

Machbarkeitsstudie: 11. Februar 2010

Energiestrategie Stadt Frauenfeld:

Reduktion des fossilen Heizenergieverbrauches und des CO₂-Ausstosses um 15% bis 2020

Das Konzept beinhaltet einen Technologieverbund aus:

Erdgas-Blockheizkraftwerken	zentrale Wärmeverteilung via Fernwärmenetz
Wärmepumpen zur Nutzung des ARA-Abwassers	
Wärmepumpen mit Erdsonden	dezentraler Einsatz
Photovoltaikanlagen mit Wärmepumpen	
Sonnenkollektoren	
Wärmepumpen-Boiler	

Auftraggeber:

Solargenossenschaft Frauenfeld

Industriestrasse 23

8500 Frauenfeld

Tel.: 052 728 89 94

solar@solar-frauenfeld.ch

solar-frauenfeld.ch

Auftragnehmer:

Top-Solarinvest GmbH

Industriestrasse 23

8500 Frauenfeld

Tel.: 052 728 89 84

Fax: 052 728 89 09

boehni@euu.ch

Autoren:

Thomas Böhni, Top-Solarinvest, boehni@euu.ch

Christoph Benkler, Top-Solarinvest, cbenkler@student.ethz.ch

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	1
1 Zusammenfassung	1
2 Ausgangslage	3
3 Beschreibung der Projektstufen	5
3.1 <i>Blockheizkraftwerk & Wärmepumpen bei der ARA; Fernwärmenetz in die Stadt</i>	5
3.2 <i>Zusätzliche Blockheizkrafterke bei der ARA</i>	5
3.3 <i>Stromnutzung für dezentrale Wärmepumpen in der Stadt</i>	5
3.4 <i>Photovoltaik-Anlagen mit weiteren, dezentralen Wärmepumpen in der Stadt</i>	5
3.5 <i>Sonnenkollektoren</i>	6
3.6 <i>Wärmepumpen-Boiler</i>	6
4 Wirksamkeitsanalyse	7
4.1 <i>Primärenergie-Nutzungsgrad der Stromerzeugung</i>	7
4.2 <i>Reduktion des Schadstoffausstosses</i>	7
4.3 <i>Reduktion Treibhausgas-Ausstoss</i>	8
5 Kostenanalyse	10
5.1 <i>Energiekosten</i>	10
5.2 <i>Förderprogramm</i>	11
5.3 <i>Kosten CO₂-Einsparung</i>	14
6 Schlussfolgerungen & Perspektiven	15
Literaturverzeichnis	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl Gebäude nach bestehenden Heizsystemen in Frauenfeld im Jahr 2000 ...	3
Tabelle 2: Anzahl Gebäude nach bestehenden Wassererwärmungs-Systemen im Thurgau im Jahr 2000	3
Tabelle 3: Klimawirkung unterschiedlicher Energieformen, Stand Oktober 2008.....	8
Tabelle 4: Energiepreise in Rp. pro kWh	10
Tabelle 5: Wärmegestehungskosten in Rp. pro kWh (Vollkosten inkl. Kosten für Amortisation, Betrieb sowie Brennstoff/Strom)	10
Tabelle 6: Förderbeitrag Kanton Thurgau (2010)	11
Tabelle 7: Förderprogramm Frauenfeld (2012-2020)	11

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die gesamte Strategie.	2
Abbildung 2: CO ₂ -Einsparung der sechs Projektstufen im Vergleich zu der bestehenden Situation.....	8
Abbildung 3: Verlauf von Neuanlagen und Anlagenpreis des Frauenfelder Förderprogrammes 2012-2020.....	12
Abbildung 4: Darstellung der Kosten aller Strategiestufen inkl. Förderung	13
Abbildung 5: Kosten der CO ₂ -Senkung	14

1 Zusammenfassung

Folgende Studie hat zum Ziel, eine Energiestrategie zur Senkung des fossilen Heizenergieverbrauches für Frauenfeld zu entwerfen. Das Konzept sieht vor, das Zusammenwirken verschiedener Technologien so zu nutzen, dass ein bedeutender Teil des Heizenergieverbrauches von Frauenfeld mit erneuerbaren Energien gedeckt werden kann.

Das Kernstück der Strategie bildet das Vorprojekt „Fernwärme aus der Abwärmenutzung der ARA Frauenfeld für das Regierungsviertel“ [1]. Bei einer Erweiterung des Fernwärmenetzes aus dem Vorprojekt liesse sich die Abwärme von zusätzlichen Blockheizkraftwerken weitestgehend nutzen. Während der Strom des geplanten Blockheizkraftwerkes als Antriebsenergie der Abwasser-Wärmepumpe verwendet wird, könnte der von zusätzlichen Blockheizkraftwerken erzeugte Strom als Antriebsenergie (keine Stromspitzen) für zahlreiche, dezentrale Wärmepumpen genutzt werden. Da der Wärmebedarf in dezentralen Gebäuden und in den Gebäuden mit Energiebezug vom Fernwärmenetz üblicherweise zur gleichen Zeit anfallen wird, kann der Blockheizkraftwerk-Strom zeitgleich zum Antrieb dezentraler Wärmepumpen genutzt werden, ohne für zusätzliche Stromspitzen zu sorgen. Mit dieser Massnahme könnten grosse Mengen an Erdwärme mobilisiert werden, ohne bei der dafür benötigten Stromerzeugung eine unvollständige Energieausnutzung in Kauf nehmen zu müssen. Dadurch kann zusätzlich ca. doppelt so viel Heizenergie (18.8 GWh/Jahr) bereitgestellt werden, wie beim ursprünglichen Vorprojekt zur Abwärmenutzung bei der ARA geplant war (9.6 GWh/Jahr).

Dezentrale Wärmepumpen kann man auch mit Strom aus Photovoltaik-Anlagen betreiben. Um dieselbe Wärmemenge wie durch die Kombination Blockheizkraftwerke/Wärmepumpen zur Verfügung zu stellen wären 30 ha Photovoltaik-Fläche oder 1.3 m² pro Einwohner nötig - eine Fläche, welche bis ins Jahr 2020 realisierbar scheint. Wird dieser Photovoltaik-Strom rechnerisch für Wärmepumpen verwendet, beträgt die bereitgestellte Heizenergie 20.3 GWh/Jahr.

Ein etwas geringeres Potenzial, doch durch eine kleinere Systemgrösse einfachere Installation bietet sich zudem auch im Sektor der Wassererwärmung. Die Wassererwärmung geschieht nach wie vor oft durch Elektroboiler, was nicht der idealsten Verwendung der qualitativ hochwertigen Energieform Elektrizität entspricht. Durch den Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpenboiler kann der Stromverbrauch massiv gesenkt werden. Noch weiter wird der Energieverbrauch der Warmwassererzeugung durch den Einsatz von (thermischen) Sonnenkollektoren reduziert, da dort nur im Winter oder bei sehr langen Schlechtwetterperioden eine herkömmliche Zusatzheizung notwendig ist. Auf Grund der hohen Installationskosten einer Sonnenkollektoranlage bieten sich Wärmepumpenboiler als mögliche Alternative an. Anstatt Sonnenenergie direkt zu nutzen wird Umgebungswärme mobilisiert, was einer indirekten Nutzung der Sonnenenergie entspricht. Bei einer Sonnenkollektor-Fläche von 1/3 m² pro Person können 3.3 GWh/Jahr zur Verfügung gestellt werden; bei den Wärmepumpenboilern ist das Potenzial eben so gross.

Die Kosten der verschiedenen Systeme bewegen sich (ohne jegliche Förderung) zwischen 13.2 bis 57.0 Rappen/kWh Wärme resp. Warmwasser frei Haus. Bei der Erweiterung des Fernwärmenetzes zusammen mit dezentralen WP bewegen sich der Kosten nahe der Vollkosten einer Ölheizung, während die Kosten bei den Massnahmen, welche Sonnenenergie nutzen, etwas höher liegen. Das bestehende Förderprogramm des Kantons Thurgau vermag die Kosten dieser Technologien bereits bedeutend zu senken. Um eine Umsetzung der Massnahmen zu erleichtern wäre ein spezielles Förderprogramm der Stadt Frauenfeld für Photovoltaik-Anlagen, Sonnenkollektoren sowie Wärmepumpenboiler zu begrüssen. Mit geringen Beträgen könnte die Motivation zur Investition in diese Technologien weiter erhöht und der Erfolg der Strategie garantiert werden.

Diese Energiestrategie birgt nebst einer massiven Einsparung von fossilen Brennstoffen auch ein grosses Einsparpotenzial von Treibhausgasen. Bei Umsetzung aller Massnahmen können über 10'000 t CO₂-Äquivalente eingespart werden. Durch die Vielfalt an Massnahmen und die relativ geringen, benötigten Fördergelder sind die Kosten dieser Reduktion mit 211.- CHF/ t CO₂-Äquivalent im Rahmen der Reduktionskosten von Treibhausgasen im Inland.

In der nachfolgenden Graphik (siehe Abbildung 1) sind die Energieflüsse zusammen mit dem Einsparungspotenzial von Treibhausgasen und den Energiekosten als Übersicht dargestellt.

Total: 31.2 GWh erneuerbar gelieferte Wärmeenergie pro Jahr = 12% von Frauenfeld
 10'700 t CO₂ Reduktion pro Jahr = 15% von Frauenfeld (durch Wärmenutzung)
 CHF 211.- pro Tonne CO₂ Förderkosten durch TG und Frauenfeld

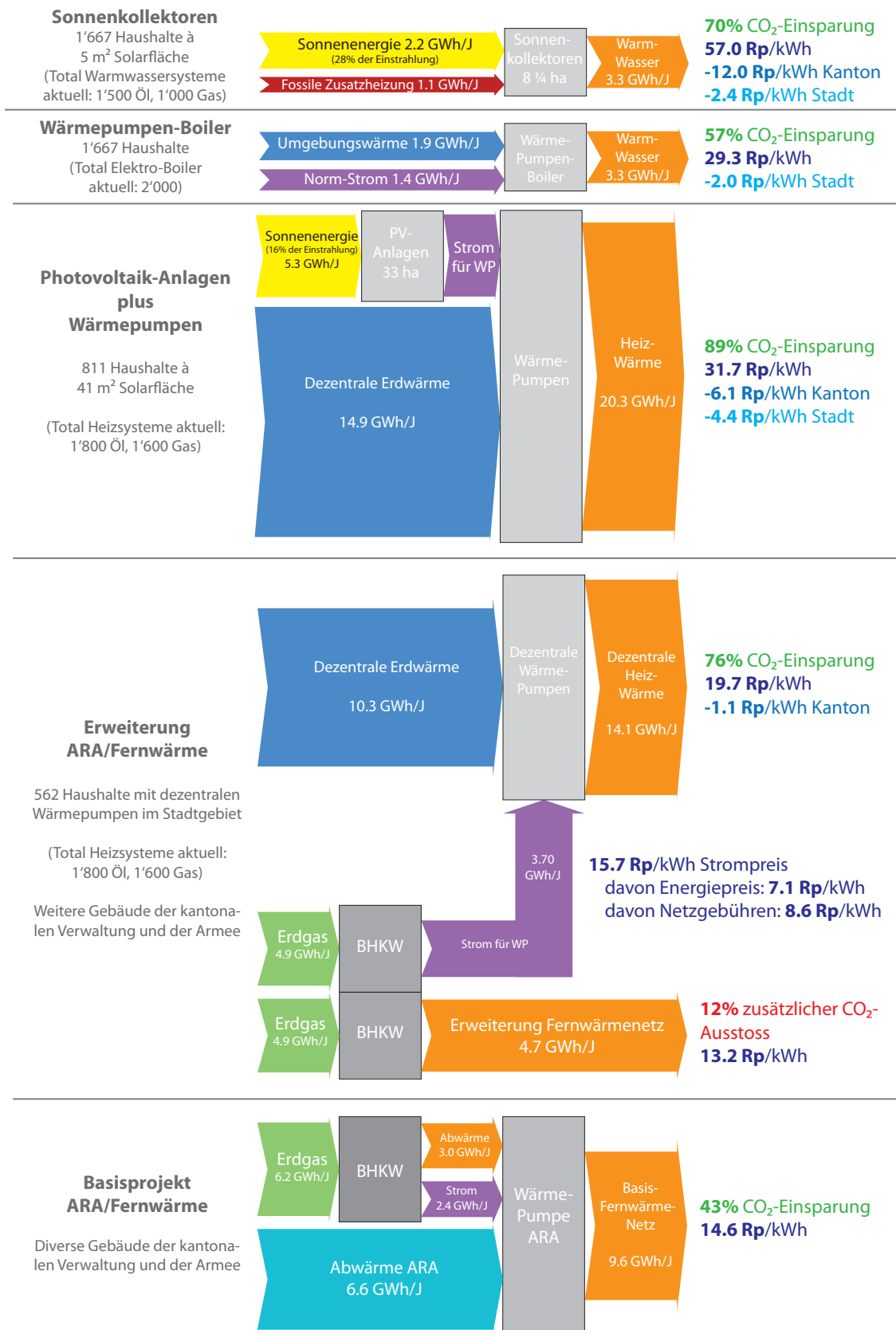


Abbildung 1: Übersicht über die gesamte Strategie.

Dargestellt sind die Energieflüsse der einzelnen Massnahmen sowie die relative Treibhausgas-Einsparung und die Wärmeenergie-Kosten ohne Förderung. Zudem sind die Förderbeiträge als Kosten-Abzug aufgeführt. Das Verhältnis der Pfeil-Dicke entspricht genau dem Verhältnis der Energieflüsse in GWh pro Jahr.

2 Ausgangslage

Die Stadt Frauenfeld legt grossen Wert auf eine nachhaltige Gestaltung der Zukunft. Nicht umsonst ist Frauenfeld eine „Energistadt“. Der Kanton Thurgau und die Stadt Frauenfeld haben nach Abklärungen zu möglichen Heizvarianten im Staatsarchiv und einem entsprechenden Vorprojekt zur Nutzung der Abwärme aus der ARA eine sehr fortschrittliche Strategie zur Versorgung des Regierungsviertels mit Wärme erarbeitet [II]. Eine konsequente Umsetzung der Ziele im Thurgauer Energiekonzept 2007 [III] oder auch des Labels „Energistadt“ verlangt jedoch nach zusätzlichen Massnahmen. Im Speziellen möchte der Regierungsrat Wärmenetze verstärkt ausbauen [IV]. An dieser Stelle wird mit dieser Studie eine Gesamtstrategie vorgeschlagen, um den Pro-Kopf-CO₂-Ausstoss im Bereich von Heizung und Wassererwärmung in Frauenfeld um 10-20% zu senken. Gemäss dem Kyoto-Protokoll soll die Schweiz den Ausstoss von Klimagasen (den „Kyoto-Gasen“ CO₂, CH₄, N₂O, Fluorchlorkohlenwasserstoffe, Perfluorcarbone, SF₆ [V]) bis 2012 um 8% gegenüber 1990 senken [VI]. Dies soll mit einer Reduktion des CO₂-Ausstosses um 10% erreicht werden [VII]. Im Verkehrsbereich soll der Ausstoss um 8%, im Wärmebereich 15% gesenkt werden [VIII]

Nach wie vor sind viele der bestehenden Heizsysteme in Frauenfeld mit fossilen Energieträgern betrieben (siehe Tabelle 1) [IX]. Diese Heizsysteme mit auf nicht-fossilen Energieträgern basierenden Technologien zu ersetzen, bringt langfristig eine grosse Senkung des fossilen Energieverbrauchs sowie des damit verbundenen CO₂-Ausstoss der Stadt.

Tabelle 1: Anzahl Gebäude nach bestehenden Heizsystemen in Frauenfeld im Jahr 2000

Energie-Träger	Heizöl	Holz	Wärmepumpen	Elektrisch	Gas	Fernwärme	Kohle	Sonnenkollektoren	Übrige	Keine	Total
	1'769	202	62	101	1557	32	4	2	-	3	3'732

In vielen bestehenden Wohneinheiten erfolgt die Wassererwärmung ebenfalls mit fossilen Energieträgern (siehe Tabelle 2) [X], [XI]. Augenscheinlich ist jedoch die sehr hohe Anzahl elektrisch betriebener Systeme (42.7% im Sommer, 32.7% im Winter). Bei der Annahme, dass Frauenfeld 10% der Haushalte des Thurgaus ausmacht, kann man davon ausgehen, dass in Frauenfeld rund 2'000 Haushalte über einen Elektroboiler verfügen. Elektroboiler haben, bei Berücksichtigung des Schweizer Bezugs-Strom-Mixes, zwar keinen hohen CO₂-Ausstoss, doch ist die Verwendung der hochwertigen Energieform Elektrizität zu einfachen Heizzwecken nicht sinnvoll. Deshalb sollen hier nicht nur Öl- und Gassysteme, sondern auch Elektroboiler ersetzt werden.

Tabelle 2: Anzahl Gebäude nach bestehenden Wassererwärmungs-Systemen im Thurgau im Jahr 2000

Energie-Träger	Heizöl	Holz	Wärmepumpen	Elektrisch	Gas	Fernwärme	Kohle	Sonnenkollektoren	Übrige	Keine	Total
Sommer	15'155	913	1'046	20'931	9'343	199	-	694	28	688	48'997
Winter	17'959	3'208	982	16'026	9'662	227	2	83	160	688	48'997

Heute sind zahlreiche Technologien vorhanden, welche das Umsetzen obiger Ziele ermöglichen oder beschleunigen können. Insbesondere mit einer konsequenten und längerfristigen Strategie kann das Zusammenspiel einer breit gefächerten Auswahl solcher Technologien auf die Zielerreichung ausgerichtet werden. Im Vordergrund dieser Studie steht daher das sichtbar machen eines solchen Technologieverbundes.

Folgende, sich ergänzende Technologien, werden in dieser Strategie kombiniert:

- Strom-/Wärmeerzeugung durch Erdgas-Blockheizkraftwerke
- Abwärmenutzung des gereinigten Abwassers der ARA Frauenfeld mittels Grosswärmepumpen
- Heizwärme-Verteilung mittels Fernwärmenetz
- Nutzung von dezentraler Erdwärme mit Erdwärmesonden und Wärmepumpen
- Nutzung von Solarstrom (Photovoltaik-Anlagen)
- Nutzung von Solarwärme (Sonnenkollektoren; zur Warmwasser-Erzeugung)
- Nutzung von Umgebungswärme mittels Wärmepumpen-Boilern

Mit dem aktuell geplanten Projekt eines Fernwärmenetzes aus der Abwärmenutzung der ARA bietet sich ein idealer Ausgangspunkt für eine solche Verbund-Lösung an.

Ein erster Erweiterungsschritt wäre die Kapazitätserhöhung des geplanten Fernwärmenetzes. So können direkt bei der ARA zwei grosse, wärmegeführte Erdgas-Blockheizkraftwerke zusätzlich daran angeschlossen werden. Mit deren Abwärme können zusätzliche Gebäude mit Heizenergie versorgt werden. Sinnvoll ist hier primär der Anschluss von grösseren, eventuell Gewerbegebäuden an das Fernwärmenetz.

In einem zweiten Schritt soll der Strom Blockheizkraftwerke verwendet werden, um dezentrale Wärmepumpen im Stadtgebiet zu betreiben. Solche Wärmepumpen können konventionelle, mit fossilen Energieträgern betriebene Heizungen von Ein- oder Mehrfamilienhäusern ersetzen. Dadurch kann der von den Blockheizkraftwerken erzeugte Strom in einem grösseren Gebiet genutzt werden. Zudem fällt der Verbrauch zur gleichen Zeit wie die Produktion an, da die Energie sowohl an den Anschlüssen des Fernwärmenetzes wie bei den dezentralen Wärmepumpen zum Heizen verwendet wird.

Da die Wärmepumpen bei den ersten zwei Schritten eine Mobilisierung von Erd- respektive Abwärme ermöglicht, wird der noch genutzte, fossile Energieträger Erdgas hocheffizient genutzt. In einem noch weitergehenden Schritt kann man gänzlich auf fossile Energieträger verzichten. Dies ist möglich, wenn man die Stromerzeugung von zusätzlichen, dezentralen Wärmepumpen mit Photovoltaik-Anlagen sicherstellt. Ein Ausbau von Photovoltaik-Anlagen ist daher ein weiterer Bestandteil der hier vorgestellten Strategie.

Bei der Wassererwärmung schlagen wir zwei Vorgehensweisen vor: einerseits das Ersetzen von Elektroboilern mit Wärmepumpenboilern und andererseits den Bau von Sonnenkollektoranlagen zur unterstützenden Wassererwärmung bei Öl- und Gas-Systemen. Während die Wärmepumpenboiler primär in kleineren Gebäuden eingesetzt werden können, sollten Sonnenkollektoren auf Grund ihrer hohen Wärmeleistung im Sommer vor allem bei Gebäuden mit erhöhtem Warmwasserverbrauch zur Anwendung kommen. Beide Technologien haben ein ähnliches Einsparungspotenzial im Vergleich zu Elektroboilern respektive Öl-/Gas-Systemen. So wird bei den Sonnenkollektoren die Sonnenenergie direkt genutzt, während die Wärmepumpenboiler mit wenig Strom Umgebungswärme mobilisieren - was letzten Endes einer Nutzung von indirekter Sonnenenergie entspricht.

Im Folgenden werden alle Stufen dieser Strategie im Einzelnen beleuchtet. Dabei werden die Stufen beschrieben, ihre Wirksamkeit analysiert und auch finanzielle Aspekte berücksichtigt.

3 Beschreibung der Projektstufen

3.1 Blockheizkraftwerk & Wärmepumpen bei der ARA; Fernwärmenetz in die Stadt

Bei der ARA Frauenfeld besteht die Möglichkeit, Wärme aus dem Abwasser zu beziehen und in ein Fernwärmenetz einzuspeisen, welches Gebäude in der Stadt mit Wärme versorgt. Mit einem 1 MW_{el}-Blockheizkraftwerk werden Gross-Wärmepumpen betrieben, welche die Abwärmenutzung des Abwassers ermöglichen. Die so gewonnene Wärme wird, zusammen mit der Abwärme aus dem Blockheizkraftwerk, in den Wärmeverbund gespeist. Die Machbarkeit sowie die Kosten dieses Systems wurden in einer Vorstudie [XII] und genaueren Abklärung [XIII] analysiert.

Das Blockheizkraftwerk verbraucht pro Jahr 6.2 GWh Erdgas. Aus dem städtischen Abwasser können 6.6 GWh Wärme pro Jahr gewonnen werden. In die ans Fernwärmenetz angeschlossenen Gebäude können pro Jahr 9.6 GWh Heizenergie geliefert werden. Damit können Teile der Armeegebäude sowie der Grossteil der Gebäude der kantonalen Verwaltung mit Heizenergie versorgt werden. Diese Gebäude werden aktuell mit einer Öl- oder Gasheizung betrieben. Als Vergleichsgrösse nahmen wir an, dass 70% der momentanen Heizenergie durch Erdgas und 30% durch Erdöl bereitgestellt wird.

Ein grosser Vorteil dieses Systems ist die Gleichzeitigkeit von Stromproduktion und -Verbrauch. Sämtlicher produzierter Strom wird direkt auf dem Gelände für die Wärmepumpe verbraucht. Es kommt zu keinen Stromspitzen und somit zu keiner zusätzlichen Belastung des Elektrizitätsnetzes.

Diese Projektstufe bildet die Basis für die weiteren Schritte. Das Fernwärmenetz wird bereitgestellt, die Wärmeeinspeise-Infrastruktur aufgebaut.

3.2 Zusätzliche Blockheizkraftwerke bei der ARA

Das Basisprojekt kann mit relativ geringem Aufwand erweitert werden. Wird die Kapazität der Wärmeleitung erhöht können zusätzliche Gebäude an den Wärmeverbund angeschlossen werden. Die Abwärme von zwei weiteren 1 MW_{el}-Blockheizkraftwerken würde als zusätzliche Heizenergie in das Fernwärmenetz abgegeben werden.

Der Gasverbrauch der beiden Blockheizkraftwerke zusammen beträgt 9.8 GWh pro Jahr. Das Fernwärmenetz würde durch die Abwärme der beiden Blockheizkraftwerke um 4.7 GWh pro Jahr erweitert. Damit können zusätzliche Gebäude, zum Beispiel weitere Bauten der Armee und der Regierung sowie private Gebäude, mit Wärme versorgt werden. Für diese Gebäude wurde ebenfalls ein Verhältnis Öl zu Gas von 30:70 angenommen.

3.3 Stromnutzung für dezentrale Wärmepumpen in der Stadt

Mit dem so erzeugten Strom könnte man in der Stadt dezentrale Wärmepumpen betreiben. Wie bei der Basisstufe fällt die Stromproduktion und der -Bedarf zur gleichen Zeit an, da sowohl mit dem Strom als auch mit der Abwärme geheizt wird. Im Unterschied zum Basisprojekt wird der Strom einfach an einem anderen Ort gebraucht. Zudem wird als erneuerbare Energiequelle nicht Abwasserabwärme, sondern lokale Erdwärme eingesetzt. Während beim Basisprojekt vor allem grössere Gebäude mittels Fernwärmenetz mit Heizenergie versorgt würden, können hier Einfamilien-Häuser geheizt werden. Ziel ist, ein Grossteil von Öl- und Gasheizungen mit dezentralen Wärmepumpen zu ersetzen. Von den bestehenden Gebäuden, welche ersetzt werden, nahmen wir 80% als Öl- und 20% als Gasheizungen an.

Mit dem erzeugten Strom (3.7 GWh pro Jahr) könnte durch die Wärmepumpen jährlich 10.4 GWh Erdwärme pro Jahr mobilisiert werden. Bei den dezentralen Haushalten kämen so jährlich 14.1 GWh an nutzbarer Heizenergie an. Damit liessen sich 562 der rund 3300 fossil beheizten (abgeschätzt nach Tabelle 2) Haushalte versorgen.

3.4 Photovoltaik-Anlagen mit weiteren, dezentralen Wärmepumpen in der Stadt

Wärmepumpen mit Strom aus Blockheizkraftwerken zu betreiben ist schon eine sehr sinnvolle Sache. Noch optimaler wäre es, den Strom für Wärmepumpen direkt von erneuerbaren

Energien zu nehmen. Eine 41 m² grosse Photovoltaik-Anlage kann, wenn kombiniert mit einer Wärmepumpe, ein Einfamilienhaus heizen (durchschnittliche Einstrahlung von 1000 kWh/kWp, 16% Wirkungsgrad der Photovoltaik-Zelle, Wärmepumpen-COP = 3.8). Bis 2020 scheint es realistisch zu sein, 1.33 m² Photovoltaik-Fläche pro Einwohner (geschätzt: 25'000) in Frauenfeld installiert zu haben. Diese Fläche von 33 ha Solarfläche, kombiniert mit Wärmepumpen, kann eine Heizenergie von über 20.3 GWh pro Jahr liefern. Damit können weitere 811 Haushalte mit 100% erneuerbarer Energie geheizt werden. Die dazu benötigten 41 m² Solarfläche pro Haushalt sollte auf den 811 Gebäuden vorhanden sein. Auch hier sollten zu 80% Öl- und zu 20% Gasheizungen ersetzt werden.

3.5 Sonnenkollektoren

Sonnenkollektoren weisen generell einen höheren Wirkungsgrad auf als Photovoltaik-Anlagen. Verwendet man sie zur Warmwassererzeugung kann etwa 70% der dafür benötigten Energie von der Sonne gedeckt werden. Während Schlechtwetterperioden und dem Winter ist jedoch eine zusätzliche Heizung nötig. Diese zusätzlich benötigte Wärmeleistung kann vom bestehenden Heizsystem bezogen werden. Entsprechend ist das Verhältnis Öl zu Gas gleich dem der ersetzten Warmwassersysteme (Annahme: 80:20).

Realisiert man 1/3 m² Sonnenkollektor-Fläche pro Einwohner bis 2020 (total 8.3 ha), könnte man damit 1'667 der rund 2'500 (abgeschätzt nach Tabelle 2) fossilen, bestehenden Warmwassersysteme ergänzen. Lediglich noch 30% des Bedarfs an Energie für die Wassererwärmung müsste noch vom bestehenden System geliefert werden – dies vor allem im Winter. Mit dieser Fläche an Sonnenkollektoren, welche 5 m² Kollektorfläche pro Warmwassersystem entspricht, werden 3.3 GWh Energie zur Wassererwärmung pro Jahr bereitgestellt. Die Kollektorfläche von 5 m² pro Dach basiert auf der Annahme eines Energiebedarfs zur Wassererwärmung von 2000 kWh pro Jahr. Dies entspricht etwa dem eines mittleren Einfamilienhauses. Eventuell macht es Sinn, den Bau von Sonnenkollektoren auf grösseren Gebäuden zu forcieren, welche einen hohen Bedarf an warmem Wasser haben. Entsprechend wäre eine grössere Fläche pro Einheit zu favorisieren. Als Folge davon könnte man sich darauf beschränken, weniger, dafür grössere Anlagen zu erstellen.

3.6 Wärmepumpen-Boiler

Eine ähnlich gute Einsparung bei der Warmwassererzeugung wird mit Wärmepumpen-Boilern erreicht. Diese können einfach und relativ kostengünstig realisiert werden. Sie sind sehr unkompliziert im Unterhalt und weisen eine hohe Effizienz auf. Daher sind sie auch vor allem für Einfamilienhäuser von durchschnittlicher Grösse besser geeignet als Sonnenkollektoren. Im Vergleich zu Elektroboilern können sie etwa 60% des Energieverbrauches reduzieren. In dieser Studie haben wir Elektroboiler bezüglich der gewünschten, gelieferten Energiemenge gleich gewichtet wie Sonnenkollektoren, sodass durch diese Massnahme 1'667 der rund 2'000 Elektroboiler ersetzt werden und somit ebenfalls weitere 3.3 GWh Wassererwärmungs-Energie bereitgestellt werden können.

4 Wirksamkeitsanalyse

4.1 Primärenergie-Nutzungsgrad der Stromerzeugung

Die Stärke des Einsatzes von Blockheizkraftwerken zur Stromerzeugung liegt bei deren hohem Primärenergie-Nutzungsgrad. Dieser beträgt 86%; 38% der Energie wird in Strom, 48% in nutzbare Wärme umgewandelt, während nur 14% bei den Blockheizkraftwerken (am Ort; dazu kommen Fernwärmenetz-Verluste von 10%) als nicht mehr brauchbare Abwärme verloren geht. Demgegenüber steht ein Primärenergie-Nutzungsgrad von 30-40% bei herkömmlichen Stromerzeugungsmethoden (fossile Kraftwerke oder Kernkraftwerke). Angesichts der Tatsache, dass über 80% des Frauenfelder Stroms aus Kernenergie [XIV] kommt, macht es in unserem Projekt Sinn, die Wärmepumpen mit Blockheizkraftwerk-Strom zu betreiben. Zudem wird es im Kanton Thurgau in Zukunft vorgeschrieben sein, dass fossile Elektrizitätserzeugungsanlagen die Abwärme möglichst vollständig nutzen müssen [XV]. Diese Vorgabe wäre mit den Blockheizkraftwerken erfüllt.

Bei der Photovoltaik-Technologie werden die Wirkungsgrade in Zukunft bei tieferen Kosten noch weiter steigen. Gegenläufig dazu entwickelt sich die Dünnschichttechnologie, welche eine tiefere Flächeneffizienz bei höherer Kosteneffizienz ermöglicht. Für dieses Konzept wurde mit einem Wirkungsgrad von 16% ausgegangen, was aktuellen Monokristallinen Silizium-Photovoltaik-Modulen bei Standard-Test-Bedingungen entspricht (STC: 1000 W/m², 25°C, Spektrum entsprechend 1.5 Luftmassen). Damit werden jährliche Erträge von ca. 160 kWh_{el} pro m² erwirtschaftet. Möchte man mit diesem Strom jedoch eine Wärmepumpe zu Heizzwecken verwenden ist man weiterhin auf ein ausgleichendes Elektrizitätsnetz angewiesen. Dies, da Stromproduktion und -Verbrauch nicht immer zeitgleich möglich sind. Bei einem gut isolierten Gebäude sind zeitgleiche Deckungsgrade um 60% möglich [XVI]. Da es sich bei unserem Konzept jedoch um Sanierungen respektive um den Ersatz von bestehenden Heizsystemen handelt arbeiteten wir mit einem solaren Deckungsgrad von 40%. Diesem Deckungsgrad wurde bei der Berechnung der Treibhausgas-Emissionen von Photovoltaikstrom Rechnung getragen.

4.2 Reduktion des Schadstoffausstosses

Durch verschiedene Effekte dieses Technologieverbundes kann der Schadstoffausstoss in der Stadt bedeutend reduziert werden.

Zum einen werden durch das Konzept 12% des Heiz-Energieverbrauches (32 GWh von ca. 265 GWh) der gesamten Stadt durch erneuerbare Energien ersetzt. Für diese Berechnung wurde vom Gasbezug von Haushalten, Industrie und Gewerbe 2005 [XVII] sowie vom Anteil Gasheizungen 2000 [XVIII] ausgegangen. Der Schadstoffausstoss wird primär also durch eine Reduktion der Verbrennung von fossilen Brennstoffen bewirkt.

Zwar werden viele kleine Heizungen durch drei Grossanlagen ersetzt. Auch werden primär lokale Ölheizungen und nicht Gasheizungen ersetzt. Der Anteil Ölfeuerungen an den durch das Fernwärmenetz ersetzten Heizungen wurde als 30%, jener an den durch die dezentralen Wärmepumpen ersetzten als 70% angenommen. Die verwendeten Gross-Blockheizkraftwerke werden mit Erdgas betrieben und verfügen über eine gute Abgasreinigung. Trotzdem werden durch die Blockheizkraftwerke mehr Schadstoffe ausgestossen, da der Prozess in einem Verbrennungsmotor weniger sauber geschieht als bei einem Heizbrenner.

Dieser leicht höhere Ausstoss findet jedoch örtlich verschoben statt. Während die neuen Wärmepumpen sowie die Fernwärmeanschlüsse in der Stadt emissionsfrei sind findet der verbleibende Schadstoffausstoss ausserhalb der Stadt im ARA-Areal statt.

4.3 Reduktion Treibhausgas-Ausstoss

Wie bereits in der Ausgangslage (siehe Kapitel 2) beschrieben, ist das Hauptziel der Strategie die Senkung des Ausstosses von Kohlendioxid, dem Treibhausgas mit der grössten Bedeutung für die Schweiz [XIX]. Eine Reduktion wird in erster Linie mit dem Ersetzen von Öl- und Gasheizungen angestrebt und in zweiter Linie, in einem kleineren Umfang, mit der Reduktion von Elektroboilern. Für die Erläuterung der CO₂-Ausstoss-Reduktion sind in Tabelle 3 die Treibhausgas-Emissionen verschiedener Energieformen dargestellt [XX]. Für die Berechnung der Wirksamkeit der Strategie bezüglich Klimagas-Reduktion wurde beim Strom mit dem Schweizer Verbrauchs-Strommix gerechnet. Da die Schweiz Teil der UCTE ist findet Stromaustausch mit Europa statt. Daher ist der Schweizer Verbrauchs-Strommix stärker mit CO₂ belastet als der in der Schweiz produzierte Strom, jedoch auch weniger stark belastet als der durchschnittliche UCTE-Strom. Der Strom aus Photovoltaik-Anlagen ist der Wert für Photovoltaik-Module, welche mit konventionellen Energieformen (fossilen Brennstoffen und UCTE-Strom) produziert wurden. Da mit einem Photovoltaik-Deckungsgrad von 40% gerechnet wurde, ist im Photovoltaikstrom zudem auch ein Anteil Netzstrom miteingerechnet.

Tabelle 3: Klimawirkung unterschiedlicher Energieformen, Stand Oktober 2008

Im System verwendete Energieformen	Klimawirkung [g CO ₂ -Äquivalente pro kWh]
Erdöl	295.2
Erdgas	241.2
Verbrauchs-Strommix Schweiz	154.8
Photovoltaik-Strom mit 60% Netzstrom-Anteil	128.9
Andere Energieformen zum Vergleich	
reiner Photovoltaik-Strom	90.0
Produktions-Strommix Schweiz	28.8
UCTE*-Strom	594.0

*„Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity“, seit 1.7.09: ENTSO-E: „European Network of Transmission System Operators for Electricity“; Europäischer Elektrizitätsübertragungsverbund von 22 Ländern, inkl. Schweiz.

Die Reduktion des CO₂-Ausstosses kommt auf sechs verschiedene Arten zu Stande, analog den sechs Stufen der Strategie (siehe Abbildung 2).

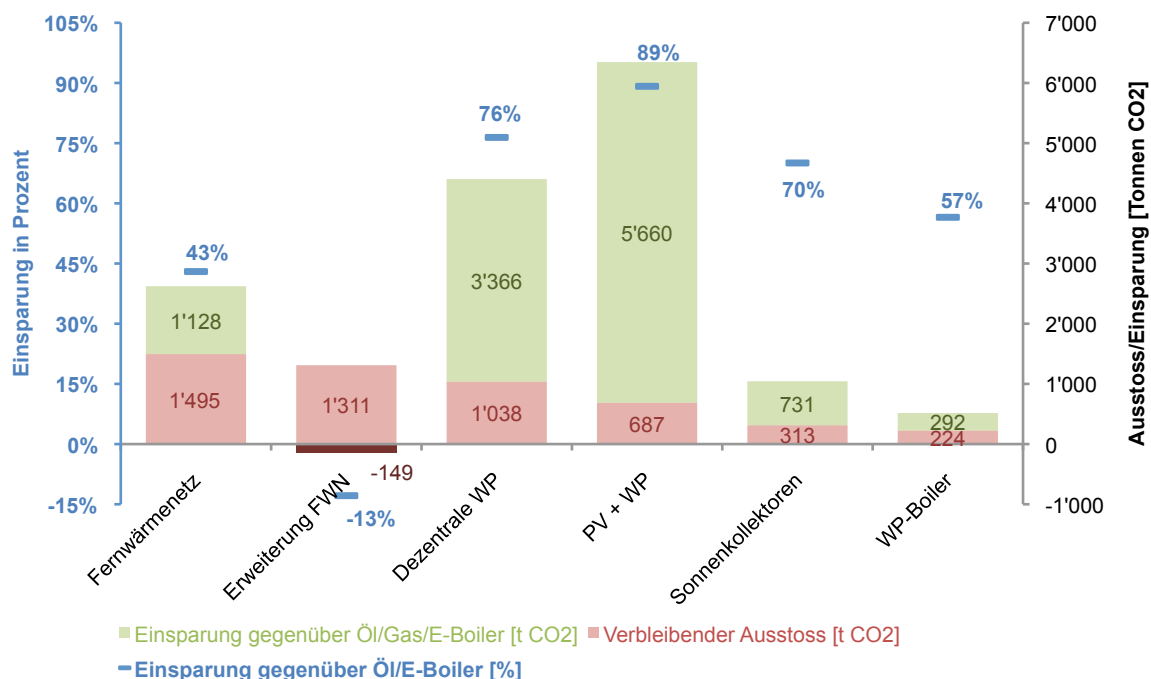


Abbildung 2: CO₂-Einsparung der sechs Projektstufen im Vergleich zu der bestehenden Situation.

Verbleibender Ausstoss: Der CO₂-Ausstoss nach Durchführung der Projektstufe, in Tonnen CO₂. Einsparung gegenüber Öl/Gas/E-Boiler: Tonnen CO₂, welche durch das Projekt eingespart werden konnten sowie das Ausmass der Einsparung in Prozent gegenüber der bestehenden Situation. Die sechs Säulen stellen die Sechs Stufen der Strategie dar: Fernwärmenetz; Erweiterung Fernwärmenetz; Dezentrale Wärmepumpen; Photovoltaik-Anlagen plus Wärmepumpen; Sonnenkollektoren; Wärmepumpen-Boiler.

Schritt eins ist die Abwärmenutzung der ARA und die Verteilung der Wärme mit dem geplanten Fernwärmenetz. Mit den Erdgas-betriebenen Blockheizkraftwerken kann Abwärme mobilisiert werden, die CO₂-Reduktion erfolgt also primär durch Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energieträgern zur Erzeugung derselben Wärmemenge. Am Fernwärmenetz angeschlossen sind vor allem grosse Gebäude, für welche eine bestehende Wärmeversorgung zu 70% mit Erdgas und zu 30% mit Erdöl angenommen wurde. Der verbleibende CO₂-Ausstoss beträgt pro Jahr 1'405 Tonnen; eingespart werden 1'228 Tonnen, was 43% gegenüber der bestehenden Situation entspricht (bei Bereitstellung der gleichen Wärmemenge).

Zweiter Schritt ist die Erweiterung des bestehenden Fernwärmenetzes mit zwei zusätzlichen, ebenfalls Erdgas-betriebenen Blockheizkraftwerken. Diese haben im Vergleich zu den konventionellen Heizsystemen jedoch einen geringeren Wirkungsgrad, nicht zuletzt durch den Einsatz des Fernwärmenetzes (siehe auch Kapitel 4.1 „Primärenergie-Nutzungsgrad der Stromerzeugung“). Zudem wird in diesem Schritt nur die Abwärme (48% des Energiegehalts des Erdgases), nicht jedoch der Strom genutzt. Aus diesen Gründen wird durch diesen Schritt für die gleiche Energiemenge 13% mehr CO₂ ausgestossen, als es momentan der Fall ist (1'311 statt 1'162 Tonnen jährlich).

Im dritten Schritt wird der Strom der Blockheizkraftwerke (38% der Energiemenge des Erdgases) verwendet, um dezentrale Erdwärme mittels Wärmepumpen zu mobilisieren. Die primäre CO₂-Reduktion geschieht wie bei Schritt eins durch die Verbrauchssenkung von fossilen Energieträgern zur Bereitstellung derselben Wärmemenge. Bei diesem Schritt sollten jedoch vor allem Ölheizungen (Annahme: 80%) ersetzt werden und nicht Gasheizungen (20%). Eine zusätzliche CO₂-Reduktion wird somit durch den Wechsel des Energieträgers Erdöl auf Erdgas erreicht, da Erdgas einen geringeren CO₂-Ausstoss verursacht als Erdöl (siehe Tabelle 3). Durch diesen Schritt können jedes Jahr 3'366 Tonnen CO₂ eingespart werden, durch die Blockheizkraftwerke verbleiben 1'038 Tonnen Ausstoss. Gegenüber dem Ist-Zustand werden 76% (wiederum bei Bereitstellung der gleichen Wärmemenge) reduziert.

Bei Schritt vier werden wiederum Wärmepumpen eingesetzt, um dezentrale Erdwärme zu mobilisieren. Hier werden jedoch Photovoltaik-Anlagen und nicht Blockheizkraftwerke verwendet, um den Strom für die Wärmepumpen bereitzustellen. Durch die geringe CO₂-Belastung (60% im Vergleich zum Schweizer Verbrauchs-Strommix, siehe Tabelle 3) kann durch diese Massnahme am meisten CO₂ eingespart werden. Der verbleibende, jährliche Ausstoss (der komplett bei der Modulherstellung stattfindet) beträgt 687 Tonnen. Gegenüber der bestehenden Situation (80% Öl-, 20% Gasheizungen) können 89%, nämlich 5'660 Tonnen CO₂ reduziert werden.

Sonnenkollektoren ermöglichen eine sehr effiziente, direkte Nutzung der Sonnenenergie. Die von ihnen bereitgestellte Wärme ist komplett klimaneutral, da die Graue Energie bei der Herstellung vergleichbar mit der eines konventionellen Heizsystems ist. Einzig reichen Sonnenkollektoren nicht aus, Warmwasser während dem ganzen Jahr zur Verfügung zu stellen. In unseren Breiten muss mit einer konventionellen Zusatzheizung gerechnet werden, welche 30% der Wärmenergie bereitstellt. Die mit Sonnenkollektoren ermöglichte CO₂-Reduktion entspricht also genau der Verbrauchsreduktion der fossilen Energieträger – 70%. Dies entspricht einer Reduktion von 731 Tonnen pro Jahr; 313 Tonnen bleiben als CO₂-Ausstoss bestehen.

Der sechste Schritt sieht den Ersatz von 1'667 Elektroboilern mit Wärmepumpen-Boilern vor. Entsprechende Geräte benötigen 47% der bereitgestellten Wärmeenergie als Strominput. 53% der Wärmeenergie wird von der Umgebungswärme bezogen. Entsprechend ist die CO₂-Reduktion gleich der Reduktion des Stromverbrauchs – 53%. Da der Schweizer Verbrauchs-Strommix zwar nicht CO₂-Neutral, aber auch nicht sehr stark mit Treibhausgasen belastet ist (Vergleiche Tabelle 3), ist diese Reduktion nicht ganz so beachtlich wie bei den Sonnenkollektoren. Insgesamt können durch diese Massnahme pro Jahr 292 Tonnen CO₂ eingespart werden, 224 Tonnen verbleiben als Ausstoss durch den Stromverbrauch der Wärmepumpen.

Alle Massnahmen zusammen ermöglichen es, den CO₂-Ausstoss der Stadt um 10'735 Tonnen pro Jahr zu reduzieren. Gemäss verschiedenen Statistiken [XXI,XXII] werden aktuell (2005) durch die Haushalte sowie Klein-Industrie/-Gewerbe in ganz Frauenfeld jährlich 71'690 Tonnen CO₂ ausgestossen. Die CO₂-Reduktion im Heizungsbereich, welche durch diese Strategie ermöglicht wird beträgt also für die Stadt 15%.

5 Kostenanalyse

5.1 Energiekosten

Die Energiekosten wurden unter Berücksichtigung aller verwendeten Energie-Technologien ermittelt. Ausgegangen wurde von folgenden Energiebezugspreisen (siehe Tabelle 4). Bei den Elektroboilern wie bei den Wärmepumpen wurde einzig der Niedertarif berücksichtigt, da die entsprechenden Geräte ausschliesslich während der Niedertarifzeit laufen, um die Kosten zur Wassererwärmung möglichst tief zu halten. Der Strom aus dem Blockheizkraftwerk hat einen Preis von 7.1 Rappen pro kWh. Da dieser für Strategiestufe drei zum Betrieb von dezentralen Wärmepumpen in die Stadt gebracht werden muss, sind Netznutzungs-Gebühren dazuzurechnen. Mit diesen wird der Blockheizkraftwerks-Strom etwas teurer als Niedertarif-Strom. Eventuell würde es sich hier lohnen, einen speziellen Blockheizkraftwerks-Tarif einzuführen, zu dem sich Wärmepumpenbenutzer bewusst entscheiden können, um etwas für die Umwelt zu tun. Die Preise für Öl und Gas sind Schwankungen ausgesetzt. Nach wie vor sind die Kosten dafür bedeutend unter dem Niveau von Elektrizität oder erneuerbaren Energien. Dies ist nur möglich, weil im Preis für Öl und Gas externe Kosten nicht berücksichtigt werden. Diese Kosten werden somit nicht auf den Verursacher, sprich den Nutzer von fossilen Brennstoffen, abgewälzt. Dies stellt eine gewichtige ökonomische Ineffizienz dar, welche es immer zu berücksichtigen gilt, wenn man Preise von erneuerbaren Energiesystemen mit fossilen vergleicht.

Tabelle 4: Energiepreise in Rp. pro kWh

Preis (Oktober 09)	Heizöl	Preis Frauenfeld	Erdgas	Strom Niedertarif Frauenfeld	PV-Strom (ohne Förderung)	BHKW-Wärme aus Vorprojekt	BHKW-Strom aus Vorprojekt	BHKW-Strom inkl. Netzkosten
7.353		5.6		12.5	56	13.2	7.1	15.7

Für die einzelnen Strategiestufen ergeben sich folgende Wärmebezugspreise (siehe Tabelle 5). Dargestellt sind die Kosten für die sechs Strategiestufen sowie zum Vergleich die Kosten der Öl- und Gasheizung sowie dem Elektroboiler. Interessanterweise bewegen sich die Kosten sowohl des Basisprojektes sowie der ersten Erweiterung mit den Blockheizkraftwerken im Bereich der Öl- und Gasheizung. Dies ist möglich durch die Grösse dieser Strategiestufe. Dadurch, dass Investitionen an einem Ort gebündelt werden können und der Betrieb genau geplant wird, erreicht man eine hohe Kosteneffizienz im Vergleich zu kleineren, dezentralen Betrieben. Die dezentralen, mit Blockheizkraftwerkstrom betriebenen Wärmepumpen verursachen um 6 bis 8 Rappen höhere Wärmekosten. Da Strom aus Photovoltaikanlagen bedeutend teurer ist als der Strom aus den Blockheizkraftwerken ist auch die Kombination Photovoltaik mit Wärmepumpen teurer. Hier beträgt der Wärmepreis ungefähr das Doppelte der fossilen Varianten, doch wird dafür eine auf lange Sicht vollständige Klimaneutralität erreicht. Baut man Sonnenkollektoren auf Einfamilienhäuser kostet die Kilowattstunde Wärme etwa vier Mal so viel, wie wenn man das Wasser mit Gas erwärmt. Daher ist hier vorzuschlagen, grössere Gebäude zu favorisieren, um die sehr hohen Investitionskosten spezifisch zu senken. Wiederum relativ kostengünstig ist die Lösung mit Wärmepumpen-Boilern. Der Aufpreis zum herkömmlichen Elektroboiler beträgt ganze 8 Rappen, ein Betrag, der durch die beträchtlichen Einsparungen bereits für viele gerechtfertigt sein kann.

Tabelle 5: Wärmegestehungskosten in Rp. pro kWh (Vollkosten inkl. Kosten für Amortisation, Betrieb sowie Brennstoff/Strom)

Fernwärme-Netz	Erweiterung Fernwärmenetz	Dezentrale Wärmepumpen	Photovoltaik plus Wärmepumpen	Sonnenkollektoren	Wärmepumpen-Boiler	Vergleich: Ölheizung	Vergleich: Gasheizung	Vergleich: Elektro-Boiler
14.6	13.2	19.7	30.3	54.1	29.2	14.7	13.2	21.2

5.2 Förderprogramm

Auch wenn die Kombination verschiedener Technologien in einer Gesamtstrategie Kosten zu senken vermag, sind die einzelnen Technologien nach wie vor relativ kostspielig. In einem weiteren Schritt werden hier das bestehende, kantonale Förderprogramm berücksichtigt sowie ein ergänzendes Förderprogramm der Stadt Frauenfeld vorgeschlagen.

Tabelle 6: Förderbeitrag Kanton Thurgau (2010)

	Wärmepumpen	Photovoltaik-Anlagen	Sonnenkollektoren
Förderbeitrag pro System	3'500 CHF pro Wärmepumpe	2'500 CHF pro kW _p	3'000 CHF pro 5 m ²
Förderbeitrag pro kWh	1.1 Rp. pro kWh	5.0 Rp pro kWh	11.7 Rp. pro kWh

Der Kanton unterstützt aktuell (2010) die hier verwendeten Technologien wie in Tabelle 6 beschrieben [XXIII]. Diese Förderung ermöglicht es, die Preise bereits um einen ersten Teil zu senken. Da diese Strategie jedoch vor allem Frauenfeld als Energiestadt zu gute kommt, sollte man seitens der Stadt ein zusätzliches Förderprogramm aufbauen. Eine zusätzliche, kleine Anschubfinanzierung kann die Motivation, entsprechende Technologien zu verwenden, bedeutend erhöhen, wenn dadurch eine kritische Preisgrenze unterschritten wird. Die Förderung sollte langfristig geplant sein. Im Folgenden wird ein Vorschlag für ein Förderprogramm von 2012 bis 2020 dargestellt (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Förderprogramm Frauenfeld (2012-2020)

	Photovoltaik-Anlagen	Sonnenkollektoren	Wärmepumpenboiler
Anzahl dazugekommene Neuanlagen 2009 (ist)	20	40	0
Anzahl dazukommende Neuanlagen 2012 (soll)	60	60	60
Grösse pro Anlage	40 m ² Solarfläche	5 m ² Solarfläche	2000 kWh/J Wärmelieferung
Zunahme an neu hinzukommenden Neuanlagen pro Jahr im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr	10%	23%	23%
Total Anlagen bis 2020	815	1'420	1'420
Förderbeitrag pro Anlage (2012)	CHF 5'000.-	CHF 1'200.-	CHF 1'000.-
Abnahme Förderbeitrag pro Jahr	6%	4%	4%
Durchschnittlicher Förderbeitrag pro Anlage über die gesamte Zeit 2012-2020	CHF 4'745.-	CHF 1'025.-	CHF 854.-
Durchschnittliche, jährliche Kosten gesamtes Förderprogramm (2012-2020)	CHF 344'208.-	CHF 127'677.-	CHF 153'212.-
Durchschnittlicher Förderbeitrag über gesamtes Programm (2012-2020) pro kWh	3.8 Rp./kWh	2.6 Rp./kWh	2.1 Rp./kWh

Im Jahre 2009 wurden im Thurgau im Rahmen des Förderprogramms rund 200 Photovoltaikanlagen [XXIV] und rund 400 thermische Sonnenkollektoren [XXV] gefördert. Es ist davon auszugehen, dass in Frauenfeld 10% davon zugesichert wurden, also 20 respektive 40 Anlagen. Die Idee ist nun für das Förder-Startjahr 2012 die Anzahl an Neuanlagen zu verdreifachen. So werden 60 Photovoltaikanlagen und 120 Sonnenkollektoren in Frauenfeld erstellt werden. Bei den Photovoltaikanlagen scheint diese Zahl realistisch, während bei Sonnenkollektoren kaum ein solch grosser Zuwachs möglich scheint. Daher ist die Hälfte der Sonnenkollektor-Neuanlagen mit Wärmepumpen-Boilern zu substituieren. In unserer Strategie möchten wir ja gleich viele herkömmliche Boiler mit Sonnenkollektoren wie mit Wärmepumpenboilern ersetzen. Die Anzahl Neuanlagen für das Jahr 2012 ist somit je 60 Photovoltaikanlagen, Sonnenkollektoren und Wärmepumpenboilern. Die Anlagegrösse soll im Schnitt 40 m² für Photovoltaikanlagen (ausreichend zur kompletten Heizung eines Einfamilienhauses zusammen mit einer Wärmepumpe), 5 m² für thermische Sonnenkollektoren (ausreichend zur Warmwasserversorgung eines Einfamilienhauses) und 2000 kWh/Jahr Wärmeproduktionsvermögen bei Wärmepumpenboilern sein. Die Anzahl Anlagen soll nach 2012 Jahr für Jahr zunehmen; für Photovoltaik-Anlagen gehen wir von 10%, für Sonnenkollektoren und Wärmepumpenboilern von 23% Zunahme pro Jahr aus. Damit können bis 2020 je 1'420 neue Sonnenkollektoren und Wärmepumpen sowie 815 neue Photovoltaikanlagen erstellt werden.

Den Förderbeitrag für Photovoltaikanlagen setzten wir für das Jahr 2012 auf CHF 5'000.- pro Anlage, also ca. CHF 1'000.- pro kW_p fest. Um die technologische Entwicklung zu berücksichtigen soll dieser Beitrag jedes Jahr um 6 % abnehmen. Sonnenkollektoren sollten zusätzlich mit CHF 1'200.- pro Anlage gefördert werden (2012), Wärmepumpenboiler mit CHF 1'000.- pro Gerät (2012). Der Beitrag für Sonnenkollektoren und Wärmepumpenboiler kann pro Jahr um 4% abnehmen, da auch bei diesen Technologien noch eine technische Weiterentwicklung stattfindet.

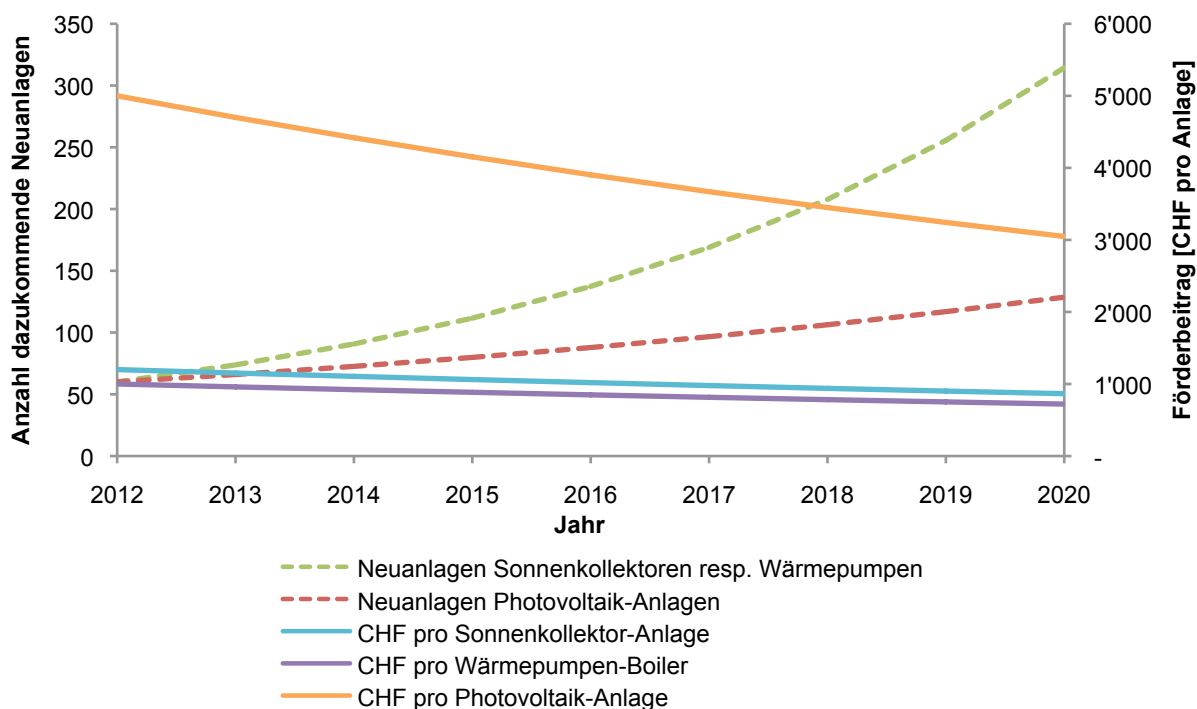


Abbildung 3: Verlauf von Neuanlagen und Anlagenpreis des Frauenfelder Förderprogrammes 2012-2020

Dargestellt sind gestrichelt die neu dazukommenden Anlagen für Photovoltaik, Sonnenkollektoren und Wärmepumpenboiler sowie mit ausgezogenen Linien die Förderentwicklung in Schweizer Franken pro Anlage.

In Abbildung 3 ist der Verlauf des vorgestellten Förderprogrammes über die Jahre 2012 bis 2020 dargestellt. Mit Gesamtkosten von 625'000 CHF pro Jahr können diese Technologien mit sehr geringen relativen Kosten von im Schnitt 3.1 Rp. pro kWh unterstützt werden. Wie sich ein solches Förderprogramm auf die Wärmekosten in der Gesamtstrategie auswirkt wird in Abbildung 4 dargestellt. Zieht man von den Wärmebezugs-Vollkosten (dargestellt in

Tabelle 5) die jeweiligen Förderbeiträge vom Kanton und des vorgeschlagenen Frauenfelder Förderprogramms ab, verbleiben Wärmebezugskosten der einzelnen Strategiestufen, welche sich mit denen fossiler Technologien vergleichen lassen.

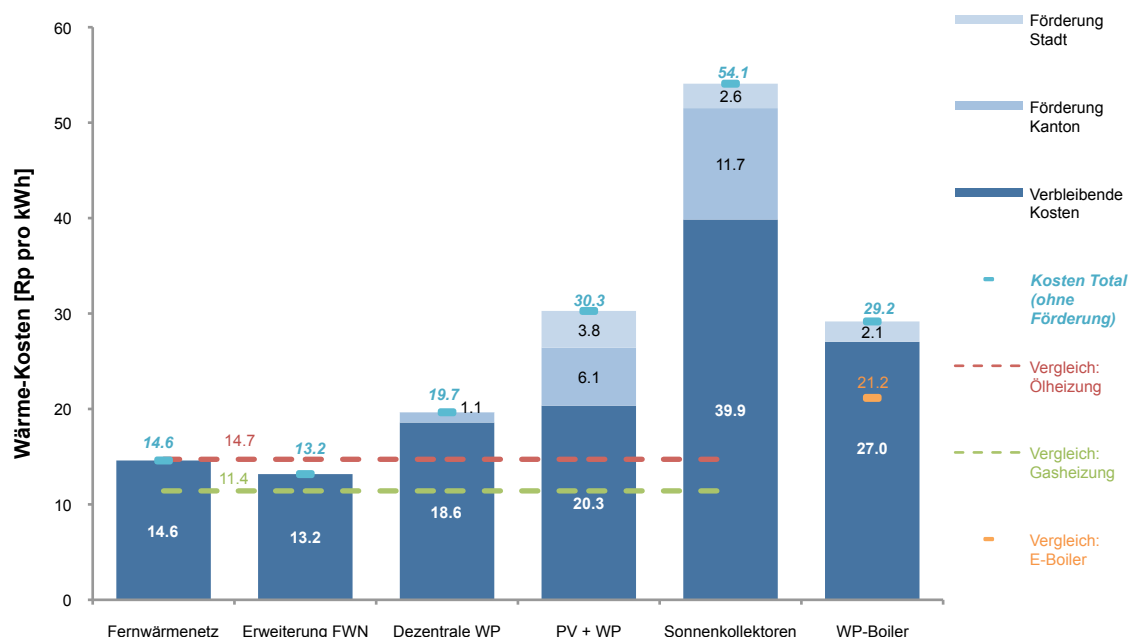


Abbildung 4: Darstellung der Kosten aller Strategiestufen inkl. Förderung

Von links nach rechts sind die sechs Stufen der Strategie dargestellt. „Kosten Total“ wurden gemäss Kapitel 5.1 berechnet. Die Förderung des Kantons wurde aus dem Förderprogramm 2010 entnommen. Die Förderung der Stadt wurde gemäss dem vorgeschlagenen Förderprogramm übernommen. Dargestellt in dunkelblau sind die verbleibenden Kosten nach Abzug der Förderung durch Kanton und Stadt. Ebenfalls aufgetragen sind als Vergleichsgrösse die Kosten von Öl- und Gasheizung für die Stufen eins bis fünf sowie die Kosten eines Elektroboilers im Vergleich zu den Wärmepumpen-Boilern

Bei Stufe eins und zwei (Fernwärmenetz, resp. Erweiterung desselben) wurde kein Förderbeitrag angenommen. Zwar gibt es laut kantonalem Förderprogramm Beiträge für Wärmekraftkoppelungen mit mehr 50 kW_{el} Leistung, Abwärmenutzung und Gesamtenergiekonzepte doch werden die individuell betrachtet [XXVI]. Diese Schritte individuell zu betrachten stellt sicher eine Option dar, doch bei diesen ersten Stufen sind die Wärmebezugskosten ja auch ganz in der Grössenordnung der fossilen Systeme. Bei den dezentralen Wärmepumpen (Strategiestufe drei) bringt der kantonale Förderbeitrag die Wärmekosten auf 18.6 Rp/kWh. Bei den Strategiestufen vier und fünf (dem „Solar-Teil“) sind die Förderbeiträge der Stadt und insbesondere des Kantons relativ hoch. Bei der Kombination von Wärmepumpen mit Photovoltaik bringt diese Förderung die Technologie ebenfalls nahe zur Region von fossilen Systemen, kostet hier die Kilowattstunde nur noch gut ein Rappen mehr als wenn dezentrale Wärmepumpen mit Blockheizkraftwerk-Strom betrieben wird. Anders sieht es nach wie vor bei den Sonnenkollektoren aus. Konzentriert man sich jedoch, wie bereits weiter oben beschrieben, auf grössere Gebäude und nicht auf 5 m²-Anlagen, könnten die hohen Kosten entschärft werden. Wärmepumpenboiler werden aktuell nicht vom Kanton gefördert. Daher ist der Förderbeitrag durch die Stadt von 2 Rp/kWh eher bescheiden. Da Wärme von Elektroboilern jedoch bedeutend teurer ist als von fossilen Systemen sind Wärmepumpen hier schon beinahe konkurrenzfähig.

Es überrascht kaum, dass die mit erneuerbaren Technologien erzeugte Wärme trotz Förderung teurer ist als jene aus fossilen oder rein elektrischen Systemen, werden bei letzteren wie weiter oben beschrieben externe Kosten ja nicht vom Verursacher bezahlt. Obige Darstellung zeigt jedoch, dass mit einer geschickten Kombination von verschiedenen Technologien die Preise in die Nähe der Referenzsysteme kommen. Insbesondere die beiden Strategiepunkte mit Wärmepumpe haben sehr grosses Potenzial.

5.3 Kosten CO₂-Einsparung

Wie bereits erwähnt ist das primäre Ziel der Strategie, den CO₂-Ausstoss von Frauenfeld zu senken. In Kapitel 4.3 wurde beschrieben, dass mit der Umsetzung der gesamten Strategie der CO₂-Ausstoss der Stadt Frauenfeld im Wärmebereich um 15% reduziert werden kann. Eine Umsetzung dieser Strategie scheint aber auf Grund hoher Wärmegestehungskosten nur durch die gezielte Förderung einzelner Massnahmen durch den Kanton Thurgau und die Stadt Frauenfeld möglich zu werden. Im Folgenden (dargestellt in Abbildung 5) wird errechnet, wie viel die CO₂-Einsparung für die Fördernden, also den Kanton sowie die Stadt, kostet.

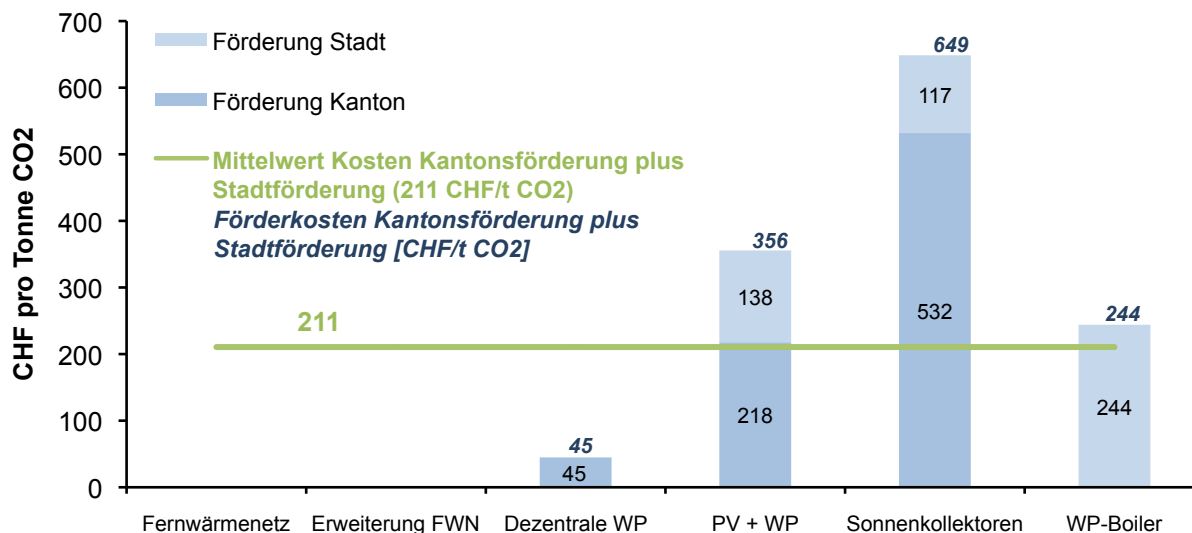


Abbildung 5: Kosten der CO₂-Senkung

Dargestellt sind von links nach rechts die sechs Stufen der Strategie. Die Kosten der CO₂-Reduktion setzen sich hier aus dem Förderbeitrag des Kantons Thurgau und dem Förderbeitrag der Stadt Frauenfeld zusammen. Der Mittelwert (grün) zeigt, wie hoch die Kosten im Durchschnitt über das ganze Projekt sind.

Die Strategiestufen eins und zwei sorgen für eine (für Kanton und Stadt) kostenlose CO₂-Reduktion, da sie nicht gefördert werden müssen. Bei Projektstufe drei fördert nur der Kanton die Wärmepumpen, was sich in entsprechend günstigen Reduktionskosten äussert. Bei Stufe vier (Photovoltaik/Wärmepumpen-Kombination) kommt zur kantonalen Förderung der Wärmepumpen die städtische wie die kantonale Förderung der Photovoltaikanlagen hinzu. Bei Sonnenkollektoren fallen vor allem die hohen Kosten der Kantonsförderung auf, während bei Wärmepumpen-Boilern die Kosten allein von der städtischen Förderung herrühren und relativ tief sind.

Wird die gesamte Strategie umgesetzt, kostet die Tonne eingespartes CO₂ im Schnitt 211.- Schweizer Franken. Als Vergleich sei das myclimate-Portfolio „myclimate Switzerland“ aufgeführt, wo mindestens die Hälfte der CO₂-Reduktion in der Schweiz stattfindet: Dort kostet eine Tonne reduziertes CO₂ genau 111.- Franken [XXVII]. Angesichts der Tatsache, dass das eingesparte CO₂ der Frauenfelder Gesamtstrategie zu 100% in der Schweiz reduziert wird sind die entsprechenden Kosten also durchaus vergleichbar.

Zusammenfassend kann man sagen, dass einzelne Stufen hohe CO₂-Einsparungskosten aufweisen. Durch die Kombination der Stufen in einer Gesamtstrategie resultiert jedoch ein CO₂-Reduktionspreis, der dem aktuellen Stand der Dinge in der Schweiz gerecht wird.

6 Schlussfolgerungen & Perspektiven

Das sich aktuell in Planung befindende Projekt zur Abwärmenutzung bei der ARA ist ein guter Schritt in Richtung nachhaltiger Energiezukunft. Gleichzeitig stellt es einen Grundpfeiler für eine umfassende Strategie für Frauenfeld als Energiestadt dar. Im vorliegenden Projekt wurde beschrieben, mit welchen Massnahmen im Rahmen dieser Strategie 12% des Wärmeenergiebedarfs in Frauenfeld mit erneuerbaren Energien gedeckt werden können und damit 15% des CO₂-Ausstoss im Wärmebereich gesenkt werden kann. Ermöglicht werden diese bedeutenden Einsparungen durch die Vereinigung verschiedener Technologien und deren Ausrichtung auf ein konkretes Ziel.

Beim konkreten weiteren Vorgehen ist es von grosser Bedeutung, die Aufwärtskompatibilität an der Basis zu garantieren. Es ist daher wichtig, dass jetzt bei der Umsetzung des Abwärmeprojektes bei der ARA das Fernwärmenetz genügend gross dimensioniert wird. Damit kann sichergestellt werden, dass die zusätzlichen 4.3 GWh Wärmeenergie pro Jahr von zukünftigen Blockheizkraftwerken auch genutzt werden können. Bei deren Bau müsste man sich dann Gedanken zur Stromverteilung zu dezentralen Wärmepumpen machen. Dazu wäre ein spezieller Blockheizkraftwerk-Stromtarif eine Option.

Die weiteren Strategiestufen kann man weitgehend unabhängig voneinander aufbauen, da sie dezentral funktionieren. Ein nächster, interessanter Schritt wäre die Untersuchung, welche Gebäude in Frauenfeld vor allem geeignet für Sonnenkollektoren sind. Hier sollten primär grössere Anlagen mit einem hohen Wärmebedarf angeschaut werden.

Die Studie zeigt, dass Frauenfeld ein hohes, noch ungenutztes Potenzial hat, erneuerbare Energien in einem Masse zu nutzen, dass damit ein beachtlicher Teil der Wärmeversorgung der Stadt gedeckt werden kann. Frauenfeld ist bereits Energiestadt. Mit einer entsprechenden Gesamtstrategie kann die Stadt noch viel weiter gehen und als Vorbild auf dem Weg in eine umweltfreundliche Zukunft voranschreiten.

Literaturverzeichnis

- I „Fernwärme aus der Abwärmenutzung der ARA Frauenfeld für das Regierungsviertel“, Thomas Böhni, 2009
- II „Fernwärme aus der Abwärmenutzung der ARA Frauenfeld für das Regierungsviertel“, Thomas Böhni, 2009
- III Verstärkte Förderung erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz; Schlussbericht der Arbeitsgruppen an den Regierungsrat, Februar 2007
- IV Regierungsrat-Kommunikation
- V Kyoto-Protokoll der UNFCCC, Annex A; United Nations, 1998
- VI Kyoto-Protokoll der UNFCCC, Annex B; United Nations, 1998
- VII § 2, Abs. 1 CO₂-Gesetz (SR 641.71) vom 8.10.1999 (Stand 1.1.2010)
- VIII § 2, Abs. 2 CO₂-Gesetz (SR 641.71) vom 8.10.1999 (Stand 1.1.2010)
- IX Wohngebäude nach überwiegender Energieträger der Heizung und Gemeinden; Dienststelle für Statistik des Kantons Thurgau; Kt. TG.; 2000
- X Wohngebäude nach Energieträger der Warmwasserversorgung im Sommer, Dienststelle für Statistik des Kantons Thurgau
- XI Wohngebäude nach Energieträger der Warmwasserversorgung im Winter, Dienststelle für Statistik des Kantons Thurgau
- XII Vorprojekt: Fernwärme aus der Abwärmenutzung der ARA Frauenfeld für das Regierungsviertel; Thomas Böhni, 20.6.09
- XIII Abklärungen: Mögliche Heizzentrale Staatsarchiv – Variantenvergleich; Thomas Böhni, 25.6.09
- XIV Stromkennzeichnung - Wo kommt der Strom her? Energiekennzeichnung 10/2009, Werkbetriebe Frauenfeld, Frauenfeld, 8.1.2010
- XV Vernehmlassung zur Änderung des Energiegesetzes, Dezember 2009
- XVI BFE-Schlussbericht „Plusenergieschulhaus HPZ Ekkharthof“, Thomas Böhni, Christoph Benkler, 10.12.2009
- XVII „Frauenfeld in Zahlen 2007; Statistik und Rauminformation“, Hochbauamt Stadt Frauenfeld, Mai 2007
- XVIII Wohngebäude nach überwiegender Energieträger der Heizung und Gemeinden; Dienststelle für Statistik des Kantons Thurgau; Kt. TG.; 2000
- XIX <http://www.bafu.admin.ch/klima/00493/00494/index.html?lang=de>, besucht 11.2.2010; „BAFU - Klima - Klimapolitik der Schweiz - CO₂-Gesetz
- XX Frischknecht Rolf und Matthias Tuchschnid, Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, Version 1.22, ESU-services Ltd., 30. Oktober 2008
- XXI „Frauenfeld in Zahlen 2007; Statistik und Rauminformation“, Hochbauamt Stadt Frauenfeld, Mai 2007
- XXII Wohngebäude nach überwiegender Energieträger der Heizung und Gemeinden; Dienststelle für Statistik des Kantons Thurgau; Kt. TG.; 2000
- XXIII „Förderprogramm Energie 2010; Fördersätze und Bedingungen“, Departement für Inneres und Volkswirtschaft, Abteilung Energie, Stand: 22. Januar 2010
- XXIV Kantonale Bearbeitungsstelle Photovoltaikförderprogramm
- XXV Entwicklung Zusicherungen 2003 bis 2009, Kanton Thurgau, DIV / Energie, Präsentation Energie-Apéro, 26. November 2009
- XXVI „Förderprogramm Energie 2010; Fördersätze und Bedingungen“, Departement für Inneres und Volkswirtschaft, Abteilung Energie, Stand: 22. Januar 2010
- XXVII <http://www.myclimate.org>, besucht 12.2.2010