

Klimaschutzkonzept Erfurt

Gebäudeenergiebedarf und Energieerzeugung

Dipl.-Psych. Una Halitschke, Prof. Dr. Michael Kappert, M.Eng. Sarah Kermer,
Dipl.-Ing. Gabriele Lorenz, Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Pech,
Dipl.-Ing. (FH) Uwe Sandner, M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) René Stang,
Dr. Uwe Röther, M.Eng. Klaus Weber, Dipl.-Ing. Tobias Werner

Erstellt: 30.07.2010

Arbeitsstand: 12.04.2011

Inhaltsverzeichnis

0 Einleitung	6
1 Gebäudeenergiebedarf	7
1.1 Bestandsaufnahme	7
1.1.1 Zusammenstellung von Eckdaten der Berechnungen für die leitungs- gebundenen Energieträger Fernwärme, Erdgas und Elektroenergie	7
1.1.2 Bevölkerungsentwicklung und Gebäudestruktur von 1990 bis 2008 (Stadtgebiet Erfurt)	8
1.1.3 Masterplan I und II – Rückbau in Großwohnsiedlungen	11
1.1.4 Wohnungsneubau von 2000 bis 2020	13
1.1.5 Analyse des Fernwärme-, Erdgas- und Elektroenergieabsatzes aus den Daten der SWE Energie GmbH und SWE Netz GmbH (klimabereinigte Messwerte)	16
1.1.5.1 Fernwärme	16
1.1.5.2 Erdgas	19
1.1.5.3 Elektroenergie	22
1.1.6 Zusammenfassung	24
1.2 Prognose	26
1.2.1 Private Haushalte	26
1.2.1.1 Wärmebedarf	26
1.2.1.2 Elektroenergiebedarf	27
1.2.2 Öffentliche Gebäude	28
1.2.2.1 Wärmebedarf	28
1.2.2.2 Elektroenergiebedarf	28
1.2.3 Industrie/Gewerbe/Handel	29
1.2.3.1 Wärmebedarf	29
1.2.3.2 Elektroenergiebedarf	30
1.2.4 Sonstige	31
1.2.4.1 Wärmebedarf	31
1.2.4.2 Elektroenergiebedarf	31
1.2.5 Zusammenfassung	32

1.3	Potentiale	34
1.3.1	Einleitung.....	34
1.3.2	Energetische Verbesserung der Wohngebäude.....	35
1.3.2.1	<i>Ausgangsdaten</i>	<i>35</i>
1.3.2.2	<i>Variante 1: Energetische Sanierung der industriell errichteten Wohngebäude auf einen Bedarf von 80 kWh/(m²a)</i>	<i>35</i>
1.3.2.3	<i>Variante 2: Energetische Sanierung der konventionell errichteten Wohngebäude (MFH) mit Baujahr vor 1990 auf einen Bedarf von 120 kWh/(m²a)</i>	<i>36</i>
1.3.2.4	<i>Variante 3: Energetische Sanierung EFH/ZFH mit Baujahr vor 1990 auf einen Bedarf von 160 kWh/(m²a)</i>	<i>36</i>
1.3.3	Zusammenfassung.....	37
1.3.3.1	<i>Ausblick 2050.....</i>	<i>37</i>
1.3.4	Pumpen	38
1.3.4.1	<i>Einleitung</i>	<i>38</i>
1.3.4.2	<i>Potentialermittlung</i>	<i>39</i>
1.3.4.3	<i>Ergebnisanalyse.....</i>	<i>42</i>
1.3.4.4	<i>Empfehlung zur praktischen Umsetzbarkeit.....</i>	<i>46</i>
1.3.5	Steuerung und Regelung.....	47
1.3.6	Wärmepumpen.....	49
1.3.7	Öffentliche Gebäude	53
1.3.8	Straßenbeleuchtung	54
1.3.8.1	<i>Einleitung</i>	<i>54</i>
1.3.8.2	<i>Maßnahmen</i>	<i>55</i>
1.4	Maßnahmenentwicklung.....	57
1.4.1	Kommunikation, Öffentlichkeitsarbeit und Beratung.....	57
1.4.2	Stadtverwaltung.....	58
1.4.2.1	<i>Energieverbrauch.....</i>	<i>58</i>
1.4.2.2	<i>Beschaffung</i>	<i>59</i>
1.4.2.3	<i>Contracting.....</i>	<i>59</i>
1.4.2.4	<i>Nutzung erneuerbarer Energien.....</i>	<i>59</i>
1.4.2.5	<i>Ziele/Vorgaben für städt. Eigenbetriebe und Kapitalgesellschaften.....</i>	<i>59</i>
1.4.3	Pilotprojekte.....	60
1.4.3.1	<i>Städtische Pilotprojekte.....</i>	<i>60</i>
1.4.3.2	<i>Wohnungsgesellschaften</i>	<i>60</i>
1.4.3.3	<i>KWKK-Projekte</i>	<i>60</i>
1.4.3.4	<i>Projekte mit Kälte aus Fernwärme</i>	<i>60</i>
1.4.3.5	<i>Private Haushalte.....</i>	<i>60</i>
1.4.3.6	<i>Gewerbe und Kleinverbraucher</i>	<i>61</i>
1.4.3.7	<i>Industrie</i>	<i>61</i>
1.4.3.8	<i>Zusammenfassung.....</i>	<i>62</i>

1.5	Wirksamkeitsanalyse	67
1.6	Erstellung eines Maßnahmenpaketes.....	71
1.7	Zusammenfassung.....	73
2	Energieerzeugung _____	77
2.1	Bestandsaufnahme	77
2.1.1	Elektroenergieerzeugung	77
2.1.2	Emissionen.....	78
2.2	Prognose.....	82
2.3	Potentiale	85
2.3.1	Wasserkraftnutzung	85
2.3.1.1	<i>Einleitung und Potentialabschätzung</i>	<i>85</i>
2.3.1.2	<i>Zusammenfassung und Bewertung</i>	<i>90</i>
2.3.2	Windenergie	92
2.3.2.1	<i>Einleitung</i>	<i>92</i>
2.3.2.2	<i>Untersuchungen zum Windenergiepotential in Erfurt.....</i>	<i>95</i>
2.3.2.3	<i>Status quo und kurzfristiges Potential.....</i>	<i>98</i>
2.3.2.4	<i>Langfristiges Windenergiepotential</i>	<i>102</i>
2.3.2.5	<i>Zusammenfassung.....</i>	<i>109</i>
2.3.3	Wärmenutzung des Abwassers.....	111
2.3.3.1	<i>Funktionsweise</i>	<i>111</i>
2.3.3.2	<i>Potentiale</i>	<i>116</i>
2.3.3.3	<i>Grenzen</i>	<i>118</i>
2.3.3.4	<i>Vor- und Nachteile</i>	<i>119</i>
2.3.3.5	<i>Analyse von Potentialen in Erfurt.....</i>	<i>120</i>
2.3.3.6	<i>Beispiel.....</i>	<i>127</i>
2.3.3.7	<i>Fazit</i>	<i>128</i>
2.3.4	Photovoltaik und Solarthermie.....	129
2.3.4.1	<i>Einleitung Solarthermie</i>	<i>129</i>
2.3.4.2	<i>Potentiale der Solarthermie.....</i>	<i>130</i>
2.3.4.3	<i>Potentiale der Photovoltaik</i>	<i>141</i>
2.3.4.4	<i>Zusammenfassung.....</i>	<i>147</i>
2.3.5	Erweiterung Fernwärmenetz	148
2.3.6	Biomasse.....	155
2.3.6.1	<i>Potentiale von Biomasse.....</i>	<i>155</i>
2.3.6.2	<i>Deponiegas.....</i>	<i>156</i>

2.4	Maßnahmenentwicklung	157
2.4.1	Industrieabwärme	157
2.4.2	Erweiterte Nutzung von erneuerbaren Energien	157
2.4.3	Erweiterung des Fernwärmenetzes	157
2.4.4	ORC-Anlage	157
2.4.5	Zentrale Wärmespeicherung am GuD-Standort	157
2.4.6	KWK-Potential Klärgas	158
2.4.7	Tiefengeothermie	158
2.5	Wirksamkeitsanalyse	159
2.6	Erstellung eines Maßnahmenpaketes	179
2.7	Zusammenfassung	181
3	Fazit _____	184
	Abbildungsverzeichnis _____	187
	Tabellenverzeichnis _____	190
	Literaturverzeichnis _____	193

0 Einleitung

Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 zu senken, bis 2030 sollen 55 % erreicht werden, 2040 ca. 70 % und 2050 80 – 95 %. Dabei soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch bis 2020 auf 18 % erhöht werden, bis 2030 auf 30 % und bis 2050 auf 60 %, der Anteil an der Stromerzeugung soll 2050 80 % betragen. Außerdem soll der Primärenergieverbrauch bis 2020 um 20 % und bis 2050 um 50 % gegenüber 2008 sinken. Die Sanierungsrate (Anzahl sanierter Gebäude pro Jahr zu Gesamtzahl der Gebäude) soll auf 2 % verdoppelt werden.

Der Endenergieverbrauch im Verkehrsbereich soll bis 2020 um etwa 10 % und bis 2050 um etwa 40 % sinken.

Um die gesteckten Ziele zu erreichen, sind auch die Regionen gefordert, entsprechende Maßnahmen einzuleiten, denn die genannten Ziele lassen sich nur mit gemeinsamen Anstrengungen aller Bürger erreichen.

Die Stadt Erfurt hat sich dazu bekannt, einen entsprechenden Beitrag zu leisten – das langfristige Ziel ist es, das Stadtgebiet mit allen erforderlichen Energieträgern möglichst autark zu versorgen.

Eine Voraussetzung für einen Beitrag einer Region ist das Wissen, wie hoch der Energieverbrauch der einzelnen Energieträger ist und wofür er verwendet wird und welche Emissionen dadurch entstehen. Auf der Basis einer Analyse können entsprechende Maßnahmen entwickelt werden, auf ihre Umsetzbarkeit und Finanzierbarkeit hin untersucht und so ein Bündel von umsetzbaren Maßnahmen entstehen.

Dieser Aufgabe stellt sich die vorliegende Arbeit. Sie entstand in enger Zusammenarbeit mit der Stadtverwaltung, insbesondere dem Klimaschutzverantwortlichen Herrn M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Christian Prectl, der Stadtwerke Erfurt GmbH und vielen engagierten Bürgern, die in den unterschiedlichen öffentlichen Foren ihre Meinung äußerten und wertvolle Hinweise und Anregungen gaben.

1 Gebäudeenergiebedarf

1.1 Bestandsaufnahme

1.1.1 Zusammenstellung von Eckdaten der Berechnungen für die leitungsgebundenen Energieträger Fernwärme, Erdgas und Elektroenergie

Bei der Untersuchung konnte nur auf bereits vorhandene Daten der leitungsgebundenen Energieträger aufgebaut werden; diese stellen den größten Anteil am Gesamtverbrauch von Energieträgern in Erfurt für den Gebäudebereich dar. Da für den Verbrauch der Energieträger Heizöl, feste Brennstoffe (Kohle, Holz) und Flüssiggas für die Beheizung von Gebäuden und den Warmwasserverbrauch sowie für die Anzahl dieser Feuerstätten keine Daten für Erfurt vorliegen, dieser aber nach Schätzungen unter Berücksichtigung der restlichen Beheizungsstruktur bei ca. 10 % [18] des Gesamtverbrauchs liegt, wurden diese Energieträger nicht berücksichtigt. Ebenso waren den Verfassern die Anzahl und der Energieverbrauch von Wärmepumpen für die Beheizung und Warmwasserbereitung im Gebäudebereich nicht bekannt. Für die Wohngebäude erfolgte deshalb eine Abschätzung dieses Verbrauchs über den Wärmebedarf dieser Gebäude.

Unstimmigkeiten traten auch bei den unterschiedlichen Statistiken und Angaben bezüglich der Wohngebäude auf.

Ebenfalls vollzieht sich gegenwärtig eine Änderung der Brancheneinteilung von Verbrauchern. Eine Zeitreihenentwicklung der Verbrauchergruppen ist somit nur eingeschränkt möglich.

Die Stadtverwaltung Erfurt sollte involvierte Unternehmen und öffentliche Bereiche einladen, um eine einheitliche und verlässliche Statistik zu erstellen, in der neben den Branchen auch nach Stadtteilen oder Siedlungsstrukturen differenziert werden kann.

Die Betrachtungen wurden für die Bereiche

- Private Haushalte
- Öffentliche Einrichtungen
- Industrie/Gewerbe/Handel
- Sonstige Verbraucher

entsprechend dem Branchenschlüssel vorgenommen.

Grundlage waren die Abrechnungsstatistik der SWE Energie GmbH, der SWE Netz GmbH und der TEN Thüringer Energienetze GmbH, sowie statistische Unterlagen der Stadtverwaltung zur Bevölkerungsentwicklung, zum Wohnungsbestand sowie zum Stadtumbau. Deutlich sichtbar ist der Bevölkerungsrückgang in den Großwohnsiedlungen (GWS), der von 1990 bis 2007 ca. 40 % betrug.

Aus unveröffentlichtem Material des Statistikamtes der SV Erfurt geht hervor, dass die Bevölkerung bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2007 nochmals um ca. 33.000 Einwohner auf ca. 166.000 Einwohner bzw. auf ca. 83 % zurückgehen wird – dies bedeutet einen

Rückgang bis 2020 auf ca. 180.000 Einwohner bzw. um ca. 10 % gegenüber 2007. Der kurzzeitige Trend des Anstiegs der Bevölkerungszahl auf Grund gestiegener Studierendenzahl und der Ansiedlung von Unternehmen und somit der Schaffung von Arbeitsplätzen und ein dadurch hervorgerufener Zuzug kann den Bevölkerungsrückgang aber mittelfristig nicht kompensieren. Ein Anstieg der Studierendenzahl bis 2020 um jährlich 1.000 Studierende und somit eine Verdreifachung der Studierendenzahl bis 2020 erscheint unrealistisch. Ebenso erscheint eine jährliche Steigerung von ca. 500 zusätzlichen Arbeitsplätzen unwahrscheinlich.

Der Rückgang wird zu einem sehr hohen Prozentsatz die GWS betreffen. Die Einwohnerzahl dieser Stadtteile wird von ca. 55.000 im Jahr 2007 auf 25.000 im Jahr 2030 bzw. auf ca. 38.000 bis 2020 sinken. Dieser Rückgang hat direkte Auswirkungen auf die Fernwärmeerzeugung, da die Wohnungen in diesen Gebieten meist fernwärmeversorgt sind.

Im städtischen Siedlungsstrukturgebiet ist der Rückgang der Bevölkerung nicht gravierend. Allerdings ist hier der Leerstand von Wohnungen gegenwärtig schon doppelt so hoch (14 %) wie in den Großwohnsiedlungen (7 %).

Diese Randbedingungen werden in die nachfolgenden Berechnungen zum Ist-Stand und zur Prognose des Wärmebedarfs von Wohnungen einbezogen.

Die Einsparpotentiale bei öffentlichen Einrichtungen wurden anhand von Kennzahlen ausgewählter Objekte abgeschätzt und liegen in der Größenordnung von ca. 20 % bei Fernwärme, Erdgas und Elektroenergiebedarf.

1.1.2 Bevölkerungsentwicklung und Gebäudestruktur von 1990 bis 2008 (Stadtgebiet Erfurt)

Aus der nachstehenden Tabelle 1–1 ist ersichtlich, dass die Bevölkerung des Stadtgebietes von Erfurt in den vergangenen 17 Jahren um ca. 11 % zurückgegangen ist. Die Verteilung dieses Rückgangs auf die drei unterschiedlichen Siedlungsgebiete (städtisch, Plattenbau, dörflich) ist sehr unterschiedlich:

- Die Innenstadt ist am wenigsten betroffen mit - 5 %.
- Die umliegenden eingemeindeten Dörfer haben einen Zuzug von 15.559 Personen, das sind über 50 %, zu verzeichnen.
- Die stärkste Reduzierung hat in den Großwohnsiedlungen mit 35.000 Personen stattgefunden. Das sind ca. - 40 % der Bevölkerung dieser Siedlungsgebiete. [29]

Während die städtischen Stadtteile sich in den letzten Jahren eines Bevölkerungswachstums erfreuen durften, nahmen die Bevölkerungszahlen in den Großwohnsiedlungen weiter ab. Bei den dörflichen Stadtteilen scheint sich bis 2008 eine Sättigung einzustellen, die ebenfalls in den nächsten Jahren in sinkenden Einwohnerzahlen resultieren könnte.

Aus unveröffentlichtem Material des Statistikamtes der SV Erfurt geht hervor, dass die Bevölkerung bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2007 nochmals um ca. 33.000 Einwohner

auf ca. 166.000 Einwohner bzw. auf ca. 83 % zurückgehen wird – dies bedeutet einen Rückgang bis 2020 auf ca. 180.000 Einwohner bzw. um ca. 10 % gegenüber 2007. Dies wird zu einem sehr hohen Prozentsatz die GWS betreffen. Die Einwohnerzahl dieser Stadtteile wird von ca. 55.000 im Jahr 2007 auf 25.000 im Jahr 2030 sinken (- 55 %). Das heißt, dass in 20 Jahren weniger als die Hälfte der gegenwärtigen Bevölkerung in diesen Gebieten leben wird. Ein ähnlicher Verlauf der Bevölkerungsentwicklung deutet sich auf Grund der Alterstruktur auch für die dörflichen Stadtteile an. Bereits in den Jahren 2008 und 2009 weisen trotz einer positiven Gesamtbilanz für Erfurt sowohl die Plattenbau-Stadtteile als auch die dörflichen Stadtteile Bevölkerungsverluste auf [67].

Tabelle 1–1: Bevölkerungsentwicklung nach der Siedlungsstruktur [67]

Jahr	Bevölkerung insgesamt		davon					
			städtisch		Plattenbau		dörflich	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
1990	224.073	100,0	106.678	100,0	89.440	100,0	27.955	100,0
1991	221.223	98,7	104.081	97,6	89.385	99,9	27.757	99,3
1992	218.423	97,5	101.449	95,1	89.034	99,5	27.940	99,9
1993	216.477	96,6	99.853	93,6	88.512	99,0	28.112	100,6
1994	213.171	95,1	96.666	90,6	86.896	97,2	29.609	105,9
1995	210.468	93,9	93.276	87,4	85.348	95,4	31.844	113,9
1996	207.113	92,4	90.062	84,4	82.733	92,5	34.318	122,8
1997	204.054	91,1	89.212	83,6	77.999	87,2	36.843	131,8
1998	201.069	89,7	89.439	83,8	73.138	81,8	38.492	137,7
1999	198.178	88,4	90.315	84,7	67.922	75,9	39.941	142,9
2000	197.350	88,1	91.857	86,1	64.639	72,3	40.854	146,1
2001	196.815	87,8	93.247	87,4	62.118	69,5	41.450	148,3
2002	196.517	87,7	94.245	88,3	60.287	67,4	41.985	150,2
2003	198.181	88,4	96.545	90,5	59.349	66,4	42.287	151,3
2004	199.088	88,8	98.395	92,2	57.657	64,5	43.036	153,9
2005	199.382	89,0	99.542	93,3	56.550	63,2	43.290	154,9
2006	199.114	88,9	100.343	94,1	55.477	62,0	43.294	154,9
2007	199.242	88,9	101.282	94,9	54.446	60,9	43.514	155,7
2008	199.416	89,0	102.318	95,9	53.855	60,2	43.243	154,7
2009	199.952	89,2	103.315	96,8	53.570	59,9	43.067	154,1

Quelle: Einwohnermelderegister der Landeshauptstadt Erfurt, Stand: 31.12. des jeweiligen Jahres (außer 2003: 31.10.2003)

Eine Aussage zur Anzahl der Haushalte wurde in [6] vorgenommen. Diese Größe hat eine direkte Auswirkung auf die Wohnungsanzahl. Der gegenwärtige Trend zu kleineren Haushalten sollte auch im betrachteten Zeitraum anhalten, so dass vom Bevölkerungsrückgang nicht unmittelbar auf die Wohnungsanzahl geschlossen werden kann. Aus Tabelle 1–2 ist jedoch ersichtlich, dass auch die Haushaltsanzahl zurückgehen wird, jedoch weniger stark als die Bevölkerung.

Dennoch hat dieser Rückgang direkte Auswirkungen auf die Fernwärmeerzeugung, da die Wohnungen in diesen Gebieten meist fernwärmeversorgt sind.

Tabelle 1–2: Entwicklung der Erwachsenenhaushalte bis zum Jahr 2020 [6]

Jahr	2003	2020
Erwachsenenhaushaltsgröße	1,72	1,68
Haushaltsanzahl (gerundet)	98.000	92.600

Die Wohngebäudestruktur Ende des Jahres 2009 zeigt die nachfolgende Tabelle 1–3.

Tabelle 1–3: Gebäude- und Wohnungsbestand 2009 [67]

Gebäudetyp	Gebäude	Einwohner	Wohnungen			
			insgesamt	davon:		%
				bewohnt	leerstehend	
Anzahl						
Einfamilienhaus	17.245	48.836	174.245	16.599	646	3,7
Mehrfamilienhaus	7.750	90.046	54.943	48.107	6.836	12,4
Plattenbau	2.034	54.045	34.316	32.138	2.178	6,3
Überwiegend Gewerbe	620	2.427	1.203	1.028	175	14,5
Erfurt gesamt	27.649	195.354	107.707	97.872	9.835	9,1

Von den 34.316 Wohnungen in Plattenbauten befanden sich 30.622 WE in den GWS, davon waren 28.594 WE bewohnt (93 %). 3.694 Wohnungen befanden sich im städtischen Siedlungsstrukturtyp, davon waren 3.544 WE bewohnt (96 %)

Bereits in früheren Arbeiten [5, 18] wurde nach Recherchen bei den Erfurter Wohnungsbaugesellschaften und -genossenschaften bei den industriell errichteten Wohngebäuden (IMI) eine Differenz zur offiziellen Statistik der SV Erfurt von - 4.792 Wohnungen und zum Rückbau lt. Masterplan II von + 172 Wohnungen (Tabelle 1–4) festgestellt.

Die Differenz, die sich aus den Quellen der Statistik ergibt, kann nicht restlos erklärt werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass bei der Statistik der SV Erfurt nur die tatsächlichen Plattenbauten und nicht die industriell errichteten Blockbauten erfasst sind. Dies betrifft das Indexgebäude IMI 1 mit 4.724 in 2000 recherchierten Wohnungen. Vermutlich bezeichnet die Differenz also den verbliebenen Anteil von der Indexgebäude IMI 1 mit 3.851.

Eine exakte Ermittlung der Wohnungen in den entsprechenden Indexgebäuden des industriellen Wohnungsbaus kann nur erfolgen, wenn die Kundendatei der Stadtwerke Erfurt und die bei den Wohnungsbaugesellschaften bzw. -genossenschaften recherchierten Dateien zu Anzahl, Baualter und Geschossigkeit der Wohnungen abgeglichen werden.

Tabelle 1–4: Wohnungen in industriell errichteten Gebäuden

	WE-Anzahl
IMI Bestand 2000	45.176
Rückbau (bis 2010 s. 1.1.3)	7.543
rechnerischer IMI Bestand 2009	38.167
Plattenbaubestand 2009 lt. Statistik SV Erfurt	34.316
Differenz	3.851

Eine andere Quelle [6] geht im Jahr 2003 von 43.360 Wohnungen in industriell errichteten Gebäuden aus. Berücksichtigt man den Rückbau bis zu diesem Zeitpunkt in Höhe von 2.309 WE, ergibt sich für den Bestand 2000 eine Anzahl von 42.867, d.h. auch hier kann keine genaue Ermittlung erfolgen.

Es sollte als zukünftige Aufgabe betrachtet werden, diese Statistik zu erheben, da sie autark gegenüber anderen Statistiken ist und als Basis für alle weiteren Untersuchungen genutzt werden kann.

1.1.3 Masterplan I und II – Rückbau in Großwohnsiedlungen

Im Masterplan I und II wurde der Rückbau industriell errichteter Gebäude geplant. Laut Erfurter Statistik [67] wurden bis 2009 7.543 Wohneinheiten abgerissen. Hier sind ebenfalls Differenzen zu verzeichnen zwischen den im Masterplan II [3] angegebenen Werten und der offiziellen Erfurter Statistik. Dies betrifft nicht nur die Anzahl der Wohnungen, sondern auch das Rückbaujahr und den Stadtteil, in dem der Rückbau erfolgt ist. Ursache dafür ist, dass im Masterplan I und II nicht alle Stadtteile betrachtet wurden, in denen industriell errichtete Wohnungen vorhanden sind.

Auch wenn die Gesamtvorgabe des Rückbaus an Wohnungen ungefähr eingehalten worden ist, wird doch offenbar, dass beim Rückbau in den betrachteten Stadtteilen vom Masterplan abgewichen wurde, denn zusätzlich zu den im Masterplan ausgewiesenen Stadtteilen ist in der Statistik der SV Erfurt z.B. der Stadtteil 8 (Krämpfervorstadt) mit 50 abgerissenen Wohnungen aufgeführt. Deshalb stellt sich die Frage nach einer neuerlichen Aktualisierung des Masterplanes.

Insgesamt jedoch hat der Rückbau von 7.543 Wohnungen bis zum Jahr 2009 eine Senkung des Leerstandes um mehr als die Hälfte in den Jahren 2002 bis 2009 in diesem Siedlungsgebiet ergeben. Der Leerstand im städtischen Siedlungsgebiet ist im Gegensatz dazu konstant geblieben.

Die im Masterplan II vorgeschlagene wohnungswirtschaftliche Entwicklung der Großwohnsiedlungen in den betroffenen Stadtteilen bis zum Jahr 2020 wird in der nachstehenden Tabelle 1–5 aufgezeigt.

Tabelle 1–5: Ergebnistabelle der wohnungswirtschaftlichen Segmentierung

Stadtteil	SOLL		Ergebnis WoWi Seg	
	Nachgefragte WE 2010	Nachgefragte WE 2020	WE in Garantiegebieten	Diff Prognose /Seg.
GWS* ges.	23.349	17.836	15.355	2.481

Gebiet Nord	13.712	10.208	7.851	2.357
Berliner Platz	2.928	2.171	1.641	530
Moskauer Platz	4.069	2.998	2.024	974
Rieth	2.184	1.564	908	656
Johannesplatz	2.604	2.083	2.770	-687
Roter Berg	1.932	1.398	508	890

Gebiet Süd	9.637	7.629	7.504	125
Melchendorf	3.268	2.664	2.266	398
Wiesenhügel	2.939	2.390	2.213	177
Herrenberg	3.423	2.567	3.025	-458

*GWS = Großwohnsiedlungen
Quelle: in.nova, Stand 31.06.2005

Geht man von ursprünglich 34.786 WE im Jahr 2000 aus [4], ergibt der Wohnungsbedarf im Jahr 2020 in den untersuchten Gebieten einen Rückbau von 15.166 Wohnungen im Vergleich zum Jahr 2000. Davon sind bisher mehr als ein Drittel tatsächlich abgerissen worden.

Es wird jedoch nicht ausgeschlossen, dass auch in anderen, nicht betrachteten Gebieten ein Rückbau von Wohnungen in industriell errichteten Gebäuden stattfindet, da der Bevölkerungsrückgang nicht nur die im Masterplan I und II untersuchten Gebiete betrifft.

Bis zum Ende des Jahres 2008 sollten nach [7] 6.139 Wohnungen in industriell errichteten Gebäuden zurückgebaut sein. Nach der nun vorliegenden Statistik der SV Erfurt betrug die Anzahl bis 2008 6.398 Wohnungen. Bis 2010 wurden weitere 1.134 Wohnungsabgänge registriert.

Die SV geht in [7] davon aus, dass damit ab 2010 kein weiterer Rückbau in dieser Gebäudekategorie stattfindet, da sich die Einwohnerzahl deutlich reduziert hat und in einigen Stadtteilen eine Stabilität eingetreten ist. Diese Aussage steht im Widerspruch zum Masterplan II [3], der im Jahr 2020 eine nachgefragte Wohnungsanzahl in den

untersuchten Gebieten von 17.836 WE bzw. für 2010 von 23.349 Wohnungen ausweist. Dies würde aber einen weiteren Rückbau von insgesamt 3.905 Wohnungen im Jahr 2010 in den untersuchten Gebieten bedeuten – sowie um weitere 3.729 Wohnungen bis 2020 (bei 10 % Reserve).

1.1.4 Wohnungsneubau von 2000 bis 2020

Die Neubautätigkeit nach dem Jahr 1990 lag für den Sektor Wohnungsbau in den Gebäudekategorien Ein-/Zweifamilienhäuser sowie dem Geschosswohnungsbau (Tabelle 1–6). Für die Kategorie Wohnungen in industriell errichteten Gebäuden war nur die Fertigstellung von Wohnungen zu verzeichnen, deren Bau vor der Wende begonnen wurde.

Tabelle 1–6: Entwicklung der Wohnungsanzahl bis 2009: Fertiggestellte neue Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden ([6] und Landesamt für Statistik)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Durchschnitt		
												99-04	01-04	05-09
Wohnungen	925	1.682	581	498	750	400	256	244	144	222	155	800	560	200
... davon Wohnungen in Häusern mit 1 bis 2 Wohnungen	607	756	309	361	439	373	253	240	136	212	145	470	370	200
... davon Wohnungen in Häusern mit mehr als 2 Wohnungen	318	926	272	137	311	27	3	4	8	6	10	330	190	6

Nach dem Jahr 2000 wird ein deutlicher Rückgang in beiden Gebäudekategorien sichtbar, besonders jedoch im Geschosswohnungsbau, der mit Ausnahme des Jahres 2003 kontinuierlich zurückgegangen ist. Dieser Trend ist auch aus den erteilten Baugenehmigungen ersichtlich, die in Tabelle 1–7 zusammengestellt sind.

Aus diesen Analysen wird in [6] eine Hypothese zur Neubautätigkeit bis zum Jahr 2020 aufgestellt. Man geht davon aus, dass sich ca. 75 % der Neubautätigkeit auf die Kategorie Ein-/Zweifamilienhäuser und 25 % auf den Geschosswohnungsbau erstrecken wird. Insgesamt wird bis zum Jahr 2020 mit 8.000 neuen Wohnungen gerechnet. Auch hier erscheint eine Überprüfung der durchgeführten Wohnungsbauvorhaben der letzten 5 Jahre notwendig, um die Werte zu verifizieren (Tabelle 1–8).

Tabelle 1–7: Baugenehmigungen für den Wohnungsbau [6]

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Durchschnitt		
													99-04	01-04	06-09
neue Wohnungen		800	732	513	353	395	398	413	367	367	321	597	530	410	410
... davon Wohnungen in Häusern mit 1 bis 2 Wohnungen	in WE	635	431	390	317	343	284	296	273	185	142	191	400	330	220
	in %	79	59	76	90	87	71	72	74	20	44	32	77	81	54
... davon Wohnungen in Häusern mit mehr als 2 Wohnungen	in WE	165	301	123	36	52	114	117	94	182	179	406	130	80	200
	in %	21	41	24	10	13	29	28	26	50	56	68	23	19	46

Real gebaut wurden von 2004 bis 2009 1.420 Wohneinheiten, davon 96 % in 1- bis 2-Familienhäusern. Unter diesem Gesichtspunkt erscheint die prognostizierte Anzahl von 1.000 WE im Geschosswohnungsbau von 2010 bis 2020 nicht sehr realistisch.

Tabelle 1–8: Hypothese zum Geschoss- und Einfamilienhausbau bis 2020 (Zirka-Werte) [6]

	Neubau insgesamt	Einfamilienhausbau		Geschosswohnungsbau	
	in WE	in WE	%	in WE	%
2004 – 2009	1.420	1.360	96	58	4
2010 – 2020	4.500	3.500	77	1.000	23
Summe	5.920	6.000	75	2.000	25

Tabelle 1–9: Szenarien des Wohnungsüberhangs im Jahr 2020 mit der angenommenen Neubautätigkeit und verschiedenen Leerstandsquoten [6, 67]

Wohnungsbestand per 21.12.2009	107.700 WE				
Wohnungsneubau 2010 – 2020	4.500 WE				
Abgänge 2011 – 2020	5.000 WE				
Wohnungsbestand 2020	107.200 WE				
Wohnungsbedarf	92.500 WE				
Leerstandsreserve	0 %	3 %	5 %	10 %	15 %
Leerstandsreserve	0	2.775 WE	4.500 WE	10.000 WE	13.900 WE
Wohnungsbedarf inkl. Reserve	92.500 WE	95.300 WE	97.000 WE	102.500 WE	106.400 WE
Wohnungsüberhang	14.700 WE	11.900 WE	10.200 WE	4.700 WE	800 WE

In Tabelle 1–9 wurden die Untersuchungen und Vorschläge bis 2020 des Masterplans II (Rückbau Wohnungen in industriell errichteten Gebäuden - 10.000 WE) berücksichtigt. Geht man von der angenommenen Haushaltsanzahl im Jahr 2020 von 92.500 HH aus und rechnet man eine Reserve von ca. 10 % hinzu, ergibt sich im Jahr 2020 eine Wohnungsanzahl von ca. 100.000 WE über alle Gebäudekategorien.

Mit dieser Anzahl an Wohneinheiten in Tabelle 1–9 wird im Folgenden für die Prognose weiter gerechnet. Entsprechend den Sanierungsraten wurden in [5] mittlere Bedarfswerte für die Gebäudekategorien ermittelt. Damit ergeben sich für 2008 Bedarfswerte für die Wohngebäude zwischen 234 GWh (Leerstand nicht beheizt) und 288 GWh (gesamter Bestand beheizt) für Fernwärme (Verbrauchswert 2008 255 GWh), zwischen 720 GWh (Leerstand nicht beheizt) und 793 GWh (gesamter Bestand beheizt) für Erdgas (Verbrauchswert für 2008 590 GWh SWE und 160 GWh TEN = 750 GWh) und zwischen 220 GWh (Leerstand nicht beheizt) und 244 GWh (gesamter Bestand beheizt) für die anders beheizten Wohngebäude. Damit ergibt als Gesamtbedarfswert eine Spannweite von 1.170 GWh bis 1.325 GWh.

1.1.5 Analyse des Fernwärme-, Erdgas- und Elektroenergieabsatzes aus den Daten der SWE Energie GmbH und SWE Netz GmbH (klimabereinigte Messwerte)

1.1.5.1 Fernwärme

Aus den von der Stadtwerke Erfurt GmbH zur Verfügung gestellten Abrechnungsdaten für die Verbrauchswerte von Fernwärme und Erdgas der Jahre 2001 bis 2008 ergibt sich das nachstehende Bild (Abbildung 1–1) für den Energieträger Fernwärme (zusammengefasste Verbrauchergruppen nach Branchenschlüssel) [9].

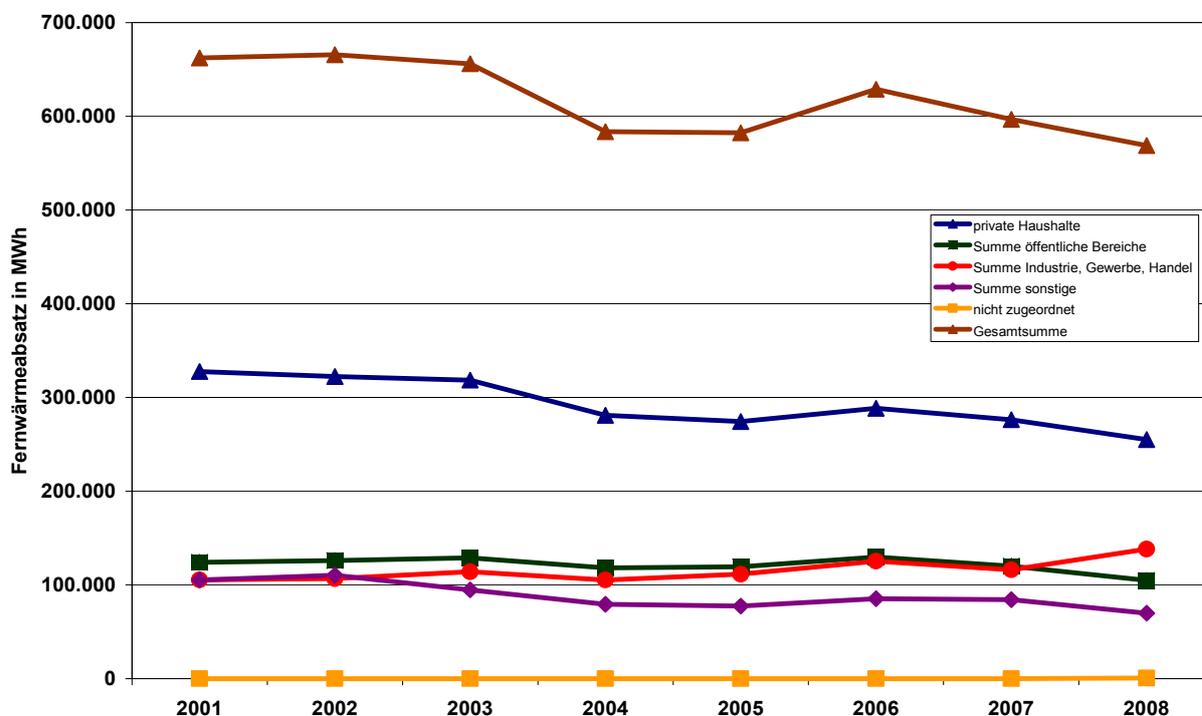


Abbildung 1–1: Klimabereinigter Fernwärmeabsatz der Jahre 2001 bis 2008, SWE Energie GmbH

In den betrachteten acht Jahren ist über alle Verbrauchergruppen insgesamt ein Rückgang von ca. 14 % zu verzeichnen.

Den größten betroffenen Bereich mit einer Reduzierung von 30 % repräsentieren die sonstigen Verbraucher. Er hat jedoch am Gesamtverbrauch nur einen Anteil von ca. 12 %. Der Bereich Industrie/Gewerbe/Handel verzeichnet einen Zuwachs von ca. 30 % und hat einen Anteil am Gesamtverbrauch von ca. 25 %. Beide Tendenzen heben sich in etwa auf. Der starke Anstieg bei Industrie/Gewerbe/Handel resultiert aus dem Wechsel eines Erfurter Großkunden von der Versorgung mit Erdgas auf Fernwärme. Ohne diesen

Wechsel hätte sich in dieser Verbrauchsgruppe nur ein sehr moderater Anstieg ergeben.

Innerhalb der sonstigen Verbraucher werden jedoch große Unterschiede sichtbar (Tabelle 1–10). Während in der Landwirtschaft ein Zuwachs von über 30 % zu verzeichnen ist, gibt es im Bereich Verkehr/Nachrichten/öffentliche Belange eine Reduzierung um ca. 50 %. Der Verbrauch dieses Bereiches innerhalb der Verbrauchergruppe ist jedoch dreimal höher als der der Landwirtschaft.

Die öffentlichen Gebäude weisen einen Rückgang von ca. 15 % auf. Ihr Anteil am Gesamtverbrauch liegt ebenfalls bei ca. 20 %. Dies ist innerhalb dieser Gruppe dem Bereich Behörden/öffentliche Einrichtungen mit einer Reduzierung von ca. 25 % zum Ausgangswert des Jahres 2001 geschuldet. Der Bereich Wissenschaft/Unterricht/Betreuung verzeichnet zwar einen starken Zuwachs, aber insbesondere im Bereich der Wissenschaften wird es in absehbarer Zeit kaum noch Neubauten und somit keine Erhöhung des Fernwärmeverbrauchs geben.

Der Bereich Kunst/Kultur/Sport verzeichnet nach einem zwischenzeitlichen Anstieg schon wieder einen Rückgang – der Verbrauchswert 2008 liegt nur noch geringfügig über dem Ausgangswert 2001. Die Verbrauchsgruppe öffentliche Gebäude wird von den Behörden mit ca. 75 % Verbrauchsanteil dominiert, so dass die Einsparung in diesem Bereich nicht durch den Anstieg bei der Wissenschaft kompensiert werden kann. Des Weiteren gibt es insbesondere bei Schulen ein erhebliches Einsparpotential, das mittelfristig im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen erschlossen werden wird.

Ein erheblicher Rückgang von ca. 20 % ist bei den privaten Haushalten sichtbar. Sie haben am Gesamtverbrauch bei diesem Energieträger den größten Anteil mit ca. 45 %. Der Trend zu erheblichen Reduzierungen in dieser Verbrauchergruppe ist seit 1990 ungebrochen. Das ist dem veränderten Nutzerverhalten auf Grund der Preisentwicklung, der Sanierung, dem Leerstand und dem seit 2002 erfolgtem Rückbau von ca. 5.000 Wohnungen in industriell errichteten Gebäuden bis 2007 geschuldet.

Der Trend wird sich auch in den nächsten Jahren (mittelfristig) fortsetzen, da die demografische Entwicklung in den nächsten 10 Jahren und der damit verbundene Leerstand bzw. Rückbau sowie die weitergehende Sanierung insbesondere der industriell errichteten Gebäude weiter fortschreiten wird. Er kann nur durch Neuanschlüsse in Form von Energieträgerumstellungen aufgehalten werden, da der Neubau von innerstädtischen Wohn- und Nichtwohngebäuden in den nächsten 10 Jahren keine relevante Bedeutung haben wird.

Die Anteile der Verbrauchergruppen am Gesamtverbrauch haben sich im Betrachtungszeitraum kaum verändert.

Die entsprechenden Werte sind in der nachfolgenden Tabelle 1–10 zusammengestellt.

1.1.5.2 Erdgas

Aus den von der Stadtwerke Erfurt GmbH zur Verfügung gestellten Abrechnungsdaten für die Verbrauchswerte von Fernwärme und Erdgas der Jahre 2001 bis 2008 ergibt sich das nachstehende Bild (Abbildung 1–2) für den Energieträger Erdgas (zusammengefasste Verbrauchergruppen nach Branchenschlüssel) [9].

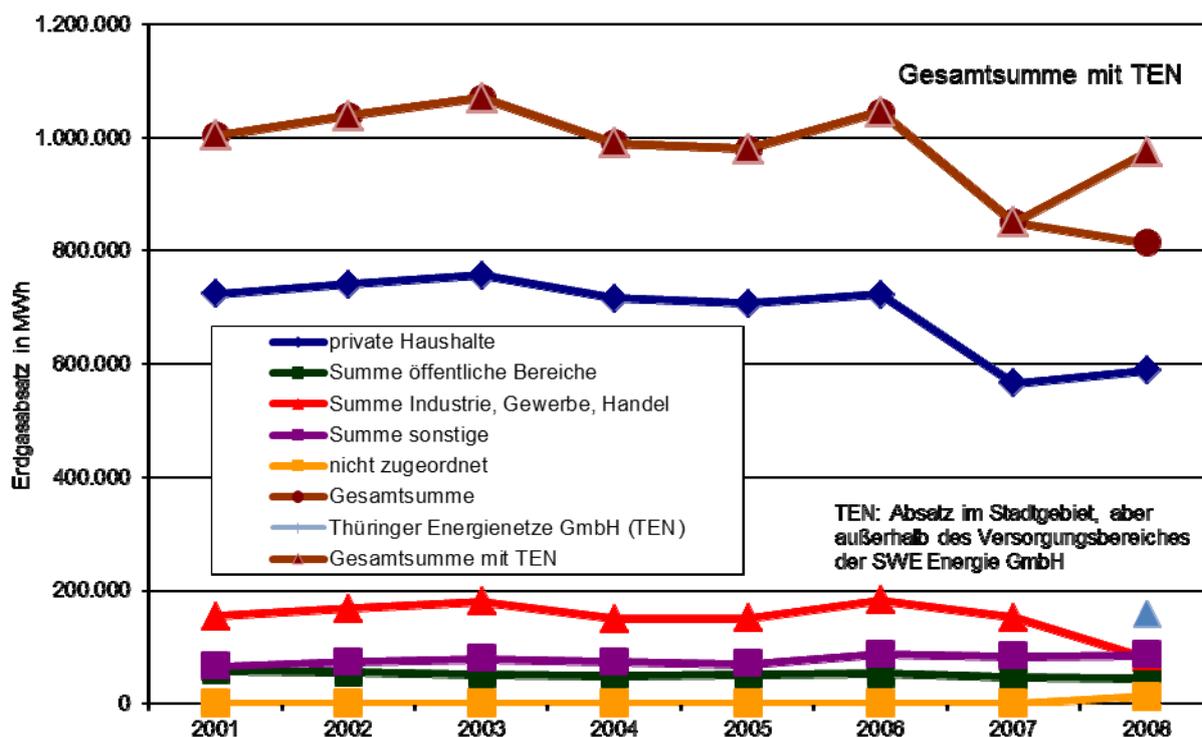


Abbildung 1–2: Klimabereinigter Erdgasabsatz der Jahre 2001 bis 2008 der SWE Energie GmbH

Der Rückgang des Erdgasverbrauchs im betrachteten Zeitraum liegt bei ca. 19 %. Die prozentual größten Reduzierungen liegen in der Verbrauchsgruppe Industrie/ Gewerbe/Handel mit ca. 50 %, geschuldet dem Wechsel eines Erfurter Großkunden zur Fernwärmeversorgung. Ohne diesen Wechsel wäre das Verbrauchsniveau mit leichten Schwankungen im Laufe der Zeit in etwa auf gleichem Niveau geblieben.

Bei den privaten Haushalten (- 19 %), die auch mit mehr als zwei Dritteln am Gesamtverbrauch die größte Verbrauchergruppe bilden, ist der Rückgang im Wesentlichen ab dem Jahr 2007 zu verzeichnen und weicht erheblich von den anderen Werten im betrachteten Zeithorizont ab. Hier ist eine Kontrolle der Verbrauchswerte dringend erforderlich, da dieser große Rückgang weder aus den durchgeführten energieverbrauchssenkenden Maßnahmen noch aus besonderer Sparsamkeit

erklärbar ist. Auch die Liberalisierung des Erdgasmarktes dürfte zu diesem Zeitpunkt keinen so gravierenden Einfluss gehabt haben.

Der Rückgang im öffentlichen Bereich liegt mit ca. 25 % in der gleichen Größenordnung wie bei den privaten Haushalten und kann auf Einsparmaßnahmen zurückgeführt werden. Die Verschiebungen innerhalb der Verbrauchsgruppe bei den Verbrauchsbereichen resultieren wahrscheinlich aus Änderungen in der statistischen Zuordnung.

Die Verbrauchergruppe „Sonstige“ verzeichnet einen Zuwachs von ca. 30 %.

Die Einzelwerte der jeweiligen Verbrauchergruppen sind für den betrachteten Zeitraum in Tabelle 1–11 zusammengestellt.

Für 2008 erfolgte von der Thüringer Energienetze GmbH (TEN) die Angabe des Erdgasabsatzes in den Ortsteilen, die nicht im Versorgungsgebiet der SWE Energie GmbH liegen. Der Erdgasabsatz in diesem Gebiet betrug 2008 160 GWh, so dass sich für das gesamte Stadtgebiet 2008 ein Erdgasabsatz von 974 GWh ergibt.

In [30] erfolgten eine Klassifizierung der Wohngebäude und die Berechnung des spezifischen Energiebedarfs. Darauf aufbauend und mit Berücksichtigung der Entwicklung des Gebäudebestandes [67] erfolgte eine Berechnung des Wärmebedarfs der Wohngebäude im Stadtgebiet. Dabei wird der Wärmebedarf der mit anderen Energieträgern (Heizöl, Flüssiggas, Holz, Wärmepumpen, ...) versorgten Gebäude mit ca. 200 GWh abgeschätzt. In die Emissionsberechnungen geht dieser Wert mit einem Nutzungsgrad von 0,9 (führt zu einem Bedarf von 220 GWh) und den Emissionswerten von Erdgas ein.

Tabelle 1–11: Erdgasabsatz 2001 – 2008 (klimabereinigte Werte [9])

Bezeichnung/Verbrauchergruppen	Branchen- schlüssel	MWh/a									Abweichung 08/01 in %
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008		
private Haushalte	B 2010	723.687,9	740.990,0	756.850,1	715.463,6	706.887,1	722.644,1	566.358,1	589.075,1		-18,6 %
Behörden, öffentliche Einrichtungen	B 1810	52.786,8	48.952,0	46.219,5	43.806,4	45.173,2	46.553,9	42.008,4	24.763,5		-53,1 %
Wissenschaft, Unterricht, Betreuung	B 1410	5.876,8	6.408,5	6.364,5	6.113,9	5.979,1	6.263,0	5.891,6	7.371,4		25,4 %
Kultur, Kunst, Sport	B 1510	3,2	29,3	41,2	59,7	64,6	66,1	36,4	12.208,3		382.605,8 %
Summe öffentliche Bereiche	B 1410, 1510, 1810	58.666,7	55.389,8	52.625,3	49.980,1	51.216,9	52.882,9	47.936,4	44.343,2		-24,4 %
Bergbau, verarbeitendes Gewerbe	B 0310	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0 %
Grundstoff-, Produktionsgütergewerbe	B 0410	50.038,3	52.196,4	56.315,1	44.499,3	38.964,8	58.430,3	43.792,6	36.612,5		-26,8 %
Investitionsgütergewerbe	B 0510	13.809,2	13.936,3	15.502,3	15.031,8	14.886,0	14.899,9	13.186,3	8.133,3		-41,1 %
Verbrauchsgüter prod. Gewerbe	B 0610	7.091,2	7.504,4	7.669,2	8.030,5	10.952,8	12.110,2	10.339,8	5.013,6		-29,3 %
Nahrungs- und Genussmittelgewerbe	B 0710	67.474,3	70.883,8	77.465,1	65.071,3	68.250,5	77.283,0	65.753,6	15.047,6		-77,7 %
Baugewerbe einschl. Baustellen	B 0810	3.776,4	3.841,7	3.786,0	4.367,7	4.011,8	4.744,5	4.047,0	3.925,3		3,9 %
Handel und Lagerhaltung	B 0910	12.924,4	19.959,7	19.558,8	13.633,9	13.726,0	15.153,1	14.836,7	12.854,5		-0,5 %
Summe Industrie/Gewerbe/Handel	B 0310- 0910	155.113,7	168.322,2	180.296,5	150.634,5	150.791,8	182.621,0	151.956,0	81.586,8		-47,4 %
Landwirtschaft	B 0110	3.875,6	2.878,3	3.031,7	2.845,9	2.917,5	3.752,9	3.167,6	2.831,8		-26,9 %
Energie-, Wasserversorgungsunt.	B 0210	157,7	177,6	184,5	176,2	170,6	180,6	130,8	156,1		-1,0 %
Verkehr, Nachrichten, öffentl. Belange	B 1010	6.199,5	6.315,1	6.125,3	5.504,6	5.207,5	7.975,8	9.642,6	5.866,7		-5,4 %
Kreditinstitute, Private Versicherungen	B 1110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	65,4	213,7		0,0 %
Gastgewerbe	B 1210	119,4	494,5	1.437,7	2.254,9	2.218,6	2.116,0	2.049,5	2.888,4		2.320,1 %
Wäscherei, Reinigung, Körperpflege	B 1310	0,0	389,0	1.650,3	1.400,1	1.534,8	2.226,2	2.241,2	1.883,0		0,0 %
Gesundheits- und Veterinärwesen	B 1610	48.974,9	56.058,9	60.712,6	55.673,4	52.528,0	63.701,1	57.610,1	53.511,1		9,3 %
freie Berufe	B 1710	1.863,8	1.869,7	1.523,1	1.472,6	1.436,2	2.364,5	4.411,8	14.274,8		665,9 %
Organisationen ohne Erwerbscharakter	B 1910	4.787,3	4.965,5	4.925,4	4.600,5	4.602,6	4.622,1	4.269,5	4.775,5		-0,2 %
Summe sonstige	B 0110- 1910	65.978,1	73.148,6	79.590,8	73.928,2	70.615,6	86.948,9	83.588,4	86.401,1		31,0 %
nicht zugeordnet		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12.764,2		0,0 %
Gesamtsumme		1.003.446	1.037.851	1.069.363	990.006	979.511	1.045.097	849.839	814.171		-18,9 %

1.1.5.3 Elektroenergie

Die Betrachtung des Elektroenergieverbrauchs gestaltet sich schwierig, da seit der Liberalisierung des Strommarktes bis 2007 keine Daten für den Gesamtverbrauch im Stadtgebiet vorliegen; es existiert nur der Absatz der SWE Energie GmbH. Weiterhin wurde die statistische Einordnung der Verbrauchergruppen geändert (s.a. Abbildung 1–3, Jahre 2007 und 2008), so dass hier nur eine Verschiebung des Verbrauchs in den Verbrauchergruppen entsteht.

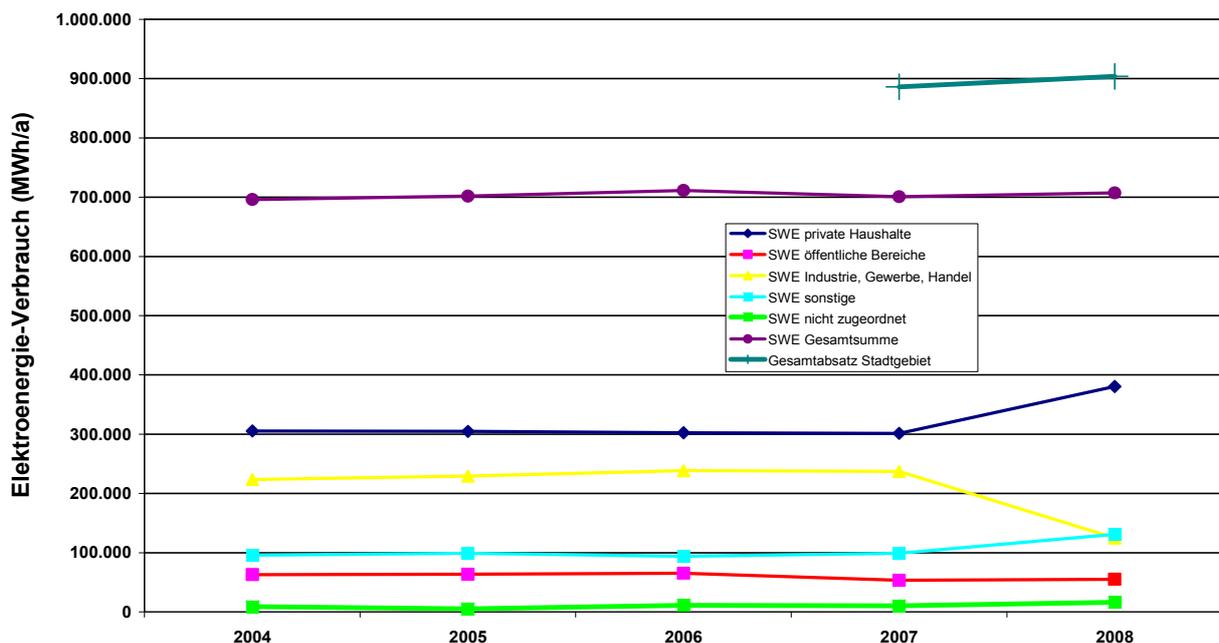


Abbildung 1–3: Elektroenergieabsatz Stadtgebiet Erfurt und SWE Energie GmbH in Erfurt

Mit den Änderungen der Zuordnung von Verbrauchern zu Verbrauchergruppen kann ein Trend aus den Daten nicht mehr abgeleitet werden.

Berücksichtigt man das Jahr 2008 nicht, können folgende Aussagen getroffen werden:

- Der Elektroenergieverbrauch der privaten Haushalte sinkt im Zeitraum 2004 bis 2007 leicht um ca. 1,5 %.
- Der Elektroenergieverbrauch des öffentlichen Bereiches sinkt im Zeitraum 2004 bis 2007 um ca. 15 %.
- Der Elektroenergieverbrauch im Bereich sonstige Verbraucher steigt im Zeitraum 2004 bis 2007 leicht um ca. 6 %.
- Der Elektroenergieverbrauch im Bereich Industrie/Gewerbe/Handel steigt im Zeitraum 2004 bis 2007 leicht um ca. 3 %.

Tabelle 1–12: Elektroenergieabsatz Erfurt 2004 – 2008 [9]

Bezeichnung/Verbrauchergruppen	Branchen- schlüssel	2004	2005	2006	2007	2008	Abweichung 08/04 in %
		MWh/a					
private Haushalte	B 2010	305.239	304.702	302.444	301.283	380.438	24,6 %
Behörden, öffentliche Einrichtungen	B 1810	41.608	42.160	43.100	31.020	27.912	-32,9 %
Wissenschaft, Unterricht, Betreuung	B 1410	5.490	5.531	5.296	19.464	14.861	170,7 %
Kultur, Kunst, Sport	B 1510	15.892	15.911	16.867	2.866	12.365	-22,2 %
Summe öffentliche Bereiche	B 1410, 1510, 1810	62.989	63.602	65.263	53.350	55.138	-12,5 %
Bergbau, verarbeitendes Gewerbe	B 0310	2.457	2.906	3.588	3.410	3.821	55,5 %
Grundstoff-, Produktionsgütergewerbe	B 0410	13.422	12.993	13.183	10.629	1.550	-88,5 %
Investitionsgütergewerbe	B 0510	0	0	51	64	1.165	0,0 %
Verbrauchsgüter prod. Gewerbe	B 0610	106.527	115.699	125.703	125.296	24.346	-77,1 %
Nahrungs- und Genussmittelgewerbe	B 0710	45.175	47.364	47.584	48.712	42.781	-5,3 %
Baugewerbe einschl. Baustellen	B 0810	6.656	4.854	5.119	4.047	4.177	-37,3 %
Handel und Lagerhaltung	B 0910	49.137	45.559	43.287	44.866	46.764	-4,8 %
Summe Industrie/Gewerbe/Handel	B 0310-0910	223.376	229.374	238.516	237.025	124.604	-44,2 %
Landwirtschaft	B 0110	5.492	5.788	3.959	3.817	3.406	-38,0 %
Energie-, Wasserversorgungsunternehmen	B 0210	9.734	7.329	4.607	6.061	8.444	-13,3 %
Verkehr, Nachrichten, öffentl. Belange	B 1010	30.445	29.671	28.859	35.686	68.669	125,5 %
Kreditinstitute, Private Versicherungen	B 1110	8.967	8.844	8.372	14.930	5.121	-42,9 %
Gastgewerbe	B 1210	11.985	15.426	16.269	9.840	17.299	44,3 %
Wäscherei, Reinigung, Körperpflege	B 1310	3.210	3.226	3.197	2.574	4.848	51,1 %
Gesundheits- und Veterinärwesen	B 1610	7.139	9.589	10.238	7.862	6.847	-4,1 %
freie Berufe	B 1710	18.657	18.983	18.343	17.914	16.324	-12,5 %
Organisationen ohne Erwerbscharakter	B 1910	0	0	0	0	0	0,0 %
Summe sonstige	B 0110-1910	95.630	98.856	93.843	98.686	130.958	36,9 %
nicht zugeordnet		8.907	5.154	11.099	10.330	16.179	81,6 %
Gesamtsumme SWE Energie GmbH		696.142	701.688	711.166	700.675	707.317	1,6 %
Gesamtabsatz Stadtgebiet					886.300	903.800	2,0 %

1.1.6 Zusammenfassung

In Tabelle 1–13 sind die Ergebnisse zusammengestellt. Zu den Verbrauchsgruppen kommen noch die statistisch nicht zugeordneten Verbraucher der SWE Energie GmbH und Kunden von anderen Energielieferanten hinzu, zusammengefasst unter Energiebezug TEN (Thüringer Energienetze GmbH), Energiebezug andere Energieträger und Energiebezug extern.

Tabelle 1–13: Endenergiebedarf Fernwärme, Erdgas und Elektroenergie 2008

	Fernwärme in GWh	Erdgas in GWh	Elektroenergie in GWh
Private Haushalte	255	590	380
Sonstige Verbraucher	1	12	16
Energiebezug TEN		160	
Energiebezug andere Energieträger		220	
Energiebezug extern EE und Netzverluste			197
Öffentliche Gebäude	105	44	55
Industrie/Gewerbe/Handel	138	82	125
Sonstige	70	86	131
Summe	569	1.194	904

Abbildung 1–4 zeigt den Energieverbrauch und die dadurch hervorgerufenen Emissionen für 2008 für die Energieträger Fernwärme, Erdgas und Elektroenergie. Es wurden 569 GWh Fernwärme, 904 GWh Elektroenergie und 974 GWh Erdgas verbraucht, dazu kommen noch die 200 GWh des Wärmeverbrauchs der nicht durch die SWE Energie GmbH und TEN erfassten Verbraucher (Energiebezug andere Energieträger), die mit den Emissionsfaktor von Erdgas und einem Nutzungsgrad von 0,9 (führt zu einem Bezug von 220 GWh) beaufschlagt werden.

Um die Effekte der bereits erreichten Einsparungen zu verdeutlichen, wird als Ausgangsbasis die Bereitstellung der Fernwärme nur aus Erdgas mit einem Emissionswert von 227,7 g CO₂/kWh und einem Nutzungsgrad von 0,9 betrachtet (führt zu einem Bezug von 632 GWh), für die Elektroenergie der aktuelle Emissionswert 2008 von 572 g CO₂/kWh (Bundesumweltamt 2010).

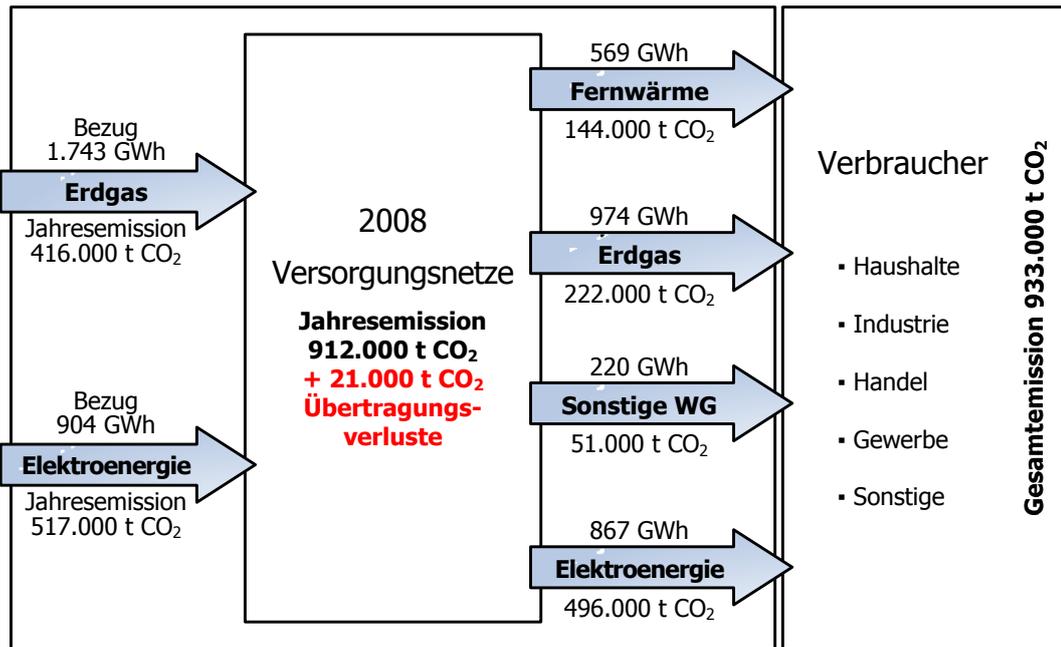


Abbildung 1–4: Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW aus Erdgas bei Nutzungsgrad 90 % 2008, Strommix BRD

1.2 Prognose

1.2.1 Private Haushalte

1.2.1.1 Wärmebedarf

In [30] wurde eine ausführliche Berechnung des Energiebedarfs von Wohngebäuden für die beiden Energieträger Fernwärme und Erdgas vorgenommen. Basis dafür war das Jahr 2007/06. Der Anteil der privaten Haushalte am Gesamtverbrauch beträgt bei Fernwärme ca. 45 %, bei Erdgas ca. 70 %.

Ab 2007 wird die Statistik der Zuordnung von Verbrauchern zu den Verbrauchsgruppen bei den Versorgungsunternehmen geändert. Zu erkennen ist dies in den sprunghaften Änderungen in den Verbrauchsgruppen. Damit sind keine belastbaren Aussagen mehr möglich. In Tabelle 1–14 wurde der Versuch unternommen, mit den Verbrauchswerten von 2008 und den ermittelten Einsparungsraten neue Werte zu berechnen. Da es nur zu Verschiebungen der Verbraucher innerhalb der Verbrauchsgruppen kommt, ist eine Aussage zum Gesamtverbrauch der Energieträger möglich, jedoch sinkt die Prognosegenauigkeit weiter ab.

Basis der Prognose ist Tabelle 1–13, bei den nicht erfassten Verbrauchern wird mit einem Nutzungsgrad von 0,9 und im Weiteren mit dem Emissionsfaktor von Erdgas gerechnet. Der Verbrauchswert für Erdgas der privaten Verbraucher ergibt sich als Summe der privaten Haushalte (590 GWh), der sonstigen Verbraucher (12 GWh), dem Energiebezug TEN (160 GWh) und dem Energiebezug andere Energieträger (110 GWh/Nutzungsgrad 0,9 = 120 GWh) zu 982 GWh.

Es ist empfehlenswert, nach Konsolidierung der Umstellung der statistischen Zuordnung der Abnehmer und der Arbeit der SWE Netz GmbH eine Erfassung des Verbrauchs der vergangenen Jahre mit der neuen statistischen Zuordnung vorzunehmen. Dabei sollten auch andere Lieferanten für Erdgas berücksichtigt werden und elektrisch betriebene Wärmepumpen erfasst werden.

Tabelle 1–14: Endenergiebedarf Fernwärme und Erdgas der privaten Haushalte für 2008, 2012 und 2020 in GWh auf Basis 2008

	Fernwärme 2008	Fernwärme 2012	Fernwärme 2020	Erdgas 2008	Erdgas 2012	Erdgas 2020
Private Haushalte	252 GWh	225 GWh	190 GWh	982 GWh	930 GWh	830 GWh
Differenz (%)		- 10 %	- 25 %		- 5 %	- 15 %

1.2.1.2 Elektroenergiebedarf

Der Anteil dieser Verbrauchsgruppe am Gesamtverbrauch beträgt ca. 40 %.

Nach einem geringen Anstieg von 2004 bis 2007 von ca. 1 % erfolgte von 2007 zu 2008 ein Anstieg um ca. 25 %. Dieser Anstieg resultiert eher aus Umgruppierungen in den Zuordnungen zu den Verbrauchsgruppen als aus einem realen Verbrauchsanstieg.

Tabelle 1–15: Endenergiebedarf Elektroenergie der privaten Haushalte für 2008, 2012 und 2020 in GWh auf Basis 2008

	Elektroenergie 2008	Elektroenergie 2012	Elektroenergie 2020
Private Haushalte	396 GWh	380 GWh	360 GWh
Abrechnung SWE	396GWh	—	—
Differenz (%)	—	0 % -- 4 %	0 % -- 10 %

Einschlägige Studien [31] gehen von einer Effizienzsteigerung bei den Elektrogeräten aus; unter der Annahme, dass 2020 nur noch Geräte mit der Effizienzklasse A++ eingesetzt werden, sinkt der Energiebedarf um durchschnittlich 30 %. Dem entgegen steht der Trend, dass sich die Anzahl der Elektrogeräte pro Haushalt erhöht.

Die Prognosebereiche liegen zwischen einem moderaten Anstieg, gleichbleibend bis geringe Einsparungen. In Erfurt sinkt die Bevölkerungsanzahl, die Anzahl der Haushalte jedoch nicht so stark, so dass von einem höchstens moderaten Absinken des Elektroenergiebedarfs ausgegangen wird. Mit diesen Annahmen ergibt sich für die privaten Haushalte der Energiebedarf für Elektroenergie in Tabelle 1–15.

1.2.2 Öffentliche Gebäude

1.2.2.1 Wärmebedarf

Der Anteil dieser Verbrauchgruppe am Gesamtverbrauch beträgt bei Fernwärme ca. 20 %, bei Erdgas ca. 5 %.

In [30] wurde eine ausführliche Berechnung des Energiebedarfs von öffentlichen Gebäuden für die beiden Energieträger Fernwärme und Erdgas vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1–16 dargestellt, danach sinkt der Energiebedarf für Fernwärme um etwa 25 % bis 2020 und für Erdgas um etwa 15 %.

Tabelle 1–16: Endenergiebedarf Fernwärme und Erdgas der öffentlichen Gebäude für 2008, 2012 und 2020 in GWh

	Fernwärme 2008	Fernwärme 2012	Fernwärme 2020	Erdgas 2008	Erdgas 2012	Erdgas 2020
Öffentliche Bereiche		95 GWh	75 GWh		41 GWh	37 GWh
Abrechnung SWE	105 GWh	—	—	44 GWh	—	—
Differenz (%)		- 8 %	- 25 %		- 5 %	- 15 %

1.2.2.2 Elektroenergiebedarf

Der Anteil dieser Verbrauchgruppe am Gesamtverbrauch beträgt ca. 5 %.

Im Zeitraum von 2004 bis 2008 sank der Verbrauch in dieser Verbrauchsgruppe um ca. 12,5 %. Durch Verbesserungen in der Beleuchtungstechnik werden bis 2020 Einsparungen bis zu 40 % in diesem Bereich erwartet, im Bereich Bürotechnik werden durch verbesserte Energieeffizienz Einsparungen von bis zu 10 % erwartet. Auch hier gibt es die gegenläufige Tendenz des wachsenden Einsatzes an Bürotechnik. Insgesamt wird für diesen Bereich von einem weiteren moderaten Absinken des Bedarfs ausgegangen (Tabelle 1–17)

Tabelle 1–17: Endenergiebedarf Elektroenergie der öffentlichen Gebäude für 2008, 2012 und 2020 in GWh

	Elektroenergie 2008	Elektroenergie 2012	Elektroenergie 2020
Öffentliche Bereiche		53 GWh	50 GWh
Abrechnung SWE	55 GWh	—	—
Differenz (%)	—	0 % – - 5 %	0 % – - 10 %

1.2.3 Industrie/Gewerbe/Handel

1.2.3.1 Wärmebedarf

Der Endenergiebedarf des Verbraucherbereichs Industrie/Gewerbe/Handel und Sonstige Verbraucher konnte ebenfalls nicht durch Simulationsrechnungen ermittelt werden, da die notwendigen Daten nicht nur Flächen und Baukonstruktionen betreffen, sondern auch Prozessenergie. Über den Einsatz der Energieträger in diesen Bereichen gibt es keine exakte Statistik.

Ein Abgleich der Werte für einzelne Energieträger zwischen den Werten der Stadtwerke und dem Thüringer Landesamt für Statistik war nicht möglich, weil die Zuordnung von beiden Einrichtungen unterschiedlich vorgenommen wird. Des Weiteren umfasst die offizielle Statistik nur den Bergbau und das verarbeitende Gewerbe. Dringend notwendige Anpassungen sind nach Recherchen der Autoren in den letzten Jahren nicht erfolgt. Der Anteil dieser Verbrauchgruppe am Gesamtverbrauch beträgt bei Fernwärme ca. 25 %, bei Erdgas ca. 10 %.

Bei der Fernwärme gab es in den Jahren von 2001 bis 2007 einen moderaten Anstieg, im Jahr 2008 durch den Wechsel eines Großverbrauchers vom Erdgas zur Fernwärme einen größeren Sprung im Verbrauch. Zukünftig wird hier von einer sehr moderaten Steigerung von ca. 1 % im Jahr ausgegangen.

In diesem Bereich werden sich Einsparungen bei der Beheizung mit Ausweitung der Produktion bzw. des Handels und Gewerbes in etwa die Waage halten (Tabelle 1–18).

Tabelle 1–18: Endenergiebedarf Fernwärme und Erdgas Industrie/Gewerbe/Handel für 2008, 2012 und 2020 in GWh

	Fernwärme 2008	Fernwärme 2012	Fernwärme 2020	Erdgas 2008	Erdgas 2012	Erdgas 2020
Industrie/ Gewerbe/ Handel		144 GWh	155 GWh		82 GWh	82 GWh
Abrechnung SWE	138 GWh	—	—	82 GWh	—	—
Differenz (%)		+ 4 %	+ 12 %		0 %	0 %

1.2.3.2 Elektroenergiebedarf

Tabelle 1–19: Endenergiebedarf Elektroenergie Industrie/Gewerbe/Handel für 2008, 2012 und 2020 in GWh

	Elektroenergie 2008	Elektroenergie 2012	Elektroenergie 2020
Industrie/Gewerbe/ Handel		125 GWh	125 GWh
Abrechnung SWE	125 GWh	—	—
Differenz (%)	—	- 1,5 % – + 1,5 %	- 3 % – + 3 %

Der Anteil dieser Verbrauchgruppe am Gesamtverbrauch beträgt ca. 15 %.

Zwischen 2004 und 2007 verzeichnete diese Verbrauchsgruppe einen Anstieg von ca. 2 % pro Jahr, von 2007 zu 2008 einen Rückgang um fast 50 %. Dies resultiert wohl eher aus Umgruppierungen bei der Zuordnung als aus Produktionsrückgang, Schließung oder Wechsel des Anbieters.

Je nach Erweiterung der Produktion und Einsatz energieeffizienter Technologien und Geräte wird der Bedarf in dieser Verbrauchsgruppe in etwa stagnieren (Tabelle 1–19).

1.2.4 Sonstige

1.2.4.1 Wärmebedarf

Der Anteil dieser Verbrauchgruppe am Gesamtverbrauch beträgt bei Fernwärme ca. 12 %, bei Erdgas ca. 10 %.

Im Betrachtungszeitraum bis 2007 sank der Verbrauch bei Fernwärme um ca. 20 %, von 2007 zu 2008 um weitere 15 %, die aber offensichtlich durch Änderungen der Zuordnung zustande kommen. Es wird bei dieser Verbrauchsgruppe von einem weiteren moderaten Rückgang ausgegangen.

Beim Erdgas steigerte diese Verbrauchsgruppe den Verbrauch von 2001 zu 2008 um ca. 30 %. Zukünftig wird von einer moderaten Steigerung von 2 % pro Jahr ausgegangen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1–20 zusammengefasst.

Tabelle 1–20: Endenergiebedarf Fernwärme und Erdgas Industrie/Gewerbe/Handel für 2008, 2012 und 2020 in GWh

	Fernwärme 2008	Fernwärme 2012	Fernwärme 2020	Erdgas 2008	Erdgas 2012	Erdgas 2020
Sonstige		67 GWh	62 GWh		93 GWh	106 GWh
Abrechnung SWE	70 GWh	—	—	86 GWh	—	—
Differenz (%)		- 4 %	- 12 %		+ 8 %	+ 24 %

1.2.4.2 Elektroenergiebedarf

Der Anteil dieser Verbrauchgruppe am Gesamtverbrauch beträgt ca. 15 %.

Im Zeitraum 2004 bis 2007 stieg der Verbrauch um 3 %, von 2007 zu 2008 um ca. 30 %. Der letzte Zuwachs ist wohl Änderungen der Zuordnung geschuldet, im Wesentlichen wird er von einer Steigerung im Bereich Verkehr/Nachrichten/öffentliche Belange hervorgerufen. Zukünftig wird in dieser Verbrauchsgruppe von einer Stagnation ausgegangen (Tabelle 1–21).

Tabelle 1–21: Endenergiebedarf Elektroenergie Industrie/Gewerbe/Handel für 2008, 2012 und 2020 in GWh

	Elektroenergie 2008	Elektroenergie 2012	Elektroenergie 2020
Sonstige		131 GWh	131 GWh
Abrechnung SWE	131 GWh	—	—
Differenz (%)	—	- 1,5 % – + 1,5 %	- 3 % – + 3 %

1.2.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Prognose sind in Tabelle 1–22 zusammengefasst. Hier fließen die Daten der einzelnen Tabellen aus Punkt 1.2 zusammen. Da nicht alle Verbraucher beim Erdgas und der Elektroenergie durch die SWE Energie GmbH erfasst wurden (nicht zugeordnet bzw. Kunden von Unternehmen außerhalb des Stadtgebietes) erfolgt die Berücksichtigung in der Zeile Energiebezug extern. Bei dieser Hochrechnung verhalten sich die nicht berücksichtigten Verbraucher im Mittel wie das Mittel aus den berücksichtigten Verbrauchern.

Nach den Berechnungen sinkt der Bedarf an Fernwärme 2020 gegenüber 2008 um 15 % oder 86 GWh, der Bedarf an Erdgas um 10 % oder 120 GWh und der Bedarf an Elektroenergie um 3 % oder 25 GWh.

Die Fortschreibung der bisherigen Entwicklung des Energieverbrauchs in Erfurt führt bis 2020 nur zu geringen Einsparungen an CO₂-Emissionen. Unter den gleichen Voraussetzungen wie in Abbildung 1–4 ergeben sich die Emissionen in Abbildung 1–5. Die Einsparungen an CO₂-Emissionen betragen 17.000 t CO₂ für 2020 gegenüber 2008, dies entspricht einer Verringerung um 2 %.

Aus der Zusammenfassung wird deutlich, dass die wesentlichen Ansatzpunkte zur Einsparung an Energie im Wärmebereich liegen. Der Gesamtverbrauch an Wärmeenergie ist doppelt so hoch wie der Elektroenergieverbrauch. In den Verbrauchsgruppen wird dies noch deutlicher. Bei den privaten Haushalten ist der Wärmeverbrauch mehr als dreimal so hoch wie der Elektroenergieverbrauch, bei den öffentlichen Gebäuden fast dreimal so hoch und bei Industrie/Gewerbe/Handel fast zweimal so hoch.

Tabelle 1–22: Zusammenfassung Endenergiebedarf Fernwärme, Erdgas und Elektroenergie 2008, 2012 und 2020

	Fernwärme 2008	Fernwärme 2012	Fernwärme 2020	Erdgas 2008	Erdgas 2012	Erdgas 2020	Elektroenergie 2008	Elektroenergie 2012	Elektroenergie 2020
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
Private Haushalte	255	230	190	980	930	830	396	390	385
Öffentliche Bereiche	105	95	75	44	41	37	55	53	50
Industrie/Gewerbe/Handel	138	144	155	82	82	82	125	125	125
Sonstige	70	67	62	86	93	106	131	131	130
Energiebezug extern und Netzverluste	0	0	0	0	0	0	197	193	190
Summe	568	531	482	1.192	1.149	1.055	904	890	880
Änderung in %	0 %	- 7 %	- 15 %	0 %	- 4 %	- 10 %	0 %	- 1 %	- 3 %

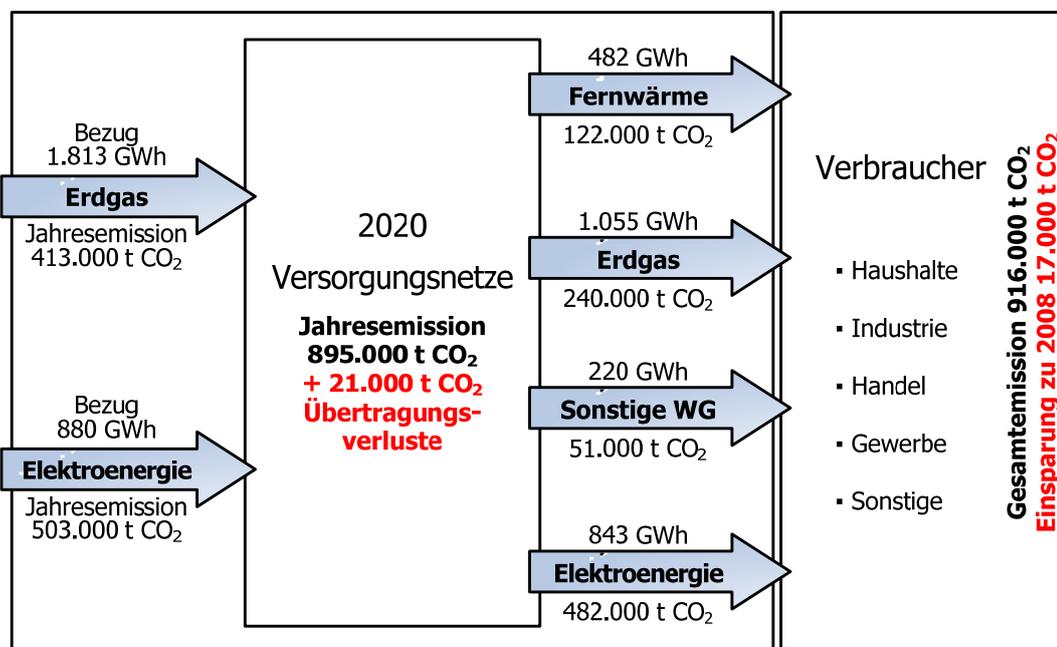


Abbildung 1–5: Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW aus Erdgas bei Nutzungsgrad 90 %, Prognose für 2020, Strommix BRD

1.3 Potentiale

1.3.1 Einleitung

Der übliche Weg bei der Energieeinsparung bzw. bei der Minderung der CO₂-Emissionen ist zuerst die Senkung des Bedarfs und anschließend die Deckung des Restbedarfs möglichst CO₂-frei.

Im Gebäudebereich bedeutet dies **zuerst** die energetische Sanierung: Dämmung der Außenbauteile, Fensteraustausch zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste und kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung zur Reduzierung der Lüftungswärmeverluste. Anschließend Auslegung der Heizungsanlage auf möglichst geringe Systemtemperaturen (Senkung von Wärmeverlusten) und bedarfsorientierte Fahrweise der Anlagen (Gebäudeautomationssystem mit Effizienzklasse A) bei möglichst geringem Hilfsenergiebedarf (Pumpen, Ventilatoren), sowie entsprechender Schutz vor sommerlicher Überhitzung.

Beim Wasser- und Warmwasserverbrauch kann durch energiesparende Armaturen sowohl der Wasser- als auch der Energieverbrauch reduziert werden und durch Dämmung der Verteilleitungen und insbesondere der Zirkulationsleitungen der Energieverlust. Eine Reduzierung der Zirkulationszeiten ist im MFH nur in Grenzen möglich. Die Wärmerückgewinnung aus dem warmen Abwasser ist prinzipiell möglich, erfordert aber einen entsprechenden apparativen Aufwand (Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser mit Plattenwärmeübertrager direkt zum Kaltwasserzulauf der Dusche, Speicherbehälter für warmes Abwasser und mittels Wärmepumpe Wärmerückgewinnung in den Warmwasserspeicher). Eine weitere Möglichkeit ist die Speicherung des warmen Abwassers solange, bis mittels einer Wärmepumpe eine Abkühlung und somit Wärmerückgewinnung erreicht wurde.

Elektroenergie kann durch den Einsatz energiesparender Geräte erreicht werden, in der gegenläufigen Tendenz werden in den Haushalten immer mehr elektrisch betriebene Geräte eingesetzt. Bei der Beleuchtung kann durch den zukünftigen Einsatz von LED-Beleuchtung Elektroenergie eingespart werden.

Im Juni 2010 hatten interessierte Bürger der Stadt Erfurt die Möglichkeit, im Rahmen des öffentlichen Erfurter Forums [64] zu Themen des Klimaschutzes Ideen und Vorschläge einzubringen und diese zu diskutieren. Dabei bezogen sich einige von den eingegangenen Vorschlägen auf Energieerzeugung und Energieeffizienz.

1.3.2 Energetische Verbesserung der Wohngebäude

1.3.2.1 Ausgangsdaten

Wenn die Sanierung der Wohngebäude und der Neubau energetisch guter Gebäude sich weiter so entwickeln wie bisher, wurde in Tabelle 1–14 der Verbrauch für 2020 prognostiziert.

Würden alle Wohngebäude in Erfurt entsprechend Passivhausstandard (Endenergieverbrauch für Wärme < 15 kWh/[m²a]) saniert, wären noch etwa 100 GWh/a Endenergie für Wärme erforderlich (Reduzierung auf 10 %). Dies ergäbe eine Emissionseinsparung von 252.137 t CO₂/a. Dies ist realistisch auf Grund des gewaltigen finanziellen Aufwandes (bei 1.500 €/m² – 2.500 €/m² ca. 10 Mrd. € – 16 Mrd. €, 1 – 1,6 Mrd. € pro Jahr bis 2020) nicht möglich.

Im Weiteren werden Varianten der energetischen Sanierung von Wohngebäuden berechnet.

1.3.2.2 Variante 1: Energetische Sanierung der industriell errichteten Wohngebäude auf einen Bedarf von 80 kWh/(m²a)

Die Gebäude haben einen durchschnittlichen Energiebedarf von 130,9 kWh/(m²a) und eine durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung von 57 m². Die Sanierung auf einen Bedarfswert von 80 kWh/(m²a) führt zu einer Einsparung von insgesamt 90 GWh/a, bei der Fernwärme von 82 GWh/a, beim Erdgas von 3 GWh/a und bei den Sonstigen von 5 GWh/a. Bezogen auf den Verbrauchswert von 2008 ist dies eine Einsparung von ca. 7 %, bei der Fernwärme eine Einsparung von ca. 32 %, beim Erdgas eine Einsparung von ca. 1 % und bei den Sonstigen eine Einsparung von ca. 2 %: Der finanzielle Aufwand bei Sanierungskosten von 500 €/m² beträgt ca. 1 Mrd. € – bis 2020 jedes Jahr Investitionen in Höhe von 100 Mio. €. Mit dieser Maßnahme sind Einsparungen von ca. 17.000 t CO₂/a verbunden (Tabelle 1–23).

Tabelle 1–23: Einsparungen bei energetischer Sanierung der industriell errichteten Wohngebäude auf einen Bedarf von 80 kWh/(m²a) (Maßnahme 1)

Einsparung Summe in GWh	Einsparung FW in GWh	Einsparung EG in GWh	Einsparung Sonstige in GWh	Einsparung CO ₂ -Emissionen in t CO ₂ /a	Investi- tionen in Mrd. €
90	82	3	5	17.291	1

1.3.2.3 Variante 2: Energetische Sanierung der konventionell errichteten Wohngebäude (MFH) mit Baujahr vor 1990 auf einen Bedarf von 120 kWh/(m²a)

Diese Gebäude haben einen durchschnittlichen Energiebedarf von 231,2 kWh/(m²a) und eine durchschnittliche Wohnfläche von 64,5 m². Die Sanierung auf einen Bedarfswert von 120 kWh/(m²a) führt zu einer Einsparung von insgesamt ca. 230 GWh, bei der Fernwärme von 18 GWh, beim Erdgas von 164 GWh und bei den Sonstigen von 48 GWh. Bezogen auf den Verbrauchswert von 2008 ist dies eine Einsparung von ca. 20 %, bei der Fernwärme von ca. 7 %, beim Erdgas von ca. 33 % und bei den Sonstigen von ca. 17 %. Der finanzielle Aufwand bei Sanierungskosten von 500 – 750 €/m² beträgt ca. 1 – 2 Mrd. €, somit bis 2020 jedes Jahr Investitionen in Höhe von 100 – 200 Mio. €. Mit dieser Maßnahme sind Einsparungen von ca. 51.000 t CO₂/a verbunden (Tabelle 1–24).

Tabelle 1–24: Einsparungen bei energetischer Sanierung der konventionell errichteten Wohngebäude (MFH) mit Baujahr vor 1990 auf einen Bedarf von 120 kWh/(m²a) (Maßnahme 2)

Einsparung Summe in GWh	Einsparung FW in GWh	Einsparung EG in GWh	Einsparung Sonstige in GWh	Einsparung CO ₂ -Emissionen in t CO ₂ /a	Investitionen in Mrd. €
230	18	164	48	51.382	1 – 2

1.3.2.4 Variante 3: Energetische Sanierung EFH/ZFH mit Baujahr vor 1990 auf einen Bedarf von 160 kWh/(m²a)

Diese Gebäude haben einen durchschnittlichen Energiebedarf von 291 kWh/(m²a) und eine durchschnittliche Wohnfläche 113 m². Die Sanierung auf einen Bedarfswert von 160 kWh/(m²a) führt zu einer Einsparung von insgesamt ca. 150 GWh, bei der Fernwärme von 0 GWh, beim Erdgas von ca. 100 GWh und bei den Sonstigen von 50 GWh. Bezogen auf den Verbrauchswert von 2008 ist dies eine Einsparung von ca. 12 %, bei der Fernwärme von 0 %, beim Erdgas von ca. 15 % und bei den Sonstigen von ca. 18 %. Der finanzielle Aufwand bei Sanierungskosten von 100 €/m² beträgt ca. 0,6 Mrd. € – bis 2020 jedes Jahr Investitionen in Höhe von 60 Mio. €. Mit dieser Maßnahme sind Einsparungen von ca. 35.000 t CO₂/a verbunden (Tabelle 1–25).

Tabelle 1–25: Einsparungen bei energetischer Sanierung EFH/ZFH mit Baujahr vor 1990 auf einen Bedarf von 160 kWh/(m²a) (Maßnahme 3)

Einsparung Summe in GWh	Einsparung FW in GWh	Einsparung EG in GWh	Einsparung Sonstige in GWh	Einsparung CO ₂ -Emissionen in t CO ₂ /a	Investitionen in Mrd. €
150	0	100	50	34.740	0,6

1.3.3 Zusammenfassung

Werden alle drei Maßnahmen umgesetzt, ergibt sich eine Gesamteinsparung von 267 GWh/a, bei Fernwärme von 100 GWh/a, bei Erdgas von 267 GWh/a und bei Sonstiges von 103 GWh/a. Dies ergibt eine Emissionsvermeidung von ca. 103.000 t CO₂/a. Dafür sind Investitionen von 2,6 bis 3,6 Mrd. € erforderlich. Die Realisierung aller drei Maßnahmen bewirkt eine Einsparung von ca. 100.000 t CO₂/a.

Tabelle 1–26: Zusammenfassung der Einsparungen bei den Maßnahmen zur energetischen Sanierung

		Maßnahme 1	Maßnahme 2	Maßnahme 3	Summe
Einsparung FW	GWh	82	18	0	100
Einsparung EG	GWh	3	164	100	267
Einsparung Sonstige	GWh	5	48	50	103
Einsparung Summe	GWh	90	230	150	470
Einsparung CO ₂ -Emissionen	t CO ₂ /a	17.291	51.382	34.740	103.413
Investitionen	Mrd. €	1	1 – 2	0,6	2,6 – 3,6

Vor allem die energetische Sanierung öffentlicher Gebäude, insbesondere Plattenbau-schulen und -kindergärten, wurde im öffentlichen Forum betont.

1.3.3.1 Ausblick 2050

Nach den langfristigen Zielen der Bundesregierung sollen ab 2019 alle öffentlichen Gebäude als „Null-Energiehaus“ errichtet werden, alle anderen Gebäude ab 2021 nach diesem Standard. In [68] erfolgte eine Betrachtung der Sanierungs- und Neubauraten unter diesen Gesichtspunkten. Um die Emissionsziele der Bundesregierung bis 2050 zu erreichen, genügt die Neubaurate von unter 1 % nicht. Der Wärmebedarf des Gebäudebestandes müsste auf 50 – 60 kWh/(m²a) sinken. Unter gegenwärtigen Randbedingungen ist dies unwirtschaftlich, es sind zusätzliche Fördermaßnahmen notwendig.

Ein Wärmeverbrauch von 50 kWh/(m²a) aller Gebäude in Erfurt führt zu einem Gesamtverbrauch von 380 GWh, bei der Fernwärme von 90 GWh, beim Erdgas von 220 GWh und bei den anders beheizten von 70 GWh – dies ist gegenüber 2008 eine Reduzierung um 78 %. Dies hat noch Emissionen von 90.000 t CO₂/a zur Folge – gegenüber der Ausgangsbasis 2008 ist dies eine Reduzierung um 284.000 t CO₂/a bzw. auf ca. 25 %.

1.3.4 Pumpen

1.3.4.1 Einleitung

Der Betrieb von Kreiselpumpen in gebäudetechnischen Anlagen, die zumeist noch ununterbrochen mit konstant hoher Leistung arbeiten, verursacht einen nicht unerheblichen Stromverbrauch. Diese Tatsache wiegt umso schwerer mit dem Wissen, dass die Pumpen zwar für die maximale Heiz-/Kühlleistung im Auslegungsfall dimensioniert wurden, dieser Auslegungsfall jedoch nur in einem Bruchteil der gesamten Betriebszeit (durchschnittlich 14 Tage im Jahr) auftritt. Im überwiegenden Teil der Betriebszeit arbeiten Heizungs- und Kühlanlagen mit wesentlich geringerer Leistung. Dementsprechend sind auch nur geringere Heizkreistemperaturen, Wasserfördermengen und Pumpenleistungen erforderlich. Bezüglich der Kreiselpumpe ist hierbei vor allem die Regelung der Wasserfördermengen entscheidend. Diese Mengenregelung wird meist mittels einer Drosselung des Strömungsquerschnittes z.B. an der Heizfläche im Raum umgesetzt.

Sind in diesem Fall Standardpumpen mit konstanter Drehzahlstufe im Einsatz, so steigt mit zunehmender Verringerung des Strömungsquerschnittes der Förderdruck der Pumpe an. Da dieser aus anlagentechnischer Sicht nicht erforderlich ist, müsste sich die Pumpe den aktuellen hydraulischen Verhältnissen anpassen. Allerdings ist eine Anpassung der Pumpenleistung an die aktuellen geringeren Anforderungen bei dieser Art der Pumpen nicht ohne weiteres möglich. Vielmehr arbeiten sie auch im Teillastfall mit nahezu gleicher elektrischer Eingangsleistung. Hinzu kommt, dass die Pumpen mit Erreichen der Heizgrenztemperatur und je nach Programmversion der zentralen Anlagenregelung nicht automatisch ausgeschaltet werden. In Folge der genannten Probleme ergeben sich ein vermeidbar hoher Elektroenergieverbrauch und unnötige CO₂-Emissionen.

Demgegenüber sind Hocheffizienzpumpen wesentlich energiesparender. Ermöglicht wird dies durch zwei technologische Neuerungen an den Kreiselpumpen im Bereich des Antriebsmotors und der zusätzlichen Regelung. Allein durch die sogenannte Permanentmagnet-Rotor-Technologie des Synchronmotors wird im Vergleich zu den herkömmlichen Asynchronmotoren eine erhebliche Wirkungsgradsteigerung erzielt. Hinzu kommt die elektronische Regelung der Pumpe, mit deren Hilfe die notwendige Leistungsregelung des Gerätes im Teillastfall sichergestellt werden kann. Die Leistungsregelung erfolgt durch Drehzahlanpassung auf Grundlage intern ermittelter Regelgrößen und m.H. eines Frequenzumformers.

Steigt in Anlagen mit Hocheffizienzpumpen der Förderdruck, so erkennt dies die Regelung, reduziert je nach eingestellter Regelstrategie die Pumpendrehzahl und passt diese den aktuellen hydraulischen Verhältnissen an. Die Leistungsregelung bewirkt zusätzlich eine Reduzierung des Stromverbrauchs gegenüber Standardpumpen.

Da davon auszugehen ist, dass im überwiegenden Teil aller Gebäude in und um Erfurt Standardpumpen in Betrieb sind, sollten im Rahmen der Erstellung des Klimaschutzkonzepts der Stadt Erfurt unter anderem die Elektroenergie- und die hierdurch bedingten CO₂-Einsparpotentiale abgeschätzt werden, die durch den Austausch von Standardkreiselpumpen gegen hocheffiziente Kreiselpumpen möglich sind. Der Schwerpunkt der Betrachtungen lag dabei auf Pumpen für Heizungs-, Klima- und Kühlanlagen. Die Berücksichtigung der zuletzt genannten Anlagenkategorie blieb auf die Gewebebetriebe (Verwaltungs- und Bürogebäude) beschränkt. Die Potentialabschätzung wurde sowohl für die gesamte Stadt Erfurt (gesamt) sowie differenziert für das Stadtzentrum (städtisch), für die Plattenbaugebiete (Plattenbau) und die dörflichen Randbereiche (dörflich) durchgeführt.

1.3.4.2 Potentialermittlung

Die Potentialabschätzung erfolgte unter der Annahme, dass alle Gebäude mit mindestens einer oder mehreren Standardpumpen ausgestattet sind und diese gegen Hocheffizienzpumpen getauscht werden könnten.

Zu Beginn der Abschätzung wurde zunächst der relevante Gebäudebestand aus der statistischen Erfassung des Gebäude- und Wohnungsbestandes der Stadt Erfurt (vgl. [52]) ermittelt. Die Einteilung der Gebäude erfolgte analog der Bestandsstatistik in die vier Gebäudetypen Ein-/Zweifamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Plattenbau und überwiegend gewerblich genutzt. Außerdem wurde nochmals unterschieden zwischen insgesamt vorhandenen Gebäuden und davon in Benutzung befindlichen Gebäuden. Zudem war es erforderlich, die Anzahl der Wohnung hinzuzuziehen, um die durchschnittliche Anzahl der Wohnungen je Gebäude bestimmen zu können.

Auf deren Grundlage erfolgte im Anschluss die Festlegung der durchschnittlichen Heiz-/Kühlleistung je Gebäude und Gebäudetyp (5 – 6 kW je Wohnung bei durchschnittlichem Wärmeschutzstandard aller Gebäude). Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass dies nur eine grobe Abschätzung darstellt und der tatsächliche Wert innerhalb eines Bereiches zu finden ist.

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde ein Leistungsbereich je Gebäude und Gebäudetyp definiert. Bei Ein-/Zweifamilienhäusern liegt die Heizleistung üblicherweise zwischen 5 und 15 kW. Die Heizleistung von Mehrfamilienhäusern mit durchschnittlich 6 – 8 Wohnungen beläuft sich auf etwa 35 – 75 kW. Die kleineren Plattenbauten haben Leistungen im Bereich von 75 – 125 kW. Die größeren Plattenbauten hingegen benötigen Heizleistungen im Bereich von 125 – 175 kW. Die Gebäude mit überwiegend gewerblicher Nutzung befinden sich in Heiz-/Kühlleistungsbereichen von 150 bis 250 kW und 200 bis 400 kW je nach Anzahl der Wohn-/Nutzungseinheiten.

Mittels dieser Festlegungen wurde differenziert die Anzahl der Pumpen bestimmt. Als Basis diente die mittlere Leistung des jeweils angegebenen Gebäudeheiz-/kühlleistungsbereiches.

Außerdem wurden zur Eingrenzung des Berechnungsumfangs nur drei Pumpengrößen wie folgt festgelegt:

1. kleine Heiz-/Kühlleistung bis 10 kW (Temperaturspreizung 10 K)
2. mittlere Heiz-/Kühlleistung bis 25 kW (Temperaturspreizung 15 K)
3. große Heiz-/Kühlleistung bis 100 kW (Temperaturspreizung 20 K)

Diese Pumpengrößen wurden so gewählt, dass sie im Auslegungsfall die erforderliche Gebäudeleistung transportieren können. Auf Grundlage dieser Eingrenzung ergab sich die durchschnittliche Anzahl der Pumpen je Gebäude und Gebäudetyp wie folgt:

- Ein-/Zweifamilienhäuser: 1 Pumpe kleiner Heizleistung bis 10 kW
- Mehrfamilienhäuser: 2 Pumpen mittlerer Heizleistung bis 25 kW
- Plattenbauten: 4 – 6 Pumpen mittlerer Heizleistung bis 25 kW
- überwiegend Gewerbe: 2 – 3 Pumpen großer Heiz-/Kühlleistung bis 100 kW

Aus dieser Angabe, vervielfacht mit der Anzahl der Gebäude bzw. der Anzahl in Benutzung befindlicher Gebäude, ergab sich die geschätzte Zahl aller Pumpen der Stadt Erfurt getrennt nach den jeweiligen Gebäudetypen.

Um schließlich den Energieverbrauch und die Energieeinsparung durch den Austausch der Pumpen zu bestimmen, mussten zunächst geeignete Pumpentypen und -größen ausgewählt werden, die dem Stand der Technik entsprechen. Entscheidende Parameter für die Auslegung der Pumpen waren dabei der notwendige Förderdruck und der Förderstrom der Pumpe. Zusammen bilden sie den Arbeits- bzw. Betriebspunkt der Pumpe in der gebäudetechnischen Anlage.

Beide Parameter werden letztlich vom installierten hydraulischen Anlagensystem vorgegeben und in erster Linie mittels der Gebäudeheiz-/kühlleistung unter Beachtung energetischer und strömungstechnischer Nebenbedingungen (Strömungsgeschwindigkeit, Geräusche, Wärmeverluste der Rohrleitungen) für die maximale Heiz-/Kühlleistung bestimmt.

Für die Potentialermittlung in diesem Klimaschutzkonzept wurden schließlich drei verschiedene Pumpengrößen festgelegt. Zu deren Auswahl erfolgte im Vorfeld die Definition von Sollbetriebsparametern. Anschließend wurden mit deren Hilfe aus den Produktunterlagen eines namhaften Herstellers [32] stellvertretend jeweils drei Standardpumpen und drei Hocheffizienzpumpen zum Vergleich ausgewählt. Die zur Größenbestimmung der Pumpen ermittelten Sollbetriebsparameter waren folgende:

- Pumpe für kleine Heizleistung bis 10 kW
Förderstrom: 0,86 m³/h bei einer Temperaturspreizung von 10 K
Förderdruck: 150 mbar
- Pumpe für mittlere Heizleistung bis 25 kW
Förderstrom: 1,43 m³/h bei einer Temperaturspreizung von 15 K
Förderdruck: 250 mbar
- Pumpe für große Heiz-/Kühlleistung bis 100 kW
Förderstrom: 4,3 m³/h bei einer Temperaturspreizung von 20 K
Förderdruck: 400 mbar

Während die Förderstromdaten aus den angenommenen Heizleistungen berechnet werden konnten, war für die Förderdrücke nur eine Abschätzung möglich. Der Grund liegt darin, dass eine Druckverlustrechnung unverhältnismäßig aufwendig, sehr gebäudespezifisch und nur mit Kenntnis der genauen Anlagenstruktur möglich ist. Um hier genauere Werte zu ermitteln, müssten kostenintensive Bestandsdatenermittlungen vor Ort durchgeführt und ausgewertet werden.

Nach der Größenbestimmung und Festlegung der Pumpen erfolgte unter Zuhilfenahme der Herstellerunterlagen die Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme der Pumpen. Da die Heiz-/Kühlleistung eines Gebäudes im Jahresverlauf (Jahresgang) starken Schwankungen unterlegen ist, musste dies auch für die Aufnahmeleistungsschwankungen der Pumpen berücksichtigt werden. Während diese bei Standardpumpen nur geringfügig sind, nehmen sie bei Hocheffizienzpumpen große Werte an.

Diese Tatsache führte dazu, dass zur Bestimmung des Pumpenenergieverbrauchs eine durchschnittliche Jahresdauerleistung für die sechs Pumpen mathematisch aus einem angenommenen Jahresgang der elektrischen Leistungsaufnahme abhängig von den Jahresbetriebsstunden der Pumpen errechnet wurde (vgl. beispielhaft Abbildung 1–6). Als Grenzwerte für die Leistungsaufnahme wurden als maximale Leistung die Leistung im Auslegungspunkt (Betriebspunkt bei Auslegungstemperatur) und als minimale Leistung die Leistung im Heizgrenzbereich (Betriebspunkt bei Heizgrenztemperatur, entspricht Förderstrom gleich 0,0 m³/h) aus den Herstellerdiagrammen des jeweiligen Pumpentyps ermittelt.

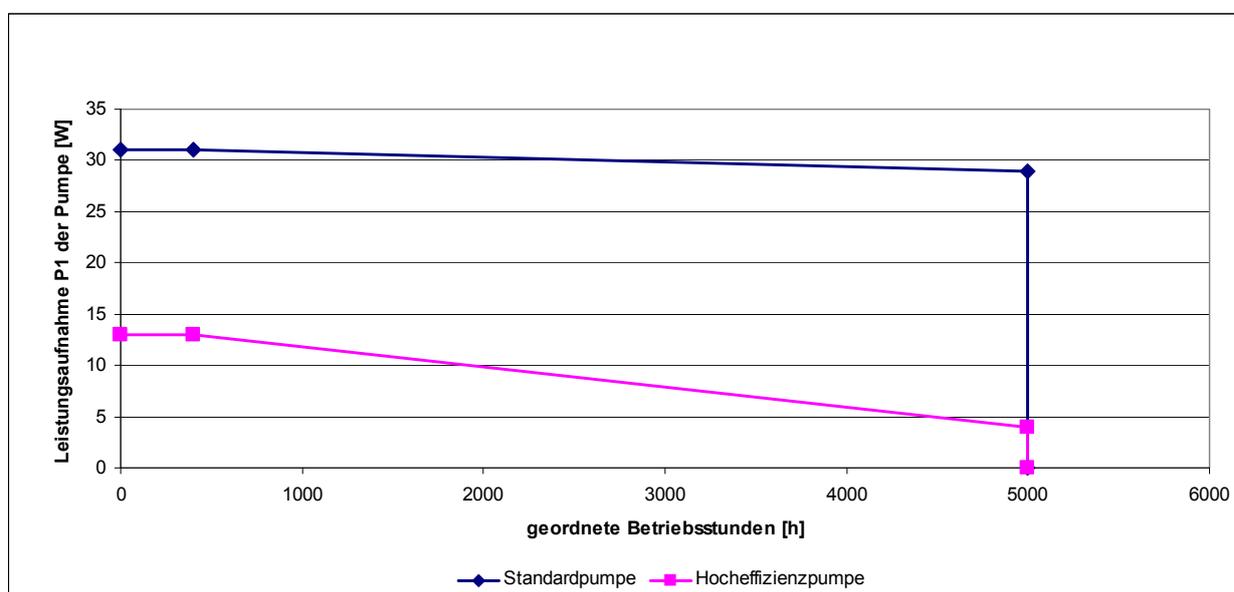


Abbildung 1–6: Geordnete Jahresdauerlinie der elektrischen Leistungsaufnahme von Kreiselpumpen für Ein-/Zweifamilienhäuser

Unter Zuhilfenahme der je nach Gebäudetyp abgeschätzten durchschnittlichen Jahresbetriebsstunden einer Pumpe mit Werten für Ein-/Zweifamilienhäuser von ca. 5.000 h, für Mehrfamilienhäuser und Plattenbauten von ca. 6.000 h sowie für überwiegend gewerblich genutzte Gebäude von ca. 8.000 h (inkl. Kühlung) erfolgte die Berechnung der mittleren jährlichen Stromaufnahme für jede der sechs Pumpen getrennt nach Gebäudetyp. Berücksichtigt werden musste in diesem Zusammenhang auch, dass die Pumpen z.B. für eine 14-tägige Spitzenlast und zur Warmwasserbereitung im Sommer einen geringen prozentualen Anteil der Betriebsstunden im Jahr mit der maximalen Aufnahmeleistung arbeiten. Hierfür wurden folgende Anteile an den Gesamtbetriebsstunden angenommen:

- Ein-/Zweifamilienhäuser: 8 %
- Mehrfamilienhäuser: 12 %
- Plattenbauten: 12 %
- überwiegend Gewerbe: 15 %

Aus der so berechneten durchschnittlichen elektrischen Jahresdauerleistung konnten, unter Berücksichtigung der Jahresbetriebsstunden und der Anzahl in Benutzung befindlicher Gebäude, die Stromverbräuche ermittelt und einander gegenübergestellt werden. Im Anschluss wurde aus diesen Werten die absolute und prozentuale Stromeinsparung im Jahr berechnet, welche sich durch den Austausch von Standardpumpen gegen Hocheffizienzpumpen ergeben würde.

Auf Basis dieser Verbrauchswerte wurden im letzten Schritt die hierbei freigesetzten CO₂-Emissionen und die möglichen CO₂-Emissionsminderungen errechnet. Bei dieser Berechnung war zu berücksichtigen, auf Grundlage welchen technologischen Prozesses der genutzte Strom erzeugt wurde. Dies ist nicht unbedeutend, da die Mengen der CO₂-Emissionen je nach Erzeugungsprozess höchst verschieden sind. Für die einheitlichen Betrachtungen in diesem Klimaschutzkonzept wurden drei unterschiedliche Stromerzeugungstechnologien zur Bestimmung der Emissionswerte festgelegt. Hierbei wurde unterschieden in:

1. Stromerzeugungsprozesse der Stadtwerke Erfurt (SWE) mit 330 g CO₂ je erzeugter Kilowattstunde Strom
2. Stromerzeugungsprozesse auf Basis von Braunkohle als Energieträger mit 982 g CO₂ je erzeugter Kilowattstunde Strom
3. Stromerzeugungsprozesse im Strommix Deutschland mit 506 g CO₂ je erzeugter Kilowattstunde Strom

1.3.4.3 Ergebnisanalyse

Die beschriebene Berechnung erfolgte unter der Voraussetzung, dass die bereits vorhandenen Standardpumpen im Vorfeld optimal ausgelegt, eingebaut und eingesetzt wurden (Betriebspunkt berechnet, anlagenseitig geprüft, optimale Drehzahl eingestellt, Anlage hydraulisch abgeglichen). Untersuchungen zeigen jedoch, dass dies in den wenigsten Fällen erfolgt, so dass der reale Verbrauch höher ist.

Sinnvollerweise sollte der Austausch der Pumpen nur unter Kenntnis der aktuellen Betriebsdaten erfolgen. Hierzu ist es möglicherweise erforderlich, den aktuellen Betriebspunkt im Vorfeld messtechnisch zu ermitteln.

Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass die Hocheffizienzpumpe nach dem Austausch regelungstechnisch (Regelungs- und Betriebsart) exakt auf die Anlage eingestellt wird.

Da keine fundierten Statistiken (Erstellung sehr zeit- und kostenintensiv) zum Modernisierungsstand der Gebäude der Stadt Erfurt recherchiert werden konnten, wurde von unsanierten gebäudetechnischen Anlagen ausgegangen.

Unter Annahme dieser Bedingungen haben die Berechnungen gezeigt, dass allein auf Grundlage der technologischen Weiterentwicklung der Kreiselpumpen für Heizungs-, Klima- und Kühlanlagen ein sehr hohes Einsparpotential gegenüber den Standardpumpen zu erwarten ist.

Für die Stadt Erfurt belaufen sich die berechneten Einsparungen an Elektroenergie auf 11,5 GWh/a. Dies bedeutet, dass durch den Einsatz von Hocheffizienzpumpen Stromersparungen in Höhe von etwa 77 %/a gegenüber den Standardpumpen möglich sind. Hierdurch ergibt sich eine CO₂-Emissionsminderung von ca. 3.797 t/a bis 11.298 t/a je nach genutzter Stromerzeugungstechnologie. Bezogen auf den gesamten Stromverbrauch der Stadt Erfurt von 904 GWh im Jahr 2008 beträgt die Energieeinsparung etwa 1,3 %/a.

Alle Energieverbrauchswerte und CO₂-Emissionen, getrennt nach Stadtgebieten und Gebäudetypen, sind in Tabelle 1–27 und Tabelle 1–28 detailliert aufgelistet.

Tabelle 1–27: Stromverbrauch und -einsparung für die Stadt Erfurt bei Einsatz von Hocheffizienzpumpen

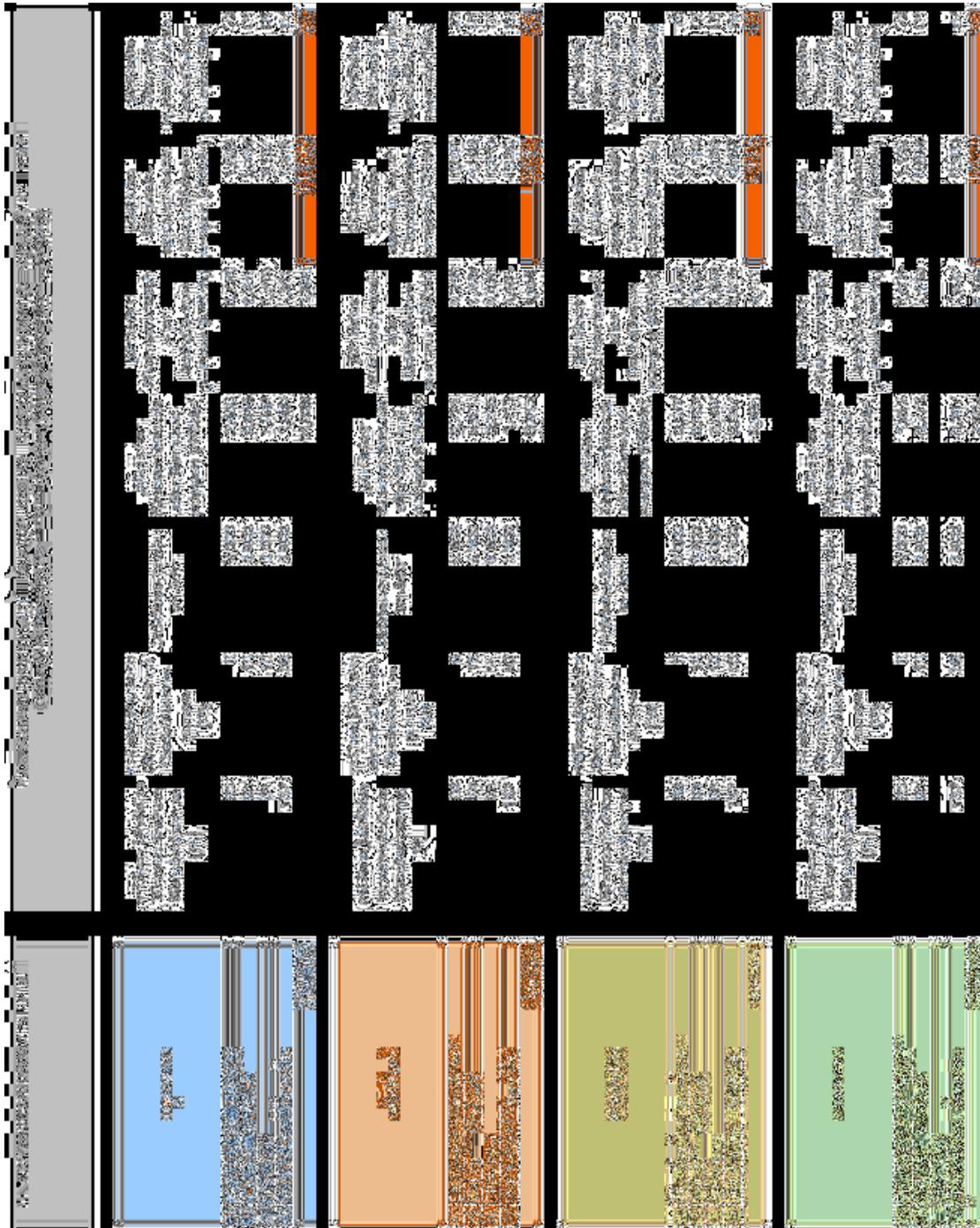


Tabelle 1–28: CO₂-Emissionen und CO₂-Emissionsminderungen für die Stadt Erfurt bei Einsatz von Hocheffizienzpumpen

5. CO ₂ -Ausstoß und -einsparung bei Hocheffizienzpumpeneinsatz in Erfurt <small>(eigene Abschätzung der Heiz- und Kältepumpen, bei optimal eingestelltem Betriebspunkt)</small>									
Strom SWE			Strom-Kohle			Strom-Mix Deutschland			
jährlicher CO ₂ -Ausstoß aller Standard-pumpen [t/a]	jährlicher CO ₂ -Ausstoß aller Hocheffizienz-pumpen [t/a]	jährliche CO ₂ -Einsparung durch Hocheffizienz-pumpen [t/a]	jährlicher CO ₂ -Ausstoß aller Hocheffizienz-pumpen [t/a]	jährliche CO ₂ -Einsparung durch Hocheffizienz-pumpen [t/a]	jährlicher CO ₂ -Ausstoß aller Standard-pumpen [t/a]	jährlicher CO ₂ -Ausstoß aller Hocheffizienz-pumpen [t/a]	jährliche CO ₂ -Einsparung durch Hocheffizienz-pumpen [t/a]	jährlicher CO ₂ -Ausstoß aller Hocheffizienz-pumpen [t/a]	jährliche CO ₂ -Einsparung durch Hocheffizienz-pumpen [t/a]
795	238	558	2385	710	1675	1219	368	853	
2193	423	1770	8525	1258	7267	3362	648	2714	
1292	247	1045	3316	739	3080	1808	378	1587	
847	212	635	1024	630	1285	892	324	687	
4916	1120	3797	14630	3333	11298	7639	1717	5821	
Summe:									
1. Gebäudestruktur in Erfurt									
gesamt									
a) Ein-/Zweifamilienhäuser									
b) Mehrfamilienhäuser									
c) Plattenbau									
d) überwiegend Gewerbe									
Summe:									
städtisch									
a) Ein-/Zweifamilienhäuser	238	71	168	212	496	365	109	255	
b) Mehrfamilienhäuser	1874	381	1513	5579	1075	2873	654	2319	
c) Plattenbau	130	25	105	387	75	200	38	181	
d) überwiegend Gewerbe	468	153	315	1393	458	718	235	493	
Summe:									
Plattenbau									
a) Ein-/Zweifamilienhäuser	25	8	19	76	53	39	12	27	
b) Mehrfamilienhäuser	67	13	54	189	88	102	20	89	
c) Plattenbau	1187	229	958	3533	681	1820	351	1488	
d) überwiegend Gewerbe	18	5	11	47	15	24	8	16	
Summe:									
dörflich									
a) Ein-/Zweifamilienhäuser	632	160	473	1584	1109	818	245	571	
b) Mehrfamilienhäuser	255	49	206	760	613	391	75	316	
c) Plattenbau	98	32	66	282	98	150	48	101	
d) überwiegend Gewerbe	886	241	645	2636	717	1388	370	989	
Summe:									

1.3.4.4 Empfehlung zur praktischen Umsetzbarkeit

Mit einer Stromeinsparung von ca. 1,3 %/a ist das Potential, bezogen auf den Gesamtstromverbrauch der Stadt, als gering anzusehen. Dennoch sollten die Verbraucher (Eigentümer, Nutzer) schon allein wegen der möglichen CO₂-Emissionsminderungen dazu animiert werden, ineffiziente Standardpumpen gegen Hocheffizienzpumpen zu tauschen bzw. im Neubau sofort einzusetzen. Außerdem haben die Erfahrungen gezeigt, dass die meisten im Einsatz befindlichen Standardpumpen zu groß gewählt und nicht an die notwendigen Anlagenverhältnisse angepasst wurden. Hinzu kommen unzureichend hydraulisch abgeglichene gebäudetechnische Anlagensysteme. Durch diese beiden Problematiken entsteht ein zusätzlicher vermeidbarer Stromverbrauch, der als nicht unerheblich einzuschätzen ist.

Im einfachsten Fall würden bereits verstärkte Werbemaßnahmen der aktuellen Bundesförderprogramme (z.B. „Pumpenprämie“ im Rahmen des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren – Sonderförderung (431)“) die Bereitschaft zum Austausch und Einsatz der neuen Pumpentechnologie erhöhen. Auch könnten Förderprogramme des Landes Thüringen entsprechend erweitert oder neu aufgelegt werden.

Sollten derartige Umsetzungsmaßnahmen in Erwägung gezogen werden, muss in diesem Zusammenhang auf die Bedeutung der zusätzlich durchzuführenden Arbeiten – wie die Ausführung des hydraulischen Anlagenabgleichs, die genaue Bestimmung der notwendigen Pumpenbetriebsparameter und die regelungstechnischen Anpassungen der Hocheffizienzpumpen an die bestehende Anlage – hingewiesen werden. Diese Punkte sind nicht vernachlässigbar, da sie mit mehr oder weniger hohen Investitionskosten einhergehen und für den Erfolg der Maßnahme unerlässlich sind.

1.3.5 Steuerung und Regelung

In den meisten Gebäuden ist für die gesamte Gebäudetechnik (Heizungs-, Lüftungs-, Klima-, Kälte-, Gas-, Sanitär-, Beleuchtungs-, Verschattungstechnik etc.) nur eine minimale Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik installiert, so dass die geforderten Funktionen gerade so erfüllt werden. Eine Aufzeichnung gemessener Daten erfolgt meistens nicht. Bei vorhandenen Verrechnungszählern erfolgt meist nur eine händische Ablesung in größeren Zeitabständen und keine automatische Speicherung in kleinen Zeitabständen. Weitere Zähler sind meist nicht installiert. Mit einer derartigen Messtechnik ist weder eine Analyse noch eine Optimierung der Anlagenfahrweise und somit der Energieeinsparung möglich. Im Wohnungsbau besteht außerdem das Dilemma, dass der Vermieter die Verbrauchskosten auf die Mieter umlegt, d.h. die Investitionskosten von ihm getragen werden müssen, die Einsparungen aber dem Mieter zu Gute kommen.

Mit jährlich oder im besten Falle monatlich erhobenen Verbrauchsdaten (Elektroenergie, Fernwärme, Erdgas, Wasser, ...) ist nur eine grobe Einschätzung mit Benchmarks (VDI 3807, ages-Studie) möglich. Auch beim Ausstellen von Energieausweisen erfolgt nur eine relativ grobe Einschätzung der Energieeffizienz.

In zahlreichen Untersuchungen (z.B. Optimus [69], EVA [70]) wurde bei Wohngebäuden ein Einsparpotential von 20 – 30 % ermittelt, das durch detaillierte Auswertungen bzw. zusätzliche Messtechnik, Überprüfung der Hydraulik (Rohrleitungen, Pumpen, Ventile) und die Einstellung optimaler Parameter erschlossen werden kann.

Voraussetzung für die Beurteilung der Anlagentechnik ist die Erfassung und Archivierung entsprechender Daten mit geringer zeitlicher Auflösung (15 Minuten). Im Wohnungsbereich betrifft dies die Erfassung und Archivierung der zugeführten Medienverbräuche (Elektroenergie, Fernwärme, Erdgas, Wasser, ...), abnehmerseitig die Wärmeenergie pro Heizkreis mit Vorlauf- und Rücklauftemperaturen sowie Volumenstrom, den Status der Pumpen (Heizkreispumpen, Zirkulationspumpen), Warmwasserverbrauch mit einer Datenarchivierung alle 15 Minuten. Die Erfassung weiterer Daten im Gebäude (Drücke, Temperaturen, rel. Luftfeuchte, CO₂-Werte, Ventilzustände, ...) auch mit kleineren Zeitabständen ist sinnvoll, erhöht aber sowohl die Investitionskosten als auch den Auswertungsaufwand.

Durch die entsprechenden Auswertungen sind folgende Optimierungen möglich:

- Absenken der Heizgrenztemperatur
Das Absenken der Heizgrenztemperatur bewirkt eine Reduzierung der Verteil- und Bereitschaftsverluste in den Fällen, in denen in den Räumen/Wohnungen kein Wärmebedarf besteht.

- Anpassen der Heizkurve
Durch eine Reduzierung der Vorlauftemperatur entsprechend dem Verbrauch werden Verteilverluste reduziert.
- Anpassen der Speicherladungszeiten
Durch die Anpassung der Zeiten der Speicherladung an den tatsächlichen Verbrauch werden Verteil- und Bereitschaftsverluste reduziert.
- Anpassen der Zirkulationszeiten
Durch eine Anpassung der Zeiten der Zirkulation an den Verbrauch werden die Verteilverluste reduziert. Verteilverluste durch die Zirkulation können in der Größenordnung von 50 % des Energieverbrauchs für die Warmwasserbereitung betragen.

Setzt man ein mittleres Einsparpotential von 15 % an, lassen sich mit diesen Maßnahmen ca. 200 GWh (Basis 2008, private Haushalte und öffentlicher Bereich Fernwärme 360 GWh und Erdgas 1.024 GWh) bzw. 170 GWh (Basis 2020, private Haushalte und öffentlicher Bereich Fernwärme 265 GWh und Erdgas 867 GWh) im gesamten Gebäudebestand einsparen. Dies entspricht einer Emissionsminderung von ca. 40.000 t CO₂/a. Wenn durch andere Maßnahmen, zum Beispiel eine energetische Sanierung, der Verbrauch gesenkt wird, reduzieren sich auch die möglichen Einsparpotentiale durch Steuerung und Regelung.

1.3.6 Wärmepumpen

Das FITR – Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau gGmbH hat im Unterauftrag die Potentialstudie „Oberflächennahe Geothermie der Stadt Erfurt am Beispiel Kerspleben und Krämpfervorstadt“ [71] erstellt. Diese Studie ist Bestandteil dieses Klimaschutzkonzepts und als Anlage beigefügt.

Kerspleben dient dabei zur Potentialabschätzung für die dörfliche Siedlungsstruktur, die Krämpfervorstadt für die innerstädtische Struktur.

Für die Potentialstudie „Oberflächennahe Geothermie“ wurde als erstes die Siedlungsstruktur der Stadtteile Krämpfervorstadt und Kerspleben in ihrer Unterschiedlichkeit beschrieben. Dies ist die Grundlage zur Abschätzung des Wärmeenergieverbrauchs, der mit Erdwärme abgedeckt werden soll.

Die Krämpfervorstadt ist als „städtisch“ klassifiziert und weist eine dichte Wohnbebauung mit viergeschossigen Gebäuden und ausgebauten Dachgeschossen auf. Die Gebäudesubstanz stammt zum größten Teil aus der Gründerzeit des ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts. Vor allem im Hanseviertel ist auch Geschosswohnungsbau aus den 70er und 80er Jahren des 19. Jahrhunderts vorhanden. Gewerbebetriebe und Bürogebäude sind vor allem in der Äußeren Krämpfervorstadt angesiedelt.

Der Stadtteil Kerspleben ist als „dörflich“ klassifiziert. Im Ortskern stehen Fachwerkhäuser, die Drei-Seiten-Höfe und typische Bauerngehöfte. Die Gebäude wurden zum großen Teil bereits im 18. Jahrhundert errichtet. Nördlich und östlich schließen sich Eigenheimbebauungen aus den 60er bis 80er Jahren des 20. Jahrhunderts an. Am südlichen Ortsrand wurden in den letzten 15 Jahren mehrere Mehrfamilien- und Einfamilienhäuser errichtet. In den Jahren seit 1997 entstand am nördlichen Ortsrand eine Eigenheimsiedlung mit derzeit ca. 200 Wohngebäuden. Südwestlich der Ortslage befindet sich das Gewerbegebiet „Fichtenweg“ mit derzeit 56 angesiedelten Unternehmen.

In den beiden Stadtteilen wurden Ortsbegehungen durchgeführt, um den baulichen, energetischen und heizungstechnischen Zustand der Gebäude und auf dieser Basis den Heizwärmebedarf für die Wohngebäude einzuschätzen.

In der Krämpfervorstadt wurde in den letzten 15 Jahren ein Großteil der Gebäude saniert. Teilweise wurden an einzelnen Gebäuden Dämmmaßnahmen durchgeführt. Umfangreiche Verbesserungsmaßnahmen wurden im Bereich der Fenster vorgenommen. Der energetische Zustand der Gebäudehüllen entspricht aber im Wesentlichen noch dem Zustand der Erbauungszeit.

Die Wärmeenergieversorgung in der Krämpfervorstadt erfolgt über Fernwärme oder Erdgas. In der Iderhoffstraße in der Äußeren Krämpfervorstadt befindet sich ein Heizkraftwerk der Stadtwerke Erfurt. An die Fernwärmeversorgung angeschlossen sind die

Gewerbegebiete und ein Teil der Wohnbebauung in der Äußeren Krämpfervorstadt und ca. $\frac{3}{4}$ des Hanseviertels. In der Inneren Krämpfervorstadt sind wenige Gebäude in zwei Straßen an die Fernwärme angeschlossen.

Auf der Basis der Gebäudeanalyse wird für das Hanseviertel und die Innere Krämpfervorstadt ein Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung von 167 kWh je m² beheizte Nutzfläche pro Jahr und für die Äußere Krämpfervorstadt ein Heizwärmebedarf von 154 kWh/(m²a) eingeschätzt.

In Kerspleben erfolgte in den letzten Jahren im Ortskern die bauliche Sanierung der meisten Gebäude. Es wurden Sanierungsmaßnahmen an Dachstuhl, Fenstern und Außenputz durchgeführt. Auf Grund der im Ortskern vorherrschenden Bauweise Fachwerkhaus oder Klinkerbau kann hier keine weitere Außendämmung angebracht werden. Der energetische Zustand der relativ neuen Wohngebäude an den Ortsrändern wird dagegen als hoch eingeschätzt. Die Wärmeenergieversorgung erfolgt in Kerspleben über Erdgas.

Der Endenergiebedarf (Heizung und Warmwasserbereitung) eines Wohngebäudes wurde nach der Gebäudeanalyse (nach Vor-Ort-Begehung) und entsprechend nach EnEV eingeschätzt. Danach besteht für den Ortskern Kerspleben ein geschätzter Heizwärmebedarf von 130 kWh/(m²a). Bei den Einfamilienhäusern und nach 1990 gebauten Mehrfamilienhäusern liegt der Wärmebedarf geschätzt bei 80 kWh/(m²a).

Für die Entzugsleistung einer Erdwärmesonde ist der geologische Untergrund bestimmend. Deshalb wurden die geologischen und hydrogeologischen Standortbedingungen untersucht.

In der Krämpfervorstadt liegen bis in ca. 40 m Tiefe Schichten des Mittleren Keuper (Mergel, Tonsteine Schluffsteine). Darunter liegen Schichten des Unteren Keuper mit Sandsteinen, Tonsteinen und Dolomiten. Die durchschnittliche Wärmeentzugsleistung beträgt hier 57 W/m. Für die Potentialermittlung wird eine Erdwärmesonde mit 100 m Tiefe und 2.000 Betriebsstunden pro Jahr angesetzt. Dies ergibt eine Leistung von 11.400 kWh/a für eine Erdwärmesonde.

In Kerspleben besteht der geologische Untergrund bis in ca. 150 m aus Gesteinen des tieferen Mittleren Keuper. Die Wärmeentzugsleistung beträgt hier 45 W/m. Für eine Erdwärmesonde mit 100 m Tiefe und 2.000 Betriebsstunden pro Jahr ergibt sich eine Leistung von 9.000 kWh/a.

Es wurde recherchiert, ob im Untersuchungsgebiet bereits Erdwärmesonden vorhanden sind. Von der Stadtverwaltung Erfurt wurden eine Erdwärmesonden-Anlage im Hanseviertel und sieben Erdwärmesonden-Anlagen in Kerspleben erfasst.

Die Stadtteile in Erfurt sind in Baublöcke untergliedert. Dies sind von in der Regel vier Straßen umschlossene bebaute Gebiete.

Mittels eines Geographischen Informationssystems (ArcGIS) erfolgte die Ermittlung der technisch möglichen Erdwärmesonden-Bohrung pro Baublock. Dafür wurden bestimmte Bedingungen festgelegt, u.a. 3 m Abstand zu Gebäuden, 10 m Abstand der Bohrungen untereinander. Die Analyse wurde für jeden Baublock durchgeführt.

Die technisch möglichen Bohrungen werden sich auf Grund weiterer äußerer Bedingungen, wie Bäume, sonstiger Bewuchs, Ver- und Entsorgungsleitungen, Grundstücksbegrenzungen u.a. nicht 100 % umsetzen lassen. Deshalb werden diese Zahlen wie folgt abgemindert:

- Hanseviertel: 60 %
- Innere Krämpfervorstadt: 60 %
- Äußere Krämpfervorstadt: 80 %
- Kerspleben, Dorfkern: 70 %
- Kerspleben, Randgebiete: 80 %

der technisch möglichen Bohrungen sind umsetzbar.

Die folgenden Erdwärmesonden mit den o. g. Entzugsleistungen sind realisierbar mit folgenden Wärmerträgen:

- Hanseviertel: 699 Bohrungen, 7.962 MWh/a
- Innere Krämpfervorstadt: 297 Bohrungen, 3.393 MWh/a
- Äußere Krämpfervorstadt: 827 Bohrungen, 9.430 MWh/a
- Kerspleben: 1.631 Bohrungen, 14.678 MWh/a

Dem steht der folgende Heizwärmebedarf für Wohngebäude gegenüber:

- Hanseviertel: 27.055 MWh/a, 29 % Abdeckung durch Geothermie
- Innere Krämpfervorstadt: 23.850 MWh/a, 14 % Abdeckung durch Geothermie
- Äußere Krämpfervorstadt: 10.527 MWh/a, 90 % Abdeckung durch Geothermie
- Kerspleben: 9.095 MWh/a, 161 % Abdeckung durch Geothermie

Bei Betrachtung der Werte für die einzelnen Baublöcke wird deutlich, dass die Potentialverteilung sehr unterschiedlich ist. In Kerspleben können im Ortskern nicht genügend Erdwärmesonden umgesetzt werden, während in den Randlagen ein Überangebot an Erdwärme besteht.

Das gleiche Bild zeigt sich in der Krämpfervorstadt. In der Äußeren Krämpfervorstadt kann der Heizwärmebedarf für Wohngebäude zu 90 % abgedeckt werden, während in den anderen Vierteln nur ein geringer Teil mit Erdwärme versorgt wird. Ein Vergleich mit einem abgesenkten Heizwärmebedarf durch geeignete energetische Sanierungsmaßnahmen an den Gebäuden und den Einsatz effizienter Heizungstechnik auf 80 kWh/(m²a)

ergibt das folgende Bild zur Abdeckung des Heizwärmebedarfs durch Geothermie in der Krämpfervorstadt:

- Hanseviertel: 12.961 MWh/a, 61 % Abdeckung durch Geothermie
- Innere Krämpfervorstadt: 11.425 MWh/a, 30 % Abdeckung durch Geothermie
- Äußere Krämpfervorstadt: 5.468 MWh/a, 172 % Abdeckung durch Geothermie

Die Absenkung des Heizwärmebedarfs in Wohngebäuden setzt hohe Investitionen in die Dämmung der Gebäudehüllen und in Niedertemperaturheizungen voraus.

In der Krämpfervorstadt liegt das höchste Geothermiepotential in Gebieten, die an die Fernwärmeversorgung angeschlossen sind. Der Fernwärmeversorgung sollte aus ökologischen und ökonomischen Gründen Vorrang eingeräumt werden.

In Kerspleben ist die Potentialverteilung sehr unterschiedlich. Zur Sicherung des Wärmeenergiebedarfs, zur Ablösung fossiler Brennstoffe und zur Erhöhung des Nutzungsgrades erneuerbarer Energien sollten vor allem im Ortskern verstärkt Solarthermie und bivalente Heizsystem eingesetzt werden. Die Gebäude in den Randlagen des Ortes können ihren Heizwärmebedarf vollständig über Erdwärmesonden-Anlagen abdecken. Für die Umsetzung eines verstärkten Einsatzes von Erdwärme für die Energieversorgung in den untersuchten Stadtgebieten sind gezielte Einzelprüfungen und -planungen aber zwingend erforderlich.

Verallgemeinert kann festgehalten werden, dass die oberflächennahe Geothermie in Verbindung mit Wärmepumpen in der Lage ist, in den dörflichen Strukturen den Wärmeverbrauch zu decken. Voraussetzung dafür ist jedoch zwingend ein niedriger Wärmebedarf des Gebäudes, so dass maximale Vorlauftemperaturen für die Heizung von 35 °C realisiert sind (Fußbodenheizung, Flächenheizung). Nur dann erfolgt auch eine Emissionsminderung, da sonst nur die bei der Elektroenergieerzeugung an die Umwelt abgegebene Energie zurückgewonnen wird.

Für die innerstädtische Struktur (konventionell errichtete Gebäude) kann die oberflächennahe Geothermie nur bei einer aufgelockerten Bebauung (genügend Platz für Erdsonden) wesentliche Beiträge zur Wärmedeckung liefern. Aber auch dies nur bei einer entsprechenden wärmetechnischen Sanierung (Wärmebedarf < 80 kWh/[m²a]) und Vorlauftemperaturen < 35 °C. Gebiete mit dichter Bebauung sollten der Fernwärme vorbehalten sein.

Unter Berücksichtigung der wärmetechnischen Sanierung bei Einfamilienhäusern (Wärmebedarf 160 kWh/[m²a], s. Kap. 1.3.2.4), dies führt bereits zu einer Einsparung von 150 GWh und Emissionsminderung von 35.000 t CO₂/a, weiterhin die Ausstattung mit Fußbodenheizung (Flächenheizung) und 50 % der EFH mit Nutzung der oberflächennahen Geothermie und elektrisch angetriebener Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl

von 4 mit Elektroenergie der SWE Energie GmbH (Emissionsfaktor 330 g CO₂/kWh) führt zu einer Einsparung an Erdgas von 155 GWh und zu 39 GWh mehr Elektroenergieverbrauch, trotzdem zu einer weiteren Einsparung an CO₂-Emissionen von 22.000 t CO₂/a.

Bei den konventionell errichteten Wohngebäuden unter Berücksichtigung der wärmetechnischen Sanierung (120 kWh/[m²a], s. Kap. 1.3.2.3), dies führt bereits zu einer Einsparung von 230 GWh und Emissionsminderung von 51.000 t CO₂/a, weiterhin die Ausstattung mit Fußbodenheizung (Flächenheizung) und 50 % der Gebäude, die nicht mit Fernwärme beheizt werden mit Nutzung der oberflächennahen Geothermie und elektrisch angetriebener Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 4 mit Elektroenergie der SWE Energie GmbH (Emissionsfaktor 330 g CO₂/kWh) führt zu einer Einsparung an Erdgas von 197 GWh und zu 50 GWh mehr Elektroenergieverbrauch, trotzdem zu einer weiteren Einsparung an CO₂-Emissionen von 29.000 t CO₂/a.

1.3.7 Öffentliche Gebäude

Die Stadtverwaltung benötigt zur Erfüllung ihrer Aufgaben eine große Anzahl von Gebäuden. Diese Gebäude hatten 2009 einen Energieverbrauch von 9,1 GWh Elektroenergie und 47,5 GWh Wärmeenergie (Fernwärme, Erdgas, Heizöl, Nachtstrom). Dies verursachte Emissionen von ca. 3.000 t CO₂ für Elektroenergie und von ca. 10.000 t CO₂ für Wärmeenergie.

Als Vorbildwirkung für die Bürger der Stadt Erfurt sollte die Stadtverwaltung ihren Energieverbrauch jährlich z.B. um klimabereinigt 5 % senken. Dafür bieten sich 2 Wege an:

1. Konzentration mit dem Ziel, Gebäude aus der Nutzung zu nehmen
2. Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Zur Entscheidung, welche Gebäude perspektivisch nicht mehr genutzt werden sollen bzw. bei welchen Gebäuden Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt werden sollen, ist für alle Gebäude der spezifische Energieverbrauch (Elektroenergie, Wärmeenergie, Wasser pro m² BGF und Jahr) zu ermitteln und eine entsprechende Rangfolge zu bilden. Energieeffizienzmaßnahmen betreffen sowohl Elektroenergie (energiesparende Geräte und Beleuchtung, Reduzierung von Einschaltzeichen und Stand-by-Verbrauch, ...) als auch Wärmeenergie (Reduzierung der Transmissions-, Lüftungs- und Verteilungswärmeverluste, Erneuerung der Wärmeerzeuger und ggf. Energieträgerumstellung, hydraulischer Abgleich, Anpassung Heizgrenztemperatur und Heizkurven, Gebäudeautomation, ...) und ggf. Wasserverbrauch.

Bei jährlichen Einsparungen von 5 % bis 2020 werden dann 40 % des Energieverbrauchs eingespart, bei Elektroenergie 3,6 GWh und bei Wärmeenergie 19 GWh. Die CO₂-Emissionen reduzieren sich um 5.200 t/a auf 7.800 t/a. Bei Fortschreibung dieser Entwicklung bis 2050 sinken der Verbrauch und die Emissionen auf 13 % gegenüber 2008, Elektroenergie auf 1,2 GWh, Wärmeenergie auf 6,2 GWh und die Emissionen auf 1.700 t CO₂/a.

1.3.8 Straßenbeleuchtung

1.3.8.1 Einleitung

Der Straßenbeleuchtung kommen heutzutage verschiedene Aufgaben zu. Einerseits soll sie einen Beitrag zu Verkehrssicherheit und zur persönlichen Sicherheit der Bevölkerung leisten, andererseits soll sie als stilistisches Mittel dienen, um die Attraktivität bestimmter Flächen zu steigern. Zusätzlich soll die Realisierung dieser Aufgaben möglichst energieeffizient erfolgen.

Die Straßenbeleuchtung weist ein enormes Energieeinsparpotential auf.

In vielen deutschen Städten ist über ein Drittel der gesamten Straßenbeleuchtung veraltet. Veraltete Lampen- und Leuchtentechnologien haben einen erhöhten Energiebedarf und verursachen Streuverluste. Somit gelangt das Licht nicht dorthin, wo es gefordert ist, und es ergeben sich zusätzliche Betriebsverluste.

Das Ersetzen der alten Technologie durch neue Beleuchtung hat nicht nur die Senkung des Energieverbrauchs zur Folge, sondern auch die Verringerung des Wartungsaufwandes, welcher ebenfalls eine wichtige Rolle hinsichtlich der Beleuchtungskosten spielt. Oftmals ist die erste Maßnahme zur Energieeinsparung die Abschaltung jeder zweiten Leuchte in verkehrsarmen Nachtstunden. Dadurch können sich Dunkelzonen ergeben, welche die Verkehrssicherheit beeinträchtigen könnten.

Dies ist der falsche Weg, um Kosten zu sparen. Investitionen in neue Technologien dürfen nicht gescheut werden, da sich diese auf Grund der Energieeinsparung relativ zeitnah amortisieren.

Der wichtigste Einflussfaktor bezüglich der Effektivität und der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit einer Beleuchtung ist die Lichtausbeute. Die Lichtausbeute beschreibt, wie viel Licht aus der eingebrachten Energie erzeugt wird. In Abbildung 1–7 sind für verschiedene Leuchtmittel die möglichen Bereiche der Lichtausbeute dargestellt.

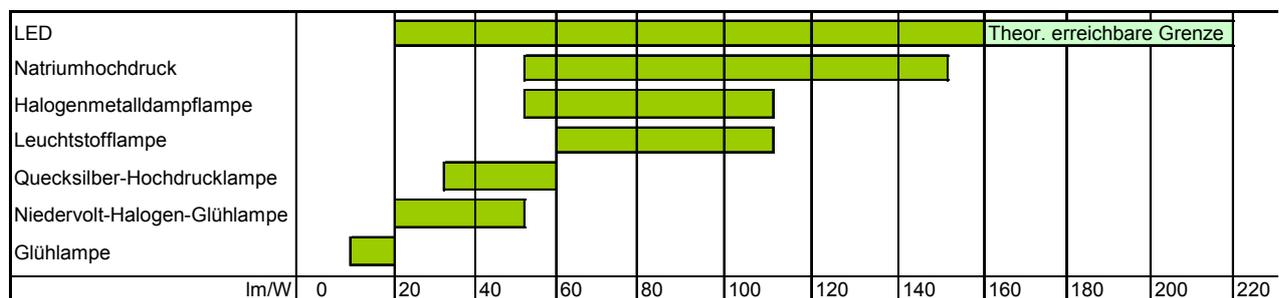


Abbildung 1–7: Lichtausbeute verschiedener Leuchtmittel

Die veralteten Leuchten sind zumeist noch mit Quecksilber-Hochdrucklampen ausgestattet. Vergleicht man diese Leuchtmittelvariante mit den derzeit effizienteren, wie bspw. Natriumhochdrucklampen und LED-Technologie, so ist der Unterschied in der Lichtausbeute sehr deutlich.

1.3.8.2 Maßnahmen

Im Energiebericht der Stadtverwaltung Erfurt für das Jahr 2007 ist für die Stadtbeleuchtung der Jahre 2006 und 2007 ein Stromverbrauch von jeweils ca. 10 GWh ermittelt worden. Allerdings sind die zugrundeliegenden Teilgebiete, wie bspw. Strom für Signalanlagen oder Scheinwerfer für dekorative Zwecke, nicht bekannt. Die Branchenauswertung der Stadt für 2008 (Abrechnung SWE Energie GmbH) ergab einen jährlichen Stromverbrauch für Ampeln von 690 MWh, für Verkehrsanlagen von 7 GWh, für die öffentliche Beleuchtung von 4,9 GWh und für die Stadtbeleuchtung von 220 MWh, wobei die statistische Zuordnung zu unterschiedlichen Branchen und unterschiedlichen Schlüsseln erfolgt.

Laut Tiefbau- und Verkehrsamt, SGL Straßenbeleuchtung, beträgt die Anzahl der Straßenbeleuchtungen der Landeshauptstadt Erfurt (inkl. Ortsteile) 21.217 Stück (Stand 31.12.2009). Zusätzlich wurde noch die prozentuale Verteilung der verschiedenen Leuchtmittel mitgeteilt.

Wie in Tabelle 1–29 ersichtlich ist, hat Erfurt zu 90 % Natriumdampflampen als Leuchtmittel in Benutzung. Der restliche Teil setzt sich aus Quecksilberdampflampen und Leuchtstofflampen zusammen. Der große Prozentsatz an Natriumdampflampen ist an dieser Stelle aus energetischer Sicht als positiv zu bewerten.

Tabelle 1–29: Leuchtmittelverteilung für Erfurt

	Anzahl in Stck.	Anteil in %
Natriumdampflampen	19.159	90,3
Quecksilberdampflampen	997	4,7
Leuchtstofflampen	870	4,1
Sonstige	191	0,9
Gesamt	21.217	100,0

Da für die vorliegende Verteilung der Leuchtmittel keine Leistungsmerkmale bekannt sind, werden im Folgenden theoretische Einsparpotentiale ermittelt.

Für das erste Szenario wird angenommen, dass die 997 vorhandenen Quecksilberdampflampen durch Natriumdampflampen ersetzt werden. Würde es sich um Quecksilberdampflampen mit einer Leistung von 125 W handeln, könnten diese durch 75-W-Natriumdampflampen ersetzt werden. Somit ergibt sich eine theoretische Ersparnis pro Lampe von 50 W. Ausgehend von 4.000 Betriebsstunden jährlich ergibt sich eine Energieersparnis von 199.440 kWh/a. Die je nach Strommix resultierenden CO₂-Einsparungen von 66 bis 196 t CO₂/a sind in Tabelle 1–30 dargestellt.

Tabelle 1–30: Szenario Austausch Quecksilberdampf gegen Natriumdampf

Von 125 W Quecksilber auf 75 W Natriumdampf (Ersparnis 50 W pro Leuchte):			
Ersparnis in kWh/a	CO ₂ -Ersparnis in t/a		
	Stadtwerke Erfurt (330 g/kWh)	Deutschland (506 g/kWh)	Braunkohlekraftwerk (982 g/kWh)
199.440	66	101	196

Das nächste Szenario beinhaltet den Austausch aller Natriumdampflampen durch LED-Technologie. Dieses Szenario würde sicherlich enorme Investitionskosten verursachen, hätte aber auf Grund der Effizienz und der langen Lebensdauer von LEDs ein sehr hohes Einsparpotential zur Folge. Die Größe des Potentials soll durch das folgende Zahlenbeispiel verdeutlicht werden:

Angenommen, die Straßenbeleuchtung wäre mit 75-W-Natriumdampflampen bestückt, so könnte man diese durch 50-W-LED-Lampen ersetzen. Daraus ergibt sich eine Leistungersparnis pro Leuchtmittel von 25 W. Bezogen auf die gesamte Leuchtenstückzahl und 4.000 Betriebsstunden pro Jahr ergeben sich eine Gesamtstromersparnis von 1,9 GWh und eine resultierende CO₂-Ersparnis von 581 t bis 1.881 t. In Tabelle 1–31 sind die Ergebnisse dieses Szenarios dargestellt.

Tabelle 1–31: Szenario Austausch aller Leuchtmittel gegen LED

Von 75 W Natriumdampf auf 50 W LED (Ersparnis 25 W pro Leuchte):			
Ersparnis in kWh/a	CO ₂ -Ersparnis in t/a		
	Stadtwerke Erfurt (330 g/kWh)	Deutschland (506 g/kWh)	Braunkohlekraftwerk (982 g/kWh)
1.915.895	581	969	1.881

Unter Berücksichtigung der rasch fortschreitenden technischen Entwicklung und steigenden Effizienz von LEDs rückt auf lange Zeit gesehen die LED-Technologie als Straßenbeleuchtung immer mehr in den Vordergrund.

Es zeigt sich, dass durch die Nutzung effizienter Lösungen im Sektor der Straßenbeleuchtung ein großer Teil elektrischer Energie eingespart werden kann, um dadurch den CO₂-Ausstoß zu vermindern.

Der Verzicht auf die nächtliche Beleuchtung öffentlicher Gebäude wurde im öffentlichen Forum der Stadt Erfurt ebenso thematisiert wie die Reduzierung der nächtlichen Straßenbeleuchtung und der zunehmende Einsatz von hocheffizienten LED-Leuchtmitteln.

1.4 Maßnahmenentwicklung

1.4.1 Kommunikation, Öffentlichkeitsarbeit und Beratung

Im Stadtgebiet Erfurt sind unterschiedliche Akteure auf den Gebieten Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und CO₂-Einsparung tätig: neben den der Stadtverwaltung der Stadtrat, die Landesregierung mit ihrer Energie- und GreenTech-Agentur (ThEGA) sowie ihren Liegenschaften im Stadtgebiet, die Handwerkskammer Erfurt (HWK), Verbraucherschutzverbände, die Stadtwerke Erfurt Gruppe, Ingenieur- und Architektenkammer, Unternehmen der Immobilienbranche, Energieberater, die FH Erfurt, ... Alle Akteure beraten Unternehmen und Bürger der Stadt Erfurt auf den o.g. Gebieten, aber mit unterschiedlichen Interessen und Know-how und nie umfassend und erschöpfend. Es ist wünschenswert, für die Unternehmen und Bürger der Stadt Erfurt eine gemeinsame Anlaufstelle mit qualifizierten Mitarbeitern zu schaffen, in der eine umfassende und neutrale Beratung stattfindet und in der die Aktivitäten der Akteure gebündelt werden. Die Schaffung einer solchen Informationsstelle muss entsprechend propagiert werden, damit die angebotene Beratung auch ausreichend genutzt wird.

Neben den Informationen zu Maßnahmen der Energieeffizienz entsprechender Technologien mit ihren **Voraussetzungen**, wie bspw.

- Niedrigenergie- und Passivhäuser,
- energetische Sanierung im Bestand,
- solarthermische Anlagen für die WW-Bereitung,
- photovoltaische Anlagen,
- kontrollierte Wohnraumlüftung,
- Wärmepumpen,
- Brennwerttechnik,
- Holzheizungen,
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) für Gewerbe, KMU, Mehrfamilienhäuser,
- energieeffiziente elektrische Geräte und Beleuchtung, Stand-by-Problematik,
- Hocheffizienzpumpen und hydraulischer Abgleich,

sollten auch die Fördermöglichkeiten Bestandteil der Beratung und Information sein. Für die Vermittlung von Dienstleistungen sollte auf einen Pool von Unternehmen und Dienstleistern verwiesen werden können.

Projekte, auch privater Bauherren, aus dem Stadtgebiet Erfurts mit besonderer Energieeffizienz sollten in aufbereiteter Form dargestellt und öffentlichkeitswirksam propagiert werden, insbesondere auch mit den wirtschaftlichen Ergebnissen. Bei der Aufbereitung der Projekte kann die FH Erfurt Unterstützung leisten.

1.4.2 Stadtverwaltung

1.4.2.1 Energieverbrauch

Die Stadt Erfurt nutzt selbst eine große Anzahl von Gebäuden und verursacht mit der Nutzung auch CO₂-Emissionen. Die Stadtverwaltung sollte ihren Bürgern mit gutem Beispiel vorangehen und ihren Energieverbrauch und die damit einhergehenden CO₂-Emissionen senken. Wenn der Energieverbrauch jedes Jahr um 5 % gesenkt wird, reduziert sich der Verbrauch auf ca. 60 %, bei Elektroenergie von 9,1 GWh auf 5,5 GWh, bei der Wärme von 47,5 GWh auf 28,5 GWh pro Jahr, die Emissionen verringern sich dadurch von 13.000 t CO₂ auf 7.800 t CO₂ pro Jahr.

Zur Umsetzung bieten sich 2 Wege an:

1. Konzentration mit dem Ziel, Gebäude aus der Nutzung zu nehmen
2. Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Zur Entscheidung, welche Gebäude perspektivisch nicht mehr genutzt werden sollen bzw. bei welchen Gebäuden Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt werden sollen, ist für alle Gebäude der spezifische Energieverbrauch (Elektroenergie, Wärmenergie, Wasser pro m² BGF und Jahr) zu ermitteln und eine entsprechende Rangfolge zu bilden.

Mit einer Analyse des jährlichen Energieverbrauchs nach VDI 3807 kann nur ein mögliches Einsparpotential ermittelt werden. Zur Erschließung des Potentials sind detailliertere Untersuchungen erforderlich. Eine Grundvoraussetzung dafür sind Zähler, deren Zählerwerte alle 15 Minuten elektronisch erfasst und archiviert werden.

- Dazu sollten die in den Gebäuden der Stadtverwaltung vorhandenen Zähler für Gas, Wärme, Strom, Wasser entsprechend nachgerüstet werden oder entsprechend neue Zähler (Smart Metering) eingebaut werden.

Neben den Zählerwerten der Energieträger sind in die wesentlichen Heizkreise Wärmemengenzähler einzubauen und neben der Wärmemenge auch transportiertes Volumen, Wärmeleistung, Volumenstrom, Vorlauf- und Rücklauftemperatur zu erfassen. Die Daten sind im 15-Minuten-Rhythmus zu erfassen und zu archivieren. Des Weiteren sollten Schaltzustände von Pumpen, Ventilatoren sowie ausgewählte Raumtemperaturen erfasst werden.

- Energiecontrolling

Mit den in kurzen Zeitabständen erfassten Zählerdaten ist ein detaillierteres Energiecontrolling möglich. Eine Unterstützung durch entsprechende Software ist sinnvoll.

- Stärkere Mitwirkung bei Planung, Bau, Sanierung

Die Belange der Energieeffizienz sollten bei der Planung, dem Bau und der Sanierung stärker wirksam werden. Bei entsprechenden Vorhaben sollten die Verbrauchswerte des Gesetzgebers deutlich unterschritten werden.

- Gebäudeanalysen, Energiekonzepte im Bestand
Für die Gebäude mit hohem Energieverbrauch sollten detaillierte Analysen durchgeführt und entsprechende Energiekonzepte entwickelt und umgesetzt werden.
- Betriebsoptimierung
Viele gebäudetechnische Anlagen werden nicht optimal betrieben. Untersuchungen ergaben Einsparpotentiale bis zu 30 %. Einstellwerte, der hydraulische Abgleich, Pumpen- und Ventilauslegung sollten überprüft werden. Bei Ersatz von Pumpen sollten Hocheffizienzpumpen eingesetzt werden.
- Beeinflussung Nutzerverhalten
Für die Beeinflussung des Nutzerverhaltens in Richtung Energieeinsparung sollten entsprechende Maßnahmen entwickelt werden.
- Energiebeschaffung
Beim Energieeinkauf kann sowohl auf den Preis als auch auf die Emissionswerte geachtet werden. Auch bei Einkauf von Ökostrom sollte die Energieeffizienz nicht außer Acht gelassen werden.

1.4.2.2 Beschaffung

Bei der Beschaffung sollten die Kriterien Energieeffizienz und Nachhaltigkeit mit Gegenstand der Ausschreibung sein.

Bei Ampelanlagen sollten möglichst LEDs eingesetzt werden. Die städtische Beleuchtung sollte auf Einsparmöglichkeiten untersucht und diese konsequent umgesetzt werden.

1.4.2.3 Contracting

Bei fehlenden Investitionsmitteln sollten die Möglichkeiten des Contractings geprüft werden. Neben dem üblichen externen Contracting ist auch ein stadtinternes Contracting möglich, mit dem bereits gute Erfahrungen in Erfurt gemacht wurden. Dabei sollte durch eine Anschubfinanzierung ein Fond gebildet werden, der aus den Einsparungen refinanziert wird. Ein entsprechendes Contractingprojekt sollte als Pilotprojekt durchgeführt werden.

1.4.2.4 Nutzung erneuerbarer Energien

Städtische Gebäude oder geeignete Flächen sollen für die Nutzung durch Photovoltaikanlagen zur Verfügung gestellt werden. Bei Liegenschaften mit einem sommerlichen Warmwasserverbrauch sollten solarthermische Anlagen installiert werden.

1.4.2.5 Ziele/Vorgaben für städt. Eigenbetriebe und Kapitalgesellschaften

Die Stadt sollte für ihre Eigenbetriebe und die Kapitalgesellschaften, an denen sie beteiligt ist, Zielwerte für die Energieeinsparung bzw. Emissionsminderung und zu durchzuführenden Pilotprojekten vorgeben. Vorgaben zur jährlichen Energieeinsparung bzw. Emissionsminderung sollten mindestens 5 % betragen.

1.4.3 Pilotprojekte

1.4.3.1 Städtische Pilotprojekte

Die Stadtverwaltung sollte Pilotprojekte der Energieeffizienz für ihre eigenen Gebäude initiieren. Die Ergebnisse müssen öffentlichkeitswirksam publiziert werden.

1.4.3.2 Wohnungsgesellschaften

Die Stadt Erfurt sollte bei den städtischen Wohnungsgesellschaften und ggf. anderen Wohnungsunternehmen mit großem Immobilienbestand Pilotprojekte für die Analyse des Verbrauchs von Mehrfamilienhäusern (MFH) und die Überprüfung der Einstellwerte und der Hydraulik initiieren. Die Ergebnisse der Pilotprojekte müssen öffentlichkeitswirksam publiziert werden.

Bei MFH mit Abluftanlagen sollte im Rahmen dieser Projekte eine Wärmerückgewinnung (WRG) aus der Abluft untersucht werden.

Insbesondere für MFH, die nicht an die Fernwärme angeschlossen sind, sollte dabei auch der Einsatz von solarthermischen Anlagen untersucht werden.

1.4.3.3 KWKK-Projekte

Für Gebäude bzw. größere Liegenschaften, insbesondere solche mit sommerlichen Wärmeverbrauch und die nicht an der Fernwärme angeschlossen sind, ist der Einsatz von dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung zu untersuchen. Hilfreich für die Planung sind Jahressganglinien für den Verbrauch von Elektroenergie und Wärme.

Bei Verwendung erneuerbarer Energien (Biodiesel, aufbereitetes Biogas, Holz) bestehen dabei zusätzliche Boni bei der Vergütung.

1.4.3.4 Projekte mit Kälte aus Fernwärme

Bei Gebäuden, die an die Fernwärme angeschlossen sind und einen Kühlbedarf haben, sollte der Einsatz einer mit Fernwärme angetriebenen Wärmepumpe als Kältemaschine untersucht werden.

1.4.3.5 Private Haushalte

Die privaten Haushalte können nicht zu einem bestimmten Verhalten oder zu einer Investitionstätigkeit gezwungen werden, sondern müssen durch Anreize oder Förderung entsprechend motiviert werden. Da für viele Energieeffizienzmaßnahmen Förderungen existieren, kann man mit verstärkter Information versuchen, eine höhere Anwendung zu erreichen. Ebenso sollten Möglichkeiten der Energieeinsparung offensiver propagiert werden.

1.4.3.6 Gewerbe und Kleinverbraucher

Der Energieverbrauch steht bei Gewerbe und Kleinverbrauchern oft nicht im Mittelpunkt der Betrachtung, da dessen Kosten meist nur eine untergeordnete Position einnehmen. Hier muss argumentiert werden, dass Einsparungen in diesem Bereich direkt in den Gewinn eingehen. Die Landesregierung wird zusätzlich zu den Förderprogrammen des Bundes bezüglich der Energieberatung ein Programm zur Förderung der messtechnisch gestützten Energieberatung auflegen. Ergänzend dazu sind Informationsveranstaltungen gemeinsam mit den anderen Akteuren sinnvoll. Insbesondere die Möglichkeit des Einsatzes von Klein-BHKWs im Gewerbe sollte stärker publiziert werden. Sinnvoll ist eine auf diesen Kreis zugeschnittene Veranstaltungsreihe.

1.4.3.7 Industrie

Auch für diesen Bereich sollten angepasste Informationsveranstaltungen zur Energieeffizienz gemeinsam mit den anderen Akteuren angeboten werden.

1.4.3.8 Zusammenfassung

Bei den Maßnahmen Gebäudeenergiebedarf ergibt sich folgende Handlungsmatrix:

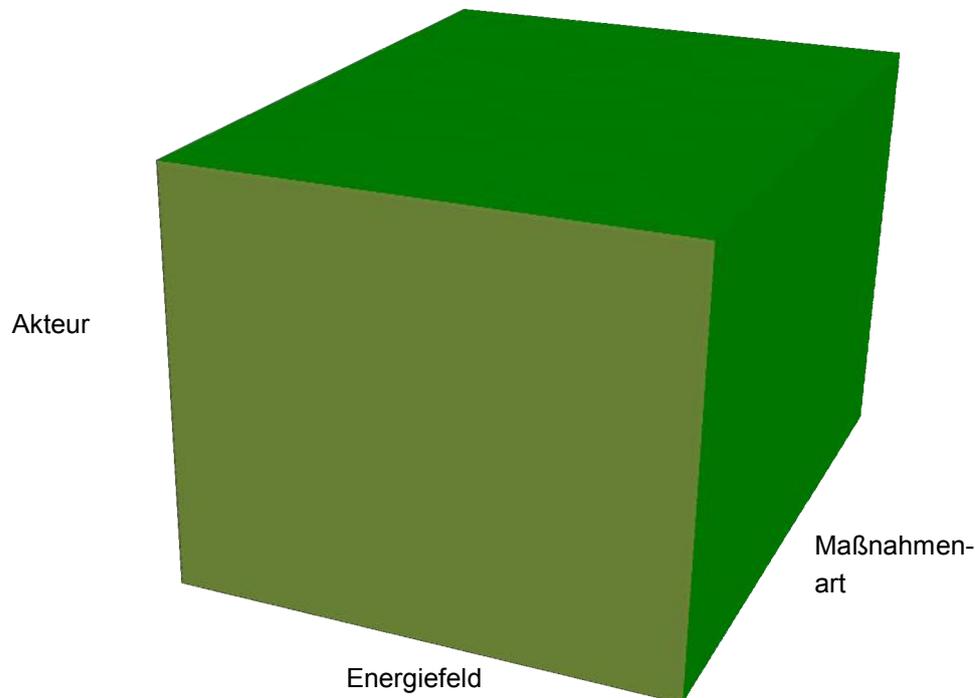


Abbildung 1–8: Handlungsmatrix

- Akteur:
Stadtwerke, Stadtverwaltung, Wohnungswirtschaft, Industrie/Gewerbe/Handel, Energiedienstleister, Haushalte (Bürger)
- Energiefeld:
Strom: Antriebe, Beleuchtung; Kälte; Wärme: Gebäude, Warmwasser, Prozesse
- Maßnahmenart:
Analyse, Planung, Testung (Pilotprojekte), Information und Kommunikation; Beratung, Dienstleistung, Wertschöpfung, Auswertung/Analyse

Somit ergeben sich in der Kombination der Kategorien verschiedene Maßnahmen in Bezug auf Energieeffizienz. Ein aus anderen Kommunen bekanntes Beispiel ist die Kombination Stadtwerke/Antriebe/Dienstleistung – so wird z.B. über die Stadtwerke Tübingen der Austausch von Heizungspumpen betrieben.

Es wird deutlich, dass zahlreiche Maßnahmen denkbar sind – um eine erste Vorauswahl zu treffen, sollen die Ergebnisse der Bürger- und Wirtschaftsbeteiligung betrachtet werden.

Maßnahmen aus dem Internetforum und dem öffentlichen Forum

Im Folgenden werden die im Internetforum speziell in Bezug auf Energieeffizienz vorgeschlagenen Maßnahmen stichpunktartig dargestellt:

- Stadtverwaltung
 - jährliche Einsparungen von mindestens 5 %
 - Stadtverwaltung
 - fester Anteil des Haushalts für energetische Sanierung
 - Speziell Plattenbauten
 - Wärmeschutz
 - CO₂-neutrale Heizsysteme
 - Wärmerückgewinnung aus Abwasser
- Erfurter Sportbetrieb
 - Verzicht auf Rasenheizung
 - Abwärmenutzung für Rasenheizung
- Ordnungsrechtliches
 - kommunales Baurecht
 - Aufgabe von Beschränkungen
 - in Bebauungsplänen
 - in Satzungen
 - solare Bauleitplanung umsetzen
 - Außenflächen
 - Heizstrahler
 - Verbot
 - zusätzliche Gebühr
 - Betreiben mit Biogas
 - Alternative: Decken und Jacken
 - Verbot von Laubsaubern
- Stadtwerke
 - Anreizregulierung zum Einsparen
 - günstigere Tarife, je weniger benötigt wird
 - Ausbau KWK/Fernwärme

- Sanierung/Modernisierung allgemein
 - Heizsysteme
 - geringer Energiebedarf
 - wenig Verluste
 - möglichst aus erneuerbaren Energien
 - Ersatz von Kohleöfen
 - Mess- und Regelungstechnik
 - Aktive Steuerung und Überwachung der Hausanschlussstationen
 - Ausbau und zentrale Aufschaltung der Mess- und Regelungstechnik
 - Reduktion der Anschluss und Verbrauchswerte um 10 – 15 %
 - Einbau von intelligenten Zählern durch Stadtwerke und Erfassung von:
 - Verbrauch einzelner Geräte
 - Spitzen im Verbrauch
- Licht
 - Verzicht auf nächtliche Illumination von Gebäuden
 - Einsatz hocheffizienter LED
 - Verzicht auf nächtliche Beleuchtung
 - Prüfung des Lichtkonzepts auf Klimafreundlichkeit
 - Straßenlaternen
 - Beleuchtung der Stadt
 - Feuerwerke ...
- Verhalten
 - Schilder mit Hinweis: Während des Lüftens Fenster zu
 - Verzicht auf Gasheizstrahler vor Gaststätten
 - Läden im Sommer und Winter schließen, um Energieverlust zu vermeiden
 - alternative Arbeitsverfahren
 - Verwendung von Akkutechnik in Garten/Landschaftspflege

Dabei handelt es sich zum Teil um sehr konkrete Maßnahmen, zum Teil werden auch einfache Ziele formuliert, wobei die Umsetzung in Maßnahmen offen bleibt. Wichtig erscheinen die konkrete Festlegung von Teilzielen in Teilbereichen und die starke Fokussierung auf die Stadtverwaltung und die Stadtwerke Erfurt GmbH, sowohl bei ordnungsrechtlichen Maßnahmen als auch bei der konkreten Umsetzung im eigenen Bereich.

Die Nennungen bei den Unternehmen geben ein etwas anderes Bild wieder:

- Energieeffizienz
 - allgemein
 - Ökopartizipation
 - Bewusstsein schaffen
 - Informationsbereitstellung über Internet
 - Informationen zu Förderung (u.a. von Pumpentausch)
 - Beraternetzwerk
 - Förderung der Akzeptanz von Energieberatung
 - Festlegung von Ansprechpartnern
 - Potentiale
 - Beleuchtungstausch
 - LED-Leuchten
 - wirtschaftlicher Betrieb durch Einsparung Beleuchtung und Einsparung Kälte möglich
 - tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung
 - Pumpentausch
 - Überalterung der Pumpen
 - Förderung von Energieberatung
 - mangelnder hydraulischer Abgleich
 - Wärmerückgewinnung
 - Netzspannung wieder senken
 - Energieliefercontracting
 - „Green IT“
 - u.a. direkte Wasserkühlung von Servern
 - Verstärkter Einsatz von Regelungstechnik
 - Kältetechnik
 - Anpassung der Hydraulik
 - regelungstechnische Anpassung
 - Nutzerverhalten

- Wohnungs-/Gebäudewirtschaft
 - Förderung von energetischer Sanierung nötig
 - aber bereits ca. 85 % (teil)saniert
 - energetische Sanierung muss sich am Wohnungsmarkt auszahlen
 - Nutzer/Investor-Dilemma
 - intelligente Heizungssteuerung
 - z.T. 30 Jahre Investitionssicherheit nötig
 - Fokus auch auf gering-investive Maßnahmen
 - passgenaue und flexible Förderung für mehr Klimaschutz notwendig
 - positive Effekte Fernwärme/EnEV
- Rahmenbedingungen produzierender Unternehmen
 - Amortisationszeiten < 4 Jahre nötig! (z.T. < 1 Jahr)
 - z.T. sehr hohe Investitionskosten zur weiteren Steigerung von Energieeffizienz (z.B. Motoren)
 - Anteil der Energiekosten insgesamt gering
 - Klimaschutz nicht auf Kosten des Umsatzes

Danach sollen unter anderem Maßnahmen wie Informationsbereitstellung und Öffentlichkeitsarbeit zur Nutzung bisher brachliegender Potentiale genutzt werden. Aber auch konkrete eigene Maßnahmen, wie z.B. das im Ökoprotif enthaltene Energiemanagement, werden hervorgehoben. Grundsätzlich findet sich hier ein Schwerpunkt bei gering-investiven Maßnahmen wie Nutzermotivation, Anpassung von Regelungstechnik, Energieberatung und Energiedienstleistungen im Allgemeinen.

1.5 Wirksamkeitsanalyse

Während im Kapitel zur Energieerzeugung deutlich wird, dass bei der Energieerzeugung einige Schlüsselakteure einzubeziehen sind und auch durch die planerischen Vorleistungen der Stadt Erfurt einige Rahmenbedingungen für den Klimaschutz gesetzt werden können, gestaltet sich das Maßnahmenfeld Gebäudeenergieverbrauch deutlich vielfältiger, da es sich hier um sehr viele unterschiedliche gebäudebezogene und sonstige Wärme- und Elektrizitätsverbraucher handelt. Dabei ist der Wärmebereich sicherlich zwar in Hinblick auf die Akteure vielfältig, aber in Hinblick auf die Anwendungen deutlich einfacher.

Betrachtet man die Statistik zum Wärmeverbrauch (also zu Erdgas und Fernwärme) so wird deutlich, dass es sich überwiegend um Raumwärme und Energiebedarf zur Warmwasserbereitung handelt. Für die Raumwärme gibt es unabhängig vom Sektor zwei Strategien zur Senkung des Bedarfs: 1. Senkung der Verluste durch Dämmung und Wärmerückgewinnung; 2. Erhöhte Effizienz bei der Wärmebereitstellung durch verbesserte Technik und effiziente Regelung. Überlagert wird dabei sowohl die Raumwärme als auch der Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung vom Nutzerverhalten. Aber auch hier können technische „Hilfsmittel“ bei der Senkung des Bedarfs unterstützen, z.B. Wasser (und damit auch Energie) sparende Armaturen und Raumautomation (d.h. die effiziente Regelung auf die tatsächlichen gewünschten Raumtemperaturen). Führt man eine Rangreihung der Verbräuche im Wärmesegment der SWE durch, so wird deutlich, dass über 60 % den privaten Haushalten zuzuordnen sind und als nächstes erst im Bereich Industrie/Gewerbe/Handel die Nahrungs- und Genussmittelgewerbe mit 8 % sowie als drittes im öffentlichen Bereich mit 7 % erst Behörden und öffentliche Einrichtungen stehen. Beim Nahrungs- und Genussmittelgewerbe kann vermutet werden, dass hier überwiegend technologisch bedingter Energiebedarf vorliegt, auch ist hier der Anteil der klimafreundlichen Fernwärme sehr hoch. Bei den anderen beiden Gruppen hingegen dürfte eher Raumwärmebedarf vorliegen, wobei der Fernwärmeanteil bei den Behörden und öffentlichen Einrichtungen bei immerhin auch noch über 70 % liegt, bei den privaten Haushalten hingegen nur bei 30 %.

Somit können als Haupt-Zielgruppen für den Klimaschutz im Bereich Wärme zunächst die privaten Haushalte und der öffentliche Bereich, speziell Behörden und öffentliche Einrichtungen, identifiziert werden. Diese verursachen in Summe über 70 % des Wärmeverbrauchs. Der öffentliche Bereich soll dabei mit betrachtet werden, weil hier eine Vorbildfunktion erwartet wird (wie auch die Bürgerbeteiligung herausstellte), außerdem beinhaltet dieser Bereich auch den Verbrauch im unmittelbaren Einflussbereich der Stadtverwaltung.

Bei der Elektrizität ergibt sich ein ähnliches Bild, wobei hier nur 60 % über diese beiden Bereiche abgedeckt sind. Größere Abweichungen gibt es lediglich im Bereich Verkehr/Nachrichten/öffentliche Belange, wobei hier u.a. der Strombedarf der Erfurter Stadtbahn subsumiert wird, der im Klimaschutzkonzept zu Verkehr und Mobilität mit betrachtet wird.

Hauptfokus der Maßnahmen bei der Gebäudeenergie sollten also die privaten Haushalte (und mit ihnen die Wohnungsunternehmen) und der öffentliche Bereich (vor allem Behörden und öffentliche Einrichtungen sein).

Die Prognose für 2020 geht bei den privaten Haushalten bei Wärme von einem Rückgang um 17 % aus (allerdings verstärkt bei der Fernwärme), der Elektroenergiebedarf bleibt etwa gleich. Beim öffentlichen Bereich wird mit einem Rückgang von über 20 % bei der Wärme gerechnet (ebenfalls vorwiegend Fernwärme) und von 0 – 10 % bei der Wärme.

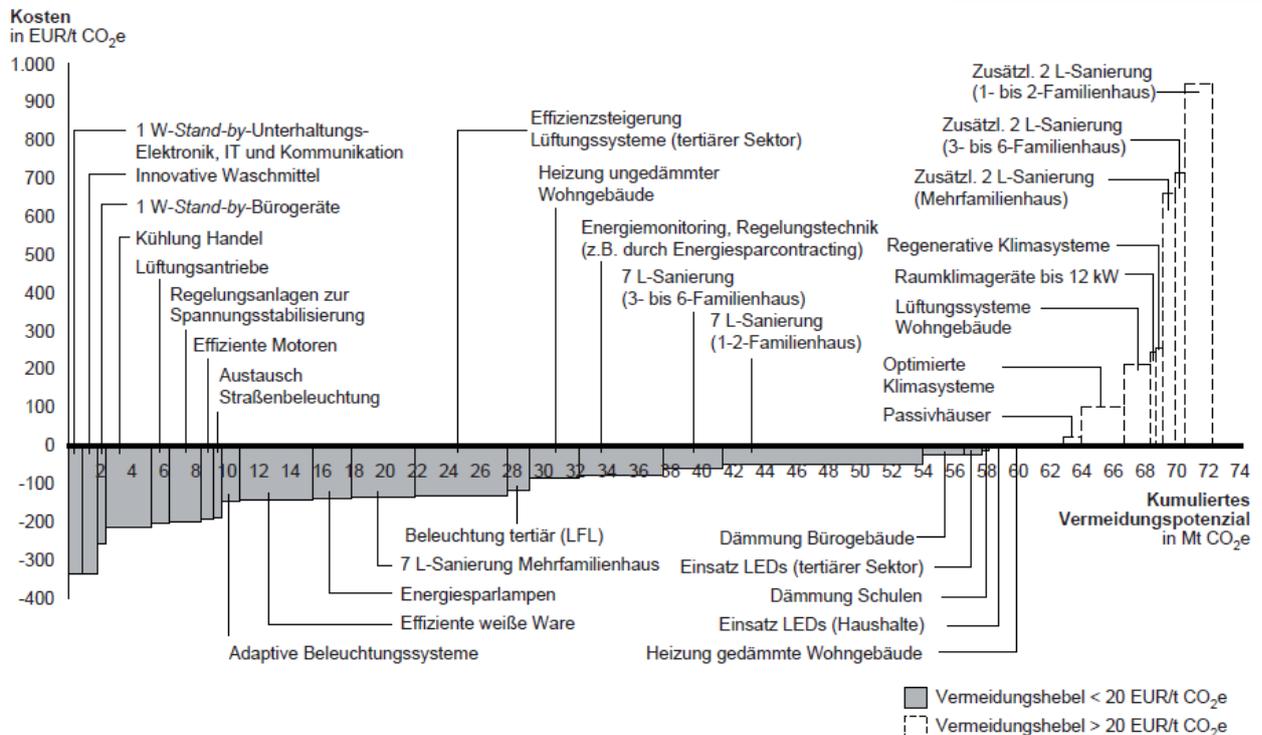
Geht man allerdings davon aus, dass insgesamt 20 % der Wärme eingespart werden sollen, so bedeutet dies einen Rückgang bei den betrachteten Bereichen um jeweils 28 %. Um 15 % Strom bis 2020 einzusparen, bedeutet dies wiederum für diese beiden Bereiche als Handlungsfelder betrachtet einen Rückgang um 25 % (Berechnung basiert auf der statistischen Auswertung der SWE Energie für das Jahr 2008). D.h. die Maßnahmen sollten vorrangig auf den Wohnungs- und Haushaltmarkt abzielen.

Dabei spielen die Wohnungsunternehmen eine zentrale Rolle, denn von den 110.000 Wohnungen in Erfurt sind etwa 75 % von Mietern und nur 25 % von Eigentümern genutzt. Auch wenn man eine erhöhte Eigentumsquote bei den energieintensiven Einfamilienhäusern unterstellen kann, ergibt sich doch eine deutliche Dominanz der vermieteten Wohnungen beim Gebäudeenergiebedarf und somit als prioritäres Handlungsfeld die Kooperation mit den Vermietern und Mietern. Dies bedeutet aber, dass immer ein Kompromiss in der Abstimmung von Mieter- und Vermieter-Interessen bei der Einsparung von Energie gefunden werden muss. Allerdings ergibt sich laut verschiedenen Studien bereits allein im Bereich der Warmmiete (also bei Beibehaltung der Gesamtmiete) ein deutliches Sanierungspotential für die meisten Wohnungen.

Der Bereich des Energieverbrauchs ist der, in dem die Stadt Erfurt für das Stadtgebiet den geringsten Einfluss in Bezug auf Klimaschutz hat. Gleichzeitig ist es aber auch das Gebiet, in dem mit den geringsten CO₂-Vermeidungskosten gerechnet werden kann –

Gebäudesektor: Vermeidungskostenkurve – Deutschland 2020

ENTSCHEIDER-
PERSPEKTIVE
BASISSZENARIO 2020



Quelle: Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ von McKinsey & Company, Inc. im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“ – AG Gebäude

denn viele der Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs resultieren auch in Einsparungen von Kosten, wie z.B. eine Studie der Unternehmensberatung McKinsey im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“ analysierte. Dennoch gibt es nur wenige und zumeist indirekte Möglichkeiten der Einflussnahme für die Kommunen, gerade beim Gebäudebestand. Der gebäudebezogene Energiebedarf betrifft vor allem die privaten Haushalte, die Wohnungsunternehmen und den tertiären Sektor. Die beiden wichtigsten Ansatzpunkte sind dabei die komplexe energetische Verbesserung der Gebäude und die Erhöhung der Sanierungsraten.

Lediglich bei den stadt eigenen Wohnungen und Wohnungsunternehmen besteht ein unmittelbarer Einfluss: Die von der KoWo begonnene umfangreiche Sanierung des eigenen Wohnungsbestandes darf als beispielgebend gelten und sollte unbedingt fortgesetzt werden. Gerade durch den großen Wohnungsbestand der KoWo von über 12 % der Erfurter Wohnungen insgesamt darf dadurch neben den positiven Effekten einer Stabilisierung der Warmmiete für den Mieter auch mit einem wettbewerblichen Impuls auf den gesamten Markt gerechnet werden.

Ob und in welchem Umfang jedoch andere Vermieter und Selbstnutzer Gebäude sanieren, hängt im Wesentlichen nicht von der Stadtverwaltung ab. Dennoch sollte dazu

eine entsprechende Beratung zur energieeffizienten Sanierung (mit Dämmung, Wärmehückgewinnung und entsprechender Regelungstechnik) erfolgen. Auch im Zuge der Stadterneuerung sollten Städtebaufördermittel und Wohnungsbauittel mit der Zielstellung eines möglichst geringen Energiebedarfs vorgesehen werden. Insbesondere bei B-Plänen sind dabei entsprechende Überlegungen mit zu berücksichtigen.

Ergänzend wird durch das Instrumentarium der EnEV eine Verbesserung des Gebäudebestandes eintreten. So ist bspw. ab 2011 eine Dämmung der obersten Geschossdecke vorzusehen. Weitere Einsparungen können durch eine verstärkte Beratung bei der Ersatzbeschaffung von Heizkesseln erzielt werden.

Insgesamt sind in diesem Bereich die Handlungsmöglichkeiten der Stadtverwaltung aber im Wesentlichen auf Energiedienstleistungen zu konzentrieren: z.B. Wärmeliefercontracting, Beratungen, hydraulischer Abgleich, Energiesparcontracting, Messdienstleistungen, ...

Dementsprechend sollte dieses Aufgabenfeld mit in einer gemeinsamen Initiative zu Energiedienstleistung – z.B. mit der Handwerkskammer, der IHK, den Fachverbänden und Innungen – erfolgen. Eine derartige, in anderen Städten sehr erfolgreich durchgeführte Aktion ist z.B. der Pumpentausch: bestehende Pumpen werden dabei (teils finanziert über Dritte) durch Hocheffizienzpumpen ersetzt, dadurch können sowohl Stromverbrauch als auch Wärmeverluste reduziert werden.

Sollten auch diese Maßnahmen nicht den gewünschten Erfolg bringen, so kann Energieeffizienz direkt beim Verbraucher gefördert werden: z.B. durch Anreize zum Energiesparen, wie bspw. durch angepasste Tarife bei leitungsgebundenem Strom und Wärme sowie durch direkte Förderung von Wärmedämmung, Regelungstechnik, Wohnraumlüftung und Heizungserneuerung.

Insgesamt erscheint die konsequente Umsetzung der Senkung von Wärme- und Strombedarf auch volkswirtschaftlich für Erfurt von großer Bedeutung. Wenn es gelingt, bis zum Jahr 2020 30 % der Wärme und 20 % des Stroms einzusparen, so verbleibt ein höherer Anteil der bisher für Energiekosten aufgewendeten Mittel bei der Erfurter Wirtschaft und Bevölkerung und kann anderweitig verwendet werden.

1.6 Erstellung eines Maßnahmenpaketes

Um eine breite Wirksamkeit zu erreichen, wurde als wesentlichste Maßnahme die Gründung einer Agentur zur Beratung der Immobilienbesitzer, Bürger und Unternehmen herausgearbeitet. Dafür sollten die auf dem Gebiet der Energieberatung tätigen Akteure wie Stadtverwaltung, Stadtwerke Erfurt Gruppe und Dienstleister sowie der Freistaat Thüringen ihre Aktivitäten bündeln und die Beratungsleistungen konzentrieren. Die hauptsächliche Triebkraft sollte dabei die Stadtverwaltung sein, da sie auch ein wesentlicher Akteur der weiteren Aktivitäten ist.

Für eine Steigerung der Energieeffizienz sollte diese Agentur Beratungen, Informationen und Kampagnen zu Energieeffizienzmaßnahmen, dem Einsatz erneuerbarer Energien, der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung, der energetischen Sanierung, zu Energiedienstleistungen und -dienstleistern umsetzen sowie Maßnahmen und Pilotprojekte, insbesondere der Stadtverwaltung und der Beteiligungsunternehmen der Stadt, initiieren und begleiten. Die Beratung sollte Fördermöglichkeiten einbeziehen.

Tabelle 1–32: Maßnahmen

Bezeichnung Energieeffizienz	Ziel	Maßnahmen/Planung	Akteur
EE1	Steigerung der Energieeffizienz in Haushalten	Information, Kampagnen und Beratung, Energiemanagement	Stadtwerke Erfurt, Klima-Dienstleister, Stadtverwaltung
EE2	Steigerung der Energieeffizienz bei der Stadtverwaltung	Zielvorgaben, Energiemanagement, Controlling, Contracting, Sanierung, Betriebsoptimierung, Energiekonzepte im Bestand, Energiebeschaffung, Green IT	Stadtverwaltung, Stadtwerke Erfurt Gruppe, Dienstleister
EE3	Beschaffung von effizienten Geräten und Beleuchtung	Vorgaben zu Standards, ggf. Contracting bei Beleuchtung	Stadtverwaltung
EE4	Motivationsanreize Unternehmen	Förderung Ökoprotit	Stadtverwaltung Erfurt, Wirtschaft
EE5	Kompetenzsteigerung zur Energieeffizienz	Förderung von Beratung	Stadtverwaltung Erfurt, Stadtwerke, Dienstleister, Wirtschaft
EE6	Gebäudesanierung	Zielvereinbarung mit Wohnungswirtschaft	Stadtverwaltung, Wohnungswirtschaft

Bezeichnung Energie- effizienz	Ziel	Maßnahmen/Planung	Akteur
EE7	technisches Energie- management in Unter- nehmen	Ökoprofit, DIN 16001, Zielvereinbarungen mit Wohnungswirtschaft	SWE, SVE
EE8	Stromeinsparungen	Pumpentausch	SWE
EE9	Steigerung der Energie- effizienz bei städt. Eigenbetrieben/Kapital- gesellschaften	Energiecontrolling und Vor- gaben/Zielvereinbarungen	Stadtverwaltung, Eigen- betriebe und städtische Unternehmen
EE10	Pilotprojekt zur Wärmerückgewinnung		Stadtverwaltung und Stadtwerke sowie Woh- nungsgesellschaften
EE14	Pilotprojekt Straßenbeleuchtung	inkl. Ansteuerung von ver- schiedenen Maßnahmen	Stadtverwaltung, Stadtwerke
EE15	Verminderung von Strom- und Elektrizitätsbedarf	Schaffung von geografisch zugeordneten Benchmarks zum Verbrauch	Stadtverwaltung und Stadtwerke
EE16	Pilotprojekte zum Smart Metering		

1.7 Zusammenfassung

In Erfurt wurden 2008 für Wärme 1.763 GWh und für Elektroenergie 904 GWh verbraucht. Der Wärmeverbrauch teilt sich zu 32 % auf Fernwärme und zu 68 % auf Erdgas bzw. andere Energieträger auf. Der Wärmeverbrauch ist etwa doppelt so hoch wie der Verbrauch an Elektroenergie. Trotzdem sind die CO₂-Emissionen durch den Elektroenergieverbrauch höher (bezogen auf den deutschen Strommix) als durch den Wärmeverbrauch. In der Tabelle 1–33 sind der Verbrauch und die Emissionen in den einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt.

Tabelle 1–33: Verbrauch und Emissionen 2008

Verbrauchsgruppe	Energieträger	Energieverbrauch			CO ₂ -Emissionen		
		GWh	%	% vom Gesamt	t CO ₂ /a	%	% vom Gesamt
Private Haushalte	Fernwärme	250	15 %	9 %	63.250	12 %	7 %
	Erdgas u.a.	982	60 %	37 %	223.601	44 %	24 %
	Elektroenergie	396	24 %	15 %	226.512	44 %	24 %
	Summe	1.628	100 %	61 %	513.363	100 %	55 %
Öffentliche Gebäude	Fernwärme	105	51 %	4 %	26.565	39 %	3 %
	Erdgas u.a.	44	22 %	2 %	10.019	15 %	1 %
	Elektroenergie	55	27 %	2 %	31.460	46 %	3 %
	Summe	204	100 %	8 %	68.044	100 %	7 %
Industrie/Gewerbe/ Handel	Fernwärme	138	40 %	5 %	34.914	28 %	4 %
	Erdgas u.a.	82	24 %	3 %	18.671	15 %	2 %
	Elektroenergie	125	36 %	5 %	71.500	57 %	8 %
	Summe	345	100 %	13 %	125.085	100 %	13 %
Sonstige Verbraucher	Fernwärme	70	24 %	3 %	17.710	16 %	2 %
	Erdgas u.a.	86	30 %	3 %	19.582	17 %	2 %
	Elektroenergie	131	46 %	5 %	74.932	67 %	8 %
	Summe	287	100 %	11 %	112.224	100 %	12 %
Fremdbezug	Elektroenergie	197	100 %	7 %	112.684	100 %	12 %
Fernwärme	Summe	563		21 %	142.439		15 %
Erdgas u.a.	Summe	1.194		45 %	271.874		29 %
Elektroenergie	Summe	904		34 %	517.088		56 %
Wärme	Summe	1.757		66 %	414.313		44 %
Elektroenergie	Summe	904		34 %	517.088		56 %
	Gesamtsumme	2.661		100 %	931.401		100 %

Die privaten Haushalte verursachen 61 % des Energieverbrauchs und 55 % der Emissionen. Die öffentlichen Gebäude verursachen 8 % des Energieverbrauchs und 7 % der Emissionen, Industrie/Gewerbe/Handel verursachen 13 % des Energieverbrauchs und 13 % der Emissionen, sonstige Verbraucher verursachen 11 % des Energieverbrauchs und 12 % der Emissionen, der externe Elektroenergiebezug verursacht 7 % des Energieverbrauchs und 12 % der Emissionen.

Bezüglich der Minderung der Emissionen ist die Einsparung von Elektroenergie effizienter als die Einsparung von Wärme.

Bei Fortschreibung der bisherigen Entwicklung ergeben sich für die einzelnen Energieträger bis 2020 Einsparungen von 15 % bei der Fernwärme, 10 % beim Erdgas und 3 % bei der Elektroenergie. Dies führt zu einer Einsparung bei den Emissionen von 17.000 t CO₂/a bzw. 2 % gegenüber 2008.

Einsparungen beim Elektroenergieverbrauch können ohne Einbußen beim Komfort nur durch den Einsatz energieeffizienter Geräte bzw. Technologien erreicht werden, wobei diesem Trend ein steigender Einsatz von elektrischen Geräten entgegensteht. Preissteigerungen können sich jedoch positiv auf die Einsparung auswirken.

Beim Wärmeverbrauch wirken sich Einsparungen beim Erdgas oder die Substitution von Erdgas durch Fernwärme stärker auf die Emissionsminderung aus als die Einsparungen bei der Fernwärme. Der weitere Abriss der industriell errichteten Gebäude, die mit Fernwärme versorgt werden, wirkt sich aber besonders auf den Fernwärmeabsatz aus.

Die energetische Sanierung der industriell errichteten Wohngebäude auf einen Bedarf von 80 kWh/(m²a) führt zu einer Einsparung von 90 GWh und ca. 17.000 t CO₂/a. Die energetische Sanierung der konventionell errichteten Wohngebäude mit Baujahren vor 1990 auf 120 kWh/(m²a) führt zu einer Einsparung von 230 GWh und ca. 51.000 t CO₂/a. Die energetische Sanierung der Einfamilienhäuser mit Baujahren vor 1990 auf 160 kWh/(m²a) führt zu einer Einsparung von 150 GWh und ca. 35.000 t CO₂/a.

Werden alle drei Maßnahmen umgesetzt, können 470 GWh Wärmeenergie und 103.000 t CO₂/a eingespart werden. Notwendig sind dann immer noch 382 GWh Fernwärme, 685 GWh Erdgas bzw. weitere Energieträger.

Bei einer Steigerung der Rate der energetischen Sanierung auf mindestens 2 % pro Jahr bis 2050 und Realisierung eines Wärmebedarfs von 50 kWh/(m²a) aller Gebäude Erfurts werden noch pro Jahr 380 GWh für Wärmeenergie benötigt, bei der Fernwärme 90 GWh/a, beim Erdgas und anderen Energieträgern 290 GWh/a.

Der Ersatz aller Heizungspumpen durch Hocheffizienzpumpen in Verbindung mit einem hydraulischen Abgleich kann bis zu 11 GWh Elektroenergie einsparen, dies sind ca. 1,3 % bezogen auf den Elektroenergieverbrauch 2008.

Durch Verbesserungen im Anlagenmonitoring und der Optimierung der Steuerung und Regelung der Versorgungsanlagen kann ein Einsparpotential von ca. 15 % erreicht werden. Dies sind auf Basis 2020 etwa 170 GWh und ca. 40.000 t CO₂/a.

Der Einsatz von Wärmepumpen erfordert eine vorherige energetische Sanierung der Gebäude und den Einsatz von Flächenheizungen mit entsprechend niedrigen Vorlauf-temperaturen, damit Jahresarbeitszahlen von mindestens 4 erreicht werden.

Eine energetische Sanierung der Einfamilienhäuser nach Abschnitt 1.3.2.4 auf 160 kWh/(m²a) führt bereits zu einer Minderung des Wärmebedarfs um 150 GWh/a auf ca. 310 GWh/a und der Emissionen von ca. 35.000 t CO₂/a. Werden 50 % der Einfamilienhäuser zusätzlich mit Fußbodenheizung und Wärmepumpe ausgestattet, werden weitere 155 GWh/a Erdgas eingespart, dafür jedoch 39 GWh Elektroenergie mehr verbraucht, trotzdem sinken die Emissionen um weitere 22.000 t CO₂/a.

Wird bis 2050 der Energiebedarf aller Einfamilienhäuser auf 70 kWh/(m²a) reduziert, beträgt der Gesamtverbrauch dieser Gebäudekategorie noch 144 GWh/a mit Emissionen auf Basis Erdgas von 33.000 t CO₂/a. Werden auch in diesem Fall 50 % der Gebäude mit Wärmepumpen beheizt, werden weitere 72 GWh eingespart, dafür jedoch 18 GWh Elektroenergie mehr verbraucht. Trotzdem reduzieren sich die Emissionen um weitere 10.500 t CO₂/a.

Bei der Sanierung der konventionell errichteten Wohngebäude auf einen Wert von 120 kWh/(m²a) (s. 1.3.2.3) werden bereits 230 GWh/a und Emissionen von 51.000 t CO₂/a eingespart. Werden von den betreffenden Gebäuden 50 % der nicht mit Fernwärme beheizten Gebäude mit einer Flächenheizung ausgestattet und mit Wärmepumpen beheizt, führt dies zu einer Verringerung des Erdgasverbrauchs um weitere 197 GWh/a, zu einem Mehrverbrauch von 49 GWh Elektroenergie und zu einer Emissionsminderung von 29.000 t CO₂/a. Wird bis 2050 der Energiebedarf dieser Gebäude auf 70 kWh/(m²a) reduziert, werden noch 163 GWh Erdgas benötigt und es entstehen Emissionen von 37.000 t CO₂/a. Werden von diesen Gebäuden 50 % mit Wärmepumpen beheizt, reduziert sich der Bedarf um weitere 81,5 GWh/a, der Elektroenergiebedarf steigt um 20 GWh/a und die Emissionen reduzieren sich um weitere 12.000 t CO₂/a.

Durch den Ersatz aller öffentlichen Leuchtmittel durch LED können 2 GWh/a Elektroenergie und ca. 600 t CO₂/a eingespart werden.

Werden alle Maßnahmen bis 2020 umgesetzt (s. Tabelle 1–34), so reduzieren sich die Emissionen in Erfurt um ca. 25 % – die Senkung wird getragen von Einsparungen bei den privaten Haushalten von ca. 40 % und den öffentlichen Gebäuden von ca. 30 %.

Tabelle 1–34: Einsparpotentiale 2020

Bis 2020 energetische Sanierung (s. 1.3.2), Pumpenaustausch (s. 1.3.4), Einsatz von Wärmepumpen (s. 1.3.6), Maßnahmen bei öffentlichen Gebäuden (s. 1.3.7) und bei der Straßenbeleuchtung (s. 1.3.8)

Verbrauchsgruppe	Fern- wärme	Erdgas	Elektro- energie	CO ₂ - Emissionen	Einsparung gegenüber 2008
	GWh	GWh	GWh	t CO ₂ /a	%
Private Haushalte	90	109	438	298.125	42 %
Öffentliche Gebäude	65	28	44	47.989	29 %
Industrie/Gewerbe/ Handel	155	82	125	129.386	3 %
Sonstige Verbraucher	62	106	131	114.754	2 %
Fremdbezug	0	0	180	102.960	9 %
Summe	372	325	918	693.215	26 %

Der Verbrauch beträgt dann immer noch ca. 370 GWh/a Fernwärme, 325 GWh/a Erdgas und 920 GWh/a Elektroenergie, die Emissionen reduzieren sich auf ca. 700.000 t CO₂/a.

Um die Potentiale zu erschließen, wurden Maßnahmen entwickelt und ein entsprechendes Maßnahmenpaket vorgeschlagen. Die wesentlichen Handlungsfelder sind die Vorbildwirkung der Stadtverwaltung, die Initiierung von Pilotprojekten der Stadtverwaltung und bei den Beteiligungsunternehmen sowie die offensivere Beratung der Haushalte und Unternehmen. Bei dieser Beratung sollte mit den weiteren Akteuren (Land, Kammern, Verbraucherberatung, ...) eng zusammengearbeitet werden.

2 Energieerzeugung

2.1 Bestandsaufnahme

2.1.1 Elektroenergieerzeugung

Neben der SWE Energie GmbH tragen noch weitere Unternehmen zur Elektroenergieerzeugung bei, die SWE Energie GmbH ist aber der größte Elektroenergieerzeuger (und Händler) im Stadtgebiet Erfurts, s.a. Abbildung 2–1.

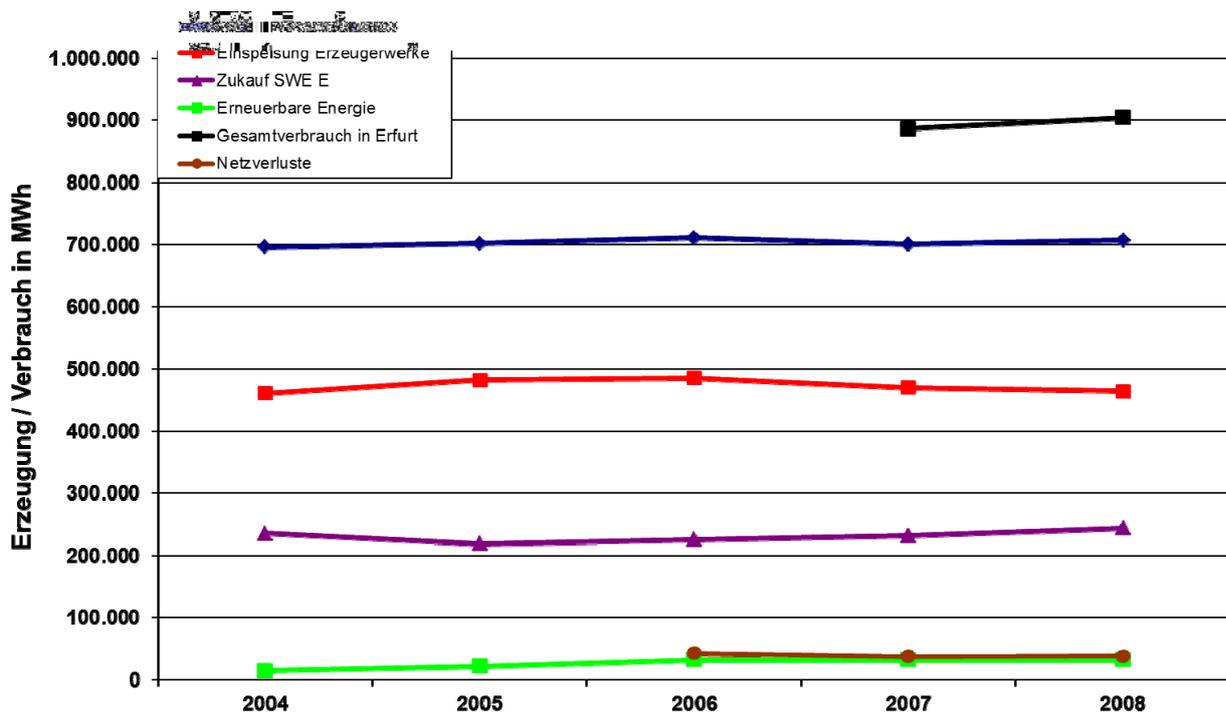


Abbildung 2–1: Stromerzeugung und Stromverbrauch in Erfurt 2004 – 2008

Der Absatz an Elektroenergie der SWE Energie GmbH ist über die Jahre in etwa konstant, ebenso die erzeugte Menge an Elektroenergie und die zugekaufte Menge an Elektroenergie. Der Anteil der erzeugten Elektroenergie an der durch die SWE Energie GmbH in Erfurt abgesetzten Menge liegt zwischen 66 % und 69 %.

Die Netzverluste der SWE Netz GmbH liegen in der Größenordnung von 38.000 MWh bzw. ca. 4 % der insgesamt in Erfurt abgesetzten Menge an Elektroenergie.

Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Elektroenergie hat sich zwischen 2004 und 2006 etwa verdoppelt und stagniert seitdem auf dem Niveau von ca. 32.000 MWh. Dies entspricht einem Anteil von ca. 3,5 % des Gesamtverbrauchs und liegt somit noch unterhalb der Netzverluste. Der Anteil der unterschiedlichen erneuerbaren Energien ist in Abbildung 2–2 dargestellt.

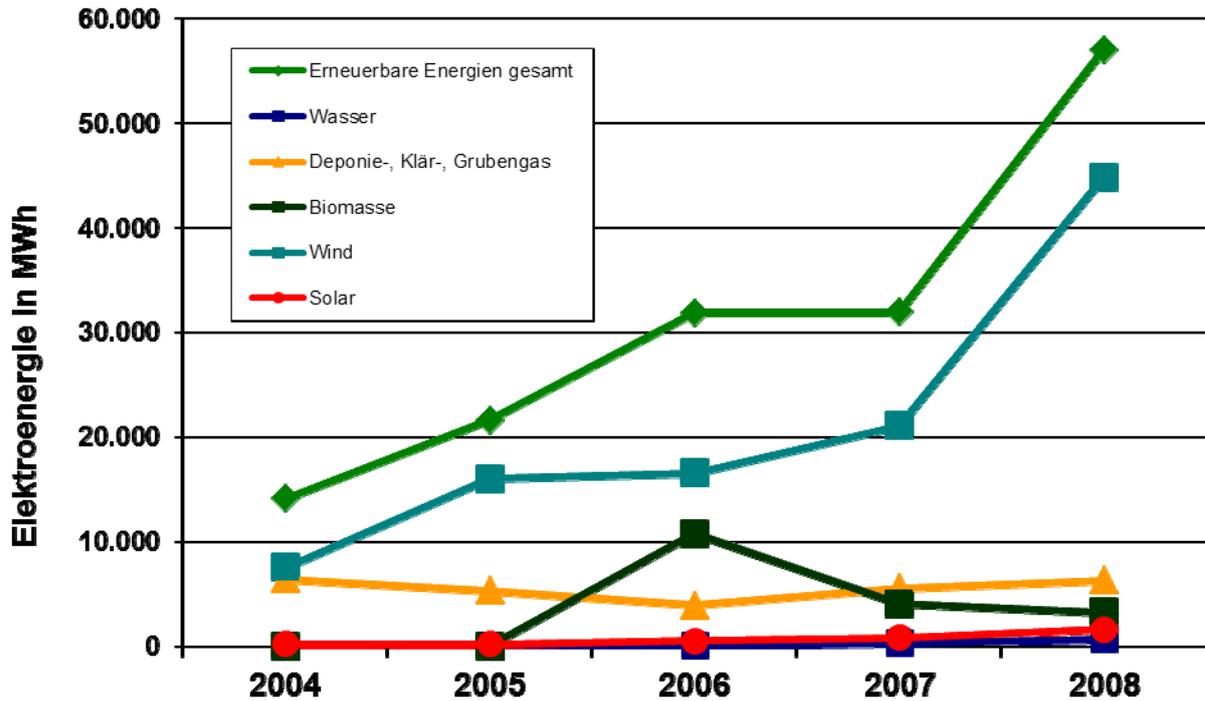


Abbildung 2-2: Erneuerbare Energien 2004 – 2008

2.1.2 Emissionen

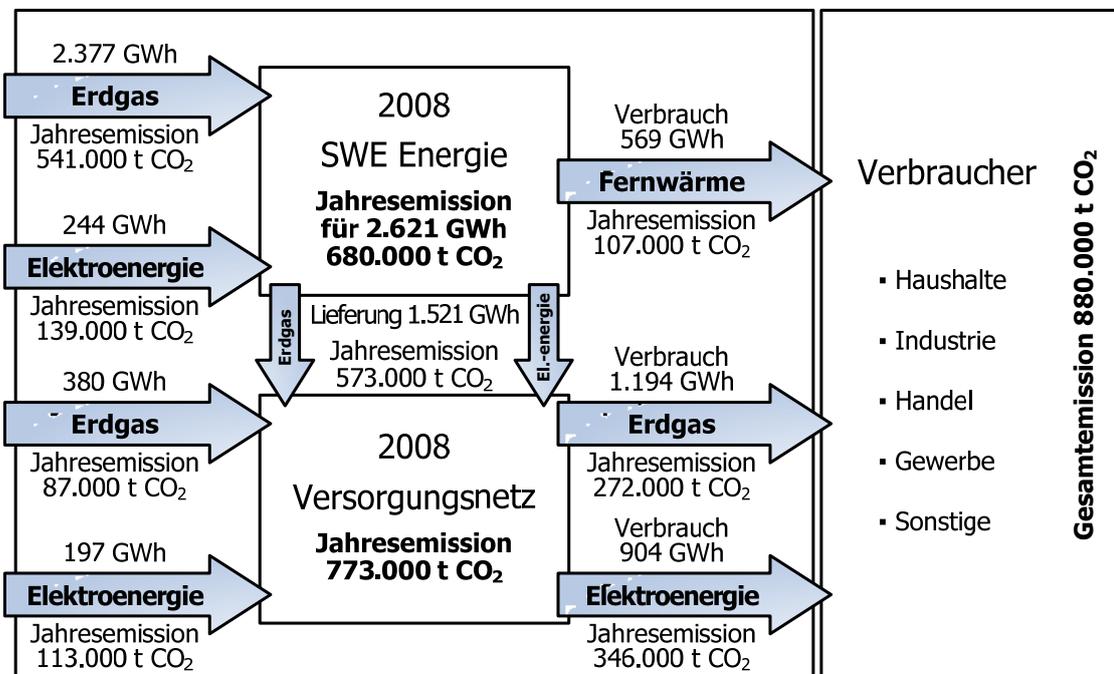


Abbildung 2-3: Energieströme in Erfurt und Emissionen mit Emissionswerten Erdgas 227,7 g CO₂/kWh, Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO₂/kWh, Abgabe SWE FW mit 188 g CO₂/kWh und Elektroenergie mit 330 g CO₂/kWh

Durch die gekoppelte Elektroenergie- und Wärmeerzeugung werden gegenüber der getrennten Erzeugung Emissionen eingespart (s. Abbildung 1–5). Würde die SWE Energie GmbH ihre Energie mit den durchschnittlichen Emissionswerten (Elektroenergie 572 g CO₂/kWh, Erdgas 227,7 g CO₂/kWh) einkaufen, ergeben sich die Energieströme und Emissionen entsprechend Abbildung 2–3. Dabei ist die Energieabgabe (FW, Elektroenergie) der SWE Energie GmbH mit den Emissionswerten der SWE beaufschlagt.

Die SWE Energie GmbH tritt auch als Stromhändler auf und verkauft Elektroenergie auch außerhalb des Stadtgebietes von Erfurt. 2008 waren dies 533 GWh. Die SWE Energie GmbH ist demzufolge Ursache der Emissionen, auch wenn die Energie außerhalb des Stadtgebietes verbraucht wird. Die entsprechenden Energieströme und Emissionen sind in Abbildung 2–4 dargestellt.

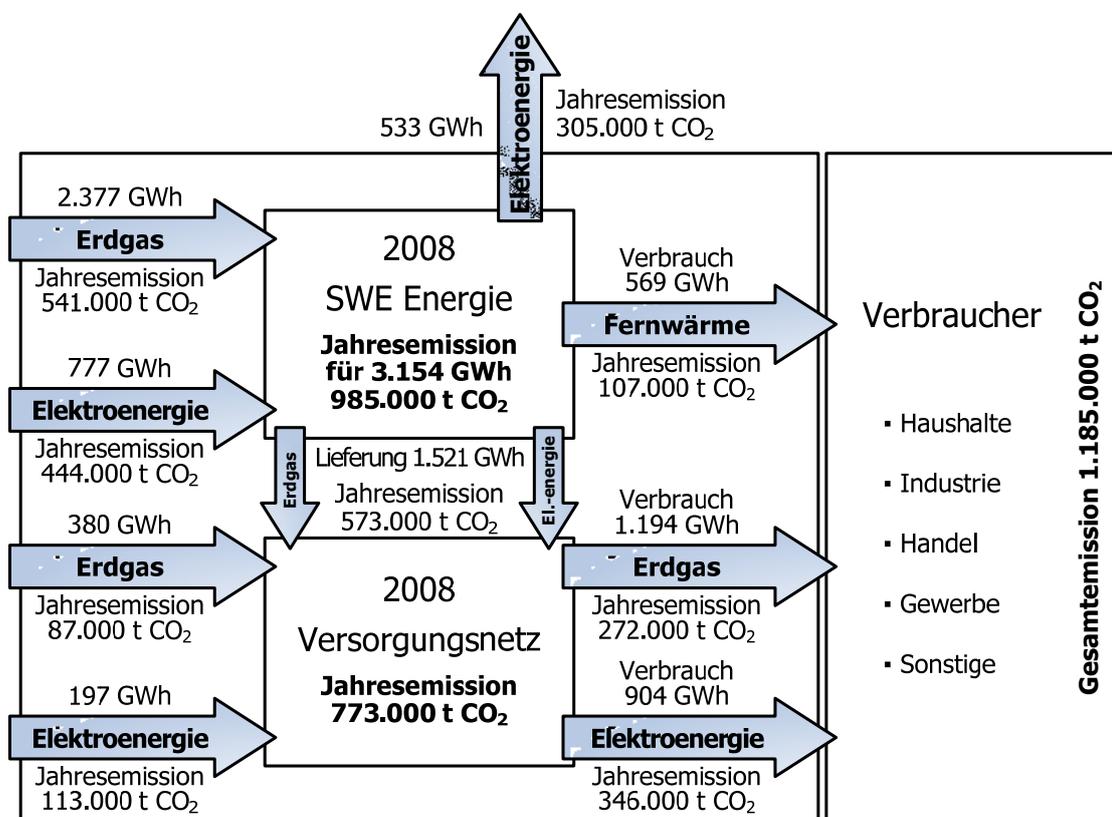


Abbildung 2–4: Energieströme in Erfurt und Emissionen mit Ein- und Verkauf für Externe durch SWE Energie GmbH mit Emissionswerten Erdgas 227,7 g CO₂/kWh, Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO₂/kWh, Abgabe SWE FW mit 188 g CO₂/kWh und Elektroenergie im Stadtgebiet mit 330 g CO₂/kWh

Durch Einsatz entsprechender Energieträger und Energieeinkauf hat die SWE Energie GmbH einen zertifizierten Emissionswert für die Elektroenergie von 330 g CO₂/kWh und für die Fernwärme von 188 g CO₂/kWh. In Abbildung 2–5 sind die Energieströme in Erfurt mit den Emissionen FW (188 g CO₂/kWh), Elektroenergie aus KWK (330 g CO₂/kWh), Emissionswerte Erdgas mit 227,7 g CO₂/kWh, Bezug Elektro-

energie von außerhalb mit Strommix BRD 2008 von 572 g CO₂/kWh, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO₂/kWh und Wirkungsgrad 90 % dargestellt. Ausgangspunkt ist Abbildung 1–4 (Emissionen 2008: 933.000 t CO₂). Die Einsparung gegenüber einer getrennten Strom- und Wärmeproduktion beträgt 208.000 t CO₂/a. Diese Einsparung ist ca. 3-mal so groß wie die Einsparung, die sich mit dem Fortschreiben der bisherigen Entwicklung durch Einsparungen beim Bedarf 2020 ergibt.

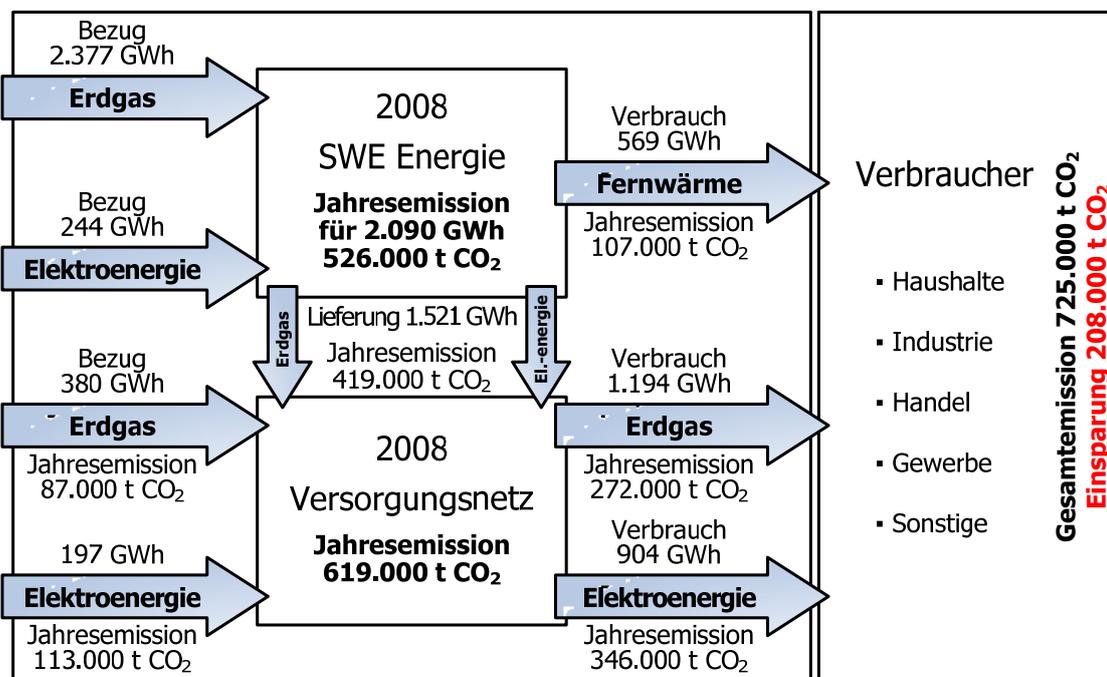


Abbildung 2–5: Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW (188 g CO₂/kWh) und Elektroenergie aus KWK (330 g CO₂/kWh) und Emissionswerten Erdgas aus Bezug SWE E mit FW (227,7 g CO₂/kWh), Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO₂/kWh

Im Stadtgebiet Erfurt wurden 2008 durch erneuerbare Energien 57 GWh Elektroenergie erzeugt. Unter Berücksichtigung der durch erneuerbare Energien bereitgestellten Elektroenergie reduzieren sich die CO₂-Emissionen gegenüber der reinen Verbrauchsbeurteilung entsprechend Abbildung 2–6 um ca. 32.000 t CO₂ pro Jahr (bewertet mit deutschem Strommix 2008 mit 572 g CO₂/kWh).

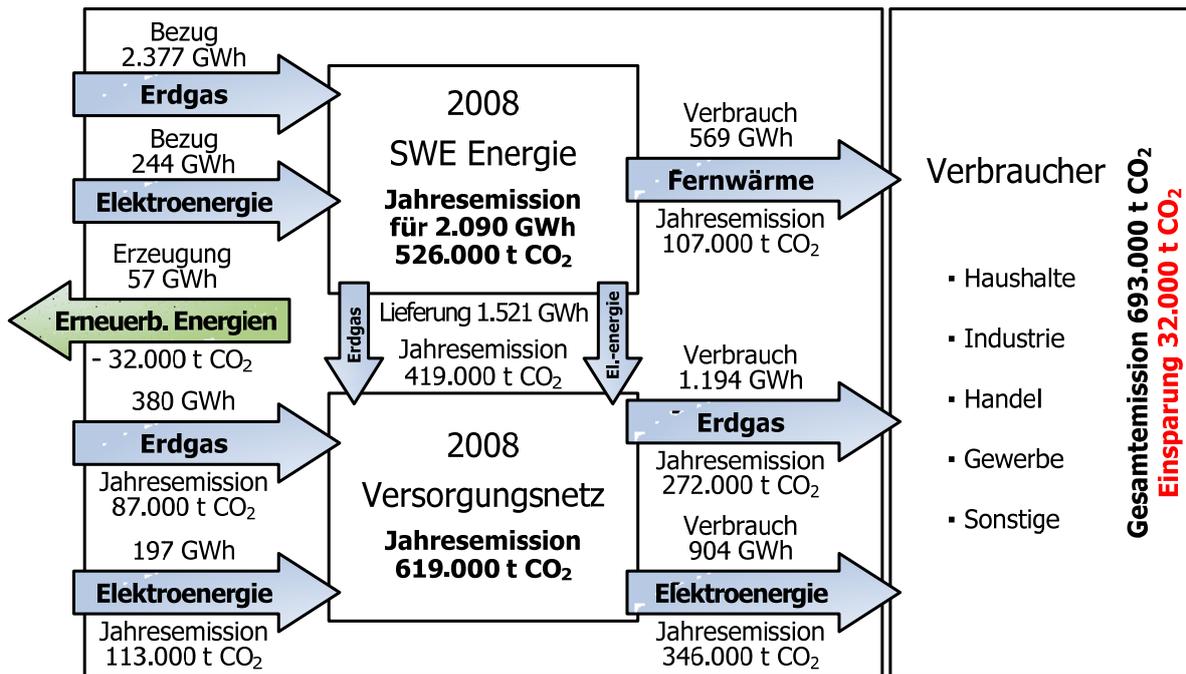


Abbildung 2–6: Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW (188 g CO₂/kWh) und Elektroenergie aus KWK (330 g CO₂/kWh) und Emissionswerten Erdgas aus Bezug SWE E mit FW (227,7 g CO₂/kWh), Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO₂/kWh, erneuerbare Energien

2.2 Prognose

Die Prognose der Energieerzeugung beruht auf der Prognose des Energieverbrauchs aus Abschnitt 1.2. Dort wurden für Fernwärme 482 GWh, für Erdgas 1.055 GWh und für Elektroenergie 863 GWh für 2020 prognostiziert. Da an den Absatz der Fernwärme die Eigenerzeugung des Stroms der SWE Netz GmbH gebunden ist, reduziert sich der Anteil des eigenen erzeugten Stroms. Die zugrundegelegten Werte sind in Tabelle 2–1 zusammengestellt.

In Abbildung 2–7 sind die entsprechenden Energieströme und CO₂-Emissionen grafisch dargestellt. Gegenüber dem Verbrauch 2008 reduzieren sich die CO₂-Emissionen um 60.000 t/a. Durch den sinkenden Fernwärmeabsatz der SWE Energie GmbH sinkt auch die Menge der von ihr gekoppelt erzeugten Elektroenergie von 464 GWh 2008 auf 390 GWh 2010. Trotz sinkendem Elektroenergieabsatz steigt die von der SWE Energie GmbH zugekaufte Elektroenergie von 244 GWh 2008 auf 300 GWh 2020. Ein stärkerer Wechsel von Kunden der SWE Energie GmbH zu anderen Anbietern könnte die von der SWE Energie GmbH im Stadtgebiet abgesetzte Menge an Elektroenergie weiter verringern. Wie bereits in Abbildung 2–4 dargestellt, reagiert die SWE Energie GmbH mit einem verstärkten Absatz von Elektroenergie außerhalb des Stadtgebietes. Dies führte bereits 2008 zu CO₂-Emissionen von 305.000 t/a. Um einen sinkenden Absatz zu kompensieren bzw. um auch den Umsatz zu erhöhen, könnten dementsprechend diese Emissionen ansteigen.

Tabelle 2–1: Prognostizierter Verbrauch 2020

SWE Energie GmbH	Erdgas	725 GWh
TEN und externer Bezug	Erdgas	330 GWh
Summe	Erdgas	1.055 GWh
SWE Energie GmbH	Fernwärme	480 GWh
SWE Energie GmbH	Elektroenergie Erzeugung	390 GWh
SWE Energie GmbH	Elektroenergie Zukauf	300 GWh
SWE Energie GmbH	Elektroenergie Verkauf	690 GWh
Externer Bezug	Elektroenergie	190 GWh
Summe	Elektroenergie	880 GWh

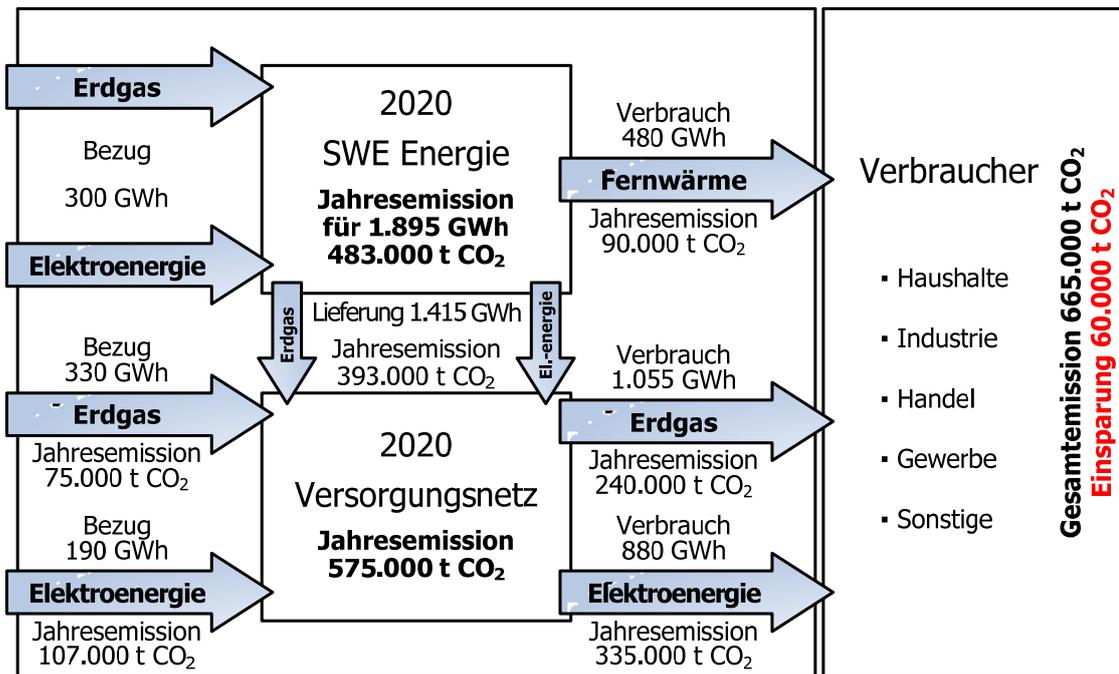


Abbildung 2–7: Energieströme 2020 in Erfurt und Emissionen mit FW (188 g CO₂/kWh) und Elektroenergie aus KWK (330 g CO₂/kWh) und Emissionswerten Erdgas aus Bezug SWE E mit FW (227,7 g CO₂/kWh), Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO₂/kWh

Bei Beibehaltung des Anteils erneuerbarer Energien an der Elektroenergieerzeugung von 57 GWh pro Jahr (2008) ergeben sich die Energieströme und Emissionen nach Abbildung 2–8. Es ergibt sich eine CO₂-Emissionsminderung von 32.000 t/a. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Elektroenergieerzeugung beträgt dann 6,5 %.

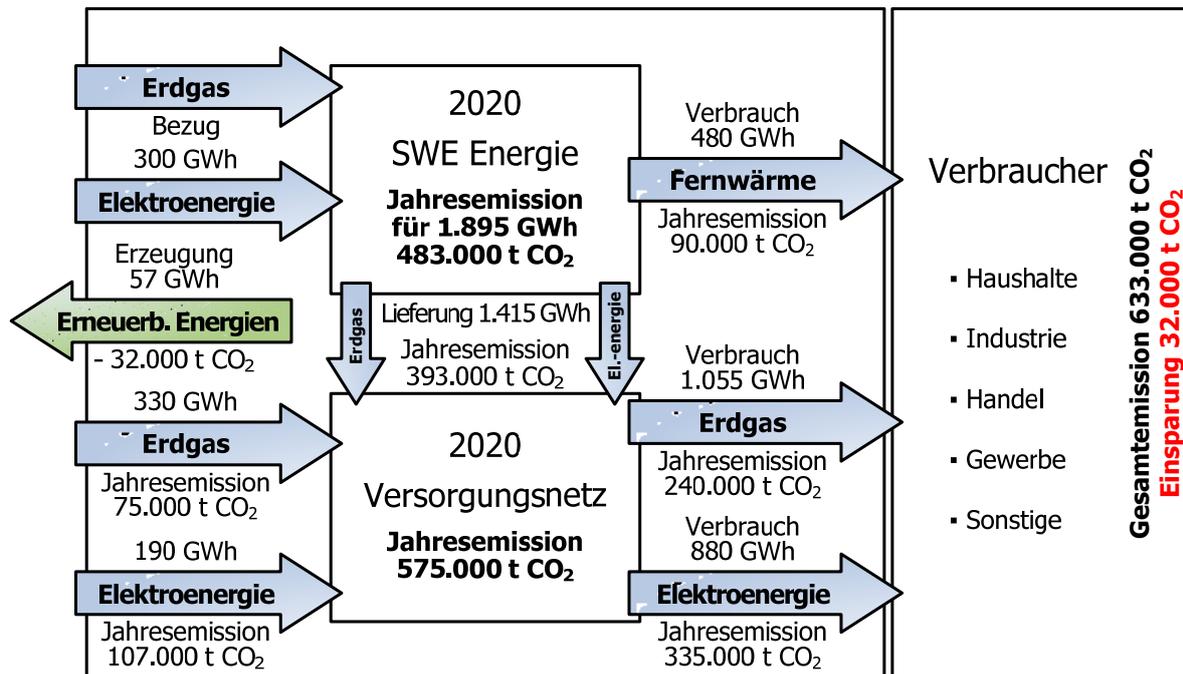


Abbildung 2–8: Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW (188 g CO₂/kWh) und Elektroenergie aus KWK (330 g CO₂/kWh) und Emissionswerten Erdgas aus Bezug SWE E mit FW (227,7 g CO₂/kWh), Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO₂/kWh, erneuerbare Energien

Eine Steigerung dieses Anteils trägt zur Emissionsminderung bei. Bei einem Anteil der erneuerbaren Energien an der Elektroenergieerzeugung von 20 % (ca. 180 GWh/a) beträgt die Emissionsminderung 100.000 t CO₂ pro Jahr, die Gesamtemissionen belaufen sich dann auf 565.000 t CO₂ pro Jahr. Ein Anteil von 50 % (440 GWh/a) erneuerbarer Energien an der Elektroenergieerzeugung führt zu einer Emissionsminderung von 250.000 t CO₂ pro Jahr, die Gesamtemissionen belaufen sich dann auf 415.000 t CO₂ pro Jahr.

2.3 Potentiale

2.3.1 Wasserkraftnutzung

2.3.1.1 Einleitung und Potentialabschätzung

Im Energiekonzept Erfurt [33] wurden im Jahr 1998 Aussagen zum Potential der Wasserkraftnutzung gemacht. Die zugrundeliegenden Bedingungen haben sich in den vergangenen Jahren nicht wesentlich verändert, so dass die Betrachtungen hier größtenteils aufrechterhalten werden können.

In Erfurt besteht eine lange Tradition zur Nutzung der Wasserkraft. Im 18. Jahrhundert war die Wasserkraft die dominierende natürliche Energiequelle zur Erzeugung mechanischer Arbeit.

Zur Abschätzung der durch Wasserkraft „erzeugten“ Energie wurde das theoretische Potential („Linienpotential“, „Flächenpotential“) der Gera ermittelt:

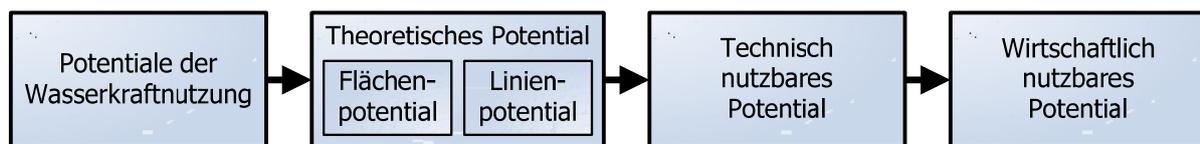


Abbildung 2–9: Potentiale der Wasserkraftnutzung (Definition)

Für die Gera sind nach ergiebigen Regenfällen $6 \text{ m}^3/\text{s}$ und bei ausgesprochenem Hochwasser und Schneeschmelze im Frühjahr bis zu ca. $12 \text{ m}^3/\text{s}$ gemessen worden. Für das Jahrhunderthochwasser von 1890 wurden $250 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einem Pegelstand von $3,1 \text{ m}$ angegeben (Normalpegel $0,5 \text{ m}$ bis $0,75 \text{ m}$). Nach langjährigen Beobachtungen wird die jährliche durchschnittliche Wassermenge der Gera mit ca. $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben.

Eine Abschätzung der Nutzleistung erfordert neben der Kenntnis des Nutzvolumenstroms die nutzbare Höhe. Dazu wird zunächst das engere Stadtgebiet Erfurts in Betracht gezogen – als nutzbare Höhe wird das natürliche Gefälle der Gera zwischen dem „Papierwehr“ im Luisenpark ($199,78 \text{ m NN}$) und der Stauhöhe nach der „Heiligen Mühle“ in Illversgehofen ($181,98 \text{ m NN}$) mit $\Delta H = 17,80 \text{ m}$ angenommen. Als mittlerer Volumenstrom werden die durchschnittlichen $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ angesetzt. Potentialreserven wären vorhanden, falls die hier nicht abgeschätzten Restwassermengen im Jahresgang je nach Anlagenausführung noch technisch genutzt werden können.

Das theoretische Potential im Stadtgebiet („Papierwehr“ bis „Heiligen Mühle“) kann mit einer maximalen Fallhöhe von $17,80 \text{ m}$ und dem mittleren Durchfluss von $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ berechnet werden.

Das theoretische Potential (Flusspotential) eines Abschnitts wird berechnet nach der Gleichung:

$$P_{theo} = \rho \cdot \dot{V}_N \cdot g \cdot H_N \quad \text{Gl. 2-1}$$

P_{theo}	Nutzleistung
ρ	Dichte des Wassers
\dot{V}_N	Nutzvolumenstrom
g	Erdbeschleunigung
H_N	Nutzbare Höhe

Für den betrachteten innerstädtischen Abschnitt der Gera beträgt das theoretische Potential:

$$P_{theo} = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 17,80 \text{ m} = 437 \text{ kW}$$

Bei Berücksichtigung technischer, ökologischer, infrastruktureller und anderer Belange reduziert sich dieses theoretische Leistungspotential auf das tatsächlich nutzbare, das sogenannte technische Potential:

Das technische Potential (jährliches Arbeitsvermögen) wird berechnet nach der Gleichung:

$$W_{tech} = P_{theo} \cdot \eta_{ges} \cdot T_B \cdot f_{Red} \quad \text{Gl. 2-2}$$

W_{tech}	Technisches Potential (jährliches Arbeitsvermögen)
P_{theo}	Theoretisches Potential (Flusspotential)
η_{ges}	Gesamtwirkungsgrad der Anlage (z.B. Turbine, Generator)
T_B	Jährliche Benutzungsstunden
f_{Red}	Reduktionsfaktor (Restriktionen, Verfügbarkeit, ...)

Der Vorteil der Wasserkraftnutzung, bei der die potentielle Energie des Wassers mit vergleichsweise geringen Verlusten direkt in Bewegungsenergie umgewandelt wird, ist bereits bei den mittelalterlichen Wasserrädern nachzuweisen ($\eta_{WR} \approx 0,65$). Bei thermischen Kraftwerken dagegen führen die unvermeidbaren Verluste bei der Umwandlung von Wärme in Arbeit zu vergleichsweise ungünstigen (thermischen) Wirkungsgraden. Der Wirkungsgrad moderner Francis-Turbinen, die bei der vorhandenen geringen Fallhöhe vorzugsweise eingesetzt werden könnten, liegt bei optimaler Auslegung bei ca. 90 %, so dass vom o.a. theoretischen Leistungspotential von 437 kW noch 393 kW verbleiben.

Daraus ergibt sich bei einer mittleren Benutzungsstundenzahl der installierten Leistung von $T_B = 5.500$ h/a eine maximale elektrische Arbeit von 2,16 GWh/a. Unter Beachtung von Restriktionen bei der Nutzung (Wasserrechte, Naturschutz, Restwasser u.a.) dürften von diesem Wert optimistisch 50 % für eine Realisierung anzurechnen sein:

$$W_{tech} = 437 \text{ kW} \cdot 0,9 \cdot 5.500 \text{ h/a} \cdot 0,5 = 1,08 \text{ GWh/a}$$

Auch näherungsweise lässt sich das technische Potential – mit 20 % bis 40 % des theoretischen Potentials – angeben. Geht man hier – auch optimistisch – von der Obergrenze (40 %) aus, so beträgt das technische Potential (bei 5.500 h/a) max. 0,96 GWh/a.

Potentialreserven wären auch hier vorhanden, falls das theoretische Potential um weniger reduziert werden könnte, als hier (mit 50 %) angenommen wurde. Insbesondere bei sehr kleinteiliger Nutzung (jeweils nur wenige kW Anlagenleistung) dürften einige Standorte – derzeit sicher noch nicht wirtschaftlich – prinzipiell erschließbar sein.

Dieses abgeschätzte technische, elektrische Arbeitsvermögen von ca. 1 GWh pro Jahr entspricht ca. 0,11 % des tatsächlichen Stromverbrauchs von 904 GWh im Jahr 2008 in Erfurt. Auch bei völliger Ausschöpfung dieses Potentials (noch ohne Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte) kann die Wasserkraftnutzung im engeren Stadtgebiet also nur einen sehr geringen Anteil an der Elektroenergieversorgung Erfurts ausmachen.

Im EEG-Anlagenregister [35] sind mit Stand März 2010 für das Stadtgebiet Erfurt (PLZ-Bereich 99084 – 99096) 9 Wasserkraftanlagen mit insgesamt 192,3 kW Nennleistung aufgeführt. Diese haben im Jahr 2008 insgesamt 710.878 kWh Strom ins Netz der SWE Netz GmbH eingespeist. Die installierte Leistung von 192,3 kW entspricht dabei ungefähr der Hälfte der (inkl. Wirkungsgrads) theoretisch möglichen Leistung von 393 kW.

Die 2009 tatsächlich eingespeiste Elektroenergie ($\sim 0,7$ GWh/a) entspricht ca. 70 % des technisch Machbaren (~ 1 GWh/a, s.o.) – damit war der Anteil der aufgebrauchten Arbeit größer als der Anteil der installierten Leistung. Diese gegenüber den mittleren Annahmen erhöhte Energiemenge lässt auf ein überdurchschnittliches Jahr bzgl. Wassermengen bzw. Benutzungsstunden schließen.

Trotz der im Vergleich zum Bedarf geringen Energiemenge sollte die Wasserkraftnutzung im Stadtgebiet nicht vernachlässigt werden. Um das technische Potential der Wasserkraft möglichst wirtschaftlich zu erschließen, bietet sich naturgemäß die Reaktivierung der alten Mühlenstandorte im Stadtgebiet an.

Hierzu wurden 1998 im Energiekonzept Erfurt Empfehlungen gegeben – allerdings haben sich die zugrundeliegenden Bedingungen in den vergangenen Jahren durch Bebauung, Umnutzung etc. deutlich verändert. Zur Aktualisierung der Betrachtungen werden daher u.a. die Aussagen der Master-Thesis „Kleinwasserkraftpotential in Erfurt“ [34] vom Dezember 2008 herangezogen. Diese Abschlussarbeit wurde an der Fachhochschule Erfurt an der Fachrichtung Bauingenieurwesen angefertigt und bietet anhand eines Kriterienkatalogs eine umfassende Identifizierung und Bewertung möglicher Kleinwasserkraftstandorte.

Die Analyse kommt zu dem Ergebnis, dass von ehemals 45 Mühlenstandorten nur noch 11 vorhanden sind, wovon wiederum nur an drei Standorten ein Wasserrad in Betrieb ist. Die außer Betrieb befindlichen

- „Rabenmühle“ (Walkstrom)
- „Grüne Schildchensmühle“ (Walkstrom)
- „Furthmühle“ (linker Arm des Breitstroms)
- „Kupferhammermühle“ (Schmale Gera)

könnten reaktiviert und mit insgesamt ca. 34 kW installierter Leistung versehen werden.

Von den übrigen Standorten sei auf Grund dichter Bebauung oder Umnutzung der vorhandenen Gebäude allein die „Kartäusermühle“ am Walkstrom für einen eventuellen Ausbau (~ 11 kW) geeignet.

Am „Pulverwehr“ an der Wilden Gera, unterhalb der Talstraße, ist der Bau einer privaten Kleinwasserkraftanlage geplant. Diese soll bei ca. 100 kW Leistung bis zu 600 MWh/a ins Stromnetz einspeisen.

Grundsätzlich sei auch die teilweise Wiedererrichtung des Gebäudes der „Schlössermühle“ an ihrem alten Standort (an der Schlösserbrücke gegenüber der „Neuen Mühle“) denkbar – ein Ansatz, der sich mit transparenter Fassade sowie Turbine oder Zuppinger-Wasserrad an der attraktiven „Neuen Mühle“ orientiert.

In der „Neuen Mühle“ ist eine Francis-Schachtturbine ($P_{mech} = 12,144$ kW, Nutzhöhe 1,1 m, Nennwassermengenstrom $1,44$ m³/s) installiert, daneben ist ein Zuppinger-Wasserrad in Betrieb ($P_{mech} = 18,4$ kW, Fallhöhe 0,9 m, Nennwasserstrom 3 m³/s). [33]

Die Turbine und das Zuppinger-Wasserrad sind sowohl zur Elektroenergieeigenbedarfsdeckung als auch für den Netz-Parallelbetrieb ausgelegt. Zwei Asynchrongeneratoren sind zur elektrischen Energiegewinnung jeweils für die Turbine (11 kW) und das Wasserrad (18,5 kW) ausgelegt und auf die Aggregate abgestimmt. Mit den Auslegungsdaten der Turbine kann mit einer jährlichen elektrischen Gesamtarbeit von ca. 60 MWh gerechnet werden.

Wie das Beispiel der „Neuen Mühle“ zeigt, kann die Wasserkraftnutzung eine hervorragende Touristenattraktion sein, die „en passant“ auch Elektroenergie erzeugt.

Der Standort „Schlössermühle“ („Sohlstufe Schlösserbrücke“) wurde in der o.a. Master-Thesis auf Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht – der Betrieb einer Wasserkraftanlage (~ 20 kW, ~ 80 MWh/a) ist zwar technisch realisierbar, derzeit jedoch nicht wirtschaftlich.

Vergrößert man den betrachteten Gewässerabschnitt und bezieht die Gera von der Autobahnbrücke A 4 in Molsdorf (229,16 m NN) bis zur Straßenbrücke in Kühnhausen (162,06 m NN) in die Berechnung ein, so beträgt die nutzbare Höhe H_N (als Differenz der Gewässersohlhöhen) in diesem Abschnitt 67,10 m. Mit $5,84$ m³/s als langjährigem mittleren Durchfluss (Station Möbisburg) kann das vorhandene Potential ebenfalls nach Gl. 2-1 und Gl. 2-2 (mit $\eta_{ges} = 0,9$; $T_B = 5.500$ h/a; $f_{Red} = 0,5$) bestimmt werden:

$$P_{theo} = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 5,84 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 67,10 \text{ m} = 3.844 \text{ kW}$$

$$W_{tech} = 3.844 \text{ kW} \cdot 0,9 \cdot 5.500 \text{ h/a} \cdot 0,5 = 9,51 \text{ GWh/a}$$

Auch die näherungsweise Bestimmung des technischen Potentials – mit 20 % bis 40 % des theoretischen Potentials – ergibt bei optimistischer Annahme der Obergrenze (40 %) und 5.500 h/a ein Arbeitsvermögen von max. $8,46$ GWh/a.

Auf diesen Abschnitten der Gera wurde die Bestandsanlage „Wehr Gispersleben“ als weiterer geeigneter Standort identifiziert sowie auf Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht. Die Errichtung einer Kleinwasserkraftanlage (~ 200 kW, ~ 1 GWh/a) wurde als technisch und wirtschaftlich realisierbar eingeschätzt. [34]

2.3.1.2 Zusammenfassung und Bewertung

Gemessen am gesamten Strombedarf ist das Wasserkraftpotential der Stadt Erfurt recht gering: Bei kleinteiliger Wasserkraftnutzung kann die Gera mit einem technischen Potential (Arbeitsvermögen) von ca. 1 GWh/a (im engeren Stadtgebiet) bzw. ca. 9 GWh/a (von Molsdorf bis Kühnhausen) zur Elektroenergieversorgung Erfurts beitragen – dies entspricht ca. 0,11 % bzw. 1 % des tatsächlichen Stromverbrauchs von 904 GWh im Jahr 2008.

Ingesamt wurden im Jahr 2009 ca. 0,7 GWh Strom ins Netz der SWE Netz GmbH eingespeist. Je nach Wassermenge und Benutzungstunden schwankt das jährlich zu erzielende Ergebnis (die tatsächlich eingespeiste Menge an Elektroenergie) z.T. stark. Bezüglich der Leistung wird mit dem aktuellen Ausbaugrad (192,3 kW) nur ungefähr die Hälfte (engeres Stadtgebiet) bzw. 6 % (gesamtes Gebiet) des theoretisch Möglichen ausgeschöpft.

Im engeren Betrachtungsgebiet (Stadt) wird die „Sohlstufe Schlösserbrücke“ (~ 20 kW, ~ 80 MWh/a) als ausbaufähig angesehen. Dieser Standort ist jedoch unter den zugrundegelegten Bedingungen derzeit nicht wirtschaftlich zu betreiben.

Im größeren, gesamten Betrachtungsgebiet (Molsdorf bis Kühnhausen) wird die Errichtung einer Kleinwasserkraftanlage (~ 200 kW, ~ 1 GWh/a) am „Wehr Gispersleben“ als technisch und wirtschaftlich realisierbar eingeschätzt. [34]

Auch beim öffentlichen Forum der Stadt Erfurt wurden neben Standorten, die sich aus Bürgersicht besonders zur Wasserkraftnutzung (technische Anlage und Anschauungsobjekt) anbieten, bspw.

- „Papierwehr“ im Luisenpark (ggf. mit Restwassernutzung im Flutgraben),
- Schlösserbrücke,
- „Wehr Gispersleben“,
- „Wehr Teichmannshof“ und
- Einmündung in den Flutgraben am Nettelbeckufer,

auch Fragen der Finanzierung (Stichworte Bürgeranlagen, Bürger-Zukunfts-Fond) und der Anlagentechnik selbst (Stichwort Wasserwirbelkraftwerke) angesprochen. Auch mehr behördliche Unterstützung der kleinteiligen Wasserkraftnutzung wurde angeregt.

Die Vorschläge zu den Standorten decken sich z.T. mit den bereits identifizierten bzw. müssten einzeln auf technische Realisierbarkeit und ggf. wirtschaftlichen Betrieb überprüft werden.

Auch hierzu kann der Kriterienkatalog zur Identifizierung potentieller Standorte [34] dienen. Selbstverständlich ist die Einhaltung der gesetzlichen Regelungen – EG-Wasser-rahmenrichtlinie (WRRL), Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Thüringer Wassergesetz (ThürWG), Verordnungen, Richtlinien etc. – sicherzustellen.

Generell ist bei Kleinwasserkraftnutzung eine Förderung geboten, da diese Anlagen wegen der hohen Investitionskosten im Vergleich zu anderen Arten der Stromerzeugung schnell unwirtschaftlich werden.

Auch sollte besonders bei der sehr kleinteiligen Nutzung jeweils am konkreten Einzelfall geprüft werden, ob technologische Alternativen (Stichworte Staudruckmaschine, Wasserwirbelkraftwerk) die Wirtschaftlichkeit erhöhen können.

Kleinere Standorte, die unter heutigen Bedingungen aus den ökonomischen Betrachtungen herausfallen, könnten nicht nur bei steigenden Energiepreisen ggf. wirtschaftlichen Betrieb erreichen – auch als Anschauungsobjekte (ähnlich der „Neuen Mühle“) für den Nutzen der Wasserkraft zur Stromerzeugung oder zum direkten mechanischen Antrieb von z.B. Mahlwerken können einzelne Anlagen dienen. Dabei sollten traditionelle Einrichtungen – wie das Abteilen eines Gewässerabschnitts als Mühlgraben (z.B. in Hochheim) – bevorzugt reaktiviert werden.

Bei vollständiger Ausschöpfung des technischen Potentials (Arbeitsvermögens) des gesamten betrachteten Abschnitts der Gera (Molsdorf bis Kühnhausen) könnten die CO₂-Emissionen der Stadt Erfurt (je nach zugrundegelegtem Strommix) wie folgt gesenkt werden:

Tabelle 2–2: Potential der CO₂-Einsparung mittels Wasserkraft

Technisches Potential der Stromerzeugung mittels Wasserkraft	Potential der Einsparung von CO ₂ -Emissionen gegenüber dem Strommix:		
	Stadtwerke Erfurt (330 g/kWh)	Deutschland (506 g/kWh)	Braunkohlekraftwerk (982 g/kWh)
9,51 GWh/a	3.138 t/a	4.812 t/a	9.340 t/a

2.3.2 Windenergie

2.3.2.1 Einleitung

Bedeutung der Windenergie

Die Windenergienutzung ist der bedeutendste Sektor der erneuerbaren Energien in Deutschland. Im Jahr 2009 betrug der Anteil der Windenergie an der Bruttostromerzeugung 6,3 % bzw. 37 Mrd. kWh [36].

Die installierte Windenergieleistung in Deutschland betrug zum Jahresende 2009 25.777 MW. Thüringen liegt im Vergleich der Bundesländer mit 771 MW installierter Leistung und 1.265 GWh Jahreserzeugung auf dem neunten Platz. Der Anteil der Windenergie am Bruttostromverbrauch in Thüringen betrug 2009 9,71 %, was dem sechsten Platz im Ländervergleich entspricht. Im Vergleich der Binnenländer nimmt Thüringen damit hinter Sachsen-Anhalt und Brandenburg den dritten Platz ein [38].

Das Windenergiepotential einer Region bzw. eines Gebietes ist im Wesentlichen von den Möglichkeiten der Flächennutzung zur Errichtung von Windenergieanlagen sowie der Windhöffigkeit abhängig. Die Errichtung von Windenergieanlagen ist an eine ordnungsrechtliche Genehmigung gebunden. Im Flächennutzungsplan [41] der Stadt Erfurt ist dazu festgehalten:

„Die Stadt Erfurt fördert die Windenergienutzung als Ressourcen schonende Art der Energieerzeugung unter Beachtung des Freiraumschutzes, der Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Dazu wurden konfliktarme Gebiete ermittelt, die dem Schutz der bestehenden und geplanten Nutzungen, den Wohnbedürfnissen der Bevölkerung und dem Landschafts- und Naturschutz Rechnung tragen. Auf der Grundlage des Ratsbeschlusses 281/98 und des RROP werden die drei Eignungsgebiete für die Windenergienutzung im FNP als ‚Konzentrationszone für Windenergieanlagen‘ dargestellt. Damit soll eine Konzentration von Windenergieanlagen auf bestimmte Standorte erreicht werden. Gemäß § 35 Abs. 1 BauGB sind die im Außenbereich privilegierten Vorhaben, zu denen auch Windenergieanlagen gehören, nicht zulässig, soweit ihnen öffentliche Belange entgegenstehen. § 35 Abs. 3 Satz 3 bestimmt, dass solchen Vorhaben öffentliche Belange in der Regel dann entgegenstehen, wenn dafür durch die Darstellungen im FNP eine Ausweisung an anderer Stelle erfolgt. Die Darstellung der ‚Konzentrationszonen für Windenergieanlagen‘ im FNP ist das Ergebnis der Abwägung öffentlicher und privater Interessen untereinander und gegeneinander. Im Ergebnis stehen außerhalb dieser Flächen einer Errichtung von Windenergieanlagen öffentliche Belange entgegen.

In der Stadt Erfurt sollen Windenergieanlagen deshalb nur auf solchen Flächen errichtet werden, die im FNP mit der Signatur ‚Konzentrationszone für Windenergieanlagen‘ (Vorbehaltsgebiete zur Nutzung von Windenergie) gekennzeichnet sind. Sie sind in den Regionalen Raumordnungsplan Mittelthüringen [46] als Vorbehaltsgebiete für die Nutzung von Windenergie übernommen worden. Dadurch wird die Errichtung raum-

bedeutsamer Einzelanlagen und Anlagengruppen grundsätzlich ermöglicht. Die Realisierung nicht raumbedeutsamer Vorhaben bleibt davon unberührt.

Ziel des Ausschlusses von Windenergieanlagen außerhalb dieser Zonen ist es, eine ungeordnete Entwicklung solcher Anlagen im Stadtgebiet zu verhindern und nachteilige Umwelteinwirkungen zu vermeiden. Folgende Kriterien sind bei der Errichtung von Windenergieanlagen auf den dafür vorgesehenen Flächen zu beachten:

Als Mindestabstand zur Wohnbebauung sollen 1.000 m nicht unterschritten werden.

Windenergieanlagen sollen in kompakter Bauweise sowie weitestgehend unter Verzicht auf Abspannungen errichtet werden.

Bei Windenergieanlagen an einem gemeinsamen Standort soll auf technologisch und gestalterisch einheitliche Anlagen hinsichtlich Rotorflügelanzahl, Materialwahl und Farbgestaltung orientiert werden.

In Konzentrationszonen soll den Belangen der Windenergienutzung ein besonderes Gewicht bei der Abwägung mit anderen Nutzungsansprüchen beigemessen werden. Die Errichtung von Anlagen zur Windenergiegewinnung soll in den ausgewiesenen Vorrang- und Vorbehaltsgebieten erfolgen. Dies schließt aber nicht aus, dass einzelne Belange, die bei der Aufstellung des FNP nicht abschließend geprüft werden konnten, im Einzelfall einem Vorhaben entgegenstehen und zu dessen Unzulässigkeit führen können. Deshalb kann nicht davon ausgegangen werden, dass in jedem Fall ein Rechtsanspruch auf Erteilung einer Baugenehmigung innerhalb der Konzentrationszonen besteht.“

Spezifische CO₂-Reduktion durch Windenergieanlagen

Windenergieanlagen gehören auf Grund ihrer Privilegierung nach dem EEG zu den sogenannten „Must-Run“-Anlagen und speisen vorrangig in das Einspeise- und Verteilnetz ein. Hierdurch werden nicht privilegierte (fossile) Kraftwerke aus dem Netz verdrängt und so CO₂-Emissionen am Kraftwerksstandort vermieden. Die spezifische CO₂-Emissionsreduktion kann als Verdrängungsmix in g/kWh ausgedrückt werden. Nach den Angaben der Forschungsstelle für Energiewirtschaft beträgt der Verdrängungsmix von Windenergie 810 g/kWh [42]. Die Erzeugung von elektrischer Energie mittels Windenergieanlagen ist frei von CO₂- oder sonstigen Emissionen.

Wirtschaftliche Bedeutung (Gewerbesteueraufkommen)

Durch die Vergütung der eingespeisten elektrischen Energie in das Einspeise- und Verteilnetz fallen Gewerbesteuern an. Die Höhe und der Zeitpunkt der Gewerbesteuer sind von der gewählten Rechtsform der Betreibergesellschaft sowie den tatsächlichen Erträgen abhängig. Eine vom Bundesverband der Windenergie bei der Prognos AG in Auftrag gegebene Studie aus dem Jahr 2006 kommt zum Schluss, dass pro Megawatt installierter Leistung in 20 Jahren ca. 100.000 € Gewerbesteuer entrichtet werden [37].

Akzeptanz und Erwartungshaltung der Öffentlichkeit

Eine aktuelle Meinungsumfrage des FORSA Instituts bescheinigt der Windkraft eine hohe Akzeptanz [43]. Die Umfrage kommt zum Ergebnis, dass 70 % der Befragten in Thüringen Anlagen zur Energieerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien in der Nachbarschaft sehr gut bzw. gut fänden. Die Installation von Anlagen zur Windenergienutzung in ihrer Nachbarschaft würden 50 % der Befragten in Thüringen mit sehr gut oder gut bewerten. In Bezug auf erneuerbare Energie im Allgemeinen wünschen sich 82 % der Thüringer ein stärkeres Engagement der Landes- und Kommunalpolitiker. Ein Beispiel für die Akzeptanz ist der Vorschlag im Onlineforum, den Truppenübungsplatz nordöstlich von Egstedt für große Windkraftanlagen zu nutzen.

Referenzertrag nach EEG

Erst durch die grundsätzlich garantierte Vergütung und Abnahme der elektrischen Energie aus Windenergieanlagen entsprechend dem EEG ist deren Erstellung aus ökonomischer Sicht sinnvoll. Mit dem § 29 im EEG werden die Vergütungsansprüche geregelt. Dort wird unter anderem bestimmt, dass Netzbetreiber nicht verpflichtet sind, Strom aus WEA abzunehmen, die weniger als 60 % eines Referenzertrages erzielen können. Hiermit soll die Errichtung von Anlagen in windschwachen Gebieten vermieden werden. Dieser Schwellenwert wird als Ausschlusskriterium für Gunsträume in der Untersuchung zum Windenergienutzung in Mittelthüringen herangezogen (vgl. auch Abbildung 2–14) [39].

Flächenbedarf und Konzentration von Windenergieanlagen

Der Abstand der Windenergieanlagen untereinander sollte zwischen 8- und 10-mal in Hauptwindrichtung und zwischen 3- und 5-mal des Rotordurchmessers quer zur Hauptwindrichtung betragen, um Ertragseinbußen durch gegenseitige Verschattung zu vermeiden. Unter Einhaltung dieser Abstände werden aerodynamische Feldwirkungsgrade von 80 % bis 90 % erreicht. Der Feldwirkungsgrad beschreibt das Verhältnis des Energieertrages des gesamten Windparks zur Summe der Erträge ungestörter Anlagen derselben Anzahl [44].

Diese Ertragsminderung sollte in die Ertragsprognosen für Windparks eingehen. Der Mindestbedarf für Abstandsflächen der WEA untereinander ohne Berücksichtigung der Geometrie des Windparks ergibt sich damit als Rotordurchmesser zum Quadrat, multipliziert mit 24. Für eine WEA mit einer Leistung von 2 MW und einem Rotordurchmesser von 71 m ergibt sich ein Flächenbedarf von 12,09 ha oder ein spezifischer Flächenbedarf von 6,05 ha/MW. Bei einer einreihigen Aufstellung orthogonal zur Windrichtung kann der Flächenbedarf deutlich geringer ausfallen.

2.3.2.2 Untersuchungen zum Windenergiepotential in Erfurt

Die Ausführungen zu den Potentialen der Windenergienutzung stützen sich im Wesentlichen auf verschiedene vorangegangene Studien und Untersuchungen zum Windenergiepotential in Erfurt bzw. Mittelthüringen. Diese werden nachfolgend ausgewertet und interpretiert.

Energiekonzept für die Stadt Erfurt 1998

Im Energiekonzept für die Stadt Erfurt aus dem Jahr 1998 [33] wurden mögliche Standorte für WEA sowie das Ertragspotential ausgehend von den damals verfügbaren Technologien beschrieben. In dieser Studie wurden die Flächen im Stadtgebiet zur Nutzung der Windenergie in Tabuzonen, Restriktionsflächen, Gunsträume und Präferenzräume klassifiziert.

Die Autoren der Studie stellen fest, dass 11 % der Fläche im Untersuchungsgebiet (269.140 ha) als Gunsträume (3.000,24 ha) anzusehen sind und kein gravierendes Konfliktpotential zu widerstrebenden Ansprüchen aufweisen. Durch Ausschluss aller Flächen im Gunstraum mit einer Leistungsdichte von weniger als 180 W/m², welche für einen wirtschaftlichen Betrieb nicht in Frage kommen, wurde ein Präferenzraum von 3 % des Stadtgebietes (886 ha) bestimmt. Mit dem oben genannten Ansatz zum Flächenbedarf ergibt sich damit eine theoretisch realisierbare Leistung von 146 MW. Ausgehend von 1.500 Vollbenutzungsstunden der WEA könnte mit dieser Leistung ein jährlicher Ertrag von 220 GWh erzielt werden.

Für vier von zwölf Präferenzräumen wurden in [33] detaillierte Ertragsberechnungen angestellt. Die Ergebnisse für eine Referenzanlage mit 1,5 MW bei einer Nabenhöhe von 67 m sind in der Tabelle 2–3 zusammengestellt.

Tabelle 2–3: Potentialberechnungen für die Präferenzräume aus dem Energiekonzept 1998 für die Stadt Erfurt [33]

Standort	Anzahl WEA	Gesamtleistung in MW	Ertrag (Prognose) in GWh	Windgeschwindigkeit in 67 m Nabenhöhe in m/s
Kerspleben	12	18	21,1	5,1
Egstedt	5	7,5	8,8	5,3
Möbisburg	14	21	24,4	5,2
Frienstedt-Schmira	22	33	41,9	5,2
Summe	53	79,5	96,2	

Untersuchung zur Windenergie in Mittelthüringen 2006

Die regionale Planungsgemeinschaft Mittelthüringen beauftragte im Jahr 2006 das Büro döpel Landschaftsplanung mit der Planung und Identifizierung von Präferenzräumen für die Nutzung der Windenergie in Mittelthüringen. Dieses Gutachten bildet die wesentliche Grundlage für die Ausweisung der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete im neu beschlossenen RROP. Das Gutachten kommt für Erfurt zum Ergebnis, dass eine Fläche von 67 ha als Präferenzraum für die Windenergienutzung geeignet erscheint. Dies stellt im Vergleich zum aktuellen RROP¹ mit 256 ha aus dem Jahr 1999 eine Verringerung um 73 % dar.

Die Gründe, die zu dieser deutlich geringeren Ausweisung der Eignungsflächen im Stadtgebiet geführt haben mögen, können im Rahmen dieser Arbeit nicht nachvollzogen werden.

Es ist jedoch anzumerken, dass der Ausbau der erneuerbaren Energie auf einen Anteil von 50 % bis zum Jahr 2050 (gemessen am Gesamtenergieverbrauch) und die angestrebte Senkung des CO₂-Ausstoßes in Deutschland um 40 % bis zum Jahr 2020 gravierende Auswirkungen auf den gewohnten Alltag und das bestehende Orts- und Landschaftsbild haben werden. Diesem Umstand muss die regionale Raumplanung Rechnung tragen. Ein „Verstecken“ bzw. „Ausblenden“ der technischen Anlagen aus der Kulturlandschaft sollte einer bewussten Nutzung des möglichen positiven Beitrags der technischen Objekte für das Ort- und Landschaftsbildes weichen.

Die dem Windenergiegutachten immanente Systematik der grundsätzlich negativen Bewertung der Wirkung von WEA auf das Orts- und Landschaftsbild ist nach Auffassung der Verfasser nicht immer hilfreich.

Abstandsflächen zwischen Konzentrationsgebieten

Die der Ausweisung der Vorbehalts- und Vorranggebiete zugrundeliegende Untersuchung zum Potential der Windenergienutzung in Mittelthüringen geht für die Bestimmung der Präferenzräume von einem Abstand zwischen den Konzentrationsgebieten (Windparks) von 5.000 m aus.

Als Konsequenz der Abstandsflächen zwischen bestehenden WEA sowie Präferenzräumen ergibt sich, dass große Teile des Erfurter Stadtgebietes für die Errichtung neuer WEA schon aus diesem Grund nicht mehr geeignet sind (vgl. Abbildung 2–10).

¹ Die Ausweisung der Präferenzräume im RROP 1999 geht zum Teil auf ein Gutachten desselben Autors zurück (RROP 1999 Seite 169).

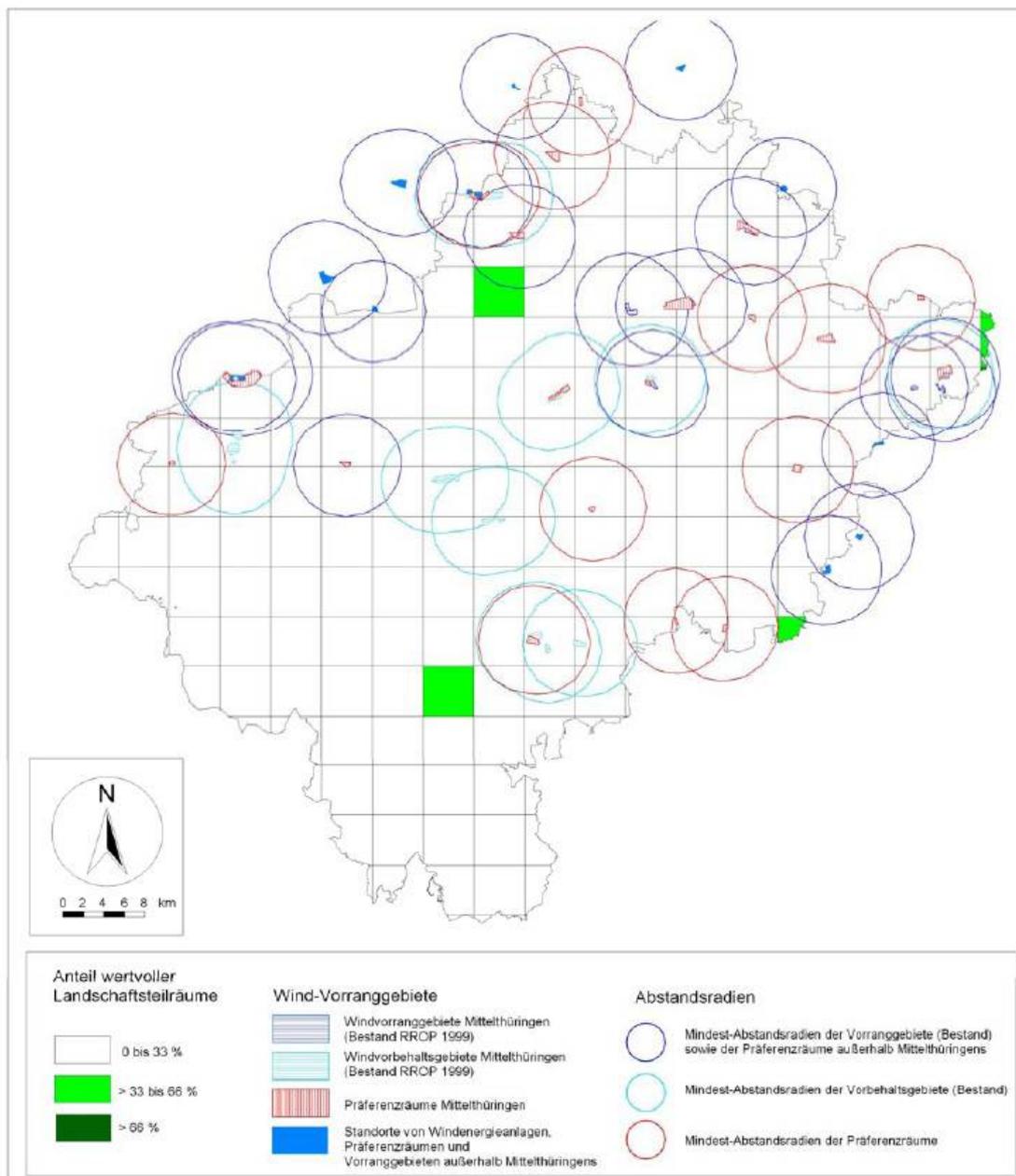


Abbildung 2–10: Mindestabstandsradien für WEA in Mittelthüringen [39]

Auswirkung der Höhenbegrenzung

Die Begrenzung der Anlagengesamthöhe auf knapp 100 m führt zu einer deutlichen Ertragseinbuße im Vergleich zur verfügbaren Technologie. Die Leistung ist in der dritten Potenz von der Windgeschwindigkeit abhängig. Die Windgeschwindigkeit erhöht sich mit steigender Anlagenhöhe. Die Leistung bzw. der Ertrag einer WEA ist proportional zur Fläche des Rotors und damit vom Quadrat des Rotordurchmessers abhängig. Mit steigender zulässiger Nabenhöhe und Gesamtanlagenhöhe können größere Rotordurchmesser realisiert werden, was zu höheren Erträgen führt. Vereinfacht kann angenommen werden, dass mit Erhöhung der Nabenhöhe um 1 m der Ertrag um 1 % steigt.

Für die Rotorfläche gilt vereinfacht: Mit Verdopplung des Durchmessers vervierfacht sich der Ertrag.

Mit der mittleren Windgeschwindigkeit für den Raum Schmira ergibt sich für eine WEA mit einer maximalen Gesamtanlagenhöhe von 150 m und einem Rotordurchmesser von 101 m ein Ertrag von 6,5 GWh, für eine Windenergieanlage mit einer Nabenhöhe von 60 m und einem Rotordurchmesser von 66 m 1,7 GWh.

Auf Grund ökonomischer Gesichtspunkte tendieren Investoren nicht zu einer maximal erreichbaren Leistung (Rotorfläche) und Erträgen an einem Standort, sondern zu einem möglichst optimalen Verhältnis von Ertrag und Investitionskosten. Verursacht durch die Höhenbegrenzung führt dies zu vergleichsweise kleinen Anlagen mit geringen Rotordurchmessern, die zwar eine hohe Auslastung aufweisen aber vergleichsweise geringe Erträge.

Die Begrenzung auf 100 m Gesamthöhe ist nicht im RROP festgeschrieben. Vielmehr wurde für die Bestimmung der Abstandflächen zwischen den Windparks von der gängigen Technologie ausgegangen und eine Gesamtanlagenhöhe von 150 m unterstellt. Die Beeinträchtigung des Orts- und Landschaftsbildes durch den einzelnen Windpark sowie durch die Wirkung mehrerer Windparks zueinander im hohen Maße im RROP berücksichtigt. Bei der Annahme geringerer Anlagenhöhen und damit geringerer Abstandflächen hätten sich bei der Erstellung des RROP unter Umständen neue Präferenzräume ergeben [46].

2.3.2.3 Status quo und kurzfristiges Potential

In diesem Abschnitt wird anhand der Angaben aus der Transparenz- und Meldepflicht entsprechend dem EEG der Status quo beschrieben und mit dem Potential verglichen. Im RROP von 1999 [46] finden sich drei der vier Präferenzflächen aus dem Energiekonzept für Erfurt namentlich als Vorbehaltsfläche für die Nutzung der Windenergie wieder. Ob es sich um dieselbe Flächengröße handelt, kann nicht bestimmt werden. Faktisch ist eine Nutzung der Windenergie außerhalb der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete nicht genehmigungsfähig.

Dies bedeutet, dass die Errichtung von WEA nur auf solchen Flächen möglich ist. Die im RROP von 1999 ausgewiesenen Gebiete zur Nutzung der Windenergie wurden mit einer Ausnahme (Frienstedt-Schmira) weitgehend ausgelastet. In den nachfolgenden Erläuterungen ist der Status quo der Windenergienutzung dargestellt. Die Abbildung 2–11 zeigt einen Auszug aus dem Regionalen Raumordnungsplan Mittelthüringen für das Gebiet der Stadt Erfurt. Die rot eingekreisten Flächen deuten die Vorranggebiete aus dem RROP an [46].

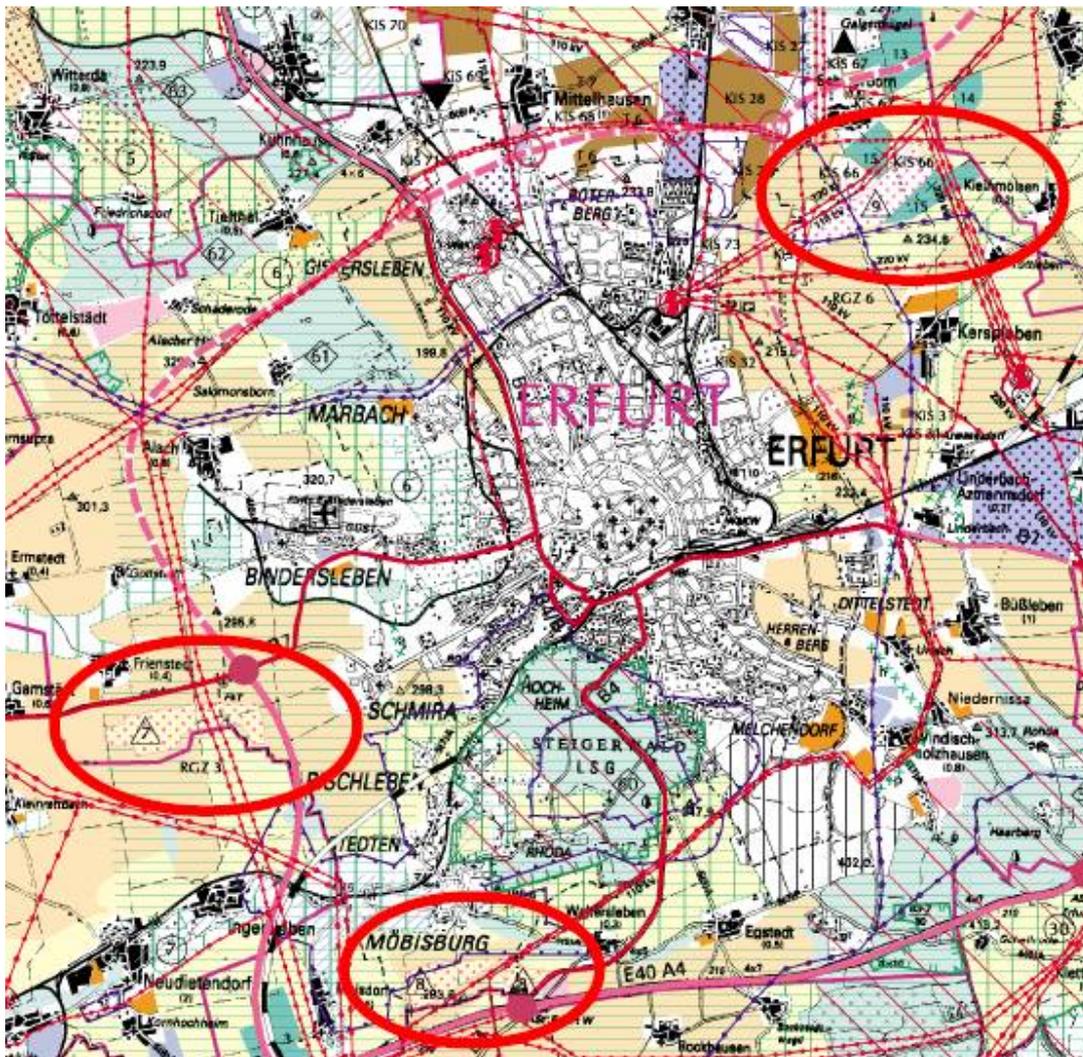


Abbildung 2–11: Auszug aus dem RROP 1999 für das Stadtgebiet Erfurt mit Vorrang- und Vorbehaltsgebieten (Vorbehaltsflächen für Windenergienutzung rot markiert) [46]

Windpark Möbisburg

Im Regionalen Raumordnungsplan von 1999 [46] wurde nördlich der Bundesautobahn A 4 und südwestlich der Ortschaft Waltersleben eine Vorbehaltsfläche für die Windenergienutzung auf 64,56 ha [39] ausgewiesen. Die effektive Fläche – definiert als Polygon um die äußeren Anlagen – des Windparks beträgt 132 ha.

Im Jahr 2006 wurden dort 11 Anlagen vom Typ ENERCON E-70 mit einer Nennleistung von jeweils 2,0 MW errichtet. Die Nabenhöhe der Anlagen beträgt 64 m. Mit dem Rotordurchmesser von 71 m erreichen die Anlage eine Gesamthöhe von 99,5 m [40].

Die Windenergieanlagen befinden sich in einer von Industrie und Verkehrswegen geprägten Landschaft. Die Abbildung 2–12 zeigt zwei Anlagen, im Hintergrund die Bundesautobahn A 4 und das Gewerbegebiet „Erfurter Kreuz“.



Abbildung 2–12: Windkraftanlagen im Windpark Möbisburg (Weber 2009)

Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt nach Angaben des Betreibers 5,8 m/s [53]. Der Energieertrag der letzten zwei Jahre blieb hinter den Erwartungen zurück. Im Jahr 2008 wurden mit 25,281 GWh 81 % des prognostizierten Energieertrages von 30,9 GWh/a erzielt. Auf Grund eines geringeren Windaufkommens sank der Ertrag im Jahr 2009 auf 20 GWh bzw. 64 % der Prognose.

Die Prognose des Betreibers deckt sich im hohen Maße mit den eigenen Berechnungen. Daher wird im Rahmen dieser Angabe des Aufkommens der Windenergie von der Prognose ausgegangen.

Die Autoren des Windenergiegutachtens für Mittelthüringen kommen zum Ergebnis, dass der Standort des Windparks Möbisburg nicht das 60-%-Kriterium des EEG erfüllt und empfehlen, diese Fläche nicht in den neuen RROP als Vorbehaltsfläche aufzunehmen [46]. Laut Auskunft der regionalen Planungsstelle Mittelthüringen konnte der Betreiber des Windparks ein gegenteiliges Gutachten vorlegen, auf Grund dessen die Vorbehaltsfläche wahrscheinlich erhalten bleibt.

Windpark Kerspleben auf dem Katzenberg

Der 2004 auf 123,29 ha [39] errichtete Windpark umfasst 14 Anlagen von Typ Vestas V52 850 kW mit einer Nabenhöhe von 74 m und einem Rotordurchmesser von 52 m. Die Gesamthöhe der Anlagen beträgt somit 99,5 m.

Die Anlagen mit einer Gesamtleistung von 11,9 MW generierten im Jahr 2008 zusammen 18,59 GWh [35]. Die Auslastung der Anlagen lag damit im Jahr 2008 bei 1.562 Vollbenutzungsstunden.

Im Jahr 2007 wurde der Windpark um eine Anlage mit 800 kW erweitert [35]. Der Ertrag dieser einzelnen Anlage lag 2008 bei 1,33 GWh. Das Windenergiegutachten für Mittelthüringen empfiehlt zur Einhaltung von Abstandsflächen eine deutliche Verkleinerung der Vorbehaltsgebiete auf 67 ha [39]. Der prognostizierte Ertrag aller 15 Anlagen liegt zwischen 18 und 22 GWh/a. Die Anlagen auf dem Katzenberg können als Bereicherung der strukturarmen Landschaft gesehen werden.



Abbildung 2–13: WEA in Kerspleben auf dem Katzenberg (Weber 2009)

Die Tabelle 2–4 gibt den Status quo der Windenergienutzung in Erfurt wieder. Der Ertrag im Jahr 2008 betrug mit 44,70 GWh ca. 5 % des Stromverbrauchs von Erfurt.

Tabelle 2–4: Zusammenstellung der bestehenden WEA im Raum der Stadt Erfurt

Standort	Anzahl	Gesamt- leistung in MW	Ertrag (2008) in GWh/a	Auslastung in h/a
Kerspleben	14	11,9	18,59	1.562
Kerspleben	1	0,8	1,34	1.673
Möbisburg	11	22,0	24,78	1.117

Vorbehaltsgebiet Frienstedt

In der Nähe des Erfurter Flughafens wurde im RROP 1999 eine Vorbehaltsfläche zur Nutzung der Windenergie ausgewiesen. Diese Vorbehaltsfläche mit 128,2 ha [39] wird z.Zt. nicht genutzt. Seit 1999 sind Firmen bestrebt, eine Genehmigung für die Erstellung und den Betrieb von 17 WEA mit einer Gesamthöhe von 130 m zu erhalten. Diese Genehmigung wurde bisher versagt.

Mit dem Urteil des Oberverwaltungsgerichtes vom September 2009 ist die immissionschutzrechtliche Genehmigung für die Errichtung von acht Windkraftanlagen mit einer Leistung von je 2,0 MW, einer Nabenhöhe von bis zu 60 m und einem Rotordurchmesser von 76 m bzw. einer Gesamthöhe von 98 m zu erwarten [45].

Die Limitierung der Gesamtanlagenhöhe auf 100 m ergibt sich aus Gründen des Orts- und Landschaftsbildes. Mit der richterlichen Entscheidung erfolgte die Auflage, bei einer etwaigen Erweiterung des Flughafens Erfurt die WEA zurückzubauen. Der Investor und Betreiber schätzt den jährlichen Ertrag einer Anlage auf 3 GWh/a. Die Investitionskosten hierfür werden auf 1,6 Mio. € pro Anlage geschätzt. Der Windpark soll im vierten Quartal des Jahres 2011 in Betrieb genommen werden.

Tabelle 2–5: Ertragspotential des geplanten Windparks Frienstedt-Schmira

Anzahl	Gesamtleistung in MWh	Ertrag (Prognose) in GWh/a	Auslastung (Prognose) in h/a
8	16	24	1.500

Alternativ dazu prüft der Investor auf Grund ökonomischer Gesichtspunkte die Errichtung kleinerer WEA mit jeweils 800 kW Nennleistung und einem Jahresertrag von 1,5 GWh.

Das Vorbehaltsgebiet (nach dem aktuellen RROP) Frienstedt-Schmira ist im neu beschlossenen, aber derzeit noch nicht genehmigten RROP nicht mehr als Vorbehalts- oder Vorranggebiet enthalten. Im Windenergiegutachten für Mittelthüringen [39] wird dies mit der Flugbauschutzzone des Flughafens Erfurt sowie einem Denkmalabstand zu Frienstedt begründet. Damit ist ein sogenanntes „Repowering“ des Windparks nach 20 Jahren ausgeschlossen.

2.3.2.4 Langfristiges Windenergiepotential

Unter dem langfristigen Windenergiepotential wird das Potential verstanden, dass an Standorten erzielbar wäre, die bisher – auf Grund widerstrebender Flächenansprüche – im RROP nicht als Vorbehalts- oder Vorrangflächen berücksichtigt wurden. Darüber hinaus wird das durch Repowering (Ersatz bestehender WEA durch leistungsstärkere Anlagen) erschließbare Potential unter langfristiges Potential gefasst.

Im Energiekonzept für die Stadt Erfurt aus dem Jahr 1998 kommen die Autoren zum Ergebnis, dass eine Fläche von ca. 886 ha für die Windenergie prädestiniert sei. Mit heute verfügbaren Technologien ergibt sich daraus ein theoretisches Potential von insgesamt 220 GWh/a. Abzüglich der bereits genutzten Fläche (256 ha) ergibt sich ein unerschlossenes theoretisches Potential von 122 GWh/a.

Nachfolgend werden zwei mögliche Standorte exemplarisch dargestellt. Hiermit soll belegt werden, dass grundsätzlich ungenutzte Flächen für die Nutzung der Windkraft vorhanden sind

In der Abbildung 2–14 wird ein Auszug aus dem Windenergiegutachten Mittelthüringen gezeigt. Es ist darin deutlich erkennbar, dass das Windaufkommen innerhalb der Stadtgrenze (graue Strichlinie) sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Im Kern, im Norden sowie im Osten des Stadtgebietes liegt das Windpotential überwiegend unter dem 60%-EEG-Kriterium. Im Nordosten erfüllt lediglich die Erhöhung „Katzenberg“ zwischen Schwerborn und Kerspleben diese Anforderung. Das Gebiet mit der Nummer 1 entspricht dem Windpark Kerspleben.

Die mit der Nummer 2 gekennzeichnete Fläche im Südwesten des Stadtgebietes südlich der Ortschaft Frienstedt weist eine vergleichsweise hohe spezifische Energieleistung auf und entspricht dem Wind-Vorranggebiet Frienstedt-Schmira.

Im Süden des Stadtgebiets, nordöstlich von Egstedt (Fläche mit der Nummer 3) sowie im westlichen Stadtgebiet auf den „Alacher Höhen“ (Fläche mit der Nummer 4) liegt die Energieleistung über 400 W/m^2 , was diese Gebiete für die Windenergienutzung attraktiv macht. Diese Flächen wurden bisher nicht als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für die Windenergienutzung ausgewiesen.

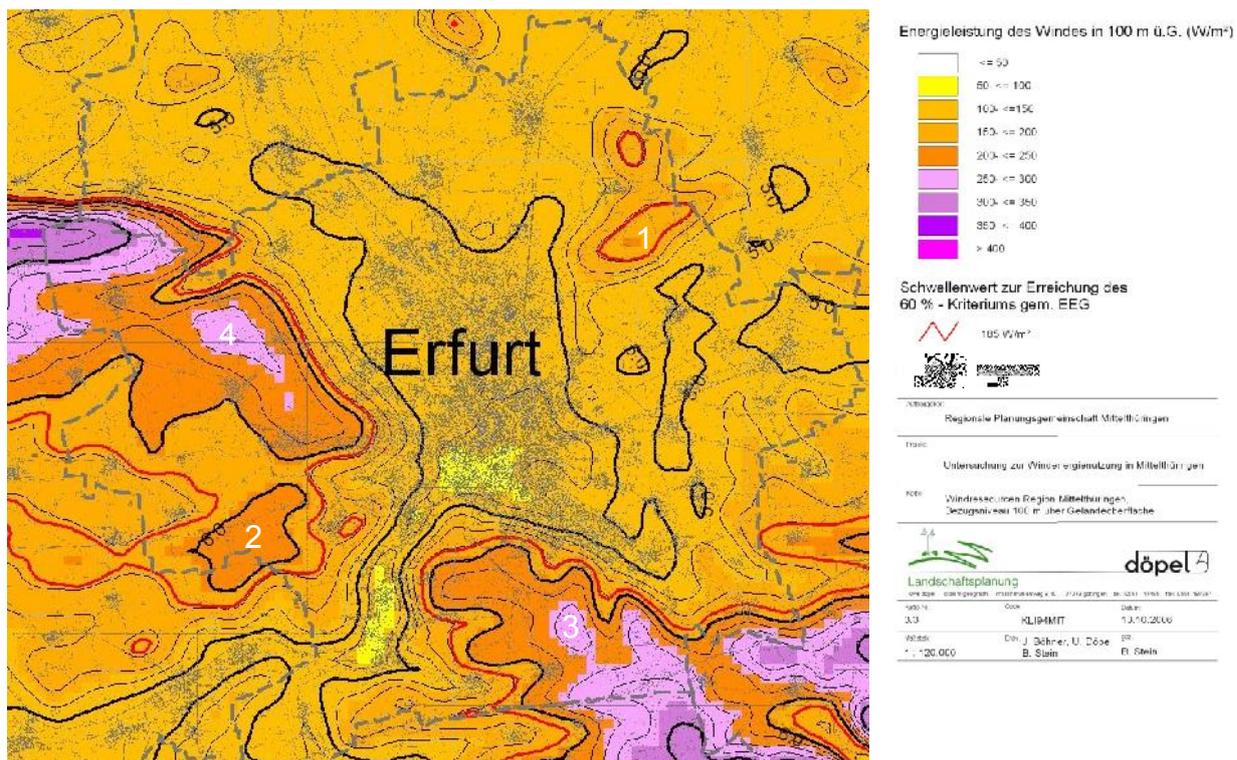


Abbildung 2–14: Energieleistung des Windes in 100 m über Grund, für Erfurt angepasst, aus [39]

Egstedt

Das Gebiet bei Egstedt wurde bereits im Energiekonzept Erfurt als Präferenzraum ausgewiesen (vgl. Tabelle 2–3). Auf Grund der definierten Mindestabstandsflächen zu anderen Windenergieanlagen (vgl. Abbildung 2–10), der Nutzung als militärisches Übungsgebiet sowie naturschutzfachlicher Fragestellungen (bestehendes bzw. geplantes Schutzgebiet im Sinne des ThürNatG) wurde dieses Gebiet nicht als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiet zur Nutzung der Windenergie in den RROP aufgenommen, so dass eine Genehmigungsfähigkeit in naher Zukunft fraglich bzw. ausgeschlossen ist (vgl. Abbildung 2–17). Die in der Abbildung 2–16 rot markierte Fläche nordöstlich von Egstedt bietet sich für die Errichtung von Windenergieanlagen auf Grund der windexponierten Lage sowie der nahegelegenen 110-kV-Leitung zur Energieableitung an. Mit den im EK-1 [33] getroffenen Annahmen zur Windgeschwindigkeit im Gebiet bei Egstedt kann das Potential mit den heute verfügbaren Technologien bestimmt werden. Hierfür werden zwei Referenzanlagen mit unterschiedlichen Nabenhöhen und Nennleistung untersucht. Das markierte Gebiet (ca. 14 ha, Länge 1,2 km) bietet Raum für 3 bis 4 linienförmige angeordnete WEA mit einer Gesamthöhe von 99 m oder 2 bis 3 Anlagen mit einer Höhe von 185 m.



Abbildung 2–15: Fläche nahe Egstedt Blickrichtung Nord in Richtung Stadtgebiet

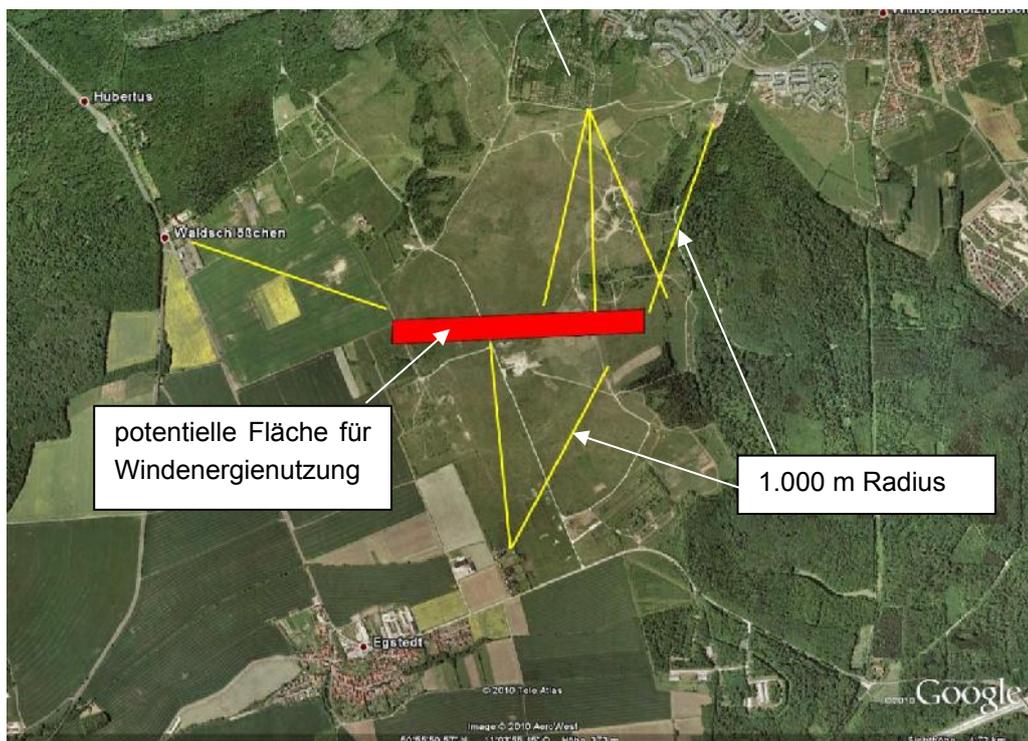


Abbildung 2–16: Fläche nahe Egstedt mit hoher Energieleistung (aus Google Earth)

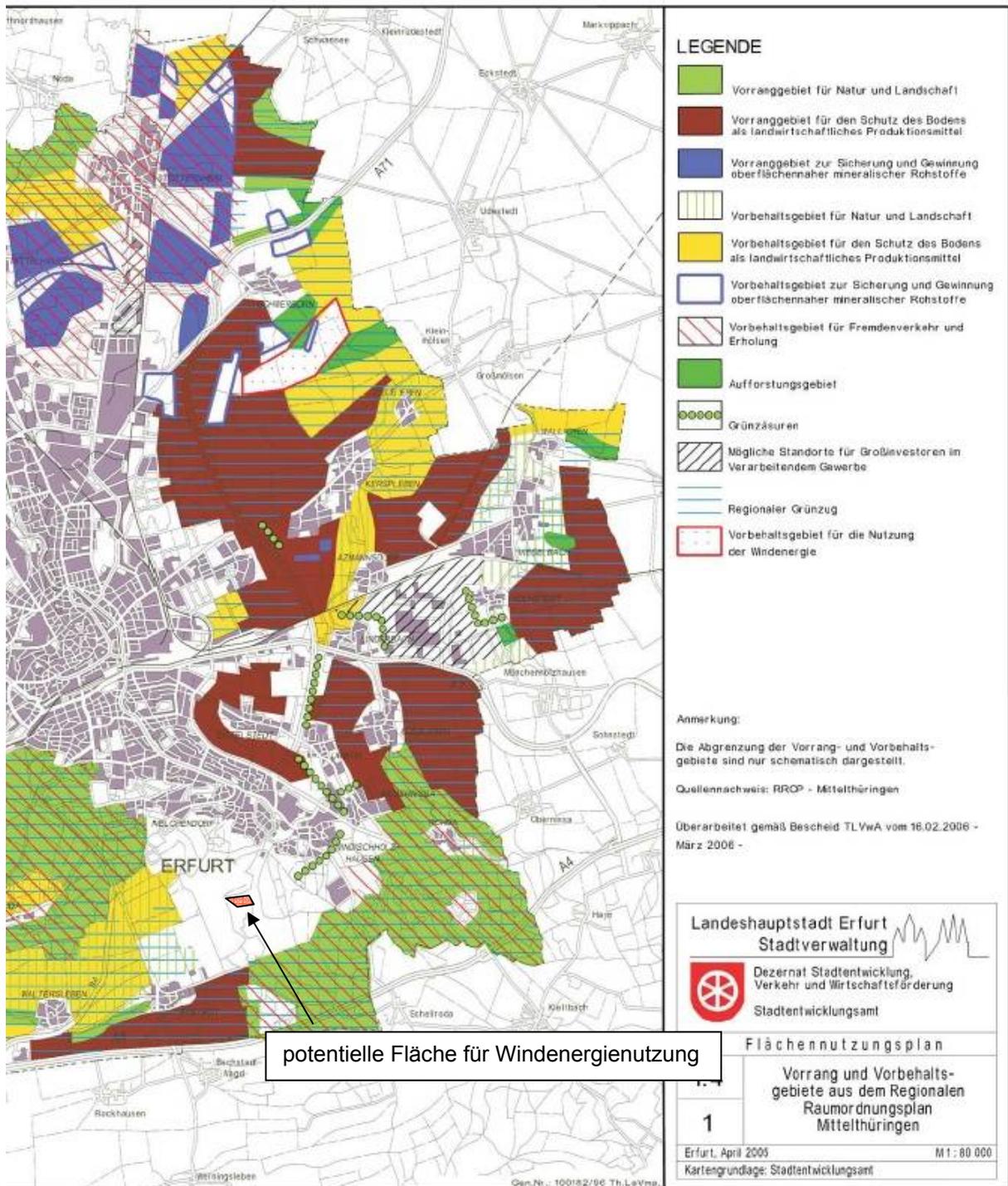


Abbildung 2–17: Flächennutzungsplan der Stadt Erfurt, Teil 1.4 „Vorrang und Vorbehaltsflächen aus dem RRÖP“ 1999 [46]

Tabelle 2–6: Potential für Windenergienutzung in der Nähe der Ortschaft Egstedt

Gesamthöhe in m	Anzahl	Leistung Einzelanlage in MW	Gesamtleistung in MW	Ertrag (Prognose) in GWh/a
99	5	1,5	7,5	8,10
185	3	3,0	9,0	19,85

Die spezifischen Investitionskosten für Windenergieanlagen sind auf Grund der höheren Produktionskapazitäten in den letzten Jahren stark gesunken. Die Nettokosten betragen ca. 800 €/kW, hinzu kommen projektspezifische Kosten für die Energieableitung. Der Finanzmittelbedarf zur Realisierung eines Projektes mit einer Gesamtleistung von 9 MW beträgt demnach 7 bis 8 Mio. €.

Alach

Das mit der Nummer 2 gekennzeichnete Gebiet in der Nähe der Ortschaft Alach (Abbildung 2–14) bietet sich durch die windexponierte Lage an. Gegen eine Aufstellung spricht unter Umständen die Nähe zum Erfurt Flughafen und die Auswirkung auf das Orts- und Landschaftsbild (Fläche befindet sich zum Teil im regionalen Grünzug).

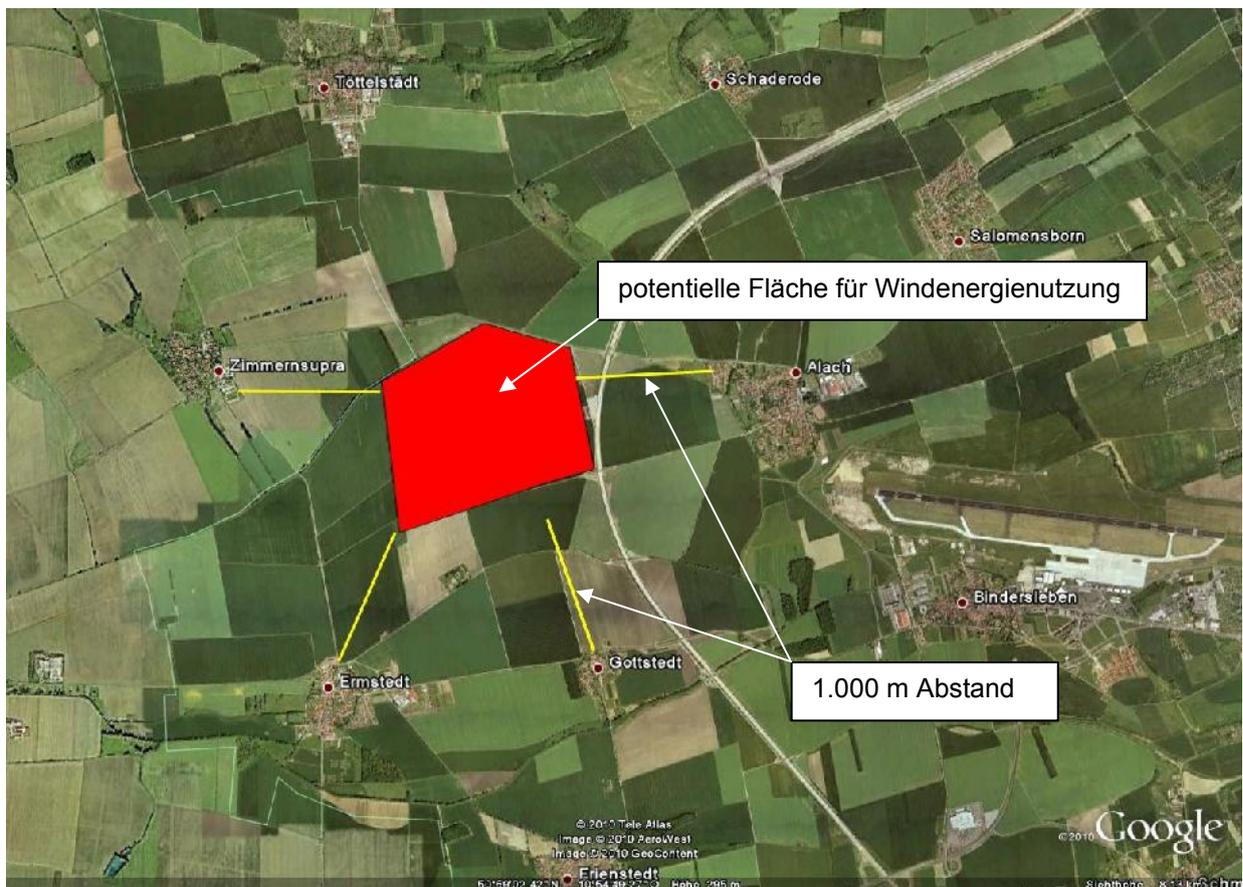


Abbildung 2–18: Fläche westlich von Alach (aus: Google Earth 2010).

Für die Potentialbestimmung werden zwei Referenzanlagen mit unterschiedlichen Nabenhöhen und Nennleistung untersucht. Die Fläche des rot markierten Gebietes beträgt in etwa 165 ha. Mit dem genannten Ansatz zum Flächenbedarf könnten WEA mit einer Leistung von ca. 27 MW errichtet werden.

Tabelle 2–7: Potential für Windenergienutzung in der Nähe der Ortschaft Alach

Gesamthöhe in m	Anzahl	Leistung Einzelanlage in MW	Gesamtleistung in MW	Ertrag (Prognose) in GWh/a
99	18	1,5	27	31
185	9	3,0	27	62

„Repowering“

Unter dem Begriff „Repowering“ wird der Austausch von bestehenden älteren Windenergieanlagen verstanden. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn hierdurch der Ertrag an einem Standort erhöht werden kann. Das Leistungsvermögen der Windenergieanlagen hat sich in den letzten Jahren deutlich erhöht. Die Leistungssteigerung geht mit größeren Rotordurchmessern und Nabenhöhen über 100 m einher. Die leistungsstärksten Anlagen erzielen mit Rotordurchmessern von 126 m eine Nennleistung von bis zu 5 MW. Mit Nabenhöhen bis zu 135 m werden Gesamthöhen von annähernd 200 m erreicht. Der Ersatz bestehender Anlagen durch höhere Anlagen ist wie auch die Neuerrichtung mit einer Beeinflussung des Orts- und Landschaftsbildes verbunden. Hinsichtlich der Bewertung dieser Beeinflussung werden unterschiedliche Auffassungen vertreten, welche im Rahmen dieses Konzepts nicht diskutiert werden.

Grundsätzlich kann die Erhöhung der Anlagenleistung zu einer Verringerung der Anlagenzahl bei gleichzeitiger Ertragssteigerung führen. Auf Grund der Regelungen des EEG zum „Repowering“ ist ab einer Laufzeit der Altanlage von 10 Jahren der Austausch ökonomisch interessant.

Für die Bestimmung des langfristigen Potentials durch Repowering-Maßnahmen wird vom Status quo einschließlich des Windparks Frienstedt ausgegangen.

Das Ertragspotential wird entsprechend der ausgewiesenen Vorrangfläche aus dem Regionalen Raumordnungsplan 1999 bestimmt. Hierfür werden Referenzanlagen vom Typ ENERCON E-101 mit einer Nabenhöhe von 135 m und einer Nennleistung von 3 MW angenommen.

Tabelle 2–8: Potential durch Repowering auf bestehenden Vorranggebieten ohne Höhenbegrenzung

	Leistung pro Anlage in kW	Anlagenzahl	Gesamtleistung in MW	Ertrag (Prognose) in GWh/a	Fläche in ha
Status quo (maximale Gesamthöhe 100 m)					
Kerspleben	847	15	12,7	20	123
Möbisburg	2.000	11	22,0	25	132
Frienstedt	2.000	8	16,0	24	128
Summe			50,7	69	
Repowering (ENERCON E 101 Gesamthöhe 185 m)					
Kerspleben	3.000	7	20,4	34	123
Möbisburg	3.000	7	21,8	40	132
Frienstedt	3.000	7	21,2	50	128
Summe			63,4	123	
Potential „Repowering“				55	

2.3.2.5 Zusammenfassung

Seit 2004 wird in Erfurt die Energie des Windes zur Stromerzeugung genutzt. Mit ca. 45 GWh/a stellt die Windenergie derzeit den bedeutendsten erneuerbaren Energieträger im Stadtgebiet dar. Im Jahr 2011 wird der jährliche Beitrag der Windenergie voraussichtlich um 24 GWh/a auf 50,7 GWh/a ansteigen, dies sind 5,6 % des Elektroenergieverbrauchs in Erfurt.

Die Errichtung von WEA ist auf Grund der Raumbedeutsamkeit der Anlagen durch die Regionale Raumordnung im Regionalen Raumordnungsplan geregelt. Die für die Windenergienutzung ausgewiesenen Flächen im Stadtgebiet sind weitgehend ausgelastet. Die kurzfristige Errichtung von WEA über den Bestand hinaus wird durch die Vorgaben der Regionalen Raumordnung verhindert. Die Ausweisung von Flächen für die Nutzung der Windenergie bedarf der Abwägung verschiedener zum Teil widerstrebender Interessen und Ansprüche sowie politischer Entscheidungen, deren Diskussion und Erläuterung im Rahmen dieses Konzepts nicht geführt werden kann. Aus Sicht der Autoren sind grundsätzlich noch geeignete Flächen für die Windenergienutzung im Stadtgebiet vorhanden. In den zwei exemplarisch aufgezeigten Gebieten ließen sich zusammen bis zu 82 GWh/a erzeugen, dies sind ca. 9 % des Elektroenergieverbrauchs in Erfurt. Mit den bereits installierten Anlagen könnten dann ca. 15 % des Elektroenergieverbrauchs in Erfurt gedeckt werden.

Durch die Höhenbeschränkung auf 100 m Gesamthöhe bleiben die errichteten Windenergieanlagen hinter dem damaligen und dem heutigen Leistungsstand weit zurück.

Durch ein Repowering der Anlagen auf bestehenden Vorbehaltsflächen könnte der Ertrag annähernd verdoppelt werden.

Tabelle 2–9: Zusammenfassung Bestand und Potential der Windenergienutzung in Erfurt

Standort Maßnahme	Anzahl	Gesamt- leistung in MW	Ertrag <i>Prognose</i> in GWh/a	CO ₂ -Reduktion bezogen auf unterschiedliche Erzeuger in t/a			
				Verdrän- gungsmix 810 g/kWh	D-Mix 506 g/kWh	Braun- kohle 982 g/kWh	SWE 330 g/kWh
Status quo							
Kerspleben	15	12,7	20	16.143	10.085	19.571	6.577
Möbisburg	11	22,0	25	20.072	12.539	24.334	8.177
kurzfristiges Potential							
Frienstedt	8	16,0	24	19.440	12.144	23.568	7.920
Summe			69	55.655	34.767	67.473	22.674
exemplarische gezeigte Standorte							
Egstedt	3	9,0	20	16.085	10.048	19.501	6.553
Alach	9	27,0	62	50.307	31.426	60.989	20.495
Summe			82	66.392	41.475	80.490	27.049
langfristiges Potential							
Repowering			55	44.257	27.647	53.655	18.031
Zusätzliche Präferenzflächen nach EK1			122	99.181	61.958	120.242	40.407
Zusammen			177	143.438	89.605	173.897	58.438
Gesamtpotential			248	200.843	125.465	243.491	81.825

Bei Erschließung dieses Gesamtpotentials könnten 2020 28 % des Elektroenergieverbrauchs in Erfurt gedeckt werden.

2.3.3 Wärmenutzung des Abwassers

2.3.3.1 Funktionsweise

Im Abwasser steckt eine große Wärmemenge. Bedingt durch die Anteile an Prozess- und/oder Warmwasser hat Abwasser im Vergleich zu anderen Wärmequellen (Erdboden, Aquifer, Umgebungsluft) auch im Winter eine vergleichsweise hohe Temperatur. Durch die immer stärkere Nutzung von zentralen Warmwasserbereitungsanlagen in Wohnhäusern, Betrieben und öffentlichen Gebäuden sind die Abwassertemperaturen gegenüber früher deutlich höher und schwanken im Jahresverlauf zwischen 10 °C und 20 °C. Aus dieser Wärmequelle können über den Wärmeübertrager, der das Herzstück einer Abwasser-Wärmerückgewinnungsanlage ist, und die Wärmepumpe auch Nutztemperaturen von 50 °C bis 70 °C² bereitgestellt werden.

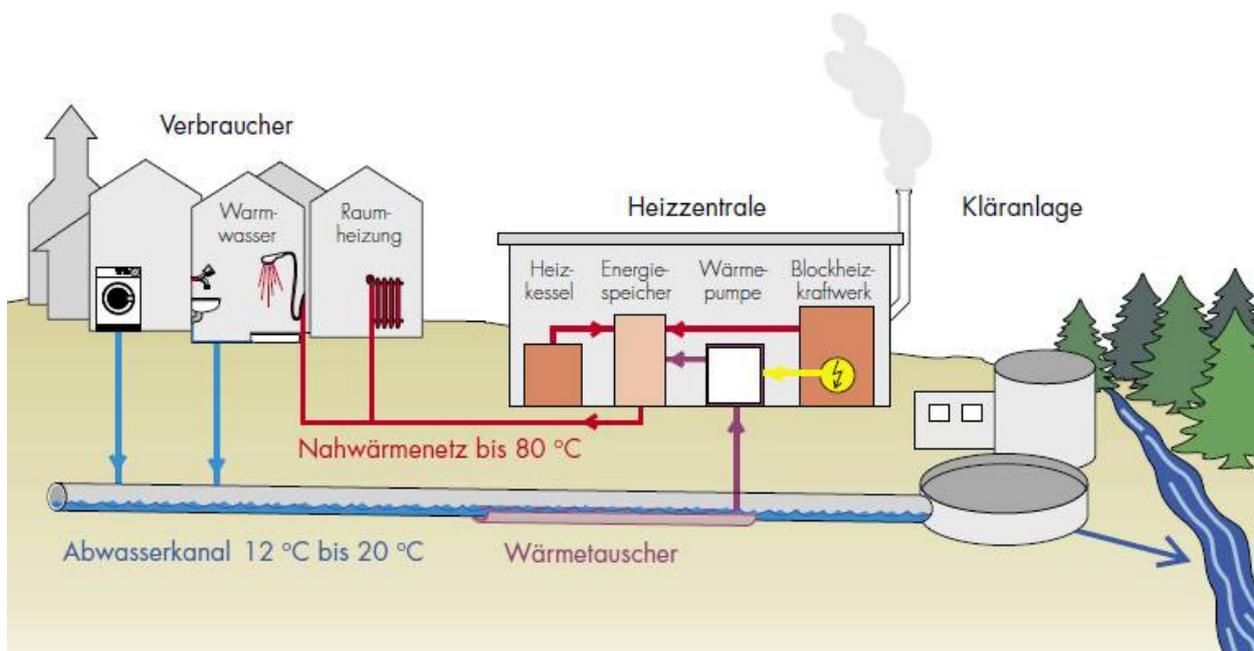


Abbildung 2–19: Funktionsweise der Abwasserwärmenutzung [56]

Dazu wird dem Abwasser im Wärmeübertrager des Wärmeentzugssystems die Wärme entzogen und über ein Zwischenmedium der Wärmepumpe zugeführt. Das Zwischenmedium (reines Wasser) zwischen der Wärmepumpe (Wärmeerzeugung) und dem Wärmeübertrager (Wärmenutzung, Wärmeentzug) wird durch Kunststoffrohre zum Wärmeübertrager an den Beginn der Wärmenutzung geleitet. Vom Verteilrohr wird jeder 1,0 bis 3,0 m lange Wärmeübertrager einzeln gespeist. Das in den Wärmeübertragern erwärmte Zwischenmedium wird im Anschluss daran in einem Sammelrohr ebenfalls

² Die Effizienz der Wärmepumpe steigt mit Verringerung des Nutztemperaturniveaus.

wieder einzeln gesammelt und zur Wärmepumpe zurückgeleitet. Der Wärmeübertrager wird in der Regel im Abwasserkanal einbetoniert.

Zum effizienten Einsatz der Wärmepumpen sollten aber niedrigere Nutztemperaturen im Bereich von 35 °C bis 45 °C angestrebt werden. Je tiefer das Temperaturniveau der Wärmebezieher liegt, desto effizienter können Wärmepumpen arbeiten. Durch die Nutzung des Abwassers als Wärmesenke zur Bereitstellung von Kühlenergie wird die Effizienz des Gesamtsystems weiter gesteigert.

Abbildung 2–19 zeigt neben der Funktionsweise auch die energieeffizienteste aller möglichen Nutzungen der Abwärme aus Abwasser für die Heizung von Gebäuden und für die Warmwassererwärmung mittels multivalenter Heizzentrale. Das Anfallen einer Mindestmenge von Abwasser ist ebenso die Grundvoraussetzung für die Abwasserabwärmenutzung wie ein hoher Wärmebedarf des oder der Gebäude/s. Daher eignen sich vor allem größere Einzelgebäude oder ein Nahwärmeverbund mit mehreren Häusern, da hier mit einem kontinuierlichen und recht konstanten Abwasseraufkommen zu rechnen ist. Die Wärme kann dem Abwasser im Gebäude selbst (gebäudeinterne Wärmerückgewinnung), dem Kanal oder der Kläranlage entnommen werden (Abbildung 2–20).

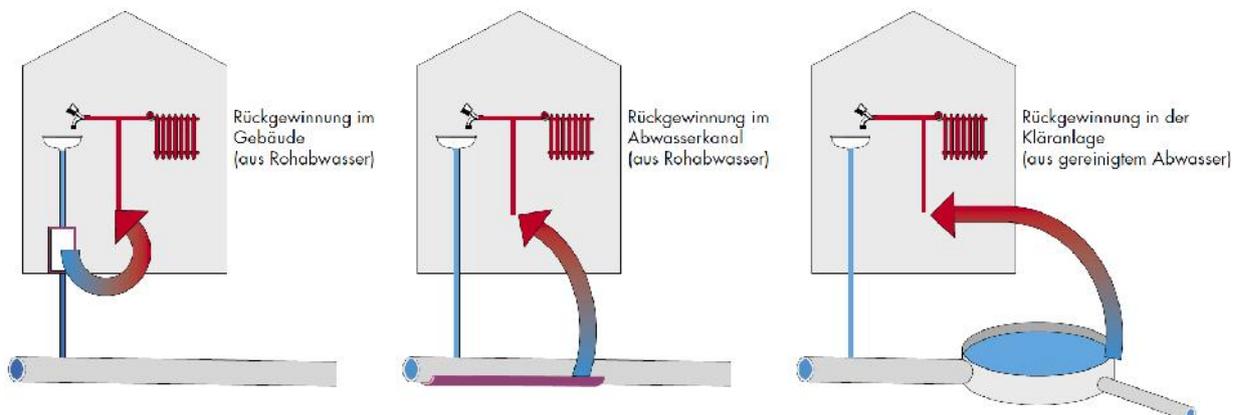


Abbildung 2–20: Systeme der Wärmerückgewinnung aus Abwasser [56]

Die interne Wärmerückgewinnung, die im Gebäude selbst vorgenommen wird, ist nur sinnvoll, wenn große Abwassermengen oder hohe Temperaturen vorhanden sind (z.B. bei Hallenbädern, Krankenhäusern, Sportzentren, Gaststätten, Großküchen, Industriebetrieben mit großem Prozesswasseranteil). Dazu wird das Abwasser vor der Einleitung in die Kanalisation in einem Speicher gesammelt, in welchem ihm die Wärme entzogen wird. Eine hohe Abwassertemperatur im Speicher durch kurze Leitungswege ist der Vorteil dieses Systems. Aber auch für kleinere Mengen kann die gebäudeinterne Wärmerückgewinnung beim Duschwasser genutzt werden. Die Firma Hei-Tech [54] bietet bspw. unterschiedliche Systeme für die Wärmerückgewinnung aus Dusch- und Spültischwasser (Großküchenspülmaschine) ohne Zwischenspeicher zur Warmwasserbereitung an.

Die Wärmerückgewinnung im Kanal kann im Fall des Neubaus eines Kanals durch vorgefertigte Elemente mit integriertem Wärmeübertrager erfolgen. Auch eine Nachrüstung bestehender Kanäle ist unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Dabei sind folgende Varianten möglich:

- Wärmeübertrager im Kanal
Bei vielen Abwasserwärmepumpen erfolgt die Energiegewinnung über einen Wärmeübertrager in der Sohle eines Abwasserkanals. Für den Einbau in einen bestehenden Kanal wird der Wärmeübertrager in Einzelanfertigung konfektioniert. Dieses Vorgehen setzt voraus, dass der Kanal mindestens 80 cm Durchmesser aufweist, in gutem Zustand ist und noch langfristig in Betrieb sein wird. Beim Ersatz oder beim Neubau eines Kanals können dagegen vorgefertigte Kanalelemente mit integriertem Wärmeübertrager eingesetzt werden. Hier liegt das Minimum des Kanaldurchmessers bei 50 cm. Es sind Lösungen für alle Formen des Kanalquerschnitts möglich.
- Wärmeübertrager im Bypass eines Kanals
Eine interessante Lösung ist der Bau eines Bypasses zum Abwasserkanal für die Installation des Wärmeübertragers. Diese Lösung bietet mehrere Vorteile: Erstens kann auf eine Wasserumleitung während der Bauzeit verzichtet werden. Zweitens ergeben sich klare Eigentumsgrenzen. Und drittens können die Kanaldurchmesser des Bypasses und der Wärmeübertrager genau auf die benötigte Wassermenge dimensioniert werden.
- Wärmeübertrager im Vorlagebecken einer Pumpstation
Viele Kanalisationen verfügen über Pumpstationen zur Förderung des Abwassers. Dies ermöglicht eine Entnahme der Wärme über einen Rohrwendel-Wärmeübertrager im Pumpensumpf der Anlage. Im Vergleich zu den beiden Varianten mit Kanalwärmeübertragern sind für diese Lösung geringere Investitionen nötig.

Jede Anlage zur Abwasserwärmenutzung muss die Wärme vom Abwasserkanal oder von der Kläranlage zur Heizzentrale transportieren. Für den Energietransport gibt es Ein- und Zweirohrsysteme.

- Einrohrsystem
Diese Lösung kommt ausschließlich bei Anlagen mit gereinigtem Abwasser aus Kläranlagen zum Einsatz. Das Abwasser wird in diesem Fall ohne Wärmeübertrager direkt auf die Wärmepumpe geführt. Nach dem Energieentzug im Verdampfer kann das abgekühlte Wasser direkt in ein Gewässer oder eine Dachwasserleitung eingeleitet werden. Eine einzelne nicht wärmegeämmte Rohrleitung zwischen Kläranlage und Energiezentrale genügt für diese schlanke Lösung.

- Zweirohrsystem

Erfolgt die Wärmegewinnung aus ungereinigtem Abwasser, muss ein geschlossener Zwischenkreislauf aus zwei Rohren (Vorlauf und Rücklauf) als Verbindung zwischen Abwasserkanal und Heizzentrale eingesetzt werden. Diese Lösung erfordert höhere Investitionen, bietet aber auch Vorteile – bspw. wird die Kombination von verschiedenen Wärmequellen (Abwasserwärme, Abwärme aus der Industrie, Wärme aus Grundwasser etc.) einfacher.

Durch den Schmutz im Abwasser bildet sich auf der Oberfläche eines Kanalwärmeübertragers mit der Zeit ein Biofilm aus Emulgaten, Fetten und Pilzen. Dieser reduziert die Wärmeübertragung um bis zu 50 % [55] und ist in der Intensität abhängig von der Abwasserzusammensetzung, vom Wärmeübertrager und den hydraulischen Bedingungen. Bei der Dimensionierung von Kanalwärmeübertragern muss diesem Umstand durch Vergrößerung der Wärmeübertragerfläche oder durch höheren Wartungsaufwand Rechnung getragen werden [56].

Die Wärme in der Kläranlage wird aus gereinigtem Abwasser gewonnen, was die technische Konzeption der Wärmeentnahme vereinfacht. Trotz der klaren Vorteile – z.B. das größte Abwasser- und damit Wärmeaufkommen, Abkühlung des Abwassers zu Gunsten des Einleitungsgewässers – sind der Anwendung allerdings räumliche Grenzen gesetzt, weil die Kläranlagen oft vom Siedlungsgebiet und damit von den Energienutzern zu weit entfernt liegen.

Abwasserenergieanlagen kommen für neue und für bestehende Gebäude in Frage. Neubauten auf noch nicht bebauten Arealen bieten den Vorteil, dass die Integration der Wärmepumpe in die Heizzentrale und der Leitungsbau einfacher und kostengünstiger sind. Bestehende Gebäude liegen dagegen häufig innerhalb des Siedlungsgebietes, wo sich eher geeignete Abwasserkanäle befinden. Eine Nutzung von Abwasserenergie wird in beiden Fällen durch folgende Voraussetzungen begünstigt:

- Hohe Heizleistung

Interessant wird der Einsatz von Abwasserwärmepumpen bei Gebäuden oder Gebäudegruppen mit einem Leistungsbedarf für die statische Wärmeabgabe (Radiatoren, Fußbodenheizung, Bauteilkonditionierung) von mindestens 150 kW, was dem Bedarf von ca. 50 Wohneinheiten entspricht.

- Nähe zum Kanal

Je näher ein Gebäude zum Abwasserkanal liegt, desto kostengünstiger lässt sich die Wärmegewinnung realisieren. In Siedlungsgebieten sind – je nach Größe des Objektes – Distanzen von 100 bis 300 m möglich; größere Objekte lassen auch Distanzen über 1 km zu.

- Bebauungsdichte

Je höher die Bebauungsdichte eines Areals ist, desto wirtschaftlicher lässt sich ein Nahwärmenetz mit Abwasserwärme betreiben.

- Systemtemperaturen
Je tiefer die Temperaturen der Energienutzung liegen, desto effizienter arbeiten Wärmepumpen. Besonders gute Voraussetzungen für die Energienutzung aus Abwasser bieten deshalb Neubauten mit Niedertemperatur-Heizsystemen (Fußbodenheizung, Bauteilkonditionierung). Für industrielle Prozesse, die hohe Temperaturen erfordern, sind Abwasserheizungen dagegen weniger geeignet.
- Wärmebedarf
Vorteilhaft für die Abwasserenergienutzung ist ein möglichst ganzjähriger Wärmebedarf, der lange Betriebszeiten der Wärmepumpe ermöglicht (Raumheizung und Warmwasser).
- Ersatz des Heizkessels
Muss die Energiezentrale eines bestehenden Gebäudes ohnehin saniert werden, ergeben sich für die Umstellung auf eine Abwasserheizung interessante Kostensynergien.
- Erdgasversorgung
Wo Erdgas vorhanden ist, können Abwasser-Wärmepumpen mit Gasmotor-Blockheizkraftwerken kombiniert werden, was eine besonders effiziente und wirtschaftliche Energienutzung ermöglicht.
- Option Klimakälte
Im Sommer kann Kanalabwasser auch zum Kühlen genutzt werden. Die Wärmepumpe wird in diesem Fall als Kältemaschine betrieben. Dadurch lässt sich die Investition besser ausnutzen.

Ein wirtschaftlicher Betrieb von Abwasserenergieanlagen stellt nicht nur Anforderungen an die Wärmenutzung, sondern auch an die Wärmequelle – den Abwasserkanal oder die Kläranlage. Für die Energiegewinnung aus Kanälen sind folgende Faktoren entscheidend [56]:

- Wassermenge
Die Energiegewinnung aus Abwasserkanälen erfordert aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine Wassermenge von mindestens 15 Liter pro Sekunde (Tagesmittelwert bei Trockenwetter).
- Temperatur des Abwassers
Eine hohe Temperatur des Abwassers erlaubt eine große Abkühlung und damit einen großen Energieentzug. Günstig sind die Voraussetzungen, wenn die Abwassertemperatur auch im Winter meistens über 10 °C liegt.
- Größe und Querschnitt
Für den Einbau eines Wärmeübertragers in einen Abwasserkanal ist ein Leitungsdurchmesser von mind. 800 mm erforderlich. An die Form des Kanals werden dagegen keine Anforderungen gestellt. In Frage kommen runde Kanäle, Kanäle mit Ei- und Maulprofil oder rechteckige Kanäle.

- Kanalführung
Der Einbau eines Wärmeübertragers in einen Abwasserkanal wird vereinfacht, wenn der Kanal keine Kurve aufweist. Ideal ist ein gerader Kanalabschnitt von mindestens 20 m, bei großen Anlagen sogar 100 m Länge.
- Zugänglichkeit
Ein guter Zugang zum Abwasserkanal (Einstiegsluken) reduziert die Kosten für die Installation und die spätere Wartung des Kanalwärmeübertragers.
- Verbindung zum Objekt
Der Bau der Leitung vom Kanal zur Heizzentrale im Gebäude kann einen wichtigen Kostenpunkt darstellen. Kann für die Leitungsführung eine bestehende Verbindung – bspw. ein Seitenkanal – genutzt werden, oder kann die Leitung in unbebautem Terrain verlegt werden, lassen sich die Investitionen gering halten.
- Alter des Kanals
Besonders prüfenswert ist die Nutzung von Abwasserenergie immer dann, wenn ein Kanal ohnehin saniert werden muss. Der Einbau des Wärmeübertragers ist in diesem Fall wesentlich günstiger.

2.3.3.2 Potentiale

Bisher wurde die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser vernachlässigt, weil auf Grund von Verschmutzung und Geruchsbelästigung nur unzureichende technische Lösungen verfügbar waren. Mittlerweile gibt es neue Technologien, durch die Abwasserenergie genutzt werden kann. Dass die Technologien ausgereift sind, belegen Praxiserfahrungen vor allem aus der Schweiz. Hier sind in den letzten Jahren sehr viele Anlagen in Betrieb gegangen, die gute bis sehr gute Ergebnisse liefern.

Den entscheidenden Fortschritt erzielt die Entwicklung eines Wärmepumpen-Rekuperator-Systems mit automatischer Wärmeübertrager-Reinigung [57].

Auch Deutschland kann auf Erfahrungen verweisen. So betreiben die Stadtwerke Waiblingen bereits seit 1986 ein Heizwerk, das mehrere öffentliche und private Gebäude mit Wärme aus Abwasser versorgt. Die Energie aus Abwasser macht dabei einen Anteil von ca. 13 % aus. Weitere Anlagen wurden mittlerweile realisiert mit einem Anteil an der Energieerzeugung aus Abwasser von ca. 50 – 80 %. Für viele weitere Städte und Regionen wurden Projektstudien beauftragt und durchgeführt, die das Potential einzelner Standorte abklären [58].

Baden-Württemberg strebt seit Anfang 2010 mit der „Initialisierungsaktion Abwasser“ seiner Umweltministerin, Tanja Gönner, eine Vorreiterrolle an. Es gibt 20 interessierte Gemeinden, 10 davon haben bereits Aktivitäten durchgeführt. Dazu zählen 6 Potentialstudien, 4 Machbarkeitsstudien und 3 geplante oder im Bau befindliche Anlagen [59]. Thüringens Landeshauptstadt Erfurt sollte den Anschluss nicht verpassen.

Die im Abwasser enthaltene Wärmemenge ist größtenteils ungenutzt und belastet die Einleitungsgewässer thermisch. Dabei ist das Nutzungspotential sehr groß: Wenn Abwasser um 1 K abgekühlt wird, werden aus 1 m³ Abwasser 1,16 kWh Wärme gewonnen. Damit kann – unter Nutzung der Antriebsenergie – eine Wärmepumpe rund 1,5 kWh Nutzwärme bereitstellen. Im Vergleich dazu können aus dem gleichen Kubikmeter Abwasser in einer Kläranlage parallel zur Abwasserwärmenutzung etwa 0,05 m³ Faulgas mit einem Energiegehalt von rund 0,3 kWh (Primärenergie) erzeugt werden [60]. Das Schmutzwasser weist beim Austritt aus den Häusern in der Regel eine mittlere Temperatur von über 25 °C auf und hat in der Kanalisation im Jahresdurchschnitt 15 °C, d.h. im Sommer 18 °C bis 22 °C und im Winter 10 °C bis 12 °C.

Dies genügt für die Warmwassererzeugung und die Heizung bei Neubauten, wobei eine Wärmepumpen-Leistungszahl von 3,1 bei einer Nutztemperatur von 65 °C und 5,2 bei einer Nutztemperatur von 40 °C erreicht wird. Im Prozessbereich weist das Abwasser in der Regel wesentlich höhere Temperaturen auf als in der öffentlichen Kanalisation. Aus diesem Grund bestehen häufig Auflagen, die Temperatur des eingeleiteten Abwassers auf ein Mindestmaß abzusenken. Gerade in diesem Bereich besteht also ein großes Potential für die Rückgewinnung und Nutzung dieser Wärmeenergie.

Die zentralen Größen zur Ermittlung des Kühlpotentials im Abwasser sind grundsätzlich dieselben wie bei der Abwärmenutzung: Wassermenge und Temperatur (bzw. nutzbare Temperaturdifferenz). Dennoch ergeben sich Unterschiede: Bei der nutzbaren Temperaturdifferenz kann in vielen Fällen von einem weitaus größeren Wert ausgegangen werden, als von den 0,5 K, die für die Wärmenutzung gelten. Der Grund liegt darin, dass der Reinigungsprozess von Abwasserreinigungsanlagen (ARA) auf höhere Wassertemperaturen kaum sensibel reagiert. Als limitierender Faktor bezüglich der Erwärmung des Abwassers durch Kältenutzung müssen dafür die Vorgaben der Gewässerschutzverordnung des Bundes beachtet werden. Diese besagen, dass die Wassertemperatur des Flusses oder Bachs, in welchen das gereinigte Abwasser eingeleitet wird, infolge der Einleitung nicht um mehr als 3 K (in Forellenregionen um 1,5 K) und absolut betrachtet am Ort der Einleitung oder an einer anderen weiter flussabwärts liegenden Stelle nicht über den Wert von 25 °C ansteigen darf. Da die Abwassermenge bei den meisten ARA deutlich kleiner ist als die Wassermenge des Gewässers, in das eingeleitet wird, kann das Abwasser zum Zweck der Kühlung in der Regel problemlos um mehrere Grad erwärmt werden [61].

2.3.3.3 Grenzen

Für die Wärmerückgewinnung aus Abwasser bedarf es einer Mindestabwasserdurchflussmenge von 15 l/s im Tagesmittel, eines Heizwärmebedarfs im 200-m-Umkreis des Abwassersammlers von mehr als 150 kW und eines Leitungsdurchmessers des Abwasserkanals größer 800 mm. Dies ist in der Regel nur in dicht besiedelten Gebieten (5.000 – 10.000 Einwohner an einem Abwasserkanal) der Fall. Die Passung des Abwasseraufkommensprofils zum Wärmebedarfsprofil verbessert den Wirkungsgrad der Wärmepumpe und damit die Effizienz der Gesamtanlage deutlich.

Neben dem Abwasseraufkommen (Anzahl der Einwohner) spielt auch das Längsgefälle des Abwasserkanals und die damit korrespondierende Fließgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle. Beides sind voneinander abhängige Größen in Bezug auf die Machbarkeit einer Wärmerückgewinnungsanlage.

Der maximale Entzug von Wärme im Abwasserkanal ist begrenzt (< 1 K und insgesamt nicht unter 10 °C ³ vor der Kläranlage, wobei sich das Abwasser durch das umgebende Erdreich wieder erwärmt), da die Abwassertemperatur maßgeblich den Wirkungsgrad der biologischen Abwasserreinigungsprozesse beeinflusst und eine Absenkung der Temperatur im Zulauf auch zur Verringerung der Reinigungsqualität führt. Der Entzug von Wärme kann gerade im Winter zu einem erhöhten Energiebedarf für die Rohschlammaufheizung führen, wenn dieser nicht direkt über die Abwärme aus dem Klärgas-BHKW gedeckt ist. Eine größere Temperaturdifferenz ist möglich, wenn das Abwasser vor Einleitung in den Abwasserkanal (im Haus selbst) zwischengesammelt und Wärme entzogen wird. Allen voran sind hier Schwimmbäder besonders dafür geeignet, da sie in der Regel alle Bedingungen erfüllen.

Die Zugabe von Wärme (im Kühlfall) ist im Fall der Zugabe vor der Kläranlage zwar nicht direkt beschränkt, da Wärme zur Stimulierung der biologischen Prozesse bei der Abwasserreinigung beiträgt. Es kommt aber zur Entstehung von üblen Gerüchen („faule Eier“) und auch zu Korrosion auf Grund der Bildung von H_2S , so dass bei einer Machbarkeitsstudie diese Aspekte im Detail untersucht werden müssen. Bei Einleitung des gereinigten Abwassers in ein Gewässer dürfen 3 K (in Forellenregionen um 1,5 K) absolut betrachtet am Ort der Einleitung oder an einer anderen weiter flussabwärts liegenden Stelle 25 °C nicht überschritten werden.

Der Einbau des Wärmeübertragers in den Kanal muss sorgfältig und ohne jegliche Kanten erfolgen, sonst kommt es zu übermäßiger Feststoffanlagerungen, was letztlich den Wirkungsgrad des Wärmeübertragers, zusätzlich zur Einschränkung durch die sogenannte Sichelhaut, weiter verschlechtert. Die hydraulische Leistungsfähigkeit muss

³ gemäß Abwasserverordnung zur Sicherstellung der Nitrifikation im Winter

gegeben sein. Einschränkungen auf kurzen Strecken sind jedoch zulässig. Bei eingeschränkter Leistungsfähigkeit könnten neue Methoden (Heatliner = Wärmeübertragermatten) zum Einsatz kommen und damit auch in Netzrandbereichen und kleineren Netzen eine Wärmerückgewinnung aus Abwasser möglich machen.

Eine Wärmerückgewinnung aus einer reinen Regenwasserentwässerung ist technisch zwar einfacher, aber auf Grund des unregelmäßigen Aufkommens unwirtschaftlich. Bei Mischkanalisation ist zu beachten, dass es zu schlagartiger Abkühlung bei Einleitung von Regen- und/oder Schmelzwasser kommt.

2.3.3.4 Vor- und Nachteile

Die Vorteile der Nutzung der Abwasserwärme sind [62]:

- Es ist eine langfristig sichere Energiequelle, da Abwasser immer anfällt.
- Das Wärmeangebot ist ständig und in großer Menge verfügbar.
- Wärmepumpen erzielen mit der Wärmequelle Abwasser eine hohe Leistung.
- Wärmepumpen ermöglichen eine Doppelfunktion: Heizen und Kühlen.
Das Abwasser kann als Wärmequelle wie auch als Wärmesenke genutzt werden.
- Die Technologie ist ab einem Kanaldurchmesser von 80 cm anwendbar.
- Bei Kanalneubau liegt das Minimum sogar nur bei 50 cm.
- Durch neue Technologien werden auch kleinere und Netzrandbereiche nutzbar.
- Die Technologie ist erprobt und steht an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit.
- Zählt zur sogenannten Umweltwärme nach EEWärmeG. Unter dem Begriff Gewässer wird die aus dem Abwasser gewonnene Wärme inkludiert.
- Transportverluste der rückgewonnenen Wärme sind geringer als bei Hochtemperaturfernwärme.
- Zwischensammlung ist direkt am Ort der Entstehung möglich (höchstes Potential).
- Thermische Entlastung der Einleitungsgewässer (im Heizfall)

Erfurt muss ständig Ausbesserungs- und Abdichtarbeiten von porösen Mauerwerksfugen an den alten Kanalrohren der Stadt durchführen. Daher ist ein für Erfurt besonders interessanter Vorteil, dass:

- in Verbindung mit einem nachträglichen Einbau eines Wärmeübertragers, der gleichzeitig die Kanalsole abdeckt, die Instandhaltungsintervalle deutlich vergrößert werden könnten.

Bei Beachtung der Grenzwerte und Randbedingungen treten die möglichen Nachteile der Abwasserwärmenutzung (z.B. plötzliche Senkung der Abwassertemperatur durch Niederschlags- und Schmelzwasser bei einer Mischkanalisation) kaum auf. Letzteres Ereignis spart möglicherweise die Spülung zur Reaktivierung des Wirkungsgrades des Wärmeübertragers. Neue Technologien der Wärmeübertrager sind nicht so anfällig für die Einschränkungen aus der Sielhautbildung. Bei privater Nutzung ist dem Eigentumsverhältnis im Kanalnetz sowie der Wartung besondere Beachtung zu schenken.

2.3.3.5 Analyse von Potentialen in Erfurt

Abwasser ist eine weitgehend unentdeckte Energieressource, die erneuerbar und lokal vorhanden ist. Um Wärme aus dem Abwasser zur Gebäudebeheizung zu nutzen, wird mit in der Kanalisation installierten Wärmtauschern das Abwasser minimal abgekühlt und die Wärme auf ein im Wärmeübertrager zirkulierendes Medium übertragen. Dieses wird über eine sogenannte „kalte Fernleitung“ zu einer im Gebäude stationierten Wärmepumpe geführt. Es können ausreichend hohe Temperaturen zur Warmwasseraufbereitung bzw. zur Nutzung für die Gebäudeheizung mit der Wärmepumpe erzeugt werden. Das System kann im Sommer mit zur Erzeugung von Kaltwasser für Klimaanlage angewendet werden.

Für das Errichten einer solchen Abwasserwärmenutzungsanlage müssen bestimmte Kriterien für die Standortermittlung bestimmt werden. Bei genauer Betrachtung des ca. 845 km langen Kanalnetzes der Stadt Erfurt können nur einige Abschnitte von Hauptsammlern auf Grund ihrer Kanalgeometrie und der vorhandenen Abwassermenge die Kriterien für einen Wärmeübertragereinbau erfüllen.

Die Kläranlage Erfurt-Kühnhausen reinigt fast das gesamte Abwasser im Einzugsgebiet des Entwässerungsbetriebes. Das im Kanalnetz gesammelte Abwasser wird mechanisch, chemisch sowie biologisch behandelt und danach in den Flusslauf der Gera abgeleitet. Die Kapazität der Kläranlage beträgt maximal 83.000 m³/d. Bei der Analyse einer typischen Trockenwetterganglinie für die Stadt Erfurt beträgt der nächtliche Mindestdurchfluss zwischen 4 und 6 Uhr ca. 1.000 m³/h. Das Maximum wird zwischen 11 und 12 Uhr mit ca. 2.400 m³/h erreicht. Im Mittel kommen für dieses typische Beispiel in der Kläranlage 528 l/s an.

Die Temperatur des anfallenden Abwassers beträgt im Jahresmittel circa 15 °C. In den Wintermonaten fällt die Abwassertemperatur nicht unter 11 °C. Damit ist sie ausreichend hoch, um Wärme aus dem Abwasser zur Gebäudebeheizung zu entziehen, ohne dabei eine zu große Abkühlung der Wärmequelle zu bewirken. Die biologische Reinigung in der Kläranlage Erfurt-Kühnhausen wird erst bei einer Wassertemperatur unter 10 °C negativ beeinflusst.

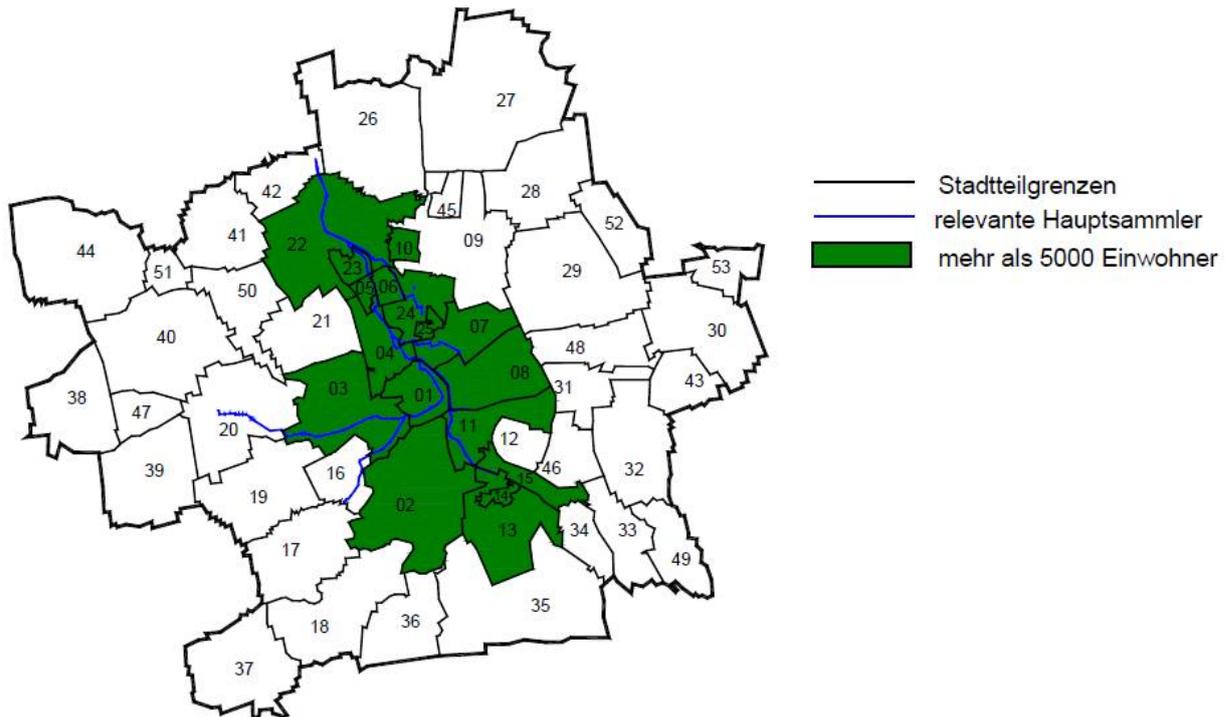


Abbildung 2–21: Für Abwasserwärmenutzung relevante Stadtteile von Erfurt

Die für die Abwasserwärmenutzung notwendige Bevölkerungsdichte ist nur in dem zentralen Stadtgebiet von Erfurt gegeben (Abbildung 2–21). In diesen Gebieten befinden sich auch die unterirdischen Hauptsammler, die einen Kanaldurchmesser von mindestens 800 mm aufweisen. Auf Grundlage der Kanalgröße und der angeschlossenen Einwohnerzahlen lässt sich abschätzen, in welchen Bereichen die 15 l/s Trockenwetterabfluss eingehalten werden. Dabei kommen nach dem Entwässerungsbetrieb der Stadt Erfurt Abschnitte der Hauptsammler mit den Bezeichnungen HS 1, HS 5, HS 10, HS 13, HS 15 und HS 16 in Betracht. Durch neue Anschlüsse der Randgebiete an die Hauptsammler HS 17 und HS 20 können diese dann ebenfalls zur Nutzung der Abwasserwärme herangezogen werden.

Neben den Anforderungen an die Wärmequelle müssen auch die Wärmenutzer bestimmte Anforderungen erfüllen. Im Umkreis von 200 m zu den geeigneten Kanalabschnitten sind laut dem Amt für Hochbau und Gebäudeverwaltung, Technische Gebäudeausrüstung in Erfurt 30 potentielle Abnehmer in Form von öffentlichen Gebäuden vorhanden, die einen Heizleistungsbedarf von über 150 kW aufweisen.

Diese wurden mittels nachfolgend erläuteter Kriterien bewertet, aufsummiert und in einer absteigenden Rangfolge sortiert. Das Ergebnis ist in Tabelle 2–10 dargestellt. Die Tabelle beinhaltet ferner den jeweiligen Medienanschluss, dessen Leistung und die Randbedingungen der Abwasserentsorgung.

Kurz vor der Kläranlage Kühnhausen fließt fast das gesamte Abwasser der Stadt Erfurt durch die Kanalisationsrohre. Damit steht ein ausreichender Volumenstrom für die Erwärmung des im Wärmeübertrager zirkulierenden Mediums ständig zur Verfügung, während im südlichen Bereich von Erfurt nur ein Teilgebiet der Stadt Abwasser liefert, was genutzt werden kann. Deshalb werden die nördlichen Standorte höher bewertet als die im Süden liegenden.

Zur Reduzierung der Sielhautbildung kann das vorhandene Kanalgefälle beitragen, da bei einem ausreichend großen Gefälle eine schnellere Abflussgeschwindigkeit über die Wärmeübertrageroberfläche auftritt. Durch diese größere Abwassergeschwindigkeit wird die schädliche Sielhautbildung minimiert und die Wärmeübertragung begünstigt. Allerdings würde ein zu steiles Gefälle eine zu geringe Kontaktzeit des Abwassers mit der Wärmeübertrageroberfläche bedeuten. Für einen im Kanalrohr eingebauten Wärmeübertrager wird ein Gefälle von 1 ‰ bis 6 ‰ empfohlen. Kanalabschnitte mit einem Gefälle von rund 3 ‰ bis 6 ‰ sind höher eingestuft als darunter liegende. Kanalabschnitte mit einer zu geringen oder zu steilen Neigung werden mit 0 gekennzeichnet.

Eine dauerhafte Verwendung der Abwasserwärme ist wirtschaftlicher als eine Nutzung, die in bestimmten Monaten eingeschränkt wird, z.B. in Schulen, wo durch lange Ferien die Anlage im reduzierten Betrieb läuft. Bei geringer Nutzung wie bei einer einzelnen Turnhalle würden die Kosten für einen Wärmeübertragereinbau mit Anschluss an eine Wärmepumpe nicht gerechtfertigt werden. Solche Gebäude sind mit 0 markiert worden. Schulen, die ständig (und nur in den Ferien reduziert) genutzt werden, sind mit 1 und Gebäude mit Büros, die für eine ganzjährige Nutzung stehen, mit 2 gekennzeichnet.

Durch die Einsparung von Öl oder Gas, welches größtenteils für die Gebäudeheizung genutzt wird, verringern sich die CO₂-Emissionen. Die Einsparung ist bei Ölheizungen größer als bei Erdgasheizungen und bei Abwasserwärmenutzungsanlagen auf Grund des hohen Anteils der Verwendung von vorhandener Umweltwärme am geringsten. Auf Grund der möglichen Verringerung des CO₂-Ausstoßes bei einem Umbau der bestehenden Heizanlagen werden Gebäude mit vorhandenen Ölkesseln am höchsten mit 2 gekennzeichnet, Erdgaskessel im Mittel mit 1 und Fernwärmeanschlüsse mit 0.

Die Heizleistung, die ein Abnehmer fordert, sollte für einen wirtschaftlichen Nutzen 150 kW nicht unterschreiten. Bei einer zu hohen Heizleistung ist zu prüfen, ob der in der Nähe befindliche Kanalabschnitt diese Forderung erfüllen kann und genügend warmes Abwasser führt. Wegen hoher Investitionskosten sind große Wärmeübertragerflächen und damit eine große Anzahl an zu installierenden Wärmeübertragerelementen zu vermeiden. Ein mittlerer Bereich von 250 bis 600 kW Heizleistung ist daher am günstigsten und wird mit 2 eingestuft, Abnehmer im darunter liegenden Bereich mit 1 und die darüber liegenden mit 0.

Der Abstand zwischen dem zur Nutzung bereitstehenden Kanalabschnitt und dem Abnehmer ist ein entscheidender Kostenfaktor. Bei großem Abstand ist es nötig, längere Strecken mit Versorgungsleitungen zu verlegen. Dieses treibt die Investitionskosten in die Höhe, besonders im Fall von wärmegeprägten Rohren, die aber nur beim warmen Nahwärmenetz eingesetzt werden. Um diese Kosten so gering wie möglich zu halten und damit die wirtschaftliche Nutzung der Abwasserwärme zu ermöglichen, ist dieses Kriterium doppelt in die Wertung eingegangen. Abnehmer mit einem geschätzten Abstand zwischen Kanal und Gebäude von unter 50 m werden mit 4 markiert, ein Abstand bis 100 m mit 2 und alle weiter entfernten Abnehmer mit 0. Sonderstellung erhalten potentielle Abnehmer mit nicht gerader Linienführung des Kanals, da hierbei ein Einbau eines Kanalwärmeübertragers schwer zu vollziehen ist.

Das Gebäude 14 liegt direkt an einem Hauptsammler, dieser ist aber rund zwischen den Schächten gemauert und daher nicht besonders geeignet. Um die Abwasserwärme auch für diesen Abnehmer zur Verfügung zu stellen, muss ein weiter entfernter Kanal genutzt werden. Eventuell ist eine Überprüfung für die Anwendung eines externen Wärmeübertragers durchzuführen.

Tabelle 2–10: Rangordnung der identifizierten Standorte

Rang	Nr.	Nutzung	Adresse	Medium Leistung in kW	Kanalgröße, -form, -material
1	2	Berufsbildende Schule 1 Turnhalle	Am Fließchen 10 99091 Gispersleben	Erdgas 610	DN 2000 Kreisprofil, OB
2	1	Gisperslebener Schule Staatliche Grundschule 20 Schulgebäude, Turnhalle	Gubener Straße 20 99091 Gispersleben	Erdgas 480	DN 2000 Kreisprofil, OB
3	3	Berufsbildende Schule 1 Internat	Am Fließchen 9 99091 Gispersleben	Erdgas 250	DN 2000 Kreisprofil, OB
4	16	Umwelt- und Naturschutzamt	Stauffenbergallee 18 99085 Kämpfervorstadt	Fernwärme 306	900/1350 Eiprofil, B
5	17	Haus der sozialen Dienste	Juri-Gagarin-Ring 15 99084 Altstadt	Fernwärme 560	1740/1740 Parabelpr., Ma
6	4	Schulsporthalle	Lobensteiner Straße 50 99091 Moskauer Platz	Fernwärme 350	DN 2000 Kreisprofil, OB
7	11	Ordnungsamt	Friedrich-Engels-Str. 27a 99086 Johannesvorstadt	Erdgas 465	1600/2400 Eiprofil, Ma
8	22	Schulgebäude Turnhalle	Juri-Gagarin-Ring 126 99084 Altstadt	Fernwärme 312	1140/1710 Eiprofil, Ma 1700/1710 Parabelpr., Ma

Rang	Nr.	Nutzung	Adresse	Medium Leistung in kW	Kanalgröße, -form, -material
9	6	Berufsschule	Mainzer Straße 24 99089 Rieth	Fernwärme 279	DN 1200 Kreisprofil, SB
10	15	Schulgebäude Turnhalle	Karlstraße 10a 99089 Andreasvorstadt	Erdgas 400	930/1395 Eiprofil, Ma
11	23	Berufsbildende Schule	Müfflingstraße 5 99084 Altstadt	Erdgas 560	1700/1710 1900/1910 Parabelpr., Ma
12	28	Grundschule Gesamtschule	Wilhelm-Leibl-Straße 1 Am Schwemmbach 10 99096 Daberstedt	Fernwärme 800	DN 1000 Kreisprofil, B
13	8	Radrennbahn	Riethstraße 29 99089 Andreasvorstadt	Fernwärme 219	DN 2000 Kreisprofil, OB
14	20	Stadtmuseum	Johannesstraße 169 99084 Altstadt	Fernwärme 139	1700/1710 Parabelpr., Ma
15	9	Schulgebäude Turnhalle	Riethstraße 28 99089 Rieth	Heizöl 610	DN 2000 Kreisprofil, OB
16	18	Berufsbildende Schule	Leipziger Straße 15 99085 Krämpfervorstadt	Fernwärme 600	800/1200 Eiprofil, Ma
17	14	Schulgebäude Turnhalle	Nettelbeckufer 25 99089 Ilversgehofen	Heizöl 610	1950/1960 Parabelpr., Ma
18	24	Kindereinrichtung	Dalbergsweg 17a 99084 Brühlervorstadt	Fernwärme 215	DN 600* Kreisprofil, B
19	21	Verkehrsamt	Johannesstraße 173 99084 Altstadt	Fernwärme 155	1700/1710 Parabelpr., Ma
20	10	Kindereinrichtung	Fuchsgrund 32 99089 Ilversgehofen	Erdgas 340	1960/1780 Kreisprofil, Ma
21	5	Kindereinrichtung	Lowetscher Straße 42b 99089 Rieth	Fernwärme 240	DN 2000 Kreisprofil, OB
22	13	Schulgebäude Turnhalle	Rosa-Luxemburg-Str. 49 99086 Johannesvorstadt	Heizöl 610	1600/2400 Eiprofil, Ma
23	7	Gymnasium	Vilniuser Straße 19 99089 Rieth	Fernwärme 425	DN 2000 Kreisprofil, OB
24	30	Förderzentrum Erfurt-Süd Waidschule	Muldenweg 10 99099 Melchendorf	Erdgas 360	DN 800 Kreisprofil, B
25	25	Schulgebäude	Kartäuserstraße 50 99084 Brühlervorstadt	Fernwärme 310	DN 600* Kreisprofil, B
26	19	Kindereinrichtung	Lindenweg 6 99084 Altstadt	Fernwärme 195	1700/1710 Parabelpr., Ma

Rang	Nr.	Nutzung	Adresse	Medium Leistung in kW	Kanalgröße, -form, -material
27	27	Schulgebäude	Hirnzigenweg 31 99099 Daberstedt	Fernwärme 320	DN 1000 Kreisprofil, B
28	26	Turnhalle	Kartäuserstraße 50 99084 Brühlervorstadt	Fernwärme 152	DN 600* Kreisprofil, B
29	29	Grundschule	Scharnhorststraße 41 99099 Herrenberg	Fernwärme 480	DN 800 Kreisprofil, B
30	12	Schulgebäude	Eugen-Richter-Straße 22 99085 Johannesvorstadt	Heizöl 610	1600/2400 Eiprofil, Ma
* DN 600 erfordert einen Kanalneubau mit integriertem Wärmeübertrager (vorhandenes Gefälle: 3 – 4 ‰, Q > 15 l/s)					
Ma = Mauerwerk, B = Beton, OB = Ortbeton					

Bei den Standorten mit den Nummern 6, 24, 25 und 26 ist zu beachten, dass sie erst in naher Zukunft als Abnehmer in Betracht kommen, nachdem einige Teilgebiete von Erfurt noch an die Hauptsammler angeschlossen wurden und damit der Mindestdurchfluss von 15 l/s garantiert werden kann.

Mit den in der Abschlussarbeit von Frau Ines Benkert [63] detailliert durchgeführten Betrachtungen über das Kanalnetz und die angrenzenden Wärmeabnehmer konnte festgestellt werden, dass die Landeshauptstadt Erfurt einige potentielle Standorte (s. Abbildung 2–22, vgl. Tabelle 2–10) zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser besitzt. Zukünftig könnten auch noch einige weitere Standorte möglich werden, da das Erfurter Kanalnetz durch Neuplanungen und Anschlüssen von Gemeinden erweitert wird. Außerdem werden durch laufende Forschungsarbeiten, unter anderem an neuen Wärmeübertrager aus flexiblen Kunststoffmatten (Heatliner), die auch in den Randgebieten der Stadt eingesetzt werden können, neue Technologien entwickelt und neue Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung geschaffen.

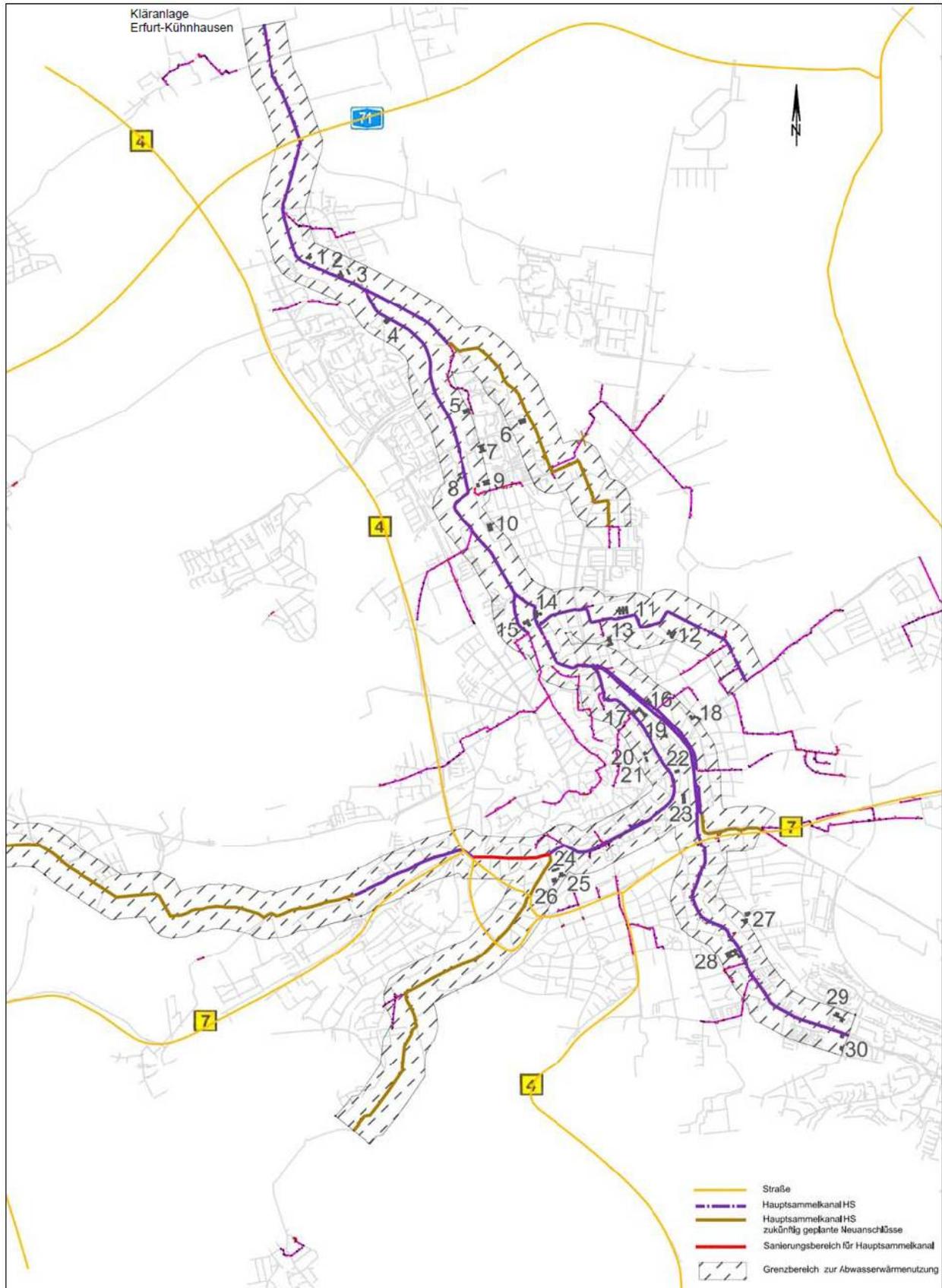


Abbildung 2–22: Standorte potentieller Abnehmer von Abwasserwärme

2.3.3.6 Beispiel

In der Abschlussarbeit von Frau Ines Benkert [63] ist an zwei Dimensionierungsbeispielen dargestellt, dass diese Gebäude mit Abwasserwärme beheizt werden könnten. Bei dem genauer betrachteten potentiellen Abnehmer, der Berufsbildenden Schule 1 in Gispersleben, könnte durch Nutzung des im anliegenden Hauptsammler 1 vorhandenen Abwassers mit einem 51 m langen Wärmeübertrager eine Heizleistung von 220 kW erzeugt werden. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, ein Wärmenetz zu errichten und das nebenstehende Internat der Berufsbildenden Schule ebenfalls mit Abwasserwärme zu versorgen.

Die in der Berufsbildenden Schule vorhandene Erdgasheizung ist für eine Leistung von 610 kW ausgelegt. Um eine ständige Versorgungssicherheit zu gewährleisten und eine geringere Schalthäufigkeit der Wärmepumpe und damit eine bessere Jahresarbeitszahl zu erreichen, wird eine bivalente Betriebsweise der Wärmepumpe mit dem Erdgaskessel gewählt. Die Wärmepumpe wurde auf 30 % bis 40 % der Spitzenlast ausgelegt. Es ergibt sich eine Wärmepumpenleistung von 220 kW. Dadurch wird eine Deckung von 70 bis 80 % des Gesamtjahreswärmebedarfs durch die Wärmepumpe erreicht. 20 bis 30 % werden vom Heizkessel erzeugt.

In der Nähe verläuft der aus Ortbeton hergestellte Hauptsammler HS 1 mit einem Durchmesser von 2.000 mm. Da sich der identifizierte Standort nicht weit von der Kläranlage entfernt befindet, wurde der Trockenwetterzufluss der Kläranlage herangezogen. Für die Dimensionierung wurde der geringste Nachtabfluss mit 283 l/s angesetzt. Bei dieser Abwassermenge ist ein ständig benetzter Umfang von 1,49 m im Kanal vorhanden. Die Temperatur des Abwassers verändert sich auf der kurzen Distanz zwischen der Berufsbildenden Schule und der Kläranlage kaum, weshalb die geringste Zulauf-temperatur der Kläranlage im Winter von 11,1 °C angesetzt wird. Um die biologische Reinigung in der Kläranlage nicht zu behindern, ist eine maximale Abkühlung des Abwassers durch den Wärmeübertrager von 1,1 K möglich.

Die für die angestrebte Wärmepumpenleistung notwendige Wärmeübertragerfläche wurde zu ca. 60 m² (17 Teile von 1,20 m Breite und einer Gesamtlänge von 51 m im HS 1) berechnet. Der benetzte Umfang des ständig überfluteten Teils des Wärmeübertragers beträgt 1,35 m. Da die Abkühlung des Abwassers durch den Wärmeübertrager mit 0,15 K unter der Grenze von 1 K liegt, sind keine Einschränkungen der biologischen Reinigung der Kläranlage zu erwarten.

Unter der Annahme von 1 GWh/a Heizwärmebedarf, Erdgasheizung ohne Brennwertechnik 227,7 g CO₂/kWh, Wirkungsgrad 0,9, COP Wärmepumpe 4,0, SWE Strom 330 g CO₂/kWh für das betrachtete Objekt liegen die Einsparungen von CO₂-Emissionen zwischen 119 t/a (70 % Deckung des Wärmebedarfs) und 136 t/a (80 % Deckung) gegenüber der alleinigen Erdgasheizung.

2.3.3.7 Fazit

Werden in Erfurt alle o.g. potentiellen Stellen, die Erdgas als Wärmequelle nutzen, mit der Abwasserwärmerückgewinnung für einen bivalenten Betrieb ausgerüstet, dann können bis zu 54 % der sonst anfallenden CO₂-Emissionen dieser Objekte gespart werden (Annahmen: 80 % Deckung des Gesamtjahreswärmebedarfs, Erdgasheizung ohne Brennwerttechnik 227,7 g CO₂/kWh, Wirkungsgrad 0,9, COP Wärmepumpe 4,0, SWE Strom 330 g CO₂/kWh). Bei den Objekten mit Fernwärmeanschluss (188 g CO₂/kWh, Wirkungsgrad 0,85) wären es bei den gleichen angenommenen Verhältnissen noch 50 %. Bedingt durch die höheren CO₂-Emissionen von Öl liegen die Einsparungen hier bei 62 % (Annahmen: 80 % Deckung am Gesamtjahreswärmebedarf, Ölheizung ohne Brennwerttechnik 290 g CO₂/kWh, Wirkungsgrad 0,8, COP Wärmepumpe 4,0, SWE Strom 330 g CO₂/kWh).

Tabelle 2–11: CO₂-Einsparpotential bei Abwasserwärmenutzung

Medium	Deckung (Medium/WP)	Potential der Einsparung von CO ₂ -Emissionen gegenüber dem Strommix		
		Stadtwerke Erfurt (330 g/kWh)	Deutschland (506 g/kWh)	Braunkohle- kraftwerk (982 g/kWh)
Erdgas mit BWT (202 g/kWh)	30/70	44 %	30 %	0 %
	20/80	51 %	35 %	-1 %
Erdgas ohne BWT (228 g/kWh)	30/70	47 %	35 %	2 %
	20/80	54 %	40 %	2 %
Fernwärme (188 g/kWh)	30/70	44 %	30 %	-8 %
	20/80	50 %	34 %	-9 %
Öl ohne BWT (290 g/kWh)	30/70	54 %	46 %	23 %
	20/80	62 %	52 %	26 %

Auch im Onlineforum wurde die Wärmerückgewinnung aus Abwässern diskutiert und positiv beurteilt.

Da die Abschätzung der CO₂-Einsparung abhängig von einem gegebenen Wärmebedarf ist, erfolgt in Tabelle 2–11 die Bewertung des Einsparpotentials durch Abwasserwärmenutzung lediglich in Prozentangaben. In Tabelle 2–12 wird das Einsparpotential am Beispiel der Berufsbildenden Schule 1 in Gispersleben näher betrachtet.

Tabelle 2–12: CO₂-Einsparpotential bei Abwasserwärmenutzung am Beispiel der Berufsbildenden Schule 1 in Gispersleben

Medium	Deckung (Medium/WP)	Potential der Einsparung von CO ₂ -Emissionen in t/a		
		Stadtwerke Erfurt (330 g/kWh)	Deutschland (506 g/kWh)	Braunkohle- kraftwerk (982 g/kWh)
Erdgas ohne BWT (228 g/kWh)	100/0	253	253	253
	30/70	134	164	248
	20/80	117	152	247

2.3.4 Photovoltaik und Solarthermie

2.3.4.1 Einleitung Solarthermie

Die Nutzung solarer Energie zur Erzeugung von Strom und Wärme ist im Vergleich zu anderen regenerativen Energien wohl eine der Energien mit dem größten Ausbaupotential. Der größte Teil der regenerativen Stromerzeugung (4 % vom Gesamtstrombedarf) wird in Erfurt momentan mittels Windkraftanlagen gedeckt. Der Prozess der Umwandlung von Windkraft in Elektroenergie ist derzeit mit eine der effektivsten Möglichkeiten zur Nutzung regenerativer Energie und nimmt mit 33 % einen großen Teil der regenerativen Stromproduktion ein, während die Solarenergie hierbei nur ca. 10 % abdeckt und hinsichtlich des Gesamtstrombedarfs für Erfurt nur marginale 0,4 %. Das in Frage kommende nutzbare Ausbaupotential der Windenergie für den Raum Erfurt ist auf Grund standortabhängiger Größen wie Windgeschwindigkeiten und Lärmpegel begrenzt und in naher Zukunft erschöpft.

Für die Region Erfurt ist auf dem Sektor der Solarenergienutzung das technische Wachstumspotential mit am größten.

Erfurt hat gerade im städtischen Bereich ein großes Potential an nutzbaren Dachflächen, welche einerseits zur Stromerzeugung mittels Photovoltaikmodulen und andererseits zur Wärmeerzeugung durch Solarthermie genutzt werden können.

Auch die Nutzung eines Teils der landwirtschaftlichen Fläche zur Installation von Freiflächenanlagen für Photovoltaik und Solarthermie wird für die Maßnahmenentwicklung in Betracht gezogen.

Somit werden im Folgenden verschiedene Maßnahmen bzw. Szenarien entwickelt, um die vorhandenen Potentiale für die Stadt Erfurt aufzuzeigen und diese bezüglich ihrer Realisierungsmöglichkeit zu bewerten.

Grundlage für die Ermittlung der Potentiale für Aufdachanlagen ist das Solarkataster für Erfurt. Das Solarkataster wurde durch die Firmen Aerowest und simuPLAN auf Basis einer 2006 stattfindenden Befliegung erstellt. Für die so ermittelten Dachflächen wurde unter Einbeziehung des Jahresverlaufs der Solarstrahlung wie auch von Trübungsständen das Solarstrahlungspotential simuliert.

Die Verschattungssituation der Dachflächen wird grundsätzlich berücksichtigt. Nicht enthalten sind allerdings kleinteilige Dachaufbauten und Dachformen unterhalb einer bestimmten Größe. Dazu gehören in der Regel auch Gaupen.

Je nach Ausrichtung und Neigung der Dachflächen wurden die Flächen in drei verschiedene Eignungsklassen eingeordnet:

- Eignungsklasse 1: Einstrahlung > 900 kWh/(m²a)
- Eignungsklasse 2: Einstrahlung > 1.000 kWh/(m²a)
- Eignungsklasse 3: Einstrahlung > 1.050 kWh/(m²a)

Dabei handelt es sich um die mittlere Strahlungsmenge (inkl. Verschattung) auf der Dachfläche in kWh/m² pro Jahr bei optimaler Aufständigung für Flachdächer.

Für die somit in Frage kommenden Dachflächen liegen keine Auskünfte über die Zulässigkeit einer Solaranlage und über Voraussetzungen wie Statik, Netzanbindung oder Wirtschaftlichkeit vor.

Grundlage für die Maßnahmen hinsichtlich Photovoltaik- und Solarthermie-Freiflächenanlagen in der Peripherie Erfurts sind Flächendaten des Thüringer Landesamts für Statistik (TLS). Hierbei handelt es sich um aktuelle Nutzflächen der Landwirtschaft. In den folgenden Szenarien werden diese Flächen zu bestimmten prozentualen Anteilen genutzt – bis hin zu einem 100-%-Szenario – simuliert. Die Szenarienbildung erfolgt ohne Berücksichtigung der Akzeptanz durch die Bevölkerung oder jeglicher anderer Nutzung dieser Flächen.

Diese Szenarien sollen das vorhandene Potential aufzeigen und die damit verbundenen Erträge, welche schon bei verminderter Nutzung dieser Flächen relativ hoch sind.

2.3.4.2 Potentiale der Solarthermie

Solarthermie bezeichnet die Umwandlung von Solarstrahlung in Nutzwärme, mittels sogenannter Solarkollektoren. Die dadurch erzeugte Nutzwärme wird in der Regel zur Brauchwarmwassererwärmung und gelegentlich zur Unterstützung der Raumheizung genutzt. Weitere Anwendungsfälle sind die Erwärmung von Schwimmbädern oder die Warmluftterzeugung zu Trocknungs- und Heizungszwecken.

Die Solarkollektoren lassen sich in zwei Hauptgruppen – Flachkollektoren und Vakuumkollektoren – unterteilen. Auf technische und funktionale Unterscheidungsmerkmale soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

In den entwickelten Maßnahmen wird ausschließlich die Warmwasserbereitung durch Solarthermie betrachtet, da hier auf Grund des relativ konstanten Warmwasserbedarfs eines Haushaltes die Voraussetzungen am günstigsten sind. Zumindest gibt es im Sommerhalbjahr bei den meisten Gebäudegruppen eine Deckung des geforderten Warmwasserbedarfs.

Der Berechnung des Ertrages liegen gewisse Randbedingungen bzw. Einflussfaktoren zugrunde.

Zunächst ist der Wirkungsgrad zu nennen. Der Wirkungsgrad einer solarthermischen Anlage ist das Verhältnis der auftreffenden Sonnenenergie zur nutzbaren thermischen Energie. Wenn der Absorber und die Umgebung die gleiche Temperatur haben, wird der optimale Wirkungsgrad erreicht. Dieser wird auch als optischer Wirkungsgrad bezeichnet und liegt durchschnittlich zwischen 0,7 und 0,85.

Des Weiteren gibt es den sogenannten Wärmeverlustkoeffizient. Dieser Zahlenwert drückt aus, wie hoch der Wärmeverlust pro Quadratmeter Kollektorfläche und Grad Temperaturunterschied ist. Hierfür wird ein Wert zwischen 2 und 5 W/m² angenommen.

Der wohl wichtigste Einflussfaktor auf den Ertrag von solarthermischen Anlagen ist die über das Jahr zur Verfügung stehende Solarstrahlung. Für die Ermittlung des Jahresertrages wurden die im Solarkataster simulierten durchschnittlichen Strahlungsdaten für ein Jahr benutzt. Für den beispielhaften Vergleich des monatlichen Verlaufs von Bedarf zu Ertrag für bestimmte Gebäudegruppen wurden, wie in Abbildung 2–23 ersichtlich ist, Strahlungskarten des DWD [49] für das Jahr 2009 verwendet, um eine mögliche monatliche Bedarfsdeckung zu ermitteln.

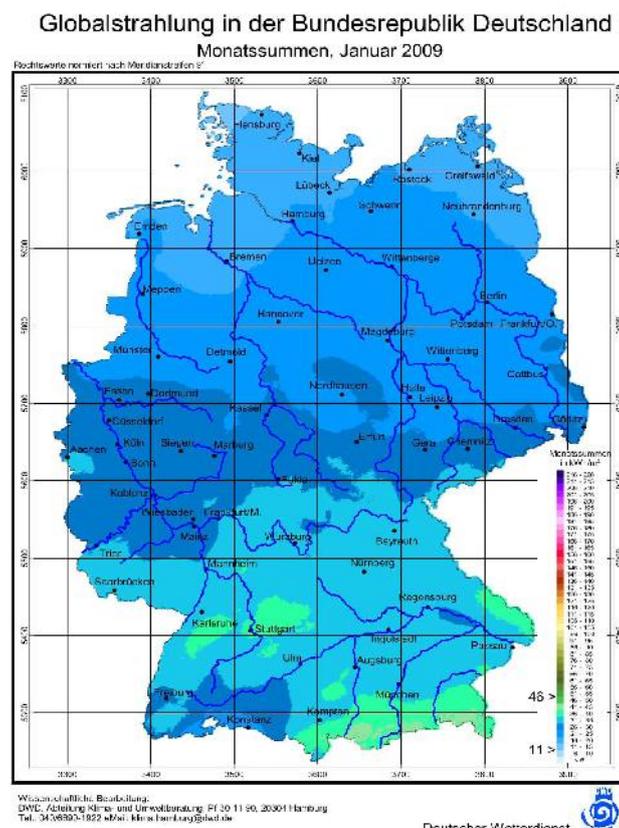


Abbildung 2–23: Globalstrahlungskarte DWD: Deutschland; Januar 2009

Solarthermische dezentrale Anlagen

Auf dem Sektor der solarthermischen dezentralen Anlagen (also Aufdachanlagen) befinden sich laut Solaratlas [47] für den Raum Erfurt momentan etwa 432 Anlagen in Betrieb. Diese Anlagen haben eine Gesamtfläche von 3.650 m². Dem gegenüber steht eine potentiell nutzbare Fläche von etwa 4.878.232 m² [48]. Daran ist das enorme Potential, welches auf Erfurts Dachflächen vorhanden ist, bereits erkennbar.

Um ein Potential für den möglichen Warmwasserertrag zu ermitteln, muss zuerst ein ungefährender Gesamtwarmwasserbedarf für Erfurt bestimmt werden. Die dafür notwendigen Annahmen sind in Tabelle 2–13 dargestellt.

Tabelle 2–13: Annahmen für den Jahreswarmwasserbedarf

Einwohner	200.000 Personen
Bedarf pro Person	50 l/(Person·d)
Zeitraum	365 d
Erwärmung um	50 K
Wärmekapazität	1,16 Wh/(kg·K)
Bedarf	3.650.000 m ³
WW-Bedarf	211,7 GWh/a

Somit ergibt sich nach Gl. 2-3 ein Warmwasserbedarf für Erfurt von 211,7 GWh/a.

$$Q_{WW} = n_{Personen} \cdot V_{Person} \cdot d \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{Gl. 2-3}$$

Q_{WW}	Warmwasserbedarf
$n_{Personen}$	Anzahl Personen
V_{Person}	Verbrauch pro Person und Tag
d	Tage
c_p	spezifische Wärmekapazität von Wasser
ΔT	Temperaturdifferenz

Somit ergibt sich für den Jahreswarmwasserbedarf für Erfurt:

$$Q_{WW} = 200.000 \text{ Pers.} \cdot 50 \text{ l/(Pers.} \cdot \text{d)} \cdot 365 \text{ d} \cdot 1,16 \text{ Wh/(kg} \cdot \text{K)} \cdot 50 \text{ K} = 211,7 \text{ GWh/a}$$

Im nächsten Schritt wird der mögliche Ertrag berechnet. Auf Grundlage der im Solaratlas ermittelten Fläche von ca. 4,8 km², eines optischen Wirkungsgrads von 0,7 und eines Wärmeverlustkoeffizienten von 5 W pro Quadratmeter Kollektorfläche ergibt sich ein Ertrag von ca. 3.390 GWh/a. Somit ist schon bei einer Flächennutzung von etwa 7 % der theoretische Bedarf gedeckt.

Allerdings kommt es auf Grund des unterschiedlichen solaren Strahlungsangebotes im Laufe des Jahres meist nur in den Sommermonaten zur Deckung des Warmwasserbedarfs. Wie in Abbildung 2–24 ersichtlich ist, erreicht die Globalstrahlung in den Sommermonaten die höchsten Werte.

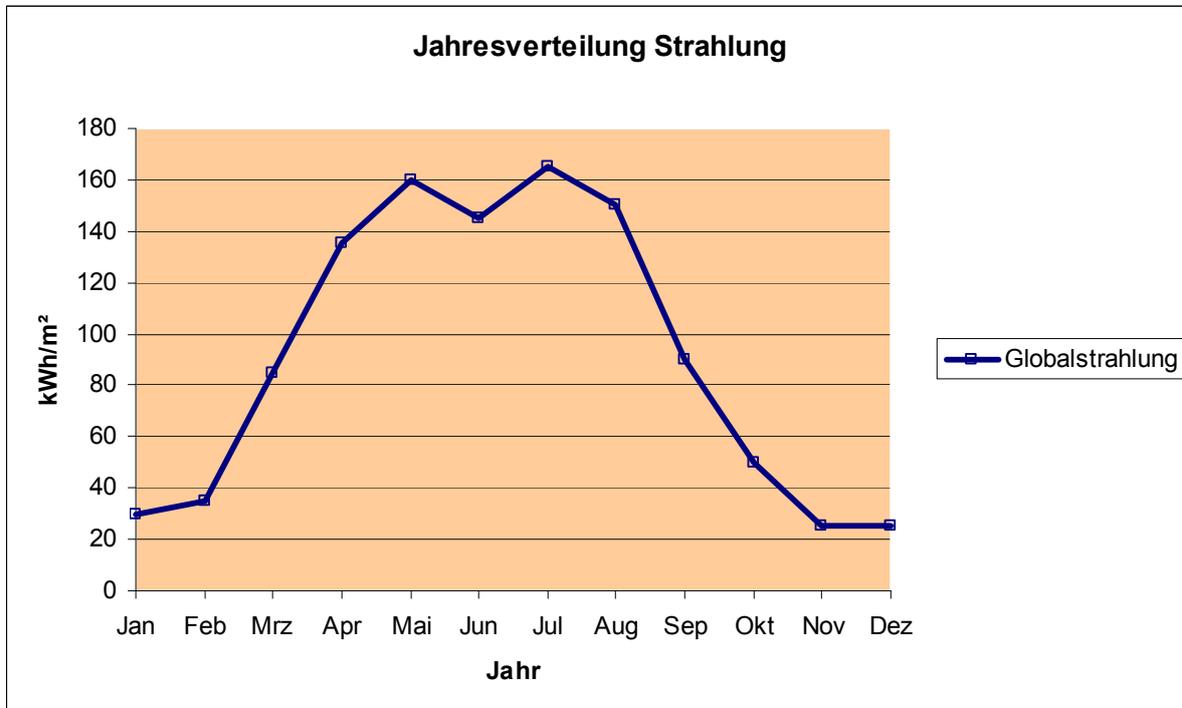


Abbildung 2–24: Globalstrahlung in Erfurt 2009

Für diesen Zeitraum ergab sich ein Ertrag von 1.571 GWh. Dem gegenüber steht ein für die Sommermonate Juni, Juli und August ermittelter Bedarf von 53,94 GWh. Obwohl der theoretische Gesamtbedarf in den Sommermonaten gedeckt wird, ist davon auszugehen, dass dies nicht für alle potentiellen Gebäude der Fall ist.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass mit dem jährlichen Ertrag von 3.390 GWh der Gesamtwärmebedarf für Erfurt von ca. 1.380 GWh ohne Probleme gedeckt werden könnte. Hierzu zählen die erzeugte Wärme durch Fernwärme und Erdgas. Diesbezüglich müssten Überlegungen zur effektiven Nutzung der Wärme angestellt werden.

Die Deckung des Warmwasserbedarfs wird nicht nur durch das vorhandene Strahlungsangebot beeinflusst, sondern hängt auch vom Verhältnis der potentiellen Dachfläche zur Anzahl der Mieter ab. In einem Punkthochhaus bspw. leben im Verhältnis zur relativ kleinen Dachfläche viele Mieter. Hier ist davon auszugehen, dass selbst in den Sommermonaten der Warmwasserbedarf nicht gedeckt werden kann, während bei einem fünfgeschossigen Stadthaus der Deckungsanteil des Warmwasserbedarfs voraussichtlich das ganze Jahr bei 100 % liegt. Dazu ist im Folgenden beispielhaft für häufig vorkommende Gebäudegruppen der monatliche Ertrag dem voraussichtlichen Bedarf gegenübergestellt.

Beispiel 1: 5 Etagen WBS 70

Das erste Beispiel ist ein in Erfurt häufig vorkommender 5-geschossiger Plattenbau WBS 70. Wie in Abbildung 1–7 ersichtlich ist, gibt es im Solarkataster eine dazugehörige eindigitalisierte bereinigte Dachfläche. In diesem Fall beträgt die ermittelte nutzbare Dachfläche 221 m². Zur Berechnung des Warmwasserbedarfs wird für die 40 Wohneinheiten eine Mieterdichte von 3 Personen pro Wohneinheit angenommen. Basis für die Bedarfsermittlung sind hierbei also 120 Personen. Alle anderen nötigen Annahmen, wie bspw. Verbrauch und Spreizung, werden der vorangegangenen Berechnung entnommen. Da es sich bei diesem Gebäude um ein Gebäude mit Flachdach handelt, ist für die Berechnung der effektiven Fläche ein Flächenverlustfaktor infolge Aufständering mit eingerechnet worden.

Die monatliche Berechnung basiert auf den zuvor erwähnten ausgewerteten Strahlungskarten des DWD für das Jahr 2009.

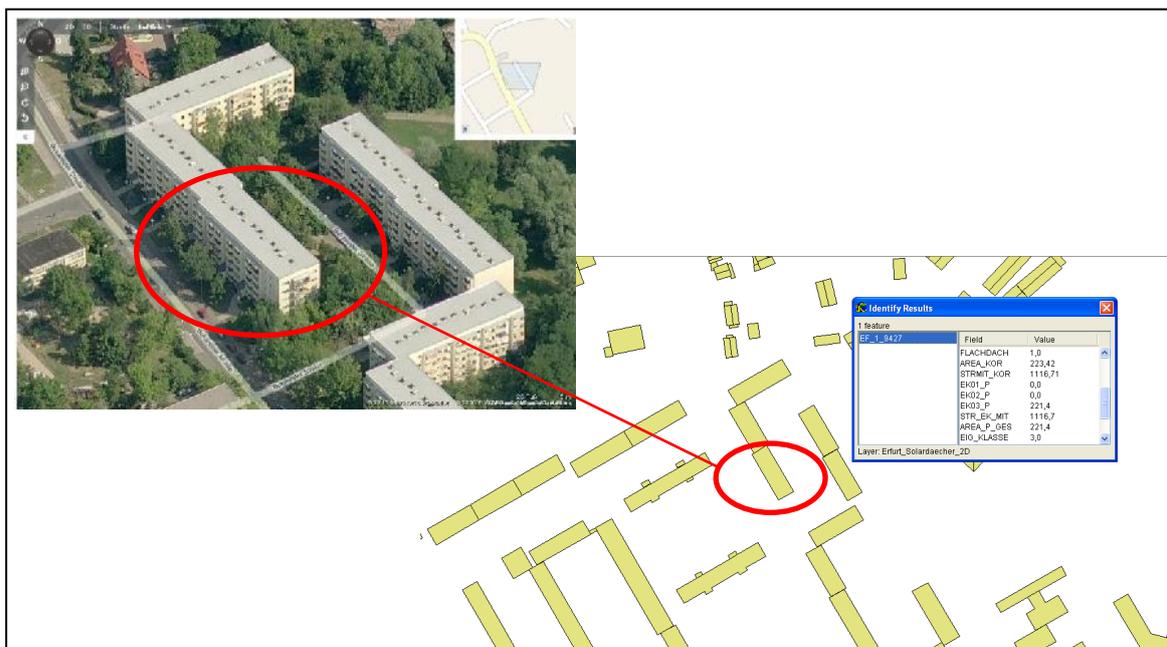


Abbildung 2–25: WBS 70 und dazugehörige ermittelte Dachfläche (GIS) [50]

Im Abbildung 2–26 ist der monatliche Verlauf für Bedarf und Ertrag dargestellt. Im Diagramm wie auch in Tabelle 2–14 ist ersichtlich, dass der Bedarf von März bis September durchweg gedeckt wird. In den Sommermonaten wird der Bedarf sogar zu 200 % gedeckt. In diesem Fall ist zu überlegen, einen Teil der überschüssigen Nutzwärme den anliegenden Liegenschaften zur Verfügung zu stellen. Des Weiteren bestünde die Möglichkeit, die solarthermische Anlage so zu dimensionieren, dass der maximale Bedarf gedeckt wird und die restliche Fläche mit Photovoltaikmodulen aufzufüllen.

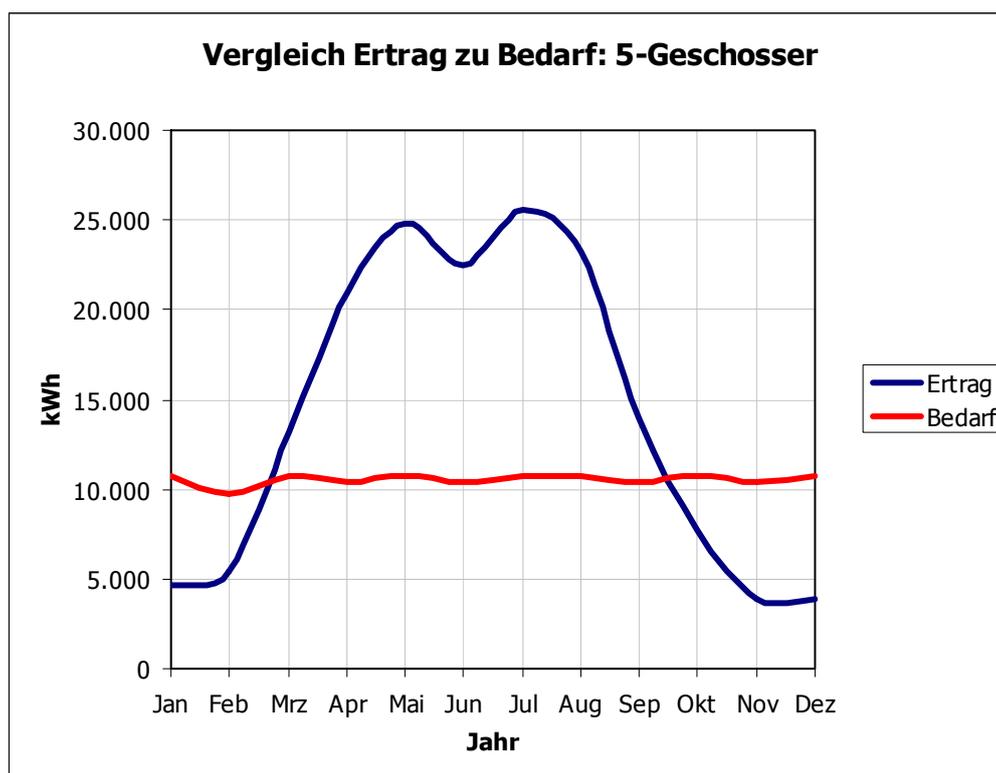


Abbildung 2–26: Vergleich Warmwasser Ertrag zu Bedarf für 5-Geschosser (Plattenbau)

Tabelle 2–14: Ertrag und Bedarf für einen 5-geschossigen Plattenbau

Monat	Anzahl Tage	Strahlung in kWh/m ²	Fläche in m ²	Ertrag in kWh/Monat	Bedarf in kWh/Monat
Januar	31	30	221	4.640	10.788
Februar	28	35	221	5.413	9.744
März	31	85	221	13.148	10.788
April	30	135	221	20.883	10.440
Mai	31	160	221	24.751	10.788
Juni	30	145	221	22.430	10.440
Juli	31	165	221	25.524	10.788
August	31	150	221	23.204	10.788
September	30	90	221	13.922	10.440
Oktober	31	50	221	7.734	10.788
November	30	25	221	3.866	10.440

Beispiel 2: Punkthochhaus, 11-Geschosser, 5-geschossiges Stadthaus

Die nachfolgenden beispielhaften Gebäudetypen sind in Erfurt sehr häufig anzutreffen. Wie in Abbildung 2–27 ersichtlich ist, wird nicht bei allen Gebäudetypen der Bedarf gedeckt.

Für das im Diagramm dargestellte Punkthochhaus, mit angenommenen 340 Einwohnern, wird im Verlauf des Jahres der Bedarf in keinem Monat gedeckt. Dazu ist das Verhältnis von nutzbarer Dachfläche zu Einwohner mit 0,65 m²/Person viel zu gering.

Der Bedarf für die Wohnscheibe mit ca. 720 Einwohnern wird für die Monate Juni, Juli und August gedeckt. Hierfür ergibt sich ein Verhältnis von 0,87 m²/Person.

Ein deutlicher Überbedarf ergibt sich für das 5-geschossige Stadthaus mit ca. 30 Einwohnern. Selbst in den strahlungsärmeren Monaten wie Januar und September wird der Bedarf gedeckt. Für diesen Gebäudetyp ergibt sich eine Dachfläche von 6 m²/Person.

Hinsichtlich der potentiellen ermittelten Flächen ist davon auszugehen, dass die Punkthochhäuser für die Installation einer solarthermischen Anlage, auf Grund des geringen Verhältnisses von Fläche zu Mietern, nicht relevant sind.

Für die sommerliche Warmwasserbedarfsdeckung wird im Einfamilienhausbereich von einer 100-%-Deckung ausgegangen, ebenso für die 11-geschossigen Wohnscheiben. Für konventionelle Häuser im innerstädtischen Bereich könnte es einen Deckungsanteil von ca. 50 % geben, da hier auf Grund des geringeren Verhältnisses von potentieller Fläche zu Mieteranzahl die vorhandenen Flächen nicht ausreichen werden.

Für die 5-geschossigen Plattenbauten ist von etwa 80 % – 90 % Nutzung auszugehen. Somit wird der sommerliche Warmwasserbedarf in den meisten Fällen gedeckt.

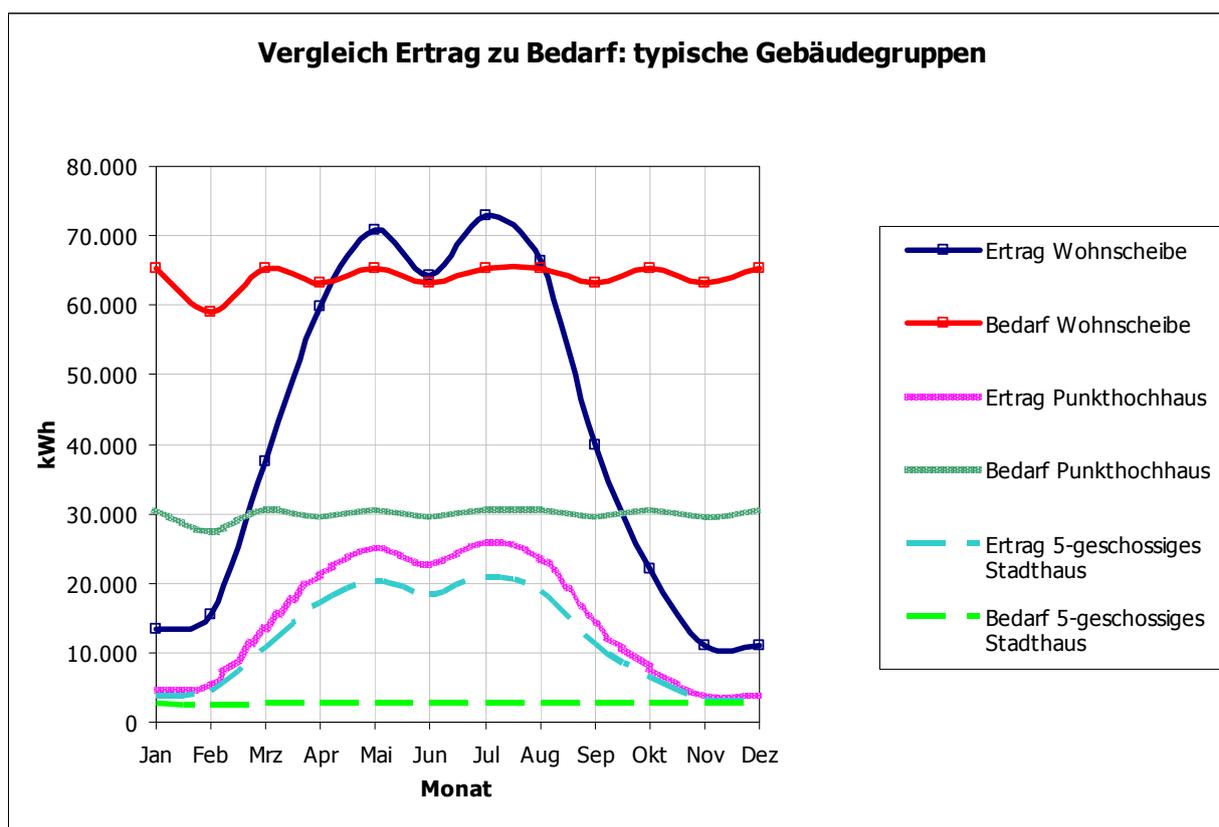


Abbildung 2–27: Vergleich Warmwasser Ertrag zu Bedarf für Wohnscheibe, Punkthochhaus, 5-geschossiges Stadthaus

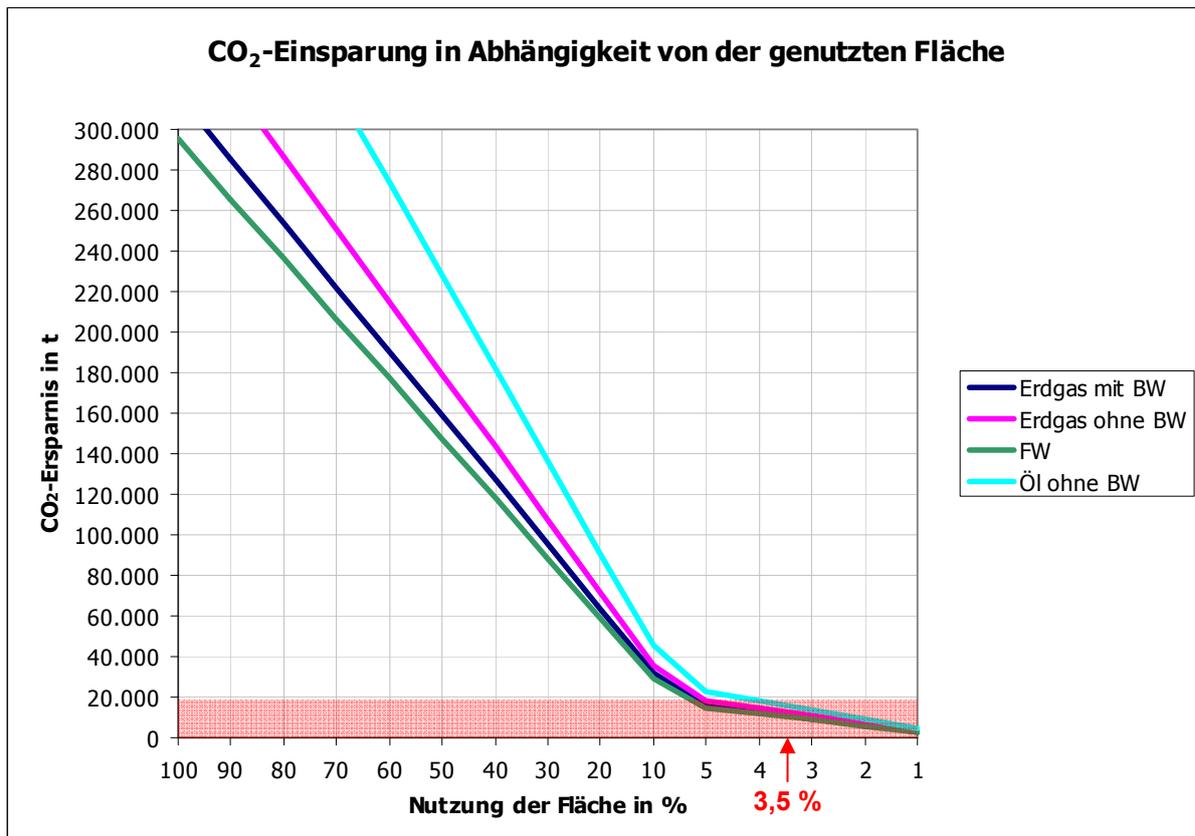


Abbildung 2–28: CO₂-Einsparung bei WW-Bereitung mit verschiedenen Systemen

Die Ermittlung der möglichen CO₂-Einsparung wurde vergleichend auf Basis vier verschiedener Wärmeerzeuger zur Warmwasserbereitung durchgeführt. Für den sommerlichen Warmwasserbedarf von ca. 54 GWh ergab sich bei idealer Nutzung der Flächen schon bei etwa 3,5 % der Gesamtfläche eine Deckung von 100 %.

Somit ergibt sich, wie in Tabelle 2–15 und Abbildung 2–28 ersichtlich ist, je nach Technologie, für die Deckung von 100 % eine CO₂-Ersparnis von 11.000 t bis 19.000 t für die sommerliche Warmwasserbereitung.

Allerdings ist der Prozentsatz der Flächennutzung, der zur Deckung von 100 % des sommerlichen Warmwasserbedarfs nötig ist, auf Grund des zuvor erwähnten teilweise schlechten Verhältnisses von Dachfläche zu Mieter etwas größer. Die CO₂-Ersparnis würde sich dadurch nicht ändern, da der Ertrag sich nicht ändert.

Die größte Ersparnis wird im Vergleich zu einem konventionellen Ölkessel erzielt. Hierbei würden theoretisch jährlich 18.300 Tonnen CO₂ eingespart werden.

Um genauere Aussagen zum tatsächlich vorhandenen Potential der solarthermischen Warmwassererzeugung und zur CO₂-Ersparnis treffen zu können, müssten für die potentiellen Gebäude weitere Recherchen bezüglich der Anzahl der Mieter und zum vorhandenen Wärmeerzeugersystem durchgeführt werden.

Tabelle 2–15: Ertrag und CO₂-Ersparnis bei verschiedener Wärmeerzeugung

Flächen- nutzung in %	Ertrag in GWh/(3 Mon.)	Deckung in %	CO ₂ -Einsparung in t/(3 Monate)			
			Erdgas mit BWT (202 g/kWh)	Erdgas ohne BWT (228 g/kWh)	Fernwärme (188 g/kWh)	Öl ohne BWT (290 g/kWh)
100	1.570,72	2.908,74	317.285	358.124	295.295	455.508
90	1.413,65	2.617,86	285.556	322.311	265.765	409.957
80	1.256,57	2.326,99	253.828	286.499	236.236	364.406
70	1.099,50	2.036,12	222.099	250.687	206.706	318.856
60	942,43	1.745,24	190.371	214.874	177.177	273.305
50	785,36	1.454,37	158.642	179.062	147.647	227.754
40	628,29	1.163,49	126.914	143.249	118.118	182.203
30	471,22	872,62	95.185	107.437	88.588	136.652
20	314,14	581,75	63.457	71.625	59.059	91.102
10	157,07	290,87	31.728	35.812	29.529	45.551
5	78,54	145,44	15.864	17.906	14.765	22.775
4	62,83	116,35	12.691	14.325	11.812	18.220
3	47,12	87,26	9.519	10.744	8.859	13.665
2	31,41	58,17	6.346	7.162	5.906	9.110
1	15,71	29,09	3.173	3.581	2.953	4.555

Solarthermische zentrale Anlagen – Flächen

Ein weiteres zu betrachtendes Szenario ist die Installation von zentralen solarthermischen Anlagen auf Freiflächen in der Peripherie Erfurts. Hierzu soll ein Teil der landwirtschaftlichen Flächen genutzt werden. Die Ermittlung der potentiellen Flächen wurde auf Basis von Daten des TLS zur Flächenverteilung Erfurts durchgeführt.

Aus Tabelle 2–16 geht für das Jahr 2009 eine Gesamtbodenfläche von 26.913 ha hervor. Davon sind 16.505 ha Landwirtschaftsfläche, die theoretisch zur Installation von Solar Kollektoren genutzt werden könnten.

Tabelle 2–16: Flächenverteilung Stadtgebiet Erfurt (Flächen in ha)

		1992	1996	2000	2004	2008	2009
Bodenfläche		27.495	26.908	26.915	26.911	26.909	26.913
davon	Gebäude- und Freifläche	3.103	3.631	3.715	3.801	3.868	3.956
	Betriebsfläche	234	257	410	444	444	376
	darunter Abbauland	234	226	230	229	227	228
	Erholungsfläche	363	485	561	573	582	585
	Verkehrsfläche	1.864	1.970	2.064	2.092	2.136	2.167
	darunter Straße, Weg, Platz	1.608	1.623	1.693	1.729	1.762	1.796
	Landwirtschaftsfläche	18.087	17.072	16.759	16.650	16.548	16.505
	darunter Moor	-	-	-	-	-	-
	darunter Heide	0	0	0	0	0	0
	Waldfläche	2.312	1.959	1.950	1.950	1.949	1.949
	Wasserfläche	391	377	377	386	378	378
	Flächen anderer Nutzung	1.141	1.156	1.079	1.014	1.004	997
	darunter Friedhof	74	69	69	69	69	70
darunter Unland	243	269	217	213	206	206	
Siedlungs- und Verkehrsfläche		5.403	6.186	6.589	6.751	6.872	6.926

Da eine hundertprozentige Nutzung der Flächen ein unrealistisches Szenario ist, wurde der Flächenanteil berechnet, welcher nötig ist, um 100 % des jährlichen Warmwasserbedarfs zu decken.

Wie in Abbildung 2–29 ersichtlich ist, wird der jährliche Warmwasserbedarf von ca. 211 GWh schon bei einem Flächennutzungsanteil von 0,065 % gedeckt. Dies entspricht einer Fläche von rund 10,7 ha.

Für die Berechnung wurden die gleichen Werte für die thermischen Wärmeverluste, den optischen Wirkungsgrad und die jährliche Strahlung angenommen. Zusätzlich wurde der Ertrag um den Faktor 0,4 vermindert. Dieser Faktor berücksichtigt die prozentualen Flächenverluste infolge der Aufständigung der Kollektoren, um einen optimalen Ertrag zu erzielen.

Eine Flächennutzung von 1 % ergibt als Ertrag das 15-fache des benötigten Bedarfs (3.230 GWh).

Somit ist ersichtlich, dass schon bei Nutzung eines geringen Teiles der vorhandenen Flächen ein enormer Ertrag erzielt werden kann. Die effektive Nutzung der erzeugten Wärme stellt dabei jedoch ein Problem dar.

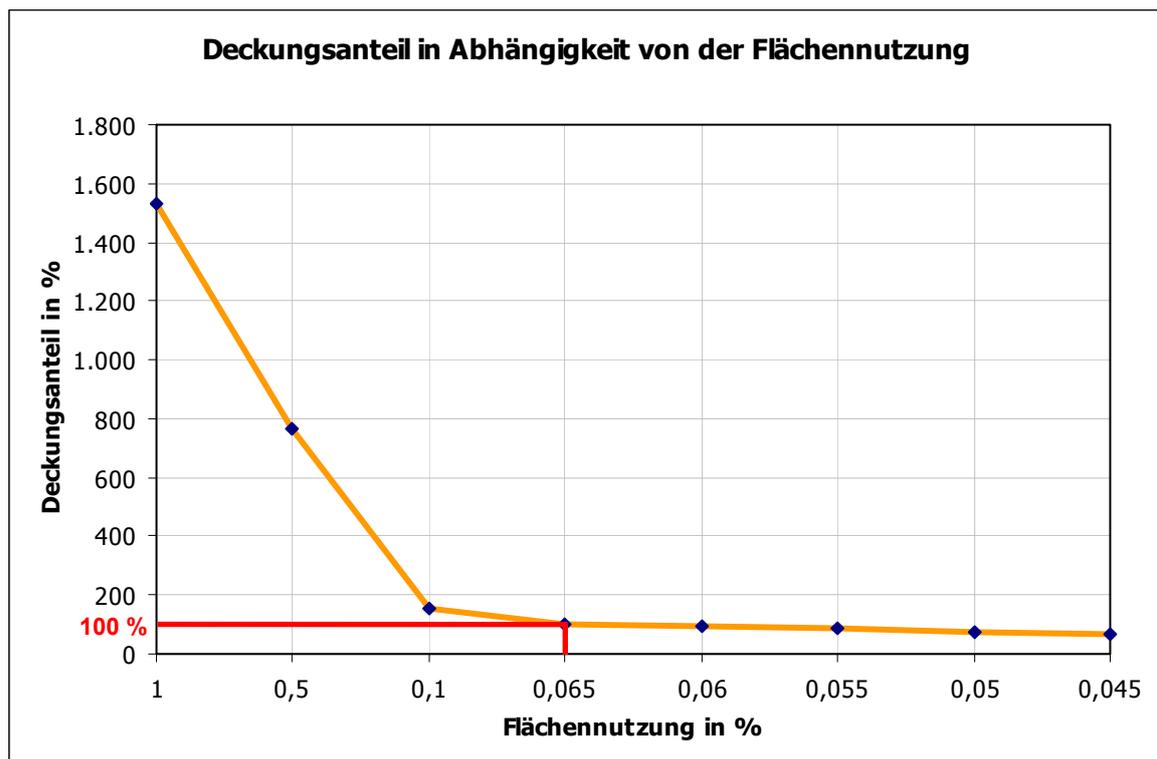


Abbildung 2–29: Deckungsanteil bei Freiflächennutzung

Die erzeugte Wärme müsste durch ein Verteilersystem von der Peripherie bis zu den zu versorgenden Haushalten transportiert werden. Wärmeverluste ließen sich auf Grund der weiteren Transportwege nicht vermeiden. Die zusätzliche Installation eines Verteilernetzes für den Wärmetransport würde hohe Investitionskosten verursachen.

Wie bereits erwähnt würde es bei einer einprozentigen Nutzung, mit 3.230 GWh jährlich, einen großen Überschuss an Nutzwärme geben. Eine Überlegung hierfür ist, den Rücklauf des Fernwärmenetzes für die Versorgung von Niedertemperaturerzeugern (Wärmepumpen) zu nutzen und nachträglich die durch Solarthermie erzeugte Wärme in den Rücklauf einzuspeisen, um das gewünschte Temperaturniveau für die Fernwärmeerzeugung zu erreichen. Am Beispiel Wärmepumpe wäre der zu überwindende Temperaturhub nicht mehr so groß, und es würde somit zu einer Energieeinsparung kommen.

Tabelle 2–17: Ertrag und CO₂-Ersparnis bei verschiedener Wärmeerzeugung für Freiflächenanlagen

Flächennutzung in %	Fläche in ha	Fläche in m ²	Strahl_opt in kWh/(m ² a)	Ertrag in GWh/a	CO ₂ -Einsparung in Mt/a				Deckungsanteil in %
					Erdgas mit BWT (202 g/kWh)	Erdgas ohne BWT (228 g/kWh)	Fernwärme (188 g/kWh)	Öl ohne BWT (290 g/kWh)	
0,065	10,73	107.283	1.000	210,27	0,042	0,048	0,040	0,061	100
0,06	9,90	99.030	1.000	194,10	0,039	0,044	0,036	0,056	92
0,055	9,08	90.778	1.000	177,92	0,036	0,041	0,033	0,052	84
0,05	8,25	82.525	1.000	161,75	0,033	0,037	0,030	0,047	77
0,045	7,43	74.273	1.000	145,57	0,029	0,033	0,027	0,042	69

Wie in Tabelle 2–17 ersichtlich ist, ergibt sich für 100 % Deckungsanteil je nach Erzeugungsvariante eine CO₂-Ersparnis von 40.000 bis 61.000 Tonnen. Wenn eine Erzeugung über den Warmwasserbedarf hinaus erfolgt, der zur Gebäudebeheizung genutzt wird, kann ein noch viel größerer Anteil an CO₂ eingespart werden.

Solarthermische Großanlage mit saisonaler Wärmespeicherung

Für 2020 wurde ein Wärmebedarf (alle Energieträger zur Wärmebereitstellung) von ca. 1.500 GWh prognostiziert. Bei vollständiger Nutzung des Dachflächenpotentials der Gebäude mit solarthermischen Kollektoren kann ein Wärmeertrag von ca. 3.000 GWh erzielt werden.

Durch saisonale Wärmespeicherung (Speicherung der Wärme im Sommer für die Nutzung im Winter) und bei Verteil- und Speicherverlusten von 50 % kann der gesamte Wärmebedarf der Gebäude theoretisch gedeckt werden. Neben den Investitionen für die solarthermischen Anlagen und die saisonale Wärmespeicherung müssten zusätzlich alle Gebäude an das Verteilnetz (Fernwärme) angeschlossen werden. Für die Speicherung von 1.000 GWh mittels Wasser bei einer Temperaturdifferenz von 20 K (90 °C zu 70 °C) benötigt man ein Speichervolumen von ca. 0,5 km³ (1 km × 1 km × 0,5 km), berücksichtigt man Speicher- und Verteilverluste, so benötigt man ca. 1 km³ (1 km × 1 km × 1 km).

2.3.4.3 Potentiale der Photovoltaik

Die Photovoltaik bezeichnet die geräusch- und abgaslose Umwandlung von solarer Einstrahlung in Strom, mittels PV-Modulen. Die Module bestehen aus in Reihe geschalteten Solarzellen, deren Hauptbestandteil Silizium ist. Je nach Art und Herstellung unterscheidet man hierbei in monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen. Die Umwandlung beruht auf einem elektrochemischen Prozess.

Die zuvor benannten verschiedenen Formen der Solarzellen besitzen auf Grund ihres Aufbaus bestimmte Wirkungsgrade. Der Wirkungsgrad kann hier bei Werten von 6 % bis 18 % liegen. Für die nachfolgenden Berechnungen wurde ein Wirkungsgrad von 15 % angenommen.

Für die Photovoltaiknutzung gibt es verschiedene Anlagenvarianten. Die einfachste Variante ist eine netzunabhängige Anlage ohne Energiespeicher. Hierbei ist der elektrische Verbraucher direkt an die Module angeschlossen. Dadurch gibt es immer eine direkte Abhängigkeit zwischen der solaren Einstrahlung und dem Betrieb des elektrischen Verbrauchers. Somit ist das Einsatzgebiet für diese Anlagenvariante sehr begrenzt, und sie wird hauptsächlich für Kleinstverbraucher eingesetzt.

Eine weitere Variante sind netzunabhängige Anlagen mit Energiespeicher. Hierbei wird zur Energiespeicherung ein Akkumulator eingesetzt, der die tagsüber erzeugte Elektroenergie für den nächtlichen Bedarf speichert. Allerdings ist es problematisch, auf diesem Weg große Energiemengen zu speichern, da Akkumulatoren teuer sind. Zusätzlich bedarf es für diese Art von Anlage eines Überlade- und Tiefentladeschutzes, weil der Akku sehr empfindlich ist. Das Einsatzgebiet für diese Anlagenvariante sind eher autarke Verbraucher, wie Wochenendhäuser ohne normale Stromversorgung.

Die wohl am weitesten verbreitete Variante ist die netzgekoppelte Anlage. Die erzeugte Energie wird bei diesem System durch einen Wechselrichter von Gleichspannung in Wechselspannung umgewandelt und über einen Energiezähler in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Der erzeugte eingespeiste Strom wird nach EEG vergütet. Im Vergleich zu netzunabhängigen Anlagen müssen diese Anlagen leistungsmäßig nicht an die elektrischen Verbraucher angepasst werden.

Somit besteht dieser Anlagentyp einfach aus dem Solargenerator, dem Wechselrichter und dem Energiezähler.

Photovoltaikgeneratoren können auf verschiedene Art und Weise montiert werden. Hinsichtlich des Gebäudes wird in der Regel die potentielle Dachfläche genutzt, um die Module zu installieren. Falls keine Dachfläche zur Verfügung steht, können die Module auch an der Fassade montiert werden. Dadurch wird allerdings auf Grund der suboptimalen Neigung und einer eventuellen Verschattung durch Nachbargebäude der Ertrag gemindert.

Für Freiflächenanlagen werden die Module bezüglich Neigung und Ausrichtung optimal aufgestellt, um effektive Erträge zu erzielen. Einzelne Solargeneratoren werden teilweise an Masten befestigt, welche ein Nachführsystem haben.

PV – dezentrale Anlagen auf Gebäuden

Erfurt hat laut Anlagenregister [35] aktuell etwa 811 Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 17,7 MW, die in Betrieb sind. Diese Anlagen erzielten einen jährlichen Ertrag von etwa 3,496 GWh. Bezogen auf den Gesamtstrombedarf Erfurts werden dadurch gerade einmal 0,4 % abgedeckt.

Das Solarkataster Erfurt beinhaltet den theoretisch erzielbaren Ertrag für die potentiellen Dachflächen.

Grundlage der Berechnung waren die in Tabelle 2–18 dargestellten Annahmen. Das Verhältnis aus Nutzertrag und Sollertrag wird als Performance Ratio bezeichnet. Für eine Anlage ist dies der Quotient aus dem Wechselstromertrag und dem nominalen Ertrag an Gleichstrom.

Tabelle 2–18: Berechnungsgrundlage Photovoltaik

Fläche	4.878.232 m ²
Performance Ratio	0,80
Wirkungsgrad Module	0,15
bestehende Anlagen	3,496 GWh/a
Potential	582 GWh/a

Wie in Tabelle 2–19 ersichtlich ist, ergab sich für die besagten Annahmen, bei einer Nutzung der Flächen von 100 %, ein Ertrag von 582 GWh/a. Dies entspricht einem Deckungsanteil des Strombedarfs von etwa 65 %. Ebenfalls dargestellt sind die zu erwartenden CO₂-Ersparnisse. Im Vergleich zur Erzeugung des Stadtwerke-Erfurt-Stroms ergibt dies eine Ersparnis von rund 192.000 Tonnen CO₂ im Jahr. Wäre der Strom mittels eines Braunkohlekraftwerks erzeugt worden, würde die Ersparnis ca. 570.000 Tonnen jährlich betragen.

Tabelle 2–19: Ertrag und CO₂-Ersparnis bei verschiedenartiger Stromerzeugung

Flächen- nutzung in %	Ertrag in GWh/a	Deckung in %	CO ₂ -Ersparnis in t/a		
			Stadtwerke Erfurt (330 g/kWh)	Deutschland (506 g/kWh)	Braunkohle- kraftwerk (982 g/kWh)
100	581,89	64,65	192.024	294.437	571.418
90	523,70	58,19	172.822	264.994	514.276
80	465,51	51,72	153.619	235.550	457.134
70	407,32	45,26	134.417	206.106	399.992
60	349,14	38,79	115.215	176.662	342.851
50	290,95	32,33	96.012	147.219	285.709
40	232,76	25,86	76.810	117.775	228.567
30	174,57	19,40	57.607	88.331	171.425
20	116,38	12,93	38.405	58.887	114.284
10	58,19	6,47	19.202	29.444	57.142

Für eine Flächennutzung von 50 % würden immerhin noch 32 % des Strombedarfs gedeckt werden. Der Verlauf der CO₂-Ersparnis in Abhängigkeit von der prozentualen Flächennutzung ist in Abbildung 2–30 dargestellt. Zum Vergleich sind hierbei verschiedene Strommixe und damit verbundene CO₂-Emission abgebildet.

Ein Deckungsanteil von 65 % verdeutlicht die enormen vorhandenen Potentiale.

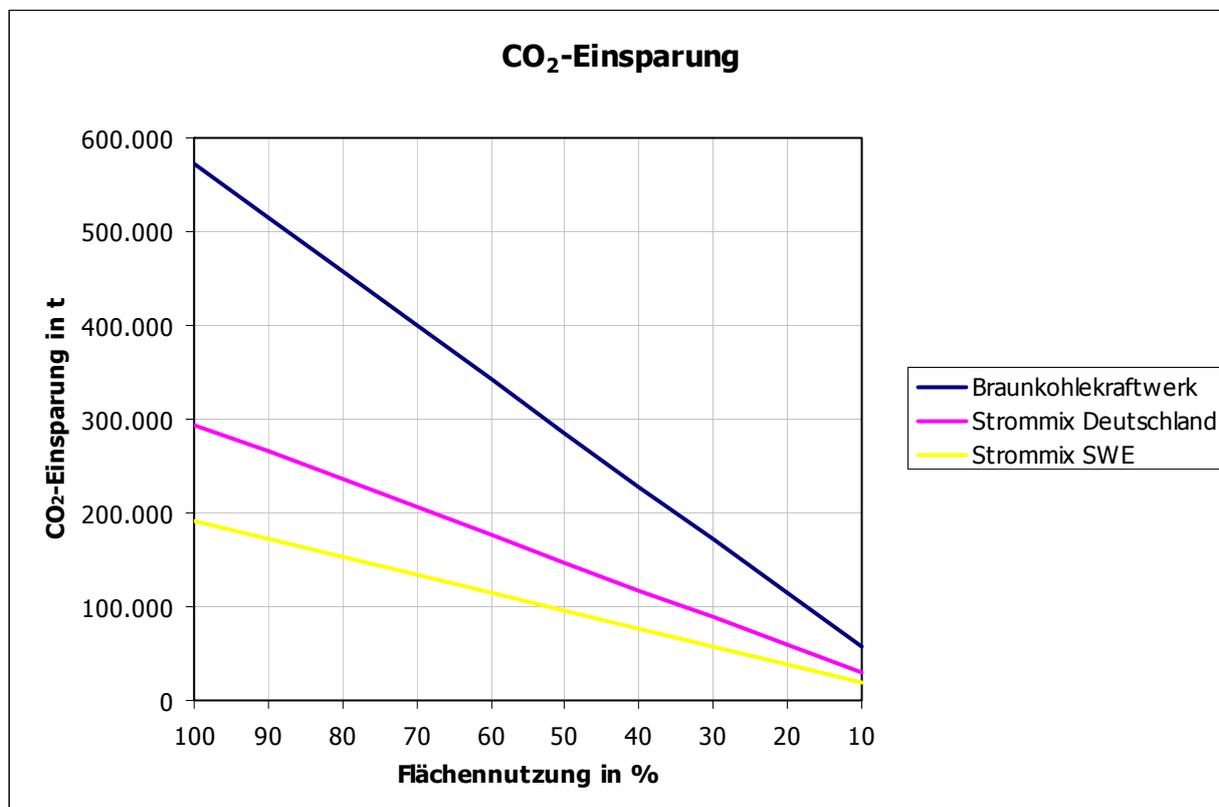


Abbildung 2–30: CO₂-Ersparnis in Abhängigkeit von der Flächennutzung

PV – zentrale große Anlagen – Flächen

Wie auch für die solarthermischen Anlagen gibt es für die Photovoltaikanlagen ebenfalls ein Szenario der Nutzung durch zentrale Freiflächenanlagen.

Wie zuvor bilden die landwirtschaftlichen Flächen Erfurts die Grundlage. Die laut TLS theoretisch nutzbare Fläche ist somit 16.505 ha. Sicherlich muss wieder davon ausgegangen werden, dass nur ein sehr geringer Teil dieser Flächen genutzt werden könnte.

Im nachfolgenden Beispiel ist der Ertrag für eine Flächennutzung von 50 % berechnet. Hierbei ergibt sich ein Ertrag von 3.960 GWh/a. Dieser Wert liegt weit über dem Strombedarf Erfurts von 900 GWh und würde einem Deckungsanteil von 440 % entsprechen. Eine 100%-Deckung ergäbe sich bei einer Flächennutzung von ca. 12 %, was in etwa 1.980 ha entspricht.

$$E_{Jahr} = A_{eff} \cdot E_{glob} \cdot V_{Ständ.} \cdot \eta \cdot PR$$

Gl. 2-4

E_{Jahr} jährlicher Ertrag durch PV-Anlage

A_{eff} potentielle Fläche

E_{glob} durchschnittliche jährliche Einstrahlung

$V_{Ständ.}$ Flächenverlustfaktor durch Aufständering

η Wirkungsgrad der Module

PR Performance Ratio

Somit ergibt sich bspw. für eine Flächennutzung von 50 % ein Jahresertrag von:

$$E_{Jahr} = 82.525.000 \text{ m}^2 \cdot 1.000 \text{ kWh/m}^2 \cdot 0,4 \cdot 0,15 \cdot 0,8 = 3.961 \text{ GWh/a}$$

Je nach Strommix ergeben sich, wie in Abbildung 2–31 ersichtlich, für 100 % Deckung CO₂-Ersparnisse zwischen 314.000 Tonnen und 934.000 Tonnen.

Tabelle 2–20: Ertrag und CO₂-Ersparnis im Vergleich zu verschiedenen Strommixin

Flächennutzung in %	Fläche in ha	Fläche in m ²	Strahlung in kWh/(m ² a)	Ertrag in GWh/a	CO ₂ -Einsparung in Mt			Bedarfsdeckung in %
					Stadtwerke Erfurt (330 g/kWh)	Deutschland (506 g/kWh)	Braunkohlekraftwerk (982 g/kWh)	
100	16.505,0	165.050.000	1.000	7.922,40	2,614	4,009	7,780	880
90	14.854,5	148.545.000	1.000	7.130,16	2,353	3,608	7,002	792
80	13.204,0	132.040.000	1.000	6.337,92	2,092	3,207	6,224	704
70	11.553,5	115.535.000	1.000	5.545,68	1,830	2,806	5,446	616
60	9.903,0	99.030.000	1.000	4.753,44	1,569	2,405	4,668	528
50	8.252,5	82.525.000	1.000	3.961,20	1,307	2,004	3,890	440
40	6.602,0	66.020.000	1.000	3.168,96	1,046	1,603	3,112	352
30	4.951,5	49.515.000	1.000	2.376,72	0,784	1,203	2,334	264
20	3.301,0	33.010.000	1.000	1.584,48	0,523	0,802	1,556	176
10	1.650,5	16.505.000	1.000	792,24	0,261	0,401	0,778	88
5	825,3	8.252.500	1.000	396,12	0,131	0,200	0,389	44
2	330,1	3.301.000	1.000	158,45	0,052	0,080	0,156	18
1	165,1	1.650.500	1.000	79,22	0,026	0,040	0,078	9
0	0,0	0	1.000	0,00	0,000	0,000	0,000	0

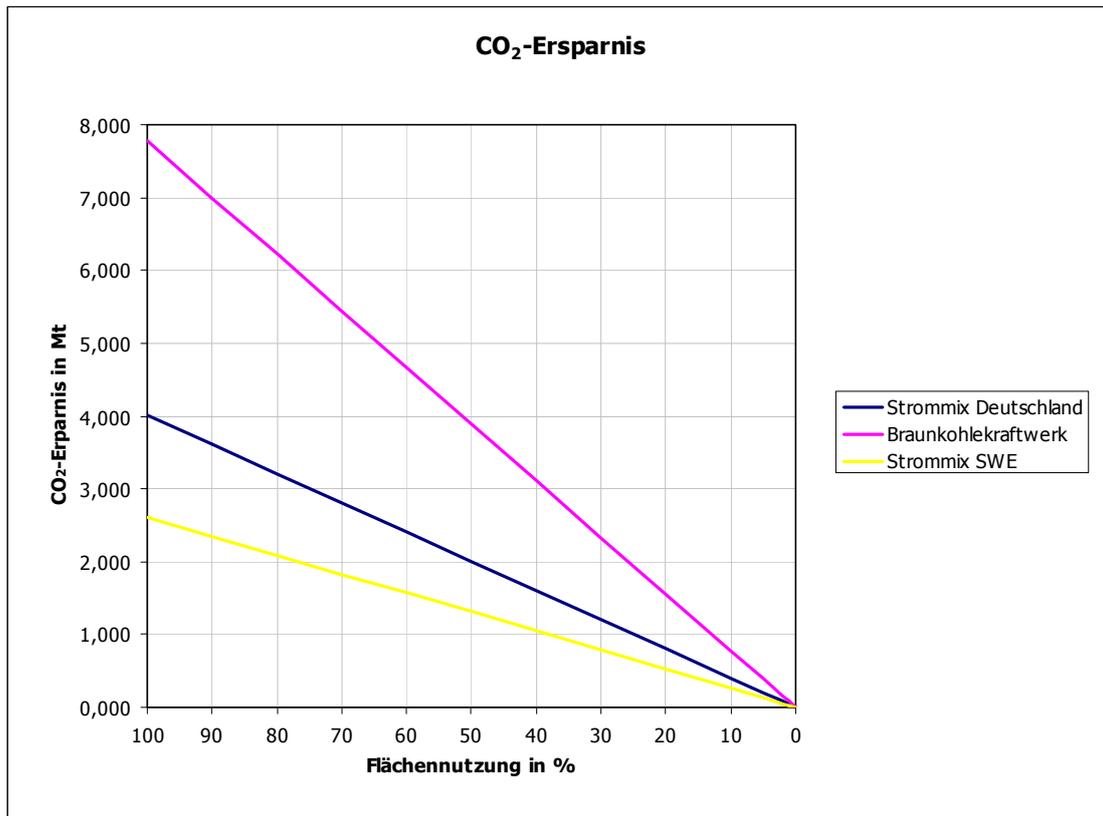


Abbildung 2–31: CO₂-Ersparnis in Abhängigkeit von der Flächennutzung

Davon ausgehend, dass im städtischen Bereich 100 % der Dachflächen genutzt werden, müssten hinsichtlich der Freiflächenanlagen nur noch 6 % der landwirtschaftlichen Fläche genutzt werden, um 100 % des Strombedarfs zu decken. Dies entspricht einer Fläche von ca. 990 ha. Die Nutzung der kompletten Dachflächen und eines geringen Teils der Freilandflächen ist hinsichtlich Solarenergienutzung durch Photovoltaik wohl das realistischste Szenario.

PV – Module entlang der Autobahn

Ein letztes Szenario könnte die Nutzung eines Randstreifens entlang der Autobahn sein, der zur Installation von Photovoltaikmodulen genutzt wird. Die direkte Pufferzone einer Autobahn von etwa 10 – 20 m ist hinsichtlich jeglicher Nutzung oftmals uninteressant und liegt brach. Dadurch ergibt sich eine potentielle Freifläche, die für Solarenergie genutzt werden könnte.

Rund um Erfurt verlaufen zwei Autobahnen, von denen die A 71 den größeren und die A 4 den kleineren Anteil innerhalb der Stadtgrenzen einnimmt. In Abbildung 2–33 sind beispielhaft potentielle Flächen entlang der A 71 dargestellt.

Unter Zuhilfenahme eines Geoinformationssystems wurde die Gesamtlänge der beiden Autobahnen ermittelt. Hierfür ergab sich für beide Autobahnen eine Länge von etwa 37 km. In Abbildung 2–32 ist der Verlauf der A 71 und der A 4 innerhalb der Stadtgrenzen ersichtlich.

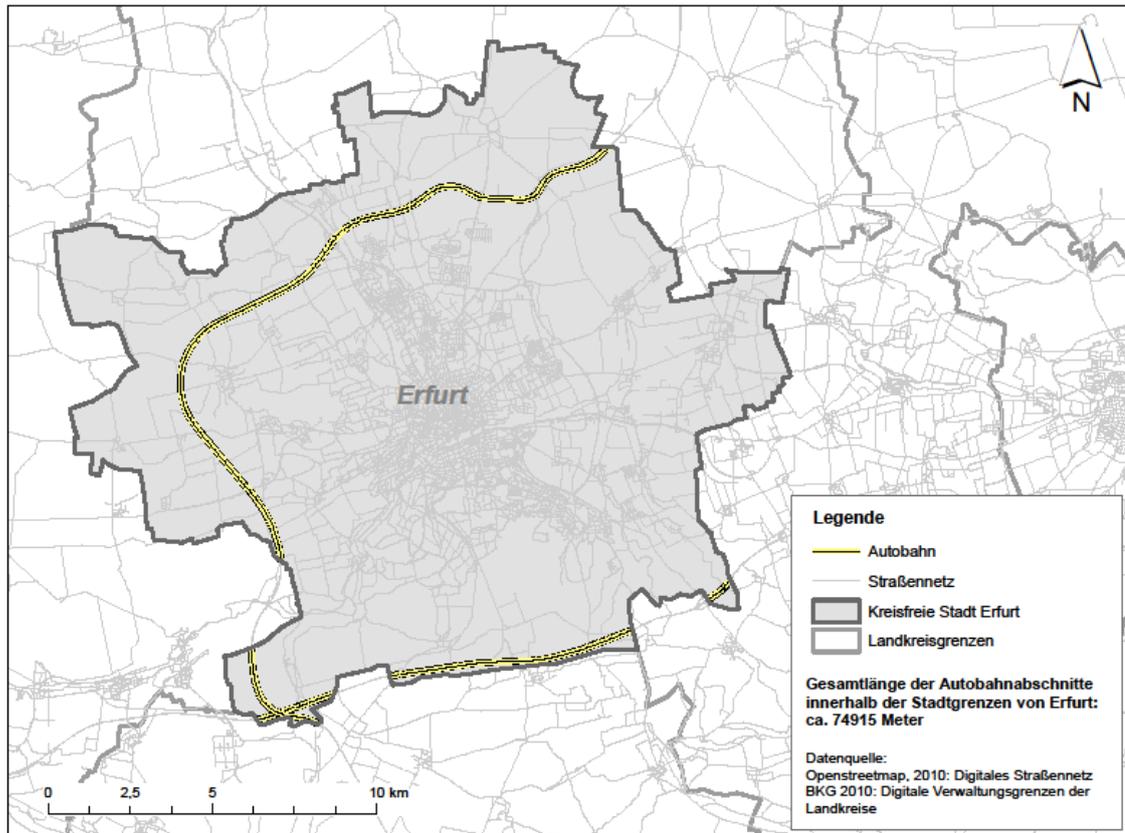


Abbildung 2–32: A 71 und A 4 innerhalb der Stadtgrenzen Erfurt (GIS)

Da hierbei beide Seiten genutzt werden sollen, kann als Grundlage der Berechnung eine Gesamtlänge von 74 km angenommen werden. Für die Ermittlung des Ertrages wurden die in Tabelle 2–21 aufgeführten Annahmen zugrundegelegt.

Der Ertrag wurde für Pufferzonen von 5 m, 10 m und 20 m berechnet.

Für die größte Pufferzone von 20 m ergab sich ein Ertrag von ca. 71 GWh pro Jahr. Dies entspricht etwa einem Deckungsanteil am Erfurter Strombedarf von 8 % und einer CO₂-Einsparung von rund 24.000 Tonnen (bezogen auf den Strommix SWE).

Tabelle 2–21: Berechnung des Ertrags entlang der Autobahn

Annahmen	GIS-Längenermittlung	74.900 m
	Performance Ratio	0,80
	Wirkungsgrad Module	0,15
	Einstrahlung	1.000 kWh/m ²
	Flächenverlust	0,4
Ertrag	5 m Puffer	17,976 GWh/a
	10 m Puffer	35,952 GWh/a
	20 m Puffer	71,904 GWh/a
CO₂	5 m Puffer	5.932 t/a
	10 m Puffer	11.864 t/a
	20 m Puffer	23.728 t/a

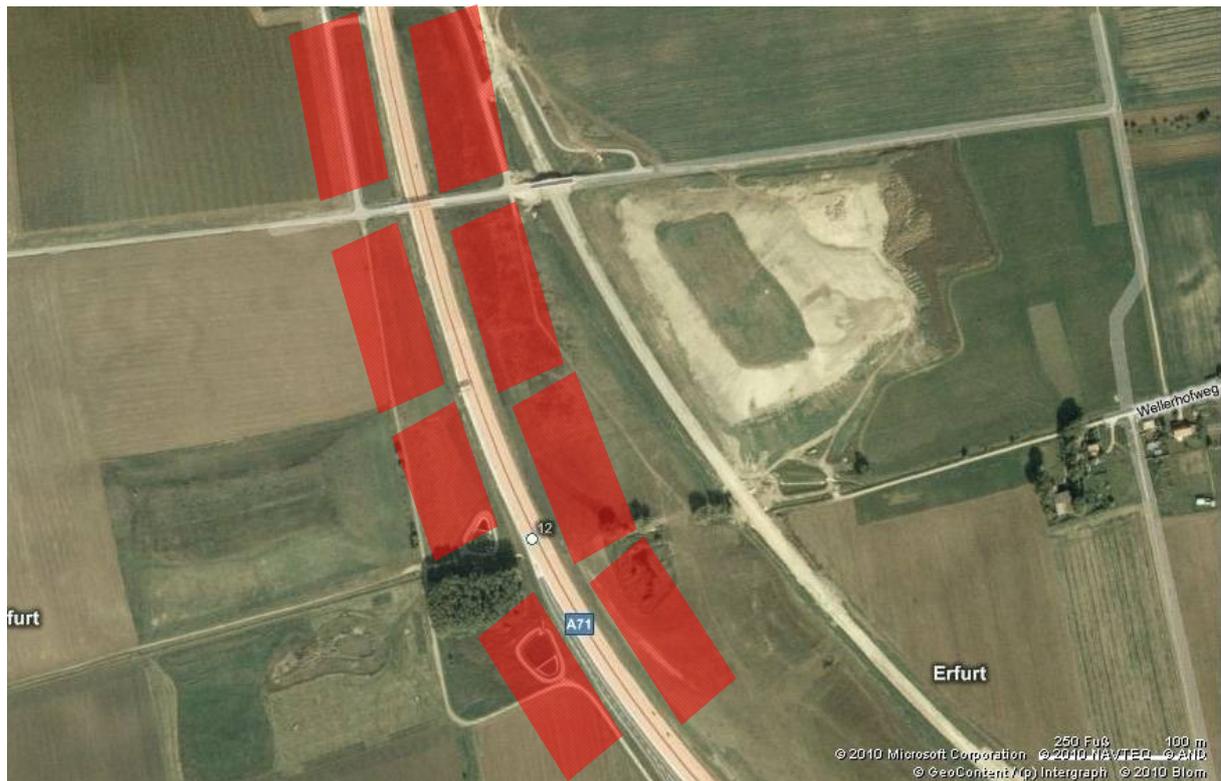


Abbildung 2–33: Beispielhafte Freiflächen entlang der A 71 [50]

2.3.4.4 Zusammenfassung

Die Analyse der Potentiale zur Solarenergienutzung der Stadt Erfurt zeigt, dass eine theoretische Energiebedarfsdeckung von 100 % auf thermischer und elektrischer Seite möglich ist. Sicherlich muss für ein relativ zeitnahes realistisches Nutzungsszenario von einer geringeren Deckung ausgegangen werden.

Ein nicht zu verachtender Faktor bezüglich der Realisierung solcher Szenarien ist die Akzeptanz der Bevölkerung hinsichtlich der Veränderung des Landschaftsbildes. Die größere Akzeptanz ist sicherlich für die Benutzung der Dachflächen zu erwarten, da die Installation von Freiflächenanlagen durchaus als störend empfunden werden könnte.

Da die Nutzung der Sonnenenergie mittels Solarthermie effektiver ist als mit Photovoltaik und somit ein geringerer Teil der Flächen benötigt wird, bietet es sich an, einen kleinen Teil der Freiflächen für solarthermische Anlagen zu nutzen und 100 % der potentiellen Dachflächen für Photovoltaikanlagen. Dadurch könnten 64 % des Strombedarfs gedeckt werden. Und bei einer Freiflächennutzung von 1 % könnte durch Solarthermie sowohl der Warmwasserbedarf als auch der Gesamtwärmebedarf für Erfurt gedeckt werden.

Durch dieses Nutzungsszenario könnten etwa 800.000 t CO₂ im Jahr eingespart werden.

Im öffentlichen Forum der Stadt Erfurt wurde zum einen der Bedarf an einer verstärkten Förderung der Solarthermie im Allgemeinen geäußert, zum anderen wurde die Prüfung der kommunalen Gebäude auf Eignung für die Solarnutzung und das Anbringen von Photovoltaikerelementen bei anstehenden Sanierungen erwähnt.

Der Bau von Photovoltaikanlagen auf Brach- und Konversionsflächen sowie von Solarwärmeeinrichtungen, insbesondere auf den Dächern der Neubaugebiete und Einkaufszentren, wurde positiv bewertet.

2.3.5 Erweiterung Fernwärmenetz

Das Fernwärmenetz der Stadt Erfurt, mit einer Gesamtlänge von ca. 177 km für Heißwasser, Warmwasser, Dampf und Kondensat, wird von dem Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk (GuD) Erfurt-Ost und dem Heizkraftwerk Iderhoffstraße versorgt. Seit 1994 existiert in Erfurt eine Fernwärmesatzung, die Anschlusszwang für die Grundstückseigentümer in den ausgewiesenen Gebieten bedeutet.

Für die effizientere Nutzung der vorhandenen Fernwärmekapazitäten stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung.

So könnte bspw. über eine Erweiterung des vorhandenen Fernwärmenetzes nachgedacht werden. Hierin liegt ein nicht zu vernachlässigendes Potential, welches z.B. durch das Schließen von bisherigen Lücken in der Abdeckung nutzbar gemacht werden kann.

Als mögliches Gebiet eignet sich z.B. die Krämpfervorstadt. Bei Betrachtung der Anlagen der Fernwärmesatzung [66] fällt auf, dass ein großer Teil der Krämpfervorstadt bereits am Fernwärmenetz angeschlossen ist, ca. drei Straßenzüge (Stauffenbergallee, Liebknecht-/Thälmannstraße, Rathenaustraße und Querstraßen) jedoch keinen Anschluss haben. Die möglichen Investitionskosten sollten sich, auf Grund des umschließenden FW-Netzes, in Grenzen halten.

Ein weiteres Gebiet, über dessen Anschluss nachgedacht werden sollte, liegt in Ilversgehofen, zwischen Nordpark und Mittelhäuser Straße. Eine Sichtung des Baubestandes mit Hilfe von Luftaufnahmen [50] zeigt primär eng beieinander stehende Mehrfamilienhäuser (Abbildung 2–34).

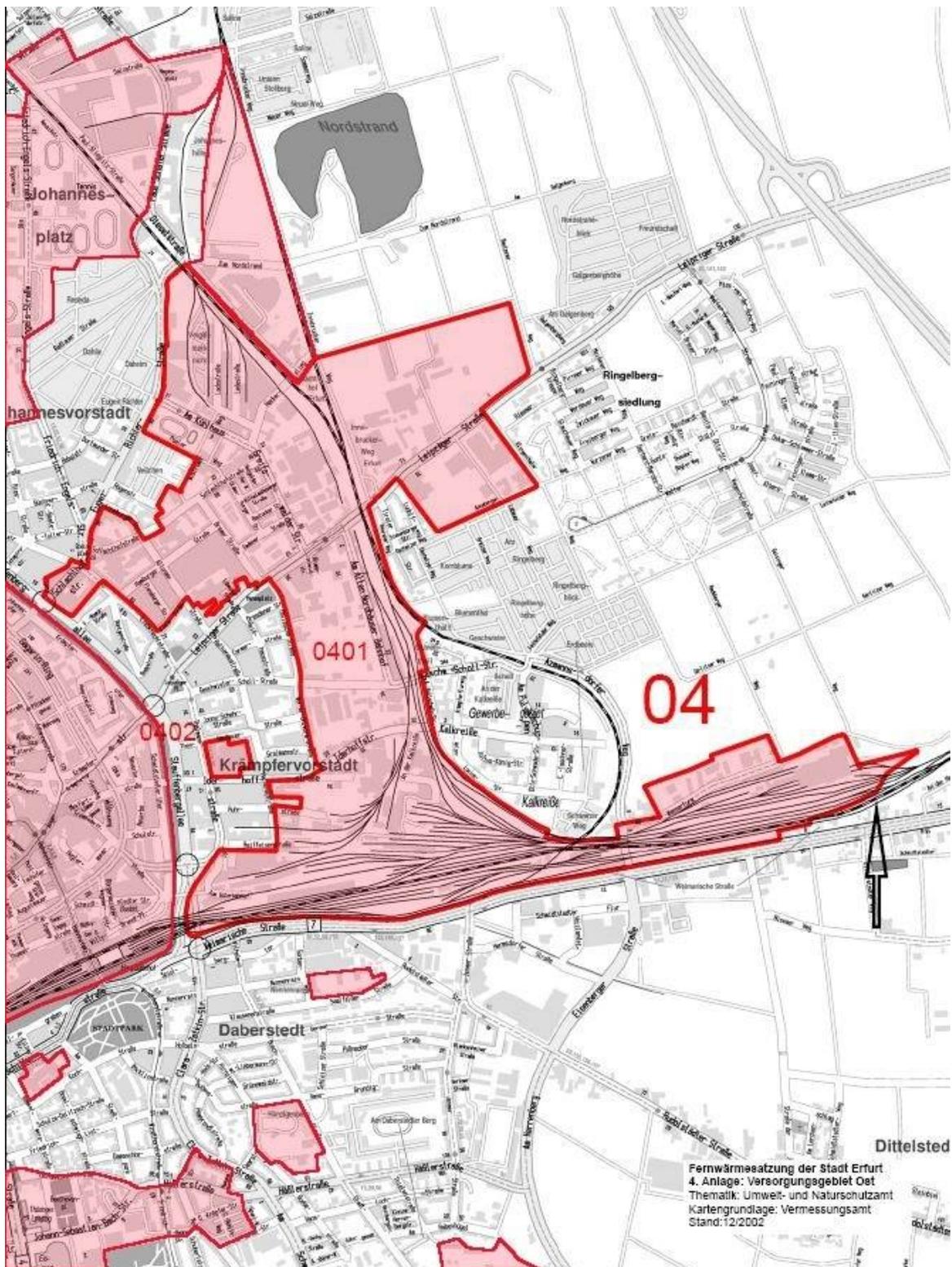


Abbildung 2–34: Fernwärme-Versorgungsgebiet Ost [66]

Ebenso könnte über die Anbindung des dort in der Nähe liegenden Gewerbegebietes (Hohenwindenstraße/An der Lache) nachgedacht werden, bspw. mit dem Angebot zur Nutzung des Fernwärmerücklaufs zum Betrieb einer Flächenheizung in den Produktionsgebäuden (Abbildung 2–35)



Abbildung 2–35: Luftaufnahme Erfurt-Ilversgehofen [50]

Auch die Gärtnerei an der Alten Mittelhäuser Straße sowie die dort in der Nähe liegenden Industriebetriebe (Abbildung 2–36) könnten Abnehmer für die Nutzung der Rücklauf-Fernwärme und der damit betriebenen Flächenheizungen sein.

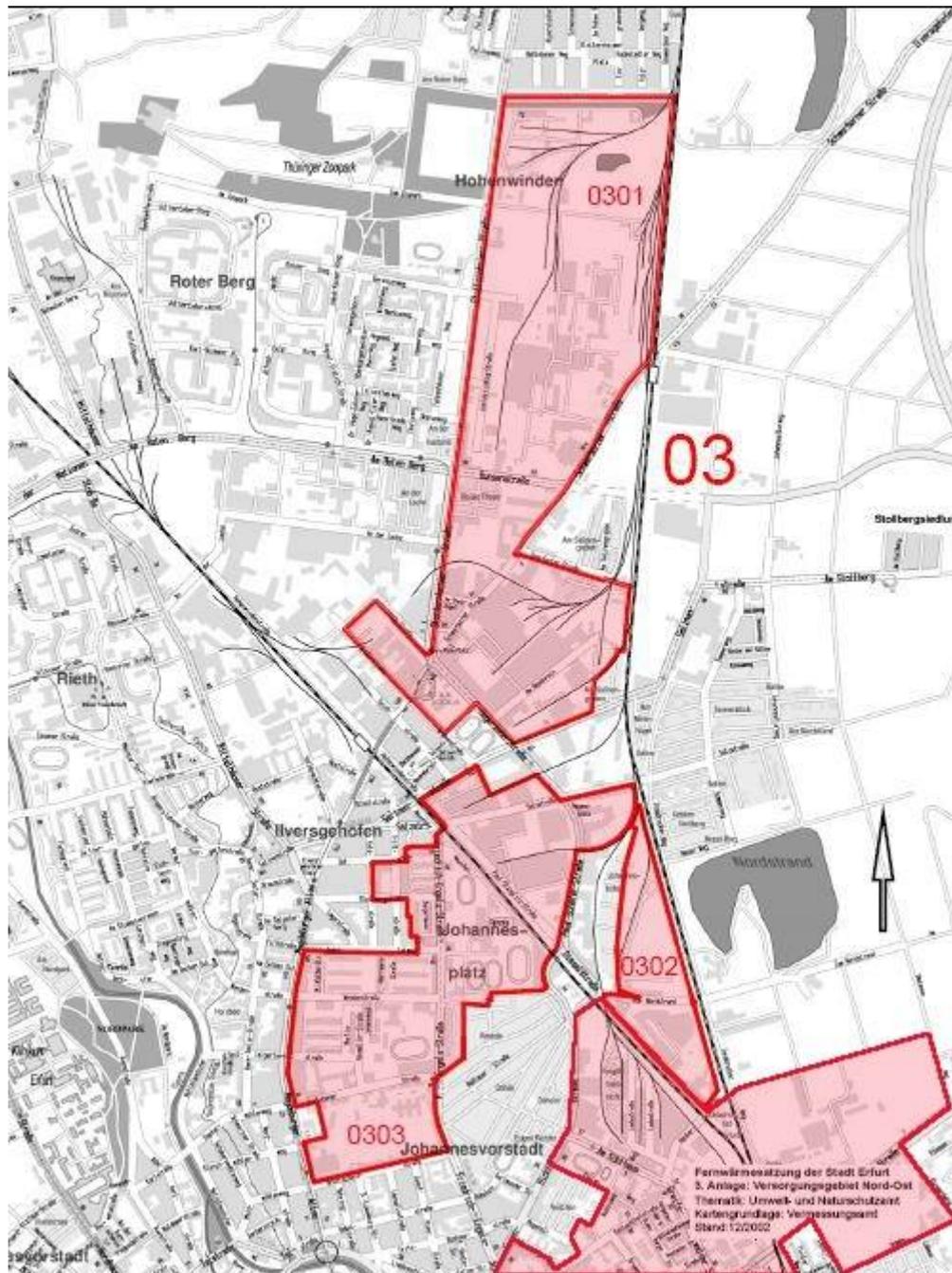


Abbildung 2–36: Fernwärme-Versorgungsgebiet Nord-Ost [66]

Das Versorgungsgebiet Nord-Ost (Abbildung 2–36) weist noch einige Lücken auf, deren Schließung eine effizientere Nutzung des Fernwärmenetzes zur Folge haben könnte. So befinden sich in der Johannesvorstadt nicht nur in der Eugen-Richter-Straße, sondern auch in mehreren von ihr abgehenden Straßenzügen große Mehrfamilien-Altbauhäuser, die laut Netzplan nicht mit Fernwärme versorgt werden (Büchner-, Bebel-, Tollerstraße und Querungen).



Abbildung 2–37: Luftaufnahme Erfurt (Alte Mittelhäuser Straße) [50]

Im Versorgungsgebiet Ost können ausgehend vom bereits im Fernwärmenetz befindlichen Bahnhofsgelände auch die Großmärkte und Gärtnereien an der Weimarerischen Straße/Eisenberger Straße (Abbildung 2–38) angeschlossen werden.



Abbildung 2–38: Luftaufnahme Erfurt-Ost [50]

Auch Daberstedt (Abbildung 2–39 und Abbildung 2–40) mit seiner engen Bebauung von Mehrfamilienhäusern entlang mehrerer Straßenzüge (Grundig-, Pößnecker, Geraer, Saalfelder, Klausener- und Holbeinstraße) könnte den Anschluss an das Fernwärmenetz lohnen. Insbesondere, da Teile dieser Siedlung schon am Fernwärmenetz angeschlossen sind und die Infrastruktur also vorhanden wäre.

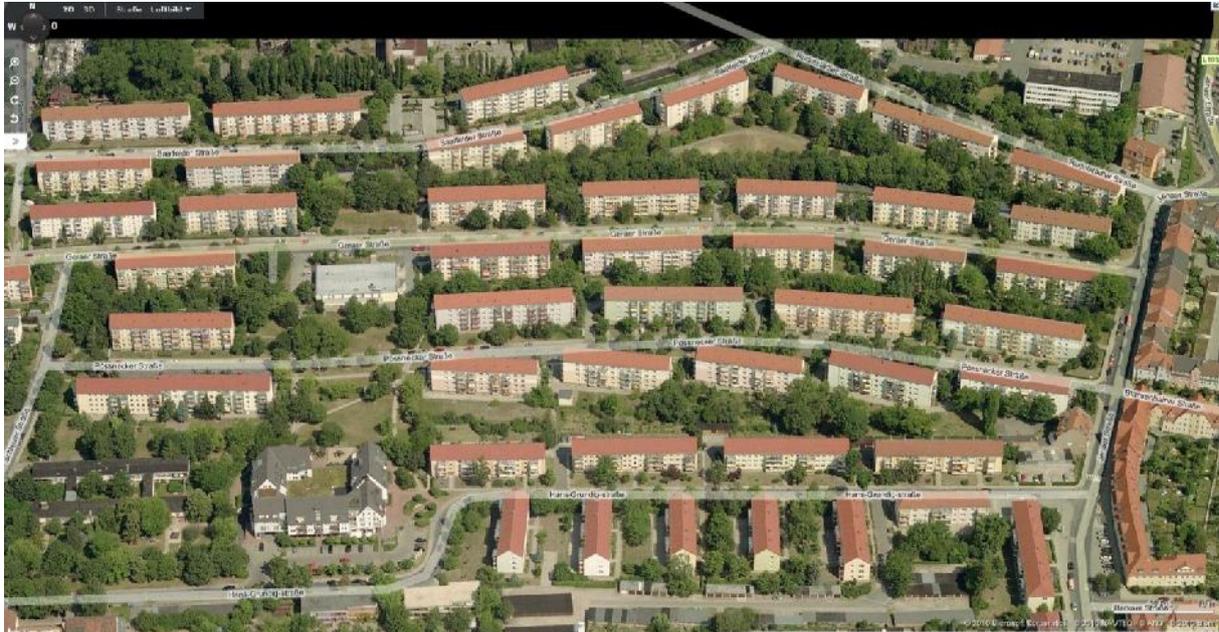


Abbildung 2–39: Luftaufnahme Erfurt-Daberstedt [50]

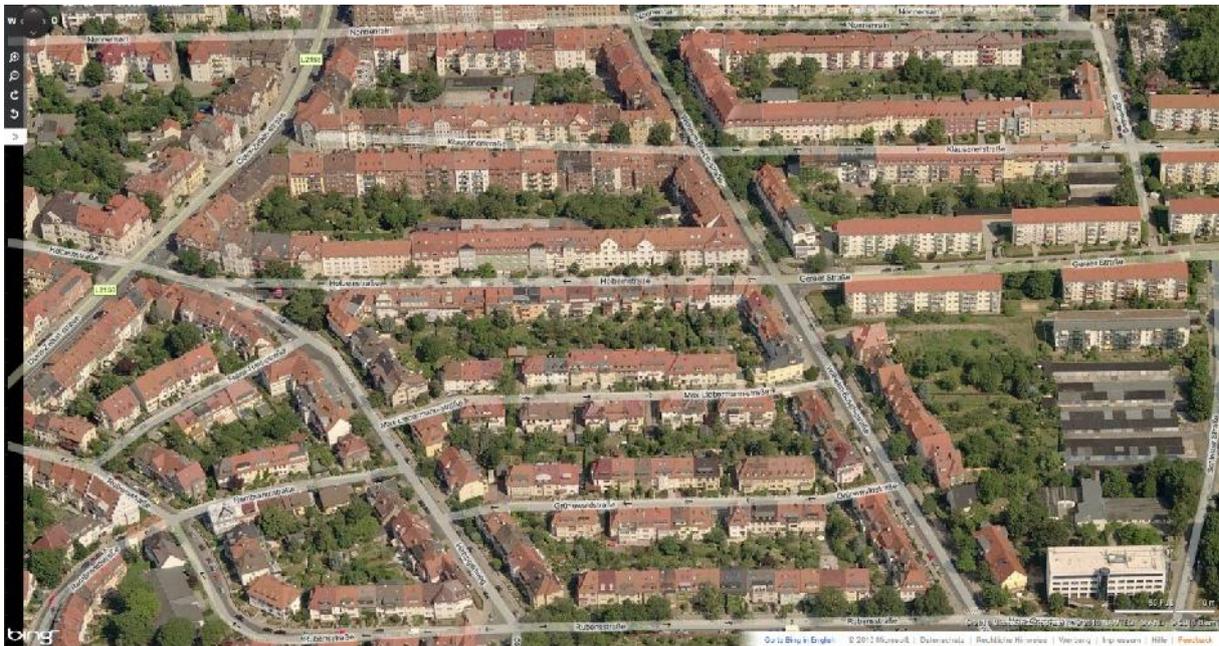


Abbildung 2–40: Luftaufnahme Erfurt-Daberstedt [50]

Das Potential der Erweiterung des Fernwärmenetzes liegt in der höheren Auslastung der Fernwärmenetze und der breiteren Versorgung von Mehrfamilienhäusern durch günstige und ökologisch effizientere Fernwärme. In die Gesamtbetrachtung muss naturgemäß auch der Kostenaufwand für die Netzarbeiten sowie die Um- und Ausrüstung der anzuschließenden Häuser einfließen. Die Realisierung ist jedoch einfach: In Altbauten mit bestehender Zentralheizung (Sammelheizungsanlage) wird im Keller eine Fernwärmehausstation eingerichtet (in der Größe einer Waschmaschine), die bestehende Heizungsinstallation kann meistens weiterverwendet werden.

Diesbezüglich sind die Hauseigentümer in der Pflicht – eine politische Unterstützung und Förderung der Umrüstung könnten die Entscheidung zur Umrüstung erleichtern.

Reserven bestehen also in der Erweiterung des bisherigen Fernwärmenetzes insbesondere bei der Schließung von Lücken (Krämpfervorstadt, Johannesvorstadt, Daberstedt, Ilversgehofen) und Ausweitung von Versorgungsinseln. Weiterhin sind nicht alle Gebäude im Fernwärmesatzungsgebiet an die Fernwärme angeschlossen – hier sollte wenn möglich die Satzung durchgesetzt werden. Bei der perspektivischen Erweiterung des Fernwärmesatzungsgebietes ist insbesondere auf eine rechtzeitige Planung und ein koordiniertes Vorgehen bei der Verlegung von Versorgungsleitungen (Elektronenergie, Abwasser, Wasser, Telekommunikation) zu achten.

Ein Vorschlag im Onlineforum der Stadt Erfurt besagte, jedes neue Kraftwerk (dezentrale BHKWs) im Stadtgebiet Erfurt so zu konzipieren, dass es in die Fernwärme einspeisen kann, da bei der Stromerzeugung meist auch Wärme anfällt und somit Synergieeffekte genutzt werden können.

2.3.6 Biomasse

2.3.6.1 Potentiale von Biomasse

In [65] wurden Optionen der Biomassennutzung auf dem Erfurter Stadtgebiet untersucht. Es wurden die im Stadtgebiet vorhandenen Biomassepotentiale aus der land- und forstwirtschaftlichen Tätigkeit, der Landschaftspflege sowie der Pflege öffentlicher Flächen ermittelt. Weiterhin wurden Flächentypen ermittelt, die sich für den Anbau schnellwachsender Baumarten zur Hackschnitzelgewinnung eignen (Energieplantagen) und deren Ertrag abgeschätzt.

Im Stadtgebiet Erfurts sind 1.049 ha Waldfläche vorhanden. Unter der Annahme, dass das Waldrestholz vollständig energetisch genutzt wird und vom Industrieholz 30 %, ergibt sich ein energetisches Potential von 5,33 GWh.

Aus den 48 ha Streuobstwiesen (Pflegeschnitt und Grasmahd), 205,5 ha Grünland (Grasmahd), 772 ha sonstigem Extensivgrünland (Grasmahd), 49 ha Windschutzhecken (Pflegeschnitt), 108 ha Feldgehölzen (Pflegeschnitt) und 20 km Uferböschungen (Pflegeschnitt) können etwa 4.000 t Biomasse pro Jahr gewonnen werden.

Aus der landwirtschaftlichen Nutzung (Stroh) wird in [65] ein energetisches Potential von ca. 64 GWh abgeschätzt, für die reguläre Grünlandbewirtschaftung auf ca. 903 ha aus Heu und Silage ein Potential von ca. 67 GWh. Aus den Pflegeschnitten der Intensivobstplantagen von 154 ha wird ein energetisches Potential von 2 GWh ermittelt.

Darüber hinaus werden bereits Grünabfälle und Aufwuchsmengen öffentlicher Plätze in einer Menge von ca. 39.000 t/a erfasst und in einer Kompostieranlage zu Pflanzensubstrat verarbeitet bzw. zu Biogas vergärt.

Die ebenfalls in [65] vorgenommene Abschätzung des Potentials von Energieplantagen ergibt bei Nutzung von ca. 500 ha für Pappelanbau und 278 ha für Weidenanbau ein jährliches theoretisches Potential von etwa 43 GWh/a.

Als Summe des theoretischen Potentials ergeben sich nach [65] für halmgutartige Biomasse 139 GWh und für holzartige Biomasse 68 GWh, insgesamt 207 GWh. Bei reiner Wärmebereitstellung ergeben sich die Emissionsminderungen in Tabelle 2–22.

Auch im Onlineforum wurde auf die Nutzung des in Erfurt anfallenden Grünschnitts zur Gaserzeugung und die Umstellung auf Biogas als Energieträger hingewiesen.

Tabelle 2–22: Potential der CO₂-Einsparung mittels Biomasse bei Wärmeerzeugung

	Technisches Potential der Wärmeerzeugung	Potential der Einsparung von CO ₂ -Emissionen	
		SWE FW (188 g/kWh)	Erdgas (227,7 g/kWh)
Holzartige Biomasse	68 GWh/a	11.500	14.000
Halmartige Biomasse	139 GWh/a	23.500	28.500

In [65] wird ebenfalls auf die Nutzungsmöglichkeiten hingewiesen. Für holzartige Biomasse bietet sich die Verbrennung an, entweder zur Erzeugung von Fernwärme bzw. Nahwärme oder zur Dampferzeugung und Verstromung. Für Erfurt bietet sich die Dampferzeugung am Standort der GuD-Anlage an, um über eine Dampfeinkopplung sowohl die Verstromung als auch die Fernwärmebereitstellung zu unterstützen. Hier sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Mit dem Einsatz dieser holzartigen Biomasse zur Verstromung und Fernwärmeerzeugung könnten ca. 14.000 t CO₂/a vermieden werden. Für die halmartige Biomasse bietet sich die Biogaserzeugung an. Bei Einsatz dieser Biomasse und Verstromung könnten ca. 48 GWh Elektroenergie und 63 GWh Wärmeenergie bereitgestellt und ca. 28.000 t CO₂/a vermieden werden.

2.3.6.2 Deponiegas

In den Jahren 2008/09 wurden ca. 6 GWh/a Elektroenergie aus Deponiegas erzeugt. Die entstehende Abwärme wurde bis auf einen kleinen Anteil Eigenbedarf nicht genutzt. Somit wird das Potential von ca. 6 GWh/a (elektrischer Wirkungsgrad bei ca. 40 %, Primärenergieausnutzung 80 – 90 %) nicht genutzt und muss an anderer Stelle auf konventionelle Weise erzeugt werden.

In [73] wurde untersucht, ob es möglich ist, eine Gasleitung von der Deponie zur GuD-Anlage zu bauen und das Deponiegas in Kraft-Wärme-Kopplung mitzunutzen. Das Deponiegas ersetzt dabei das sonst eingesetzte Erdgas. Dies führt zu einer Minderung der Emissionen um ca. 1.000 t CO₂/a.

2.4 Maßnahmenentwicklung

2.4.1 Industrieabwärme

Unternehmen mit größerem Abwärmepotential sollten bei der Entwicklung von Möglichkeiten der Wärmelieferung für benachbarte Liegenschaften unterstützt werden.

Um das Potential zu ermitteln, sollte in Zusammenarbeit mit der IHK eine Befragung bei den Unternehmen organisiert werden.

2.4.2 Erweiterte Nutzung von erneuerbaren Energien

Die Nutzung des Biogases und des Deponiegases der Deponie Schwerborn zur Mitverbrennung am Standort der GuD ist weiter zu verfolgen, ebenso die Erhöhung des Anteils von Biomasse am GuD-Standort.

2.4.3 Erweiterung des Fernwärmenetzes

Die Erweiterung des FW-Netzes ist zu prüfen, ebenso die Nutzung von „kalter Fernwärme“ (Nutzung des Rücklaufes der FW-Leitung ggf. mit WP).

2.4.4 ORC-Anlage

Am GuD-Standort ist der Einsatz einer ORC-Anlage zu prüfen, um die Stromkennzahl zu erhöhen.

Der Organic Rankine Cycle (ORC) ist ein Verfahren des Betriebs von Dampfturbinen mit einem anderen Arbeitsmittel als Wasserdampf. Als Arbeitsmittel werden organische Flüssigkeiten mit einer niedrigen Verdampfungstemperatur verwendet. Somit kann der Wasserdampf nach der Turbine als Wärmequelle für einen nachgeschalteten ORC-Prozess dienen. ORC-Anlagen werden auch eingesetzt, um mittels Fernwärme (Temperaturniveau 100 °C) Elektroenergie zu gewinnen.

Je höher das Temperaturniveau, desto höher der Wirkungsgrad der ORC-Anlage, deshalb sollte der Einsatz einer ORC-Anlage in der GuD-Anlage der SWE Energie GmbH untersucht werden.

2.4.5 Zentrale Wärmespeicherung am GuD-Standort

Um in Zeiten eines erhöhten Stromverbrauchs mehr Elektroenergie zu erzeugen, ist ggf. eine höhere Speicherkapazität notwendig, als das Fernwärmenetz bietet. Es sollte untersucht werden, ob eine Erhöhung der Wärmespeicherkapazität am Standort der GuD-Anlage wirtschaftlich sein kann.

2.4.6 KWK-Potential Klärgas

Gegenwärtig wird das Klärgas verstromt und die anfallende Wärme nur in der Kläranlage genutzt. Es sollte untersucht werden, ob eine Wärmelieferung an benachbarte Unternehmen wirtschaftlich möglich ist. Bedarf durch die Gewächshäuser in der Nähe der Kläranlage wurde schon signalisiert.

2.4.7 Tiefengeothermie

In [74] erfolgte eine Untersuchung zur Nutzung der Tiefengeothermie in Erfurt. Im Ergebnis der Untersuchung wurde festgestellt, dass die Abdeckung der Grundlast des Wärmebedarfs machbar ist, auf Seiten der Elektroenergie aber nur eine Leistung von 1,8 bis 4,0 MW möglich ist.

Unter dem Blickwinkel einer optimalen Aufteilung der Leistungen aus der Tiefengeothermie, erneuerbaren Energien und fossilen Energien für Elektroenergie und Fernwärme unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit sind noch weitere Untersuchungen notwendig.

2.5 Wirksamkeitsanalyse

Ziel der Wärme- und Elektrizitätsversorgung muss es sein, einen möglichst großen Anteil über Kraft-Wärme-Kopplung und/oder über erneuerbare Energien bereitzustellen. Dabei kann zwischen unterschiedlichen Akteuren unterschieden werden.

Zum einen Haushalte, Gewerbe/Industrie, Energiewirtschaft (hier vor allem die Stadtwerke Erfurt GmbH) und öffentliche Einrichtungen (vor allem die Stadtverwaltung).

Dabei kann weiter bei der Energiebeschaffung zwischen Eigen- und Fremderzeugung unterschieden werden. Zuletzt kann noch die Nutzung von Abwärme, bzw. die möglichst gering-exergetische Bereitstellung von Wärme, als Ziel formuliert werden.

Da sich die Maßnahmen einerseits zwischen den Akteuren, andererseits aber auch nach Energieträgern zur Erzeugung unterscheiden, soll im Folgenden ein differenzierter Ansatz dazu dargestellt werden.

Tabelle 2–23 stellt die grundsätzlichen Möglichkeiten von Maßnahmen dar.

Tabelle 2–23: Grundsätzliche Möglichkeiten von Maßnahmen

Akteur/ Aktionsfeld	Private Haushalte	Gewerbe, Industrie und Sonstige	Energie- wirtschaft	Städtische Einrichtungen
Anreize				
Planung: Schaf- fung notwendi- ger Vorausset- zungen				
Pilotprojekte/ Kommunikation/ Wettbewerbe/ Information				
Zielvorgaben/ -vereinbarung				
Beratung/Dienst- leistungen/Orga- nisation/ (Fort-)Bildung				

Diese Maßnahmen können entsprechend auf die unterschiedlichen Ziele und Energieträger sowie auf Beschaffung und Erzeugung von Energie angewendet werden. Dies soll am Beispiel der Erhöhung der Elektrizitätserzeugungskapazität mit Photovoltaik in Erfurt verdeutlicht werden, s. Tabelle 2–24.

Tabelle 2–24: Maßnahmen: Erhöhung der Elektrizitätserzeugungskapazität mit Photovoltaik

Akteur/ Aktionsfeld	Private Haushalte	Gewerbe, Industrie und Sonstige	Energie- wirtschaft	Städtische Einrichtungen
Anreize	Förderung von PV-Anlagen mit 200 €/kWp	Förderung von Anlagen; Imagebildung	Förderung von Anlagen	Budget zur Errichtung von Anlagen, innere Darlehen
Planung, Abbau von Hürden	Rechtssicherheit bzgl. der Zulässigkeit von Anlagen an Gebäuden, Vorgaben in B-Plänen	Ermittlung von geeigneten Brachflächen, Vorgaben in B-Plänen	Katalog von geeigneten Brachflächen	Einbindung in Sanierungs- und Neubauplanung
Pilotprojekte/ Kommunikation/ Wettbewerbe/ Information	Solarfibel; Solarkataster; Solarbauwettbewerb	Solarkataster; Bereitstellung von Brachflächen	Solarkataster	Beispielprojekt im Denkmal
Zielvorgaben/ -vereinbarung	Bürgerpakt	freiwillige Selbstverpflichtung	z.B. bis 2020 min. 20 MWp eigene Anlagen	2020: 10 % des Stromverbrauch aus PV, bei jedem Objekt die nötigen Vorkehrungen treffen
Beratung/Dienstleistungen/Organisation/ (Fort-)Bildung	Bürgerbeteiligung/-fond für Kraftwerke, Beratung zu Finanzierung und Realisierung	Ökoprofit, Beratung bei Vermietung, Realisierung über städt. Unternehmen oder Stiftung	Aufbau von Kompetenzen und Kapazitäten im Bereich PV	Externe Projektberatung, Fortbildung und Kompetenzerwerb, interne Arbeitsgruppe

Weiterhin können diese Maßnahmen für Energieerzeugung, Energieverbrauch und Energiebeschaffung angewendet werden.

Bei der Energieerzeugung werden folgende Energieträger unterschieden: Wasserkraft, Windenergie, Photovoltaik, tiefe Geothermie, Biomasse, Solarthermie, Abwärme und oberflächennahe Geothermie.

Beim Energieverbrauch geht es vor allem um die Minimierung des Energiebedarfs, perspektivisch aber auch um eine an das Energieangebot angepasste Regelung des Energiebedarfs.

Im Bereich Wärme geht es darum, die der Energiedienstleistung angemessene Temperatur der Wärme bereitzustellen.

Und schließlich geht es auch um die Beschaffung von Energie nach klimafreundlichen Kriterien (Anteil erneuerbarer Energien und spezifische Kohlendioxid-Emissionen bei der Beschaffung).

Insgesamt entsteht also eine weitere Dimension zur Einteilung der Maßnahmen, s. Tabelle 2–25.

Tabelle 2–25: Einteilung der Maßnahmen

Akteur/ Energiefeld	Private Haushalte	Gewerbe, Industrie und Sonstige	Energie- wirtschaft	Städtische Einrichtungen
Wasserkraft				
Windenergie				
Photovoltaik				
Tiefe Geothermie				
Biomasse				
Kraft-Wärme- Kopplung				
Solarthermie				
Abwärme- nutzung				
Oberflächennahe Geothermie				
Nachfrage- management				
Beschaffung Elektrizität				
Beschaffung Wärme				

Aber auch Aktionsfeld und Energiebereich können kombiniert werden, s. Tabelle 2–26.

Tabelle 2–26: Kombination der Maßnahmen mit Aktionsfeld und Energiebereich

Aktionsfeld/ Energiefeld	Anreize	Planung, Abbau von Hürden	Pilotprojekte/ Kommunika- tion/Wettbe- werbe/ Information	Zielvorga- ben/-verein- barung	Beratung/ Dienstleis- tungen/Or- ganisation/ (Fort-)Bil- dung
Wasserkraft					
Windenergie					
Photovoltaik					
Tiefe Geo- thermie					
Biomasse					
Solarthermie					
Abwärme- nutzung					
Oberflächen- nahe Geo- thermie					
Nachfrage- management					
Exergie- anpassung					
Beschaffung Elektrizität					
Beschaffung Wärme					

Insgesamt ergibt sich damit ein 3-D-Schema zur Maßnahmenbildung.

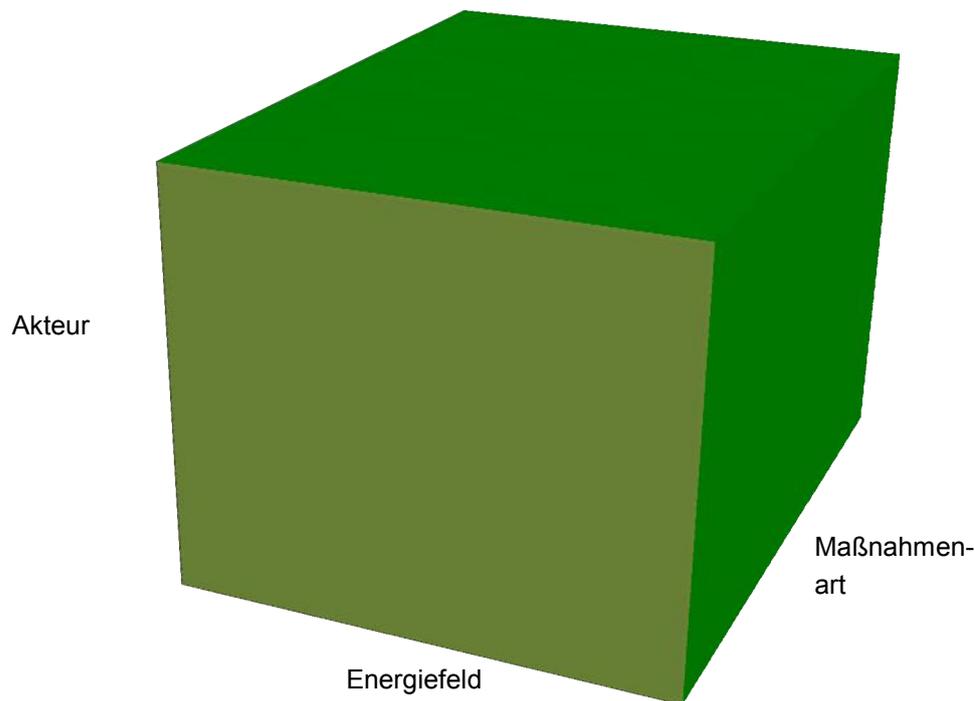


Abbildung 2–41: Handlungsmatrix

Das Beispiel ließe sich noch erweitern, womit deutlich wird, dass es nötig ist, sich auf die wichtigen Maßnahmen beim Klimaschutzkonzept zu konzentrieren. Zentrale und übergreifende Bedeutung hat hier bei den Maßnahmen zur Energieerzeugung die Öffentlichkeitsarbeit zum Klimaschutz, da sie die Legitimation von Aktivitäten in diesem Bereich und die notwendige Unterstützung in Wirtschaft und Bürgerschaft sicherstellen soll.

Da die Legitimation und Unterstützung durch Wirtschaft und Bürgerschaft von zentraler Bedeutung für den Klimaschutz in Erfurt sind, sollten auch die auf verschiedene Weise gesammelten Vorschläge dieser beiden Gruppen zum Klimaschutzkonzept besonders berücksichtigt werden.

Bei den verschiedenen Vorschlägen seitens der Bürger und Bürgerinnen Erfurts zum Klimaschutz im öffentlichen Forum und im Internetforum kann beim Thema erneuerbare Energien nach Akteuren und nach Energieträgern unterschieden werden.

Akteurspezifisch wurden folgende Vorschläge unterbreitet:

- Unterstützung von Bürgerkraftwerken, insbesondere bei Wasserkraftwerken und Photovoltaik
- Forderungen an die Stadtwerke Erfurt:
 - Umstellung der Erzeugung auf erneuerbare Energien mittels:
 - Tiefer Geothermie (Projekt Influids)
 - Wind- und Solarenergie
 - Nutzung der Kieselseen (mittels Wärmepumpen)
 - Verwendung des Grünschnitts zur Gaserzeugung
 - Schaffung strategischer Energiereserven
 - Verkleinerung GuD und Umstellung auf Biogas
 - Einbeziehung von Solarthermie in Fernwärme (z.B. durch die Nutzung von Dachflächen von Neubaugebieten)
 - Versorgung folgender öffentlicher Verbraucher mit erneuerbaren Energien:
 - Stadtverwaltung
 - EVAG: Strom und Biogas
 - Bereiche städtischer Daseinsvorsorge
 - Stadtbeleuchtung
 - städtische Kfz
 - Ladestrom für Elektrofahrzeuge
- Anforderungen an die Stadtverwaltung
 - Energiesparmaßnahmen
 - Bezug erneuerbarer Energien (bei Elektrizität, Wärme und Mobilität, s.o.)
 - Gehwegplatten zur Stromerzeugung
 - Abschaffung des Fernwärmeanschlusszwangs
 - kommunales Baurecht
 - Anpassung Altstadtsatzung
 - Neubauvorhaben nur bei 100 % erneuerbarer Versorgung genehmigen
 - bei Neubauten spürbare Erhöhung der Solarnutzung (Thermie und PV)
 - Aufgabe von Beschränkungen
 - in Bebauungsplänen
 - in Satzungen
 - Unterstützung eigener PV-Kraftwerke von Bürgern

Daneben wurden Forderungen für einzelne erneuerbare Energieträger formuliert:

- Wasserkraftwerke
 - Einsatz von Wasserwirbelkraftwerken als schonender Alternative
 - weitere Anschauungsobjekte für Wasserkraftwerke schaffen
 - Standorte:
 - Schlösserbrücke
 - Gispersleben Kiliani-Park
 - Wehr Teichmannshof
 - Einmündung Flutgraben in Nettelbeckufer
 - Schmidtstedter Wehr
 - Dreibrunnenbad
 - Abbau von Verwaltungshemmnissen bei Wasserkraftnutzung
 - ökologische Durchgängigkeit von Gewässern sicherstellen
 - Vorrang von Klimaschutz ggü. wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren
- Windenergie
 - weitere Vorranggebiete ausweisen (z.B. auf Truppenübungsplatz bei Egstedt im Umfang von 4 – 5 Windkraftanlagen)
- PV-Anlagen
 - auf Brach- und Konversionsflächen
 - bei Bürgern
 - Anregungen aus Solarfibel besser aufgreifen
 - auf kommunalen Dächern
 - wenn Sanierungen der Dächer oder Fassaden anstehen
 - Vermietung an Bürger, symbolische Pachtzahlung
 - Analyse geeigneter Dachflächen und Standorte
 - Solardachbörse
 - Prüfung der Kreditaufnahme durch Kommunalaufsicht
 - Gründung eines kommunalen Betriebes
 - PV auch auf Tribünendach des Stadions
 - Verwendung von Qualitätsmodulen aus der Region
 - Sponsoring für Photovoltaik (z.B. auch über Werbetafeln)
 - bei Neubauten spürbare Erhöhung der Solarnutzung
- Potentialkataster erneuerbare Energien Erfurt
- Wärmegewinnung aus Gewässern (speziell aus Kieseeseen)
 - Ausbau Fernwärmenetz
 - Grundwärmelast
 - Forschung durch Thüringer Hochschulen

Zudem waren Forderungen zur Gesamtstrategie genannt worden, z.B. dass sich Erfurt als sog. Transition Town etablieren solle. Transition Towns sind Städte, die sich selbst als im Übergang befindlich sehen – hin zu einer postfossilen, dezentralen und nachhaltigen Wirtschaft. In Bezug auf erneuerbare Energien würde dies bedeuten, die 100-%ige Versorgung mit erneuerbaren Energien, die durch die regionale Wirtschaft erzeugt werden, anzustreben.

Das Konzept einer Transition Town hat neben der reinen Energieversorgung aber auch zahlreiche andere Aspekte der Nachhaltigkeit.

Schwerpunkte bei der Veranstaltung im Haus der sozialen Dienste waren neben einer nachhaltigen Mobilität vor allem die langfristige Strategie des Klimaschutzes und die dabei notwendige Einbindung der Bürger.

Besonders wurde die weitere Beteiligung der Bürger sowohl an der weiteren Konzeption als auch an der Umsetzung gefordert, und es wurde ein Schwerpunkt bei der Umweltbildung und Öffentlichkeitsarbeit gesehen. Auch hier wurde ein klares Bekenntnis der Stadt Erfurt zu langfristigen Zielen über 2020 hinaus gefordert.

- Stadtverwaltung/Stadtwerke/Kreislaufwirtschaft:
 - Anreize zur Mülltrennung verstärken, um so Müllverbrennung zu vermeiden
 - Bürgerbeirat für die Stadtwerke ähnlich dem Fahrgastbeirat der EVAG bilden
 - solare Bauleitplanung umsetzen
 - Beratungsangebote durch Stadtwerke Erfurt verstärken
 - Vorbildfunktion von Stadt und Stadtwerken verstärken
 - klare Zielstellungen festlegen für Stadt und Stadtwerke
 - z.B. bis 20xx werden x Dörfer in Erfurt energieautark
 - verstärkte Öffentlichkeitsarbeit zu Klimaschutzthemen
 - Bürgerkraftwerke unterstützen, z.B. durch Werbung im Amtsblatt
 - KoWo als Partner für PV-Anlagen
- Bürgerkapital für Erneuerbare/Bürgerfond
 - Idee
 - finanzielle Beteiligung von vielen Bürgern für Investitionen in Erneuerbare soll unterstützt werden mit den Zielen: finanzieller Gewinn, Klimaschutz, bürgerschaftliches Engagement
 - Die Bürger tätigen Investitionen mit regionalem Bezug unter Berücksichtigung weiterer Nachhaltigkeitskriterien, z.B. auch bei öffentlichen Liegenschaften
 - offene Fragen/ToDo's
 - Wer verwaltet Gelder, wer ist Schirmherr? (Vertrauen schaffen)
 - Wie wird der Fond vermarktet?

- Wie kann Identität geschaffen werden? (Marke entwickeln)
- Business-Plan entwickeln (Rechtsform, Invest-Sicherheit, ...)
- Beispiele
 - Stiftung „Sonne für Deutschland“ → „Sonne für Erfurt“?
 - Jenaer Wasserkraftwerke
 - Schlaglöcher füllen m.H. von Bürgerkapital
 - Stiftung „Schirn Kunsthalle“ Frankfurt
- Umweltbildung
 - Zielgruppe
 - (Erwachsene) Bürger
 - Öffentlichkeit erreichen über Werbung und Öffentlichkeitsarbeit
 - Verankerung im Klimaschutzkonzept
 - Schwerpunkte setzen
 - Instrument zur Umsetzung des Konzepts (glaubwürdiges, authentisches Handeln und Image übereinstimmend)
 - 2020 als Etappenziel → langfristige Ziele

Ergänzend zu den bürgerorientierten Veranstaltungen fanden einerseits Workshops mit Ökoprotit-Unternehmen und andererseits in Kooperation mit der IHK Erfurt auch mit ausgewählten energieintensiven Unternehmen statt.

Dabei ergab sich ein durchaus differenziertes Bild – klar wurde allerdings, dass die Fernwärme für die Großabnehmer ein wichtiger Standortfaktor ist: Daher sind hier ein günstiger Preis, eine hohe Preisstabilität und eine hohe Versorgungssicherheit gute Argumente für den Standort Erfurt.

Ökoprotit:

Energieerzeugung

- BHKW
 - Absorber-Kälte
 - Temperaturen nicht erreicht
 - erprobte Beispiele sammeln und vorzeigen
 - Wärme
- Photovoltaik
 - eigene Anlagen
 - Statik
 - Lösungen für Statik bei geringen Zusatzlasten bereitstellen
 - Genehmigung
 - hohe Auflagen

- PV in Verwaltung
 - ein Ansprechpartner bei behördlichen Entscheidungen
- mehr Bürgernähe
- „Betreuung aus einer Hand“
- Koordinierungs-/Servicestelle
- Dacheinstrahlung
 - Solarkataster der Verwaltung veröffentlichen
- Vermieten
 - Alternative: Bürgerkraftwerk?
 - Bürgerkraftwerke forcieren
 - auch kleine Investitionen ermöglichen
- ÖPP (Öffentlich-Private Partnerschaft)/PPP (Public Private Partnership)/
 - Sanierung von Dächern durch PV
 - viele Dächer vorhanden
 - Lösung dazu erarbeiten
- Wärmerückgewinnung
 - Heizen der Zuluft mit Abluft
- Bezug von Ökostrom
 - ohnehin vorhandener Strom?
 - SWE
 - Weiterentwicklung Ökostromprodukt
 - allgemein: guter Strommix, guter Preis
- allgemein
 - Best-Practice-Beispiele und Ansprechpartner bereitstellen
 - Mit Energieberatern
 - IHK
 - HWK
 - SWE
 - „Energieroute“ für Betriebe
- Wind/Wasser/Biogas
 - Informationsbereitstellung zu Kosten/Nutzen
- Förderung Holzheizungen
 - Feinstaubentwicklung
 - Informationsverbesserung, wo Holzheizungen erwünscht sind
- Nahwärme statt Fernwärme
 - Fernwärme zu teuer
 - geringere Fernwärmekosten, dadurch auch mehr Kunden
 - Problem: Verlängerung von Ausnahmegenehmigungen

IHK:

Erzeugung

- Fernwärme privilegieren
 - Akzeptanz von Fernwärme erhöhen
 - Preisgestaltungsmöglichkeiten nutzen
 - Problem: künftig zusätzliche Kosten durch Erwerb von Emissionszertifikaten
 - Energieeffiziente Verteilung der Fernwärme
 - auch baurechtliche Bevorrechtigung
- Fernwärme weiter entwickeln
 - verlässliche Rahmenbedingungen
 - Preisstabilität ist für Industrie wichtig
 - Umstellung von Gaskesseln auf Fernwärme
 - günstige und sichere Fernwärme ist wichtiger Standortfaktor für Industrie
 - Einspeisung von anderen Quellen: Holz, Geothermie, ...
 - ansonsten hohe Erdgaspreisabhängigkeit
 - perspektivisch auch Versorgungsengpässe denkbar
- Beteiligung an Offshore-Windparks
- steuerliche Benachteiligung durch den Einsatz erneuerbarer Energien bei Wohnungsunternehmen
 - erweiterte Gewerbesteuerkürzung
 - Einschränkungen bei der Steuerbegünstigung von Genossenschaften
- Umlage EEG-Kosten, v.a. durch PV werden produzierende Betriebe zusätzlich belastet
 - PV auch als wirtschaftliche Chance nutzen
- geringe Amortisationszeiten müssen realisiert werden, Energiekosten oft nur geringer Anteil an Gesamtkosten
- Wärmerückgewinnung

Insgesamt wird von den Unternehmen der Fokus eher auf die Bereitstellung von Energie durch die Stadtwerke gelegt. Diese soll so günstig wie möglich sein, um auch im Wettbewerb mit anderen Standorten zu bestehen, gleichzeitig aber auch wegen der Versorgungssicherheit und des positiven Images weitestgehend erneuerbare Energien integrieren. Die Fernwärme und deren weitergehender Ausbau auch in Form von sogenannten Nahwärmenetzen werden überwiegend begrüßt. Wenngleich einige der beteiligten Unternehmen selbst nur sehr geringe Amortisationszeiten für Klimaschutzmaßnahmen im eigenen Bereich zulassen, so möchten sie von Seiten der Stadt doch eher ein langfristiges Konzept, um ein hohes Maß an Kalkulierbarkeit, Umweltschutz und Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Standorten sicherstellen zu können.

Bei der auf Grund von Verbrauch und Erzeugungspotential besonders wichtigen Wohnungswirtschaft wird zwar auch die Fernwärme im Grundsatz begrüßt, jedoch darauf verwiesen, dass sie zu attraktiven Preisen angeboten werden muss, gerade auch um keine Verzerrung der Wettbewerbssituation zwischen Fernwärmesatzungs-Gebieten und solchen Gebieten, die nicht in die Fernwärmesatzung fallen, zu vermeiden. Speziell in Bezug auf den Einsatz von Photovoltaik auf den Dächern der Wohnungswirtschaft wirken sich möglicherweise zu erwartende Einschnitte bei der erweiterten Gewerbesteuerkürzung oder bei der Steuerbegünstigung von Genossenschaften durch das Betreiben von Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien negativ aus, so dass hier eher zurückhaltend investiert wird.

Die politischen Ziele beim Klimaschutz der Stadt Erfurt sollten sich an den europäischen und nationalen Zielen orientieren. Dabei werden zwei Zeitrahmen betrachtet.

Bis 2020 sollten gegenüber 1990 Kohlendioxideinsparungen von 20 bis 30 % und bis 2050 von mindestens 80 % untersucht werden. Weitergehend ist ein erklärtes Ziel der Stadt, sich möglichst energieautark zu versorgen.

Sicherlich ist die Einsparung von 20 bis 30 % Kohlendioxid bis 2020 auf verschiedene Weise möglich. Um jedoch die Handlungsziele für 2020 zu identifizieren, soll zunächst ein Klimaschutzszenario für 2050 mit möglichst hoher Energieautarkie für Erfurt entworfen werden.

Ausgangspunkt ist das Ziel, bis 2050 mindestens 80 % der Kohlendioxid-Emissionen zu verhindern. Dabei handelt es sich um die Untergrenze dessen, wie besonders gravierende Auswirkungen des Klimawandels eventuell verhindert werden können. Bedenkt man, dass klimarelevante Gase nicht nur in der hier betrachteten Energiewirtschaft entstehen, so könnte das Langfristziel durchaus auch schärfer formuliert werden. Andererseits soll auch hier als Basis das Jahr 2008 verwendet werden, für das die Bilanz erstellt wurde. Das im internationalen Vergleich herangezogene Jahr 1990 ist für Erfurt auf Grund der politischen, ökonomischen und sozialen Veränderungen in diesem Jahr wenig aussagekräftig.

Zwar bestehen bei den einzelnen Ziel/Akteur/Maßnahmen-Kombinationen immer noch sehr viele Möglichkeiten – bringt man die Ziele allerdings mit den Potentialen und den Gesamtzielen des Klimaschutzes bis 2020 bzw. 2050 in Verbindung, reduziert sich die Komplexität deutlich. Weiter mahnt die Ressourceneffizienz und das notwendige Controlling, zunächst Schwerpunkte für Erfurt zu setzen, die hier entwickelt werden sollen. In einer ersten Abschätzung der Potentiale bei der Energieeffizienz kann davon ausgegangen werden, dass hier die Einsparungen im Bereich von ca. 40 – 60 % des derzeitigen Bedarfs liegen können. Obgleich heute sehr große Investitionen notwendig wären, um diese Effizienzsteigerungen zu realisieren, so ist doch gerade bei dem hier größten

Anteil der gebäudebezogenen Energieverbräuche von einer Re-Investition bei einer Mehrzahl von Gebäuden in den folgenden 40 Jahren auszugehen und der damit einhergehenden energetischen Verbesserung entsprechend dem dann möglichen Standard.

Bedenkt man, dass die EU bis 2020 beim Neubau Gebäude anstrebt, die selbst soviel Energie erzeugen, wie in ihnen verbraucht wird, und berücksichtigt man weiterhin die schon heute absehbaren Fortschritte im Bereich der Effizienz von Elektrogeräten (vor allem bei Beleuchtung, sogenannter weißer Ware und Unterhaltungselektronik), so erscheint bei entsprechender Fortführung der diesbezüglichen Anstrengungen eine Einsparung von 40 bis 60 % gegenüber 2008 durchaus realistisch (s. Kapitel 1).

Für die weitergehenden Überlegungen soll somit ein Wärmebedarf von etwa 800 GWh und ein Elektrizitätsbedarf von etwa 500 GWh angenommen werden. Vergleicht man letzteren mit den in Erfurt vorhandenen Potentialen, so wird deutlich, dass alle Energieformen der erneuerbaren Quellen benötigt werden, um diesen Bedarf zu decken. Speziell bei Biomasse, Windkraft und Wasserkraft sollte perspektivisch zusätzlich über eine Erzeugung im Verbund mit dem Erfurter Umland nachgedacht werden. Die Potentiale sind in Tabelle 2–27 dargestellt.

Tabelle 2–27: Übersicht der Potentiale für Elektrizität in GWh/a

Wasserkraft		Windkraft		Photovoltaik		Biomasse		Geothermie	
Bestand	0,7	Bestand	45	Bestand	3,3	Stroh	25	Ausbau	40
		Ausbau	82	Dächer	582	Grünland	16		
Ausbau	8,8	kurzfristig	24	1 % der Fläche	80	holzartige	27		
		Repowering	55	20 m Autobahn	70	KUP	16		

Eine grafische Darstellung ist in Abbildung 2–42 zu sehen.

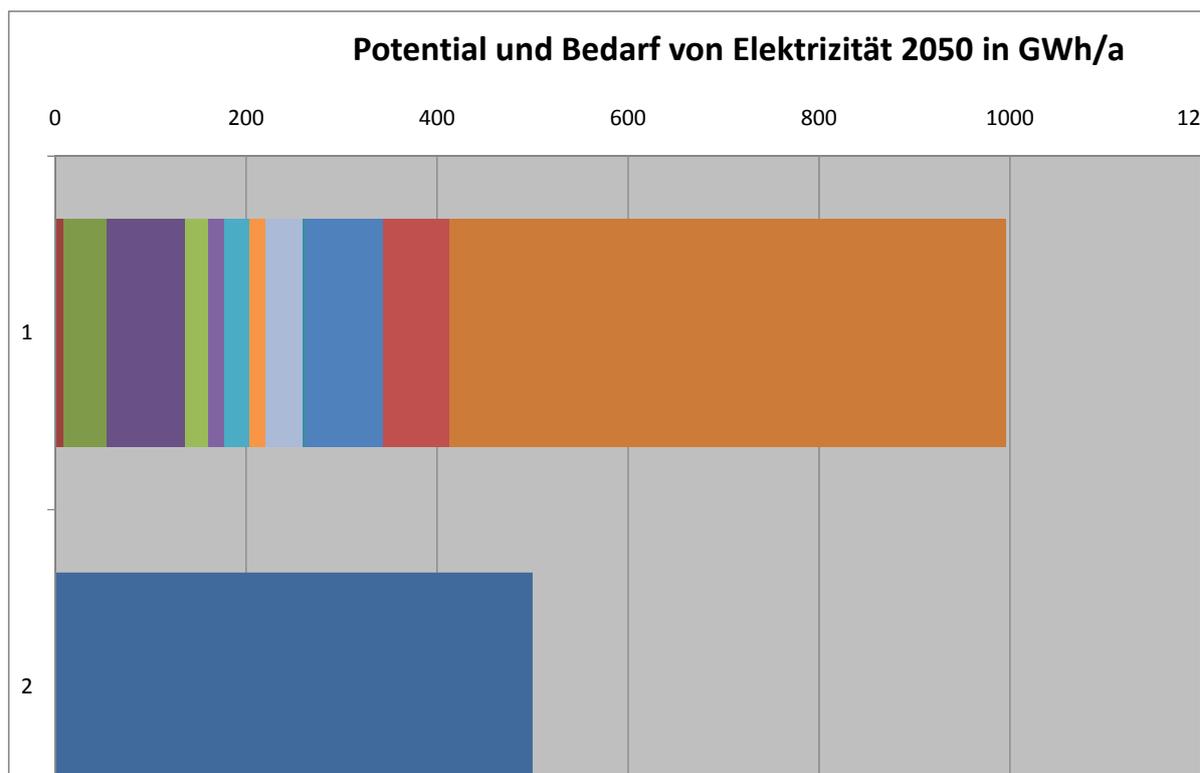


Abbildung 2–42: Potential (1) und Zielbedarf (2) an Elektrizität 2050 (der große, orangefarbige Bereich stellt die Photovoltaik auf Dächern dar)

Wie man aus Tabelle 2–27 und Abbildung 2–42 ersehen kann, hat die Photovoltaik in ihren verschiedenen Formen das mit Abstand höchste Potential. In Summe erreichen die anderen Energieträger lediglich ca. 340 GWh, so dass zur Erreichung einer zumindest bilanztechnisch energieautarken Erzeugung mindestens 160 GWh an PV-Strom benötigt würden. Diese hier angegebenen Potentiale stellen aber nicht die wirtschaftlich tatsächlich realisierbaren Potentiale dar – so sind speziell bei Wasserkraft, Biomasse und Geothermie nach jetzigem Kenntnisstand die Potentiale nicht voll wirtschaftlich ausschöpfbar. Bei Photovoltaik stehen die Flächen nicht nur in Konkurrenz zu möglichen anderen Nutzungen (so dass hier eine Doppelnutzung von Flächen anzustreben ist), insbesondere bei Dächern ist auch die tatsächliche Verfügbarkeit auf Grund der Dachkonstruktion nicht in jedem Falle gegeben.

Dennoch macht die Übersicht deutlich, dass die beschriebenen Potentiale bei Windkraft, Wasserkraft, Geothermie und Biomasse weitgehend ausgeschöpft werden müssen, um den Zielen des Klimaschutzes und einer weitgehenden Energieautarkie gerecht zu werden. Dabei wurde die tiefe Geothermie mit einer elektrischen Leistung von ca. 5 MW angenommen, und der elektrische Wirkungsgrad von Biomassekraftwerken mit fiktiven 40 %. Während für Windkraft, Wasserkraft und tiefe Geothermie nur wenige Akteure involviert werden müssen, zielen die Biomassennutzung und Photovoltaik auf ein deutlich breiteres

Publikum. Speziell bei Geothermie ist zwingende Voraussetzung für die erfolgreiche Erzeugung von Strom, dass auch ein entsprechend hoher Wärmebedarf im Fernwärmenetz durch Geothermie abgesetzt werden kann, weil nur so eine Wirtschaftlichkeit absehbar ist. Auch bei Biomasse verbessert sich die Wirtschaftlichkeit in der Regel beim Einsatz von KWK-Technologien.

Deutlich wird an der Abbildung auch die in Zukunft zentrale Bedeutung von Photovoltaik. Da diese Quelle – und auch die Windkraft als zweitstärkste Potentialquelle – zugleich die am stärksten von Wetter und Tageszeiten abhängigen sind, muss anderweitig über die Übertragungsnetze, über Spitzenlastkraftwerke, Energiespeicher und Nachfragemanagement der Ausgleich zwischen Bedarf und Produktion in den Erfurter Netzen geschaffen werden.

Durch die zum Lastmanagement zusätzlich benötigten Kapazitäten ergeben sich in Zukunft einerseits zusätzliche Wirtschaftszweige für die Energiewirtschaft (wie das Bereitstellen von Speicher, Spitzenlaststrom, Stromsenken und Regelungstechnik beim Verbrauch), andererseits müssen dadurch aber auch verstärkt Kapazitäten vorgehalten werden. Dadurch wird ein zusätzlicher Bedarf an Kraftwerksleistung notwendig.

Im Jahr 2009 lag die maximale Netzlast in Erfurt bei etwa 150 MW. Sollte es bis 2050 möglich sein, auch diese zu halbieren, so entspricht dies einer maximal benötigten Netzlast von 75 MW. Geht man weiter davon aus, dass Geothermie und Biomassekraftwerke eher im Grundlastbereich arbeiten und somit auch zu Spitzenlastzeiten zur Verfügung stehen, und weiterhin etwa ein Drittel der maximalen Leistung durch Nachfragemanagement eingespart werden könnte, so verbleibt ein Bedarf an Ausgleichs-Kraftwerksleistung von mindestens 35 MW. Geht man davon aus, dass diese Leistung während der Hälfte der Stunden im Jahr benötigt wird, so ergibt sich hier ein weiterer nicht durch erneuerbare Energien abgedeckter Anteil von etwa 150 GWh. Das entspricht etwa einem Anteil von 16 % der Elektrizität gegenüber dem Bedarf von 2008. Dieser Anteil könnte bspw. durch schnell regelnde Gaskraftwerke zur Verfügung gestellt werden.

Insgesamt ergibt sich damit ein Zielszenario für 2050, das in Tabelle 2–28 dargestellt ist. Darin enthalten ist eine Überproduktion von 160 GWh, die als Puffer bzw. zum Ausgleich eingeplant werden sollen.

Tabelle 2–28: Zielszenario 2050 a: Bedarf ca. 500 GWh Elektrizität

Wasserkraft		Windkraft		Photovoltaik		Biomasse		Geothermie	
Bestand	0,7	Bestand	45	Bestand	3,3	Stroh	25	Ausbau	40
		Ausbau	82	Dächer	582	Grünland	16		
Ausbau	8,8	kurzfristig	24	1 % der Fläche	80	holzartige	27		
		Repowering	55	20 m Autobahn	70	KUP	16		
Summe	9,5	Summe	180	Summe	735	Summe	84	Summe	40
Davon bis 2050 erschlossen									
Summe	9	Summe	180	Summe	201	Summe	80	Summe	40

Summe: 510

Spitzenlast/Ausgleich: 150

Gesamtsumme: **660**

Durch einen Anteil von über 50 % an fluktuierenden Quellen wird die Notwendigkeit zur Speicherung offensichtlich. Bei durchschnittlichen Erträgen entspräche dies einer installierten elektrischen Leistung von ca. 320 MW, die an sonnigen und gleichzeitig windreichen Tagen auch maximal zur Verfügung stünde. Daher ist wohl davon auszugehen, dass die Leitungsnetze für das 2050-Szenario auch in Erfurt erweitert werden müssen. Dabei wäre weniger die Gesamtkapazität betroffen als vielmehr die Verstärkung bei einzelnen Verbrauchs- und Erzeugungsschwerpunkten.

Weiterhin zeigt die mögliche Spitzenbelastung von 320 MW durch fluktuierende Quellen gegenüber einer unterstellten Durchschnittsleistung von ca. 60 MW den großen Bedarf an Speicherung und Ausgleich von Überschuss-Strom. Es wird somit deutlich, dass über Speicher oder Ersatzkraftwerke oder über den Ausgleich im Verbundnetz die Netzstabilität gesichert werden muss. Dazu sind Verbrauch und Erzeugung von Elektrizität in Einklang zu bringen. Auf Grund der erhöhten Schwankung (Volatilität) der Erzeugung bietet sich durch die Bereitstellung von Spitzenlaststrom über Kraftwerke oder über Speicher ein an Bedeutung gewinnendes Feld der Energiewirtschaft. Diese Kapazitäten sind in Tabelle 2–28 als Spitzenlast/Ausgleich angedeutet.

Weitergehend ist zu vermuten, dass sich bis 2050 neben Strom ein weiterer Universal-Energieträger in chemischer Form etablieren wird – dies könnte z.B. aus erneuerbaren Energien gewonnenes Methan oder Wasserstoff sein, die beide bei der Strom- und

Wärmeerzeugung sowie im mobilen Sektor eingesetzt werden können. Methan könnte auf die bestehende Erdgas-Infrastruktur zurückgreifen.

Auch der verbleibende Anteil an fossilen Energieträgern wäre wahrscheinlich durch Erdgas zu decken, da Erdgaskraftwerke eine gute Regelbarkeit aufweisen, der Brennstoff selbst die geringsten Kohlendioxid-Emissionen verursacht und zugleich in GuD-Prozessen sehr hohe Wirkungsgrade erreicht werden können. Da Wärme grundsätzlich besser als Strom gespeichert, gleichzeitig jedoch nur schlecht über größere Strecken transportiert werden kann, wird die gemeinsame dezentrale Erzeugung von Strom und Wärme und die Wärmespeicherung in der Nähe von Wärmeverbrauchern noch weiter zunehmen. Dazu werden erweiterte Wärmenetze in Erfurt sowie saisonale Wärmespeicher in Erfurt vonnöten sein.

Ausgehend von dem Zielszenario für Strom soll nunmehr das Zielszenario für Wärme entwickelt werden.

Dafür soll zunächst angenommen werden, dass langfristig (also bis 2050) in Erfurt nur noch ein Bedarf von 800 GWh Wärme vorhanden ist. Geht man weiterhin davon aus, dass es gelingt, alle thermischen Kraftwerke in die Fern- und Nahwärmeversorgung einzubeziehen, geht man dabei bei Biomasse und Ausgleich-/Spitzenlast-Kraftwerk von einer Stromkennzahl (also dem Verhältnis von Strom- zu Wärmeertrag) von 0,8 aus und weiterhin bei einem Geothermiekraftwerk von 0,25, so ergibt sich eine Wärmeerzeugung von ca. 450 GWh.

Der restliche Bedarf müsste von den Quellen Solarthermie und oberflächennaher Geothermie bzw. Abwärme aus anderen energieintensiven Anwendungen sowie aus einem verbleibenden Anteil chemischer Energie gedeckt werden. Das Problem dabei ist, dass im Gegensatz zum Strom der Wärmebedarf sehr stark saisonabhängig ist, so dass hier saisonale Speicher benötigt werden. Geht man davon aus, dass diese Speicher verlustbehaftet sind (insgesamt 40 % Verlust), so könnten bei einer Erzeugung von 350 GWh über diese Medien nur 210 GWh genutzt werden. Damit verbleibt ein Bedarf von lediglich 140 GWh, der anderweitig, z.B. über leitungsgebundene Brenngase, gedeckt werden muss/kann.

Betrachtet man bspw. den normierten Jahresgang der Fernwärme in Erfurt, wie in der Abbildung 2–43 dargestellt, so wird deutlich, dass über 80 % der vorzuhaltenden Leistung im Sommer nicht benötigt wird. Ungünstigerweise ist das dann genau die Zeit, in der die wichtigste erneuerbare Energienquelle im Wärmebereich, die Solarthermie, ihr Maximum erreicht, so dass eine Wärmespeicherung über die Saison hinaus angestrebt werden muss. Geht man von einer Grundlast, die auch im Sommer bereitgestellt werden muss, von etwa 50 MW thermischer Leistung aus, so entspricht das in etwa den o.g. 450 GWh Wärme.

Betrachtet man die Langfristziele in den Bereichen Mobilität, Wärme und Elektrizität, so verbleibt hier ein emissionsrelevanter Anteil von jeweils etwa 150 GWh/a bei Strom und Mobilität sowie von 208 GWh/a bei der Wärme. Berechnet man diesen Anteil vereinfachend mit Erdgasemissionen, so entstehen Emissionen von etwa 150.000 t CO₂ pro Jahr. Das entspricht weniger als einem Fünftel des heutigen Kohlendioxid-Ausstoßes und bestätigt somit die Möglichkeit der Zielerreichung. Allerdings müssen dazu fast alle erneuerbaren Energieformen, die in Erfurt verfügbar sind, weitgehend ausgeschöpft werden.

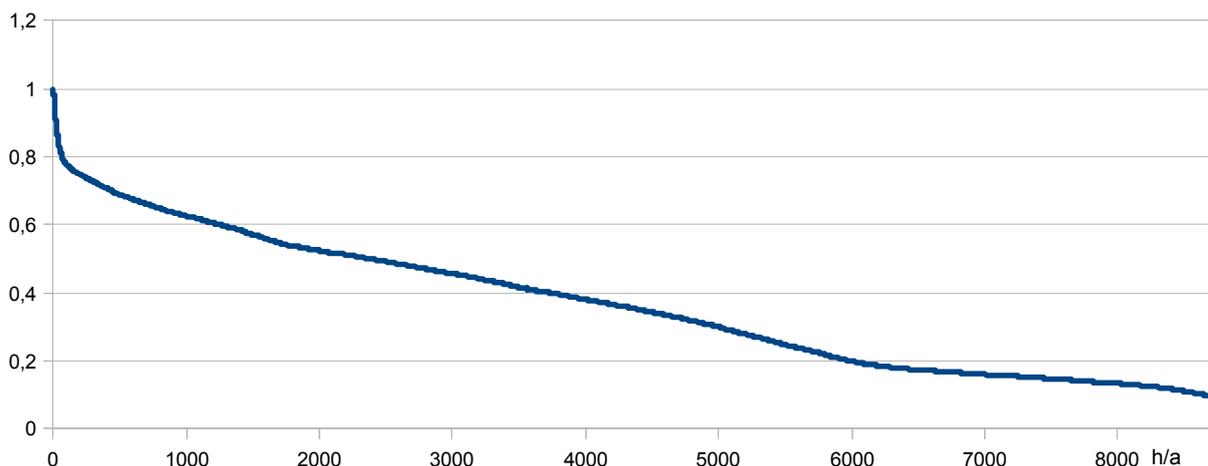


Abbildung 2–43: Normierter Jahrgang Fernwärme

Aber auch das Ziel einer 100-%igen Versorgung mit erneuerbaren Energien scheint erreichbar zu sein. Das könnte einerseits durch den Import von Energie erfolgen (vor allem durch Biomasse aus den umliegenden Regionen), auch können Windkraft und Photovoltaik noch stärker ausgeweitet werden. Dazu wird allerdings die Umwandlung der zunächst gewonnenen Elektroenergie, z.B. in einen chemischen Speicher, notwendig. Dabei könnte sich Methan, das aus erneuerbaren Energien gewonnen wurde, neben dem Strom als zweiter Universalenergieträger weiter etablieren und dabei auf vorhandene Erdgas-Infrastruktur zurückgreifen. Die Potentiale, in dieser Größenordnung zusätzlich Energie in Erfurt zu erzeugen, liegen vor allem bei den solaren Energien.

Ziele 2020:

Die Ziele für 2020 sollten sich an den Gesamtzielen bzw. dem Zielszenario 2050 orientieren. Zwar sind nicht alle Technologien in vollem Umfang und derzeit wirtschaftlich einsetzbar, dennoch sollte 2020 als Etappenziel verstanden werden, einen adäquaten Beitrag zum langfristigen Ziel der Verminderung der Kohlendioxid-Emissionen zu leisten.

Die folgende Grafik (Abbildung 2–44) des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen legt dabei für Industrieländer mindestens eine 30-%ige Reduktion der Pro-Kopf-Emissionen bis 2020 nahe, um das 2-%-Ziel erreichen zu können.

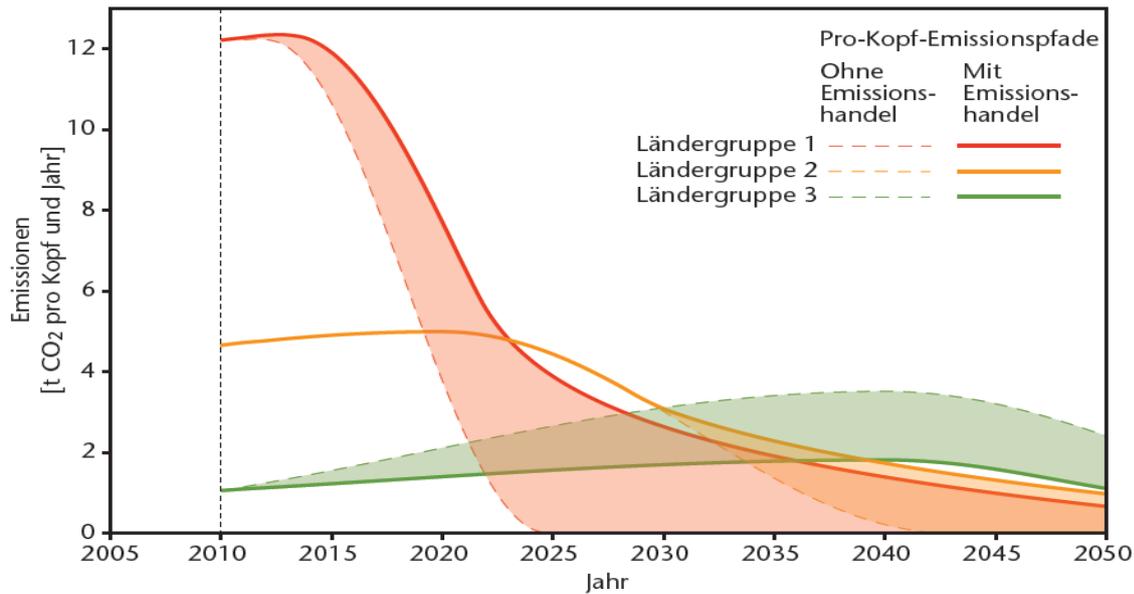


Abbildung 2–44: Emissionsentwicklung [71, S. 11]

Daher sollten bei der Energieerzeugung alle zur Verfügung stehenden Energieträger in Erfurt bis 2020 erschlossen werden bzw. mit einer Erschließung begonnen werden. Insbesondere heißt dies

- bei PV: alle derzeit förderfähigen Flächen (Brachflächen, Konversionsflächen, Verkehrswege und vor allem Dächer),
- bei Windenergie: sowohl die Ausweitung der Vorranggebiete als auch perspektivisch auch das Zulassen von Repowering mit höheren Anlagen,
- bei Bioenergie: Nutzung von Grünland, Stroh, Grünschnitt und holzartiger Biomasse, insbesondere unter Gewinnung und Netzeinspeisung von Biogas,
- dezentrale Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung,
- Erkundungsuntersuchungen zur tiefen Geothermie,
- Solarthermie vor allem auf Dachflächen,
- oberflächennahe Geothermieanlagen,
- Einstieg in zentrale Wärmespeicherung,
- Erschließung von Abwärmepotentialen,
- und vor allem Ausbau und Verdichtung der Wärmenetze.

Die Wirksamkeit von einzelnen Maßnahmen bei der Energieerzeugung kann nicht unabhängig von der Gesamtzielstellung und möglichen Handlungszielen erfolgen. Grundsätzlich sollte auf eine möglichst weitgehende Gewinnung von Energie aus erneuerbaren Quellen sowohl bei Strom und Wärme als auch in Zukunft für den Transport gedrängt werden. Dabei sind sowohl die Stadtverwaltung als auch die Stadtwerke nicht die entscheidenden Investoren.

Die Rentabilität solcher Maßnahmen hängt im Wesentlichen von den bundesgesetzlichen Vorgaben ab. In manchen Bundesländern werden diese Vorgaben noch durch weitere gesetzliche Regelungen auf Länderebene ergänzt (Erneuerbare-Wärme-Gesetz in Baden-Württemberg, aber auch z.B. Satzungsrecht bei Fernwärme in Thüringen). Da bei der Einspeisung von Strom bereits umfangreiche Regelungen in Form des EEG vorliegen, empfiehlt sich zunächst eine stärkere Fokussierung auf diesen Bereich.

Die Hauptaktivitäten können also bei Windenergie, Photovoltaik und Biomasse identifiziert werden.

Im Bereich Windenergie bietet sich eine Fortschreibung der Planung bei der Regionalplanung an.

Bei Photovoltaik sollen und können alle derzeit bei der Vergütung nach EEG mit einbezogenen Flächen mitbetrachtet und erschlossen werden.

Bei der Biomasse hängt die Umsetzung von Maßnahmen im Wesentlichen von der Verfügbarkeit der entsprechenden Biomassesortimente ab. Weiterhin kann hier z.B. Stroh künftig eine Rolle spielen.

Um die Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energien gering zu halten und die Akzeptanz zu befördern, sollten grundsätzlich bei Biomasse und Sonnenenergie Co-Benefits genutzt werden. Bei solarer Energie bedeutet das, dass weitergehende Leistungen auf der Fläche erbracht werden (z.B. in Form von Verkehrsinfrastruktur). Bei Biomasse sollten vorwiegend Reststoffe genutzt werden, oder der Anbau der Energiepflanzen sollte über die rein energetische Verwertung hinaus weitergehenden Nutzen erbringen.

Um effizient Energie erzeugen zu können, muss künftig neben Speichermöglichkeiten auch die Erweiterung der Netzkapazitäten geschaffen werden. Das betrifft vor allem das Strom- und Fernwärmenetz. Beim Stromnetz müssen unter Umständen die Kapazitäten erweitert werden, um den in Erfurt erzeugten Strom weiterleiten zu können. Bei der Fernwärme ist dies die Grundlage für Kraftwärmekopplung und damit auch für eine weitergehende Steigerung der Effizienz bei der Erzeugung von Strom. Grundsätzlich sollten diese Kapazitätserweiterungen nach Ermittlung der lokalen Notwendigkeiten in einem integralen Planungsprozess mit den Erneuerungen im sonstigen Infrastrukturbereich (Verkehr, Telekommunikation, Wasserver- und -entsorgung, Gas, Elektrizität und Wärme) koordiniert werden. Basis dafür sollte eine GIS-Potentialanalyse sein.

2.6 Erstellung eines Maßnahmenpaketes

Die Maßnahmen sind in Tabelle 2–29 zusammengestellt.

Tabelle 2–29: Maßnahmen

Bezeichnung Energie- versorgung	Ziel	Maßnahmen/Planung	Akteur
EV1	Ausbau erneuerbarer Energien bei Elektrizität bei den Stadtwerken Erfurt	Erwerb und Bau von Kraftwerken in Erfurt und näherer Umgebung (Maßnahmenplan, mittelfristige Planung und Zielvereinbarungen)	Stadtwerke Erfurt Gruppe
EV2	Förderung von Bürgerkraftwerken und Bürgerbeteiligungen an Kraftwerken	Begleitung und Schaffung organisatorischer Voraussetzungen für Bürgerkraftwerke	Stadtverwaltung, Stadtwerke Erfurt Gruppe
EV3	Erweiterung der Windenergie-Vorrangflächen	Untersuchung von Flächen in Erfurt sowie der Möglichkeit der Erweiterung bestehender Windparks	Stadtverwaltung Erfurt, regionale Planungsgemeinschaft Mittelthüringen
EV4	Ausweisung von PV-Nutzung im Flächennutzungsplan	Ermittlung von geeigneten Flächen und Aufnahme in den Flächennutzungsplan	Stadtverwaltung Erfurt
EV5	Erweiterung der Wasserkraftwerks-Kapazität	Konzept zur Nutzung von Wasserkraft in Erfurt, speziell am Standort Gispersleben	Stadtverwaltung Erfurt
EV6	Schaffung der Voraussetzungen für tiefe Geothermie	Unterstützung der Erforschung zur Tiefengeothermie, speziell in Bezug auf die Forschungsbohrung am Standort Erfurt Ost	Stadtwerke Erfurt, Stadtverwaltung
EV7	Förderung der Anlage von Energieholzplantagen in Erfurt	Untersuchung der landschaftlichen und naturräumlichen Einordnung sowie der Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen in Bezug auf Anbau und energetische Verwertung	Stadtverwaltung, Stadtwerke

Bezeichnung Energie- versorgung	Ziel	Maßnahmen/Planung	Akteur
EV8	Umsetzung von Biogas-Anlagen	Untersuchung des Anbaus von Mais und sonstigen Energiepflanzen mit der Zielstellung der anaeroben Vergärung, insbesondere in Hinblick auf die Teilsubstitution düngemittelintensiven Getreideanbaus und mit dem Ziel der Netzeinspeisung des Gases	Stadtverwaltung
EV9	Ausweitung KWK	Schaffung eines Wärme-Atlas als Voraussetzung	Stadtwerke, Stadtverwaltung
EV10	Ausbau und Verdichtung der Fernwärme	wirtschaftliche und technische Strategie zur Erhöhung des Fernwärmeanteils am Wärmemarkt	Stadtwerke Erfurt
EV11	Information und Beratung von Bürgern und Bau-Interessierten zu Photovoltaik, Solarthermie und oberflächennaher Geothermie	Gemeinsames Beratungskonzept mit beratenden Einrichtungen	Stadtverwaltung, IHK, HWK, Verbraucherzentrale, beratende Ingenieure, Architekten und Handwerker
EV12	Bauplanung erneuerbarer Energien im Bereich des Wohnungs-, Gewerbe- und Industriebaus	Bebauungspläne unter Berücksichtigung von BauGB § 9 (1) Nr. 23 b prüfen	Stadtverwaltung Erfurt
EV13	Erneuerbare Wärme und KWK auch in Bestandsgebäuden forcieren	Nutzungspflicht leitungsgebundener Wärme nach EEWärmeG § 3 und in Verbindung mit ThürKO § 20 prüfen	Stadtverwaltung Erfurt
EV14	Einsatz von Brennwerttechnik und Wärmepumpen		
EV15	Ausbau von BHKWs (speziell auch Mikro-BHKWs)	Förderung der BHKWs und dezentrale Erzeugung, z.B. aus Biogas.	Stadtwerke, Stadtverwaltung
EV16	Ausbau der Strom- und Fernwärmenetze		

2.7 Zusammenfassung

Durch die Kraft-Wärme-Kopplung bei der SWE Energie GmbH reduzierten sich die CO₂-Emissionen 2008 um 208.000 t CO₂/a auf ca. 726.000 t CO₂/a.

Die Erzeugung von 57 GWh Elektroenergie im Stadtgebiet Erfurt aus erneuerbaren Energien reduzierte 2008 die Emissionen um weitere 32.000 t CO₂/a.

Bei Fortschreibung des Status quo der Entwicklung wird für 2020 folgender Verbrauch prognostiziert: Fernwärme 480 GWh (Reduzierung um ca. 90 GWh), Erdgas 1.055 GWh (Reduzierung um ca. 140 GWh), Elektroenergie 880 GWh (Reduzierung um ca. 24 GWh). Mit diesen Werten reduzieren sich die Emissionen um ca. 60.000 t CO₂/a auf ca. 665.000 t CO₂/a. Werden weiterhin 57 GWh Elektroenergie im Stadtgebiet Erfurt aus erneuerbaren Energien erzeugt, reduzieren sich die Emissionen um weitere 32.000 t CO₂/a auf ca. 633.000 t CO₂/a.

Im engeren Stadtgebiet kann bei kleinteiliger Wasserkraftnutzung ein technisches Potential von 1 GWh Elektroenergie erschlossen werden. Bei Einbeziehung des gesamten Stadtgebiets von Molsdorf bis Kühnhausen könnte ein technisches Potential von 9,5 GWh Elektroenergie gewonnen werden. Damit können ca. 3.000 t CO₂/a (Strommix SWE mit 330 g CO₂/kWh) bzw. 4.800 t CO₂/a (Strommix BRD 506 g CO₂/kWh) eingespart werden.

Mittels Windenergie an den Standorten Kerspleben und Möbisburg sowie den zusätzlichen Standorten Friestedt, Egstedt und Alach können ca. 150 GWh/a Elektroenergie erzeugt werden. Damit können ca. 50.000 t CO₂/a (Strommix SWE mit 330 g CO₂/kWh) bzw. 76.000 t CO₂/a (Strommix BRD 506 g CO₂/kWh) eingespart werden.

Werden weiter zusätzliche Präferenzflächen des Energiekonzeptes 1 für die Windenergie genutzt und bestehende Anlagen durch Repowering aufgewertet, können weitere 177 GWh/a Elektroenergie erzeugt werden. Damit können ca. 58.000 t CO₂/a (Strommix SWE mit 330 g CO₂/kWh) bzw. 90.000 t CO₂/a (Strommix BRD 506 g CO₂/kWh) eingespart werden.

Somit beträgt das Gesamtpotential für die Elektroenergieerzeugung durch Windkraft in Erfurt 248 GWh/a, und es können ca. 82.000 t CO₂/a (Strommix SWE mit 330 g CO₂/kWh) bzw. 125.000 t CO₂/a (Strommix BRD 506 g CO₂/kWh) eingespart werden.

In Erfurt befinden sich 12 städtische Gebäude (Schulen, Ordnungsamt, Kindereinrichtungen), die nicht mit Fernwärme beheizt werden, in der Nähe geeigneter Abwasser-sammler, und eine Nutzung der Wärme der Abwässer mittels einer Wärmepumpe ist möglich. Diese Gebäude verbrauchten 2008 ca. 24 GWh. Bei bivalentem Heizungssystem (keine energetische Sanierung) und einem Deckungsanteil von 80 % durch die Wärme-

pumpe werden ca. 19 GWh Erdgas bzw. Heizöl eingespart, dafür aber ca. 5 GWh Elektroenergie mehr verbraucht und ca. 3.000 t CO₂/a eingespart.

Der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung in Erfurt beträgt etwa 200 GWh/a. In den drei Sommermonaten (Juni – August) beträgt der Bedarf etwa 50 GWh. Theoretisch kann dieser Bedarf bei Nutzung von ca. 10 % der geeigneten Dachflächen gedeckt werden, allerdings zu Lasten auch des Fernwärmeabsatzes.

Mit einer Kombination aus dezentralen und zentralen solarthermischen Anlagen könnte der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung vollständig gedeckt werden.

Bei vollständiger Nutzung des Potentials der geeigneten Dachflächen für die solarthermische Energiegewinnung und Speicherung der Energie im Sommer für die Nutzung im Winter kann theoretisch der gesamte Wärmebedarf in Erfurt gedeckt werden. Die dafür notwendige Speichergröße beträgt 1 km³. Realistisch könnten mit solarthermischen Anlagen etwa 50 % des Wärmebedarfs für Warmwasser im Sommer gedeckt werden – dies sind ca. 25 GWh im Sommer, für das ganze Jahr 35 GWh. Bevorzugte Anwendungsfälle sind hier die Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser ohne Fernwärmeanschluss. Damit könnten die CO₂-Emissionen um ca. 8.000 t CO₂/a gesenkt werden.

In Erfurt sind laut Anlagenregister [35] 811 Photovoltaikanlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 17,7 MWp installiert. Diese Anlagen erzielen einen Ertrag von 3,5 GWh/a (eingespeist). Dies ist ein Anteil von etwa 0,4 % des Elektroenergieverbrauchs in Erfurt. Das Solarkataster für Erfurt weist eine geeignete Dachfläche für die Solarenergienutzung von 4.878.232 m² aus. Bei vollständiger Nutzung dieser Dachfläche mit Photovoltaik kann ein Ertrag von Elektroenergie von 580 GWh/a erzielt werden. Dies entspricht ca. 64 % des Elektroenergieverbrauchs 2008 bzw. 66 % bezogen auf 2020. Dies führt zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen (bezogen auf die Emissionswerte der SWE Energie GmbH) um ca. 190.000 t CO₂/a. Eine 50-%ige Nutzung der geeigneten Dachflächen erzielt einen Ertrag von ca. 290 GWh/a (ca. 32 % des Verbrauchs bezogen auf 2008 bzw. 33 % bezogen auf 2020) und führt zu einer Emissionsminderung um ca. 96.000 t CO₂/a.

Bei Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche Erfurts von 16.500 ha zu 50 % durch Photovoltaik kann ein Ertrag von ca. 3.900 GWh/a an Elektroenergie erzielt werden, dies entspricht 440 % des Elektroenergieverbrauchs 2008. Bei Nutzung von 12 % der Fläche für Photovoltaik, dies sind 1.980 ha, kann der Elektroenergieverbrauch rechnerisch vollständig gedeckt werden.

Der Gesamtenergiebedarf Erfurts (Elektroenergie, Erdgas, sonstige Energieträger) von ca. 2.400 GWh/a kann theoretisch durch Nutzung einer Fläche von 5.280 ha mit Photovoltaik gedeckt werden. Mit diesem Szenario werden gegenüber den Emissionswerten Elektroenergie der SWE Energie GmbH 792.000 t CO₂/a, gegenüber den Emissionswerten Deutschlandmix 2008 1.214.000 t CO₂/a vermieden. Gegenüber den prognostizierten Emissionen 2020 von 624.000 t CO₂/a ist dies in beiden Fällen eine Über-

kompensation. Um dies zu erreichen, werden bei Nutzung von 50 % der geeigneten Dachflächen noch 4.600 ha landwirtschaftliche Fläche erforderlich.

Bei Nutzung der Randflächen an den Autobahnen im Stadtgebiet mit einer Länge von 75 km in einer Breite von 20 m je Seite durch Photovoltaik kann ein weiterer Ertrag von ca. 72 GWh Elektroenergie erzielt werden.

Bei Nutzung der gesamten landwirtschaftlichen Fläche durch Photovoltaik können u.U. auch die gesamten Emissionen durch den Verkehr kompensiert werden.

Durch die Fernwärmenutzung und die gekoppelte Erzeugung von Fernwärme und Elektroenergie (sowie den geschickten Einkauf) wird in Erfurt bereits eine Minderung der Emissionen von 207.000 t CO₂/a erreicht. Durch den Rückgang des Fernwärmeabsatzes wird auch die Menge der gekoppelt erzeugten Elektroenergie reduziert – dies führt zu einem Anstieg der Emissionen. Deshalb sollte der Fernwärmeabsatz durch Erschließung weiterer Fernwärmeabsatzgebiete erweitert werden. Dabei bietet sich insbesondere die Erweiterung der bestehenden Fernwärmesatzungsgebiete an. Folgende mögliche Gebiete sollten ggf. weiter untersucht werden: Krämpfervorstadt (Stauffenbergallee, Liebknecht-/Thälmannstraße, Rathenaustraße und Querstraßen), Ilversgehofen (zwischen Nordpark und Mittelhäuser Straße), Gewerbegebiete Hohenwindenstraße/An der Lache, Johannesvorstadt (Eugen-Richter-Straße, Büchner-, Bebel-, Tollerstraße und Querungen), Versorgungsgebiet Ost (Großmärkte und Gärtnereien an der Weimarischen Straße/ Eisenberger Straße), Daberstedt (Grundig-, Pößnecker, Geraer, Saalfelder, Klausener- und Holbeinstraße). Eine weitere Möglichkeit der Steigerung des Fernwärmeabsatzes besteht in der Nutzung des Rücklaufs durch Anhebung der Temperaturen mittels Wärmepumpen.

Die holzartige Biomasse bietet in Erfurt ein Potential von 68 GWh/a, die halmartige Biomasse 139 GWh/a. Für die holzartige Biomasse bietet sich die Mitverbrennung am Standort der GuD zur Dampferzeugung und Mitnutzung für Verstromung mittels Dampfturbine und Fernwärmeerzeugung an. Die halmartige Biomasse sollte über Biogasanlagen ebenfalls in der GuD zur Verstromung und Fernwärmeerzeugung genutzt werden. Bei Ausschöpfung des vollen Potentials können Emissionen von 42.000 t CO₂/a eingespart werden. Die Nutzung des anfallenden Deponiegases in der GuD-Anlage zur Verstromung und Fernwärmeerzeugung spart gegenüber der Verstromung am Standort der Deponie ca. 1.000 t CO₂/a.

Gemäß diesen Potentialen wurden entsprechende Maßnahmen entwickelt (s. 2.4) und ein Maßnahmenpaket vorgeschlagen (s. 2.6).

3 Fazit

Betrachtet man die aufgezeigten Potentiale der Flächennutzung durch unterschiedliche Technologien, so ergibt sich eine klare Reihenfolge. Die Effizienz der Flächennutzung durch solarthermische Anlagen ist am besten. Solarthermische Anlagen erbringen einen Ertrag von 200 – 500 kWh/(m²a) an Wärmeenergie. Bei einer zentralen Lösung mit saisonaler Wärmespeicherung könnten etwa 200 – 250 kWh/(m²a) Endenergie (beim Verbraucher) bereitgestellt werden.

Mit Photovoltaik kann ein Ertrag von etwa 150 kWh/(m²a) an Elektroenergie erzielt werden. Bei Speicherung der Energie durch Druckluftspeicher- oder Pumpspeicherkraftwerke können davon noch 120 – 140 kWh/(m²a) Elektroenergie genutzt werden. Bei Erzeugung von Wasserstoff mit der zum Zeitpunkt der Erzeugung nicht genutzten Energie und Kraft-Wärme-Kopplung durch GuD-Kraftwerke oder Brennstoffzellen-Kraftwerke stehen davon etwa 70 kWh/(m²a) Elektroenergie und 50 kWh/(m²a) Wärmeenergie zur Verfügung.

Mit Windkraftanlagen (Windparks) kann eine Flächenleistung von 15 – 30 kWh/(m²a) erreicht werden. Auch hier reduziert sich die verfügbare Endenergie durch Speicherung entsprechend.

Durch Biomassenutzung kann ein Flächenertrag von etwa 3,5 kWh/(m²a) erzielt werden, bei intensiver Nutzung (Anbau, Aussaat, Düngung, Ernte, Aufbereitung, ...) ist der Nettoertrag noch geringer. Da Biomasse an sich ein Energiespeicher ist, ist eine Nutzung trotzdem sinnvoll. Die Herstellung von Treibstoff für die individuelle Mobilität aus Biomasse (Ethanol, Rapsmethylester) reduziert die flächenbezogene Ausbeute auf etwa 1 kWh/(m²a). Demzufolge ist die auf Elektroenergie gestützte Mobilität wesentlich effizienter. In Tabelle 3–1 sind die flächenbezogenen Erträge zusammengefasst.

Tabelle 3–1: Flächenbezogene Erträge unterschiedlicher Technologien

Technologie	Ertrag in kWh/(m ² a)
Solarthermie dezentral	350 – 500
Solarthermie zentral, saisonale Wärmespeicherung	200 – 250
Photovoltaik	150
Photovoltaik mit Druckluftspeicher- bzw. Pumpspeicherkraftwerk	120 – 140
Windkraftanlagen	15 – 30
Biomasse	3,5
Treibstoff aus Biomasse	1,0

Beim Wärmeverbrauch überwiegt mit 60 % der private Verbrauch der Haushalte, gefolgt von Industrie/Gewerbe/Handel mit 8 % sowie dem öffentlichen Bereich mit 7 %. Hauptziele mit im Wesentlichen Raumwärmeverbrauch sind somit die privaten Haushalte und die Wohnungsunternehmen sowie der öffentliche Bereich.

Bei der Elektroenergie ergibt sich ein ähnliches Bild, wobei die privaten Haushalte und der öffentliche Bereich zusammen 60 % des Verbrauchs aufweisen. Auch hier sollte der Hauptfokus auf den privaten Haushalten und den Wohnungsunternehmen sowie dem öffentlichen Bereich liegen.

Für die Wärmeenergie ist die Reduzierung des Bedarfs durch Dämmung und Wärmerückgewinnung bei der Lüftung nachhaltiger als die vollständige Bereitstellung der Wärmeenergie mit erneuerbaren Energieträgern. Da die Stadt Erfurt auf die Immobilienbesitzer keine direkte Einflussnahme im Sinne von Vorschriften hat, ist die Einwirkung nur über eine dauerhafte, qualifizierte und umfassende Beratung möglich. Dieser – insbesondere auch öffentlichkeitswirksam darzustellende – Prozess ist zu verstetigen und mit allen involvierten Akteuren gemeinsam durchzuführen. Die Stadtverwaltung muss zusammen mit den weiteren Akteuren eine gemeinsam betriebene Beratungsstelle für Immobilienbesitzer und Bürger sowie Unternehmen installieren. Es sollten alle Maßnahmen der Beratung dort konzentriert werden. Durch diese zu schaffende Institution sollten auch die Pilotprojekte bei den Beteiligungsunternehmen begleitet werden. Ein wesentliches Ziel sollte die Steigerung der Sanierungsrate sein.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen bezüglich der Verbesserung der Energieeffizienz und des zu erweiternden Einsatzes erneuerbarer Energien bei der Stadtwerke Erfurt Gruppe sollten weiter untersucht und ggf. umgesetzt werden.

Auf der Erzeugerseite müssen alle zur Verfügung stehenden Energieträger bis 2020 erschlossen werden bzw. es muss mit der Erschließung begonnen werden. Dies betrifft insbesondere

- bei PV: alle derzeit förderfähigen Flächen (Brachflächen, Konversionsflächen, Verkehrswege und vor allem Dächer),
- bei Windenergie: sowohl die Ausweitung der Vorranggebiete als auch perspektivisch das Zulassen von Repowering mit höheren Anlagen,
- bei Bioenergie: Nutzung von Grünland, Stroh, Grünschnitt und holzartiger Biomasse, insbesondere unter Gewinnung und Netzeinspeisung von Biogas,
- dezentrale Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung,
- Erkundungsuntersuchungen zur tiefen Geothermie,
- Solarthermie vor allem auf Dachflächen,
- oberflächennahe Geothermieanlagen,
- Einstieg in zentrale Wärmespeicherung,
- Erschließung von Abwärmepotentialen
- und vor allem Ausbau und Verdichtung der Wärmenetze.

Der Hauptakteur ist die Stadtwerke Erfurt Gruppe, die durch die Stadtverwaltung entsprechend unterstützt werden muss. In der entsprechenden Reihenfolge sind in Abschnitt 2.6 die Maßnahmen aufgezeigt. Vor der Umsetzung der Maßnahmen sind jedoch noch weitere Untersuchungen bezüglich Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit notwendig.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1–1:	Klimabereinigter Fernwärmeabsatz der Jahre 2001 bis 2008, SWE Energie GmbH.....	16
Abbildung 1–2:	Klimabereinigter Erdgasabsatz der Jahre 2001 bis 2008 der SWE Energie GmbH.....	19
Abbildung 1–3:	Elektroenergieabsatz Stadtgebiet Erfurt und SWE Energie GmbH in Erfurt	22
Abbildung 1–4:	Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW aus Erdgas bei Nutzungsgrad 90 % 2008, Strommix BRD	25
Abbildung 1–5:	Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW aus Erdgas bei Nutzungsgrad 90 %, Prognose für 2020, Strommix BRD	33
Abbildung 1–6:	Geordnete Jahresdauerlinie der elektrischen Leistungsaufnahme von Kreiselpumpen für Ein-/Zweifamilienhäuser	41
Abbildung 1–7:	Lichtausbeute verschiedener Leuchtmittel	54
Abbildung 1–8:	Handlungsmatrix	62
Abbildung 2–1:	Stromerzeugung und Stromverbrauch in Erfurt 2004 – 2008.....	77
Abbildung 2–2:	Erneuerbare Energien 2004 – 2008.....	78
Abbildung 2–3:	Energieströme in Erfurt und Emissionen mit Emissionswerten Erdgas 227,7 g CO ₂ /kWh, Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO ₂ /kWh, Abgabe SWE FW mit 188 g CO ₂ /kWh und Elektroenergie mit 330 g CO ₂ /kWh	78
Abbildung 2–4:	Energieströme in Erfurt und Emissionen mit Ein- und Verkauf für Externe durch SWE Energie GmbH mit Emissionswerten Erdgas 227,7 g CO ₂ /kWh, Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO ₂ /kWh, Abgabe SWE FW mit 188 g CO ₂ /kWh und Elektroenergie im Stadtgebiet mit 330 g CO ₂ /kWh.....	79
Abbildung 2–5:	Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW (188 g CO ₂ /kWh) und Elektroenergie aus KWK (330 g CO ₂ /kWh) und Emissionswerten Erdgas aus Bezug SWE E mit FW (227,7 g CO ₂ /kWh), Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO ₂ /kWh.....	80

Abbildung 2–6:	Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW (188 g CO ₂ /kWh) und Elektroenergie aus KWK (330 g CO ₂ /kWh) und Emissionswerten Erdgas aus Bezug SWE E mit FW (227,7 g CO ₂ /kWh), Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO ₂ /kWh, erneuerbare Energien	81
Abbildung 2–7:	Energieströme 2020 in Erfurt und Emissionen mit FW (188 g CO ₂ /kWh) und Elektroenergie aus KWK (330 g CO ₂ /kWh) und Emissionswerten Erdgas aus Bezug SWE E mit FW (227,7 g CO ₂ /kWh), Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO ₂ /kWh	83
Abbildung 2–8:	Energieströme in Erfurt und Emissionen mit FW (188 g CO ₂ /kWh) und Elektroenergie aus KWK (330 g CO ₂ /kWh) und Emissionswerten Erdgas aus Bezug SWE E mit FW (227,7 g CO ₂ /kWh), Bezug Elektroenergie von außerhalb mit Strommix BRD 2008, Bezug Erdgas von außerhalb mit 227,7 g CO ₂ /kWh, erneuerbare Energien	84
Abbildung 2–9:	Potentiale der Wasserkraftnutzung (Definition)	85
Abbildung 2–10:	Mindestabstandsradien für WEA in Mittelthüringen [39]	97
Abbildung 2–11:	Auszug aus dem RROP 1999 für das Stadtgebiet Erfurt mit Vorrang- und Vorbehaltsgebieten (Vorbehaltsflächen für Windenergienutzung rot markiert) [46]	99
Abbildung 2–12:	Windkraftanlagen im Windpark Möbisburg (Weber 2009)	100
Abbildung 2–13:	WEA in Kerspleben auf dem Katzenberg (Weber 2009)	101
Abbildung 2–14:	Energieleistung des Windes in 100 m über Grund, für Erfurt angepasst, aus [39]	104
Abbildung 2–15:	Fläche nahe Egstedt Blickrichtung Nord in Richtung Stadtgebiet	105
Abbildung 2–16:	Fläche nahe Egstedt mit hoher Energieleistung (aus Google Earth)	105
Abbildung 2–17:	Flächennutzungsplan der Stadt Erfurt, Teil 1.4 „Vorrang und Vorbehaltsflächen aus dem RROP“ 1999 [46]	106
Abbildung 2–18:	Fläche westlich von Alach (aus: Google Earth 2010)	107
Abbildung 2–19:	Funktionsweise der Abwasserwärmenutzung [56]	111
Abbildung 2–20:	Systeme der Wärmerückgewinnung aus Abwasser [56]	112
Abbildung 2–21:	Für Abwasserwärmenutzung relevante Stadtteile von Erfurt	121
Abbildung 2–22:	Standorte potentieller Abnehmer von Abwasserwärme	126
Abbildung 2–23:	Globalstrahlungskarte DWD: Deutschland; Januar 2009	131
Abbildung 2–24:	Globalstrahlung in Erfurt 2009	133
Abbildung 2–25:	WBS 70 und dazugehörige ermittelte Dachfläche (GIS) [50]	134

Abbildung 2–26: Vergleich Warmwasser Ertrag zu Bedarf für 5-Geschosser (Plattenbau)	135
Abbildung 2–27: Vergleich Warmwasser Ertrag zu Bedarf für Wohnscheibe, Punkthochhaus, 5-geschossiges Stadthaus	136
Abbildung 2–28: CO ₂ -Einsparung bei WW-Bereitung mit verschiedenen Systemen.....	137
Abbildung 2–29: Deckungsanteil bei Freiflächennutzung	139
Abbildung 2–30: CO ₂ -Ersparnis in Abhängigkeit von der Flächennutzung	143
Abbildung 2–31: CO ₂ -Ersparnis in Abhängigkeit von der Flächennutzung	145
Abbildung 2–32: A 71 und A 4 innerhalb der Stadtgrenzen Erfurt (GIS).....	146
Abbildung 2–33: Beispielhafte Freiflächen entlang der A 71 [50].....	147
Abbildung 2–34: Fernwärme-Versorgungsgebiet Ost [66]	149
Abbildung 2–35: Luftaufnahme Erfurt-IIversgehofen [50].....	150
Abbildung 2–36: Fernwärme-Versorgungsgebiet Nord-Ost [66]	151
Abbildung 2–37: Luftaufnahme Erfurt (Alte Mittelhäuser Straße) [50].....	152
Abbildung 2–38: Luftaufnahme Erfurt-Ost [50].....	152
Abbildung 2–39: Luftaufnahme Erfurt-Daberstedt [50].....	153
Abbildung 2–40: Luftaufnahme Erfurt-Daberstedt [50].....	153
Abbildung 2–41: Handlungsmatrix	163
Abbildung 2–42: Potential (1) und Zielbedarf (2) an Elektrizität 2050 (der große, orangefarbige Bereich stellt die Photovoltaik auf Dächern dar).....	172
Abbildung 2–43: Normierter Jahregang Fernwärme	176
Abbildung 2–44: Emissionsentwicklung [71, S. 11].....	177

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1–1:	Bevölkerungsentwicklung nach der Siedlungsstruktur [67]	9
Tabelle 1–2:	Entwicklung der Erwachsenenhaushalte bis zum Jahr 2020 [6].....	10
Tabelle 1–3:	Gebäude- und Wohnungsbestand 2009 [67]	10
Tabelle 1–4:	Wohnungen in industriell errichteten Gebäuden	11
Tabelle 1–5:	Ergebnistabelle der wohnungswirtschaftlichen Segmentierung	12
Tabelle 1–6:	Entwicklung der Wohnungsanzahl bis 2009: Fertiggestellte neue Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden ([6] und Landesamt für Statistik)	13
Tabelle 1–7:	Baugenehmigungen für den Wohnungsbau [6].....	14
Tabelle 1–8:	Hypothese zum Geschoss- und Einfamilienhausbau bis 2020 (Zirka-Werte) [6]	14
Tabelle 1–9:	Szenarien des Wohnungsüberhangs im Jahr 2020 mit der angenommenen Neubautätigkeit und verschiedenen Leerstandsquoten [6, 67]	15
Tabelle 1–10:	Fernwärmeabsatz 2001 – 2008 (klimabereinigte Werte nach G_t [9])	18
Tabelle 1–11:	Erdgasabsatz 2001 – 2008 (klimabereinigte Werte [9])	21
Tabelle 1–12:	Elektroenergieabsatz Erfurt 2004 – 2008 [9].....	23
Tabelle 1–13:	Endenergiebedarf Fernwärme, Erdgas und Elektroenergie 2008.....	24
Tabelle 1–14:	Endenergiebedarf Fernwärme und Erdgas der privaten Haushalte für 2008, 2012 und 2020 in GWh auf Basis 2008	26
Tabelle 1–15:	Endenergiebedarf Elektroenergie der privaten Haushalte für 2008, 2012 und 2020 in GWh auf Basis 2008	27
Tabelle 1–16:	Endenergiebedarf Fernwärme und Erdgas der öffentlichen Gebäude für 2008, 2012 und 2020 in GWh.....	28
Tabelle 1–17:	Endenergiebedarf Elektroenergie der öffentlichen Gebäude für 2008, 2012 und 2020 in GWh	28
Tabelle 1–18:	Endenergiebedarf Fernwärme und Erdgas Industrie/Gewerbe/Handel für 2008, 2012 und 2020 in GWh	29
Tabelle 1–19:	Endenergiebedarf Elektroenergie Industrie/Gewerbe/Handel für 2008, 2012 und 2020 in GWh	30
Tabelle 1–20:	Endenergiebedarf Fernwärme und Erdgas Industrie/Gewerbe/Handel für 2008, 2012 und 2020 in GWh	31
Tabelle 1–21:	Endenergiebedarf Elektroenergie Industrie/Gewerbe/Handel für 2008, 2012 und 2020 in GWh	31

Tabelle 1–22:	Zusammenfassung Endenergiebedarf Fernwärme, Erdgas und Elektroenergie 2008, 2012 und 2020	33
Tabelle 1–23:	Einsparungen bei energetischer Sanierung der industriell errichteten Wohngebäude auf einen Bedarf von 80 kWh/(m ² a) (Maßnahme 1).....	35
Tabelle 1–24:	Einsparungen bei energetischer Sanierung der konventionell errichteten Wohngebäude (MFH) mit Baujahr vor 1990 auf einen Bedarf von 120 kWh/(m ² a) (Maßnahme 2).....	36
Tabelle 1–25:	Einsparungen bei energetischer Sanierung EFH/ZFH mit Baujahr vor 1990 auf einen Bedarf von 160 kWh/(m ² a) (Maßnahme 3)	36
Tabelle 1–26:	Zusammenfassung der Einsparungen bei den Maßnahmen zur energetischen Sanierung	37
Tabelle 1–27:	Stromverbrauch und -einsparung für die Stadt Erfurt bei Einsatz von Hocheffizienzpumpen	44
Tabelle 1–28:	CO ₂ -Emissionen und CO ₂ -Emissionsminderungen für die Stadt Erfurt bei Einsatz von Hocheffizienzpumpen	45
Tabelle 1–29:	Leuchtmittelverteilung für Erfurt	55
Tabelle 1–30:	Szenario Austausch Quecksilberdampf gegen Natriumdampf	56
Tabelle 1–31:	Szenario Austausch aller Leuchtmittel gegen LED	56
Tabelle 1–32:	Maßnahmen	71
Tabelle 1–33:	Verbrauch und Emissionen 2008	73
Tabelle 1–34:	Einsparpotentiale 2020	76
Tabelle 2–1:	Prognostizierter Verbrauch 2020	82
Tabelle 2–2:	Potential der CO ₂ -Einsparung mittels Wasserkraft.....	91
Tabelle 2–3:	Potentialberechnungen für die Präferenzräume aus dem Energiekonzept 1998 für die Stadt Erfurt [33].....	95
Tabelle 2–4:	Zusammenstellung der bestehenden WEA im Raum der Stadt Erfurt	101
Tabelle 2–5:	Ertragspotential des geplanten Windparks Fienstedt-Schmira ..	102
Tabelle 2–6:	Potential für Windenergienutzung in der Nähe der Ortschaft Egstedt	107
Tabelle 2–7:	Potential für Windenergienutzung in der Nähe der Ortschaft Alach.....	108
Tabelle 2–8:	Potential durch Repowering auf bestehenden Vorranggebieten ohne Höhenbegrenzung	109
Tabelle 2–9:	Zusammenfassung Bestand und Potential der Windenergienutzung in Erfurt	110
Tabelle 2–10:	Rangordnung der identifizierten Standorte.....	123
Tabelle 2–11:	CO ₂ -Einsparpotential bei Abwasserwärmenutzung	128

Tabelle 2–12:	CO ₂ -Einsparpotential bei Abwasserwärmenutzung am Beispiel der Berufsbildenden Schule 1 in Gispersleben	128
Tabelle 2–13:	Annahmen für den Jahreswarmwasserbedarf.....	132
Tabelle 2–14:	Ertrag und Bedarf für einen 5-geschossigen Plattenbau.....	135
Tabelle 2–15:	Ertrag und CO ₂ -Ersparnis bei verschiedener Wärmeerzeugung	138
Tabelle 2–16:	Flächenverteilung Stadtgebiet Erfurt (Flächen in ha)	138
Tabelle 2–17:	Ertrag und CO ₂ -Ersparnis bei verschiedener Wärmeerzeugung für Freiflächenanlagen.....	140
Tabelle 2–18:	Berechnungsgrundlage Photovoltaik	142
Tabelle 2–19:	Ertrag und CO ₂ -Ersparnis bei verschiedenartiger Stromerzeugung	142
Tabelle 2–20:	Ertrag und CO ₂ -Ersparnis im Vergleich zu verschiedenen Strommischen	144
Tabelle 2–21:	Berechnung des Ertrags entlang der Autobahn	146
Tabelle 2–22:	Potential der CO ₂ -Einsparung mittels Biomasse bei Wärmeerzeugung	156
Tabelle 2–23:	Grundsätzliche Möglichkeiten von Maßnahmen	159
Tabelle 2–24:	Maßnahmen: Erhöhung der Elektrizitätserzeugungskapazität mit Photovoltaik	160
Tabelle 2–25:	Einteilung der Maßnahmen	161
Tabelle 2–26:	Kombination der Maßnahmen mit Aktionsfeld und Energiebereich.....	162
Tabelle 2–27:	Übersicht der Potentiale für Elektrizität in GWh/a	171
Tabelle 2–28:	Zielszenario 2050 a: Bedarf ca. 500 GWh Elektrizität.....	174
Tabelle 2–29:	Maßnahmen.....	179
Tabelle 3–1:	Flächenbezogene Erträge unterschiedlicher Technologien	184

Literaturverzeichnis

- [1] SV Erfurt, Kommunalstatistisches Heft 64 (2008):
Bevölkerung der Stadt Erfurt 2007. Bestands- und Bewegungsdaten.

- [2] SV Erfurt, Kommunalstatistisches Heft 73 (2010): Gebäude- und Wohnungs-
bestand, Fortschreibung 2009. Tabelle 3.2.1, Seite 11.

- [3] SV Erfurt, Amt für Baukoordinierung, Stadterneuerung und Denkmalpflege:
Masterplan II – Teilräumliches Entwicklungskonzept für die Erfurter Groß-
Wohnsiedlungen. Ergebnistabelle der wohnungswirtschaftlichen Segmentierung,
Seite 50. Juli 2005.

- [4] SV Erfurt, Amt für Stadterneuerung und Denkmalpflege: Masterplan I – Umbau
Erfurter Großsiedlungen. Dezember 2001

- [5] Energiekonzept Landeshauptstadt Erfurt II: Projektbericht II – Energiebedarfs-
berechnungen Nutz- und Endenergie. Tabelle 4-3, Seite 16. Dezember 2002.

- [6] SV Erfurt, Beiträge zu Stadtentwicklung, Heft 11 (2005): Sektorale Entwicklungs-
konzeption, Wohnen 2020 – Teilbereich Neubau.

- [7] SV Erfurt, Dezernat Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Stadtentwicklung und
Stadtplanung: Integriertes Stadtentwicklungskonzept Erfurt. Dezember 2008.

- [8] Henning, M.: Energiebedarfsberechnungen zu Nutz- und Endenergie von Wohn-
gebäuden. Forschungsprojekt, FH Erfurt, Fakultät Gebäudetechnik und Informatik,
postgradualer Masterstudiengang Gebäudemanagement.
Februar 2009 – unveröffentlicht.

- [9] Stadtwerke Erfurt Energie GmbH: Abrechnungsdaten der Energieträger Fern-
wärme und Erdgas Erfurt, 2008. Internes Material – unveröffentlicht.

- [10] DIN EN 832, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des
Heizenergiebedarfs – Wohngebäude. Dezember 1998.

- [11] DIN V 4108 Teil 6, Wärmeschutz im Hochbau – Berechnung des Jahresheiz-
wärmebedarfs von Gebäuden. Juni 2003.

- [12] DIN V 4701 Teil 10, Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. August 2003.
- [13] WärmeschutzVO 95, Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Bonn, Juli 1994.
- [14] EnEV 2002, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Berlin, November 2001.
- [15] EnEV 2007, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Berlin, Mai 2007.
- [16] EnEV 2009, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Berlin, Mai 2009.
- [17] Lorenz, G.; Mischner, J.; Storm, W.: Energiekonzept für die Landeshauptstadt Erfurt – Teil I – Analyse des Ist-Zustands 1996. Zwischenbericht zum Energiekonzept für die Landeshauptstadt Erfurt. Juni 1998.
- [18] Lorenz, G.: Energiekonzept Landeshauptstadt – Weiterführung der Untersuchungen für die leitungsgebundenen Energieträger Fernwärme und Erdgas. Erfurt, 2009.
- [19] HeizAnIV, Heizungsanlagen-Verordnung. 1998.
- [20] Stadtverwaltung Erfurt, Amt für Datenverarbeitung und Statistik: Statistischer Quartalsbericht 4/2001. Seite 8. Erfurt, März 2002.
- [21] Softwareprogramm Epass Helena Professional 5.0.090. Vertrieb: ZUB Kassel 2008.
- [22] EEWärmeG, Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Januar 2009.
- [23] DIN 277, Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau. Februar 2005.
- [24] Thülima – Thüringer Liegenschaftsmanagement: Auszug aus Datenbank. Unveröffentlichtes Material. Januar 2009.

- [25] Stadtverwaltung Erfurt, Dezernat für Finanzen und Liegenschaften, Amt für Grundstücks- und Gebäudeverwaltung, Abteilung TGA: Energiebericht des Jahres 2007. Erfurt, 2008.
- [26] DIN V 18599, Teile 1 bis 10, Energetische Bewertung von Gebäuden. Februar 2007.
- [27] ages GmbH: Verbrauchskennwerte 2005, Energie- und Wasserverbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht. 1. Auflage. Münster, Februar 2007.
- [28] Ehrhardt, R.: Analyse und Bewertung des Energieverbrauches ausgewählter Liegenschaften der Stadt Erfurt. BA-Arbeit an der FH Erfurt, Fakultät Gebäudetechnik und Informatik, Reg.- Nr.: BA-GET 19/08. Juli 2007
- [29] SV Erfurt, Kommunalstatistisches Heft 67 (2010): Erfurter Statistik Bevölkerung 2008. Auswertung der Bestands- und Bewegungsdaten der Erfurter Bevölkerung des Jahres 2008.
- [30] Lorenz, G.; Mischner, J.: Energiekonzept Erfurt II. SWE GmbH, 2002.
- [31] Prognos; EWI: Energieszenarien für den Energiegipfel 2007. Endbericht. Basel, Köln, November 2007.
- [32] Wilo (2010). www.wilo.de – Auslegungssoftware Wilo-Select Online. Dortmund: Wilo SE.
- [33] Lorenz, G.; Mischner, J.; Storm, W.; Kappert, M.: Energiekonzept für die Landeshauptstadt Erfurt. Abschlussbericht zum Energiekonzept für die Landeshauptstadt Erfurt. Erfurt, 1998.
- [34] Senft, M.: Kleinwasserkraftpotenzial in Erfurt. Master-Thesis. Fachhochschule Erfurt, Fachrichtung Bauingenieurwesen, Reg.-Nr. MA/011-08. 2008 – unveröffentlicht.
- [35] EEG-Anlagenregister: <http://www.energymap.info>. Stand: 29.03.2010

- [36] ag-energiebilanzen, BRD_Stromerzeugung1990 – 2009: http://www.ag-energiebilanzen.de/componenten/download.php?filedata=1266336936.pdf&filename=BRD_Stromerzeugung1990-2009%2015Feb2010.pdf&mimetype=application/pdf.
Stand: 15.Februar 2010.
- [37] BWE Bundesverband Windenergie, Prognos-Studie Windenergie und Gewerbesteuer in Norddeutschland. Hintergrundinformation:http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Presse_Hintergrund/HG_Studie_Gewerbesteuer.pdf.
Stand: 15.08.2006.
- [38] DEWI GmbH, Ender, C.: Wind Energy Use in Germany – Windenergienutzung in Deutschland: http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin_36/05.pdf.
Stand: 05.03.2010.
- [39] Döpel, U.; Stein, B.: Untersuchung zur Windenergienutzung in Mittelthüringen. unter besonderer Berücksichtigung des Landschaftsbildes und der Windressourcen. Erläuterungsbericht. November 2006.
- [40] ENERCON GmbH: Enercon Windenergieanlagen Produktübersicht: [http://www.enercon.de/www/de/broschueren.nsf/vwwebAnzeige/95BBD95599625504C1257194002816F0/\\$FILE/ENE_Produnktuebersicht_deut_13012010.pdf](http://www.enercon.de/www/de/broschueren.nsf/vwwebAnzeige/95BBD95599625504C1257194002816F0/$FILE/ENE_Produnktuebersicht_deut_13012010.pdf).
Stand: 11.01.2010.
- [41] Landeshauptstadt Erfurt Stadtverwaltung:
Flächennutzungsplan – Erläuterungsbericht. 2006.
- [42] Beer, M.: CO₂-Verminderung in Deutschland. Endbericht: [http://www.ffe.de/download/langberichte/FfE_CO₂-Endbericht_komplett.pdf](http://www.ffe.de/download/langberichte/FfE_CO2-Endbericht_komplett.pdf). 2009.
- [43] Forsa: Erneuerbare Energien 2009 – Einzelauswertung Bundesländer: http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content/Panorama/Meinungen/Forsa-Umfrage_Akzeptanz_2010/FORSA-Akzeptanz%20EE_Einauswertung%20Bundeslaender.pdf. Stand: 20.01.2010.
- [44] Hau, E.: Windkraftanlagen. Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit. Berlin: Springer, 2003.
- [45] Thüringer Oberverwaltungsgericht: Urteil vom 30. September 2009, Aktenzeichen 6 K 3085/03 We.

- [46] Regionale Planungsgemeinschaft Mittelthüringen: Regionaler Raumordnungsplan Mittelthüringen: www.thueringen.de/imperia/md/content/tmbv/landesplanung/plaene/regionen/rrop_mittelthueringen.pdf. Stand: 04.11.1999.
- [47] Bundesverband Solarwirtschaft (BSW-Solar): www.solaratlas.de.
- [48] Solarkataster Erfurt, Aerowest GmbH, simuPLAN.
- [49] Globalstrahlungskarten Deutschland, Deutscher Wetterdienst: www.dwd.de.
- [50] Luftbilder: www.bing.com.
- [52] Schönheit, R.; Schubert, E.: Gebäude- und Wohnungsbestand – Fortschreibung 2006 – Kommunalstatistisches Heft 62 (2007). Erfurt: Thüringer Landesamt für Statistik, Stadtverwaltung Landeshauptstadt Erfurt.
- [53] www.udi-projekt.de. Stand: 27.07.2010.
- [54] <http://www.hei-tech.nl>.
- [55] IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur: Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen – Entwicklung eines Anforderungskatalogs für Kläranlagen- und Kanalnetzbetreiber gestützt auf Praxistests mit Wärmetauschern. Abschlussbericht. Gelsenkirchen.
- [56] Bundesverband WärmePumpe (BWP) e.V. und Institut für Infrastrukturanlagen: Energierückgewinnung aus Abwasserkanälen – Heizen und Kühlen mit Abwasser – Ratgeber für Bauherren und Kommunen. 2005.
- [57] www.baunetzwissen.de/standardartikel/Heizung_Waermerueckgewinnung-aus-Abwasser_161422.html. Stand: 19.07.2010.
- [58] <http://energieundbau.de/gebaeudetechnik/wissen/Abwasserwaermerueckgewinnung-20100120.html>. Stand: 19.07.2010.
- [59] EUWID – Europäischer Wirtschaftsdienst Wasser und Abwasser; Wa Nr. 5. Februar 2010.

- [60] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 114, Energie aus Abwasser – Wärme- und Lageenergie. November 2008.
- [61] Amt für Umwelt, Amt für Wirtschaft und Arbeit, in Zusammenarbeit mit EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen: Leitfaden für Gemeinden und Energiestädte im Kanton Solothurn – Energierückgewinnung aus Abwasser. Mai 2007.
- [62] Grüne Energie für Thüringen – Energiepolitisches Programm von BÜNDNIS 90/ DIE GRÜNEN Thüringen. April 2008.
- [63] Benkert, I.: Wärmerückgewinnung aus Abwasser – Potentiale in Erfurt. Abschlussarbeit. Fachhochschule Erfurt.
- [64] Onlineforum der Stadt Erfurt: <http://forum.erfurt.de/index.php>. Stand: 10.07.2010.
- [65] Neuwerk, T.: Optionen der Biomassennutzung auf dem Erfurter Stadtgebiet. Fachhochschule Erfurt.
- [66] Stadtverwaltung Erfurt: Fernwärmesatzung der Stadt Erfurt. Erfurt, Juni 2005.
- [67] Stadtverwaltung Erfurt: Erfurter Statistik. Gebäude- und Wohnungsbestand 2009. Erfurt 2010
- [68] VDI e.V.: Klimaschutz und Energiepolitik: Handlungsempfehlungen für den Gebäudebereich. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, Düsseldorf 2010.
- [69] Wolff, D.; Jagnow, K.: Abschlussbericht Forschungsvorhaben Optimus, DBU 2005, DBU – AZ 18315.
- [70] Fisch, M.N.; Plesser, S.; Bremer, C.: EVA – Evaluierung von Energiekonzepten für Bürogebäude, Abschlussbericht, TU Braunschweig, Institut für Gebäude- und Solartechnik, Förderkennzeichen 0327346A/.
- [71] Schellnhuber, H.J. et. al.: Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz. Sondergutachten 2009 des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Deutscher Bundestag, 17. Wahlperiode, Drucksache 17/2273, 26.05.2010.