



Kanton Basel-Stadt

seecon gmbh
society - economy - ecology - consulting

fh FACHHOCHSCHULE NORDHAUSEN
University of Applied Sciences

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

 UNIVERSITÄT
LIECHTENSTEIN

ENERGIE. KLIMA. PLAN.



novatlantis
Nachhaltigkeit im ETH Bereich

Endbericht

Energetische Optimierung des Kantons Basel-Stadt

Studie im Auftrag des Kantons Basel-Stadt

2009 – 2011

Arbeitsstand: 24.11.2011

Impressum

Auftraggeber

Kanton Basel-Stadt

Auftragnehmer

EKP Energie-Klima-Plan GmbH

Fachhochschule Nordhausen

Hochschule Liechtenstein

seecon gmbh

Bearbeiter

Till Berger

Dieter D. Genske

Luca Hüsler

Thomas Jödecke

Arne Menn

Ariane Ruff

Haftungsausschluss

Trotz sorgfältiger Prüfung sämtlicher Inhalte in diesem Werk sind Unschärfen in der Datenbasis und der Methodik nicht auszuschliessen. Die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität des Inhalts ist daher ohne Gewähr. Eine Haftung der Herausgeber und Autoren auch für die mit dem Inhalt verbundenen potentiellen Folgen, insbesondere wirtschaftliche Verwertbarkeit und Vermögensschäden, ist ausgeschlossen. Der Inhalt dieser Studie gibt ausschliesslich die Meinung der Autoren wieder.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
1. Zusammenfassung	7
2. Veranlassung	22
3. Ziele	23
4. Grundlagen	24
4.1. Die 2000-Watt-Gesellschaft	24
4.2. Das <i>intra muros</i> -Prinzip	26
4.3. Erhebungsgrundlagen	27
5. Projektgebiet	30
5.1. Naturräumliche Entwicklung	30
5.2. Stadträumliche Entwicklung	32
5.3. Demographische Entwicklung	40
5.4. Klimatische Entwicklung	41
6. Methodik	44
6.1. Das Flächenprinzip	44
6.2. Energiesektoren und Energieformen	45
6.3. Energetische Homogenbereiche	47
6.4. Energiebezugs- und Energiepotenzialflächen	48
6.5. Energiebedarf der Mobilität	49
6.6. Erneuerbare Endenergieerzeugung	50
6.7. Energieeffizienz und -suffizienz	60
6.8. Graue Energie	61
7. Zukunftsszenarien	63
7.1. Energiesystem Basel	63
7.2. Referenzszenario	64
7.3. Szenario 2000-Watt-Gesellschaft	65
7.4. Stellschrauben	67
8. Energieverbrauch und Bedarfsprognose	69
8.1. Aktueller Energieverbrauch	69
8.2. Zukünftiger Energiebedarf	78
9. Endenergieerzeugung	107
9.1. Aktuelle Endenergieerzeugung	107
9.2. Zukünftige Endenergieerzeugung	108
10. Treibhausgase	123
10.1. Weiße und graue Emissionen	123
10.2. Aktuelle Emissionen	123
10.3. Zukünftige Emissionen	126
11. Kosten und Nutzen	131
11.1. Wirtschaftlichkeit von Investitionen	131
11.2. Kostenentwicklung bei den konventionellen Energien	132
11.3. Gestehungskosten der regenerativen Energien	134
11.4. Ausgaben und Einsparungen	136
12. Strategien und Handlungsempfehlungen	140
12.1. Wann wird die 2000-Watt-Gesellschaft erreicht?	140
12.2. Regenerative Erträge und Bedarf	140
12.3. Sensitivitätsuntersuchungen	144
12.4. Vergleich mit anderen Modellregionen	149
12.5. Handlungsempfehlungen	153
13. Begriffsdefinitionen	159
14. Anhänge	162
15. Literatur	168

Kurzfassung

In dieser Studie wird der aktuelle und zukünftige Energiehaushalt des Kantons Basel-Stadt analysiert. Dabei wird das Ziel verfolgt, die aktuelle und zukünftige energetische Leistung pro Einwohner zu quantifizieren und durch geeignete, im Modellraum wirksame Effizienzmassnahmen zu reduzieren. Zudem sind nicht regenerative Energien durch regenerative zu ersetzen. Dabei gilt das *intra muros*-Prinzip, d.h. es werden nur die regenerativen Energien in Betracht gezogen, die innerhalb der Modellgrenzen, also im Kanton Basel-Stadt, genutzt werden können. Somit wird ein energetischer Fussabdruck *extra muros* vermieden.

Die energetische Optimierung des Modellraums orientiert sich an der 2000-Watt-Gesellschaft. Als Masszahlen dienen die Leistung in Watt Primärenergie *per capita*, der Jahresendenergiebedarf *per capita*, die Treibhausgasemissionen *per capita* und der Grad der regenerativen Selbstversorgung. Um die energetischen Entwicklungsmöglichkeiten des Kantons darzustellen, werden zwei Szenarien definiert: Ein Referenzszenario, in dem der aktuelle Trend fortgeschrieben wird und ein 2000-Watt-Szenario, das verstärkte Anstrengungen bei der Energieeffizienz und der Einführung erneuerbarer Energien voraussetzt.

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass das 2000-Watt-Ziel mittelfristig nur mit den dafür definierten Massnahmen erreicht werden kann. Aufgrund der günstigen Voraussetzungen im Kanton, insbesondere des aktuell mässigen Endenergieverbrauchs und des bereits aktuell hohen Anteils der erneuerbaren Energien, wird das Ziel etwa 2075 erreicht. Wenn jedoch keine weiteren Anstrengungen unternommen werden und der gegenwärtige Trend sich fortsetzt, kann das Ziel auch langfristig nicht erreicht werden.

1. Zusammenfassung

Ziel der Studie

Diese Studie hat als Ziel, den gegenwärtigen Energieverbrauch des Kantons Basel-Stadt mit seinen Landgemeinden zu ermitteln und das Potenzial des Kantons zur erneuerbaren Endenergieerzeugung zu quantifizieren. Sie orientiert sich an der 2000-Watt-Gesellschaft, die eine kontinuierliche Absenkung des Primärenergiebedarfs auf 2000 Watt pro Person vorsieht. Neben dem Energiebedarf ist auch der Anteil fossiler Energieträger zu reduzieren und auf einen Viertel dieser Leistung zu begrenzen. Dies bedingt gleichzeitig eine Reduktion des Pro-Kopf-Ausstosses von Treibhausgasen.

Um energetische Fussabdrücke ausserhalb des Kantons zu vermeiden, werden nur energetische Ressourcen im Modellraum berücksichtigt. Es gilt somit das *intra muros*-Prinzip. Die Emissionen werden – im Gegensatz zum Kyoto-Protokoll – nach dem Verursacherprinzip ermittelt.

Das 2000-Watt-Ziel

Als Masszahlen der Erreichung des 2000-Watt-Ziels dienen die Leistung in Watt Primärenergie, der Jahresendenergiebedarf, die Treibhausgasemissionen und der Grad der regenerativen Selbstversorgung. Aktuell betragen im Kanton die Leistung in Watt Primärenergie ca. 4'000 Watt pro Einwohner. Mit Berücksichtigung der grauen Energie beträgt der Wert 7'900 Watt pro Einwohner. Der Jahresendenergiebedarf liegt bei knapp 31'000 kWh pro Einwohner, die Treibhausgasemissionen bei ca. 5.6 t pro Einwohner (mit grauen THG-Emissionen ca. 10 t) und der regenerative Selbstversorgungsgrad *intra muros* bei knapp 4% im Wärmebereich und 19% im Strombereich. Eine Selbstversorgung mit regenerativen Treibstoffen ist aktuell nicht möglich und scheint auch in Zukunft kaum realisierbar zu sein. Für die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft ist die Leistung auf 2000 Watt pro Person, die THG-Emissionen auf 1 Tonne pro Person zu reduzieren.

Aufbau der Studie

In der Studie wird zunächst die naturräumliche, stadträumliche und demographische Entwicklung des Modellraums dargestellt. Weiterhin werden die klimatischen Vorgaben beschrieben. Es folgt eine Erläuterung der Methodik, für die neben dem *intra muros*-Prinzip auch das Flächenprinzip, also die Kartierung energetischer Nutzflächen und das Prinzip der energetischen Homogenbereiche relevant sind. Energetische Homogenbereiche sind vergleichbar sowohl hinsichtlich ihres Energiebedarfs als auch hinsichtlich ihrer Begabung, selbst Energie zu erzeugen. Ihre Treibhausgasemissionen und ihr Potenzial, Treibhausgase zu binden, sind ebenfalls vergleichbar. Die Einteilung der Homogenbereiche orientiert sich an städtebaulichen Leitbildern sowie an der Nutzung des Landschaftsraums und mündet schliesslich in prototypische Stadt- und Landschaftsräume. Weiterhin wird zwischen drei Energieparteien unterschieden: Wohnen (Haushalte), Arbeiten (Industrie und Gewerbe-Handel-Dienstleistung GHD) und Mobilität. Sie verbrauchen Energie in Form von Heizwärme, Warmwasser, Strom und Brennstoffen/Treibstoffen.

Um das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen, werden Zukunftsszenarien entworfen. Dabei wird zwischen einem Referenzszenario und einem 2000-Watt-Szenario unterschieden. Im

Referenzszenario wird der aktuelle Trend fortgeschrieben, wogegen im 2000-Watt-Szenario verstärkt Anstrengungen unternommen werden, den Energieverbrauch zu senken (Effizienz) und nicht regenerative Energie durch regenerative zu ersetzen. Ein bewusstes Einsparen von Energie (Suffizienz) wird in dieser Studie nicht betrachtet.

Der status quo

Einen erheblichen Raum nimmt in dieser Studie die Ermittlung des aktuellen Energiebedarfs ein. Sie beruht auf statistischen Angaben, Messungen und Schätzungen.

Aktuell liegt der Endenergiebedarf für den Kanton Basel-Stadt bei knapp 6'000 GWh. Es besteht noch eine starke Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, obwohl ein erheblicher Anteil des Energieverbrauchs bereits regenerativ gedeckt wird (Abb. 1-1). Dabei ist zwischen der regenerativen Endenergieerzeugung *intra muros* und *extra muros* zu unterscheiden. Der *extra muros* Anteil überwiegt deutlich und besteht im Wesentlichen aus Wasserkraftstrom und, zu einem geringeren Anteil, aus Windkraft und in den Modellraum importiertem Kehrriech, Holz und vergärbare Biomasse zur Wärmebereitstellung und Stromerzeugung.

Der Energieverbrauch verteilt sich auf die drei Energieparteien "Wohnen", "Arbeiten" und "Mobilität". Mehr als die Hälfte der Endenergie wird im Sektor "Arbeiten" verbraucht, etwa ein Fünftel für "Wohnen" und ein Fünftel für "Mobilität". Fast 60% der Energie wird als Wärme verbraucht und jeweils etwa ein Fünftel als Strom bzw. in Form von Treibstoffen. Diese Angaben beruhen zum Teil auf statistischen Erhebungen, zum Teil auf Messungen und zum Teil auf Schätzungen.

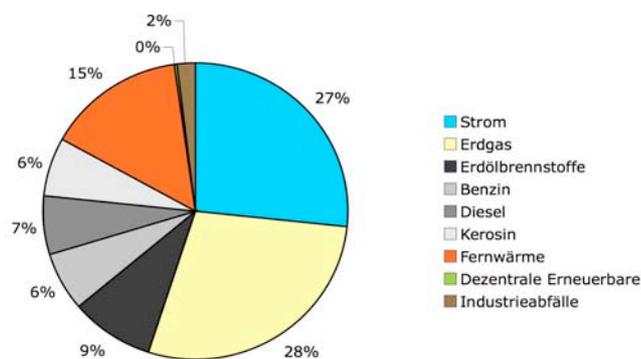


Abb. 1-1. Relativer Endenergieverbrauch nach Energieträgern 2010 (5905 GWh).

Die Bedarfsprognose

Die Prognose des langfristigen Energiebedarfs fusst auf die in dieser Studie angewendete Raumtypisierung, der Extrapolationen aktueller Verbrauchswerte sowie schweizerischer und europäischer Trends. Tabelle 1-1 zeigt den absoluten Endenergiebedarf für die verschiedenen Zeitschnitte für beide Szenarien, Tabelle 1-2 zeigt den *per capita*-Endenergiebedarf in Kilowattstunden pro Einwohner, Tabelle 1-3 zeigt die *per capita*-Endenergieleistung in Watt. Es wird deutlich, dass aufgrund der angenommenen Effizienzmassnahmen der Bedarf stetig abnimmt (Abb. 1-2 und 1-3).

Dies ist insbesondere zurückzuführen auf die Sanierung im Bestand, Effizienzsteigerungen im Sektor "Arbeiten", der Reduktion des Individualverkehrs zu Gunsten des öffentlichen Personennahverkehrs und der allmählichen Elektrifizierung der Mobilität. Im 2000-Watt-Szenario ist die Reduktion des Bedarfs erheblich grösser.

Tab. 1-1. Energiebedarfsprognose (Endenergie) im Referenz- und 2000-Watt-Szenario (ohne Neubau).

Energiebedarf	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Summe
[GWh _{End} /a] ¹				
Referenzszenario				
2010	1298	3454	1150	5902
2020	1264	3454	1096	5814
2030	1215	3459	1046	5720
2040	1159	3478	1001	5637
2050	1099	3505	957	5560
2000-Watt-Szenario				
2010	1298	3454	1150	5902
2020	1193	3147	1054	5394
2030	1053	2829	941	4822
2040	928	2557	861	4346
2050	810	2328	776	3914

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

Tab.1-2. Energiebedarfsprognose (Endenergie) *per capita* im Referenz- und 2000-Watt-Szenario.

Energiebedarf	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Summe
[kWh _{End} /a] ¹				
Referenzszenario				
2010	6759	17962	5989	30710
2020	6583	18033	5708	30324
2030	6326	18059	5446	29832
2040	6033	18155	5213	29401
2050	5722	18297	4982	29001
2000-Watt-Szenario				
2010	6759	17962	5989	30710
2020	6212	16426	5491	28129
2030	5482	14763	4900	25146
2040	4832	13343	4485	22661
2050	4216	12148	4043	20406

¹Kilowattstunden Endenergie *per capita* pro Jahr.

Tab. 1-3. Leistung in Watt Primärenergie *per capita* im Referenz- und 2000-Watt-Szenario.

Energiebedarf	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Summe
	[W _{PE/a}] ¹			
Referenzszenario				
2010	862	2311	843	4016
2020	843	2328	804	3975
2030	815	2339	767	3920
2040	782	2360	734	3877
2050	747	2391	702	3840
2000-Watt-Szenario				
2010	862	2311	843	4016
2020	805	2122	773	3701
2030	731	1929	690	3350
2040	656	1751	632	3039
2050	579	1595	569	2743

¹Watt Primärenergie *per capita*.

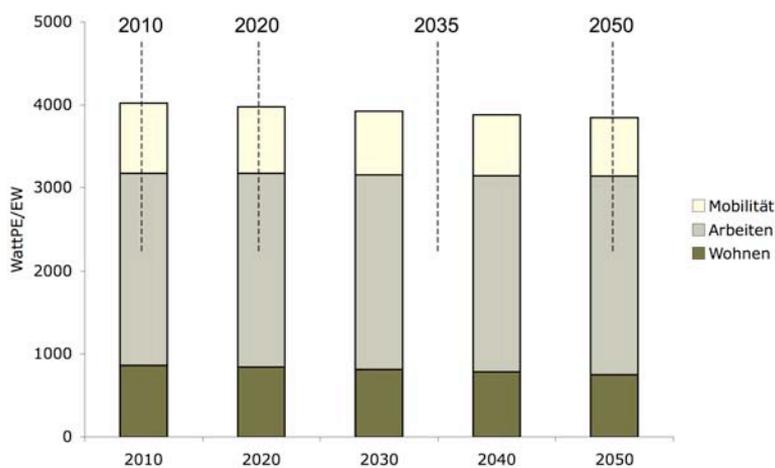


Abb. 1-2. *Per capita*-Leistung in Watt Primärenergie Referenzszenario.

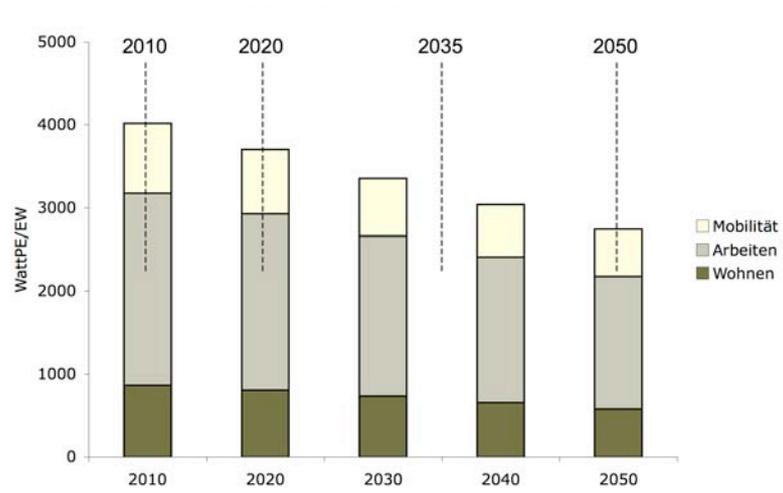


Abb. 1-3. *Per capita*-Leistung in Watt Primärenergie 2000-Watt-Szenario.

Die regenerativen Energiepotenziale

Die Datenrecherche ergab, dass im Kanton BS regenerative Energien bereits in beachtlichem Masse genutzt werden. Darüber hinaus lassen sich erhebliche Energiepotenziale wecken. Dabei geht die Prognose des Ausbaus der regenerativen Energie von den Vorgaben in Basel, aber auch von nationalen Trends aus.

Zur direkten Solarnutzung eignen sich entsprechend ausgerichtete Dächer bzw. Fassaden, deren Potenzial auf der Grundlage der in dieser Studie vorgestellten Raumanalyse mit Erfahrungswerten abgeschätzt werden kann. Unter Berücksichtigung städtebaulicher Randbedingungen und den Belangen des Denkmalschutzes ergibt sich ein Potenzial von ca. 205 ha solar nutzbarer Dach- und Fassadenfläche, also ca. 12 % der bebauten Fläche. 2009 wurden von dieser solaren Nutzflächen nur 3.7 ha genutzt.

Windkraftanlagen eignen sich nur an windreichen Standorten. Ihr Energieertrag ist eine Funktion der Windgeschwindigkeit, der Rotorfläche und des Nutzungsgrades und steigt überproportional mit der Höhe. Geeignete Standorte für Grosswindkraftanlagen wurden im Modellraum nicht gefunden. Das Potenzial der Wasserkraft ist dagegen erheblich höher. Allerdings erscheint es schon gänzlich ausgeschöpft. Allenfalls könnten noch Klein- und Mikrowasserkraftanlagen, zum Beispiel in Druckleitungen, ausgebaut werden.

Im Wärmebereich lassen sich die Umweltmedien Untergrund, Umgebungsluft, die Gewässer und das Abwasser nutzen. Wärmepumpengestützte Anlagen benötigen Strom, der aus regenerativen Quellen stammen muss, soll die Wärmebereitstellung nachhaltig sein. Im Modellgebiet eignen sich erdgekoppelte Wärmepumpen (Erdwärmesonden) sowie Anlagen der Abwasserwärmerückgewinnung aus gebäudenahen Abwassersammelschächten. Ebenfalls der Warmwasserbereitstellung dienen Sonnenkollektoren, die wiederum in Flächenkonkurrenz zu Photovoltaik-Anlagen stehen. Neben der Nutzung der Gebäudehüllen, des Abwassers und des flächen Untergrundes stellt die tiefe Geothermie eine bereits genutzt Ressource im Modellraum dar. Das Spektrum der Optionen der Wärmebereitstellung wird durch die Nutzung der Biomasse vervollständig, die ebenfalls der Stromerzeugung dient.

Vor dem Hintergrund der vielfältigen Optionen der Energieerzeugung ist zu konstatieren, dass es erhebliche regenerative Potenziale gibt. Die Tabellen 1-4 bis 1-7 zeigen die potenziellen regenerativen Endenergieträger *intra muros* nach Produktionsoptionen aufgelistet, die Abbildungen 1-4 bis 1-7 veranschaulichen sie. Danach dominieren im Strombereich die Wasserkraft und die Photovoltaik, mit der tiefen Geothermie als dritte Komponente im 2000-Watt-Szenario. Im Wärmebereich ist das Spektrum gleichmässiger verteilt, wobei die Erdwärme, Solarwärme und Kehrriechverbrennung besonders hohe Potenziale aufweisen. Biotreibstoffe werden im Kanton aktuell kaum erzeugt, es gibt daher so gut wie keine regenerativen Treibstoffträge.

Tab. 1-4. Regeneratives Strompotenzial (Endenergie) im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie als Leistung (Primärenergie) *per capita* im Referenzszenario.

	Sonne (PV)	Wind	Wasser	Biomasse und Biogas	KVA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh_{End}/a]¹							
2010	3	0	256	1	5	0	265
2020	6	0	256	1	5	0	267
2030	15	0	256	1	5	0	276
2040	36	0	256	1	5	0	298
2050	78	0	256	1	5	0	339
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a]²							
2010	18	0	1331	8	24	0	1380
2020	29	0	1331	8	24	0	1392
2030	76	0	1331	8	24	0	1439
2040	188	0	1331	8	24	0	1551
2050	405	0	1331	8	24	0	1768
Leistung <i>per capita</i> [W/EW]³							
2010	2	0	152	1	3	0	158
2020	3	0	152	1	3	0	159
2030	9	0	152	1	3	0	164
2040	21	0	152	1	3	0	177
2050	46	0	152	1	3	0	202

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität);

³Watt pro Einwohner Primärenergie (inklusive Arbeit und Mobilität).

Tab. 1-5. Regeneratives Strompotenzial (Endenergie) im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie als Leistung (Primärenergie) *per capita* im 2000-Watt-Szenario.

	Sonne (PV)	Wind	Wasser	Biomasse und Biogas	KVA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh_{End}/a]¹							
2010	3	0	256	1	5	0	265
2020	51	0	256	1	5	0	313
2030	153	0	256	1	5	107	522
2040	195	0	256	1	5	107	564
2050	199	0	256	1	5	107	568
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a]²							
2010	18	0	1331	8	24	0	1380
2020	265	0	1331	8	24	0	1628
2030	796	0	1331	8	24	557	2716
2040	1017	0	1331	8	24	557	2937
2050	1037	0	1331	8	24	557	2957
Leistung <i>per capita</i> [W/EW]³							
2010	2	0	152	1	3	0	158
2020	30	0	152	1	3	0	186
2030	91	0	152	1	3	64	310
2040	116	0	152	1	3	64	335
2050	118	0	152	1	3	64	338

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität);

³Watt pro Einwohner Primärenergie (inklusive Arbeit und Mobilität).

Tab. 1-6.. Regeneratives Wärmepotenzial (Endenergie) im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie als Leistung (Primärenergie) *per capita* im Referenzszenario.

	Sonne (Kollektoren)	Erdwärme (Sonden)	Abwasserwärme	Biomasse und Biogas	KVA	ARA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh _{End} /a] ¹								
2010	4	7	1	15	68	19	10	124
2020	6	11	2	17	68	19	18	142
2030	15	13	2	22	68	19	18	157
2040	33	14	2	22	68	19	18	177
2050	58	14	2	22	68	19	18	203
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a] ²								
2010	19	38	7	76	353	101	53	648
2020	31	55	10	91	353	101	96	737
2030	77	66	11	117	353	101	94	819
2040	172	71	12	117	353	101	94	921
2050	302	75	13	117	353	101	94	1055
Leistung <i>per capita</i> [W/EW] ³								
2010	2	4	1	9	40	12	6	74
2020	3	6	1	10	40	12	11	84
2030	9	7	1	13	40	12	11	93
2040	20	8	1	13	40	12	11	105
2050	34	9	1	13	40	12	11	120

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität);

³Watt pro Einwohner Primärenergie (inklusive Arbeit und Mobilität).

Tab. 1-7. Regeneratives Wärmepotenzial (Endenergie) im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie als Leistung (Primärenergie) *per capita* im 2000-Watt-Szenario.

	Sonne (Kollektoren)	Erdwärme (Sonden)	Abwasserwärme	Biomasse und Biogas	KVA	ARA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh _{End} /a] ¹								
2010	4	7	1	15	68	19	10	124
2020	42	46	8	17	68	19	18	219
2030	96	107	17	22	68	19	79	409
2040	99	136	20	22	68	19	79	443
2050	95	139	19	22	68	19	79	442
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a] ²								
2010	19	38	7	76	353	101	53	648
2020	219	238	41	91	353	101	96	1140
2030	499	559	90	117	353	101	412	2132
2040	514	706	105	117	353	101	412	2308
2050	494	725	98	117	353	101	412	2301
Leistung <i>per capita</i> [W/EW] ³								
2010	2	4	1	9	40	12	6	74
2020	25	27	5	10	40	12	11	130
2030	57	64	10	13	40	12	47	243
2040	59	81	12	13	40	12	47	263
2050	56	83	11	13	40	12	47	263

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität);

³Watt pro Einwohner Primärenergie (inklusive Arbeit und Mobilität).

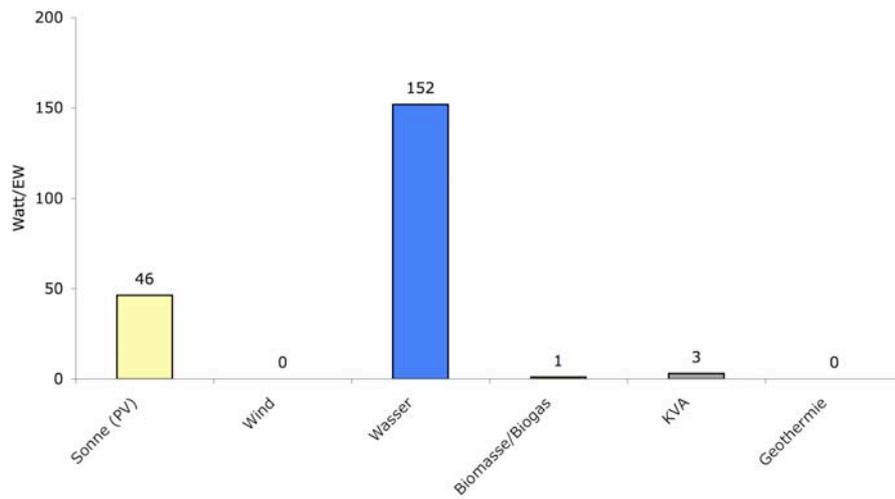


Abb. 1.4. Regenerative Stromleistung im Referenzszenario 2050 (Endenergie) *intra muros per capita*.

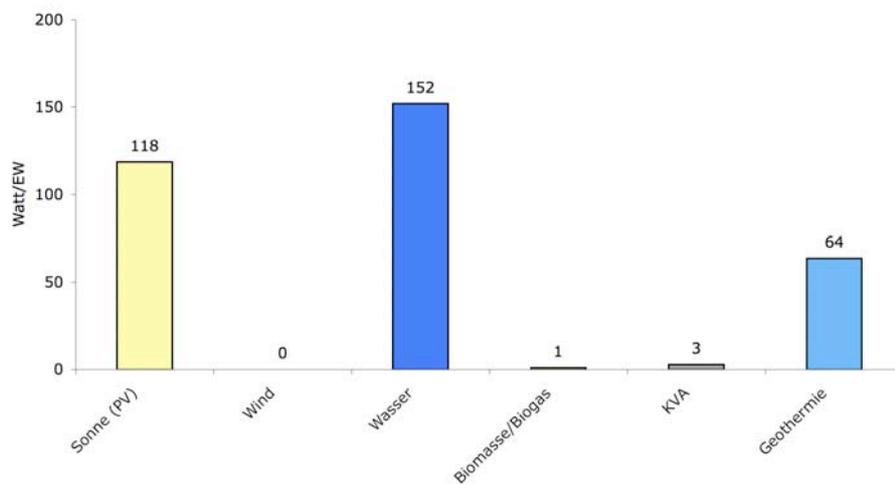


Abb. 1-5. Regenerative Stromleistung im 2000-Watt-Szenario 2050 (Endenergie) *intra muros per capita*.

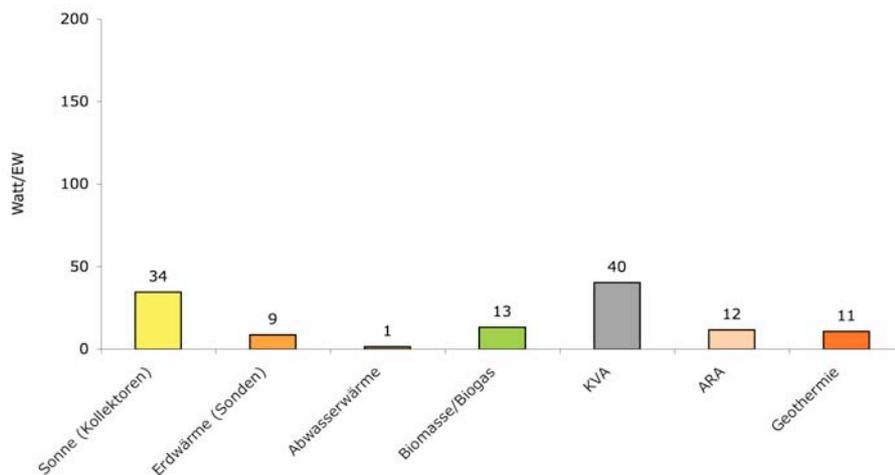


Abb. 1-6. Regenerative Wärmeleistung im Referenzszenario 2050 (Endenergie) *intra muros per capita*.

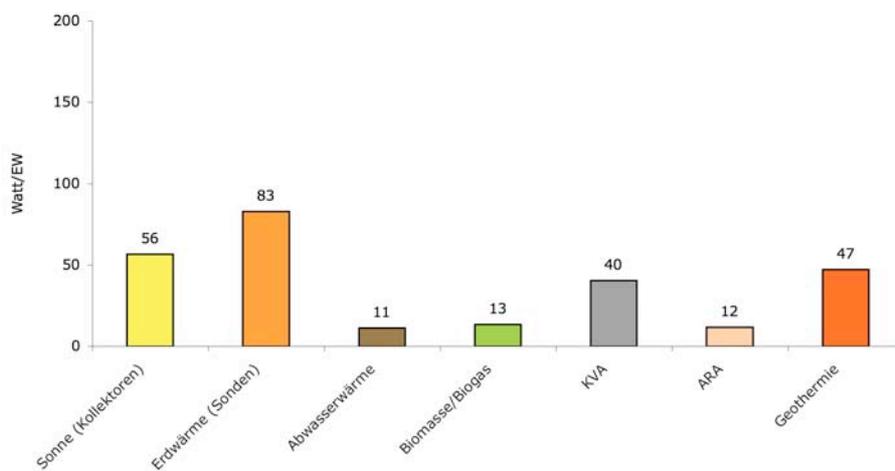


Abb. 1-7. Regenerative Wärmeleistung im 2000-Watt-Szenario 2050 (Endenergie) *intra muros per capita*.

Der Grad der regenerativen Selbstversorgung

Der Vergleich des Energiebedarfs mit den regenerativen Energiepotenzialen führt zu folgenden Ergebnissen:

- Im Referenzszenario kann der Endenergieverbrauch *per capita* kaum gesenkt werden, im 2000-Watt-Szenario reduziert er sich um ein Drittel.
- Im Referenzszenario steigert sich die regenerative Selbstversorgung (*intra muros*) im Wärmebereich auf 7%. Im Strombereich verbleibt sie trotz mässigem Ausbau erneuerbarer Energien infolge des gestiegenen Strombedarfs auf 19%. Im 2000-Watt-

Szenario steigert sie sich im Wärmebereich auf 16% und im Strombereich auf 47%.
Regenerative Treibstoffe lassen sich in beiden Szenarien nicht erzeugen.

- Im Referenzszenario nimmt die Primärenergieleistung *per capita* um gerade 4%, im 2000-Watt-Szenario um gut 30% ab.

Die Auswertung zeigt, dass sich mit der Fortschreitung des aktuellen Trends das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft nicht erreichen lässt. Dagegen ist dies im 2000-Watt-Szenario bis 2075 möglich. Es setzt aber verstärkte Anstrengungen bei der Erhöhung der Energieeffizienz und der Einführung regenerativer Energien voraus.

Die Treibhausgase

Treibhausgase lassen sich reduzieren, indem der Energieverbrauch durch Effizienz- und Suffizienzmassnahmen gesenkt und fossile Energien mit regenerativen ersetzt werden. Bei der vorausgegangenen Bedarfsprognose und der Potenzialanalyse wurden beide Aspekte untersucht und in ihrer Entwicklung bis 2050 prognostiziert. Daraus ergeben sich Vorhersagen für die THG-Emissionen in beiden Szenarien (Tab. 1-7, Abb. 1-8 und 1-9). Zu beachten ist, dass bei der Energiebereitstellung der gesamte Lebenszyklus der Anlagen betrachtet wird. Insofern werden auch bei der regenerativen Energieerzeugung Treibhausgase emittiert.

Tab. 1-7. THG-Emissionen *per capita* im Referenz- und 2000-Watt-Szenario

Energiebedarf	Wohnen	Arbeiten	Mobilität [t CO ₂ Eq/a] ³	Graue ^{1,2}	Summe
Referenzszenario					
2010	1.11	2.73	1.71	n.b. ⁴	5.55
2020	1.04	2.64	1.62	n.b. ⁴	5.30
2030	0.96	2.57	1.54	n.b. ⁴	5.07
2040	0.87	2.51	1.47	n.b. ⁴	4.85
2050	0.79	2.46	1.40	n.b. ⁴	4.65
2000-Watt-Szenario					
2010	1.11	2.73	1.71	n.b. ⁴	5.55
2020	0.97	2.51	1.54	n.b. ⁴	5.01
2030	0.78	2.23	1.33	n.b. ⁴	4.34
2040	0.65	2.04	1.16	n.b. ⁴	3.85
2050	0.54	1.87	0.99	n.b. ⁴	3.41

¹Aus der in der Schweiz bei Erzeugung, Verarbeitung und Transport von Gütern und Dienstleistungen eingesetzte Energie zuzüglich des Importsaldos der grauen Energie von Gütern und Dienstleistungen (Stadt-Zürich 2009);

²die THG aus grauer Energie betragen 2010 im Kanton BS 4.3 Tonnen pro Einwohner (siehe Erläuterung im Text); ³Tonnen CO₂-Äquivalente (Treibhausgase) pro Einwohner und Jahr; ⁴nicht bekannt.

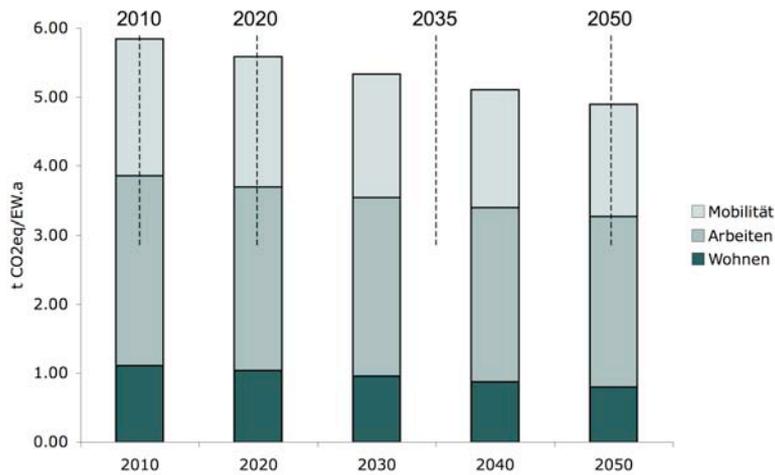


Abb. 1-8. Reduktion der THG-Emissionen in den Zeitschnitten bis 2050 im Referenzszenario.

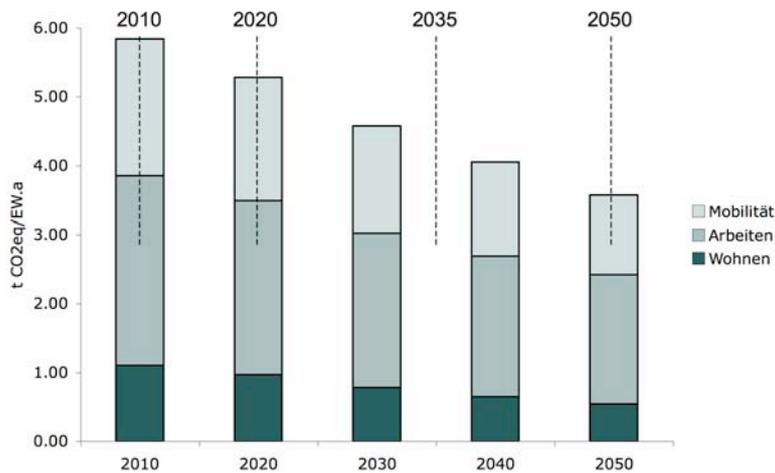


Abb. 1-9. Reduktion der THG-Emissionen in den Zeitschnitten bis 2050 im 2000-Watt-Szenario.

Die Analyse zeigt, dass sich im Referenzszenario die Treibhausgasemissionen *per capita* um etwa 15%, im 2000-Watt-Szenario dagegen um etwa 40% reduzieren.

Die Kosten

Der energetische Stadtumbau und die Einführung des 2000-Watt-Prinzips werden mit erheblichen Kosten verbunden sein. Allerdings werden auch Kosten vermieden, etwa durch die Einsparung des Einkaufs konventioneller Energien und den THG-Emissionsabgaben, die sich aus den CO₂-Spot-Preisen des EUA-Spotmarktes ergeben.

Eine Prognose der Kosten ist abhängig von einer Vielzahl von Einflussfaktoren, deren zukünftige Entwicklung nur zu Teil vorausgesagt werden kann. Fest steht jedoch, dass die fossilen Energieträger teurer werden und die Gestehungskosten der Regenerativen fallen werden. Vor diesem Hintergrund

lassen sich die Kosten (Ausgaben für erneuerbare Energien) und der Nutzen (vermiedene Kosten für konventionelle Energien und Treibhausgase) über die Zeitachse darstellen (Tab. 1-8).

Erwartungsgemäss sind die Kosten der erneuerbaren Energien im Referenzszenario gering und im 2000-Watt-Szenario hoch. Allerdings überwiegt der Nutzen im 2000-Watt-Szenario ab etwa 2050 deutlich.

Tab. 1-8. Jährliche Ausgaben und Einsparungen im Referenz- und 2000-Watt-Szenario.

	Ausgaben für regenerative Energien		Ausgaben gesamt	THG-Einsparungen ³	Einsparungen von konventionellen Energien		Einsparungen gesamt	Delta ⁶
	Wärme ¹	Strom ²			Wärme ⁴	Strom ⁵		
MioCHF/a								
Referenzszenario								
2010	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	-2	-1	-3	1	2	0	3	0
2030	-4	-6	-10	2	4	1	7	-3
2040	-6	-10	-16	3	9	3	14	-2
2050	-9	-13	-22	4	17	8	29	7
2000-Watt-Szenario								
2010	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	-17	-26	-42	2	9	4	15	-27
2030	-36	-63	-100	5	28	13	46	-54
2040	-37	-53	-91	7	43	18	68	-23
2050	-33	-29	-62	9	57	20	86	24

¹Für (zusätzliche) Sonnenkollektoren, Erdwärme, Abwasserwärme, Geothermie, Kehrichtverbrennung und Biomasse; ²für (zusätzliche) PV, Wasserkraft, Geothermie, Kehrichtverbrennung und Biomasse; ³CO₂-Spot-Preis (EUA) von 21 CHF/t (2010); ⁴Einsparung nicht regenerativer Energie (nicht-regenerativen Wärme-Mixes 2010); ⁵Ersatz des aktuellen Strom-Mixes durch erneuerbare Energien; ⁶Differenz Einsparungen-Ausgaben.

Im 2000-Watt-Szenario fallen bis zum Jahr 2050 jährliche Investitionen in Höhe von 23 Mio. Franken an. Pro Einwohner entspricht dies einer jährlichen Belastung von etwa 120 Franken. Diese (vereinfachte) Kostenschätzung zeigt, dass es sich um eine von den Bürgern durchaus tragbare Zukunftsinvestition handelt, von der die folgenden Generationen profitieren werden.

2. Veranlassung

Die Thematik der Nutzung und Erschliessung alternativer Energiequellen hat in den letzten Jahren einen gewaltigen Boom erfahren. Im Mittelpunkt stehen bislang jedoch technische Fragen und Analysen. Um Optionen der erneuerbaren Endenergieerzeugung insbesondere im urbanen Raum wirkungsvoll einzusetzen, sind ihre Umsetzbarkeit im Stadtraum und ihre Einbettung in die vorhandene Infrastruktur zu prüfen. Bislang wird die Energieversorgung der Städte dominiert von Energieerzeugern *extra muros*, von Grossanlagen ausserhalb der Stadt. Vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Energiekrise und im Hinblick auf die notwendige Reduktion der Treibhausgase gilt es jedoch die Energieversorgung grundsätzlich zu überdenken.

Bereits 2007 konstatierte das World Watch Institut in seinem Bericht "Zur Lage der Welt", dass die "Städte über das Klima entscheiden". Durch eine dezentrale erneuerbare Endenergieerzeugung können die Umweltbelastung sowie die Treibhausgas-Emissionen reduziert werden. Darüber hinaus löst der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Endenergieerzeugung vor Ort positive wirtschaftliche Effekte aus. In der Region wächst die Wirtschaftskraft, Arbeitsplätze entstehen. Zudem werden die Bürger an der Wertschöpfungskette der Endenergieerzeugung beteiligt.

Am 04.11.2008 trafen sich Vertreter des Kantons Basel-Stadt, Novatlantis Zürich und die Auftragnehmer zum ersten Mal zu einem informellen Informationsaustausch, in dem die Erstellung des vorliegenden Exposés angeregt wurde. Am 27.02.2009 und am 18.05.2009 fand jeweils ein weiterer Informationsaustausch statt. Das Konzept der "Nutzung erneuerbarer Energien im städtischen Umfeld" wurde präsentiert und anhand von Potenzialkarten dargestellt. Die Ergebnisse sind überraschend, zeigen Sie doch einen hohen Grad an möglicher Energieautarkie und ein beachtliches Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasen in den untersuchten Modellräumen.

Am 6. Juli 2009 beauftragte der Kanton Basel-Stadt die Auftragnehmer mit der Anfertigung der "Studie zur Ermittlung des langfristigen Potenzials des Kanton Basel-Stadt zur erneuerbaren Endenergieerzeugung und zur Einsparung von Treibhausgasen". Dieser Auftrag wurde am 23. November 2009 erweitert mit einer Studie zur "Ermittlung des gegenwärtigen Energieverbrauchs des Kanton Basel-Stadt und Entwicklung von Szenarien". Die Ergebnisse aus beiden Studien sind in diesem Bericht zusammengefasst.

3. Ziele

Das Projekt hat als Ziele,

- den gegenwärtigen Energieverbrauch des Kantons Basel-Stadt zu ermitteln.
- das Potenzial des Kantons zur erneuerbaren Endenergieerzeugung zu quantifizieren und
- dabei zwei Szenarien zur energetischen Entwicklung des Modellraums zu entwickeln.
- konkrete Massnahmen zum gezielten, sinnvollen Ausbau der erneuerbaren Endenergieerzeugung im Stadtraum zu definieren.

Zum Modellgebiet gehören auch die Landgemeinden Riehen und Bettingen. Aus energetischer Sicht beschränkt sich das Umland auf die Kantonsgrenzen (*intra muros*-Prinzip).

4. Grundlagen

4.1. Die 2000-Watt-Gesellschaft

Zieldefinition

Die Vision der 2000-Watt-Gesellschaft sieht eine kontinuierliche Absenkung des Energiebedarfs auf 2000 Watt vor¹. Diese Zahl bezieht sich auf einen über ein Jahr gemittelten totalen Energieverbrauch pro Person. Erfasst wird der Primärenergieverbrauch der eingesetzten Energieträger, d.h. die genutzte Endenergie der verschiedenen Sektoren sowie der kumulierte Energieaufwand, welcher für die Bereitstellung der Endenergie aufgewendet werden muss.

Neben der Senkung des Energiebedarfs liegt der Vision der 2000-Watt-Gesellschaft auch eine Reduktion der fossilen Energieträger auf einen Viertel dieser Leistung zugrunde. 75% des Energiebedarfs soll mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. Mit diesen Massnahmen sollen auch die CO₂-Emissionen soweit reduziert werden können, dass auch das Ziel von einer Tonne CO₂-Ausstoss pro Kopf und Jahr erreicht werden kann. Dieser weltweit betrachtete Pro-Kopf-Ausstoss wird als Grenzwert angesehen, bei dem der durchschnittliche Temperaturanstieg gegenüber dem vorindustriellen Stand auf 2°C beschränkt bleibt. Derzeit verbraucht ein durchschnittlicher Schweizer Bürger ca. 5000 Watt² (Kirchner 2007) und emittiert rund 7.2 Tonnen CO₂-eq (12.5 Tonnen mit grauen Emissionen) (Jungbluth et al. 2007).

Die Reduktionsziele des Energiebedarfs sind eine nötige Konsequenz, um mit der Begrenztheit und der Verknappung der Energieressourcen und den damit drohenden Versorgungskrisen umgehen zu können (Peak Oil). Der Anstieg des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre muss soweit gebremst werden, dass der kritische Grenzwert von 2 Grad Erwärmung bis 2100 nicht überschritten wird. Es ist damit zu rechnen, dass das Klimasystem, die Ökosysteme und letztlich auch die Gesellschaftssysteme bei einer stärkeren Erwärmung schwerwiegende Veränderungen erfahren würden. Die Energie- und die CO₂-Frage bilden je für sich zentral wichtige Zukunftsherausforderungen, sind aber gegenseitig eng verknüpft. Die zu treffenden Massnahmen überschneiden sich in weiten Bereichen und müssen Hand in Hand entwickelt werden.

Die graue Energie (netto importierte Energie in Form von Gütern und Dienstleistungen) und die entsprechenden Treibhausgasemissionen sind in den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft nicht enthalten. Begründet wird dies dadurch, dass der Energieverbrauch in der 2000-Watt-Gesellschaft in einer globalen Perspektive betrachtet wird. Die verbrauchte graue Energie von Gütern und Dienstleistungen in einer bestimmten Region oder einem Land wird als weisse Energie in den Herkunftsregionen ermittelt und somit dort bilanziert. Dennoch wird auch eine Reduktion der grauen Energie als zentrales Ziel der nachhaltigen Entwicklung angesehen. Aus diesem Grund wird die graue Energie in dieser Studie in einer Schattenrechnung ermittelt und vergleichend dargestellt. Es sind Ziele und Strategien zu finden, wie die durch unsere Nachfrage im Ausland ausgelösten Stoff- und

¹ Die in diesem Abschnitt beschriebenen Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft beziehen sich auf den Stand 2010. Eine mögliche Änderung der Zieldefinition ist derzeit in Diskussion.

² Gemäss Novatlantis liegt der Verbrauch bei 6300 Watt. Da sich die vorliegende Studie an den Energieperspektiven orientiert, wird hier aus Konsistenzgründen der von Prognos berechnete Wert verwendet.

Energieströme reduziert und effizienter gestaltet werden können.

In nachstehender Tabelle sind die Energie- und Klimaziele in der EU, der Schweiz, Österreich, Liechtenstein, Deutschland sowie im Kanton Basel-Stadt dargestellt.

Tab. 4.1-1. Energie- und Klimaziele in der EU, der Schweiz, Österreich, Liechtenstein, Deutschland sowie im Kanton Basel-Stadt.

	Leitprogramme	Erneuerbarer Strom 2020, Anteil am Gesamtstrom	Erneuerbare Wärme 2020, Anteil an der Gesamtwärme	Geplante THG-Reduktion 2020 (gegenüber 1990) / tatsächliche Veränderung 2007
	-	%	%	%
EU	des European Energy Award® (eea®)	20	-	-20 ¹ / -9.3 ⁶
Schweiz	Energiestadt-Label von EnergieSchweiz	29 ⁴	29 ⁴	-20 ¹ / -2.7 ³
Österreich	e5-Programm	34 ⁵	34 ⁵	-13 ¹ / +11.3
Liechtenstein				-20 ¹ / +5.7
Deutschland	Aktionsprogramm 2000 plus	30	14 ⁴	-40 ² / -21.3 ³
Kanton BS	Programm 2000- Watt-Gesellschaft	80 ⁷ (100 inklusive Zertifikate ⁸)	-	-

¹Reduktion um 30% wird diskutiert (EU 2010); ²BMU (2007), UNFCCC (2010) (Werte ohne LULUCF/LUCF);

³Erneuerbare-Energie-Wärmegesetz; ⁴Kaufmann et al. (2010). Die Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien soll gegenüber 2010 mindestens 50% betragen. Der erneuerbare Anteil am Endenergieverbrauch beträgt 2010 ca. 19.5%, was nach der Zielvorgabe bis 2020 eine Steigerung auf ungefähr 29% bedeutet. Es bestehen keine Aussagen zur Aufteilung von Strom und Wärme; ⁵BMWFJ & BMLFUW (2010). Der erneuerbare Anteil in Österreich soll bis 2020 auf 34% des Endenergieverbrauchs gesteigert werden. Bezüglich Aufteilung nach Strom und Wärme bestehen keine genauen Angaben; ⁶EEA (2009) (Werte EU-27, ohne LULUCF);

⁷gesetzliche verpflichtend festgelegt; ⁸Selbstverpflichtung IWB.

2000-Watt-Gesellschaft im Kanton Basel-Stadt

Im Kanton BS gibt es bereits einige Bemühungen, das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft umzusetzen. So entstand in einer Zusammenarbeit mit Novatlantis, der Universität Basel und der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) das Projekt „2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel“. Von 2005-2008 entstanden dabei rund 16 Pilot- und Demonstrationsbauten, welche dem Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft entsprechen. Das Projekt wurde bis 2012 erweitert.

Allerdings gibt es bisher noch kein ganzheitliches Umsetzungskonzept für den Kanton BS. Das Programm „2000-Watt-Gesellschaft – Pilotregion Basel“ beschränkt sich auf einzelne Pilotprojekte und Demonstrationsbauten. Daher besteht der Bedarf, den Primärenergieverbrauch und CO₂-Äquivalente nach Bilanzierungsmethodik der 2000-Watt-Gesellschaft zu bestimmen und darauf aufbauend Absenkstrategien zu entwickeln.

Zielerreichung

Der Zeitraum, in dem die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen sind, entscheidet, ob das 2-Grad-Ziel der globalen Erwärmung eingehalten werden kann. Die Zeithorizonte reichen von 2100 (Novatlantis) bis zu 2050 (Stadt Zürich). Das Szenario IV der Energieperspektiven des BFE („Auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft“) legt 2100 als Erreichungsdatum fest (Kirchner 2007). Die Erreichung der 2000-Watt-Ziele bis 2050 erscheint möglich, erfordert jedoch tief greifende Massnahmen in allen Sektoren, welche umgehend umgesetzt werden müssen.

4.2. Das *intra muros*-Prinzip

Ein grundsätzliches Ziel ist, den Energiebedarf des Modellraums *intra muros* regenerativ zu decken. Durch eine möglichst vollständige Deckung des Energiebedarfs innerhalb des Modellraums mit erneuerbaren Energien werden externe Ressourcen geschont. Zudem werden durch eine dezentrale erneuerbare Endenergieerzeugung ökologisch-energetische Fussabdrücke *extra muros* vermieden. Ausserhalb des Modellraums werden somit keine Ressourcen abgebaut, kein Raum in Anspruch genommen, keine Treibhausgase emittiert.

Dieser Gedanke liegt auch der Definition des Untersuchungsperimeters zugrunde. Der Kanton Basel-Stadt ist eine administrative Einheit und entsprechend volkswirtschaftlich verflochten. Innerhalb dieser Einheit gestalten die Bürger und ihre gewählten Vertreter die Entscheidungsprozesse. Als Untersuchungsperimeter gilt somit der Kanton Basel-Stadt, auf dem im Folgenden das *intra muros*-Prinzip angewendet wird. Diese Abgrenzung entspricht auch der Methodik der 2000-Watt-Gesellschaft (siehe Kapitel 4.1), deren Berechnungen auf dem Territorialprinzip beruhen.

4.3. Erhebungsgrundlagen

Die für das Modellgebiet relevante Literatur, die vorliegenden Fachgutachten und das recherchierte Kartenwerk bilden die Erhebungsgrundlage dieser Studie.

Wesentliche Basis für die Berechnung des Energiebedarfs und der Energiepotenziale ist die Abgrenzung von Stadtraumtypen. Die Einteilung des Stadtraums in die in Kapitel 5.2. näher erläuterten prototypischen Stadt- und Landschaftsräume erfolgte auf der Basis von Orthofotos, topographischen Karten, Liegenschaftskarten und weiteren Fachkarten. Für die naturräumliche Ansprache des Modellgebietes und die Untersuchung der Eignung des Untergrundes zur energetischen Nutzung wurden geologische Karten herangezogen.

Literatur und Fachgutachten

Für diese Studie wurden die einschlägige Literatur und eine Reihe von Fachgutachten ausgewertet. Die Quellen sind in den folgenden Abschnitten genannt und im Schriftenverzeichnis aufgeführt.

Kartengrundlagen

Die Herleitung prototypischer Stadt- und Landschaftsräume erfordert die Auswertung eines umfangreichen Kartenwerks. Die Auswertung basiert dabei auf den vom Grundbuch- und Vermessungsamt (GVA) gelieferten Daten. Folgende Karten wurden recherchiert und ausgewertet:

- Historische Karten vertiefen das Verständnis der Entwicklung der Stadt- und Landschaftsräume. Aus diesem Grunde wurden historische Karten als Datengrundlagen mit einbezogen (siehe Kapitel 5). Die Auswertung historischer Karten basiert primär auf Datensätzen zur Siedlungsentwicklung zwischen 1860 und 2003 (Vektordaten). Zudem standen ergänzend zwei Übersichtskarten von 1905 und 1940 (Rasterdaten, 1:5000) zur Verfügung.
- Der Parzellenplan (Rasterdaten, 1:2000) diente als Grundlage zur Abgrenzung der Flächenberechnung der Stadtraumtypen.
- Der Zonenplan (Vektordaten) wurde dem GIS-Modell hinterlegt. Er diente als Hilfsmittel zur Abgrenzung der Stadtraumtypen.
- Daten zur Bodenbedeckung (Vektordaten) wurden ebenfalls dem GIS-Modell hinterlegt. Sie bildeten eine weitere Grundlage zur Erstellung der Stadtraumtypen.
- Die visuelle Begutachtung von Orthofotos (verzerrungsfreie Luftbilder) bildete eine zusätzliche Grundlage für die Ansprache der Bebauungsstruktur und die Abgrenzung von Stadtraumtypen. Die verwendeten Orthofotos stammen aus dem Jahr 2008 (Auflösung: 20cm).
- Karten bezüglich Denkmalschutz (Vektordaten) wurden verwendet, um Schutz- und Schonzonen bei der Potenzialermittlung der Sonnenenergie zu berücksichtigen.
- Karten bezüglich Grundwasserschutz (Vektordaten) wurden verwendet, um

entsprechende Schutzgebiete des Modellraums bei der Ermittlung von geothermischen Potenzialen zu berücksichtigen.

- Leitungskataster (Vektordaten) bezüglich Elektrizität, Erdgas und Fernwärme wurden ausgewertet, um Informationen zur energetischen Versorgungsstruktur zu gewinnen.
- Georeferenzierte Gebäude- und Adressdaten (Vektordaten) wurden verwendet, um den Energiebedarf der Stadtraumtypen zu ermitteln und verifizieren.
- Pläne bezüglich Ausbau von Fern- und Nahwärme (Areal Dreispitz, Riehen Plus) wurden georeferenziert und im GIS hinterlegt.
- Die Analyse und Auswertung geologischer Karten (Atlasblätter 59 und 80 aus dem geologischen Atlas der Schweiz, 1:25000) und Profilschnitte durch das Modellgebiet ergaben eine Einteilung in drei Homogenbereiche. Innerhalb der Homogenbereiche sind die empfohlene Sondenlänge und der Ertrag für zu installierende Erdwärmesonden gleich. Hierauf wird in Kapitel 6.3 und 6.6 näher eingegangen.

Datengrundlagen zur Ermittlung des aktuellen Energieverbrauchs von Haushalten, Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) und Industrie

Um den aktuellen Energieverbrauch sowie die Aufteilung der Energieträger im Modellgebiet zu ermitteln, wurden Datengrundlagen aus verschiedenen Quellen verwendet. Nachfolgend sind die einzelnen Datensätze mit entsprechender Quelle und Bezugsjahr aufgelistet.

- Elektrizität: Adressbezogene Daten sowie die Stromkennzeichnung (IWB 2008)
- Erdgas: Adressbezogene Daten (IWB 2008)
- Fernwärme: Adressbezogene Daten sowie die Deklaration zum effektiven Energiemix der Fernwärme (IWB 2008)
- Elektrizitätsbezug der Basler Verkehrsbetriebe (IWB 2009)
- Statistik der Solaranlagen (AUE 2010)
- Datenbank der installierten Heizsysteme (AUE 2010)
- Emissionskataster BS/BL: Offroad Treibstoffverbrauch von Haushalten, GHD und Industrie in BS (Infras 2010)
- Angaben einzelner Grossverbraucher (Industrie) (siehe Anhang 1)

Datengrundlagen zur Ermittlung des zukünftigen Energiebedarfs von Haushalten, GHD und Industrie

- Die Entwicklung von neuem Wohn- und Arbeitsraum basiert auf den Entwicklungspotenzialen der Zonenplanrevision Stadt Basel (2010) (Stadtrandentwicklungen, Umnutzungen, Ausbaureserven im Bestand). Die spezifischen Entwicklungspotenziale der geplanten Vorhaben sind bis 2035 dargestellt.
- Einwohner- und Arbeitsplatzprognose BS (Hochbau- und Planungsamt BS 2010)

Datengrundlagen zur Ermittlung des Energieverbrauchs des Verkehrs

Der Energieverbrauch des Verkehrs (Strasse, Schiene, Schifffahrt) wurde nach dem Territorialprinzip erhoben. Der Verbrauch des Flugverkehrs basierte auf dem Absatzprinzip.

- Gesamtverkehrsmodell Basel (GVM) zur Ermittlung von Personenkilometern und Fahrzeugkilometern im Kanton BS (Amt für Mobilität 2010)
- Handbuch für Emissionsfaktoren zur Berechnung von Treibstoffverbrauch und CO₂-Emissionen im Strassenverkehr (HBEFA 2010)
- Emissionskataster BS/BL: Offroad Treibstoffverbrauch Schiffsverkehr BS (Infras 2008)
- Statistik der Schweizerischen Zivilluftfahrt zur Berechnung von Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen im Flugverkehr (BAZL 2009)
- Energieverbrauch SBB im Kanton BS (Chretien 2010)
- Energieverbrauch Deutsche Bahn im Kanton BS (DB 2010)
- Energieverbrauch SNCF im Kanton BS (gemäss Energiestatistik 2004, keine neueren Zahlen vorhanden)
- Energieverbrauch Trams im Kanton BS (Meier 2009)

Grundlagen zur Berechnung des grauen Energiebedarfs

- Aussenhandelsstatistik der Schweiz (2010): Netto-Import- bzw. Exportsaldo der Schweiz für gehandelte Warengruppen (BFS 2010)
- Ökobilanzdaten importierter und exportierter Warengruppen der Schweiz (ESU-Services 2010)

5. Projektgebiet

5.1. Naturräumliche Entwicklung

Der Kanton Basel-Stadt befindet sich aus geologischer Sicht im Dreieck zwischen dem Schweizerischen Faltenjura im Süden und dem kristallinen Grundgebirge des Schwarzwalds und der Vogesen im Norden (Abb. 5.1-1). Tektonisch liegt Basel im unmittelbaren Einflussbereich der (oligozänen) Bruchtektonik des Oberrheins, die ursächlich für die Entstehung des Rheintalgrabens ist. 1356 ereignete sich in der Region Basel eines der schwersten Erdbeben Mitteleuropas. Das Gebiet ist auch heute noch tektonisch aktiv, so dass es immer wieder zu bedeutenden Erdbeben kommt.

In der Region Basel werden fünf naturräumliche Einheiten unterschieden (Schnyder 2009; Gallusser 1989):

- das Sundgauer Hügelland (von Allschwil über das Leimental bis zum östlichen Rand des Bruderholz) mit ausgedehnten eiszeitlichen (pleistozänen) Lössflächen
- die Flussauen und Schotterterrassen des Rheins und der Birs
- die bewaldete Schichtstufenlandschaft des Tafeljuras
- der Falten- oder Kettenjura mit seiner bewegten Topographie
- das Laufental und Laufener Becken sowie die etwas erhöhte Hangfläche südlich des Blauen

Die über das Rhonetal durch die Burgundische Pforte einströmenden mediterranen Luftmassen sind der Grund für ein äusserst mildes Klima, das in Kombination mit der überdurchschnittlichen Sonnenscheindauer und der geringen Höhenlage Basels (rund 244m über dem Meer) hohe landwirtschaftliche Erträge erlaubt. Die Region Basel wurde daher bereits früh vom Menschen als Gunstraum erkannt.

Geologische Übersichtskarte des Oberrheingrabens

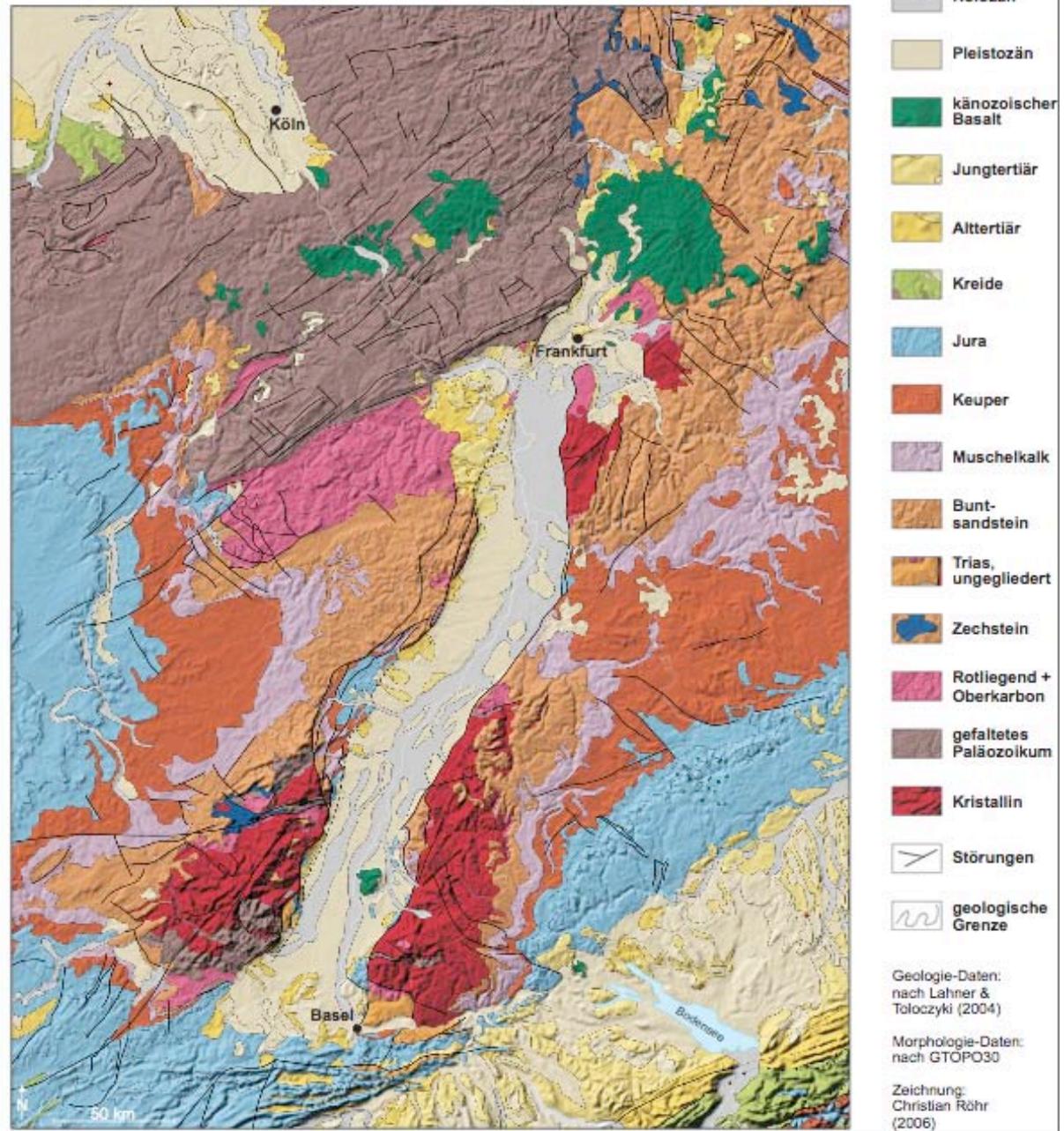


Abb. 5.1-1. Geologie des Oberrheintals (Lahner & Toloczki 2004).

5.2. Stadträumliche Entwicklung

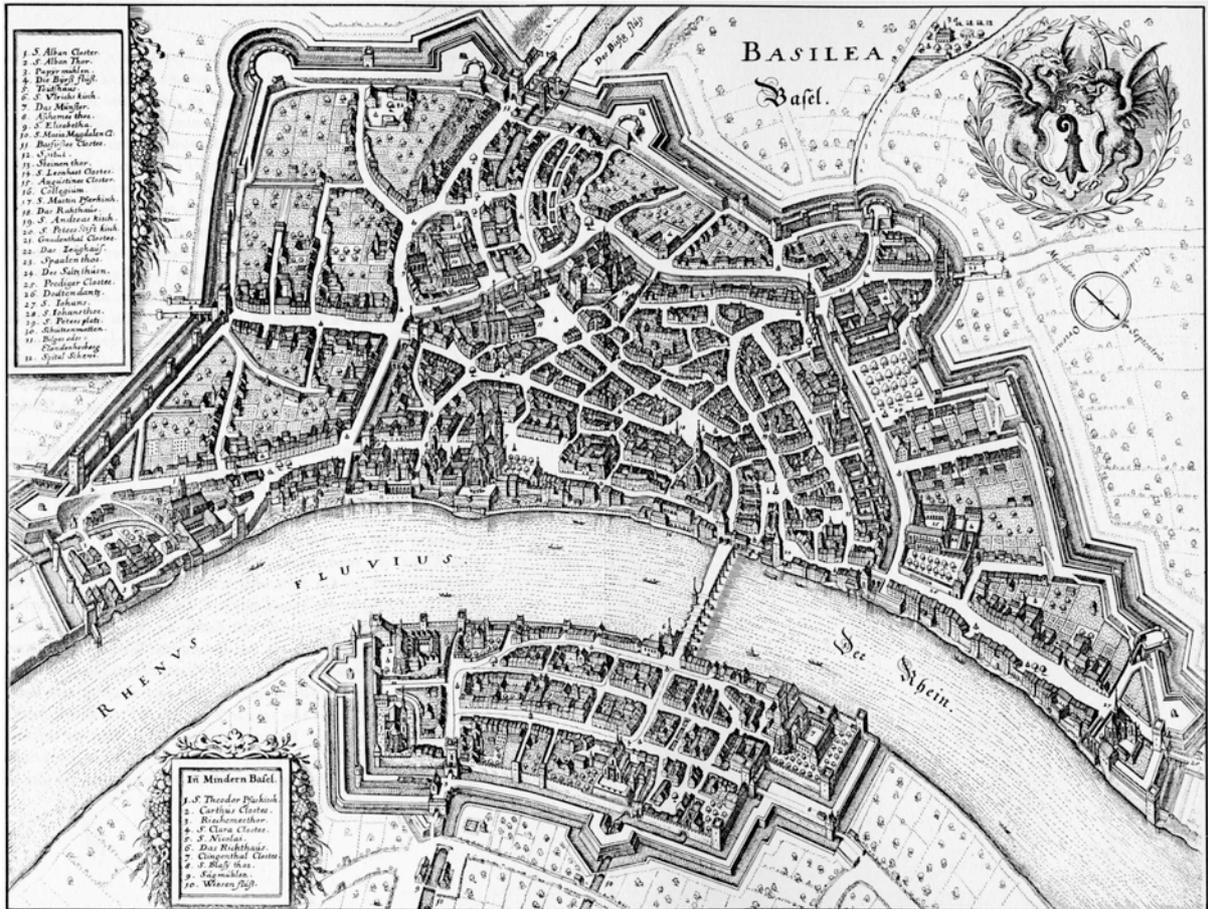
Historischer Überblick

Die ersten Zeugnisse des Menschen in der Region Basel gehen zurück auf die Steinzeit. Zu den klimatischen Vorzügen kam die geschützte Lage des späteren Münsterhügels, der nur vom Süden her leicht erreichbar ist und sich somit als Flucht- und Siedlungsort anbot (Berner et al. 2008; Habicht 2008). Ein in der Nähe der Dreirosenbrücke gefundenes Bronzemesser sowie weitere Artefakte zeugen von einer Siedlung der Kelten um ca. 150 v. Chr. (Basel-Gasfabrik-Funde). Etwa 50 v. Chr. wurde ein *Oppidum* auf dem Münsterhügel errichtet. 15 v. Chr. war Basel als *Colonia Raurica* Teil des Römischen Reiches. 374 n. Chr. zum ersten Mal namentlich erwähnt, wurde es um 500 n. Chr. von den Alemannen besiedelt, die auch "Wahinghofen" (Wenkenhof) im Gebiet des späteren Riehen gründeten (Iselin 1923). Um 890 wird Basel Teil des Königreiches Hochburgund und schliesslich 1006 Teil des Heiligen Römischen Reiches.

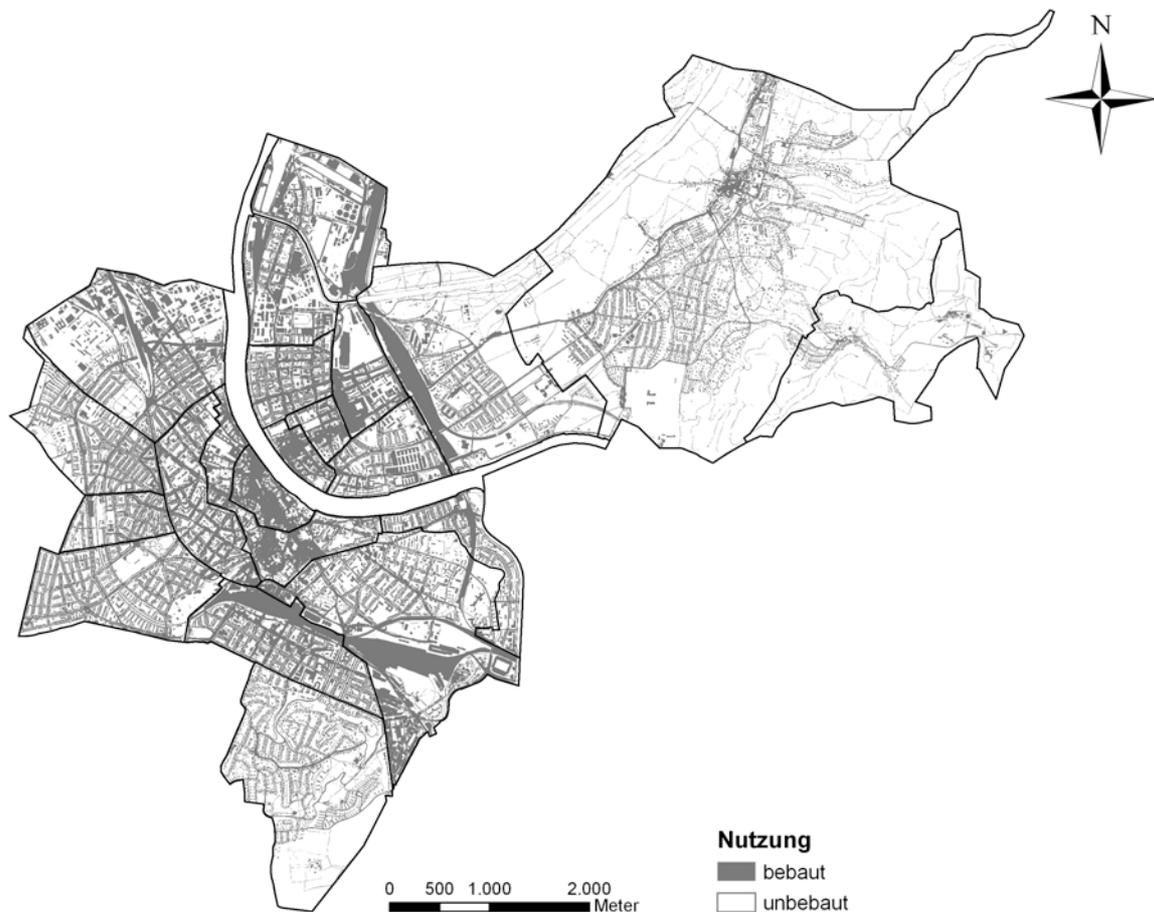
Um 1090 wurde die Stadt zum ersten Mal mit einer Mauer befestigt. Der Bau einer ersten Rheinbrücke gelang um 1225. Etwa ein Viertel Jahrhundert später wurde ein zweiter Mauerring gebaut. Beim grossen Erdbeben 1356 und den dadurch ausgelösten Bränden wurde die Stadt fast völlig zerstört. Ende des 14. Jahrhunderts begann Basel zu expandieren, zunächst mit dem Kauf von Kleinbasel durch den Bischof. Bei der Schlacht bei St. Jakob an der Birs unterlag das eidgenössische Kontingent einem (übermächtigen) französischen Söldnerheer. Zu grösseren Zerstörungen kam es jedoch allenfalls in Riehen, das 1522 in den Besitz der Stadt Basel gelangte. Im Zuge des Schwaben- und Schweizerkrieges trat Basel 1501 schliesslich der Eidgenossenschaft bei. Zu dieser Zeit zählte Basel etwa 10'000 Einwohner. Die Ansicht Basels von Matthäus Merian zeigt die Stadt aus der Vogelschau im 17. Jahrhundert. Die Grundelemente des historischen Stadtplans sind bis heute erkennbar (Karte 5.2-1).

Bis in das 19. Jahrhundert stieg die Einwohnerzahl Basels stetig an und erreichte 1815 ca. 16'700. Das städtische Siedlungsgebiet blieb jedoch durch den spätmittelalterlichen Mauerring begrenzt. Dabei blieb die Quartierstruktur im Wesentlichen erhalten (Berner & Röthlin 2010). 1833 kam es nach einem Bürgerkrieg zur Trennung des Kantons Basel-Landschaft vom Kanton Basel-Stadt mit seinen Landgemeinden Riehen, Bettingen und Kleinhüningen.

Der Eisenbahnanschluss 1844 und der Abbruch der Stadtmauer markieren den Beginn der Industrialisierung Basels, die zunächst mit der Produktion von Farbstoffen begann. Mit der Industrialisierung stieg die Bevölkerung von Basel auf über 100'000 an (1900). Es entstanden gründerzeitliche Viertel sowie genossenschaftliche Siedlungen. Im 2. Weltkrieg kam es, bis auf die versehentliche Bombardierung des Güterbahnhofs, kaum zu Zerstörungen (Teuteberg 1988). Die Stadtbevölkerung verdoppelte sich noch einmal und verläuft seit den 1970 Jahren leicht rückgängig. Die Grundstruktur der Stadt blieb bis heute erhalten (Karte 5.2-2).



Karte 5.2-1. Ansicht der Stadt Basel im 17. Jahrhundert aus der Vogelschau von Matthäus Merian (Topographia Helvetiae, Rhaetiae et Valesiae 1642).



Karte 5.2-2. Basel heute (nach den Unterlagen des Kantons Basel-Stadt in einem GIS dargestellt).

Stadt- und Landschaftsräume

Die städtebauliche Entwicklung des Modellraums verlief im Vergleich zu anderen europäischen Metropolregionen eher stetig. Seit dem schweren Erdbeben 1356 bis zur Industrialisierung wuchs die Stadt von wenigen Tausend Einwohnern auf über 100'000 Einwohner an. Trotzdem blieben grosse Teile der Altbebauung erhalten.

Auch in den Landgemeinden Riehen (2010 ca. 21'000 Einwohner) und Bettingen (2010 ca. 1'200 Einwohner) verlief die städtebauliche Entwicklung bis zur Industrialisierung massvoll und ohne Sprünge. Neben dem Erdbeben im 14. Jahrhundert stellen allenfalls die Zerstörungen im Zuge der Schlacht bei St. Jakob an der Birs im 15. Jahrhundert eine Zäsur dar.

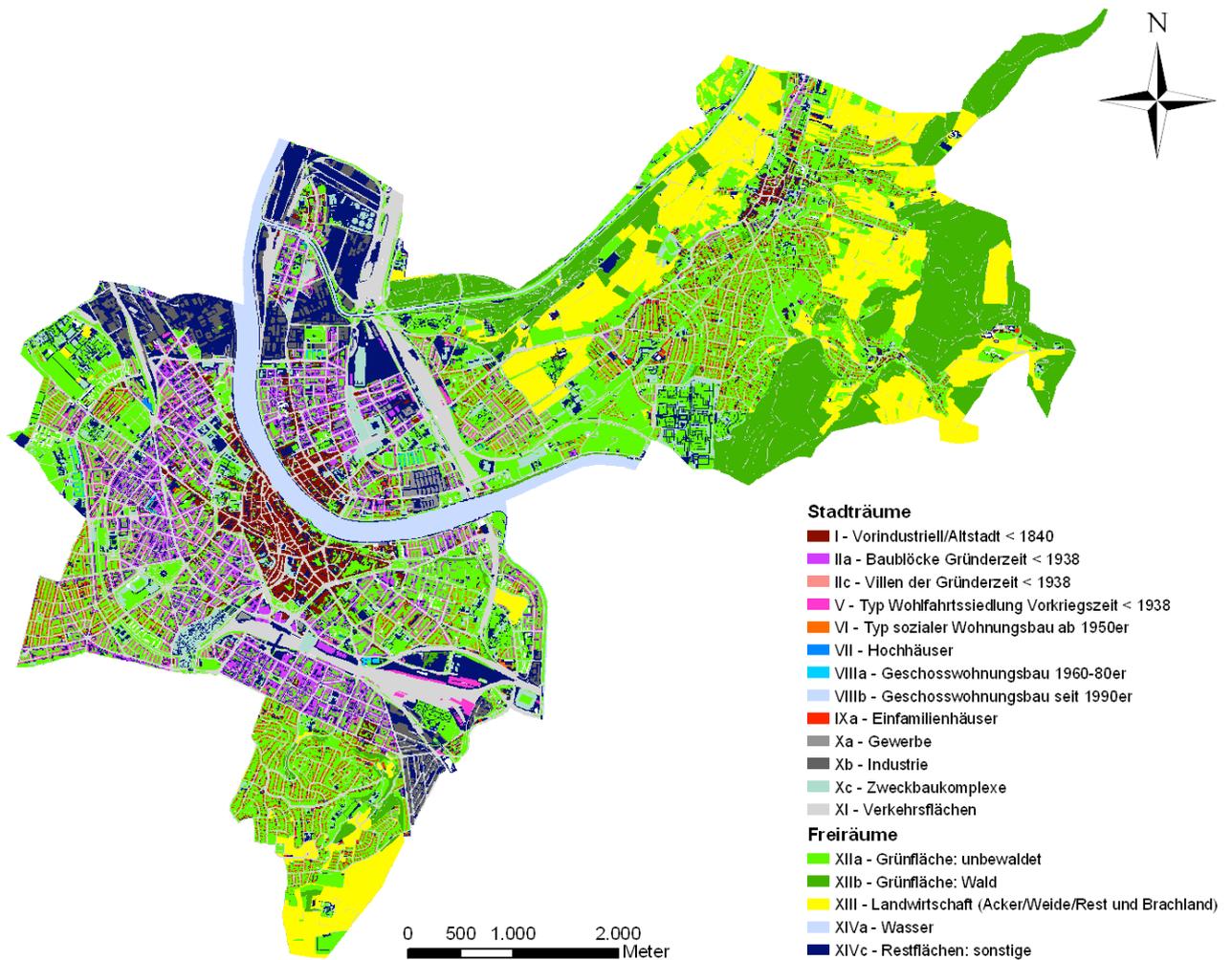
Im Modellraum sind die folgenden städtebaulichen Leitbilder verwirklicht:

- Altstadtensembles aus dem Mittelalter, der Renaissance und dem Barock
- Vorindustrielle dörfliche Siedlungsreste
- Gründerzeitquartiere, die nach stadtbaukünstlerischen Prinzipien (nach Camillo, Sitte und Lenné) angelegt wurden (Historismus, 1840 - ca.1930)

- Stadterweiterungen nach dem Wohlfahrtsprinzip.
- Beispiele der "gegliederten und aufgelockerten Stadt" der 1950-60er Jahre (Reichow 1948; Göderitz et al. 1957; Reichow 1959) in der Wohnen, Arbeiten, Dienstleistung und Freizeit nach der Charta von Athen (1933) autogerecht getrennt wurden (Beispiel "Interbau" IBA Berlin 1957) sowie den Versuchen einer Nachverdichtung der 1960-70er Jahre ("Urbanität durch Dichte")
- Einfamilienhausgebiete verschiedener Zeitschnitte
- Städtebauliche Massnahmen seit den 1990er Jahren, die sich am Prinzip der Nachhaltigkeit orientieren
- Gewerbe-, Industrie- und Zweckbauten verschiedener Zeitschnitte

Der Baubestand im Modellraum folgt diesen städtebaulichen Leitbildern. Sie bestimmen urbane Charakteristika wie Gebietsgrundriss, Bebauungsstruktur, Dichte, Freiflächenbestand, Kompaktheit, Systematik der äusseren und inneren Erschliessung etc. Auf ihrer Grundlage lassen sich Stadtraumtypen definieren (Ecofys et al. 2004; Everding et al. 2004; Everding 2007). Für das Modellgebiet wurden diese angepasst und ergänzt (Tab. 5.2-1). Weiterhin wurden Landschaftsraumtypen definiert (Tab. 5.2.-2). Insgesamt umfasst das Modellgebiet 3'707 ha.

Die Abbildungen 5.2-1 und 5.2-2 zeigen die Flächenanteile der einzelnen Stadt- und Landschaftsraumtypen. Im Bereich der Wohn- und Mischbebauung dominieren die Einfamilienhausgebiete (IX) und nehmen gut einen Drittel der bebauten Fläche ein. Ebenfalls stark vertreten ist die gründerzeitliche Bebauung (II) mit etwa einem Viertel und genossenschaftliche Wohlfahrtssiedlungen (V) mit einem Fünftel der Wohn- und Mischbebauung. Betrachtet man die Gesamtfläche, beanspruchen Wohnen (31%), Arbeiten (15%) und Verkehr (17%) zwei Drittel des Modellraums. Der Rest wird von Grünflächen (12%), Wald (11%), Landwirtschaft (11%) und Wasserflächen (4%) eingenommen. In Karte 5.2-3 sind die Stadtraumtypen im Kanton Basel-Stadt dargestellt.



Karte 5.2-3. Stadtraumtypen im Kanton Basel-Stadt. Der Stadtraumtyp Xd (Gewerbe in Mischgebieten) überlagert sich mit den Stadtraumtypen I, IIa und IIc .

Für die zukünftige Raumentwicklung hat das Bau und Verkehrsdepartement des Kantons Basel-Stadt Neubaugebiete für Wohnen und Arbeiten ausgewiesen (BVD 2010). Bis 2035 sollen Wohnungen für 13'005 Einwohner und 16'733 Arbeitsplätze entstehen. Die Gewerbegebiete sind meist auf alten Industriearealen geplant, wogegen die Wohngebiete zum Teil durch Verdichtung des Bestandes, zum Teil auf der "grünen Wiese" entstehen. In Karte 5.2-4 sind die Neubaugebiete dargestellt. Abbildung 5.2-3 und Abbildung 5.2-4 zeigen die Zunahme der Bruttogeschossflächen für Wohnen und Arbeiten über die Zeit.

Bei der Modellierung des Projektgebietes wird angenommen, dass die Neubauten für Wohnen tatsächlich einen Zuwachs der Gesamtwohnfläche darstellen. Im Gegensatz dazu wird bei den neu entstehenden GHD-Flächen nicht von einem Zubau sondern von der Kompensation aufgegebener Arbeitsstätten ausgegangen.

Bei den geplanten Wohnungsneubauten werden Mehrfamilienhäuser in Geschossbauweise angenommen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass sie an ein Fernwärmenetz angeschlossen werden.

Tab. 5.2-1. Stadtraumtypen im Kanton Basel-Stadt und ihre Flächenanteile.

Nutzung		Stadtraumtypen	ha	%
Mischnutzung	Vorindustrielle Altstadt	I	148	13
-	Baublöcke Gründerzeit	IIa	294	26
-	Villen der Gründerzeit	IIb	5	0
Wohnen	Wohlfahrtssiedlung Vorkriegszeit	V	222	20
-	Sozialer Wohnungsbau	VI	39	3
-	Hochhäuser	VII	5	0
-	Geschosswohnungsbau 1960-80er	VIIIa	13	1
-	Geschosswohnungsbau seit 1990er	VIIIb	3	0
-	Einfamilienhäuser	IX	406	36
Summe ¹			1134	100

¹Weicht 5.34% von der Arealstatistik 2004 des BfS ab (BfS 2010a).

Tab. 5.2-2. Stadt- und Landschaftsräume im Kanton Basel-Stadt und ihre Flächenanteile.

Nutzung ¹	Stadt- und Landschaftsräume	ha	%
Wohnen und Mischnutzung	I-IX	1134	31
Arbeiten ²	X	544	15
Verkehr ³	XI	632	17
Grünfläche	XIIa	427	12
Wald	XIIb	414	11
Landwirtschaft	XIII	423	11
Wasser	XIV	134	4
Summe		3707	100

¹Abweichungen zur Arealstatistik ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Raumtypisierung und aktualisierten Flächenwerten; ²ausser Mischnutzung; ³ohne Grünstreifen;.

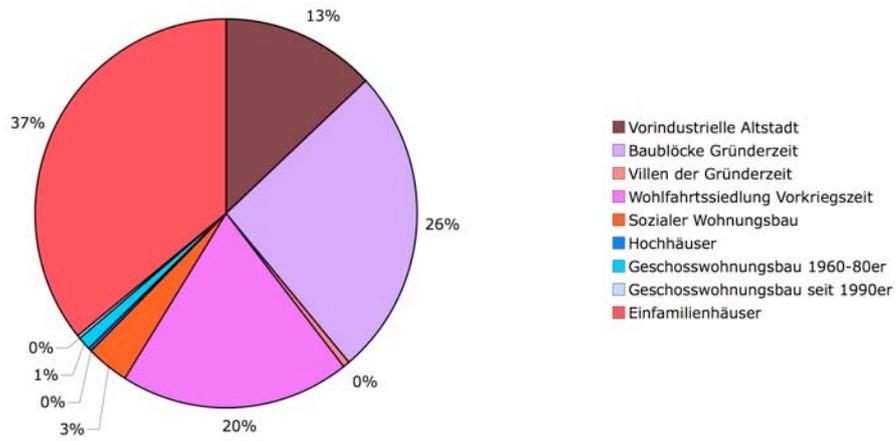


Abb. 5.2-1. Verteilung der Stadtraumtypen.

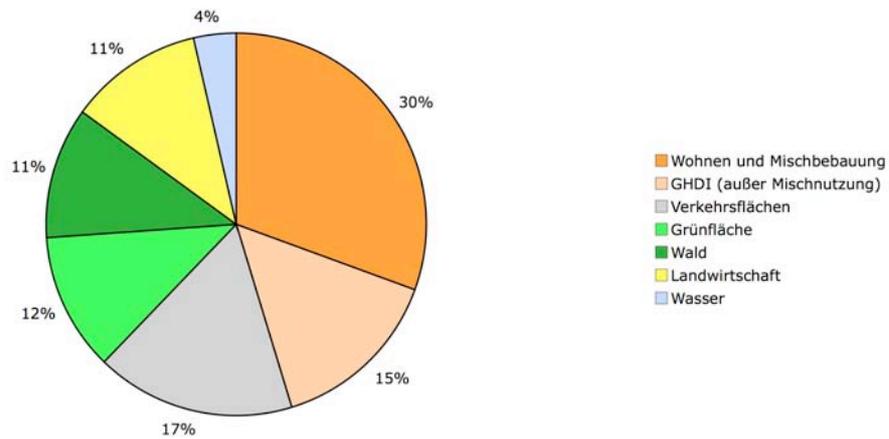
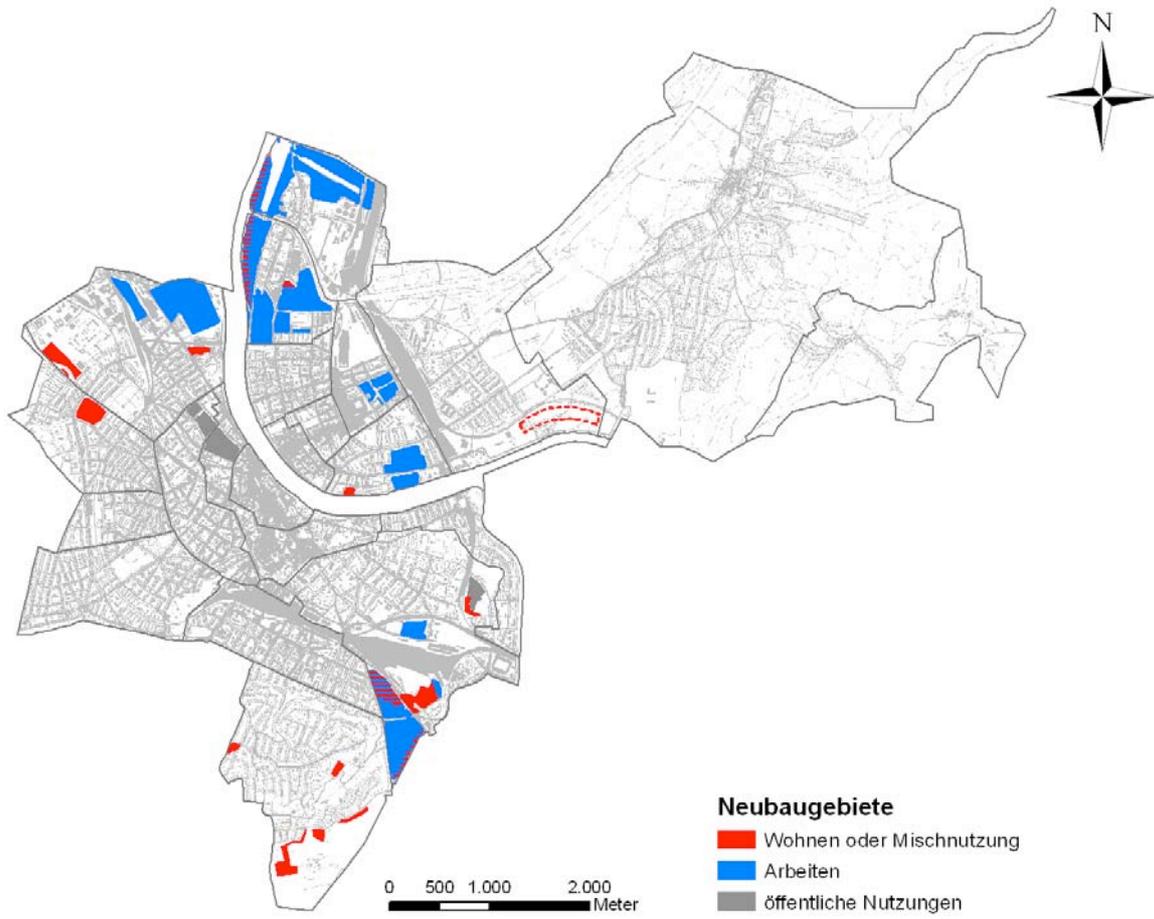


Abb. 5.2-2. Verteilung der Stadt- und Landschaftsräume.



Karte 5.2-4. Neubaugeliete (Wohnen und Arbeiten) im Kanton BS bis 2050. Eine mögliche Wohn- und Mischzone im Gebiet Weingärten (Bettingen) ist noch nicht berücksichtigt. Kartengrundlage des Kantons Basel-Stadt.

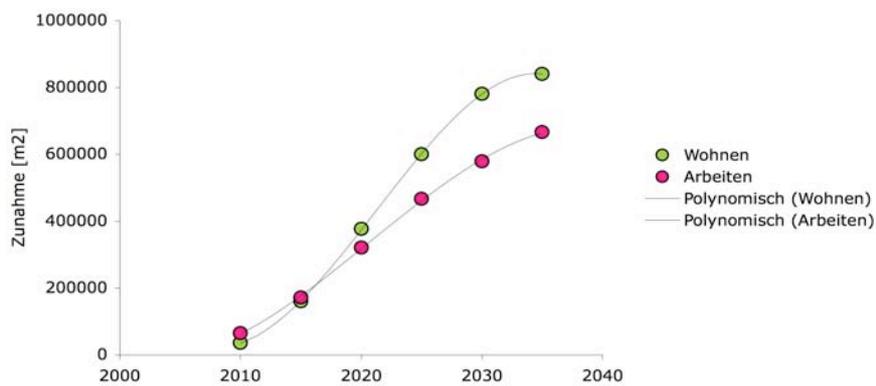


Abb. 5.2-3. Zunahme der Bruttogeschossfläche für Wohnen bis 2035. Insgesamt werden 840'600 m² Bruttogeschossfläche für Wohnen und 666'400 m² Bruttogeschossfläche für Arbeiten neu entstehen.

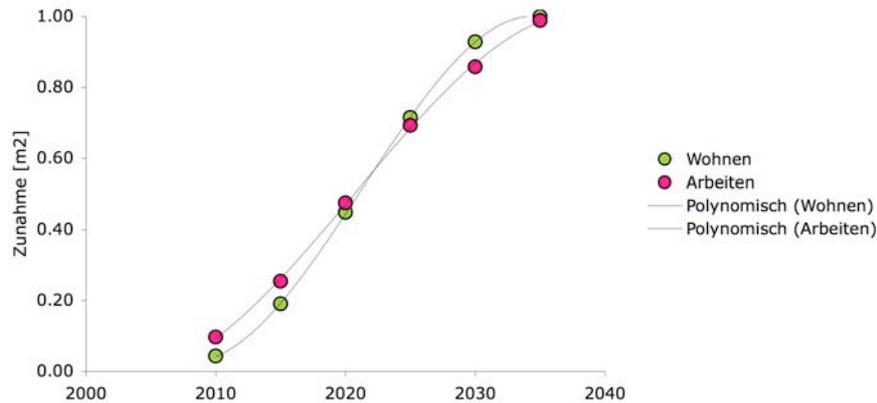


Abb. 5.2-4. Zunahme der Bruttogeschossfläche für Wohnen bis 2035 (dimensionsfrei). Sowohl für Wohnen als auch für Arbeiten verläuft die Entwicklung der Neubebauung stetig (S-förmig).

5.3. Demographische Entwicklung

Das Bundesamt für Statistik (BfS) publizierte 2007 kantonale Entwicklungsszenarien mit dem Zeithorizont 2050. Für den Kanton Basel-Stadt wurden dabei drei Szenarien modelliert, welche bis 2050 folgende Bevölkerungszahlen aufweisen (BfS, 2007):

- Szenario „Hoch“: 198'733 Einwohner
- Szenario „Mittel“: 167'142 Einwohner
- Szenario „Tief“: 133'838 Einwohner

Szenario „Mittel“ wurde per 2009 aktualisiert und ergibt für 2050 neu einen Bevölkerungsstand von 173'109 (BfS, 2009). Es ist zu beachten, dass die BfS-Szenarien auf Grundlage der ständigen Wohnbevölkerung berechnet wurden. Personen mit einer Aufenthaltsdauer von weniger als zwölf Monaten wurden dementsprechend in den Prognosen nicht berücksichtigt.

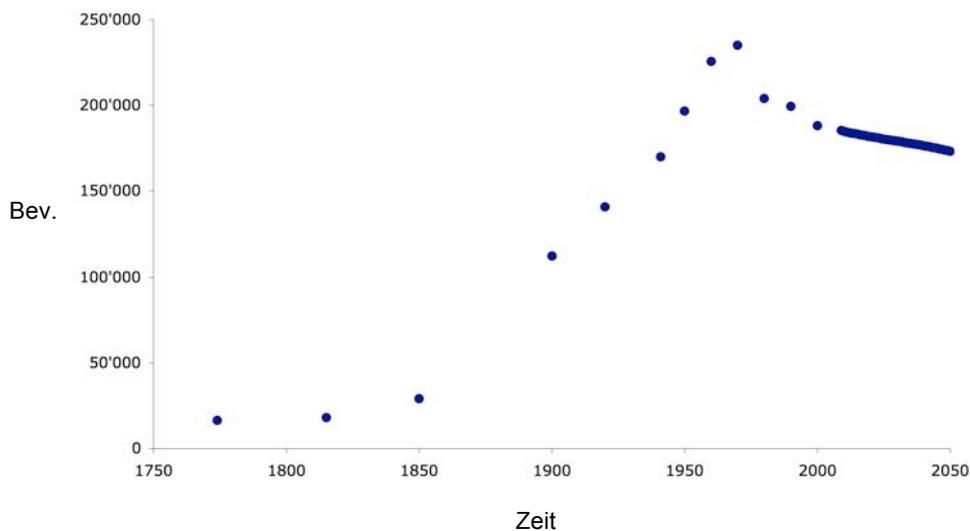


Abb. 5.3.-1. Historische Bevölkerungsentwicklung und Prognose bis 2050 gemäss dem aktualisierten BfS-Szenario „Mittel“ (BfS, 2009).

Im August 2010 zählte das statistische Amt des Kantons BS eine Wohnbevölkerung von 192'028 (Statistik-BS 2010), wobei hier auch Kurzaufenthalter (weniger als 12 Monate Aufenthalt) mitberücksichtigt sind. Ausgehend von diesem Wert und dem Entwicklungsverlauf des aktualisierten BfS-Szenario „Mittel“ ergibt sich bis 2050 eine Bevölkerungszahl von 179'894 Personen.

Das Bau- und Verkehrsdepartement des Kantons Basel-Stadt plant Neubaugebiete für Wohnen und Arbeiten. Bis 2050 sollen Wohnungen für 13'005 Einwohner und neue 16'733 Arbeitsplätze entstehen. Diese Massnahmen zielen sowohl bei der Wohnbevölkerung als auch bei den Arbeitsplätzen auf eine Stabilisierung des *status quo* ab. Im Modell wird daher die Wohnbevölkerung konstant auf den Stand von 2010 gehalten (192'028 Einwohner). Die vom statistischen Amt Basel-Stadt erarbeiteten Bevölkerungsprognosen werden erst im Frühjahr 2011 publiziert und können daher in dieser Studie noch nicht berücksichtigt werden.

5.4. Klimatische Entwicklung

Aufgrund des Klimawandels ist auch im Alpenbereich von einem Anstieg der Temperaturen auszugehen. Für die Alpennordseite wird bis 2050 von einem Temperaturanstieg von 1.8°C im Winter und 2.7°C im Sommer ausgegangen (OcCC & ProClim 2007). In Abbildung 5.4-1 ist der mittlere Temperaturanstieg dargestellt. Im Modell wird dies berücksichtigt, indem der Heizwärmebedarf mit der Zeit reduziert wird. Dies geschieht über eine Anpassung der Heizgradtage, wie später noch dargestellt (Kapitel 8).

Weiterhin wird der Kältebedarf im Sommer zunehmen. Dies betrifft besonders den Dienstleistungsbereich. Im Modell wird dieser Aspekt berücksichtigt, indem für die Stadtraumtypen Xc (Zweckbaukomplexe), Xd (Gewerbe in Mischgebieten), VIIIa (Geschosswohnungsbau 1960-80er) und VIIIb (Geschosswohnungsbau seit 1990er) ein Kältebedarf angenommen wird, der eine Erhöhung

des Strombedarfs zur Folge hat. Er beträgt maximal $18 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ($65 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) und wird linear bis zum Prognosehorizont gesteigert (Abb. 5.4-2) (Graw 2010).

Die Klimaprognosen sagen ebenfalls für die Nordschweiz bis 2050 (bezogen auf 1990) eine Zunahme des Niederschlags im Winter von etwa 8% und eine Abnahme im Sommer von etwa 17% voraus. Extreme Wetterereignisse werden sich häufen (Starkregen, Hitzewellen, Kälteeinbrüche, Hochwasser, Stürme) (OcCC & ProClim 2007). Diese Aspekte wurden im Modell bislang noch nicht berücksichtigt.

Auch wenn zügig Massnahmen zur Milderung des Klimawandels ergriffen werden, wird sich der Temperaturanstieg aufgrund der Trägheit des globalen Klimasystems bis 2050 wie prognostiziert einstellen. Falls keine deutlichen Anstrengungen unternommen werden, um die Emission von Treibhausgasen zu verhindern, wird sich der Temperaturanstieg in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts noch dramatischer entwickeln (OcCC & ProClim 2007).

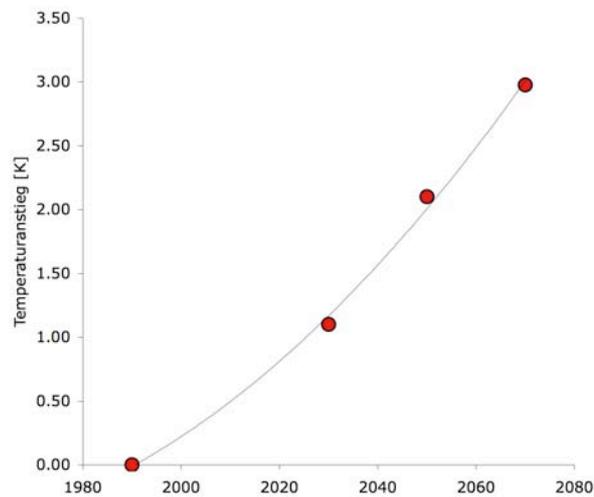


Abb. 5.4-1. Für die Modellierung angenommene Temperatursteigerung für die Alpennordseite (OcCC & ProClim 2007: 14-15).

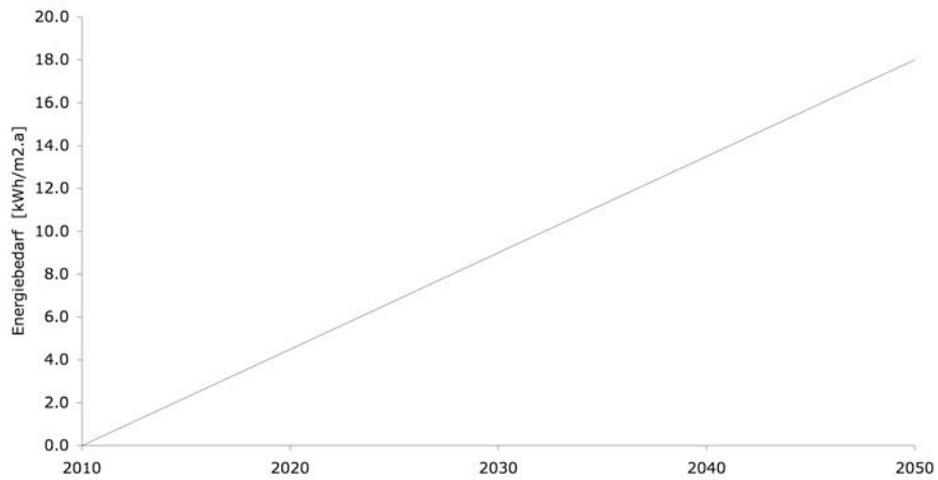


Abb. 5.4-2. Kältebedarf der Stadtraumtypen Xc (Zweckbaukomplexe), Xd (Gewerbe in Mischgebieten), VIIIa (Geschosswohnungsbau 1960-80er) und VIIIb (Geschosswohnungsbau seit 1990er). Angenommen werden 900 Volllaststunden bei 40 Watt pro m², d.h. 36 kWh/m²a (130 MJ/m²a). Da bis zum Prognosehorizont der Baubestand mindestens einmal saniert werden wird, wird die Hälfte dieses Kältebedarfs als realistisch angenommen.

6. Methodik

6.1. Das Flächenprinzip

Die Produktion erneuerbarer Energie wird in dieser Studie grundsätzlich mit einer Nutzung von Flächen assoziiert. Dabei folgt unser Ansatz der Erkenntnis des schottischen Moralphilosophen und Ökonomen Adam Smith (1723-1790), nach dem im klassischen Produktionsprozess aus den Ressourcen "Arbeit" und "Boden" (also Fläche) "Kapital" generiert wird.

Da die "Arbeit" erneuerbarer Energien umsonst ist (die Sonne, als Beispiel, scheint umsonst) gilt es im Stadt- und Landschaftsraum geeignete Flächen zu finden, um diese Arbeit in Kapital zu transformieren. Dabei bedarf es der Investition in "Maschinen" (einer Photovoltaik-Anlage zum Beispiel), die sich nach einer gewissen Zeit amortisieren und danach Gewinne erzielen.

Es gilt also, Flächenressourcen in einem Modellraum zu identifizieren, zu quantifizieren und schliesslich in ihrer ökonomischen Wirkung zu bilanzieren. Durch eine geschickte Kombination der Flächenpotenziale mit den vielfältigen Optionen der erneuerbaren Endenergieerzeugung ist dies möglich. Dabei wird bei Anwendung des *intra muros*-Prinzips nur Fläche innerhalb der Systemgrenzen verbraucht.

Die verschiedenen Optionen der regenerativen Endenergieerzeugung unterscheiden sich hinsichtlich ihres Flächenbedarfs. Eine Option der Endenergieerzeugung ist – im Sinne einer nachhaltigen Raumplanung – umso effizienter, je weniger Fläche sie verbraucht. Dabei ist zu unterscheiden zwischen *direktem* und *indirektem* Flächenbedarf. Der direkte Flächenbedarf entspricht dem Bedarf an Fläche während der Energieproduktion (Abb. 6.1-1, 6.1-2) (BBR/BBSR & BMVBS 2009b). Der indirekte Flächenbedarf entspricht dem Bedarf an Fläche zur Produktion, Installation, Demontage und Entsorgung der Anlage. In dieser Studie wird nur der direkte Flächenbedarf betrachtet.

Weiterhin ist zu unterscheiden zwischen *exklusivem* und *nicht exklusivem* Flächenbedarf. Eine PV-Freiflächenanlage hat einen exklusiven Flächenbedarf, denn die Fläche dient nur der Endenergieerzeugung und steht für eine weitere Nutzung nicht mehr zur Verfügung. Im Gegensatz dazu stellt eine PV-Dachanlage eine nicht exklusive Nutzung dar. Hier handelt es sich um ein Dach *inklusive* einer PV-Anlage. Darüber hinaus lösen bestimmte Optionen der regenerativen Endenergieerzeugung erhebliche Stoffströme aus, die wiederum mit einem Flächenverbrauch einhergehen. Die Transformation von Biomasse in Energie ist eine solche Option. Somit stellt auch die Nutzung von Biomasse eine exklusive Option der regenerativen Endenergieerzeugung dar.

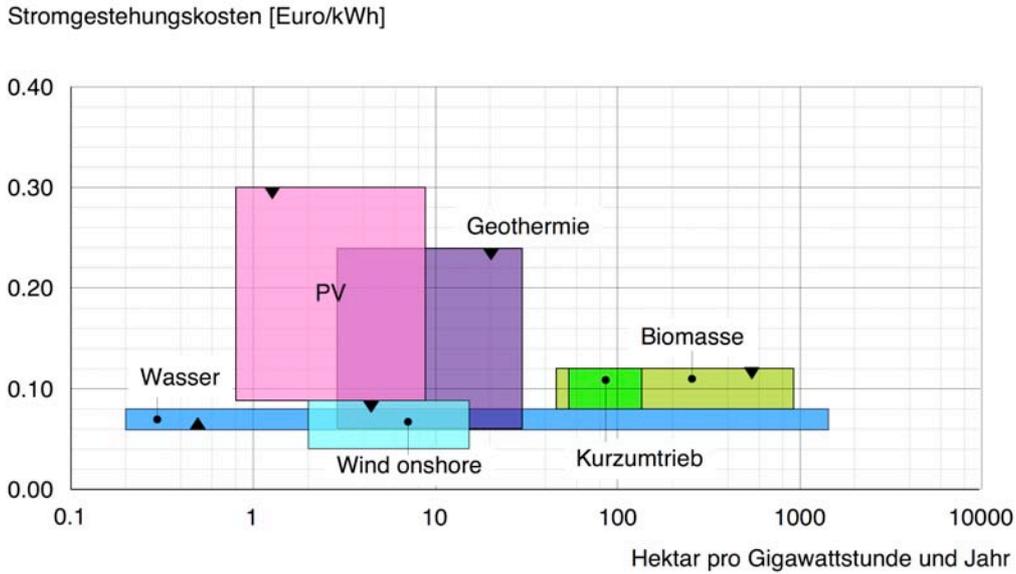


Abb. 6.1-1. Raumbedarf zur Erzeugung einer GWh Strom pro Jahr und Stromgestehungskosten heute und 2020 (BBR/BBSR & BMVBS 2009b, BMU 2010, eigene Untersuchungen). Die aktuellen und die für 2020 erwarteten Gestehungskosten markieren die obere und untere Begrenzung der dargestellten Rechtecke, die schwarzen Dreiecke die Richtung der Kostenentwicklung. Die Angaben gelten für Deutschland und beziehen sich auf die von der regenerativen Energieerzeugung betroffene Gesamtfläche.

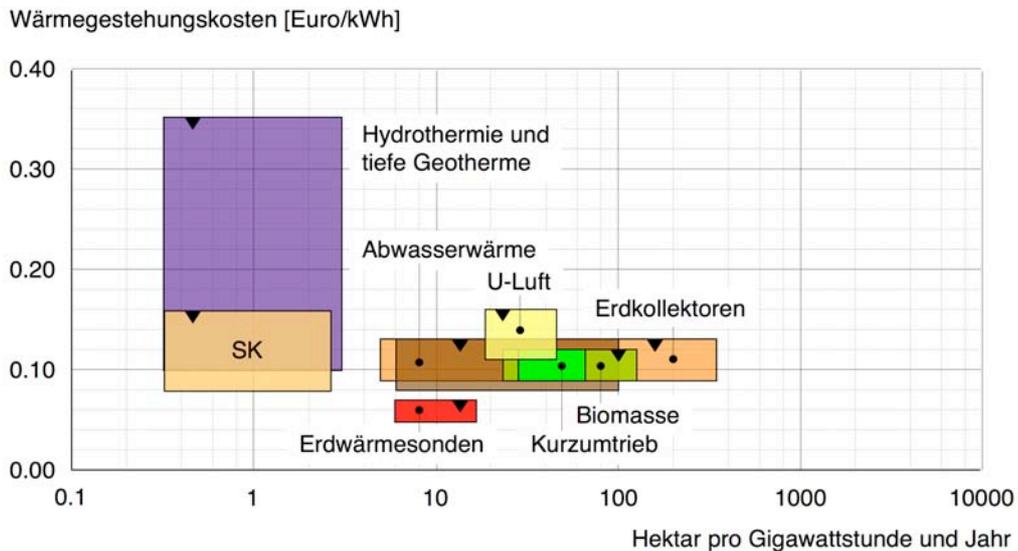


Abb. 6.1-2. Raumbedarf zur Erzeugung einer GWh Wärme pro Jahr und Wärmegestehungskosten heute und 2020 (BBR/BBSR & BMVBS 2009b, BMU 2010, eigene Untersuchungen). Die aktuellen und die für 2020 erwarteten Gestehungskosten markieren die obere und untere Begrenzung der dargestellten Rechtecke, die schwarzen Dreiecke die Richtung der Kostenentwicklung. Die Angaben gelten für Deutschland und beziehen sich auf die von der regenerativen Energieerzeugung betroffene Gesamtfläche.

6.2. Energiesektoren und Energieformen

Bei der Bestimmung des Energiebedarfs und der erneuerbaren Energiepotenziale wird zwischen drei

Energiesektoren unterschieden:

- Wohnen
- Arbeiten
- Mobilität

In dieser Studie werden die Energiesektoren durch Energieparteien vertreten. Dabei wird die Energiepartei "Wohnen" von den Haushalten repräsentiert und die Energiepartei "Arbeiten" von den Fraktionen "Gewerbe-Handel-Dienstleistung" (GHD) und "Industrie". Als Energiepartei „Verkehr“ wird das Verkehrsaufkommen von Strasse und Schiene im Kantonsgebiet nach dem Territorialprinzip erfasst (nach dem Gesamtverkehrsmodell der Region Basel), ebenfalls berücksichtigt sind Schifffahrt und Flugverkehr (Abb. 6.2-1). Jede dieser Energieparteien verfügt über räumliche Ressourcen, die sie zur Endenergieerzeugung nutzen können.

Die drei Energieparteien fragen Energie in unterschiedlicher Weise nach. Dabei unterscheiden wir grundsätzlich zwischen

- thermischem Bedarf
- elektrischem Bedarf
- Treibstoffen

Der thermische Bedarf wird noch einmal unterschieden in Heizwärmebedarf, Warmwasser und Prozesswärmebedarf. Treibstoffe beinhalten auch Kraftstoffe, die von der Energiepartei "Mobilität" genutzt werden. Der elektrische Bedarf der Mobilität beschränkt sich derzeit noch auf den öffentlichen Verkehr. In den Modellrechnungen wird davon ausgegangen, dass der elektrische Bedarf in Zukunft auch im Individualverkehr zunehmen wird (Elektromobilität). Abbildung 6.2-2 veranschaulicht die gewählte Einteilung mit einer Energiebedarfsmatrix.

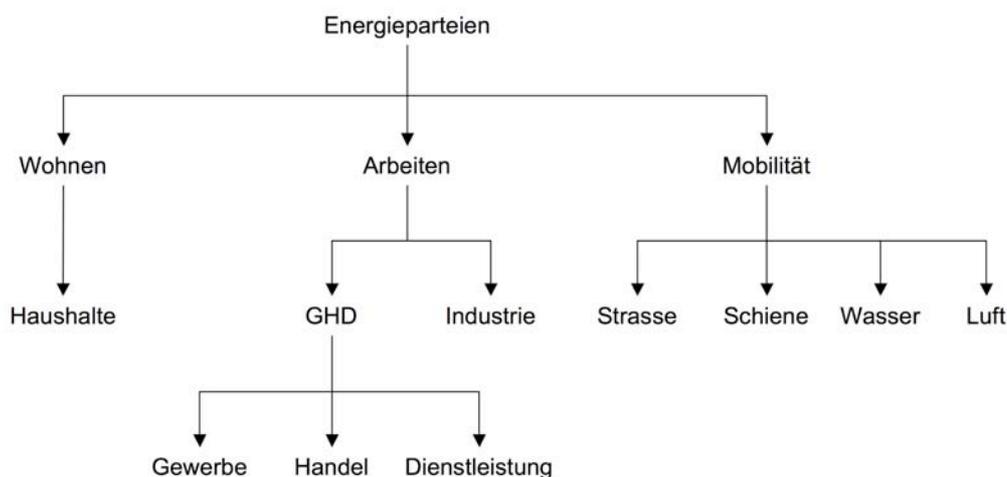


Abb. 6.2-1. Die Energieparteien und ihre Fraktionen.

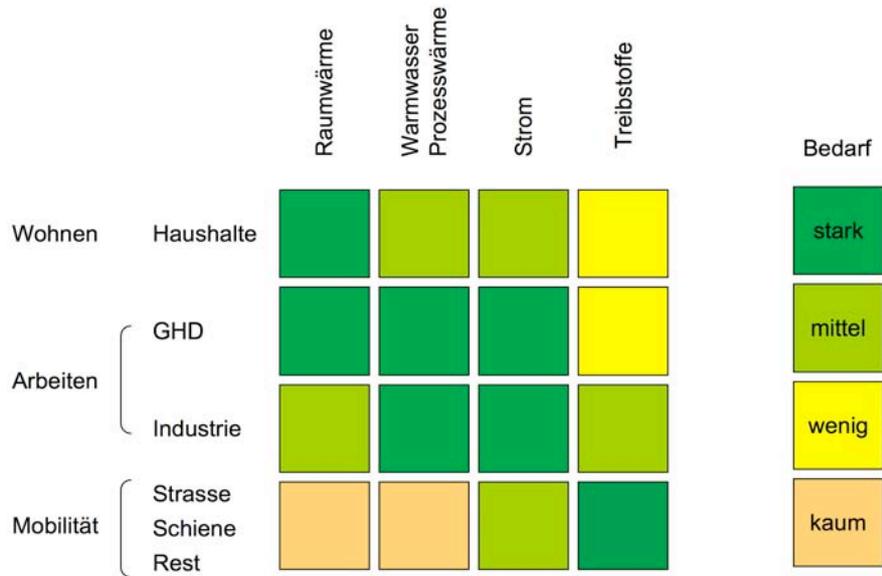


Abb. 6.2-2. Die Energiebedarfsmatrix.

6.3. Energetische Homogenbereiche

Das Modellgebiet wird in energetische Homogenbereiche eingeteilt. Dabei handelt es sich um Bereiche, die vergleichbar sind hinsichtlich ihres Energieverbrauchs aber auch vergleichbar sind hinsichtlich ihrer Begabung, selbst regenerativ Energie zu erzeugen (BBR/BBSR & BMVBS 2009b).

Die zuvor beschriebenen Stadtraumtypen sind solche energetische Homogenbereiche. Sie folgen städtebaulichen Leitbildern, die für eine bestimmte Epoche den Baustandard definierten. Infolge dessen unterliegen sie den zu dieser Zeit geltenden Baubestimmungen und Heiznormen. Zwar folgen alle Stadtraumtypen Sanierungszyklen, doch orientieren sich die Sanierungsziele ebenfalls am Bestand, der charakteristische Sanierungsmaßnahmen vorbestimmt.

Neben dem Energieverbrauch ist auch das Potenzial regenerativ Energie zu erzeugen, eine Funktion des städtebaulichen Leitbilds. So haben gründerzeitliche Bauwerke aufgrund ihrer charakteristischen Dachformen eine typische solare Begabung. Ihre Fassaden sind mit Blick auf den Denkmalschutz von einer solaren Nutzung ausgeschlossen. Im Gegensatz dazu lassen sich bei Hochhäusern sowohl Dach als auch Fassade solar besser nutzen. Bei anderen Optionen der regenerativen Endenergieerzeugung lassen sich ähnliche stadtraumtypische Potenziale definieren, worauf noch eingegangen wird.

Auch die Landschaftsräume werden in energetische Homogenbereiche eingeteilt. So hat der Raumtyp Wald einen spezifischen Energieverbrauch (Waldpflege) aber auch eine spezifische Begabung, regenerativ Energie zu erzeugen (Waldpflegeholz).

Nicht nur der Energiebedarf und das Erzeugungspotenzial sind prototypisch, auch die Emissionen von Treibhausgasen lassen sich über die energetischen Homogenbereiche systematisieren. Mit ihnen ist eine in sich geschlossene Strategie der Energie- und Klimagasbilanzierung möglich. Die

Homogenbereiche werden mit thematischen Kartenwerken visualisiert, auf deren Grundlage die räumliche Beschreibung des *status quo* wie auch die Entwicklung von Zukunftsszenarien möglich ist.

6.4. Energiebezugs- und Energiepotenzialflächen

Das Mass der baulichen Nutzung ist über die Grundflächenzahl und die Ausnutzungsziffer begrenzt. Nach dem Bau- und Planungsgesetz (BPG 1999) bezeichnet die Ausnutzungsziffer (AZ) das Verhältnis der Bruttogeschossfläche zur Grundstücksfläche, wobei Gebiete ausserhalb der Bauzone, Grünanlagen und öffentlicher Raum abzuziehen sind. Die im Kanton BS nach dem BPG zulässigen Ausnutzungsziffern schwanken je nach Bauzone zwischen 0,6 - 1,8.

Im Kanton BS wurden vom Bau- und Verkehrsdepartement bereits für die Blöcke der Zonenpläne Bruttogeschossflächen (BGF) ermittelt (BVD 2005). Dabei wurde zwischen Wohnen und Arbeiten unterschieden. Aus dieser Erhebung lassen sich die tatsächlich verwirklichten Ausnutzungsziffern ermitteln. Sie wurden im GIS mit den Stadtraumtypen überlagert, aggregiert und gemittelt, so dass mittlere stadtraumtypische Ausnutzungsziffern bestimmt werden konnten.

Im nächsten Schritt wurden die Energiebezugsflächen ($A_{E,i}$) aller Stadträume bestimmt. Auf ihrer Grundlage wird der thermische und elektrische Energiebezug ermittelt. Die Energiebezugsfläche entspricht der Bruttogeschossfläche abzüglich nicht energievorsorgter Gebäudeflächen sowie aller Innen- und Aussenwände (BPG 1999). Die in dieser Studie mit einer GIS-Analyse ermittelte Energiebezugsfläche für Arbeiten und Wohnen weicht 1.3% von der Erhebung des Bau- und Verkehrsdepartements (BVD 2005) ab. Im Bereich Wohnen liegt sie 5.7% höher als der *per capita* Wert der Eidgenössischen Volks-, Gebäude- und Wohnungszählung (BfS 2000). Der höhere Wohnflächenbedarf entspricht dem nationalen Trend zu grösseren Wohnungen bzw. geringerer Anzahl von Haushaltsmitgliedern pro Wohnung.

Für den Neubau im Wohnbereich wird bis 2035 von einer Zunahme der Bruttogeschossfläche von 840'600 m² ausgegangen. Bei einem Anteil von 15% nicht beheizter Flächen (Bébié 2010) ergeben sich daraus 714'510 m² zusätzlicher Energiebezugsfläche. Für die Modellierung des Modellraums wird danach keine weitere Zunahme mehr berücksichtigt.

In Tabelle 6.4-1 sind die mittleren Ausnutzungsziffern und die sich daraus ergebenden Energiebezugsflächen für alle Stadtraumtypen zusammengestellt.

Tab. 6.4-1. Stadtraumspezifische Ausnutzungsziffern und Energiebezugsflächen im Kanton BS.

Raumdaten		SRT [-]	AZ [-]	EBF [ha]	Summe EBF [ha]
Mischnutzung	Vorindustrielle Altstadt	I	2.8	176	
-	Baublöcke Gründerzeit	Ila	2.3	287	
-	Villen der Gründerzeit	Ilc	0.5	1	
Wohnen	Wohlfahrtssiedlung Vorkriegszeit	V	1.2	226	
-	Sozialer Wohnungsbau	VI	1.0	33	923 ³
-	Hochhäuser	VII	2.7	11	
-	Geschosswohnungsbau 1960-80er	VIIIa	1.3	14	
-	Geschosswohnungsbau seit 1990er	VIIIb	0.8	2	
-	Einfamilienhäuser	IXa	0.5	173	
-	Neubaugebiete ¹	N	0.8	(71) ¹	
Gewerbe	Gewerbe	Xa	1.4	24 ²	
Industrie	Industrie	Xb	1.4	123 ²	821 ⁴
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	0.7	210 ²	
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	2.4	464 ²	
Summe				1'744	1'744

¹Arealentwicklung bis 2035 nach dem Bau- und Verkehrsdepartement BS (in der Gesamtsumme nicht berücksichtigt, als Abschlag nicht beheizter Flächen wurden 15% angenommen) (BVD 2010). Angenommen wird, dass der Zubau von GHD-Flächen aufgegebene Gewerbe- und Industrieflächen kompensiert. ²Nach GIS-Analyse und dem Zonenplan des Kantons BS, abzüglich des Anteils nicht energievorsorgter Flächen. Diese wird in allen Stadträumen mit 15% angenommen, ausser bei reinem Gewerbe und Industrie, wo ein Abschlag von 50% angesetzt wurde. ³Für Wohnen nach dieser Studie. Zum Vergleich: das BVD (2005) hat 993 ha erhoben (inkl. 15% Abschlag). ⁴Für Arbeiten nach dieser Studie. Zum Vergleich: das BVD (2005) hat 728 ha erhoben (inkl. 15% Abschlag).

6.5. Energiebedarf der Mobilität

Der Energiebedarf der Mobilität kann bislang nicht mit dem Expertensystem über die Fläche ermittelt werden. Hierfür wurde ein eigenes Modell entwickelt, das sich auf im Modellraum zurückgelegte Fahrzeugkilometer und die entsprechenden Verbrauchszahlen stützt (Territorialprinzip).

Die Werte der gefahrenen Fahrzeugkilometer basieren auf den Berechnungen des Gesamtverkehrsmodells (GVM) der Region Basel (Abay et al. 2007). Sie sind für 2008 und 2030 für den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV) angegeben. Für die Umrechnung in den durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV, Werktag und Wochenende berücksichtigt) werden im Kanton Basel-Stadt für Strassenverkehr und Tram der Faktor 0,92 verwendet.

Für die Modellberechnungen wurden der Strassenverkehr (PKW, Lieferwagen, LKW, Reisebusse, Linienbusse) und der Schienenverkehr (Bahn, Tram) berücksichtigt. Die Zusammensetzung des im Strassenverkehr verbrauchten Treibstoffs (Benzin, Diesel, Gas) basiert auf den Schweizerischen Verbrauchsprognosen von HBEFA (Infras 2010).

Der Treibstoffverbrauch des Strassenverkehrs hängt nebst Energieträger und Fahrzeugtyp auch vom Strassentyp ab. Es wird zwischen Hochleistungsstrassen (HLS, bzw. Autobahn), Hauptverkehrsstrassen (HVS) und untergeordnetem Netz (ausserorts, innerorts) unterschieden. Für die Modellberechnungen wurde der Treibstoffverbrauch anhand der Schweizerischen

Verbrauchszahlen von HBEFA (Infras 2010) separat für HLS und für HVS inklusive untergeordnetem Netz berechnet.

Der Stromverbrauch der Bahn basiert auf Angaben der Betreiber (SBB, DB, SNCF) für die Jahre 2009-2010 bzw. 2004 (für SNCF). Die Aufteilung nach Personenverkehr und Güterverkehr basiert auf den gesamtschweizerischen Verbrauchszahlen der SBB. Der Stromverbrauch des Tramverkehrs basiert auf Angaben der IWB (Meier 2009).

Anhand der im GVM berechneten Entwicklung der Fahrzeugkilometer wird die Verkehrsentwicklung auf Strasse und Schiene von 2008 bis 2050 berechnet. Der Verbrauch des Flugverkehrs wird nur für 2010 ermittelt. Er wird konform zur Methodik der 2000-Watt-Gesellschaft nach dem Absatzprinzip berechnet (in der Schweiz getanktes Kerosin, anteilmässig der Bevölkerung des Kantons BS angerechnet) (Bébié et al. 2009). In den Szenarien werden die für 2010 ermittelten Werte unverändert für die anderen Zeitschnitte angewendet. Der aktuelle Verbrauch der Schifffahrt und dessen zukünftige Entwicklung basieren auf dem Emissionskataster BS/BL, Quellgruppen Offroad (Schäffeler et al. 2008).

6.6. Erneuerbare Endenergieerzeugung

Heute lassen sich mit modernen Technologien erneuerbare Energien in vielfältiger Form und auf sehr effiziente Art und Weise erzeugen. In dieser Studie werden die verschiedenen Optionen der Endenergieerzeugung vorgestellt und ihr Potenzial ausgelotet. Die Ermittlung der Energieerträge wird stadtraumspezifisch vorgenommen (BBR/BBSR & BMVBS 2009b, a). Grundsätzlich werden nur *real nutzbare*, im Stadtraum umsetzbare Optionen der erneuerbaren Endenergieerzeugung untersucht, d.h. es werden keine theoretischen Maximalpotenziale ermittelt.

Sonne

Die Sonnenenergie als erneuerbare Energiequelle lässt sich auf direktem Weg nutzen. Dabei wird zwischen

- photovoltaischer Nutzung zur Stromerzeugung und
- solarthermischer Nutzung zur Wärmebereitstellung unterschieden.

Zur direkten Solarnutzung steht im Stadtraum in erster Linie die Gebäudehülle zur Verfügung. Es eignen sich entsprechend ausgerichtete Dächer bzw. Fassaden. Auf statisch geeigneten Flachdächern sind auch aufgeständerte Anlagen möglich. Weiterhin werden Freiflächenanlagen gebaut, wobei hier die Konkurrenz mit anderen Nutzungsoptionen zu beachten ist.

Das Potenzial der Gebäudehülle zur solaren Endenergieerzeugung kann gemessen oder mit Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Ab 2012 steht im Kanton Basel-Stadt ein Solardachkataster zur Verfügung, der parzellengenau Auskunft gibt über das reale Solarpotenzial. Er beruht auf Scannerdaten, die durch Befliegung gewonnen und mit GIS-Daten verknüpft werden. Jeder Hausbesitzer kann so prüfen, ob seine Dachfläche zur solaren Nutzung geeignet ist. Von Nachteil ist jedoch, dass nur die Dachflächen erfasst werden und dass keine städtebaulichen, technischen und

baukulturell begründeten Einschränkungen berücksichtigt werden. Diese Aspekte werden beim Konzept der "solaren Gütezahlen" berücksichtigt, die im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojekts "Leitbilder und Potenziale des solaren Städtebaus" entwickelt wurden. Anhand der Untersuchungen wurde die solare Begabung (Everding et al. 2004; Everding 2007) des stadtraumtypischen Gebäudebestandes quantifiziert. Kriterien dabei sind zum Beispiel die Ausrichtung, Verschattungen und typische Fensterflächen sowie die Eingriffsempfindlichkeit und der Denkmalschutz. Mit den für Stadtraumprototypen hergeleiteten solaren Gütezahlen lässt sich das solarurbane Potenzial abschätzen.

Die solare Gütezahl ergibt sich aus dem Verhältnis von solar nutzbaren Flächen von Dächern und Fassaden zum Nettobauland (Everding et al. 2004; Everding 2007). Das Nettobauland ist die Summe der bebauten Grundstücke (dem Bruttobauland) abzüglich der Gemeinbedarfsflächen (der öffentlich genutzten Flächen). Mit einer solaren Gütezahl von 1,0 liesse sich das gesamte Dach lückenlos solartechnisch nutzen; eine solare Gütezahl von 0,0 zeigt an, dass keine solar nutzbaren Dachflächen vorliegen. Solare Gütezahlen lassen sich sowohl für die Dachflächen, als auch für die Fassadenflächen bestimmen. In Tabelle 6.6-1 sind die solaren Gütezahlen für die in dieser Studie verwendeten Stadtraumtypen aufgelistet.

Tab. 6.6-1: Solare Gütezahlen für einzelne Stadtraumtypen (nach Everding 2004, 2007, angepasst an den Modellraum).

Nutzung		SRT ¹ [-]	Solare Gütezahl	
			Dach [-]	Fassade [-]
Mischnutzung	Vorindustrielle Altstadt	I	0.14	0.00
-	Baublöcke Gründerzeit	Ila	0.10	0.00
-	Villen der Gründerzeit	Ilc	0.05 ²	0.00 ²
Wohnen	Wohlfahrtssiedlung Vorkriegszeit	V	0.04	0.00
-	Sozialer Wohnungsbau	VI	0.11	0.00
-	Hochhäuser	VII	0.12	0.14
-	Geschosswohnungsbau 1960-80er	VIIIa	0.08	0.04
-	Geschosswohnungsbau seit 1990er	VIIIb	0.08	0.04
-	Einfamilienhäuser	IXa	0.03	0.01
-	Neubaugebiete	Sa	0.08 ²	0.04 ²
Gewerbe	Gewerbe	Xa	0.26	0.05
Industrie	Industrie	Xb	0.26	0.05
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	0.12	0.04
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	0.11 ³	0.00

¹Stadtraumtyp; ²geschätzt; ³gemittelt (nach Gesamt-Nettobauland der Stadtraumtypen).

Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) wandeln Solarstrahlung direkt in elektrische Energie um. Sie bestehen aus PV-Modulen (Solarmodulen), die Sonnenlicht in Gleichstrom umwandeln, der wiederum mit einem Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt wird. Die zu erwartenden Erträge einer PV-Anlage sind eine Funktion der solaren Nutzfläche, der Sonneneinstrahlung und des Nutzungsgrades. Im Modellraum beträgt die typische mittlere jährliche Globalstrahlungssumme etwa 1'100 kWh/m²a (horizontale Fläche). Der Nutzungsgrad einer PV-Anlage liegt bei 10-15 % (Kaltschmitt et al. 2006; Wesselak & Schabbach 2009). Im Sommerhalbjahr bringt eine PV-Anlage etwa zwei Drittel des gesamten Jahresertrages. Photovoltaik ist also keine konstante und somit keine bedarfsgerechte Form der Endenergieerzeugung. Der Energieertrag variiert mit den Witterungsbedingungen und dem Sonnenstand, mit der Tages- und Jahreszeit.

Sonnenkollektoren wandeln das Sonnenlicht in Wärme um. Solarthermische Anlagen bestehen aus einem Kollektorfeld, einem Wärmespeicher, dem Solarkreis (dem geschlossenen Rohrkreis zwischen Kollektorfeld und Speicher) und der Regelung. Die zu erwartenden Erträge einer solarthermischen Anlage sind eine Funktion der solaren Nutzfläche, der Sonneneinstrahlung, des Nutzungsgrades und der Auslastung. Der Energieertrag schwankt mit den Witterungsbedingungen, mit der Tages- und Jahreszeit. Durch die Speicherhaltung ist das System jedoch, zumindest kurzfristig, unabhängig von der Witterung. Mit der zurzeit üblichen Anlagentechnik werden Nutzungsgrade von 30-60 % erreicht. Sonnenkollektoren werden meist zur Warmwasseraufbereitung genutzt.

Wind

Windkraftanlagen wandeln Wind direkt in elektrische Energie um. Grundsätzlich unterschieden werden Widerstandsläufer, die dem anströmenden Wind einen Widerstand entgegensetzen, und Auftriebsläufer, die nach dem Auftriebsprinzip funktionieren. Weiterhin unterscheidet man horizontal drehende und vertikal drehende Windkraftanlagen. Schliesslich werden Windkraftanlagen nach ihrem Anlagentyp, der Bauklasse und ihrer Aufstellung eingeteilt. Horizontal drehende Windkraftanlagen sind effizienter als vertikal drehende und haben, wie traditionelle Windmühlen, eine horizontale Drehachse. Ihr Wirkungsgrad ist theoretisch nach Albert Betz bei knapp 60 % begrenzt (Quaschnig 2009). Vertikal drehende Windkraftanlagen sind im Vergleich zu horizontal drehenden robuster, sturmresistent und geräuscharm, einfach im Aufbau und in der Wartung und müssen dem Wind nicht nachgeführt werden. Sie arbeiten somit auch bei schnell wechselnden Windrichtungen.

Windkraftanlagen eignen sich nur an windreichen Standorten. Ihr Energieertrag ist eine Funktion der Windgeschwindigkeit, der Rotorfläche und des Nutzungsgrades. Die Windgeschwindigkeit wird wesentlich durch die Rauigkeit der Umgebung beeinflusst. Aufgrund des Rauigkeitsprofils eignen sich Windkraftanlagen nur in Ausnahmefällen im Stadtraum. In der urbanen Peripherie können Windkraftanlagen dagegen hohe Energieerträge bringen. Allerdings ist die Stromerzeugung abhängig vom Wind, schwankt also mit der Witterung. Windkraft kann somit nicht bedarfsgerecht erzeugt werden.

Kleinwindkraftanlagen, insbesondere vertikal drehende Bauarten, wären für den Stadtraum denkbar. Sie sind jedoch erst interessant ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4 m/s (10 m Höhe). Dies ist allenfalls im Aussenbereich oder auf exponierten Hochhäusern gegeben. Bei Hochhäusern verwirbeln allerdings die Flachdachkanten den Wind, so dass eine Aufständigung der Kleinwindkraftanlage auf 5-10 m nötig wird. Selbst ohne Aufständigung wird bereits aus aerodynamischen Erwägungen ein Abstand zwischen den einzelnen Anlagen erforderlich, der in Windrichtung etwa dem 8-10fachen Rotordurchmesser und senkrecht dazu dem 3-5fachen Rotordurchmesser entspricht. Mit diesen Randbedingungen und unter Berücksichtigung der Dachflächenressourcen beträgt der Energieertrag pro Fläche für Kleinwindkraftanlagen allenfalls 10 % des für Grosswindkraftanlagen typischen Energieertrages. Dies spricht für die historische Stadtplanung, die Mühlen in einigem Abstand zur Stadt vorsah. Eine Nutzung urbaner Dachflächen mit PV-Anlagen erscheint somit zweckmässiger. Der Gedanke der Kleinwindkraftanlagen im Stadtraum wird deshalb nicht weiter verfolgt.

Wasser

Wasserkraftwerke wandeln die kinetische und potenzielle Energie der Wasserströmung in elektrische Energie um. Die Wasserkraft ist wie die Windkraft eine der ältesten Formen der Endenergieerzeugung die traditionell *intra muros* genutzt wird. Heute wird die Wasserkraft fast ausschliesslich zur Erzeugung elektrischen Stroms genutzt.

Wasserkraftwerke werden nach der Bauform, Bauklasse, dem Nutzgefälle und der Auslastung eingeteilt. Laufwasserkraftwerke werden mit 4'500-6'500 Volllaststunden pro Jahr gefahren. Ihr

Wirkungsgrad kann 90 % überschreiten, ihr Nutzungsgrad liegt bei 60-80 % (Kaltschmitt et al. 2006; Quaschnig 2009). Sie wandeln die Wasserkraft also in sehr effizienter Weise in Strom um. Der Energieertrag ist eine Funktion der Fallhöhe, der nutzbaren Wassermenge und des Nutzungsgrades. Sowohl die Fallhöhe als auch die Wassermenge gehen linear in die Berechnung des Energieertrags ein. Mit doppelter Fallhöhe oder doppelter Wassermenge erhält man also den doppelten Energieertrag. Allerdings unterliegt der Abfluss in kleineren Fließgewässern jahreszeitlichen Schwankungen. Somit kann auch die Stromerzeugung Schwankungen unterliegen. Grössere Laufwasserkraftwerke eignen sich dagegen durchaus zur Deckung der Grundlast.

Auch in Druckleitungen können Kleinwasserkraftanlagen eingebaut werden. Sie eignen sich zum Beispiel in Trinkwasserleitungen, um Druckreduzierventile zu ersetzen. Auch in Abwasserleitungen könnten entsprechende Turbinen eingesetzt werden.

Umgebungswärme

Die Wärme der Umgebung kann durch Wärmepumpen auf ein nutzbares Niveau angehoben werden. Dabei nutzt man unterschiedliche Umweltmedien:

- den Untergrund
- die Umgebungsluft
- die Gewässer und das Abwasser

Zum Antrieb einer Wärmepumpe wird Energie benötigt, die aus regenerativen Quellen stammen muss, soll die Wärmeerzeugung nachhaltig sein. Als Bauformen werden Kompressions-, Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen unterschieden. In Haushalten werden fast ausschliesslich Kompressionswärmepumpen eingesetzt, da sie gerade im kleinen Leistungsbereich kostengünstiger sind. Die Funktionsweise der Kompressionswärmepumpe beruht auf einem komplexen thermodynamischen Kreisprozess, den bereits Jacob Perkins 1834 zum Bau des Kühlschranks inspirierte und den Lord Kelvin 1852 zum Bau einer Wärmekraftmaschine nutzte. Ein Mass für die Effizienz einer Wärmepumpe ist ihre Leistungszahl (*Coefficient of Performance*) oder Jahresarbeitszahl (JAZ), d.h. das Verhältnis der abgegebenen Jahresnutzwärme zur gesamten, von der Wärmepumpe aufgenommenen Energie. Die für den Betrieb einer Wärmepumpe eingesetzte elektrische Energie sollte mehr als die dreifache Wärmeenergie (also $JAZ > 3$) erzeugen, damit eine Wärmepumpe wirtschaftlicher als konventionelle Kraftwerke arbeitet.

Im Modellgebiet eignen sich erdgekoppelte Wärmepumpen (Erdwärmesonden) sowie Anlagen der Abwasserwärmerückgewinnung. Dabei kann der Wärmeentzug entweder noch im Gebäude vor Eintritt des Abwassers in das Kanalnetz oder in speziellen, gebäudenahen Abwassersammelschächten erfolgen. Zudem können in den Abwasserkanal Wärmetauscher gelegt werden. Schliesslich ist auch am Ausfluss eines Klärwerks eine sehr effiziente Abwasserwärmerückgewinnung möglich. Eine im Stadtraum sinnvolle Option stellt die Abwasserwärmerückgewinnung in gebäudenahen Abwassersammelschächten dar. Wirtschaftlich ist sie jedoch nur in Gebäuden mit mehr als 30 Wohneinheiten (Kalberer 2010). Eine Abwasserwärmerückgewinnung wird daher nur in verdichteten

Gebieten ohne Fernwärmeanschluss berücksichtigt.

Geothermie

Über 99 % der Erde ist heisser als 1'000°C, nur die obersten 3 km sind kühler als 100°C. Die Nutzung der Erdwärme unter 3'000 m birgt somit ein quasi unerschöpfliches Potenzial für Strom- und Wärmeerzeugung. Geothermische Heizstationen und Heizkraftwerke nutzen dieses Potenzial auf unterschiedliche Weise (z.B. Dubletten-Systeme, Hot-Dry-Rock-Verfahren, etc.).

Im Modellraum nutzt der Riehener Wärmeverbund bereits seit über 15 Jahren geothermische Ressourcen. Dabei handelt es sich um die grösste Anlage in der Schweiz. Es ist geplant, den Wärmeverbund weiter auszubauen. Bislang stellt die Riehener Anlage nur Wärme bereit. Denkbar sind aber auch geothermische Kraftwerke, die neben Wärme auch Strom produzieren.

Biomasse

Die Nutzung der Biomasse ist eine ausgesprochen vielschichtige Option der Erzeugung erneuerbarer Energie. Aus Biomasse können sowohl Strom als auch Wärme und darüber hinaus auch noch Energieträger gewonnen werden, und zwar feste, flüssige und gasförmige. Diese lassen sich lagern und gezielt einsetzen, sowohl für Grund-, als auch Mittel- und Spitzenlasten.

Allerdings erfordert die Nutzung von Biomasse eine ausgefeilte Logistik der Bereitstellung, Aufbereitung, Verarbeitung und Transformation in Energie. Sie ist die einzige Form, bei der Bereitstellungskosten auftreten, die sich bis in die Gestehungskosten durchpausen. Grundsätzlich lassen sich zwei grosse Gruppen energetisch verwertbarer Biomasseprodukte unterscheiden:

- Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle
- Energiepflanzen

Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle fallen bei laufenden Prozessen an. Ihre energetische Nutzung ist ein Nebeneffekt, eine Abfallverwertung im engeren Sinne. Dagegen werden Energiepflanzen allein zum Zweck der Endenergieerzeugung angebaut.

Da Energiepflanzen und Kurzumtriebsplantagen einen erheblichen Flächenanspruch haben und somit Raum beanspruchen, stehen sie in Konkurrenz zu anderen Nutzungsoptionen wie zum Beispiel der Flächenentwicklung oder der Nahrungsmittelproduktion. Im Modellraum stellen sie keine Option der Endenergieerzeugung dar.

Die Transformation von Biomasse zu Energie geschieht sowohl auf direktem Wege, wie beim Verbrennen von Biomasse, als auch auf indirektem Wege durch die Transformation in feste, flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger. Dabei unterscheidet man Verfahren der thermo-chemischen, der physikalisch-chemischen und der bio-chemischen Umwandlung. Die thermo-chemischen Verfahren lassen sich unterteilen in Vergasung, Pyrolyse und Verkohlung von fester Biomasse zu Biogas, Bioöl und Holzkohle. Bei den physikalisch-chemischen Verfahren wird Biomasse durch Auspressen und Extraktion in Pflanzenöle umgewandelt und gegebenenfalls durch Umesterung zu Pflanzenölmethylester (PME). Schliesslich kann Biomasse bio-chemisch mit Hilfe von

Mikroorganismen durch Alkoholgärung und anaerobem Abbau in Ethanol und Biogas umgewandelt werden. Darüber hinaus lässt sich Biomasse auch in nicht energetisch nutzbare Bioproducte umwandeln (Raffinieren), wobei jedoch in den meisten Fällen auch Bioenergieträger anfallen.

Die Transformation von Biomasse in sekundäre Energieträger und schlussendlich in elektrische und thermische Energie ist ein hochkomplexer Prozess, der weit verzweigte Stoffströme auslöst und einer aufwendigen Logistik bedarf. Biogas kann nach einer Aufbereitung und Druckanpassung in ein Gasnetz eingespeist werden (wie dies zum Beispiel in der Biopower-Anlage Pratteln in Basel-Land geschieht) und dann – unabhängig vom Ort der Entstehung – in Energie transformiert werden. Feste und flüssige Brennstoffe werden gelagert und transportiert um schliesslich in Wärme und Strom umgewandelt zu werden. Dabei ist zu beachten, dass mit zunehmendem Transportweg der ökologische Vorteil schwindet. Die Nutzung von Biomasse erfordert somit eine zum Teil aufwändige Infrastruktur, die neben der Beschaffung und Lagerhaltung noch einer Vernetzung von Strom, Wärme und Gas verlangt.

Nutzungsoptionen im Modellraum

Die naturräumlichen und anthropogenen Ressourcen werden im Modellraum auf unterschiedlicher Weise zur Erzeugung regenerativer Energien genutzt. In Abbildung 6.6-1 werden die Optionen regenerativer Endenergieerzeugung den Formen der Nutzung gegenübergestellt. Die Sonne dient der Stromerzeugung (PV) und der Wärmebereitstellung (Sonnenkollektoren). Wasser und Wind werden zur Stromerzeugung genutzt. Wärmepumpen erzeugen Raumwärme und Warmwasser. Die Biomasse eignet sich für die Stromerzeugung und die Wärmebereitstellung. Darüber hinaus ist sie auch noch als Energieträger nutzbar.

		Raumwärme	Warmwasser Prozesswärme	Strom	Treibstoffe	Nutzung
Sonne	PV	orange	orange	grün	orange	stark
	Kollektor	gelb	grün	orange	orange	mittel
Wind		orange	orange	grün	orange	wenig
Wasser		orange	orange	grün	orange	nie
Wärmepumpen		grün	grün	orange	orange	
Geothermie		grün	grün	mittelgrün	orange	
Biomasse		grün	grün	mittelgrün	gelb	

Abb. 6.6-1. Optionen regenerativer Endenergieerzeugung und Formen der Nutzung.

Einführungsraten

Betrachtet man die Zeitschiene, so gestaltet sich der Zuwachs an regenerativen Energien je nach Option der regenerativen Endenergieerzeugung graduell oder sprunghaft. Die schrittweise Ausschöpfung solar nutzbarer Flächen ist ein gradueller Prozess. Potenziale, deren Anteil sich allmählich steigert, werden im Folgenden als *diffuse Potenziale* bezeichnet. Im Gegensatz stehen die *konkreten Potenziale*. So stellt zum Beispiel der Anschluss eines geothermischen Wärmenetzes eine sprunghafte Erhöhung des regenerativen Anteils und somit ein konkretes Potenzial dar.

Die Realisierung diffuser Energiepotenziale folgt einem komplexen Prozess der Markteinführung. Grundsätzlich ist von drei Phasen auszugehen: In der ersten Phase wird die Technologie eher zögerlich umgesetzt. Die Technik ist noch nicht ausgereift und ist noch zu teuer. Es gibt erst wenige Firmen, die sie anbieten, wenige Interessenten, die ihre Bedeutung erkennen und kaum Erfahrungen, die gesammelt werden können. Der Markt beobachtet und analysiert die ersten Ergebnisse, um dann, wenn sich eine Technologie als erfolgreich erweist, sie in der zweiten Phase umso zügiger umzusetzen. Diese schwächt sich jedoch wieder ab und mündet in eine dritte Phase, in der sich das Potenzial erschöpft. Es gibt schliesslich kaum noch solar nutzbare Flächen, Bohrplätze für Erdwärmesonden oder Haushalte, die ihr Abwasser nicht thermisch nutzen. Abbildung 6.6-2 zeigt

die S-förmige Markteinführung für die Photovoltaik. Dargestellt sind Messwerte und eine Approximation über eine Gauss'sche Summenkurve (als Integral über die Normalverteilung). Die Gauss-Funktion wird oft genutzt um Prozesse, die von vielen unterschiedlichen, zum Teil nicht steuerbaren Faktoren abhängen, zu modellieren.

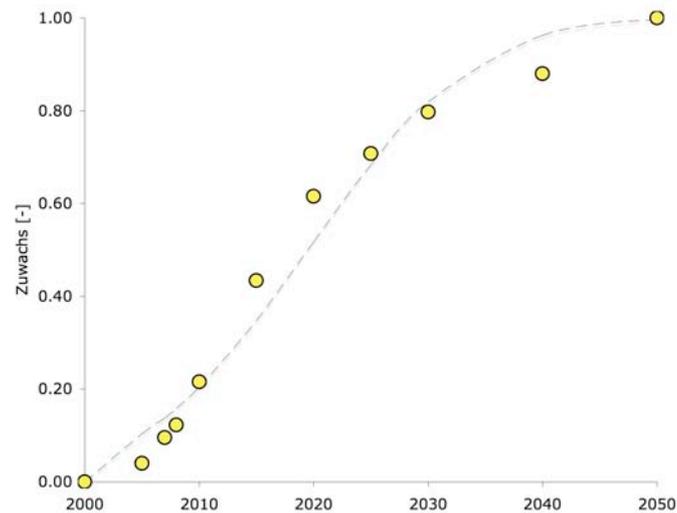


Abb. 6.6-2. Zunahme der PV-Stromproduktion über die Zeit (Werte nach BMU 2009). Die Produktion ist dimensionsfrei auf die prognostizierte Stromerzeugung 2050 bezogen dargestellt. Ebenfalls dargestellt ist die Approximation der Werte mit einer Gauss'schen Summenkurve.

Tabelle 6.6-2 zeigt die Zunahme der solaren Nutzung in der Schweiz. Ebenfalls dargestellt ist die Zunahme der solar genutzten Dach- und Fassadenfläche im Kanton Basel-Stadt. Auf dieser Grundlage lassen sich dimensionsfreie Faktoren der Markteinführung für verschiedene Szenarien definieren. Dabei wird davon ausgegangen, dass die nationalen Werte den Trend widerspiegeln.

Tab. 6.6-2. Nationaler Trend der solaren Energiegewinnung (BFE-Szenario II „Verstärkte Zusammenarbeit“) (Kirchner 2007) und solar genutzte Flächen im Modellraum (Thommen 2010).

Jahr	Trend Photovoltaik in der Schweiz ¹ [-]	Trend Sonnenkollektoren in der Schweiz ¹ [-]	Trend solare Nutzung in Basel Stadt ² [-]
1990	0.06	0.00	0.00
1995	0.28	0.00	0.05
2000	0.56	0.42	0.15
2005	0.85	0.83	0.66
2010	1.00	1.00	1.00
2020	1.58	1.50	1.54 ⁴
2030	5.36	2.00	3.68 ⁴
2040	13.22 ³	2.55 ³	7.88 ⁴
2050	32.58 ³	3.05 ³	17.81 ⁴

¹Bezogen auf die Endenergieproduktion und das Jahr 2010; ²bezogen auf die solare Nutzfläche und das Jahr 2010; ³extrapoliert; ⁴gemittelte Werte aus Trend Schweiz (PV und Sonnenkollektoren).

Für den Modellraum lässt sich das maximale solare Potenzial auf der Grundlage der Raumanalyse mit dem hier genutzten GIS-fähigen Expertensystem abschätzen. Unter Berücksichtigung städtebaulicher Randbedingungen und den Belangen des Denkmalschutzes ergibt sich ein Potenzial von ca. 205 ha solar nutzbarer Dach- und Fassadenfläche im Modellraum (Stand solare Nutzung 2009: 3.7 ha), also ca. 12 % der bebauten Fläche.

In Abbildung 6.6-3 ist dargestellt, wie sich unter Berücksichtigung der Basler Solarstatistik dieses Potenzial bis 2050 nutzen lässt. Ebenfalls dargestellt ist der auf die Basler Solarstatistik bezogene nationale Trend (BFE-Szenario II "Verstärkte Zusammenarbeit", Kirchner 2007). Der Unterschied beider Kurven macht deutlich, dass der Modellraum ein erhebliches solares Potenzial aufweist. Vom nationalen Trend bis zur optimalen Ausschöpfung der Potenziale lassen sich Szenarien definieren.

Für den Modellraum lässt sich ebenfalls das maximale Potenzial der Wärmepumpen mit dem hier genutzten GIS-fähigen Expertensystem abschätzen. Danach können zum Prognosehorizont etwa 158 GWh Wärme mit Wärmepumpen bereitgestellt werden. Berücksichtigt wurden Wärmepumpen für Erdwärmesonden und Abwasserwärme (nur in Abbildung 6.6-4 ist dieses Potenzial dargestellt) sowie der auf Basel übertragene nationale Trend (BFE-Szenario II "Verstärkte Zusammenarbeit", Kirchner 2007). Auch hier macht der Unterschied beider Kurven das Potenzial der Wärmepumpen im Modellraum deutlich.

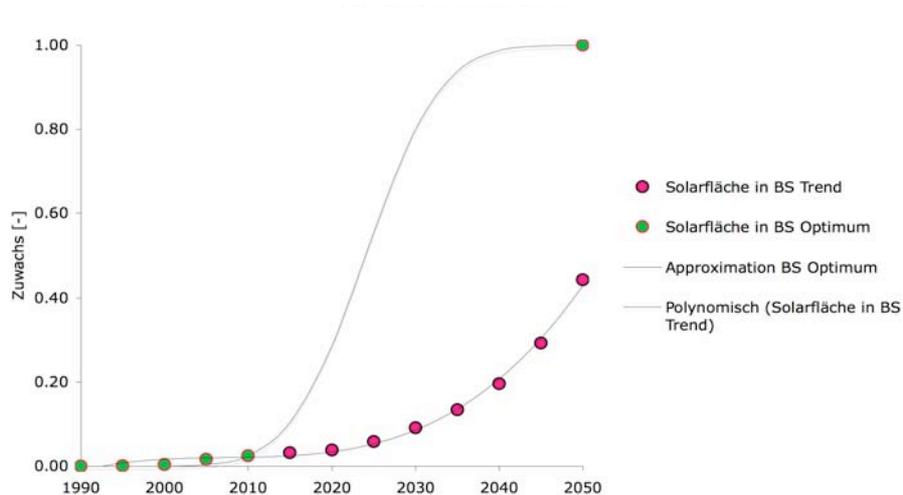


Abb. 6.6-3. Solare Nutzung im Modellraum nach dem nationalen Trend (Kirchner 2007) und bei Ausschöpfung der Potenziale (optimiert).

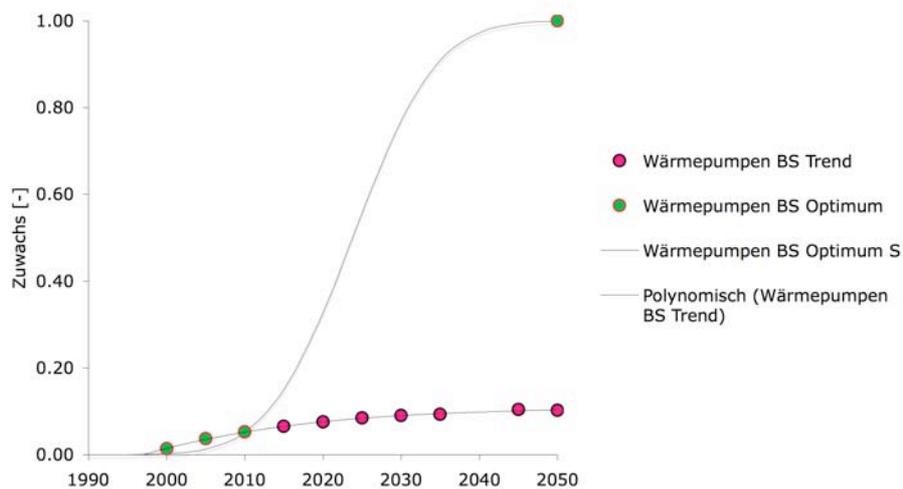


Abb. 6.6-4. Nutzung von Wärmepumpen im Modellraum nach dem nationalen Trend (Kirchner 2007) und bei Ausschöpfung der Potenziale (optimiert).

6.7. Energieeffizienz und -suffizienz

Zur Erreichung eines möglichst hohen energetischen Selbstversorgungsgrades und den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft sind Massnahmen in den Bereichen der Effizienz und Suffizienz zu treffen.

Unter Energieeffizienz versteht man eine wirkungsvolle Nutzung von Energie für Arbeit und Wärme, d.h. ein optimiertes Verhältnis zwischen eingesetzter Energie und der daraus entstehenden Wirkung.

Im Wärmebereich umfassen Effizienzmassnahmen die Reduktion des Raumwärmebedarfs und des Bedarfs für Warmwasser. In privaten Haushalten macht die Raumwärme ca. zwei Drittel des Endenergiebedarfs aus. In der Industrie wird ein grosser Teil der Wärmeenergie als Prozesswärme verbraucht. Durch energetische Sanierungen und betriebliche Optimierungen können in diesem

Bereich erhebliche Wirkungen erzielt werden.

Effizienzmassnahmen beim Stromverbrauch betreffen in Haushalten elektrische Geräte und Licht. Durch effiziente Kühlschränke, Fernseher etc. und der Vermeidung von Stand-by Betrieben können dort signifikante Verbesserungen erreicht werden. Der grössere Teil des Stroms (in Basel ca. 65%) wird jedoch in Gewerbe und Industrie in Form von Prozessenergie und Bürogeräten verbraucht. Auch hier bergen betriebliche Optimierungen ein erhebliches Sparpotenzial.

Im Bereich des Verkehrs besteht in Basel-Stadt der höchste Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr (PKWs), gefolgt von Lieferwagen und LKWs. Verbesserungen in der Motorentchnologie bergen hohe Einsparpotenziale. Die höchste Effizienzwirkung kann jedoch mit einem Wechsel der Antriebsart auf Elektromotoren erreicht werden, welche nur ca. einen Drittel der eingesetzten Endenergie von Verbrennungsmotoren benötigen. Auch im öffentlichen Verkehr können bei Bahn und Tram vor allem durch Rekuperation noch bis zu 30% Energie eingespart werden.

Komplementär zur Effizienz setzt die Suffizienz auf der Verhaltensebene an. Sie bedeutet eine Einschränkung des Konsums, bzw. die Vermeidung einer Konsumzunahme und des damit verbundenen Energieverbrauchs. Durch steigende Bedürfnisse werden Effizienzmassnahmen oft ausgehebelt (wie durch grössere Kühlschränke oder Fernseher, höhere Mobilität oder stärkere Fahrzeuge, höherer Wohnraumbedarf). Auch die Senkung der Betriebskosten von Geräten und Anlagen durch geringeren Energieverbrauch kann zu einer höheren Nachfrage führen (Rebound-Effekt). Neben Effizienz ist deshalb auch die Suffizienz eine zentrale Komponente der nachhaltigen Entwicklung.

In der vorliegenden Studie werden nur Effizienzmassnahmen betrachtet.

6.8. Graue Energie

Graue Energie bezeichnet diejenige Energiemenge, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung benötigt wird. Der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse wird dabei addiert, wobei auch die Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung mit einbezogen werden. Lange unterschätzt, ist die Relevanz der grauen Energie und der damit einhergehenden grauen Treibhausgasemissionen mittlerweile unumstritten und spielt auch im Rahmen der 2000-Watt-Gesellschaft eine wichtige Rolle.

Gemäss Methodik der 2000-Watt-Gesellschaft setzt sich die graue Energie einer Region zusammen aus der in einer Region bei Erzeugung, Verarbeitung und Transport von Gütern und Dienstleistungen eingesetzten Energie und dem Importsaldo der grauen Energie von Gütern und Dienstleistungen (Bébié et al. 2009: 7). Dies bedeutet beispielsweise, dass die zur Herstellung und Transport eingesetzte Energie einer in China produzierten und in die Schweiz gelieferten Ware als graue Energie in der Schweiz angerechnet wird. Der Energieverbrauch von aus der Schweiz exportierten Gütern wird dementsprechend abgezogen. Massgebend für die Bestimmung der Werte für die graue Energie und die entsprechenden Treibhausgas-Emissionen ist die in Jungbluth et al. (2007) entwickelte Methodik. Den verschiedenen ein- bzw. ausgeführten Gütern werden dabei

Ökobilanzdaten zugeordnet, so dass nach mehrmaliger Aggregation für jede Warengruppe (z.B. Textilien) der Energieverbrauch bzw. das relative Treibhausgaspotenzial pro Kilogramm Ware angegeben werden kann. Bezüglich der grauen Energie wird diese Energieintensität als *kumulierter Energieaufwand* (KEA) angegeben, für die grauen Treibhausgasemissionen wird das *Global Warming Potential* (GWP) verwendet.

Allerdings können die Ökobilanzdaten je nach den Details, z.B. der Herstellung und dem Transport von Produkten, stark variieren, und die benötigten Daten sind häufig schwer erfassbar. Aufgrund dieser Unsicherheiten in der Datengrundlage wird, wie im Methodikpapier der 2000-Watt-Gesellschaft empfohlen (Bébié et al. 2009), die graue Energie lediglich in einer Schattenrechnung mitgeführt.

Operationalisierung für den Kanton Basel-Stadt

Bei der Bilanzierung der grauen Energie des Kantons Basel-Stadt für das Jahr 2009 wurde der „graue“ Energieverbrauch des Nettoimports von Gütern berechnet. Aufgrund der äusserst unsicheren Ökobilanzdaten sowie der schwierigen Datenlage ist die graue Energie von Dienstleistungen nicht berücksichtigt.

Für die Berechnung der grauen Energie von Gütern wurde wie folgt vorgegangen: Da die Aussenhandelsstatistik des Kantons Basel-Stadt nur den Import und Export mit dem Ausland, nicht jedoch den Warenhandel mit anderen Kantonen der Schweiz erfasst, wurde aus pragmatischen Gründen die graue Energie des auf den Kanton bezogenen Netto-Importsaldos von Gütern aus den gesamtschweizerischen Daten pro Kopf der Bevölkerung berechnet. Die Datengrundlage bildete die Aussenhandelsstatistik der Schweiz gemäss der Klassifikation des internationalen Warenverzeichnisses CTCI/SITC („Classification type pour le commerce international“ oder „Standard International Trade Classification“). Dabei wurden diejenigen Warengruppen, die Energieträger ausweisen, also Strom, Öl, Kohle und Gas (Warengruppen 32 bis 35) von der Berechnung ausgeschlossen, da der kumulierte Energieaufwand der Energieträger bereits in der Bilanzierung der weissen Energie über die Primärenergiefaktoren berücksichtigt wird. Für die 67 Warengruppen der CTCI-Klassifikation standen Ökobilanzdaten (KEA und GWP) zur Verfügung, so dass der kumulierte Energieaufwand bzw. die grauen Treibhausgasemissionen anhand des Importsaldos der Güter berechnet werden konnten. Die so berechneten Gesamtwerte für das Jahr 2009 wurden abschliessend auf Watt pro Person (graue Energie) und CO₂-Äquivalente pro Person (graue THG-Emissionen) umgerechnet.

7. Zukunftsszenarien

Die Entwicklungspotenziale des Energiesystems im Kanton BS werden in Zukunftsszenarien abgeschätzt. Hierfür werden die Entwicklungsschritte in Zeitschnitten dargestellt. Diese orientieren sich an mittelfristigen und langfristigen Energiezielen des Kantons BS sowie am Zeithorizont der Szenarien des Bundesamtes für Energie. Daraus ergeben sich folgende Zeitschnitte:

- 2010 (Startjahr)
- 2020 (mittelfristige Energieziele des Kantons BS)
- 2035 (Zeithorizont BFE Energieperspektiven)
- 2050 (Langfristziele des Kantons BS für 2000-Watt-Gesellschaft)

Die im Folgenden diskutierten Szenarien beziehen sich auf diese Zeitschnitte.

7.1. Energiesystem Basel

In Abbildung 7.1-1 ist das Energiesystem des Kantons BS schematisch dargestellt. Die Systemelemente in fetter Schrift sind Stellschrauben, durch welche das Energiesystem im Modell (Expertensystem) beeinflusst werden kann.

Ausgehend von den an den Stellschrauben vorgenommenen Veränderungen werden die Kosten und Erträge, sowie die CO₂-Emissionen berechnet sowie Handlungsempfehlungen gegeben, wie diese Veränderungen erreicht werden können.

Die mögliche zukünftige Entwicklung des Energiesystems BS wird in zwei Szenarien dargestellt:

- **Referenzszenario:** Dieses Szenario stellt die Entwicklung des Energiesystems BS dar, wenn im Kanton Basel-Stadt der gegenwärtige Trend der Schweizer Energiepolitik verfolgt wird.
- **2000-Watt-Szenario:** In diesem Szenario werden alle wirtschaftlich, gesellschaftlich und ökologisch tragbaren technischen Optionen zur Steigerung der Energieeffizienz und der Einführung erneuerbarer Energien ausgeschöpft. Die Optionen beziehen sich auf den gegenwärtigen Stand der Technik.

Das Szenario 2000-Watt-Gesellschaft ist ein Zielszenario, d.h. die Entwicklungen werden hinsichtlich der möglichst raschen Erreichung der 2000-Watt-Gesellschaft optimiert.

Die Entwicklung des Verbrauchs an grauer Energie wird in den Szenarien nicht berechnet. Ebenfalls nicht berücksichtigt ist der Flugverkehr, für den bis 2050 die Verbrauchswerte von 2010 unterstellt werden.

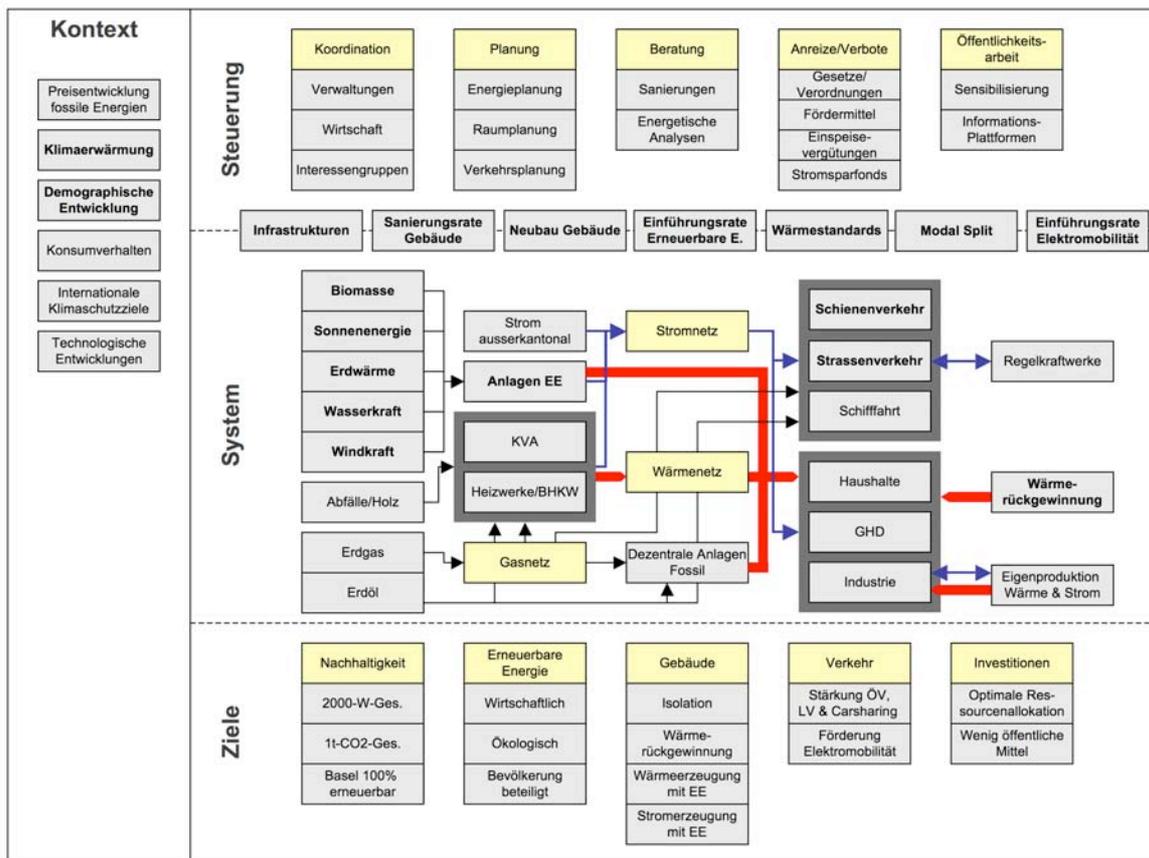


Abb. 7.1-1. Schematische Darstellung des Energiesystems BS. Die Elemente des Systems sind in Kontext (nicht bzw. nur sehr eingeschränkt durch den Kanton BS beeinflussbar), Steuerung (Instrumente, die dem Kanton zur Verfügung stehen), System (Elemente und Stoff- und Energieflüsse des Energiesystems) und Ziele gegliedert. Die Steuerungs- und Zielelemente sind exemplarisch, die Darstellung ist nicht abschliessend (der Flugverkehr gilt als *extra muros* und ist nicht dargestellt).

7.2. Referenzszenario

Im Referenzszenario wird die Entwicklung des Energiesystems BS nach den gegenwärtigen Trends der Schweizer Energiepolitik dargestellt. Die zugrunde liegenden Annahmen stützen sich vorwiegend auf die Energieperspektiven 2035 des BFE (Kirchner 2007). Die Perspektiven bis 2050 werden aus den Entwicklungen bis 2035 extrapoliert.

Der gegenwärtige Trend weist darauf hin, dass die zukünftigen Entwicklungen in der Schweiz dem BFE-Szenario II – „Verstärkte Zusammenarbeit“ entsprechen. In diesem Szenario nimmt die Endenergienachfrage der Schweiz bis im Jahr 2035 gegenüber dem Jahr 2000 um 3.9% ab. Bezogen auf die Energieträger nimmt die Nachfrage nach den Hauptenergieträgern für das Segment Raumwärme, Öl und Gas, am stärksten ab (Öl -7.9%, Gas -4%). Die Nachfrage nach Elektrizität steigt um 22.5%. Der Anteil der Elektrizität am Nachfragemix steigt von 23.4% auf 29.8%. Das Wachstum der Elektrizitätsnachfrage schwächt sich etwa ab 2020 ab. Lediglich im Haushaltssektor zeigt sich erst ab ca. 2030 eine Abschwächung des Wachstums.

Der Einsatz erneuerbarer Energien nimmt im BFE-Szenario II bis 2035 moderat zu. Die Fördermittel für erneuerbare Energien sollen kostenoptimiert eingesetzt werden, d. h. die verwendeten

Technologien sollen so zugebaut werden, dass mit dem begrenzten Fördervolumen möglichst viel Energie erzeugt werden kann. Insgesamt nehmen die erneuerbaren Brenn- und Treibstoffe (ohne Elektrizitätserzeugung) um 68.9% zwischen den Jahren 2000 und 2035 zu. Die Photovoltaik nimmt bis 2035 gegenüber 2010 um 8.4% zu, solarthermische Anlagen um 2.3%. Die Nutzung von Erdwärme zur dezentralen Wärmegegewinnung nimmt um knapp 2% zu.

Die Entwicklung der Endenergieerzeugung durch Wind, Wasser, tiefer Geothermie, Klärgas, Kehricht und Biomasse im Kanton BS richtet sich nicht nach dem Schweizer Trend des BFE-Szenarios II. Diese Energieoptionen werden in Anlagen genutzt, die im Kantonsgebiet nur begrenzt realisiert werden können. Das Referenzszenario der vorliegenden Studie stützt sich deshalb auf laufende und sich bereits in Planung befindende Projekte für den Ausbau bestehender bzw. die Erstellung neuer Anlagen (siehe Kapitel 7.4).

Die Entwicklung des Verkehrsbereichs (Strasse und Schiene) stützt sich auf die Szenarien des Gesamtverkehrsmodells (GVM) der Region Basel (Abay et al. 2007). Im Rahmen des GVM werden Prognosen für Verkehrsaufkommen und -Arten (Personenkilometer, Fahrzeugkilometer, Modal Split) in der Region Basel für 2030 gemacht. Die Perspektive bis 2050 wird aus den Entwicklungen bis 2030 extrapoliert. Die Entwicklung der Energieeffizienz von Verbrennungsmotoren basiert auf dem Handbuch für Emissionsfaktoren zur Berechnung von Treibstoffverbrauch und CO₂-Emissionen im Strassenverkehr (HBEFA 2010). Für die Entwicklung der Energieeffizienz im Schienenverkehr wird bis 2050 eine Steigerung um 25% gegenüber 2010 angenommen (Keller 2010a). Im Bereich der PKWs und Lieferwagen wird unterstellt, dass der Fahrzeugpark bis 2050 zu 10% aus Elektrofahrzeugen besteht (Hybridfahrzeuge nicht mit eingerechnet). Diese Annahme stützt sich auf eine durch das BFE in Auftrag gegebene Studie (Rigassi et al. 2010), welche bis 2035 eine Marktdurchdringung von 6.6% prognostiziert.

7.3. Szenario 2000-Watt-Gesellschaft

Im 2000-Watt-Szenario werden alle wirtschaftlich, gesellschaftlich und ökologisch tragbaren technischen Optionen zur Steigerung der Energieeffizienz und der Einführung erneuerbarer Energien ausgeschöpft. Ziel ist ein maximaler Selbstversorgungsgrad mit neuen erneuerbaren Energien, die möglichst rasche Senkung des Energieverbrauchs auf 2000 Watt pro Person und die Reduktion der CO₂-Emissionen auf eine Tonne pro Person (Abschnitt 4.1).

Der Zeitpunkt der Erreichung dieser Ziele wird durch die ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen bestimmt. Obwohl die rein technischen Potenziale der neuen erneuerbaren Energien im Stadtraum den Bedarf theoretisch zu einem grossen Teil decken könnten, wird der Einsatz beschränkt, um negative Auswirkungen auf Stadtbild (Photovoltaik, thermische Solaranlagen), Umwelt (Biomassenutzung, Erdsondenbohrungen) und Bevölkerung zu vermeiden (siehe hierzu Abschnitt 6.6). Für die Nutzung von Wind, Wasser, tiefer Geothermie, Klärgas, Kehricht und Biomasse werden die Potenziale der bestehenden und geplanten Anlagen maximal ausgeschöpft.

Im Bereich der Energieeffizienz von Anlagen und Geräten in Haushalten, Gewerbe-Handel-

Dienstleistung und Industrie stützen sich die Szenarien auf eine Studie des WWF (Kirchner & Matthes 2009). Im Bereich der energetischen Gebäudesanierungen wird von einer Anhebung der Sanierungsrate von ein auf zwei Prozent ausgegangen. Es gelten die Energiestandards der SIA-Zielwerte für 2000-Watt kompatibles Bauen (SIA 2010).

Im Verkehrsbereich werden dieselben Effizienzmassnahmen (Treibstoffverbrauch, Verbesserungen im Schienenverkehr) wie im Referenzszenario angenommen. Diese Entwicklungen hängen von internationalen Treibern ab. Der Modal Split wird gegenüber dem Referenzszenario weiter zugunsten des ÖV und Langsamverkehrs verschoben. Es wird unterstellt, dass die Fahrzeugkilometer von PKWs auf Hauptverkehrsstrassen und untergeordnetem Netz (d.h. Verkehrsnetz ohne Autobahnen) bis 2050 gegenüber 2010 um 25% abnehmen (Kettner 2010). Der daraus entstehende Rückgang an Personenkilometern wird zu 80% auf den ÖV und zu 20% auf den Langsamverkehr übertragen.

Der Marktanteil von rein elektrisch betriebenen PKWs und Lieferwagen steigt bis 2050 auf 77%. Dies entspricht dem Szenario „Extrem ambitioniert“ von Infras (Keller 2010a) das bis 2035 von einer Marktdurchdringung im Bereich der PKWs von etwa 43% ausgeht. Diese Entwicklungsprognose bis 2050 wird von der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) als möglich eingeschätzt (Baumgartner 2010).

7.4. Stellschrauben

Die Szenarien werden anhand der in Abbildung 7.1-1 dargestellten Systemelemente (Stellschrauben) gebildet. Die Parameter sind in Tabelle 7.4-1 aufgeführt.

Tab. 7.4-1. Stellschrauben der Szenarienentwicklung

Stellschraube	Referenzszenario	Szenario 2000-W-Gesellschaft
Energieverbrauch		
Gebäudesanierungsrate	1%	2%
Energiestandards Sanierung	Gemäss SIA-Normen 380/1 verschärft	Nach SIA-Zielwerten „2000-Watt-kompatibel“ für Sanierungen ¹
Energiestandards Neubau	Nach SIA-Normen 380/1 verschärft	Nach SIA-Zielwerten „2000-Watt-kompatibel“ für Neubauten ¹
Warmwasser / Prozesswärme	Haushalte: nach BFE-Szenario II ² . GHD und Industrie nach Referenzszenario WWF-Studie ³	Entwicklung gemäss Innovationsszenario WWF-Studie ³
Strom	Haushalte: nach BFE-Szenario II ⁴ . GHD und Industrie nach Referenzszenario WWF-Studie ³ , ausser bei Strom in Industrie: BFE Szenario II ⁵	Entwicklung gemäss Innovationsszenario WWF-Studie ³
Treib- und Kraftstoffe	GHD nach Referenzszenario WWF-Studie ³ , Industrie nach BFE-Szenario II ² , Verkehr: siehe Stellschrauben Verkehr.	GHD und Industrie nach Innovationsszenario WWF-Studie ³ Verkehr: siehe Stellschrauben Verkehr
Einführungsrate		
Einführungsrate Photovoltaik / Solarthermische Anlagen	Trend BS und Trend BFE-Szenario II ⁶	Beschleunigt mit maximalem Ausbau 2050 (S-förmige Markteinführung)
Wärmepumpengestützte Anlagen	Trend BS und Trend BFE-Szenario II ⁶	Beschleunigt mit maximalem Ausbau 2050 (S-förmige Markteinführung)
Biomasse (Biogas)	Lineare Zunahme bis 2030 (maximal verfügbare Biomasse im Kanton BS ⁷)	Lineare Zunahme bis 2030 (maximal verfügbare Biomasse im Kanton BS ⁷)
Biomasse (Holz)	Bleibt konstant ⁸ (Stand 2010)	Bleibt konstant ⁸ (Stand 2010)
Biomasse (Bioethanol, Biodiesel)	Keine erneuerbare Produktion von Bioethanol und Biodiesel	Keine erneuerbare Produktion von Bioethanol und Biodiesel
Wind	Keine Windkraft im Modellraum	Keine Windkraft im Modellraum
Wasser	Kein weiterer Ausbau gegenüber 2010 (Kraftwerk Birsfelden)	Kein weiterer Ausbau gegenüber 2010 (Kraftwerk Birsfelden)
Geothermie	Knappe Verdopplung der Wärmebereitstellung bis 2030. Danach konstant. Keine Stromproduktion ⁹	Deutliche Steigerung der Wärmebereitstellung bis 2030 (verachtfachung). Stromproduktion in einer neuen Anlage ab 2030 ¹⁰
KVA	Wärmebereitstellung und Stromproduktion gegenüber 2010 konstant	Wärmebereitstellung und Stromproduktion gegenüber 2010 konstant
Wärmeüberschuss ARA	Wärmebereitstellung gegenüber 2010 konstant	Wärmebereitstellung gegenüber 2010 konstant

Restriktionen

Photovoltaik / Solarthermische Anlagen	Im denkmalgeschützten Bestand	Freigegeben
Erdwärmesonden	In den vorgegebenen Restriktionszonen nicht erlaubt	In den vorgegebenen Restriktionszonen nicht erlaubt

Infrastrukturmassnahmen

Erweiterung des Fernwärmenetz	Geplanter Ausbau Fernwärmenetz in Riehen ¹¹	Deutlicher Ausbau mit der Zunahme der Geothermie ¹²
Nutzung der Flächenressourcen der Energiepartei "Mobilität"	Keine Nutzung	0-1% Nutzung für PV ¹³
Wärme-Rückgewinnung aus Abwasser	Berücksichtigt	Berücksichtigt

Verkehr

Einführungsrates e-MIV	Linear 10% der Fahrzeugkilometer bis 2050 ¹⁴	77% der Fahrzeugkilometer bis 2050 ¹⁵
Modal Split	Gemäss Gesamtverkehrsmodell ¹⁶	25% Abnahme der PKW Fahrzeugkilometer (ausser auf Autobahnen) gegenüber 2010. Umlagerung der entspr. Personen-km ¹⁷ auf ÖV (80%) und LV (20%) ¹⁸
Effizienzsteigerungen Verbrennungsmotoren	Gemäss HBEFA ^{19, 20}	Gemäss HBEFA ^{19, 20}
Effizienzsteigerungen Bahn und Tram	25% bis 2050 ²¹	25% bis 2050 ²¹

¹SIA (2010); ²Hofer (2010); ³Kirchner & Matthes (2009); ⁴Kirchner (2007); ⁵Baumgartner et al. (2006); ⁶Kirchner (2007); ⁷Keller (2010); ⁸Lüthy (2010); ⁹Wälchli (2010); ¹⁰Geopower Basel AG (2006); ¹¹Wälchli (2010); ¹²eigene Annahmen; ¹³eigene Potenzialsabschätzung; ¹⁴Rigassi et al. (2010); ¹⁵Keller (2010a); ¹⁶Abay (2007); ¹⁷1 Fahrzeugkilometer = 1.3 Personenkilometer; ¹⁸Kettner (2010); ¹⁹Infras (2010); ²⁰der Verbrauch von elektrisch betriebenen PKWs beträgt 20 kWh/100km, der von Lieferwagen 26 kWh/100km (Baumgartner 2010), ²¹persönliche Auskunft (Keller 2010b).

8. Energieverbrauch und Bedarfsprognose

8.1. Aktueller Energieverbrauch

Endenergieverbrauch und Primärenergieverbrauch

Daten zum Energieverbrauch werden im Modellgebiet regelmässig erhoben. In Tabelle 8.1-1 sind die aktuellen Angaben zum Endenergieverbrauch und Primärenergieverbrauch zusammengestellt, projiziert auf das Referenzjahr 2010. Dargestellt sind der nicht erneuerbare Anteil, der erneuerbare sowie der erneuerbare Anteil *intra muros*. Insgesamt ist von einem Endenergiebedarf von 5905 GWh auszugehen.

Tab. 8.1-1. Endenergieverbrauch und Primärenergieverbrauch (GWh/a) im Referenzjahr 2010¹.

	nicht erneuerbar (unterer Heizwert)	erneuerbar	erneuerbar <i>intra muros</i>	Heiz- / Brennwert	Endenergieverbrauch (Brennwert) [GWh/a]	Primärenergiefaktor [-]	Primärenergieverbrauch [GWh/a]
Fossile Energieträger							
Heizöl ¹	491	0	0	0.94	522	1.24	647
Erdgas ²	1492	0	0	0.90	1657	1.15	1906
Benzin ³	352	0	0	0.93	379	1.29	489
Diesel ³	360	0	0	0.94	383	1.23	470
Kerosin ⁴	350	0	0	0.94	372	1.19	443
Biomasse⁵							
Stückholz	0	0	0	0.92	0	1.06	0
Holzschnitzel	0	3	3	0.90	3	1.14	4
Pellets	0	1	1	0.91	1	1.22	1
Biogas	0	2	2	0.90	2	0.48	1
Sonne und Umwelt dezentral							
Sonnenergie PV ⁶	0	3	3	1.00	3	1.46	4
Sonnenenergie SK ⁶	0	5	5	1.00	5	1.44	7
Umweltwärme: Luft	0	0	0	1.00	0	1.71	0
Umweltwärme: Wasser/Sole	0	7	7	1.00	7	1.52	11
Umweltwärme: Abwasser	0	1	1	1.00	1	1.01	1
Industrieabfälle ⁷	114	0	0	1.00	114	0.06	7
Fernwärme⁸							
Kehrichtverbrennung	206	206	68	1.00	411	0.06	25
Heizzentrale Öl (leicht)	5	0	0	1.00	5	1.69	8
Heizzentrale Gas	407	0	0	1.00	407	1.56	635
Heizkraftwerk Holz	0	12	12	1.00	12	1.41	18

Heizzentrale Geothermie	0	10	10	1.00	10	1.52	16
Heizkraftwerk Geothermie	0	0	0	1.00	0	0.59	0
Blockheizkraftwerk Gas	0	0	0	1.00	0	0.65	0
ARA Klärschlamm (wie Holz)	0	19	19	1.00	19	1.66	32
Elektrizität⁹							
Wasserkraft	0	1542	256	1.00	1542	1.22	1881
Kehrichtverbrennung	14	14	5	1.00	28	0.02	1
Heizkraftwerk Holz	0	18	1	1.00	18	3.80	68
Summe	3791	1844	394		5905		6775¹⁰

¹Datenbank der installierten Heizsysteme (AUE, 2010); ²adressbezogene Verbrauchsdaten Erdgas (IWB, 2008); ³Berechnungen basierend auf dem Gesamtverkehrsmodell Region Basel, HBEFA und Emissionskataster BS/BL; ⁴Berechnung auf Grundlage der Statistik der schweizerischen Zivilluftfahrt (2009); ⁵Dezentrale Heizsysteme (keine Angaben zu Stückholz aufgrund lückenhafter Leistungsangaben (die restliche Biomasseenergie wird unter Fernwärme und Elektrizität aufgeführt); ⁶Statistik Solarenergie (AUE, 2010); ⁷Angaben Grossverbraucher, Primärenergiefaktor wie bei KVA angenommen; ⁸Deklaration effektiver Energiemix Fernwärme (IWB, 2008); ⁹Stromkennzeichnung (IWB, 2008); ¹⁰Abweichungen infolge von Rundungsfehlern.

In den Abbildungen 8.1-1 und 8.1-2 sind der Endenergie- und Primärenergieverbrauch in seiner relativen Verteilung dargestellt. Danach besteht 2010 noch eine starke Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, obwohl ein erheblicher Anteil des Energieverbrauchs bereits regenerativ gedeckt wird. Dabei ist zwischen der regenerativen Endenergieerzeugung *intra muros* und *extra muros* zu unterscheiden. Der *extra muros* Anteil überwiegt deutlich (Abb. 8.1-3) und besteht im Wesentlichen aus Wasserkraftstrom und, zu einem geringeren Anteil, aus in den Modellraum importiertem Kehricht und Holz zur Wärmebereitstellung und Stromerzeugung.

Der in Tabelle 8.1-1 dargestellte Energieverbrauch verteilt sich auf die Energieparteien des Modellraums und den von ihnen abgerufenen Energieformen. Abbildung 8.1-4 zeigt den Endenergiebedarf der drei Energieparteien "Wohnen", "Arbeiten" und "Mobilität". Danach wird mehr als die Hälfte der Endenergie im Sektor "Arbeiten" verbraucht und etwa ein Fünftel für "Wohnen" und ein Fünftel für "Mobilität". Abbildung 8.1-5 zeigt die Endenergienutzung, aufgeteilt auf Wärme, Strom und Treibstoffe. Danach wird fast 60% der Energie als Wärme verbraucht und jeweils etwa ein Fünftel für Strom und für Treibstoffe. Diese Angaben beruhen zum Teil auf statistischen Erhebungen, zum Teil auf Messungen und zum Teil auf Schätzungen.

In Tabelle 8.1-2 wird dieser Zusammenhang deutlich. Ausgehend von Messwerten bzw. statistischen Erhebungen wird der absolute Energieverbrauch bestimmter Energieparteien in die Endenergiematrix eingetragen. Die verbleibenden offenen Felder ergeben sich aus der Differenz der bereits eingetragenen Verbrauchswerte und dem Gesamtverbrauch nach Tabelle 8.1-1. So ergibt sich der Energieverbrauch für "Arbeiten" aus dem Gesamtenergieverbrauch abzüglich des Energieverbrauchs von "Wohnen" und "Verkehr". Dabei ist in einigen Fällen die Aufteilung zwischen den Optionen der Energieträger und -formen nicht bekannt und muss angenommen werden. Dies betrifft insbesondere die Heizstruktur der Energiepartei "Wohnen" und die Energiestruktur der Energiepartei "Arbeiten". Tabelle 8.1-3 zeigt die relativen Anteilsfaktoren des Endenergieverbrauchs.

Die Endenergiematrix kann mit Zusatzinformationen und neuen Erhebungen aktualisiert werden. In

dem für den Modellraum entwickelten GIS-gestützten Expertensystem wird der Energieverbrauch mit der Endenergiematrix automatisch angepasst, so dass der Energieverbrauch im Referenzjahr immer den neuesten Erkenntnissen entspricht.

Tab. 8.1-2. Absolute Endenergiematrix des Modellraums 2010.

	Wärme [GWhEnd/a]			Strom [GWhEnd/a]			Treibstoffe [GWhEnd/a]			Summe
	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	
Strom	68	159	0	280	1013	69	0	0	0	1588
Erdgas	576	1070	0	0	0	0	0	0	11 ³	1657
Erdölbrennstoffe	52	470	0	0	0	0	0	0	0	522
Benzin	0	0	0	0	0	0	0	5 ²	374 ³	379
Diesel	0	0	0	0	0	0	0	59 ²	324 ³	383
Kerosin	0	0	0	0	0	0	0	0	372 ⁴	372
Fernwärme	303	563	0	0	0	0	0	0	0	865
Dezentrale Erneuerbare	19	0	0	5	0	0	0	0	0	23
Industrieabfälle	0	114	0	0	0	0	0	0	0	114
Summe	1018 ¹	2376	0	284	1013	69	0	64	1081	5905
Summen		3390			1365			1145		

¹Ergibt sich aus dem Wärmebezug pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und der GIS-Analyse des Modellraums wie im Text erläutert; ²nach der Off-Road Analyse des Lufthygieneamtes beider Basel (LHA 2008); ³nach den im Text beschriebenen Verbrauchsdaten für Verkehr; ⁴auf der Grundlage nationaler Mittelwerte wie im Text erläutert.

Tab. 8.1-3. Relative Endenergiematrix des Modellraums 2010.

	Wärme [-]			Strom [-]			Treibstoffe [-]			Summe
	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	
Strom	0.04	0.10	0.00	0.18	0.64	0.04	0.00	0.00	0.00	1.00
Erdgas	0.35	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00
Erdölbrennstoffe	0.10	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Benzin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.99	1.00
Diesel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.85	1.00
Kerosin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
Fernwärme	0.35	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Dezentrale Erneuerbare	0.80	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Industrieabfälle	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

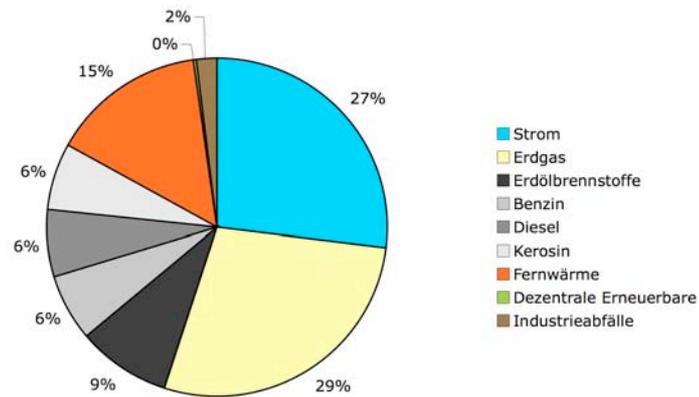


Abb. 8.1-1. Relativer Endenergieverbrauch nach Energieträgern 2010 (5905 GWh).

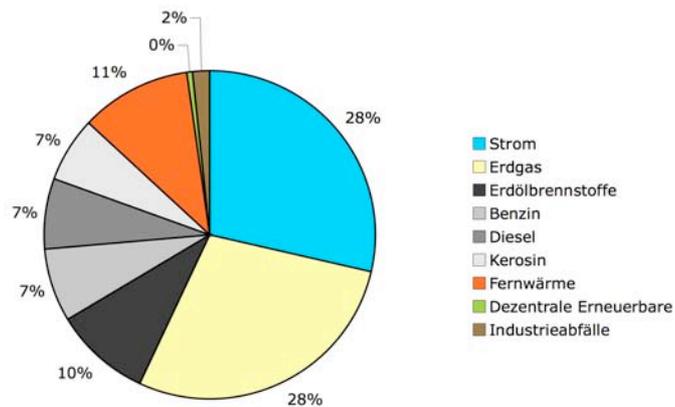


Abb. 8.1-2. Relativer Primärenergieverbrauch nach Energieträgern 2010 (6775 GWh).

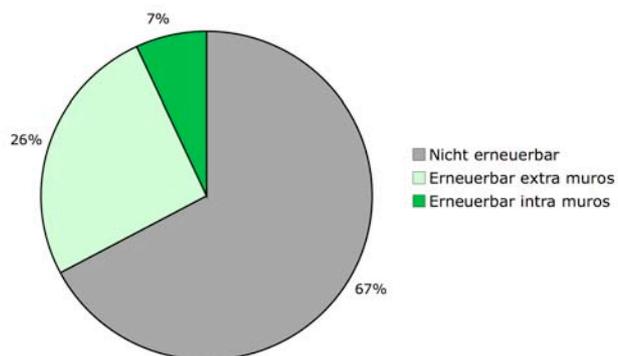


Abb. 8.1-3. Regenerativer Anteil (*intra muros* und *extra muros*) am Gesamtenergieverbrauch 2010 (unterer Heizwert).

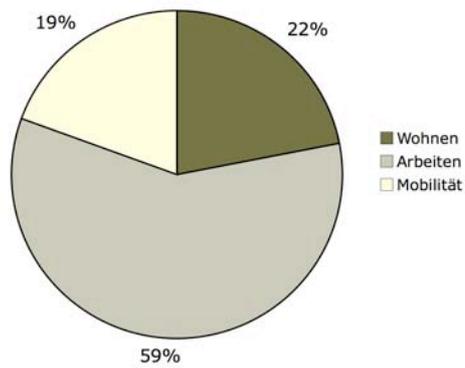


Abb. 8.1-4. Endenergieverbrauch der Energieparteien "Wohnen", "Arbeiten" und "Mobilität" 2010.

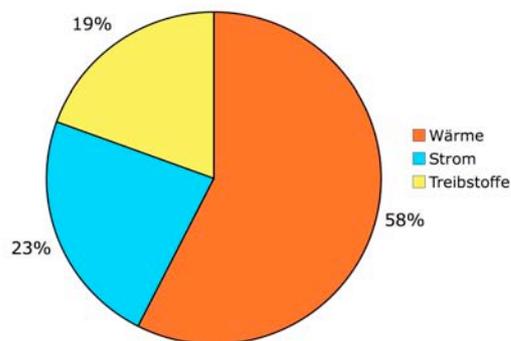


Abb. 8.1-5. Endenergieverbrauch, aufgeteilt auf Wärme, Strom und Treibstoffe 2010.

Wohnen

In dieser Studie wird der Endenergiebedarf stadtraumspezifisch dargestellt. Bei diesem flächenbezogenen Ansatz werden die verwirklichten städtebaulichen Leitbilder und somit auch die historische Entwicklung der Stadträume berücksichtigt. Der jährliche Energiebedarf eines Hektars Stadtraum ergibt sich aus der Energiebezugsfläche und dem Energieverbrauch pro Quadratmeter. Es ist somit notwendig, das stadraumtypische Mass der baulichen Nutzung und die sich daraus ergebende Energiebezugsfläche zu ermitteln. Weiterhin sind Angaben zum stadraumtypischen Energiebezug pro Fläche erforderlich. Der auf dieser Grundlage ermittelte Energiebedarf wird mit Energieverbrauchsmessungen und statistischen Angaben des Kantons abgeglichen. In Tabelle 8.1-4 ist der nach dieser Methodik ermittelte mittlere Energiebedarf für den Sektor "Wohnen" dargestellt.

Tab. 8.1-4 Aktueller Endenergieverbrauch im Sektor "Wohnen" nach Stadtraumtypen, bezogen auf die Energiebezugsfläche (Wohnfläche).

Nutzung	SRT ¹	Heizwärme	Warmwasser	Strom	Treib- und Kraftstoffe	
						kWh/m ² .a
Mischnutzung	Vorindustrielle Altstadt	I	95	20	31	0
-	Baublöcke Gründerzeit	IIa	86	20	31	0
-	Villen der Gründerzeit	IIb	106	20	31	0
Wohnen	Wohlfahrtssiedlung Vorkriegszeit	V	106	20	31	0
-	Sozialer Wohnungsbau	VI	111	20	31	0
-	Hochhäuser	VII	104	20	31	0
-	Geschosswohnungsbau 1960-80er	VIIIa	97	20	31	0
-	Geschosswohnungsbau seit 1990er	VIIIb	54	20	31	0
-	Einfamilienhäuser	IX	69	13	31	0
-	Neubauten ³	N	63	20	31	0

¹Stadtraumtyp.

Zur Ermittlung des aktuellen stadtraumtypischen Heizwärmebedarfs pro Energiebezugsfläche liegen die folgenden Informationen vor:

- statistische Verbrauchswerte für die Schweiz
- der Heizwärmebedarf von Wohnbauten in Bezug zum Baujahr (AUE 2003)
- Energieverbrauchsmessungen (Fernwärme, Gas) im Kanton BS.

Für private Haushalte errechnet sich nach Angaben des BFE ein mittlerer Wärmebedarf von 113 kWh/m² (408 MJ/m²) (Hofer 2007). Nach dem Amt für Energie- und Umwelt (AUE 2003) liegt der Heizenergiebedarf von Wohnbauten in Basel zwischen 111 kWh/m² (400 MJ/m²) beim unsanierten Altbau und 56 kWh/m² (200 MJ/m²) beim Neubau, wobei eine Untergliederung in Baualtersklassen vorgenommen wurde (Abb. 8.1-6). In dieser Studie wurde ein mittlerer Heizwärmebedarf von 91 kWh/m².a (326 MJ/m².a) angewendet, wobei der Mittelwert über die Anteile der Energiebezugsflächen in den Stadträumen gewichtet wurde (gewichtetes Mittel). Die Bedarfswerte für die einzelnen Stadtraumtypen wurden durch Überlagerung von Wärmeverbrauchsmessungen (Fernwärme) mit den Stadträumen im GIS sowie der Berücksichtigung baujahrbezogener Verbrauchsdaten als Zusatzinformation (AUE 2003) ermittelt.

Der aktuelle Warmwasserbedarf für Haushalte beträgt gemäss Standardnutzung für Mehrfamilienhäuser 21 kWh/m².a (75 MJ/m².a) und für Einfamilienhäuser 14 kWh/m².a (50 MJ/m².a). Daraus ergibt sich ein Verhältnis von Warmwasserbedarf zu Heizwärmebedarf von 20% zu 80%.

Der aktuelle Strombedarf (ohne Heizung und Warmwasser) wird über den nationalen, auf die Energiebezugsfläche bezogenen Mittelwert für Wohnbauten abgeschätzt (Hofer 2010) und beträgt 31

kWh/m².a (112 MJ/m²).

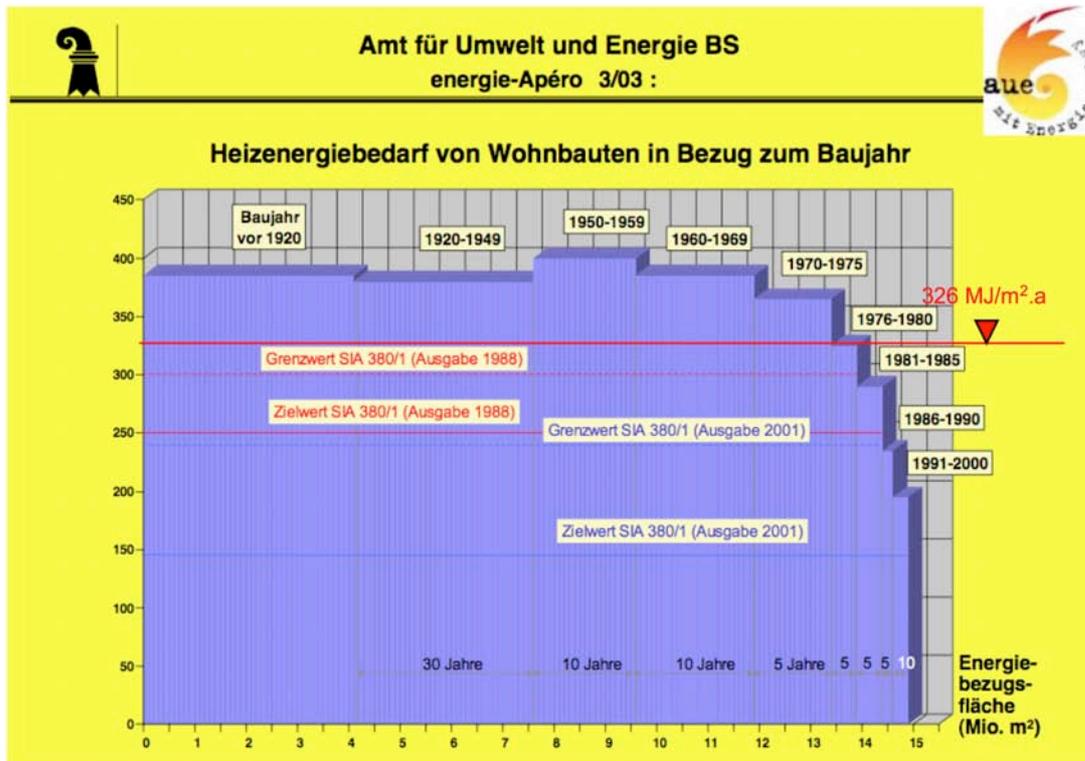


Abb. 8.1-6 Heizenergiebedarf von Wohnbauten in Bezug zum Baujahr (AUE 2003). Eingezeichnet ist ebenfalls der für 2010 nach dieser Studie ermittelte mittlere Heizwärmebedarf für Wohnbauten.

Arbeiten

Für GHD und Industrie liegen widersprüchliche Werte vor. Die in der Energiestatistik des Kantons BS als Industrie angesprochenen Nutzergruppen decken sich nicht mit den Zonierungsplänen (Zone 7 "Industrie- und Gewerbezone" nach dem Bau- und Planungsgesetz). Die Aufteilung wurde daher nach der absoluten Endenergiematrix vorgenommen. Dabei wurden die Grossverbraucher als eigene Gruppe ausgewiesen und in die Energiepartei "Arbeiten" integriert (Tab. 8.1-5, s.a. Anhang 1).

Nach der Arealentwicklung des Bau- und Verkehrsdepartements BS (BVD 2010) werden im Bereich GHD bis 2035 etwa 67 ha Bruttogeschossflächen neu gebaut – meist auf alten Industrie- und Gewerbearealen. Der aktuelle Bestand an Bruttogeschossflächen im Bereich GHD und Industrie beträgt etwa 857 ha (BVD 2005). Bis 2035 werden somit etwa 8% neue BGF gebaut, was einer jährlichen Zubaurate von 0.3% entspricht. Bei der Festlegung des Energiebezugs im Bereich GHD und Industrie wird dieser Anteil vernachlässigt.

Tab. 8.1-5 Aktueller Endenergiebedarf für den Sektor "Arbeiten" nach Stadtraumtypen, bezogen auf die Energiebezugsfläche (Nutzfläche).

Nutzung	SRT ¹		Heizwärme	Prozesswärme	Strom	Treib- und Kraftstoffe
			kWh/m ² .a			
Arbeiten	Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Zweckbauten ²	Xa, Xc, Xd	101	101	73	6
Industrie	Industrie ^{2,3}	Xb	219	1458	942	37

¹Stadtraumtyp; ²Verteilung von Heizwärme und Prozesswärme nach Kirchner & Matthes (2009: 77,90); ³nur die Grossverbraucher Klybeck (Novartis Pharma AG, EAB, Ciba AG, Huntsman Advanced Materials, Valorec Services AG), Rosental (Novartis Forschungsstiftung FMI, Syngenta Crop Protection AG, Midus and Premier Properties LP, Industrielle Werke Basel IWB) und St. Johann (Novartis Pharma AG, Novartis International AG) (Verbrauchswerte von 2008).

Mobilität

Der Endenergieverbrauch des Verkehrs ist in Tabelle 8.1-6 aufgeführt. Der Verbrauch des Strassenverkehrs liegt 2010 bei 695 GWh, davon entfallen gut 53% auf den Energieträger Benzin, 45% auf Diesel und knapp 2% auf Gas. Eigene Berechnungen des Lufthygieneamts beider Basel ergeben für 2010 einen Verbrauch von rund 689 GWh (Todaro 2010). Mit rund 470 GWh weisen PKWs den grössten Verbrauch auf.

Der Elektrizitätsverbrauch der Bahn beträgt für den Personenverkehr knapp 26 GWh und für den Güterverkehr knapp 11 GWh. Der Elektrizitätsverbrauch des Tramverkehrs beträgt gut 32 GWh. Am gesamten Endenergieverbrauch des Verkehrs (ohne Flugverkehr und Schiffsverkehr) beträgt der Anteil des öffentlichen Verkehrs 11.5%.

Insgesamt beträgt der Endenergieverbrauch des Verkehrs rund 1149 GWh. Ohne Flugverkehr liegt der Verbrauch 2010 bei 777 GWh.

Tab. 8.1-6 Endenergieverbrauch der Mobilität nach Energieträger und Fahrzeugkategorie.

	Mio Fahrzeug- Kilometer	Mio Personen- Kilometer	Benzin (t) ¹	Diesel (t) ²	Gas (t) ³	Kerosin (t) ⁴	GWh
Hochleistungsstrassen (HLS)							
PKW	181,0	235,3	7815,8	2662,7	13,0	---	124,1
Lieferwagen	21,0		288,5	1530,6	---	---	21,6
LKW und Reisebusse	25,0		0,0	4385,4	---	---	52,2
Hauptverkehrsstrassen und untergeordnetes Netz							
PKW	305,3	396,9	21838,7	7413,1	28,0	---	346,3
Lieferwagen	84,3		1691,2	5507,1	---	---	85,5
LKW und Reisebusse	22,6		0,0	3920,1	---	---	46,6
Linienbusse	4,9	81,0	---	776,0	776,0	---	19,2
Schiene							
Bahn (Personenverkehr)	1,0	105,2	---	---	---	---	25,8
Bahn (Güterverkehr)	0,4		---	251 ⁵	---	---	13,6
Tram	5,5	214,5	---	---	---	---	32,3
Luft/Wasser							
Schiffsverkehr			57,0 ⁵	746,0 ⁵	---	---	9,6
Flugverkehr			---	---	---	33516,1 ⁶	372,0
Total			31691,2	27192,0	817,0	33516,1	
GWh			374,0	323,6	10,5	372,0	1148,8

¹Umrechnungsfaktor Benzin (Tonnen in MWh) = 11,8; ²Umrechnungsfaktor Diesel = 11,9; ³Umrechnungsfaktor Gas = 12,9; ⁴Umrechnungsfaktor Kerosin = 11,1; ⁵(Schäffeler et al. 2008); ⁶(BAZL 2010).

Graue Energie

Abgeleitet aus den gesamtschweizerischen Daten resultiert für die graue Energie des Importsaldos von Gütern ein Wert von 6'560 GWh, d.h. ca. 3'900 Watt pro Person. Der kumulierte Energieaufwand macht damit 49% des gesamten Primärenergiebedarfs von 13'309 GWh pro Jahr aus. In Abb. 8.1-7 ist der weisse und graue Energiebedarf des Kantons Basel-Stadt vergleichsweise mit den gesamtschweizerischen Werten von 2005 dargestellt.

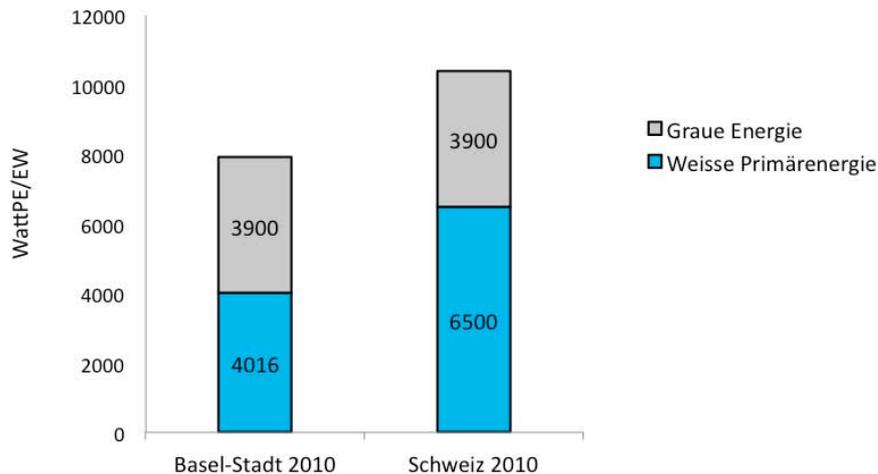


Abb. 8.1-7. Primärenergieverbrauch und graue Energie in Watt pro Person für den Kanton BS und die Schweiz im Vergleich (weisser Primärenergieverbrauch Schweiz: Stulz 2010).

Zu beachten ist, dass bei den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft nur die in einer Region eingesetzte Primärenergie („weisse Energie“) betrachtet wird. Der hohe Anteil am Gesamtverbrauch verdeutlicht aber die Relevanz, die der grauen Energie für die Erreichung einer nachhaltigeren Entwicklung zukommt.

8.2. Zukünftiger Energiebedarf

Wie in den vorhergehenden Kapiteln wird der zukünftige Energiebedarf nach Energieparteien untersucht. Bei der Energiebedarfsprognose sind die Bedarfsschwankungen zu berücksichtigen, insbesondere im Wärmebereich. Unter Berücksichtigung dieser Schwankungen werden für die Energieparteien die Prognosen erstellt.

Bedarfsschwankungen

Die Energiebedarfe aller Energieparteien unterliegen Schwankungen. Diese Bedarfsschwankungen treten saisonal, wöchentlich und täglich auf und betreffen die

- Strom-,
- Heizwärme- und
- Warmwasserversorgung.

Die Bedarfsschwankungen beim Strom können für alle Energieparteien über das Netz kompensiert werden. Dabei werden technische Innovationen für beide Szenarien in Betracht gezogen, wie zum Beispiel das *Smart Metering* als Option der angebotsgerechten Stromnutzung und die Elektromobilität als Option der Stromspeicherung.

Schwieriger gestaltet sich die Modellierung der Wärmebedarfsschwankungen. Für die Modellierung des saisonalen Heizwärmebedarfs werden die Heiztage von MeteoSchweiz und die für Basel

geltenden Heizgradtage zugrunde gelegt (Tabelle 8.2-1). Die Heizgradtage *Hgt* (in Deutschland Gradtagzahlen nach VDI-Richtlinie 2067) sind ein Mass für die saisonal aufzubringende Heizenergie. Die monatlichen Werte (in Kelvin-Tagen) ergeben sich aus

$$Hgt_{20/12} = \sum_1^z (T_i - T_a)$$

wobei von einer gewünschten Raumlufftemperatur (Innentemperatur) T_i von 20°C ausgegangen wird, die mit der mittleren Aussentemperatur T_a eines Heztages verglichen wird. z entspricht der Anzahl der meteorologischen Heztage, bei denen die Aussentemperatur unter der Heizgrenztemperatur liegt, die mit 12°C angenommen wird. Auf dieser Grundlage lässt sich der normierte Heizwärmebedarf (in kWh) für jeden Heizmonat abschätzen (Abb. 8.2-1).

Mit dem Klimawandel verändern sich die mittleren Aussentemperaturen. Es verringert sich die aufzubringende Heizenergie und damit die Jahressumme der Heizgradtage. Im Folgenden wird vereinfachend angenommen, dass die Abnahme der jährlichen Heizgradtage proportional dem Temperaturanstieg Δ_t ist. Daraus lässt sich ein Klimafaktor ableiten,

$$f_K = \frac{T_i - T_a - \Delta_{t, \text{Zieljahr}}}{T_i - T_a}$$

mit dem der Heizenergiebedarf im Zieljahr verringert werden kann.

Für die Modellierung der Schwankungen des Warmwasserbedarfs werden die Angaben aus der VDI-Richtlinie 6002 zugrunde gelegt (normierter täglicher Warmwasserbedarf je Vollbelegungsperson im Mittel des Monats). Dabei werden auch Ferienperioden mitberücksichtigt (Abb.8.2-1, Tabelle 8.2-1).

Tabelle 8.2-1. Mittlere Tagesmitteltemperatur, Heiztage und Gradtagszahlen der Station Basel sowie für 2050 angepasste Gradtagszahlen (Beispiel). Normierter Warmwasser- und Heizwärmebedarf.

Monat	Mittlere Tagesmitteltemperatur ¹ °C	Heiztage ² d	Hgt ³ Kd ⁵	Hgt ⁴ Kd ⁵	Normierter Warmwasserbedarf (dimensionsfrei)	Normierter Heizwärmebedarf (dimensionsfrei)
Januar	0,90	31	555	448	0,19	0,09
Februar	2,40	28	477	385	0,16	0,09
März	5,60	31	382	308	0,13	0,09
April	9,10	25	250	202	0,08	0,09
Mai	13,10	2	74	60	0,02	0,09
Juni	16,30	1	16	13	0,01	0,08
Juli	18,50	0	2	2	0,00	0,06
August	17,70	0	4	3	0,00	0,07
September	14,80	15	50	40	0,02	0,08
Oktober	10,10	17	231	187	0,08	0,08
November	4,90	29	432	349	0,14	0,09
Dezember	1,80	31	527	426	0,18	0,09

¹Aussentemperatur nach MeteoSchweiz (Standardnormwerte 1961-1990); ²Heiztage mit 20°C Raumlufttemperatur und 12°C Aussentemperatur nach MeteoSchweiz (April 2008 bis März 2009); ³Heizgradtage nach MeteoSchweiz für eine Raumlufttemperatur von 20°C und einer Heizgrenze (Aussentemperatur) von 12°C ; ⁴an den Klimawandel angepasste Heizgradtage (Beispiel für 2050); ⁵Kelvin-Tag.

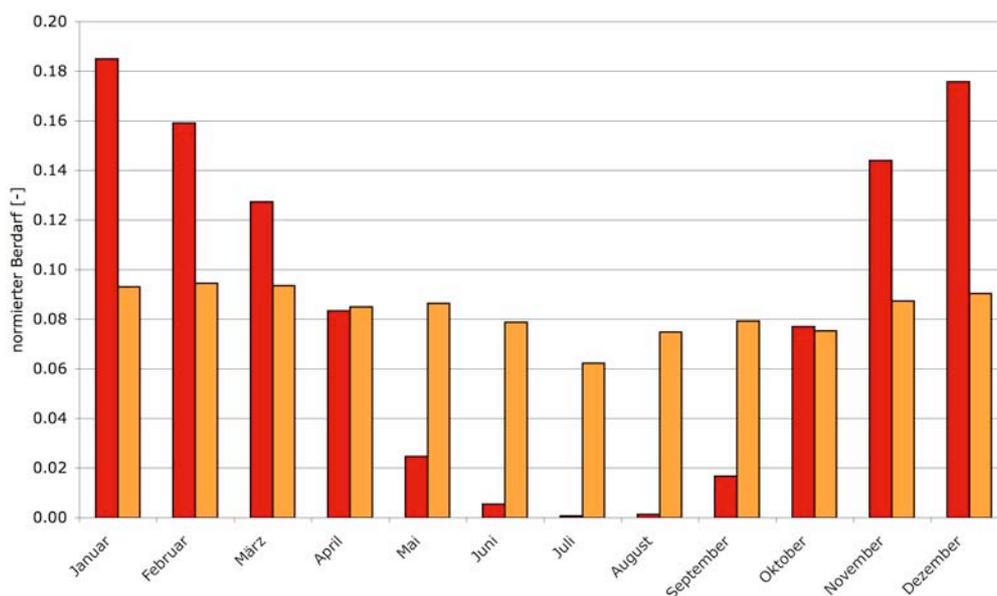


Abb. 8.2-1: Aktueller normierter Warmwasser- und Heizwärmebedarf. Der Heizwärmebedarf ist rot, der Warmwasserbedarf orange dargestellt.

Wohnen

Private Haushalte verbrauchen etwa zwei Drittel des Endenergiebedarfs für *Raumwärme*. Daher

haben hier Einsparungen im Heizwärmeverbrauch Priorität. Als Parameter des Sanierungsprozesses gelten

- die Sanierungsrate und
- die Sanierungstiefe.

Die *Sanierungstiefe* bezeichnet den Umfang der Sanierung mit Blick auf den erreichten Heizwärmebedarf, also die Effizienz der Sanierung. Bereits seit 1988 definiert die SIA Grenz- und Zielwerte, die zwischenzeitig mehrfach revidiert wurden. Abbildung 8.2-2 zeigt die Absenkpfade der Sanierungsstandards im Sektor Wohnen im Referenzszenario. Im 2000-Watt-Szenario gibt es keinen Absenkpfad, sondern einen ambitionierten Zielwert, sowohl für Sanierung als auch für Neubauten. In Tabelle 8.2-2 und 8.2-3 sind die in dieser Studie angenommenen Sanierungs- und Neubaustandards für den Sektor Wohnen aufgelistet.

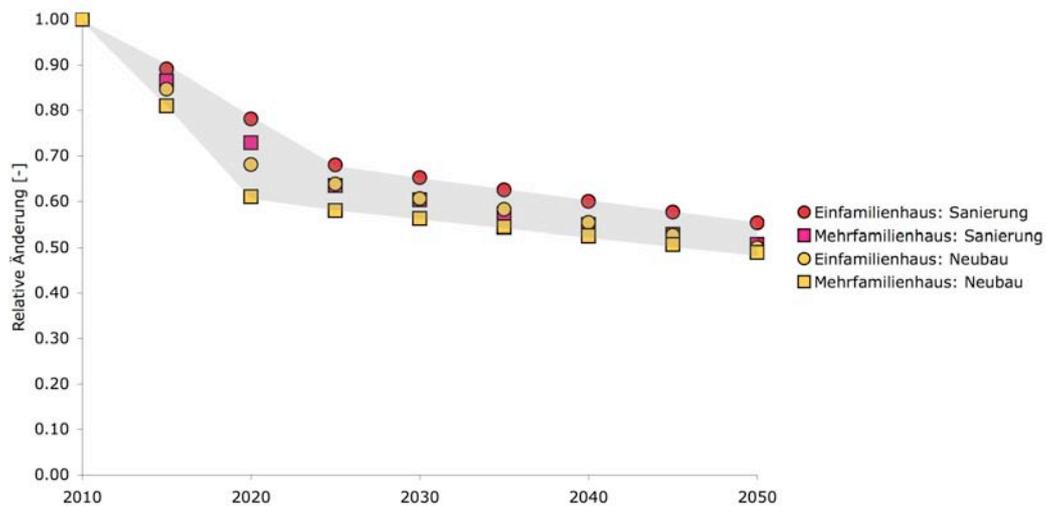


Abb. 8.2-2. Absenkpfade der Heizwärmestandards für Sanierung und Neubauten im Sektor Wohnen nach SIA im Referenzszenario.

Tab. 8.2-2. In dieser Studie angenommene Neubau- und Sanierungsstandards für Raumwärme (Endenergie) für den Sektor Wohnen im Referenzszenario (Absenkpfade nach SIA)

Referenzszenario		Raumwärmestandards [kWh/m ² .a]				
		2010	2020	2030	2040	2050
Einfamilienhäuser ¹	Sanierung	71	55	46	42	39
Mehrfamilienhäuser ¹		64	46	38	35	32
Einfamilienhäuser ²	Neubau	71	48	43	39	35
Mehrfamilienhäuser ²		63	38	35	33	31

¹Hofer (2007) (approximierte Werte); ²Hofer (2010) (approximierte Werte).

Tab. 8.2-3. In dieser Studie angenommene Neubau- und Sanierungsstandards für Raumwärme (Endenergie) für den Sektor Wohnen im 2000-Watt-Szenario (Absenkpfade nach SIA)

2000-Watt-Szenario		Raumwärmestandards [kWh/m ² .a]				
		2010	2020	2030	2040	2050
Einfamilienhäuser	Sanierung	31	31	31	31	31
Mehrfamilienhäuser		31	31	31	31	31
Einfamilienhäuser	Neubau	19	19	19	19	19
Mehrfamilienhäuser		19	19	19	19	19

Die *Sanierungsrate* ist zunächst ein historisch gemessener Wert. Sie ist abhängig vom Sanierungszyklus, der bei Wohngebäuden nach verschiedenen Quellen (Matthes & Cames 2000; Pelzeter 2005; Bardt et al. 2008) zu 20 bis 30 Jahren angenommen wird. Durch Verordnungen und Subventionen kann der Gesetzgeber die Sanierungsrate beeinflussen. In der Schweiz ist bislang von einer mässigen Sanierungsrate von etwa 1% pro Jahr auszugehen (Meuter 2008). Für die Szenarien werden folgende Sanierungsraten angenommen:

- Referenzszenario 1%
- 2000-Watt-Szenario auf 2%

Im Modell können die Sanierungsraten stadtraumspezifisch angepasst werden. Um die Sanierungsrate zu erhöhen, werden investive Förderprogramme in der energetischen Gebäudesanierung aufgelegt.

Bei einer vorgegebenen Sanierungsrate von s_i im Stadtraum i und einem Sanierungsziel für den Heizwärmebedarf von $e_{VH\ san, i}$ folgt nach t Jahren seit Einführung des Standards ein mittlerer Heizwärmebedarf von

$$e_{VH, i} = e''_{VH, i} \left[\frac{e_{VH\ san, i}}{e''_{VH, i}} + (1 - s_i)^t \left(1 - \frac{e_{VH\ san, i}}{e''_{VH, i}} \right) \right]$$

Bei Einführung eines neuen Wärmestandards gilt der jeweils in diesem Jahr erreichte Mittelwert $e''_{VH, i}$ als Startwert.

Mit diesen Vorgaben lässt sich die Veränderung des Raumwärmebedarfs für die verschiedenen Szenarien prognostizieren. Die Abbildung 8.2-3 zeigt die relative Abnahme des Raumwärmebedarfs

für beide Szenarien sowohl ohne als auch mit Berücksichtigung des Klimawandels. Die dieser Studie zugrunde liegenden Daten (unter Berücksichtigung des Klimawandels) sind in Tabelle 8.2-4 für das Referenzszenario und Tabelle 8.2-5 für das 2000-Watt-Szenario noch einmal zusammengestellt.

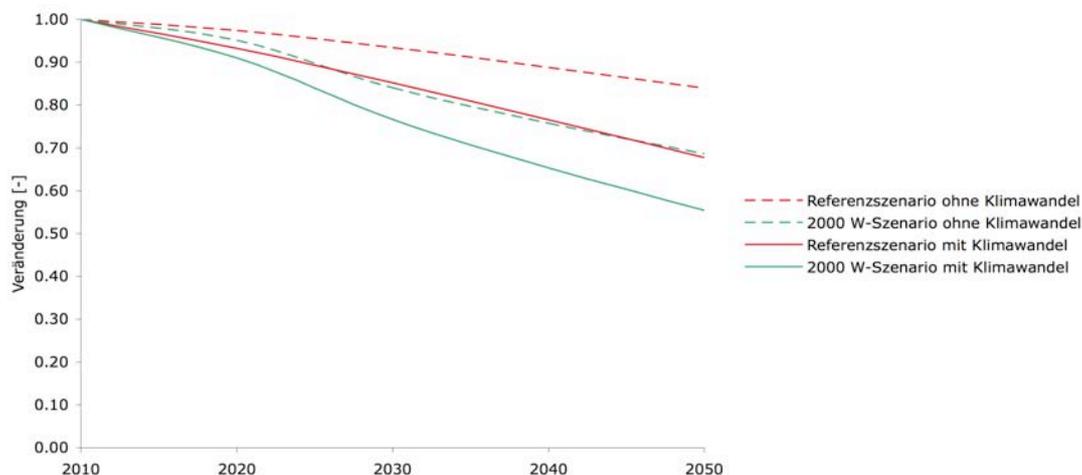


Abb. 8.2-3. Relative Änderung des Raumwärmebedarfs im Sektor Wohnen (Mittelwerte nach Energiebezugsfläche gewichtet). Im Referenzszenario wird eine Sanierungsrate von 1% vorausgesetzt, im 2000 W-Szenario gilt eine Sanierungsrate von 2%. Ausserdem greifen unterschiedliche Sanierungsstandards, wie im Text beschrieben.

Tab. 8.2-4. Veränderung des Raumwärmebedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen für das Referenzszenario (Klimawandel berücksichtigt).

Nutzung	SRT	Raumwärmebedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Mischnutzung	Vorindustrielle Altstadt	I	95	88	80	72	63
-	Baublöcke Gründerzeit	IIa	86	80	73	66	58
-	Villen der Gründerzeit	IIb	106	97	88	78	69
Wohnen	Wohlfahrtssiedlung Vorkriegszeit	V	106	98	88	79	69
-	Sozialer Wohnungsbau	VI	111	102	92	82	72
-	Hochhäuser	VII	104	96	87	78	68
-	Geschosswohnungsbau 1960-80er	VIIIa	97	90	82	73	64
-	Geschosswohnungsbau seit 1990er	VIIIb	54	52	49	45	40
-	Einfamilienhäuser	IX	69	66	62	57	51
-	Neubaugebiete ¹	N	63	36	32	28	25

Tab. 8.2-5. Veränderung des Raumwärmebedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen für das 2000-Watt-Szenario (Klimawandel berücksichtigt).

Nutzung		SRT	Raumwärmebedarf kWh/m ² .a				
			2010	2020	2030	2040	2050
Mischnutzung	Vorindustrielle Altstadt	I	95	85	72	60	51
-	Baublöcke Gründerzeit	IIa	86	78	66	56	47
-	Villen der Gründerzeit	IIb	106	94	78	65	54
Wohnen	Wohlfahrtssiedlung Vorkriegszeit	V	106	94	78	65	54
-	Sozialer Wohnungsbau	VI	111	98	81	68	56
-	Hochhäuser	VII	104	93	77	65	54
-	Geschosswohnungsbau 1960-80er	VIIIa	97	87	73	61	51
-	Geschosswohnungsbau seit 1990er	VIIIb	54	52	45	40	35
-	Einfamilienhäuser	IX	69	66	57	51	45
-	Neubaugebiete ¹	N	19	19	18	17	16

Für den *Warmwasserbedarf* der Haushalte werden in dieser Studie die für die Schweiz relevanten Absenkpfade nach Hofer (Hofer 2007) angenommen (Abb. 8.2-4). Ebenfalls in das Diagramm eingetragen ist der für das 2000-Watt-Szenario angenommene Trend. Hier wurde die zurzeit aktuellste Studie zu Grunde gelegt, die sich zwar auf den Modellraum Deutschland bezieht, deren Aussagen zur Energieeffizienz und -einsparung aber auf die Schweiz übertragbar sind (Kirchner & Matthes 2009). Eine Reduktion des Warmwasserverbrauchs infolge des Klimawandels wurde nicht angenommen. In den Tabellen 8.2-6 und 8.2-7 ist der Warmwasserbedarf für Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser im Referenz- und 2000-Watt-Szenario bis zum Prognosehorizont dargestellt.

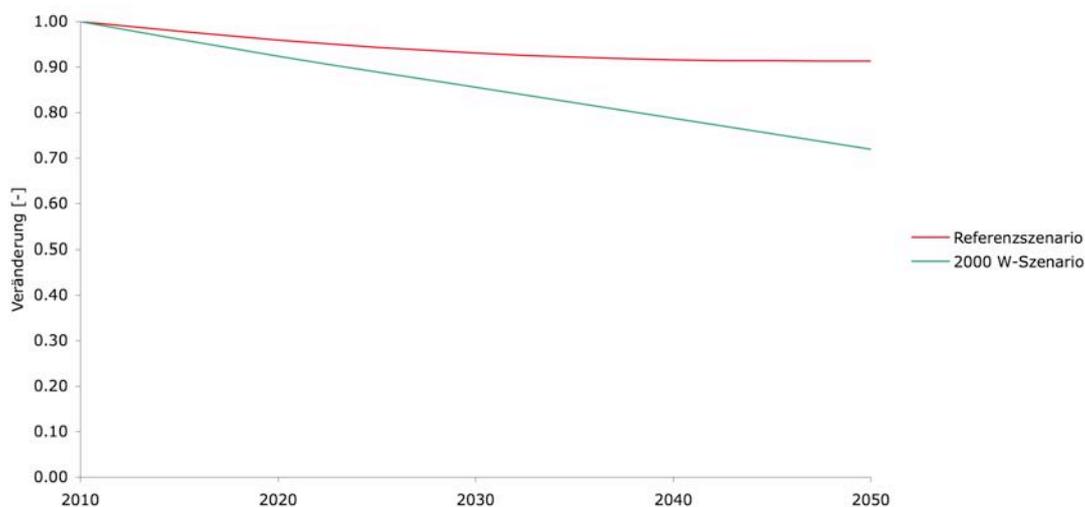


Abb. 8.2-4. Absenkpfade zum Warmwasserverbrauch im Sektor Wohnen nach Hofer (2007) und Kirchner & Matthes (2009).

Tab. 8.2-6. Veränderung des Warmwasserbedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen für das Referenzszenario.

Nutzung	SRT	Warmwasserbedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Bestand	I-VIII	20	19	19	19	18
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Neubau	N	13	13	13	12	12
Wohnen	Einfamilienhäuser Bestand	IX	20	19	19	19	18

Tab. 8.2-7. Veränderung des Warmwasserbedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen für das 2000-Watt-Szenario.

Nutzung	SRT	Warmwasserbedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Bestand	I-VIII	20	19	17	16	15
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Neubau	N	20	10	10	9	8
Wohnen	Einfamilienhäuser Bestand	IX	13	12	12	11	10

Für den *Strombedarf* der Haushalte werden in dieser Studie wie beim Warmwasserbedarf die für die Schweiz relevanten Absenkpfade nach Hofer (2007) angenommen (Abb. 8.2-5). Ebenfalls in das Diagramm eingetragen ist der für das 2000-Watt-Szenario angenommene Trend (Kirchner & Matthes 2009). Ein zusätzlicher Strombedarf besteht bei zu kühlenden Gebäuden, insbesondere mit Blick auf

eine allfällige Erhöhung der Durchschnittstemperaturen infolge des Klimawandels. Ein zusätzlicher Kühlbedarf wird im Sektor "Wohnen" nur für den Geschosswohnungsbau im Bestand (SRT VIII) angenommen. Bei Neubauten wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Neubaustandards und einer passiven Klimatisierung (durch Fassadenelemente) kein zusätzlicher Kühlbedarf besteht. Die in dieser Studie angenommene Entwicklung des Strombedarfs zeigt Tabelle 8.2-8 für das Referenzszenario und in Tabelle 8.2-9 für das 2000-Watt-Szenario.

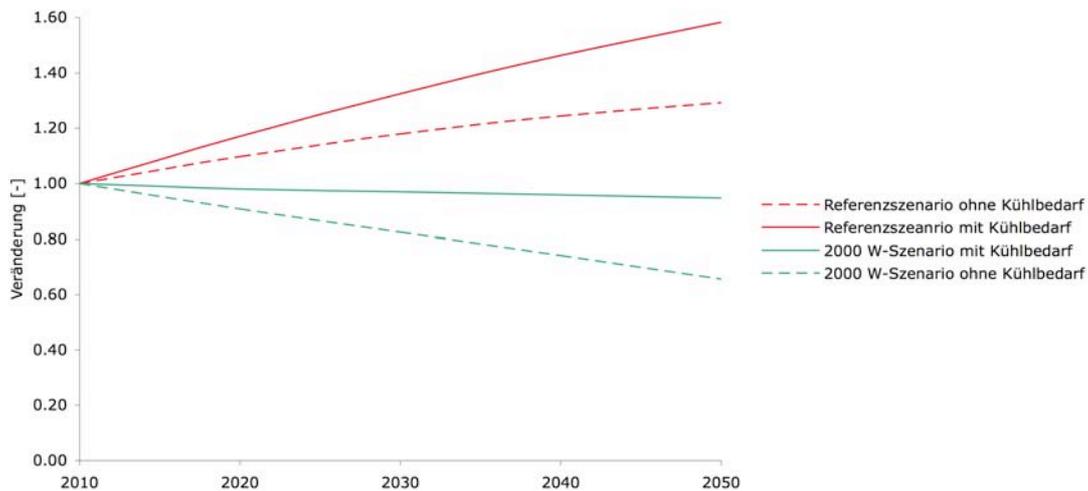


Abb. 8.2-5. Absenkpfade zum Strombedarf im Sektor Wohnen nach Hofer (2007) und Kirchner & Matthes (2009).

Tab. 8.2-8. Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen für das Referenzszenario.

Nutzung	SRT	Strombedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Bestand	I-VII	31	34	37	39	40
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Bestand mit Kühlbedarf	VIII	31	36	41	45	49
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Neubau	N	31	34	37	39	40
Wohnen	Einfamilienhäuser Bestand	IX	31	34	37	39	40

Tab. 8.2-9. Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Wohnen für das 2000-Watt-Szenario.

Nutzung	SRT	Strombedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Bestand	I-VII	31	28	26	23	20
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Bestand mit Kühlbedarf	VIII	31	30	30	30	29
Wohnen	Mehrfamilienhäuser Neubau	N	31	28	26	23	20
Wohnen	Einfamilienhäuser Bestand	IX	31	28	26	23	20

Arbeiten

Der zukünftige *Raumwärmebedarf* im Sektor "Arbeiten" ist, wie im Sektor "Wohnen", eine Funktion der Sanierungsrate und Sanierungstiefe. Die *Sanierungstiefe* reflektiert den Sanierungsstandard beim Heizwärmebedarf. Abbildung 8.2-6 zeigt den Absenkpfad im Referenzszenario. Im 2000-Watt-Szenario gibt es keinen Absenkpfad sondern ambitionierte Zielwerte. In Tabellen 8.2-10 und 8.2-11 sind die in dieser Studie angenommenen Sanierungs- und Neubaustandards für den Sektor "Arbeiten" aufgelistet.

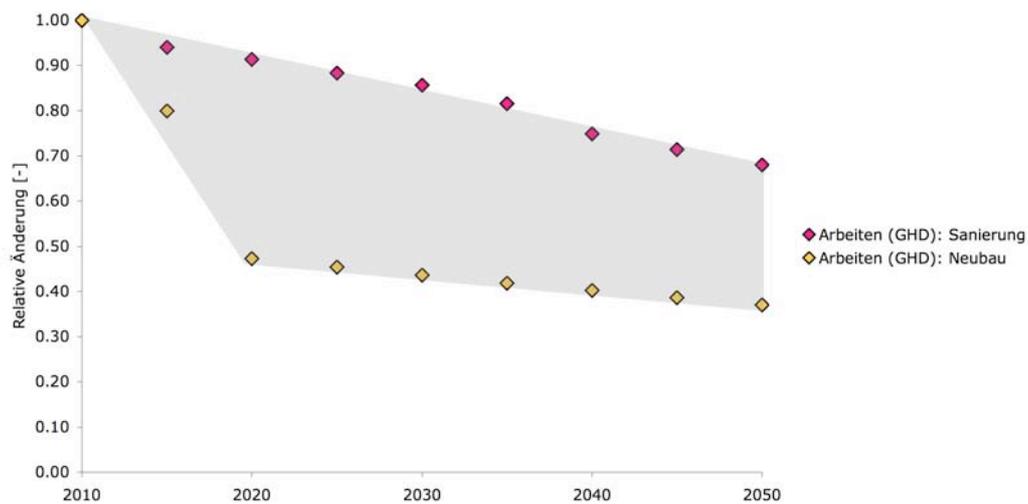


Abb. 8.2-6. Absenkpfade der Heizwärmestandards für Sanierung und Neubauten im Sektor Arbeiten (GHD).

Tab. 8.2-10. In dieser Studie angenommene Neubau- und Sanierungsstandards für Raumwärme (Endenergie) für den Sektor Arbeiten (GHD) im Referenzszenario.

Referenzszenario		Raumwärmestandards [kWh/m ² .a]				
		2010	2020	2030	2040	2050
GHD ¹	Sanierung	80	73	67	61	54
GHD ³	Neubau	76	36	33	31	28

¹persönliche Auskunft (Cantenazzi 2010); ²von GHD übernommen; ³Kirchner (2007)

Tab. 8.2-11. In dieser Studie angenommene Neubau- und Sanierungsstandards für Raumwärme (Endenergie) für den Sektor Arbeiten im 2000 Watt-Szenario.

Referenzszenario	Raumwärmestandards [kWh/m ² .a]				
	2010	2020	2030	2040	2050
GHD ¹					
Industrie ²			39		
GHD ³					
Industrie ²			28		

¹SIA (2010) ²von GHD übernommen

Die *Sanierungsrate* wird wie im Sektor "Wohnen" wie folgt angenommen:

- Referenzszenario 1%
- 2000-Watt-Gesellschaft auf 2%

Mit diesen Vorgaben lässt sich die Veränderung des Raumwärmebedarfs für die verschiedenen Szenarien prognostizieren. Die Abbildung 8.2-7 zeigt die relative Abnahme des Raumwärmebedarfs für beide Szenarien sowohl ohne als auch mit Berücksichtigung des Klimawandels. In der Tabelle 8.2-12 für das Referenzszenario und der Tabelle 8.2-13 für das 2000-Watt-Szenario sind die prognostizierten Raumwärmebedarfswerte (unter Berücksichtigung des Klimawandels) noch einmal zusammengestellt.

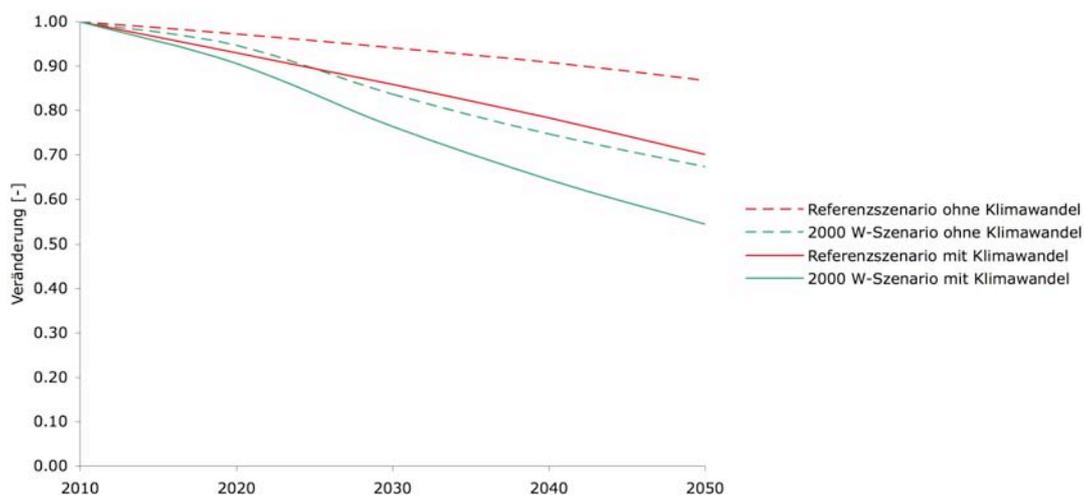


Abb. 8.2-7. Relative Änderung des Raumwärmebedarfs im Sektor Arbeiten (Mittelwerte nach Energiebezugsfläche gewichtet). Im Referenzszenario wird eine Sanierungsrate von 1% vorausgesetzt, im 2000-Watt-Szenario gilt eine Sanierungsrate von 2%. Ausserdem greifen unterschiedliche Sanierungsstandards, wie im Text beschrieben.

Tab. 8.2-12. Veränderung des Raumwärmebedarfs (Endenergie) im Sektor Arbeiten für das Referenzszenario (Klimawandel berücksichtigt).

Nutzung		SRT	Raumwärmebedarf kWh/m ² .a				
			2010	2020	2030	2040	2050
Gewerbe	Gewerbe	Xa					
Industrie	Industrie	Xb	113	109	106	102	98
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc					
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd					

Tab. 8.2-13. Veränderung des Raumwärmebedarfs (Endenergie) im Sektor Arbeiten für das 2000-Watt-Szenario (Klimawandel berücksichtigt).

Nutzung		SRT	Raumwärmebedarf kWh/m ² .a				
			2010	2020	2030	2040	2050
Gewerbe	Gewerbe	Xa					
Industrie	Industrie	Xb	112	107	94	84	76
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc					
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd					

Für den *Prozesswärmebedarf* liegen für die Schweiz keine Informationen zu möglichen Absenkpfeilen vor. In dieser Studie werden die Absenkpfeile nach der aktuellen, für Deutschland erarbeiteten Studie des WWF angenommen (Kirchner & Matthes 2009) (Abb. 8.2-8). Ebenfalls in das Diagramm eingetragen ist der für das 2000-Watt-Szenario angenommene Trend. Eine Reduktion des Prozesswärmeverbrauchs infolge des Klimawandels wurde nicht angenommen. In den Tabellen 8.2-14 und 8.2-15 ist der Prozesswärmebedarf für reines Gewerbe, Industrie, Zweckbauten und Mischgewerbe im Referenz- und 2000-Watt-Szenario bis zum Prognosehorizont dargestellt.

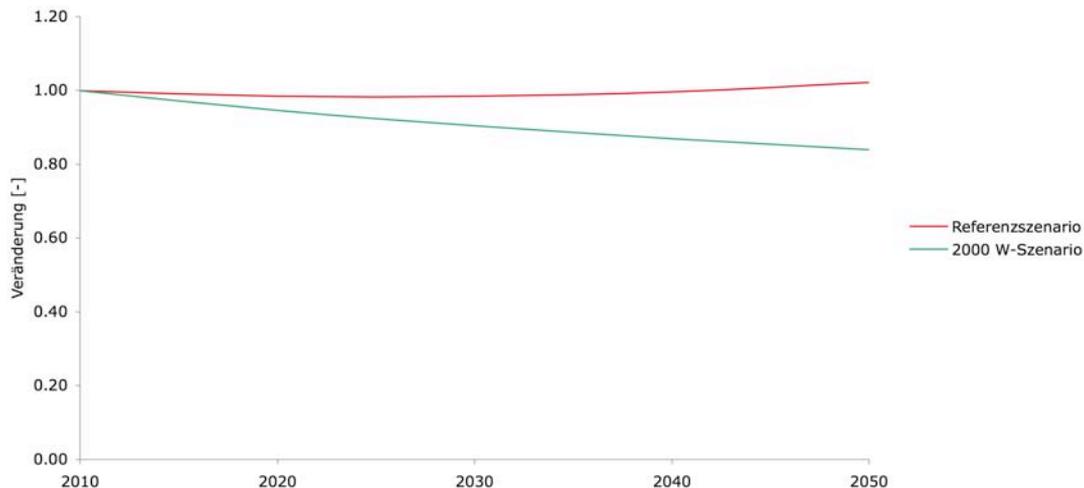


Abb. 8.2-8. Absenkpfade zum Prozesswärmebedarf im Sektor Arbeiten nach Kirchner & Matthes (2009) (über die Energiebezugsflächen gemittelte Werte).

Tab. 8.2-14. Veränderung des Prozesswärmebedarfs (Endenergie) im Sektor Arbeiten für das Referenzszenario.

Nutzung	SRT	Prozesswärmebedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Gewerbe	Gewerbe	Xa	177	176	177	182	189
Industrie	Industrie	Xb	177	167	157	148	138
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	177	176	177	182	189
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	177	176	177	182	189

Tab. 8.2-15. Veränderung des Prozesswärmebedarfs (Endenergie) im Sektor Arbeiten für das 2000-Watt-Szenario.

Nutzung	SRT	Prozesswärmebedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Gewerbe	Gewerbe	Xa	177	172	167	163	158
Industrie	Industrie	Xb	177	144	120	104	94
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	177	172	167	163	158
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	177	172	167	163	158

Für den *Strombedarf* werden für GHD die WWF-Prognosen für beide Szenarien übernommen (Kirchner & Matthes 2009). Für die Industrie werden für das 2000-Watt-Szenario ebenfalls die WWF-Prognosen übernommen. Die Entwicklung im Referenzszenario entspricht dem BFE Szenario II (Baumgartner et al. 2006). Abbildung 8.2-9 zeigt die auf dieser Grundlage ermittelten Absenkpfade für beide Szenarien. In den Tabellen 8.2-16 und 8.2-17 ist der Strombedarf für reines Gewerbe, Industrie, Zweckbauten und Mischgewerbe im Referenz- und 2000-Watt-Szenario bis zum Prognosehorizont

dargestellt. Der Einfluss des Klimawandels auf den Strombedarf in diesem Sektor ist nicht bekannt und bleibt daher unberücksichtigt.

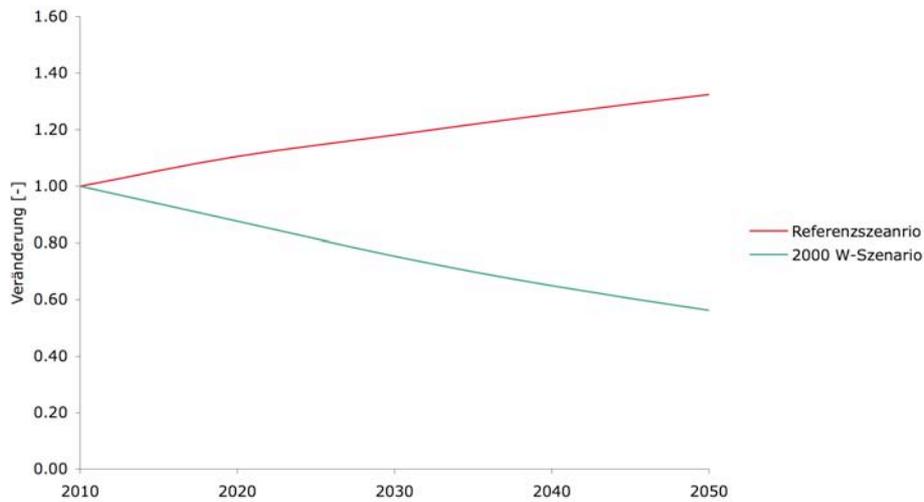


Abb. 8.2-9. Absenkpfade zum Strombedarf im Sektor Arbeiten nach Kirchner & Matthes (2009) und Kirchner (2007) (über die Energiebezugsflächen gemittelte Werte).

Tab. 8.2-16. Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Arbeiten für das Referenzszenario.

Nutzung	SRT	Strombedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Gewerbe	Gewerbe	Xa	123	135	143	152	160
Industrie	Industrie	Xb	123	126	129	128	125
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	123	137	148	158	169
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	123	137	148	158	169

Tab. 8.2-17. Veränderung des Strombedarfs (Endenergie) im Sektor Arbeiten für das 2000-Watt-Szenario.

Nutzung	SRT	Strombedarf kWh/m ² .a					
		2010	2020	2030	2040	2050	
Gewerbe	Gewerbe	Xa	122	110	95	80	65
Industrie	Industrie	Xb	122	79	53	41	43
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	122	112	99	87	74
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	122	112	99	87	74

Für den *Treib- und Kraftstoffbedarf* werden, wie beim Strombedarf, für GHD die WWF-Prognosen für beide Szenarien übernommen (Kirchner & Matthes 2009). Für die Industrie werden für das 2000-Watt-Szenario ebenfalls die WWF-Prognosen übernommen. Dagegen wird für das Referenzszenario das

Szenario II der BFE-Studie zugrunde gelegt (Baumgartner et al. 2006).

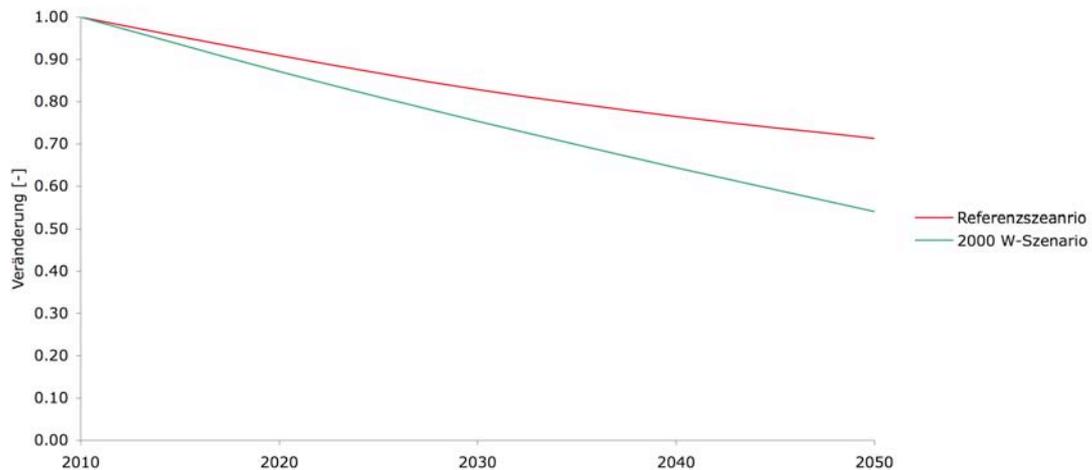


Abb. 8.2-10. Absenkpfade zum Treib- und Kraftstoffbedarf im Sektor Arbeiten nach Kirchner & Matthes (2009) und Kirchner (2007) (über die Energiebezugsflächen gemittelte Werte).

Tab. 8.2-18. Veränderung des Treib- und Kraftstoffbedarfs (Endenergie) im Sektor Arbeiten für das Referenzszenario (ohne Mobilität).

Nutzung		SRT	Treib- und Kraftstoffbedarf kWh/m ² .a				
			2010	2020	2030	2040	2050
Gewerbe	Gewerbe	Xa	8	7	6	6	5
Industrie	Industrie	Xb	8	8	7	7	7
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	8	7	6	6	5
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	8	7	6	6	5

Tab. 8.2-19. Veränderung des Treib- und Kraftstoffbedarfs (Endenergie) im Sektor Arbeiten für das 2000-Watt-Szenario (ohne Mobilität).

Nutzung		SRT	Treib- und Kraftstoffbedarf kWh/m ² .a				
			2010	2020	2030	2040	2050
Gewerbe	Gewerbe	Xa	8	7	6	5	4
Industrie	Industrie	Xb	8	6	5	5	5
Zweckbauten	Zweckbaukomplexe	Xc	8	7	6	5	4
Mischgewerbe	Gewerbe in Mischgebieten	Xd	8	7	6	5	4

Abbildung 8.2-10 zeigt die auf dieser Grundlage ermittelten Absenkpfade. In den Tabellen 8.2-18 und 8.2-19 ist der Treib- und Kraftstoffbedarf für reines Gewerbe, Industrie, Zweckbauten und Mischgewerbe im Referenz- und 2000-Watt-Szenario bis zum Prognosehorizont dargestellt. Es wird kein Einfluss des Klimawandels auf den Treibstoffbedarf angenommen.

Mobilität

Im Referenzszenario basiert die Entwicklung der Fahrzeugkilometer von Strasse und Schiene auf den Prognosen des Gesamtverkehrsmodells (GVM) der Region Basel (Abay 2007). Im 2000-Watt-Szenario wird zu den Modal Split-Veränderungen des GVM eine verstärkte Abnahme der Fahrzeugkilometer von PKWs auf Hauptverkehrsstrassen und untergeordnetem Netz modelliert (gemäss Gegenvorschlag zur Städteinitiative, abgestimmt am 28. November 2010). Gegenüber 2010 beträgt die Abnahme bis 2050 25%. Die entsprechenden Personenkilometer (1.3 Personenkilometer pro Fahrzeugkilometer bei PKWs) werden zu 80% auf den öffentlichen Verkehr verlagert (Bahn und Tram), zu 20% auf den Langsamverkehr. Durch die Zunahme der Personenkilometer im öffentlichen Verkehr nimmt dort die Fahrleistung um 50% der verhältnismässigen Zunahme der Personenkilometer zu (d.h. nehmen die Personenkilometer um 10% zu, bewirkt dies eine Zunahme der Fahrzeugkilometer um 5%). Die Fahrzeugkilometer sind von 2008 bis 2050 in den Tabellen 8.2-20 und 8.2-21 dargestellt.

Schifffahrt und Flugverkehr werden in diesem Abschnitt nicht berücksichtigt (siehe dafür Tab. 8.2-20 ff.). Der Verbrauch des Flugverkehrs wurde nur für 2010 ermittelt. Dieser Wert wird in den zukünftigen Zeitschnitten beibehalten. Der aktuelle Verbrauch der Schifffahrt und dessen zukünftige Entwicklung basieren auf dem Emissionskataster BS/BL, Quellgruppen Offroad (Schäffeler et al. 2008).

Tab. 8.2-20 Entwicklung Fahrzeugkilometer 2008-2050 im Referenzszenario (Mio Fz-km/a).

FZ-Kategorie	Detail ¹	Jahr									
		2008	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PKW	HLS	179,5	181,0	184,8	188,7	192,5	196,4	200,2	204,1	207,9	211,8
	HVS	303,0	305,3	311,0	316,7	322,5	328,2	333,9	339,6	345,3	351,1
Lieferwagen	HLS	20,8	21,0	21,4	21,9	22,3	22,8	23,2	23,7	24,1	24,6
	HVS	83,7	84,3	85,9	87,5	89,1	90,7	92,2	93,8	95,4	97,0
LKW&Reisebusse	HLS	22,7	25,0	28,7	30,2	31,2	32,0	32,7	33,3	34,0	34,6
	HVS	22,4	22,6	23,8	25,1	25,9	26,6	27,1	27,7	28,2	28,7
Linienbusse	HVS	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Bahn	Personen	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1
	Güter	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Tram		5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7

¹ Unter HVS sind Hauptverkehrsstrassen und das untergeordnete Netz zusammengefasst.

Tab. 8.2-21 Entwicklung Fahrzeugkilometer 2008-2050 im 2000-Watt-Szenario (Mio Fz-km/a).

FZ-Kategorie	Detail ¹	Jahr									
		2008	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PKW	HLS	179,5	181,0	184,8	188,7	192,5	196,4	200,2	204,1	207,9	211,8
	HVS	303,0	294,3	288,2	281,3	273,4	264,7	255,1	244,7	233,4	221,2
Lieferwagen	HLS	20,8	21,0	21,4	21,9	22,3	22,8	23,2	23,7	24,1	24,6
	HVS	83,7	84,3	85,9	87,5	89,1	90,7	92,2	93,8	95,4	97,0
LKW&Reisebusse	HLS	22,7	25,0	28,7	30,2	31,2	32,0	32,7	33,3	34,0	34,6
	HVS	22,4	22,6	23,8	25,1	25,9	26,6	27,1	27,7	28,2	28,7
Linienbusse	HVS	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Bahn	Personen	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
	Güter	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Tram		5,4	5,6	5,7	5,8	6,0	6,1	6,3	6,4	6,6	6,7

¹ Unter HVS sind Hauptverkehrsstrassen und das untergeordnete Netz zusammengefasst.

Im Referenzszenario nehmen die Fahrzeugkilometer der PKWs auf Hauptverkehrsstrassen und untergeordnetem Netz um rund 14% zu (2010-2050). Im 2000-Watt-Szenario wird eine Abnahme um 25% prognostiziert. Gleichzeitig ist auf Hochleistungsstrassen (Autobahn) in beiden Szenarien eine Zunahme der Fahrzeugkilometer der PKWs um gut 14% zu verzeichnen. Dies führt zu einer Veränderung der Personenkilometer der PKWs um zusätzlich 16% im Referenzszenario und um minus 9% im 2000-Watt-Szenario. Die Personenkilometer des ÖV nehmen in beiden Szenarien stark zu (im Referenzszenario um rund 32% und im 2000-Watt-Szenario um knapp 61%) (Tab. 8.2-22).

Tab. 8.2-22. Entwicklung der Personenkilometer bei PKWs und ÖV im Referenz- und 2000-Watt-Szenario (Mio Pkm/a).

Kategorie	Jahr									
	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Referenzszenario										
ÖV	394,4	400,7	416,5	432,4	448,2	464,1	479,9	495,8	511,6	527,5
PKW	627,2	632,2	644,6	657,0	669,5	681,9	694,4	706,8	719,2	731,7
2000-Watt-Szenario										
ÖV	394,4	412,1	440,2	469,3	499,2	530,1	561,8	594,5	628,0	662,5
PKW	627,2	617,9	615,0	610,9	605,7	599,4	592,0	583,4	573,7	562,9

Im Referenzszenario wird bei PKWs und Lieferwagen von einer Marktdurchdringung von reinen Elektroautos von 10% bis 2050 ausgegangen. Im 2000-Watt-Szenario beträgt der Marktanteil bis 2050 77%. Die Verteilung der Energieträger der restlichen Fahrzeuge basiert auf dem Schlüssel von HBEFA (Infras 2010). Im 2000-Watt-Szenario wird nicht von einer Zunahme von gasbetriebenen

Fahrzeugen ausgegangen, da dies als Übergangstechnologie betrachtet wird.

In Abb. 8.2-11 und 8.2-12 sind die Entwicklungen des Endenergiebedarfs nach Fahrzeugkategorie für das Referenzszenario und das 2000-Watt-Szenario dargestellt.

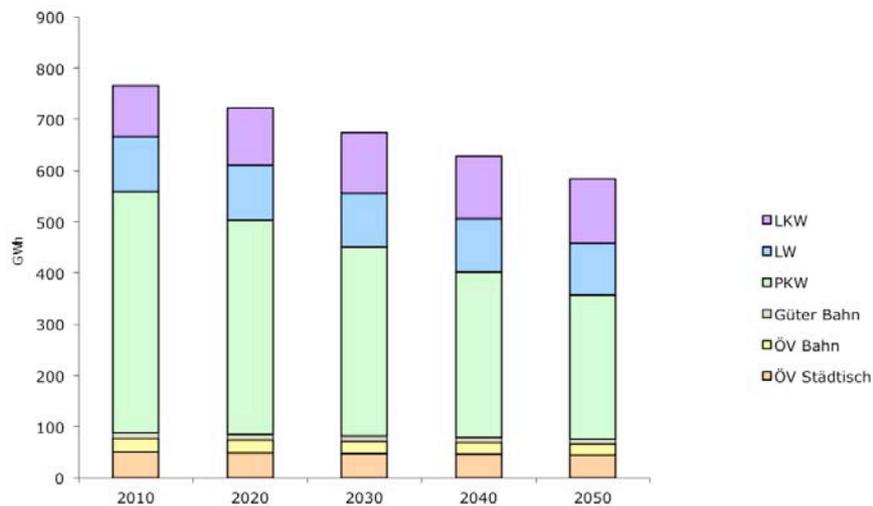


Abb. 8.2-11. Endenergiebedarf Mobilität nach Fahrzeugkategorie im Referenzszenario (ohne Flugverkehr und Schifffahrt).

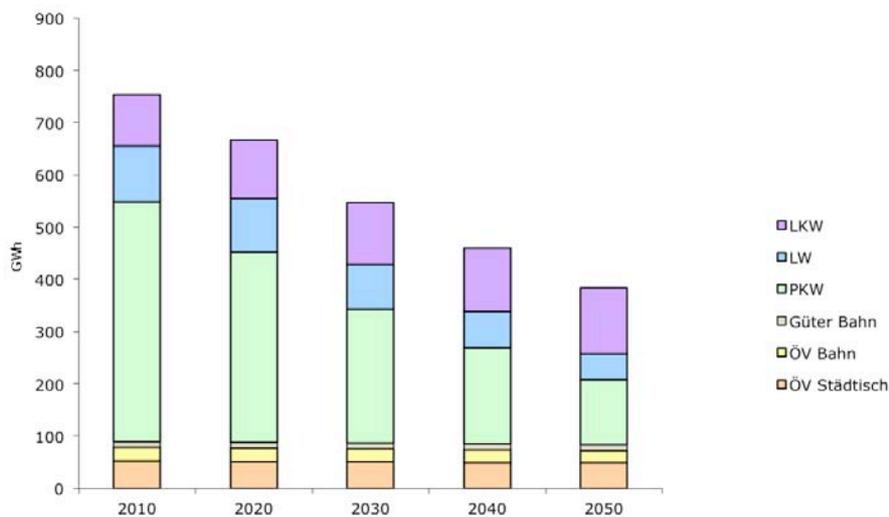


Abb. 8.2-12. Endenergiebedarf Mobilität nach Fahrzeugkategorie im 2000-Watt-Szenario (ohne Flugverkehr und Schifffahrt).

Im Referenzszenario nimmt der Energiebedarf des Verkehrs (Strasse und Schiene) von gut 770 GWh auf rund 580 GWh ab (Reduktion um 24%). Davon sind 21% auf die Effizienzsteigerungen in der Fahrzeugtechnologie und die Abnahme der PKW-Fahrzeugkilometer um 14% zurückzuführen.

Im 2000-Watt-Szenario reduziert sich der Energiebedarf des Verkehrs bis 2050 auf rund 380 GWh (Reduktion um 50%). Nebst den Effizienzsteigerungen in der Fahrzeugtechnologie führt die stärkere Abnahme der PKW-Fahrzeugkilometer von 25% (auf Hauptverkehrsstrassen und untergeordnetem Netz) zu einer Einsparung des Energiebedarfs um 30%. Aufgrund ihrer Energieeffizienz bewirkt

auch die Einführung von Elektrofahrzeugen eine deutliche Abnahme des Energieverbrauchs. Die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen auf 77% führt bis 2050 zu einer weiteren Abnahme von 20%.

Würde im 2000-Watt-Szenario gegenüber dem Referenzszenario keine Veränderung des Modal Split stattfinden, sondern nur der Marktanteil von Elektrofahrzeugen auf 77% ansteigen, würde dies zu einer Reduktion des Energiebedarfs von 583 GWh auf 412 GWh führen (Reduktion um 29%).

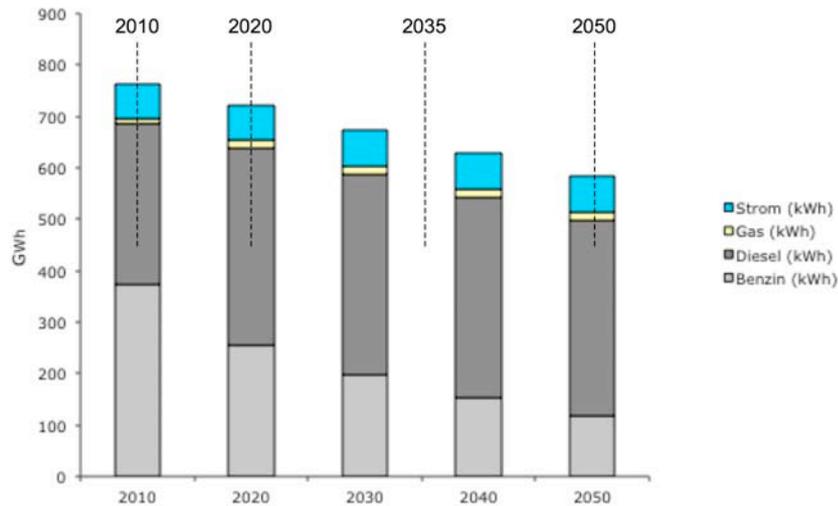


Abb. 8.2-13. Endenergiebedarf Mobilität nach Energieträger im Referenzszenario (ohne Flugverkehr und Schifffahrt. Der Stromverbrauch beinhaltet den öffentlichen Verkehr und Elektroautos).

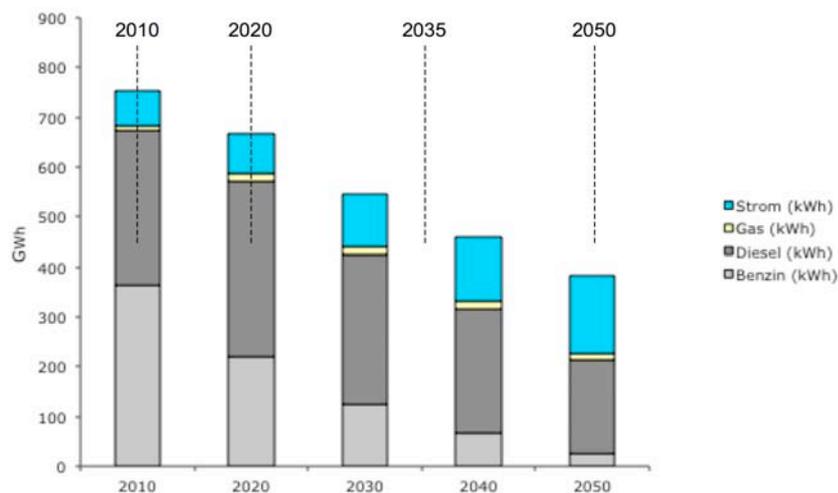


Abb. 8.2-14. Endenergiebedarf Mobilität nach Energieträger im 2000-Watt-Szenario (ohne Flugverkehr und Schifffahrt. Der Stromverbrauch beinhaltet den öffentlichem Verkehr und Elektroautos).

Gegenüber dem Referenzszenario liegt der Energiebedarf im 2000-Watt-Szenario im Jahre 2050 um 34% niedriger (Abb. 8.2-13 und 8.2-14). In beiden Szenarien nimmt Benzin als Energieträger stark ab. Insbesondere bei PKWs kommt es zu einer Verlagerung von Benzin auf Diesel (Infras 2010). Der

Strombedarf nimmt in beiden Szenarien durch die Zunahme des ÖV und der Einführung der Elektromobilität zu. Dabei beträgt der Strombedarf der Elektromobilität im Referenzszenario bis 2050 14 GWh, im 2000-Watt-Szenario liegt er bei gut 111 GWh (7% des Stromverbrauchs im Jahr 2010).

Zusammenfassende Energiebedarfsprognose

Aufgrund charakteristischer Energiebedarfswerte lässt sich der aktuelle und zukünftige Energiebedarf im Modellraum ermitteln. Die Prognose des langfristigen Energiebedarfs beruht auf Annahmen und Extrapolationen aktueller Werte. Auf der Grundlage der in dieser Studie angewendeten Raumtypisierung lässt sich auch eine räumliche Prognose des Energiebedarfs bis zum Prognosehorizont erstellen.

In Tabelle 8.2-23 ist der absolute Endenergiebedarf für die verschiedenen Zeitschnitte für beide Szenarien dargestellt. Tabelle 8.2-24 zeigt den *per capita*-Endenergiebedarf in Kilowattstunden pro Einwohner. Tabelle 8.2-25 zeigt die *per capita*-Endenergieleistung in Watt.

Zur Veranschaulichung des Trends ist der *per capita*-Jahresendenergiebedarf auch als Diagramm dargestellt (Abb. 8.2-15 bis 8.2-16). Es wird deutlich, dass aufgrund der angenommenen Effizienzmassnahmen der Bedarf stetig abnimmt. Dies ist insbesondere zurückzuführen auf die Sanierung im Bestand und die Effizienzsteigerungen im Sektor "Arbeiten", der den grössten Anteil am Endenergieverbrauch hat. Dazu kommt der Effekt der Reduktion des Individualverkehrs zu Gunsten des öffentlichen Personennahverkehrs und die allmählichen Elektrifizierung der Mobilität. Im 2000-Watt-Szenario ist die Reduktion des Bedarfs erheblich grösser.

Die Abbildungen 8.2-17 und 8.2-18 zeigen die *per capita*-Leistungen in Watt Primärenergie. Dabei wurden nur "weisse" Energieanteile berücksichtigt, also keine Aufwendungen in die Infrastruktur oder versteckte Leistungen in importierte Produkte ("graue Energie"). Nach dieser Darstellung nimmt die Leistung im 2000-Watt-Szenario deutlich schneller ab als im Referenzszenario. Hier wird das 2000-Watt-Ziel im langfristigen Planungshorizont nicht erreicht, im 2000-Watt-Szenario dagegen bereits im Jahr 2075.

In den Karten 8.2-1 bis 8.2-5 sind der aktuelle Wärmeverbrauch und der zukünftige Wärmebedarf für die Zeitschnitte 2010, 2030 und 2050 für beide Szenarien dargestellt. Der Wärmebedarf ist hier als auf die Fläche bezogene Wärmebedarfsdichte dargestellt. Er ist eine Funktion des Stadtraumtyps. Bis zum Prognosehorizont verringert sich die Wärmebedarfsdichte infolge der Sanierung des Bestandes. Es wird deutlich, dass der Energiebedarf gerade in den verdichteten Räumen besonders hoch, ist aber allmählich bis zum Prognosehorizont abnimmt. Diese Abnahme ist im 2000-Watt-Szenario wesentlich ausgeprägter.

In den Karten 8.2-6 bis 8.2-10 sind der aktuelle Stromverbrauch und der zukünftige Strombedarf für die Zeitschnitte 2010, 2020 und 2050 für beide Szenarien dargestellt. Wie beim Wärmebedarf wurde auch der Strombedarf auf die Fläche bezogen als Strombedarfsdichte dargestellt. Auch er ist eine Funktion des Stadtraumtyps. Im Referenzszenario nimmt die Strombedarfsdichte im Gegensatz zur Wärmebedarfsdichte zu. Im 2000-Watt-Szenario dagegen nimmt die Strombedarfsdichte deutlich ab.

Tab. 8.2-23. Energiebedarfsprognose (Endenergie) im Referenz- und 2000-Watt-Szenario (ohne Neubau).

Energiebedarf	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Summe
Referenzszenario				
2010	1298	3454	1150	5902
2020	1264	3454	1096	5814
2030	1215	3459	1046	5720
2040	1159	3478	1001	5637
2050	1099	3505	957	5560
2000-Watt-Szenario				
2010	1298	3454	1150	5902
2020	1193	3147	1054	5394
2030	1053	2829	941	4822
2040	928	2557	861	4346
2050	810	2328	776	3914

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr.

Tab. 8.2-24. Energiebedarfsprognose (Endenergie) *per capita* im Referenz- und 2000-Watt-Szenario.

Energiebedarf	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Summe
Referenzszenario				
2010	6759	17962	5989	30710
2020	6583	18033	5708	30324
2030	6326	18059	5446	29832
2040	6033	18155	5213	29401
2050	5722	18297	4982	29001
2000-Watt-Szenario				
2010	6759	17962	5989	30710
2020	6212	16426	5491	28129
2030	5482	14763	4900	25146
2040	4832	13343	4485	22661
2050	4216	12148	4043	20406

¹Kilowattstunden Endenergie *per capita* pro Jahr.

Tab. 8.2-25. Leistung in Watt Primärenergie *per capita* im Referenz- und 2000-Watt-Szenario.

Energiebedarf	Wohnen	Arbeiten	Mobilität	Summe
Referenzszenario				
2010	862	2311	843	4016
2020	843	2328	804	3975
2030	815	2339	767	3920
2040	782	2360	734	3877
2050	747	2391	702	3840
2000-Watt-Szenario				
2010	862	2311	843	4016
2020	805	2122	773	3701
2030	731	1929	690	3350
2040	656	1751	632	3039
2050	579	1595	569	2743

¹Watt Primärenergie *per capita*.

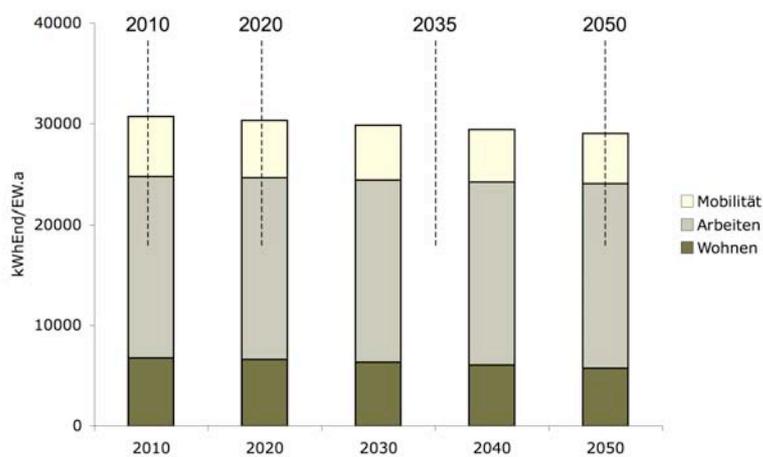


Abb. 8.2-15. *Per capita*-Jahresendenergiebedarf nach Sektoren im Referenzszenario.

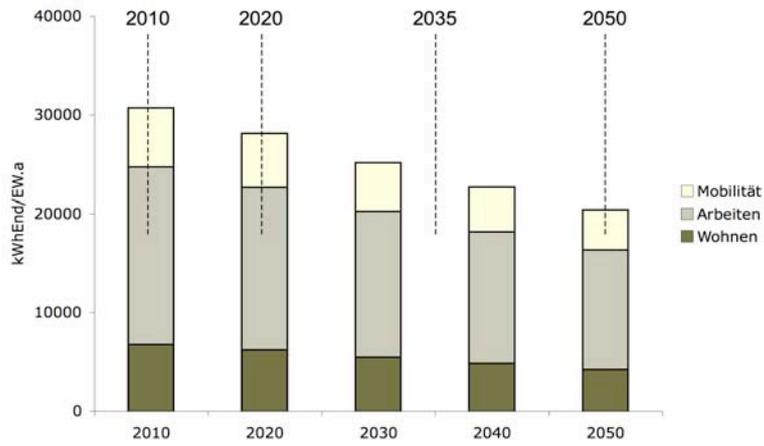


Abb. 8.2-16. *Per capita*-Jahresendenergiebedarf nach Sektoren im 2000-Watt-Szenario.

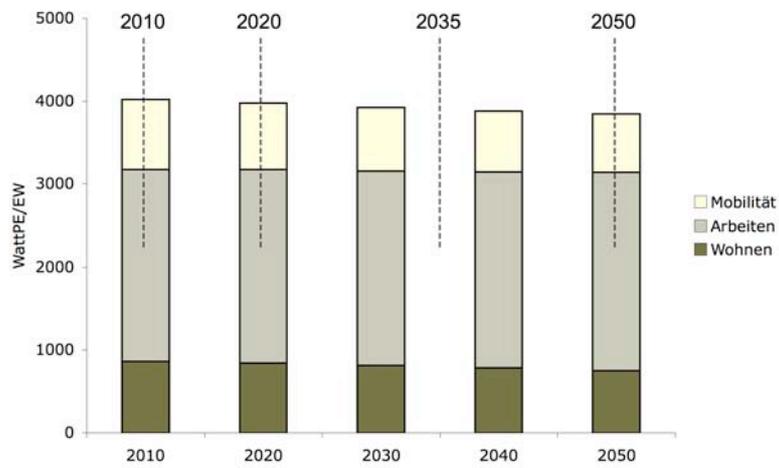


Abb. 8.2-17. *Per capita*-Leistung in Watt Primärenergie Referenzszenario.

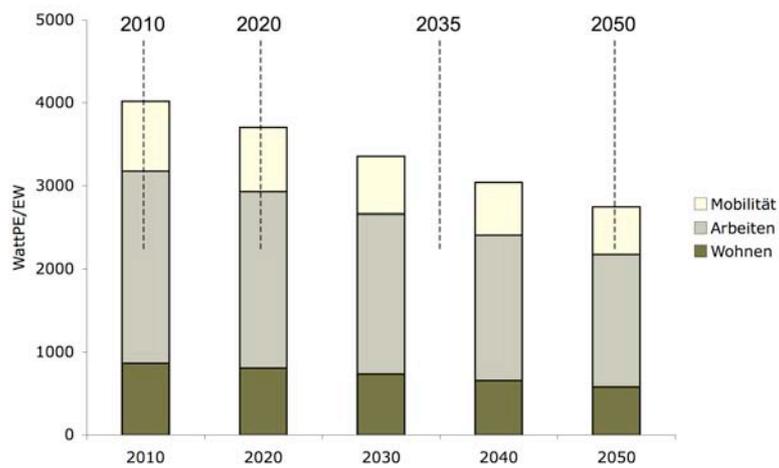
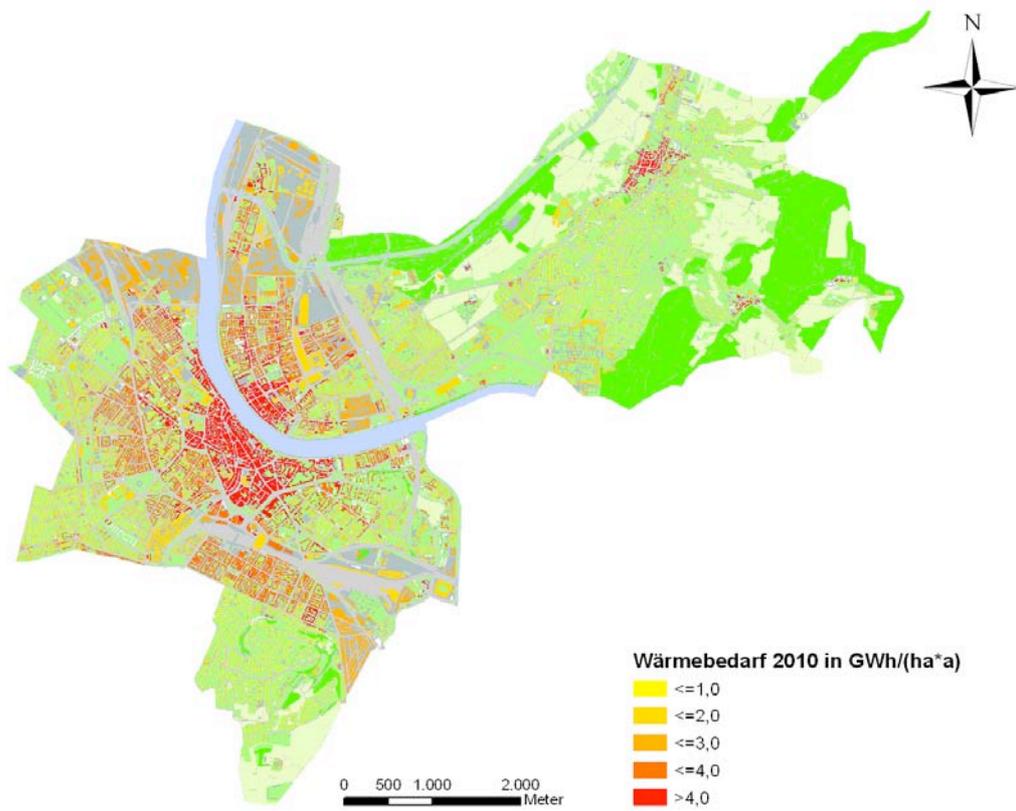
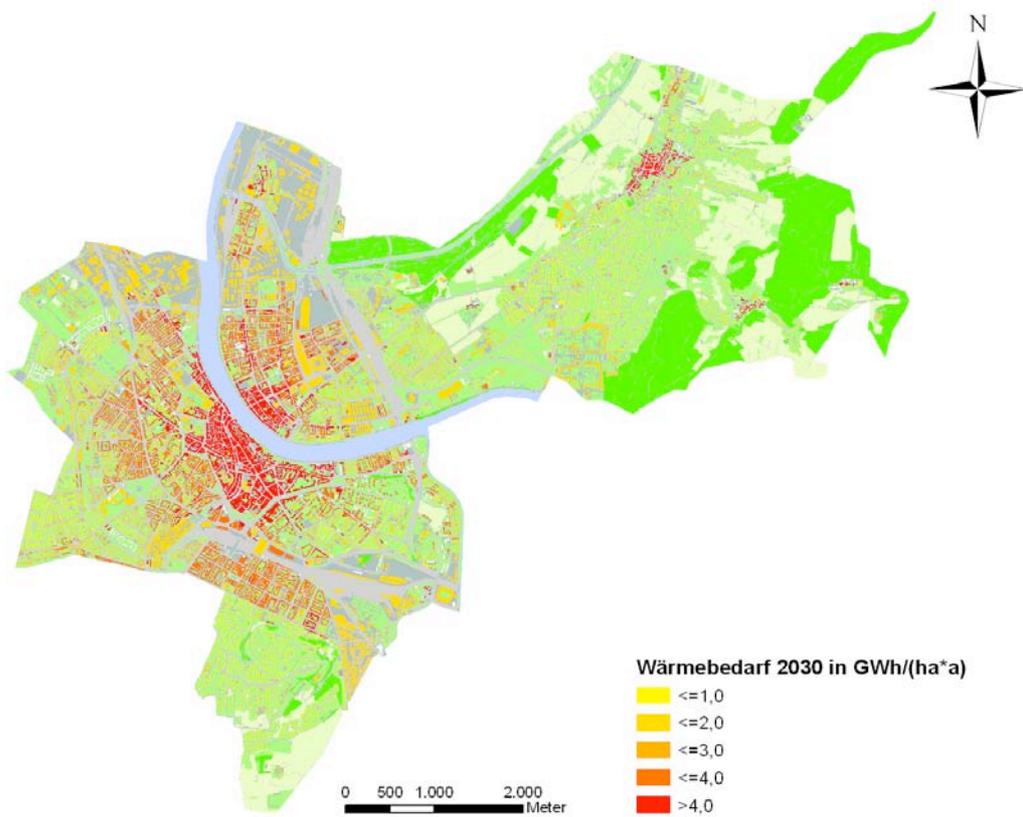


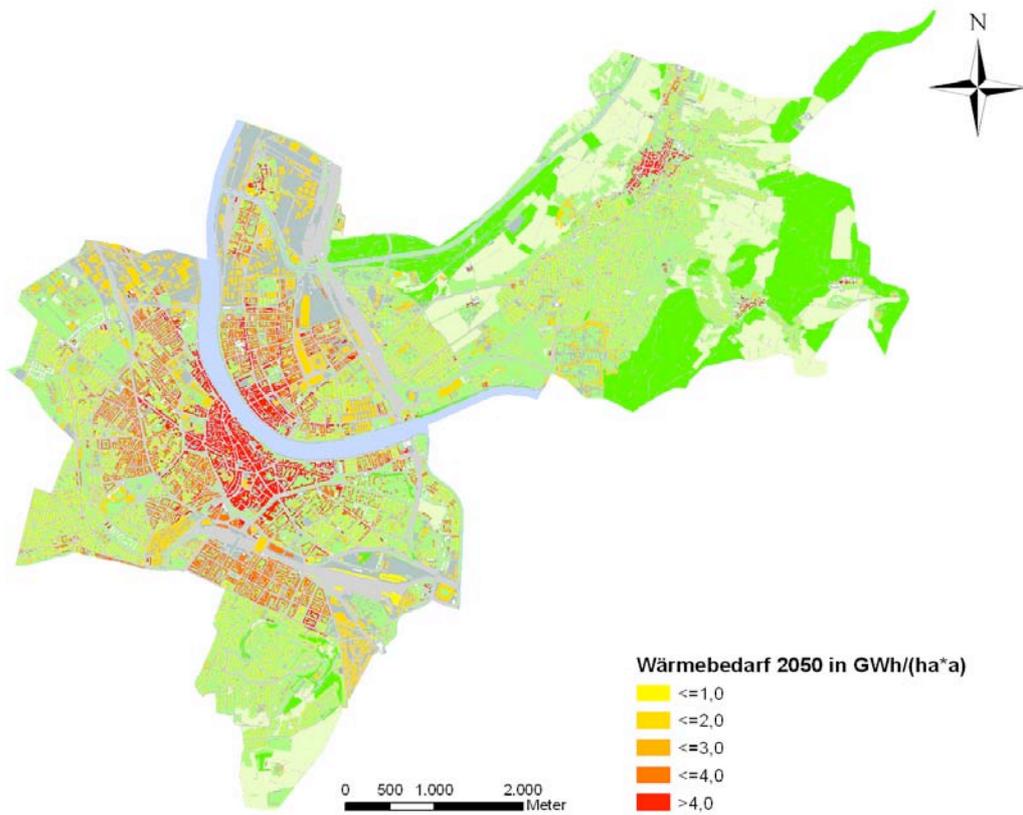
Abb. 8.2-18. *Per capita*-Leistung in Watt Primärenergie 2000-Watt-Szenario.



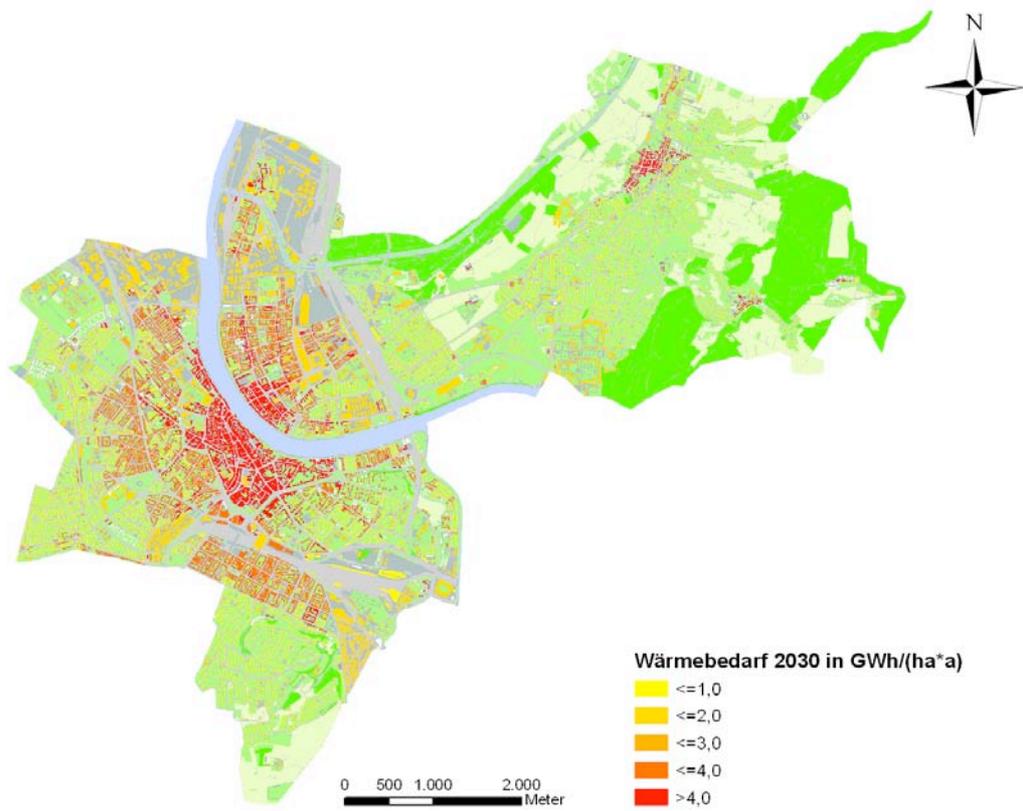
Karte 8.2-1. Aktueller Wärmeverbrauch.



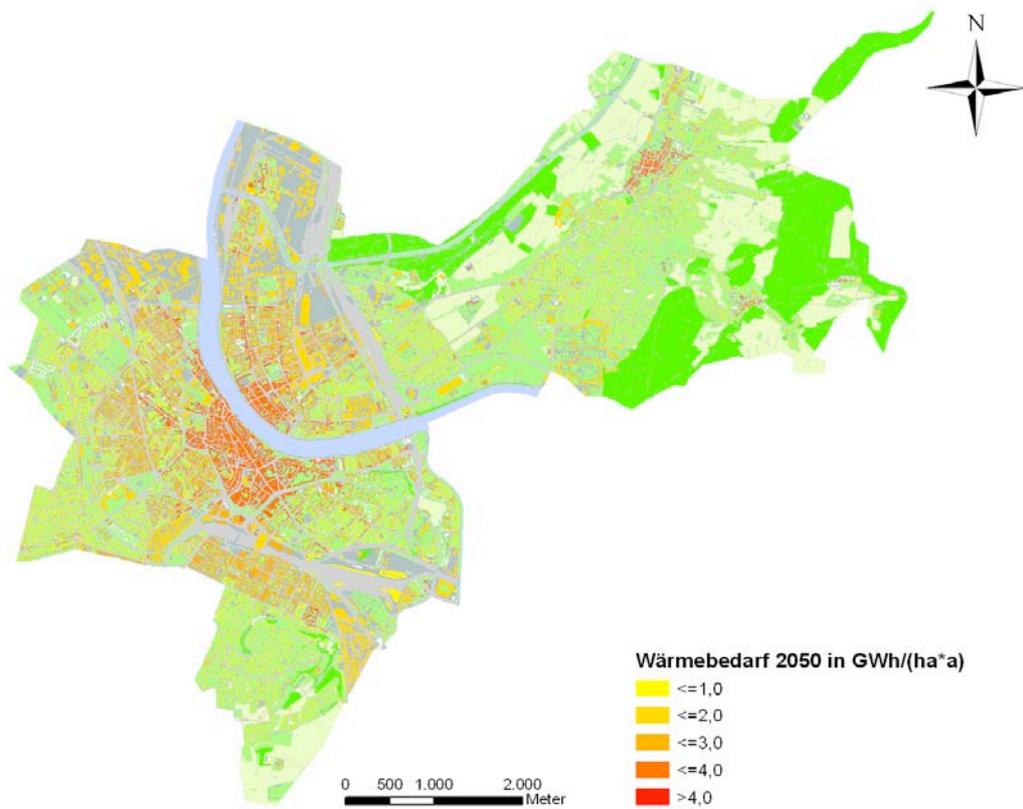
Karte 8.2-2. Zukünftiger Wärmebedarf für den Zeitschnitt 2030 für das Referenzszenario.



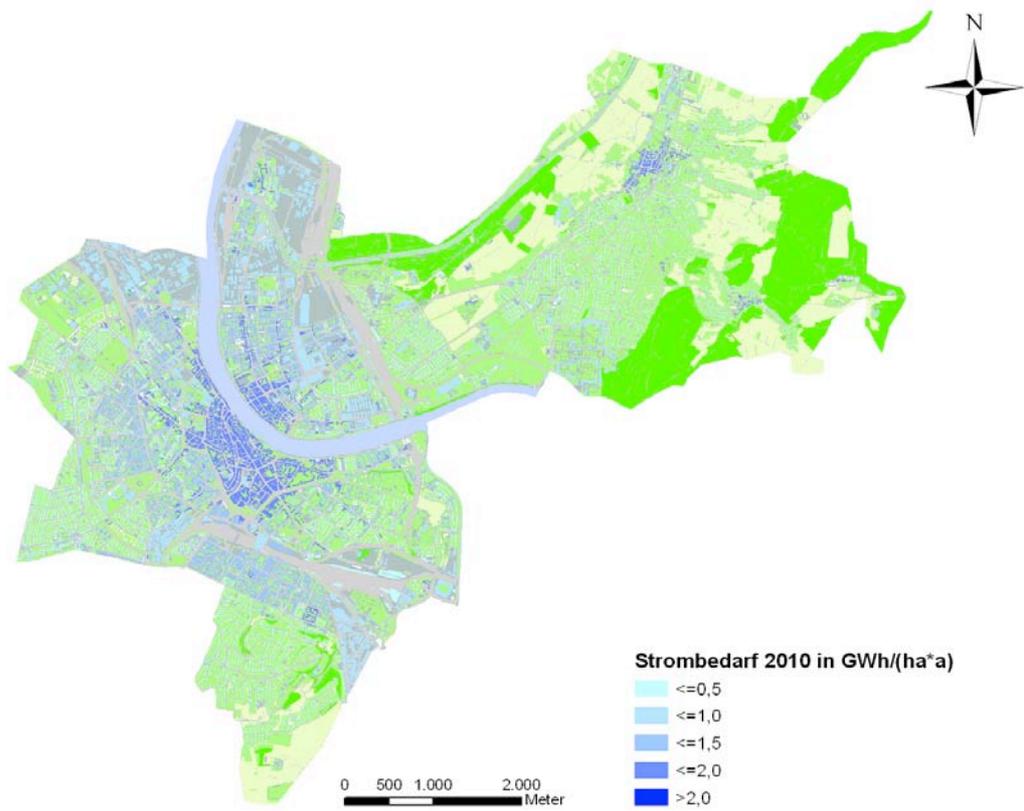
Karte 8.2-3. Zukünftiger Wärmebedarf für den Zeitschnitt 2050 für das Referenzszenario.



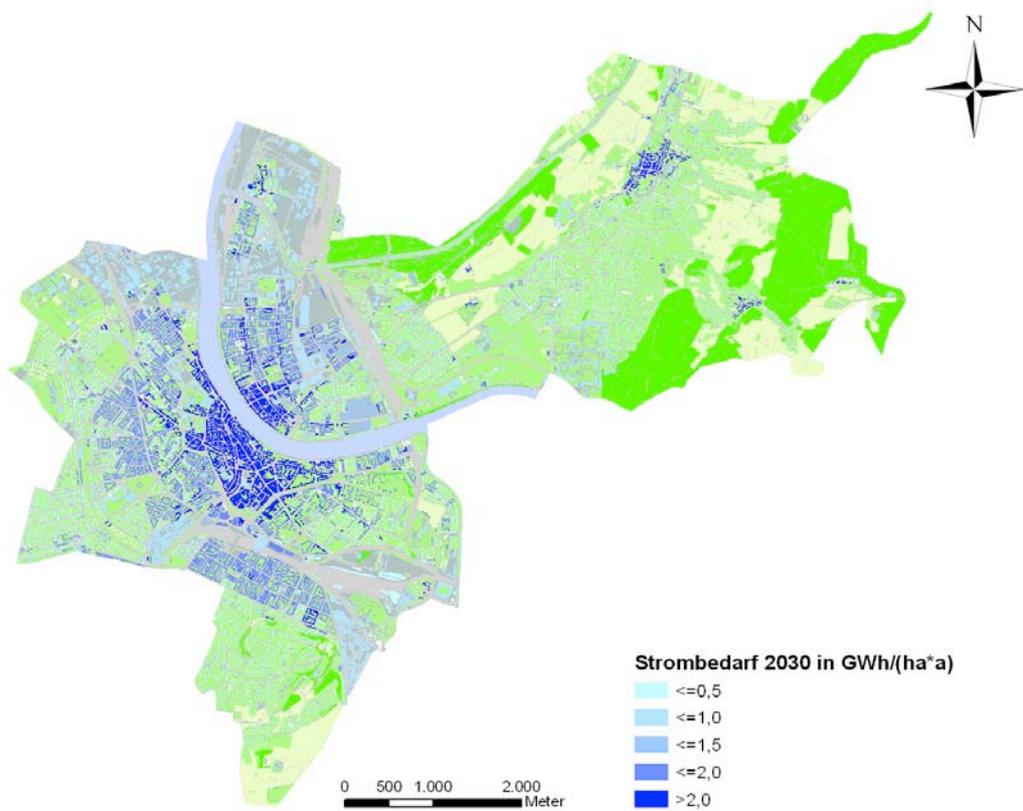
Karte 8.2-4. Zukünftiger Wärmebedarf für den Zeitschnitt 2030 für das 2000-Watt-Szenario.



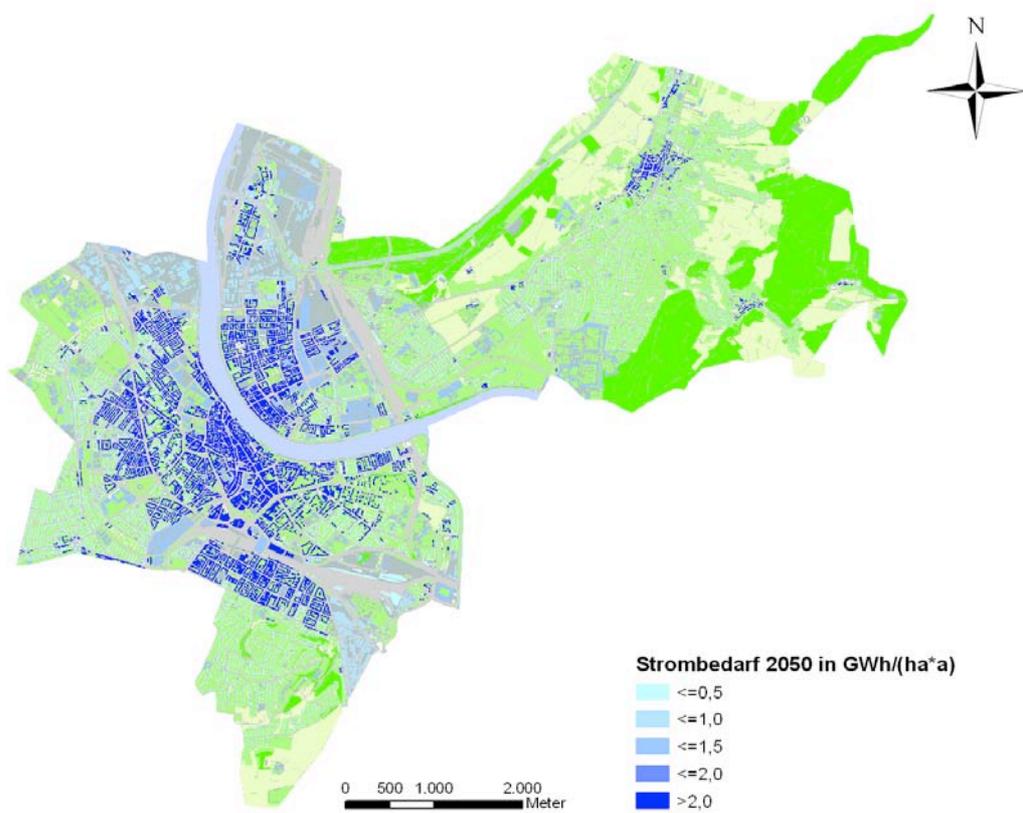
Karte 8.2-5. Zukünftiger Wärmebedarf für den Zeitschnitt 2050 für das 2000-Watt-Szenario.



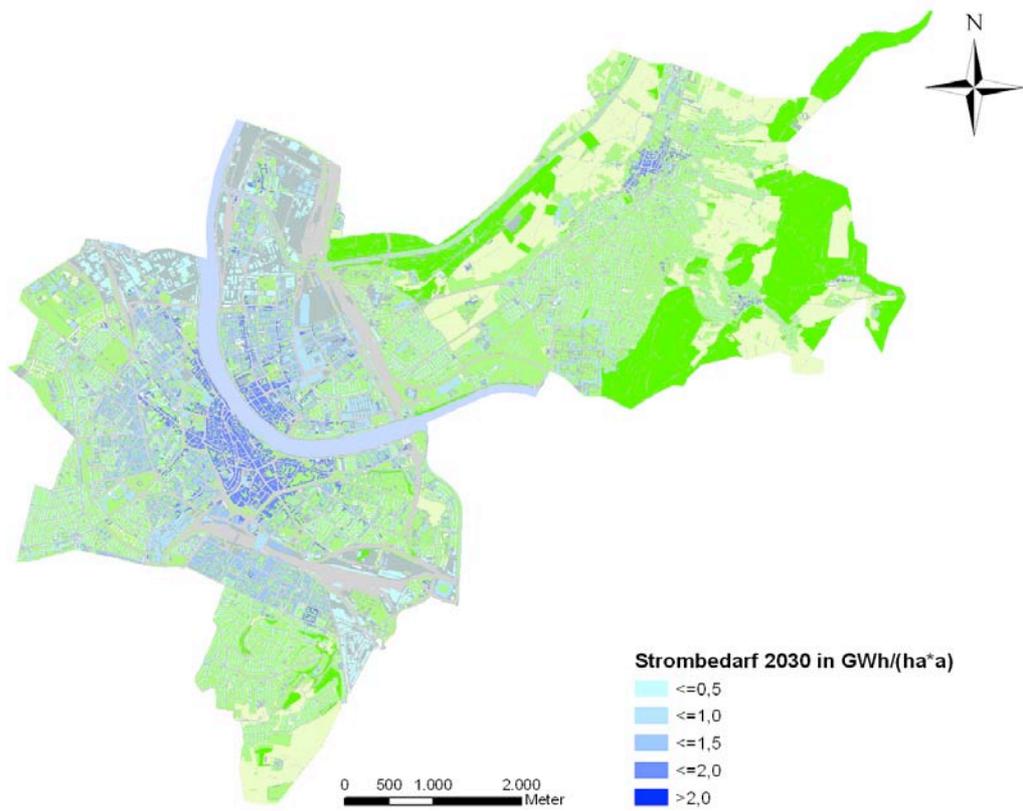
Karten 8.2-6. Aktueller Stromverbrauch.



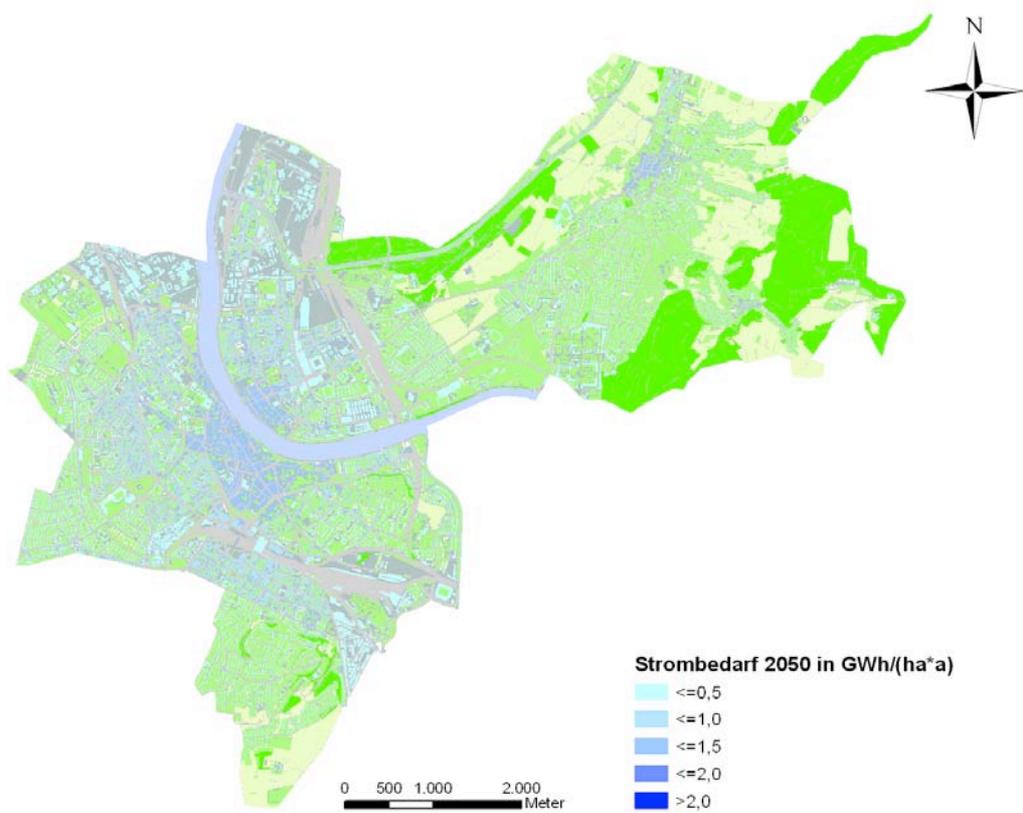
Karten 8.2-7. Zukünftiger Strombedarf für den Zeitschnitt 2030 für das Referenzszenario.



Karten 8.2-8. Zukünftiger Strombedarf für den Zeitschnitt 2050 für das Referenzszenario.



Karten 8.2-9. Zukünftiger Strombedarf für den Zeitschnitt 2030 für das 2000-Watt-Szenario.



Karten 8.2-10. Zukünftiger Strombedarf für den Zeitschnitt 2050 für das 2000-Watt-Szenario.

9. Endenergieerzeugung

9.1. Aktuelle Endenergieerzeugung

Auf der Grundlage der recherchierten Daten und der beschriebenen Annahmen lässt sich der aktuelle Stand der Nutzung erneuerbarer Energien ermitteln. Dabei ist zwischen Wärmeerträgen, Stromerträgen und Treibstoffträgen zu unterscheiden.

In den Tabellen 9.1-1 und 9.1-2 ist der aktuelle regenerative Endenergieertrag *intra muros* nach Produktionsoptionen aufgelistet. Dargestellt sind der gesamte Endenergieertrag und der *per capita* Ertrag. Weiterhin wurde dieser Ertrag in Leistung *per capita* umgerechnet. Biofuels werden im Kanton aktuell nicht erzeugt, es gibt daher keine regenerativen Treibstoffträge. Die Angaben beinhalten den Energiebedarf aller Energieparteien.

In Abbildung 9.1-1 und 9.1-2 ist die aktuelle regenerative Wärme- und Stromleistung *per capita* noch einmal graphisch dargestellt. Im Strombereich überwiegt deutlich die Wasserkraft, im Wärmebereich dagegen das KVA-Wärmenetz.

Tab. 9.1-1. Aktueller regenerativer Stromertrag im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie die Leistung *per capita*.

	Sonne (PV)	Wind	Wasser	Biomasse und Biogas	KVA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh _{End} /a] ¹	3	0	256	1	5	0	265
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a] ²	18	0	1331	8	24	0	1380
Leistung <i>per capita</i> [W/EW] ³	2	0	152	1	3	0	158

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität); ³Watt pro Einwohner (inklusive Arbeit und Mobilität)

Tab. 9.1-2. Aktueller regenerativer Wärmeertrag im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie die Leistung *per capita*.

	Sonne (Kollektoren)	Erdwärme (Sonden)	Abwasserwärme	Biomasse und Biogas	KVA	ARA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh _{End} /a] ¹	4	7	1	15	68	19	10	124
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a] ²	19	38	7	76	353	101	53	648
Leistung <i>per capita</i> [W/EW] ³	2	4	1	9	40	12	6	74

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität); ³Watt pro Einwohner (inklusive Arbeit und Mobilität)

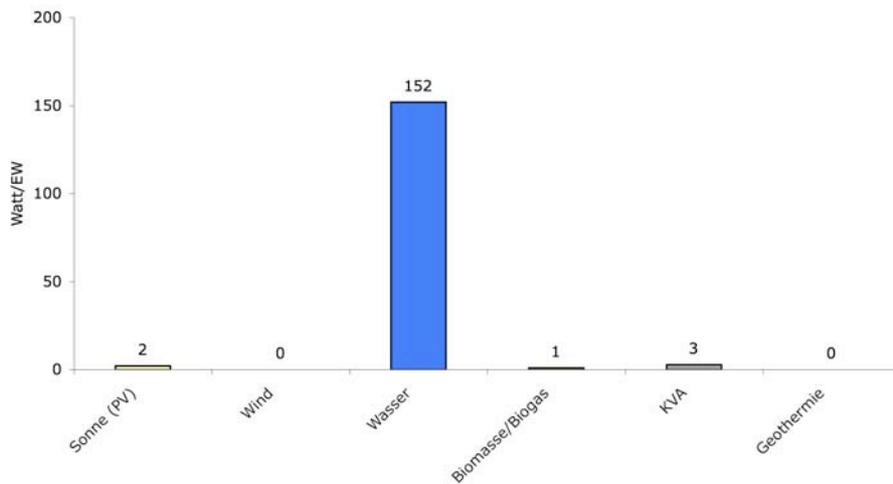


Abb. 9.1-1. Aktuelle regenerative Stromleistung (Endenergie) *intra muros per capita* (2010).

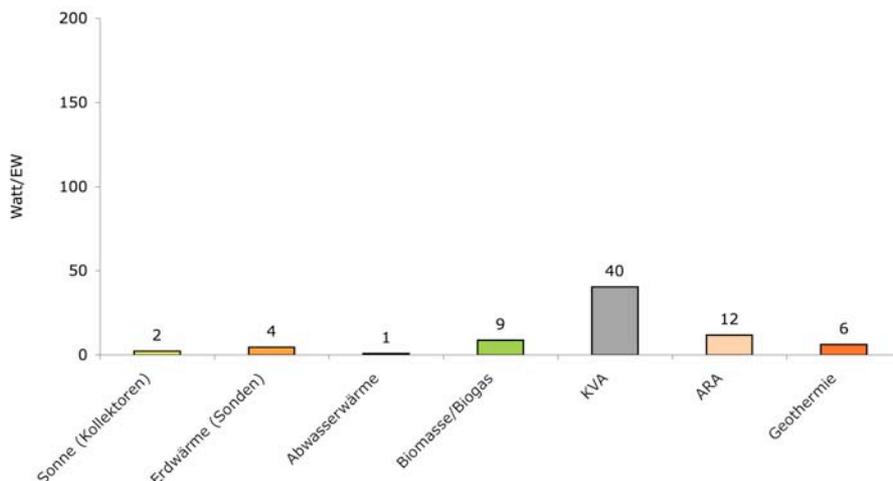


Abb. 9.1-2. Aktuelle regenerative Wärmeleistung (Endenergie) *intra muros per capita* (2010).

9.2. Zukünftige Endenergieerzeugung

Im Modellraum addieren sich verschiedene Potenziale der regenerativen Endenergieerzeugung. Die Bereitstellung von Wärme ist ortsgebunden, sofern keine Wärmenetze existieren. Da sich Wärme nur mit Verlusten über grössere Distanzen transportieren lässt, sind dezentrale Optionen der Wärmebereitstellung unmittelbar vor Ort zu nutzen. Dabei ist sicherzustellen, dass die saisonalen Wärmeschwankungen und Heizperioden berücksichtigt werden, so dass keine Wärmespeicherung erforderlich ist.

Allein Energieträger wie Biogas und Holz lassen sich über grössere Distanzen transportieren und am Ort des Bedarfs in Wärme umwandeln. Im Prognosemodell wird dies durch die Transformation von Biomasse in Wärme und Strom mit modernen Blockheizkraftwerken berücksichtigt.

Im Gegensatz zur Wärmebereitstellung ist die Einspeisung von Strom ins Stromnetz unabhängig

vom Ort der Erzeugung. Aus diesem Grund werden die Potenziale der Stromerzeugung erst nach der Sicherstellung einer nachhaltigen Wärmeversorgung bestimmt.

Auf der Grundlage der zuvor beschriebenen Datenlage, Annahmen und Prognosen ist festzustellen, dass die erneuerbare Energieproduktion im Modellraum deutlich zunehmen wird. In den Tabellen 9.2-1 bis 9.2-4 sind die potenziellen regenerativen Endenergieerträge *intra muros* nach Produktionsoptionen aufgelistet. Dargestellt sind der gesamte Endenergieertrag und der *per capita* Ertrag. Weiterhin wurde dieser Ertrag in Leistung *per capita* umgerechnet. Biofuels werden im Kanton aktuell kaum erzeugt, es gibt daher so gut wie keine regenerativen Treibstoffträge. Die Angaben beinhalten den Energiebedarf aller Energieparteien. Zu beachten ist, dass die regenerative Endenergieerzeugung städtebaulich kompatibel ist, also keine Eingriffe in Denkmalschutzbereiche vorsieht. Sie ist ebenfalls im Einklang mit ökologischen Randbedingungen, was sowohl für die Nutzung der Erdwärme gilt (Ausschlusszonen) als auch für die gewässerverträgliche Nutzung der Laufwasserkraft. Aus Gründen des Landschaftsschutzes wurde auf Windkraft ganz verzichtet.

Die Abbildungen 9.2-1 bis 9.2-4 zeigen die regenerative Leistung *per capita* für beide Szenarien im Prognosehorizont. Danach nimmt im Strombereich in beiden Szenarien nur die Photovoltaik zu, im 2000-Watt-Szenario aber wesentlich deutlicher als im Referenzszenario. Im Wärmebereich nimmt in beiden Szenarien die dezentrale Wärmebereitstellung über Sonnenkollektoren und Erdwärmesonden zu. Im 2000-Watt-Szenario wird auch die Abwasserwärmerückgewinnung zur Warmwasserbereitstellung deutlich ausgebaut. Die Kehrichtverbrennung bleibt in beiden Szenarien eine stabile Grösse im regenerativen Wärmemix.

Tab. 9.2-1. Regeneratives Strompotenzial (Endenergie) im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie als Leistung *per capita* im Referenzszenario.

	Sonne (PV)	Wind	Wasser	Biomasse und Biogas	KVA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh_{End}/a]¹							
2010	3	0	256	1	5	0	265
2020	6	0	256	1	5	0	267
2030	15	0	256	1	5	0	276
2040	36	0	256	1	5	0	298
2050	78	0	256	1	5	0	339
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a]²							
2010	18	0	1331	8	24	0	1380
2020	29	0	1331	8	24	0	1392
2030	76	0	1331	8	24	0	1439
2040	188	0	1331	8	24	0	1551
2050	405	0	1331	8	24	0	1768
Leistung <i>per capita</i> [W/EW]³							
2010	2	0	152	1	3	0	158
2020	3	0	152	1	3	0	159
2030	9	0	152	1	3	0	164
2040	21	0	152	1	3	0	177
2050	46	0	152	1	3	0	202

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität);
³Watt pro Einwohner (inklusive Arbeit und Mobilität).

Tab. 9.2-2. Regeneratives Strompotenzial (Endenergie) im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie als Leistung *per capita* im 2000-Watt-Szenario.

	Sonne (PV)	Wind	Wasser	Biomasse und Biogas	KVA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh_{End}/a]¹							
2010	3	0	256	1	5	0	265
2020	51	0	256	1	5	0	313
2030	153	0	256	1	5	107	522
2040	195	0	256	1	5	107	564
2050	199	0	256	1	5	107	568
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a]²							
2010	18	0	1331	8	24	0	1380
2020	265	0	1331	8	24	0	1628
2030	796	0	1331	8	24	557	2716
2040	1017	0	1331	8	24	557	2937
2050	1037	0	1331	8	24	557	2957
Leistung <i>per capita</i> [W/EW]³							
2010	2	0	152	1	3	0	158
2020	30	0	152	1	3	0	186
2030	91	0	152	1	3	64	310
2040	116	0	152	1	3	64	335
2050	118	0	152	1	3	64	338

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität);

³Watt pro Einwohner (inklusive Arbeit und Mobilität).

Tab. 9.2-3. Regeneratives Wärmepotenzial (Endenergie) im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie als Leistung *per capita* im Referenzszenario.

	Sonne (Kollektoren)	Erdwärme (Sonden)	Abwasserwärme	Biomasse und Biogas	KVA	ARA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh _{End} /a] ¹								
2010	4	7	1	15	68	19	10	124
2020	6	11	2	17	68	19	18	142
2030	15	13	2	22	68	19	18	157
2040	33	14	2	22	68	19	18	177
2050	58	14	2	22	68	19	18	203
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a] ²								
2010	19	38	7	76	353	101	53	648
2020	31	55	10	91	353	101	96	737
2030	77	66	11	117	353	101	94	819
2040	172	71	12	117	353	101	94	921
2050	302	75	13	117	353	101	94	1055
Leistung <i>per capita</i> [W/EW] ³								
2010	2	4	1	9	40	12	6	74
2020	3	6	1	10	40	12	11	84
2030	9	7	1	13	40	12	11	93
2040	20	8	1	13	40	12	11	105
2050	34	9	1	13	40	12	11	120

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität);

³Watt pro Einwohner (inklusive Arbeit und Mobilität).

Tab. 9.2-4. Regeneratives Wärmepotenzial (Endenergie) im Kanton Basel-Stadt (*intra muros*), absolut und *per capita* sowie als Leistung *per capita* im 2000-Watt-Szenario.

	Sonne (Kollektoren)	Erdwärme (Sonden)	Abwasserwärme	Biomasse und Biogas	KVA	ARA	Geothermie	Summe
Gesamtertrag [GWh _{End} /a] ¹								
2010	4	7	1	15	68	19	10	124
2020	42	46	8	17	68	19	18	219
2030	96	107	17	22	68	19	79	409
2040	99	136	20	22	68	19	79	443
2050	95	139	19	22	68	19	79	442
Ertrag <i>per capita</i> [kWh/a] ²								
2010	19	38	7	76	353	101	53	648
2020	219	238	41	91	353	101	96	1140
2030	499	559	90	117	353	101	412	2132
2040	514	706	105	117	353	101	412	2308
2050	494	725	98	117	353	101	412	2301
Leistung <i>per capita</i> [W/EW] ³								
2010	2	4	1	9	40	12	6	74
2020	25	27	5	10	40	12	11	130
2030	57	64	10	13	40	12	47	243
2040	59	81	12	13	40	12	47	263
2050	56	83	11	13	40	12	47	263

¹Gigawattstunden Endenergie pro Jahr; ²Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr (inklusive Arbeit und Mobilität);

³Watt pro Einwohner (inklusive Arbeit und Mobilität).

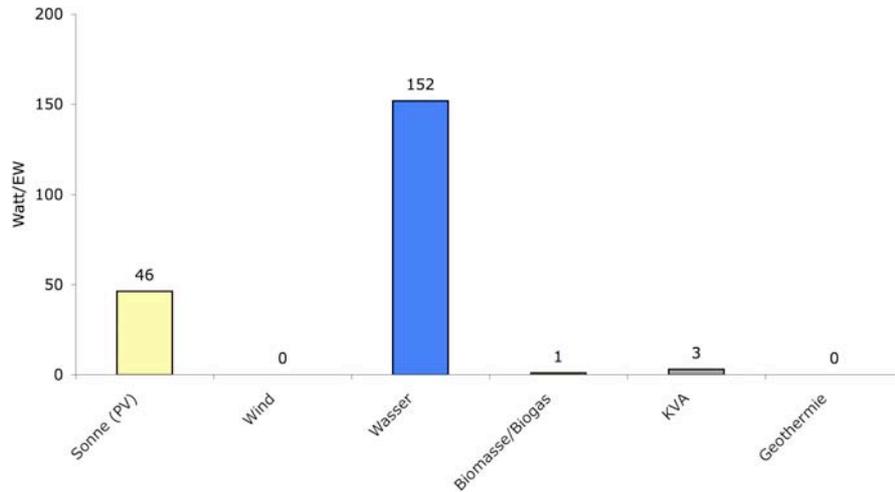


Abb. 9.2-1. Regenerative Stromleistung im Referenzszenario 2050 (Endenergie) *intra muros per capita*.

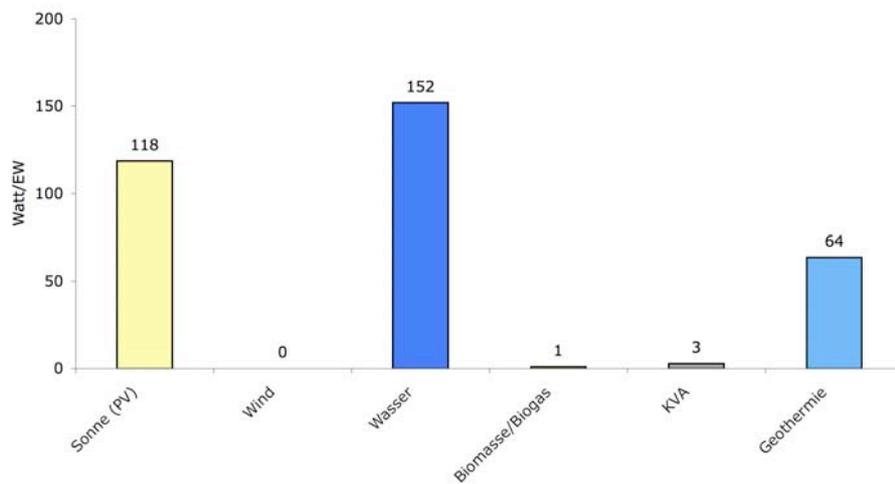


Abb. 9.2-2. Regenerative Stromleistung im 2000-Watt-Szenario 2050 (Endenergie) *intra muros per capita*.

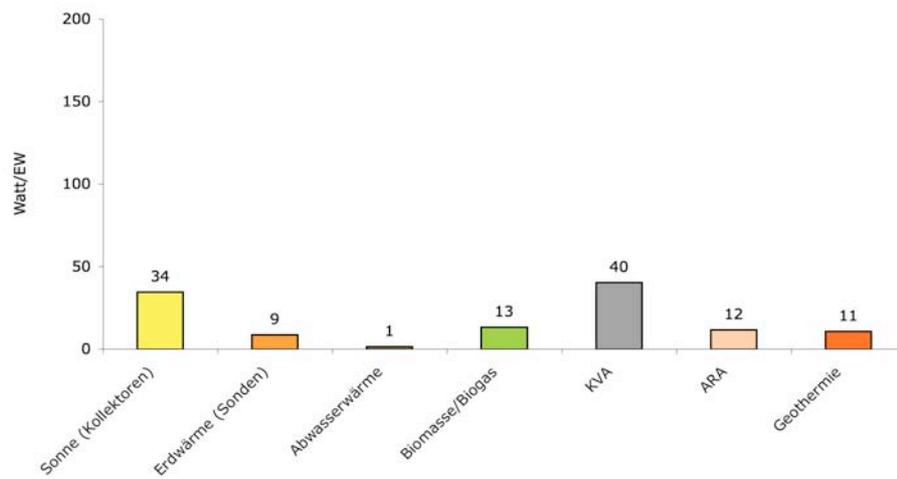


Abb. 9.2-3. Regenerative Wärmeleistung im Referenzszenario 2050 (Endenergie) *intra muros per capita*.

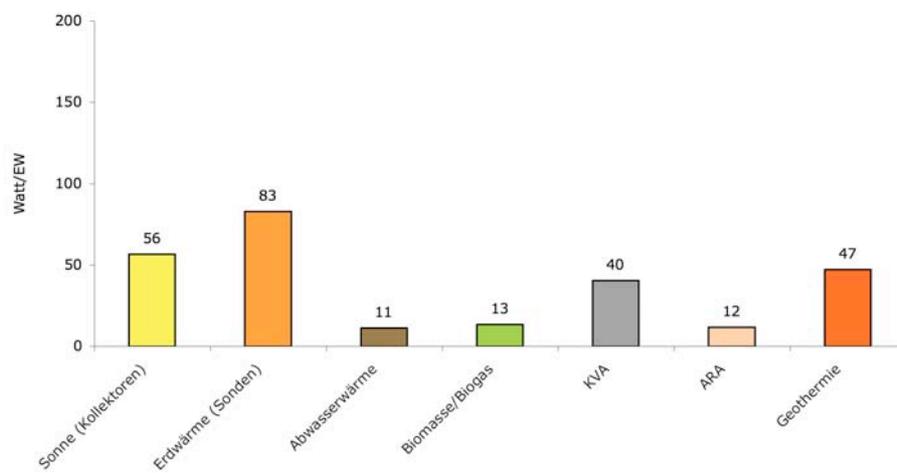
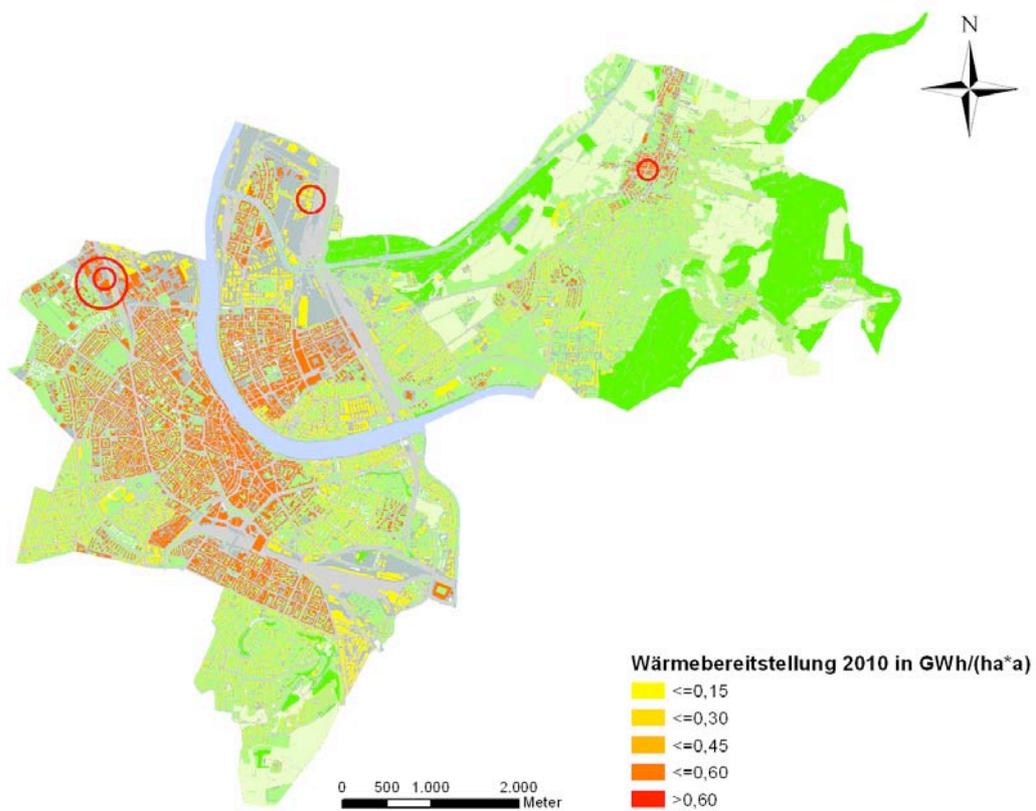


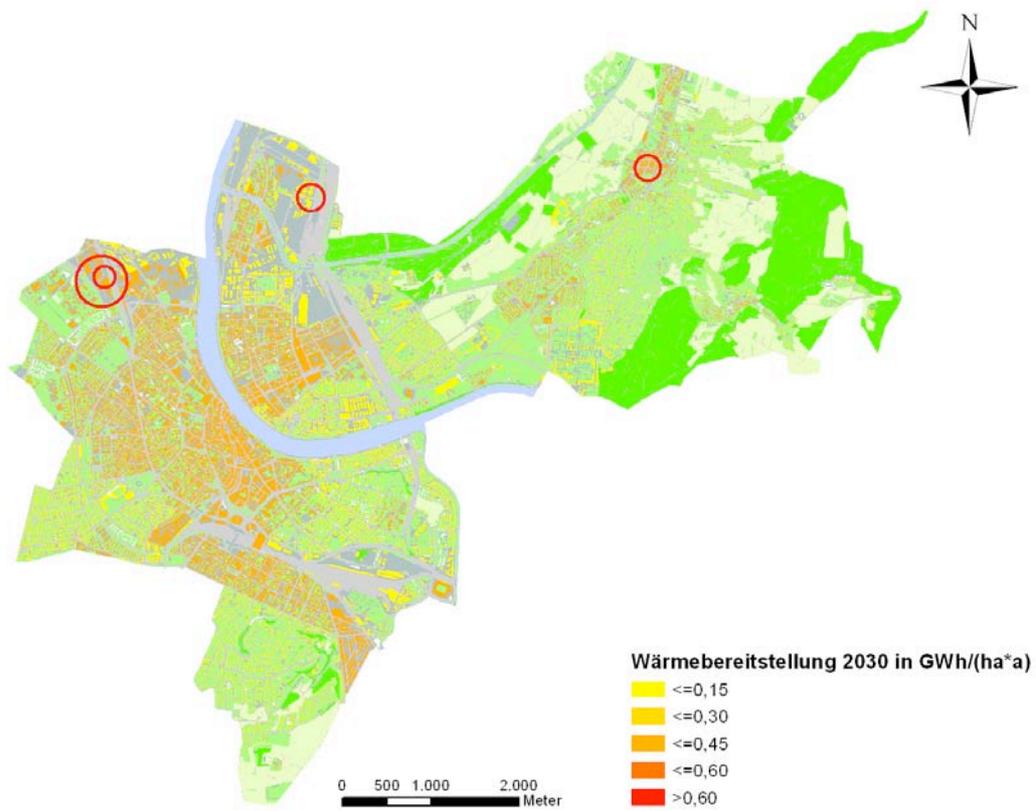
Abb. 9.2-4. Regenerative Wärmeleistung im 2000-Watt-Szenario 2050 (Endenergie) *intra muros per capita*.

In den Karten 9.2-1 bis 9.2-5 ist die aktuelle und zukünftige regenerative Wärmeproduktion dargestellt. Die dezentrale Wärmebereitstellung aus Sonnenkollektoren, Erdwärmesonden und Abwasser ist hier als auf die Fläche bezogene Wärmeproduktionsdichte dargestellt und eine Funktion des Stadtraumtyps. Dazu kommt die konkrete Wärmeproduktion aus der Kehrichtverbrennung, der Biomasse und der Geothermie. Die regenerative Wärmeproduktion passt sich dem Wärmebedarf allmählich an, im 2000-Watt-Szenario schneller als im Referenzszenario. Sie übersteigt nicht den Wärmebedarf, da Wärme kaum gespeichert werden kann. Ausserhalb der Wärmenetze passt sich die Wärmeproduktion auch räumlich dem Wärmebedarf an. Zudem ist sie auf den saisonalen Bedarf abgestimmt, worauf noch eingegangen wird. Die Wärmeproduktion ist somit räumlich und zeitlich am Bedarf orientiert.

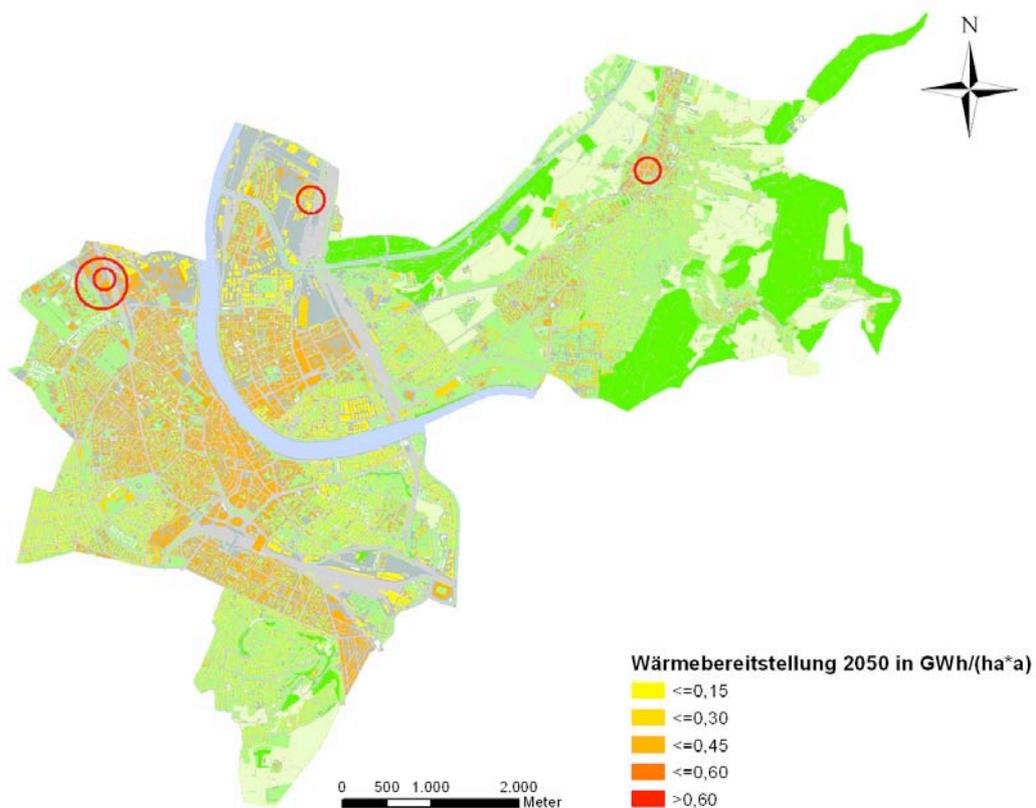
Die Karten 9.2-6 bis 9.2-10 zeigen die aktuelle und zukünftige regenerative Stromproduktion in den Zeitschnitten 2010, 2030 und 2050 für beide Szenarien. Die Stromproduktion als diffuse Option (hier nur Photovoltaik) wird hier ebenfalls auf die Fläche bezogen als Stromproduktionsdichte dargestellt. Dazu kommen konkrete Inputs aus der Wasserkraft, den Blockheizkraftwerken, der Kehrichtverbrennung und der Geothermie (ab 2030). Die regenerative Stromproduktion nimmt besonders deutlich im 2000-Watt-Szenario zu. Die Stromproduktion über die Gebäudehülle ist eine Funktion des Stadtraumtyps bzw. der sich daraus ergebenden solaren Gütezahl. Sie unterliegt städtebaulichen Belangen, insbesondere den Auflagen des Denkmalschutzes.



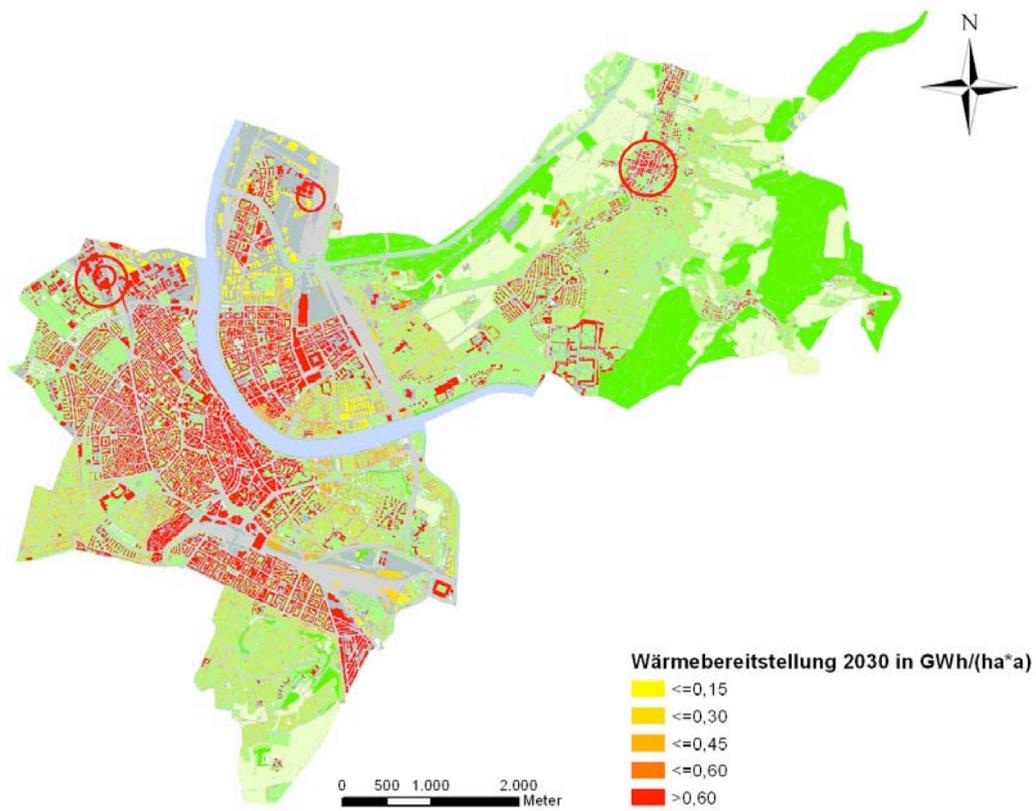
Karte 9.2-1. Aktuelle regenerative Wärmebereitstellung. Die Kreise geben punktuelle Inputs wieder (je grösser der Kreis, desto grösser der Input). Im Bereich der Wärmenetze beträgt der regenerative *intra muros*-Anteil 0.51 GWh/ha.a (10% der Gesamtwärmebereitstellung, gemittelt über das gesamte Netz). Auch die dezentrale, regenerative Wärmebereitstellung ausserhalb der Netze ist gering.



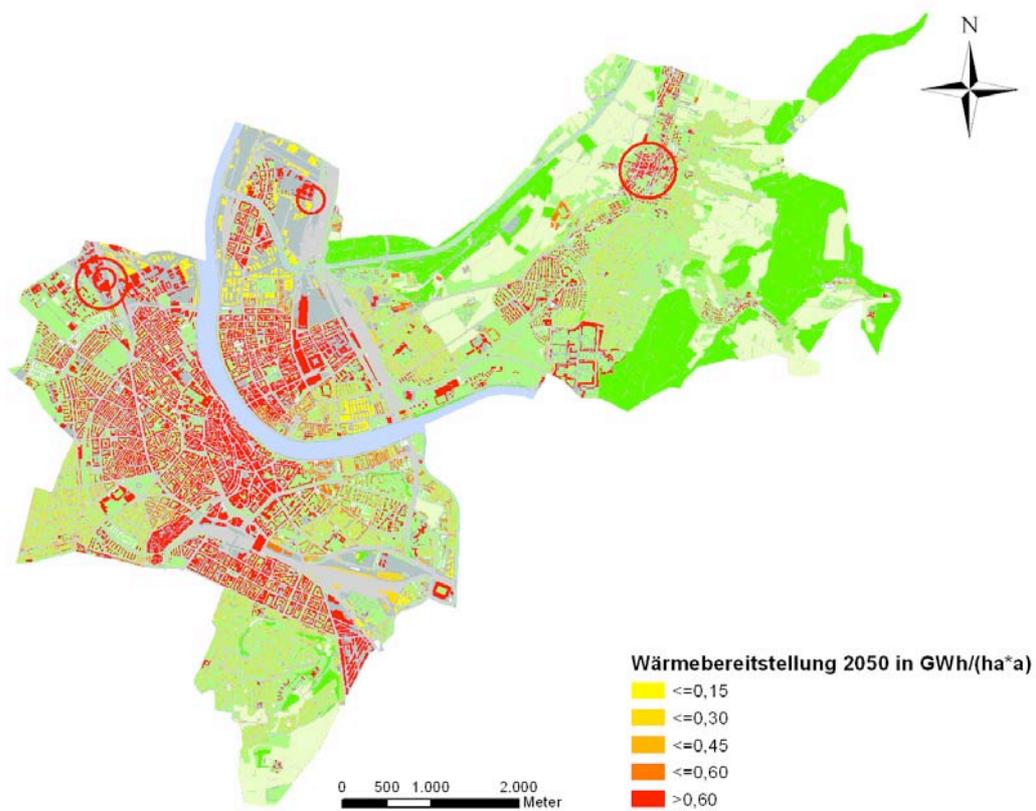
Karte 9.2-2. Zukünftige regenerative Wärmebereitstellung im Zeitschnitt 2030 im Referenzszenario.



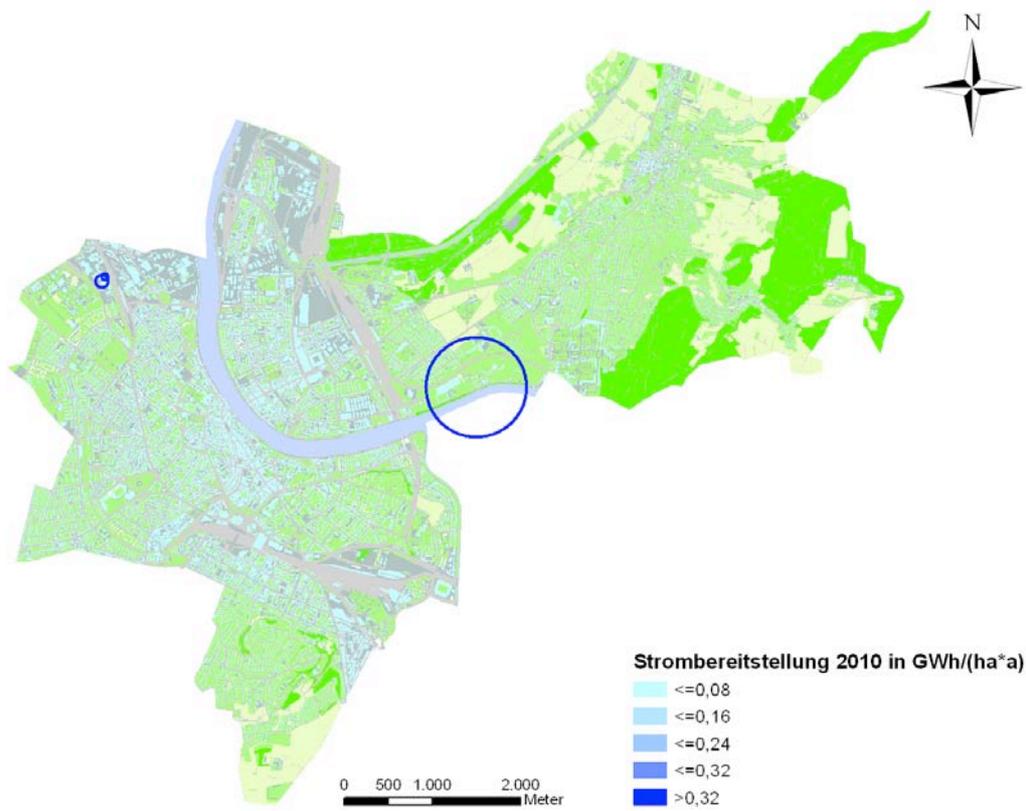
Karte 9.2-3. Zukünftige regenerative Wärmebereitstellung im Zeitschnitt 2050 im Referenzszenario. In den Zeitschnitten ist kaum eine Zunahme festzustellen. Im Bereich der Wärmenetze beträgt der regenerative *intra muros*-Anteil 2050 0,44 GWh/a (2030 0,43 GWh/ha.a).



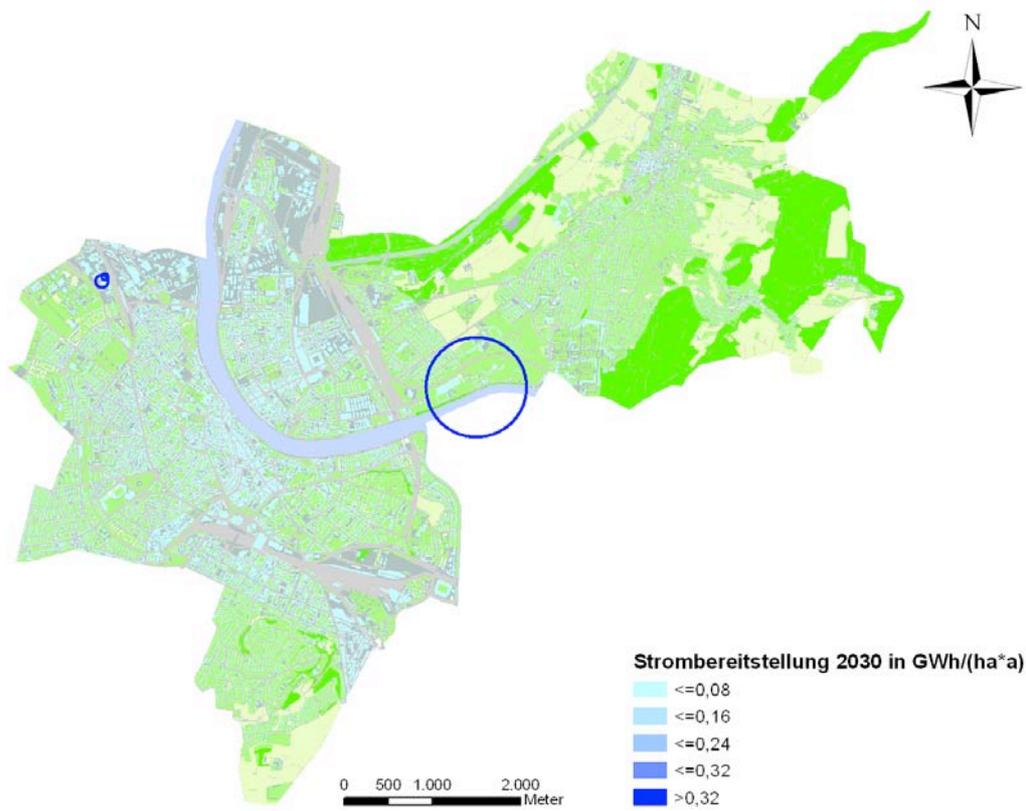
Karte 9.2-4. Zukünftige regenerative Wärmebereitstellung im Zeitschnitt 2030 im 2000-Watt-Szenario.



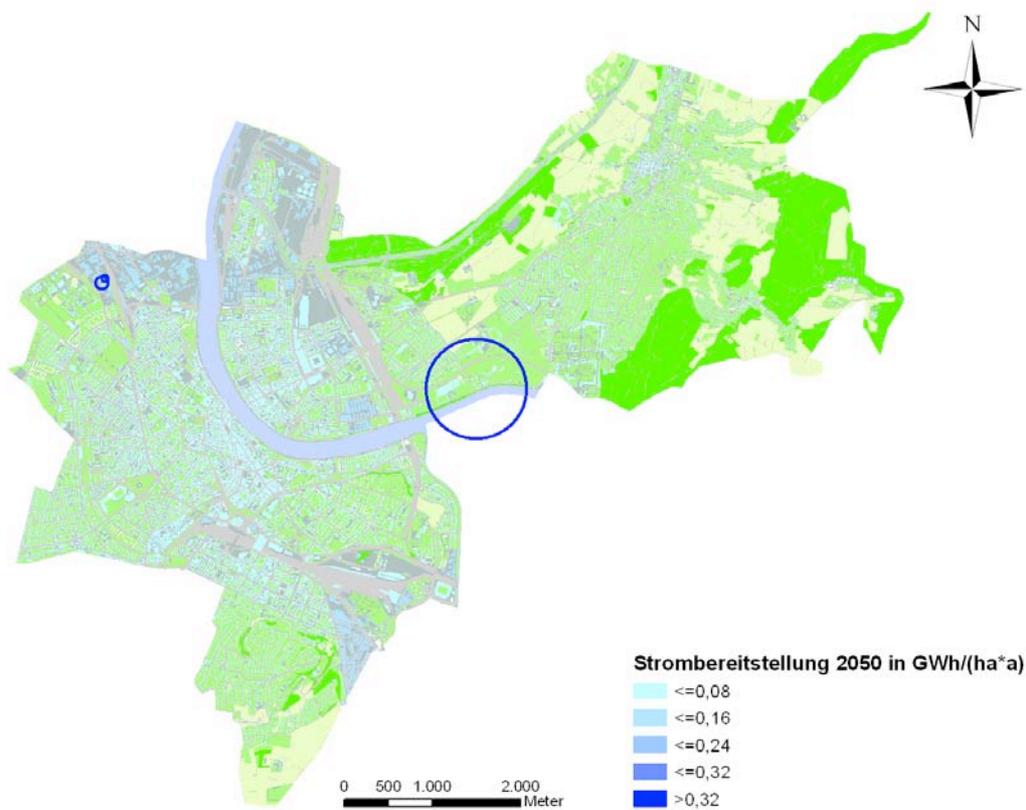
Karte 9.2-5. Zukünftige regenerative Wärmebereitstellung im Zeitschnitt 2050 im 2000-Watt-Szenario. Innerhalb der Wärmenetze beträgt der regenerative Anteil bereits 0,71 GWh/ha.a (2030 0,60 GWh/ha.a).



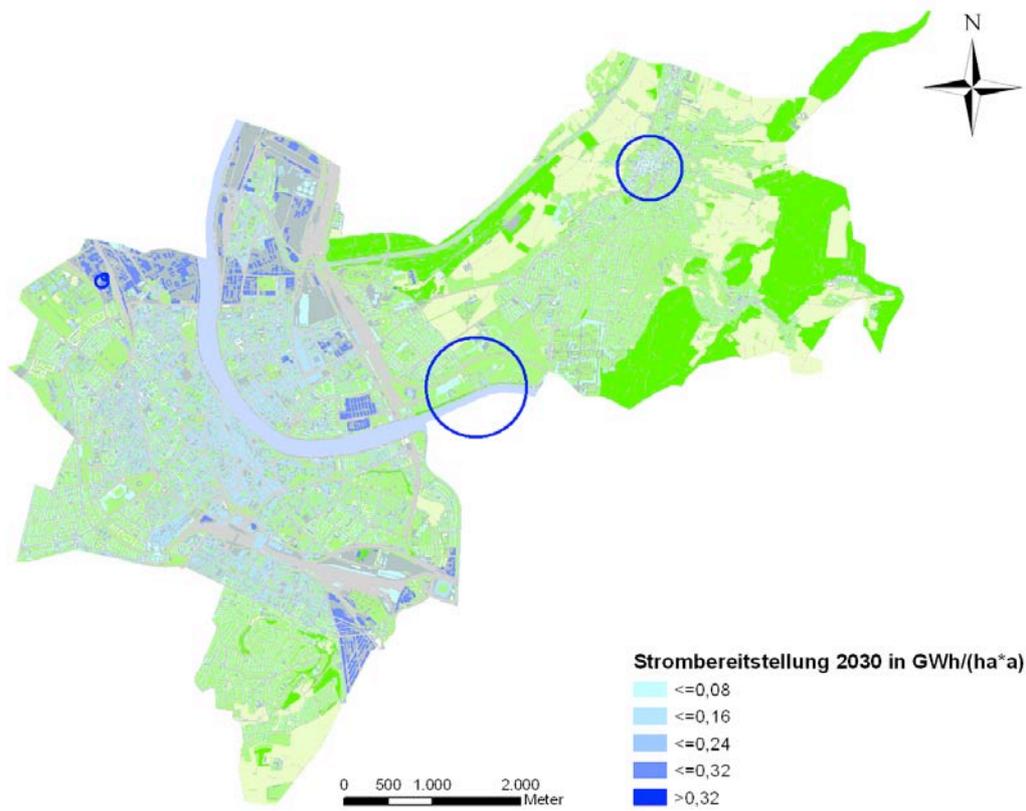
Karte 9.2-6. Aktuelle regenerative Stromproduktion. Die Kreise geben punktuelle Inputs wieder (je grösser der Kreis, desto grösser der Input). Die dezentrale, regenerative Stromerzeugung ist gering.



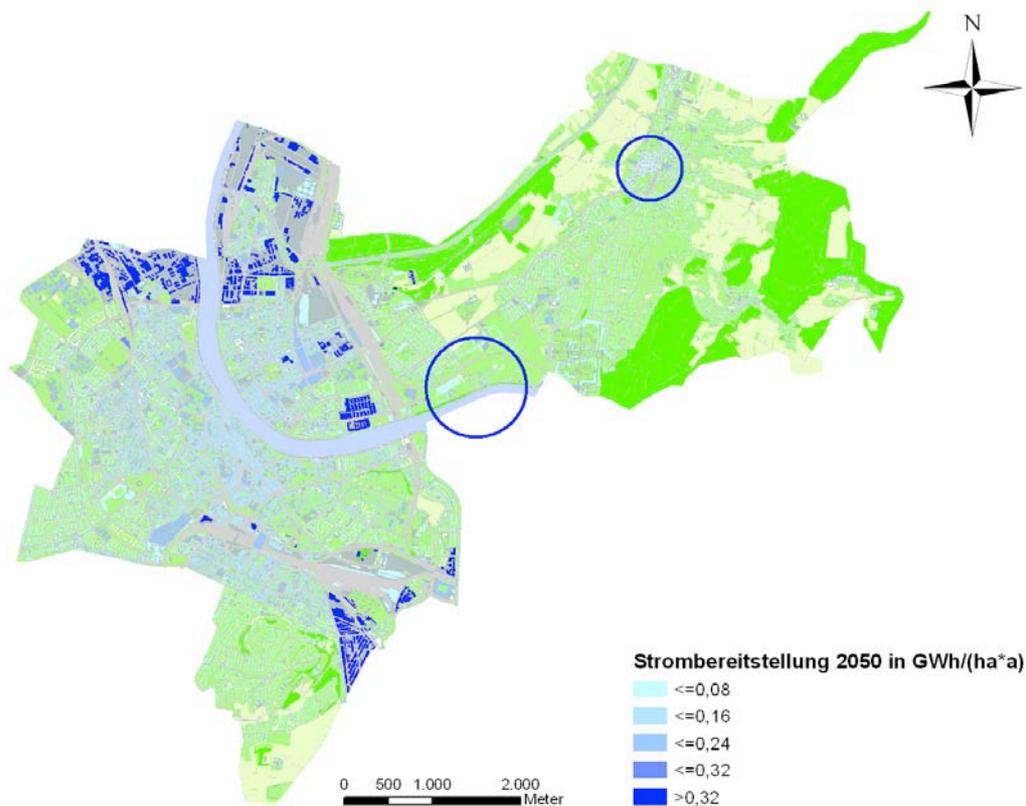
Karte 9.2-7. Zukünftige regenerative Stromproduktion im Zeitschnitt 2030 für das Referenzszenario.



Karte 9.2-8. Zukünftige regenerative Stromproduktion im Zeitschnitt 2050 für das Referenzszenario. Die Kreise geben punktuelle Inputs wieder (je grösser der Kreis, desto grösser der Input). Die dezentrale, regenerative Stromerzeugung nimmt kaum zu.



Karte 9.2-9. Zukünftige regenerative Stromproduktion im Zeitschnitt 2030 für das 2000-Watt-Szenario.



Karte 9.2-10. Zukünftige regenerative Stromproduktion im Zeitschnitt 2050 für das 2000-Watt-Szenario. Die dezentrale, regenerative Stromerzeugung nimmt deutlich zu, insbesondere in Stadträume mit hoher solarer Gütezahl.

10. Treibhausgase

10.1. Weisse und graue Emissionen

Es wird zwischen weissen und grauen Treibhausgasemissionen unterschieden. Die *weissen* THG-Emissionen entstehen durch die im Modellgebiet verbrauchte Endenergie. Die *grauen* THG-Emissionen beziehen sich auf die verbrauchte graue Energie, die sich im Nettoimport von Gütern versteckt.

10.2. Aktuelle Emissionen

Weisse Emissionen

Die aktuellen Treibhausgasemissionen ergeben sich aus Treibhausgas-Emissionskoeffizienten und dem Endenergieverbrauch. Die Endenergie wird durch Treibhausgas-Emissionskoeffizienten in CO₂-äquivalente Emissionen umgerechnet. Hierbei werden die THG-Emissionen der verbrauchten Endenergie sowie die Emissionen der für deren Bereitstellung benötigten grauen Energie berücksichtigt. In Tabelle 10.2-1 sind der Energieverbrauch nach Energieträgern und Energieform und die sich daraus ergebenden THG-Emissionen gelistet.

Die Abbildungen 10.2-1 und 10.2-2 veranschaulichen die absoluten und relativen Emissionen der für den Modellraum relevanten Energieträger und Endenergieerzeugungsoptionen. Obwohl im relativen Vergleich die Dieseltreibstoffe die höchsten Emissionen verursachen, sind im absoluten Vergleich die Emissionen aus Erdgas am höchsten. Trotz der Berücksichtigung des Sektors Mobilität führt die zu einem erheblichen Teil auf Erdgas basierende Wärmebereitstellung zu dem hohen Wert für Erdgas. Die Emissionen aus regenerativer Endenergieerzeugung sind neben der Wasserkraft relativ gesehen am geringsten, absolut sind sie vernachlässigbar.

Tab. 10.2-1. THG-Emissionen im Referenzjahr 2010 (basierend auf der verbrauchten Endenergie, sowie der grauen Energie, die für die Bereitstellung der Endenergie benötigt wird).

	nicht erneuerbar (unterer Heizwert)	erneuerbar	erneuerbar <i>intra muros</i>	Endenergieverbrauch (Brennwert) [GWh/a]	THG-Emissionsfaktor [t/GWh] ¹	THG-Emissionen (CO ₂ - Äquivalente) [t/a]
Fossile Energieträger						
Heizöl	491	0	0	522	295	154132
Erdgas	1492	0	0	1657	241	399781
Benzin	352	0	0	379	317	120067
Diesel	360	0	0	383	452	115360
Kerosin	350	0	0	372	288	107145
Biomasse						
Stückholz	0	0	0	0	11	0
Holzschnitzel	0	3	3	0	11	36
Pellets	0	1	1	0	36	40
Biogas	0	2	2	2	137	287
Sonne und Umwelt dezentral						
Sonnenergie PV	0	3	3	3	72	215
Sonnenenergie SK	0	5	5	5	36	181
Umweltwärme: Luft	0	0	0	0		
Umweltwärme: Wasser/Sole	0	7	7	7	61	445
Umweltwärme: Abwasser	0	1	1	1	83	113
Industrieabfälle	114	0	0	114	4	457
Fernwärme						
Kehrichtverbrennung	206	206	68	411	4	1481
Heizzentrale Öl (leicht)	5	0	0	5	403	1991
Heizzentrale Gas	407	0	0	407	310	125995
Heizkraftwerk Holz	0	12	12	12	40	494
Heizzentrale Geothermie	0	10	10	10	22	221
Heizkraftwerk Geothermie	0	0	0	0	14	0
Blockheizkraftwerk Gas	0	0	0	0	133	0
ARA Klärschlamm (wie Holz)	0	19	19	19	47	910
Elektrizität						
Wasserkraft	0	1542	256	1542	22	33303
Kehrichtverbrennung	14	14	5	28	18	511
Heizkraftwerk Holz	0	18	1	18	122	2203
Summe	3781	1844	394	5905		1065366

¹nach Stadt Zürich (2009).

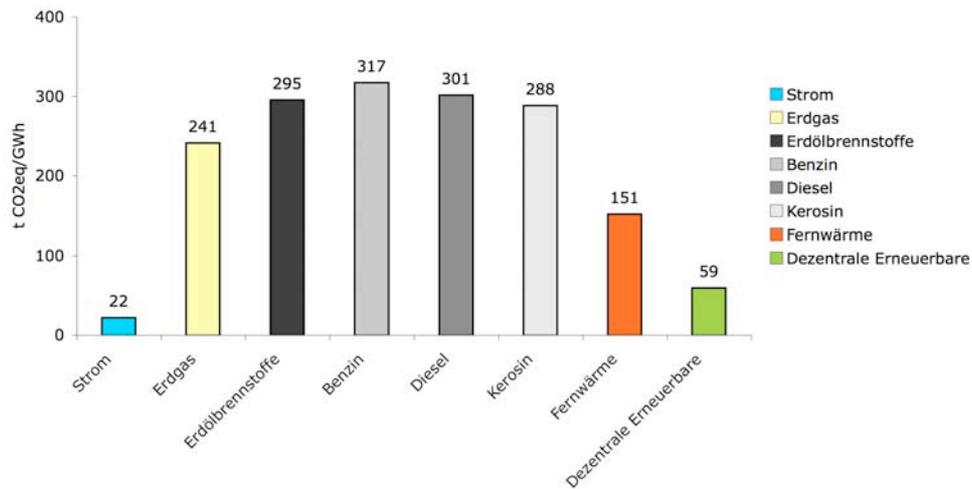


Abb. 10.2-1. Relative THG-Emissionen der für den Modellraum relevanten Energieträger und Endenergieerzeugungsoptionen.

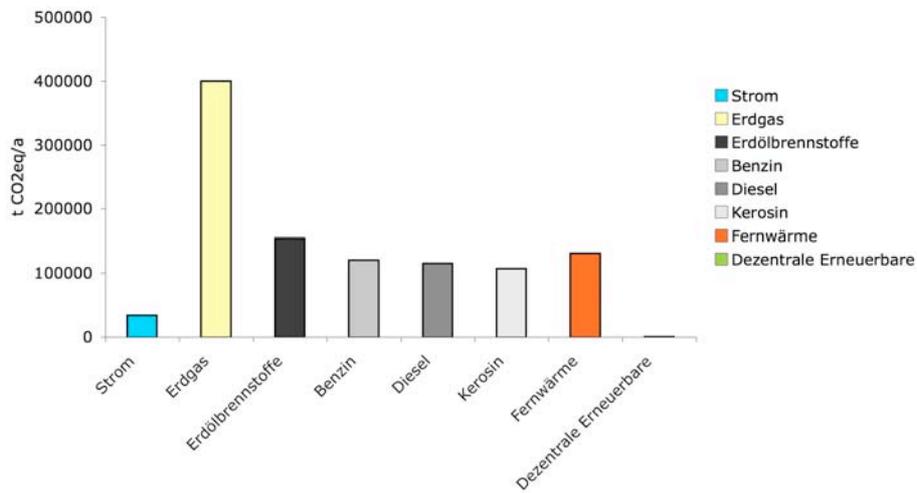


Abb. 10.2-2 Absolute THG-Emissionen der für den Modellraum relevanten Energieträger und Endenergieerzeugungsoptionen.

Graue Emissionen

Der Primärenergieverbrauch von 6'675 GWh (bzw. 4'019 Watt pro Person) (Abschnitt 8.1) verursacht Treibhausgasemissionen von 1'065'366 Tonnen CO₂-Äquivalenten (5.55 Tonnen pro Person). Zusammengenommen entstehen durch den weissen und grauen Energieverbrauch jährlich Emissionen von 1'891'087 Tonnen (9.87 Tonnen pro Person). In Abbildung 10.2-3 sind die durch weisse und graue Energie entstehenden THG-Emissionen vergleichend mit den gesamtschweizerischen Werten von 2004 (Jungbluth et al. 2007) dargestellt.

Die im Folgenden behandelten zukünftigen Emissionen befassen sich nur mit weissen THG-Emissionen.

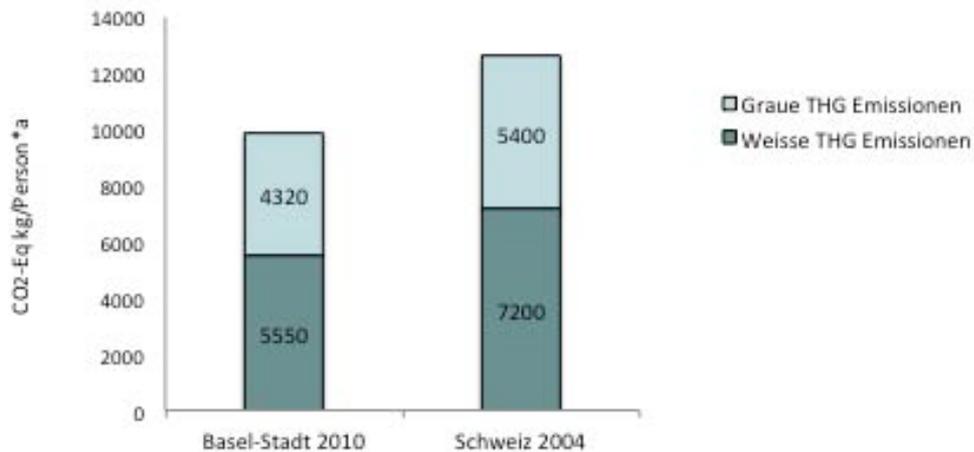


Abb. 10.2-3. Weisse und graue THG-Emissionen im Kanton BS 2010 und der Schweiz 2004 (Jungbluth et al. 2007) im Vergleich.

10.3. Zukünftige Emissionen

Die Sanierung der Bausubstanz und die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien führen zu einer Reduktion von Treibhausgasen. Das Potenzial der Reduktion von THG-Emissionen hat somit zwei Komponenten:

- Effizienz- und Suffizienzmassnahmen
- die Nutzung regenerativer Energien

Im Sektor Wohnen werden die Effizienzmassnahmen durch die Sanierung im Bestand und eine effizientere Energieversorgungstechnik bestimmt (Suffizienzmassnahmen sind nicht berücksichtigt). Im Sektor Arbeiten kommen – meist preisgetrieben – effizientere Maschinen dazu. Im Sektor Mobilität wirkt sich die Förderung des öffentlichen Verkehrs und die Einführung der Elektromobilität aus.

Der Effekt der baulich-energetischen Sanierung wird deutlich, indem die THG-Emissionen vor der Sanierung und nach der Sanierung bestimmt werden. Mit dem aktuellen Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauch und den aktuellen Emissionsfaktoren für Heizwärme, Warmwasser und Strom können die THG-Emissionen für die prototypischen Stadträume ermittelt werden. Nach einer baulich-energetischen Sanierung ist der Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauch geringer. Somit verringern sich auch die Emissionen. Dabei bleiben die Emissionsfaktoren die gleichen, da angenommen wird, die Energieversorgung – teilweise fossil – sei noch nicht angepasst, erneuerbare Energien seien noch nicht eingeführt. Wird die Wärmeversorgung über ein Wärmenetz sichergestellt, so gilt der hierfür ermittelte Emissionsfaktor für alle betrachteten Zeitschnitte.

In analoger Weise wird der Effekt von Effizienzmassnahmen und einer Verlagerung von MIV zu ÖV und LV im Sektor Verkehr modelliert. Auch hier führen zunächst nur die Effizienzsteigerung der Maschinen und die veränderte Verkehrsmittelwahl zu einer Reduktion der Emissionen.

Mit der Erzeugung regenerativer Energien *intra muros* und deren Nutzung reduzieren sich die THG-Emissionen weiter. Emittierende Energieoptionen werden durch weniger emittierende ersetzt. Dies

betrifft sowohl die Wärmebereitstellung, als auch die Stromerzeugung und die Treib- und Kraftstoffe. In den Abbildungen 10.3-1 und 10.3-2 ist diese zweistufige Reduktion der THG-Emissionen bis zum Prognosehorizont für beide Szenarien dargestellt. Ebenfalls dargestellt sind die THG-Anteile der einzelnen Energieparteien. Es wird deutlich, dass die THG-Emissionen bis 2050 abnehmen, insbesondere im 2000-Watt-Szenario. Die Abbildungen 10.3-3 und 10.3-4 zeigen die Absenkungspfade über die verschiedenen Zeitschnitte für beide Szenarien. Die Treibhausgase stammen überwiegend aus dem Wärmebereich, wobei die industrie-gewerbliche Prozesswärme mitberücksichtigt wurde. Auch 2050 wird die Wärmebereitstellung die THG-Emissionen dominieren.

In Tabelle 10.3-1 sind die THG-Emissionen durch Energienutzung noch einmal als *per capita*-Emissionen für die Zeitschnitte bis 2050 zusammengefasst. Zu beachten ist, dass auch die erneuerbaren Energien THG emittieren.

Die THG-Einsparungen aus baulich-energetischer Sanierung und dem Einsatz erneuerbarer Energien lassen sich auch räumlich darstellen. Die Karten 10.3-1 und 10.3-2 zeigen die Reduktionspotenziale für beide Szenarien. Das Einsparpotenzial variiert, je nach Stadtraumtyp und gewählttem Szenario. Im 2000-Watt-Szenario nehmen die THG-Emissionen besonders deutlich ab.

Tab. 10.3-1. THG-Emissionen *per capita* im Referenz- und 2000-Watt-Szenario

Energiebedarf	Wohnen	Arbeiten	Mobilität [t CO ₂ Eq/a] ³	Graue ^{1,2}	Summe
Referenzszenario					
2010	1.11	2.73	1.71	n.b. ⁴	5.55
2020	1.04	2.64	1.62	n.b. ⁴	5.30
2030	0.96	2.57	1.54	n.b. ⁴	5.07
2040	0.87	2.51	1.47	n.b. ⁴	4.85
2050	0.79	2.46	1.40	n.b. ⁴	4.65
2000-Watt-Szenario					
2010	1.11	2.73	1.71	n.b. ⁴	5.55
2020	0.97	2.51	1.54	n.b. ⁴	5.01
2030	0.78	2.23	1.33	n.b. ⁴	4.34
2040	0.65	2.04	1.16	n.b. ⁴	3.85
2050	0.54	1.87	0.99	n.b. ⁴	3.41

¹Aus der in der Schweiz bei Erzeugung, Verarbeitung und Transport von Gütern und Dienstleistungen eingesetzte Energie zuzüglich des Importsaldos der grauen Energie von Gütern und Dienstleistungen (Stadt-Zürich 2009);

²die THG aus grauer Energie betragen 2010 im Kanton BS 4.3 Tonnen pro Einwohner (siehe Erläuterung im Text); ³Tonnen CO₂-Äquivalente (Treibhausgase) pro Einwohner und Jahr; ⁴nicht bekannt.

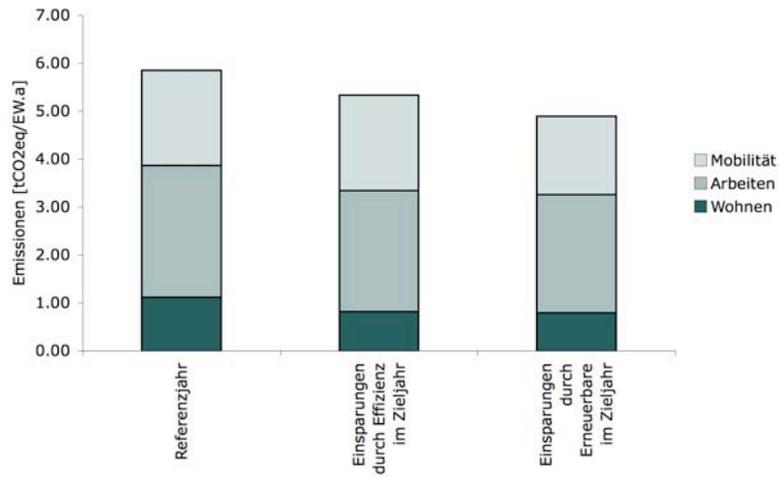


Abb. 10.3-1. Zweistufige Reduktion der THG-Emissionen bis zum Prognosehorizont für das Referenzszenario.

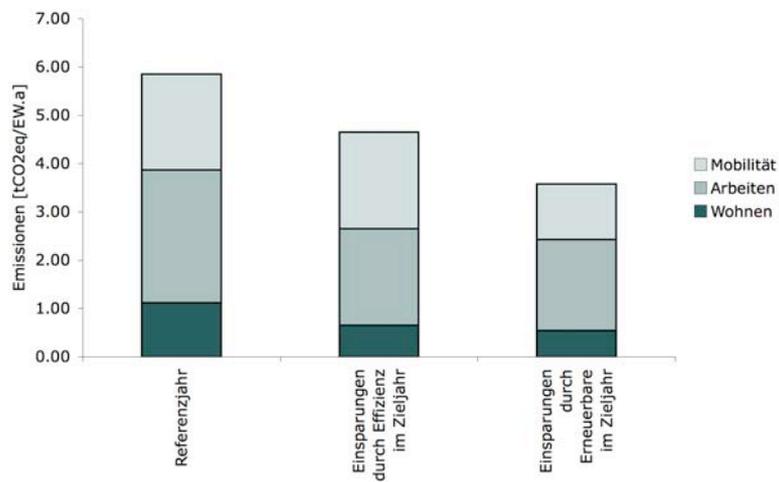


Abb. 10.3-2. Zweistufige Reduktion der THG-Emissionen bis zum Prognosehorizont für das 2000-Watt-Szenario.

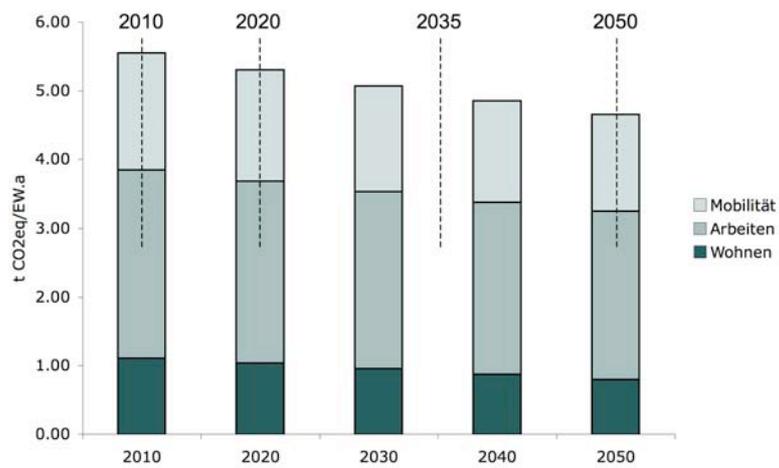


Abb. 10.3-3. Reduktion der THG-Emissionen in den Zeitschnitten bis 2050 im Referenzszenario.

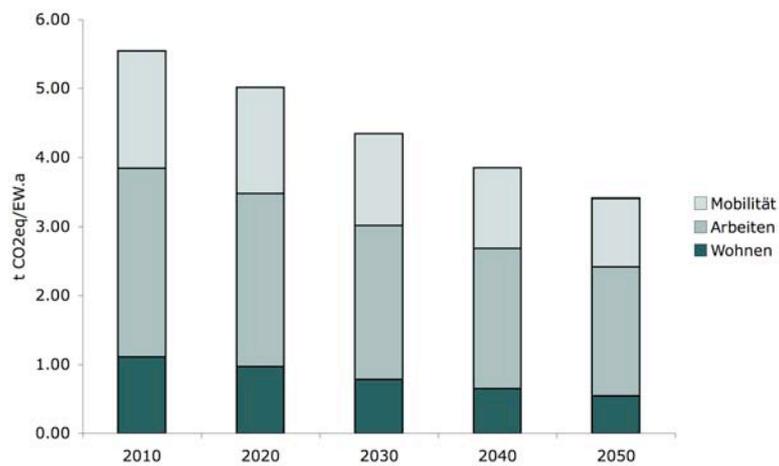
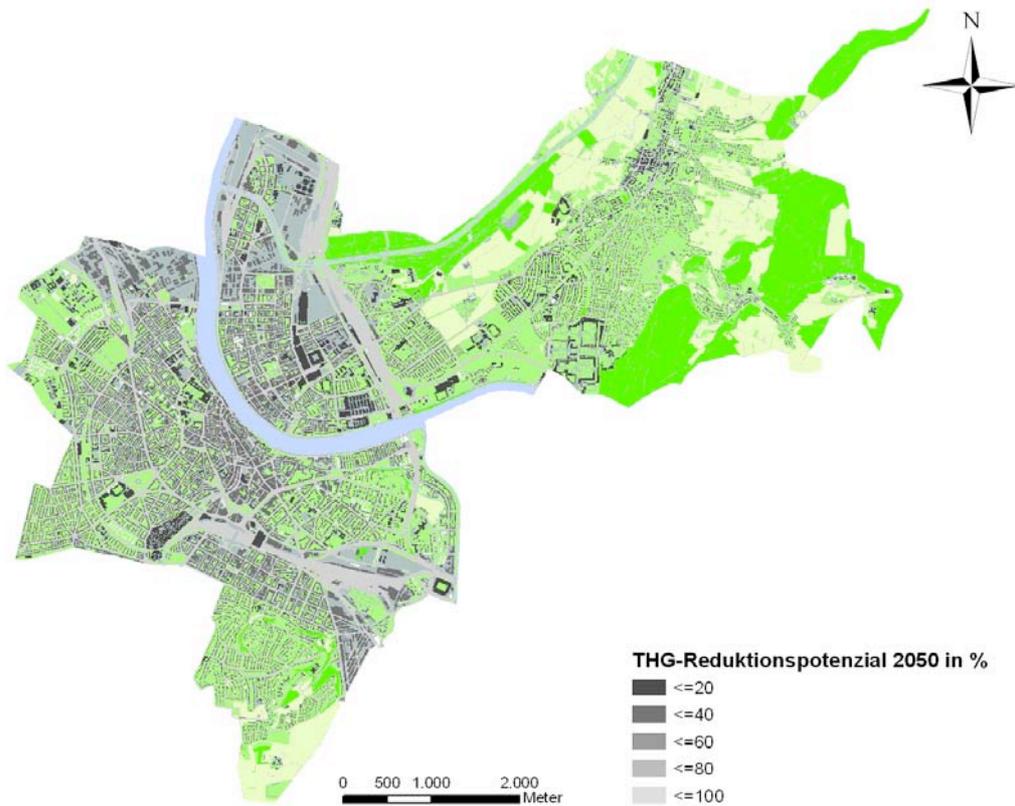
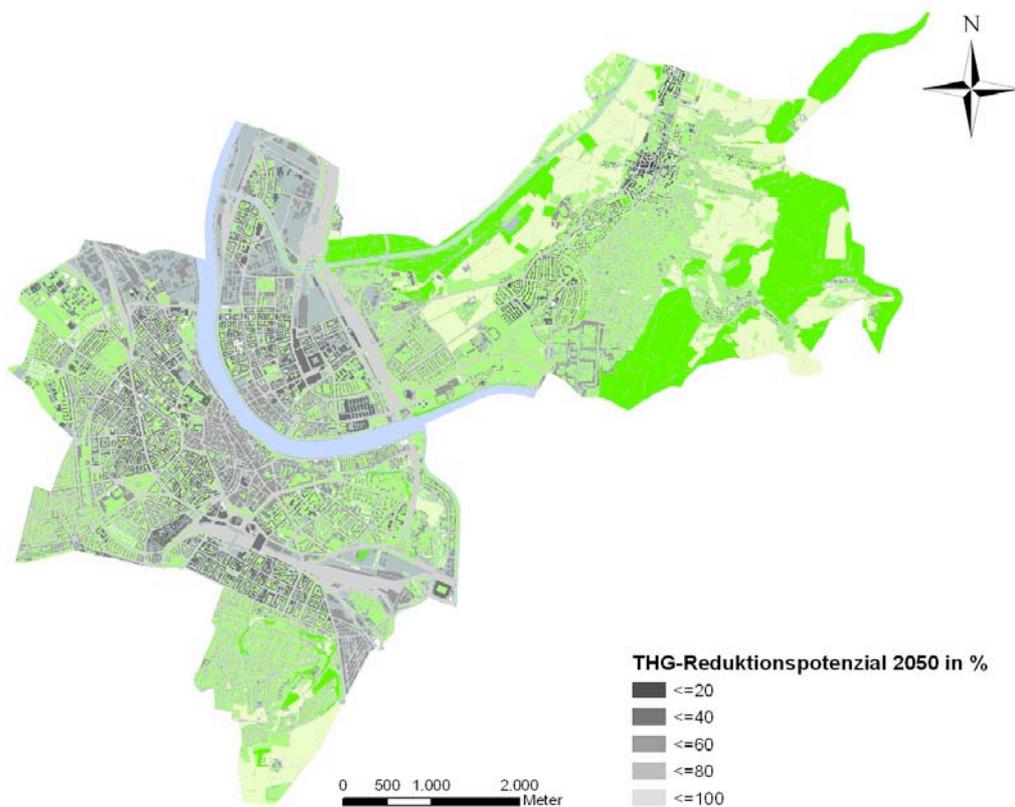


Abb. 10.3-4. Reduktion der THG-Emissionen in den Zeitschnitten bis 2050 im 2000-Watt-Szenario.



Karten 10.3-1. THG-Reduktionspotenziale im Referenzszenario bis 2050. THG-Emissionen werden nur mässig reduziert (es überwiegen die dunklen Grautöne).



Karte 10.3-2. THG-Reduktionspotenziale im 2000-Watt-Szenario bis 2050. THG-Emissionen werden deutlich reduziert (es überwiegen die hellen Grautöne).

11. Kosten und Nutzen

11.1. Wirtschaftlichkeit von Investitionen

Um einen urbanen Raum nachhaltig zu gestalten, ihn energieeffizient umzubauen und klimagerecht anzupassen, sind Investitionen erforderlich. Diese betreffen in erster Linie

- Investitionen für die Sanierung des Baubestandes und
- Investitionen für Anlagen erneuerbarer Endenergieerzeugung.

Die Investitionen für die Sanierung des Baubestandes sind eine Funktion der Qualität des Baubestandes, der Sanierungsrate und der Sanierungstiefe. Gegenstand der Sanierung ist nicht zwingend die energetische Verbesserung des Gebäudes. Vielmehr wird der Baubestand traditionell zyklisch saniert, wobei das Sanierungsziel auch gestalterische Schwerpunkte oder eine Verbesserung des Schallschutzes haben kann. Eine energetische Sanierung ist sicher aufwendiger und teurer als eine konventionelle Sanierung. In Zukunft wird sie aber immer mehr zum Standard werden. Eine stärkere Nachfrage wird voraussichtlich die relativen Kosten einer energetischen Sanierung senken, da der Sanierungsmarkt durch Konkurrenz belebt wird und kostengünstige Lösungen Marktanteile gewinnen. Weiterhin ist von einem technischen Fortschritt bei den Sanierungsverfahren auszugehen, der wiederum zu Kosteneinsparungen führen wird. Andererseits könnten sich bestimmte, für die energetische Sanierung relevante Rohstoffe, aufgrund der grösseren Nachfrage verknappen und damit verteuern. Insgesamt ist die Preisentwicklung am Sanierungsmarkt schwer zu prognostizieren. Vereinfachend wird daher die Problematik der energetischen Sanierung nicht in die Kostenbetrachtung aufgenommen. Es wird empfohlen, sie in einer speziellen Studie zu vertiefen.

Die Investitionen für die Umsetzung einer erneuerbaren Energieversorgung umfassen konkrete Projekte sowie flächig im Ensemble der Stadträume über die Zeit realisierte, verteilte (diffuse) Energiepotenziale wie dach- und fassadengestützte Solaranlagen, Erdwärmesonden und Anlagen zur Nutzung anthropogener Wärmequellen. Insofern sind konkrete Projektinvestitionen und flächig verteilte Einzelinvestitionen zu unterscheiden. Letztere werden von privaten Initiativen, von Wohnungsbaugenossenschaften oder auch von Investoren finanziert, die sich spezifische urbane Flächenressourcen nutzbar machen möchten, wie zum Beispiel solar nutzbare Dach- und Fassadenflächen. Gerade der letzte Aspekt hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen: So gibt es bereits in Modellstädten wie Gelsenkirchen ein Solardachkataster, das sowohl Privatleute als auch Investoren nutzen können, um Flächen zur Installation von Photovoltaikanlagen zu nutzen.

Der Investitionsbedarf ergibt sich somit zum einen aus konkreten Projekten der regenerativen Endenergieerzeugung, zum anderen aus den flächig in den Stadträumen über die Zeit realisierten, verteilten (diffusen) Energiepotenzialen. Der konkrete Investitionsbedarf wird für die Einzelprojekte spezifisch bestimmt, wogegen der verteilte Investitionsbedarf allein aufgrund des prognostizierten Zuwachses an erneuerbaren Energiequellen abgeschätzt werden kann.

Als Massstab für die Wirtschaftlichkeit einer Investition können im Energiebereich die folgenden Rentabilitäts- und Wirtschaftlichkeitskriterien angewendet werden (Greenpeace 2005):

- die Energiegestehungskosten
- der Nettobarwert oder Kapitalwert einer Investition
- die statische Kapitalrendite (*Return on Investment, ROI*)
- die dynamische Rentabilität als interner Zinsfuss (*Internal Rate of Return, IRR*)

In dieser Studie werden die Ausgaben für die zusätzliche regenerative Energieproduktion in den Jahresschnitten bis zum Prognosehorizont bestimmt. Diesen gegenübergestellt werden die Einsparungen, die sich aus dem Ersatz konventioneller Energien mit regenerativen Energien in den Zeitschnitten bis zum Prognosehorizont ergeben. Weiterhin berücksichtigt werden die THG-Ausgaben, die durch die Steigerung der erneuerbaren Energieversorgung *intra muros* vermieden werden können.

11.2. Kostenentwicklung bei den konventionellen Energien

Es ist davon auszugehen, dass die Energiepreise für fossile Energiepreise erheblich steigen werden (Abb. 11.2-1). In Basel ist von dieser Entwicklung besonders die Wärmeversorgung betroffen. Zwar bleiben gerade im Bereich der Wärmenetze die Tarife durch die Kehrichtverbrennung, die Geothermie und die Nutzung von Biomasse zunächst stabil. Schliesslich wird sich die Preisentwicklung bei den fossilen Energieträgern auch auf die Fernwärme auswirken. Im Modell wurde die historische Entwicklung der IWB-Fernwärmetarife linear fortgeschrieben (Abb. 11.2-2). Der Mischtarif der nicht-regenerativen Wärmeversorgung des Modellgebietes ergibt sich aus der Endenergiematrix (Abschnitt 8.1) und den damit assoziierten, aktuellen Energiepreisen.

Der Basler Strom besteht fast nur aus Wasserkraft. Mit Blick auf die Prognosen in der "Road Map Erneuerbare Energien Schweiz" (SATW 2006) müsste der Strompreis stabil bleiben. Trotzdem wird er nach Einschätzung der IWB leicht ansteigen. Tabelle 11.2-1 fasst die Kostenentwicklung noch einmal zusammen.

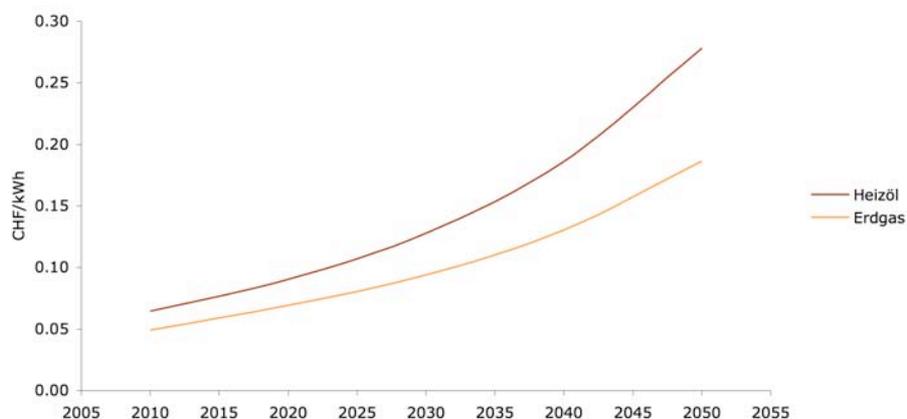


Abb. 11.2-1. Preisentwicklung bei den fossilen Energieträgern (Werte nach Prognos&Öko-Institut 2009, aus 2010 bezogen).

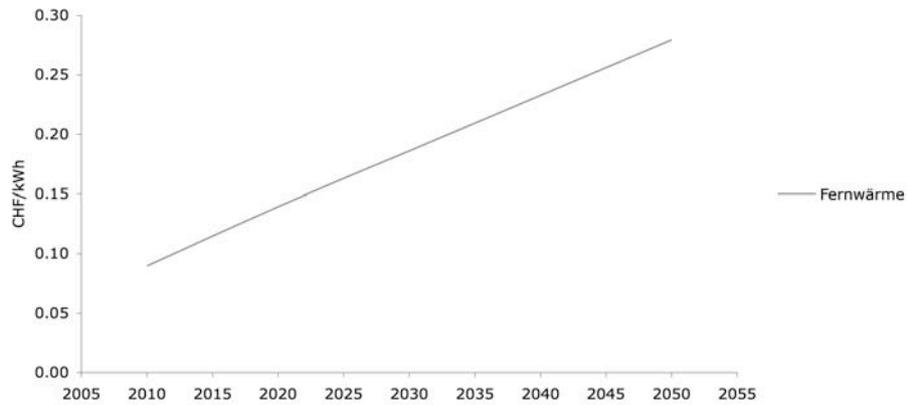


Abb. 11.2-2. Tarifentwicklung bei der Fernwärme im Kanton Basel-Stadt (lineare Fortschreibung des Trends der IWB-Einheitspreise seit 2002 lt. IWB-Information 2010).

Tab. 11.2-1. Energiepreisentwicklung (auf 2010 bezogen).

	Heizöl ¹	Gas ¹	Fernwärme BS ²	Strom BS ³
	CHF/kWh			
2010	0.06	0.05	0.09	0.08
2020	0.09	0.07	0.14	0.08
2030	0.13	0.09	0.19	0.09
2040	0.19	0.13	0.23	0.09
2050	0.28	0.19	0.28	0.10

¹Prognos&Öko-Institut (2009); ²linear approximiert aufgrund der IWB-Fernwärmearife 2002-2010; ³IWB-Tarif ab 2020 geschätzt.

11.3. Gestehungskosten der regenerativen Energien

In Modellraum erscheinen nur bestimmte Optionen der regenerativen Endenergieerzeugung wirtschaftlich machbar und vom Bürger akzeptiert. Für diese Optionen wurden die aktuellen und zukünftigen Gestehungskosten recherchiert, sowohl für die Stromerzeugung (Tab. 11.3-1) als auch für die Wärmebereitstellung (Tab. 11.3-2). Die Erzeugung von Biofuels bleibt unberücksichtigt.

Die Abbildungen 11.3-1 und 11.3-2 zeigen die linear angenommenen Trends. Zu berücksichtigen ist, dass die Prognosen der Gestehungskosten mit zum Teil erheblichen Unsicherheiten verbunden sind.

Tab. 11.3-1. Stromgestehungskosten für im Modellraum relevante Optionen der erneuerbaren Endenergieerzeugung.

	PV ¹	Wasser ^{1,2}	Geothermie ³	Biomasse ¹	KVA ⁴
	CHF/kWh				
2010	0.69	0.08	0.16	0.17	0.10
2020	0.55	0.08	0.13	0.16	0.10
2030	0.41	0.09	0.11	0.14	0.10
2040	0.27	0.09	0.09	0.13	0.10
2050	0.13	0.10	0.06	0.12	0.10

¹SATW (2006); ²laut Stromkennzeichnung IWB Basel besteht der Strom im Kanton BS zu fast 90% Wasserkraft; ³da noch keine Werte für den Modellraum vorliegen wurden die aktuellen Stromgestehungskosten nach dem Leitszenario der Bundesregierung Deutschland auf den Startwert 2010 projiziert (Umrechnung EUR/CHF 1.35) (BMU 2009), für die Gestehungskosten 2050 wird die Schätzung der SATW übernommen (SATW 2006); ⁴vereinfachend wird der IWB-Mischtarif Strom auch für die Kehrichtverbrennung übernommen (2009 macht die Kehrichtverbrennung lt. IWB-Stromkennzeichnung nur 1.5 % der Stromerzeugung aus); da die Kehrichtmenge unabhängig vom Erdöl- bzw. Erdgaspreis ist, werden die Gestehungskosten als stabil angesehen.

Tab. 11.3-2. Wärmegestehungskosten für im Modellraum relevante Optionen der erneuerbaren Wärmebereitstellung.

	Sonnenkollektoren ¹	Wärmepumpenanlagen ²	Geothermie ^{1,3}	Biomasse ^{1,4}	KVA und ARA ⁵
	CHF/kWh				
2010	0.24	0.17	0.15	0.16	0.09
2020	0.22	0.16	0.13	0.15	0.09
2030	0.20	0.15	0.10	0.15	0.09
2040	0.18	0.14	0.08	0.14	0.09
2050	0.16	0.13	0.05	0.14	0.09

¹SATW (2006); ²nach SATW (2006), wird als Mischtarif für alle wärmepumpengestützten Anlagen interpretiert; ³nach einer Vorlage der Gemeinde Riehen (Riehen 2009) wird für 2010 der Arbeitspreis des Wärmeverbundes Riehen-Dorf angesetzt, für 2050 wird die Schätzung der SATW (2006) übernommen; ⁴die Wärmegestehungskosten aus Biogas werden vereinfachend den Wärmegestehungskosten aus Biomasse lt. SATW (2006) gleichgesetzt; ⁵vereinfachend wird der aktuelle IWB-Mischtarif Fernwärme für die Kehrichtverbrennung und Abwasserabwärme übernommen; da die Kehrichtmenge / Abwassermenge unabhängig vom Erdöl- bzw. Erdgaspreis sind, werden die Gestehungskosten als stabil angesehen.

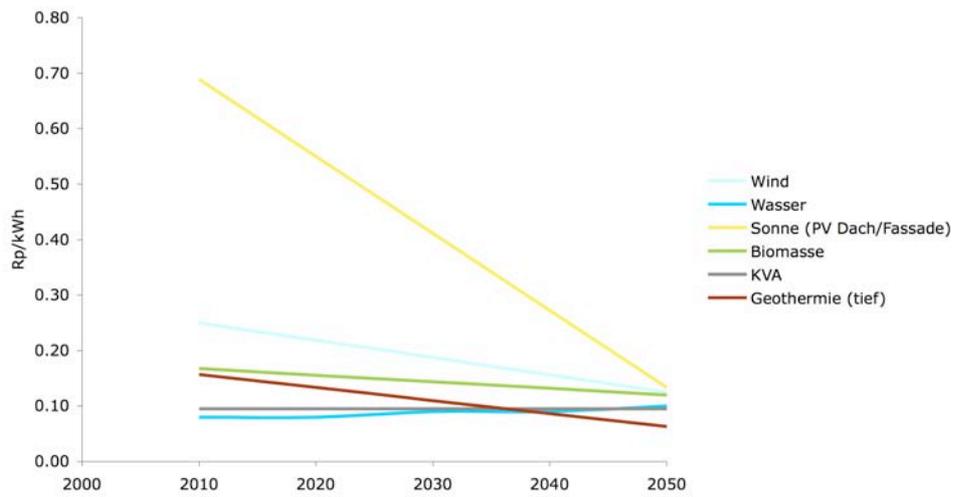


Abb. 11.3-1. Stromgestehungskosten (lineare Abnahme angenommen, bis auf Wasserkraft, da diese in Anlehnung an die IWB-Prognose modelliert wurde).

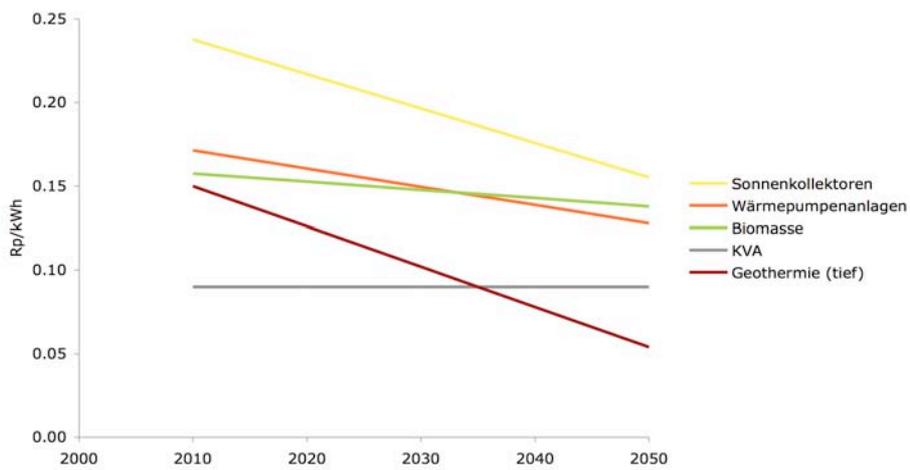


Abb. 11.3-2. Wärmegestehungskosten (lineare Abnahme angenommen).

11.4. Ausgaben und Einsparungen

Aufgrund der Zunahme regenerativer Energie verringert sich der Verbrauch fossiler Energieträger. Dagegen stehen die Ausgaben für die regenerative Energieerzeugung. Je nach Szenario ändert sich das Verhältnis von Ausgaben zu Einsparungen.

Dazu kommen Einsparungen von THG-Emissionsabgaben. Sie ergeben sich aus den szenariospezifischen THG-Emissionen (Kapitel 10) und den CO₂-Spot-Preisen (Klimastiftung 2010). Dabei wurde die *EU Emission Allowance (EUA)* als Masszahl genommen. Da die Entwicklung auf dem EUA-Spotmarkt schwer vorhersehbar ist (Abb. 11.4-1), wurde der Spotpreis konservativ auf 15.5 EUR pro Tonne CO₂ (21 Franken pro Tonne CO₂, 12/2010) eingefroren.



Abb. 11.4-1. Entwicklung des EUA ab 16.08.2005 (EEX 2010).

In den Abbildungen 11.4-2 und 11.4-3 sind die Ausgaben für regenerative Energien, ermittelt über die Gestehungskosten, den Einsparungen gegenübergestellt, die sich aus dem Ersatz konventioneller Energien mit regenerativen ergeben. Im Referenzszenario sind die Ausgaben für erneuerbare Energien gering. Entsprechend gering ist der Einspareffekt. Im 2000-Watt-Szenario stehen erheblich höhere Ausgaben erheblich höheren Einsparungen gegenüber. Die Ausgaben und Einsparungen sind in Tabelle 11.4-1 für beide Szenarien gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass zunächst die Ausgaben die Einnahmen übersteigen. Mit steigenden fossilen Energiepreisen kehrt sich schliesslich dieses Verhältnis um.

Abbildung 11.4-4 verdeutlicht die erheblichen finanziellen Anstrengungen, die mit der Verwirklichung der 2000 Watt-Gesellschaft verbunden sind. Das Diagramm zeigt den Nutzen (vermiedene Kosten für konventionelle Energien und Treibhausgase) abzüglich der Kosten (Ausgaben für erneuerbare Energien) integriert über die Zeit. Im Referenzszenario sind die Kosten gering; ab 2045 überwiegt der Nutzen. Im 2000 Watt-Szenario ist erst ab 2050 mit einem Gewinn zu rechnen, der danach allerdings bedeutend höher ausfallen wird als im Referenzszenario. Die gestrichelte Linie zeigt eine 25%-höhere Steigerung der fossilen Energiepreise an: In diesem Fall wird ein Gewinn früher erreicht. Die punktierte Linie zeigt die Entwicklung, wenn der fossile Energiepreis langsamer steigt (um nur 75%

der angenommenen Steigerung).

Rechnet man Kosten und Nutzen gegen, so sind im 2000-Watt-Szenario bis zum Jahr 2050 etwa 900 Mio. Franken zusätzlich auszugeben. Das entspricht jährlichen Investitionen von ca. 23 Mio. Franken. Pro Einwohner entspricht dies etwa 120 Franken pro Jahr. Vergleicht man diese Ausgaben jedoch mit den üblichen Jahresausgaben des Schweizervolks, so relativiert sich die finanzielle Belastung (Abb. 11.4-5). Die Investitionen in den energetischen Stadtumbau erscheinen danach sinnvoll und gerechtfertigt. Es handelt sich um eine Zukunftsinvestition, von der die folgenden Generationen profitieren werden.

Zu beachten ist, dass es sich bei diesen Berechnungen um eine Abschätzung handelt. Interessant wäre eine detaillierte Untersuchung in einer vertiefenden Studie.

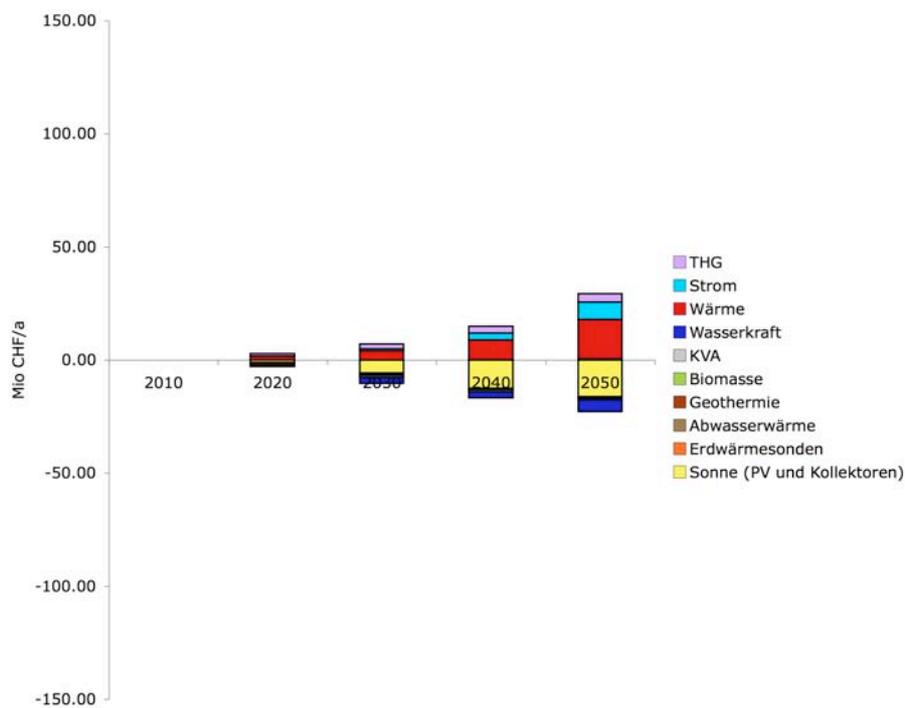


Abb. 11.4-2 Ausgaben und Einnahmen im Referenzszenario.

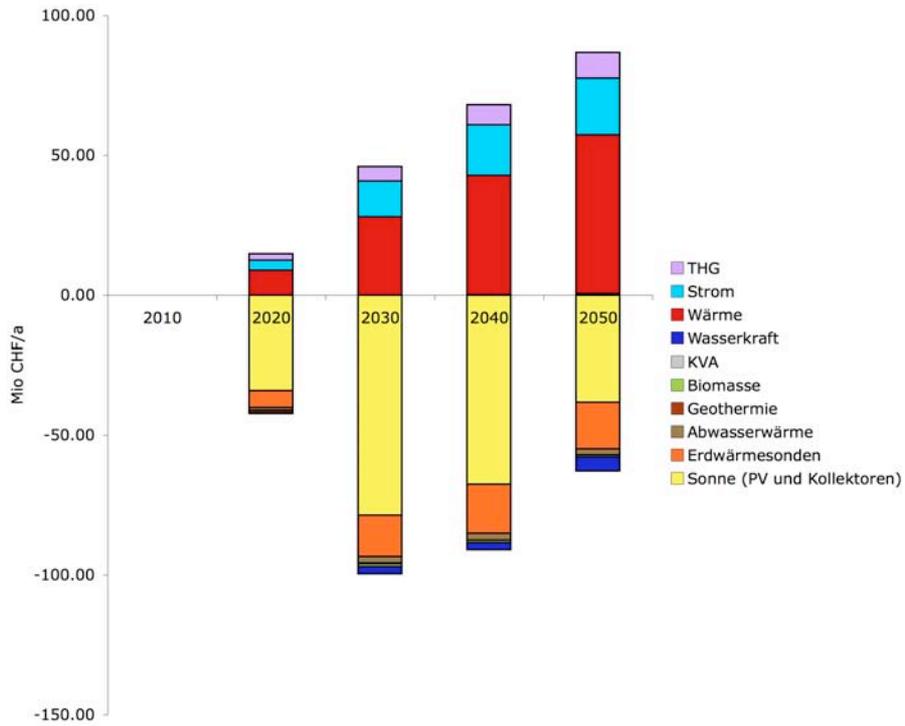


Abb. 11.4-3. Ausgaben und Einnahmen im 2000-Watt-Szenario

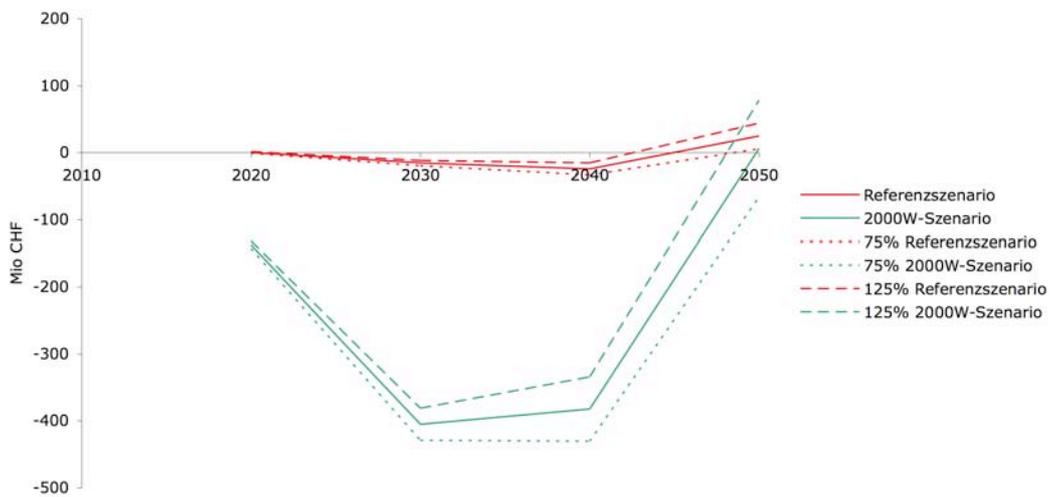


Abb. 11.4-4. Kumulierte Differenz aus Kosten für regenerative Energie und Nutzen aus vermiedenen Kosten für konventionelle Energie und Treibhausgasemissionen. Die Berechnung erfolgte als Integration über Zehnjahresschritte mit linearer Approximation der Zwischenwerte. Gestrichelt ist eine 25%-höhere, punktiert eine 25%-geringere Steigerung der fossilen Energiepreise.

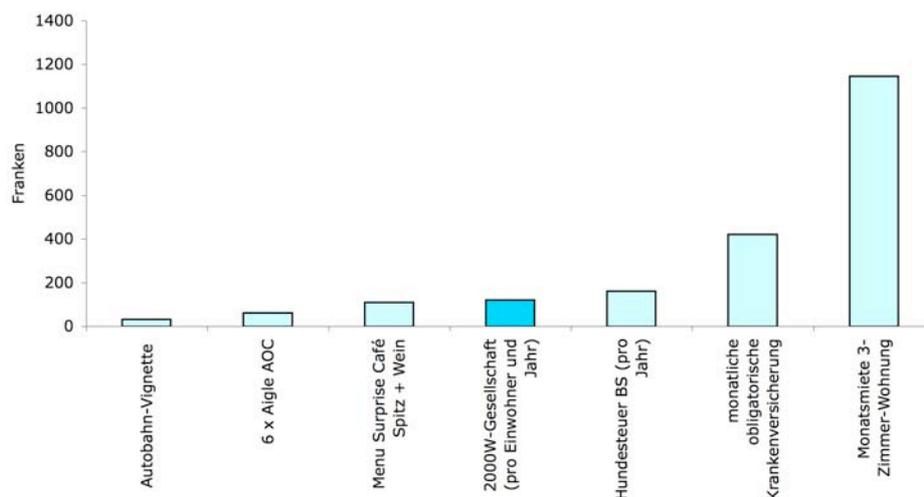


Abb. 11.4-5. Typische Ausgaben einer in Basel lebenden Person.

Tab. 11.4-1. Ausgaben und Einsparungen im Referenz- und 2000-Watt-Szenario.

	Ausgaben für regenerative Energien		Ausgaben gesamt	THG-Einsparungen ³	Einsparungen von konventionellen Energien		Einsparungen gesamt	Delta ⁶
	Wärme ¹	Strom ²			Wärme ⁴	Strom ⁵		
MioCHF/a								
Referenzszenario								
2010	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	-2	-1	-3	1	2	0	3	0
2030	-4	-6	-10	2	4	1	7	-3
2040	-6	-10	-16	3	9	3	14	-2
2050	-9	-13	-22	4	17	8	29	7
2000-Watt-Szenario								
2010	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	-17	-26	-42	2	9	4	15	-27
2030	-36	-63	-100	5	28	13	46	-54
2040	-37	-53	-91	7	43	18	68	-23
2050	-33	-29	-62	9	57	20	86	24

¹Für (zusätzliche) Sonnenkollektoren, Erdwärme, Abwasserwärme, Geothermie, Kehrlichtverbrennung und Biomasse; ²für (zusätzliche) PV, Wasserkraft, Geothermie, Kehrlichtverbrennung und Biomasse; ³CO₂-Spot-Preis (EUA) von 21 CHF/t (2010); ⁴Einsparung nicht regenerativer Energie (nicht-regenerativen Wärme-Mixes 2010); ⁵Ersatz des aktuellen Strom-Mixes durch erneuerbare Energien; ⁶Differenz Einsparungen-Ausgaben.

12. Strategien und Handlungsempfehlungen

12.1. Wann wird die 2000-Watt-Gesellschaft erreicht?

Die Szenarienanalyse erlaubt eine Extrapolation des szenariotypischen Trends. Dabei gilt grundsätzlich, dass beide Szenarien aufgrund der getroffenen Effizienzmassnahmen und der Einführung erneuerbarer Energieoptionen schliesslich das 2000-Watt-Ziel erreichen.

Abbildung 12.1-1 zeigt die Extrapolation beider Szenarien. Danach wird im 2000-Watt-Szenario das Ziel bereits 2075 erreicht. Im Gegensatz dazu kann das Ziel im Referenzszenario auch im langfristigen Planungshorizont nicht erreicht werden.

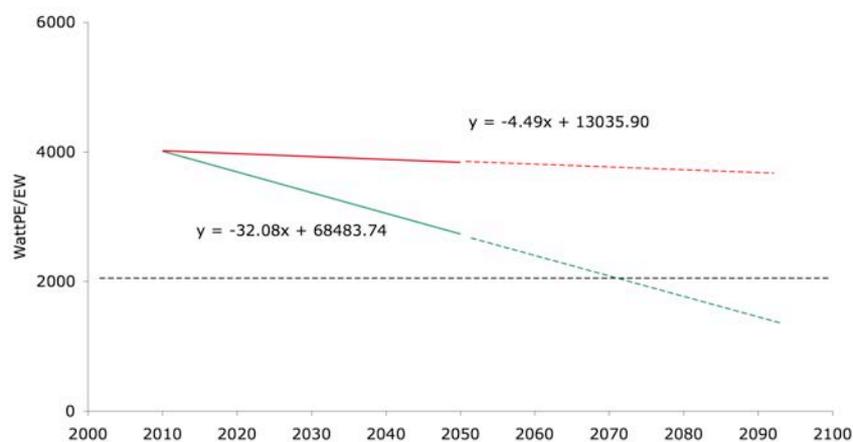


Abb. 12.1-1. Extrapolation der Szenarien bis zum 2000-Watt-Ziel.

12.2. Regenerative Erträge und Bedarf

Stellt man den Energiebedarf der regenerativen Endenergieerzeugung gegenüber, wird deutlich, inwieweit im Modellraum das Potenzial den Bedarf decken kann.

In Abbildung 12.2-1 wird für das Referenzszenario der Wärmebedarf der erneuerbaren Wärmebereitstellung gegenüber gestellt. Der Wärmebedarf nimmt mit der Zeit infolge der Sanierung im Bestand und dem Neubau ab. Die Wärmebereitstellung ist jedoch auch zum Prognosehorizont noch gering und kann den Bedarf nicht annähernd decken. Im 2000-Watt-Szenario nimmt der Wärmebedarf deutlicher ab, da höhere Sanierungsraten zugrunde gelegt wurden (Abb. 12.2-2). Gleichzeitig nimmt die Wärmebereitstellung deutlich zu. Trotzdem klafft zum Ende des Prognosehorizontes noch eine erhebliche Bedarfslücke.

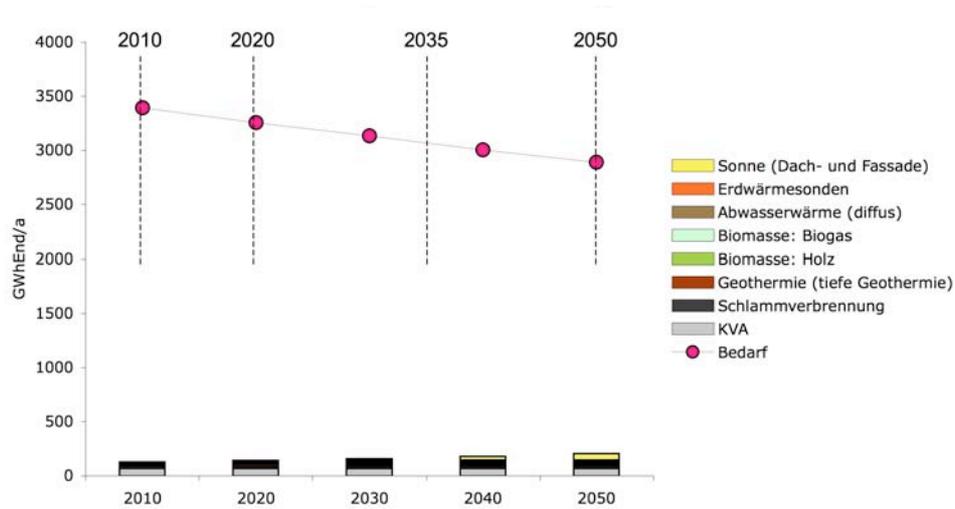


Abb. 12.2-1. Wärmebedarf und regenerative Wärmeerträge im Referenzszenario.

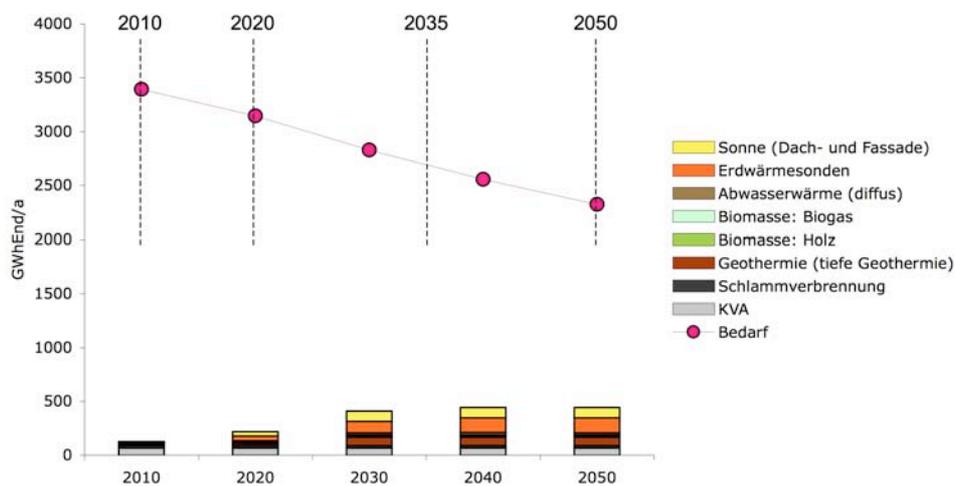


Abb. 12.2-2. Wärmebedarf und regenerative Wärmeerträge im 2000-Watt-Szenario.

Die Bedarfslücke im Strombereich ist deutlich geringer (Abb. 12.2-3 und Abb. 12.2-4). Hier bewirken die Effizienzmassnahmen gerade im 2000-Watt-Szenario eine deutliche Abnahme des Strombedarfs. Gleichzeitig nimmt die regenerative Stromerzeugung stark zu. Dabei tragen die Wasserkraft und die Photovoltaik am meisten zur Selbstversorgung bei.

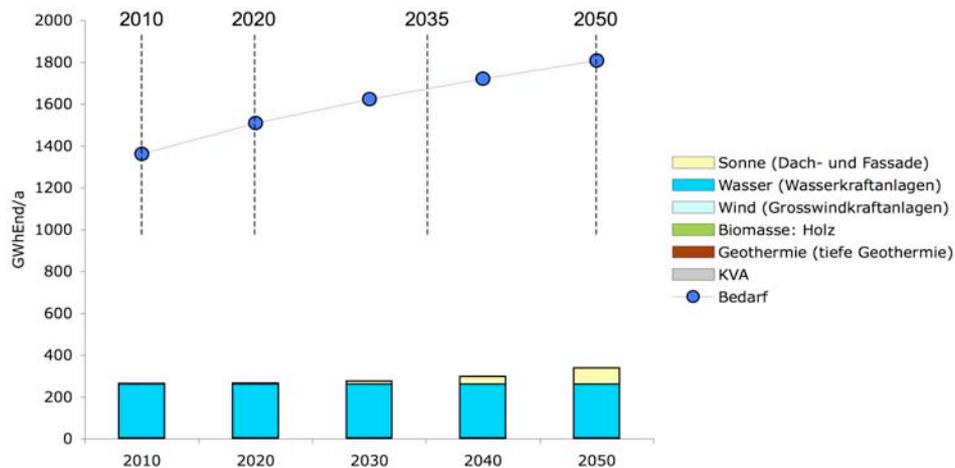


Abb. 12.2-3. Strombedarf und regenerative Stromerträge im Referenzszenario.

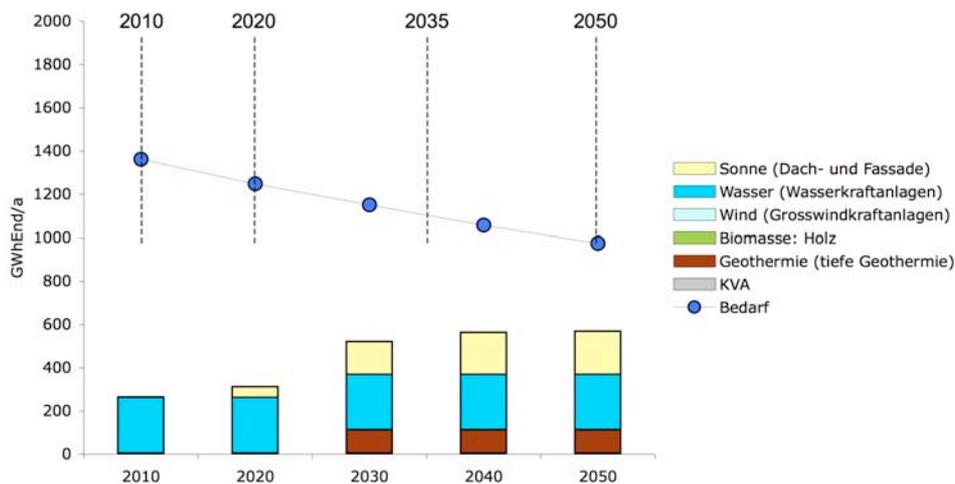


Abb. 12.2-4. Strombedarf und regenerative Stromerträge im 2000-Watt-Szenario.

In Abbildungen 12.2-5 und 12.2-6 sind die Selbstversorgungsgrade noch einmal für beide Szenarien zusammengefasst. Grundsätzlich wird die Selbstversorgung im Strombereich eher erreicht als im Wärmebereich. Ein Problem bleibt die Selbstversorgung im Kraftstoffbereich. Eine Elektrifizierung des Individualverkehrs wird dieses Problem teilweise – aber nicht vollständig – lösen.

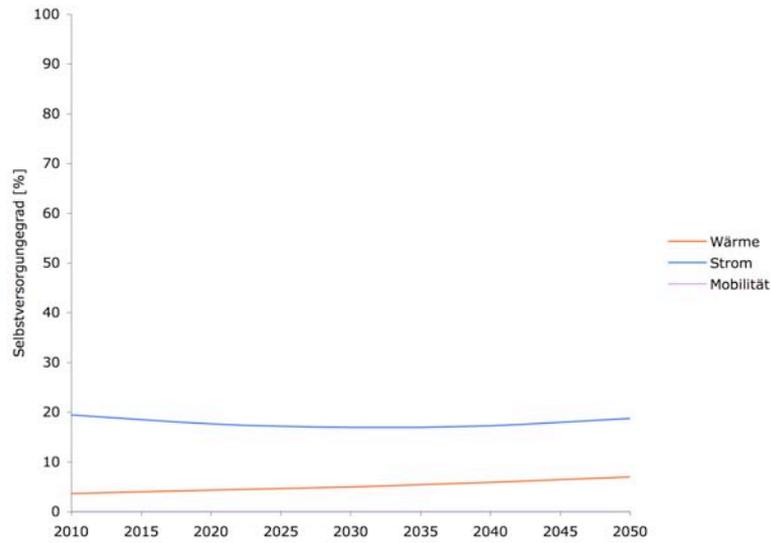


Abb. 12.2-5. Regenerative Selbstversorgungsgrade im Referenzszenario. Die Selbstversorgung im Mobilitätsbereich verbleibt bis 2050 bei 0 %.

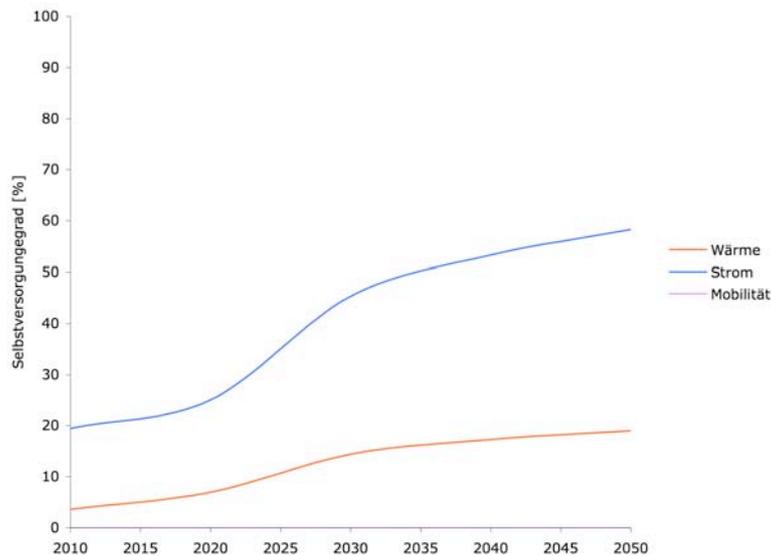


Abb. 12.2-6. Regenerative Selbstversorgungsgrade im 2000-Watt-Szenario. Die Selbstversorgung im Mobilitätsbereich verbleibt bis 2050 bei 0 %.

12.3. Sensitivitätsuntersuchungen

Im Rahmen der Sensitivitätsuntersuchungen wurden die folgenden Aspekte betrachtet:

- eine Variation der demographischen Entwicklung
- die Aufhebung von Schutzbereichen
- die saisonalen Schwankungen beim Energieverbrauch und der Endenergieerzeugung

Zur Messung der Sensitivität dienen als Masszahlen die Veränderung der regenerativen Selbstversorgung und die energetische Leistung *per capita*.

Demographische Entwicklung

Die Bevölkerung wurde im Referenz- und 2000-Watt-Szenario bis zum Prognosehorizont als stabil angenommen. Welchen Effekt haben:

- Ein Wachstum der Bevölkerung?
- Eine Abnahme der Bevölkerung?

In dieser Studie wird der Energiebezug über die Energiebezugsflächen der Energieparteien ermittelt. Der Selbstversorgungsgrad wird durch die Zahl der Einwohner kaum beeinflusst, solange die Energiebezugsflächen nicht entsprechend verändert werden. Zur Entwicklung der Energiebezugsflächen liegen jedoch nur nationale Prognosen vor, die nicht direkt auf den Modellraum zu übertragen sind. Im Modell wird daher davon ausgegangen, dass bei einem Bevölkerungswachstum die Energiebezugsfläche pro Einwohner abnimmt, wogegen bei einem Bevölkerungsrückgang die Energiebezugsfläche pro Einwohner zunimmt.

Die Abnahme der Energiebezugsfläche bei zunehmender Bevölkerung ist eine zulässige Annahme in sich verdichtenden urbanen Räumen. Sie bedeutet praktisch, dass Wohn- und Arbeitsraum intensiver genutzt wird und rückgebaute Gebäude durch Neubauten kompensiert werden, Grünräume dagegen geschützt bleiben. In sich verdichtenden Räumen steigen die Mietpreise, ein Trend, der in Städten wie Genf oder München zu beobachten ist. Die aus energetischer Sicht damit verbundene, effizientere Nutzung des Wohn- und Arbeitsraums wirkt sich allenfalls auf den Warmwasser- und Strombedarf bzw. den gewerblichen Energiebedarf aus. Dieser Effekt konnte in dieser Studie (noch) nicht modelliert werden.

Die Zunahme der Energiebezugsfläche bei abnehmender Bevölkerung ist ebenfalls eine zulässige Annahme und entspricht den Prognosen in Schrumpfsregionen wie zum Beispiel Nordthüringen (Genske, Joedecke et al. 2010). Leerstehende Wohn- und Arbeitsräume werden von den Energieparteien Wohnen und Arbeiten zunächst übernommen. Überschreitet der Bevölkerungsrückgang ein kritisches Mass kommt es zu Leerständen im Wohnungsbau und der Entstehung von Industriebrachen (Oswalt 2005; Genske 2006; Oswalt & Rieniets 2006). In diesem Fall ist in die Modellierung ein Leerstandsfaktor einzuführen. Für den Kanton Basel-Stadt ist dieses Szenario jedoch unwahrscheinlich.

Vor diesem Hintergrund haben demographische Schwankungen primär einen Einfluss auf die

energetische Leistung *per capita*, die für die 2000W-Gesellschaft grundlegende Masszahl. Sie nimmt erwartungsgemäss mit zunehmender Bevölkerung ab und mit abnehmender Bevölkerung zu (Tab. 12.3-1).

Tab. 12.3-1. Effekt einer Bevölkerungsabnahme oder -zunahme bis 2050.

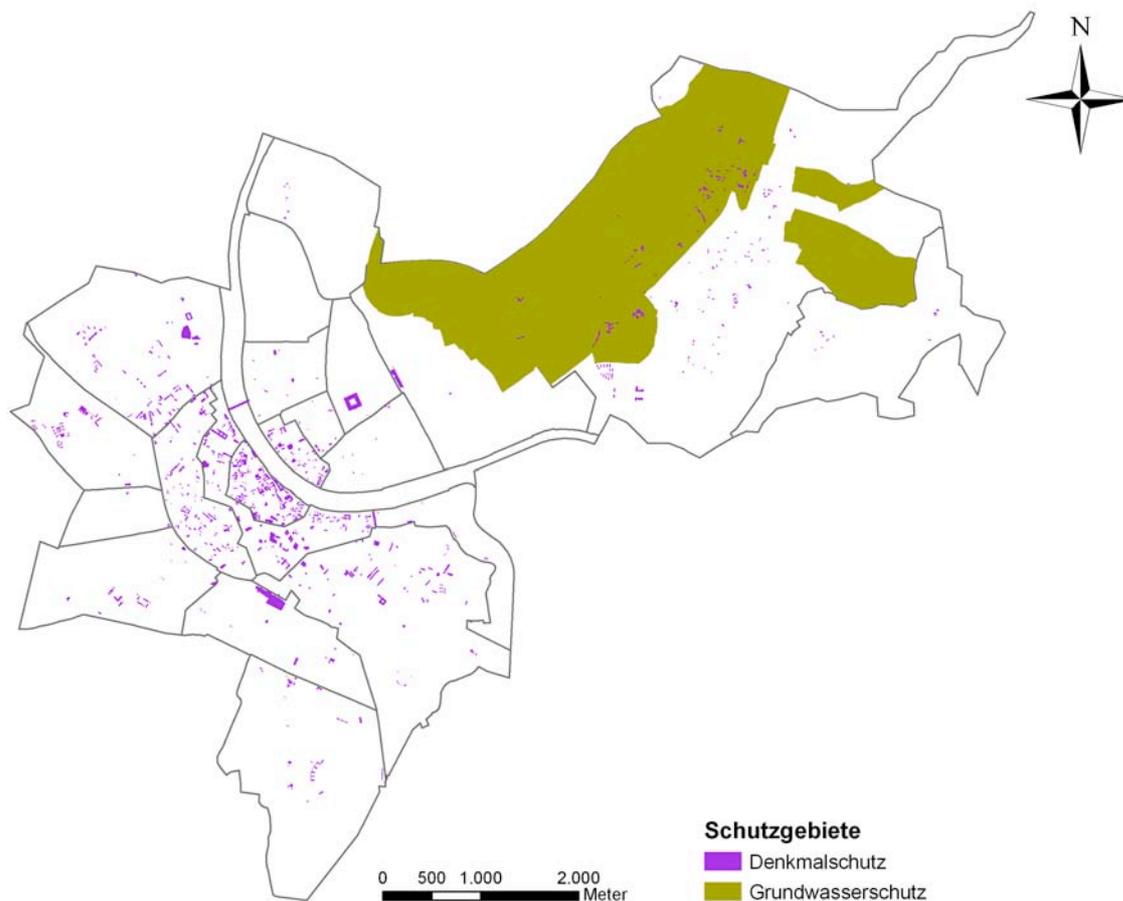
	Bevölkerungsveränderung		
	Stagnierend bei 192'000	abnehmend auf 173'000	zunehmend auf 211'000
Referenzszenario			
Selbstversorgungsgrad [%] (thermisch / elektrisch)	7 / 19	7 / 19	7 / 19
Leistung <i>per capita</i> [W _{PE} /EW]	3840	4263	3494
2000-Watt-Szenario			
Selbstversorgungsgrad [%] (thermisch / elektrisch)	19 / 60	19 / 60	19 / 60
Leistung <i>per capita</i> [W _{PE} /EW]	2743	3045	2496

Schutzzonen

Im Modellraum sind Denkmalschutzbereiche ausgewiesen. In diesen Bereichen ist eine solare Nutzung der Gebäudehülle (PV/Sonnenkollektoren) nicht zulässig. Weiterhin bestehen Wasserschutzzonen, in denen Erdwärmesonden nicht zulässig sind. Die Schutzzonen sind in Karte 12.3-1 dargestellt. Welchen Effekt haben:

- Die Aufhebung des Verbots der solaren Nutzung der Gebäudehülle in Denkmalschutzbereichen?
- Die Aufhebung des Verbots von Erdwärmesonden in Wasserschutzbereichen?

Die Ergebnisse der Aufhebung des Denkmalschutzes sind in Tabelle 12.3-2 zusammengefasst. Es wird deutlich, dass die Aufhebung des Verbots der solaren Nutzung nur einen geringen Effekt auf den Gesamtertrag hat. Der Selbstversorgungsgrad ändert sich aufgrund des geringen Beitrags der solaren Energie am Gesamtverbrauch so gut wie nicht. Der Effekt der Freigabe der solaren Nutzung denkmalgeschützter Gebäude ist gering.



Karte 12.3-1. Schutzzonen im Kanton Basel Stadt.

Tab. 12.3-2. Effekt der Aufhebung des Verbots der solaren Nutzung in Denkmalschutzzonen 2050.

	Denkmalschutz	
	beachtet	nicht beachtet
Referenzszenario		
Sonnenkollektoren [GWh/a]	58	61
PV [GWh/a]	78	83
Selbstversorgungsgrad [%] (thermisch / elektrisch)	7 / 19	7 / 19
Leistung <i>per capita</i> [W_{PE}/EW]	3840	3843
2000-Watt-Szenario		
Sonnenkollektoren [GWh/a]	95	102
PV [GWh/a]	199	212
Selbstversorgungsgrad [%] (thermisch / elektrisch)	19 / 60	19 / 60
Leistung <i>per capita</i> [W_{PE}/EW]	2743	2746

Die Ergebnisse der Aufhebung des Verbots der Nutzung von Wärmesonden sind in Tabelle 12.3-3 dargestellt. Auch hier ist ein nur geringer Effekt festzustellen. Dies liegt ebenfalls an dem vergleichsweise geringen Beitrag der Erdwärmesonden an der Gesamtwärmebereitstellung.

Tab. 12.3-3. Effekt der Aufhebung des Verbots der Nutzung von Erdwärmesonden im Bereich von Wasserschutzzone 2050.

	Wasserschutzzone	
	beachtet	nicht beachtet
Referenzszenario		
Erdwärmesonden [GWh/a]	14	17
Selbstversorgungsgrad [%](thermisch / elektrisch)	7 / 19	7 / 19
Leistung <i>per capita</i> [W _{PE} /EW]	3840	3842
2000-Watt-Szenario		
Erdwärmesonden [GWh/a]	139	167
Selbstversorgungsgrad [%] (thermisch / elektrisch)	19 / 58	20 / 58
Leistung <i>per capita</i> [W _{PE} /EW]	2743	2756

Saisonale Schwankungen beim Energieverbrauch und bei der Endenergieerzeugung

Der Energieverbrauch schwankt in Abhängigkeit von der Jahres- und Tageszeit. Im Strombereich werden diese Schwankungen kompensiert durch das Netz. In Zukunft wird die Elektrifizierung des Individualverkehrs neben den Pumpspeicherkraftwerken ein weiteres Regelkraftwerk bilden, um Spitzenlasten zu glätten. Im Modell werden saisonale Schwankungen im Strombereich daher nicht berücksichtigt; betrachtet wird nur die Strombilanz.

Im Wärmebereich ist zwischen den Wärmenetzen und den dezentralen Wärmeoptionen in nicht versorgten Bereichen zu unterscheiden. Im Bereich von Wärmenetzen wird die Wärmebereitstellung durch Energieträger sichergestellt, die bedarfsgerecht eingesetzt werden. Im Modellraum werden fossile und regenerative (Biomasse) sowie teilweise regenerative Energieträger (Kehricht) eingesetzt. Dazu kommt das geothermische Wärmenetz.

Im Bereich der dezentralen Wärmeversorgung ist zwischen den Energieparteien Wohnen und Arbeiten sowie zwischen Heizwärme und der Prozesswärme zu unterscheiden. Im Sektor Arbeiten wird die Industrie als nicht dezentral wärmeversorgt angenommen. Im Sektor GHD werden Erdwärmesonden zur Heizwärmeunterstützung in Betracht gezogen. Bei Zweckbauten wird zusätzlich ein solarthermischer Input berücksichtigt, der jedoch, wie im nächsten Abschnitt beschrieben, saisonalen Schwankungen unterliegt.

Im Sektor Wohnen wird der dezentrale Raumwärmebedarf über Erdwärmesonden sichergestellt. Der Warmwasserbedarf wird in verdichteten Bereichen über Abwasserwärmerückgewinnung und in wenig verdichteten Bereichen über Sonnenkollektoren sichergestellt. Die Bereitstellung von Abwasserwärme

wird als bedarfsgerecht interpretiert (Kalberer 2010). Bei Sonnenkollektoren ist die jahreszeitliche Variation der Einstrahlung zu berücksichtigen. Sonnenkollektoren werden in diesem Modell grundsätzlich für den Warmwasserbedarf der heizfreien Monate (Juni, Juli, August) bemessen. Eine Heizwärmeunterstützung durch Sonnenkollektoren wird ausgeschlossen, um eine Überproduktion von Wärme im Sommer zu vermeiden und gleichzeitig die Flächenressource der Gebäudehülle optimal (durch PV) zu nutzen. Die Deckung des saisonalen Wärmebedarfs hängt somit von einer Vielzahl von Komponenten ab und ist stadtraumtypisch. Abbildung 12.3-1 zeigt den stadtraumtypischen dezentralen Versorgungsgrad bei stadtbildverträglicher Ausnutzung der Flächenressourcen in Bereichen, in denen sowohl eine solare Nutzung der Gebäudehülle als auch Erdwärmesonden zulässig sind. Dargestellt sind die zwölf Monate im Uhrzeigersinn und ihr Versorgungsgrad mit regenerativer dezentraler Wärme. Dabei erfolgt die Raumwärmebereitstellung über Erdwärmesonden und die Warmwasserbereitstellung mit Sonnenkollektoren oder Abwasserwärme. Es wird deutlich, dass eine dezentrale Wärmeversorgung bei Einfamilienhäusern und im Geschosswohnungsbau (seit 1990) sichergestellt werden kann, wogegen in der Altstadt, in gründerzeitlichen Vierteln, im sozialen Wohnungsbau und für Hochhäuser eine dezentrale, regenerative Wärmebereitstellung nur bedingt möglich ist.

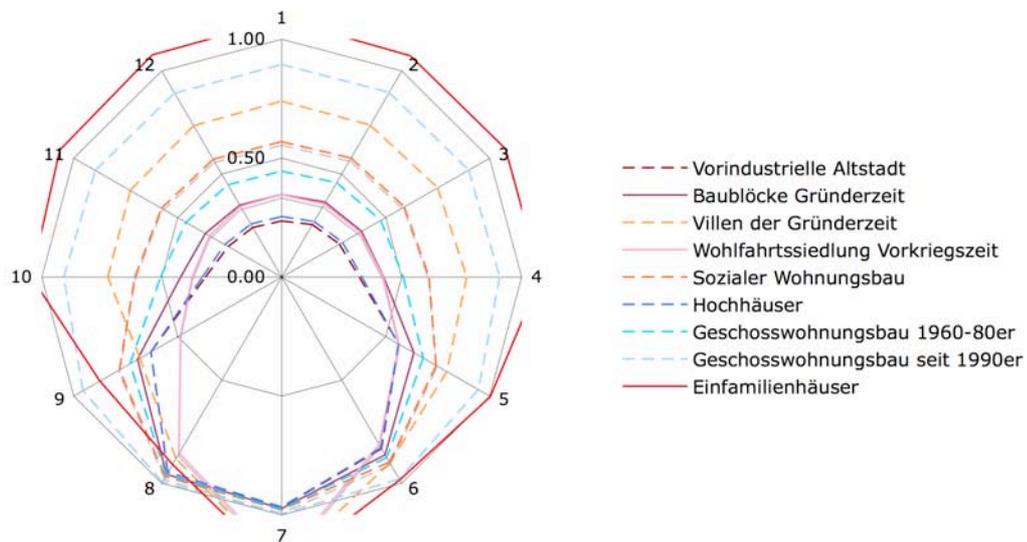


Abb. 12.3-1. Saisonaler Versorgungsgrad mit dezentraler regenerativer Wärme (Raumwärme und Warmwasser). Im Uhrzeigersinn sind die Monate abgetragen. Für die Monate, in denen die Markierung 1.00 überschritten wird, kann ausreichend regenerative Wärme bereitgestellt werden. Gestrichelt sind Stadtraumtypen die insgesamt weniger als 100 ha beanspruchen.

12.4. Vergleich mit anderen Modellregionen

Der Grad der Selbstversorgung mit regenerativer Energie ist, wie das Potenzial, Treibhausgase einzusparen, abhängig von einer Vielzahl von Faktoren. Zu ihnen gehören naturräumliche und klimatische Vorgaben, die räumliche Gliederung von Stadt und Landschaft und die demographische Entwicklung in der Region.

In diesem Kapitel wird das Energie- und Klimapotenzial des Kantons Basel-Stadt anderen Modellräumen gegenüber gestellt. Dazu zählen:

- die Stadt Gelsenkirchen als Beispiel für eine Industriestadt im Strukturwandel
- die Stadt Leipzig als Beispiel einer postsozialistischen, de-industrialisierten Grossstadt
- die Stadt Stuttgart als Beispiel für eine wirtschaftsstarke Boom-Region
- die Kleinstadt Nordhausen als Beispiel für ein schrumpfendes Mittelzentrum
- Wilhelmsburg als Beispiel für eine Metropolregion und Ort der Internationalen Bauausstellung IBA Hamburg
- der Landkreis Osnabrück als Beispiel für eine ländlich geprägte, nordeuropäische Binnenregion
- der Freistaat Thüringen als Beispiel für das Energie- und Klimapotenzial einer geographischen Grossregion
- das Fürstentum Liechtenstein als Beispiel für einen alpinen Wirtschaftsstandort

Die Ergebnisse für die Region Villach (Österreich) lagen zu Redaktionsschluss noch nicht vor. Alle Modellregionen wurden nach der gleichen Methodik analysiert. Es erfolgte eine Einteilung in energetische Homogenbereiche und eine Summierung der regenerativen Potenziale. Grundsätzlich wurden die Energieparteien Wohnen, Arbeiten und Mobilität und die Energieformen Wärme, Strom und Treibstoffe unterschieden. Die Effizienzpotenziale wurden an die Modellräume angepasst und basieren auf regionalen und nationalen Prognosen. Suffizienzpotenziale wurden nicht betrachtet. Bestimmt wurde das maximale, ökologisch vertretbare und städtebaulich kompatible regenerative Endenergiepotenzial. Es wurden somit dem 2000-Watt-Szenario entsprechende Szenarien gewählt.

Tabelle 12.4-1 zeigt die Ergebnisse aus den Modellregionen. Dargestellt sind neben der Fläche und der Einwohnerzahl die Selbstversorgungsgrade für Wärme, Strom und Treibstoffe. Das Einsparpotenzial von Treibhausgasen liegt nur für einige Modellregionen vor. Trotz der Datenunsicherheiten in einigen Modellregionen und geringfügigen Abweichungen in den Szenariendefinitionen wird deutlich, dass

- in den Regionen eine zum Teil hohe regenerative Selbstversorgung erreicht werden kann
- in einigen Modellräumen das Potenzial der Stromerzeugung den Bedarf übersteigt
- die regenerative Wärmebereitstellung erwartungsgemäss bei 100% begrenzt ist
- eine Versorgung mit erneuerbaren Kraftstoffen (*Biofuels*) nicht gelingt

- in den Modellräumen mit geringer Bevölkerungsdichte eine Selbstversorgung eher erreicht wird.

Der letzte Aspekt wird in Abbildung 12.4-1 verdeutlicht: Regionen mit (im Mittel) geringer Bevölkerungsdichte erreichen die Selbstversorgung eher, werden in einigen Fällen sogar zu Exporteuren von "grünem" Strom. Dieser Aspekt hat eine besondere Bedeutung, wenn man den sich abzeichnenden Trend zur Elektromobilität bedenkt. Elektromobile entschärfen die generell zu konstatierende mangelhafte Versorgung mit erneuerbaren Treibstoffen und dienen zudem als vernetztes Regelkraftwerk, das Spitzenlasten auszugleichen in der Lage ist.

Um die mitunter hohen regenerativen Erträge selbst in verdichteten Regionen zu verstehen, sind die regionaltypischen Ressourcen zu beachten. So macht zum Beispiel im Hamburger Modellraum die Windkraft zum Prognosehorizont (2050) über 50% der regenerativen Stromerträge aus. Im Raum Basel würde aufgrund der naturräumlichen Vorgaben die Wasserkraft ein erhebliches Potenzial darstellen. Da die Modellgrenze aber den administrativen Grenzen des Kantons Basel-Stadt entspricht, kann dieses Potenzial nicht angerechnet werden. Es ist daher zu überlegen, inwieweit die vom Schweizervolk finanzierte alpine Wasserkraft trotz *intra muros* Betrachtung *per capita* zu bilanzieren wäre. Überträgt man den Wasserkraftertrag der Schweiz von 37'136 GWh/a (BfS 2009) bevölkerungsanteilig auf den Kanton Basel-Stadt, könnten aktuell 916 GWh/a dem Modellraum angerechnet werden. Daraus ergäbe sich – abzüglich des *intra muros* Wasserkraftertrages – im Jahr 2050 ein elektrischer Selbstversorgungsgrad von 126%, vorausgesetzt, der Wasserkraftertrag bleibt mittelfristig stabil, was vor dem Hintergrund des Klimawandels allerdings ungewiss ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Kanton Basel-Stadt nach dieser Rechnung stromautark würde.

Das Potenzial einer Modellregion ist grundsätzlich nicht begrenzt durch deren Wirtschaftskraft. Es gibt Beispiele, in denen strukturschwache Regionen durch regenerative Energien einen Aufschwung erfahren konnten (Beispiel Güssing im südlichen Burgenland, Österreich). Die Potenziale zu wecken hängt allein vom politischen Willen, der Einbindung der Bevölkerung und der Sensibilisierung allfälliger Investoren ab.

Tab. 12.4-1. Vergleich anderer Modellregionen mit dem Kanton Basel-Stadt

Modellregion	Einwohner ¹	Fläche	Bevölkerungsdichte ¹	Arbeitslosenquote ¹	Höhe über NN	Selbstversorgungsgrad			THG-Emissionen ³ 2010	Einsparung von Treibhausgasen ⁴
						Wärme	Strom	TS ²		
	-	ha	EW/ha	%	m	%	%	%	t CO ₂ eq ⁵ /EW.a	%
Gelsenkirchen ⁶	264765	12500	21.2	15,6 (2008)	25-95	91	88	nb	nb	nb
Leipzig ⁶	510567	29736	17.2	15,9 (2008)	ca. 113	67	86	nb	nb	nb
Stuttgart ⁶	597176	20700	28.8	3,9 (2008)	ca. 245	84	38	nb	nb	nb
Nordhausen ⁶	44057	10530	4.2	15,3 (2009)	ca. 185	99	107	nb	nb	nb
Hamburg- Wilhelmsburg ^{7,8}	55083	3613	15.2	11,8 (2009)	ca. 0-40	85	125	nb	nb	nb
Landkreis Osnabrück ⁹	358236	212159	1.7	5,6 (2010)	nb	102	150	3	nb	nb
Freistaat Thüringen ^{10,13}	2221700	1617210	1.4	10,5 (2011)	114-974	68	125	13	nb	nb
Fürstentum Liechtenstein ¹¹	36254	16050	2.3	2,3 (2008)	430-2599	73	73	0	10.8	65 ¹²
Kanton Basel- Stadt	192028	3707	51.8	3,8 (2010)	245-522	19	58	0	5.3	39

¹Zur Zeit der Studie; ²Treibstoffe; Treibhausgasemissionen *per capita*, d.h. CO₂-äquivalente Gesamtemissionen aus Energieerzeugung *per capita* (ausser "grauen" Emissionen); ⁴im Vergleich zum Zeitpunkt der Studie; ⁵Tonnen CO₂-äquivalente pro Einwohner im Jahr der Studie; ⁶Studie "Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energieerzeugung (BBR/BBSR & BMVBS 2009b); ⁷Energieatlas der Internationalen Bauausstellung Hamburg (Genske, Henning-Jacob et al. 2010); ⁸ohne Energiebedarf der Industrie (i.w. des Freihafens) und ohne dessen Flächenressourcen und Effizienzpotenziale; ⁹Klimaschutzkonzept des Landkreises Osnabrück (Genske & Ruff 2011); ¹⁰Thüringer Bestands- und Potenzialatlas für erneuerbare Energien (Fischer et al. 2011); ¹¹Erneuerbares Liechtenstein (Droege et al. 2011); ¹²unter Berücksichtigung des CO₂-Bindungspotenzials (Holzlager, Humus, Biokohle); ¹³vorläufige Werte, tiefe Geothermie noch nicht berücksichtigt.

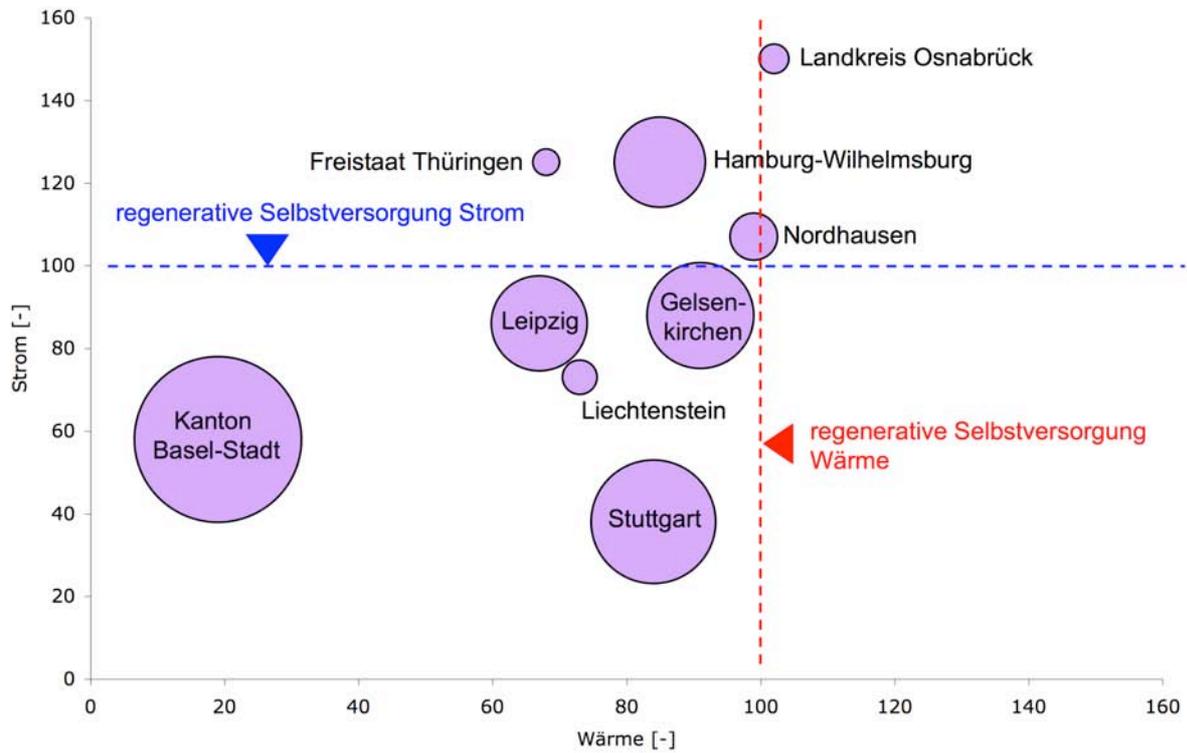


Abb. 12.4-1. Basel im Vergleich zu anderen Modellräumen. Für alle Modellräume ist das praktisch machbare Potenzial dargestellt (2000-Watt-Szenario im Kanton Basel-Stadt). Die Grösse der Kreise entspricht der Bevölkerungsdichte (Einwohner pro Quadrat-kilometer). Je grösser der Kreis, desto höher ist die Bevölkerungsdichte..

12.5. Handlungsempfehlungen

Der Kanton BS ist bestrebt, den Anteil erneuerbarer Energien kontinuierlich zu steigern und eine Absenkstrategie des Energiebedarfs hin zur 2000-Watt-Gesellschaft zu entwickeln. Im Rahmen der vorliegenden Studie konnten sechs Themenfelder definiert werden, die für die Zielerreichung von besonderer Bedeutung sind.

Themenfeld 1: Gebäudesanierungen

Eine wesentliche Voraussetzung für die Erreichung der 2000-Watt-Gesellschaft ist die Senkung des Energieverbrauchs durch energetische Sanierungen im Gebäudebestand sowie die konsequente Umsetzung der 2000-Watt-kompatiblen Energiestandards im Neubaubereich.

Nur bei Erreichung der vorgegebenen Sanierungsrate von 2% pro Jahr sind die mittel- und langfristigen Reduktionsziele erreichbar. Zur Erreichung dieser Ziele sind folgende unterstützende Massnahmen notwendig:

- Realisierung von energetisch vorbildlichen „Leuchtturmprojekten“ insbesondere bei öffentlichen Gebäuden.
- Weiterführung der verbindlichen Vorgaben des Energiestandards (2000-Watt-konformes Bauen nach SIA) für alle städtischen Neubauten.
- Weiterführung von finanziellen Anreizen zur Förderung der Sanierung im SIA Standard für 2000-Watt-konformes Bauen.
- Förderung der Erstellung von Gebäudeausweisen zur Ermittlung und Darstellung des Energieverbrauchs und Einsparpotenziale.
- Weiterführung der Beratung und Umsetzungsbegleitung von Immobilienbesitzern und Bauherren über ambitionierte Energiestandards und potenzielle Kosteneinsparungen durch Energieeffizienz.
- Förderung des Einsatzes neuer Technologien (innovative Lüftungssysteme, neue Wärmedämmungssysteme, ressourceneffizienter Baustoffeinsatz, Abwärmerückgewinnungs-Anlagen für geringe Abwassermengen).

Themenfeld 2: Energieeffizienz von Geräten und Prozessen

Einschlägige Studien weisen theoretische Einsparpotenziale bei der Nutzung von elektrischer Energie in der Grössenordnung von 30% für private Haushalte, 25% bei Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie 20% in der Industrie aus. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um die Optimierung bestehender Geräte und Anlagen. So kommen die besten verfügbaren Kühlschränke mit einem Drittel der Energie üblicher Bestandsgeräte aus, neue Waschmaschinen benötigen nur die Hälfte des Stroms heute genutzter Geräte. Im produzierenden Gewerbe können drehzahlgeregelte Motoren für Förderanlagen, Lüfter oder Mixer Energie in ähnlicher Grössenordnung sparen.

Im Bereich der Energieeffizienz werden im Kanton BS bereits verschiedene Massnahmen umgesetzt (Lenkungsabgaben des Stromsparfonds, Informationskampagnen, Sensibilisierung). Die Ausschöpfung der hohen Einsparpotenziale kann durch die folgenden, weiteren Massnahmen erreicht werden:

- Grossverbrauchermodell: Förderung der Energieeffizienz von Grossverbrauchern durch einen Effizienzbonus für Strom-, Gas- und Wärmekunden oder die Verpflichtung dieser Verbraucher im Rahmen der bestehenden Gesetze.
- Weiterführung der Massnahmen in der öffentlichen Verwaltung (optimierte Prozesse, Verwendung effizienter Geräte etc.).
- Zusammentragung und Förderung von Branchenlösungen für energieeffiziente Prozesse. Die Erfahrung zeigt, dass es dabei nicht ausreicht, entsprechende Informationen in Broschüren oder im Internet bereitzustellen. Vielmehr müssen die Betriebe aktiv angesprochen werden.
- Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Industrieprozessen.
- Upcycling: Schaffung von Kreisläufen in Produktionsprozessen („industrial symbiosis“): Abfälle werden zu Rohstoffen. Hierfür ist eine entsprechende Raumplanung erforderlich.
- Förderung energieeffizienter Geräte in Haushalten und Gewerbe durch einen Effizienzfonds.
- Schaffung von Anreizen für eine Suffizienz fördernde Ausstattung von Neubauten (z.B. Trockenräume statt Tumbler).
- Förderung energieeffizienter Strassenbeleuchtung (z.B. durch ein Pilotprojekt für den Einsatz von LED Strassenlampen).

Themenfeld 3: Förderung dezentraler Anlagen für erneuerbare Energien

In der vorliegenden Studie wurden die erneuerbaren Potenziale der verschiedenen regenerativen Energieoptionen analysiert und dargestellt. Die ermittelten Energiepotenziale müssen nun schrittweise standortspezifisch erschlossen werden.

Dazu werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Erstellung eines Energierichtplans: Festlegung von zukünftigen zentralen Energieerzeugungsanlagen, Entwicklung von Versorgungsnetzen, ortsspezifische Priorisierung von dezentralen EE-Anlagen (Koordination des Baus von Anlagen für erneuerbare Energien, damit die verschiedenen Optionen an den richtigen Standorten implementiert und Synergien genutzt werden), Nutzung regionaler Biomassepotenziale etc.
- Erstellung eines Solardachkatasters.
- Umstellung der Wärme- und Stromversorgung öffentlicher Gebäude auf erneuerbare

Energieträger (Vorbildwirkung).

- Verstärkte Nutzung von Abwärme (Energiepartei Arbeiten, z.B. aus Prozesswärme von industriellen Anlagen) und entsprechende Modelle zur Distribution (z.B. Niedertemperaturnetze).
- Anpassung der elektrischen Netzstruktur für viele dezentrale Einspeiser.
- Energetische Nutzung von Abfall- und Reststoffen. Prüfung der Frage, inwieweit sich eine Vergärung von organischen Abfällen lohnt.
- Prüfung weiterer Optionen der Energiegewinnung (z.B. Energiebojen im Rhein, Wärmegewinnung aus Rheinwasser, Holzvergasung).
- Entwicklung neuer Finanzierungsmodelle, z.B. Contracting-Modelle oder Genossenschaftsmodelle.
- Erhöhung der Budgets von Förderprogrammen für erneuerbare Energien und Verbesserung der Transparenz dieser Programme (Zugänglichkeit der Information zu den Angeboten der öffentlichen Hand).
- Einrichtung eines Klimaschutz-Fonds, in den Sondereinnahmen z.B. „Solarrappen“ auf Eintrittspreise für Sport- und Musikveranstaltungen etc. fliessen, die zur Unterstützung von privaten Projekten innerhalb der Kommune verwendet werden. In diesem Rahmen können beispielsweise Initiativen und innovative Massnahmen finanziert werden (z.B. CO₂-freie Quartiere oder Strassenzüge).
- Stärkung der regionalen Zusammenarbeit in Energiefragen. Als städtischer Kanton ist Basel-Stadt für eine regenerative Energieversorgung auf energetische Ressourcen ausserhalb des Kantonsgebiets angewiesen. Dies gilt insbesondere für Biomasse-Potenziale.

Themenfeld 4: Fernwärme

Selbst bei einem maximalen Ausbau der erneuerbaren Wärmebereitstellung im 2000-Watt-Szenario kann der Wärmebedarf im Kanton BS bis 2050 nicht gedeckt werden. Dies betrifft insbesondere Gebiete, welche nicht durch Erdwärme versorgt werden können oder aufgrund der vorherrschenden Gebäudetypen einen hohen Verbrauch aufweisen. Für den Ersatz der fossil betriebenen dezentralen Heizsysteme sind folgenden Optionen zu prüfen:

- Ausbau des Fernwärmenetzes. Da die energetischen Ressourcen für die Wärmebereitstellung im Kanton Basel-Stadt begrenzt sind, wird der Bedarf *extra muros* gedeckt werden müssen (Biomasse, Geothermie).
- Verdichtung in Fernwärme versorgten Gebieten.
- Prüfung von Niedertemperatur-Fernwärmenetzen.

Themenfeld 5: Modal Split und Einführung der Elektromobilität

Ein Grossteil des Energieverbrauchs des Verkehrs kann durch eine Reduktion der Fahrzeugkilometer des MIV erreicht werden. Als ein primäres Ziel im Mobilitätsbereich bietet sich deshalb eine Verlagerung von MIV auf den öffentlichen Verkehr und den Langsamverkehr (LV) an. Eine solche Verlagerung bedingt allerdings starke Veränderungen im Mobilitätsverhalten, insbesondere bei Personen, die ausserhalb der Stadt wohnen. Massnahmen in diesem Bereich sind:

- Ausbau und Optimierung des ÖV: Transportleistung, Erschliessung, optimierte Verbindungen, kurze Wartezeiten im ÖV-Netz.
- Schaffung optimaler Bedingungen für den Langsamverkehr: Verbesserung von Fuss- und Velowegnetz.
- Aufwertung von Stadträumen in Quartieren durch Begegnungszonen und Tempo-30-Zonen. Dies führt zu einem beruhigten Verkehrsregime mit weniger stop-and-go Verkehr und schafft optimale Bedingungen für Fuss- und Veloverkehr.

Aufgrund der sich mittel- bis langfristig abzeichnenden Verknappung von Treibstoffen (*Peak Oil*) ist die Zunahme der Elektromobilität eine sehr wahrscheinliche Entwicklung. Da der grösste Anteil des Treibstoffverbrauchs beim MIV liegt, kann die Einführung elektrisch betriebener PKWs einen zentralen Faktor für die Erreichung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft darstellen. Durch eine deutlich höhere Energieeffizienz (Faktor 3-4) sinkt der Energieverbrauch massgeblich. Eine zentrale Voraussetzung ist jedoch der gleichzeitige Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung, damit dieser Effizienzgewinn und die Reduktion der CO₂-Emissionen auch tatsächlich erreicht werden können.

Derzeit stellt die Batterietechnologie allerdings noch einen grossen Unsicherheitsfaktor in der Entwicklung der Elektromobilität dar (Kosten, Energiedichte, Ressourcenknappheit, ökologischer Fussabdruck). Aus diesem Grund haben Effizienzmassnahmen bei konventionellen Fahrzeugen (kleinere Motoren, geringeres Fahrzeuggewicht) kurz- bis mittelfristig noch einen grösseren Effekt auf den Energieverbrauch. Für eine langfristige Förderung des elektrischen Individualverkehrs bieten sich folgende Massnahmen an:

- Elektromobilitätsfonds: Fortführung des Projekts „NewRide“, das Anreize zum Kauf von Elektrofahrrädern und Elektro-Scootern schafft. Bei elektrischen Zweirädern kann schon deutlich früher eine signifikante Marktdurchdringung erwartet werden als bei elektrischen PKWs. Im Bereich der PKWs sind bereits von mehreren Automobilherstellern serientaugliche Modelle auf dem Markt und es ist zu erwarten, dass das Angebot rasch zunehmen wird. Eine frühzeitige und koordinierte Förderung von elektrischen PKWs ist deshalb notwendig, wenn eine rasche Marktdurchdringung erreicht werden soll.
- Schaffung von Ladeinfrastrukturen in Quartieren und Gewerbebereichen, sowie später evtl. auch auf Parkplätzen im öffentlichen Raum.
- Kartierung der Flächenressourcen des Sektors Verkehr für die Erzeugung von Strom (Photovoltaik).

Themenfeld 6: Öffentlichkeitsarbeit und Beratung

Für die begleitende Öffentlichkeitsarbeit werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Energieatlas (Karten, Grafiken, Infos) und/oder Broschüren zur Vermittlung von Informationen an die Bevölkerung.
- Website, auf welcher sich Immobilieneigentümer über die Optionen für die Erzeugung von EE gebäudespezifisch informieren können.
- KMU-Modell: Beratung von Kleingewerbe für Energiesparmassnahmen durch die IWB.

Masterplan 2020 und 2050

Für die Umsetzung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft wird empfohlen, einen verbindlichen Masterplan zu erstellen. Für eine mittelfristige Perspektive bis 2020 und eine langfristige Perspektive bis 2050 sind konkrete Handlungsfelder zu definieren und Zielwerte festzulegen (z.B. Anteil neue erneuerbare Energien im Kantonsgebiet oder Anteil Elektromobilität). Auf dieser Basis werden anschliessend Projekte und Massnahmen definiert, durch welche die Ziele zu erreichen sind.

Endenergie-Matrix

Als Entscheidungshilfe zur Priorisierung der oben genannten Massnahmen wurden die in dieser Studie berechneten Einsparpotenziale bis 2050 tabellarisch dargestellt (Tabelle 12.5-1). Aufgeführt sind die Einsparungen des jährlichen Endenergieverbrauchs (in GWh), die im 2000-Watt-Szenario erreicht werden können.

Tabelle 12.5-1. Einsparpotenziale bei Wohnen, Arbeiten und Mobilität bis 2050 im 2000-Watt-Szenario (in GWh/a).

Sektor/Nutzungsart	2010	2050	Abnahme absolut	Abnahme relativ
	GWh/a	GWh/a	GWh/a	%
<i>Wohnen</i>				
Raumwärme	837	458	379	45
Prozesswärme	175	126	49	28
Strom	286	225	61	21
Kraft	0	0	0	0
Total	1298	810	488	38
<i>Arbeiten</i>				
Raumwärme	924	503	422	46
Prozesswärme	1455	1221	234	16
Strom	1006	575	431	43
Kraft	64	35	29	46
Total	3449	2333	1116	32
<i>Mobilität</i>				
Raumwärme	0	0	0	0
Prozesswärme	0	0	0	0
Strom	69	160	-91	-131
Kraft	1081	617	464	43
Total	1150	776	374	32

Die Darstellung zeigt, dass in Haushalten wie erwartet die grössten Potenziale bei der Raumwärme liegen. Bei Gewerbe-Handel-Dienstleistung und Industrie liegen die höchsten Einsparmöglichkeiten bei Raumwärme und Strom. Durch die Veränderungen des Modal Splits und der Einführung der Elektromobilität kann im Sektor Mobilität ähnlich viel Energie wie bei den Haushalten eingespart werden. Insgesamt liegen die höchsten Potenziale jedoch im Sektor Arbeiten. Für den Prozesswärme- und Strombedarf liegen hier die höchsten Einsparpotenziale in der Industrie (siehe Tab. 8.2-15 und 8.2-17).

13. Begriffsdefinitionen

2000-Watt-Gesellschaft: Die 2000-Watt-Gesellschaft ist ein energiepolitisches Modell, das im Rahmen des Programms Novatantis an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) entwickelt wurde. Gemäss dieser Vision sollte der Primärenergiebedarf jedes Erdenbewohners einer durchschnittlichen Leistung von 2000 Watt entsprechen.

Ausnutzungsziffer: Die Ausnutzungsziffer berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen Wohnfläche und Grundstücksfläche und legt fest, wie viel Prozent des Grundstücks genutzt werden dürfen.

Autarkie ist die Fähigkeit eines Modellraums, sich selbst mit erneuerbarer Energie zu versorgen.

Autarkiegrad ist das Mass, mit dem die Fähigkeit eines Modellraums zur energetischen erneuerbaren Selbstversorgung gemessen wird (100% entspricht einer völligen Selbstversorgung).

Bruttobauland ist die Gesamtheit aller Baugrundstücke inklusive der dazugehörenden Grün,- Verkehrs- und Wasserflächen innerhalb eines Baugebietes.

Bruttogeschossfläche ist die Summe der Grundflächen, der oberirdischen Geschosse (einschliesslich der sie umgebenden Wände), aller der Erschliessung dienenden Laubengänge, Passagen und Balkone, der überdachten Parkplätze sowie weiterer, teilweise anrechenbarer Flächen (s. Bau- und Planungsgesetz BPG) .

Diffuse Potenziale sind Potenziale der erneuerbaren Endenergieerzeugung, die in der Nutzungsphase weder (Frei)Flächen blockieren noch Stoffströme auslösen (zum Beispiel Photovoltaik-Dach- oder Fassadenanlagen).

Endenergie ist die dem Verbraucher übergebene Energie und entspricht einem aufbereiteten und umgewandelten Primärenergieträger. Der Aufbereitungs- und Umwandlungsprozess kann aufwendig sein und mit Effizienzverlusten einhergehen (Erz zu Kohle, Rohöl zu Heizöl, Kernkraft zu Strom) oder auch kaum ins Gewicht fallen (wie bei regenerativen Energien).

Energiebezugsfläche: Die Energiebezugsfläche entspricht der Fläche, auf der Energie (Strom, Wärme, Treibstoffe) bezogen wird. Im Gebäudebereich entspricht sie der Bruttogeschossfläche abzüglich unversorgter Flächen (z.B. Flure).

Energiedeckungskarten stellen das Potenzial, erneuerbare Energie zu erzeugen, mit dem Energiebedarf ins Verhältnis.

Energieparteien werden gebildet, um die Menge der Energieabnehmer zu systematisieren. In dieser Studie werden die Energieparteien "Haushalte", "Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)", "Industrie" und "Mobilität" unterschieden.

Flächeneffizienz charakterisiert den Flächenanspruch zur erneuerbaren Endenergieerzeugung und wird in Hektar pro Gigawattstunden angegeben.

Freiflächenanlagen sind Anlagen, die eine Freifläche in Anspruch nehmen und somit für keine andere Nutzung mehr zur Verfügung stehen.

Gebäudenutzfläche ist die Nettogrundfläche eines Gebäudes abzüglich von Verkehrsflächen und

technischen Funktionsflächen.

Geoinformationssysteme (GIS) verknüpfen digitale Karten mit Datenbanken, um ausgewählte Daten räumlich zu bearbeiten, zu überlagern und zu visualisieren.

Gestehungskosten bezeichnen das Verhältnis der Summe der Betriebs- und Kapitalkosten (inklusive der jährlichen Zinszahlungen und Abschreibungen auf die Investitionskosten) zur produzierten Nettoenergie und erlauben einen wirtschaftlichen Vergleich einzelner Optionen der Endenergieerzeugung.

Graue Energie bezeichnet diejenige Energiemenge, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung benötigt wird. Der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse wird dabei addiert, wobei auch die Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung mit einbezogen werden.

Jahresarbeitszahl ist das Verhältnis der erzeugten Wärmeenergie zur zugeführten elektrischen Energie.

Konkrete Potenziale sind Potenziale der erneuerbaren Endenergieerzeugung, die in der Nutzungsphase entweder Flächen blockieren und/oder Stoffströme auslösen (zum Beispiel Energiepflanzen).

Kurzumtrieb ist die Kultivierung schnell wachsender Pflanzen (Gehölze, krautige Pflanzen) auf geeigneten Flächen.

Nettogrundfläche ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Gebäudes ohne Konstruktionsflächen.

Nutzenergie ist die Wärme, das Licht, die mechanische Arbeit etc., die aus der (vom Verbraucher gekauften / dem Verbraucher übergebenen) Endenergie gewonnen wird. Bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie kommt es zu Effizienzverlusten.

Primärenergie setzt sich aus Endenergie und der zur Bereitstellung der Endenergie aufgewendeten grauen Energie zusammen. Die Umrechnung von Endenergie in Primärenergie erfolgt durch Primärenergiefaktoren.

Primärenergiefaktoren (PEF) dienen zur Umrechnung von Endenergie in Primärenergie. Ein PEF ist definiert als die Primärenergiemenge, die erforderlich ist, um dem Verbraucher (z.B. einem Gebäude) eine bestimmte Endenergiemenge zuzuführen, bezogen auf diese Endenergiemenge. Dieser Faktor berücksichtigt die zusätzlich erforderliche Energie, die erforderlich ist, um die Energie zu gewinnen, umzuwandeln, zu raffinieren, zu transportieren und zu verteilen. Die Systemgrenze ist global.

Repowering ist der Ersatz alter Energieanlagen durch neue, in der Regel leistungsstärkere.

Rückbau ist die Wiederherstellung des Zustandes eines Geländes vor dem aktuellen Nutzungszyklus.

Solare Begabung ist die Fähigkeit eines Gebäudes, über seine Hülle solar Energie zu erzeugen.

Solare Gütezahlen spezifizieren die solare Begabung eines prototypischen Stadtraums.

Stadtraumtypen sind prototypische, nach städtebaulichen Leitbildern geschaffene Stadträume, die hinsichtlich ihres Energieverbrauchs und ihrer Begabung, erneuerbare Energie zu erzeugen, vergleichbar sind.

Treibhausgase wie CO₂ bzw. CO₂-Äquivalente verursachen den Treibhauseffekt, also die Aufwärmung der Erdatmosphäre. Die in diesem Bericht angewendeten Treibhausgas-Emissionskoeffizienten beinhalten sowohl die Emissionen durch den Energieverbrauch im Modellgebiet, als auch die Emissionen des grauen Energieverbrauchs (Emissionen der für die Bereitstellung der Energieträger eingesetzten grauen Energie).

Treibhausgas-Emissionskoeffizienten sind die Menge der durch den Verbrauch einer Einheit (z.B. 1 MJ) Endenergie emittierten Treibhausgase, ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten. Zusätzlich zu den beim Primärenergiefaktor berücksichtigten Prozessen berücksichtigt der Treibhausgas-Emissionskoeffizient die Treibhausgasemission bei der Verbrennung innerhalb des Bilanzperimeters.

Zwischennutzung ist die temporäre Nutzung einer Fläche mit dem Ziel, eine raumplanerische Zustandsverbesserung zu erreichen oder einen wirtschaftlichen Gewinn zu erzielen.

14. Anhänge

Anhang 1: Liste der als Industrie bezeichneten Grossverbraucher Kanton Basel Stadt

Novartis St. Johann

Novartis Rosental

Chemiebetriebe Rosental

Hoffmann LaRoche

Pro Rheno AG

Bell AG

Coop

Trench Switzerland AG

Nestlé Suisse AG

Bardusch AG

Anhang 2: Detailstudie zu GHD und Industrie

In diesem Anhang wird dargestellt, welche aktuellen Definitionen für die Energieparteien Industrie und GHD zuzeit existieren, welche dieser Studie zugrunde liegt und wie aufgrund der Vorgaben der Energiebedarf für Industrie und GHD abgeschätzt wird.

Die Unterscheidung von Industrie und GHD im Kanton BS

Für die Energieparteien Industrie und GHD gibt es einer Reihe von Definitionen. Diese Definitionen richten sich nach dem produzierten Produkt, dem Energieverbrauch, dem Emissionspotenzial und dem städtebaulichen Leitbild. Im Folgenden werden die für den Kanton BS relevanten Definitionen erläutert.

Energiestatistik Kanton BS

In der Energiestatistik des Kanton BS (AUE 2004) werden neun Industriestandorte (drei Chemie-Standorte, ARA, BELL, Coop, Trench Switzerland AG, Nestlé Suisse SA, Zentralwäscherei) als Industrie interpretiert, der Rest wird der Energiepartei GHD zugerechnet.

Endenergieverbrauch

Der Basler Versorger IWB nutzt den Endenergieverbrauch, um beide Energieparteien zu unterscheiden (Meier 2010). Danach wird ab einem Endenergieverbrauch > 100 MWh (>360 MJ) ein Gewerbe als Industrie angesprochen. Eine genauere Einteilung wird nicht vorgenommen. Dies ergäbe laut den uns vorliegenden adressbezogenen Daten für 2008 ca. 686 Industriebetriebe (2009: 977).

Standardprofile

Für den Sektor Gewerbe, Industrie und Dienstleistungsbetriebe werden die in Tabelle A2-1 gelisteten Standortprofile unterschieden.

Tab. A2-1: Standardprofile des Verbands für den Sektor Gewerbe, Industrie und Dienstleistungsbetriebe.

Bezeichnung	Profil
C1	Kleinstbetrieb, max. beanspruchte Leistung: 8 kW; cosf=0,9, 8'000 kWh/a
C2	Kleinbetrieb, max. beanspruchte Leistung: 15 kW; cosf=0,9, 30'000 kWh/a
C3	Mittlerer Betrieb, max. beanspruchte Leistung: 50 kW; cosf=0,9, 150'000 kWh/a
C4	Grosser Betrieb, max. beanspruchte Leistung: 150 kW; cosf=0,9, Niederspannung, 500'000 kWh/a
C5	Grosser Betrieb, max. beanspruchte Leistung: 150 kW; cosf=0,9, Hochspannungsmessung, eigene Transformatorenstation, 500'000 kWh/a
C6a	Grosser Betrieb, max. beanspruchte Leistung: 400 kW; cosf=0,9, Hochspannungsmessung, eigene Transformatorenstation 1'500'000 kWh/a
C7	Grosser Betrieb, max. beanspruchte Leistung: 1'630 kW; cosf=0,9, Hochspannungsmessung, eigene Transformatorenstation 7'500'000 kWh/a

NOGA-Code

Das Lufthygieneamt des Kanton BS orientiert sich an den NOGA-Kategorien 2008 (NOGA 2010). Der NOGA-Code (Nomenclature Générale des Activités économiques) ist eine 5-stufige Systematik der Wirtschaftszweige.

Die Kategorie C "Verarbeitendes Gewerbe/Herstellung von Waren" trifft zumindest teilweise auf die Energiepartei "Industrie" zu. Zu dieser Kategorie zählen die Herstellung und Verarbeitung von Nahrungs- und Futtermitteln, Getränke, Tabakwaren, Textilien und Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen, Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel), Papier, Pappe und Waren daraus, Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von Ton-, Bild- u. Datenträgern, Koks und Mineralöl, chemischen Erzeugnissen, pharmazeutischen Erzeugnissen, Gummi- und Kunststoffwaren, Glas und Glaswaren, Keramik, Steinen und Erden, Metalle, Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen, elektrischer Ausrüstungen, Maschinen, Automobilen und Automobilteilen.

Seit 1999 basiert die sektorale Gliederung der Energiestatistik auf der Wirtschaftssystematik NOGA. Der Sektor Industrie umfasst neu auch das verarbeitende Gewerbe. Der Sektor Dienstleistung hingegen beschränkt sich auf die Dienstleistungsbranchen.

Zonierungspläne BS (GVA)

Laut Bau- und Planungsgesetz (BPG) vom 17. November 1991 werden Zonen unterschieden, die auch im Kanton BS genutzt und in Form von Zonierungsplänen dargestellt werden. Für die Zone 7 "Industrie- und Gewerbezone" wird nach § 34 die Nutzungsart wie folgt definiert "Die Industrie- und Gewerbezone (Zone 7) ist bestimmt a) für Nutzungen, bei denen auf dem Grundstück Emissionen auftreten, die in Wohngebieten nicht zulässig oder nicht erwünscht sind; b) für Nutzungen, die wegen der Gefahr von Störfällen aus Wohngebieten fernzuhalten sind; c) für Lagerbauten und Abstellplätze. Andere Nutzungen sind zulässig, wenn sie nicht mehr Verkehr erzeugen als bei den bestimmungsgemässen Nutzungen im Durchschnitt entsteht oder wenn sie der bestimmungsgemässen Nutzung dienen. Wohnraum darf nur für Personal erstellt werden, das zur

Beaufsichtigung des Betriebes ständig auf dem Betriebsareal anwesend sein muss."

Arealstatistik 2004/09 (NOAS04) des Bundesamtes für Statistik

Die Nomenklatur entsteht durch die Kombination von Nutzungs- und Bedeckungscodes. Bei der Interpretation von Punktstichproben in digitalen Luftbildern wird jedem Stichprobenpunkt je ein Nutzungs- und Bedeckungscode zugeteilt. Aus der Matrix von 46 Nutzungs- und 27 Bedeckungskategorien entsteht durch eindeutige Zuordnung die Arealstatistik-Standardnomenklatur (NOAS04) (BfS 2010b).

Die Arealstatistik 2004/09 unterscheidet insgesamt 72 Grundkategorien in den Hauptbereichen:

Siedlungsflächen, Landwirtschaftsflächen, Bestockte Flächen, Unproduktive Flächen.

Industrie- und Gewerbeareale: Einkaufszentren, Fachmärkte, Baumärkte, Lagerhäuser im Industriegebiet, Nahrungsmittel-, Getränke- und Tabakindustrie, Textil-, Bekleidungs- und Schuhindustrie, Papierindustrie, chemische Industrie, Mineralölindustrie und –raffinerie (Cressier), Fahrzeughandel, Fahrzeugimport, Autogrossverteiler, Auto- und Motorradgaragen und Transportgewerbe, Grosssägereien, Grosskellereien, Grosskäsereien mit industriellem Charakter, Maschinen-, Fahrzeug- und Apparatebau, Industrie und Gewerbe der Bau- und Metallbranche, Gartencenter mit ausschliesslich Verkauf, Tankanlagen im Rheinhafen Basel, Landwirtschaftliche Genossenschaft (Landi), Anlagen der industriellen Wiederverwertung von Altmaterialien (Bitumen, Altglas-Recycling etc.), Bus- und Tramdepots, Armee-Motorfahrzeugparks und Zeughäuser, Gebäude mit Mischnutzung, bei denen die industrielle Nutzung nicht dominant ist, Mobile Container, provisorische Überdeckungen ohne Grundmauern, Kasernen, Kongresshallen, Messehallen (BEA, OLMA, MUBA, Palexpo, Züspa, Expo Lausanne), Post-, Polizei-, Zivilschutzgebäude, Feuerwehrmagazine, Spitäler, Kliniken, Pflegeheime, Kirchen, Klöster, Kapellen

Im Umschwung von Industrie- und Gewerbeareal befinden sich: Zufahrten, Rampen, Wege und Plätze, blind endende Industrie- und Abstellgeleise, Baumbestände, Gebüsche und Sträucher, Gärten, Obstbäume und Reben, Durchgangsstrassen, Parkplätze mit 10 und mehr Parkfeldern, Landwirtschaftlich genutzte Flächen im Areal, Holzlagerplätze innerhalb des Waldes

Nicht spezifizierte Gebäude: Grundfläche von Gebäuden mit Mischnutzung, mit unbekannter Nutzung oder Bauten, die dem Dienstleistungssektor zugeordnet werden können. Dazu zählen private Dienstleistungsbetriebe (Banken, Versicherungen, Informatik, Planung, Beratung, Handel etc.), Hotels, Restaurants, Cafés, Ladengeschäfte, die nicht unmittelbar zu einem Produktionsbetrieb gehören, Dorfkäserei, Milchannahmestelle, Einkaufszentren ausserhalb der Industrie- und Gewerbegebiete, Gebäude mit Mischnutzung (Nutzung Wohnen, öffentliche Verwaltung oder Industrie/Gewerbe (nicht vorherrschend)). Weiterhin zählen zu dieser Klasse leer stehende nicht spezifizierte Gebäude in Abwanderungsgebieten, Garagen, Gartenlauben und Wintergärten, Parkhäuser, Bahnhöfe, Autobahnraststätten, Sporthallen und gedeckte Stadien (Tennis, Squash, Reithallen, Hallenbäder), Turnhallen von Schulhäusern, Ferienheime.

Stadtraumtypisierung

Aufgrund der Nutzung des Gebäudes und der Form des Baukörpers sowie dem städtebaulichen Leitbild lassen sich urbane Prototypen oder Stadtraumtypen unterscheiden (Everding et al. 2004; Everding 2007). Der Stadtraumtyp "Industrie" zeichnet sich aus durch:

Hohe Maschinenhallen und mehrgeschossige Gewerbe- und Verwaltungsgebäude der Gründer- und Vorkriegszeit mit Innenhöfen, teilweise auch ausserhalb der städtischen Gründerzeitgürtel

Eingeschossige Leichtbauhallen sowie zwei- bis dreigeschossige Büro- und Verwaltungstrakte der 1950er, 1960er und 1970er Jahre in neu erschlossenen Gewerbegebieten oder auch auf Industriebrachen der Vorkriegszeit in Kosten sparender Bauweise.

Eingeschossige Leichtbauhallen sowie zwei- bis dreigeschossige Büro- und Verwaltungstrakte der 1980er Jahre in neu erschlossenen Gewerbegebieten mit höherer baulicher Qualität und grosszügigen Reserveflächen.

Energiebedarf

Der Abgleich der nach dieser Definition vorgenommenen Einteilung mit der Energiestatistik BS stellt sich als anspruchsvolle Aufgabe dar, die im Rahmen dieser Studie nur Ansatzweise gelöst werden kann. In einem ersten Schritt wird der Energieverbrauch für Industrie und GHD zusammengefasst. Im zweiten Schritt wird der Gesamtbedarf an Brenn-, Treibstoffen und Fernwärme sowie Elektrizität neu aufgeteilt. Als Kriterien werden betrachtet:

- Inanspruchnahme von Stadtraum
- Energiebezugsfläche
- Anzahl der Beschäftigten und ihr branchentypischer Energieverbrauch.

Da weitere Angaben zurzeit nicht vorliegen, richtet sich der Aufteilungsschlüssel nach den Energiebezugsflächen.

Anhang 3: Formelwerk zu den Energiebedarfsprognosen

Haushalte	Referenzszenario	2000-Watt
Heizwärme $E_{VH,i}$	Funktion des Startwertes und der Sanierungsrate (1%)	Funktion des Startwertes und der Sanierungsrate (3%)
Warmwasser $E_{VW,i}$	$0.0000655192491941271*a^2 - 0.268197308672165*a + 275.373483146264$ Quelle: Gesamtbericht-PHH_Mai2007, S. 181	$-0.00662512170473023*a + 14.2865586238903$ Quelle: Innovationsszenario WWF 2009 S. 188
Strom $E_{VS,i}$	- $0.0000849471421271661*a^2 + 0.352228074649789*a - 363.784522506018$ Quelle: Gesamtbericht-PHH_Mai2007, S. 181	$-0.00837053847397*a + 17.8166089194476$ Quelle: WWF-Studie Modell Deutschland (2009) S. 188
Treib- und Kraftstoffe	Nicht relevant	Nicht relevant
GHD	Referenzszenario	2000-Watt
Heizwärme $E_{VH,i}$	Funktion des Startwertes und der Sanierungsrate (1%)	Funktion des Startwertes und der Sanierungsrate (2%)
Prozesswärme $E_{VW,i}$	$0.0000771754501602551*a^2 - 0.311691873145435*a + 315.7030145851$ Quelle: WWF-Studie Modell Deutschland (2009) S. 77	$-0.0025443415772957*a + 6.10904905466712$ Quelle: WWF-Studie Modell Deutschland (2009) S. 194
Strom $E_{VS,i}$	$0.00689588092791382*a - 12.8295652645754$ Quelle: WWF-Studie Modell Deutschland (2009) S. 77	$-0.0123523863058913*a + 25.8506981626588$ Quelle: WWF-Studie Modell Deutschland (2009) S. 194
Treib- und Kraftstoffe	$0.0000733820771444283*a^2 - 0.306103911067111*a + 319.798353021023$ Quelle: WWF-Studie Modell Deutschland (2009) S. 77	$-0.0117127693289787*a + 24.5399296011606$ Quelle: WWF-Studie Modell Deutschland (2009) S. 194
Industrie	Referenzszenario	2000-Watt
Heizwärme $E_{VH,i}$	Funktion des Startwertes und der Sanierungsrate (1%)	Funktion des Startwertes und der Sanierungsrate (2%)
Warmwasser $E_{VW,i}$	$-0.00543206722142609*a + 11.9159366344001$ Quelle: Innovationsszenario WWF 2009 S. 90	$0.000203955753563275*a^2 - 0.839548118649714*a + 864.481265925704$ Quelle: Innovationsszenario WWF 2009 S. 207
Strom $E_{VS,i}$	$-4.95182179431359E-07*a^3 + 0.00290987249013346*a^2 - 5.6913805647691*a + 3705.66913232365$ Quelle: Tab 6-13, BFE Szenarien, Basics	$0.000595230221197547*a^2 - 2.43234137745316*a + 2485.19780267024$ Quelle: Innovationsszenario WWF 2009 S. 207
Treib- und Kraftstoffe	$-2.13945674328009E-07*a^4 + 0.00173572188394852*a^3 - 5.28049906202161*a^2 + 7139.60338822334*a - 3619853.80566101$ Quelle: Tab 6-13, BFE Szenarien, Basics	$0.000238000365509125*a^2 - 0.975952903250949*a + 1001.11031928122$ Quelle: WWF-Studie Modell Deutschland (2009) S. 207
Mobilität	Referenzszenario	2000-Watt
Strom $E_{VS,i}$	$-0.000162393600510125*a^3 + 0.991302748675392*a^2 - 2016.97376961823*a + 1367958.05092688$ Quelle: Eigene Berechnungen	$-0.000684980590206163*a^3 + 4.20110562244743*a^2 - 8585.75698435852*a + 5847008.49741702$ Quelle: Eigene Berechnungen
Treib- und Kraftstoffe	$-0.0000729396449430375*a^4 + 0.59310088661249*a^3 - 1808.4910416952*a^2 + 2450825.4883889*a - 1245458884.83168$ Quelle: Eigene Berechnungen	$-0.000425065973365113*a^4 + 3.45423014977853*a^3 - 10526.1538727987*a^2 + 14255994.7517484*a - 7240159052.81631$ Quelle: Eigene Berechnungen

15. Literatur

- Abay, G., G. Christen, S. Kettner & S. Vogt (2007) Gesamtverkehrsmodell der Region Basel. Basel, Baudepartement des Kantons Basel-Stadt, 46
- AUE (2003) Heizenergiebedarf von Wohnbauten in Bezug zum Baujahr. Basel, Amt für Umwelt und Energie Basel Stadt (AUE), 1
- AUE (2004) Energiestatistik des Kanton Basel-Stadt 2004. Basel, Amt für Umwelt und Energie (AUE), Baudepartement des Kantons Basel-Stadt, 47
- AUE (2010) Fachinformation (intern). Amt für Umwelt und Energie Basel Stadt (AUE)
- Bardt, H., M. Demary & M. Voigtländer (2008) Immobilien und Klimaschutz: Potenziale und Hemmnisse. IW-Trends(2): 1-16
- Baumgartner, F. (2010) Zukünftige Marktdurchdringung der Elektromobilität. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, persönliche Auskunft
- Baumgartner, W., O. Ebert & F. Weber (2006) Der Energieverbrauch der Industrie 1990 – 2035. Bern, Bundesamt für Energie BFE, 210
- BAZL (2010) Treibstoffverbrauch und gasförmige Emissionen im Zivilluftverkehr mit der Schweiz. Bundesamt für Zivilluftfahrt
- BBR/BBSR & BMVBS (2009a) Handlungskatalog: Optionen erneuerbarer Energien im Stadtraum (Bearbeitung: Dieter D. Genske, Ariane Ruff, Thomas Joedecke, Lars Porsche / Redaktion: Ariane Ruff). Bonn / Berlin, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 45
- BBR/BBSR & BMVBS (2009b) Nutzung städtischer 'Freiflächen' für erneuerbare Energien (Bearbeitung: Dieter D. Genske, Ariane Ruff, Thomas Joedecke / Redaktion: Lars Porsche, Doris Lorenz). Bonn, Berlin, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 140
- Bébié, B., H. Gugerli, T. W. Püntener, M. Lenzlinger, R. Frischknecht, C. Hartmann & S. Hammer (2009) Grundlagen für ein Umsetzungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft am Beispiel der Stadt Zürich. Zürich, Stadt, 21
- Bébié, B (2010) Persönliche Auskunft.
- Berner, H. & N. Röthlin (2010) Basel-Stadt (Gesellschaft, Wirtschaft und Kultur von der Reformation bis zur Kantonstrennung). Historisches Lexikon der Schweiz: www.hls-dhs-dss.ch.
- Berner, H., C. Sieber-Lehmann & H. Wichers (2008) Kleine Geschichte der Stadt Basel. Leinfelden-Echterdingen, DRW-Verlag, 251
- BFE (2010) EnergieSchweiz 2011-2020, Detailkonzept, Bundesamt für Energie (BFE, 2010)
- BfS (2000) Volks-, Gebäude- und Wohnungszählung. Bern, Schweizerische Eidgenossenschaft Statistik Schweiz, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index>
- BfS (2009) Statistik Schweiz. Neuchâtel, Bundesamt für Statistik (BfS), <http://www.bfs.admin.ch/>
- BfS (2010a) Arealstatistik 2004/09 Kanton Basel-Stadt (Bodennutzung nach 27 Nutzungsarten nach neuer Nomenklatur NOAS04_4). Neuchâtel, Bundesamt für Statistik, Excel-File
- BfS (2010b). Arealstatistik-Standardnomenklatur. from <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/nomenklaturen/blank/blank/noas04/01.html>
- BMWFJ & BMLFUW (2010) Energiestrategie Österreich. Wien, Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ) und Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), 140
- BMU (2007) Gabriel: Klimaschutz bedeutet Umbau der Industriegesellschaft - 8-Punkte-Plan zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen um 40 Prozent bis 2020.

- http://www.bmu.bund.de/pressearchiv/16_legislaturperiode/pm/39237.php, Stand 26.04.2007
- BMU (2009) Leitszenario 2009: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbare Energien in Deutschland (Bearb. J. Nitsch, B. Wenzel). Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Realtorsicherheit BMU 106
- BMU (2010) Leitstudie 2010: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbare Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global (Bearb. J. Nitsch, Pregger, T., Scholz, Y., Naegler, T. Sterner, M., Gerhardt, N., von Oehsen, A., Pape, C, Saint-Drenan, Y.-M., Wenzel, B.). Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Realtorsicherheit BMU 201
- BPG (1999) Bau- und Planungsgesetz. Kanton Basel-Stadt.
- BVD (2005) BFG (Wohnen und Arbeiten) nach Block-ID (bearbeitet von Marie-louise Businger). Kanton Basel-Stadt, Bau- und Verkehrsdepartement (BVD), Excel-Tabelle
- BVD (2010) Arealentwicklung bis 2035. Basel Bau- und Verkehrsdepartement, Excel-Tabelle (unveröffentlicht)
- Cantenazzi, G. (2010) Energiekennzahlen Gewerbe-Dienstleistung-Handel bei Sanierungen. CEPE, persönliche Auskunft
- Droege, P., D. D. Genske, T. Joedecke, M. Roos & A. Ruff (2011) Erneuerbares Liechtenstein. Vaduz, Universität Liechtenstein, im Druck
- Ecofys, RWTH-Aachen & FH-Köln (2004) Leitbilder und Potenziale eines solaren Städtebaus. Köln, Aachen, Köln, Ecofys GmbH Köln, RWTH Aachen, Fachhochschule Köln, 257
- EEA (2009) Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990–2007 and Inventory Report 2009. European Environment Agency (EEA)
- EEX (2010). EU Emission Allowance EUA. European Energy Exchange AG. from <http://www.eex.com/de>
- EU (2010) Selbstverpflichtungserklärung. <http://unfccc.int/home/items/5264.php>, Stand 31.3.2010
- Everding, D., Ed. (2007) Solarer Städtebau: Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild. Stuttgart, W. Kohlhammer
- Everding, D., ECOFYS, FH-Köln & RWTH-Aachen (2004) Leitbilder und Potenziale des solaren Städtebaus. Köln, Ecofys GmbH, FH-Köln (Institut für Regenerative Energien), RWTH Aachen (Lehrstuhl für Städtebau und Landesplanung), Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), 18
- Fischer, J., D. D. Genske, T. Joedecke, S. Klenner, M. Nuschke, A. Ruff & M. Schwarze (2011) Erstellung eines Thüringer Bestands- und Potenzialatlases für erneuerbare Energien. Erfurt, Freistaat Thüringen (Wirtschaftsministerium), Zwischenbericht
- Gallusser, W., Ed. (1989) Studien zur Bevölkerungs- und Wirtschaftsgeographie des Laufener Juras. Basler Beiträge zur Geographie (BBGE). Basel, Svhneider-Sliwa.
- Gelsenkirchen (2008). Solarstadt Gelsenkirchen. Stadt Gelsenkirchen. from www.solarstadt-gelsenkirchen.de
- Genske, D. D. (2006) Die brach liegende Republik. D.D. Genske, Huch, M., Müller, B. (Eds.) Fläche - Zukunft - Raum: Strategien und Instrumente für Regionen im Umbau. Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften SDGG. Hannover, Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften DGG 37, 5-10
- Genske, D. D., J. Henning-Jacob, T. Joedecke & A. Ruff (2010) Methodik und Strategieentwicklung / Zukunftsszenarien für Wilhelmsburg. IBA-Hamburg (Eds.) Energieatlas Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg der Internationalen Bauausstellung IBA Hamburg. Berlin, Jovis, 43-66, 79-119
- Genske, D. D., T. Joedecke, A. Ruff & M. Schwarze (2010) Regionales Energie- und Klimakonzept für die Planungsregion Nordthüringen. Nordhausen, Fachhochschule Nordhausen / Energie-Klima-Plan GmbH EKP, in Arbeit
- Genske, D. D. & A. Ruff (2011) Klimaschutzkonzept des Landkreises Osnabrück. Osnabrück, Ingenieurbüro Graw, Teilbericht "Datenbasis, GIS, Expertensystem" (unveröffentlicht)
- Göderitz, J., R. Rainer & H. Hoffmann (1957) Die gegliederte und aufgelockerte Stadt. Tübingen /

Berlin, Wasmuth, 101

- Graw, A. (2010) Abschätzung des zusätzlichen Kühlbedarfs für Haushalte und GHD. Osnabrück, Planungsbüro Graw, 2
- Greenpeace (2005) 2000 Megawatt sauber: Die Alternative zum geplanten RWE Braunkohle-Kraftwerk Neurath (Bearbeiter M. Kruska, J. Mey). Hamburg, Greenpeace, 141
- Habicht, P. (2008) Basel: Mittendrin am Rande. Basel, Christoph Merian Verlag, 165
- Hofer, P. (2007) Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 1990 – 2035. Bern, Bundesamt für Energie, 498
- Hofer, P. (2010) Energiestandards: Grenzwerte bei Neubauten im BFE-Szenario II. Prognos (persönliche Auskunft)
- Infras (2010) Handbuch für Emissionsfaktoren zur Berechnung von Treibstoffverbrauch und CO₂-Emissionen im Strassenverkehr (HBEFA). <http://www.hbefa.net>
- Iselin, L. E. (1923) Geschichte des Dorfes Riehen (Festschrift zur Jubiläumsfeier der 400jährigen Zugehörigkeit Riehens zu Basel) Basel
- IWB (2008) Fachinformation (intern). Industrielle Werke Basel (IWB)
- Jungbluth, N., R. Steiner & R. Frischknecht (2007) Graue Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990-2004. Bern, Bundesamt für Umwelt, 152
- Kalberer, D. (2010) Fachauskunft zur Abwasserwärmerückgewinnung der FEKA-Energiesysteme AG. Bad Ragaz, Schweiz
- Kaltschmitt, M., W. Streicher & A. Wiese (2006) Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin Heidelberg New York, Springer, 702
- Kaufmann, M., H.-P. Nützi & B. Ruff (2010) EnergieSchweiz 2011-2020: Detailkonzept. Ittingen, Bundesamt für Energie (BFE), 98
- Keller, M. (2010a) Elektromobilität – Einbindung in das Verkehrssystem der Schweiz (PPT-Präsentation Kongress Stadt-Energie-Verkehr. Verein Future for the commons). Zürich, 21
- Keller, M. (2010b) Energieeffizienz im Schienenverkehr. Infras (persönliche Auskunft)
- Kettner, S. (2010) Modal Split des Verkehrssystems Kanton Basel-Stadt. Bau- und Verkehrsdepartement Basel-Stadt. (persönliche Auskunft)
- Kirchner & Matthes et al. (2009) Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Eine Studie im Auftrag des WWF Deutschland. Basel/Freiburg, Prognos AG, Ökoinstitut, 495
- Kirchner, A. (2007) Die Energieperspektiven 2035 Band 2: Szenarien I-VI. Bern, Bundesamt für Energie BFE, 732
- Klimastiftung (2010). CO₂-Spot-Preise. from <http://www.klimastiftung.li/>
- Lahner, L. & M. Toloczki (2004) Geowissenschaftliche Karte der Bundesrepublik Deutschland: Karte des Oberrheingrabens (Zeichnung C. Röhr) Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR (s.a. www.oberrheingraben.de)
- LHA (2008) Emissionskataster BS/BL Quellgruppe Offroad. Bern, Lufthygieneamt Beider Basel (LHA) / INFRAS, 37
- Matthes, F. C. & M. Cames (2000) Energiewende 2020: Der Weg in eine zukunftsfähige Energiewirtschaft. Berlin, Heinrich Böll Stiftung, 95
- Meier, P. (2010) Einteilung GHD und Industrie (Auskunft). Basel, IWB
- Meuter, M. (2008, 09.11.2010). Bauen und Sanieren mit Holz. HEV Schweiz
- NOGA (2010). Nomenclature Générale des Activités économiques (NOGA). from <http://www.kubb2008.bfs.admin.ch?lang=de>
- OcCC & ProClim (2007) Klimaänderungen und die Schweiz 2050. Bern, Organe consultatif sur les changements climatiques OcCC, Forum for Climate and Global Change ProClim of the Swiss Academy of Sciences, 168
- Oswalt, P., Ed. (2005) Schrumpfende Städte: Handlungskonzepte (Shrinking cities: actions).

- Ostfildern, Hatje Cantz Verlag. 900
- Oswalt, P. & T. Rieniets, Eds. (2006) Atlas der schrumpfenden Städte / Atlas of Shrinking Cities. Ostfildern, Hatje Cantz Verlag. 160
- Pelzeter, A. (2005) Ursache und Wirkung: Beeinflussung der Lebenszykuskosten eines Gebäudes durch seine Gestaltung. Facility Management (5): 37-40
- Quaschnig, V. (2009) Regenerative Energiesysteme. München, Hanser, 397
- Reichow, H. B. (1948) Organische Stadtbaukunst. Braunschweig, Westermann, 212
- Reichow, H. B. (1959) Die autogerechte Stadt. Ravensburg, O. Maier, 91
- Riehen (2009) Wärmeverbund Riehen Plus. Gemeinde Riehen, Gemeinderat / Abteilung Tiefbau und Verkehr, 21
- Rigassi, R., P. Strub & S. Huber (2010) Auswirkungen der Markteinführung von Elektrofahrzeugen und Plug-In-Hybrids auf die Energieträger und das Elektrizitätsnetz. Bern, Bundesamt für Energie, 46
- SATW (2006) Road Map Erneuerbare Energien Schweiz / Road map renewable energies Switzerland. Zürich, Schweizerische Akademie der Wissenschaften SATW, 24
- Schäffeler, U., R. Zürcher & M. Keller (2008) Emissionskataster BS/BL: Quellgruppen offroad. Basel, Lufthygieneamt beider Basel, 37
- Schyder, A. (2001) Natur und Umwelt. In Gutzwiller, P. und J. Ewald (eds.) Nah dran, weit weg. Geschichte des Kantons Basel-Landschaft (I). Verlag des Kantons Basel-Landschaft. Liestal 125-146
- SIA (2010) SIA Effizienzpfad Energie. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 28
- Stadt-Zürich (2009) Grundlagen für ein Umsetzungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft am Beispiel der Stadt Zürich. Zürich, Stadt Zürich, EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie, 21
- Statistik-BS (2010). Statistik Basel Stadt / Bevölkerung. Statistisches Amt. Retrieved 28.09.2010, from www.statistik-bs.ch
- Stulz, R. (ed) (2010) Leichter leben. Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energiezukunft – am Beispiel der 2000-Watt-Gesellschaft. Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL), 35
- Teuteberg, R. (1988) Basler Geschichte. Basel, Merian, 444
- Thommen, O. (2010) Basel nutzt zunehmend die Kraft der Sonne. Raum & Umwelt (Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt) (17), 5
- Todaro, C. (2010) Treibstoffverbrauch im Strassenverkehr (t/a) in den Kantonen BS und BL (interne Auswertung). Basel, Lufthygieneamt beider Basel
- UNFCCC (2010) Global GHG-Map. United Nations Framework Convention on Climate Change: <http://maps.unfccc.int/di/map/>, Stand 1.12.2010
- Wesselak, V. & T. Schabbach (2009) Regenerative Energietechnik. Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 527