

# Leitbild Energie und Klimaschutz der Stadt Jena 2021-2030

(Entwurf Teil: „Wärme“, Stand 2614.7.2019, Reinhard Guthke)

## Ausgangssituation

Die Stadt Jena gibt sich ein drittes Mal ein Leitbild für Energie und Klimaschutz. Das im Jahr 2007 vom Stadtrat erstmals beschlossene Leitbild war insofern ein Erfolg, als seitdem im Rahmen eines Monitorings in Zweijahresabständen umfangreiche Daten erhoben wurden, die Auskunft über das Erreichen der Klimaschutzziele geben. Die Berichte zeigen jedoch, dass von den im Jahr 2007 beschlossenen acht quantifizierten Zielen im Vergleich zum Basisjahr 2005 nur eines erreicht wurde, nämlich die Einsparung an Energie um 15 % für Raumwärme und Warmwasser bei den Gebäuden im Eigentum der Stadtverwaltung bzw. von KIJ. Der Monitoring-Bericht 2018 zeigt darüber hinaus, dass mit Bezugsjahr 1990 die CO<sub>2</sub>-Emissionen um nahezu 70% gesenkt wurden, „vor allem durch die Heizungsumstellungen in den 1990er Jahren und durch die Absenkung des CO<sub>2</sub>-Faktor für die in Jena eingesetzte Elektroenergie in den 2010er Jahren... Beide Umstellungen sind allerdings nicht wiederholbar, was zur Folge hat, dass zukünftig andere Mechanismen greifen müssen, wenn weitere Absenkungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Stadt Jena erreicht werden sollen.“ [Monitoring 2018, S. 53] Die im Monitoringbericht 2018 vorgelegte Modellrechnung „erreicht im Jahr 2050 tatsächlich den Zielkorridor gemäß der Vorgaben des Thüringer Klimagesetzes. Allerdings erfordert die Verfolgung dieser Entwicklung eine jährliche Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Größenordnung von 4,5 bis 5 % gegenüber dem Vorjahr. Von derartigen Absenkungsraten ist die Stadt Jena momentan weit entfernt.“ [Monitoring 2018, S. 54]. Beim Einsatz erneuerbarer Energien für die Fernwärmeversorgung liegt die Stadt Jena mit nur 2% deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt von 13%. Darin nicht enthalten sind die wachsenden Beiträge der Solarthermie, von Holz- und Pellet-Heizungen sowie der mit Ökostrom betriebenen Wärmepumpen durch Haushalte und Gewerbe, die nicht an die Fernwärme angeschlossen sind; dazu ist keine Statistik bekannt.

„Die Wärmeversorgung im Jahr 1990 war durch eine auf dem Primärenergieträger Braunkohle basierende Fernwärmeversorgung und durch Einzelfeuerungsanlagen auf Braunkohlenbasis gekennzeichnet. Stadtgas spielte eine untergeordnete Rolle.“ [Monitoring 2018, S. 52] Für 1990 wurden wärmebezogene Gesamtemissionen von ca. 1.065.000 t CO<sub>2</sub> ermittelt. Für 2005 lagen diese bei 200.000 t CO<sub>2</sub> im Jahr 2004/2005) und ist bis 2017 nahezu konstant geblieben, bedingt durch ca. 780 GWh (Umrechnung in CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Faktor 151 g/kWh für 400 GWh/a Fernwärme und 250 g/kWh für 545 GWh/a Erdgas, das in Jena im Haushalt und Kleingewerbe i. W. für Raumwärme und Warmwasserbereitung eingesetzt wird). Wärmeverbräuche (Erdgas und Fernwärme) sind annähernd konstant geblieben, seit 2014 sogar wieder angestiegen [Monitoring 2018, Kapitel 3.4]. Demzufolge hat der Wärmemarkt in Jena insgesamt seit 2004 keinen Beitrag zur absoluten Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen geleistet. Jedoch ist der um Einwohner- und Beschäftigtenentwicklung korrigierter Wärmeverbrauch in den Jahren 2004 bis 2017 um 9,9% relativ gefallen. Im selben Zeitraum sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den veränderten Strombezug („Grün“-Strom aus europäischer Wasserkraft statt Strommix inklusive Kohleverstromung) gefallen und durch den zunehmenden Verkehr gestiegen. An den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen haben Wärme, Verkehr und Strom etwa gleichgroße Anteile mit Dominanz des Wärmeanteils (38%, 31%, 31%, [Monitoring 2018, Abb. 10, S. 40]).

**Motivation und Begründung** (ist nur ein Auszug vom Gesamttext, der weiter von 2014 übernommen werden kann und von ~~von~~ Reiner Nebelung überarbeitet wird)

In den Hauptaussagen des 5. Sachstandsberichts des Weltklimarats (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) vom September 2013 wird unzweifelhaft formuliert: „Der menschliche Einfluss auf das Klimasystem ist klar. Das ist offensichtlich aufgrund der ansteigenden Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre, dem positiven Strahlungsantrieb, der beobachteten Erwärmung und des Verständnisses des Klimasystems.“ ...

Das Thüringer Klimagesetz (2018) und Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie Thüringens ([IEKS], September 2019) geben einen neuen politischen Rahmen vor.

### **Zielvorgaben des Leitbildes für die Stadt Jena**

**Strom** (dieser Teil wird von Matthias Stüwe entworfen)

...

### **Wärme**

#### Zielstellung A:

Die durch Wärmeversorgung (~~Raumwärme und Warmwasser, ohne Prozesswärme~~) bedingten Treibhausgasemissionen müssen von derzeit rund 200.000 t CO<sub>2</sub> (Äquivalente [Monitoring 2018, Tab. 14, S. 38]) bis 2030 auf rund 120.000 t CO<sub>2</sub>, also **um 40% reduziert** werden. Dazu muss der Einsatz fossiler Energieträger für Raumwärme und Warmwasser (ohne Prozesswärme und ohne Gas-Sondervertragskunden) von derzeit ca. 780 GWh/a auf ca. 470 GWh/a **um 310 GWh/a** reduziert werden.

(Das Ziel ist ggf. um einen Faktor entsprechend der relativen Veränderung der Einwohnerzahl und relativen Veränderung der Zahl sozialversicherungspflichtiger Arbeitsplätze zu korrigieren.)

#### **Begründungen:**

a) Modellrechnung zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele im Monitoringbericht Jena von 2018 [Monitoring 2018, S. 54]

b)

Operatives Ziel E 1.1 der - Nachhaltigkeitsstrategie der Stadt Jena mit Stand 05/2019 sieht eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen über alle Sektoren von 20-30% vor. Im Strombereich ist eine Reduktion aufgrund der bereits erfolgten Umstellung auf Grünstrombezug nur noch in geringerem Maße möglich. Im Ziel E1.1. wird ferner gefordert: „Um die Erderwärmung auf 1,5° zu begrenzen, wie es das Pariser Klimaschutzabkommen vorsieht, ist perspektivisch eine Reduktion um 50% innerhalb von 10 Jahren nötig.“ [GNKTh2019\_05]

c)

Der 2016 von der Bundesregierung verabschiedete Klimaschutzplan sieht eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Raumwärme (Gebäude) um 40% von 2014 bis 2030 vor [BMU Klimaschutzplan 2050, Tab. 1, S. 8]. Absolut ist in Jena von 2014 bis 2019 keine entsprechende Reduktion erfolgt. In Jena ist seit 2014 der Wärmeverbrauch absolut gestiegen und korrigiert mit dem Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der gestiegenen Einwohner- und Arbeitsplatzzahl etwa konstant geblieben [Monitoring 2018, Tab. 7, S. 20].

d) Die EU hat folgendes Ziel festgelegt

([https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de)):

“Zur Erreichung des Ziels ...

\* müssten die unter das EU-Emissionshandelssystem (EHS) fallenden Wirtschaftszweige ihre Emissionen um 43 % gegenüber dem Stand von 2005 senken. ...

müssten nicht unter das EHS fallende Wirtschaftszweige ihre Emissionen um 30 % gegenüber dem Stand von 2005 senken.

e)

Die Zielstellung der Reduktion um 40% ist vereinbar mit dem Fernwärmevertrag der SWEJP mit der TEAG Thüringer Energie AG von 2018, insbesondere mit der dort festgeschriebenen Mindestabnahme von Wärmeenergie.

**Maßnahmen:**

Nachfolgend wird gezeigt, dass die Reduktion wärmebedingten CO<sub>2</sub>-Reduktion um 40% bis 2030 realistisch ist und welche Maßnahmen dafür nötig sind. „Um das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes bis 2050 zu erreichen, sind sowohl anspruchsvolle Neubaustandards, langfristige Sanierungsstrategien für den Gebäudebestand wie auch die schrittweise Abkehr von fossilen Heizungssystemen Voraussetzung.“ [Klimaschutzplan 2050, S. 47]

Nach einem Szenario, das auf vorhandenen, nachfolgend zitierten Studien basiert, kann die 40%ige Reduktion der auf dem fossilem Energieträger Erdgas basierende Wärmeversorgung zu etwa 15% bis 20% durch Bedarfsrückgang per energetischer Gebäudesanierung und zu etwa 20% bis 25% durch erneuerbare Energien erfolgen.

Die Maßnahmen werden untergliedert in

Kunden, die Fernwärme nutzen, wobei in

- 369 GWh/a Fernwärme für Raumwärme/Warmwasserbereitung und
- 31 GWh/a für Prozesswärme und Kälteerzeugung unterschieden wird, und

Kunden, die Wärme vor Ort mit Erdgas erzeugen, wobei in

- Tarifikunden (408 GWh/a) und
- Sondervertragskunden 136 GWh/a) unterschieden wird.

Die folgenden Maßnahmen beziehen sich zunächst auf die an die Fernwärme angeschlossenen Wohnungen und die mit Gas beheizten Wohnungen der Tarifikunden (369+408 = 777 GWh/a, rund 780 GWh/a).

Für Prozesswärme- und Sondervertragskunden liegen keine oder nur unzureichend Informationen vor, so dass hier zunächst keine Maßnahmen vorgeschlagen werden können. Mit diesem Kundenkreis (Industriekunden) sind spezifische Maßnahmen zu entwickeln.

## a) Energetische Sanierung des Gebäudebestandes

Sanierungsmaßnahmen zur Minderung des Energie- und Wärmeverbrauchs im Gebäudebereich sind ein zentraler Baustein zur Energiewende. Die hier geforderte 20%ige Reduktion des Wärmebedarfs durch energetische Gebäudesanierung entspricht etwa dem „Effizienz-Szenario“ im Wärmeatlas, der 2012 von den Stadtwerken Energie in Zusammenarbeit mit der Leibniz-Universität Hannover erstellt wurde (22,5% Reduktion bis 2030) laut [Wärmeatlas Jena]). Das Effizienzscenario verlangt Sanierungsraten um Faktor 1,5 bis 2 höher als dies nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 erforderlich ist, Fenster sind gemäß Wärmeatlas Jena durchgängig mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung und Dämmstoffstärken sind bis zum bautechnischen Maximum (bis zu 24 cm) zu realisieren.

Die 20%ige Reduktion des Wärmebedarfs bis 2030 ist jedoch nach Berechnungen der TU Dresden unrealistisch: Sie hat – im Unterschied zu den Schätzungen der Universität Hannover im Jahr 2012 - im Jahr 2015 in EWKJ2050 berechnet, dass der Wärmeverbrauch bis 2050 um 35% sinken wird, wenn die aktuellen Sanierungsraten verdreifacht würden (von aktuell 1 bis 1,25% auf das Deutschlandziel von 3% pro Jahr – und das ab sofort!). Damit wäre bis 2030 höchstens 15% Wärmeeinsparung durch Gebäudesanierung zu erwarten. (Die Stadtwerke Energie rechnen aktuell mit einem Rückgang des Wärmeverbrauchs von rund 15% bis 2050 gegenüber 2011 [EWKJ 2050, 2015, S. 14]. Dieser prognostizierte Rückgang von etwa 7% bis 2030 mag realistisch sein. Er ist jedoch unzureichend für das Erreichen der Klimaschutzziele und entspricht lediglich dem „Trendszenario“ aus dem o.g. Wärmeatlas. Die nötige Verwirklichung des „Effizienz-Szenarios“ verlangt ab sofort ein Maßnahmenprogramm für Bestandsbauten mit entsprechenden Handwerkerkapazitäten.

~~Im Wärmeatlas stellt das o.g. „Effizienz-Szenario“ nur den mittleren Verlauf dar. Im noch anspruchsvolleren „Innovationsszenario“ wird sogar einen Rückgang um 32,4% für realisierbar gehalten, wenn zusätzlich 50% der Gebäude im Passivhaus-Standard realisiert sind, luftdicht sind, ohne Wärmebrücken mit kontrollierter Lüftung und Wärmerückgewinnung > 80%, mit einem spezifischen Heizwärmebedarf von nur 15 kWh/m<sup>2</sup>a.)~~

Der größte Teil des mehrgeschossigen Wohnungsbestands ist bereits saniert. Der zweite Sanierungszyklus im Gebäudebestand ist im Zeitraum vor 2030 durchzuführen. Die Stadtwerke Energie als Haupteigentümerin der kommunalen Wohnungsgesellschaft Jenawohnen mit über 14.000 Wohneinheiten (24% des gesamten Wohnungsbestands der Stadt) haben damit einen entscheidenden Beitrag zu leisten und eine Vorbildfunktion zu übernehmen.

Häuser, die möglicherweise vor längerer Zeit energetisch saniert wurden, entsprechen heute teilweise nicht mehr den Anforderungen. Dies betrifft beispielsweise die Dämmung der obersten Geschossdecke in der Stauffenbergstr. 45-57, Hans-Berger-Str. 1-7, 11-17 und 19-29. Dort wurde eine energetische Sanierung 1994/1995 vorgenommen. Es soll ein Katalog erarbeitet werden, indem die durchgeführten energetischen Maßnahmen, der Zeitpunkt der Ausführung und Termine für die Überprüfungen des aktuellen Zustandes aufgeführt werden. Für S.-

Allende-Platz 17-19 wurden im Jahr 2008 vom Gebäude-Energieberatungsbüro Peter Knüpfer, Jena, energetische Berechnungen vorgenommen und jenawohnen vorgeschlagen, mit Unterstützung des damals verfügbaren DENA-Förderprogramms eine energetische Sanierung vorzunehmen. Es wurde damals seitens jenawohnen entschieden diese Gebäude „momentan nicht energetisch zu sanieren“.

Eine weitere praktische Maßnahme zur Einsparung von Wärme wäre die Umsetzung des hydraulischen Abgleichs in allen Häusern. Durch diese Maßnahme können – nach Auskunft des o.g. Energieberatungsbüros – bis zu 13% Energie eingespart werden.

Für Neubauten ist das o.g. Reduktionsziel realistisch: Im Wärmetlas stellt das o.g. „Effizienz-Szenario“ nur den mittleren Verlauf dar. Im noch anspruchsvolleren „Innovationsszenario“ wird sogar einen Rückgang um 32,4% für realisierbar gehalten, wenn zusätzlich 50% der Gebäude im Passivhaus-Standard realisiert sind, luftdicht sind, ohne Wärmebrücken mit kontrollierter Lüftung und Wärmerückgewinnung > 80%, mit einem spezifischen Heizwärmebedarf von nur 15 kWh/m<sup>2</sup>a.

Nachhaltiges und damit auch energieeffizientes Bauen muss die Stadt Jena insbesondere bei den anstehenden großen Bauvorhaben erzwingen (z. B. Neubau der Universität am Inselplatz, Institutsneubauten am Beutenberg, neues Parkhaus am Eichplatz, Neubauten am Steinweg/Ecke Bahndamm, Neubauten von Zeiss).

Im Privathaussektor müssen per B-Plan oder in Verträgen bei Verkäufen kommunaler Grundstücke frühzeitig energetische Aspekte berücksichtigt werden (mindestens 50% im Passivhausstandard, ansonsten Niedrigenergiestandard oder entsprechende Einbindung erneuerbarer Energiequellen wie Solarthermie mit einem Deckungsgrad von mindestens 25%), so wie das beim EU-Projekt „Fichtlerswiesen – Bauabschnitt I“ geschehen ist (6 Häuser im Passivhausstandard, die restlichen im KfW-40- Standard).

Für alle Neubauten (Wohn- und Nichtwohngebäude) soll energetische Auflagen an Bauherrn, z. B. als Bedingung für Baugenehmigungen der Standard KfW55 und eine PV- oder/und Solarthermie-Anlage gefordert werden. Damit könnte Jena anderen vorbildlichen Städten wie Tübingen und ~~(nach dem Vorbild der Stadt~~ Göttingen folgen. )-

Die hier geforderte Reduktion des Wärmebedarfs (der Tarifkunden) um 20% entspricht einer Wärmeeinsparung von 1556 GWh/a bis 2030.

## **b) Erneuerbare Energien (EE) für die Wärmeversorgung**

Ein etwa gleichgroßer Betrag wie bei der Reduktion des Wärmeverbrauchs, also 1556 GWh/a kann bis 2030 durch Ersatz von Erdgas durch EE geleistet werden, wie folgende Studien aufzeigen.

Falls die Zielstellung der Wärmeeinsparung durch Gebäudesanierung sich als nicht realisierbar herausstellen sollte (wie die TU Dresden in EWKJ2050 berechnete), sind 194 GWh/a der fossilen durch erneuerbare Energiequellen zu ersetzen, also nicht

nur 20 sondern 25%. Für diesen hinsichtlich des EE-Einsatzes noch anspruchsvolleren Fall werden hier zunächst keine Maßnahmen vorgeschlagen.

Das Klimaschutzkonzept der Stadt Jena von 2015 [KlimaKJ2015, Tab. 9, S. 31] sowie auch das Gutachten des Leipziger Instituts für Energie von 2017/2018 [IE-Gutachten2017, Abb. 8, S. 43] geben Überblicke über die Potenziale erneuerbarer Energie in Jena, auch für die Wärmeversorgung. Für Solarthermie, Bioenergie (thermisch) und Geothermie wird im Jenaer Konzept [KlimaKJ2015, Tab. 9, S. 31] ein Potenzial von  $(22+54+70=)$  146 GWh/a geschätzt, nach neueren Ermittlungen sogar von  $(166+39+274 =)$  479 GWh/a. Die erstgenannte Schätzung basiert auf einer Potenzialstudie, die die Fachhochschule Nordhausen für die Thüringer Landesregierung im Jahr 2011 erstellt hat [FHNDH2011]. Auf derselben Potenzialstudie basieren auch die Aussagen, die das Leipziger Institut für Energie im Jahr 2017/2018 für die Thüringer Landesregierung erstellt hat ([IE-Gutachten2017]. Letztere weist zusätzlich noch Abwärmenutzung aus Abwasser (8 GWh/a) und Deponiegas (16 GWh/a) aus und kommt damit auf eine Summe von 170 GWh/a. Ob dieses Potenzial bis 2030 zu erschließen ist, wird nachfolgend kritisch für die 5 genannten Komponenten (Solarthermie, Bioenergie -thermisch, Geothermie, Abwasserwärme, Deponiegas) diskutiert.

Mit dem vom Jenaer Stadtrat am 8.5.2019 u.a. beschlossenen operativen Ziel E 3.3 wird lediglich etwa die Hälfte des vorgenannten Anteils aus EE angestrebt: „Der Anteil der gesamtstädtischen Wärmeproduktion aus erneuerbaren Energien am Gesamtwärmeverbrauch der Stadt Jena, einschließlich Fernwärme und Gasversorgung, wird bis 2030 auf 10% (Ausgangsjahr 2016, auf rund 88 GWh) erhöht.“ [GNKTh2019\_05]:

Power-to-Heat (PtH, „Tauchsiederprinzip“) als weitere Option ist zwar technologisch gut etabliert und durch die Stadtwerke Energie Jena Pößneck-Tochter job in Hermsdorf bereits realisiert. Die Technik ist wirtschaftlich jedoch nur in einem funktionierenden Regelstrommarkt, der aufgrund der bis 2030 noch bedeutsamen Kohleverstromung nicht gegeben ist. Weil mit PtH nach dem „Tauchsiederprinzip“ aus 1 kWh Strom nicht mehr als 1 kWh Wärme (d.h. maximal 1:1) gewonnen werden kann, ist bis 2030 Wärmepumpen mit einem Verhältnis von bis zu 1:3 der Vorzug zu geben, wobei Umwelt- und Abwärme genutzt werden (s.u.).

Synthetisches Gas aus Power-to-Gas zur Substitution von fossilem Erdgas wird voraussichtlich erst nach 2030 in nennenswertem Maße zur Verfügung stehen. In Thüringen gibt es hierzu Initiativen bei den Stadtwerken Sonneberg und mit der Fa. Kumatec in Neuhaus und Maximator in Nordhausen. Um die Klimaschutzziele auch nach 2030 zu erreichen, wäre schon jetzt ein verstärktes Jenaer Engagement mit dieser Technologie wünschenswert. Die Stadtwerke Energie Jena Pößneck GmbH sind an den Thüga Erneuerbare Energien GmbH beteiligt. Am Standort Frankfurt am Main betrieb die Thüga-Gruppe von 2014 bis 2017 die erste Power-to-Gas-Demonstrationsanlagen der Welt, die Strom in Wasserstoff umgewandelt und in das kommunale Gasverteilnetz eingespeist hat. Über eine Protonen-Austausch-Membran wurden pro Stunde 60 m<sup>3</sup> Wasserstoff erzeugt. Diese Aktivität sollte mit Jenaer Unterstützung fortgesetzt werden.

Ebenfalls sind saisonale Wärmespeicher erst evtl. nach 2030 bei einem höheren Anteil Solarthermie nötig; davor kann der volatile Anteil durch Erdgas ausgeregelt werden.

## 1. Solarthermie

Solarthermie gilt gemeinhin als die kostengünstigste Form der Wärmeengewinnung aus erneuerbaren Quellen. Ferner ist sie im Vergleich zur Bioenergie auch flächensparend. Allgemein wird mit 250 kWh/m<sup>2</sup>·a Wärmeenergie für die Solarthermie und 2 bis 6 kWh/m<sup>2</sup>·a bei Bioenergie gerechnet [TRAFO 2013, S. 73]. Gemessen am – in Jena kritischen – Flächenverbrauch ist also die flächensparende Solarthermie der flächenaufwändigen Bioenergie vorzuziehen.

Um 22 GWh/a Wärme solarthermisch zu erzeugen, wie in den Potenzialstudien ausgewiesen, ist eine Grundbruttokollektorfläche (für Kollektoren und Nebenanlagen) von ~~rund~~ 90.000 bis 100.000 m<sup>2</sup> (z.B. 300 m x 300 m) erforderlich (~~nach dem Erfahrungen aus Senftenberg – s.u. würden auch 55.000 m<sup>2</sup> genügen~~), die evtl. nur in einer stadtnahen Gemarkung des Saale-Holzland-Kreises zur Verfügung gestellt werden kann. Dieses Ziel ist sehr ambitioniert.

Bisher wurde auf dem Dach der Fernwärmestation Winzerla II eine Pilotanlage von 100 m<sup>2</sup> Brutto-Kollektorfläche errichtet.

Zum Vergleich: Die Solarthermieanlage der Stadtwerke Senftenberg mit einer Bruttokollektorfläche von 3.400 m<sup>2</sup> (Investkosten 1,8 Mio €) liefert 1,35 GWh/a. Das entspricht knapp 400 kWh/m<sup>2</sup>·a.

Die Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim bauen derzeit (2019) die größte deutsche Solarthermieanlage mit 14.000 m<sup>2</sup>. Die Bundesregierung will über Förderprogramme dafür sorgen, dass die Solarthermie-Einspeisung in Fernwärmenetze von derzeit 50.000 m<sup>2</sup> auf 30.000.000 m<sup>2</sup> steigt, d.h. im Zubau von 10.000.000 m<sup>2</sup> bis 2030 [ZfK2019\_07]. Auf die Einwohnerzahl von Jena umgerechnet wären dies 12,5 000 m<sup>2</sup> bis 2030 (das entspricht 3 bis 5 GWh/a) und 37.500 m<sup>2</sup>.

Gegenwärtig werden in Sachsen-Anhalt z.B. gebaut: Die zweitgrößte Anlage in Bernburg mit 8.600 m<sup>2</sup> = 5,6 MW und eine weitere Anlage in Halle mit 5.091 m<sup>2</sup> = 3,3 MW (jeweils Bruttokollektorfläche und Nennleistung).

Bisher wurde in Jena leider keine für ~~großflächige~~ geeignete Fläche für eine großflächige solarthermische Freiflächenanlage in Nähe des Jenaer Fernwärmenetzes gefunden. Geeignet wäre die Fläche der 1971 geschlossenen Mülldeponie in Jena-Winzerla (Gewerbegebiet „Jena21“), die jedoch aus naturschutzrechtlichen Gründen verworfen werden musste. Falls es der Stadt nicht gelingen sollte innerhalb oder außerhalb der Stadtgrenzen eine andere technisch geeignete und hinreichend große Fläche für die Solarthermie zu finden, muss die genannte Fläche auf der ehemaligen Mülldeponie zur solarthermischen Nutzung ermöglicht werden. Klimaschutz ist auch Artenschutz!

Eine ebenfalls technisch geeignete Fläche auf der ehemaligen Deponie Ilmnitz (neben der PV-Freiflächenanlage) wurde leider wegen Kleingartenbedarfs (Ersatz für Wohnungsbaubedarf am Gemdbdenbach) verworfen.

~~Gebäudedachflächen wurden geprüft und aus statischen Gründen verworfen (3.000 m<sup>2</sup>-großes Dach des Parkhauses am Klinikum Lobeda-Ost, Wohnblöcke in Lobeda-West). Eine ebenfalls technisch geeignete Fläche auf der ehemaligen Deponie Ilmnitz (neben der PV-Freiflächenanlage) wurde leider wegen Kleingartenbedarfs (Ersatz für Wohnungsbaubedarf am Gemdbdenbach) verworfen.~~

Die Angaben des Solarthermie-Potenzials von 166 GWh/a im Klimaschutzkonzept der Stadt Jena basieren auf dem Solarkataster und schließen vor allem Aufdach-

Anlagen ein [KlimaKJ2015, S. 20], die jedoch deutlich kostenintensiver sind als Freiflächenanlagen. Beschränkungen aus Gründen des Denkmalschutzes und der Traglastfähigkeit (Statik) wurden in dem Konzept nur erwähnt, aber nicht quantifiziert. Leider kann selbst bei in jüngster Zeit errichteten Gebäuden, z. B. die 3.000 m<sup>2</sup> große Dachfläche des Parkhauses am Klinikum Lobeda-Ost aus statischen Gründen nicht genutzt werden, mit der immerhin 0,75 GWh/a Wärme hätten gewonnen werden können. Insofern kann derzeit nicht belastbar quantifiziert werden, in welchem Umfang das solarthermische Potenzial von 22 GWh/a [FHNDH2011] bzw. 166 GWh/a [KlimaKJ2015, S. 20] tatsächlich bis 2030 erschließbar ist.

Die Stadt Jena wird ~~aber~~ auf Solarthermie als Bestandteil zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung schon aus Kostengründen nicht verzichten können.

Solange es der Stadt Jena nicht gelingt geeignete Freiflächen für die Solarthermie bereitzustellen, muss die Stadt durchsetzen, dass bei allen Neubauten Photovoltaik oder/und Solarthermie zum Einsatz kommen.

## 2. Bioenergie

Eine kritische Analyse des Bioenergiepotenzials (endogen, d. h. aus Jena-internen Stoffströmen) führt auf eine Prognose von 49 GWh/a [KlimaKJ2015, Abb. 10, S. 25].

Zum Vergleich: Das Biomasseheizkraftwerk Hermsdorf lieferte 32 GWh/a. Aufgrund des gestiegenen Holzpreises wurde 2019 im Biomasseheizkraftwerk Hermsdorf von Holz auf Erdgas umgestellt, d.h. erneuerbare Energiequelle durch fossile ersetzt. Mindestens in dieser Größenordnung muss Wärme aus Bioenergie wieder realisiert werden, um auch im Saale-Holzland-Kreis (mit dem das Leitbild Energie und Klimaschutz abzustimmen ist) die Wärmewende zu befördern.

(Zum Vergleich: Die Stadtwerke Ulm haben 2 Biomasse-Heizkraftwerke, die zusammen 385 GWh/a Wärme produzieren, basierend auf Hackschnitzel aus Frisch- und Altholz [TRAFO 2013, S. 55]).

Die Biogasanlage Jena-Zwätzen liefert 10 GWh/a Wärme (und 19 GWh/a Strom). Die mehr als mehrfache Energieproduktion wäre nötig, um den o.g. Betrag von 54 GWh/a zu liefern. Bei der Ausweitung der Biogasproduktion durch den Energiepflanzenanbau entstehen Zielkonflikte mit den Interessen des Umwelt- und Naturschutzes.

Eine Möglichkeit bestünde darin, das fossile Erdgas durch importiertes, in anderen Regionen erzeugtes Biogas (Biomethan) zu ersetzen. Biogas ist derzeit etwa doppelt so teuer wie Erdgas (z. B. 8 Ct/kWh statt 4 Ct/kWh nach [TRAFO S. 71]). Mit Einführung der zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Bepreisung wird Erdgas teurer und damit die vorgenannte Differenz geringer bis ausgeglichen werden: Beispielsweise mit einer CO<sub>2</sub>-Steuer von zunächst 35 €/t CO<sub>2</sub> als Einstieg bis 180 €/t CO<sub>2</sub> im Jahr 2030 - wie vom UBA kalkuliert und von der Bundesumweltministerin und den „Wirtschaftsweisen“ im Juli 2019 vorgeschlagen – wird Erdgas um zunächst 1 Ct/kWh ansteigend bis auf 4,5 Ct/kWh teurer (250 g/kWh\* 180 €/t CO<sub>2</sub>). Das Hauptproblem der Option „Umstellung von Erdgas auf Biomethan“ liegt somit nicht vor allem in den höheren Wärmegestehungskosten, sondern in der Ökobilanz seiner Erzeugung: Es wird mikrobiologisch-biotechnisch gewonnen aus landwirtschaftlichen Produkten oder Abfällen. Für eine Stadt wie Jena wäre ein Import nötig. Das in ländlichen Gegenden gewonnene Biogas wird seit mehreren Jahren verstärkt auf Erdgasqualität aufbereitet (Biomethan) und über das bestehende Gasnetz verteilt. Der hohe Flächenverbrauch für den Anbau der Energiepflanzen, die Pflege (ggf.



Düngung und Schädlingsbekämpfung) sowie die Reinigungs- und Verdichtungsprozesse hin zur Erdgasqualität machen das Biomethan nicht nur teurer, sondern auch ökologisch bedenklich. Im Vergleich zur Fernwärme mit dem Emissionsfaktor 151 g CO<sub>2</sub>/kWh ist kein Vorteil erkennbar nach Zitat aus TRAFO, S. 72: „Der THG-Emissionsfaktor für Biomethan auf Basis von Mais beträgt 160 g/kWh und berücksichtigt die gesamte Produktionskette vom Anbau der Biomasse, über die Erzeugung des Biogases in der Biogasanlage und die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität. Die THG-Emissionen für die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität einschließlich der Druckerhöhung für die Einspeisung in das Erdgasnetz betragen rd. ein Drittel der Gesamtemissionen. Für Biogas aus Mais ergibt sich ein Emissionsfaktor von 112 g/kWh. Die meisten THG-Emissionen entstehen durch das Aufbringen des Stickstoff-Düngers, der Lachgasemissionen, den Strombedarf für den Betrieb der Biogasanlage und den Fermenter. Biogas aus Gülle weist einen deutlich besseren THG-Emissionsfaktor infolge der Methan-Gutschrift für die vermiedenen Methan-Emissionen auf.“

Einen deutlichen Vorteil in ökologischer Hinsicht hat dagegen die Verwertung von biogenen Abfällen.

### **Verwertung von biogenen Abfällen und Landschaftspflegematerial**

Es stehen 15.000 Tonnen biogene Abfälle zur Verfügung (12.000 Tonnen aus den privaten Haushalten („braune Tonne“), 1.800 t/a Grünschnitt aus städtischen Grünanlagen, 1.500 t/a Altholz). Damit können 5,1 bis 5,4 GWh/a thermisch (und zusätzlich 5,2 GWh/a Strom) erzeugt werden [KlimaKJ2015, S. 82] [AntwortGrAnfrage2011, S. 24]. „Da hier die Biomasse nicht separat erzeugt werden muss, sondern vorhanden ist und derzeit energetisch ungenutzt auf externen Kompostieranlagen verrottet, stellt sich diese Art der Biogaserzeugung jetzt wie auch zukünftig als die ökologisch nachhaltigste dar.“ [AntwortGrAnfrage2011, S. 24].

Die Steuerungsgruppe für die Erarbeitung der Nachhaltigkeitsstrategie Jena (Global Nachhaltige Kommune) hat in ihrer Sitzung am 23.5.2019 die energetische Nutzung von Bioabfällen als das Leitprojekt innerhalb des Themenfelds Energie und Klimaschutz bestimmt und schlägt folgende Maßnahme vor: „Die Stadt Jena prüft bis zum Jahr 2022 die Errichtung einer Abfallbiogasanlage zur energetischen Nutzung der Jenaer Bioabfälle (in Zusammenarbeit mit dem Saale-Holzland-Kreis). Die Stadt Jena prüft die Wirtschaftlichkeit, die Anlagengröße, die rechtlichen Rahmenbedingungen und die Standorteignung einer Abfallbiogasanlage zur energetischen Nutzung der Jenaer Bioabfälle.“ [GNKTh2019\_05, S.44]

Der Energiegehalt aus Jenaer Abfalls (inkl. Papier, Karton, Leichtverpackungen, Sperrmüll) wird insgesamt auf 68,5 GWh/a geschätzt [KlimaKJ2015, Abb. 10, S. 26], der aber vor Ort in Jena nicht genutzt werden kann.

### **1. 3. Geothermie**

„Die Stadtwerke Energie sind weiterhin überzeugt davon, dass die Integration von Geothermie in die Struktur der zukünftigen Wärmeversorgung der Stadt Jena einen wichtigen Beitrag leisten kann.“ [EWKJ 2050, 2016, S. 193]

Drei Arten der Geothermie sind zu unterscheiden:

- a) Tiefe Geothermie zur Strom- und Wärme Gewinnung, 3000 – 6000m Tiefe. Für ganz Thüringen hat die JENA-GEOS eine Studie für die ThEGA erstellt. Für Jena kommt die tiefe Geothermie nicht oder kaum infrage.
- b) Mitteltiefe Geothermie zur Wärme Gewinnung, in Jena 400 bis 1000 m mit Wassertemperaturen über 20°C.

Diese Art der Geothermie kommt prinzipiell für die Einspeisung ins Fernwärmenetz in Frage. Die Stadtwerke Energie Jena hatten deshalb von JENA-GEOS das Potenzial der Geothermie in Tiefen um 700 m mit Grundwassertemperaturen von 25 bis 30°C untersuchen lassen, mit folgenden Ergebnissen.

Im Ergebnis der kartografischen Standortanalyse unter Berücksichtigung der geologischen Situation, der Raumwiderstände in Bezug auf die Raumplanung, der Ausdehnung des tatsächlichen Fernwärmeversorgungsgebietes und der potentiellen Verfügbarkeit von Bauflächen wurden drei Vorzugsstandorte identifiziert: Zentralkläranlage Jena-Nord, Mühlenstraße und Wöllnitzer Straße („Muskelkirche“). Davon erwies sich das Gelände im Bereich der Zentralen Kläranlage am geeignetsten. In diesem Standortbereich liegen in Bezug auf das prinzipielle Vorhandensein ausreichender Flächen und die Lage zu günstigen potentiellen Reservoirstrukturen die günstigsten Voraussetzungen vor. Die Schüttung des Thermalwasserstromes von 12,5 l/s und der Wassertemperatur von 27°C wurden aufgrund der verfügbaren geologischen Informationen unterstellt. Die geschätzte Schüttung des thermalen Grundwassers an diesem Ort ist unzureichend für einen signifikanten Beitrag der Geothermie zur Umstellung auf eine nachhaltige Fernwärmeversorgung. Diese Schätzungen müssten durch Probebohrungen geprüft werden, die ca. 200.000 € kosten würde und durch die öffentliche Hand gefördert werden sollte (Bestimmung der Reservoirdurchlässigkeit und damit der realisierbaren Zirkulationsraten).

Die GEF Ingenieur AG untersuchte die Umsetzbarkeit der Einbindung einer Geothermieanlage in das Fernwärmenetz der Stadtwerke Energie durch Einsatz einer Hochtemperaturwärmepumpe und eines Blockheizkraftwerks.

Unter den gegenwärtigen bundesdeutschen Rahmenbedingungen (relativ hoher Strompreis bedingt durch Abgaben, Umlagen und Steuern) und vergleichsweise niedrigen Gaspreisen (Dänemark hat den etwa dreifachen Gaspreis) ist eine wirtschaftliche Einbindung der Geothermie ins Fernwärmenetz derzeit nicht gegeben. Nach der von der Bundesregierung angekündigten Novellierung des Abgaben-, Umlage und Steuersystems für fossile Energien (z. B. CO<sub>2</sub>-Steuer) sollte die Wirtschaftlichkeit nochmals überprüft werden. Ohne diese rasche Veränderung der bundesdeutschen Rahmenbedingungen wird die Wärmewende in Jena entsprechend den Pariser Klimaschutzziele nicht gelingen.

Ferner hängt die Wirtschaftlichkeit der Einbindung der Geothermie ins Fernwärmenetz bei Einsatz von Wärmepumpen wesentlich ab von der

Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz (derzeit 95°C im Sommer und 130°C im Winter). **Die Absenkung der Vorlauftemperatur, mit der auch geringere Wärmeverluste im Fernwärmenetz verbunden sind, sollte möglichst bald realisiert werden.** Da die Temperaturabsenkung auf Seiten der Fernwärmekunden entsprechende investive Maßnahmen verlangt, müssen die Kunden über geplante Temperaturabsenkung möglichst frühzeitig informiert werden und möglicherweise bei den Maßnahmen unterstützt werden. Für neue Wohngebiete, wie „Am Oelste“ haben die Stadtwerke Energie Jena ein LowEx-Netz geprüft. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen erwies sich dies jedoch als nicht wirtschaftlich (Wärmekosten etwa das Doppelte des aktuellen Fernwärmepreises). Mit den von der Bundesregierung angekündigten Änderungen der Rahmenbedingungen sollte dies energetisch dringende Maßnahmen wirtschaftlich werden.

### c) Oberflächennahe Geothermie

Hierbei befinden sich die Sondenfelder in einer Tiefe bis 100 m. Diese Art der Geothermie ist ‚fast überall‘ möglich. Sie kommt besonders für Einzelhäuser und kleinere Wohnquartiere auch in Jena zu fördern. Hierzu gibt es auch digitale Karten: [http://www.tlug-jena.de/geothermie/uebersichtskarte\\_x.html?uebersichtskarte.html](http://www.tlug-jena.de/geothermie/uebersichtskarte_x.html?uebersichtskarte.html)

(Hier werden evtl. Ergänzungen nach Gespräch mit Jena-GEOS eingefügt werden.)

Auch ~~b~~Bei der Nutzung der Erdwärme in Tiefen bis zu 1.000 m ist der Einsatz von Wärmepumpen und damit i.d.R. von Elektrizität (aus erneuerbaren Quellen) erforderlich. Der Strombedarf hängt wesentlich von der Temperatur und damit von der Tiefe ab: oberflächennahe Geothermie (bis 100 m Tiefe, 10-15 °C) verlangt einen höheren Beitrag an elektrischer Energie als Tiefengeothermie. ~~(z.B. 700 m, 30 °C). Für letztere hat JENA-GEOS® generell nachweisen, dass eine Betriebsführung bereits heute eine wirtschaftlich sinnvolle Option darstellt.~~ Im Rahmen des neuen Förderprogramms smood ([www.smood-energy.de](http://www.smood-energy.de)) könnte die Geothermie in Jena vorangebracht werden.

Bei oberflächennaher Geothermie rechnet man mit einem Faktor 3, d.h. aus 1 kWh Elektrizität 3 kWh Wärme gewonnen werden kann. Wenn also 70 GWh/a durch Geothermie mit Wärmepumpen produziert werden sollen, wie in o.g. Studien kalkuliert, müssen dafür etwas 20-25 GWh/a Elektrizität eingesetzt werden. Das entspricht der jährlichen Stromproduktion von etwa 4 Windrädern (je 3 MW wie z.B. mit der Windenergieanlage Enercon 115). Zum Vergleich: Die Stadtwerke Energie Jena haben an den on-shore Windparks der Thüga Erneuerbare Energien einen Anteil, der elektrische Energie von 25 GWh/a liefert.

Auch die Nutzung der oberflächennahen Geothermie ist unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen unwirtschaftlich: Bei dem derzeit relativ hohen Strompreis (für gewerbliche Nutzung 18 Ct/kWh) ergibt sich beim o.g. Verhältnis von 1:3 (Strom für Wärmepumpe : Wärme) ein Wärmepreis von über 6 Ct/kWh (zuzüglich der Investitionskosten), der über dem aktuellen relativ niedrigen Gaspreis (z. B. 5 Ct/kWh) liegt. Damit wird die Nutzung auch der oberflächennahen Geothermie nur nach einer Änderung der bundesdeutschen Energiepreispolitik wirtschaftlich darstellbar.

## **2. 4. Nutzung der Wärme aus Abwasser**

Die Wärmegewinnung aus Abwasser ist noch günstiger als die oberflächennahe Geothermie aufgrund der höheren Temperatur des Abwassers von 10 bis 22 °C (15,6 °C im Jahresdurchschnitt). Je nach Temperaturabsenkung um (2 oder) 4 Grad und damit Wärmeentzug aus dem Abwasser der Zentralkläranlage Zwätzen kann eine Wärme von (16 bis) 32 GWh/a geliefert werden [EWKJ 2050, S. 195]. Um die Energie von relativ niedriger Temperatur auf ein höheres und damit für Heizzwecke nutzbares Temperaturniveau zu heben, sind Wärmepumpen einzusetzen. Um die vorgenannten 32 GWh/a zu erzeugen, sind etwa 11 GWh/a Strom aufzuwenden (entspricht der Energieproduktion von etwa zwei 3 MW-Windrädern onshore).

### **~~3. Absenken der Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz (LowEx)~~**

~~Wärmepumpen sind besonders in Verbindung mit oberflächennaher Geothermie und Nutzung von Abwärme sinnvoll. Im Fernwärmenetz macht das besonders dann Sinn, wenn die Vorlauftemperatur abgesenkt würde auf unter 90°C. Die Absenkung der Vorlauftemperatur, mit der auch geringere Wärmeverluste im Fernwärmenetz verbunden sind, sollte möglichst bald realisiert werden. Da die Temperaturabsenkung auf Seiten der Fernwärmekunden entsprechende investive Maßnahmen verlangt, müssen die Kunden über geplante Temperaturabsenkung möglichst frühzeitig informiert werden und möglicherweise bei den Maßnahmen unterstützt werden. Für neue Wohngebiete, wie „Am Oelste“ sollte vor vornherein ein LowEx-Netz geplant werden.~~

#### **Fazit:**

In den Jahren 2021 bis 2030 sind vorrangig folgende Wärmepotenziale zu erschließen:

- **Geothermie und Wärmepumpen: 70 GWh/a**
- **Abwasserwärme + Wärmepumpen: 32 GWh/a**
- **Erhöhung der EE-Strom-Produktion um 30 GWh/a (z.B. fünf 3-MW-Windräder) zum Betrieb der Wärmepumpen**
- **Energetische Bioabfallverwertung: 5 GWh/a thermisch**

Zusammen mit dem Bestand im ZKA Zwätzen von 10 GWh/a thermisch ist die Summe 117 GWh/a realistisch bis 2030 zu realisieren, womit das in der Nachhaltigkeitsstrategie Ziel von 88 GWh/a Wärme aus EE übertroffen werden kann und auch sollte im Interesse der Näherung an die Klimaschutzziele von Paris.

Um die an der Zielgröße 170 GWh/a noch fehlenden rund 53 GWh/a bis 2030 zu erreichen, gibt es folgende Maßnahmen:

22 GWh/a: Für eine solarthermische Freiflächenanlage (sowie die energetische Bioabfallverwertung) soll die Kooperation mit dem SHK gesucht werden.

16 GWh/a: Die Nutzung von Deponiegas ist zu klären.

15 GWh/a: Förderung der Solarthermie auf Dachflächen (60.000 qm erforderlich) durch ein kommunales 1000-Dächer-Solarthermie-Programm

Die Maßnahmen sind nur nach einer Änderung der bundesdeutschen Energiepreissystematik (niedrigere Strompreise, höhere Gaspreise) wirtschaftlich.

## Zielstellung B:

Der bereits seit 2007 in vorbildlicher Weise **gesenkte Endenergiebedarf** für **Raumwärme und Warmwasser** in Gebäuden, die von der Stadtverwaltung genutzt werden bzw. die sich im Eigentum der **KIJ** befinden, sollte **zumindest beibehalten** werden, möglichst aber noch weiter (um 40% wie bei Zielstellung A) gesenkt werden.

### Maßnahmen:

- a) Hausmeisterschulungen für Schulen
  
- b) Für die öffentlichen Gebäude sollten Sanierungsfahrpläne auf der Grundlage der Zielvorgaben des Thüringer Klimagesetzes erstellt werden. Die entsprechenden finanziellen Mittel für Energieeffizienzmaßnahmen, für wärmedämmende bauliche Sanierungsmaßnahmen oder für Investitionen von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien müssen im Haushalt eingeplant werden.

### Literatur

- [AntwortGrAnfrage2011, S. 24]: Stadtverwaltung Jena: „Nachhaltige Energieversorgung auf kommunaler Ebene“ - Antwort auf Große Anfrage der Fraktion Bündnis 90 / Die Grünen im Jenaer Stadtrat v. 29.06.2011
- [BMU Klimaschutzplan 2050]: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: „Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung“, [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf) November 2016, 2. Auflage Februar 2019.
- [EWKJ 2050]: Frank Schöttke et al./SWEJP, GEF Ingenieur AG, TU Dresden, Beratungs- und Servicegesellschaft Umwelt mbH „Integriertes Energie- und Wärmekonzept für Jena 2050“, März 2016.
- [FHNDH2011]: Fachhochschule Nordhausen und EKP Energie-Klima-Plan GmbH: Neue Energie für Thüringen – Ergebnisse der Potenzialanalyse, Nordhausen, Oktober 2011. <https://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1273.pdf>
- [GNKTh2019\_05]: Steuerungsgruppe Global Nachhaltige Kommune Jena: „Nachhaltigkeitsstrategie Jena - Handlungsprogramm“, Entwurf, 27.5.2019
- [IE-Gutachten2017]: Leipziger Institut für Energie: „Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen“, November 2017.
- [IEKS]: Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie Thüringens. [https://klimanetz-jena.de/uploads/IEKS\\_Abschlussbericht4.0.pdf](https://klimanetz-jena.de/uploads/IEKS_Abschlussbericht4.0.pdf), Januar 2018, 2019

- [KlimaKJ2015]: Heiko Griebisch, Matthias Mann /ThINK: „Klimaschutzkonzept der Stadt Jena“, Oktober 2015 [https://umwelt.jena.de/sites/default/files/2018-12/Klimaschutzkonzept%20Jena\\_20151111.pdf](https://umwelt.jena.de/sites/default/files/2018-12/Klimaschutzkonzept%20Jena_20151111.pdf)
- [Monitoring 2018]: Matthias Mann/ThINK: „Bericht zur Umsetzung des Leitbildes Energie und Klimaschutz und des Energiekonzeptes der Stadt Jena - Monitoring 2018“, Februar 2019.
- [TRAFO2013]: ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, GEF Ingenieur AG, AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.: „Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien“, Februar 2013. [https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Endbericht\\_Transformationsstrategien\\_FW\\_IFEU\\_GEF\\_AGFW.pdf](https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Endbericht_Transformationsstrategien_FW_IFEU_GEF_AGFW.pdf)
- [Wärmeatlas Jena]: Frank Schöttke/SWEJP, Bohne Ingenieure GmbH, Leibniz Universität Hannover, 2012; Folie 13; [http://www.buergerenergie-jena.de/wiki/img\\_auth.php/a/af/Waermeatlas\\_Buergerenergie\\_Treff\\_2014\\_02\\_06.pdf](http://www.buergerenergie-jena.de/wiki/img_auth.php/a/af/Waermeatlas_Buergerenergie_Treff_2014_02_06.pdf), 6. Februar 2014.
- [ZfK2019\_07] Joachim Berner: „Solarwärme aus dem Netz“, ZfK, S. 12, Juli 2019.