3 Förderung von kompakter Bauweise: G12

Die Massnahme G6 ist flankierend zu den anderen umzusetzen. Gemäss der Wirkungsabschätzung kann im Gebäudebereich der Primärenergiebedarf auf rund 630 Watt/Kopf und die CO₂-Emissionen auf ca. 700 kg/Kopf gesenkt werden (2008: 1'790 Watt/Kopf und 2'850 kg/Kopf). Damit können die Primärenergieziele der **2000-Watt-Gesellschaft** praktisch erreicht werden. Die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft liegen zwar etwas tiefer (gemäss Novatlantis müsste der Primärenergiebedarf für «Wohnen und Arbeiten» bis im Zieljahr um ca. 75% auf ca. 450 Watt/Kopf gesenkt werden), angesichts der Unsicherheit solcher Wirkungsprognosen kann aber davon ausgegangen werden, dass die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft im Gebäudebereich grundsätzlich erreicht werden können. Eine weitere Absenkung des Primärenergieeinsatzes kann gelingen, wenn die Sanierungsrate weiter erhöht wird, wenn der Primärenergiefaktor des Strommixes gesenkt und wenn die Effizienz beim Stromeinsatz gesteigert werden kann.

Schwerpunkt 3: Energieerzeugung und Energieversorgung

Durch die Massnahmen im Schwerpunkt 3 lassen sich die CO₂-Emissionen und der Primärenergieeinsatz im Wärmebereich um weitere 5% gegenüber dem Stand 2050 ohne Wärmeinfrastrukturen senken. Die Änderung des Strommixes könnte zu einer Reduktion des Primärenergieeinsatzes für die Stromproduktion von 33% gegenüber 2008 führen. Die vermehrte Stromproduktion mit fossilen WKK-Anlagen würde aber zu einer leichten Zunahme der strombedingten CO₂-Emissionen von ca. 20% führen (es wird angenom-

men, dass die WKK-Anlagen wärmegeführt betrieben und deshalb die CO₂-Emissionen grösstenteils dem Wärmebereich angerechnet werden).

	Nr.	Massnahmenansatz	Wirkung 2050 (t CO ₂ -eq / a)	Kosten	Zeit- horizont	Bemerkung
Effizienz	E1	Förderung von effizienten Infrastrukturen im Wärmebereich	Wirkung bei der Stommix-Änderung berücksichtigt	+(+)	++	
	E2	Verstärkte Nutzung der kommunalen Abwärme	Beim Massnahmenswerpunkt 2 «Gebäude», Massnahme G10 angerechnet (schätzungsweise 150 Tonnen /a)			
	E3	Nutzung von erneuerbaren Energien auf Freiflächen / Brachflächen	Hierfür wurde keine Potenzialschätzung erstellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass CO ₂ -Emissionseinsparungen in der Grössenordnung von E2 und G10 (Anteil erneuerbare), d.h. zwischen 150 und 750 Tonnen/a, erzielt werden können.			
	E4	Eigentümerstrategie ewl / Strommixänderung	Die Erhöhung der Anteile erneuerbarer Energien bei gleichzeitigem Halten der Wasserkraftproduktion würde bei Berücksichtigung der Referenzentwicklung, d.h. einer Zunahme des Stromverbrauchs um 16% im vgl. mit 2008 zu einem Primärenergieeinsatz von 2'050 Watt / Kopf führen (2008: 2223 Watt / Kopf; Referenz ohne Massnahmen: 2'600 Watt / Kopf). Diese Reduktion dürfte aber unterschätzt sein, da der Primärenergiefaktor insbesondere von Photovoltaik noch abnehmen wird. Gleichzeitig würde die oben beschriebene vermehrte Produktion von Strom in WKK-Anlagen zu CO ₂ -Emissionen von 320 kg/Kopf führen, was ca. 30% über dem Wert von 2008 liegt. An den immer noch hohen Werten zeigt sich die Wichtigkeit einer Effizienzstrategie im Strombereich.			
Andere Zuständigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> — Verstärkung der regionalen Zusammenarbeit in Energiefragen. Zusammen mit dem Kanton, der Stiftung Wirtschaftsförderung, dem Gemeindeverband LuzernPlus und interessierten Gemeinden sind die Bestrebungen für den Aufbau einer Energieregion Luzern voranzutreiben. Ebenso können mit einzelnen Regionalen Partnerschaften etabliert werden (z.B. Unesco Biosphäre Entlebuch). — Verstärkte Förderung von Ökostrom – vgl. Vorschläge in Schwerpunkt 2 — Verstärkte Förderung von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen auf nationaler und kantonaler Ebene, insbesondere die Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Vergütung von WKK-Elektrizität. 					

Tabelle 6: Zusammenfassung und Priorisierung der Massnahmen Energieerzeugung und Energieversorgung
+++ = gross/hoch/langfristig, ++ = mittel, + = klein/niedrig/kurzfristig

Die Massnahmen im Bereich Energieversorgung und Energieerzeugung können zu **drei Stossrichtungen** zusammengefasst werden:

- 1 **Nutzung erneuerbarer Energien** zur Verbesserung des Primärenergieeinsatzes und der CO₂-Emissionen des eingesetzten Stroms: E4 und E3
- 2 Effiziente **Nutzung von Wärme** auf dem Stadtgebiet: E1 und E2
- 3 Produktion von **Strom in WKK-Anlagen** (Verbesserung des Primärenergiefaktors bei gleichzeitiger Verschlechterung der CO₂-Emissionen des Strommixes): E1

Die Schlussfolgerungen werden gemeinsam mit dem Massnahmenswerpunkt 4 gezogen.

Schwerpunkt 4: Geräte, Anlagen, Prozesse

Die Wirkungsabschätzung für den Schwerpunkt 4, bei dem es hauptsächlich um eine Steigerung der Stromeffizienz geht, wird pauschal vorgenommen. Ob es tatsächlich gelingen kann den Stromverbrauch abzusenken, hängt von vielen schwer prognostizierbaren Einflussfaktoren ab. Dazu gehören vor allem der zukünftige Anteil elektrisch zurückgelegter Wege und die zukünftige Art der Wärmeproduktion in Gebäuden.

Bei den zugrunde gelegten Annahmen lassen sich die CO₂-Emissionen im Strombereich trotz Referenzentwicklung (+116%) um ca. 2'500 Tonnen/a absenken. Der Primärenergieverbrauch liesse sich um 700 TJ/a senken.

	Nr.	Massnahmenansatztitel	Wirkung 2050 (t CO ₂ -eq / a)	Kosten	Zeit- horizont	Bemerkung
Effizienz	S1	Steigerung der Stromeffizienz	2'500	+	++	Nur wärmeseitige Effizienzsteigerung berücksichtigt. Die Stromproduktion wird bei der Betrachtung des Strommixes berücksichtigt.
Andere Zu- ständigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> — Einfordern von ambitionierten und langfristigen Effizienzprogrammen für Grossverbraucher. — Einfordern einer Verschärfung von Gerätestandards und Effizienzvorschriften bei Pumpen, Motoren und Haustechnik-Hilfsgeräten mit einer Orientierung an den Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft. 					

Tabelle 7: Zusammenfassung und Priorisierung der Massnahmen im Bereich Geräte, Anlagen und Prozesse
 +++ = gross/hoch/langfristig, ++ = mittel, + = klein/niedrig/kurzfristig

Die Ausführungen zum Strombereich der Schwerpunkte 3 und 4 zeigen, dass durch eine Kombination der beiden Massnahmenswerpunkte eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 40% auf ca. 1'300 Watt/Kopf erreicht werden kann. Die CO₂-Emissionen werden leicht zunehmen von 243 kg/Kopf auf 290 kg/Kopf. Novatlantis gibt beim Stromverbrauch einen tieferen Zielwert von ca. 210 Watt/Kopf an (dieser Wert kann aber wegen den unterschiedlichen Abgrenzungen nicht als Zielwert für Luzern übernommen werden). Im SIA-Effizienzpfad Energie finden sich unter der Rubrik «Licht und Apparate» Zielwerte zwischen 250 (Zielwert A) und 320 Watt/Kopf (Zielwert B). Eine Verbesserung der Primärenergiefaktoren bzw. der technologischen Möglichkeiten der erneuerbaren Energien wird bis ins Jahr 2050 bei den obigen Massnahmen zu einer weiteren Reduktion führen. Darüber hinaus werden aber auch verstärkte Anstrengungen zur Ausschöpfung des gesamten Effizienzpotenzials und weitergehende Beiträge von Bund und Kanton nötig sein, um die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft im Strombereich erreichen zu können.

Schwerpunkt 5: Vorbild Stadt Luzern

Mit herausragenden energietechnischen Lösungen (Bauten, Infrastrukturen, Anlagen), Verfahren (z.B. Investitionsrichtlinien, Evaluationsverfahren) und Beratungsangeboten werden die Machbarkeit und die Vorteile zukunftsorientierter energie- und klimapolitischer Lösungen aufgezeigt (sogenannte «Leuchttürme»). Die Stadt übernimmt hierfür in jedem der oben aufgeführten Massnahmenschwerpunkte eine Vorbildfunktion und liefert gute Handlungsbeispiele.

- **Mobilität:** Die Angestellten der Stadt nutzen vermehrt den Langsamverkehr und den ÖV auf ihren Dienstfahrten (und Arbeitswegen). Der Fuhrpark der Stadt wird auf energieeffizienteste und mit erneuerbaren Energien betriebene Fahrzeuge umgestellt. Durch die Einführung von Heimarbeitstagen könnte zudem die von den MitarbeiterInnen der Stadt verursachte Verkehrsleistung reduziert werden.
- **Öffentliche Bauten:** Die Vorgaben für öffentliche Bauten sollen so bald als möglich auf Minergie-P oder vergleichbare Standards verschärft werden, denn nur so können die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft erreicht werden. Um die im Gebäudeschwerpunkt beschriebenen Wirkungen bei den stadteigenen Bauten erreichen zu können, müsste die Sanierungsrate auch bei den stadteigenen Liegenschaften auf ca. 1.7% bis 2% p.a. erhöht werden.
- **Energieerzeugung und Energieversorgung:** Die Stadt prüft, ob sie über Liegenschaften mit Wärmenetzen verfügt und, ob diese nach den Vorgaben des Schwerpunkts 3 mit erneuerbaren Energien oder Wärmekraftkopplungsanlagen betrieben werden könnten. Bei dicht überbauten Gebieten kann die Stadt den Neubau von Wärmenetzen in Betracht ziehen. Als Stromeinkäuferin beschafft die Stadt in Zukunft vermehrt Ökostrom.
- **Geräte, Anlagen und Prozesse:** Die Stadt forciert in der Verwaltung die systematische Steigerung der Stromeffizienz nach den im Schwerpunkt beschriebenen Massnahmen. Besonderer Wert sollte auf die Beschaffung energieeffizienter Geräte mit zusätzlich niedrigem Bedarf an grauer Energie für Herstellung und Entsorgung gelegt werden.
- **Bildung, Aus- und Weiterbildung:** Die städtische Verwaltung (ProjektleiterInnen, HauswartInnen usw.) sollen über die Zielsetzungen der 2000-Watt-Strategie und die konkreten Handlungsmöglichkeiten informiert und in ihren Fachgebieten entsprechend geschult werden.
- **Information, Kommunikation, Beratung:** Über eine breit angelegte Informationskampagne sollen die Ziele und Gründe einer 2000-Watt-Gesellschaft verwaltungsintern kommuniziert werden. Damit soll die Kohärenz in der Politik gefördert werden.
- **Graue Energie / Beschaffung:** Bei der Wahl von Materialien für die städtische Verwaltung sollten die Grundsätze des schonenden Umgangs mit Ressourcen sowie der Minimierung des Energieeinsatzes und der CO₂-Emissionen über den ganzen Le-

benszyklus als Leitlinien verankert werden. So sollten beispielsweise möglichst rezyklierte Baumaterialien bzw. Baumaterialien und Möbel aus heimischer oder nachweislich nachhaltig wirtschaftender Holzwirtschaft eingesetzt, vermehrt saisonale und vegetarische Gerichte angeboten, wieder verwertbare Materialien bevorzugt und Papier aus Recyclingfasern eingesetzt werden.

Schwerpunkt 6: Bildung, Ausbildung und Weiterbildung

Die nachfolgend vorgeschlagenen Aktivitäten im Bereich Bildung sind mit den bestehenden Angeboten des öko-forums, der Kundenberatung ewl, dem Kanton, der Hochschulen und auch der regelmässig stattfindenden Energie-Apéros zu koordinieren.

Nr.	Massnahmenansatz	Erläuterungen / Bemerkungen
B1	Konzept Aus- und Weiterbildung Luzern im Hinblick auf die 2000-Watt-Gesellschaft	Die Stadt Luzern versucht den Kanton, die relevanten Fachverbände und die Hochschulen zur Erarbeitung einer Aus- und Weiterbildungsstrategie mit einem zugehörigen Umsetzungskonzept für die Stadt und den Kanton zu gewinnen: Identifikation der Zielgruppen für Ausbildung und ihrer Bedürfnisse, Identifikation der bestehenden Ausbildungsangebote mit Anpassungsbedarf/-möglichkeiten und Angebotslücken, Initialisierung der als erforderlich erachteten Aus-/Weiterbildungsangebote.
B2	Aus-/Weiterbildungsinitiative im HLKE-Bereich	Mit den Verbänden, der Hochschule Luzern Technik und Architektur und dem Kanton werden die Aus- und Weiterbildungsangebote im HLKE-Bereich überprüft, mit dem Ziel, allfällige Defizite zu beheben und Verbesserungen anzuregen (diese Massnahme wirkt überregional).
B3	Weiterentwicklung der niederschweligen Weiterbildungs- und Informationsangebote wie Energie-Apéro, öko-forum, ewl-Informationen	Die Stadt Luzern unterstützt die bestehenden, niederschweligen Weiterbildungsangebote im heutigen Rahmen. Im Rahmen des Aus-/Weiterbildungskonzeptes von B1 bzw. zusammen mit den Anbietenden der aktuellen niederschweligen Weiterbildungsangebote wird periodisch die Zweckmässigkeit der Angebote überprüft und bei Bedarf die Einführung von neuen Angeboten initialisiert.
B4	Zertifizierung von Fachleuten im Energiebereich	Die Stadt Luzern prüft mit dem Kanton und den beruflichen Ausbildungsinstitutionen die Schaffung von Weiterbildungszertifikaten. Damit kann bei schon Ausgebildeten ein Anreiz zur Weiterbildung geschaffen werden, weil sie ohne Zertifikat u.U. von bestimmten Aufträgen ausgeschlossen werden.

Tabelle 8 Massnahmenvorschläge Bildung, Aus- und Weiterbildung

Schwerpunkt 7: Information, Kommunikation und Beratung

Die Vision der 2000-Watt-Gesellschaft für die Stadt Luzern ist langfristig ausgerichtet und wirkt aus heutiger Sicht ungewohnt ambitiös. Soll diese Langfristzielsetzung wirksam werden, sind darauf ausgerichtete Informations- und Kommunikationsaktivitäten unerlässlich: kontinuierliche/periodische Information und Kommunikation über die Ziele, die laufenden Bestrebungen, die erzielten Erfolge und den Handlungsbedarf bzw. die Herausforderungen. Dazu wird mit Vorteil ein Informations- und Kommunikationskonzept erarbeitet, mit welchem die eingesetzten Massnahmen geplant werden. Mögliche Massnahmen:

- Kampagne «2000 Watt in Luzern»: Kampagne zur Etablierung der Vision 2000 Watt und zur Information über die Zielsetzungen, den Handlungsbedarf und den Zeithorizont
- Überprüfung der aktuellen Beratungsangebote, Prüfung der Einführung des Ökokompass für KMU (vgl. Erstberatungsangebot für KMU in der Stadt Zürich): Die Stadt Luzern hat mit der Beratung von Gesuchstellenden bei Förderprogrammen Pionierarbeit geleistet. Es sollte geprüft werden, welche Beratung bei der aktuellen Förderlandschaft zweckmässig ist, um die Wirkung der Fördermittel zu maximieren. Daneben besteht bei den KMU verbreitet Unterstützungsbedarf in den Bereichen Energie, Ressourcenschonung und Ökologie, welche typischerweise nicht zu den Kernaufgaben der jeweiligen KMU gehören.

Nr.	Massnahmenansatz	Beschreibung
11	Informations-, Kommunikations- und Beratungskonzept	Die Stadt Luzern erarbeitet ein Informations- und Kommunikationskonzept für ihre Klima- und Energiestrategie in Richtung «2000 Watt in Luzern», allenfalls ergänzt durch ein Beratungskonzept (kann auch separat erstellt werden). Im Informations- und Kommunikationskonzept werden für 1-3 Jahre die geplanten Aktionen, Instrumente, Kampagnen, die thematischen Schwerpunkte und die Zielgruppen festgelegt und die Mittel zugeteilt. Die Schnittstellen und die Koordination mit Informations- und Kommunikationsangeboten von Kanton, Bund und Weiteren müssen geklärt werden.
12	Kampagne "2000 Watt in Luzern" durchführen	Mit einer Kampagne zur Einführung einer "lokalen 2000-Watt-Gesellschaft" im Raum der Stadt Luzern werden Bevölkerung und Wirtschaft eingeladen und motiviert, die Zielerreichung zu unterstützen und sich aktiv in die Ausgestaltung einzubringen. Die Kampagne wird im Laufe der nächsten Jahre kontinuierlich bzw. periodisch durchgeführt. Zur besseren Vermarktung dient allenfalls ein Approach, bei der "MeinungsführerInnen" in die Kampagne integriert werden (Prominente etc.)
13	Kommunikation von Massnahmen der Stadt und ihren Erfolgen	Kommunikation vorbildlicher Aktionen der Stadt und ihrer Wirkungen (z.B. Reduktion von Energie- und Treibhausgasemissionen städtischer Gebäude, ökologische Beschaffung, etc.). Es ist dabei zu prüfen, welches (möglichst schon bestehende) Kommunikationsmittel sich dafür eignen würde.
14	Periodische Vollzugs-Information und Weiterbildung	Allenfalls zusammen mit weiteren Stellen (Kanton, Verbände, Gemeinden) werden periodische Vollzugs- und Weiterbildungsseminare für Vollzugsbeauftragte, PlanerInnen, UnternehmerInnen, Bauherren und InvestorInnen durchgeführt. Zweck ist die schnellere und bessere Umsetzung der energie- und klimapolitischen Massnahmen über Intermediäre, die Investitions- und Verbrauchsentscheidungen beeinflussen können.
15	Leuchtturmprojekte vermarkten	Promotion von Leuchtturmprojekten (herausragende Projekte) mit nachfolgender Nutzung zu Informations-/Kommunikations- und Demonstrationszwecken. Leuchtturmprojekte sind bedeutsam, energetisch herausragend. Sie weisen Ausstrahlungskraft auf, demonstrieren Machbarkeiten und vermitteln Orientierung.
16	Städtische 2000-Watt-Internet-Plattform mit Handlungstipps entwickeln	Aufbau einer Internetplattform der Stadt zu «2000 Watt in Luzern» mit aktuellen Informationen, Beratungsangeboten, Hinweisen auf veränderte Rahmenbedingungen und Links zu weiteren 2000 Watt-relevanten Stellen in der Stadt, beim Kanton, beim Bund, etc. Die Plattform soll starken Bezug auf Alltagshandlungen und -entscheidungen nehmen. Auf der Plattform könnten die CO ₂ - und Watt-Rechner implementiert werden sowie Verweise auf Top-ten etc. vorgenommen werden.
17	Bewährte Informationskampagnen ausweiten	Städtische Informationskampagnen z.B. zu Energieeffizienz im Gebäudebereich weiterführen und ausweiten.
18	Stelle eines 2000-Watt-Coachs schaffen	Die im Gebäudebereich bewährte Beratung mittels "Energie-Coach" wird ergänzt mit einem "2000-Watt-Coach" für alle 2000-Watt-Lebenslagen und -fragen.

Nr.	Massnahmenansatz	Beschreibung
		Kosten: 150 kCHF/a (eine Stelle)
19	Information/Promotion Suffizienz	Informationen zu Suffizienzerfolgen und –massnahmen werden auf geeignete Weise über die bereits vorhandenen bzw. die vorgeschlagenen Informationskanäle verbreitet.
110	Überprüfung Beratungsangebote	Die bestehenden Beratungsangebote im Bereich Energie, Mobilität, Ökologie werden periodisch überprüft und den sich allenfalls wandelnden Bedingungen angepasst (z.B. neue oder veränderte Förderprogramme). Die Einführung eines Beratungsangebotes für KMU (vgl. Ökokompass in der Stadt Zürich) wird geprüft.

Tabelle 9 Massnahmenvorschläge Information, Kommunikation, Beratung

Massnahmen zum Thema Graue Energie / Konsum

Grosse Potenziale für Einsparungen beim kumulierten Energieverbrauch liegen bei Konsumgütern und Dienstleistungen des alltäglichen Bedarfes sowie bei Freizeit- und Ferienaktivitäten. Folgende Massnahmenansätze können diesbezüglich verfolgt werden:

Nr.	Massnahmenansatz	Beschreibung
GE 1	Verwendung von ökologischen Baumaterialien mit geringem Aufwand an grauer Energie	<ul style="list-style-type: none"> — Holzbau, Minergie ECO, Bilanzierung nach dem SIA Effizienzpfad, ... — Wiederverwendung der eingesetzten Materialien, Baustoff-, Baumaterial- und Bauteilbörsen, Baustoffrecycling und –wiederaufbereitung
GE 2	Förderung neuartiger Nutzungskonzepte zur Reduktion von Ressourcen- und Materialaufwand	<ul style="list-style-type: none"> — Förderung der besseren Nutzung von Investitionsgütern und langlebigen Konsumgütern durch neuartige Bewirtschaftungsformen und Nutzungskonzepte: z.B. durch die Widmung von (bewirtschafteten) Parkplätzen für Car Sharing Fahrzeuge in der Stadt durch neue Dienstleistungskonzepte oder durch den Erlass neuer Benutzungsreglemente für öffentliche Bauten
GE 3	Förderung des Bewusstseins für graue Energie im alltäglichen Einkauf	<ul style="list-style-type: none"> — Promotion und Deklaration saisonaler Angebote, heimischer Erzeugnisse und einer fleischlosen oder -armen Ernährung, etc., ev. in Kooperation mit Lebensmittelhandel und regionalen Erzeugern — Beispielhafte Information über Anbaumethode, Transport (Flugzeug etc.), Verpackungsarten, Energieaufwand von alltäglichen Verbrauchsgütern — Förderung regionaler und langlebiger Produkte
GE 4	Förderung des Bewusstseins für Graue Energie und Konsumgüter	<ul style="list-style-type: none"> — Ab wann lohnt sich ein Geräteersatz unter Berücksichtigung der grauen Energie? — Benutzen statt Besitzen“ (z. B. Mobility, Gerätepools mit NachbarInnen...). — Reparieren statt wegwerfen (Stichwort «Wegwerfgesellschaft»)

Tabelle 10 Massnahmenvorschläge graue Energie

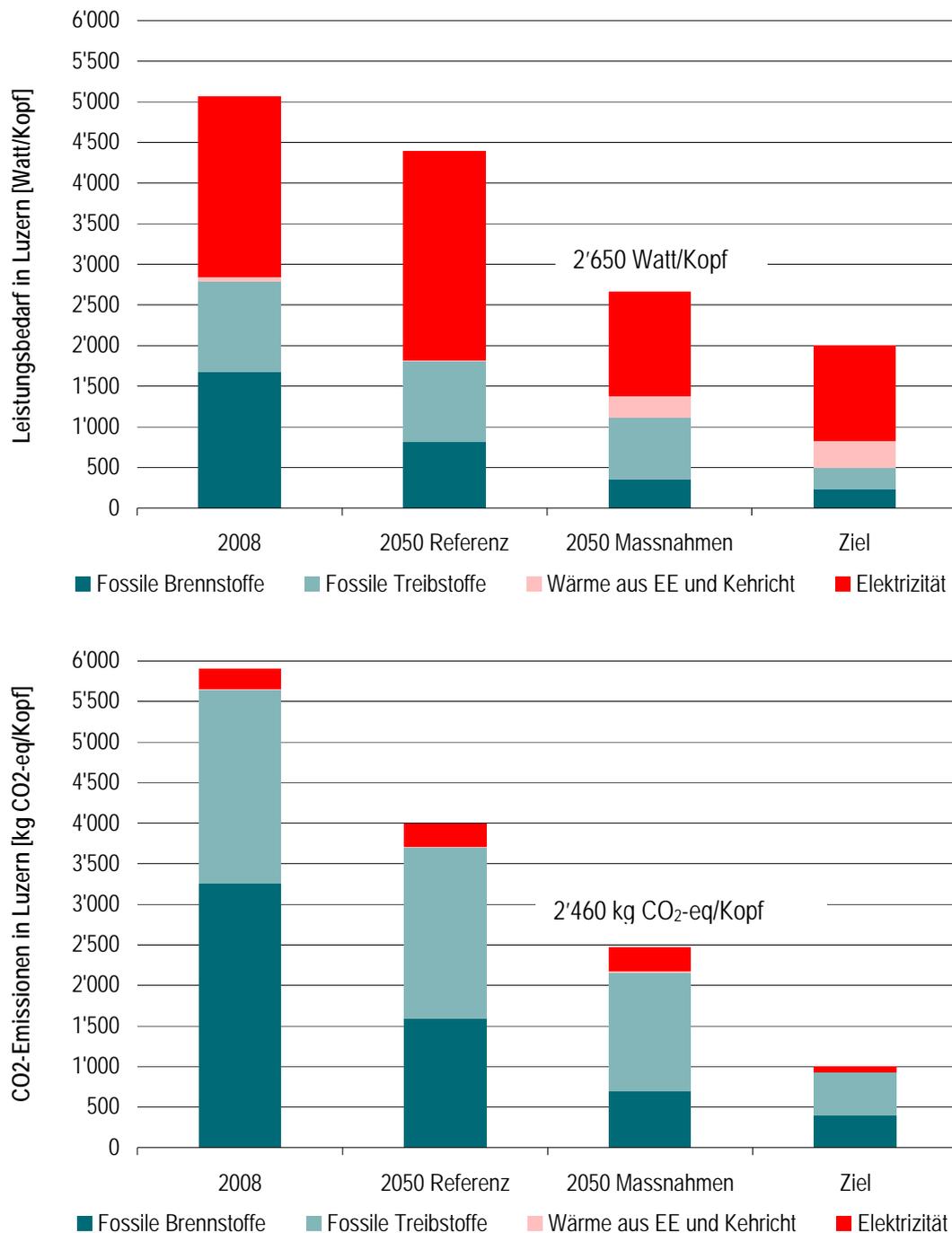
Bezüglich grauer Energie und Konsum wird oft auch der fehlende Zusammenhang von Besitz und Glück thematisiert.

Wirkungen der Energie- und Klimastrategie

Die Addition aller Wirkungen der oben beschriebenen Massnahmenansätze zeigt, dass mit deren Umsetzung grosse Wirkungen erzielt werden können. Durch die kommunalen Massnahmen können schätzungsweise die Werte von 2'650 Watt und 2'460 kg CO₂-eq

pro Kopf und Jahr erreicht werden. Dies entspricht im Vergleich zu 2008 einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 47% und einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 58%. Nachfolgende Figuren zeigen den Vergleich von Ausgangslage, Referenzentwicklung, Entwicklung mit Massnahmen und Zielvorgabe für den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen.

«Wirkung der Massnahmen der Energie- und Klimastrategie»



Figur 6: Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen der Stadt Luzern im Jahr 2008, die Referenzentwicklung im Jahr 2050, die Entwicklung mit Massnahmen im Jahr 2050 und das 2000-Watt-, bzw. 1-Tonne-CO₂-Ziel. Für die Abschätzung der Pro-Kopf-Werte wurde die Bevölkerungszahl aus dem Jahr 2008 verwendet.

Damit kann die Stadt Luzern einen erheblichen Beitrag zur Erreichung der Pro-Kopf-Ziele von 2000-Watt und 1 Tonne CO₂ pro Jahr beitragen¹. Die hier skizzierten städtischen Aktivitäten reichen aber nicht ganz aus, so dass die Mithilfe von und die Zusammenarbeit mit den Akteuren auf Stufe Bund und Kanton (sowie auch Akteuren anderer Länder) unabdingbar für ein Erreichen der ambitionierten Zielsetzungen ist.

Die Wirkungsabschätzung zeigt auch, dass mit den angenommenen Massnahmen in allen Bereichen ausser der Mobilität Wirkungen erzielt werden, die, zumindest bezüglich der Grössenordnung, in die Nähe der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft führen. Bei der Mobilität bzw. beim Verbrauch fossiler Treibstoffe müssen deutlich weitergehendere Wirkungen erarbeitet werden, was die Stadt nur in Zusammenarbeit mit Kanton und Bund bewerkstelligen kann.

Die Umsetzung der hier skizzierten Massnahmenansätze einer Energie- und Klimastrategie der Stadt Luzern bringt neben den oben ausgewiesenen Reduktionen beim Energieeinsatz und den CO₂-Emissionen **weitere positive Effekte für die Stadt:**

- 1 Die nicht durch die Energiekosten getragenen Folgekosten des Energieverbrauchs (externe Kosten), wie bspw. Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung und Lärmemissionen, werden reduziert. Gemäss Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz der Stadt Luzern, kann davon ausgegangen werden, dass die aktuelle Luftverschmutzung der Stadt Luzern jährlich ca. 30 Todesfälle bei Erwachsenen, ca. 25 Spitalerkrankungen wegen Herz-Kreislaufkrankheiten und ca. 400 Fälle von Bronchitis bei Kindern verursacht. Alleine die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung in der Stadt Luzern belaufen sich auf ca. 50 Mio. Franken im Jahr (APLK 2008: 79).
- 2 Die Reduktion der Abhängigkeiten bzw. der Preis- und Konfliktrisiken einer stark von fossilen Energieträgern abhängigen Energieversorgung
- 3 Die Schaffung von Arbeitsplätzen bzw. die Förderung des lokalen Gewerbes (v.a. im Bau- und Haustechnikgewerbe)
- 4 Eine Erhöhung der regionalen Wertschöpfung durch die Substitution von importierten fossilen Energieträgern mit vergleichsweise kleinem regionalem Wertschöpfungsanteil
- 5 Die vermehrte Umsetzung von energieeffizienten Lösungen und die gewonnenen Erfahrungen mit erneuerbaren Energien steigern das Know-how von ortsansässigen Firmen und tragen zu deren Wettbewerbsfähigkeit bei.
- 6 Eine generelle Erhöhung der Lebensqualität in der Stadt

Solche Effekte und die Tatsache, dass die Kosten der Anpassung an die Folgen des Klimawandels weitaus höher geschätzt werden als die Kosten der Massnahmen zur Ein-

¹ Aufgrund der gesamtschweizerischen Prognosen ist davon auszugehen, dass die Bevölkerung bis im Jahr 2050 auch auf dem Gebiet der Stadt Luzern zunehmen wird. Diese Entwicklung führt in der Tendenz dazu, dass die Pro-Kopf-Werte etwas stärker sinken. Da die Wirkungsabschätzungen an sich mit sehr vielen Unbekannten und Annahmen erstellt werden müssen, wurde auf eine Neuberechnung der Wirkungen anhand von neueren und besseren Bevölkerungsprognosen verzichtet.

dämmung des Klimawandels, sprechen für die Umsetzung einer ambitionierten Klima- und Energiestrategie, auch wenn die kurzfristigen Kosten tendenziell als hoch beurteilt werden.

1 Einleitung Grundlagenbericht

Die Stadt Luzern hat die Erarbeitung einer neuen Energie- und Klimastrategie in Auftrag gegeben, in der aufgezeigt werden soll, wie die **wissenschaftlich hergeleiteten Zielsetzungen der Klimapolitik und der Vision der 2000-Watt-Gesellschaft** erreicht werden können. Als Zeithorizont der Strategie dient das Jahr 2050.

Das gesamte Projekt ist in zwei Teile gegliedert:

- 1 Teil «Grundlagen» → → → → **Dieser Teil wird im vorliegenden Bericht behandelt.**
- 2 Teil «Strategie»

Da die Stadt Luzern und die Gemeinde Littau per 1.1.2010 fusioniert sind, deckt der Begriff **Stadt Luzern** den ehemaligen Raum von Luzern und Littau ab.

Im Teilprojekt «Grundlagen» werden, neben einer Beschreibung des Konzepts der 2000-Watt-Gesellschaft, der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen im Ist-Zustand analysiert und die bisherige Energiepolitik sowie die bestehenden Rahmenbedingungen der Energiepolitik aufgezeigt. Weiter wird eine Referenzentwicklung für die Situation ohne Energie- und Klimastrategie berechnet und die Potenziale für den Einsatz erneuerbarer Energien und die Steigerung der Energieeffizienz aufgezeigt.

Der Fachbericht ist in sieben Kapitel gegliedert:

- In Kapitel 2 werden die Grundlagen und Zielsetzungen des Konzepts der 2000-Watt-Gesellschaft erläutert. Ebenso werden die für das gesamte Projekt verwendeten Systemabgrenzungen beschrieben.
- In Kapitel 3 wird der aktuelle Energieverbrauch der Stadt Luzern analysiert. Dabei wird ein Schwerpunkt auf den Verbrauch von Energieträgern und eine Analyse des Beitrags der verschiedenen Verbrauchergruppen gelegt.
- Anschliessend werden in Kapitel 4 die bisherige Energiepolitik und die aktuellen Rahmenbedingungen aufgearbeitet und im Hinblick auf ihre Wirkung gewürdigt. Die neue Energie- und Klimastrategie wird auf den bestehenden energiepolitischen Massnahmen aufbauen, weswegen die einzelnen Massnahmen genauer dargestellt werden. Für diese Ausführungen werden nur die Aktivitäten der Stadt Luzern vor der Fusion untersucht.
- In Kapitel 5 des Grundlagenberichts wird ein erstes Mal bis ins Jahr 2050 geschaut: eine Referenzentwicklung wird hergeleitet, welche aufgezeigt, wie sich der Endenergieverbrauch entwickeln wird ohne zusätzliche Massnahmen für Energie- und Klimaschutz der Stadt Luzern. Für die Referenzentwicklung wird das Szenario IIa der Energieperspektiven des BFE verwendet.

- In Kapitel 6 werden die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Nutzung der erneuerbaren Energien analysiert, wonach theoretisch aufgezeigt wird, welchen Beitrag die beiden Bereiche zur Zielerreichung leisten können.
- Im abschliessenden Kapitel 7 wird mit einer Gegenüberstellung von Referenzentwicklung und Potenzialanalyse ein Fazit gezogen.

2 Grundlagen der 2000-Watt-Gesellschaft

2.1 Einleitung

Die 2000-Watt-Gesellschaft ist eine energiepolitische Vision, die von verschiedenen Instituten aus dem ETH-Bereich entwickelt wurde (Novatlantis 2005). Vor dem Hintergrund der global schnell abnehmenden Vorräte an Ressourcen und der ungleichen Verteilung der Nutzung der Energieressourcen auf der Welt haben Forscher der ETH berechnet, welche kontinuierliche energetische Leistung weltweit im Durchschnitt pro Kopf verbraucht werden kann, ohne die Erde zu übernutzen.

Hinzu kommt die Klimaproblematik, die aus wissenschaftlicher Sicht vor allem von den Autoren des IPCC² ins Licht der internationalen Öffentlichkeit und Politik gerückt wurde. Heute wird davon ausgegangen, dass die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperaturen 2°C nicht überschreiten darf. Andernfalls, so schreibt der Bundesrat in der Strategie Nachhaltige Entwicklung: Leitlinien und Aktionsplan 2008-2011, drohen «katastrophale Auswirkungen für den Menschen» (ARE 2008). Damit dieses Ziel erreicht werden kann, müssen die globalen Treibhausgasemissionen bis ins Jahr 2050 massiv gesenkt werden: im neusten IPCC Report wird aufgezeigt, dass eine Begrenzung der Erwärmung auf 2 bis 2.4 Grad eine weltweite Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 bis 85% verlangt (IPCC 2007:67). An der Klimakonferenz in Kopenhagen vom Dezember 2009 wurde nun die 2-Grad-Grenze von den Staaten anerkannt (Copenhagen Accord). Die Vorgabe eines maximalen Ausstosses von 1t CO₂ Äquivalente pro Kopf und Jahr wird diesen hohen Anforderungen gerecht.

Der Bundesrat hat das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft im Jahr 2002 zur Zielvorgabe der langfristigen Energie- und Klimapolitik der Schweiz gemacht. Die Eindämmung der Klimaerwärmung, die Verknappung der einfach zugänglichen Erdölvorräte (Peak Oil) sowie die zunehmende Konzentration der verbleibenden Vorräte an Erdöl und Erdgas auf wenige Länder (geopolitische Risiken und Abhängigkeiten) sind wichtige Gründe für die Wahl einer 2000-Watt-Strategie. Zusätzlich wird damit auch die Gerechtigkeitsfrage thematisiert: damit eine weltweit gerechte Nutzung der knappen Ressourcen und auch eine gerechte Verteilung der CO₂-Emissionen pro Kopf möglich wird, muss der Verbrauch nichterneuerbarer Energieressourcen in Ländern mit hohem Lebensstandard massiv reduziert werden. Wenn die Energieeffizienz massiv gesteigert und der Einsatz erneuerbarer Energien zum Ersatz fossiler Energieträger stark ausgedehnt wird, ist dies möglich ohne den Wohlstand zu verringern.

² IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change; eine zwischenstaatliche Sachverständigengruppe über den Klimawandel, welche von den Vereinten Nationen eingesetzt wurde. Hintergrund der Forderungen des IPCC ist die Tatsache, dass die jährliche CO₂-Emission bei maximal 10 Gigatonnen (Gt) weltweit liegen muss, damit innerhalb der nächsten einhundert Jahre der Temperaturanstieg infolge des Treibhauseffekts weltweit auf 2°C begrenzt bleibt (IPCC 2007). Dieser Anstieg um 2°C gilt als hinreichend tolerierbar für Mensch und Ökosysteme. Bei einer angenommenen zukünftigen Weltbevölkerung von 10 Mrd. Menschen ergibt sich aus den 10 Gt weltweit 1 Tonne CO₂-Emissionen pro Kopf und Jahr.

2.2 Allgemeine Zielsetzungen und Abgrenzungen

Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft beinhaltet eine doppelte Zielsetzung: Wie der IPCC dargelegt hat, sollen einerseits die CO₂-Emissionen auf 1 Tonne pro Kopf und Jahr reduziert werden (weitgehende Entkarbonisierung der Gesellschaft bzw. Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energieträger) und andererseits soll die verfügbare Energie sehr viel effizienter eingesetzt werden. Die Emission von 1 Tonne CO₂ pro Kopf und Jahr entspricht derjenigen Emission, die durch eine ständige Verbrennung von fossilen Energieträgern (Öl, Gas) bei einer Leistung von 500 Watt erzeugt wird (Zimmermann et al. 2005). Die Differenz zwischen der fossil erzeugten Leistung von 500 Watt und den 2000 Watt des Ziel-Verbrauchswerts soll mit erneuerbaren Energien bereitgestellt werden. Eine permanente Leistung von 2000-Watt entspricht einem Jahresverbrauch von 17'500 kWh pro Kopf und beziffert diejenige Leistung, die in Zukunft für alle Bereiche des Lebens (wie Wohnen, Konsum, Mobilität und Infrastruktur) pro Person maximal eingesetzt werden soll.

Die Zielsetzungen der 2000-Watt-Gesellschaft beziehen sich auf den Verbrauch von Primärenergie (Bébié et al. 2008). **Primärenergie** wird definiert als kumulierter Energieaufwand (KEA) mit globaler Systemgrenze, d.h. als Energieinhalt von Erdöl-, Erdgas- und Uranvorräten, Wasserkraft ab Turbine, Erdwärme und weiteren Energieträgern unter Berücksichtigung des Energieaufwandes für Förderung, Umwandlung, Transport und Verteilung.

Der Energieverbrauch bei den Verbrauchern wird als Endenergieverbrauch erfasst. **Endenergie**, ist die netto an die Verbraucher über den jeweiligen **Bilanzperimeter** gelieferte Energie. Bei Gebäuden (Bilanzperimeter für Endenergie: Gebäudehülle) umfasst der Endenergieverbrauch nicht nur Erdöl-, Erdgas-, Holzenergie- oder Elektrizitätslieferungen, sondern auch die aus erneuerbaren Energien im oder am Gebäude produzierte und verbrauchte Energie wie Solarwärme, Solarstrom, Erdwärme, Umweltwärme aus Wasser und Luft (Bébié et al. 2008). Der Primärenergieverbrauch entspricht dabei dem mit den **Primärenergiefaktoren**³ bewerteten (bzw. multiplizierten) Endenergieverbrauch.

Mit der bezogenen Endenergie wird die von den Nutzern gewünschte Nutzenergie in der Form von Wärme, IT-/Kommunikationsleistungen, Licht, mechanische Kraft etc. hergestellt. Was die Nutzer jedoch brauchen sind eigentlich Energiedienstleistungen wie warme und helle Räume, gekochtes Essen oder Transportleistung von A nach B (Akademien Schweiz 2007).

Durch die Betrachtung auf der Stufe der Primärenergie wird sichergestellt, dass der Energieaufwand für die Bereitstellung des statistisch erfassten Endenergieverbrauchs mitberücksichtigt wird. Wie gross dieser kumulierte Energieaufwand ist (KEA, inkl. Vorleistungen), verdeutlichen die folgenden Zahlen für das Jahr 2008: Gemäss Gesamtenergiestatistik für das Jahr 2008 lag der schweizerische *Endenergieverbrauch* bei 34'212 kWh pro

³ Primärenergiefaktoren für die Schweiz: Frischknecht R., Tuchschnid M. (2008): Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, ESU-Services, Uster, Version vom 30.4. 2008

Person. Der *Primärenergieverbrauch*⁴ betrug im selben Jahr knapp das 1.6-Fache, nämlich ca. 54'025 kWh pro Kopf. Zur Bereitstellung diese Menge Primärenergie wird eine permanente Leistung von ca. 6'160 Watt pro Kopf benötigt, d.h. eine rund dreimal höhere Leistung als die anvisierten 2000 Watt pro Kopf.

Bezogen auf die **Treibhausgasemissionen** fällt die geforderte Reduktion drastischer aus: gemäss Treibhausgasinventar der Schweiz betragen die Emissionen von CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq) im Jahr 2008 ca. 5.5 Tonnen pro Kopf. Darin berücksichtigt sind aber nur die Emissionen des Endenergieverbrauchs. Umgerechnet auf den Primärenergieverbrauch betrug der Treibhausgas-Ausstoss mit rund 8.4 Tonnen pro Kopf fast das 1.5-Fache. D.h. heute werden mehr als 8 mal soviel Treibhausgase emittiert, wie von der 2000-Watt-Gesellschaft anvisiert (Berechnung mit Treibhausgas-Emissionskoeffizienten gemäss Frischknecht und Tuchschnid 2008).

Die Vision der 2000-Watt-Gesellschaft verlangt nach einer sehr ambitionierten Energiepolitik. Sie wird zurzeit von verschiedenen Kantonen angestrebt, darunter LU, TG, BE, BS, AR und AG. Ein entsprechender politischer Vorstoss wurde auch im Kanton ZH eingereicht. Ferner haben die Städte Zürich, St. Gallen und Schaffhausen das Erreichen der 2000-Watt-Gesellschaft in ihre energiepolitischen Programme aufgenommen.

Nachfolgend werden die dargelegten allgemeinen Zielsetzungen für das Untersuchungsgebiet der Stadt Luzern operationalisiert. Im Abschnitt über die Bilanzierungsmethodik wird beschrieben, wie die Systemgrenze festgelegt wird.

2.3 Bilanzierungsmethodik für die Operationalisierung der Zielsetzungen

Die Stadt Zürich, novatlantis und das BFE haben die Methodik zur Festlegung von Langfristzielen sowie zur Erfassung und Bilanzierung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen auf städtischer Ebene entwickelt (Bébié et al. 2008). Wo nicht anders erwähnt, beziehen sich die nachfolgend beschriebenen Abgrenzungen und Definitionen auf die Zürcher Studie.

Der Bilanzperimeter der vorliegenden Studie entspricht den Gemeindegrenzen von Luzern ab dem 1.1.2010 (ehemals Luzern und Littau, vgl. Figur 7). Als Basis für die Bilanzierung des für die 2000-Watt-Gesellschaft relevanten Energieverbrauchs sowie des CO₂-Ausstosses dient der **Primärenergieverbrauch** im Untersuchungsgebiet. Dieser setzt sich aus dem tatsächlichen *Endenergieverbrauch*⁵ und allen weiteren Energieaufwendungen zu dessen Bereitstellung zusammen⁶. Zur Berechnung des Primärenergie-

⁴ Um den Primärenergieverbrauch im Jahr 2008 zu berechnen, wird der Endenergieverbrauch je Energieträger (Heizöl, Gas, Benzin, Diesel, Schweizer Elektrizitätsmix, etc.) mit Primärenergiefaktoren gemäss Frischknecht und Tuchschnid (2008) multipliziert. Die Primärenergiefaktoren werden mit dem kumulierten Energieaufwand (KEA) je Einheit Endenergie gemäss der Ökobilanzdatenbank ecoinvent 2.0 bestimmt.

⁵ Die Energie, die den Verbrauchern innerhalb der Untersuchungsgebietes netto geliefert wird. Dabei bemisst sich der Energieinhalt von Brenn- und Treibstoffen nach dem Brennwert (oberer Heizwert). Quelle: Bébié et al 2008.

⁶ Zusätzlicher Energieaufwand bzw. der kumulierte Energieaufwand (KEA), der erforderlich ist, um die Energie zu gewinnen, umzuwandeln, zu raffinieren, zu transportieren und zu verteilen (mit globaler Systemgrenze). Die Umwandlungsverluste bei

verbrauches, wird der Endenergieverbrauch je Energieträger mit den jeweiligen *Primärenergiefaktoren* multipliziert. Die Nutzung von erneuerbarer Energie durch innerhalb der Gemeindegrenzen liegende Anlagen fließt in die Betrachtung mit ein und wird in Primär-energie umgerechnet.



Figur 7: Die Gemeindegrenzen von Luzern ab dem 1.1.2010

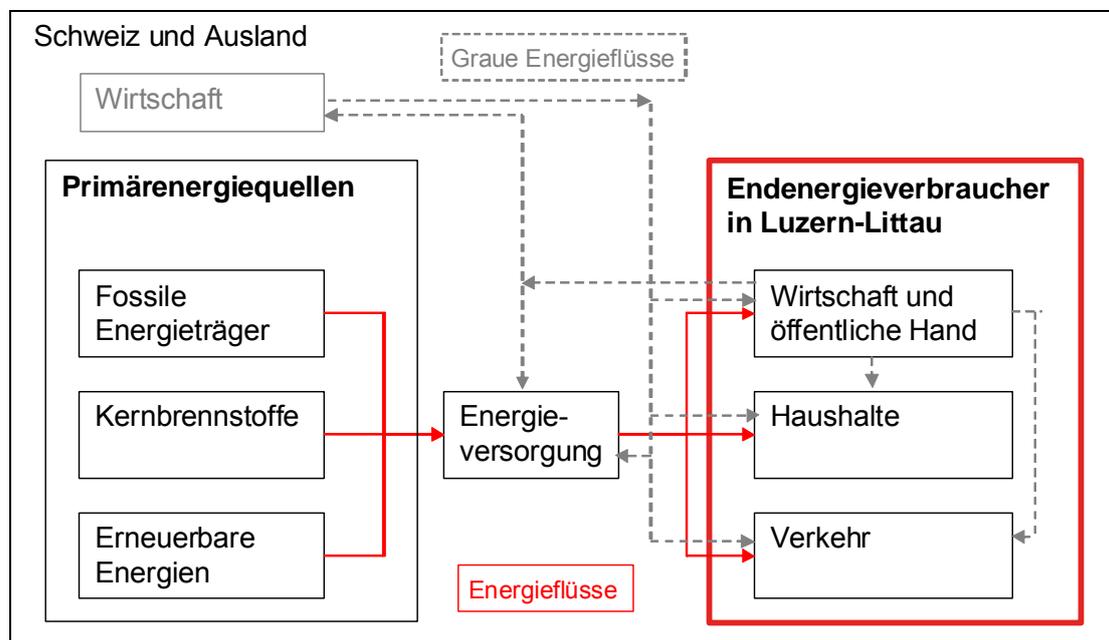
Zur Erfassung des Endenergieverbrauches des **Verkehrs** sind unterschiedliche Herangehensweisen denkbar. Nach dem Absatzprinzip könnte der Treibstoffabsatz in einem Territorium erfasst werden. Man könnte auch nach dem Inländerprinzip alle Fahrten der Einwohner der beiden Gemeinden erfassen, egal ob diese auf dem Gemeindegebiet oder ausserhalb gefahren werden. In der vorliegenden Studie werden Individualverkehr und öffentlicher Verkehr nach dem **Territorialprinzip** bilanziert (Verkehrsleistungen auf dem Territorium), da es entsprechende Verkehrsmodellierungen für Luzern gibt.

Die Betrachtung des Energieverbrauches für den **Flugverkehr** wird anhand der Einwohnerzahlen und des durchschnittlichen pro Kopf-Verbrauches der SchweizerInnen nach dem **Absatzprinzip** für die Schweiz berechnet (Betankung von Kerosin in der Schweiz, Flüge mit Start- und Zielort ausserhalb der Schweiz werden dabei nicht erfasst). Eine Betrachtung des Flugverkehrs nach dem Territorialprinzip für Luzern würde zu einem deutlich unterschätzten Energieverbrauch führen.

Der Verbrauch von **grauer Energie** (Energieverbrauch für Erzeugung, Verarbeitung und Transport von innerhalb der Bilanz- bzw. Systemgrenzen konsumierte Konsumgüter und Dienstleistungen) wird von der Methodik der 2000-Watt-Gesellschaft nicht erfasst. Dies trotz der Tatsache, dass der positive Importsaldo von Gütern und Dienstleistungen einen zusätzlichen Energieverbrauch und einen erheblichen Teil zusätzlicher Treibhausgasemissionen verursacht. Gemäss Jungbluth et al. (2007) betragen die grauen Treibhausgasemissionen 2004 in der Schweiz 5.3 Tonnen CO₂-eq pro Kopf. Insgesamt berechne-

ten Jungbluth et al. (2007) Pro-Kopf-Emissionen von 12 Tonnen pro Jahr. Gemäss einer aktuelleren Studie werden für die Schweiz insgesamt noch höhere Pro-Kopf-Emissionen von 18.4 Tonnen pro Jahr berechnet (Hertwich und Peters 2009, zitiert in Girod 2009). Die Autoren der 2000-Watt-Methodik empfehlen deswegen, die Saldi der grauen Energieimporte und -exporte sowie die damit verbundenen Treibhausgasemissionen auf Basis der gesamtschweizerischen Daten pro Kopf der Bevölkerung ergänzend zu erfassen und separat auszuweisen.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Systemgrenzen des Untersuchungsgebiets (dick und rot umrandet), die mit der Berechnung des Primärenergieverbrauches miteinbezogenen Inputs (rote Pfeile) und die ergänzend zu erfassenden grauen Energieflüsse schematisch auf.



Figur 8: Bilanz- und Bewertungsgrössen der 2000-Watt-Methodik mit rot umrandeter Systemgrenze. Die im Endenergieverbrauch enthaltenen Energieflüsse für dessen Bereitstellung werden mit einberechnet und sind durch die roten Pfeile symbolisiert. Zusätzlich sind die grauen Energieflüsse dargestellt (Güter und Dienstleistungen), welche mit der 2000-Watt-Methodik nicht erfasst werden. Darstellung nach Bébié et al 2008.

Die Landwirtschaft wird als Endverbraucher nicht separat erfasst. Deren Endenergieverbrauch fliesst, sofern nicht die Haushalte gemeint sind, entweder in die Kategorie Verkehr oder die Kategorie Wirtschaft ein (Betrieb mobiler oder stationärer landwirtschaftlicher Anlagen).

Die **Treibhausgasemissionen** (CO₂-Emissionen) werden in CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq) erfasst. Mit der aufgezeigten 2000-Watt-Methodik werden nur CO₂-Emissionen erfasst, die im Zusammenhang mit dem Verbrauch von Primärenergie anfallen. Treibhausgase, die aufgrund anderer Prozesse entstehen, werden hier nicht ausgewiesen (bspw. Methanemissionen aus Nutztierhaltung, Lachgasemissionen aus der Stickstoffdüngung oder Emissionen synthetischer Treibhausgase).

3 Aktueller Energieverbrauch der Stadt Luzern

3.1 Datenerhebung

Für die Bestimmung des aktuellen Endenergieverbrauches wird der Verbrauch aller relevanten Energieträger im Untersuchungsgebiet erfasst. Die folgende Tabelle zeigt die zu untersuchenden Primärenergiequellen, Endenergieträger, die Art der Datenerhebung und die jeweiligen Verwendungszwecke in einer ersten Übersicht. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweisen erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln.

Primärenergiequellen	Endenergieträger	Datenerhebung	Verwendungszweck
Fossile Energieträger: Erdöl, Erdgas und Kohle	Heizöl EL	Abschätzung auf Basis des Verzeichnisses aller installierten Ölfeuerungen. Aufteilung auf Verbrauchergruppen anhand der Gebäudekategorien des Feuerungsverzeichnisses	Wärme: Raumwärme und Warmwasser, Prozesswärme
	Erdgas	Absatz gemäss ewl und Aufteilung auf Verbrauchergruppen gemäss ewl sowie der Gebäudekategorien des Feuerungsverzeichnisses	
	Benzin	Abschätzung auf Basis der Fahrleistungen, Emissionsfaktoren und CO ₂ -Emissionen des Verkehrs in der Stadt Luzern. Bestimmung des Verbrauchs im Stadtteil Littau anhand des kantonalen Emissionskatasters.	Mobilität: ÖV, MIV, gewerblicher Verkehr und Flugverkehr
	Diesel		
	Kerosin		
Kernbrennstoffe	Strom aus fossilen Quellen	Absatz an Verbrauchergruppen und Herkunft des gelieferten Stromes von ewl und CKW. Aufteilung auf Verbrauchergruppen gemäss Angaben ewl und CH-Durchschnitt 2008.	Strom: Licht, Geräte und Haustechnik, WP, teilw. Widerstandsheizungen, Antriebe und Strassenbeleuchtung
	Strom aus Atomkraft		
Erneuerbare Energieträger	Strom aus Wasserkraft	Zusätzlich wird der Stromverbrauch der SBB auf den im Territorium liegenden Schienen geschätzt.	
	Strom aus Photovoltaik		
	Strom aus Windkraft		
	Strom aus Biomasse (Holz, Biogas) und Kehricht		
	Wärme aus Biomasse (Holz und Biogas)	Abschätzung auf Basis des Verzeichnisses der installierten Holzfeuerungen.	Wärme: Raumwärme und Warmwasser; Prozesswärme
	Wärme aus Kehricht	Absatz der KVA-Abwärme (Fernwärme)	
	Wärme von Sonnenkollektoren	Abschätzung der installierten Leistung anhand der Baubewilligungen plus Abschätzung der gelieferten Energie anhand von mittleren Erträgen für die Schweiz.	
	Umweltwärmenutzung	Abschätzung des Beitrags anhand der installierten Leistung von Wärmepumpen.	
Graue Energie	Die für die Produktion von Dienstleistungen und Konsumgüter aufgewendete Energie wird auf Basis schweizerischer Pro-Kopf-Werte abgeschätzt.		

Tabelle 11: Primärenergiequellen, Energieträger, Endenergieverbräuche und deren Datenerhebung im Untersuchungsgebiet

Im Folgenden werden der Endenergieverbrauch und die energiebedingten CO₂-Emissionen für das Jahr 2008 bilanziert. Dabei wird bis auf die Ausnahme des Flugverkehrs vom Territorialprinzip ausgegangen: Anhand vom Endenergieverbrauch im Untersuchungsgebiet wird der Primärenergieverbrauch berechnet. So wird sicher gestellt, dass der gesamte Energieverbrauch der Vorketten zur Bereitstellung der verbrauchten Endenergie miterfasst wird. Die CO₂-Emissionen werden jeweils für den Primärenergieeinsatz ausgewiesen.

Die Bilanzierung dient als Basis für die Ausarbeitung der Energie- und Klimastrategie und hilft die relevanten Handlungsfelder zu identifizieren. Ebenso kann eine wiederkehrende Nachführung der Bilanz dazu dienen, den Erfolg der Massnahmen zu überprüfen. In Luzern wird in Zukunft eine regelmässige Bilanzierung mit einem dafür entwickelten Tool bzw. einer Software, genannt **ECO-Region**, erstellt. Dort werden, bis auf die Bestimmung des Energieverbrauchs aus dem Flugverkehr, die gleichen Bilanzierungsabgrenzungen verwendet, wie hier im Bericht. Die unterschiedliche Betrachtung des Flugverkehrs führt dazu, dass der im vorliegenden Bericht ausgewiesene Endenergieverbrauch um ca. 600 TJ/a höher ausfällt, als anhand einer Bilanzierung mit ECO-Region, in welcher nur der Energieverbrauch von Flügen auf bzw. über dem Territorium des Untersuchungsgebietes erfasst werden.

3.2 Bilanz des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen

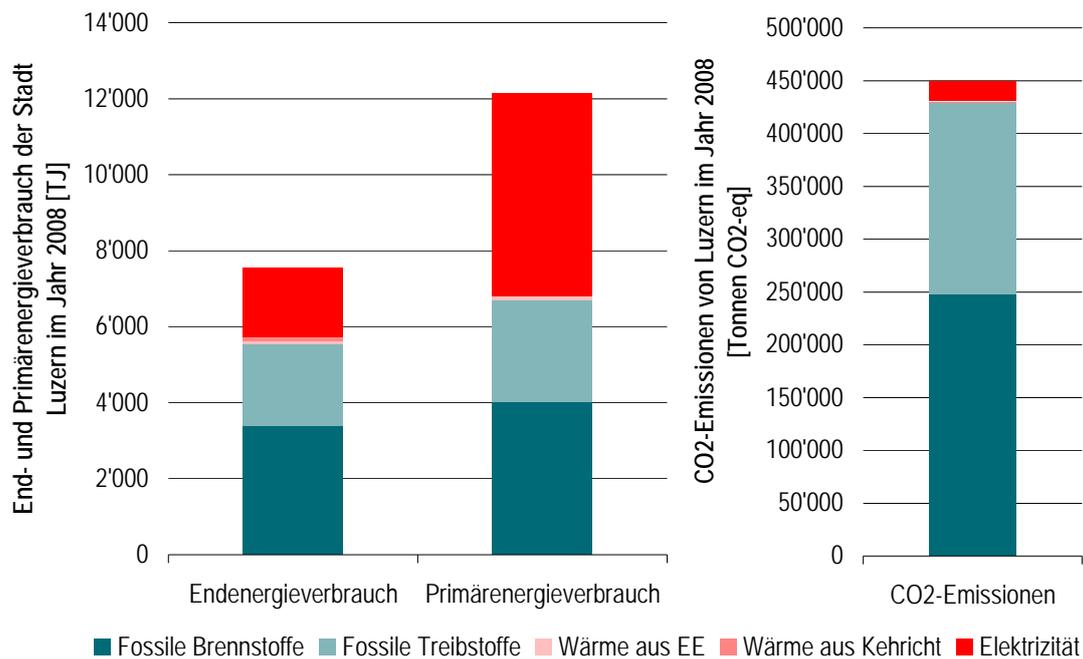
Die berechnete Bilanz des Energieverbrauches und der energiebedingten CO₂-Emissionen (in CO₂-eq, d.h. CO₂-Äquivalenten) für das Jahr 2008 wird zuerst in einer zusammenfassenden Übersicht präsentiert und danach im Detail je Energieträger erläutert.

3.2.1 Zusammenfassende Übersicht

Die Primärenergiebedingten CO₂-Emissionen der Stadt Luzern betragen rund 450'000 Tonnen pro Jahr und stammen zu 94% aus der Verbrennung von Brenn- (54%) und Treibstoffen (40%). Der *Primärenergieverbrauch* von 12'150 TJ/a hingegen besteht zu 55% aus dem Verbrauch von Brenn- (33%) und Treibstoffen (22%) sowie zu 44% aus dem Verbrauch von Elektrizität. Der Anteil von Energie aus erneuerbaren Energien (EE) und Abfall liegt ca. bei 1%. Bezogen auf den *Endenergieverbrauch* von 7'550 TJ/a weist die Elektrizität einen Anteil von 24% auf (Brennstoffe: 45%, Treibstoffe: 28.5%, Wärme aus EE: 1.1%, Wärme aus Kehricht: 1.4%). Eine zusammenfassende Aufstellung der Analysen, aufgeschlüsselt nach Energieträgern, ist im Anhang A-1 zu finden

Figur 9 zeigt den Verbrauch von End- und Primärenergie sowie die primärenergiebedingten CO₂-Emissionen aus dem Jahr 2008 für das Territorium der fusionierten Stadt Luzern.

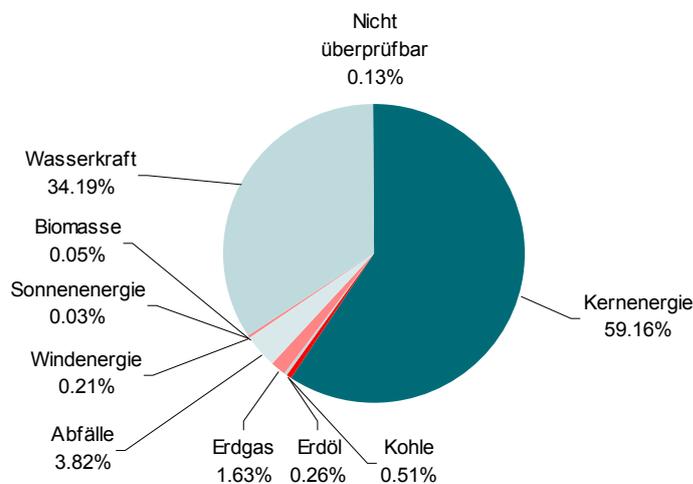
«Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Stadt Luzern im Jahr 2008»



econcept

Figur 9: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen (CO₂-eq) der Stadt Luzern im Jahr 2008. EE = erneuerbare Energien (Holz, Biogas, Solarthermie und Umweltwärme). Quellen: Vgl. nachfolgende Abschnitte

Der hohe Anteil der Elektrizität am Primärenergieverbrauch kann damit erklärt werden, dass diese (inkl. öffentlicher Verkehr und SBB) zu 59 % aus Kernkraftwerken stammt. Dieser Strom weist einen hohen Primärenergiefaktor auf. Figur 10 zeigt die Herkunft der in Luzern konsumierten Elektrizität. Strom aus Pumpspeicherkraftwerken wird gemäss ewl *nicht* als Wasserkraft ausgewiesen. Dafür wird der für das Pumpen verwendete Strom direkt den jeweiligen Herkunftsarten zugewiesen.

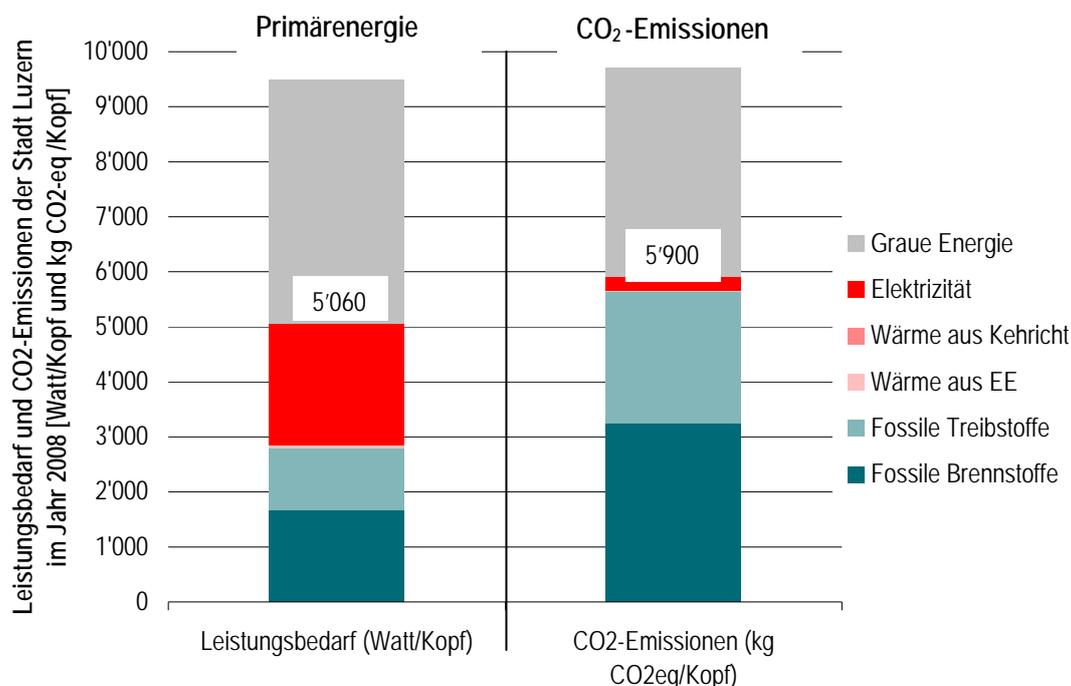


econcept

Figur 10: Herkunft der abgesetzten Elektrizität auf dem Gebiet von Luzern (Quelle: Herkunftsdeklarationen von ewl, CKW und SBB 2008)

Der auf Basis des Primärenergieverbrauchs berechnete Leistungsbedarf sowie die CO₂-Emissionen pro EinwohnerIn der Stadt Luzern wird nachfolgend in Figur 11 gezeigt (eine Aufstellung der Werte ist in Anhang A-1 zu finden).

«Leistungsbedarf und CO₂-Emissionen der EinwohnerInnen der Stadt Luzern im Jahr 2008»



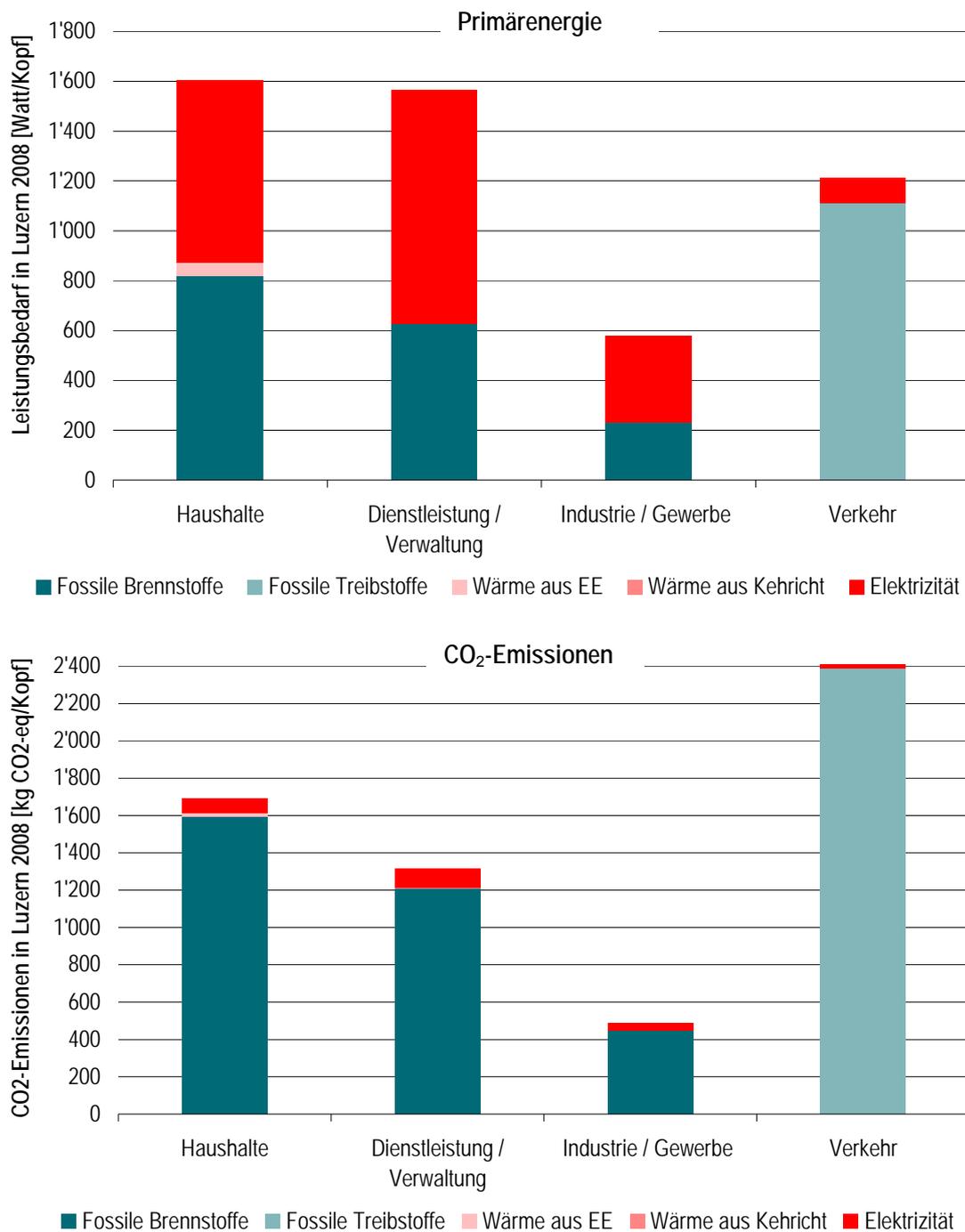
econcept

Figur 11: Leistungsbedarf und CO₂-Emissionen der EinwohnerInnen der Stadt Luzern im Jahr 2008 (gerundete Werte). Quellen: vgl. nachfolgende Abschnitte

Der gesamte Leistungsbedarf an Primärenergie in Luzern sowie die CO₂-Emissionen liegen mit rund 5'060 Watt und 5.9 Tonnen pro Kopf deutlich unter dem schweizerischen Durchschnitt von ca. 6'160 Watt und 8.4 Tonnen pro Kopf im Jahr 2008. Figur 11 zeigt auch den Leistungsbedarf und die CO₂-Emissionen, die nicht durch den Verbrauch von Endenergie auf dem Untersuchungsgebiet entstehen, sondern im Zusammenhang mit dem Konsum von Gütern und Dienstleistungen. Dieser Energiebedarf wird als **graue Energie** bezeichnet und macht mit schätzungsweise 4400 Watt/Kopf und 3.8 Tonnen pro Kopf einen grossen Anteil des gesamten Primärenergieverbrauchs (47%) der gesamten CO₂-Emissionen (39%) der Bevölkerung aus. Die Berechnung des grauen Energieverbrauchs basiert auf gesamtschweizerischen Pro-Kopf Durchschnittswerten.

Die Analyse des Energieverbrauchs und der Emissionen von Treibhausgasen der **Verbrauchergruppen** «Haushalte», «Dienstleitung/Verwaltung», «Industrie/Gewerbe» und «Verkehr» erlaubt Rückschlüsse auf die grössten Primärenergieverbraucher und CO₂-Emittenten (vgl. Figur 12). Dies ist vor allem für die Massnahmenentwicklung von Relevanz.

«Pro-Kopf Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen nach Verbrauchergruppen»



econcept

Figur 12: Primärenergieverbrauch (obere Figur) und CO₂-Emissionen (untere Figur) der Stadt Luzern nach Verbrauchergruppen im Jahr 2008 (Quellen: vgl. nachfolgende Abschnitte)

Bei den CO₂-Emissionen wird deutlich, dass vor allem beim Verkehr und den Haushalten angesetzt werden muss, um die Emissionen zu senken. Beim Primärenergieverbrauch liegen Haushalte und Dienstleistung / Verwaltung fast gleich auf, gefolgt vom Verkehr.

Die folgende Tabelle 12 fasst den gesamten Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen der Verbrauchergruppe zusammen.

Verbrauch im Jahr 2008 (gerundet)	Primärenergie- verbrauch 2008	Anteile	CO ₂ -Emissionen 2008	Anteile
Alle Energieträger	[TJ / Jahr]	%	[t CO ₂ -eq / Jahr]	%
Haushalte	3'850	32%	128'835	29%
Dienstleistung / Verwaltung	3'760	31%	100'100	22%
Industrie / Gewerbe	1'390	11%	36'960	8%
Verkehr	3'155	26%	183'355	41%
TOTAL	12'155	100%	449'250	100%

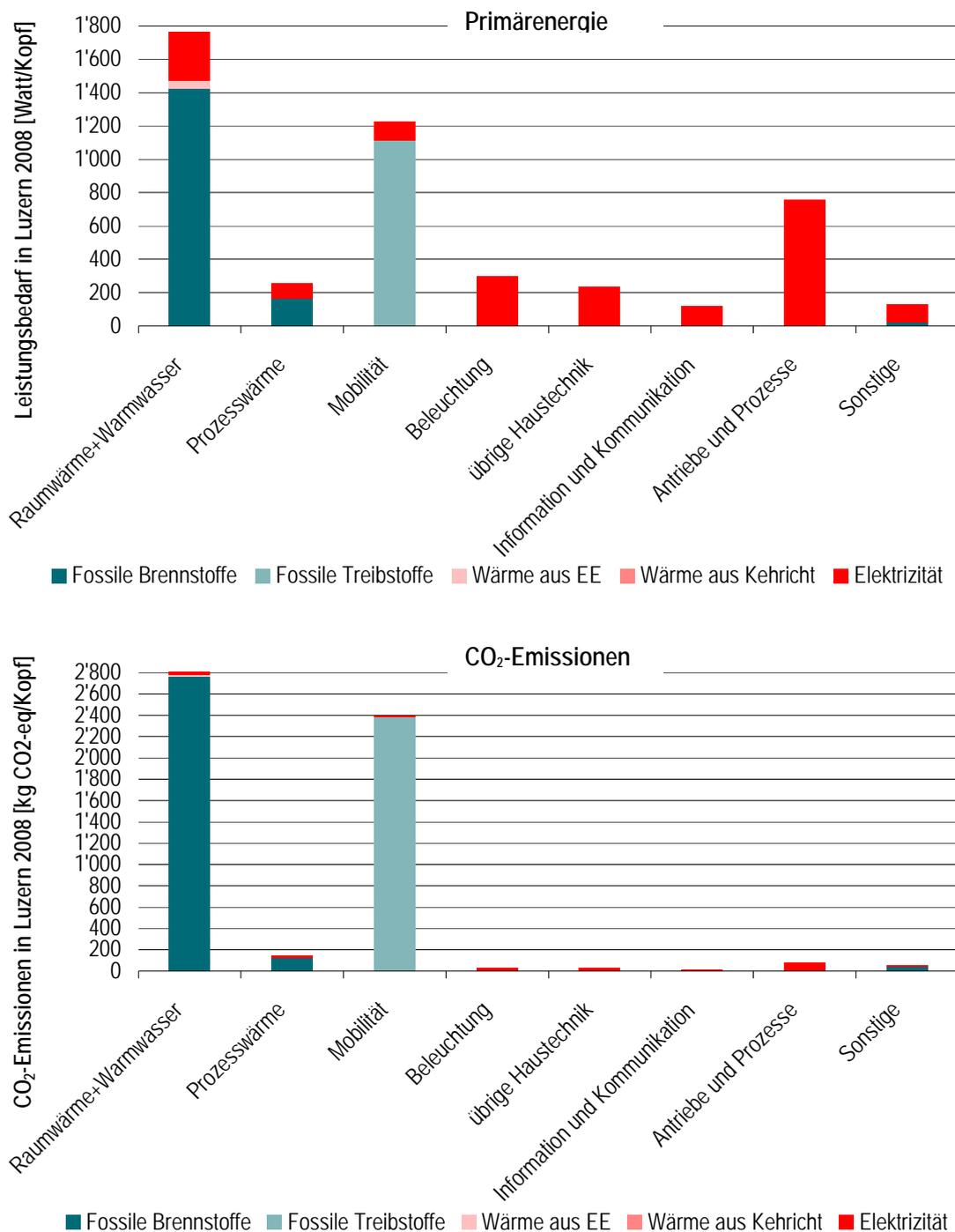
Tabelle 12: Zusammenfassung des Primärenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen nach Verbrauchergruppen

Für die Bestimmung der Anteile der einzelnen Verbraucher haben wir uns auf Informationen der Energielieferanten und Auswertungen des ECO-Region Rechners abgestützt. Die verwendeten Zahlen sind im Anhang A-1 (S.76) abgebildet.

Um abschätzen zu können, wo konkret angesetzt werden kann, um den Energieverbrauch zu senken oder fossile Energieträger zu substituieren, wird hier auch eine Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf die wichtigsten **Verwendungszwecke** vorgenommen. In Anlehnung an den Bericht «Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2006 nach Verwendungszwecken» (BFE 2008) werden die in Figur 13 (siehe auch Tabelle 47 im Anhang) aufgeführten Energienutzungen unterschieden. Wo möglich stützen wir uns bei der Aufteilung des Energieverbrauchs auf die Angaben der Energieversorger. Wenn keine solchen Angaben vorhanden sind, werden die Verwendungszwecke auf Basis der Studie des BFE (2008) bestimmt. Die verwendeten Zahlen für die Zuordnung sind im Anhang A-1 (S.76) abgebildet.

Nachfolgende Figur zeigt den Primärenergieverbrauch (obere Figur) und den CO₂-eq Ausstoss (untere Figur) nach Verwendungszweck und Energieträger (eine Zusammenstellung der Werte ist im Anhang A-1 zu finden).

«Pro-Kopf Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen nach Verwendungszwecken»



econcept

Figur 13: Primärenergieverbrauch (obere Figur) und CO₂-Emissionen (untere Figur) der Stadt Luzern im Jahr 2008 nach Verwendungszwecken. Quellen: ewl, BFE 2008, eigene Berechnungen

Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass Raumwärme und Warmwasser, sowie Mobilität und Traktion für unsere Betrachtungen mit Abstand die wichtigsten Energienutzungen

sind. Nachfolgend werden der Energieverbrauch und die CO₂-eq Emissionen der einzelnen Energieträger im Detail erläutert.

3.2.2 Fossile Energieträger

Die Datenquellen zur Bestimmung des aktuellen Verbrauchs an fossilen Energieträgern der Stadt Luzern sind unterschiedlicher Qualität. Teilweise wird der Verbrauch direkt erfasst (Erdgas, Elektrizität) und teilweise muss der Verbrauch aus vorhandenen Daten, Modellen und Annahmen berechnet werden (Heizöl und Treibstoffe). Die Art der Erhebung wird nach der Präsentation der Übersicht und der Entwicklungstrends im Detail für jeden Energieträger umschrieben.

Zusammenfassende Übersicht und Entwicklungstrends

Nachfolgende Tabelle fasst den Verbrauch fossiler Energieträger sowie die damit verbundenen CO₂-Emissionen für das Jahr 2008 zusammen. Die letzte Spalte mit den Entwicklungstrends bezieht sich auf die aktuelle Entwicklung des CO₂-Ausstosses. Die Angaben zu den Entwicklungstrends wurden von den Verantwortlichen der Stadt Luzern geschätzt und geben ziemlich gut die gesamtschweizerischen Entwicklungstrends wieder: weg vom Heizöl hin zum Erdgas und anderen Wärmeversorgungen, wie z.B. Wärmepumpen. Die Bilanz des Energieverbrauches im Jahr 2008 zeigt, dass der Energieträger Erdgas das Heizöl überrundet hat. Der Verbrauch von Treibstoffen folgt an dritter Stelle und zeigt eine steigende Tendenz. Die fossilen Bestandteile des Stroms sind sehr gering und können im Vergleich zu den anderen Posten vernachlässigt werden. Es ist allerdings in Zukunft darauf zu achten, dass die Anteile weiterhin so gering bleiben.

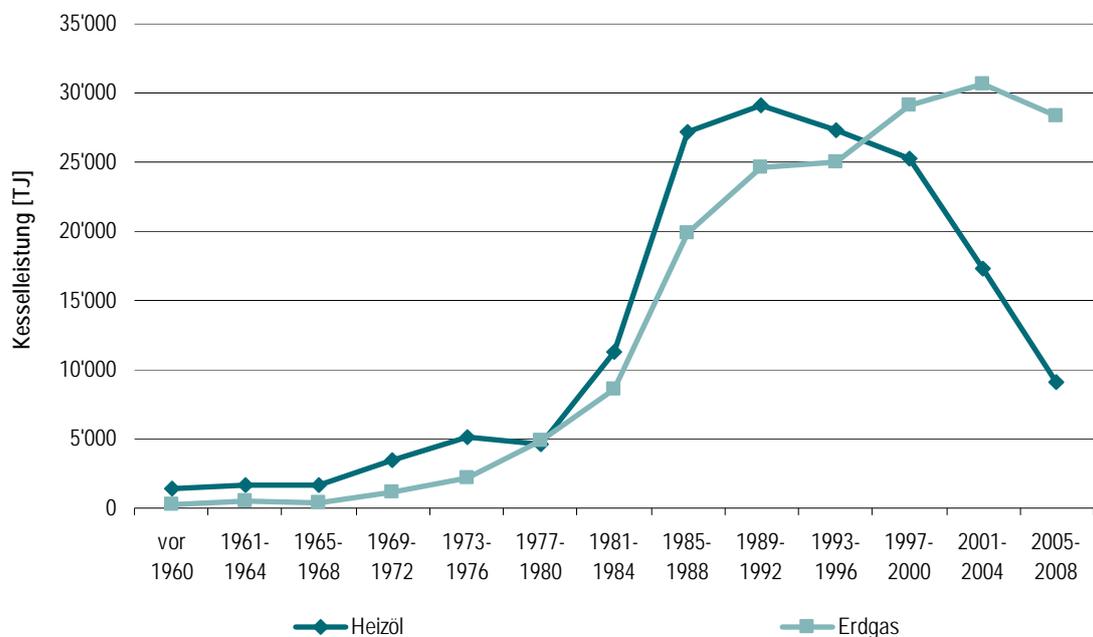
Verbrauch im Jahr 2008 (gerundet)	Endenergieverbrauch	Primärenergieverbrauch	CO ₂ -Emissionen	Watt / Kopf	CO ₂ -Emissionen / Kopf	Entwicklungstrend
	[TJ / Jahr]	[TJ / Jahr]	[t CO ₂ -eq / Jahr]	[W / Kopf*Jahr]	[kg CO ₂ -eq / Kopf*a]	[↗ → ↘]
Heizöl	1'340	1'660	109'695	690	1'441	↘
Erdgas	2'055	2'365	137'830	985	1'811	→
Treibstoffe (inkl. Kerosin)	2'150	2'665	181'650	1'110	2'386	↗
Fossile Bestandteile Strom	45	160	11'040	65	0'145	→
TOTAL	5'590	6'850	440'215	2'850	5'785	→

Tabelle 13: Aktueller Verbrauch (2008) und CO₂-Emissionen von fossilen Energieträgern auf dem Gebiet von Luzern. Quellen: eigene Berechnung anhand des Verzeichnisses aller Feuerungen der Feuerungskontrolle (Heizöl EL) sowie von ewl (Erdgas und Strom), Verkehrsmodell und Emissionsdaten (Treibstoffe).

Wir gehen davon aus, dass sich der Trend weg vom Heizöl noch verstärken wird, d.h., dass in Zukunft nur noch in wenigen Fällen neue Ölheizungen eingebaut werden. Gemäss Informationen der ewl zeigt sich auch beim Gasabsatz, dass die in den letzten Jahren zu beobachtende Steigerung der Nachfrage abflacht. Einerseits wird bei Neubauten

vermehrt die Option Wärmepumpe gewählt, andererseits stagniert die Anzahl zu ersetzender Kessel. Eine Analyse der Altersverteilung der im Jahr 2009 von der Feuerungskontrolle erfassten Feuerungen auf dem Gebiet der Stadt Luzern bestätigt die Befunde (vgl. Figur 14). Die Leistung der installierten Ölkessel hat seit dem Höchststand in den Jahren 1989-1992 um mehr als zwei Drittel abgenommen, während die Leistung der Gaskessel stagnierte. Neben dem Fakt, dass insgesamt deutlich weniger Ölkessel installiert werden, kann davon ausgegangen werden, dass ein Ersatz älterer Kessel durch neuere i.d.R. mit einer Reduktion der installierten Leistung einhergeht. Gemäss Informationen von ewl kann aktuell beim Ersatz von alten Gaskesseln die Leistung im Durchschnitt um etwa einen Drittel gesenkt werden. Ein Blick auf die Anzahl installierter Feuerungen zeigt, dass im Jahr 2008 ca. dreimal so viele Gaskessel wie Ölkessel installiert wurden.

«Leistung und Alter der installierten Öl- und Gasheizungen in der Stadt Luzern (ohne Stadtteil Littau)»



econcept

Figur 14: Auswertung von Alter und Leistung der installierten Öl- und Gasheizungen der Stadt Luzern (ohne Stadtteil Littau, Stand 2009). Quelle: Feuerungskontrolle der Stadt Luzern

Brennstoffe: Heizöl extraleicht und Erdgas

Der Verbrauch von **Heizöl extraleicht** wird anhand des Verzeichnisses der Ölfeuerungen im Untersuchungsgebiet abgeschätzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Verbrauch von Heizöl anderer Kategorien, wie mittel und schwer, zu vernachlässigen ist.

- Für Feuerungen mit einer *Leistung kleiner 350 kW* wird anhand der Leistungsangabe und einer geschätzten Anzahl Volllaststunden (2000h) der Brennstoffverbrauch berechnet. Die den Berechnungen zugrunde gelegten *2000 Volllaststunden* entsprechen einem Mittelwert aus ein- und zweistufigen Feuerungen für **Heizung** und Warmwas-

ser und berücksichtigen auch eine tendenzielle Überdimensionierung älterer Feuerungen. Zum Vergleich: eine gut dimensionierte Feuerung für Heizung und Warmwasser weist gemäss Bauverordnung des Kantons Zürich zwischen 2400 und 3125 Vollbetriebsstunden auf (Kessel ohne Brauchwassererwärmung liegen im Bereich von 1925 bis 2400 Stunden). Da ältere Kessel tendenziell eine stärkere Überdimensionierung aufweisen, nehmen wir für Kessel, die vor 1990 installiert wurden an, dass die Volllaststunden um 30% und für Kessel, die zwischen 1990 und dem Jahr 2000 installiert wurden, dass die Volllaststunden um 20% tiefer ausfallen als die durchschnittlichen 2000 Stunden. Diese Reduktionen sind eher moderat, gemäss diversen Quellen ist eine 100% Überdimensionierung bei älteren Ölfeuerungen durchaus üblich (www.heizungsbetrieb.de 2009, Feltl 2004). Der Verbrauch von **Zwei-Stoff-Heizungen** (d.h. von Feuerungen, die Öl und Gas verbrennen können) wird auf der Basis der Annahme berechnet, dass die Ölbrenner nur wenige Stunden im Jahr (50h) laufen. Diese Annahme basiert auf Angaben der ewl, wonach seit dem Jahr 2005 von der ewl keine Schaltungen bei den Zweistoffheizungen mehr vorgenommen wurden. Die Zweitfeuerungen laufen demnach nur, wenn diese von den Besitzern eingeschaltet werden. Grund dafür kann z.B. eine bevorstehende Tankrevision sein.

- Für alle Feuerungen mit einer *Leistung grösser 350 kW* konnten die Angaben zum exakten Verbrauch von Heizöl extraleicht verwendet werden.

Dieselben Berechnungen wurden für den **Erdgas**verbrauch durchgeführt. Von ewl liegen exakte Daten zum Erdgasabsatz vor. Dies ermöglicht es, die Berechnung mit der tatsächlich abgesetzten Menge zu vergleichen und eine Plausibilisierung der Berechnung des Heizölverbrauches vorzunehmen. Bei der Berechnung des Verbrauchs von Erdgas haben wir analog zum Vorgehen bei den Öl-Heizungen eine Volllaststundenzahl von 2000 Stunden zu Grunde gelegt und eine Alterskorrektur wegen tendenzieller Überdimensionierungen vorgenommen. Der Verbrauch von Gas-Boilern wurde anhand von 1000 Volllaststunden berechnet (entspricht einer Laufzeit von ca. 2.7h pro Tag). Der so errechnete Erdgasverbrauch für das Jahr 2008 liegt 1.2 % über der tatsächlich abgesetzten Menge, was unseres Erachtens für eine gute Belastbarkeit der vorgenommenen Verbrauchsrechnungen und Korrekturen spricht.

Strom aus fossilen Primärenergiequellen

Die **fossilen Bestandteile des Stroms** werden anhand der Angaben der Energieversorger CKW und ewl zur Herkunft des in der Stadt Luzern verbrauchten Stroms bestimmt. Demnach stammen 2.4% der Elektrizität aus fossilen Quellen (0.5% aus Kohle und 1.9% aus Öl und Gas). Der kleine Anteil von Strom aus undefinierbarer Herkunft (0.13 %) wird zur Hälfte an dieser Stelle verrechnet, da davon ausgegangen wird, dass Strom undefinierbarer Herkunft dem UCTE-Mix gleich gesetzt werden kann. Dieser stammt zu 51.2% aus fossil-thermischen Anlagen.

Treibstoffverbrauch

Der **Treibstoffverbrauch** wird anhand der Fahrleistungen abgeschätzt und für die Energieträger Benzin und Diesel und Elektrizität bestimmt.

Motorisierter Individualverkehr. Der Energieverbrauch des Jahres 2008 wird mit Hilfe des Verkehrsmodells der Stadt Luzern (ohne Stadtteil Littau) anhand der auf dem Gemeindegebiet gefahrenen Kilometer hergeleitet und auf das Gebiet der fusionierten Stadt hochgerechnet. Daten zu gefahrenen Kilometern (Fahrzeugkilometer) für das Jahr 2005 und eine Prognose für 2010 werden dem Emissionskataster der Stadt Luzern (Infras 2006) entnommen. Die Angaben sind dort aufgeschlüsselt nach Fahrzeugkategorien und Strassentypen. Aus den Werten 2005 und der Prognose für 2010 wird eine konstante jährliche Wachstumsrate abgeleitet, mit der das Verkehrsaufkommen im Jahr 2008 hochgerechnet wird (Steigerung 0.42% p.a.). Diese jährliche Steigerung ist klein – die Steigerung des Treibstoffverbrauchs in der Schweiz gemäss den Gesamtenergiestatistiken 2005 - 2008 des BFE liegt zwischen 1.5 und 3% p.a. – wird aber wegen des zugrunde gelegten Verkehrsmodells hier für die Herleitung des Treibstoffverbrauchs im Jahr 2008 übernommen. Aus den berechneten Fahrzeugkilometern 2008 wird mit Frischknecht & Stucki (2009) auf den Primärenergieverbrauch geschlossen (unter Verwendung von durchschnittlichen Auslastungen gemäss der Literaturquelle). Bei der Aufteilung des Energieverbrauchs der Personenwagen auf die beiden Energieträger Benzin und Diesel wird ein Schlüssel von 83% Benzin zu 17% Diesel verwendet, welcher nach Frischknecht & Stucki (2009) hergeleitet wird.

Für die Hochrechnung des Treibstoffverbrauchs auf die fusionierte Stadt Luzern wird das Verhältnis der Emissionen der ehemaligen Stadt Luzern zu den Emissionen der Gemeinde Littau aus dem Emissionskataster verwendet, welches zu Mehremissionen durch Littau von rund 20% führt (Gemäss Auswertung des Emissionskataster im Jahr 2008). Für diese Hochrechnung wird der auf der Autobahn anfallende Energieverbrauch im Gebiet der Stadt Luzern *nicht* verwendet, da auf Littauer Gebiet keine Autobahn verläuft. Es wird nur der Energieverbrauch auf den sonstigen Strassen auf der Gemeindegrenze der Stadt Luzern um 20% (gemäss Emissionskataster) erhöht, um den Energieverbrauch auf dem Gebiet Luzern/Littau abzuschätzen. Anschliessend wird der Energieverbrauch auf der Autobahn im Gebiet der Stadt Luzern hinzuaddiert.

In der Stadt Luzern inkl. Stadtteil Littau sind zwei Biogas-Tankstellen vorhanden, welche im Jahr 2008 zusammen einen Biogasabsatz von 2.8 TJ-eq hatten. Aufgrund des hier verwendeten Territorialprinzips kann dieser Verbrauch nicht in die Gesamtbilanz eingerechnet werden, da nur der Energieverbrauch der im Gemeindegebiet zurückgelegten Kilometer angerechnet werden darf. Das effektiv im Untersuchungsgebiet verbrauchte Biogas als Treibstoff dürfte geringer als der Absatz von 2.8 TJ-eq und wird in der Folge vernachlässigt.

Öffentlicher Verkehr: Die von den Bussen des öffentlichen Verkehrs im Jahr auf dem Gebiet Luzern zurückgelegten Fahrzeugkilometer können wie beim MIV dem Emissionskataster der Stadt Luzern (Infras 2006) entnommen werden. Der Energieverbrauch durch

die ÖV-Busse wird analog der Methodik beim MIV für das Gebiet der fusionierten Stadt Luzern hergeleitet. Der Stromverbrauch der Trolleybusse ist ein Endverbrauch (durch die VBL) und ist beim Stromverbrauch der Elektrizitätsversorgungsunternehmen berücksichtigt. Gemäss ewl betrug der Stromverbrauch der VBL im Jahr 2008 in der fusionierten Stadt Luzern 33 TJ/a. Der Stromverbrauch der SBB auf Schienen innerhalb des Untersuchungsgebiets wurde mit der Methodik des ECO-Region Rechners geschätzt und beträgt demgemäss 135 TJ/a⁷.

Der *Treibstoffverbrauch* von MIV und ÖV auf den Strassen der fusionierten Stadt Luzern ist in der folgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt:

(gerundete Werte)	Primärenergieverbrauch (TJ-eq/a)	davon Benzin	davon Diesel	davon auf Autobahn
Personenkraftwagen	1'355 (70%)	83%	17%	33%
Lieferwagen/Nutzfahrzeuge (< 3,5t)	185 (10%)	0%	100%	17%
Motorräder	13 (1%)	100%	0%	21%
Schwere Nutzfahrzeuge	280 (14%)	0%	100%	39%
Reisebus	45 (2%)	0%	100%	40%
Linienbusse	70 (4%)	0%	100%	k.A.
Total	1'950 (100%)	58%	42%	32%

Tabelle 14: Primärenergieverbrauch für Mobilität auf den Strassen der Stadt Luzern

Kerosin: Die Energieverbrauch der Bevölkerung von Luzern im Bereich des Flugverkehrs wird mit Schweizer Durchschnittswerten zum Kerosinverbrauch pro Kopf hergeleitet. Dazu werden Werte aus der Gesamtenergiestatistik BFE für das Jahr 2008 verwendet und der Kerosinverbrauch gemäss Anteil der Bevölkerung Luzerns an der Bevölkerung der Schweiz angerechnet. Für die Herleitung des Kerosinverbrauchs wird aus praktischen Gründen also nicht das Territorialprinzip verwendet (hierfür müsste sonst der Flugverkehr im Luftraum der Stadt Luzern analysiert werden). Der Primärenergiebedarf aufgrund des Kerosinverbrauchs belief sich demgemäss im Jahr 2008 auf rund 720 TJ-eq (Endenergie: ca. 600 TJ-eq).

3.2.3 Kernbrennstoffe

Der Verbrauch von Kernbrennstoffen kann anhand der Angaben der Energieversorger CKW, ewl und SBB zur Herkunft des in der Stadt Luzern verbrauchten Stroms bestimmt werden (vgl. Figur 10, S.10). Bei der Analyse des Verbrauchs von Kernbrennstoffen (vgl. nachfolgende Tabelle) fällt auf, dass der Primärenergieverbrauch viermal höher als der Endenergieverbrauch ist. Damit lässt sich zu einem Teil der relativ hohe Elektrizitäts-Leistungsbedarf von 1'834 Watt pro EinwohnerIn erklären.

⁷ Eine eigene Abschätzung des Stromverbrauchs der SBB ergab um ca. 100 TJ tiefere Werte, was bedeutet, dass die ECO-Region Abschätzung zu hoch liegen könnte. Weil in Zukunft mit ECO-Region bilanziert wird, setzen wir dennoch Wert von 135 TJ ein.

Verbrauch im Jahr 2008	Endenergieverbrauch	Primärenergieverbrauch	CO ₂ -Emissionen	Watt / Kopf	CO ₂ -Emissionen / Kopf	Entwicklungstrend
	[TJ / Jahr]	[TJ / Jahr]	[t CO ₂ -eq / Jahr]	[W / Kopf*Jahr]	[t CO ₂ -eq / Kopf*a]	[↗ → ↘]
Kernbrennstoffe	1'080	4'405	5'395	1'835	0.0709	→

Tabelle 15: Aktueller Verbrauch und CO₂-Emissionen von Elektrizität aus Kernbrennstoffen in Luzern. Quellen: Absatz und Herkunftsdeklaration der Elektrizität von ewl und CKW.

Der aktuelle Entwicklungstrend wird als stabil angegeben, d.h. es wird davon ausgegangen, dass der Anteil Atomstrom am gelieferten Strom sich kurzfristig nicht wesentlich unter 60 % bewegen wird (2008: 59.16 %).

3.2.4 Erneuerbare Energieträger

Bei der Erfassung des Verbrauchs von erneuerbaren Energien wird zwischen der Strom- und Wärmeproduktion unterschieden.

Elektrizität aus erneuerbaren Energieträgern und Kehricht

Der Endenergieverbrauch auf dem Gebiet der Stadt Luzern und die jeweiligen Anteile von Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik, Biomasse und Kehrichtentsorgung werden anhand der Angaben der Energieversorger CKW und ewl zur Herkunft des konsumierten Stromes sowie des Strommixes der SBB bestimmt.

Verbrauch im Jahr 2008 (gerundet)	Endenergieverbrauch	Primärenergieverbrauch	CO ₂ -Emissionen	Watt / Kopf	CO ₂ -Emissionen / Kopf	Entwicklungstrend
	[TJ / Jahr]	[TJ / Jahr]	[t CO ₂ -eq / Jahr]	[W / Kopf*Jahr]	[t CO ₂ -eq / Kopf*a]	[↗ → ↘]
Elektrizität						
Wasserkraft	625	760	1'870	315	0.0246	→
Windkraft	3.9	5.1	30.9	2.14	0.0004	↗
Photovoltaik	0.5	0.9	13.2	0.36	0.0002	↗
Holz (BHKW)	0.9	3.3	29.9	1.39	0.0004	↗
Kehrichtverbrennung	70	1.4	140	0.58	0.0018	→
TOTAL	700	771	2'084	319	0.0274	↗

Tabelle 16: Aktueller Verbrauch und CO₂-Emissionen von Elektrizität aus erneuerbaren Energien auf dem Gebiet von Luzern. Quellen: Absatz und Herkunftsdeklaration der Elektrizität von ewl und CKW.

Die Auswertungen zeigen, dass die Wasserkraft mit Abstand die wichtigste Quelle erneuerbar produzierter Elektrizität ist. An zweiter Stelle folgt die Kehrichtverbrennung (rund 4% des Elektrizitätsverbrauchs), gefolgt von der Windkraft. Die Anteile von Windkraft und Photovoltaik fallen sehr gering aus und machen im Jahr 2008 ca. 0.23 respektive 0.03% des gesamten Elektrizitätsabsatzes aus.

Wärme aus erneuerbaren Energieträgern und Kehricht

Der Verbrauch von **Holz** wird auf der Basis des Verzeichnisses von Holzfeuerungen mit einer Leistung grösser 70 kW bestimmt. Der Verbrauch kleinerer Feuerungen wird an-

hand von Angaben der Kaminfeger geschätzt⁸. Der Verbrauch von organischer **Biomasse** zur Produktion von Biogas wird auf der Basis der Angaben zu den bestehenden Biogasanlagen auf dem Gebiet der Stadt Luzern berechnet. Die produzierte Wärme mittels **Sonnenkollektoren** wird mit den Angaben des Energiebeauftragten der Stadt Luzern bestimmt (aufgrund der Fördergesuche des Energiefonds und persönlicher Kenntnisse des Energiebeauftragten). Gemäss real (Verband für Recycling, Entsorgung, Abwasser Luzern, vormals GKLÜ) wird auf dem Gebiet von Luzern inkl. Stadtteil Littau ausschliesslich das Kantonsspital mit Fernwärme aus der **Kehrichtverbrennungsanlage** versorgt. Die genutzte **Umweltwärme** durch Oberflächengewässer-, Grundwasser und Erdsonden wird wie schon bei den Sonnenkollektoren mit den Angaben des Energiebeauftragten der Stadt Luzern bestimmt. Insgesamt konnten 14 Anlagen, die Wärme aus dem Grundwasser oder Oberflächengewässer entnehmen und 120 Erdsonden ausgemacht werden. Die ersteren 14 Anlagen sind mit einer gesamthaft installierten Leistung von 4972 kW deutlich grösser sind als die Erdsonden (2863 kW). Mit der Annahme, dass die Anlagen mit durchschnittlich 2000 Volllaststunden betrieben werden, konnte die jährlich genutzte Umweltwärme von ca. 56 TJ/a bestimmt werden. Der Stromverbrauch dieser Anlagen ist im Absatz der Versorger ewl und CKW enthalten.

Verbrauch im Jahr 2008 (gerundet)	Endenergieverbrauch	Primärenergieverbrauch	CO ₂ -Emissionen	Watt / Kopf	CO ₂ -Emissionen / Kopf	Entwicklungstrend
	[TJ / Jahr]	[TJ / Jahr]	[t CO ₂ -eq / Jahr]	[W / Kopf*Jahr]	[t CO ₂ -eq / Kopf*a]	[↗ → ↘]
Wärme						
Holz	19.3	21.6	64.8	8.9	0.0009	→
Biogas	6.0	2.9	228	1.2	0.0030	↗
Sonnenkollektoren	3.8	5.1	30.3	2.1	0.0004	↗
Erd-/Umweltwärme	56.4	91.1	1'128	37.9	0.0148	↗
Kehrichtverbrennung	98.4	5.9	98.4	2.5	0.0013	↗
TOTAL	184	127	1'550	53	0.0204	

Tabelle 17: Aktueller Verbrauch und CO₂-Emissionen von erneuerbaren Energien für die Produktion von Wärme auf dem Gebiet der Stadt Luzern.

3.2.5 Graue Energie

Als graue Energie wird die Energiemenge bezeichnet, welche für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes anfällt. Dabei werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt und der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse addiert. Auch der Energiebedarf der Herstellung und Instandhaltung der Maschinen oder Infrastruktureinrichtungen, welche für die Herstellung eines Produktes nötig sind, werden zur grauen Energie gezählt.

⁸ Für die Erfassung kleinerer Feuerungen wird wie folgt vorgegangen: Anhand der Anzahl kleinerer Feuerungen und der Annahme, dass diese eine durchschnittliche Leistung von 15 kW in Luzern und 20 kW in Littau aufweisen (Angabe der verantwortlichen Kaminfeger), kann die Leistung kleinerer Feuerungen abgeschätzt werden. Mit den Angaben zum Holzverbrauch grösserer Feuerungen wird dann der Verbrauch pro Leistungseinheit geschätzt und für die kleinen übernommen. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass der so ermittelte Holzverbrauch kleinerer Feuerungen ca. 10% zu tief liegt, da darin alle nicht regelmässig benutzten Holzfeuerungen noch nicht erfasst sind.

Analog zur grauen Energie kann man graue Treibhausgas-Emissionen definieren. Damit werden Treibhausgas-Emissionen bezeichnet, die durch den grauen Energieverbrauch in die Atmosphäre abgegeben werden.⁹

Für die Bestimmung des grauen Energieverbrauchs der Stadt Luzern werden mit gesamtschweizerischen pro-Kopf Werten der graue Energieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen bestimmt. Grundlage für die Berechnungen bildet die im Jahr 2007 erschienene Studie «Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz 1990-2004» (Jungbluth et al. 2007). Darin wurde mithilfe eines Import-Export-Vergleichs eine Gesamtbilanz der grauen Treibhausgasemissionen der Schweiz errechnet. Trotz Handelsbilanzüberschuss importiert die Schweiz mengenmässig erheblich mehr Produkte als sie exportiert. Dies führt dazu, dass die Schweiz einen hohen Importsaldo an grauen Treibhausgas-Emissionen aufweist.

Die schweizerische Aussenhandelsstatistik und ihre Einteilung in 65 Warengruppen einerseits und Produkt-Ökobilanzen andererseits sind die wichtigsten Informationsquellen für die Errechnung der Gesamtbilanz der Grauen Emissionen in der Schweiz. Per Ökobilanzen werden Treibhausgas-Intensitäten aller Produktgruppen der Aussenhandelsstatistik berechnet. Diese Treibhausgas-Intensitäten werden wiederum mit den importierten bzw. exportierten Mengen jeder Produktgruppe multipliziert. Berücksichtigt werden auch die Transportemissionen. Dabei wird einerseits der Weg des Endproduktes in bzw. aus der Schweiz beachtet, andererseits wird auch dem Transport der Vorprodukte zur Produktionsstelle Beachtung geschenkt. In der erwähnten Studie werden die grauen Treibhausgasemissionen für den Energiesektor, für Waren und für Dienstleistungen ausgewiesen.

Graue Treibhausgas-Emissionen des Energiesektors

Mit Ausnahme von Holz, Wasserkraft und den übrigen erneuerbaren Energien (Sonne, Wind, Biogas und Umweltwärme) ist die Schweiz auf Energieimporte angewiesen. Fossile und spaltbare Energieträger verursachen aufgrund der Gewinnungs- und Veredlungsverfahren Treibhausgas-Emissionen im Ausland. Bei den Erdölprodukten, Erdgas, Steinkohle, Steinkoks und bei Uran zeigen sich für die Schweiz starke Importüberschüsse. Beim Stromhandel hingegen wird mehr exportiert als importiert. Die grauen Treibhausgas-Emissionen und auch der graue Energieverbrauch der einzelnen Energieträger sind im Primärenergiefaktor zur Umrechnung des Endenergieverbrauchs in den **Primärener-**

⁹ Die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) verlangt von ihren Mitgliedstaaten die jährliche Erstellung nationaler Treibhausgas-Inventare. Diese Inventare erfassen die Emissionen, die innerhalb des Territoriums eines Landes entstehen (Territorialprinzip) bzw. – im Falle der fossilen Treibstoffe – dort, wo die Treibstoffe an den Endverbraucher abgegeben werden (Absatzprinzip). Emissionen, die bei der Herstellung und beim Transport von Produkten entstehen, werden dort verbucht, wo sie in die Atmosphäre entweichen, das bedeutet, unabhängig vom Ort des Konsums. Um jedoch das Emissionsvolumen des Güterkonsums eines Landes (Inländerprinzip) zu ermitteln, muss man die genannten grauen Energie-Emissionen aufgrund des Güterausstausches zwischen Ländern bestimmen und die im nationalen Inventar erfassten direkten oder weissen Emissionen damit ergänzen. Während der graue Energieverbrauch und dessen Emissionen von Produkten, welche in der Schweiz hergestellt werden schon beim direkten Energieverbrauch abgebucht werden, ist dies bei importierten Gütern und Dienstleistungen nicht der Fall. Der graue Energieaufwand von importierten Produkten muss deshalb zum direkten Energieverbrauch hinzugerechnet werden. Der graue Energieaufwand von Exporten wiederum, kann von der Energiebilanz abgezogen werden, da der Konsum im Ausland erfolgt und der graue Energieverbrauch somit im Ausland abgebucht werden muss.

gieverbrauch berücksichtigt und werden in der vorliegenden Studie deswegen nicht unter dem Punkt graue Energie ausgewiesen (Vermeidung von Doppelzählungen).

Graue Treibhausgas-Emissionen bei Waren

Der im Verhältnis zu anderen Industrienationen kleine Industriesektor macht die Schweiz abhängig von Warenimporten. Im Jahr 2004 wurden etwa 46 Mio. Tonnen Waren importiert und 15 Mio. Tonnen Waren exportiert. In der Aussenhandelsstatistik der Schweiz wird jedes Produkt, das die Schweizer Grenze überquert elektronisch erfasst und in Hauptwarengruppen eingeteilt.

- 1 Nahrungsmittel und lebende Tiere
- 2 Getränke und Tabak
- 3 Rohstoffe (ohne Nahrungsmittel und mineralische Brennstoffe)
- 4 Mineralische Brennstoffe, Schmiermittel und verwandte Erzeugnisse
- 5 Tierische und pflanzliche Öle, Fette und Wachse
- 6 Chemische Erzeugnisse
- 7 Bearbeitete Waren
- 8 Maschinenbauerzeugnisse und Fahrzeuge
- 9 Verschiedene Fertigwaren
- 10 Waren und Warenverkehrsvorgänge

Für jede Warengruppe wird ein gemittelter Input von Produkten bestimmt (Differenz zwischen Import und Export). Zusätzlich werden die Transportdistanzen geschätzt und mit den typischen Transportmitteln pro Warengruppe verknüpft. Mit dieser Bilanz können Treibhausgas-Intensitäten pro Kilogramm importierter bzw. exportierter Güter bestimmt werden. Die mit den Warenmengen multiplizierten Treibhausgas-Intensitäten ergeben die Treibhausgas-Importe bzw. Exporte. Der Saldo der grauen Emissionen bei den Waren beträgt 26.7 Mio. Tonnen CO₂-eq, dies sind etwa 50% aller direkt in der Schweiz emittierten Treibhausgas-Emissionen.

Graue Treibhausgas-Emissionen von Dienstleistungen

Auch Dienstleistungen verursachen graue Treibhausgas-Emissionen. Es werden die vier wichtigsten Kategorien berücksichtigt. Dies sind: 1) Flugtransporte, 2) Beherbergung und Gaststätten, 3) Banken und Versicherungen sowie 4) Landtransporte.

Für die Flug- und Landtransporte stehen Ökobilanzdaten zur Verfügung, welche auf die beschriebene Weise in Treibhausgas-Intensitäten umgewandelt und hochgerechnet werden. Für die Kategorie Beherbergung und Gaststätten wird auf den Nachhaltigkeitsbericht eines schweizerischen Hotels abgestellt. Diese Daten wurden wiederum hochgerechnet.

Bei den Banken und Versicherungen wird auf den Nachhaltigkeitsbericht der Credit Suisse und auf Unterlagen von SwissRe zurückgegriffen.

Die Emissionsfaktoren sind erwartungsgemäss im Verkehrsbereich und insbesondere im Flugtransportwesen am höchsten. Bei den Landtransporten ist der Unterschied zwischen Export – also in der Schweiz für Ausländer erbrachten Dienstleistungen – und Import erkennbar. Bei den Beherbergungen und Gaststätten sowie beim Lufttransport gleichen sich Importe und Exporte aus. Bei Banken und Versicherungen besteht zwar ein Exportüberschuss der Schweiz, doch die grauen Treibhausgas-Emissionen in diesem Bereich sind nur marginal. Dienstleistungen verursachen mit 0.9 t CO₂-eq nur einen geringen Teil der grauen Treibhausgas-Emissionen der Schweiz.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammenfassung der Daten zu den grauen CO₂-Emissionen und dem jeweiligen Energieverbrauch. Die Angaben zu den CO₂-Emissionen wurden der Studie von Jungbluth et al. (2007) entnommen. Der Energieverbrauch wurde basierend auf der Angabe berechnet, dass im Jahr 2004 für die Bereitstellung der grauen Energie ein Leistungsbedarf von insgesamt 6'400 Watt bestand (ESU-Services 2009). Die Aufteilung auf die einzelnen Posten wird anhand der Anteile der CO₂-Emissionen geschätzt. Die so ermittelten Werte sind zwar mit einer Ungenauigkeit behaftet, weil die netto importierten Waren und Dienstleistungen nicht unbedingt mit dem jeweils gleichen Energiemix hergestellt wurden und weil der Ausstoss von CO₂-Äquivalenten nicht alleine durch den Energieverbrauch bestimmt wird. Wir gehen dennoch davon aus, dass die angegebenen Grössenordnungen stimmen.

Graue Energie und CO ₂ -Emissionen der Schweiz im Jahr 2004	Grauer Energieverbrauch	Graue CO ₂ -Emissionen	Leistungsbedarf für graue Energie	Graue CO ₂ -Emissionen pro Person	
(gerundet)	Einheit	[in TJ / a]	[Mio. t CO ₂ -eq / a]	[Watt / Kopf]	[t CO ₂ -eq / Kopf*a]
Waren					
Nahrungsmittel und lebende Tiere	20	4	645	0.55	
Getränke und Tabak	4.5	1	142	0.12	
Rohstoffe (ohne Nahrungsmittel und mineralische Brennstoffe)	9	1.8	283	0.24	
Tierische und pflanzliche Öle, Fette und Wachse	1	0.2	31	0.03	
Chemische Erzeugnisse	36	7.2	1132	0.97	
Bearbeitete Waren	41	8.3	1305	1.12	
Maschinenbauerzeugnisse und Fahrzeuge	6	1.2	189	0.16	
Verschiedenen Fertigwaren	145	3	472	0.40	
Waren und Warenverkehrsvorgänge	0.50	0.1	16	0.01	
TOTAL Waren	133	26.8	4214	3.61	
Dienstleistungen					
Dienstleistungen	4.5	0.9	142	0.12	
TOTAL Waren und Dienstleistungen	137.5	27.7	4356	3.74	

Tabelle 18: Verbrauch an grauer Energie und die damit verbundenen CO₂-Emissionen der Schweiz im Jahr 2004. (Quelle: Jungbluth et al. 2007 und ESU-Services 2009)

Für die Bestimmung des Verbrauchs an grauer Energie in Luzern im Jahr 2008 wird davon ausgegangen, dass der Konsum von Waren und Dienstleistungen proportional zum Wirtschaftswachstum gewachsen ist. Gemäss LUSTAT 2009 konnten in der Schweiz in den Jahren 2004 und 2005 reale Wachstumsraten von jeweils 2.5 % p.a. und in den Jahren 2006 und 2007 3.4 % bzw. 3.3 % p.a. verzeichnet werden (Daten für 2006 und 2007 provisorisch). Aus diesen Angaben lässt sich annäherungsweise eine Steigerung des Verbrauchs grauer Energie und der damit verbundenen CO₂-Emissionen um ca. 12.2 % bestimmen. Wenn zusätzlich davon ausgegangen wird, dass der spezifische Energieverbrauch und auch die CO₂-Intensität pro produzierte Einheit in dieser Zeit abgenommen hat (minus 2.5 % p.a.), kann mit einer Steigerung des Verbrauchs an grauer Energie von ca. 2 % gerechnet werden.

Graue Energie und CO ₂ -Emissionen der Schweiz im Jahr 2008		Grauer Energieverbrauch	Graue CO ₂ -Emissionen	Leistungsbedarf für graue Energie	Graue CO ₂ -Emissionen pro Person
(gerundet)	Einheit	[in TJ / a]	[Mio. t CO ₂ -eq / a]	[Watt / Kopf]	[t CO ₂ -eq / Kopf*a]
TOTAL Waren		135	27	4292	3.7
Dienstleistungen		4.5	0.9	144	0.12
Waren und Dienstleistungen		139.5	28	4436	2.8

Table 19: Geschätzter Verbrauch von grauer Energie und die damit verbundenen CO₂-Emissionen der Schweiz im Jahr 2008. Quelle: Jungbluth et al. 2007 und ESU-Services 2009.

Die gezeigten Werte für 2008 sind mit Ungenauigkeiten behaftet: erstens weil das Wirtschaftswachstum nur in der Tendenz Aufschluss darüber erlaubt, wie stark der Netto-Import an Waren und Dienstleistungen gewachsen ist und zweitens, weil die Entwicklung der Energie- und CO₂-intensität der importierten Waren und Dienstleistungen geschätzt wurde. Wir haben hier dennoch die Werte für das Jahr 2008 ausgewiesen, wiederum um die Grössenordnungen aufzuzeigen und die gesamten Energieverbräuche für das Jahr 2008 ausweisen zu können.

In Figur 11 auf Seite 11 ist das Verhältnis von grauer Energie und grauen CO₂-eq Emissionen zu weisser Energie (direkter Endenergieverbrauch im Untersuchungsgebiet) resp. weissen CO₂-eq Emissionen aufgezeigt. Der dortige Vergleich zeigt, dass fast die Hälfte des Leistungsbedarfs für den Konsum von Gütern und Dienstleistungen verwendet wird. Bei den CO₂-eq Emissionen sind es noch knapp 40 %.

4 Bisherige Energiepolitik und aktuelle Rahmenbedingungen

Die Stadt Luzern verfolgt eine aktive Energie- und Klimapolitik: Sie ist Energiestadt und Mitglied im Klima-Bündnis, sie verfügt über einen Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz sowie über ein Energiekonzept und einen Energiefonds. Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung ist eine städtische Verhaltensmaxime (vgl. aktuelle Gesamtplanung 2009-2013, Fünfjahresziel A1.1). Die Aktivitäten der ehemaligen Gemeinde Littau fallen bescheidener aus und werden nachfolgend nicht weiter analysiert, da mit der Fusion die Energiepolitik der Stadt Luzern weiter geführt wird.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die bisherigen energiepolitischen Aktivitäten und Wirkungen der Stadt Luzern gewürdigt und die für die Entwicklung der neuen Energie- und Klimastrategie massgeblichen internationalen, nationalen, kantonalen und kommunalen Rahmenbedingungen erläutert.

4.1 Bisherige Energiepolitik der Stadt Luzern

4.1.1 Einleitung und aktuelle Zielsetzungen

Die Stadt Luzern schaut auf eine mittlerweile 15-jährige Phase umwelt- und energiepolitischer Bestrebungen zurück, welche die Themen der Energie-, Klima- und Luftreinhaltungspolitik zu einem institutionalisierten Teil der städtischen Politik machten, den Aufbau einer damit betrauten städtischen Dienstabteilung auslösten und zu beträchtlichen Errungenschaften führten:

- Die Energiepolitik entwickelte sich über den Bericht «Energie und Umwelt» von 1995 (Standortbestimmung und Massnahmen), das «Energiekonzept der Stadt Luzern» (Identifikation Handlungsbedarf und Massnahmenvorschläge in fünf Aktionsfeldern; econcept 2000), den Energiefonds (einmalige Einlage 2001, seither jährliche Dotierung für Projektförderung, Information und Beratung im Energie-, Klima- und Umweltbereich), den «Richtplan Energie Stadt Luzern» (räumliche Koordination von Energieangebot und –nachfrage, Nutzung von Umwelt- und Abwärme sowie von erneuerbaren Energien; econcept 2001), die Beteiligung am Energiestadtprogramm ab 1999 und die Initiative zu einer volkswirtschaftlichen Marktanalyse für die Energieregion Luzern (econcept 2008) kontinuierlich weiter. Dabei wurden Kohärenz und die Nutzung von Synergien mit der Luftreinhaltung- und der Klimapolitik sowie mit den kantonalen und eidgenössischen Aktivitäten angestrebt.
- Als erste Stadt der Schweiz trat Luzern 1992 dem «Nord-Süd-Zentrum» und danach 2001 dem europäischen Verein «Klimabündnis» bei. Für 2030 wurden ambitionöse CO₂-Reduktionsziele formuliert (eine Halbierung gegenüber 1990). Langfristig wird durch Energiesparen, Energieeffizienz und durch die Nutzung erneuerbarer Energien die Verminderung der Treibhausgasemissionen auf ein nachhaltiges Niveau angestrebt.

- Im September 2008 beschloss der Stadtrat den «Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz», der die Instrumente von Bund und Kanton ergänzt und 24 Massnahmen in 7 Handlungsfeldern enthält. Die meisten Massnahmen sind dabei direkt energie- und klimarelevant. Es ist vorgesehen, den Aktionsplan in den Jahren 2011/12 gestützt auf die Energie- und Klimastrategie zu aktualisieren und weiterzuentwickeln.
- 2009 wird die Einlage in den Energiefonds von 0.5 Mio. CHF/a auf 1.0 Mio. CHF/a erhöht, von 2010 bis 2013 auf 1.5 Mio. CHF/a. 2014 geht die Einlage auf 1.0 Mio. CHF und ab 2015 wieder auf 0.5 Mio. CHF/a zurück.

Folgende **Zielsetzungen für die Energie- und Klimapolitik gelten Anfang 2010 in Luzern:**

- Gemäss der aktuellen Gesamtplanung 2009-2013 betreibt die Stadt eine **aktive Luftreinhalt-, Energie- und Klimapolitik**
 - der Energieverbrauch und die Umweltbelastung auf Stadtgebiet sind zu senken,
 - die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und der Kernenergie ist zu vermindern,
 - die Nutzung erneuerbarer Energien ist zu fördern.
- Als Mitglied des europäischen Klimabündnisses hat sich die Stadt Luzern das Ziel gesetzt, die **CO₂-Emissionen** pro Kopf der Bevölkerung kontinuierlich zu senken und **bis 2030 gegenüber dem Basisjahr 1990 zu halbieren**.
- Luzern soll 2013 im vierten Reaudit die Auszeichnung **«European Energy Award Gold»** auch als fusionierte Gemeinde halten können.

Nachfolgend werden die wichtigsten **Instrumente der Energie- und Klimapolitik der Stadt Luzern** beschrieben und bezüglich ihrer Wirkung analysiert. Die Analyse wird nach folgenden Ansatzpunkten gegliedert:

- «Luftreinhaltung und Klimaschutz» (Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz. Die Verkehrspolitik ist mit 10 Massnahmen vertreten)
- «Förderung der Energieeffizienz» (Weitere Fördermassnahmen aus dem Energiefonds für Energieeffizienz im Gebäudebereich und teilweise auch im Mobilitätsbereich)
- «Förderung erneuerbarer Energien» (Weitere Fördermassnahmen aus dem Energiefonds für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energieträger am Gebäude und in der Mobilität)
- «Energieberatung und Forschung» (Fördermassnahmen aus dem Energiefonds und personeller Einsatz der Stadt Luzern)

In einem weiteren Abschnitt «Raumplanung und Städtebau» wird untersucht, inwiefern die Aktivitäten in diesem Bereich nach energiepolitischen Prinzipien ausgerichtet werden.

Langfristig können raumplanerische Massnahmen einen wichtigen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Emissionen haben. Die Beurteilung der Wirkung beruht auf den Einschätzungen des Energiebeauftragten der Stadt Luzern und der Dienstabteilung Umweltschutz.

4.1.2 Luftreinhaltung und Klimaschutz

Bezüglich Massnahmen für eine bessere Luftqualität und zur Eindämmung der Klimaerwärmung ist aktuell der «**Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz**» (kurz: APLK) ein wesentliches Steuerungsinstrument der Stadt Luzern. Der Bericht enthält 24 Massnahmen in 7 Handlungsfeldern. Da ein enger Zusammenhang zwischen Energieverbrauch, Luftverschmutzung und Treibhausgasemissionen besteht, stellt der Aktionsplan eine wichtige Grundlage der zu erarbeitenden Energie- und Klimastrategie dar.

Der Stadtrat hat die Umsetzung des Aktionsplans am 10. September 2008 beschlossen. Bei vollständiger Umsetzung können die Kohlendioxid-Emissionen auf dem Gebiet der Stadt Luzern gemäss Schätzungen mittelfristig um rund 20 Prozent gesenkt werden.

Nachfolgend werden die einzelnen Handlungsfelder und die Massnahmen beschrieben. Der Aktionsplan sieht 7 Handlungsfelder vor:

1 Handlungsfeld Energieträger und Energieversorgung

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand November 2009	Bemerkungen
EN1	Förderung von Partikelabscheidern für kleine Holzfeuerungen	Förderung	Keine Wirkung, Förderprogramm in Erarbeitung	
EN2	Solare Warmwasserproduktion und Heizungsunterstützung	Förderung	Keine Wirkung, Förderprogramm in Erarbeitung	Vgl. Abschnitt 4.1.4
EN3	Wärme- und Kältenutzung aus den Abwasserkanälen und Abwasser-Spezialbauwerken	Förderung	Keine Wirkung, Projekt Hirschengraben in Ausführung	Vgl. Richtplan Energie
EN4	Ausbau der Abwärmenutzung der Kehrichtverbrennungsanlage Luzern	Abklärungen und Förderung	Keine Wirkung, Abwärmenutzung prioritär (bis 2013) im neuen Ortsteil Reussbühl vorgesehen	Vgl. Richtplan Energie
EN5	Abbau von rechtlichen Hindernissen bei der energetischen Sanierung von Gebäuden (Denkmalschutz vs. Energiepolitik)	Richtlinie	Keine Wirkung, Umsetzung im Rahmen der laufenden BZO-Revision	
EN6	Beschränkung des Verbrauchs nicht erneuerbarer Energien für Neu- und Erweiterungsbauten	Vorschrift (Bau- und Zonenordnung)	1/10 (1 Jahr) der der im Aktionsplan ausgewiesenen Wirkung erzielt. Massnahme umgesetzt im Rahmen Teilrevision der kantonalen Energieverordnung (KEnV) per 1.1.2009	

Tabelle 20: Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz: Handlungsfeld Energieträger und Energieversorgung

Alle Massnahmen zielen auf eine Verbesserung der Energienutzung oder Steigerung der erneuerbaren Energien im Gebäudebereich ab. Bei den **erneuerbaren Energien** können die Massnahmen für eine Optimierung kleinerer Holzfeuerungen (1), die Förderung der Solarthermie (2, vgl. auch «Förderung erneuerbarer Energien») sowie die Vorschrift zum

Einsatz erneuerbarer Energien (6) genannt werden, die aber bisher noch keine Wirkung entfaltet haben. Im Aktionsplan L+K wird davon ausgegangen, dass diese Massnahmen zu einer absoluten Verminderung der CO₂-Emissionen von ca. 2'500 Tonnen/a führen werden. Betreffend **Energieeffizienz** sollen die rechtlichen Hindernisse bei energetischen Sanierungen abgebaut (5) und die Nutzung von Abwärme aus lokalen Quellen sichergestellt werden (3 und 4 stellen eine Weiterentwicklung bzw. Übernahme der Festlegungen aus dem kommunalen Richtplan Energie dar). Diese drei Massnahmen sollen zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen von ca. 7'600 T/a führen.

2 Handlungsfeld Gebäude

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand November 2009	Bemerkungen
GE1	Energieaspekte im Gestaltungsplanverfahren	Auflagen	1/10 (1 Jahr) der im Aktionsplan ausgewiesenen Wirkung erzielt	Neuer (per 1.1.2009) Absatz 2 von § 10 der kantonalen Planungs- und Bauverordnung gewährt für Gebäude im Minergie-Standard oder mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energie am Wärmebedarf generell einen Ausnützungsbonus von 5 % auch ohne Gestaltungsplan.
GE2	Energiesparmassnahmen für private Liegenschaften	Förderung	1/10 (1 Jahr) der im Aktionsplan ausgewiesenen Wirkung erzielt. Das städtische Förderprogramm „Jetzt Wohnbauten erneuern“ wurde vom Kanton übernommen, bzw. fortgesetzt.	Vgl. Abschnitt 4.1.4, Fortsetzung bzw. Weiterentwicklung des Programms «Jetzt Wohnbauten erneuern»
GE3	Kommunikation Nutzerverhalten Gebäude	Information und Beratung	Keine Wirkung, Kommunikationskonzept in Erarbeitung	

Tabelle 21: Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz: Handlungsfeld Gebäude

Die Massnahmen im Handlungsfeld Gebäude setzen bei der Steigerung der **Energieeffizienz** an und nehmen die Förderaktionen des Energiefonds auf. Diese werden mit Auflagen betreffend Ausnützung (7) und Kommunikationsmassnahmen (9) ergänzt. Insgesamt sollen mit diesen Massnahmen ca. 5'800 t CO₂ pro Jahr reduziert werden.

3 Handlungsfeld Stadtverwaltung

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand November 2009	Bemerkungen
SV1	Minderung der Feinstaub-Aufwirbelungsemissionen beim betrieblichen Strassenunterhalt	Abklärungen	Keine Wirkung, konkrete Massnahmenvorschläge ausstehend	
SV2	Gebäudestandard für städtische Liegenschaften (Minergie plus Anteil erneuerbare Energie)	Vorschrift	1/10 (1 Jahr) der im Aktionsplan ausgewiesenen Wirkung erzielt, Massnahme in Umsetzung	Vgl. Abschnitt 4.1.3, Energieeffizienz
SV3	Betriebsoptimierung stadteigener Liegenschaften	Systematisierung und Institutionalisierung	1/7 (1 Jahr) der im Aktionsplan ausgewiesenen Wirkung erzielt, Massnahme in Umsetzung	

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand November 2009	Bemerkungen
SV4	Sanierung der städtischen Liegenschaften	Investitionsplan 2007-2015	1/7 (1 Jahr) der im Aktionsplan ausgewiesenen Wirkung erzielt, Massnahme in Umsetzung	Vgl. Abschnitt 4.1.3, Energieeffizienz

Tabelle 22: Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz: Handlungsfeld Stadtverwaltung

Beim Handlungsfeld Stadtverwaltung dominiert das Thema **Energieeffizienz** im Gebäudereich. Diesbezüglich sind auch die Aktivitäten im Rahmen des **Energiestadt**-Prozesses zu erwähnen, die ausdrücklich eine Verbesserung der kommunalen Gebäude und Anlagen vorsehen. Mit den hier beschriebenen Massnahmen soll das im Re-Audit des Jahres 2006 festgestellte Defizit behoben werden. Die Massnahmen 11 und 13 zielen auf die Verbesserung des energetischen Standards der Gebäude ab. Massnahme 12 nimmt zusätzlich die haustechnischen Installationen ins Visier. Mit einer weiteren Massnahme (10) wird die Minderung der Feinstaub-Aufwirbelungsemissionen angestrebt. Alle Massnahmen sollen zu einer Reduktion von knapp 10'000 t CO₂ pro Jahr führen.

4 Handlungsfeld Wirtschaft

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand November 2009	Bemerkungen
W1	Effizienzprogramm für kleine und mittlere Unternehmen	Förderung	Keine Wirkung, Förderprogramm in Erarbeitung	

Tabelle 23: Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz: Handlungsfeld Wirtschaft

Im Bereich Wirtschaft wird die Steigerung der **Energieeffizienz** angestrebt, wozu eigens ein Effizienzprogramm für kleinere und mittlere Betriebe ausgearbeitet werden soll. Die Wirkung eines solchen Programms wurde nicht näher quantifiziert.

5 Handlungsfeld ruhender Verkehr

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand Nov. 2009	Bemerkungen
VR1	Park+Ride-Anlagen	Unterstützung des Kantons bei der Umsetzung und Anforderungen an eigene Anlagen	Laufende Umsetzung	Der Aktionsplan quantifiziert die Wirkung aller 5 Massnahmen des Handlungsfeldes zusammen. Da die Umsetzung mehrheitlich bereits erfolgt ist, müsste auch mehr als 50 Prozent der Wirkung erreicht sein.
VR2	Umwandlung der Blauen-Zone-Parkplätze in gebührenpflichtige weisse Parkplätze und Ausdehnung der Gebührenpflicht	Verbindliche Änderung	Massnahme umgesetzt	Dito
VR3	Anpassung der Parkgebühren im Stadtzentrum	Verbindliche Änderung	Massnahme umgesetzt	Dito

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand Nov. 2009	Bemerkungen
VR4	Gebührenpflicht für grosse Parkierungsanlagen	Umsetzung bestehenden Rechts im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens	Umsetzung ausstehend	Dito
VR5	Kostenpflichtige Bewirtschaftung der öffentlichen Parkplätze publikumsintensiver Einrichtungen	Verbindliche Änderung	Massnahme teilweise umgesetzt	Dito

Tabelle 24: Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz: Handlungsfeld ruhender Verkehr

Das Handlungsfeld «ruhender Verkehr» umfasst Massnahmen im Bereich der Parkierung. Im Aktionsplan wird bei Realisation aller Massnahmen von einer möglichen CO₂ Einsparung von ca. 1400 t/a ausgegangen werden. Die Optimierung der Bewirtschaftung des öffentlichen Parkplatzangebots soll die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs steigern, Suchverkehr und Nachtruhestörungen verringern, die Verfügbarkeit der öffentlichen Parkplätze verbessern, die Erreichbarkeit des Stadtzentrums für alle Verkehrsteilnehmenden verbessern und die Kosten für die Parkplätze den BenutzerInnen anrechnen.

6 Handlungsfeld Velo und öffentlicher Verkehr

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand November 2009	Bemerkungen
VL1	Förderung Velo und öffentlicher Verkehr	Kommunikative, betriebliche und bauliche Massnahmen	Noch kaum Wirkung entfaltet, Umsetzung erst teilweise	
VL2	Grossveranstaltungen - hohen Anteil öffentlicher Verkehr sicherstellen	Verbindliche Anforderungen	Keine Wirkung, Umsetzung in Vorbereitung	
VL3	Buslinienelektrifizierung	Bekennnis des Stadtrautes	Keine Wirkung	

Tabelle 25: Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz: Handlungsfeld Velo und öffentlicher Verkehr

Im Handlungsfeld Velo und öffentlicher Verkehr wird der Fokus auf ein Umsteigen vom MIV auf den ÖV oder LV gelegt. Es werden Einsparungen im Umfang von ca. 870 t CO₂ /a erwartet.

7 Handlungsfeld Fahrzeugtechnologie

Nr.	Massnahmen	Massnahmentyp	Wirkungen bzw. Stand November 2009	Bemerkungen
FT1	Förderung von sparsamen und schadstoffarmen Motorfahrzeugen	Förderung mit den Mitteln des Energiefonds	1/10 (1 Jahr) der im Aktionsplan ausgewiesenen Wirkung erzielt	Im Rahmen der bestehenden Förderbestimmungen. Überarbeitung der Förderbestimmungen ist ausstehend.
FT2	Förderung von Partikelfiltern für dieselbetriebene Nutzfahrzeuge und Aggregate	Anreize	Keine Wirkung, Umsetzung ausstehend	

Tabelle 26: Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz: Handlungsfeld Fahrzeugtechnologie

Das siebte Handlungsfeld widmet sich der **Energieeffizienz** im Mobilitätsbereich und auch der Verringerung der Emissionen von Nutzfahrzeugen. Die erwarteten Reduktionen belaufen sich auf ca. 580 t CO₂ /a.

Die Handlungsfelder und Massnahmen des Aktionsplans Luftreinhaltung und Klimaschutz decken die Bereiche Energieeffizienz, erneuerbare Energien und Verringerung der Emissionen breit ab und dienen als Grundlage für die Erarbeitung der Energie- und Klimastrategie. Bei vollständiger Umsetzung der Massnahmen des Aktionsplans könnten die lokalen CO₂-Emissionen um mehr als 3'000 t/a reduziert werden. Das entspricht in etwa einer jährlichen Einsparung von 1% der direkten CO₂-Emissionen des Jahres 2005. In den weiteren Abschnitten werden die energiepolitischen Grundlagen und Förderprogramme der Stadt Luzern vorgestellt. Diverse Massnahmen wurden schon im Aktionsplan erwähnt.

4.1.3 Förderung der Energieeffizienz

Bei den Fördermassnahmen mit den Mitteln des Energiefonds¹⁰ spielen die Energieeffizienz und die erneuerbaren Energien eine wichtige Rolle. Eine Übersicht der aktuellen Fördersätze des Energiefonds ist im Anhang 1 zu finden. Die Energiefondsverordnung und die Fördergegenstände wurde aufgrund der geänderten kantonalen gesetzlichen Rahmenbedingungen (MuKE) und der Förderaktivitäten von Bund und Kanton auf den 1. Juli 2009 überarbeitet und angepasst. Eine Übersicht der Fördersätze des Energiefonds ist auf dem Internet¹¹ abgerufen werden. Bisher wurden folgende Aktivitäten unternommen:

Förderung der Energieeffizienz im Jahr 2001 bis 2009	Anteil am gesamten Fördervolumen		Wirkung [Eingesparte MWh]	Bemerkungen
	[CHF]	[Prozent]		
Gebäude				
Neubauten nach Minergie-P	10'152	0.10	43	
Neubauten nach Minergie	1'103'464	11.25	3520	Anpassung Energiefondsverordnung auf 1.7.2009
Modernisierungen nach Minergie-P	0	0	0	
Modernisierungen nach Minergie	0	0	0	
Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung, effiziente Haustechnik	190'410	1.94	2436	
Effiziente Stromnutzung	453'757	4.63	5402	
Dezentrale Stromproduktion in WKK-Anlagen	0	0	0	

Tabelle 27: Aktivitäten der Stadt Luzern zur Förderung der effizienten Energienutzung

¹⁰ Seit 1986 führten die damaligen Städtischen Werke einen Fonds, welcher durch die Gewinne aus dem Elektrizitätsbereich gespeist wurde. Ein entsprechendes Reglement wurde im Zuge der Vorbereitung der Verselbständigung der Städtischen Werke im Jahre 1999 ausgearbeitet. Am 15. Juni 2000 beschloss der Grosse Stadtrat das «Reglement über den Energiefonds» (B+A 29/2000) und die dazugehörige Verordnung. Die vom Stadtrat gewählte Fondsverwaltung nahm ihre Arbeit mit der konstituierenden Sitzung vom 6. Februar 2001 auf.

¹¹ http://www.stadt Luzern.ch/de/online/main/dienstleistungen/?dienst_id=17277&themenbereich_id=1&thema_id=40 (Zugriff am 30. April 2010)

Gemäss Angaben der Stadt Luzern konnten von 2001 bis 2009 34 Minergie-Neubauten unterstützt werden. Da der Grossteil des Energieverbrauches im Gebäudebereich durch den Bestand verursacht wird, sind die weiteren Förderaktionen auf die Verbesserung der bestehenden Bauten gerichtet. Seit 2001 konnten 65 Gebäudesanierungen unterstützt werden, 50 Gebäude im Rahmen der Kampagne „Jetzt Wohnbauten erneuern!“ in den Jahren 2006 bis 2009. Für diese Gebäude wurde nach der Sanierung der SIA 380/1 Neubau-Grenzwert gefordert (durchschnittliche Einsparungen >60%). Weitere 27 Objekte nutzten die Förderleistungen der Stiftung Klimarappen. Über 350 Bauherrschaften profitierten zudem von einer kostenlosen Energieberatung mit Beratungsbericht. 103 Bauherrschaften nahmen das weiterführende Energiecoaching in Anspruch.

Gemäss Auswertungen des Energiebeauftragten der Stadt Luzern wurden in den Jahren 2006 bis 2009 rund 77 Gebäude (Jetzt Wohnbauten erneuern und Klimarappen in der Stadt Luzern) und 6 Gebäude (Kantonales Förderprogramm und Klimarappen im Stadtteil Littau) vollständig energetisch erneuert. Dies entspricht 27 Gebäuden pro Jahr (in Luzern inkl. Stadtteil Littau stehen gemäss statistischem Jahrbuch ca. 8200 Wohngebäude). Zusätzlich ist davon auszugehen, dass im Rahmen von Gesamterneuerungen (inkl. Arbeiten an der Gebäudehülle) jährlich weitere Gebäude energetisch saniert werden. So kann davon ausgegangen werden, dass die **Sanierungsrate mit energetischer Wirkung etwa bei 1% pro Jahr liegt** (entspricht zusätzlich etwa 50-60 Gebäude pro Jahr). Gemäss statistischem Jahrbuch wurde im Zeitraum 1970 bis 2000 etwa die Hälfte der Gebäude der Stadt Luzern renoviert (bei heutigen Gebäudezahlen entspricht das ca. 130 Gebäuden pro Jahr). Da davon auszugehen ist, dass nur ein Teil dieser Gebäude auch energetisch saniert wurde, erscheint uns eine Sanierungsrate von 1% (entspricht ca. 80 Gebäude pro Jahr) plausibel.

Im Bereich Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung sind neben den Fördermassnahmen auch die raumplanerischen Festlegungen aus dem **Richtplan Energie** (korrigierte und vom Stadtrat genehmigte Fassung vom 24. Oktober 2001) relevant. Darin wird eine Koordination zwischen Wärmeangebot und -nachfrage angestrebt. Folgendes Ziel ist dabei massgebend: die Nutzung standortgebundener Abwärme (es wurden Festlegungen zum Ausbau der Abwärmenutzung der KVA, zur Nutzung der Abwärme aus Abwasserkanälen und zur Nutzung der Wärme des Sees getroffen). Gemäss Bericht des Stadtrates «Aktive Energiepolitik in der Stadt Luzern» (B+A 34/2008) werden die empfohlenen Massnahmen im Rahmen von planerischen Festlegungen umgesetzt. Für das Gebiet des im Richtplan Energie erwähnten Ausbaus der Wärmenutzung ab KVA wurde durch den GKLÜ eine Studie durchgeführt mit dem Ziel, die relevanten Informationen für die strategische Planung zu liefern. Dabei wurden die Bezügerpotenziale abgeschätzt, eine erste realistische Linienführung festgelegt und eine grobe Beurteilung der Marktfähigkeit vorgenommen. Die Abklärungen zeigen jedoch, dass das vorgesehene Gebiet im Bezug auf den Ausbau der Fernwärme ab KVA erst 3. Priorität hat.

Eine erste Abwasserwärmenutzung aus dem Abwasserkanal Hirschmattstrasse für die Gebäude der Concordia ist realisiert. Eine weitere Abwasserwärmenutzung im Rahmen

eines Contractings durch ewl energie wasser luzern am Hirschengraben steht zurzeit in Realisierung.

4.1.4 Förderung erneuerbarer Energien

Bei der Förderung der erneuerbaren Energien liegt der Fokus auf den **gebäudegebundenen** Anwendungen. Thermische Solaranlagen für Warmwasser und Heizung, photovoltaische Anlagen, Wärmepumpen und grosse Holzheizungen (>500kW) werden gefördert. Im Bereich der **Mobilität** ist die Unterstützung für Biogas und Hybridfahrzeuge zu erwähnen, wobei die Massnahme 23 des APLK eine Weiterentwicklung der heute gültigen Förderbestimmungen bringen wird. Weitere Massnahmen im Mobilitätsbereich werden im Bereich «Luftreinhaltung und Klimaschutz» aufgeführt. Eine Übersicht der Fördersätze des Energiefonds ist auf dem Internet¹² abgerufen werden. Bisher wurden folgende Aktivitäten unternommen:

Förderung der erneuerbaren Energien im Jahr 2001 bis 2009	Anteil am gesamten Fördervolumen		Wirkung	Bemerkungen
	[CHF]	[Prozent]		
Gebäude			[Produzierte MWh]	
Thermische Solaranlagen	1'619'827	16.5	1278	Vgl. EN2 im APLK
Photovoltaische Anlagen	677'812	6.9	657	Erhöhte Förderung für Anlagen bis 10 kWp
Wärmepumpen	663'951	6.8	3'614	Förderung nur wenn Gebäude energetisch saniert wurde (MuKE, SIA 380/1 Umbaugrenzwert)
Abwasserwärmenutzung	995'300	10.15	1'511	
Biogas	335'000	3.4	3'000	
Holzheizungen (>500kW)	26'500	.27	146	
Mobilität			[Produzierte MWh]	
Förderung von Biogas- und Hybridfahrzeugen				Vgl. FT1 im APLK
Erdgasfahrzeuge	112'058	1.14		
Hybridfahrzeuge	52'083	0.53		

Tabelle 28: Aktivitäten der Stadt Luzern zur Förderung erneuerbarer Energien.

Eine Auswertung der zugesprochenen Fördergelder zeigt, dass sowohl bei den thermischen Solaranlagen als auch bei den photovoltaischen Anlagen eine Steigerung der Nachfrage erzielt werden konnte. Im Zeitraum 2001 bis 2009 wurden 151 thermische und 17 photovoltaische Solaranlagen unterstützt. Trotzdem sind beide Typen der Solarenergienutzung erst marginal vertreten. Im Bereich der thermischen Solaranlagen wird durch Massnahme 2 des APLK ein neuer Schub erwartet, da dort vorgesehen ist, dass die Solarthermie bei der Sanierung von rund 900 Feuerungsanlagen bis 2014 gezielt gefördert werden soll. Die Nutzung von Umweltwärme mittels Wärmepumpen erlebte in den letzten drei Jahren eine markante Zunahme. Zumindest bei Neubauten sind Wärmepumpen zur beliebtesten Wärmeerzeugungsart geworden (90 % der Neubauten). Bei Sanierungen

¹² http://www.stadt Luzern.ch/de/online/main/dienstleistungen/?dienst_id=17277&themenbereich_id=1&thema_id=40 (Zugriff am 30. April 2010)

werden erst in wenigen Fällen Wärmepumpen eingebaut, vor allem da, wo auch eine wärmetechnische Gesamterneuerung der Gebäudehülle vorgenommen wird. Im Bereich der Förderung von Biogas- und Hybridfahrzeugen konnte von 2001 bis 2009 die Anschaffung von 117 Biogas-/Erdgasfahrzeugen und 51 Hybridfahrzeugen unterstützt werden.

4.1.5 Energieberatung und Forschung

Mit den Mitteln des Energiefonds werden auch Forschungsvorhaben und die Energieberatung unterstützt (in Anhang 1 sind die Fördersätze aufgeführt). Einerseits werden einzelne Energieberatungen vor Ort bezuschusst, womit für Private der Anreiz besteht, ihr Gebäude von Profis untersuchen zu lassen. Andererseits werden Investitionsbeiträge an Aktivitäten im Bereich «Beratung, Ausbildung und Information» gewährt. Beim Thema Forschung wird das Erstellen von «Machbarkeitsstudien und Konzepten im Energiebereich» mit einer Unterstützung von max. 2/3 der Studienkosten abgegolten. Ebenso werden Aktivitäten im Bereich «umweltfreundliche Fahrzeugkonzepte und Mobilitätsformen» mit Investitionsbeiträgen unterstützt.

Förderung der Energieberatung und Forschung im Jahr 2001 bis 2009	Anteil am gesamten Fördervolumen		Wirkung	Bemerkungen
Energieberatung	[CHF]	[Prozent]	[Anzahl Beratungen] [Eingesparte MWh/a]	
Energieberatung vor Ort, Energiecoaching	377'412	3.85		Hohe Nachfrage, Energiecoaching bei Gesamt-sanierungen und geschützten bzw. schützenswerten Objekten
Beratung, Ausbildung und Information, Energiestadt, Ausstellungen,	807'109	8.23		
Forschung				
Machbarkeitsstudien und Konzepte	259'918	2.65		
Umweltfreundliche Fahrzeugkonzepte und Mobilitätsformen	530'584	5.41		

Tabelle 29 Aktivitäten der Stadt Luzern zur Förderung von Energieberatung und Forschung.

4.1.6 Raumplanung und Städtebau

Mit dem Raumentwicklungskonzept 2008 wurden ein räumliches Leitbild und ein Aktionsprogramm geschaffen. Das räumliche Leitbild ist die Grundlage für die Revision der Bau- und Zonenordnung.

Als Energiestadt hat Luzern im Bereich «Entwicklungsplanung, Raumordnung» gute Noten erhalten (85% der möglichen Punkte). Insgesamt wurden die Aktivitäten in den Bereichen 1) kommunale Entwicklungsplanung (91%), 2) innovative Stadtentwicklung (90%), 3) Bauplanung (72%) und 4) Baubewilligung, Baukontrolle (90%) untersucht. Die Angaben zu den erreichten Punkten zeigen, dass bei 3) Verbesserungspotenziale bestehen.

Der Investitionsplan 2007-2015 der Dienstabteilung Immobilien sieht für die Sanierung städtischer Liegenschaften knapp 200 Mio. Franken vor. Die Umsetzung wird vom Stadtrat auch im Rahmen des Aktionsplans L+K unterstützt und ist lufthygienisch und klimapolitisch von hoher Relevanz. Damit sollten auch im Bereich Bauplanung um die 90% der Punkte erreicht werden können. Die Stadt Luzern (ohne Littau) hat ihre Wohnquartiere praktisch flächendeckend verkehrsberuhigt. Der Anteil der Tempo-30-, Begegnungs- und Fussgängerzonen an den Gemeindestrassen beträgt knapp 60 Prozent. Der öffentliche Verkehr verfügt in der Stadt Luzern (ohne Littau) grundsätzlich über ein dichtes Netz und eine hohe Frequenz. Die durchschnittliche Distanz vom Wohnort zur nächsten ÖV-Haltestelle beträgt 130 Meter. Problematisch ist die Tatsache, dass der öffentliche Verkehr primär mit Bussen im Mischverkehr geführt wird und bei Verkehrsüberlastungen im Stau stecken bleibt. Öffentlich nicht erschlossen ist das Arbeitsplatzgebiet Ibach im Norden der Stadt Luzern. Verbesserungsbedürftig ist die Velo-Infrastruktur. Ein von der Exekutive und der Legislative genehmigter kommunaler Richtplan leichter Zweiradverkehr wurde am 29. September 2009 vom Regierungsrat des Kantons Luzern genehmigt. Zusammen mit der vom Stadtrat im Rahmen des APLK beschlossenen Veloförderung (Massnahme VL1) dürfte sich die Situation längerfristig verbessern.

4.1.7 Fazit und Ausblick

Gemäss Auswertungen der Stadt Luzern konnte in den Jahren 2001 bis 2009 mit allen geförderten Projekten des **Energiefonds** eine jährliche Energieeinsparung bei konventionellen Energieträgern von rund 27 Mio. Kilowattstunden (rund 97 TJ/a) erreicht werden. Diese Menge entspricht etwa der im Jahr 2008 ans Kantonsspital gelieferten Fernwärme oder 2.7 Mio. Litern Heizöl. Über die gesamte Nutzungsdauer der Anlagen und Gebäude gerechnet, können voraussichtlich Einsparungen von rund 580 GWh (2'088 TJ) erzielt werden. Die CO₂-Emissionen werden jährlich um über 5'400 Tonnen reduziert (dies entspricht ca. 11 % der durch den Flugverkehr verursachten CO₂-Emissionen). Über die Nutzungsdauer resultiert eine CO₂-Reduktion von über 116'000 Tonnen. Dank dem vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien und der effizienten Energieanwendung wird zudem die Schadstoffbelastung der Luft verringert. Die geleisteten Förderbeiträge haben auch volkswirtschaftliche Auswirkungen und lösten vorgezogene Investitionen von über 56 Mio. Franken aus. Diese Mehrinvestitionen kommen vorwiegend dem lokalen und regionalen Gewerbe zugute. Insgesamt ist das Bewusstsein für die Dringlichkeit von Massnahmen in den Bereichen Energie und Klimaschutz in den letzten Jahren gestiegen, was vermehrt zu Fördergesuchen an den Energiefonds geführt hat (in den letzten drei Jahren wurden jährlich im Schnitt über 1 Mio. Franken ausbezahlt).

Auch die Aktivitäten im Rahmen von **Energiestadt** haben zu einem erhöhten Bewusstsein für die Handlungsmöglichkeiten im Bereich Energie- und Klimaschutz geführt. Der Energiestadt-Massnahmenkatalog umfasst rund 90 energiepolitische Massnahmen in sechs Wirkungsfeldern. Um das Label zu erhalten, muss eine Gemeinde mindestens 50% der möglichen Massnahmen aus dem Energiestadtkatalog realisiert haben, ab 75% kann sie das Gold-Label (Energy Award Gold) beantragen. Beim dritten Reaudit vom Juli 2009

hat die Stadt Luzern 366 von 468 möglichen Massnahme-Punkten (78.2%) erreicht. Die Stadt Luzern wurde am 5. November 2009 in Paris mit dem „European Energy Award Gold“ ausgezeichnet. Gute Noten gab es unter anderem für die Aktion „Jetzt Wohnbauten erneuern!“, das Mobilitätsmanagement (mit Parkplatzbewirtschaftung, Parkleitsystem und grossflächig eingeführten Tempo 30 Zonen) sowie die Betriebsoptimierung im Betagtenzentrum Eichhof und die Wärme- und Kältenutzung aus dem Abwasserkanal an der Hirschmattstrasse (Concordia).

Die Befragungen der wichtigsten Akteure des Energiebereichs auf der Anbieter- und Nachfragerseite im Raum Luzern¹³, die im Rahmen der Arbeiten der «**Volkswirtschaftliche Marktanalyse für die Energieregion Luzern**» im Jahr 2008 durchgeführt wurden, (econcept 2008) zeigten, dass die Energiepolitik als zu wenig wirksam beurteilt wird. Es seien zwar ambitionierte energiepolitische Programme vorhanden, diese seien aber zu wenig bekannt und würden von der Regierung (noch) zu wenig unterstützt. Die Politik müsse konkreter werden und mehr Mittel für die Energie- und Klimapolitik einsetzen. Einzelne Programme wurden gelobt, so z.B. das Gebäudeprogramm der Stadt Luzern, das nach der Meinung der Befragten eine «spürbare Nachfragewirkung» zeigt. Bei der Frage nach den wichtigsten Massnahmen zur Verbesserung der Situation bzw. für den Aufbau einer Energieregion, wurden u.a. folgende Punkte genannt:

- Eine **konsequenteren finanzielle Förderung**, ggf. ergänzt mit Steuererleichterungen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz, um die Wirkung zu erhöhen.
- Ein konsequentes Wahrnehmen der **Vorbildrolle der öffentlichen Hand** mit besserer Kommunikation der guten Beispiele. Diesbezüglich wurde stark betont, dass Wille und Pioniergeist der öffentlichen Hand, insbesondere der Exekutiven, noch zu wenig zu spüren seien. Häufig wurde auch vermerkt, dass die Energie- und Klimapolitik innerhalb der Verwaltungen besser vernetzt werden sollte.
- Eine **Stärkung von Kommunikation, Information und Beratung**, da die Energiepolitik der Stadt noch immer vielen Menschen unbekannt sei.
- Die vermehrte Implementierung **fortschrittlicher regulatorischer Rahmenbedingungen und gesetzlicher Vorschriften**. So sollte z.B. die Möglichkeit einer Erhöhung des Ausnutzungsbonus für anspruchsvolle Energielösungen geschaffen werden.
- Mehr Engagement und wegweisendere Massnahmen in der **Verkehrspolitik, da hier noch wenig Einfluss der Energie- und Klimapolitik zu spüren sei**.

¹³ Folgende Akteure wurden befragt (Zitat aus dem Bericht von econcept 2008, S. 49): «Bei den Anbietern von energierelevanten Produkten kann in Bezug auf die räumliche Abgrenzung zwischen den **regional tätigen Anbietern von erneuerbaren Energien und Abwärme** (ewl, CKW, ARA, KVA, Bauernverband, einzelne grosse Abwärmelieferanten), den (meist) **regional tätigen Anbietern/Beratern für erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Haustechniklösungen** (BMP, Architektur und Energie, BAP Group, Enerprice Partners, Zurfluh Lottenbach, ITZ, Herzog Haustechnik AG, BE Netz AG), den **schweizweit aktiven Anbietern von Hausbaulösungen und erneuerbaren Energien** (BE Netz AG, Amstutz Holzenergie, Fenaco, Anliker Immobilien, Renggli Holzbau, Welcome Immobilien) und den **international tätigen Anbietern von Energietechnologien und erneuerbaren Energien** (Pyroforce, Komax, BE Netz AG) unterschieden werden. Die HSLU Technik und Architektur wurde als **Anbieterin von Forschung und Entwicklung** im Bereich erneuerbare Energien und Energieeffizienz in die Befragung miteinbezogen».

Des Weiteren wurde angeregt, dass die öffentliche Hand aktiver auf die wichtigen Energieverbraucher zugeht, die Aus- und Weiterbildung stärkt, «Prozessführer» und Vordenker besser unterstützt und die Eigentümerstrategie der ewl überprüft.

Im Hinblick auf die Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit bildet die aktuelle Energie- und Klimapolitik einen guten Ausgangspunkt für die zu erarbeitende Strategie. Die aktuellen Massnahmen müssen aber noch deutlich intensiviert werden, wenn die Zielsetzungen der aus wissenschaftlicher Sicht geforderten Treibhausgasreduktionen erreicht werden sollen. Folgende Bereiche rücken dabei in Zukunft vermehrt in den Fokus: Die Reduktion des Energieverbrauchs und der Emissionen im **Verkehrsbereich**, die verstärkte Förderung der Nutzung **erneuerbarer Energien** und im Bereich der Energieeffizienz werden die Programme für die energetische Sanierung des **Gebäudebestandes** von zentraler Wichtigkeit sein. In all diesen Bereichen haben die Vorgaben des Kantone und der nationalen Energiepolitik einen grossen Einfluss auf die Entwicklungen, weswegen die Stadt Luzern neben den kommunal wirksamen Massnahmen auch klare Forderungen an die politisch übergeordneten Instanzen stellen muss.

4.2 Energiepolitische Rahmenbedingungen für die Stadt Luzern

4.2.1 Kantonale Energie- und Klimapolitik

Die Energiepolitik des Kantons Luzern beruht auf dem kantonalen Energiegesetz vom 7. März 1989 und auf der zugehörigen Energieverordnung vom 11. Dezember 1990. Das kantonale Energiegesetz bezweckt die

- Einsparung von Energie,
- die Verminderung der Umweltbelastungen bei der Nutzung von Energie sowie
- die Förderung des Einsatzes von erneuerbaren Energien.

Es regelt die Zuständigkeiten und schafft die rechtlichen Grundlagen für Vorschriften bei Heizungs-, Kühl- und Warmwasseraufbereitungsanlagen, für die Abwärmenutzung, für den Erlass einer Pflicht zur Abnahme dezentral erzeugter Energie und für die Förderung von Information, Beratung, Aus- und Weiterbildung, Pilot- und Demonstrationsanlagen, Energiesparmassnahmen und erneuerbarer Energie. Wesentliche Aspekte der Förderung der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien werden in weiteren Gesetzen konkretisiert. Nachfolgend die wichtigsten Punkte kurz erläutert:

Mindestanforderungen an die Wärmedämmung von Gebäuden werden im kantonalen Planungs- und Baugesetz vom 7. März 1989 und in der Planungs- und Bauverordnung vom 27. November 2001 (revidiert im Juli 2004) konkretisiert. Die neuen Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich aus dem Jahr 2008 (MuKE 2008) sind am 1. Januar 2009 in Kraft getreten. In § 17 der kantonalen Energieverordnung werden die Grundsätze für die Abwärmenutzung festgelegt und § 165 des kantonalen Planungs- und Baugeset-

zes gibt den Gemeinden die Kompetenz, GrundeigentümerInnen unter bestimmten Voraussetzungen zu einem Anschluss an ein Fernwärmenetz zu verpflichten.

Der neue (per 1.1.2009) Absatz 2 von § 10 der kantonalen Planungs- und Bauverordnung gewährt für Gebäude im Minergie-Standard oder mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energie am Wärmebedarf einen Ausnützungsbonus von 5 %.

Gemäss § 29 des kantonalen Waldgesetzes vom 1. Februar 1999 fördert der Kanton Luzern die Verwendung von einheimischem Holz als Bau- und Werkstoff sowie als Energieträger bei all seinen Tätigkeiten und unterstützt Massnahmen zur Förderung der Holzverwendung und der Holzforschung. Der Kanton fördert gemäss § 86 des Landwirtschaftsgesetzes vom 12. September 1995 zudem Massnahmen zur Einsparung von Energie und zur Produktion von Alternativenergien in der Landwirtschaft. Weitere Ziele zur Energiegewinnung aus Biomasse sind im Planungsbericht Landwirtschaft enthalten.

Der **Kanton Luzern** hat im «Planungsbericht Energie» (econcept 2006) die energie- und klimapolitische Vision des Kantons, die daraus abgeleiteten Zielsetzungen, die Strategie sowie vier thematische Schwerpunkte der kantonalen Energie- und Klimapolitik festgelegt, welche mit dem vom Regierungsrat 2008 beschlossenen Energiekonzept (16 Massnahmen) umgesetzt werden (econcept 2008). Seit 2007 hat der Kanton wieder ein energetisches Förderprogramm und betreibt ein Kompetenzzentrum erneuerbare Energien. Er strebt an, bis 2030 den Anteil erneuerbarer Energien im Kanton gegenüber 2007 zu verdoppeln (Kantonsratsbeschluss). Ab dem 1. Januar 2010 werden zusätzlich Gelder des nationalen Gebäudeprogramms für die energetische Sanierung von Gebäuden zur Verfügung stehen.

Im Planungsbericht Energie setzt der Kanton sich die **Vision, bis im Jahr 2100 eine 2000-Watt-Gesellschaft zu werden**. Die effiziente Energieanwendung und der Ausbau der erneuerbaren Energien stehen deswegen im Zentrum der Energiepolitik des Kantons. Im Planungsbericht bezeichnet der Kanton für die Zeit bis 2015 die folgenden vier energiepolitischen Schwerpunkte der kantonalen Energiepolitik:

- 1 Die energetische Verbesserung der **Gebäude** (inkl. Anwendung der Solarthermie)
- 2 Die vermehrte Nutzung von **Holzenergie** zur Wärme- und Stromerzeugung
- 3 Die Förderung von **Biogas** zur Wärme-, Strom- und Treibstoffherzeugung
- 4 **Kommunikation**, Information, Beratung, Aus- und Weiterbildung

Zusätzlich werden die Photovoltaik und die Nutzung der Windenergie gefördert.

Auch der kantonale Massnahmenplan Luftreinhaltung enthält Massnahmen mit Auswirkungen auf den zukünftigen Energieverbrauch beziehungsweise die CO₂-Emissionen in Luzern. So wird dort z.B. auf Stufe der kantonalen Motorfahrzeugsteuern ein Rabattsystem für emissionsarme Fahrzeuge vorgesehen.

4.2.2 Nationale sowie globale Energie- und Klimapolitik

Die globalen und nationalen energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen haben sich in der jüngeren Vergangenheit stark verändert: Die Bemühungen zur Eindämmung der Klimaerwärmung, stark steigende Energiepreise mit grossen Schwankungen, eine zum Teil angespannte Versorgungssituation bei Erdöl und Erdgas (Menge, Sicherheit) sowie Unsicherheiten bei der zukünftigen Elektrizitätsversorgung bestimmen das Bild.

Für die Schweizer Energie- und Klimapolitik hat der Bundesrat im Jahr 2002 im Bericht «Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002» festgehalten, dass das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft als allgemeine Zielvorstellung dienen soll. Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft wird im Teilbericht «Strategie» detailliert erläutert. Die aktuelle Energiepolitik des Bundes basiert auf dem Energieartikel in der Bundesverfassung (Art. 89, BV 2006). Sie wird mit dem Eidgenössischen Energiegesetz, dem CO₂-Gesetz sowie dem Stromversorgungsgesetz und ihren jeweiligen Verordnungen weiter konkretisiert.

Die **Schweizer Klimapolitik bis 2012** wird vom Bundesgesetz zur Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) bestimmt. Dieses hat zum Ziel, die CO₂-Emissionen mit energie-, umwelt- und finanzpolitischen sowie mit freiwilligen Massnahmen bis zum Jahr 2010 um 10% gegenüber 1990 zu verringern - bei den Gebäuden um 15% und im Verkehr um 8%. Als wichtigstes Instrument gilt die CO₂-Abgabe auf Brennstoffen, kombiniert mit einem Klimarappen auf Treibstoffe ('freiwillige' Treibstoffabgabe von 1,5 Rp./Liter Benzin oder Dieseltreibstoff). Die Stiftung Klimarappen hat ein Förderprogramm für Gebäude und ein Auktionsverfahren für grössere CO₂-Einsparprojekte lanciert, die mit dem Klimarappen auf Treibstoffen finanziert werden. Die CO₂-Abgabe auf Brennstoffe ist per 1. Januar 2008 eingeführt worden und beträgt seither 12 Franken pro Tonne CO₂. Ab dem 1. Januar 2010 wird die Abgabe auf 36 Franken pro Tonne CO₂ erhöht (entspricht ca. 9 Rp. pro Liter Heizöl).

Im Wandel sind auch die Rahmenbedingungen im **Elektrizitätsbereich**. Das Bundesgesetz über die Stromversorgung (StromVG) vom 23. März 2007 überträgt den Kantonen verschiedene Aufgaben: Dazu gehören die zwingende Netzzuteilung mit der möglichen Kombination mit Leistungsaufträgen an die Netzbetreibenden sowie Aufgaben zur Sicherung des Service Public. Die Verordnung zum Stromversorgungsgesetz wurde am 1. April 2008 in Kraft gesetzt. Bestimmungen über die Marktöffnung für Grossverbraucher und über die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) traten am 1. Januar 2009 in Kraft. Für die KEV stehen jährlich maximal 320 Mio. Fr. (Stand November 2009) zur Verfügung, welche der Bund bereitstellt. Der grössere Teil dieser Förderung ist bisher für die Wasserkraft reserviert.

Der Bundesrat hat zudem die Verordnungen zum revidierten **Mineralölsteuergesetz** verabschiedet und die Gesetzesänderung auf den 1. Juli 2008 in Kraft gesetzt: Die Treibstoffe wie Biogas, Bioethanol und Biodiesel werden von der Mineralölsteuer befreit. Für Erd- und Flüssiggas wird die Steuer reduziert. Diese steuerlichen Massnahmen sollen dazu führen, dass fossile flüssige Treibstoffe vermehrt durch Treibstoffe aus erneuerba-

ren Rohstoffen und Erdgas ersetzt werden und gleichzeitig die Schadstoffemissionen gesenkt werden.

In seiner Botschaft über die **Schweizer Klimapolitik nach 2012** anlässlich der Revision des CO₂-Gesetzes hat der Bundesrat die klimapolitischen Zielvorstellungen der Schweiz für das Jahr 2020 skizziert. Bis im Jahr 2020 sollen die Treibhausgasemissionen der Schweiz um mindestens 20 Prozent gegenüber 1990 reduziert werden. Weiter wird folgende Aussage gemacht: «Im Wissen, dass für die Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration auf einem ungefährlichen Niveau höhere Reduktionsanstrengungen der Industrieländer notwendig sind, will der Bundesrat das Reduktionsziel je nach Verlauf der internationalen Verhandlungen auf bis zu minus 30 Prozent bis 2020 im Vergleich zu 1990 erhöhen». Die Schweizer Zielsetzungen entsprechen den Zielsetzungen der EU: Bis 2020 soll der Treibhausgasausstoss gegenüber 1990 um mindestens 20% reduziert werden mit einer Option auf eine Reduktion von 30%, wenn auch andere Länder ähnliche Reduktionen anstreben.

Die Zielvorgaben des IPCC zur Eindämmung der Klimaerwärmung finden auch in der **internationalen Politik** immer mehr Beachtung: An der Klimakonferenz in Kopenhagen vom Dezember 2009 wurde die 2-Grad-Grenze von den Staaten anerkannt und auf die Tatsache, dass die Reduktionsbeiträge der Länder von einer historischen Verantwortung abhängt, verwiesen (Copenhagen Accord). Zuvor haben sich die Regierungschefs der G8-Staaten am Gipfel in L'Aquila vom 8. bis 10. Juli 2009 auf das wissenschaftlich abgestützte Ziel einer Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 2°C geeinigt. Somit soll der weltweite Ausstoss von Treibhausgasemissionen bis 2050 halbiert werden und die G8-Staaten wollen zu diesem Ziel mit einer Reduktion von 80% gegenüber 1990 beitragen.

5 Energienachfrage und CO₂-Emissionen: Referenzentwicklung bis 2050

5.1 Treiber von Energieverbrauch und Emissionen

Die zukünftige Energienachfrage hängt von verschiedensten Faktoren ab. Diese lassen sich in sozioökonomische und klimatische Treiber sowie in politisch-gesellschaftliche Treiber unterteilen. Mit den sozioökonomischen und klimatischen Treibern sind Rahmendaten wie Bevölkerungsentwicklung, Entwicklung der Wirtschaftsleistung, Entwicklung der Energiepreise, Entwicklung der Energiebezugsflächen, Entwicklung der Verkehrsleistungen sowie die Entwicklung klimatischer Bedingungen gemeint. Aufgrund der Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung dieser Daten werden sie in verschiedenen Ausprägungen geschätzt (nachfolgend Sensitivitäten genannt).

Politisch-gesellschaftliche Rahmenbedingungen wiederum betreffen die politischen Massnahmen und deren gesellschaftliche Akzeptanz. Die Studie Energieperspektiven 2035 (BFE 2007), welche als Grundlage für die folgenden Abschätzungen der Energienachfrage und der CO₂-Emissionen bis ins Jahr 2050 dient, entwickelt vier *Szenarien*. Diese beruhen auf verschiedenen politisch-gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und werden mit den römischen Ziffern I-IV bezeichnet. Die vier Szenarien werden jeweils für unterschiedliche *Sensitivitäten* berechnet: der «Trend» gibt die Entwicklung auf Basis der unveränderten Rahmendaten an, «BIP-hoch» zeigt die Entwicklung bei gesteigertem Wirtschaftswachstum, «Preise hoch» bei gesteigerten Energiepreisen und «Klima wärmer» bei stärkerer Klimaerwärmung. Im folgenden Kapitel werden die Entwicklungen der Rahmendaten erläutert und jeweils die verschiedenen Sensitivitäten erklärt.

Die folgenden Annahmen zur Entwicklung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen und Sensitivitäten stützen sich meist auf die Energieperspektiven 2035 des Bundesamts für Energie (BFE 2007). Wo nötig werden die Daten durch eigene Abschätzungen bis in das Jahr 2050 extrapoliert. In einzelnen Fällen diskutieren wir den Einfluss aktuellerer Rahmendaten.

5.1.1 Bevölkerungsentwicklung bis 2050

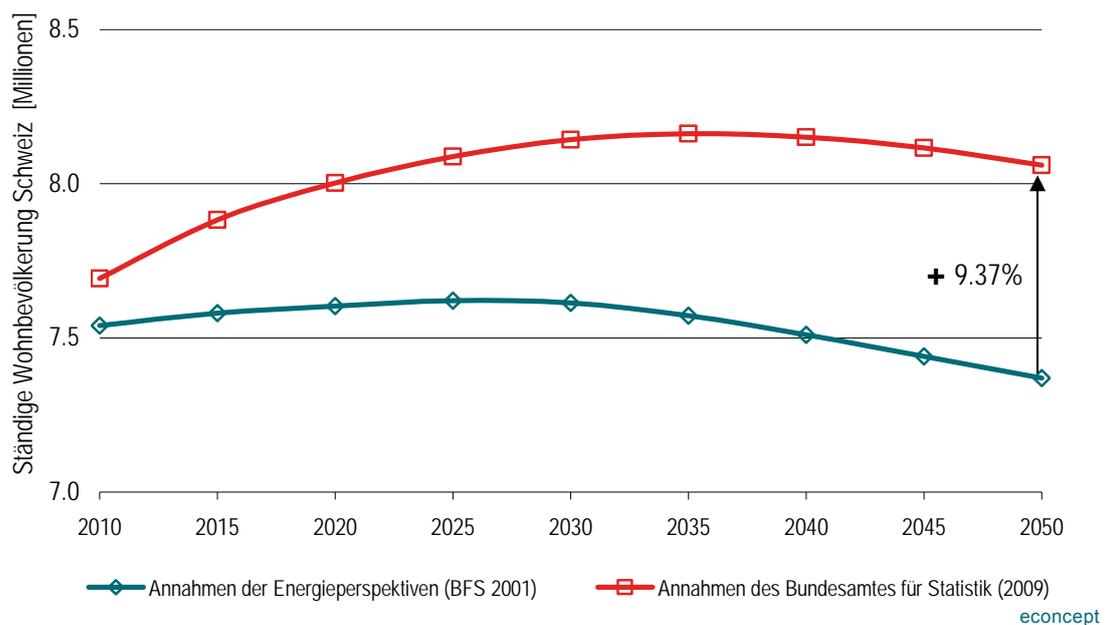
Das Bevölkerungswachstum geht einher mit steigender Energienachfrage. Die Bevölkerungsentwicklung gehört zu den wichtigsten Rahmendaten bei der Schätzung der zukünftigen Energienachfrage. Die Studie Energieperspektiven 2035 (BFE 2007), welche als Grundlage zur Berechnung des zukünftigen Energieverbrauchs in Luzern dient, stützt sich auf das Demographieszenario "Trend" des Bundesamtes für Statistik von 2001 ab. Dieses schreibt die Entwicklungen der jüngeren Zeit fort und bezieht die absehbaren politischen Veränderungen mit ein. Eine gegenüber den bilateralen Abkommen deutlich veränderte aktive Einwanderungspolitik wird nicht unterstellt. Die Lebenserwartung wird als weiterhin steigend angenommen. Die Fruchtbarkeit sinkt zunächst noch leicht ab, steigt danach leicht an und stabilisiert sich bei ca. 1.5 Kindern pro Frau. Die effektive

Immigration in den Jahren 2001-2003 lag jedoch höher als im Szenario prognostiziert. Diese Tatsache wird durch eine Niveauekorrektur berücksichtigt.

Jahr	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Einwohner	6.8	7.2	7.5	7.6	7.6	7.5	7.4

Tabelle 30 Bevölkerungsentwicklung in Millionen Einwohnern

Seit der Veröffentlichung der Energieperspektiven im Jahr 2007 hat das Bundesamt für Statistik (BFS) in neueren Prognosen des Bevölkerungswachstums die Zahlen nach oben korrigiert (höhere Zuwanderung, tendenziell höhere Fruchtbarkeit). Das gegenüber den Energieperspektiven des Bundesamt für Energie (BFE) höhere Wachstum der Bevölkerung fliesst jedoch nicht in unsere Abschätzungen über die Entwicklung der sozioökonomischen Rahmendaten oder der Energienachfrage ein, da es einerseits nicht machbar ist die komplexen Modellannahmen und -rechnungen der Energieperspektiven anzupassen und da andererseits der Prognoseunterschied auf Luzern heruntergerechnet, nur noch relativ gering ist. Trotzdem ist zu beachten, dass die Schätzungen der Energienachfrage aufgrund der konservativen Bevölkerungsprognosen eher zu tief liegt. Das neue Bevölkerungsszenario A00-2005 (Szenario A) des BFS geht von einer Zunahme der Bevölkerung bis 2035 auf ca. 8.16 Mio. Personen aus. Die Energieperspektiven gehen dagegen für 2035 von einer Bevölkerung von etwa 7.57 Mio. aus. Bis 2050 wird die Bevölkerung gemäss dem BFS-Szenario auf ca. 8.06 Mio. Personen leicht zurückgehen. Die Energieperspektiven (BFS 2001) gehen hingegen von einer ständigen Wohnbevölkerung von 7.4 Mio. Einwohner im Jahr 2050 aus. Die nachfolgende Figur 8 fasst die Ergebnisse der BFS-Szenarien zusammen:



Figur 15: Veränderung der Prognose des Bevölkerungswachstums seit der Erstellung der Energieperspektiven.

5.1.2 Wirtschaftswachstum bis 2050

Auf Basis des geschätzten Produktivitätswachstums und dessen Korrelation mit den Demografieszenarien des BFS hat das seco zwei Szenarien für die längerfristige BIP-Entwicklung berechnet. Dabei wurde ein Szenario mit hohem Wachstum und ein Szenario «Trend» entwickelt. Das BIP-Szenario Trend geht für den Zeitraum 2000-2010 von einem mittleren BIP-Wachstum von 1.4% pro Jahr aus, das sich bis 2030 auf 0.5% pro Jahr reduziert, um danach wieder geringfügig anzusteigen. Das Szenario «hohes BIP-Wachstum» weist im Durchschnitt ein gegenüber der Trendvariante um 0.5 Prozentpunkte erhöhtes jährliches BIP-Wachstum auf. Die seit der Erstellung der Energieperspektiven stattgefundenene Entwicklung übertrifft bisher die Prognose¹⁴. Da auch die Erwerbstätigenzahl in der jüngsten Vergangenheit schneller zugenommen hat als bei der Ausarbeitung durch das seco angenommen (siehe Bevölkerungswachstum), gehen wir davon aus, dass die Trend-Variante eher zu konservativ ist.

Die nachfolgende Tabelle 31 sowie Figur 9 fassen die Prognosen des seco und zusätzlich die vorgenommenen Schätzungen für die Periode 2040 bis 2050 und 2000 bis 2050 (grau hinterlegt) zusammen.

Jahrzehnt	2000 - 2010	2010 - 2020	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050	2000 - 2050
Trend: jährliches Wachstum	1.4%	1.0%	0.5%	0.7%	0.7%	0.9%
BIP Hoch: jährliches Wachstum	1.9%	1.5%	1.0%	1.3%	1.3%	1.4%

Tabelle 31 Durchschnittliche BIP-Wachstumsraten unterschiedlicher Zeitabschnitte (Quelle: BFE 2007, Andrist 2007 und eigene Schätzung). Die grau hinterlegten Spalten «2040 - 2050» und 2000 - 2050 wurden durch econcept geschätzt.

Das seco weist zusätzlich darauf hin, «dass aus einer konsequenten Umsetzung der Massnahmenpakete der Wachstumspolitik, wie sie auch von der OECD vorgeschlagen werden, ein um bis zu 0.7% höheres jährliches Wirtschaftswachstum resultieren würde, verglichen mit der Variante BIP-Trend».

5.1.3 Energiebezugsfläche

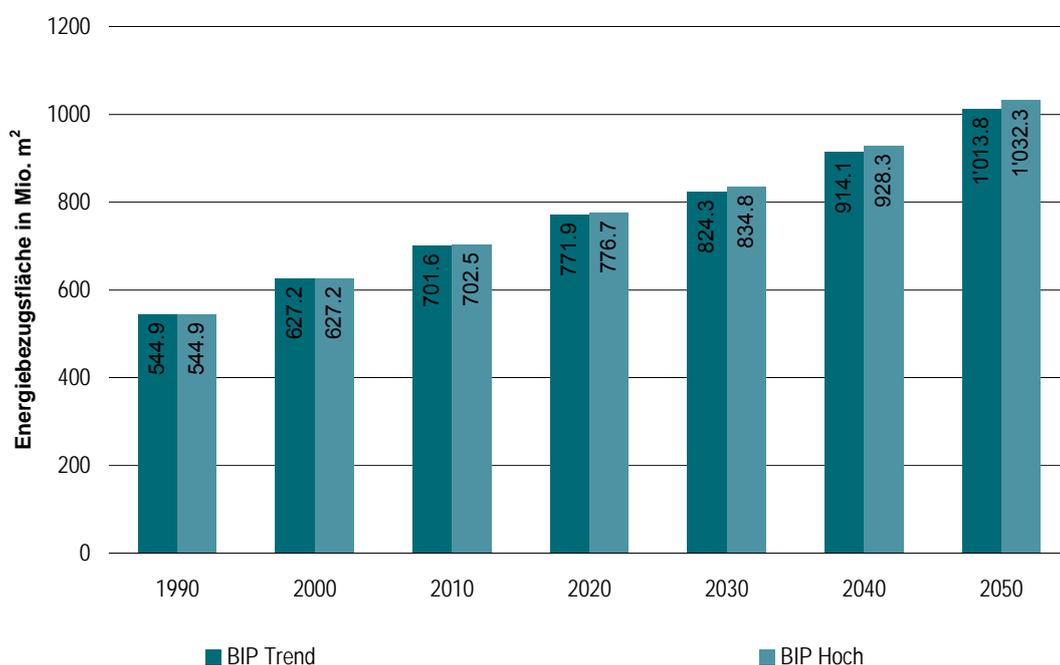
Die Energiebezugsfläche wurde mit einem Modell von Wüest&Partner (BFE 2004) gerechnet, welches schon seit Jahren für solche Arbeiten verwendet wird. Dieses verarbeitet unter anderem die gesamtwirtschaftlichen Perspektiven sowie Bauinvestitionsschätzungen und kantonale Gebäudeversicherungsdaten. Die Ergebnisse werden in den einzelnen Sektoren aufgrund der dort vorhandenen spezifischen Informationen noch angepasst.

¹⁴ BIP: Wachstum 2006 und 2007 von mehr als 3 % (Quelle: Bundesamt für Statistik). Im Jahr 2008 hat sich das Wachstum jedoch verlangsamt.

Die Entwicklung der Energiebezugsfläche als typische Mengengrösse hängt unter anderem stark mit der Entwicklung des BIP zusammen (und damit auch mit den verfügbaren Einkommen). Daher wird in der Variante "BIP hoch" auch ein höheres Flächenwachstum erwartet als in der Variante "BIP Trend". Die Entwicklung der kumulierten Energiebezugsflächen verläuft mehr oder weniger linear. Die Werte für die Jahre 2040 und 2050 wurde daher aufgrund der mittleren Wachstumsraten der Vorjahre geschätzt.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Prognosen der Energiebezugsflächen in den beiden BIP-Szenarien dargestellt.

«Entwicklung Energiebezugsfläche in Abhängigkeit des BIP»



econcept

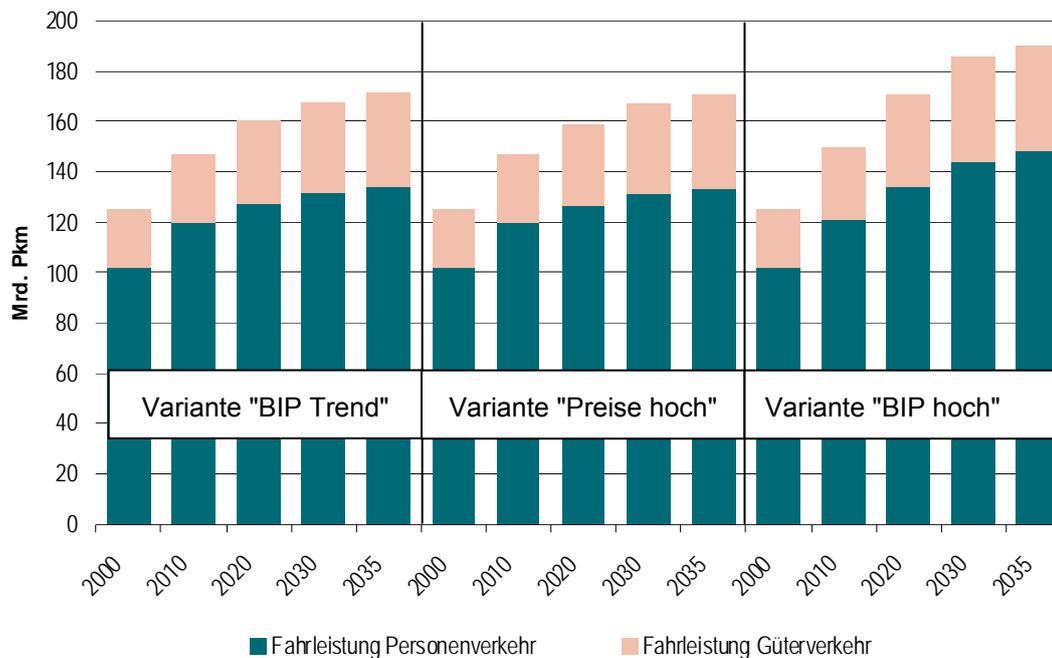
Figur 16: Energiebezugsfläche für die Szenarien "BIP Trend" und "BIP hoch" (Quelle: BFE 2008 und eigene Schätzungen).

5.1.4 Mobilität

Die den Energieperspektiven zugrundeliegenden Prognosen im Verkehrsbereich basieren auf den Verkehrsperspektiven des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE). Diese gehen von den angenommenen soziodemographischen Rahmenbedingungen der Bundesverwaltung aus und sind in dieser Hinsicht mit den Energieperspektiven konsistent. Die Verkehrsperspektiven entwickelten unterschiedliche Szenarien für den Personen- und den Güterverkehr. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Dynamiken der letzten Jahre weiterhin Gültigkeit besitzen. Ebenfalls wird von einer europäischen und schweizerischen Verlagerungspolitik auf die Schienen ausgegangen. Die Entwicklung des Güter- und Personenverkehrs hängt stark von den Bezugsgrössen BIP-Entwicklung und Energiepreisentwicklung ab.

Figur 17 fasst die Prognosen des ARE zur Verkehrsentwicklung zusammen. Die Personenverkehrsleistungen steigen bei "BIP Trend" zwischen 2000 und 2035 um gut 32% und die Güterverkehrsleistungen um fast 59%. Bei der Variante "BIP hoch" wachsen die Personenverkehrsleistungen um knapp 46% an und die Güterverkehrsleistungen um 82%.

«Verkehrsentwicklung in Abhängigkeit der Energiepreise und des BIP»



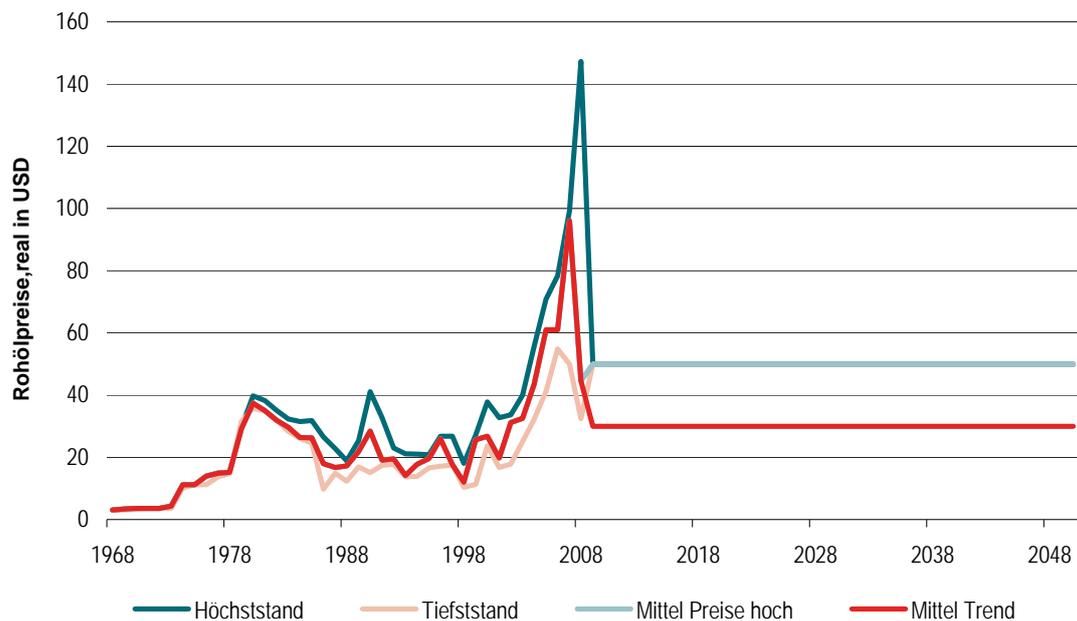
Figur 17: Verkehrsmengenentwicklung für die Szenarien "BIP Trend", "BIP hoch" und "Preise hoch" in Personenkilometer (Quelle: BFE 2008 und eigene Schätzungen).

5.1.5 Energiepreise

Die Entwicklung der Weltmarkt-Rohölpreise wird als energetische "Leitwährung" zugrunde gelegt (BFE 2007).

Zum Zeitpunkt der Festlegung der Szenarienbedingungen war davon auszugehen, dass mindestens bis 2030 geologisch keine Verknappung der fossilen Ressourcen zu erwarten ist. Bei der Sensitivität "Preise hoch" geht das BFE von einer im Wesentlichen real konstanten Entwicklung der Weltmarktölpreise von 50 \$ in realen Preisen von 2003 aus, was einen nominalen Preis von 86 \$ um 2035 bedeutet. Die Sensitivität Trend geht dagegen von einem mittleren zukünftigen Rohölpreis von 30 \$ aus. Das ist ein Preisniveau, das mittlerweile selbst von der bisher traditionell mit einer geringen Preisdynamik rechnenden IEA nicht mehr vertreten wird und das für die angenommene wirtschaftliche Entwicklung zu tief liegt.

«Entwicklung Rohölpreis»



econcept

Figur 18: Langfristige Entwicklung des nominalen Rohölpreises 1986-2050 (Quelle: mrci.com)

5.1.6 Klimaentwicklung

Als Referenz-Klimaentwicklung, welche insbesondere auf den Energiebedarf für Heizung und Kühlung beeinflusst, ist eine konstante Fortschreibung der klimatischen Trends der letzten dreissig Jahre vorgesehen. Dies bedeutet einen mittleren Wert für die Heizgradtage von 3'588 HGT als Mass für die winterlichen Kältebedingungen. Darüber hinaus wird in der Sensitivität "Klima wärmer" untersucht wie sich die Klimaerwärmung bis 2050 in der Schweiz nach einem wahrscheinlichen Pfad auf die Entwicklung der mittleren Temperaturen und damit auf den Heizenergie und Kühlenergiebedarf sowie Wasserbedarf für die Wasserkraft auswirkt. Als konkrete Auswirkung der Klimaerwärmung wird entsprechend der IPCC-Szenarien ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur um 2°C bis ins Jahr 2050 angenommen. Das ergibt einen durchschnittlichen Anstieg der mittleren Jahrestemperatur um 1.25°C bis ins Jahr 2035. Da die Klimamodelle bis heute keine regionalisierten eindeutigen Zeitreihentrends ausweisen, wird dem Anstieg von 2005 bis 2050 als Modellannahme Linearität unterstellt.

5.2 Referenzentwicklung 2050

Bei der Entwicklung eines Referenzszenarios, welches eine Prognose für die zukünftige Energienachfrage in der fusionierten Gemeinde Luzern erlauben soll, wurde auf das Szenario II A der Energieperspektiven 2035 (BFE 2007) zurückgegriffen. Wir erachten dieses zum heutigen Zeitpunkt als das kohärenteste und den tatsächlichen Gegebenheiten

ten am meisten entsprechende. Es handelt sich dabei um ein Szenario, das aufzeigt, wie sich die Energienachfrage entwickeln würde, wenn die politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen während der nächsten 40 Jahre konstant bleiben würden. Andere Szenarien (I, III, IV) gehen von anderen politischen und gesellschaftlichen Annahmen aus. Das Szenario II A wird in den vier Sensitivitäten «Trend», «BIP hoch», «Preise hoch» und «Klima wärmer» ausgewiesen. Bei der Variante «Trend» handelt es sich um die Grundvariante. Die anderen Sensitivitäten schwächen oder erhöhen die Energienachfrage im Verhältnis zu dieser Grundvariante. Die Veränderung der Rahmenbedingungen innerhalb dieser vier Sensitivitäten werden im vorangehenden Kapitel erläutert. Folgend werden die wichtigsten politischen Annahmen, auf welchen das Szenario II A beruht zusammengefasst:

- CO₂-Abgabe in der Höhe von 35 CHF/t auf Brennstoffe ab 2006, als reine Lenkungsabgabe
- Befreiungsmöglichkeiten durch Zielvereinbarungen in den Sektoren Industrie und Dienstleistungen
- Klimarappen auf Treibstoffe mit einem Aufkommen von ca. 100 Mio. CHF/a, davon 70 Mio. CHF/a zur Umsetzung von CO₂-Reduktionsmassnahmen und 30 Mio. CHF/a für den Kauf von CO₂-Zertifikaten
- Stromrappen auf Stromprodukte mit 50 Mio. CHF/a für die Förderung von Strom-Effizienzmassnahmen
- Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien über eine Umlage mit einem Budget von 330 Mio. CHF/a
- Transaktionsinstrumente insbesondere zur Initiierung von Kooperationen zwischen verschiedenen Branchen und Akteuren, um Organisationshemmnisse zu überwinden und Effizienzpotenziale zu aktivieren
- Bonus/Malus-System für energieeffiziente Fahrzeuge
- Fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe
- **Elektrizitätserzeugung:** Bis 2030 bis zu 18.7 TWh/a Importe, ab 2031 zwei neue EPR-KKW-Blöcke mit einer Leistung von je 1'600 MW.

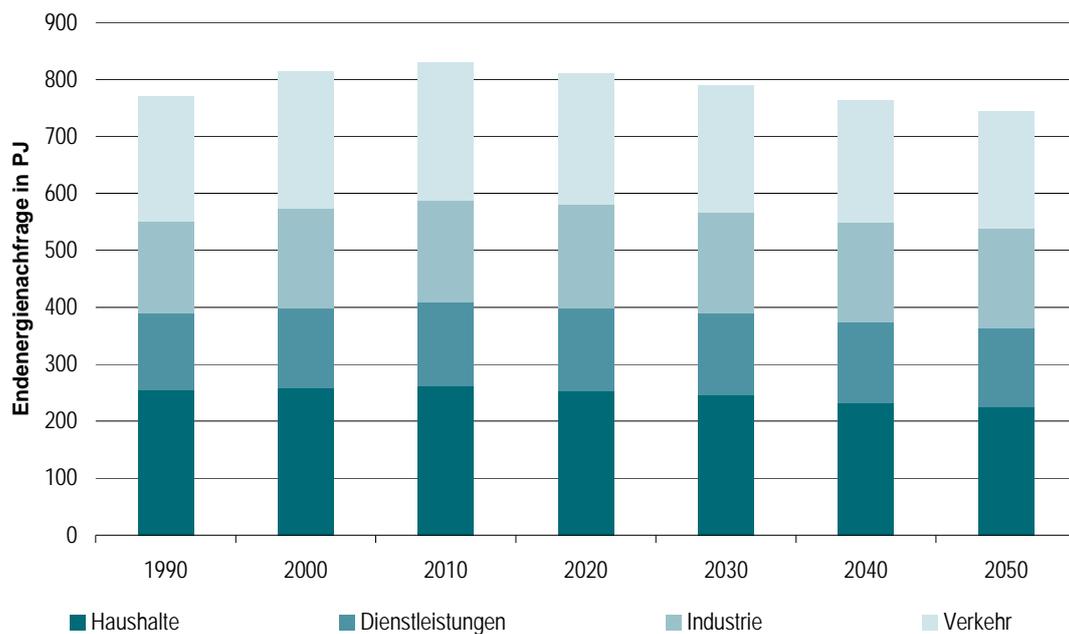
Im Szenario IIA der Energieperspektiven werden sowohl zwischen Politik und Wirtschaft als auch zwischen verschiedenen Branchen (z.B. Energiewirtschaft und Dienstleistungssektor) und bislang nicht aktiv kooperierenden Akteuren Kooperationen zur Verstärkung der Energieeffizienz vorangetrieben. Hierzu werden politische Aktionen und Instrumente unterstellt, bei welchen angenommen wird, dass sie effizient aufeinander abgestimmt sind.

Das Zukunftsszenario der Energieperspektiven berechnet Daten für die gesamte Schweiz bis ins Jahr 2035. Die Prognosen werden daher bis ins Jahr 2050 weiterentwickelt. Dazu wird der mittlere mittelfristige Trend der Entwicklung weitergeführt und durch neue Stu-

dien der Energieperspektiven (ETS 2009) plausibilisiert. Diese Weiterentwicklung beruht nicht auf den komplexen Modellannahmen der Energieperspektiven, ist mit diesen jedoch kohärent.

Figur 13 bildet die Endenergienachfrage für die Jahre 1990-2050 nach Sektoren ab. Nach Höchstwerten in den Jahren 2005 bis 2015 ist die Endenergienachfrage in allen Sektoren sinkend.

«Endenergienachfrage nach Sektoren»

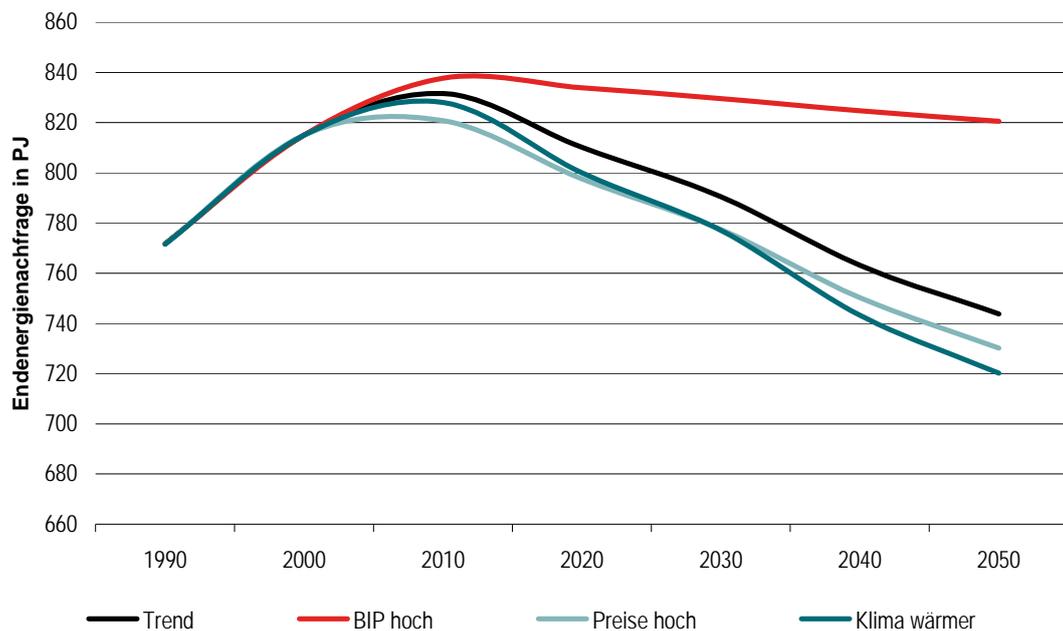


econcept

Figur 19: Referenzszenario II A, Sensitivität "Trend" der Endenergienachfrage nach Sektoren

Figur 14 zeigt die gesamte Endenergienachfrage der verschiedenen Sensitivitäten des Szenariums IIA. Es zeigt sich, dass bei der Variante mit hohem Wachstum die Energienachfrage nur sehr wenig abnimmt. In der Trendvariante, der Variante mit hohen Energiepreisen sowie der Variante mit wärmerem Klima erkennt man einen starken Rückgang der Energienachfrage.

«Sensitivitäten des Szenarios II A»



econcept

Figur 20: Endenergienachfrage für die Szenarien Trend, BIP hoch, Preise hoch sowie Klima wärmer

5.2.1 Referenzszenario der Energienachfrage der Stadt Luzern

Die für die ganze Schweiz geltenden Daten müssen auf das Untersuchungsgebiet umgerechnet werden. Dazu werden die Daten der Endenergienachfrage der Stadt Luzern im Jahr 2008 anhand der prozentualen Entwicklungsraten der Daten der Energieperspektiven angepasst.

Ausserdem werden zur Konkretisierung die Sensitivitäten des Szenarios II A zu einer Variante zusammengefasst. Es handelt sich dabei um die Sensitivität "Preise hoch & Klima wärmer & BIP Trend".

Es werden also folgende Annahmen getroffen:

- Gleichbleibende exogene politische Rahmenbedingungen (Bundesebene)
- Keine speziellen politischen Rahmenbedingungen auf Kantonsebene
- Bevölkerungswachstum auf 7.6 Mio bis 2030; bis 2050 wiederum sinkende Bevölkerungszahlen auf etwa 7.4 Mio. Einwohner
- Ein mittleres prozentuales Wirtschaftswachstum von 1.4% pro Jahr bis 2010, das sich 2030 bis 0.5% pro Jahr reduziert, um danach wieder geringfügig anzusteigen
- Konstanter mittlerer realer Rohölpreis um 50 USD pro barrel
- Konstanter Anstieg der Energiebezugsfläche auf 1'013 Mio. m² im Jahr 2050

- Konstantes Wachstum der Verkehrsleistungen
- Erwärmung der mittleren Jahrestemperatur um 2C° bis ins Jahr 2050

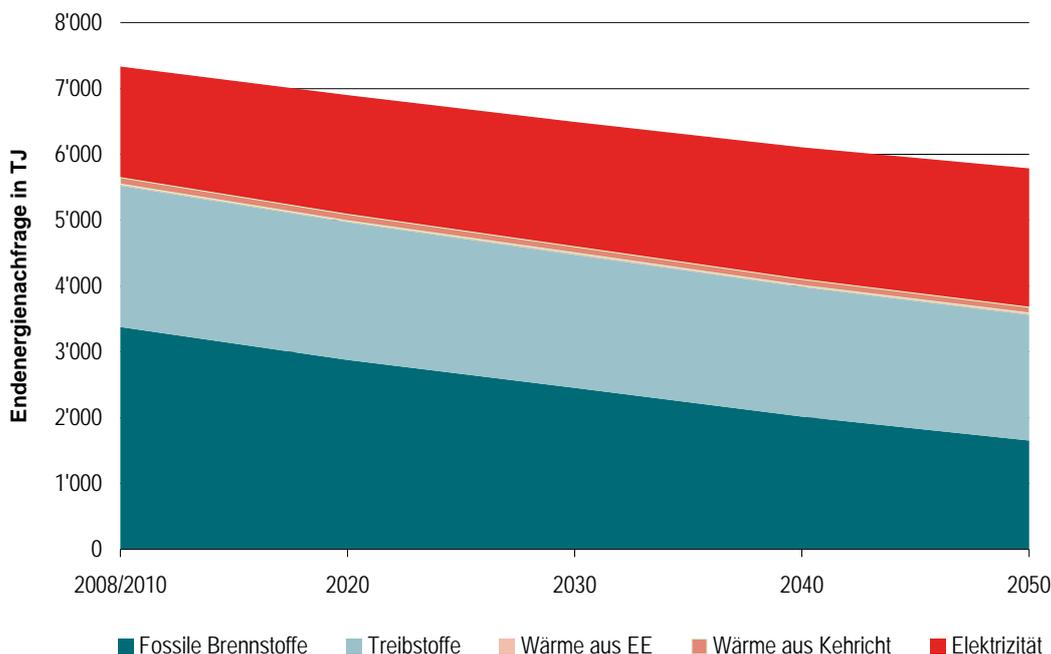
[TJ/a]	Jahr	2010	2020	2030	2040	2050
Preise hoch & Klima wärmer & BIP Trend		7'338	7'097	6'841	6'597	6'356

Tabelle 32: Entwicklung der Endenergienachfrage der Stadt Luzern im Referenzszenario in TJ/a (Quelle: Eigene Berechnungen, BFE 2007).

Es zeigt sich, dass die Energienachfrage der Stadt Luzern im Referenzfall bis ins Jahr 2050 konstant sinken wird. Der Höchstwert der Endenergienachfrage ist um das Jahr 2010 erreicht.

Figur 16 lässt erkennen, dass im Referenzszenario, trotz ständiger Abnahme des Energieverbrauchs ab dem Jahr 2010, fossile Brennstoffe, Treibstoffe und Elektrizität immer noch die am weitest verbreiteten Energieträger sein werden.

«Referenzentwicklung der Endenergienachfrage nach Energieträgern»



econcept

Figur 21: Prognose der Endenergienachfrage der Stadt Luzern nach Energieträger (in TJ/a, Sensitivität "Preise hoch & Klima wärmer & BIP Trend")

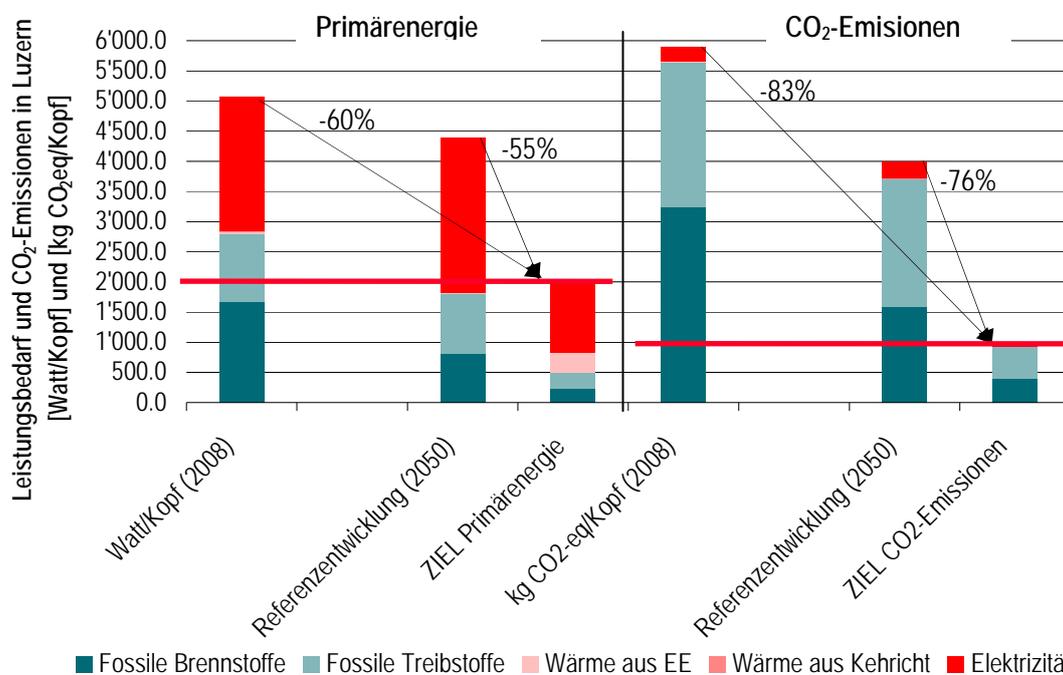
Es wird deutlich, dass bei einem Szenario, welches die heutige Situation fortschreibt, die Energienachfrage konstant sinkt und die Verteilung der Energieträger sich nicht markant verändert. Die sinkende Nachfrage ist hauptsächlich durch Effizienzsteigerungen zu erklären. Vor allem die Endenergieträger Wärme aus erneuerbarer Energie sowie Wärme aus Kehrlicht bleiben konstant auf schwachem Niveau. Zu Niveauverschiebungen kommt

es hauptsächlich zwischen den fossilen Brennstoffen, und der Elektrizität. Es ist ersichtlich, dass mehr Elektrizität auf Kosten der fossilen Brennstoffe verbraucht wird.

5.3 Handlungsbedarf

Der Vergleich der Referenzentwicklung mit den angestrebten Zielwerten zeigt, dass die Erreichung der Ziele bis ins Jahr 2050 erhebliche Anstrengungen verlangt, auch wenn die Referenzentwicklung schon zu einer Senkung des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen führen wird.

«Ist-Zustand, Referenzentwicklung bis 2050 und Zielwert der 2000-Watt-Gesellschaft für den Primärenergiebedarf (links) und die CO₂-Emissionen (rechts)»



econcept

Figur 22: Vergleich des Ist-Zustandes (2008), der Referenzentwicklung bis 2050 und des Zielwertes der 2000-Watt-Gesellschaft für den Primärenergieverbrauch und den Ausstoss an CO₂-eq.

Ausgehend vom Jahr 2008 soll der Primärenergieverbrauch insgesamt um 60 % sinken, bei den Emissionen von CO₂-eq sind es 83 %. Unter Berücksichtigung der Referenzentwicklung bis ins Jahr 2050 verbleibt dann beim Primärenergieverbrauch eine zu erreichende Reduktion von 55 % und bei den CO₂-eq Emissionen von 76 %. Um bei fossilen Energieträgern die Limite von 500 Watt bzw. insgesamt das Ziel von 1 Tonne CO₂ pro Kopf zu erreichen, besteht ein besonders grosser Handlungsbedarf zur Verringerung des Verbrauchs an Brenn- und auch Treibstoffen. Die in der oberen Figur gezeigten Werte und der Vergleich der Ausgangslage mit der Referenzentwicklung und dem angestrebten Ziel werden in der folgenden Tabelle zusammenfassend gezeigt.

Vergleich der Ausgangslage mit der Referenzentwicklung und dem anvisierten Ziel	Primärenergie (gerundet)	CO ₂ -Emissionen (gerundet)
Ausgangslage 2008 (100%)	5'060 [Watt / Kopf* Jahr]	5'900 [kg CO ₂ -eq/ Kopf* Jahr]
2050 Referenzentwicklung	4'400 [Watt / Kopf* Jahr]	4'100 [kg CO ₂ -eq/ Kopf* Jahr]
2050 Ziel	2'000 [Watt / Kopf* Jahr]	1'000 [kg CO ₂ -eq/ Kopf* Jahr]
Differenz zwischen 2008 und Referenz	-13 %	-32 %
Differenz zwischen 2008 und Ziel	-60 %	-83 %
Differenz zwischen Referenz und Ziel; Reduktionsziele ohne Berücksichtigung der grauen Energie	-55 %	-76 %
Zum Vergleich: Graue Energie und «graue» CO ₂ -Emissionen 2008	4'400 [Watt / Kopf* Jahr]	3'800 [kg CO ₂ -eq/ Kopf* Jahr]

Tabelle 33: Vergleich der Ausgangslage mit der Referenzentwicklung und dem Ziel (Quelle: eigene Berechnungen econcept)

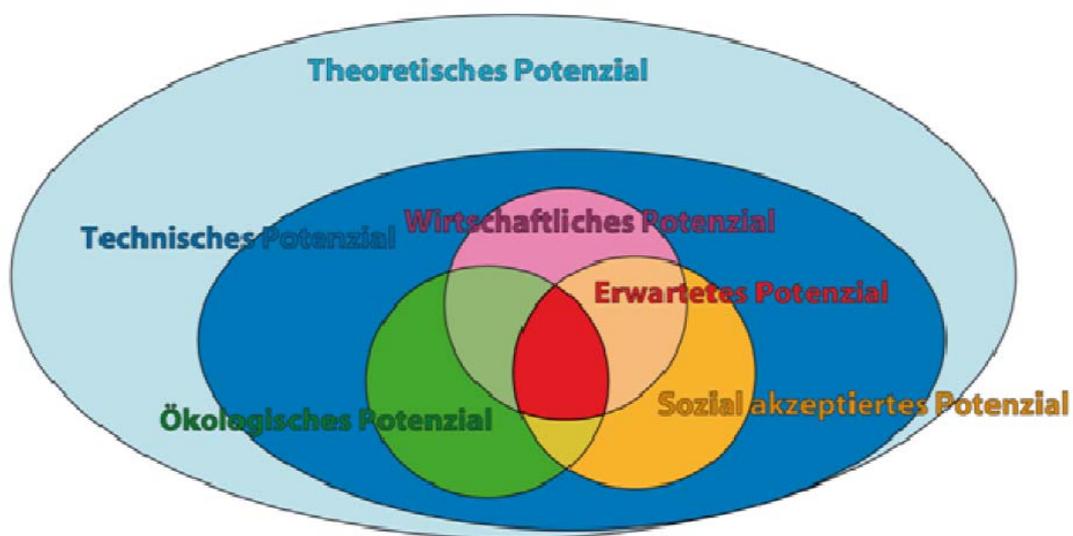
Das Aufführen der grauen Treibhausgasemissionen, die im Jahr 2008 schätzungsweise über 4400 Watt und 3.8 Tonnen CO₂-eq pro Kopf ausmachen, zeigt, dass diese deutlich über dem Ziel liegen. Wenn die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft auch in diesem Bereich erreicht werden sollen, müssen die Reduktionen noch grösser ausfallen. Bei einer Reduktion des direkten Energieverbrauchs auf die Zielwerte würden bei gleich bleibendem Konsum die 2000-Watt-Zielsetzung um mehr als das Doppelte und die 1-Tonne-CO₂-Zielsetzung mehr als das Vierfache übertroffen.

Das Erreichen der Zielwerte wird eine weitgehende Nutzung der Effizienzpotenziale und auch der Potenziale der erneuerbaren Energien erfordern. Im nachfolgenden Kapitel werden die entsprechenden Nutzungspotenziale für die Stadt Luzern analysiert.

6 Potenziale für Energieeffizienz und erneuerbare Energien

Im folgenden Kapitel werden die Potenziale für Energieeffizienz und erneuerbare Energien für die Stadt Luzern abgeschätzt. Dies erfolgt hauptsächlich auf der Basis bestehender Untersuchungen und anhand der Grundlagen, die im Rahmen der Studie «Volkswirtschaftliche Marktanalyse für die Energieregion Luzern» (econcept 2008) erarbeitet wurden.

Bei der Analyse von Potenzialen für die Steigerung der Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energieträger für die zukünftige Energieversorgung, sind die Potenzialbegriffe gemäss Figur 23 zu unterscheiden.



Quelle: Energie Dialog Schweiz (ETS 2009b)

Figur 23: Illustration der Potenzialbegriffe. Die nachfolgenden Abschätzungen weisen das erwartbare Potenzial (rot) aus.

Das theoretische Potenzial basiert auf den physikalischen Möglichkeiten zur Steigerung von Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Ressourcen. Welcher Anteil davon effektiv genutzt werden kann, wird mit dem technischen Potenzial umschrieben. Bei vielen Potenzialen ist es sinnvoll, ihren Nutzungsgrad aus ökologischen Gründen weiter zu begrenzen, beispielsweise aufgrund von Landschaftsschutzanliegen oder Restwassermengen bei der Wasserkraft oder aus Gründen einer nachhaltigen Bewirtschaftung des Waldes. Beim wirtschaftlichen Potenzial müssen die Gesamtkosten vergleichbar ausfallen, wie die von konkurrierenden Systemen oder Ressourcen. Je nach Entwicklung von energiepolitischen Rahmenbedingungen und Technologien, mit denen die verschiedenen Energieträger genutzt werden, ändern sich die Grössen der Potenziale und somit der Umfang, mit dem die Energieträger sinnvoll genutzt werden können. Es ist eine Aufgabe der Energiepolitik, die Schnittmenge aus ökologischem, wirtschaftlichem und sozial ak-

zeptiertem Potenzial zu erweitern, um den Marktakteuren die nachhaltige Nutzung von erneuerbaren Energieträgern und Energieeffizienzmassnahmen zu erleichtern.

In den nachstehenden Potenzialabschätzungen für Energieeffizienz und erneuerbare Energien wird in der Regel das «ökologische Potenzial» ausgewiesen.

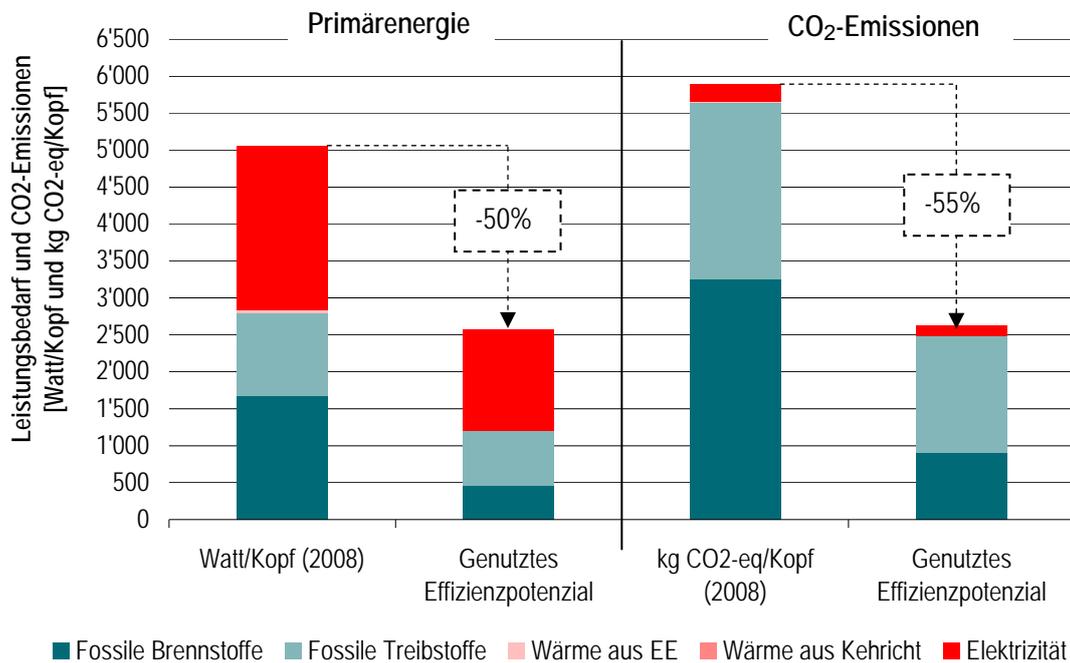
6.1 Energieeffizienz: Aktueller Stand und Einsparpotenziale

Die Abschnitte zum Thema Energieeffizienz sind so gegliedert, dass zuerst die Ergebnisse der Analysen präsentiert und anschliessend die Potenzialabschätzungen im Detail erläutert werden.

Die kontinuierliche Steigerung der *Energie- und Ressourceneffizienz in allen Verbrauchergruppen* ist unabdingbar, um die Ziele der schweizerischen und der internationalen Energie- und Klimapolitik sowie das übergeordnete Nachhaltigkeitsziel einer Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch zu erreichen. Im Vergleich zu anderen Massnahmen der Energie- und Klimapolitik sind Energieeffizienzmassnahmen oft vergleichsweise kostengünstig realisierbar (vgl. z.B. UN Foundation 2007, Fraunhofer ISI 2007). So geniessen beispielsweise für die kalifornischen Energieversorger Massnahmen für die systematische Steigerung der Energieeffizienz höchste Priorität «Energy Efficiency: California's Highest-Priority Resource», CPUC 2006).

Die nachfolgende Figur zeigt zusammenfassend die geschätzten Einsparpotenziale für den Leistungsbedarf pro Kopf (Ebene Primärenergiebedarf) und für den Ausstoss von CO₂-Emissionen pro Kopf der Stadt Luzern auf. *Die Schätzung der Effizienzpotenziale basiert auf der Annahme, dass heute verfügbare Technologien eingesetzt werden.* Eine weitere Steigerung der Effizienz einzelner Technologien kann zu grösseren Effizienzpotenzialen führen.

«Potenziale für die Reduktion des Leistungsbedarfs und des Ausstosses an CO₂ durch Nutzung des Effizienzpotenzials »



econcept

Figur 24: Leistungsbedarf und CO₂-eq Emissionen (Stufe Primärenergie) der Stadt Luzern: im Jahr 2008 und nach Nutzung der vorhandenen Energieeffizienz-Potenziale.

Im Anschluss wird aufgezeigt, wie gross die Effizienzpotenziale für Energieeinsparungen und für die Verringerung von CO₂-Emissionen in den Bereichen «Wärmebedarf von Gebäuden», «Prozesswärmebedarf in der Industrie», «Bedarf an Elektrizität» und «Energiebedarf für Mobilität» sind.

6.1.1 Effizienzpotenziale beim Wärmebedarf von Gebäuden

Der Wärmeverbrauch im Gebäudebereich kann massiv reduziert werden, wie die Entwicklungen der letzten Jahre bei Neubauten und bei energetischen Sanierungen zeigen. Die Potenziale variieren je nach Effizienzziel: Wenn z.B. der Gebäudebestand (geschätzter durchschnittlicher Endenergie-Verbrauch von 650 MJ/m²*a, Quelle: AWEL 2003) in Zukunft nach Minergie-P Standard mit einem verbleibenden Endenergieverbrauch von 108 MJ/m²*a saniert würde, könnten über 80% des Energieverbrauchs für Wärme im Gebäudebereich eingespart werden.

Um besser einordnen zu können, wie gross die erreichbaren Potenziale in Abhängigkeit des Gebäudestandards sind, wird nachfolgend eine Übersicht der Gebäudestandards für Neubauten und Sanierungen gezeigt.

- **SIA 380/1: 2009:** Die Norm SIA 380/1 ist in allen Kantonen die gesetzliche Grundlage für die Wärmebedarfsrechnung und legt die Grenzwerte für die Ermittlung des Heiz-

wärmebedarfs fest. Mit der letzten Revision von SIA 380/1 im Jahr 2009 wurden die Energiekennzahlen¹⁵ den Werten der MuKE n von 2008 angepasst.

- **Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich 2008 (MuKE n 2008):** Die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich wurden von der kantonalen Energiedirektorenkonferenz 2008 verabschiedet. Die MuKE n verwenden die bisherige Norm SIA 380/1:2007 als Berechnungsgrundlage, fordern aber um 20% verringerte Grenzwerte für den in Gebäuden zulässigen Wärmebedarf. Die MuKE n 2008 sind eine harmonisierte Vorgabe für die Kantone und sollen zum einen den Energieverbrauch des schweizerischen Gebäudeparks verringern und andererseits eine Vereinheitlichung der Bau- und Energievorschriften in den verschiedenen Kantonen fördern. Die im Jahr 2008 erlassenen MuKE n sollen von den Kantonen ab 2009 flächendeckend in die kantonale Gesetzgebung übernommen werden und gelten danach in den jeweiligen Kantonen als einzuhaltender Mindest-Standard. Im Kanton Luzern gelten die MuKE n 2008 ab 1. Januar 2009.
- **Minergie 2009:** Der Minergiestandard ist ein freiwilliger Qualitäts- und energetischer Baustandard. Nicht nur die Gebäudehülle, sondern das Gebäude als Ganzes wird betrachtet. Die Energie soll möglichst rationell eingesetzt werden. Erneuerbare Energien sollen breit genutzt werden, die Umweltbelastung soll gesenkt und eine Verbesserung der Lebensqualität erreicht werden. Der Minergiestandard erhebt den Anspruch auf eine gewissen Vorreiterrolle und ist deshalb nochmals strenger als die Vorschriften der MuKE n. Der Minergie-Standard verlangt für Neubauten, dass die Gebäudehülle Primäranforderungen erfüllt. So muss die Gebäudehülle zwingend wärme gedämmt und luftdicht sein. Zudem gilt: $Q_n \leq 90 \% Q_{n,li}$ von SIA 380/1:2009¹⁶. Für die Berechnung der Grenzwerte verwendet der Minergiestandard nicht die Energiekennzahl gemäss SIA 380/1. Stattdessen wird mit der Berücksichtigung von Nutzungsgraden η und mit dem Gewichtungsfaktor g ¹⁷ der eingesetzten Energieträgern eine «gewichtete Endenergiekennzahl» berechnet. Auch der für Lüftung und Klimatisierung benötigte Elektrizitätsaufwand E_{LK} ist Bestandteil der gewichteten Energiekennzahl und wird auch mit dem Faktor «g» gewichtet:

$$\underbrace{Q_{h,eff} \cdot \frac{g}{\eta}}_{\text{gewichtete Heizenergie}} + \underbrace{Q_{ww} \cdot \frac{g}{\eta}}_{\text{gewichtete Energie für Warmwasser}} + \underbrace{E_{LK} \cdot g}_{\text{gewichteter Elektrizitätsaufwand}} \leq \text{Minergiegrenzwert}$$

$Q_{h,eff}$: Nutzwärmebedarf für Heizung, unter Berücksichtigung der effektiven Lüftungswärmeverluste
 Q_{ww} : Nutzwärmebedarf für Warmwasser

Eine weitere Möglichkeit, um zum Minergie-Label zu kommen besteht darin, ein Haus konsequent mit Minergie-Modulen zu realisieren. Minergie-Module sind zertifizierte, energetisch relevante Bauteile.

¹⁵ Die Energiekennzahl ist ein Mass für die energetische Qualität eines Gebäudes. Berechnet wird sie gemäss: Energiekennzahl = Energieverbrauch pro Jahr / Energiebezugsfläche in m².

¹⁶ Q_n : Heizwärmebedarf; $Q_{n,li}$: Grenzwert für den Heizwärmebedarf

¹⁷ Beispielsweise ist g für Elektrizität 2 und für Geothermie 0

- **Minergie-P 2009 / Passivhaus:** Minergie-P entspricht in etwa einer schweizerischen Version des Passivhaus-Standards¹⁸. Der Standard erfordert ein eigenständiges, am niedrigen Energieverbrauch orientiertes Gebäudekonzept. Das Gebäude soll dabei integral, das heisst von der Gebäudehülle über die Haustechnik bis zu der Lage der Sanitärräume beurteilt werden. Unbedingt eingehalten werden müssen der spezifische Wärmeleistungsbedarf, der Heizwärmebedarf, die gewichtete Energiekennzahl, die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle und es dürfen nur Haushaltgeräte der Klasse A oder besser verwendet werden. Damit die vom Standard vorgeschriebene Energiekennzahl erreichbar ist, ist insbesondere beim Mehrfamilienhaus der Einsatz erneuerbarer Energien unverzichtbar.
- **Weitere Standards (Nullenergie und Plusenergie):** Nullenergiegebäude oder Plusenergiegebäude¹⁹ produzieren im Jahresdurchschnitt ebensoviel oder mehr Energie, wie sie verbrauchen. In der Regel handelt es sich um Gebäude, die nach dem Minergie-P-Standard gebaut sind und mittels Energieproduktionsanlagen (meist Photovoltaik und ev. solarthermische Anlagen) zusätzlich Energie produzieren. Da im Sommer mit den installierten Photovoltaikanlagen mehr Elektrizität produziert werden kann als benötigt, wird das Stromnetz gewissermassen als Speicher verwendet. Im Winter wird der Strom zum Teil wieder aus dem Netz bezogen. Für den Wärmebedarf für Warmwasser und Heizung entsprechen die weiteren Gebäudestandards in etwa dem Standard Minergie-P. Gemäss Koschenz und Pfeiffer (2005) kann der Wärmebedarf von Gebäuden technisch noch weiter gesenkt werden. Sie zeigen, dass der Raumwärmebedarf in einem Gebäude mit «hoch optimierter Gebäudehülle» nochmals um einen Faktor 3 gegenüber Minergie-P reduziert werden könnte (Koschenz und Pfeiffer, 2005, S. 37). Damit liesse sich bei einem typischen EFH ein Nutzenergiebedarf für Raumwärme von lediglich 17 MJ/m² EBF und Jahr erreichen. Im Vergleich mit den Werten von SIA 380/1:2009 entspricht dies einer Reduktion des Nutzenergiebedarfs für Raumwärme um mehr als 90%.

Diese Ausführungen zeigen, dass im Gebäudebereich ein enormes Effizienzpotenzial vorhanden ist. Eine Studie des Bundesamts für Energie (Kaufmann et al. 2007) geht davon aus, dass in Haushalten, Industrie und Gewerbe längerfristige Einsparpotenziale für Heizung und Warmwasser von 70 bis 90% bestehen. Die berechneten Einsparungen, die in Figur 24 gezeigt werden, basieren auf der Annahme, dass beim Wärmebedarf im Gebäudebereich für Raumheizung und Warmwasser gegenüber dem Ist-Zustand 2008 in Zukunft theoretisch 80% der eingesetzten Primärenergie eingespart werden kann. Die vollständige Umsetzung allein dieser Effizienzmassnahmen würde in Luzern zu einer Energieeinsparung von rund 2'720 TJ/a führen, was knapp einem Viertel des gesamten Primärenergieverbrauchs des Jahres 2008 entspricht. Um solche Einsparungen erzielen

¹⁸ Definition eines Passivhauses: «Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität erforderlich ist, gewährleistet werden kann - ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden.» [<http://www.1a-passivhaus.de/>; Stand: 27.10.2008]

¹⁹ Ein erster Prototyp wurde bereits 1994 errichtet und ab dem Jahr 2000 wurde eine Siedlung mit 59 Plusenergiehäusern in Freiburg im Breisgau errichtet. In der Schweiz wurde im Jahr 2001 das erste Plusenergiegebäude errichtet.

zu können, müsste ein grosser Teil des Gebäudeparks nach dem heute gültigen Minergie-P-Standard saniert werden.

Ob in Luzern absolute Energieeinsparungen in diesem Ausmass erreicht werden, hängt im Wesentlichen davon ab, nach welchem Gebäudebestand energetisch saniert wird. Des Weiteren spielt der Raumbedarf pro Person eine wesentliche Rolle: Um eine absolute Absenkung des Energiebedarfs zu erreichen, müssen mit zunehmender Wohnflächenbeanspruchung anspruchsvollere Gebäudestandards angewendet werden, damit die relativen Energieeinsparungen nicht durch den Mehrbedarf an Wohnfläche zunichte gemacht werden. Das gilt umso mehr, als mit wachsenden Effizienzansprüchen der relative Anteil des grauen Energieverbrauchs von Gebäuden zunimmt und immer relevanter wird. Das bedeutet, dass der Gebäudeverbrauch noch mehr reduziert werden muss (wobei es einen Trade off Verbrauchsreduktion ↔ grauer Energieverbrauch gibt), bzw. dass die Energieproduktion im Gebäude erhöht wird, bzw. dass der Verbrauch grauer Energie vermindert wird.

6.1.2 Energieeffizienz bei der Bereitstellung von Prozesswärme

Aktuell liegt die Energieeffizienz bei den Unternehmen mit energieintensiven Prozessen auf einem unterschiedlich hohen Niveau. Die Analysen im Zusammenhang mit den Zielvereinbarungen der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) zeigen, dass in allen Unternehmen weitere Verbesserungen wirtschaftlich realisierbar sind. Zurzeit nehmen die meisten der aus energetischer Sicht relevanten Unternehmen Luzerns am EnAW-Netzwerk teil.

Das wirtschaftliche Potenzial für Energieeffizienz steigernde Massnahmen liegt je nach Branche bei 10% und mehr. Für das technische Einsparpotenzial wird von 30 bis 40% (teilweise bis zu 95%) ausgegangen (Kaufmann et al. 2007). Bei einem angenommenen Einsparpotenzial von 30% des Bedarfs an Prozesswärme kann in Luzern insgesamt etwa 166 TJ/a eingespart werden. Dies entspricht ca. 1.4% des gesamten Primärenergiebedarfs des Jahres 2008 oder ca. der zehnfachen Menge der im Jahr 2008 mit erneuerbaren Energien produzierten Wärme.

6.1.3 Energieeffizienz im Elektrizitätsbereich

Unter den Massnahmen für mehr Energieeffizienz kommt dem *effizienten Elektrizitätseinsatz* eine Schlüsselrolle zu, da Elektrizität als hochwertige Energieform sehr vielseitig eingesetzt werden kann und beim Ersatz fossiler Energieträger (bspw. Wärmepumpen, Gebäudetechnik, Elektromotoren) vermehrt eingesetzt wird. Ein hocheffizienter Elektrizitätseinsatz ist daher zentral, um die Zunahme des Elektrizitätsverbrauchs zu begrenzen, um allfällige Versorgungsengpässe abzuwenden und um negative Umweltwirkungen eines vermehrt auf Elektrizität aufbauenden zukünftigen Energiesystems zu minimieren. Effizienztarife oder allgemein Anreize für mehr Stromeffizienz werden auch auf nationaler Ebene als wichtig erachtet und haben Eingang in die Aktionspläne des UVEK gefunden (z.B. Möglichkeit eines Erlasses von Mindestanforderungen). In der kürzlich erschiene-

nen Studie «Effizienzmassnahmen im Elektrizitätsbereich, Grundlagen für wettbewerbliche Ausschreibungen», die von econcept und INFRAS im Auftrag des BFE gemeinsam erarbeitet wurde (Dettli et al, 2009) werden folgende Effizienzpotenziale ausgewiesen.

Anwendungen	Haushalte	Dienstleistung, Gewerbe und Landwirtschaft	Industrie	Verkehr
Beleuchtung	60%	40%	40%	
Raumwärme	-	70%	70%	
Elektroheizung	70%	-	-	
Wärmepumpen	20%	-	-	
Warmwasser	-	50%	50%	
Elektroboiler	50%	-	-	
Wärmepumpen	20%	-	-	
übrige Haustechnik	60%	60%	60%	
Kühlen, Gefrieren	25%	-	-	
Waschen, Trocknen	30%	-	-	
Kochen, Geschirrspülen	25%	-	-	
übrige Haushaltgeräte	20%	-	-	
I & K (inkl. Unterhaltung)	-	30%	30%	
- Büro-/Kommunikation	30%	-	-	
- Unterhaltung	40%	-	-	
Gewerbliche Anwendungen		30%		
Industrie: mechanische Prozesse			25%	
Industrie: Prozesswärme			14%	
Industrie: Sonstige Anwendungen			10%	
Verkehr: Elektrische Antriebe ÖV				10%
Einsparpotenzial pro Sektor	42%	43%	23%	10%
Einsparpotenzial insgesamt gemessen am heutigen Gesamtverbrauch von Elektrizität: 34.2%				

Tabelle 34: Effizienzpotenziale im Elektrizitätsbereich gemäss Dettli et al. 2009.

Die vollständige Realisation aller Effizienzpotenziale der Stadt Luzern würde zu Energieeinsparungen von rund 1'940 TJ/a führen, was ca. 38% des gesamten Elektrizitätsverbrauchs oder 16% des gesamtem Primärenergieverbrauchs aus dem Jahr 2008 entspricht.

6.1.4 Energieeffizienz in der Mobilität

Der Energieverbrauch für Mobilität umfasst rund einen Drittel des Energieverbrauchs in der Schweiz, die Tendenz der letzten Jahre ist steigend (+1.5% 2005/2006, +2.8% 2006/2007, +3.2% 2007/2008; Quelle: Gesamtenergiestatistiken BFE 2006, 2007 und 2008). Für Luzern ist von einer ähnlichen Entwicklung auszugehen. Der steigende Energiebedarf zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse hat vielfältige Ursachen. Dazu gehören die Vorliebe für schwerere Fahrzeuge, ein immer besseres Angebot von Verkehrsinfra-

strukturen, raumplanerische Einflüsse, wie z.B. die Erschliessung von attraktiven Wohnlagen im Grünen sowie ein verändertes Kauf- und Freizeitverhalten. Die Wahl des Verkehrsmittels hat auch einen Einfluss, so wird z.B. durch eine Zugfahrt im Vergleich zur Benutzung des persönlichen Autos rund 5 mal weniger Primärenergie verbraucht und 20 mal weniger CO₂-Emissionen ausgestossen.

Die Möglichkeiten der Energieeffizienzsteigerungen bei der Mobilität sind vielfältig. Sie beinhalten die Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens (weniger und kürzere Wege sowie Verkehrsmittelwahl), Effizienzsteigerungen bei den einzelnen Fahrzeugen und der Antriebstechnologien (bis hin zur Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs). Der Verbrauch wird zusätzlich durch die Fahrweise beeinflusst. Die besten heute erhältlichen Fahrzeuge zeigen, dass sehr grosse Effizienzsteigerungen möglich sind: 3-Liter-Autos benötigen im Vergleich zum durchschnittlichen Verbrauch der im Jahr 2008 verkauften Personenwagen von 7.14 Liter / 100 km weniger als die Hälfte der Energie.

Der durchschnittliche CO₂-Ausstoss der verkauften Personenwagen in der Schweiz lag im Jahr 2008 bei 175 g/km. Die Schweiz sieht vor, dass für neue Personenwagen die CO₂-Grenzwerte der EU übernommen werden sollen, wonach der CO₂-Ausstoss bis 2010 auf 140 g/km gesenkt werden soll (Reduktion um 20% gegenüber 2008). Die Umweltverbände fordern bis 2020 eine Absenkung der CO₂-Emissionen auf 80 g/km. Elektroautos versprechen nochmals weitere Einsparungsmöglichkeiten. Demnach fällt es schwer, ein absolutes Effizienzpotenzial im Bereich der Mobilität vorauszusagen.

Eine Studie des Bundesamts für Energie (Kaufmann et al. 2007) geht für den motorisierten Individualverkehr von Einsparpotenzialen um 40%, für den Schwerverkehr um 25% und für den Schienenverkehr von rund 20% aus. Unter Verwendung dieser Potenziale liessen sich in Luzern alleine beim Strassenverkehr ca. 1'090 TJ/a einsparen (ca. 8% des Primärenergieverbrauchs von 2008). Langfristig ist aber davon auszugehen, dass grössere Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden können, z.B. durch die Förderung effizienter Leichtbau- oder Kleinfahrzeuge.

6.1.5 Verbesserung der Energienutzung mittels Einsatz von WKK

Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen (WKK) können durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme einen wichtigen Beitrag für eine energieeffizientere Energieversorgung leisten. Dem Prinzip nach wird Brennstoff in WKK-Anlagen zur Produktion von Strom verwendet und die Abwärme dieses Prozesses für die Heizung von Gebäuden oder als Prozesswärme. Damit lässt sich die Ausnutzung der in den Brennstoffen enthaltenen Energie verbessern. Ein Einsatz wärmegeführter WKK-Anlagen anstelle von heute üblichen Heizungen würde dazu führen, dass während der Heizperiode vermehrt Strom erzeugt würde, was die im Winter reduzierte Produktion von Strom aus Photovoltaikanlagen ergänzen könnte (Ökozentrum Langenbruck 2008). Für den Betrieb von WKK-Anlagen kommen grundsätzlich alle verfügbaren Brennstoffe in Frage.

Für die Abschätzung des Potenzials von WKK-Anlagen ist die zur Verfügung stehende Technologie von zentraler Bedeutung. Bisher werden WKK-Anlagen meist ausschliess-

lich in Wärmeverbänden eingesetzt, was das Nutzungspotenzial beschränkt. Gemäss Auswertungen des Energieverantwortlichen der Stadt Luzern waren im Jahr 2008 rund 19 BHKW mit Wärmeverbund in Betrieb, die insgesamt ca. 23.2 TJ Strom produzierten. Für eine solche Nutzung bestehen in Luzern einige Energieversorgungsstrukturen, die umgerüstet werden könnten. Gemäss Dettli und Philippen (2008) besteht z.B. im Stadtteil Littau mit dem Udelboden ein Areal mit einem Fernwärmenetz, dass mittels einer Holz-WKK-Anlage (auch Blockheizkraftwerk bzw. BHKW) mit Wärme versorgt werden könnte.

Der Einsatz von WKK-Anlagen und Technologien mit Leistungen von wenigen kW würde das Potenzial für WKK stark erhöhen, da so ein grosser Teil der Heizungen in Haushalten und Wirtschaftsbauten mit WKK-Anlagen ersetzt werden könnte. Gemäss Ökozentrum Langenbruck (2008) sind die Technologien dafür heute schon marktreif. In der Realität werden aber kaum kleine WKK-Anlagen eingesetzt. Die Entwicklung in Deutschland, mit einer Förderung von WKK-Anlagen ist interessant, da dort Erfahrungen mit den verfügbaren Systemen gesammelt werden. Die Nutzung von Brennstoffzellen würde die Möglichkeiten von WKK-Anlagen nochmals massiv verbessern. Bis heute gibt es jedoch noch keine marktreifen Brennstoffzellen. Die Entwicklung von kleinen WKK-Anlagen eröffnet vielversprechende Nutzungsmöglichkeiten. So fordert das Ökozentrum Langenbruck in seiner «Vision einer Schweizer Energieversorgung mit Zukunft», dass bei Verbrennungsprozessen in Zukunft grundsätzlich immer auch Elektrizität produziert werden soll.

6.1.6 Fazit zum Energieeffizienz-Potenzial

Die regionalen Energie-Effizienzpotenziale sind gross und würden bei einer vollständigen Nutzung im Vergleich zum Jahr 2008 zu einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 50 % und des CO₂-eq Ausstosses um 55 % führen.

Primärenergie in TJ/a (gerundet)	Verbrauch 2008	Verbrauch bei genutztem Potenzial	Einsparbare TJ (gerundet)	Reduktion gegenüber 2008
Raumwärme + Warmwasser	3'415	685	2'730	80%
Prozesswärme	555	390	165	30%
Mobilität	2'665	1'760	905	34%
Elektrizität	5'325	3'300	2'035	38%

Tabelle 35: Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz.

Im Gebäudebereich können mit der Realisation von anspruchsvollen Baustandards die grössten absoluten Effizienzpotenziale realisiert werden. Die Nutzung von WKK-Anlagen würde darüber hinaus eine Verbesserung des Energieinhalts heute eingesetzter Brennstoffe ermöglichen. Weiter bestehen grosse absolute Effizienzpotenziale bei der Elektrizität und bei der Mobilität. Inländische Innovationen im Mobilitätsbereich sind bei Treibstoffen und im Zulieferbereich für die ausländische Automobilindustrie zu erwarten sowie bei Mobilitätsdienstleistungen und neuartigen Mobilitätsangeboten.

6.2 Erneuerbare Energie: nutzbare lokale Ressourcen

In den folgenden Betrachtungen wird wie bei der Analyse der Effizienzpotenziale zuerst die Zusammenfassung präsentiert und diese dann danach erläutert. Die Potenzialabschätzung für erneuerbare Energien zeigt eine Grössenordnung auf, so dass ersichtlich wird, welche Ressourcen in welchem Ausmass zum Erreichen der CO₂-Ziele beitragen können.

Durch die Fusion von Luzern und Littau wird das eher dicht besiedelte Gebiet der Gemeinde Luzern um ein eher ländliches Gebiet erweitert. Dies ist für die Abschätzung der Potenziale der erneuerbaren Energien relevant, da so grundsätzlich mehr Nutzungsmöglichkeiten bestehen, als in einem rein städtischen Gebiet. Die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energieträger bildet neben der Steigerung der Energieeffizienz die zweite Säule der zukünftigen Energiepolitik.

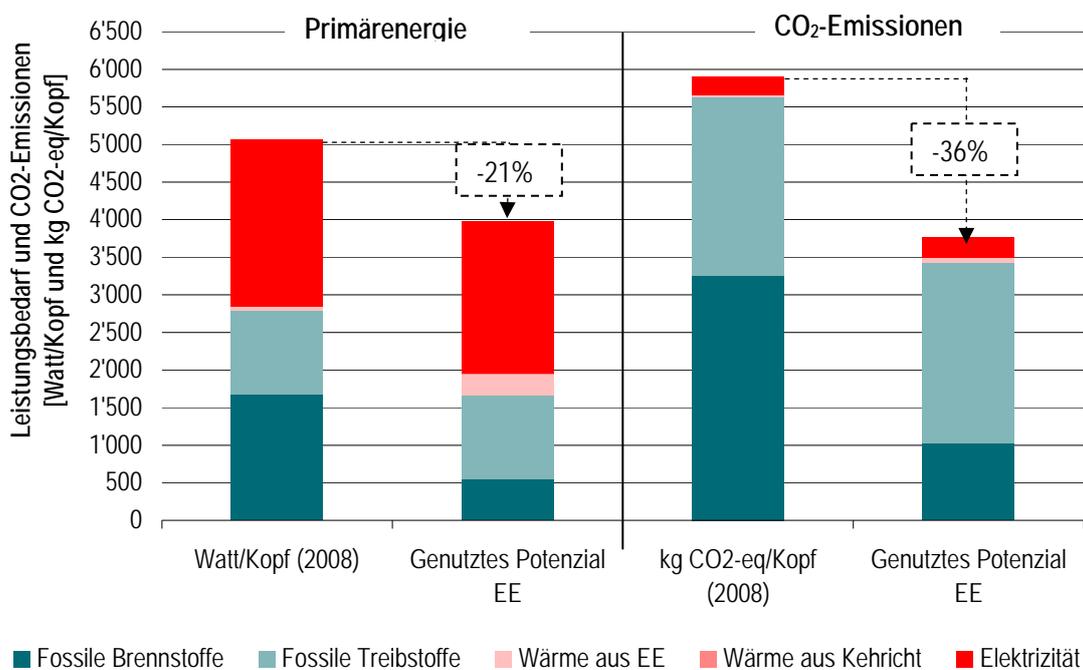
Zusammenfassend zeigt sich bei den Potenzialen der erneuerbaren Energieträger, dass gerade bei der Solarenergie noch grosse ungenutzte Potenziale für die Produktion von Strom und Wärme bestehen. Eine weitere wichtige erneuerbare Energiequelle ist die Biomasse aus Landwirtschaft, Siedlungen und Wald, die jedoch heute schon relativ umfassend genutzt wird. Bei der Erdwärme ist ein weiteres ungenutztes Potenzial vorhanden. Die Erschliessung der erneuerbaren Energieträger bietet Chancen für das lokale Gewerbe, da die Technologien kleinräumig eingesetzt werden können.

Figur 25 zeigt die geschätzten Potenziale für die Substitution der fossilen Energieträger durch erneuerbare für den Leistungsverbrauch pro Kopf (Ebene Primärenergie) und den Ausstoss an CO₂-eq pro Kopf für das Untersuchungsgebiet der fusionierten Stadt Luzern.

Für die Berechnung der Säulen mit den reduzierten Verbräuchen (Figur 25) wird angenommen, dass das gesamte Solarthermie- und Energieholz-Potenzial für die Substitution von Brennstoffen verwendet wird. Beim Biomassepotenzial wird angenommen, dass das gesamte Potenzial für die Produktion von Strom (44 %) und Wärme (56 %) verwendet wird. Auf dem Gebiet von Luzern bestehen bei den vorgenommenen Zuordnungen keine Potenziale zur Substitution von Treibstoff (allerdings könnte auf dem Gemeindegebiet produziertes Gas auch als Treibstoff eingesetzt werden). Bei der Elektrizität wird angenommen, dass die erneuerbaren Energieträger erstens fossile Stromproduktion ersetzen (tendenziell teuer und nicht von eigenen Anlagen) und zweitens Elektrizität aus Kernenergie. Die Nutzung von Umweltwärme führt überdies zu einem Mehrbedarf an Strom. Dies wurde dadurch berücksichtigt, dass ein Viertel der Umweltwärme zum Stromverbrauch addiert wurde (Annahme, dass zukünftig eine Jahresarbeitszahl von 4 erreicht wird). Dieser Mehrbedarf von ca. 420 TJ wurde gleichmässig auf den zukünftigen Energiemix aus Kernenergie, Kehrlichtverbrennung, Photovoltaik, Wind und Wasserkraft verteilt. Falls die so vorgenommenen Zuteilung die Potenziale der erneuerbaren Energien auf dem Gemeindegebiet übersteigt, wird angenommen, dass die Differenz von ausserhalb zugekauft wird (z.B. bei der Windenergie). Da es hier darum geht, die Grössenord-

nung der Potenziale erneuerbarer Energien zur Reduktion des Leistungsbedarfs und des Ausstosses an Treibhausgasemissionen aufzuzeigen, wird darauf verzichtet, die Zuteilungen genauer herzuleiten.

« Potenziale der erneuerbaren Energien für die Reduktion des Leistungsbedarfs und des Ausstosses an CO₂-eq »



econcept

Figur 25: Leistungsbedarf und CO₂-eq Emissionen (Stufe Primärenergie) der Stadt Luzern: im Jahr 2008 und nach Substitution der nicht-erneuerbaren Energieträger mit den auf dem Gemeindegebiet potenziell vorhandenen erneuerbaren Energieträgern unter Berücksichtigung des Mehrbedarfs an Strom für die Nutzung von Umweltwärme (bei einer Jahresarbeitszahl von 4).

Nachfolgend wird das Potenzial zur Nutzung erneuerbarer Energien für die Produktion von Wärme und die Produktion von Elektrizität für das Untersuchungsgebiet Luzern für die verschiedenen Energieträger im Einzelnen abgeschätzt.

6.2.1 Erneuerbare Wärme

Die Produktion von Wärme kann mittels Solarenergie, Biomasse inkl. Holz und inkl. biogenem Anteil im Abfall, Umweltwärme sowie mittels Abwärme erfolgen. Je nach System kann dieses in einer monovalenten (als einziges Heizsystem, z.B. bei Holzfeuerungen oder Wärmepumpen) oder bivalenten Ausführung (z.B. bei Sonnenkollektoren) zum Einsatz kommen. Nachfolgende Tabelle zeigt die Potenzialabschätzung in einer Übersicht.

Endenergie in TJ/a	Nutzung 2008	Potenzial	Steigerungsfaktor
Solarthermie	5	515	103
Holzenergie	20	30	1.5
Biomasse ohne Holz	5	25	5
Umweltwärme	56	1'755	31
Abwärme KVA und Abwasser	98	130	1.3

Tabelle 36: Potenziale erneuerbarer Energien für die Produktion von Wärme.

Solarthermie

Die Abschätzung des Potenzials der Nutzung von **Solarthermie** basiert auf Potenzialschätzungen für den Kanton Zürich und Erfahrungswerten aus eigenen Berechnungen für eine Zürcher Gemeinde (Klingler et al. 2009), wonach bei heutiger Technologie mindestens 15% des gesamten Wärmeverbrauchs der Gemeinde durch Sonnenkollektoren gedeckt werden kann. Für Luzern entspricht das ca. 515 TJ/a. Welcher Anteil des Wärmebedarfs tatsächlich mit Solarthermie gedeckt werden kann, hängt davon ab, welches Temperaturniveau das jeweilige Heizsystem aufweist, wie gross Wärmespeicher dimensioniert werden und wie gut ein Gebäude isoliert ist. Technisch wäre es möglich, einen Wärmespeicher so auszulegen, dass die Wärme saisonal gespeichert werden kann und eine ganzjährige solare Deckung des Wärmebedarfs erreicht wird.

Der Wert von 15% berücksichtigt heute übliche System-Lösungen für die Bereitstellung von Warmwasser oder die Realisierung einer Heizungsunterstützung und basiert auf der Annahme, dass nur Dachflächen ohne Nutzungskonkurrenz mit mindestens 80% der maximal möglichen Solareinstrahlung genutzt werden (keine Freiflächen und Fassaden). In der nachfolgenden Aufzählung werden die für die Potenzialabschätzung beachteten Punkte im Detail erläutert:

- *Sonneneinstrahlung/Orientierung*: Die Sonneneinstrahlung innerhalb des schweizerischen Siedlungsgebietes variiert lediglich +/-10%. Nur sehr hoch gelegene Gebiete verfügen über eine stärkere Sonneneinstrahlung. Für die Nutzung in der Gemeinde ist es vor allem wichtig, die lokalen Einstrahlungsverhältnisse in technologischer und architektonischer Hinsicht zu berücksichtigen (BFE 2006). Die Menge der Einstrahlungsenergie hängt insbesondere von der Ausrichtung, also von Himmelsrichtung und Neigungswinkel der nutzbaren Dächer ab. Für einen maximalen Solarertrag sollte die Modulfläche gegen Süden gerichtet sein und eine Neigung von 45 Grad haben. Die im Mittelland vorherrschenden Strahlungsverhältnisse, mit einem grossen Anteil an diffusem Licht, erlauben, dass von der idealen Neigung abgewichen werden kann, ohne dass dies zu grossen Ertragseinbusen führt (BFE 2006). Die Beachtung der Himmelsrichtung ist wichtiger: Der Solarertrag von nach Süden ausgerichteten Dächern ist erheblich höher, als von solchen, die Richtung Osten, Westen oder gar Norden ausgerichtet sind. Daher werden für die Potenzialabschätzung nur Dachflächen berücksichtigt, die Richtung West, Süd oder Ost zeigen. Die Dachflächen mit einer Ausrichtung zwischen Südwest bis Südost weisen in der Regel eine Solareinstrahlung

von grösser als 90% des lokalen Maximums auf. Dächer mit einer Ausrichtung zwischen Ost und Süd-Ost oder West und Süd-West erreichen einen Solarertrag von etwa 80-90% des lokalen Maximums (BFE 2006).

- *Verschattung und Aufbauten:* Aus solar-architektonischer Sicht müssen für die Potenzialabschätzung Faktoren wie Struktur und Nutzungskonkurrenz sowie Verschattung durch Aufbauten, Nachbargebäude und Vegetation bewertet werden. Es ist schwierig diese Faktoren ohne genauere Untersuchung der einzelnen Objekte abzuschätzen. Die Potenzialabschätzung für Luzern basiert auf einer durch econcept erstellten Potenzialabschätzung für eine Zürcher Gemeinde, bei der nur die nutzbaren Dachflächen auf Orthofotos ausgemessen wurden. Dieses Vorgehen erlaubt die Berücksichtigung der Nutzungskonkurrenz durch Dachfenster, Aufbauten etc. Bei Flachdächern wird aufgrund der Anordnung und der Verschattungsabstände der Modulreihen nur 50% der nutzbaren Fläche als Potenzialfläche gezählt.
- *Ortschaftsbild und Denkmalschutz:* Der ästhetische Aspekt ist ein weiterer Faktor, der betrachtet werden muss. Gemäss Auskunft der Stadt Luzern stehen mit 200 Gebäuden aktuell rund 2.2 % aller Gebäude unter Denkmalschutz. Für Luzern kann etwa davon ausgegangen werden, dass 2% aller Gebäude unter Denkmalschutz stehen. Die Dachflächen dieser Gebäude zählen nicht zur nutzbaren Fläche.
- *Nutzungskonkurrenz Solarthermie/Photovoltaik:* Bei der Schätzung des Potenzials solarenergetischer Anlagen muss berücksichtigt werden, dass die Stromgewinnung durch Solarzellen in Konkurrenz zur Solarthermie steht. Jeder durch Sonnenkollektoren belegte Quadratmeter Dachfläche steht der Photovoltaik nicht mehr zur Verfügung. Da die Nutzung der Solarthermie auf die tatsächliche Warmwasser- oder Heizenergienutzung in den jeweiligen Gebäuden abgestimmt werden muss, gehen wir in Anlehnung an Nowak et al. (2007) davon aus, dass maximal 22% der nutzbaren Dachflächen für die Solarthermie genutzt werden kann.

Es ist anzumerken, dass die hier verwendete Potenzialschätzung konservativ ist und deswegen tendenziell tiefer als das bis im Jahr 2050 realisierbare Nutzungspotenzial liegen dürfte. So schätzen Frei und Hawkins (2004), dass in der Schweiz über 30% des gesamten Wärmebedarfs durch solarthermische Anwendungen gedeckt werden könnten.

Biomasse

Für die Nutzung von **Biomasse** für die Produktion von Wärme werden die Potenziale von Holz und von Biomasse ohne Holz unterschieden. Eine konkrete Potenzialabschätzung für Luzern zu erstellen, ist schwierig, da neben den verfügbaren Flächen für die Produktion von Biomasse und die Haltung von Tieren auch die Realisation konkreter Anlagen eine Rolle spielt. Wenn z.B. die heutige Kehrlichtverbrennungsanlage an einen neuen Standort kommt und das bestehende Wärmenetz mit einem Holzkraftwerk versorgt wird, würde die genutzte Holzmenge in Luzern ansteigen. Zudem sind die Gemeindegrenzen keine echte Begrenzung des Nutzungspotenzials, da ohne Weiteres Holz von anderen Gemeinden zugekauft werden kann (was zur Nutzung der schweizerischen oder kantona-

len Energieholzpotenziale unerlässlich ist). Bezüglich der Produktion von Biogas zeigt die neue Anlage in Inwil (Swiss Farmer Power), die unter mehrheitlicher Beteiligung von ewl realisiert wurde und Biomasse von über 70 Bauern verwertet, dass die Gemeindegrenzen für die Realisierung derartiger Projekte offensichtlich keine Begrenzung darstellen.

Für die Schätzung des **Energieholzpotenzials** greifen wir auf die Potenzialanalyse zurück, die für den Kanton Luzern in Zusammenhang mit der Erstellung des kantonalen Energiekonzepts durchgeführt wurde (Grundlagenbericht des uwe, erstellt von econcept 2007). Dort wurde angenommen, dass in den Wäldern des Kantons Luzern ein ungenutztes ökologisches Waldholz-Potenzial von 200'000 m³ pro Jahr verfügbar ist. Wenn davon rund ein Drittel energetisch genutzt würde, könnten rund 650 TJ/a Energie gewonnen werden. Ein einfacher Vergleich der Waldflächen des Kantons mit denjenigen des Untersuchungsgebiets der fusionierten Stadt Luzern ermöglicht eine grobe Schätzung des zusätzlich nutzbaren Holzenergiepotenzials. Demnach sind rund 0.15% des kantonalen Waldes auf dem Gebiet der Stadt Luzern zu finden (insgesamt 607 ha). Vorausgesetzt, dass in diesen Wäldern durchschnittlich dasselbe ungenutzte Holzpotenzial besteht, wie in den Wäldern des Kantons, könnten zusätzlich knapp 10 TJ/a Holzenergie produziert werden. Dies entspricht ca. 55% der im Jahr 2008 verbrauchten Holzmenge oder ca. 0.3 % des Endenergieverbrauchs von Brennstoffen im Jahr 2008.

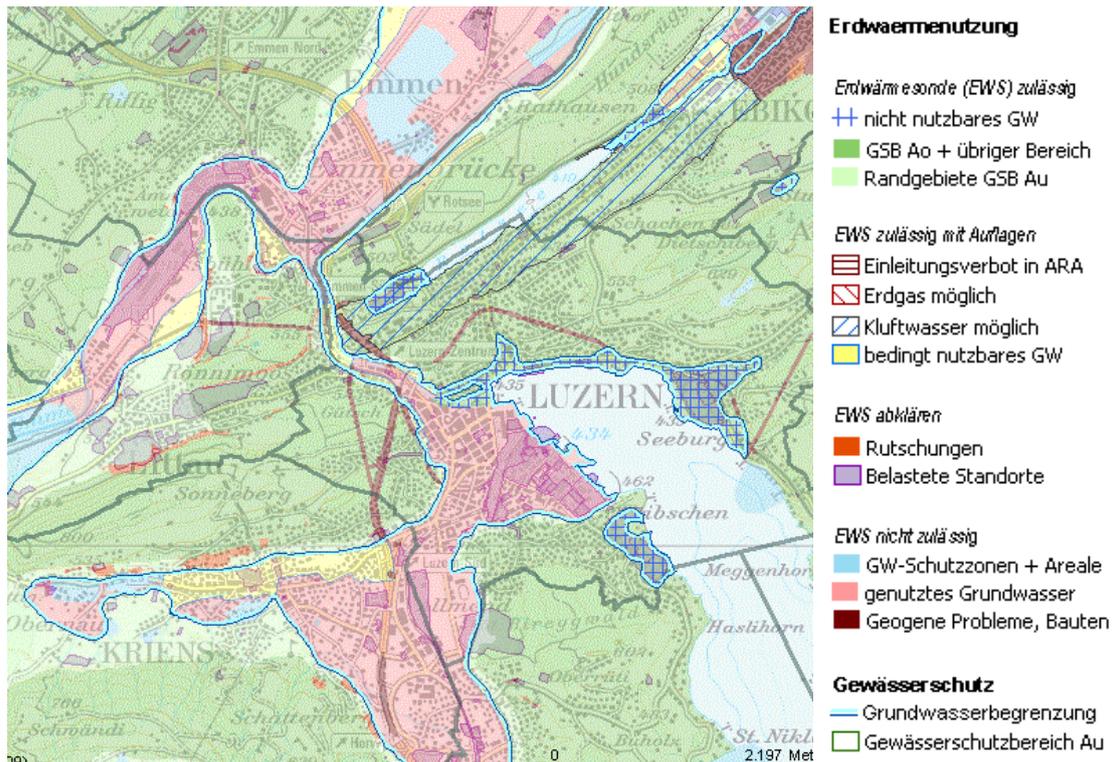
Das Potenzial zur Nutzung von **Biomasse ohne Holz** hängt von der Anzahl Nutztiere und den vorhandenen Flächen für die Produktion nachwachsender Biomasse ab (ohne gezielten Anbau von Pflanzen für die Energieerzeugung, auf welchen wegen einer möglichen Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion gemäss Biomassestrategie des Kantons darauf verzichtet werden soll). Zusätzlich kommt es auch hier darauf an, ob in Verbänden von mehreren Bauern Biogasanlagen gebaut werden können und ob dabei die Abnahme der Wärmeenergie möglich ist. Wir schätzen das Potenzial nach derselben Methodik wie bei der Holzenergie, auf Basis des Grundlagenberichts für das Energiekonzept des Kantons. Demnach könnten bei schätzungsweise 1'880 Grossvieheinheiten (GVE) auf dem Gebiet der Stadt Luzern unter Ausnutzung des ökologischen Nutzungspotenzials der anfallenden Menge an «Ernterückständen, Gülle und Mist» ca. 35 TJ/a gewonnen werden²⁰. Davon fallen in einer typischen Biogasanlage (vgl. Fussnote) ca. 56 % als Wärme an, was ein Wärmepotenzial von 20 TJ/a ergibt. Hinzu kommt noch die potenzielle Nutzung von Co-Substraten, wie Gastronomieabfällen oder Speise- und Grünabfällen von Luzern.

Umweltwärme und Geothermie

Das **Umweltwärme**-Potenzial ist theoretisch sehr gross. Zur nutzbaren Umweltwärme werden die Wärme der Erde, von Seen, Flüssen und Grundwasser sowie der Luft gezählt.

²⁰ Eine typische Biogasanlage, wie z.B. die Biogasanlage Ittingen verarbeitet die anfallende Substanz von ca. 100 GVE (ca. 2'300 t Rindergülle) und ca. 100 t Co-Substrate zu ca. 500 MWh Strom (netto) und 625 MWh Wärme (brutto) pro Jahr. Dies entspricht einer Produktion von ca. 1.8 TJ/a Strom und 2.25 TJ/a Wärme. D.h. zur Ausschöpfung des oben berechneten Potenzials müssten ca. 8 Biogasanlagen mit einem Blockheizkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 100 kW erstellt werden (Informationen von www.biomasseenergie.ch).

- Die Nutzung von Erdwärme bzw. **Geothermie** in mittleren (300m bis 2'000 m) und grossen Tiefen (4 bis 6 km) ist in der Schweiz zurzeit noch kaum verbreitet. Abklärungen von econcept und bap Group (2008) haben ergeben, dass die Nutzung von Geothermie theoretisch am Standort der jetzigen KVA (Ibach) möglich wäre. Dazu folgendes Zitat aus dem Bericht von econcept und bap Group (2008, S.18/19): «Für die Wärmeversorgung am Standort Ibach könnten sich gemäss Auskunft von Geologen tiefliegende Aquifer eignen. Unter dem Standort Ibach liegen voraussichtlich in einer Tiefe von 4 - 6 km wasserdurchlässige Schichten (mesozoisches Sedimentbecken) welche eine Temperatur von 145°C aufweisen. Dieses Wasser würde an die Erdoberfläche gepumpt und für die Heizung des Fernwärmenetzes genutzt werden. Es ist zu prüfen, ob eine zusätzliche Stromproduktion mittels Dampfturbine wirtschaftlich vorteilhaft wäre. Das geförderte Wasser weist voraussichtlich eine hohe Salzkonzentration auf und muss deshalb in einem zweiten Bohrloch wieder in die Tiefe gepumpt werden. Die Eignung des Standorts Ibach für eine Geothermienutzung müsste mit einer geologischen Machbarkeitsstudie abgeklärt werden. Gewissheit, ob eine Nutzung möglich ist, gibt es nach Aussagen von Geologen erst, wenn eine erste Probebohrung effektiv auf Aquifer mit benötigter Temperatur und Energieliefermenge stösst. Eine Probebohrungen kostet um 15 Mio. Fr. und ist eine verlorene Investition für das Fernwärmenetz, falls das Ergebnis negativ ausfällt». Da eine Nutzung zwar möglich aber sehr unsicher ist, wird im vorliegenden Bericht kein Geothermie-Potenzial ausgewiesen.
- Die **Erdwärme** wird meist mittels oberflächennahen Erdwärmesonden genutzt (rund 50 bis 300 Meter Tiefe). Die Erdwärmennutzung in geringen Tiefen ist sowohl für kleinere wie grössere Objekte geeignet. In Luzern sind Erdwärmesonden in Gebieten mit Grundwassernutzung untersagt (vgl. Figur 26, hellviolett eingefärbte Gebiete südwestlich des Sees in Luzern und östlich der kleinen Emme im Stadtteil Littau). In Gebieten mit dunkelvioletter Umrandung ist jeweils im Einzelfall abzuklären, ob Erdwärmesonden installiert werden können.



Figur 26: Erdwärmesondenkarte von Luzern: In den grün eingefärbten Gebieten ist eine Nutzung zulässig. In den hellviolett eingefärbten, blau umrandeten Gebieten (entlang der Reuss, der kleinen Emme und süd-westlich des Sees) sind Erdwärmesonden nicht erlaubt (genutztes Grundwasser). In Gebieten mit dunkelvioletter Umrandung muss die Nutzung der Erdwärme im Einzelfall geprüft werden (Belastete Standorte). Quelle: Geoportal Kanton Luzern, www.geo.lu.ch, Zugriff am 23.11.2009.

- Die Nutzung von **Seewasser** zu Heiz- und Kühlzwecken ist eher für grössere Anlagen geeignet. Dies hängt einerseits mit dem erheblichen Wartungsaufwand derartiger Anlagen zusammen. Andererseits wird der See durch eine Konzentration auf Grossanlagen mit weniger Infrastrukturanlagen belastet. Wo diese Voraussetzungen gegeben sind, lässt sich eine Anlage zur Nutzung des Seewassers heute wirtschaftlich betreiben. Die Nutzung der Umweltwärme aus dem See ist entlang des gesamten Ufers möglich (im Seebecken von Luzern wird die Seewassernutzung allerdings durch die geringe Wassertiefe begrenzt).
- Die Nutzung von **Grundwasser** ist in den See anliegenden Gebieten im Norden und Nordosten des Sees möglich (vgl. Figur 26, Blau umrandete Gebiete mit Gitterlinie).
- Die Nutzung von **Flusswasser** scheint an der Reuss vereinzelt möglich (Gebiete, die nicht hellviolett eingefärbt sind) an der kleinen Emme ist gemäss Erdwärmennutzungskarte eine Nutzung ausgeschlossen.
- Die Wärme der **Luft** kann auch mittels Wärmepumpen genutzt werden. Da die Effizienz einer Wärmepumpe stark von der Temperatur der Wärmequelle abhängt, nimmt der Wirkungsgrad einer Luft-Wärmepumpe, die die Aussenluft nutzt, mit abnehmender Aussentemperatur ab. Dies wirkt sich besonders im Winter, bei tiefen Aussentemperaturen und gleichzeitig hohem Wärmebedarf, negativ aus. Da fast auf dem ge-

samten Gemeindegebiet Erd- oder Seewärme genutzt werden kann, sind aus Effizienzgründen grundsätzlich diese beiden Nutzungsarten der Nutzung von Aussenluft als Wärmequelle vorzuziehen.

Die Nutzung von Umweltwärme hat sich in Gebäuden und teilweise in Industrie und Gewerbe als Standard etabliert. Neben der bereits vorhandenen Nutzung der Erdwärme und des Seewassers besteht ein weiteres Potenzial. Grundsätzlich könnte in den Gebieten, in denen eine Nutzung von Erdwärmesonden zulässig ist, der gesamte Wärmebedarf mittels der Nutzung der Umweltwärme gedeckt werden. Die so gewonnene Wärme kann aber nur dann uneingeschränkt als erneuerbar gelten, wenn der Strom für den Betrieb der Wärmepumpen erneuerbar produziert wird.

Für die vorliegenden Potenzialschätzungen wird davon ausgegangen, dass mindestens 50 % des gesamten Brennstoffverbrauchs des Jahres 2008 mittels Nutzung der Umgebungswärme der Erde und des Sees gedeckt werden könnte. So könnten insgesamt ca. 1'500 TJ/a Endenergie aus Umweltwärme gewonnen werden. Bei einer Jahresarbeitszahl von 4 müssten dafür ca. 375 TJ/a Elektrizität eingesetzt werden. Als Folge der technologischen Entwicklung (bzgl. Wärmepumpen und Niedertemperaturheizungen in gut gedämmten Gebäuden) wird sich der Wirkungsgrad der Wärmepumpen in Zukunft noch verbessern.

Abwärmennutzung

Die Nutzung vorhandener **Abwärmequellen** ist ein weiteres wichtiges Standbein einer zukünftigen Energieversorgung. Hierzu zählen sowohl die Nutzung von Abwärme aus Industriebetrieben und Kehrlichtverbrennungsanlagen, als auch von Abwärme aus Abwasserkanälen und Abwasserreinigungsanlagen. Diese Potenziale hängen stark von den lokalen Gegebenheiten bei den Wärmelieferanten und bei den möglichen Wärmeabnehmern ab. Für die Nutzung von Abwasserkanal-Abwärme müssen beispielsweise die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein, damit sich eine Nutzung lohnt (gemäss Müller et al. 2005):

- *Anforderungen an die Gebäude:* Die Nutzung wird dann interessant, wenn die angeschlossenen Gebäude oder Gebäudegruppen einen grösseren Wärmeleistungsbedarf aufweisen (ca. 150 kW, was etwa dem Bedarf von 100-150 Wohneinheiten entspricht). Generell nimmt die Wirtschaftlichkeit mit einer Zunahme der Überbauungsdichte zu. Gebäudestandorte nahe am Abwasserkanal und Gebäude mit Niedertemperaturheizsystemen haben vorteilhafte Voraussetzungen.
- *Anforderungen an den Abwasserkanal:* Der Kanal soll einen Mindestabfluss von 15 Liter pro Sekunde (Tagesmittelwert bei Trockenwetter) aufweisen. Die von Müller et al (2005) gemachte Angabe, dass ein Kanal einen Durchmesser von mindestens 80 cm aufweisen muss, gilt nicht mehr (gemäss mündlicher Auskunft von Ernst A. Müller, 21.10.2009). Längere, gerade verlaufende Abschnitte vereinfachen den Einbau des Wärmetauschers. Müller et al. (2005, S. 7): «Ideal ist ein gerader Abschnitt von mindestens 20 m, bei grossen Anlagen sogar 100 m Länge».

Im Rahmen eines Projekts von LuzernPlus untersuchte econcept, wo die Nutzung von Abwärme in den LuzernPlus-Gemeinden möglich ist (Dettli und Philippen 2008). Dabei wurden mehrere Standorte identifiziert: In der Stadt Luzern wurden Projekte zur besseren Nutzung der KVA-Abwärme und zur Nutzung von Kanalabwärme in der Gegend Hirschengraben und Pilatusplatz und -strasse vorgeschlagen. Die Kanalabwärme an der Hirschmattstrasse wird heute genutzt (Haus der Concordia-Versicherung), am Hirschengraben ist eine Nutzung im Bau (Haus der Axa-Versicherung) und die Projektideen für Pilatusplatz, und –strasse wurden nach Vorabklärungen verworfen. Das gesamte Potenzial zur Nutzung der Kanalabwärme wurde mit «einigen GWh pro Jahr» beziffert. Die Projekte zur Nutzung der Abwärme der KVA haben ein zusätzliches Potenzial von über 30 TJ/a, wurden aber zurückgestellt, bis der Ersatz der KVA Ibach geklärt ist. Wenn die neue KVA am Standort Perlen gebaut wird, muss eine Lösung für den Ersatz der Wärmequelle der jetzigen KVA gefunden werden.

Unter diesen Umständen ist es schwierig eine Schätzung des Potenzials für die Nutzung von Abwärme anzugeben. Wir gehen an dieser Stelle davon aus, dass für Abwärme der KVA und aus Kanälen mindestens 30 TJ/a zusätzlich genutzt werden können.

6.2.2 Erneuerbare Elektrizität

Erneuerbare Elektrizität kann mit folgenden Energieträgern produziert werden: Solarenergie, Windkraft, Wasserkraft (inkl. Turbinierung von Trinkwasser), Biomasse und Kehricht. Nachfolgende Tabelle zeigt die Potenzialabschätzung für Luzern in einer Übersicht.

Endenergie in TJ/a	Nutzung 2008	Potenzial	Steigerungsfaktor
Photovoltaik	0.55	460	867
Windenergie	3.85	3.85	1
Wasserkraft	625	625	1
Geothermie	0	0	x
Biomasse	0	15	gross
Abwärme	70	115	1.6

Tabelle 37: Potenziale erneuerbarer Energien für die Produktion von Strom auf dem Gebiet der Stadt Luzern.

Solarstrom

Die Potenzialabschätzung für die **solare Stromproduktion** mittels Photovoltaikzellen baut auf denselben Annahmen wie die Abschätzung der Solarthermie-Potenziale auf (siehe oben). Im Gegensatz zur Solarthermie ist die Stromproduktion mit Photovoltaikzellen nicht auf eine unmittelbare Verwendung der Energie beim Erzeuger angewiesen, da die gewonnene Elektrizität ins Stromnetz eingespeist werden kann. Deshalb wird die Stromproduktion durch technische und flächenmässige Rahmenbedingungen beschränkt und nicht durch die lokalen Nutzungspotenziale, d.h. die gesamten geeigneten Dachflächen ohne Nutzungskonkurrenz können für die Photovoltaik genutzt werden. Wiederum auf der Basis von Potenzialschätzungen des Kantons Zürich und Erfahrungswerten aus eigenen Berechnungen für eine Zürcher Gemeinde (Klingler et al. 2009) wird davon aus-

gegangen, dass bei heutiger Technologie mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 11 % mindestens 25 % des gesamten Elektrizitätsverbrauches des Jahres 2008 durch Solarstrom gedeckt werden kann. Dies entspricht ca. 423 TJ/a.

Je nach Solarzellentechnologie kann aber heute schon bis zu 19 % der eingestrahlten Energie in Solarstrom umgewandelt werden (neuere monokristalline Photovoltaikzellen). Allerdings könnten auch Dünnschichtzellen eingesetzt werden, die einen Wirkungsgrad von ca. 8 % aufweisen. Neuste Technologien, welche jedoch noch nicht serienmässig eingesetzt werden können, kommen auf einen Zell-Wirkungsgrad von 35-40% (bspw. Konzentration-Mehrschicht-Zellen). Würden in Luzern nur heute erhältliche Solarzellen mit hohen Wirkungsgraden installiert (monokristalline Zellen) könnte man ca. 40% des Elektrizitätsverbrauchs 2008 durch Solarstrom decken (entspricht ca. 670 TJ). Bei einem vollständigen Einsatz von Dünnschichtzellen wären es noch ca. 17 % des Elektrizitätsverbrauches im Jahr 2008.

Windenergie, Wasserkraft und Geothermie

Gemäss kantonalem Konzept und Potenzialkarte von Swiss-Eole gibt es kein nutzbares Potenzial von **Windenergie**.

Es besteht kein Potenzial zur Nutzung der **Wasserkraft** an Flüssen. Die Turbinierung von Trinkwasser ist allenfalls eine Möglichkeit lokal Strom zu produzieren, wurde bisher jedoch in Luzern noch nicht abgeklärt.

Wie die Ausführungen im Teil «Erneuerbare Wärme», abgestützt auf die Arbeit von econconcept und bap Group (2008) gezeigt haben, wird kein Geothermie-Potenzial ausgewiesen, obwohl rein theoretisch eine Nutzung am Standort Ibach möglich wäre

Elektrizität aus Biomasse

Die Nutzung von **Biomasse** (Biogas und Holz) zur Stromproduktion in Blockheizkraftwerken (BHKW) kann noch ausgebaut werden. Aufgrund der oben beschriebenen Potenziale zur Nutzung von Holz und Biomasse gehen wir davon aus, dass das Holz zu 100% zur Produktion von Wärme und die Biomasse zu 44 % für die Stromproduktion genutzt werden. Damit könnten in Luzern mit Biomasse ca. 15 TJ/a Elektrizität erzeugt werden.

Stromproduktion aus KVA-Abwärme

Bei der Produktion von Strom und Wärme aus **Kehricht** können zurzeit wegen den Plänen zur Verlegung der KVA Luzern noch keine Aussagen gemacht werden.

Nutzung von erneuerbarer Energie aus nicht kommunalen Quellen

Zu den Ausführungen betreffend Potenzial der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ist anzumerken, dass eine Gemeinde mit beschränktem Produktionspotenzial auf dem eigenen Gemeindegebiet in erneuerbare Kraftwerke an anderen Standorten bzw. in der Region investieren kann. So kann zur Sicherstellung einer ausreichenden Stromver-

sorgung und zu einem zukunftstauglichen Anteil erneuerbarer Energien beigetragen werden. So wird heute beispielsweise ein Grossteil der Wasserkraft für die gesamte Schweiz in den Bergkantonen produziert. Die Stadtverwaltung von Luzern könnte vollständig auf Ökostrom der Qualität von «naturemade star» umsteigen, auch wenn das Produktionspotenzial auf dem Gemeindegebiet begrenzt ist. Damit wird den versorgenden Elektrizitätswerken der Auftrag gegeben, an geeigneten Standorten in die Produktion von erneuerbarer Elektrizität zu investieren.

6.2.3 Fazit zum Nutzungspotenzial erneuerbarer Energien

Die regionalen Potenziale für die Nutzung der erneuerbaren Energien sind gross, wenn auch nicht alle Energieträger auf dem Gebiet von Luzern genutzt werden können. Bei einer vollständigen Nutzung könnte in kl. Berücksichtigung des Mehrbedarfs an Strom zur Nutzung der Umweltwärme im Vergleich zum Jahr 2008 eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 21 % und des CO₂-eq Ausstosses um 36 % erreicht werden.

Die Nutzung der Sonnenenergie sowohl zur Produktion von Wärme (Potenzial von 511 TJ) als auch von Strom (457 TJ) weist neben der Nutzung der Umweltwärme (1746 TJ) das grösste Potenzial auf. Die weiteren erneuerbaren Energieträger und auch die Nutzung von Abwärme können vor allem im Wärmebereich zu weiteren bedeutenden Substitutionen nicht erneuerbarer Energieträger beitragen, wie die nachfolgende Tabelle zeigt. Im Strombereich wird neben der Photovoltaik bei der Nutzung von Biomasse ein lokales Potenzial gesehen.

Endenergie in TJ/a	Nutzung 2008	Potenzial	Steigerungsfaktor
Wärme	TJ/a	TJ/a	
Solarthermie	5	515	103
Holzenergie	20	30	1.5
Biomasse ohne Holz	5	25	5
Umweltwärme (inkl. Geothermie)	56	1'755	31
Abwärme KVA und Kanal	98	130	1.3
TOTAL	185	2'455	13
Elektrizität	TJ/a	TJ/a	
Photovoltaik	0.55	460	867
Windenergie	3.85	3.85	1
Wasserkraft	625	625	1
Geothermie	0	0	X
Biomasse ohne Holz	0	15	gross
Kehrichtverbrennung	70	115	1.6
TOTAL	700	1'215	2

Tabelle 38: Zusammenfassung der Potenziale erneuerbarer Energien der Stadt Luzern

7 Fazit Referenzentwicklung und Potenzialanalyse

Die Analyse der Referenzentwicklung, der Effizienzpotenziale und der Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien auf dem Gebiet der Stadt Luzern zeigt, dass die Steigerung der Energieeffizienz den grösseren Beitrag zur Zielerreichung leisten kann. Die nachfolgende Zusammenstellung verdeutlicht, dass die geforderten Reduktionen zur Erreichung des Zielwertes von minus 60% beim Primärenergieverbrauch und minus 83 % beim THG Ausstoss im Vergleich zum Jahr 2008 mit Beachtung der Referenzentwicklung und einer Kombination aus Massnahmen für Energieeffizienz und erneuerbare Energien grundsätzlich erreicht werden kann.

	2008	Referenzentwicklung 2050	Genutztes Effizienzpotenzial	Genutztes Potenzial erneuerbare Energien
(Werte gerundet)				
Primärenergie	Watt / Kopf	Watt / Kopf	Watt / Kopf	Watt / Kopf
Fossile Brennstoffe	1'675	820	465	550
Fossile Treibstoffe	1'110	985	735	1'110
Wärme aus EE	50	18	0	285
Wärme aus Kehricht	2.45	2.15	0	3.21
Elektrizität	2'225	2'570	1'375	2'030
Graue Energie	4'435		-- nicht untersucht --	
TOTAL PE (ohne graue Energie)	5'060	4'395	2'575	3'980
CO ₂ -Emissionen	Kg CO ₂ eq/ Kopf	Kg CO ₂ eq/ Kopf	Kg CO ₂ eq/ Kopf	Kg CO ₂ eq/ Kopf
Fossile Brennstoffe	3'250	1'585	905	1'035
Fossile Treibstoffe	2'385	2'115	1'575	2'385
Wärme aus EE	20	7	0	75
Wärme aus Kehricht	1.3	1.10	0	1.7
Elektrizität	245	280	150	270
Graue Energie	3'804		-- nicht untersucht --	
TOTAL CO₂ (ohne graue Energie)	5'900	3'990	2'630	3'765

Tabelle 39: Vergleich des Ausgangsjahres (2008) mit den Beiträgen zur Zielerreichung (2000 Watt / Kopf und 1 Tonne CO₂ eq / Kopf) von Referenzentwicklung sowie Nutzung der Potenziale für Energieeffizienz und erneuerbare Energien.

Beim Vergleich in Tabelle 39 muss aber angemerkt werden, dass eine vollständige Ausschöpfung der Potenziale für Energieeffizienz und erneuerbare Energien bis 2050 nicht realistisch ist. Deswegen gehen wir davon aus, dass Massnahmen für mehr Energieeffizienz, mehr erneuerbare Energien und auch mehr Suffizienz im Umgang mit Energie (Mässigung des Energieverbrauchs) benötigt werden. Dabei wird der Verbrauch an Treib- und auch Brennstoffen überproportional reduziert werden müssen, um das Ziel von 500 Watt respektive 1 Tonne CO₂ pro Kopf tatsächlich erreichen zu können. Vor allem beim Treibstoffverbrauch werden wahrscheinlich auch Massnahmen für die Mässigung des Energieeinsatzes zu berücksichtigen sein, um die Ziele erreichen zu können. Darüber

hinaus wird abzuklären sein, ob es notwendig wird, erneuerbare Energien von ausserhalb der Systemgrenzen zu beschaffen, um die Ziele zu erreichen.

Die konkreten Nutzungsstrategien und auch die Beiträge einzelner Massnahmen zur Zielerreichung werden im Teil «Strategie» erarbeitet. Dabei gilt es die heute bekannten Hemmnisse bei der Nutzung von Effizienzpotenzialen und erneuerbarer Energien zu berücksichtigen.

Anhang

A-1 Erster Anhang: Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen nach Energieträgern, Verbrauchergruppe und Energienutzungen

ENERGIETRÄGER (gerundet)	Endenergieverbrauch		Primärenergieverbrauch		CO ₂ -Emissionen (PE)	
	TJ / a	%	TJ / a	%	Tonnen CO ₂ -eq / a	%
2008						
Fossile Brennstoffe	3'395	45%	4'025	33%	247'527	55%
Fossile Treibstoffe	2'150	28%	2'666	22%	181'652	40%
Wärme aus EE	85.5	1%	120.60	1%	1'451.31	0%
Wärme aus Kehrlicht	98.4	1%	5.90	0%	98.38	0%
Elektrizität	1'824	24%	5'335	44%	18'520	4%
TOTAL (ohne GE)	7'552	100%	12'171	100%	455'533	100%

Tabelle 40: Endenergieverbrauch, Primärenergieverbrauch und CO₂-eq Emissionen nach Energieträgern, bzw. nach Art der Energie.

ENERGIETRÄGER (gerundet)	Primärenergieverbrauch			CO ₂ -Emissionen (PE)		
	Watt / Kopf	% (ohne GE)	% (mit GE)	kg CO ₂ -eq / Kopf	% (ohne GE)	% (mit GE)
2008						
Fossile Brennstoffe	1'676	33%	18%	3'251	55%	34%
Fossile Treibstoffe	1'110	22%	12%	2'386	40%	25%
Wärme aus EE	50.24	1%	1%	19	0%	0%
Wärme aus Kehrlicht	2.46	0%	0%	1.3	0%	0%
Elektrizität	2'225	44%	23%	243	4%	3%
Graue Energie (GE)	4'435	-	47%	3804	-	39%
TOTAL (ohne GE)	5'060	100%	-	5'900	100%	-
TOTAL (mit GE)	9'500	-	100%	9'705	-	100%

Tabelle 41: Pro-Kopf Leistungsbedarf und CO₂-eq Emissionen nach Energieträger bzw. nach Art der Energie.

Verbrauchergruppen - Primärenergieverbrauch	Haushalte		Dienstleistung / Verwaltung		Industrie / Gewerbe		Verkehr	
	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf
2008								
Fossile Brennstoffe	1'972	821	1'499	624	554	231	-	-
Fossile Treibstoffe	-	-	-	-	-	-	2'666	1'110
Wärme aus EE	121	50	-	-	-	-	-	-
Wärme aus Kehrlicht	-	-	6	1	-	-	-	-
Elektrizität	1'757	732	2'256	940	834	347	490	102
TOTAL	3'849	1'603	3'768	1'565	1'388	580	3'156	1'212
Anteile	32%		32%		12%		24%	

Tabelle 42: Primärenergieverbrauch und Pro-Kopf-Dauerleistungsbedarf nach Verbrauchergruppen.

Verbrauchergruppen - CO ₂ -eq Emissionen	Haushalte		Dienstleistung / Verwaltung		Industrie / Gewerbe		Verkehr	
	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf
2008								
Fossile Brennstoffe	121'288	1'593	92'173	1'211	34'065	447	-	-
Fossile Treibstoffe	-	-	-	-	-	-	181'652	2'386
Wärme aus EE	1'451	19	-	-	-	-	-	-
Wärme aus Kehricht	-	-	98	1.29	-	-	-	-
Elektrizität	6'095	80	7'829	103	2'893	38	1'702	22
TOTAL	128'835	1'692	100'100	1'315	36'959	485	183'554	2'408
Anteile	29%		22%		8%		41%	

Tabelle 43: Gesamte CO₂-eq Emissionen und Pro-Kopf-CO₂-eq Emissionen nach Verbrauchergruppen.

Energienutzungen - Primärenergieverbrauch	Raumwärme + Warmwasser		Prozesswärme		Mobilität / Traktion		Beleuchtung		übrige Haus- technik		Information & Kommunikation		Antriebe und Prozesse		Sonstige	
	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf	TJ / a	Watt / Kopf
2008																
Fossile Brennstoffe	3'417	1'423	555	231	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	22
Fossile Treibstoffe	-	-	-	-	2'666	1'110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wärme aus EE	121	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wärme aus Kehricht	-	-	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrizität	704	293	731	305	272	113	710	296	566	236	283	118	1'815	756	256	106
TOTAL	4'242	1'767	1'292	538	2'938	1'224	710	296	566	236	283	118	1'815	756	308	128

Tabelle 44: Primärenergieverbrauch und Pro-Kopf-Dauerleistungsbedarf nach Energienutzungen.

Energienutzungen - CO ₂ -eq Emissionen	Raumwärme + Warmwasser		Prozesswärme		Mobilität / Traktion		Beleuchtung		übrige Haus- technik		Information & Kommunikation		Antriebe und Prozesse		Sonstige	
	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf	t / a	Kg / Kopf
2008																
Fossile Brennstoffe	210'150	2'760	34'159	449	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3'218	42
Fossile Treibstoffe	-	-	-	-	181'652	2'386	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wärme aus EE	1'451	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wärme aus Kehricht	-	-	98	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrizität	2'445	32	2'537	33	344	12	2'463	32	1'963	26	982	13	6'297	83	889	12
TOTAL	214'045	2'812	36'795	483	182'596	2'399	2'463	32	1'963	26	982	13	6'297	83	4'107	54

Tabelle 45: Gesamte CO₂-eq Emissionen und Pro-Kopf-CO₂-eq Emissionen nach Energienutzungen.

A-2 Zweiter Anhang: Aufteilung Verbrauchergruppen und Energienutzungen

Verbrauchergruppen:

Energieträger	Haushalte	Dienstleistung / Verwaltung	Industrie / Gewerbe	Verkehr	Quellen / Bemerkungen
Brennstoffe (Heizöl und Erdgas)	49 %	37 %	14 %		Gemäss Angaben von ewl gehen 14 % des Erdgasabsatzes an die Gruppe «Industrie, Gewerbe». Da Dienstleistung und Verwaltung nicht separat ausgewiesen werden, wird deren Anteil am Gesamtverbrauch anhand der Berechnung von ECO-Region über eine Kategorisierung der Wirtschaftsstruktur vorgenommen. Der übrigbleibende Anteil wird den Haushalten zugesprochen.
Treibstoffe				100 %	
Wärme aus erneuerbaren Energien	100 %				Annahme: Hauptsächlich Kleinanlagen in Haushalten
Wärme aus Kehricht		100 %			100 % der Abwärme wird an das Kantonsspital geliefert.
Elektrizität	33 %	42 %	16 %	9 %	Gemäss Angaben der ewl wird 33% des Stroms an Haushalte geliefert. Die Anteile von Dienstleistung / Verwaltung und Industrie / Gewerbe werden analog dem schweizerischen Durchschnitt (Anteil am Gesamtstromverbrauch von 26.8 % resp. 32.8 %) berechnet. Der Elektrizitätsverbrauch im Verkehr konnte mit Angaben der VBL und einer Schätzung des Verbrauchs der SBB bestimmt werden.

Tabelle 46: Aufteilung des Gesamtenergieverbrauchs auf die verschiedenen Verbrauchergruppen.

Energienutzungen:

Energieträger	Energienutzungen	Anteile	Quelle
Brennstoffe	Raumwärme und Warmwasser	84.9%	Angaben ewl, wonach im Jahr 2008 84.9 % des Erdgasabsatzes für Heizungen (Raumwärme und Warmwasser) und 13.8 % für Prozesswärme eingesetzt wurde. Beim Heizöl wird der gleiche Anteil verwendet.
	Prozesswärme	13.8%	
	Sonstiges	1.3%	
Treibstoffe	Mobilität / Traktionsenergie	100%	
Elektrizität	Raumwärme	8.8%	BFE 2008
	Warmwasser	4.4%	
	Prozessenergie	13.7%	
	Beleuchtung	13.3%	
	Klima, Lüftung & Haustechnik	10.6%	
	Informations- und Kommunikationstechnologie	5.3%	
	Antriebe und Prozesse	34.0%	
	Mobilität / Traktionsenergie	5.1%	
Sonstige	4.8%		

Tabelle 47: Endenergieverbrauch nach Verwendungszwecken: Aufteilung des Energieträgerverbrauchs auf die einzelnen Energienutzungen. Quelle: BFE 2008 und ewl.

Glossar

APLK	Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz der Stadt Luzern (vgl. Literatur)
BFE	Bundesamt für Energie
BHKW	Blockheizkraftwerk
CKW	Centralschweizerische Kraftwerke AG
CO ₂ -eq	Kohlendioxid Äquivalent
ewl	Energie und Wasser Luzern AG
KeE	Kompetenzzentrum für erneuerbare Energien des Kantons Luzern
KEV	Kostendeckende Einspeisevergütung für dezentral erzeugte Elektrizität gemäss eidgenössischem Energiegesetz
kWh	Kilowattstunde
MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
PBG	Planungs- und Baugesetz des Kantons Luzern vom 7. März 1989
PE	Primärenergie
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
StromVG	Stromversorgungsgesetz vom 3. April 2007
THG	Treibhausgas
TJ	Terajoule (1 Terajoule = 10 ¹² Joule)
uwe	Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern
WKK	Wärme-Kraft-Kopplung

Literatur

- APLK (2008): Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz vom September 2008. Erarbeitet von DOL Environmental Engineering and Consulting, Dan Ljungberg. Erhältlich auf dem Internetportal unter: http://www.stadt Luzern.ch/de/onlinemain/dienstleistungen/?dienst_id=17261 (Zugriff: 20.4.2010)
- ARE (2008): Strategie Nachhaltige Entwicklung: Leitlinien und Aktionsplan 2008–2011. Schweizer Bundesrat, Bericht vom 16.4.2008, Bern
- AWEL (2003): Energieplanungsbericht 2002 für den Kanton Zürich. Bericht des Regierungsrates über die Energieplanung. AWEL, Zürich
- BFE (2006): Potenzial des Solarstroms in der Gemeinde. S. Nowak und M. Gutschner; Bundesamt für Energie BFE und Nowak Energie und Technologie. St. Ursen/Bern
- BFE (2008): Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2006 nach Verwendungszwecken. Erstellt von Prognos, Infrac, CEPE und Basics im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, April 2008
- Bébié et al. (2008): Grundlagen für ein Umsetzungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft. LSP 4 – "Nachhaltige Stadt Zürich – auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft": Autoren: Bruno Bébié, Heinrich Gugerli, Toni W. Püntener, Martin Lenzlinger, Rolf Frischknecht, Christoph Hartmann und Rolf Iten. Ein Gemeinschaftsprojekt von Stadt Zürich, Bundesamt für Energie, EnergieSchweiz für Gemeinden und Novatlantis, 18.12.2008
- CPUC 2006: Energy Efficiency: California's Highest-Priority Resource; California Public Utilities Commission and California Energy Commission, August 2006
- Dettli und Philippen (2008): Mit Energie in die Zukunft! Wie die Region Luzern 15 Millionen Liter Heizöl ersetzen will. Zwischenbilanz nach 18 Monaten. Erstellt im Auftrag von LuzernPlus, 8.Dezember 2008.
- Dettli et al. (2009): Effizienzmassnahmen im Elektrizitätsbereich. Grundlagen für Wettbewerbliche Ausschreibungen. R. Dettli, D. Philippen (econcept), S. Hammer, F. Moret (INFRAS) im Auftrag des BFE, Oktober 2009.
- econcept (2008): Volkswirtschaftliche Marktanalyse für die Energieregion Luzern. Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Walter Ott, Georg Klingler und Pia Steiner, econcept AG im Auftrag der Stadt Luzern.
- econcept und bapGroup AG (2008): Energie aus Abfall Perlen Teilprojekt Fernwärme, 2. Zwischenbericht des Projekts, das im Auftrag des Gemeindeverbands für Kehrrechtbeseitigung Region Luzern (GKLU) erstellt wird.

- ESU-Services (2009): Auswertung des kumulativen Energieaufwandes für den grauen Energiebedarf der Schweiz im Jahr 2004 nach der selben Methodik wie Jungbluth et al. 2007.
- ETS (2009a): Energie-Strategie 2050 Impulse für die schweizerische Energiepolitik; Grundlagenbericht. Herausgegeben durch den Verein Energie Dialog Schweiz, Zürich 2009
- ETS (2009b): Erneuerbare Energien: Übersicht über vorliegende Studien und Einschätzung des Energie Dialog Schweiz zu den erwarteten inländischen Potenzialen für die Strom-, Wärme- und Treibstoffproduktion in den Jahren 2035 und 2050 inklusive Berücksichtigung der Potenziale aus Abfällen. Grundlagenpapier für die Energie-Strategie 2050. Herausgegeben durch den Verein Energie Dialog Schweiz, Zürich, Version 16.6.2009.
- Feltl (2004): Verbesserungsvorschläge für bestehende Heizungen, Informationsblatt 44; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Oktober 2004.
- Fraunhofer ISI 2007: Wirtschaftliche Bewertung von Massnahmen des integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP). In Kooperation mit Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich (Programmgruppe STE) und Dr. Hans-Joachim Ziesing. Karlsruhe/Berlin/Jülich, 29.10.2007
- Frei und Hawkins (2004): Solarthermie – wie weiter? Teil 1: Nutzungsmöglichkeiten und Potential, Ueli Frei und Alan Hawkins in HK-GEBÄUDETECHNIK 2 – 04
- Frischknecht & Stucki (2009): Primärenergiefaktoren von Transportleistungen", ESU-services, 2009
- Girod (2009): Mehr Klimaschutz: Die Schweiz muss vom Saulus zum Paulus werden. Artikel erschienen in der Zeitschrift Energie & Umwelt, Ausgabe 4/2009
- www.heizungsbetrieb.de (2009): <http://www.heizungsbetrieb.de/de/index.html>, Stichwort Überdimensionierung. Zugriff am 30.10.2009.
- Infras (2006): Verkehrsemissionen Stadt Luzern 2005/2010, Schlussbericht 18. Januar 2006; Infras AG im Auftrag Stadt Luzern, Umweltschutz
- IPCC (2007): IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007: Synthesis Report. November 2007. Download unter: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm
- Jungbluth et al. (2007): Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz 1990-2004. Erweiterte und aktualisierte Bilanz. Jungbluth, N., Steiner, R., Frischknecht, R.. Umwelt-Wissen Nr. UW-0711. Bundesamt für Umwelt, Bern.

- Kaufmann et al. 2007: Energieeffizienz-Strategie für eine nachhaltige Energiezukunft, Entwurf 22. Januar 2007, Michael Kaufmann, Hans-Peter Nützi, Peter Cunz, Bundesamt für Energie, Bern, 2007.
- Klingler et al. 2009: Grundlagen für die Energiepolitik der Gemeinde Kilchberg. Georg Klingler, Michèle Bättig und Mirco Lothar, econcept AG. 2009.
- Koschenschütz und Pfeiffer (2005): Potenzial Wohngebäude. Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft. Schriftenreihe Nachhaltigkeit, Faktor Verlag.
- LUSTAT 2009: lustat kompakt 2009 – Kanton Luzern in Zahlen.
- Müller et al. (2005): Heizen und Kühlen mit Abwasser – Ratgeber für Bauherren und Kommunen. Zu beziehen unter www.infrastrukturanlagen.ch.
- Novatlantis (2005): Leichter Leben. Ein neues Verständnis für unsere Ressourcen als Schlüssel zu einer nachhaltigen Entwicklung – die 2000-Watt-Gesellschaft, Novatlantis, Januar 2005.
- Nowak et al. (2007): Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren in der Stadt Zürich. Stefan Nowak, Marcel Gutschner, Stefan Gnos, Novak Energie und Technologie. St. Ursen
- Ökozentrum Langenbruck (2008): Grünbuch: Vision einer Schweizer Energieversorgung mit Zukunft: Ressourcen und Technologien. Ein Beitrag zur Meinungsbildung. 2. überarbeitete Auflage März 2008.
- Prognos (2007): Die Energieperspektiven 2035 – Band 2, Szenario I bis IV. Prognos im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern 2007.
- UN Foundation 2007: Expert Group on Energy Efficiency, 2007: Realizing the Potential of Energy Efficiency: Targets, Policies and Measures for G8 Countries. United Nations Foundation, Washington DC, 72 pp.
- Zimmermann et al. 2005: Benchmarks for sustainable construction, a contribution to develop a standard, Zimmermann M., Althaus H.-J., Haas A., EMPA, Energy and Buildings 37 (2005) 1147-1157.