

Dirk Pietruschka et al.

## Vision 2020

# Die Plusenergiegemeinde Wüstenrot



Dirk Pietruschka et al.

**Vision 2020**

**Die Plusenergiegemeinde Wüstenrot**



Dirk Pietruschka et al.

# **Vision 2020**

## **Die Plusenergiegemeinde Wüstenrot**

## Impressum

### Herausgeber:

Begleitforschung EnEff:Stadt  
c/o pro:21 GmbH  
Dresdner Straße 1 · D-10179 Berlin  
Tel.: +49 30 3904222 · Fax: +49 30 3904231  
Dr. Armand Dütz (V.i.S.d.P.), Jessica Löffler  
E-Mail: a.duetz@pro-21.de

Inhalte basierend auf dem Forschungsprojekt  
FKZ 03ET1116A/B/C/D

### Hochschule für Technik Stuttgart:

Zentrum für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net),  
Dr. Dirk Pietruschka

### Redaktion:

Ursula Pietzsch, Dirk Monien (HFT Stuttgart)

### Lektorat und Gestaltung:

löwenholz kommunikation GbR, Berlin  
Rüdiger Buchholz, Claudia Oly

### Titelbilder:

© Gemeinde Wüstenrot (Hintergrund),  
Doppelacker GmbH, zafh.net

### Druckerei:

BELTZ, Bad Langensalza

Bonn, 2016

ISBN (Print): 978-3-8167-9545-2  
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9642-8

### Verlag und Vertrieb:

Fraunhofer IRB Verlag  
Fraunhofer-Informationszentrum  
Raum und Bau IRB  
Nobelstraße 12 · 70569 Stuttgart  
Tel.: +49 7 11 9 70-25 00 · Fax: +49 7 11 9 70-25 08  
irb@irb.fraunhofer.de · www.baufachinformation.de

## Schriftenreihe EnEff:Stadt

Diese Publikation wird herausgegeben im Rahmen der Schriftenreihe EnEff:Stadt. In dieser werden fortlaufend die für Fachwelt und Praxis besonders relevanten Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) veröffentlicht.

Bislang erschienen:

- Der Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere
- Energetische Stadtraumtypen
- Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim
- Energetische Bilanzierung von Quartieren Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten – Forschung zur energieeffizienten Stadt
- Planungshilfsmittel: Praxiserfahrungen aus der energetischen Quartiersplanung
- Energetischer Stadtumbau. Energieleitplanung und Wärmenetze für neue Nachbarschaften in Ludwigsburg Grünbühl-Sonnenberg
- Der energieeffiziente Universitätscampus: Pilotprojekte der Forschungsinitiative EnEff:Stadt
- Vision 2020. Die Plusenergiegemeinde Wüstenrot
- Energieeinsparpotenzial sanierter Wohngebäude unter Berücksichtigung realer Nutzungsbedingungen
- Nichttechnische Erfolgsfaktoren der Quartiersentwicklung

Neuerscheinungen werden fortlaufend über die Website der Förderinitiative ([www.eneff-stadt.info](http://www.eneff-stadt.info)) im Bereich Begleitforschung angekündigt.

## Inhalt

<b>Vorwort zur Schriftenreihe</b>	<b>7</b>
<b>Vorwort der Autoren</b>	<b>9</b>
<b>1. Wüstenrot setzt auf ein Plusenergiekonzept</b>	<b>11</b>
1.1 Eine kommunalpolitische Weichenstellung	11
1.2 Das Projekt in Kürze	12
<b>2. Überblick schaffen: Die Bestandsaufnahme</b>	<b>16</b>
2.1 Ein 3D-Stadtmodell als Analyse- und Planungswerkzeug	18
2.2 Ermittlung des Wärmebedarfs	21
2.3 Ermittlung des Strombedarfs	24
<b>3. Wo steht Wüstenrot zum Projektstart 2012? Energiebilanz I</b>	<b>27</b>
<b>4. Energieeinsparung und Energieeffizienz</b>	<b>33</b>
4.1 Weniger Energie: den Heizwärmebedarf in Wohngebäuden senken	34
4.2 Mehr Effizienz: Senkung des kommunalen Stromverbrauchs	37
4.2.1 Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik	38
4.2.2 Effiziente Wasserversorgung und Lastmanagement	39
4.2.3 Effiziente Abwasserentsorgung	42
4.3 Die Gemeinde setzt Zeichen	44
<b>5. Den Bedarf nachhaltig aus lokalen Quellen decken: Potenzialanalysen erneuerbarer Energien</b>	<b>45</b>
5.1 Solarenergie	45
5.2 Windkraft	49
5.3 Biomasse, Biogas und feste Biomasse	51
5.3.1 Potenziale zur Umsetzung von Biogasanlagen	51
5.3.2 Feste Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung - erschließbare Potenziale im Gemeindegebiet	55
5.3.3 Geothermie	57
<b>6. Netzgebundene regenerative Wärmeversorgung</b>	<b>59</b>
6.1 Pilotprojekt: Biomasse-Nahwärmenetz Weihenbronn mit dezentraler Solareinspeisung	62
6.2 Umsetzungsplanung für Biomasse-Nahwärmenetze in der Gesamtgemeinde	65

<b>7. Wohin gelangt Wüstenrot mit seinem Fahrplan? Energiebilanz II</b>	<b>71</b>
<b>8. Planung eines SmartGrid für den Ausbau erneuerbarer Energien in der Gesamtgemeinde</b>	<b>77</b>
8.1 SmartGrids: Flexibilisierung des Netzbetriebs durch intelligente Vernetzung von Erzeugung und Verbrauch	77
8.2 Integration dezentraler Erzeugungsanlagen durch ein intelligentes Lastmanagement	78
8.3 Das Wüstenroter Stromnetz: Strukturmerkmale und Ausbauszenarien	81
8.4 Netzanalyse für verschiedene Szenarien	82
8.5 Technische Analyse der Szenarien in Bezug auf das Stromnetz	86
8.6 Speichertechnologien zur Stromnetzentlastung	90
8.7 Intelligente Steuerung in einem virtuellen Kraftwerk	92
<b>9. Pilotprojekt Plusenergiesiedlung Vordere Viehweide</b>	<b>93</b>
9.1 Wärme- und Kälteversorgung aus dem Ackerboden	94
9.2 Kalkulation, Auslegung und Ziele für die Markteinführung	98
9.2.1 Wie wird ein Neubaugebiet zur Plusenergiesiedlung?	98
9.2.2 Wie viel Wärme kommt aus dem Acker?	99
9.3 Anlagentechnik auf Gebäudeebene und deren Steuerung	102
9.4 Steuerung der Plusenergiesiedlung durch ein virtuelles Kraftwerk	103
9.5 Datenverarbeitung und Verschlüsselung	104
9.6 Speichertechnologien steigern die Eigenstromnutzung und entlasten das Stromnetz	106
9.7 Monitoring	109
9.8 Akzeptanz	111
Ausgezeichnet	112
<b>10. Wirtschaftlichkeit und Finanzierung</b>	<b>113</b>
10.1 Wirtschaftlichkeitsanalysen	113
10.2 Kostenvergleich der Varianten an zwei Beispielen	116
10.3 Finanzierungskonzepte	121
<b>11. Information und Mitgestaltung</b>	<b>125</b>
<b>12. Handlungsempfehlungen für kommunale Plusenergie-Zielsetzungen</b>	<b>128</b>

## Vorwort zur Schriftenreihe

Die Energieeffizienz im Gebäudesektor ist ein zentrales Thema der Energiepolitik der Bundesregierung. Seit vielen Jahren flankiert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen seiner Energieforschung Anstrengungen in diesem Bereich und fördert gezielt Maßnahmen zur Entwicklung und Erprobung neuer Technologien und Verfahren für energieoptimierte Gebäude und Quartiere. In diesem Zeitraum wurden viele Innovationen entwickelt, deren breite Umsetzung am Markt wichtige Beiträge zur Erreichung der energiepolitischen Ziele leisten kann. Um die Effizienz der Forschungsförderung zu erhöhen und den Ergebnistransfer in die Praxis zu beschleunigen, hat das BMWi das Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren gegründet. Im Mittelpunkt steht die strategische Vernetzung der Akteure: Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft sowie wichtige Multiplikatoren wirken mit, um den Austausch an den Schnittstellen der Forschung zur Praxis und zur Politik zu intensivieren. Neben Technologieunternehmen, Energie- und Wohnungswirtschaft spielen auch Städte und Kommunen eine wichtige Rolle auf der Anwenderseite. Sie entscheiden über Versorgungsstrukturen, Bebauungspläne und energetische Standards in öffentlichen Gebäuden und können Investitionsentscheidungen und Verbraucherverhalten positiv beeinflussen. Der Einsatz neuer Technologien und moderner Planungsinstrumente kann diesen Gestaltungsspielraum deutlich erweitern.

Die Forschungsinitiativen „EnEff:Stadt“ und „EnEff:Wärme“ der Energieforschung des BMWi sind integraler Bestandteil des Forschungsnetzwerks Energie in Gebäuden und Quartieren. Sie bündeln langjährige praxisnahe Forschungsaktivitäten für mehr Energieeffizienz und Integration erneuerbarer Energien im kommunalen Bereich und fördern die Vernetzung und integrale Zusammenführung der Bereiche „energetische Gebäudesanierung“ und „effiziente dezentrale Versorgungstechnologien“. Mit Blick auf die Ausweitung des Umsetzungspotenzials werden vor allem wirtschaftlich machbare Innovationen auf Quartiersebene in den Mittelpunkt gestellt. Beide Initiativen können inzwischen Erfolge in zahlreichen ambitionierten Projekten vorweisen. Die praktischen Erfahrungen zeigen aber auch Schwachstellen auf bzw. Felder, in denen noch Entwicklungsbedarf besteht. Es ist daher wichtig, diese Ergebnisse einer breiten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. Dies ist ein großes Anliegen der öffentlich geförderten Energieforschung und eine der zentralen Aufgaben des Forschungsnetzwerks.

Die wichtigsten Ergebnisse werden in unregelmäßigen Abständen innerhalb der Schriftenreihe veröffentlicht. Initiator und Herausgeber ist die Begleitforschung der Forschungsinitiative „EnEff:Stadt“, die sowohl Erfahrungsberichte ausgewählter Einzelprojekte als auch übergreifende Broschüren zu praxisrelevanten Themen publiziert. Praktiker aus Kommunen, Versorgungsunternehmen und Wohnungsunternehmen, aber auch Planer, Ingenieure, Hand-

werker sowie Studierende der einschlägigen Fachrichtungen finden hier umfangreiche Hilfestellungen und Anregungen für ihre eigenen Vorhaben sowie besonders interessante Praxisbeispiele aus Einzelprojekten, die im Rahmen der Forschungsinitiativen EnEff:Stadt und EnEff:Wärme des BMWi entstanden sind.

Dr. Rodoula Tryfonidou  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

## Vorwort der Autoren

Die Kommunen sind wichtige Akteure der Energiewende. Zunehmend arbeiten sie Leitbilder einer nachhaltigen Stadtentwicklung und Versorgung aus und setzen sie auf ihre Agenden. Förderungen der Länder, des Bundes und der EU sowie ein entsprechender gesetzlicher Rahmen können hier große Unterstützung leisten. Impulsgeber sind jedoch vor allem jene Kommunen, die den Mut haben, sich ambitionierte Ziele zu setzen, und die zeigen, wie man diese auch erreichen kann. Eine solche Gemeinde ist Wüstenrot.

Wie kann eine ländliche Kommune den Plusenergiestatus erreichen? Welche Ressourcen lassen sich wirtschaftlich nutzen? Und wie lässt sich der Zubau regenerativer Energien in ein intelligentes Steuerungssystem einbinden? Das waren wesentliche Fragen im Projekt „EnVisaGe – Kommunale netzgebundene Energieversorgung – Vision 2020 am Beispiel der Gemeinde Wüstenrot“. Das Projekt startete im Sommer 2012 mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) und läuft bis 2017. Die vorliegende Publikation beschreibt die wesentlichen Ergebnisse, soweit sie schon vorliegen.

Außerdem berichten wir hier über erste Planungen und Umsetzungsschritte der Gemeinde Wüstenrot, die über die Förderung im Rahmen des EnVisaGe-Projekts hinausgehen, z. B. eine Plusenergiehalle, ein Biomassehof und der Ausbau von Nahwärmenetzen mit KWK. Dies alles sind wichtige Schritte, die Wüstenrot auf dem Weg zur Plusenergiegemeinde bereits konkret umsetzt.

Unser Dank gilt dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, dessen Unterstützung unterstreicht, dass dieses Vorhaben auch ein interessantes Modell für andere Kommunen sein kann. Ebenso danken wir dem Projektträger Jülich (PTJ) und der Begleitforschung (Fraunhofer IBP Stuttgart, Fraunhofer UMSICHT und pro:21) für die Unterstützung und Begleitung des Projekts.

Ein ganz besonderes Dankeschön geht auch an das Projektteam, das sehr engagiert und zielorientiert zusammengearbeitet. Der im Frühjahr 2015 an unser Projekt verliehene Smart Grids-Quartier-Award zeigt der Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg, dass wir auf dem richtigen Weg sind.

Für weitere Fragen stehen die Autoren gern zur Verfügung. Bitte wenden Sie sich an den Koordinator des Projekts, Dr. Dirk Pietruschka von der Hochschule für Technik in Stuttgart.

Wer mehr über EnVisaGe erfahren und z.B. die Plusenergiesiedlung besichtigen möchte, hat vor Ort Gelegenheit dazu: Tomas Löffelhardt, Fachbereichsleiter "Technik und Energie" und lokaler Projektleiter, arrangiert Führungen für Interessierte. Weitere Informationen sind auch auf der Website [www.envisage-wuestenrot.de](http://www.envisage-wuestenrot.de) zu finden.



## 1. Wüstenrot setzt auf ein Plusenergiekonzept

### 1.1 Eine kommunalpolitische Weichenstellung

Die Gemeinde Wüstenrot zählt rund 6.600 Einwohner und liegt im Südosten des Landkreises Heilbronn in Baden-Württemberg. Mitten im Naturpark Schwäbisch-Fränkischer Wald gelegen, ist die Gemeinde ein beliebtes Naherholungsziel für das Ballungsgebiet Mittlerer Neckarraum mit den Städten Stuttgart, Ludwigsburg und Heilbronn.

Das Thema Energie beschäftigt Wüstenrot seit vielen Jahren. Regionale Wertschöpfung und Versorgungssicherheit standen für Bürgermeister Heinz Nägele im Vordergrund, als er zusammen mit der Nachbargemeinde Mainhardt 2009 die „Energieversorgung Mainhardt Wüstenrot GmbH & Co KG“ (emw) ins Leben rief. Möglich wurde dies, als die Konzessionsverträge der beiden Gemeinden mit dem Netzbetreiber EnBW Ende 2008 ausliefen. Die Gemeinderäte beider Orte gaben grünes Licht für den Erwerb des Netzes, und so konnte die emw als kundennaher lokaler Stromanbieter an den Start gehen. Getragen von der Idee, die Kulturlandschaft durch eine ökologisch verträgliche Energieerzeugung zu erhalten und zu bewahren, werden die regenerativen Energiequellen ausgebaut und weiter erschlossen. Die beiden Gemeinden halten mit jeweils 26,2 % die Mehrheit an der Gesellschaft. Die Stadtwerke Schwäbisch Hall, ebenfalls zu 100 % in kommunaler Hand, sind als technisch kompetenter dritter Partner mit 47,8 % an der emw beteiligt.

Mit dem Erwerb des Stromnetzes war der Weg frei für ein weiteres ambitioniertes Vorhaben: Gemeinsam mit dem Forschungszentrum Nachhaltige Energietechnik der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart) bekam die Idee, sich zur bilanziellen Plusenergiegemeinde zu entwickeln, ein wissenschaftliches Fundament. Zusammen mit weiteren Partnern aus Industrie und Forschung wurde ein Forschungsvorhaben federführend von der HFT Stuttgart ausgearbeitet, in dessen Fokus die zeitnahe Umsetzung des Plusenergieziels unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und mit ersten innovativen Umsetzungsideen stand. Das Ministerium für Wirtschaft und Energie bewilligte die Förderung dieses Vorhabens in der Forschungsinitiative EnEff:Stadt bzw. EnEff:Wärme und unterstützt es in der Projektlaufzeit von Juli 2012 bis Juni 2016 mit rund 3 Millionen Euro. Eine nicht unbeträchtliche Eigenleistung der Gemeinde wurde wiederum vom Gemeinderat bewilligt. Das Projekt genießt auch die volle Unterstützung des neuen Bürgermeisters Timo Wolf, der im Frühjahr 2014 ins Amt gewählt wurde.

**Abb 1:** Wüstenrots Teilort Neuhütten, eine von fünf ehemals eigenständigen ländlichen Gemeinden, die sich im Zuge der Gemeindereform 1972 zur Flächengemeinde Wüstenrot zusammenschlossen. Die Gemarkung umfasst 32 km<sup>2</sup> [Quelle: Gemeinde Wüstenrot].



## 1.2 Das Projekt in Kürze

Das englische Wort „to envisage“ bedeutet, sich einer Herausforderung zu stellen. Für Wüstenrot heißt diese Herausforderung, den Plusenergiestatus zu erreichen, also den Energiebedarf so weit wie möglich zu senken und gleichzeitig erneuerbare Energiequellen so weit auszubauen, dass die Gesamtenergiebilanz positiv ist und der Energiebedarf rechnerisch aus eigenen Quellen gedeckt werden kann.

Das Projektteam entwickelt dazu eine Gesamtstrategie, die die Gemeinde als Energienutzungsplan umsetzt. Dabei verfügt Wüstenrot – wie Tausende anderer ländlicher Kommunen auch – nicht über spezielle nachhaltige Energieressourcen. Insofern kann die Vorgehensweise auch für andere Kommunen ein interessanter Ansatz sein, der zur Nachahmung anregen soll.

Der erste grundlegende Schritt ist die Bestandsaufnahme: Wie viel Energie wird insgesamt in Wüstenrot verbraucht, wie viel bereits erzeugt? Als Basis für diese Energiebilanzierung wird unter anderem ein virtuelles 3D-Stadtmodell erstellt, in dem alle Gebäude der Gemeinde abgebildet sind und über das der Energiebedarf berechnet werden kann. Man kann den Energiebedarf einer Kommune natürlich auch konventionell berechnen, doch das 3D-Modell wird als Planungs- und Analyseinstrument auch im weiteren Verlauf eine wichtige Rolle spielen.



**Abb. 2:** Ortsmitte Wüstenrot  
(Quelle: Döttling)

Die nächste Überlegung betrifft die Frage, wie weit Wüstenrot seinen Energiebedarf senken kann, also durch Energieeffizienzmaßnahmen insgesamt weniger Energie aufwenden kann. Hier machen erfahrungsgemäß die Bestandsgebäude und deren Heizenergiebedarf den Löwenanteil aus, aber auch die Straßenbeleuchtung und die Wasserver- und -entsorgung im Gemeindegebiet werden betrachtet.

Parallel dazu wird in einer Potenzialanalyse ermittelt, welche erneuerbaren Energiequellen Wüstenrot auf seinem Gemeindegebiet nutzen und ausbauen kann. Auf dieser Basis kann berechnet werden, wie weit ihr Ausbau gehen muss, um den Energiebedarf decken zu können, und welche Ausbauvarianten technisch und wirtschaftlich am interessantesten sind.

Der für den bilanziellen Plusenergiestatus notwendige Ausbau erneuerbarer Energien kann allerdings nur erfolgen, wenn gleichzeitig das Stromnetz ertüchtigt wird. Vor allem Windkraft und Solarenergie bewirken durch ihre fluktuierende Energieeinspeisung Spannungsschwankungen und belasten das Verteilnetz. Um dies auszugleichen, wird eine neue Netzarchitektur mit einer intelligenten, an die schwankende Energieeinspeisung angepassten Steuerung aller Energieerzeugungsanlagen, Verbraucher (womit alle Haushalte, Gewerbe etc. gemeint sind, die Strom beziehen) und verfügbaren Speicher benötigt. Ausbauszenarien für das Wüstenroter Stromnetz zu entwickeln und zu analysieren, ist daher ein wichtiger Teilaspekt des Projekts. In diesem Zusammenhang werden auch Möglichkeiten betrachtet, das Stromnetz durch die gezielte Einbindung von größeren Stromspeichern zu entlasten. Ein intelligentes

Last- und Speichermanagement im Gemeindegebiet kann ebenfalls signifikant dazu beitragen und wird daher in die Untersuchungen einbezogen.

Als erstes größeres Umsetzungsprojekt hat Wüstenrot eine Plusenergie-Neubausiedlung errichtet. Sie deckt ihren jährlichen Energiebedarf bilanziell komplett aus eigenen Quellen und ist Leuchtturmprojekt und zugleich Testfeld für das intelligente Last- und Speichermanagement. Später soll dies in ähnlicher Form auf die gesamte Gemeinde übertragen werden.

Die Plusenergiesiedlung wird über ein sogenanntes „kaltes Nahwärmenetz“ mit Erdwärme versorgt. Normalerweise ist es im ländlichen Raum schwierig, Fern- oder Nahwärmenetze wirtschaftlich zu betreiben, denn in Gebieten mit geringerer Bebauungsdichte sinkt die Wärmeabnahmedichte pro verlegtem Meter Rohrleitung erheblich, und die Netzverluste steigen dadurch prozentual zur verkauften Wärmemenge. In einem kalten Wärmenetz – das mit einer deutlich geringeren Betriebstemperatur arbeitet – werden diese Netzverluste enorm reduziert. Das in Wüstenrot eingesetzte System vermeidet außerdem die sonst üblichen, aber auch riskanten Erdsondenbohrungen für jedes einzelne Gebäude. Der eigentliche Clou am Kaltwärmenetz ist aber, dass auch ansonsten nicht nutzbare Abwärme, z. B. aus Abwasser oder Kühlprozessen, darin als Energiequelle eingesetzt werden kann. Im Sommer wird das Kaltwärmenetz auch zur direkten Kühlung der Gebäude eingesetzt, und das mit minimalem Energieaufwand.

Ein zweites innovatives Nahwärmenetz, das von einem Holzhackschnitzel-Heizwerk gespeist wird, versorgt das Rathaus und eine angrenzende kleine Wohnsiedlung. Hier wird die Einspeisung von Solarthermie umgesetzt und erprobt. Ziel ist, in den Sommermonaten den gesamten Wärmebedarf solarthermisch zu decken, so dass die Hackschnitzelkessel nicht im ineffizienten Teillastbetrieb gefahren werden müssen. Neben technischen Aspekten in der Umsetzung werden auch Abrechnungsmodelle für die private Einspeisung und dafür geeignete Messmethoden entwickelt.

Um das Plusenergieziel zu erreichen, sollen im Gemeindegebiet weitere regenerative Wärmenetze eingerichtet werden. Mithilfe des 3D-Stadtmodells werden weitere Trassen geplant und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit analysiert. Parallel dazu werden Sanierungsszenarien zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebestand über das 3D-Stadtmodell entwickelt.

### **Das Projektteam**

Wissenschaftlicher Leiter des Vorhabens ist Dr. Dirk Pietruschka vom Forschungszentrum Nachhaltige Energietechnik (zafh.net) der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart). Neben dem zafh.net sind seitens der HFT Stuttgart noch das Zentrum für Geodäsie und Geoinformatik und das Zentrum für Nachhaltiges Wirtschaften und Management beteiligt. Außerdem sind als Verbundpartner die Gemeinde Wüstenrot, die ADS-TEC GmbH Nürtingen mit ihren umfangreichen Erfahrungen im internetbasierten Datenmanagement und die Liacon GmbH aus Itzehoe als Experten für elektrische Speichersysteme beteiligt. Weitere Unter-

nehmenspartner sind die Doppelacker GmbH aus Petershagen bei Berlin mit ihrer europaweit einzigartigen Pilotumsetzung eines „Agrothermiekollektors“, die UBP-consulting GmbH & Co. KG aus Walldorf mit der Umsetzung eines Biomasse-Nahwärmenetzes mit dezentraler Solarwärmeeinspeisung und das Backnanger Netzwerk der Erneuerbaren zur Unterstützung der Gemeinde bei der Projektabwicklung vor Ort. Die Vattenfall Europa Wärme AG wird die Versorgung der Plusenergiesiedlung über ein virtuelles Kraftwerk betreiben. Wichtige Forschungspartner sind das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, das ein intelligentes netzübergreifendes Lastmanagement entwickelt, sowie das Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik der Universität Stuttgart, dem die Netzanalyse samt Ausbauszenarien obliegt.

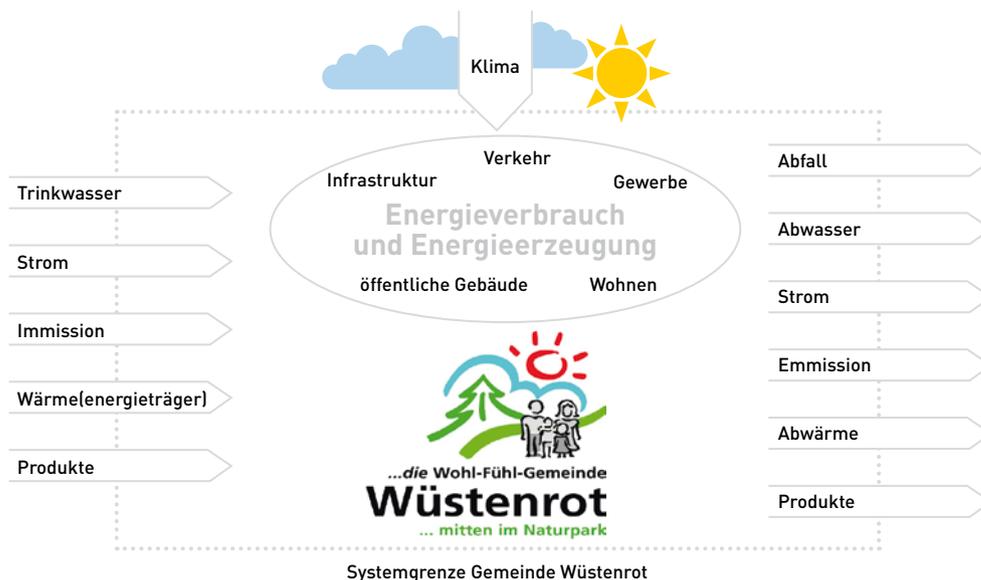
## 2. Überblick schaffen: Die Bestandsaufnahme

Eine Gemeinde stellt mit ihren verschiedenen Energiequellen und -verbrauchern und den daraus resultierenden Energieflüssen ein komplexes (Energie-)System dar. Um dieses System übersichtlich abbilden zu können und die entscheidenden Stellschrauben auf dem Weg zur Plusenergiegemeinde zu identifizieren, müssen zunächst alle relevanten Daten erhoben und strukturiert werden. Dabei ist es ratsam, alle energetisch relevanten Akteure in Sektoren einzuteilen. Auf dieser Grundlage wird eine Energiebilanz erstellt, die für viele weitere Analysen den Ausgangspunkt bildet. Zur Erstellung der (Start)Energiebilanz wurde die Gemeinde Wüstenrot in die folgenden fünf Sektoren eingeteilt:

- Sektor 1: Wohngebäude,
- Sektor 2: Öffentliche Gebäude,
- Sektor 3: Wirtschaftsbetriebe (inklusive Landwirtschaft),
- Sektor 4: Infrastruktur (Wasserver- und -entsorgung, Straßenbeleuchtung) und
- Sektor 5: Verkehr.

Nach dieser ersten Einteilung wurden die einzelnen Sektoren detailliert betrachtet, um die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz des Ist-Zustandes (hier wurde das Startjahr 2012 des Projekts EnVisaGe zugrunde gelegt) aufstellen zu können.

**Abb. 3:** Stoff- und Energieströme in der Gemeinde



Bei der Bestandsaufnahme muss grundsätzlich die Frage beantwortet werden, welche Daten überhaupt und in welchem Umfang und Format je Sektor ermittelt werden müssen. Welche Daten sind bereits vorhanden und wo lohnt sich der Aufwand der Erhebung? Was kann vereinfacht und wo auf statistische Werte (bspw. des statistischen Landesamtes) zurückgegriffen werden? Im Rahmen der Bestandsaufnahme der Gemeinde wurden die im Folgenden aufgeführten Daten erfasst bzw. zusammengestellt.

### **Übergeordnete Daten (nicht direkt einem Sektor zuzuordnen)**

Katasterdaten bzw. das 3D-Stadtmodell für alle fünf Ortsteile (Gebäudegrundrisse aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem ALKIS in Verbindung mit Laserscan-Befliegung zur Gewinnung der Gebäudehöhen) stellen übergeordnete Daten dar und sind keinem bestimmten Sektor zuzuordnen. Eine sektorenübergreifende Energieinfrastruktur wie etwa ein Wärmenetz, Gasnetz, zentrale Heizkraftwerke, BHKW oder Biogasanlagen war zum Projektstart in Wüstenrot nicht vorhanden.

### **Sektor 1: Wohngebäude**

Neben den Informationen aus den amtlichen Datenbeständen wurde für die Wohngebäude eine Fragebogenaktion zum Sanierungsstand durchgeführt, da dieser den ursprünglichen Energiebedarf eines Gebäudes entscheidend verändern kann. Mit einem Rücklauf von knapp 50 %, was für Aktionen dieser Art eine sehr gute Quote darstellt, konnte so ein realistisches Bild zum Zustand der Wohngebäude in Wüstenrot gezeichnet werden. Um als Grundlage für die Simulationen zu dienen, wurden die Fragebogenangaben mit Kennwerten aus der Deutschen Gebäudetypologie des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) verschnitten.

### **Sektor 2: Öffentliche Gebäude**

Hinsichtlich der Verbrauchswerte zu Strom und Wärme, des bauphysikalischen Gebäudezustands und der technischen Anlagen konnten alle relevanten Daten direkt von der Gemeinde zur Verfügung gestellt werden.

### **Sektor 3: Wirtschaftsbetriebe**

Mithilfe der Gewerbeliste der Gemeinde konnte anhand von statistischen Kennwerten auf den Wärmeverbrauch im Wirtschafts-Sektor geschlossen werden. Da in Wüstenrot keine Industriebetriebe mit intensivem Prozesswärmebedarf ansässig sind, war dieses Verfahren hinreichend genau. Stromverbrauchswerte der Wirtschaftsbetriebe bzw. der landwirtschaftlichen Betriebe konnten hingegen direkt über die Verteilnetzdaten ermittelt werden. Kleine büroähnliche Betriebe wurden nicht gesondert erfasst, sondern bei den Wohngebäuden mitbilanziert. Dies war in vielen Fällen von Gebäuden mit Mischnutzung der Fall.

### **Sektor 4: Infrastruktur**

Zu den verschiedenen Einrichtungen der Infrastruktur im Gemeindegebiet wurden ebenfalls Daten erhoben. Verbrauchswerte der Straßenbeleuchtung (auch im Hinblick auf eine spätere zweistufige Umstellung der Leuchtmittel auf LED-Technik), digitale Karten zum Frischwassernetz und dessen Speicherbauten bzw. dem Abwasserkanalnetz der Gemeinde und Ener-

gieverbrauchswerte der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung (insgesamt fünf dezentrale Kläranlagen im Gemeindegebiet) wurden von der Gemeinde zur Verfügung gestellt, ebenso wie Werte zum Energieverbrauch des örtlichen Freibades.

### **Sektor 5: Verkehr**

Der Sektor Verkehr nimmt in einer ganzheitlichen Energiestrategie eine Sonderrolle ein. Er ist nach einem Gutachten der dena<sup>1</sup> der einzige Sektor, in dem auch zukünftig keine signifikanten Energieeinsparungen zu erwarten sind. Der Effekt insgesamt zwar effizienterer Fahrzeuge wird demnach durch steigende Fahrleistungen egalisiert. Mit einer Umkehr dieser Entwicklung sei mittelfristig nicht zu rechnen.

Der Verkehr bildet in EnVisaGe nach der Projektdefinition keinen Untersuchungsschwerpunkt. Obwohl er zweifelsohne einen bedeutenden Bedarfsposten darstellt, wurde er im Zuge der folgenden Energiebilanzierung nicht mitbetrachtet.

Grundsätzlich konnten zur Bestandsaufnahme der Gemeinde nicht alle Daten in einem Format eingeholt werden, in dem sie direkt weiterverarbeitet werden können. Im Besonderen war dies der Fall bei den Rückläufern aus Fragebogenaktionen zu den Wohngebäuden. Hier war intensive manuelle Nachbearbeitung nötig, um die Datensätze konsistent zu machen. Die Daten mussten dazu digitalisiert und im Zuge dessen vereinheitlicht werden, offensichtliche Falschangaben und Fehler mussten korrigiert sowie Dopplungen und Mehrfachnennungen erkannt und beseitigt werden. Im Hinblick auf das sensible Thema Datenschutz wurden die Angaben aus den Fragebögen bereits während der Digitalisierung anonymisiert, indem unter Verwendung einer eindeutigen Gebäude-ID die gebäudebezogenen Angaben jeweils von den Anschriften der Gebäude getrennt wurden. Rückschlüsse darauf, welche Daten zu welchen Gebäudeanschriften gehören, waren in den folgenden Arbeitsschritten somit nicht mehr möglich und nötig.

Bei all diesen Arbeiten sollte das Datenmanagement – auch im Sinne einer Fortschreibung und Erweiterung der Datenbestände – für Kommunen auch ohne eigene IT-Experten handhabbar bleiben. Deshalb wurde nur gängige Software verwendet (hier: MS Office, insbesondere Excel), um die Daten zu verwalten und die Gesamtbilanz zu erstellen.

## **2.1 Ein 3D-Stadtmodell als Analyse- und Planungswerkzeug**

Um regionale bzw. kommunale Energie- und Klimaschutzstrategien umsetzen zu können, werden Werkzeuge benötigt, mit deren Hilfe ein rascher Überblick über die aktuelle Situation gewonnen werden kann und verschiedene Szenarien bewertet werden können – hinsichtlich sowohl der Energieversorgung (Potenziale) als auch der Energieeffizienz. Eine möglichst anschauliche Präsentation der Ausgangslage und der Auswirkungen verschiedener Maßnah-

---

<sup>1</sup> [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Projekte/Verkehr/Dokumente/Daten-Fakten-Broschuere.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Verkehr/Dokumente/Daten-Fakten-Broschuere.pdf)

men auf die energetische Qualität einer Siedlung bzw. eines Quartiers und der damit verbundenen Auswirkungen auf das optische Erscheinungsbild ist für einen partizipativen Entscheidungsprozess in Kommunen und Gemeinden von essenzieller Bedeutung.

Hier bieten vor allem virtuelle 3D-Stadtmodelle hervorragende Möglichkeiten. Sie basieren in der Regel auf dem sogenannten CityGML-Standard<sup>2</sup> und werden zunehmend zur Lösung von raumbezogenen Aufgabenstellungen in den Bereichen Stadt- und Raumplanung, Umwelt und Energie usw. eingesetzt. Der Standard CityGML besteht aus mehreren validierbaren Modellspezifikationen, die die Möglichkeit bieten, eine Stadt mit ihren unterschiedlichen Ausprägungen geometrisch und topologisch zu modellieren (Gebäude, Transportwesen, Gewässer, Gelände, Vegetation usw.) und somit automatisiert zu analysieren. Auf diesem Standard basierende 3D-Stadtmodelle erlauben umfangreiche räumliche Analysen, die neben der energetischen Analyse von Gebäuden z. B. auch für Lärmanalysen und Kartierungen sowie zur Bewertung des Stadtklimas und zur Anordnung notwendiger Frischluftachsen eingesetzt werden können. Weiterhin bieten sie z. B. die Möglichkeit, Lückenbebauung im Rahmen von Nachverdichtungen und ihre optischen Auswirkungen inkl. auftretender Verschattungseffekte zu visualisieren. Diese Modelle können vielfältig angewendet werden, etwa auch, um detaillierte PV-Potenzialanalysen durchzuführen, die neben der Vorhersage erreichbarer Erträge auch Aussagen zu optischen Beeinträchtigungen ermöglichen. Das ist besonders in gewachsenen Stadtstrukturen mit historischem Hintergrund sehr wichtig, um die richtigen Strategien abzuwägen.

An der HFT Stuttgart wurden fachbereichsübergreifend zwischen den Forschungszentren für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net), für Geodäsie und Geoinformatik und für Stadtplanung verschiedene Analysemethoden auf Basis von 3D-Stadtmodellen entwickelt, die Kommunen bei der Planung ihrer Energie-, Klimaschutz- und Sanierungsstrategien unterstützen. So wurden Simulations- und Berechnungsmethoden entwickelt, um Angaben zum Heizwärmebedarf und zum PV-Potenzial ganzer Gebiete ermitteln zu können.

Für die Wärmebedarfsanalyse als Grundlage einer Quartiers-Energiekonzeption ist insbesondere das Gebäudemodell von CityGML relevant. Die Generierung von 3D-Gebäudemodellen erfolgt auf Basis von Laserscandaten oder Stereoluftbildern in Kombination mit einem digitalen Geländemodell und aus Gebäudegrundrissdaten. Gebäude können dabei in unterschiedlichen sogenannten „Levels of Detail“ modelliert werden. Für eine erste Wärmebedarfsabschätzung reichen bereits Gebäudemodelle im „Level of Detail 1“ (LoD1), das einem „Klötzchenmodell“ entspricht. Dieses lässt sich sehr einfach auf Basis der Gebäudegrundrisse und der Anzahl der Stockwerke näherungsweise entwickeln.

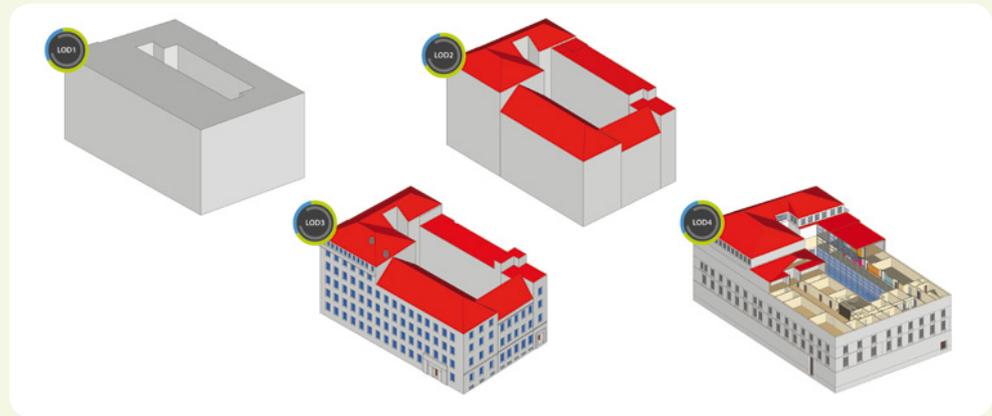
Da im „Level of Detail 2“ die Dachform modelliert wird, führt der Einsatz dieser Detailstufe zu genaueren Ergebnissen bei der Wärmebedarfsermittlung, vor allem was die Abbildung der

---

<sup>2</sup> [www.citygml.org](http://www.citygml.org)

Gebäudehöhe anbelangt. Diese Detailstufe ist für den Zweck der Wärmebedarfsermittlung völlig ausreichend. Die Betrachtung der Gebäudetexturen, wie sie im „Level of Detail 3“ enthalten sind, stellt derzeit einen zu großen Modellierungsaufwand dar. Die zusätzliche Betrachtung eines „LoD4“ mit Innenräumen ist im vorliegenden Fall ebenfalls unzweckmäßig.

**Abb. 4:** „Levels of Detail“ eines Gebäudemodells in CityGML  
(Quelle: HFT/ZGG)



Um die für die Wärmebedarfsermittlung relevanten geometrischen Kennwerte auf Basis des 3D-Gebäudemodells automatisiert zu ermitteln, wird die speziell dafür an der HFT Stuttgart entwickelte Java-basierte Software CAT3D eingesetzt. Dabei werden neben Gebäudevolumen und Flächenangaben für jede Teilfassade und Dachfläche automatisch der Normalenvektor, die Ausrichtung gegenüber Norden (Azimuth) sowie die Neigung ermittelt. Jede Fassadenfläche wird dahingehend analysiert, ob sie frei steht oder an ein anderes Gebäude anschließt. So wird über das gesamte Gebiet der jeweilige Flächenanteil jeder Fassade bzw. Dachfläche berechnet.

Diese Analyse zeichnet sich dadurch aus, dass sie ausschließlich vorhandene Daten nutzt. Die Hochpunkte aus dem Laserscan werden dazu mit Gebäudegrundrissen der Automatisierten Liegenschaftskarten (ALK) und Luftbildern kombiniert.

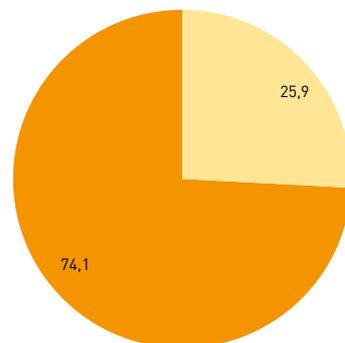
Neben der Ermittlung des energetischen und baulichen Ist-Zustandes können virtuelle 3D-Stadtmodelle auch eingesetzt werden, um innovative Sanierungskonzepte und Ausbaustrategien z. B. für Wärmenetze auf gesamtstädtischer Ebene zu planen und die langfristige Energiestrategie zu steuern. Im Fall des Forschungsprojekts EnVisaGe erwies sich das 3D-Stadtmodell als eine große Hilfe dabei, Maßnahmen zu koordinieren und ihre Auswirkungen abzuschätzen.

## 2.2 Ermittlung des Wärmebedarfs

Die allgemeine Aussage, dass in der Beheizung von Wohngebäuden und der Trinkwassererwärmung großes Potenzial zur Energieeinsparung bzw. zur Umsetzung von Effizienzmaßnahmen liegt, gilt auch für Wüstenrot. Insofern stellt der Sektor Wohngebäude im Projekt EnVisaGe einen Schwerpunkt bei der Bilanzierung und der Szenarienentwicklung dar. Eine fundierte Abbildung des tatsächlichen Energiebedarfs ist dabei die Grundlage für jedes Szenario, ob es die Versorgung mit Strom oder Wärme aus erneuerbaren Energien in den Blick nimmt oder der Frage nachgeht, wo und in welchem Maß Energie eingespart werden kann.

Im Zuge der Berichterstattung rund um die Energiewende entsteht mitunter der Eindruck, dass der Bereich Wärme nicht den Raum einnimmt, der ihm seiner Relevanz entsprechend zustehen müsste. Dass ein reduzierter Wärmebedarf (in Kombination mit dem Ausbau regenerativer Energiequellen) jedoch zur Umsetzung einer ambitionierten Gesamtstrategie – etwa zum Erreichen eines gemeindefweiten bilanziellen Plusenergiestandards – unbedingt erforderlich ist, konnte auch im Rahmen von EnVisaGe gezeigt werden. Wie in Abbildung 5 dargestellt ist, entfallen knapp drei Viertel des Primärenergiebedarfes in Wüstenrot auf die Wärmeerzeugung (Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung). Daher war dies auch der Bereich, der zuerst einer genauen Analyse unterzogen wurde.

### Anteiliger Primärenergiebedarf nach Anwendung



**Abb. 5:** Anteiliger Primärenergiebedarf (Quelle: zafh.net)

■ Wärme  
■ Strom

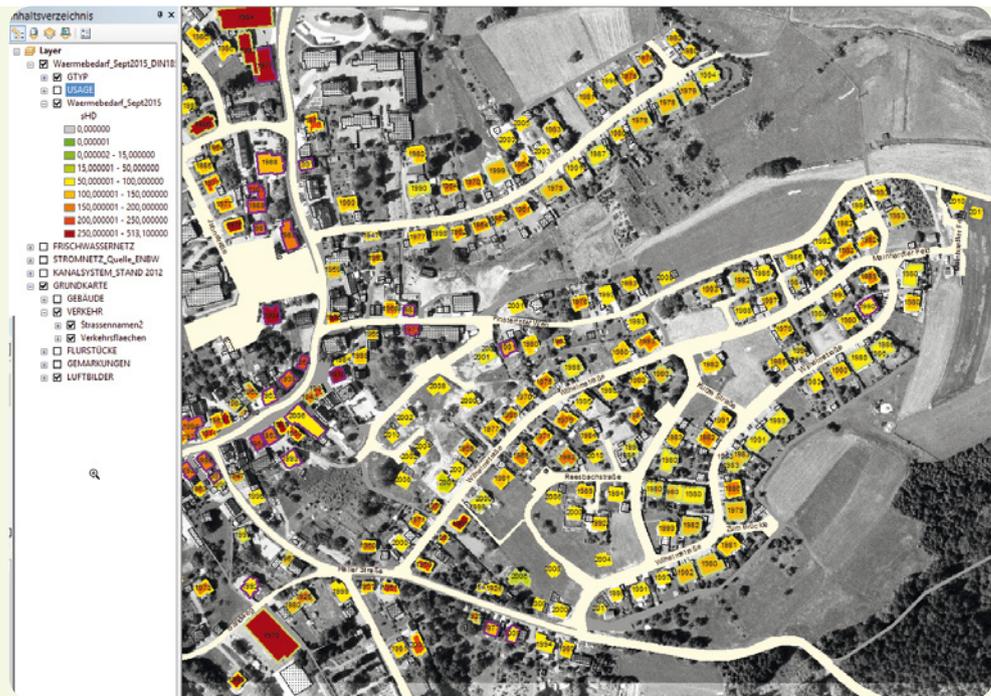
Um den Wärmebedarf der Wohngebäude zu ermitteln, wurde die Simulationsplattform SimStadt<sup>3</sup> der HFT Stuttgart eingesetzt. Dieser liegt ein Verfahren zugrunde, das anhand der

<sup>3</sup> [www.simstadt.eu](http://www.simstadt.eu)

Deutschen Gebäudetypologie des Instituts Wohnen und Umwelt IWU entwickelt wurde. Die eigentliche Berechnung des Wärmebedarfs erfolgt in SimStadt nach dem Monatsbilanzverfahren der DIN V 18599. Eingangsdaten sind hierbei neben den Gebäudegeometrien aus dem 3D-Stadtmodell Angaben zum Gebäudetyp (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Reihenhaus etc.), zum Baujahr und zur Gebäudenutzung (hier: ausschließlich Wohngebäude). Des Weiteren wurden die Angaben aus einer an alle ca. 2.500 Haushalte Wüstenrots gerichteten Fragebogenaktion (Angaben zu Verbrauchswerten, Sanierungsmaßnahmen etc.) digitalisiert, vereinheitlicht und in die Datenstruktur integriert. Weil auf diese Weise genauere Angaben zu den Einzelgebäuden in die Berechnungen eingeflossen sind, kann von recht exakten Ergebnissen ausgegangen werden.

Als meteorologische Daten wurden die monatliche durchschnittliche Außentemperatur und die Sonneneinstrahlung je nach Orientierung aus Anhang A der DIN V 4108-6 zugrunde gelegt. Über das gesamte Gemeindegebiet konnte so der Wärmebedarf der Wohngebäude für das Jahr 2012 ermittelt werden.

**Abb. 6:** Simulierter Jahres-Heizwärmebedarf im 3D-Stadtmodell – Ausschnitt Schmellenhof (Quelle: zafh.net)

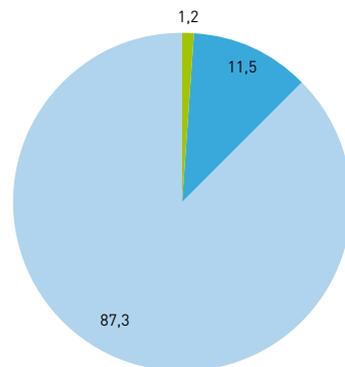


Als schwieriger erwies sich die Aufgabe der Wärmebedarfsermittlung hingegen für die Nichtwohngebäude bzw. Wirtschaftsbetriebe. Aufgrund unterschiedlicher Nutzungsarten variiert der Wärmebedarf in Nichtwohngebäuden stark. Da für Nichtwohngebäude keine detaillierte Gebäudetypologie existiert – obwohl es immer wieder Ansätze dazu gibt –, stellt die direkte Abfrage des Wärmebedarfs den verlässlichsten Weg zu belastbaren Zahlen dar. Um die Wärmeverbrauchswerte der Wirtschaftsbetriebe zu ermitteln, sollten sie in einer gesonderten Umfrage erhoben werden. Diese konnte jedoch keinen ausreichenden Rücklauf erzielen. Außerdem zeigte sich: Selbst bei konsistentem Rücklauf ist der Aufwand einer solchen Umfrage zu hoch, wenn ganze Gemeinden und sogar Städte abgebildet werden müssen. Als Alternative wurde schließlich auf Daten aus der offiziellen Gewerbeliste zurückgegriffen. Nachdem auf dieser Grundlage die jeweiligen Energiebezugswerte (Mitarbeiterzahl bzw. Bettenanzahl bei Hotels und Pflegeeinrichtungen) ermittelt waren, konnten diese mit statistischen Kennwerten typischer Wirtschaftsbetriebe<sup>4</sup> verknüpft und daraus der Wärmebedarf der einzelnen Betriebe abgeschätzt werden. Industriebetriebe wurden nicht bilanziert, da schlichtweg keine besonders energieintensiven Betriebe in Wüstenrot ansässig sind.

Die infrastrukturellen Einrichtungen im Gemeindegebiet benötigen keine Wärme, sondern lediglich elektrischen Strom. Die einzige Ausnahme bildet das Freibad; dieses wird jedoch ausschließlich über eine eigene solarthermische Anlage beheizt, weshalb es als „wärmeautark“ von der Bilanzierung ausgenommen wurde.

Nach dieser Bestandsaufnahme setzt sich der Wärmebedarf der Gemeinde folgendermaßen zusammen:

#### Anteiliger Wärmebedarf nach Sektoren [%]



**Abb. 7:** Zusammensetzung des Wärmebedarfs für das Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

- Wohnen
- öffentliche Gebäude
- Wirtschaftsbetriebe

<sup>4</sup> Diese wurden der Studie „Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (WIRTSCHAFT) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013“ des Fraunhofer ISI entnommen: [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/projekte/Schlussbericht-WIRTSCHAFT\\_2006-2013\\_Februar2015\\_final.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/projekte/Schlussbericht-WIRTSCHAFT_2006-2013_Februar2015_final.pdf)

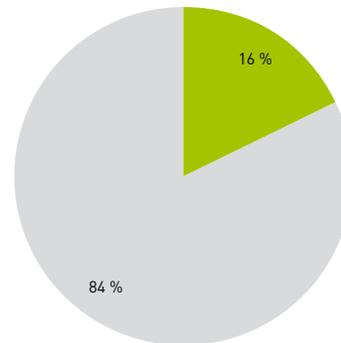
Da in Wüstenrot keine Industriebetriebe mit hohem (Prozess)Wärmebedarf ansässig sind, entfällt der überwiegende Großteil des Wärmebedarfs erwartungsgemäß auf die Wohngebäude, und zwar für Heizung und die Bereitung von Trinkwarmwasser. Den zweiten größeren Posten bilden die Wirtschaftsbetriebe, während der Wärmebedarf für die öffentlichen Gebäude kaum ins Gewicht fällt.

Der Gesamtwärmebedarf in Wüstenrot liegt im Bezugsjahr 2012 bei gut 120 GWh/a. Davon entfallen etwa 16 % auf regenerativ bzw. im Gemeindegebiet erzeugte Wärme, die über Holz, Pellets oder Holzhackschnitzel in Einzelanlagen gedeckt wird.

#### Regenerativer Anteil an der Wärmeversorgung im Bezugsjahr 2012

**Abb. 8:** Regenerativ und konventionell erzeugter Anteil bzgl. Wärme im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

- regenerativ erzeugter Anteil
- konventionell erzeugter Anteil



Bis zum Jahr 2020 soll der Anteil regenerativer Energien bei der Wärmebereitstellung deutlich gesteigert und vor allem über Wärmenetze gedeckt werden. In welcher Form das geschehen kann und welche Maßnahmen dafür bereits eingeleitet und umgesetzt wurden, wird in Kapitel 6 näher erläutert.

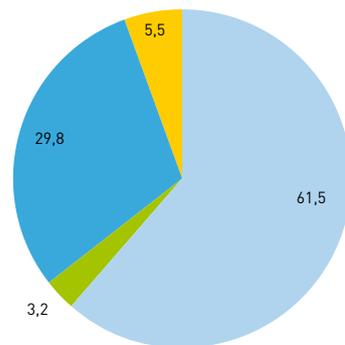
### 2.3 Ermittlung des Strombedarfs

Im Gegensatz zum Wärmebedarf ist der Strombedarf in den meisten Fällen unabhängig von der Gebäudekonstruktion. In Wohngebäuden variiert er mit der Anzahl der Bewohner und technischen (Groß-)Geräte. In Nichtwohngebäuden hängt der Strombedarf entscheidend von der Nutzung der Gebäude ab. Bei Wirtschafts- und Industriebetrieben hat dieser Faktor besonders große Auswirkungen. Ein Industriebetrieb, der Starkstrom für die Produktion benötigt, weist natürlich andere Stromkennzahlen auf als ein Betrieb, der hauptsächlich Büroflächen nutzt. Weil der Strombedarf von Unternehmen und Betrieben sehr unterschied-

lich ausfallen kann, sollten die Daten der Gewerbe- und Industriebetriebe grundsätzlich direkt erfasst werden.

Um den Stromverbrauch der Gemeinde Wüstenrot abzubilden, standen Messwerte des kommunalen Versorgers emw zur Verfügung. Insofern konnte der Stromverbrauch der öffentlichen Gebäude, der Wohngebäude, des Wirtschafts-Sektors inklusive Landwirtschaft und der technischen Anlagen der Infrastruktur (Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Schwimmbad und Straßenbeleuchtung) direkt erfasst werden. Unsicherheiten durch Schätzwerte und Annahmen konnten also ausgeschlossen werden. Für die Gemeinde Wüstenrot stellte sich der Stromverbrauch für das Jahr 2012 gemäß Abbildung 9 dar.

#### Anteiliger Strombedarf nach Sektoren [%]



**Abb. 9:** Anteilige Zusammensetzung des Stromverbrauchs für das Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

- Wohnen
- öffentliche Gebäude
- Wirtschaftsbetriebe
- Infrastruktur

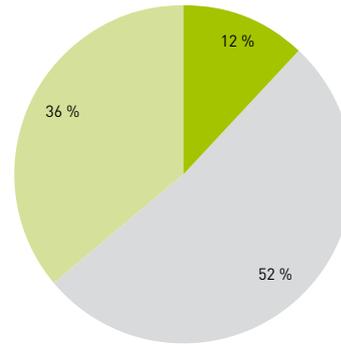
Demnach entfallen fast zwei Drittel des Stromverbrauchs auf die privaten Haushalte. Da in Wüstenrot keine industriellen Strom-Großverbraucher ansässig sind, fällt der Anteil des Stromverbrauchs im Wirtschafts-Sektor vergleichsweise gering aus. Die öffentlichen Gebäude und Einrichtungen der Infrastruktur stellen einen vergleichsweise kleinen Anteil am Gesamtverbrauch dar.

Dem Gesamtstrombedarf im Gemeindegebiet von etwas über 20 GWh/a stand im Jahr 2012 eine Menge von gut 2,3 GWh/a regenerativ und lokal erzeugtem Strom (ausschließlich PV) gegenüber, was einer bilanziellen Deckung von knapp 12 % entspricht. Für elektrischen Strom wurde der ab 01.01.2016 gültige Primärenergiefaktor von 1,8 angesetzt, Kompensationsmaßnahmen (Verdrängung fossiler Energieträger durch regenerative Energien) wurden in der CO<sub>2</sub>-Bilanz mit einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 706 g/kWh<sub>End</sub> bzw. 919 g/kWh<sub>End</sub> bei biomassebasierter KWK angesetzt).

**Regenerativer Anteil an der Stromversorgung im Bezugsjahr 2012**

**Abb. 10:** Regenerativ und lokal erzeugter Anteil bzgl. Strom im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

- regenerativ und lokal erzeugter Anteil (PV)
- konventionell erzeugter Anteil (Zusammensetzung der Bezugsquellen unbekannt, weshalb der Deutsche Strommix angesetzt wurde)
- Versorgung über emw mit Ökostrom



An diesen Zahlen wird deutlich, dass Stand des Jahres 2012 bereits eine hohe Identifikation der Stromkunden mit den lokalen Energiewerken besteht. Der regenerativ im Gemeindegebiet erzeugte Stromanteil war jedoch noch deutlich steigerbar und vor allem auch auf weitere Formen der Generierung (außer der Photovoltaik) zu erweitern.

Da die bilanzielle Energieautarkie in Wüstenrot auch in einem räumlichen Sinne zu verstehen ist, werden die Anteile der emw am Wüstenroter Strommarkt nicht direkt berücksichtigt (siehe S. 32).

### 3. Wo steht Wüstenrot zum Projektstart 2012? Energiebilanz I

Bislang existiert kein standardisiertes Verfahren, um Energie- oder CO<sub>2</sub>-Bilanzen für Gemeinden zu erstellen. In Wüstenrot wurde die Bilanz nach dem Verursacherprinzip erstellt, wobei nur CO<sub>2</sub> und kein anderes klimarelevantes Treibhausgas (etwa Methan) berücksichtigt wurde. Die Emissionsberechnungen erfolgten mit CO<sub>2</sub>-Äquivalenten nach GEMIS in der Version 4.93. Bei der Verursacherbilanz handelt es sich grundsätzlich um eine auf den Endenergiebedarf bzw. -verbrauch bezogene Form der Bilanz. Problematisch bei der Endenergiebilanz ist jedoch, dass elektrischer Strom – eigentlich die höchstwertige Energieform – und Wärme gleichgesetzt werden. Aus diesem Grund erfolgt vorliegend neben der Endenergiebilanzierung parallel auch die Bilanzierung der Primärenergie. Diese berücksichtigt neben der tatsächlich genutzten (End-)Energie auch alle in vorgelagerten Prozessen für deren Gewinnung, Umwandlung und Transport aufgebrauchten Energiemengen.

Die zentrale Anforderung an eine Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz sollte neben einem strukturierten Aufbau und guter Übersichtlichkeit insbesondere ihre Fortschreibbarkeit sein. Nur so können die Wirkung von Maßnahmen nachvollzogen und eine Grundlage für weitere Entscheidungen geschaffen werden.

Die erstellte Energiebilanz ist im Sinne einer Startbilanz zu sehen, bei der noch ausstehende Daten durch statistische Werte bzw. Hochrechnungen ersetzt wurden. Diese können später ausgetauscht werden, wenn eine Messung oder Erhebung möglich ist. Durch die Fortschreibbarkeit ist zugleich gewährleistet, dass die Bilanz schrittweise weiterentwickelt und verfeinert werden kann. Sie kann auch als „offene Bilanz“ bezeichnet werden, wobei offen in zweierlei Hinsicht zu verstehen ist: Einerseits können einzelne Angaben nachjustiert und andererseits auch die Bilanz selbst beliebig erweitert werden (bspw. um den Sektor Verkehr).

Entsprechend der Bilanzierung für das Jahr 2012 entfallen gut 76 % des primärenergetischen<sup>5</sup> Aufwands in Wüstenrot (vgl. Abbildung 11) auf den Bereich Wärme, die übrigen 24 % werden für Strom aufgewandt.

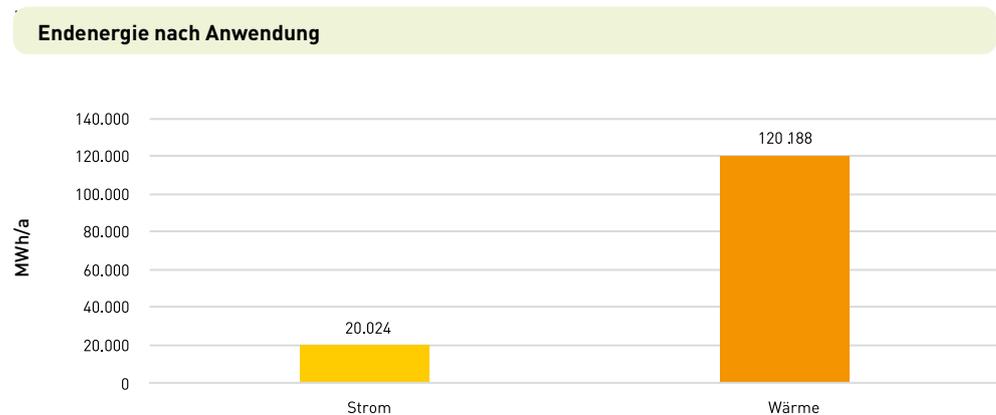
<sup>5</sup> Primärenergie ist Energie in ihrer ursprünglichen Form, z. B. Brennwert von Kohle. Durch die technische Umwandlung erhält man Endenergie, beispielsweise Strom aus der Steckdose oder Wärmeenergie aus einem Solarkollektor. Der Primärenergiebedarf umfasst die gesamte Energieaufwendung, die benötigt wird, bis sie in einer vom Verbraucher nutzbaren Form als Endenergie zur Verfügung steht. Gemäß EnEV wird der Primärenergiebedarf von Wohn- und Nichtwohngebäuden anhand der DIN V 18599 berechnet.

**Abb. 11:** Primärenergiebedarf nach Anwendungsbereich im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)



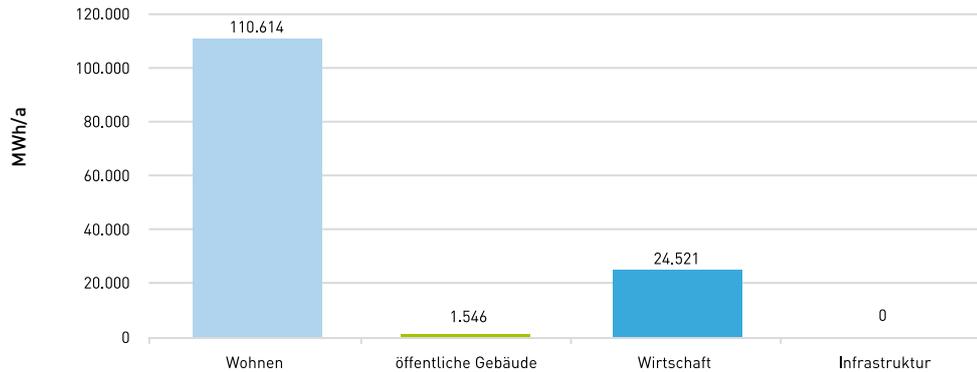
Aus endenergetischer Sicht stellt sich das Verhältnis von Strom zu Wärme gemäß Abbildung 12 dar. Demnach entfallen 85 % des Endenergiebedarfs der Gemeinde auf den Bereich Wärmeerzeugung.

**Abb. 12:** Endenergiebedarf nach Anwendungsbereich im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)



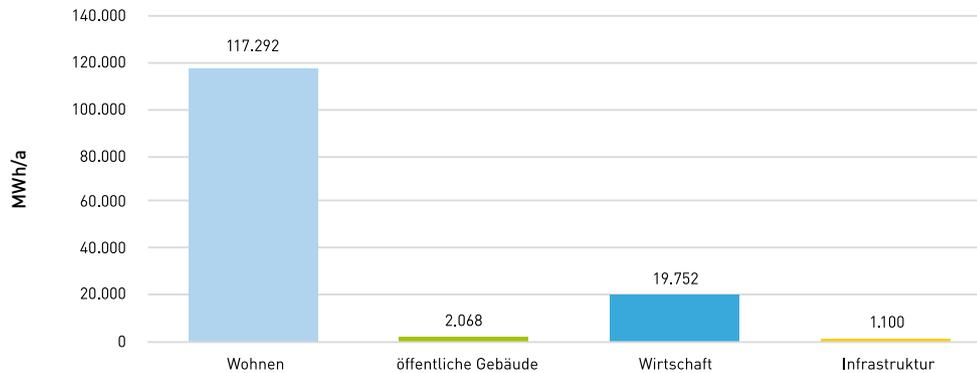
Bei der Verteilung des Primärenergiebedarfs (→ Abbildung 13) und des Endenergiebedarfs (→ Abbildung 14) auf die vier bilanzierten Sektoren fallen vor allem die Wohngebäude ins Gewicht. Da der Strom für die öffentlichen Gebäude und den Betrieb der infrastrukturellen Einrichtungen über die Energieversorgung Mainhardt-Wüstenrot emw bezogen wird und dieser zu 100 % nachhaltig aus regenerativen Quellen stammt, belaufen sich Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen hier auf 0.

**Gesamt-Primärenergiebedarf nach Sektoren**



**Abb.13:** Primärenergiebedarf (Wärme und Strom) nach Sektoren im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

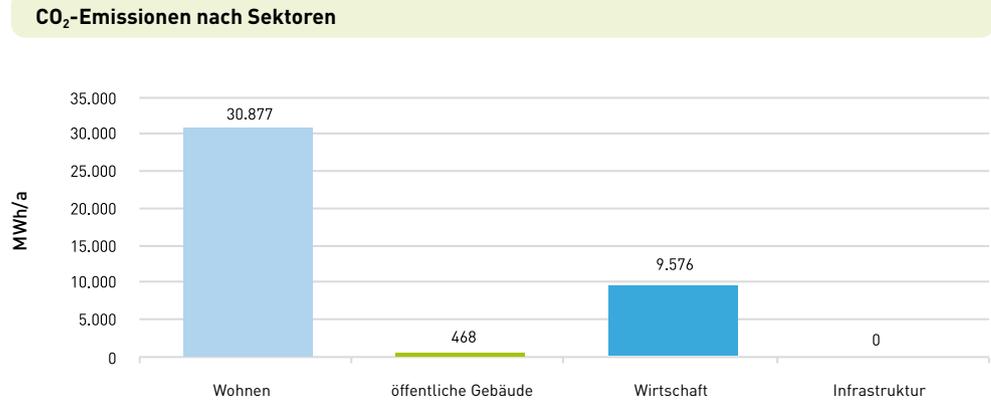
**Gesamt-Endenergiebedarf nach Sektoren**



**Abb.14:** Endenergiebedarf (Wärme und Strom) nach Sektoren im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

Die Verhältnisse der Sektoren untereinander verändern sich auch hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes erwartungsgemäß kaum (vgl. Abbildung 15).

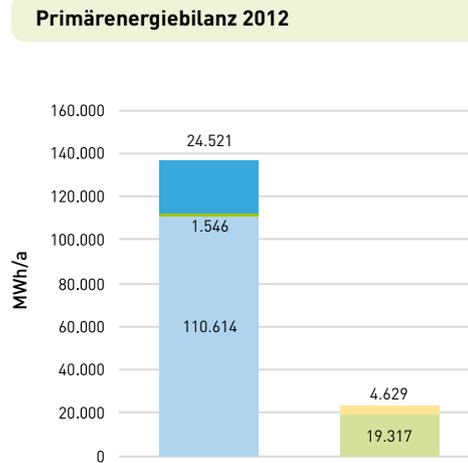
**Abb. 15:** CO<sub>2</sub>-Emissionen (Wärme und Strom) nach Sektoren im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)



Um die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz zu einer tatsächlichen Bilanz werden zu lassen, müssen dem Bedarf bzw. dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß die jeweiligen Energieerträge und CO<sub>2</sub>-Gutschriften aus der (regenerativ) im Gemeindegebiet produzierten Energie gegenübergestellt werden. Für das Bezugsjahr 2012 fällt diese Bilanz gemessen an den ambitionierten Zielen noch relativ ernüchternd aus (vgl. Abbildung 16).

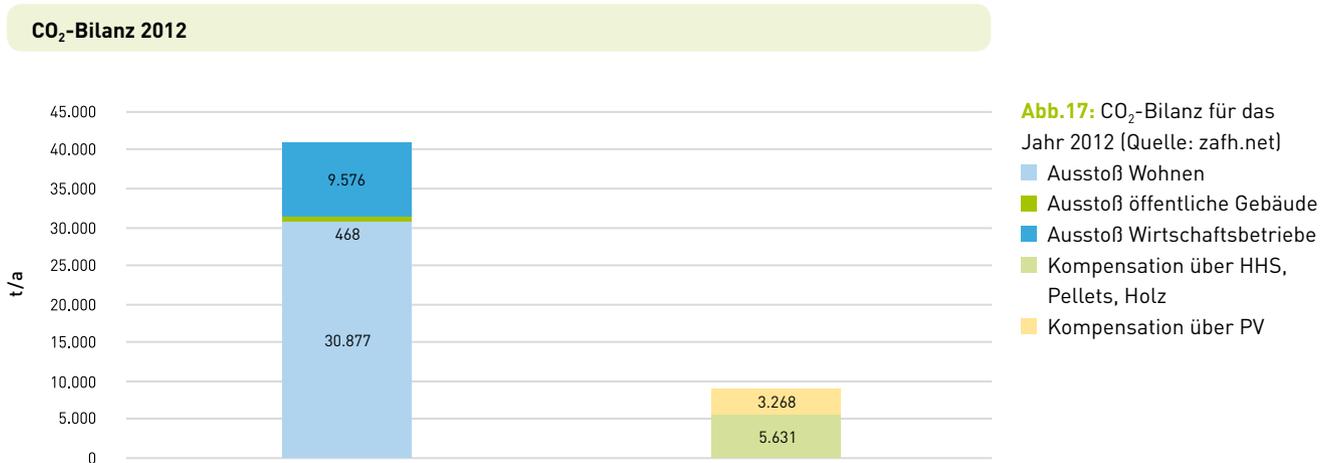
**Abb. 16:** Gegenüberstellung Bedarf–Ertrag, bezogen auf End- und Primärenergie für das Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

- Bedarf Wohnen
- Bedarf öffentliche Gebäude
- Bedarf Wirtschaft
- Bedarf Infrastruktur
- Deckung über HHS, Pellets, Holz
- Ertrag PV



Dem Primärenergiebedarf für Wohngebäude, Wirtschaft, öffentliche Gebäude und Infrastruktur von insgesamt 137 GWh steht lediglich ein Ertrag bzw. eine Kompensation von 45 GWh gegenüber (Strom aus PV und bisherige dezentrale Wärmeversorgung über Holz, Pellets und Holzhackschnitzel), was einem Anteil von 17 % entspricht. Endenergetisch stehen 139 GWh Bedarf im Jahr 2012 29 GWh (14 %) an lokal erzeugter Energie gegenüber.

Das Verhältnis von CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu CO<sub>2</sub>-Gutschriften – letztere werden durch die Einspeisung bzw. die Nutzung regenerativer Energien erworben – fällt mit 40.922 t gegenüber 8.900 t (was knapp 22 % entspricht) für das Bezugsjahr 2012 etwas günstiger aus (vgl. Abbildung 17).

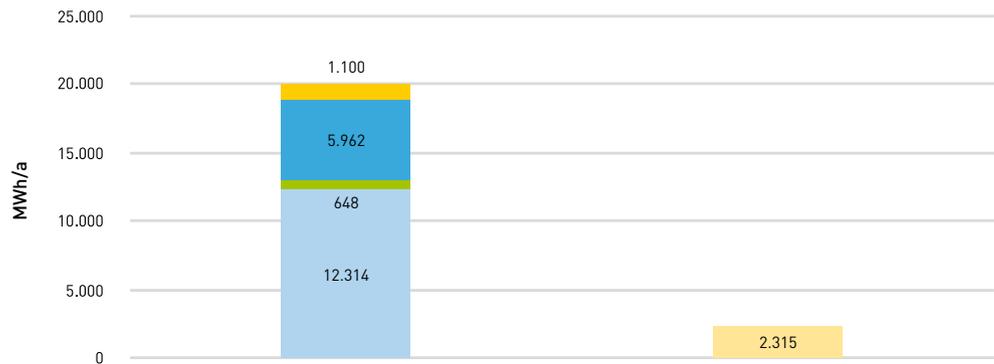


Von dem Ziel, bilanziell energieautark, also unabhängig von Energieimporten zu sein, war Wüstenrot im Jahr 2012 somit noch ein großes Stück entfernt. Dies wird auch bei Betrachtung der Strom- bzw. Wärmebilanz für das Jahr 2012 (vgl. Abbildung 18 und Abbildung 19) deutlich. Die lokale und regenerative Energieerzeugung zeichnete sich neben dem in Zahlen geringen Ertrag auch durch eine einseitige Produktion aus. Um als Gemeinde energieautark werden zu können, müssen jedoch diverse, lokal vorkommende Potenziale erschlossen und genutzt werden. Der Energiemix einer bilanziell energieautarken Gemeinde mit den Rahmenbedingungen Wüstenrots wird sich insofern vor allem durch große Diversität auszeichnen.

**Abb. 18:** Gegenüberstellung Strombedarf (links) und lokale, regenerative Erzeugung (rechts) im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

- Bedarf Wohnen
- Bedarf öffentliche Gebäude
- Bedarf Wirtschaft
- Bedarf Infrastruktur
- Deckung über HHS, Pellets, Holz
- Ertrag PV

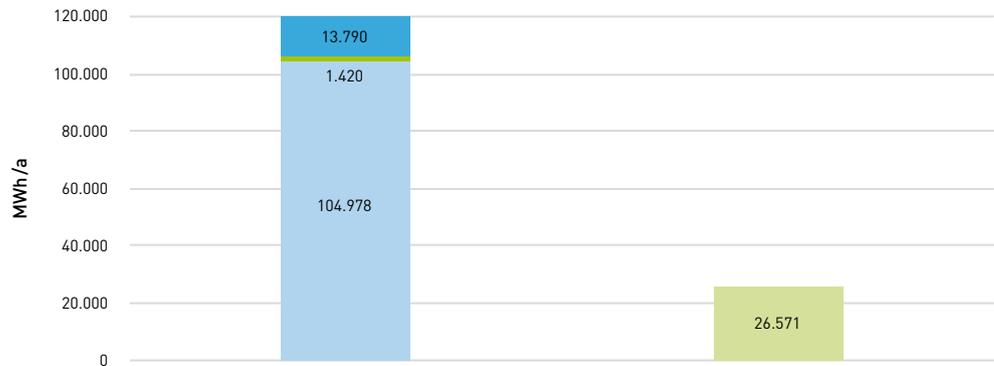
### Strombilanz 2012



**Abb. 19:** Gegenüberstellung Wärmebedarf (links) und lokale, regenerative Erzeugung (rechts) im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

- Bedarf Wohnen
- Bedarf öffentliche Gebäude
- Bedarf Wirtschaft
- Deckung über HHS, Pellets, Holz

### Wärmebilanz 2012



## 4. Energieeinsparung und Energieeffizienz

Bis 2020 will die Gemeinde Wüstenrot energieautark werden – und das Projekt EnVisaGe hat sich das Ziel gesetzt, ihr die dafür nötigen Impulse zu geben. Diese ambitionierten Ziele erfordern erhebliche Anstrengungen. Nachdem die Bestandsaufnahme recht schonungslos offengelegt hat, wie groß die Anstrengungen tatsächlich sein werden, müssen nun Maßnahmen umgesetzt werden: Schnell und in großem Umfang müssen Energie eingespart und die Energieeffizienz gesteigert werden. Diese Begriffe sollen zunächst klar definiert werden:

- **Energieeinsparung** ist die Verringerung des absoluten Energiebedarfs, etwa durch bauliche Maßnahmen (Gebäudesanierung) oder durch Einsparungen über energiebewusstes Nutzerverhalten.
- **Energieeffizienz** hingegen beschreibt das Verhältnis von Ertrag bzw. Leistung zu Energieeinsatz. Der Austausch einer alten Heizungsanlage durch eine Neuanlage, die mit weniger Energieaufwand die gleiche Leistung erbringt (nämlich die Beheizung eines Gebäudes), ist ein klassischer Fall einer Energieeffizienzmaßnahme.

Die Haushalte machen den Löwenanteil am Energiebedarf der Gemeinde Wüstenrot aus. Deshalb ist klar, dass Einsparungen und Effizienzmaßnahmen im Gebäudebereich (Gebäudebestand) die größte Wirkung erzielen und im Vergleich zu anderen Sektoren leichter umzusetzen sind, also ein günstigeres Verhältnis von Aufwand und Nutzen zeigen. Zwar sind auch Einspareffekte durch ein verändertes Nutzerverhalten möglich, aber diese tatsächlich zu realisieren, ist schwierig und nicht direkt berechenbar. Einspareffekte durch die Sanierung eines bestimmten Gebäude(typ)s sind dagegen sehr gut möglich. Auch der Effekt effizienterer Heizungsanlagen für Wohngebäude ist mittlerweile fundiert untersucht und kann realitätsgetreu in Sanierungsszenarien einbezogen werden.

Selbstverständlich können auch in Nichtwohngebäuden Einsparungen erreicht und Effizienzmaßnahmen umgesetzt werden. Innerhalb des Wirtschafts-Sektors können für Einzelbetriebe detaillierte Szenarien zum zukünftigen Energiebedarf aufgestellt werden. Zumindest ist dies für den Strombedarf und den Wärmebedarf möglich. Innerbetriebliche Entwicklungen, die von außen kaum beurteilt werden können, haben jedoch ebenfalls großen Einfluss auf den (zukünftigen) Energiebedarf eines Unternehmens – beispielsweise im Hinblick auf Expansion, Schließung von Teilbereichen etc. Bei der Betrachtung einer ganzen Gemeinde mit einer großen Anzahl an Betrieben können Potenziale für diesen Sektor nur sehr pauschal berücksichtigt werden. Dabei steht außer Frage, dass ein großer Anteil der Wirtschaftsbetriebe in Wüstenrot über Potenziale zur Effizienzsteigerung verfügt.

Wegen ihres geringen Anteils am Gesamtenergiebedarf wurden Potenziale zur Einsparung und zu Effizienzmaßnahmen für die öffentlichen Gebäude ebenfalls nur pauschal in die Bilanzierung einbezogen – bspw. die Umstellung der Beleuchtungsmittel in öffentlichen Gebäuden auf LED-Technik. Außerdem bestehen bei der Umrüstung von Heizungstechnik und der

Ertüchtigung der Gebäudehülle an einigen Gebäuden Potenziale, wie Vor-Ort-Begehungen der öffentlichen Gebäude ergaben. Im Rahmen dieser Publikation werden die Maßnahmen jedoch nicht näher ausgeführt.

Im Bereich der Infrastruktur lassen sich ebenfalls Effekte erzielen, hier jedoch vorrangig in Form von Effizienzmaßnahmen. Ein Beispiel: In der Trinkwasserversorgung entfallen ca. 90 % des Strombedarfs auf die Pumpwerke. Durch den Austausch alter Pumpentechnik und den Einsatz moderner und effizienter Pumpen können bis zu 50 % Energie eingespart werden. Ähnliches gilt für Anlagen der Abwasserentsorgung. Hier entfällt der Großteil des Energiebedarfs auf die Belüftung der jeweiligen Reinigungsbecken. Auch hier kann durch den Einsatz moderner Technik ein erheblicher Anteil an Energie eingespart werden. Schließlich bildet auch der Betrieb der Straßenbeleuchtung einen Hauptbedarfsposten in jeder Gemeinde. Im Zuge der Umstellung von klassischen Leuchtmitteln auf LED-Technik können weitere Einsparungen realisiert werden.

Einzig hinsichtlich des Sektors Verkehr lassen sich kaum Einsparpotenziale herausarbeiten. Nach dem aktuellen Umweltbericht der Bundesregierung ist der Verkehr der einzige Sektor, in dem die Emissionen im Vergleich zum Referenzjahr 1990 nicht zurückgegangen sind. Auf den Straßen gibt es immer mehr und größere Autos. Besonders im ländlichen Raum, der über keine nennenswerte ÖPNV-Struktur verfügt, lässt sich in absehbarer Zeit auch keine signifikante Verbesserung erwarten. Damit ein treibhausgasneutraler Verkehrssektor realisiert werden kann, ist dem Umweltbundesamt zufolge<sup>6</sup> eine Vielzahl von Maßnahmen innerhalb und außerhalb des Verkehrssektors nötig: technische Innovationen, Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung sowie Effizienzsteigerung. Der Verkehrssektor kann seinen Endenergiebedarf nur durch eine Mischung aus Veränderungen allen drei genannten Bereichen deutlich senken. Wie bereits erwähnt, findet der Sektor Verkehr keinen Eingang in die Detailberechnungen für Wüstenrot.

#### 4.1 Weniger Energie: den Heizwärmebedarf in Wohngebäuden senken

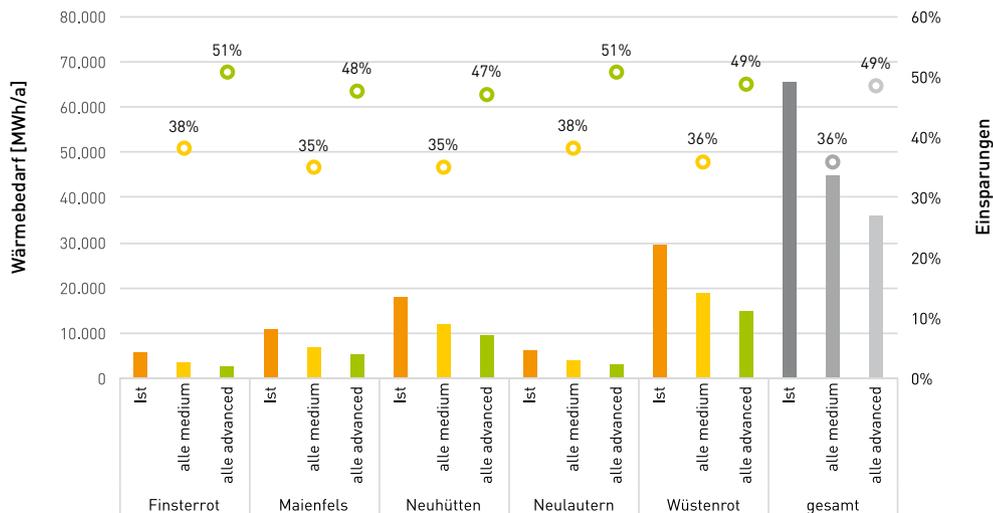
Die vorangegangenen Betrachtungen haben gezeigt, dass die Wohngebäude in Wüstenrot den größten Energiebedarfsposten darstellen. Dementsprechend spielt natürlich auch der zukünftig zu erwartende bzw. erzielbare Wärmebedarf eine entscheidende Rolle im Hinblick auf das Projektziel. Daher wurde in detaillierten Szenarien untersucht, inwieweit sich der Energiebedarf durch bauliche Maßnahmen verringern und sich Energieeinsparungen erreichen lassen.

---

<sup>6</sup> [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_07\\_2014\\_treibhausgasneutrales\\_deutschland\\_2050.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_07_2014_treibhausgasneutrales_deutschland_2050.pdf)

Alle bislang sanierten Gebäude einbezogen und alle weiteren Gebäude in Wüstenrot als saniert angenommen, würden sich die in Abbildung 20 dargestellten theoretischen Einsparungen hinsichtlich des Wärmebedarfs erzielen lassen. Unterschieden wurden dabei in Anlehnung an die bereits genannte Gebäudetypologie des IWU zwei Szenarien: eine Medium-Variante und eine Advanced-Variante. Beide sind Maximalszenarien, weil sie auf der Annahme beruhen, dass alle Gebäude saniert sind. Die Medium-Variante ist dabei das Bündel an Einzelmaßnahmen, das je Gebäudetyp die Standardsanierung darstellen würde. Die Advanced-Variante bedeutet je Gebäudetyp das technisch Machbare. Je nach Anteil und Konstellation der Wohngebäude in den einzelnen Ortsteilen variieren die erzielbaren Einsparungen. Allerdings ist in der Realität nicht davon auszugehen, dass bis zum Jahr 2020 alle Wohngebäude in Wüstenrot saniert sein werden.

### Komplettsanierung Wohngebäude



**Abb. 20:** Einsparungen nach Maximalszenarien für Wohngebäude (Quelle: zafh.net)

Aus diesem Grund wurden für die Wohngebäude weitere Szenarien ausgearbeitet, die ein realistischeres Bild einer möglichen Entwicklung abgeben sollen. Bis zum Zieljahr 2020 wurden moderate bis ambitionierte Sanierungsraten simuliert. Dabei wurden die Anteile von Medium-Sanierungen und Advanced-Sanierungen variiert. Durch intensive Bemühungen seitens der Kommune – bspw. in Form von Energieberatung, kommunalen Förderungen oder Zuschüssen – erscheint wenigstens eine minimale Sanierungsrate vor dem Hintergrund des Projekts EnVisaGe als erreichbar. Das im Projektverlauf zutage getretene Interesse seitens

der Bürger lässt auch im Hinblick auf privates Engagement hoffen. Dementsprechend wurde für Wüstenrot bis zum Jahr 2015 von einer durchschnittlichen Sanierungsrate von 1 % der Wohngebäude pro Jahr (p. a.) ausgegangen. Für die Jahre 2016 bis 2020 wurde von gesteigerten Bemühungen der Gemeinde um Gebäudesanierungen ausgegangen – und somit mit einer Sanierungsrate von 3 % bzw. 4 % der Gebäude p. a. gerechnet.

**Abb. 21:** „Realistische Mischszenarien“ für Wohngebäude  
(Quelle: zafh.net)

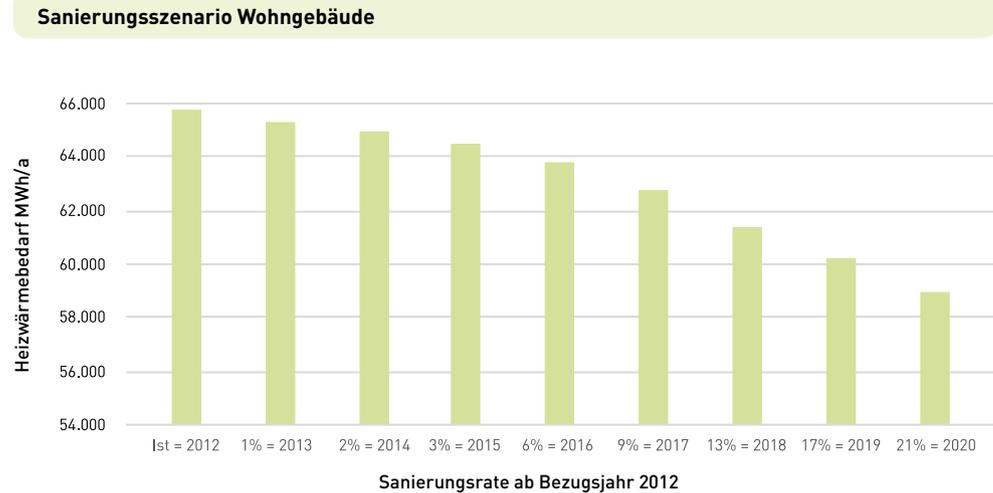


Abbildung 21 ist zu entnehmen, dass selbst Sanierungsraten von bis zu 3 % bzw. 4 % p. a. auf teilweise ambitionierte Gebäudeenergiestandards nicht ausreichen, das Ziel der Energieautarkie bis 2020 entscheidend zu unterstützen. Vor dem Startjahr 2012 durchgeführte Sanierungen sind dabei bereits berücksichtigt. Der Wärmebedarf der Wohngebäude ließe sich nach den Simulationen bis zum Zieljahr 2020 um etwa 11 % reduzieren, dabei wären 21 % der bislang unsanierten Wohngebäude in Wüstenrot modernisiert. Wohngebäude, die nach 1994 gebaut wurden, wurden nicht in die Berechnungen einbezogen, da sie im Zuge der Einführung der 3. Wärmeschutzverordnung zum Jahr 1995 einen hinreichend effizienten Baustandard aufweisen. Die Auswahl der zu sanierenden Gebäude erfolgte vorliegend aus softwaretechnischen Gründen nach dem Zufallsprinzip.

Die oben diskutierten Sanierungsszenarien beziehen sich allerdings nur auf die Gebäudehülle. Weitere Einsparungen lassen sich im Hinblick auf neue und effizientere Heizungstechnik erwarten. Dazu gehört es, alte Heizkessel durch moderne Anlagen auszutauschen, aber auch die Rohrleitungen zu dämmen oder Thermostatventile zu erneuern. Die so erzielbaren Einsparungen schwanken in Abhängigkeit von Alter und Zustand der bestehenden Anlagentechnik. Der Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) beziffert die aktuelle

Modernisierungsquote bei gasbasierten Heizungssystemen auf 3 % und bei Ölheizungen auf nur 1 %. Rund 15 Millionen Heizungen seien in Deutschland älter als 20 Jahre<sup>7</sup>. Diese Zahlen lassen sich nach Auswertung der Fragebögen auch auf Wüstenrot übertragen.

Beim Austausch einer alten Heizungsanlage lassen sich erfahrungsgemäß bis zu 35 % Heizenergie einsparen. Grundsätzlich ist es sinnvoll, zuerst eine Gebäudesanierung durchzuführen und dann die Heizungsanlage auszutauschen, damit diese nicht überdimensioniert wird. In Gebäuden mit passablem Wärmebedarf kann aber auch der bloße Austausch der Heizungs-technik deutliche Einsparungen bringen. Um diesen Umstand in den Szenarien zu berücksichtigen, wurde analog zum Szenario ein pauschaler Effizienzgewinn für Heizungsanlagen von 10 % bei einer Sanierungsrate von 1 % der Anlagen p. a. veranschlagt.

## 4.2 Mehr Effizienz: Senkung des kommunalen Stromverbrauchs

Von den Privathaushalten hängt bei der Umsetzung der Energiewende viel ab. Um ihre Bürgerinnen und Bürger zu motivieren und mit gutem Beispiel voranzugehen, sollte eine Kommune wie Wüstenrot daher ein besonderes Augenmerk auf ihre eigenen Liegenschaften und technischen Einrichtungen legen. Auch hier liegen signifikante Einsparpotenziale. Der Stromverbrauch der kommunalen Liegenschaften und insbesondere der Infrastruktur stellt einen beachtlichen Anteil des Energieverbrauchs dar, der die Gemeindegassen nicht unerheblich belastet. Schon aus wirtschaftlichen Gründen gilt es, diesen Stromverbrauch durch Effizienzmaßnahmen so weit wie möglich zu senken. In Abbildung 22 ist der jährliche Stromverbrauch dargestellt, der durch kommunale Gebäude und die Infrastruktur in Wüstenrot entsteht.



**Abb. 22:** Stromverbrauchs-  
posten der Gemeinde im  
Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

<sup>7</sup> <https://www.recknagel-online.de/aktuell/energiewende/30-09-2015-heizungsindustrie-waermewendebleibt-bislang-aus/>

Die Straßenbeleuchtung (21 %) und der Wasserkreislauf (32 %) verursachen zusammen über die Hälfte des Gemeindestrombedarfs. Somit bieten Effizienzmaßnahmen in diesen beiden Sektoren einen starken Hebel, um den kommunalen Stromverbrauch deutlich zu verringern.

#### 4.2.1 Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik

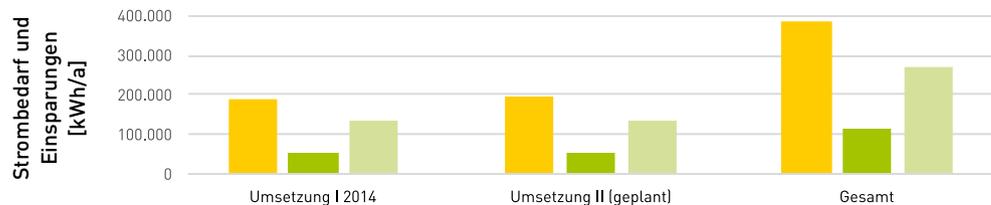
Die Deutsche Energie-Agentur (dena) beziffert den Anteil der Straßenbeleuchtung am jährlichen Stromverbrauch deutscher Kommunen auf ca. 30 – 50 %<sup>8</sup>. Eine Umstellung auf LED-Leuchten kann bis zu 80 % des Strombedarfs einsparen. Die Modernisierung der Straßenbeleuchtung ist somit ein wichtiger Bestandteil einer energetischen Optimierung von Kommunen. Auch in der Gemeinde Wüstenrot liefert sie einen wichtigen Beitrag auf dem Weg zur Plusenergiegemeinde. Neben den Einsparungen sind eine verbesserte Lichtausbeute und verlängerte Wartungsintervalle zusätzliche positive Nebenwirkungen der LED-Leuchtmittel.

Wüstenrot hat dieses Potenzial erkannt und beschlossen, die komplette Straßenbeleuchtung im Gemeindegebiet in zwei Schritten auf LED-Technik umzurüsten. Dabei erfolgte die erste Ausbaustufe im Jahr 2014 mit 541 Leuchten. Die Kosten für die Umrüstung beliefen sich auf rund 435.000 €, wovon 114.350 € im Rahmen des Programms CO<sub>2</sub>-Minderungsprogramm Klimaschutz Plus vom Umweltministerium Baden-Württemberg beigetragen wurden. Die Umsetzung der zweiten Ausbauphase mit 568 Leuchten und einem Umrüstungsvolumen von 410.000 € sowie Fördermitteln von 100.000 € ist für die kommenden Jahre eingeplant.

#### Umstellung Straßenbeleuchtung auf LED

**Abb. 23:** Kennzahlen zur Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik (Quelle: zafh.net)

- Stromverbrauch Altanlage
- Strombedarf Neuanlage
- jährliche Einsparungen



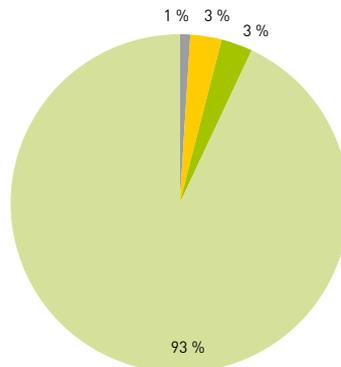
Von der Umrüstung sind insgesamt rund 38 Straßenkilometer betroffen. Bei zu erwartenden Einsparungen von mehr als 70 % kann sich die gesamte Maßnahme in nur 8 bis 9 Jahren amortisieren.

<sup>8</sup> Energieeffiziente Straßenbeleuchtung – Einsparpotenziale identifizieren und erschließen (Onlinebroschüre dena 2014)

### 4.2.2 Effiziente Wasserversorgung und Lastmanagement

Die Trinkwasserversorgung und die Abwasserentsorgung bilden zusammen mit der Straßenbeleuchtung einen Verbrauchsschwerpunkt der Infrastruktur. Aufgrund der topografischen Lage Wüstenrots müssen im Trinkwassernetz größere Höhendifferenzen überwunden werden. Mit mehr als 90 % Anteil am Strombedarf erwies sich der Pumpaufwand als vielversprechend für eine genauere Analyse von Einsparpotenzialen. Weitere Potenziale eröffnet das Lastmanagement, also die Beladung der jeweiligen Wasserspeicher in Abhängigkeit von den Nachfrageprofilen.

#### Durchschnittliche Stromverbrauchsanteile einer Trinkwasserversorgung



**Abb. 24:** Durchschnittlicher Stromverbrauchsanteil einer Trinkwasserversorgung.

Quelle: Umweltbundesamt

- Speicherbauwerke
- sonstiger Stromverbrauch
- Aufbereitung/Desinfektion
- Pumpwerke/Drucksteigerung

Der Wasserbedarf der Gemeinde betrug im Jahr 2014 rund 275.000 l und liegt damit bei ca. 115 l pro Tag und Einwohner. Dieser relativ niedrige Wert ist darauf zurückzuführen, dass Wüstenrot einen hohen Pendleranteil hat und relativ wenige Wirtschafts- und Industriebetriebe ansässig sind. Die Gesamtkapazität der Speicher (ohne das Eingangsreservoir) beträgt rund 2200 m<sup>3</sup> im größeren Teilnetz Wüstenrot und 300 m<sup>3</sup> im Teilnetz Neulautern. Das entspricht in etwa dem Drei- bzw. Fünffachen des täglichen Bedarfs.

Aufgrund der starken Zergliederung des Versorgungsgebiets enthält das Netz eine große Anzahl überwiegend kleindimensionierter Funktionseinheiten (Quellen, Brunnen, Pumpstationen und Wasserreservoirs). Der für die Wasserversorgung benötigte Strom wird fast vollständig für die Pumpwerke aufgewendet.

Diese außerhalb von ohnehin notwendigen Maßnahmen umzurüsten, ist jedoch nur für Anlagen sinnvoll, die Stromkosten von mindestens 5.000 €/a aufweisen, da sonst eine Amortisati-

on des Umbauaufwands nicht absehbar ist. Diese Anlagen mit höheren Stromkosten wurden im Zuge der Untersuchungen auffindig gemacht. Für sie sollte einzeln analysiert werden, ob die Pumpen wirtschaftlich ausgetauscht werden können. Grundsätzlich sind beim Austausch alter Pumpen durch hocheffiziente Neuanlagen Stromeinsparungen von 15 % erzielbar. Da ein Großteil der Anlagenkomponenten älter als 12 Jahre ist, wurden Stromeinsparungen von 10 % als realistisch angesehen und bei den Berechnungen zugrunde gelegt.

Die großen Höhenunterschiede im Gemeindegebiet, die in der Versorgung zu überwinden sind, bieten theoretisch auch Optionen zur Stromerzeugung, und zwar durch Frischwasserturbinen in Gefällstrecken. Im Zuge weiterer Untersuchungen stellte sich jedoch rasch heraus, dass das Trinkwassernetz in Wüstenrot nicht über die erforderlichen Mindestdurchmesser bzw. Volumenströme an den potenziellen Punkten verfügt, um Frischwasserturbinen einzusetzen.

Die Topografie der Gemeinde bietet aber noch in weiterer Hinsicht Möglichkeiten, die Effizienz zu steigern. So wurden Untersuchungen dazu angestellt, inwieweit sich das Beladen der Wasserspeicher durch Lastmanagement optimieren lässt. Der Wasserbedarf in der Gemeinde Wüstenrot liegt bei rund 750 m<sup>3</sup>/Tag, wovon durchschnittlich knapp 50 m<sup>3</sup> auf das Ortsteilnetz Neulautern entfallen und die übrigen 700 m<sup>3</sup> auf das verbundene Netz der übrigen Teilgemeinden<sup>9</sup>. In diesem Netz umfasst die Speicherkapazität mit 2.200 m<sup>3</sup> etwa den durchschnittlichen Bedarf von drei Tagen. Man muss jedoch berücksichtigen, dass als maximaler Tagesbedarf ein durch den sogenannten Tagesspitzenfaktor ausgedrücktes Mehrfaches des durchschnittlichen Bedarfs auftreten kann. Diese Überhöhung ist in Netzen mit relativ kleiner Nutzerzahl besonders hoch, für Gemeinden mit rund 6.000 Einwohnern ist der Tagesspitzenfaktor mit  $f_d = 2,0$  anzusetzen<sup>10</sup>. Somit steht etwa die Menge eines Tagesbedarfs von 700 m<sup>3</sup> Frischwasser als tatsächlich für intelligentes Lastmanagement nutzbare Reserve zur Verfügung.

Aus dem Tagesbedarf von 700 m<sup>3</sup> Frischwasser ergibt sich eine durchschnittliche Abnahme von knapp 30 m<sup>3</sup>/h<sup>11</sup> (siehe Abbildung 25). Bei einem solchen Verlauf werden werktags zwischen 6 Uhr und 12 Uhr fast 40 % des täglichen Bedarfs entnommen; am Wochenende verschiebt sich der morgendliche Anstieg der Abnahme um etwa eine Stunde, und das Tagesmaximum ist weniger ausgeprägt. Geht man davon aus, dass der Speicher gleichmäßig aus Eigenquellen und Fernwasserszufuhr gespeist wird, ergibt sich, dass der Wasservorrat wegen der höheren Abnahmemenge über Tag absinkt und in den Nachtstunden wieder aufgefüllt wird (siehe Abbildung 26).

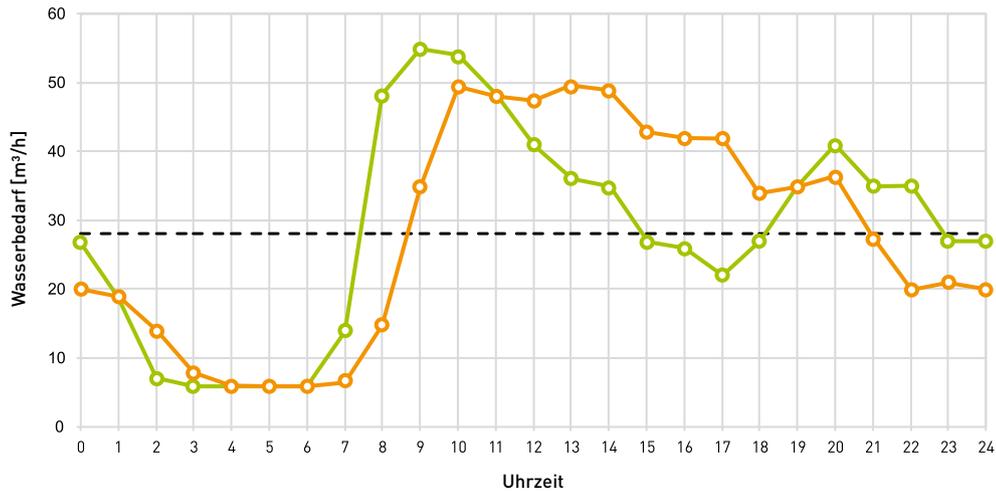
---

<sup>9</sup> Der Wüstenroter Ortsteil Neulautern hat ein eigenes Netz, ein zweites teilen sich die übrigen Teilgemeinden.

<sup>10</sup> nach DVGW-Arbeitsblatt W 410

<sup>11</sup> Da das tatsächliche Bedarfsprofil in der Gemeinde Wüstenrot nicht bekannt ist, wurde ein gemessenes Profil eines vergleichbaren Versorgungsgebietes mit rund 4000 Einwohnern (aus: Taschenbuch der Wasserversorgung) zugrunde gelegt.

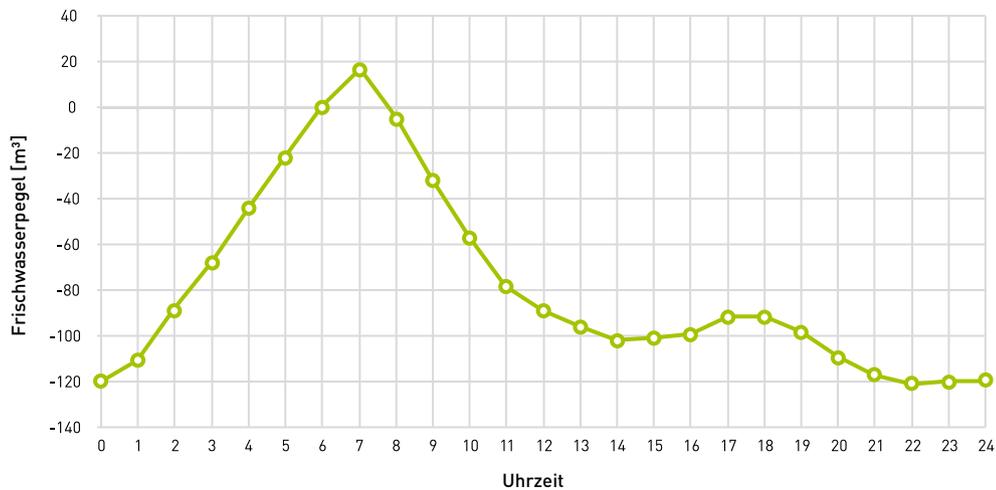
### Ganglinien der Frischwasserabnahme



**Abb. 25:** Angenommene Ganglinien der Frischwasserabnahme in der Gemeinde Wüstenrot auf der Basis des durchschnittlichen Tagesverbrauchs und von Vergleichskurven Werktag und Wochenende (Quelle: Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung)

—○— Werktag  
—○— Wochenende

### Bilanzlinie des Wasservorrats



**Abb. 26:** Bilanzlinie des Wasservorrats unter der Annahme gleichmäßiger Zuspeisung und des Abnahmeprofils nach Abbildung 25

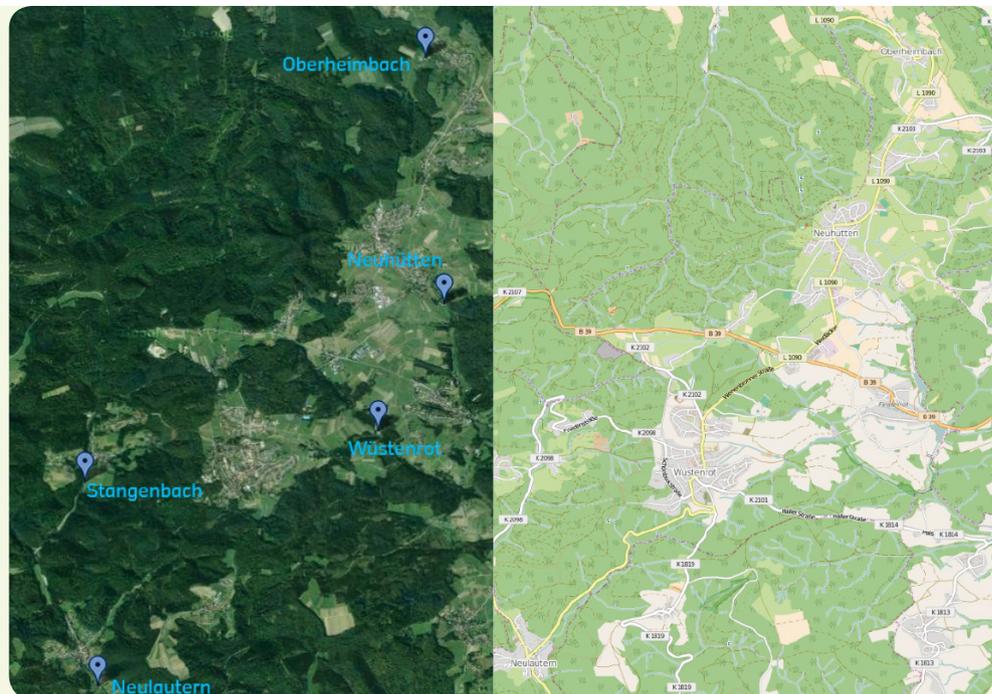
Somit würde sich ein Lastmanagement mit Nutzung erneuerbarer Energien anbieten, das während der Mittagsstunden die Förderleistung erhöht und sie dann in den Nachtstunden wieder absenkt. Die Fördermenge könnte dabei bis auf das Doppelte des Durchschnittswerts erhöht werden. Dies ergibt ein tägliches Variationspotenzial von etwa 200 m<sup>3</sup> Frischwasser, ca. 40 kW elektrischer Leistung und knapp 300 kWh Strombedarf.

Die Möglichkeiten, dies im Frischwassernetz der Gemeinde Wüstenrot tatsächlich umzusetzen, sind jedoch aufgrund begrenzter Pufferkapazitäten beschränkt. Ein Lastmanagement wäre daher am ehesten bei der Fernwassereinspeisung im Pumpwerk Eichelberg zu realisieren, das mit zwei Pumpen über große Leistungsreserven und einen großen Pufferspeicher verfügt.

### 4.2.3 Effiziente Abwasserentsorgung

Aufgrund der Topografie gibt es in Wüstenrot keine zentrale, sondern fünf dezentrale Kläranlagen. Drei davon wurden in den Jahren 2000, 2009 und 2014 auf den aktuellen Stand der Technik gebracht. Die Umrüstung der beiden übrigen Anlagen soll 2017 bzw. 2018 erfolgen.

**Abb. 27:** Lage der Kläranlagen im Gemeindegebiet (Quelle: OpenStreetMaps)



Ebenso wie bei den anderen Anlagen sollen dann vor allem die Hauptstromverbraucher angegangen werden. Als Stellschrauben sind hier die Belüftungssysteme der Hauptreinigungsstufe („Belebungsbecken“) zu sehen, die auf effizientere Belüftungsmatten umgestellt wurden. Ein weiterer Verbrauchsposten ist die Pumpentechnik für Zulauf, Hebewerke etc. Auf die Belüftung bzw. den Pumpaufwand entfallen in einer durchschnittlichen Kläranlage ca. 80 % des Strombedarfs. Die Wirksamkeit dieser beiden einfachen Maßnahmen belegen die Betriebstagebücher der sanierten Anlagen. Durch den Austausch veralteter Anlagenkomponenten gegen effizientere Technik lassen sich bis zu 20 % Strom einsparen.

Weitere Potenziale waren angedacht und sollten näher untersucht werden, wurden aber mangels Wirtschaftlichkeit früh verworfen. Dazu zählt beispielsweise, natürliche Gefälle zur Pumpstromeinsparung zu nutzen oder den Klärschlamm direkt vor Ort zu trocknen bzw. zu verwerten, um Transportkosten zu sparen. Der technische Aufwand dafür stünde allerdings einer recht geringen Menge an verwertbarem Klärschlamm gegenüber, so dass für diese Idee keine annehmbare Amortisationszeit erreicht werden kann.



**Abb. 28:** Abwasserkanalnetz Wüstenrot (links), Wärmetauscher in einem Abwasserkanal (rechts, Quelle: Berliner NetzwerkE, Dietmar Gust)

Auch die grundsätzliche Möglichkeit der Nutzung von Abwasserrestwärme – die mittleren Temperaturen im Abwasser liegen zwischen 8 und 12 °C – über Kanalwärmetauscher und Wärmepumpen wurden im Rahmen der Analyse angedacht. Für den wirtschaftlichen Betrieb eines solchen Systems sind zwei Faktoren essenziell: Erstens müssen der Abwasserdurchfluss und die Kanaldimensionen für den Einbau eines Wärmetauschers ausreichend dimensioniert sein. Ist dies der Fall, sollte zweitens der potenzielle Restwärmeabnehmer möglichst nah an der Wärmequelle verortet sein. Beide Anforderungen sind an keinem Punkt des Abwasserkanalnetzes der Gemeinde Wüstenrot gegeben, weshalb die Untersuchungen nicht weiterverfolgt wurden.

### 4.3 Die Gemeinde setzt Zeichen

Wüstenrot spart Strom. Hinsichtlich ihrer Infrastruktur erreicht die Gemeinde wichtige Etappenziele und geht mit den umgesetzten Maßnahmen bis zum Jahr 2020 effizient und nachhaltig in die Zukunft. Mit den beschriebenen Maßnahmen konnten und können 71 % des Stromverbrauchs bei der Straßenbeleuchtung, bis zu 15 % bei der Wasserversorgung und 20 % bei der Abwasserentsorgung eingespart werden.

#### Einsparungen in der Infrastruktur



**Abb. 29:** (Mögliche) Einsparungen in der Infrastruktur 2020 gegenüber 2012  
(Quelle: zafh.net)

■ 2012  
■ 2020

Weiteres Potenzial liegt in den öffentlichen Gebäuden, die jedoch bislang noch nicht näher analysiert wurden. Erkennbar ist: Die Gebäude zu sanieren, zählt auch hier zu den vielversprechendsten Ansatzpunkten, neben der Modernisierung der Anlagentechnik und der Umrüstung der Beleuchtung auf LED-Technik.

## 5. Den Bedarf nachhaltig aus lokalen Quellen decken: Potenzialanalysen erneuerbarer Energien

Im vorangegangenen Kapitel wurde gezeigt, welche Möglichkeiten es in Wüstenrot gibt, Energie erstens zu sparen und zweitens effizienter einzusetzen. Einem auf diese Weise verminderten Bedarf muss lokal gewonnene Energie aus regenerativen Energien gegenüberstehen, um die Bilanz auszugleichen bzw. in den Plusenergiebereich zu gelangen. Dazu eignen sich in Wüstenrot vor allem Photovoltaik und Windkraft. Außerdem muss für die Gemeinde, wie grundsätzlich in ländlichen Regionen, das Potenzial eruiert werden, Biomasse zu nutzen und Biogas zu produzieren. Auch in der Geothermie können interessante Potenziale liegen.

### 5.1 Solarenergie

Virtuelle 3D-Stadtmodelle lassen sich sehr gut für die Berechnung des Solarpotenzials einsetzen. Auf der Basis des 3D-Modells konnten für Wüstenrot detaillierte Rückschlüsse auf die solarenergetische Nutzung der Gebäudedächer gezogen bzw. diejenigen Dachformen identifiziert werden, die für die solarenergetische Nutzung am besten geeignet sind. Um das PV-Potenzial noch besser einschätzen zu können, wurde an der HFT Stuttgart ein Algorithmus entwickelt, nach dem die jeweiligen Photovoltaik-Module automatisch auf geeigneten 3D-Dachflächen platziert werden. Diese Analyse erfolgt in mehreren Schritten.

Für das sogenannte WeatherProcessing können Wetterdaten importiert werden. Die wichtigsten Informationen sind dabei die Umgebungstemperatur und die Globalstrahlung. Andere Parameter wie die Windgeschwindigkeit oder Diffusstrahlung können ebenfalls importiert werden. Für die verwendeten Algorithmen werden stundengenaue Werte benötigt. Enthält die Datenbank nur monatliche Mittelwerte, werden daraus mithilfe eines statistischen Verfahrens stündliche Werte generiert.

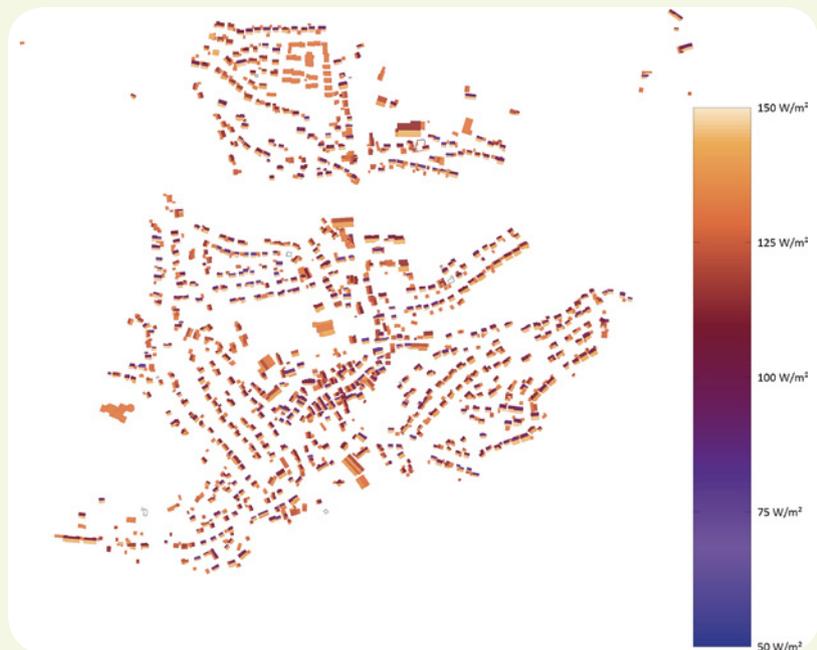
Im nächsten Schritt, dem RadiationProcessor, wird die Strahlung auf alle geeigneten Ebenen des 3D-Modells berechnet, wobei keine Verschattungen oder Reflexionen berücksichtigt werden. Die Ergebnisse werden automatisch gespeichert, um spätere Berechnungen zu beschleunigen. Abbildung 31 zeigt eine grafische Darstellung davon.

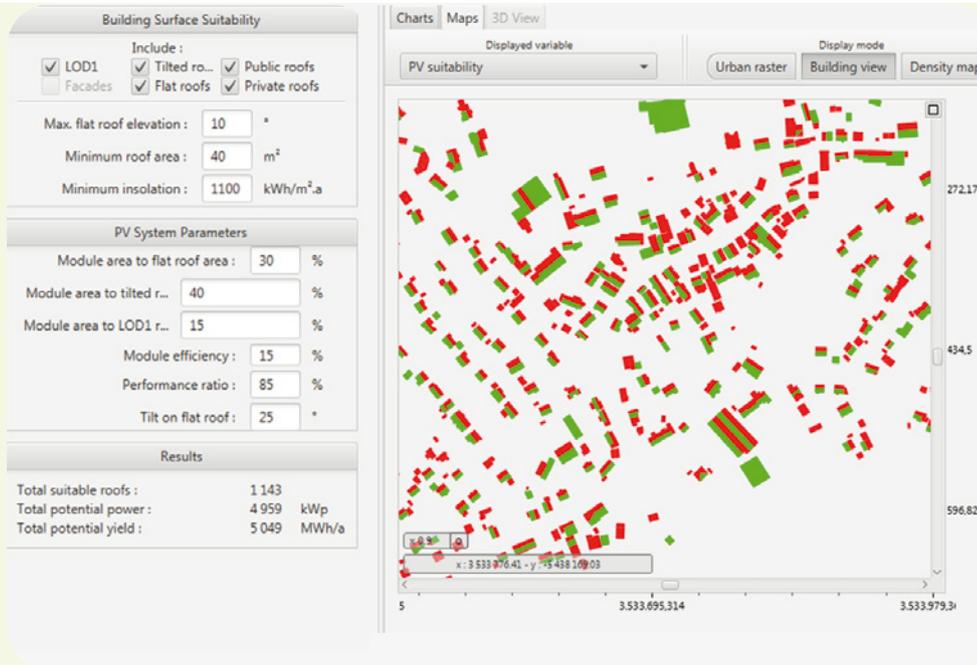
Zur Bestimmung des PV-Potenzials werden die Ergebnisse der Einstrahlungsanalyse aus dem RadiationProcessor herangezogen. Anhand der Simulationsparameter werden die für PV-Anlagen geeigneten Dachflächen ermittelt und die resultierende theoretisch mögliche Stromerzeugung berechnet, wie Abbildung 32 zeigt.

**Abb. 30:** Monatliche Mittelwerte der globalen Strahlung für Wüstenrot aus PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>)



**Abb. 31:** Durchschnittliche Einstrahlung auf die Dachflächen in Wüstenrot (Quelle: zafh.net)





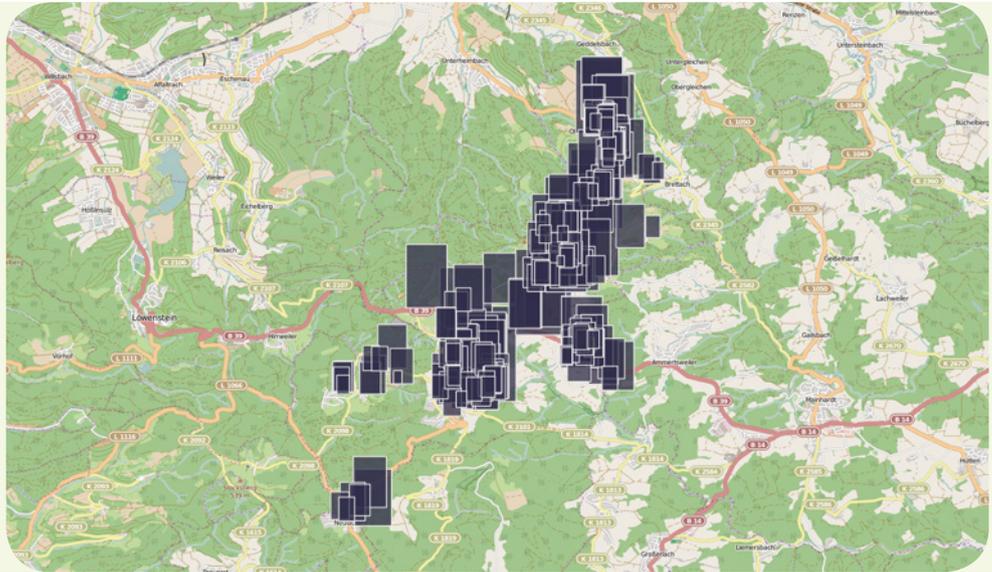
**Abb. 32:** Dächer, die für Photovoltaik geeignet sind, werden grün markiert. (Quelle: zafh.net)

Das so über das 3D-Stadtmodell ermittelte, theoretisch und technisch erschließbare PV-Potenzial aller Wüstenroter Dachflächen liegt bei insgesamt 9,6 MW<sub>p</sub>.

Alternativ kann über das 3D-Stadtmodell auch das Solarthermie-Potenzial der Dachflächen berechnet werden. Neben den Ergebnissen für die Sonneneinstrahlung wird in diesem Fall noch ein Algorithmus benötigt, der den Wärmebedarf der Gebäude berechnet. Dadurch wird sichergestellt, dass rechnerisch nicht mehr Wärme erzeugt wird, als tatsächlich in den Gebäuden genutzt werden kann.

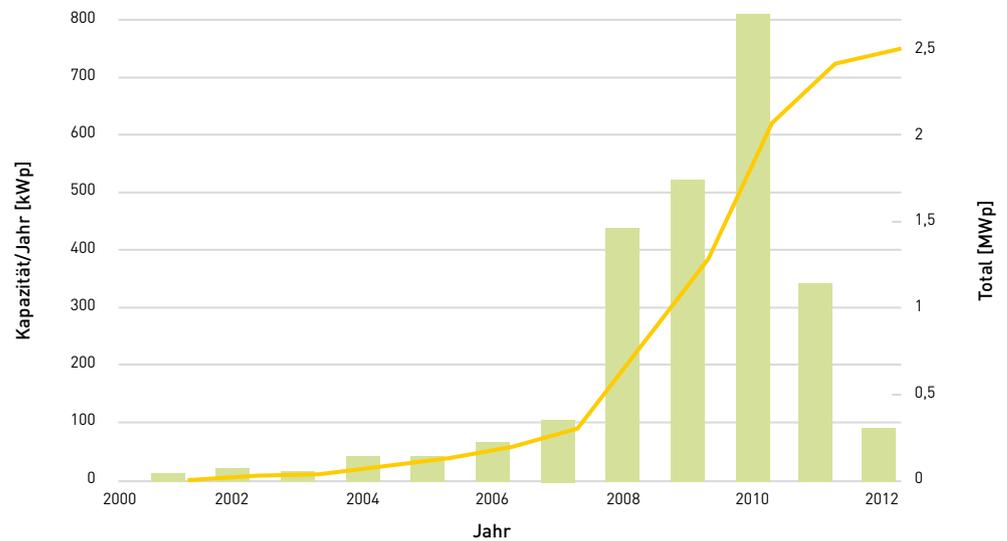
Neben der Potenzialermittlung wurden auch die bereits bestehenden Photovoltaikanlagen aus unterschiedlichen öffentlich zugänglichen Quellen (Transnet etc.) ermittelt. Abbildung 33 zeigt die Verteilung und Größe der installierten Anlagen in Wüstenrot. Abbildung 34 zeigt die Entwicklung der installierten PV-Leistung. Die auf Gemeindemarkung installierte PV-Stromleistung lag im Jahr 2012 bereits bei 2,5 MW<sub>p</sub>. Für die spätere Szenarienberechnung wurde davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2020 durch intensive Anstrengungen und Investitionen 50 % des verbleibenden Potenzials (also weitere 3,55 MW<sub>p</sub>) erschlossen werden können. Das entspricht ab dem Jahr 2016 einer jährlichen PV-Zubaurate von 0,71 MW<sub>p</sub>.

**Abb. 33:** Lage und relative Größe der bereits installierten Photovoltaikanlagen



### Umstellung Straßenbeleuchtung auf LED

**Abb. 34:** Entwicklung der installierten PV-Leistung in Wüstenrot (Stand: Dezember 2012), ab 2011 rückläufig aufgrund der Reduzierung der Einspeisevergütung (Quelle: zafh.net)



Zum Energieertrag der bestehenden solarthermischen Anlagen existieren keine genauen Daten, da diese nicht explizit erhoben werden. Allerdings dürften die Energieerträge hier spezifisch geringer ausfallen, denn solarthermische Anlagen erzeugen die meiste Wärme natürlich im Sommer – und produzieren damit in der Regel Überschüsse, die nicht direkt verwertet oder eingespeist werden können. In der Konsequenz gehen diese Anlagen in den Sommermonaten häufiger in den Stillstand, im Fachjargon als thermische Stagnation bezeichnet. Wegen der hohen Temperaturen ist dies unter Umständen auch für die Anlage eine Belastung. Eine optimale Lösung ist es folglich, wenn ein Wärmenetz wie in Weihenbronn (→ Kapitel 6.1) zur Verfügung steht, in das anfallende Überschüsse eingespeist werden können. So kann ansonsten ungenutzt bleibende Wärme an andere Verbraucher weitergegeben werden.

## 5.2 Windkraft

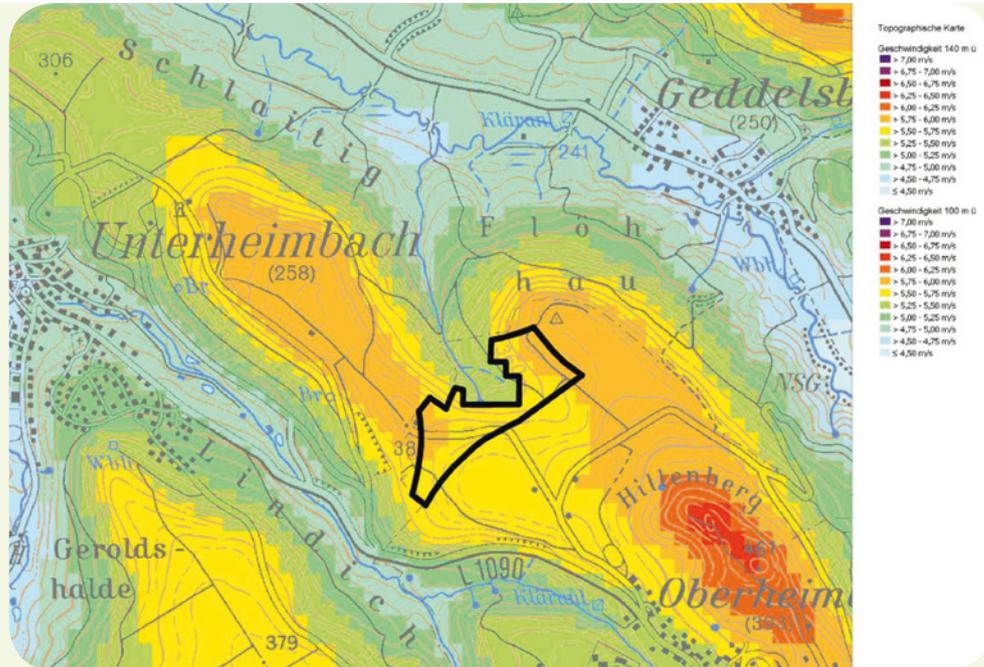
Zur Erkundung der für Windkraft geeigneten Flächen hat die Gemeinde ein Gutachten bei der Bürgerwindpark Hohenlohe GmbH in Auftrag gegeben, die bereits mehrere Anlagen in der Region Heilbronn-Franken betreibt. Sechs Standorte wurden darin untersucht. Zwei davon wurden sofort verworfen – wegen ihrer Nähe zu einem Pflegeheim bzw. der Lage mitten in einer Richtfunkstrecke. Da Wüstenrot in einem sehr walddreichen Gebiet liegt, waren bei drei weiteren Standorten die Rauigkeiten und die Ablenkung der Windströmung nach oben zu berücksichtigen. Windströmungsgeschwindigkeiten, die auf Freiflächen bereits in 100 Metern Höhe zu erwarten sind, treten in Waldgebieten erst in größeren Höhen auf.<sup>12</sup>

Die für Großwindkraftanlagen am besten geeignete Fläche auf Wüstenroter Gemarkung liegt südöstlich von Unterheimbach. Dort könnten auf waldfreier Hochebene, wo sie in Hauptwindrichtung frei angeströmt würden, zwei Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 6 MW installiert werden. Die erzeugte Energie müsste in das Mittelspannungsnetz eingespeist werden. Der Potenzialermittlung wurde der Windatlas Baden-Württemberg zugrunde gelegt. Danach kann am genannten Standort mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 5,75 m/s in 140 m Höhe über Grund gerechnet werden, was die Anlagen für die Gemeinde Wüstenrot wirtschaftlich interessant macht. Die wirtschaftlichen Kenngrößen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Demnach ist für die Windenergieanlagen mit einer Rendite von 5,5 bis 5,7 % über eine Laufzeit von 20 Jahren zu rechnen. Die Untersuchungen zur Umsetzung der Windenergieanlagen werden weiter verfolgt. Parallel werden die genehmigungsrelevanten Aspekte vorangetrieben.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Für einen walddnahen Standort gilt als Faustregel, dass die doppelte Waldhöhe für die Rotorblattspitzen-Unterkante eingehalten werden sollte, für Standorte im Wald sollte die Nabenhöhe nochmals um zwei Drittel der Baumhöhe angehoben werden (Windatlas Baden-Württemberg, S. 19f).

<sup>13</sup> Für die Einspeisung in das Hochspannungsnetz, so das Gutachten, müsste ein Umspannwerk für rund 1,7 Mio. Euro errichtet werden.

**Abb. 35:** Zwei Windenergieanlagen könnten zwischen Unter- und Oberheimbach gebaut werden (Quelle: Windatlas Baden-Württemberg)



**Tabelle 1:** Wirtschaftliche Kenngrößen der geplanten Windkraftanlagen

Windenergieanlagen	2 Nordex N-131 mit 134 m Nabenhöhe
Installierte Leistung	6.000 kW <sub>el</sub>
Mittlere Windgeschwindigkeit	5,75 m/s in 140 m über Grund
Windertrag	ca. 13,9 Mio. kWh (p-75-Ertrag)
Investitionsvolumen	ca. 10,6 Mio. € (40 % EK)
Kumulierte Ausschüttung	ca. 200 % über 20 Jahre
Interner Zinsfuß	5,5 bis 5,7 % über 20 Jahre

## 5.3 Biomasse, Biogas und feste Biomasse

### 5.3.1 Potenziale zur Umsetzung von Biogasanlagen

Trotz ihrer ländlichen Struktur fällt in der Gemeinde Wüstenrot relativ wenig Biomasse an, die als Substrat in Biogasanlagen genutzt werden könnte. Wie in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt, kommen dafür im Gemeindegebiet die Reststoffe Grassilage, Gülle, Pferdemist, Trester und Klärschlamm in überschaubaren Mengen infrage. Bioabfall und Grüngut dürfen nach dem Willen des Landkreises Heilbronn, in dessen Zuständigkeit die Abfallentsorgung fällt, (derzeit) nicht verwendet werden.

Landwirtschaft	Hektar [ha]	Ertrag/ha [t/ha]	Ertrag [t]	Sonstiges
Dauergrünland*	350	25,46	9.388	zusätzlich 30 ha Grünland, 2. und 3. Schnitt
Ackergras	69	47,25	3.260	
Zuckerrübe	30	72,86	2.186	
Biotop	6	2	12	
Summe			14.846	

**Tabelle 2:** Landwirtschaftlich nutzbares Potenzial für Biogasanlagen in Wüstenrot

Die festgeschriebene Einspeisevergütung für Strom aus Biogasanlagen hat sich mit der EEG-Novellierung in den letzten Jahren entscheidend verringert, so dass der Strom besser direkt vermarktet werden kann. Gleichzeitig sind die Substratkosten deutlich gestiegen. Beides wirkt sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme aus. Eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit wurde durch die beispielhafte Berechnung zweier Biogasanlagen ermittelt. In Summe ist eine große Anlage mit viel Kapazität in Wüstenrot schwer zu realisieren, da die benötigten Substratmengen kaum zu beschaffen sind. Eine kleinere Biogasanlage, die lediglich mit Gras und Gülle betrieben wird, wäre nach heutigem Stand die bessere Wahl. Sollten einmal signifikant mehr Reststoffe zur Verfügung stehen, könnte auch eine Abfall-Biogasanlage in Betracht kommen. Hierzu müssten sich aber die Rahmenbedingungen im Landkreis Heilbronn ändern. Für die Umsetzung einer großen Abfall-Biogasanlage müsste zudem in Erwägung gezogen werden, auch Reststoffe (insbesondere Grüngut) aus den umliegenden Landkreisen zu verwerten.

**Tabelle 3:** Reststoffpotenzial in Wüstenrot

Reststoffe:		Ertrag [t]	
Stroh		0	
Gülle		1500	
Pferde-Festmist		8275	
Wein-Trester		3150	Wein: 28,2 % TS
Apfel-Trester			Apfel: 22,7 % TS
Grüngut		401	nur Verwertung des gesamten Grünguts LK HB erwünscht
Altholz		0	kein Potenzial vorhanden
Industrie		0	bisher keine Erfassung
Klärschlamm	3800	864	Mainhardt: 6.000 m <sup>3</sup> (5 % TS) Klärschlamm in Aussicht/ 500 t gepresst (TS: 22 %)
Biotonne		501	nur Verwertung des gesamten Grünguts LK HB erwünscht
Summe		14690	

Die Analysen zeigen, dass eine Biogasanlage in Wüstenrot wirtschaftlich umsetzbar ist, sofern die erforderlichen Stoffströme gesichert werden können und die Substratkosten nicht zu stark steigen. Aufgrund der geringen Einspeisevergütung müsste außerdem eine Direktstromvermarktung realisiert und Wärme in ausreichender Menge an umliegende Abnehmer durch ein Nahwärmenetz verkauft werden. Wenn ausreichend große Gas- und Wärmespeicher zur Verfügung stehen, lässt sich die Biogasanlage als flexibler Stromerzeuger einsetzen, der auch das Stromnetz stabilisiert. Dies verspricht weitere Einnahmen. Davon ausgehend sind nun Verhandlungen mit den möglichen Substratlieferanten zu führen, um langfristige Lieferverträge abzuschließen und die Option einer Direktstromvermarktung zu konkretisieren. Erst danach kann entschieden werden, ob die derzeit favorisierte kleinere Biogasanlage zu realisieren sein wird. Unter anderem ist auch die Standortfrage noch nicht abschließend geklärt. Wichtig ist hier vor allem, dass im näheren Umfeld ausreichend Abnehmer für die verfügbare Wärmeenergie vorhanden sind. Insgesamt könnten mit der „kleinen“ Lösung rund 2,2 GWh Strom erzeugt werden, von denen am bisher in Betracht gezogenen Standort 1,8 GWh Wärme für Heizzwecke genutzt werden könnten.

**Tabelle 4:** Kosten-/Leistungsrechnung große Biogasanlage in Wüstenrot (siehe Seite 53)

Leistungen/Kosten	Einheit	Menge Einheit/a	Preis €/Einheit	Betrag €/a	in % der Leistung
<b>Leistungen</b>					
Stromeinspeisung (Direktvermarktung)	kWh <sub>el</sub>	5.118.971	0,188	962.623,00	96
Wärmeverkauf	kWh <sub>el</sub>	1.878.105	0,02	37.562,11	4
Gärrestverkauf	t	15.684	0	0	0
Summe Leistungen				1.000.185,11	
<b>Variable Kosten</b>					
Substrate					
Grassilage, 35 % TM	t	4.300	20	86.000,00	8,6
Pferdemist, 27,2 % TM	t	8.300	2	16.600,00	1,66
Traubentrester, zermahlen, 28,2 % TM	t	1.150	2	2.300,00	0,23
Rindergülle mit Futterresten, 10 % TM	t	1.500	2	3.000,00	0,3
Kleegrassilage, 30 % TM	t	1.500	20	30.000,00	3
Zuckerrübensilage, 23 % TM	t	2.100	37	77.700,00	7,77
Reparatur und Wartung				86.767,39	8,68
Betriebsstoffe				121.826,80	12,18
Laboranalysen	Anzahl	2	200	400	0,04
Zinskosten Umlaufvermögen (6 Monate, 4 %)	€	424.594,18	8.491,88	16.983,77	0,85
Summe variable Kosten				433.086,07	43,3
Deckungsbeitrag				567.099,04	56,7
<b>Fixe Kosten</b>					
Abschreibung				195.914,02	19,59
Zinskosten				47.477,78	4,75
Versicherung (in % vom Investitionsbedarf)	0,50 %			10.790,40	1,08
Lohnkosten	AKh	1.962,73	15,00	29.441,00	2,94
Summe fixe Kosten				283.623,21	28,36
Einzelkostenfreie Leistung				283.475,83	28,34
<b>Gemeinkosten</b>					
Gemeinkosten, pauschal				11.250,00	1,12
Kalkulatorischer Gewinnbeitrag				272.225,83	27,22
Gesamtkapitalrentabilität				27,65 %	

Leistungen/Kosten	Einheit	Menge Einheit/a	Preis €/Einheit	Betrag €/a	in % der Leistung
<b>Leistungen</b>					
Stromeinspeisung (Direktvermarktung)	kWh <sub>el</sub>	2.223.968	0,198	440.234,00	92
Wärmeverkauf	kWh <sub>el</sub>	1.878.105	0,02	37.562,11	8
Gärrestverkauf	t	5.867	0	0	0
Summe Leistungen				477.796,11	
<b>Variable Kosten</b>					
Substrate					
Grassilage, 35 % TM	t	4.300	20	86.000,00	18
Rindergülle mit Futterresten, 10 % TM	t	1.500	2	3.000,00	0,63
Kleegrassilage, 30 % TM	t	1.500	20	30.000,00	6,28
Reparatur und Wartung				51.247,76	10,73
Betriebsstoffe				61.713,62	12,92
Laboranalysen	Anzahl	2	200	400	0,08
Zinskosten Umlaufvermögen (6 Monate, 4 %)	€	232.361,38	4.647,23	9.294,46	0,97
Summe variable Kosten				237.008,61	49,6
Deckungsbeitrag				240.787,50	50,4
<b>Fixe Kosten</b>					
Abschreibung				109.791,97	22,98
Zinskosten				27.093,51	5,67
Versicherung (in % vom Investitionsbedarf)	0,50 %			6.157,61	1,29
Lohnkosten	AKh	1.000,23	15,00	15.003,50	3,14
Summe fixe Kosten				158.046,59	33,08
Einzelkostenfreie Leistung				82.740,91	17,32
<b>Gemeinkosten</b>					
Gemeinkosten, pauschal				11.250,00	2,35
Kalkulatorischer Gewinnbeitrag				71.490,91	14,96
Gesamtkapitalrentabilität				15,24 %	

**Tabelle 5:** Kosten-/Leistungsrechnung kleine Biogasanlage in Wüstenrot

Die Biogasanlage würde somit einen wichtigen Beitrag zum Plusenergiestatus liefern. Darüber hinaus kann die Stromerzeugung durch das BHKW flexibel gestaltet werden, wenn Gas- und Wärmespeicher integriert werden. Damit wäre eine Ausgleichsmöglichkeit für schwankende regenerative Stromerzeuger im Gemeindegebiet vorhanden.

### 5.3.2 Feste Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung - erschließbare Potenziale im Gemeindegebiet

Auf den ersten Blick ist Wüstenrots Waldreichtum sehr vielversprechend: Von 3.002 Hektar Gemeindefläche sind 1.514 Hektar Wald, also 50,4 %. Der Bau eines Holzheizkraftwerks (HHKW) wird allerdings durch unwirtschaftliche EEG-Sätze, die starke Nutzungskonkurrenz mit der Holzverarbeitenden Industrie und die Verwendung von Holz als Brennholz nur schwer realisierbar. Hinzu kommt, dass die Landesregierung beschlossen hat, eine sogenannte FSC-Zertifizierung für den Staatswald durchzuführen, nach der unter anderem Nichtderbholz bis zu einer Stärke von 7 cm im Wald verbleiben muss. Dadurch wird die Verwertung des für die Hackschnitzelproduktion relevanten und bisher von der Branche professionell genutzten Kronenholzes unwirtschaftlich. Von mehreren Seiten wird derweil versucht, Einfluss auf die Politik und auf den Richtlinienausschuss des FSC zu nehmen, um auf eine Änderung dieser Regelung hinzuwirken. Das wichtigste Argument: Laut der Bundeswaldinventur ist genug Totholz im Wald vorhanden und die Holzvorräte sind auf ein Rekordniveau angestiegen.

Aktuell bringt daher nur der Privatwald<sup>14</sup> nennenswerte Energieholzmengen in Form von Durchforstungsmaterial und Kronenholz in den Markt. Ein großes, noch erschließbares Potenzial birgt der Kleinprivatwald. Da für diese Wälder jedoch keine genauen Daten vorliegen, kann dieses Potenzial kaum beziffert werden. Bevor dort in nennenswertem Umfang Waldrestholz geborgen werden kann, sollten die Kleinwaldbesitzer sich in einem Interessenverband organisieren, um die Forstflächen ökonomisch sinnvoll und mit der entsprechenden Sachkenntnis bewirtschaften zu können. Gäbe es einen solchen Zusammenschluss aller Waldbesitzer, beispielsweise in Form einer Genossenschaft, bestünde definitiv Restholz-Potenzial, das auch für die Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden könnte. In Wüstenrot selbst wird ein Teil dieses Potenzials bereits für die private Gewinnung von Brennholz genutzt. Mit diesem Brennholz werden derzeit um die 20 % des Wärmebedarfs in Wüstenrot gedeckt, was einer Wärmemenge von 14 GWh entspricht.

<sup>14</sup> Waldeignerstruktur der Gemarkung: 663 ha Privatwald (davon 530 ha Kleinprivatwald), 768 ha Staatswald, 52 ha Körperschaftswald.

**Abb. 36:** Holzhof der UBP Holzenergie Wüstenrot GmbH & Co. KG (Quelle: zafh.net)



Ein wichtiger Schritt, um das verfügbare Potenzial der Biomasse Holz zu erschließen, war die Inbetriebnahme des Biomassehofs im Ortsteil Weißenbronn durch die UBP Holzenergie Wüstenrot GmbH & Co. KG im Sommer 2015. Der Hof will pro Jahr aus ca. 15.000 t angeliefertem Waldrestholz, Energieholz in Stämmen, Sägerestholz und Landschaftspflegematerial (überwiegend in Form von Baum- und Strauchschnitt) passgenaue Brennstoffe für Holzkessel in verschiedenen Größen und Ausführungen gewinnen. Vor allem sollen im Gemeindegebiet neu installierte Hackschnitzelheizungen in Gebäuden und in Nahwärmenetzen (z. B. Wärmenetz Weißenbronn) mit ausreichend Brennmaterial versorgt werden. Der Holzhof soll sich in der Region als kompetenter Lieferant von hochwertigen Hackschnitzeln etablieren.

Gemäß der Firmenphilosophie „Biomasse aus der Region für die Region“ soll der Brennstoff für die Biomasseheizwerke auf kurzen Wegen zur Verfügung gestellt werden. Außerdem wird großer Wert auf passgenaue Brennstoffqualitäten gelegt und darauf, diese in ausreichenden Mengen für einen störungsfreien Betrieb der jeweiligen Anlagen vorrätig zu halten. Das ist mit externen Lieferanten und schwankenden Qualitäten meist nicht gegeben. Die Rohware für den Holzhof soll aus dem Umkreis von 50 km um Wüstenrot herum eingekauft und gesammelt werden. Der Brennstoff wird dann bis zu einem Umkreis von 100 km ausgeliefert. Der geplante Umschlag von ca. 15.000 t/a entspricht einer Wärmeenergie von ca. 50.000 MWh.

Der Holzhof nimmt kommunalen und gewerblichen Baum- und Strauchschnitt an und verwertet diesen. Zudem ist geplant, auch privaten Grünschnitt entgegenzunehmen. Dazu sind allerdings noch Gespräche mit dem zuständigen Landratsamt zu führen, da privater Grünschnitt als Abfall gewertet wird und somit in die Zuständigkeit des Landkreises fällt. Die Ver-

handlungen wurden schon aufgenommen, eine abschließende Regelung konnte jedoch noch nicht gefunden werden. Das Thema wird aber weiterverfolgt.

Technologien für die Stromerzeugung aus fester Biomasse zur Kraft-Wärmekopplung  
Um den Plusenergiestatus bei einem möglichst hohen Autarkiegrad zu erreichen, müssen neben Wind- und Solarstrom weitere Stromerzeuger in das Stromnetz eingebunden werden. Um Strom aus fester Biomasse zu erzeugen, gibt es ein breites Spektrum unterschiedlicher Systeme, von größeren Systemen für den Einsatz in Wärmenetzen bis hin zu sehr kleinen Systemen, die in Wohngebäuden genutzt werden können.

Die folgenden Vorschläge eignen sich für eine Umsetzung in Wüstenrot:

- Die Holz-KWK hat aktuell nur noch eine Chance, wenn sie zur Eigenstromversorgung eingesetzt wird. Dies kann per Holzvergaser (Hackschnitzel oder Pellets) und nachgeschaltetem BHKW in Leistungsbereichen von ca. 20 bis 200 kW elektrisch erfolgen. Die Technik kann als etabliert bezeichnet werden; sie eignet sich insbesondere dort, wo möglichst ununterbrochen Bedarf an Strom und Wärme besteht, da neben dem Strom auch immer etwa doppelt so viel an Wärme anfällt.
- In der Pilotprojektphase befinden sich kleine Stirling-Motor-BHKW (mit Leistungen von 0,6 und 5 kW<sub>el</sub> laut Hersteller). Dabei wird per Pellet-Feuerung ein Heißgasstrom erzeugt. Indem dieser über den Kopf eines Stirling-Motors geführt wird, wird der Motor in Gang gesetzt und treibt einen Generator an. Das überschüssige Heißgas wird anschließend über einen Kessel geführt, wodurch Warmwasser für Heizzwecke erzeugt wird. Diese Technik kann in Kombination mit anderen Wärmeerzeugern in der Grundlast eingesetzt werden und Teile des benötigten Eigenstroms zur Verfügung stellen.

Beginnend mit der EEG-Novelle 2012 und endgültig mit der von 2014 ist der Zubau von Stromerzeugungsleistung in Form von Holz(heiz)kraftwerken (ab ca. 300 kW elektrischer Leistung in Form von Dampfkraft- oder ORC Kraftwerken) zum Erliegen gekommen. Eine Chance, diese Technik neu zu beleben und bestehende Anlagen zu erhalten, könnte darin bestehen, sie als Kapazitätsreserve neben den fluktuierenden Photovoltaik- und Windanlagen vorzuhalten.

### 5.3.3 Geothermie

Geothermische Tiefenbohrungen können wirtschaftlich interessant sein, sobald es möglich ist, ergiebige geothermische Quellen zu nutzen. Da auf der Fläche der Gemeinde Wüstenrot aber keine thermischen Anomalien im geothermischen Gradienten zu erwarten sind und man zudem mit der Problematik von anhydrithaltigen Gesteinen ab 70 Metern Tiefe hätte umgehen müssen, wurden keine Untersuchungen in dieser Richtung durchgeführt<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Eine kostenpflichtige Auskunft über geothermische Potenziale bietet für Baden-Württemberg das Informationssystem Oberflächennahe Geothermie (ISONG) unter [www.isong.lgrb-bw.de](http://www.isong.lgrb-bw.de).

Viel Potenzial bietet das Erdreich schon in weit geringerer Tiefe: Erdkollektoren oder Sonden entziehen dem Erdreich bereits wenige Meter unter der Geländeoberkante Wärmeenergie, die in Kombination mit Erdwärmepumpen einen wesentlichen Beitrag zum Heizen und zur Warmwasserversorgung leisten kann. Die Technik ist inzwischen weit verbreitet. Allerdings kann man nicht von einem „geothermischen Potenzial“ im eigentlichen Sinne sprechen, denn die in geringer Tiefe gespeicherte thermische Energie ist Solarenergie, nämlich durch Sonneneinstrahlung erzeugte und im Erdreich gespeicherte Wärme.

Das Projektteam hat darauf verzichtet, ein geothermisches Gesamtpotenzial zu ermitteln, da die Nutzung an geografisch eng begrenzte Vorhaben wie Hausanlagen gebunden ist oder das Potenzial mit horizontalen Erdabsorbern großtechnisch erschlossen werden muss. Wie landwirtschaftlich genutzte Flächen als sogenannte „Agrothermiekollektoren“ genutzt werden können, wird im Projekt in Kombination mit einem „kalten Nahwärmenetz“ für eine ganze Siedlung demonstriert und hinsichtlich der Leistungsfähigkeit untersucht; das ist in Kapitel 9, „Pilotprojekt Plusenergiesiedlung Vordere Viehweide“, näher beschrieben. Aufbauend auf den hier gewonnenen Erfahrungen werden Potenziale zur Umsetzung weiterer Systeme im Gemeindegebiet untersucht.

## 6. Netzgebundene regenerative Wärmeversorgung

Im Ausbau der netzgebundenen Wärmeversorgung liegt ein großes Potenzial für mehr Energieeffizienz und sinkende CO<sub>2</sub>-Emissionen. Wärmenetze machen es möglich, Energie effizienter zu nutzen, erneuerbare Energien einzubinden, Abwärme zu nutzen und über Kraft-Wärme-Koppelung gleichzeitig Strom zu produzieren. Energieträger wie Biomasse, Solarenergie oder Erdwärme können den Anteil fossiler Brennstoffe an der Wärmeversorgung bis auf null reduzieren. Wie in vielen anderen ländlichen Gemeinden auch, erfolgte die Wärmeversorgung in Wüstenrot im Jahr 2012 zum überwiegenden Teil durch fossile Energieträger (vgl. Abbildung 37) und ausschließlich über dezentrale Einzelanlagen. Wärmenetze wurden bis dahin nicht realisiert, obwohl sie auch im ländlichen Raum ihre Vorteile haben.

Prozentualer Anteil an der Wärmeversorgung der Haushalte in Wüstenrot Stand 2012

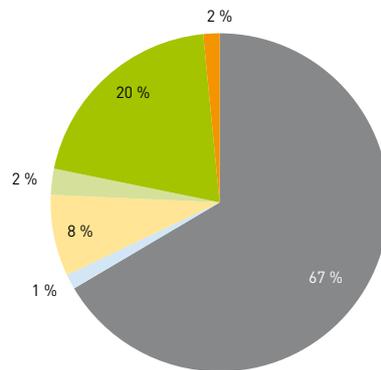


Abb. 37: Zusammensetzung der Wärmeversorgung in Wüstenrot im Jahr 2012 (Quelle: zafh.net)

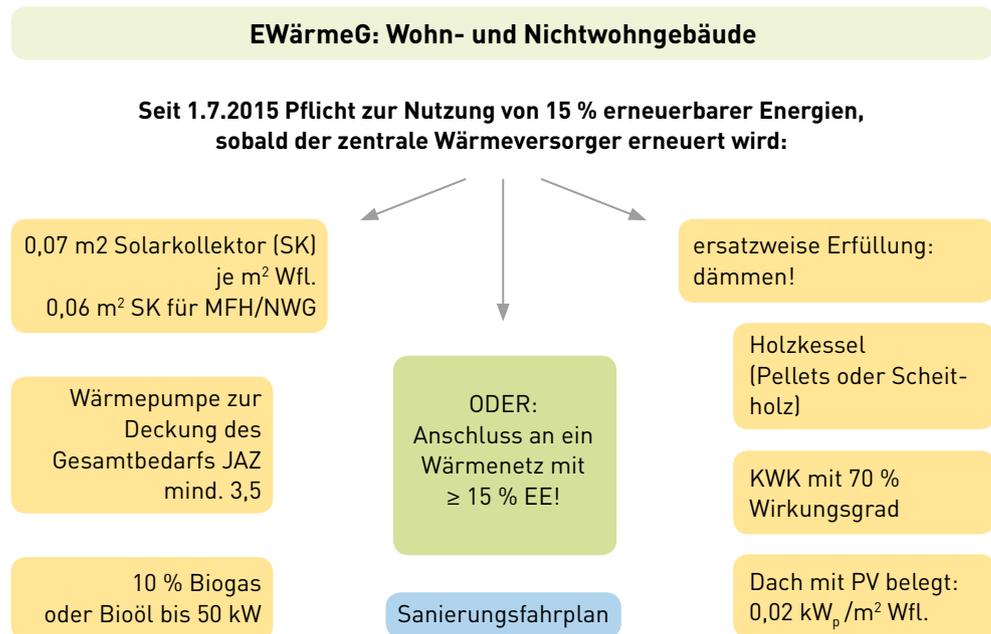
- Öl
- Flüssiggas
- Strom
- Pellets/Hackschnitzel
- Holz
- Geothermie

Spezielle Netze auf Niedertemperaturniveau sowie die bereits genannten kalten Nahwärmenetze zeigen nur minimale Netzverteilungsverluste und eignen sich daher hervorragend für ländliche Regionen mit geringer Bebauungsdichte. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich sonst nicht nutzbare Abwärme, z. B. aus Kühlprozessen, sehr gut als zusätzliche Wärmequelle einbinden lässt. In der Plusenergiesiedlung Vordere Viehweide (→ Kapitel 9) wurde ein Kaltwärmenetz mit geothermischer Wärmenutzung und dem Potenzial zur Einbindung von Abwärme umgesetzt. Von der gängigen Vorstellung eines Netzes mit einem Versorger und vielen Kunden wird man sich verabschieden müssen: Ebenso wie der Strommarkt wird auch der zukünftige Wärmemarkt geprägt sein von aktiven Netzteilnehmern, die nicht nur als Verbraucher, sondern auch als Erzeuger am Netz sind, etwa durch die Lieferung von Abwärme oder Wärmeenergie aus Solarkollektoren.

Auch der Gesetzgeber will den Anteil erneuerbarer Energien in der Wärmebereitstellung erhöhen. Das bundesweit geltende EEWärmeG regelt momentan den Einsatz von erneuerbaren Energien in Neubauten, aber (noch) nicht in Bestandsgebäuden. In absehbarer Zeit ist jedoch mit einer entsprechenden Novelle zu rechnen, da die EU-Gebäuderichtlinie EPBD umgesetzt werden muss. Baden-Württemberg ist das einzige Bundesland, in dem dies mit dem Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) 2008 schon geschehen ist und wo auch bei einer Modernisierung von Heizungsanlagen in Altbauten ein Anteil an erneuerbaren Energien oder entsprechende Ersatzleistungen nachgewiesen werden muss.

Das ist ein guter Grund für baden-württembergische Kommunen, sich mit Umsetzungspotenzialen von regenerativen Energien für Wärmenetze zu beschäftigen. Nach der Novelle vom 1. Juli 2015 gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Anforderungen des EWärmeG zu erfüllen, wie in Abbildung 38 dargestellt ist.

**Abb. 38:** Alternativen für die Erfüllung des baden-württembergischen EWärmeG (Quelle: nach einer Vorlage der UBP-consulting GmbH & Co. KG)



Hier zeigt sich, dass der Anschluss an ein – wenigstens zum Teil – nachhaltig betriebenes Wärmenetz für Hausbesitzer die unkomplizierteste Lösung darstellt, wenn eine Sanierung der Heizungsanlage ansteht. Voraussetzung dafür ist natürlich, dass eine Anschlussmöglichkeit besteht. Ob eine solche Anschlussmöglichkeit geschaffen werden kann, hängt sehr stark

von den örtlichen Verhältnissen ab, wobei die zu erwartende Abnahmedichte pro Meter verlegter Rohrleitung einen entscheidenden Faktor darstellt. Je höher diese ausfällt, d. h., je dichter ein Gebiet bebaut ist, desto mehr Wärme kann pro Meter verlegter Rohrleitung verkauft werden, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Wie hoch die Bebauungsdichte eines Gebiets für einen wirtschaftlichen Betrieb des Nahwärmenetzes ausfallen muss, hängt von weiteren Faktoren und Kernfragen ab:

- Wo werden die Rohrleitungen verlegt? Im Straßenkörper oder unter bestehenden Straßen hindurch fallen hohe Kosten an. Die Verlegung im freien Feld oder durch Gebäude hindurch ist hingegen wesentlich günstiger.
- Wie hoch ist die energetische Qualität der Gebäude? Hohe energetische Qualität bedeutet geringe Wärmeabnahme pro m<sup>2</sup> angeschlossener Wohnfläche. Je höher die energetische Qualität der Gebäude ist, desto höher muss folglich die Bebauungsdichte für einen wirtschaftlichen Ausbau eines Wärmenetzes ausfallen.
- Wie hoch sind die notwendigen Netztemperaturen? Hohe Temperaturen gehen mit hohen spezifischen Wärmeverlusten einher. Altbauten benötigen oft höhere Temperaturen, haben aber auch eine größere Wärmeabnahme.
- Welche Energieträger werden für das Wärmenetz genutzt? Infrage kommen Biomasse, Geothermie, Solarthermie, Abwärme aus BHKW, Industrie o. Ä.
- Wie hoch ist die Anschlussbereitschaft? Wann stehen Ersatzinvestitionen beim Austausch der Altanlagen an? Die Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung der Rahmenbedingungen in einem Versorgungsgebiet ist für einen späteren wirtschaftlichen Betrieb unerlässlich.

Generell kann festgehalten werden, dass es keine einfache Faustregel gibt, anhand der sich entscheiden lässt, ob ein Wärmenetz wirtschaftlich umzusetzen und zu betreiben ist.

Als einfache Regel gilt<sup>16</sup>, dass für einen wirtschaftlichen Betrieb die spezifische längenbezogene Wärmeleistung pro Meter verlegter Trassenlänge bei mindestens 1,5 kW und die längenbezogene spezifische jährliche Wärmeabnahme pro verlegtem Trassenmeter bei mindestens 1.800 bis 3.000 kWh liegen sollte.

Grundsätzlich spielen hier aber viele weitere Faktoren eine Rolle, die nur im Rahmen einer genaueren Betrachtung verlässlich abgewogen werden können. So wirken sich in Netzen beispielsweise einzelne Großabnehmer als Ausgangspunkt und Standort der Heizzentrale sehr positiv aus, da sie einen großen Teil der Anlageninvestition refinanzieren können oder der Bau einer Heizzentrale eingespart werden kann. Größere kommunale Gebäude wie Schulen, Schwimmbäder oder Rathäuser eignen sich dafür besonders gut. Hier lassen sich bereits vorhandene Wärmenetze nutzen, es muss oft nur die Wärmequelle ausgetauscht oder ergänzt werden. Im Rahmen einer Heizungssanierung lassen sich beispielsweise ölbetriebene Heiz-

<sup>16</sup> Vgl. Wolff, D., und Jagnow, K.: Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung; Wolfenbüttel/Braunschweig 2011; nur online unter [www.delta-q.de](http://www.delta-q.de)

anlagen auf eine holz-/solarbetriebene umstellen und ggf. umliegende Gebäude über ein Nahwärmenetz mitversorgen. So kann eine Nahwärmeversorgung auch stufenweise aufgebaut werden.

Als erster Schritt in einem solchen Umstellungsprozess ist zu klären, welche Synergien und Potenziale genutzt werden können. Ein wichtiger Punkt sind der Brennstoff bzw. andere nutzbare Wärmequellen. Da kommunale Flächen ohnehin gepflegt werden müssen, liegt es nahe, die anfallende Biomasse im eigenen Heizwerk zu verfeuern. In vielen Kommunen ist eine solche Kreislaufwirtschaft gut durchführbar (das gilt genauso für Unternehmen, auch hier sind viele Synergien möglich).

Kommunen, die ein solches Projekt ins Auge fassen, können beispielsweise über das KfW-Programm 432 „Energetische Stadtsanierung – Zuschüsse für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanager“ ermitteln, wie im Rahmen eines sogenannten Quartierskonzepts die Energieversorgung (Wärme und Strom) eines Ortsteils optimiert und in ein Gesamtkonzept integriert werden kann. Die Erstellung eines solchen Konzeptes wird bis zu 65 % gefördert. Außerdem kann die Stelle eines Sanierungsmanagers, der die Umsetzung im Quartier anschließend begleitet, von der KfW für bis zu drei Jahre bezuschusst werden.

### 6.1 Pilotprojekt: Biomasse-Nahwärmenetz Weihenbronn mit dezentraler Solareinspeisung

Der Wüstenroter Ortsteil Weihenbronn besteht aus einer Ringstraße, die eine kleine Wohnsiedlung, das Rathausgebäude und den Gebäudekomplex der Feuerwehr verbindet. Die ungewöhnliche Situation, dass ein zentraler Verwaltungssitz außerhalb des Ortskerns liegt, erklärt sich durch die baden-württembergische Gemeindereform Anfang der 1970er Jahre. Damals schlossen sich die Orte Finsterrot, Maienfels, Neuhütten, Neulautern und Wüstenrot zusammen und verlegten anschließend den Sitz des Rathauses und der Feuerwehr in die geografische Mitte auf die „grüne Wiese“.

Zum Projektstart von EnVisaGe stand hier ein kleines Wärmenetz für das Rathaus und die Gebäude der Feuerwehr, des DRK und des Bauhofs zur Verfügung. Die ölbefeuerte Anlage sollte erneuert werden. Der Projektpartner UBP-consulting GmbH & Co. KG übernahm die Projektierung einer Netzerweiterung in das benachbarte Wohngebiet, zusammen mit dem Bau einer neuen Biomasse-Heizzentrale. Das Netz ist auf den kommunalen Großabnehmer mit einem Wärmebedarf von jährlich 285 MWh und die Wohngebäude mit einem Wärmebedarf von insgesamt 67 MWh jährlich ausgelegt. Die Umstellung von Ölheizungen auf das biomassebefeuerte Nahwärmenetz geht mit jährlichen Primärenergieeinsparungen von 386 MWh einher. Zudem sind Kapazitäten für weitere Anschlüsse vorhanden.

Das neue Wärmenetz ging im Herbst 2015 in Betrieb. Die Heizzentrale besteht aus zwei Biomassekesseln (jeweils 120 kW) der Firma kwb Multifire, Typ MF2D120, mit Unterschubbrennsystem (Raupenbrenner), die in einem Container installiert sind. Unmittelbar über dem Heizkessel wurde auf dem Dach eine Solarthermie-Anlage mit einer Fläche von 10 m<sup>2</sup> installiert. Zur Spitzenlast- und Notfallversorgung ist ein Pufferspeicher mit 9 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen neben dem Heizraum aufgestellt.



**Abb. 39:** Heizzentrale mit Speicher (Quelle: Gemeinde Wüstenrot, C. Wiederholl)

Als Brennstoff liefert der nahegelegene Holzhof der UBP trockene Holzhackschnitzel aus der Region. Der Brennstofftransport vom Brennstoffbunker zum Biomassekessel erfolgt über ein Federkern-Austragssystem und Förderschnecken. Die Asche wird mit einer Transportschnecke aus dem Holzkessel transportiert und in einem 40-Liter-Aschekasten gesammelt. Das Wärmenetz ist mit Kunststoffleitungen des Typs „Flexalen 600“ der Firma Thermaflex realisiert. Die erzeugte Wärme wird über das zwischen den kommunalen Gebäuden bereits existierende und ein neu verlegtes, rund 200 Meter langes Wärmenetz zu den Gebäuden geliefert.

Über die Einbindung zweier Solarkollektoren in das System – eine bereits vorhandene private sowie die neu auf der Heizzentrale installierte Anlage – werden Möglichkeiten der dezentralen solarthermischen Einspeisung untersucht.

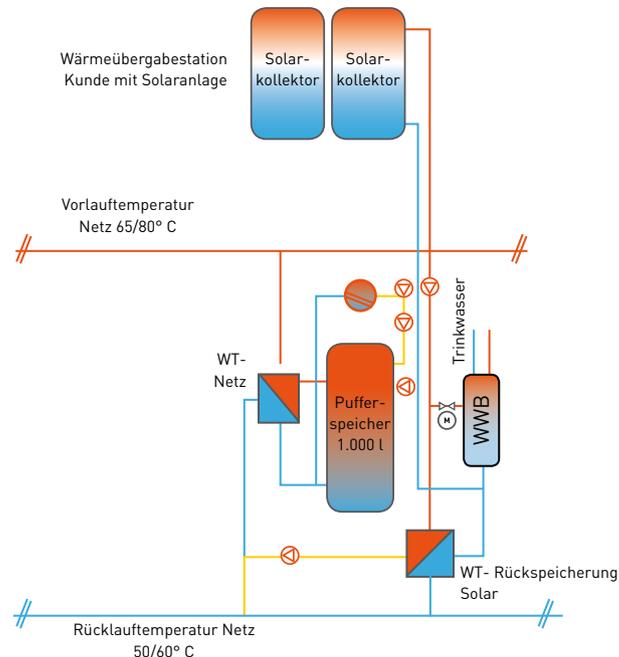
**Tabelle 6:** Solarthermische Anlagen im Projekt Wüstenrot-Weihenbronn

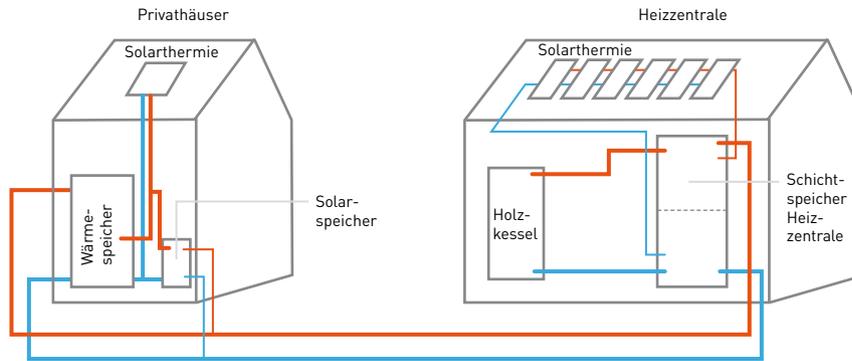
Solarthermie	Privat (10 Jahre)	Heizzentrale (neu)
Aperturfläche in m <sup>2</sup>	7	16
Wirkungsgrad	60 %	80 %
Einstrahlung kWh/a	8.200	19.800
Nutzbare Wärme in kWh/a	4.920	15.840

Der Eigentümer des privaten, bereits existierenden Solarkollektors hatte schon in der Projektierungsphase Interesse daran gezeigt, seine Anlage in das Netz einzubinden. Oft sind Solarkollektoren auf Einfamilienhäusern zu groß konzipiert, so dass vor allem im Sommer viel Wärmenergie ungenutzt verloren geht, was auch hier der Fall war. Mit der solarthermischen Einspeisung ist es möglich, gerade im Sommer, wenn die Anlage überschüssige Wärme produziert und im Netz hohe Verluste vorhanden sind, diese preiswert zu kompensieren und damit Holz zu sparen. Beide Anlagen können somit effizient für das gesamte Netz arbeiten. Die geringsten Verluste ergeben sich aus der Installation direkt auf der Heizzentrale. Im Rahmen des Forschungsprojekts werden beide Einspeisevarianten in der Praxis getestet.

**Abb. 40:** Schaltschema dezentrale solarthermische Einbindung (Quelle: UBP-consulting GmbH & Co.KG)

WWB Warmwasserbereiter  
WT Wärmetauscher





**Abb. 41:** Einbindung der Solarthermie-Anlage ins Netz (Quelle: UBP-consulting GmbH & Co.KG)

Die in der Solarthermieanlage auf der Heizzentrale erzeugte Wärme wird direkt in den Pufferspeicher der Heizzentrale eingespeist. Die private Anlage in der Siedlung lädt zuerst den hausinternen Pufferspeicher. Sobald dieser Speicher voll geladen ist, wird die Wärme in das öffentliche Wärmenetz eingespeist. Die gelieferte Energie wird mit einem Wärmemengenzähler quantitativ erfasst und entsprechend vergütet. So profitiert der Eigentümer, und das Netz kann vor allem in den Übergangszeiten mit weniger Brennstoff betrieben werden. Welche Leistung die Anlage gegenüber herkömmlichen, über den gesamten Jahresverlauf mit Holzhackschnitzeln befeuerten Nachwärmesystemen bietet, wird in der Heizperiode 2015/2016 analysiert werden. Weitere Informationen zur Wirtschaftlichkeit des Systems finden sich in Kapitel 10.2.

## 6.2 Umsetzungsplanung für Biomasse-Nahwärmenetze in der Gesamtgemeinde

In Zusammenarbeit mit der Gemeinde, der kommunalen emw und den Stadtwerken Schwäbisch Hall wurden bereits im Jahr 2012 geeignete Standorte für die biomassebasierte Nahwärmeversorgung auf Wüstenroter Gemarkung diskutiert. Grundsätzlich besteht auf allen Seiten Interesse an der Umsetzung solcher Systeme. Nachdem auch Anwohner den Wunsch nach einem lokalen Nahwärmenetz geäußert hatten, wurden konkrete mögliche Standorte identifiziert und näher untersucht. In näheren Gesprächen mit der Anwohnerschaft stellte sich heraus, dass in einigen Gebäuden die Heizungsanlagen dringend saniert werden müssen und eine Ersatzbeschaffung ohnehin ansteht. Anhand dieser Gespräche und der durchgeführten Simulationen nahm die emw detailliertere Erhebungen zu Bebauungsstruktur und Verteilung des Wärmebedarfs vor.

Zur Wärmebedarfsanalyse der Wohngebäude kam wiederum die an der HFT Stuttgart entwickelte Simulationssoftware SimStadt auf Basis des 3D-Stadtmodells zum Einsatz. SimStadt bietet eine Schnittstelle zur Software STANET<sup>17</sup>, die zur Parametrierung von Wärmenetzen bzw. zur automatisierten Vorplanung der Trassenführung verwendet werden kann. Um die definierten Bereiche zu analysieren, mussten die zugehörigen Gebäude aus dem 3D-Stadtmodell der Gesamtgemeinde gefiltert und in die Simulationsplattform integriert werden. Die Lage der Heizzentrale wird von der Software dabei automatisch so vorgeschlagen, dass sich ein möglichst geringer Abstand zu den Abnehmern ergibt. Um auf örtliche Gegebenheiten reagieren zu können, kann die Position der Heizzentrale in der Software manuell angepasst werden.

Die Konfiguration wird so ausgewählt, dass die Leitungen möglichst entlang von Straßen und grundsätzlich nicht durch Gebäude hindurchgeführt werden. Die Straßengeometrie wird automatisch aus OpenStreetMaps geladen. Der daraus entstehende Graph weist eine Baumstruktur auf, so dass sich für jedes Gebäude genau ein Weg zwischen Heizwerk und Gebäude ergibt. Gleichzeitig werden aus den resultierenden Volumenströmen auch die notwendigen Rohrleitungsquerschnitte ermittelt. Mit diesem Verfahren liegt eine erste Grobplanung vor, die dann schrittweise verfeinert wird. Wenn man die längenbezogene spezifische Wärmeabnahmedichte für jeden Meter Rohrleitung und auch die Leitungsverluste auswertet, wird sehr schnell ersichtlich, wo ein Wärmenetz besonders interessant ist und wo eher nicht.

#### Ortsmitte/Bethanienplatz

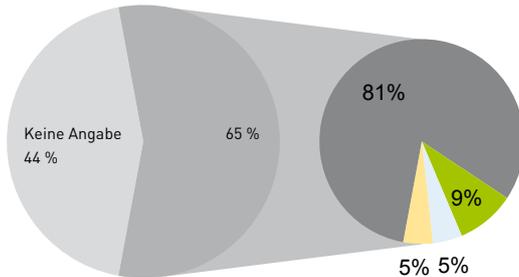
Am Bethanienplatz in der Ortsmitte von Wüstenrot befinden sich mehrere Wohngebäude und Gebäude mit Mischnutzung in räumlicher Nähe zum Schulzentrum Ortsmitte. Die Heizungsanlage des Schulzentrums muss demnächst ausgetauscht werden, ebenso die Ölheizung der ansässigen Kreissparkasse. Besitzer der umliegenden Gebäude haben in Gesprächen bereits ihr großes Interesse an der Umsetzung eines Nahwärmenetzes auf Biomassebasis signalisiert. Demnach ergeben sich für das Gebiet Ortsmitte die in Abbildung 42 dargestellten Ausgangsbedingungen für eine mögliche Umsetzung. Grundlage der Darstellung sind die Daten zu den bestehenden Heizungsanlagen in 77 Gebäuden am Ort.

Auffällig ist, dass der überwiegende Teil (75 %) der Heizungsanlagen mit Öl befeuert wird und älter als 10 Jahre ist. 40 % der Anlagen sind sogar älter als 20 Jahre. Andere Energieträger haben im Gebiet nur einen geringen Anteil. Durch die Umstellung der Wärmeversorgung von dezentralen Systemen auf ein biomassebefeuertes Nahwärmenetz ließen sich deutliche Primärenergieeinsparungen und damit die signifikante Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes erreichen.

---

<sup>17</sup> <http://stafu.de/en>

Heizungsstruktur Ortsmitte



Altersstruktur Heizungen

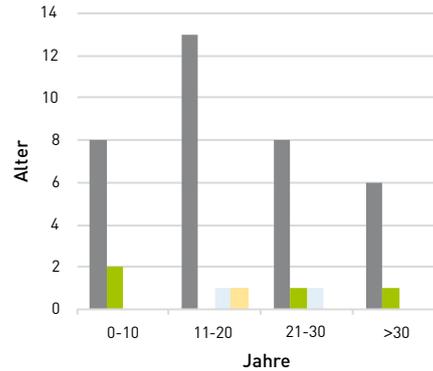


Abb.42: Beschaffenheit der bestehenden Heizungsanlagen für den Bereich Ortsmitte. (Quelle: Heißwolf/Stadtwerke Schwäbisch Hall)

- Öt
- Holz
- Flüssiggas
- Strom

Erste Analysedurchläufe ergaben eine denkbare Netzstruktur bzw. Trassenführung mit einer gesamten Trassenlänge von 4,3 km und einer spezifischen mittleren Wärmeabnahme von 1.720 kWh/(m\*a). Sie ist in Abbildung 43 rechts dargestellt.

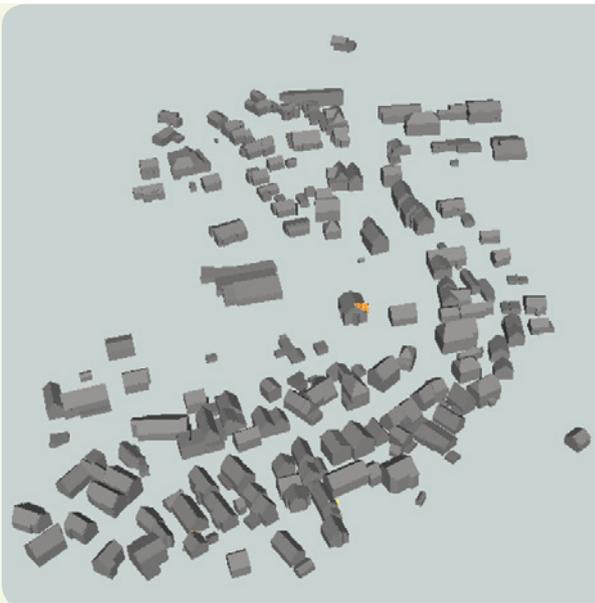
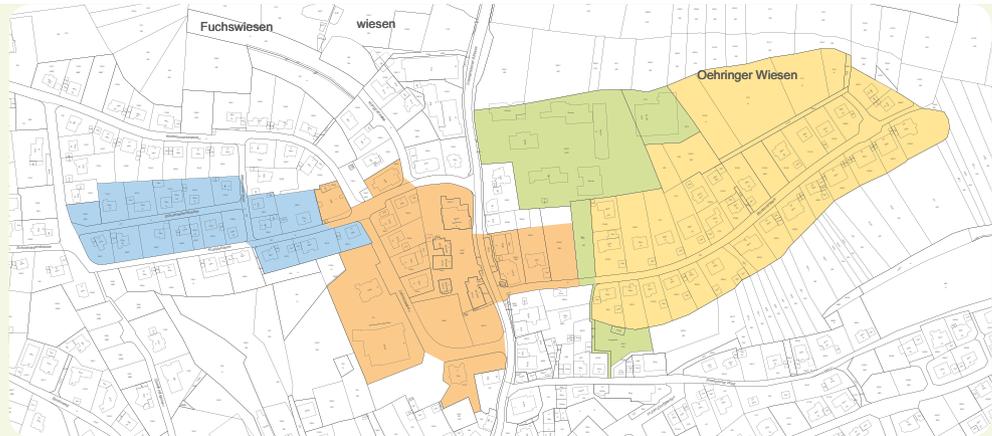


Abb.43: Ausschnitt 3D-Stadtmodell Bethanienplatz (links) und Trassierungsvorschlag (rechts) (Quelle: zafh.net)

Ausgehend von einer Anschlussquote von 100 % für die kommunalen Gebäude und weitere große Verbraucher (u. a. ein Hotel und eine Multifunktionshalle), wurde der in Abbildung 44 gezeigte Fahrplan entwickelt, um das Gebiet zu erschließen.

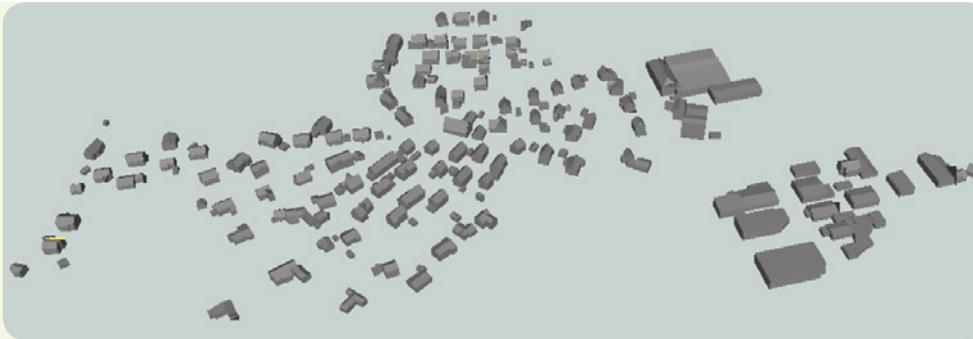
**Abb. 44:** Schwerpunkte im Versorgungsgebiet (grün: Bauabschnitt für das erste Jahr; rot: zweites Ausbaujahr; gelb: drittes Ausbaujahr, blau: viertes Ausbaujahr), (Quelle: Heißwolf/ Stadtwerke Schwäbisch Hall)



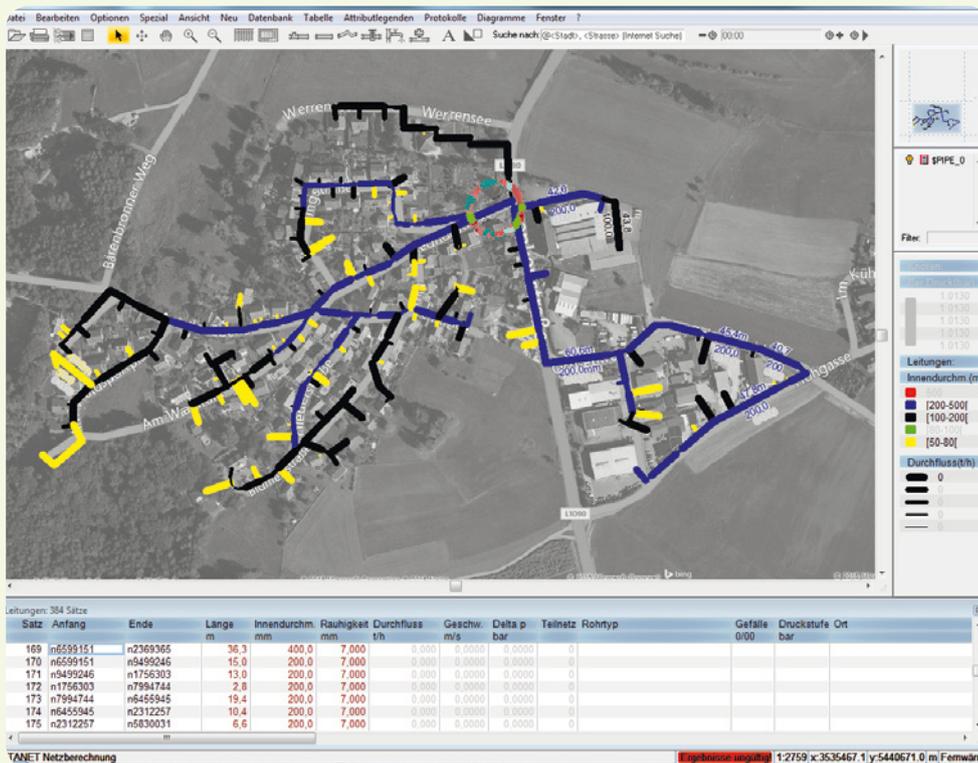
Unter der Annahme, dass sich alle kommunalen Gebäude und die ansässigen Großverbraucher anschließen und bei den Wohngebäuden eine Anschlussquote von 75 % erreicht wird, könnte das Nahwärmenetz realisiert und wirtschaftlich betrieben werden.

#### August-Strobel-Siedlung

In der August-Strobel-Siedlung in Neuhütten, dem zweitgrößten Ortsteil Wüstenrots, besteht ebenfalls breites Interesse an der Umsetzung eines Nahwärmenetzes. Auch für ein angrenzendes Gewerbegebiet ergeben sich aus Betreibersicht interessante Abnahmepotenziale, was den Standort für die Umsetzung insgesamt sehr attraktiv macht. Erste Analysedurchläufe ergaben die in Abbildung 45 gezeigte Netzstruktur bzw. Trassenführung mit einer gesamten Trassenlänge von 4,6 km und einer spezifischen mittleren Wärmeabnahme von 2.070 kWh/(m\*a). In der August-Strobel-Siedlung stellt sich die Situation dennoch vergleichsweise schwieriger dar, da hier zwar größere Betriebe vorhanden sind, diese sich aber nicht durch signifikant hohen Wärmebedarf auszeichnen. In der Siedlung selbst finden sich keine Großabnehmer. Daher wird der Netzausbau in diesem Gebiet derzeit nicht vorrangig analysiert und vorangetrieben.



**Abb. 45:** Ausschnitt 3D-Stadtmodell August-Strobel-Siedlung (oben) und Trassierungsvorschlag in STANET (unten) (Quelle: zafh.net)



Die Wärmeabnahmedichte der Gebiete Ortsmitte und August-Strobel-Siedlung muss in Bezug auf die wirtschaftliche Umsetzbarkeit eines Nahwärmenetzes nach den gängigen Regeln als grenzwertig eingestuft werden. In der weiteren Planung muss also zunächst geklärt werden, welche Anwohner sich definitiv an das Netz anschließen lassen wollen und wann der Anschluss im Hinblick auf eine Erneuerung der Haustechnik in Betracht gezogen wird. Außerdem stellt sich die Frage, welche Großabnehmer einen Netzausbau ermöglichen können, an den sich dann sukzessive weitere Nutzer anschließen. Der Aspekt einer sinkenden Wärmeabnahme im Zuge energetischer Sanierungen spielt ebenfalls eine Rolle.

Die Analyse der Verbraucherstruktur spricht schon deshalb für das Projekt Ortsmitte/Bethanienplatz, weil hier ein Schulgebäude als Großabnehmer vorhanden ist, in dem auch die Heizzentrale platziert werden kann. Auch das Hotel, die Mehrzweckhalle und ein großes Wohn- und Geschäftshaus am Platz lassen prognostizieren, dass hier sukzessive ein Nahwärmenetz auf- und ausgebaut werden kann.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass potenziell für den Ausbau von Wärmenetzen geeignete Siedlungen mithilfe der an der HFT entwickelten SimStadt-Methode sehr schnell analysiert und bewertet werden können. Außerdem ergeben sich wertvolle erste Hinweise zur möglichen Netzföhrung und Netzdimension, zu Netzausbaukosten sowie zur Entwicklung der Wärmeabnahme über die Jahre unter Berücksichtigung von Sanierungen. Letzteres ist entscheidend dafür, ob ein Wärmenetz langfristig wirtschaftlich betrieben werden kann.

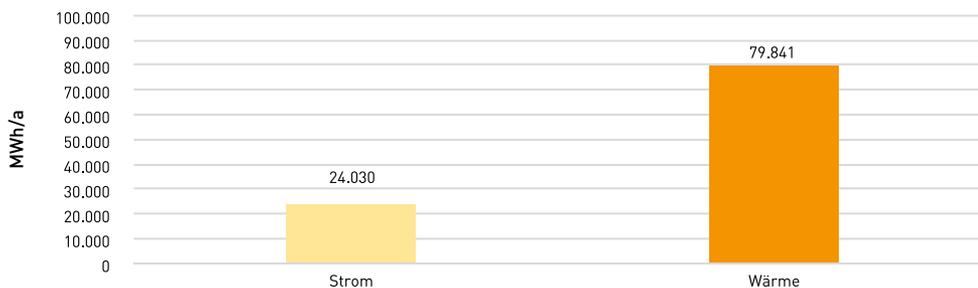
## 7. Wohin gelangt Wüstenrot mit seinem Fahrplan? Energiebilanz II

Bilanzielle Energieautarkie zu erreichen, ist das Ziel der Gemeinde Wüstenrot. Wie weit diese bis 2020 zu erreichen ist, soll dieses Kapitel veranschaulichen.

Nachfolgend wird der Startbilanz aus Kapitel 3 gegenübergestellt, was zu erwarten ist, wenn Energieeinsparungen und Energieeffizienzmaßnahmen realisiert werden (→ Kapitel 4), erneuerbare Energiequellen genutzt (→ Kapitel 5) und eine netzgebundene, regenerative Wärmeversorgung auf- bzw. ausgebaut wird (→ Kapitel 6).

Im Bereich Wärme machen sich die Umsetzung des Nahwärmenetzes Weihenbronn sowie die geplante Wärmelieferung des Holzhofes von jährlich 5 GWh bemerkbar, auch wenn dies über die Gesamtgemeinde nur zu einer Primärenergieeinsparung von rund 11 % im Vergleich zum Bezugsjahr 2012 führt (vgl. Abbildung 46).

### Primärenergie nach Anwendung



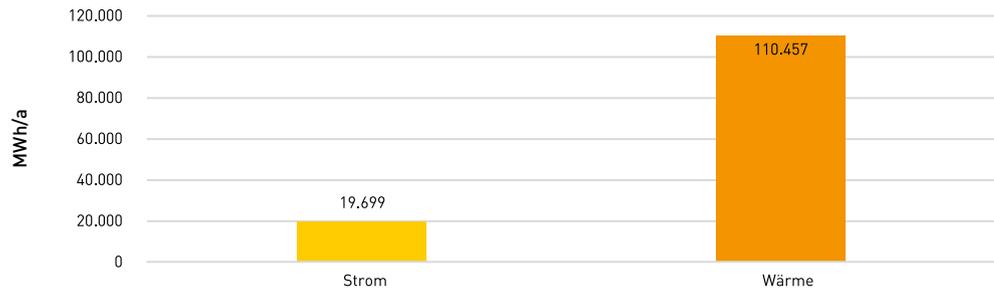
**Abb. 46:** Primärenergiebedarf nach Anwendung im Jahr 2020 (Quelle: zafh.net)

■ Strom  
■ Wärme

Aus endenergetischer Sicht hat sich die Bedarfsstruktur mit 5 % Bedarfsreduktion bei der Wärmeversorgung dagegen nur wenig verändert (vgl. Abbildung 47). Die angesetzten Stromsparmaßnahmen führen auf die Gesamtgemeinde bezogen zu einer Bedarfsreduktion von lediglich 2 %. Zwar konnten und können für die kommunalen Einrichtungen signifikante Einsparungen erzielt werden, gegenüber der großen Anzahl an Wohngebäuden mit entsprechendem Verbrauch jedoch kaum ins Gewicht.

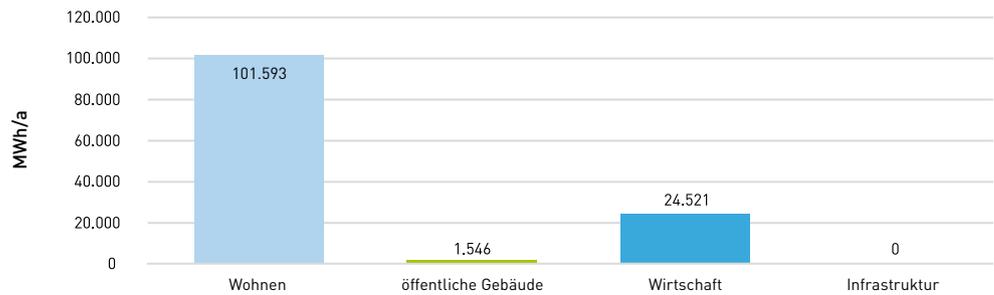
**Abb. 47:** Endenergiebedarf nach Anwendung im Jahr 2020 (Quelle: zafh.net)

### Endenergie nach Anwendung



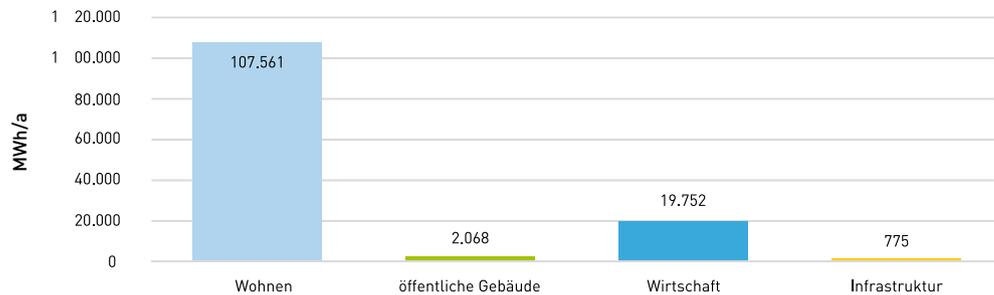
**Abb. 48:** Primärenergiebedarf (Wärme und Strom) für das Jahr 2020 (Quelle: zafh.net)

### Gesamt-Primärenergiebedarf nach Sektoren



**Abb. 49:** Endenergiebedarf (Wärme und Strom) für das Jahr 2020 (Quelle: zafh.net)

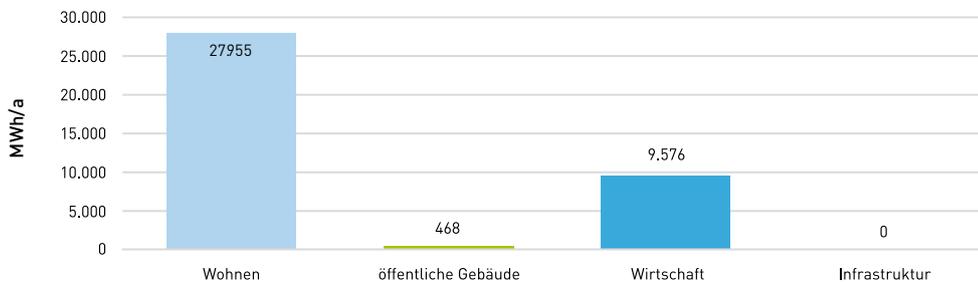
### Gesamt-Endenergiebedarf nach Sektoren



Bei der Verteilung des Primärenergiebedarfs (→ Abbildung 48) und des Endenergiebedarfs (→ Abbildung 49) auf die Sektoren fallen nach wie vor in überwiegendem Maße die Wohngebäude ins Gewicht. Die Einsparungen, die sich hier im Vergleich zum Bezugsjahr 2012 erzielen lassen, belaufen sich auf 10 % primärenergetische Einsparung und 5 % endenergetische Einsparung.

Die Verhältnisse der Sektoren untereinander verändern sich auch hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes kaum (vgl. Abbildung 50). Bis auf die Wohngebäude bleiben alle Sektoren auf nahezu konstantem Niveau. Emissionen wurden durch die infrastrukturellen Einrichtungen bereits 2012 nicht mehr ausgestoßen, für öffentliche Gebäude und Wirtschaft wurden keine Szenarien angenommen. Im Sektor Wohnen machen sich die primär- bzw. endenergetischen Einsparungen bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Referenzjahr 2012 allerdings bemerkbar, sie können unter den getroffenen Annahmen in nur wenigen Jahren um 10 % gesenkt werden.

#### CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren



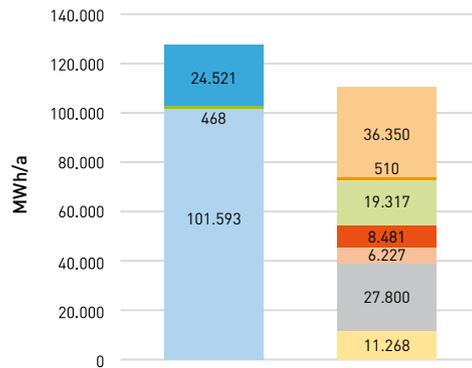
**Abb. 50:** CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren (Quelle: zafh.net)

Dem Energiebedarf bzw. dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß werden nun die jeweiligen Energieerträge und CO<sub>2</sub>-Gutschriften aus der (regenerativ) im Gemeindegebiet produzierten Energie gegenübergestellt. Für 2020 fällt diese Bilanz gemessen am zur Verfügung stehenden Zeithorizont und den überaus ambitionierten Zielen ermutigend aus (vgl. Abbildung 51). Dem Primärenergiebedarf für Wohngebäude, Wirtschaft, öffentliche Gebäude und Infrastruktur von insgesamt 134 GWh steht ein Ertrag (aus PV, Windkraftanlagen, Biogasanlage, Biomasse-KWK, Wärmenetz Weihenbronn und Holzhof) von 110 GWh gegenüber, kann also zu 82 % lokal gedeckt werden. Endenergetisch stehen 133 GWh Bedarf im Jahr 2020 knapp 102 GWh an erzeugter Energie gegenüber. Das entspricht einer Deckung von 76 %.

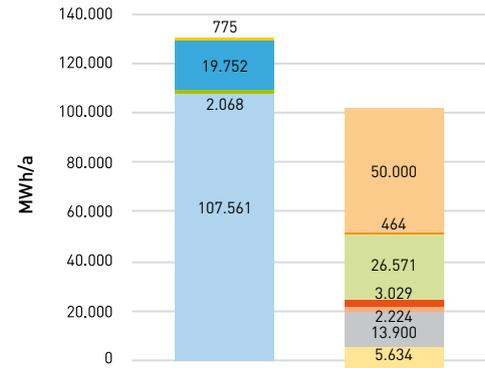
**Abb. 51:** Gegenüberstellung Bedarf–Ertrag, bezogen auf End- und Primärenergie (Quelle: zafh.net)

- Bedarf Wohnen
- Bedarf öffentliche Gebäude
- Bedarf Wirtschaft
- Bedarf Infrastruktur
- Ertrag PV
- Ertrag Windkraftanlagen
- Ertrag aus Biogasanlage
- Ertrag aus Biomasse-KWK
- Deckung über HHS, Pellets, Holz
- Deckung über Wärmenetz Weihenbronn
- Deckung über Holzhof

### Primärenergiebilanz 2020



### Endenergiebilanz 2020

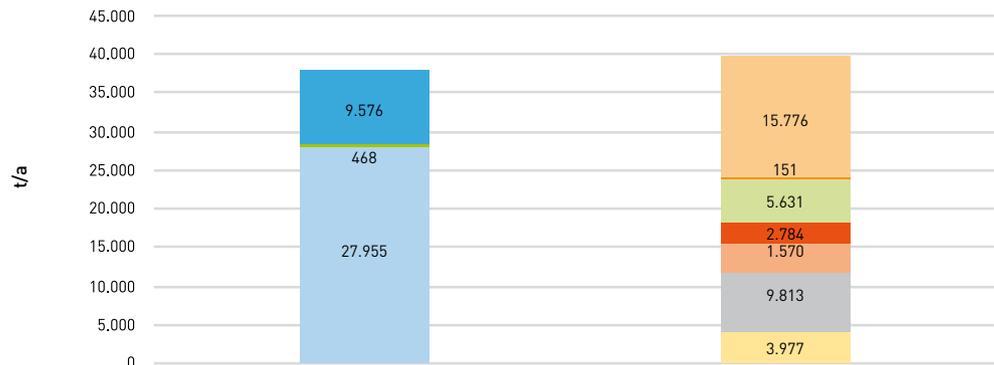


Die CO<sub>2</sub>-Bilanz fällt ebenfalls ermutigend aus (vgl. Abbildung 52). Durch die Versorgung von dezentralen Heizungsanlagen über den Holzhof kann der Ausstoß erheblich reduziert werden – hier liegt die Annahme zugrunde, dass vormals gas- oder ölbefeuerte Heizungsanlagen bis 2020 ausgetauscht und über den Holzhof versorgt werden. Im Bereich Strom kompensieren die Windkraftanlagen einen großen Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen, so dass sich in Wüstenrot mit dem für 2020 geplanten Energieträgermix mit 104% CO<sub>2</sub>-Ausgleich sogar Klimaneutralität erreichen ließe.

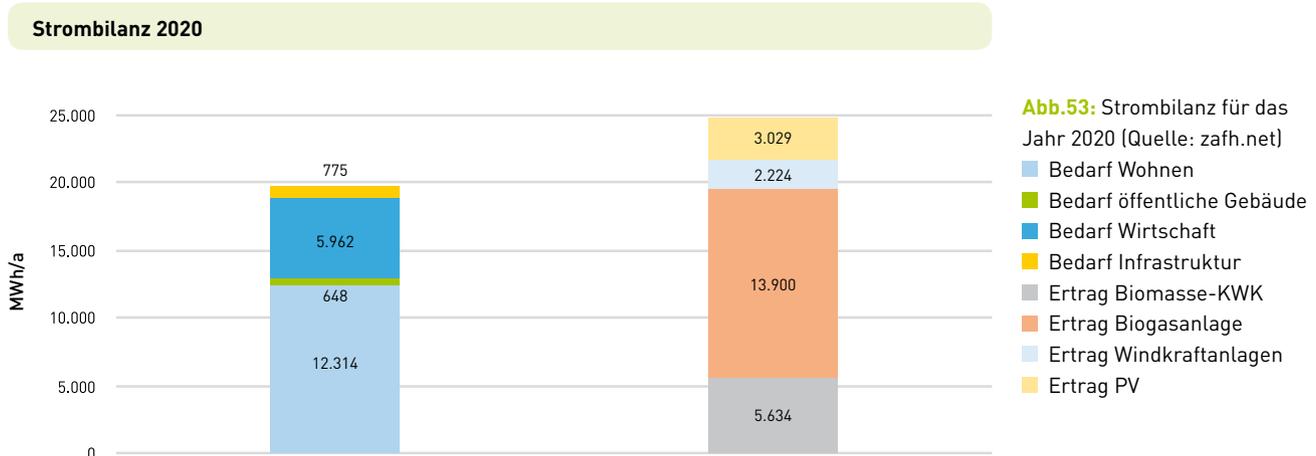
**Abb. 52:** CO<sub>2</sub>-Bilanz für das Jahr 2020 (Quelle: zafh.net)

- Ausstoß Wohnen
- Ausstoß öffentliche Gebäude
- Ausstoß Wirtschaft
- Kompensation über PV
- Kompensation über Windkraftanlagen
- Kompensation über Biogasanlage
- Kompensation über Biomasse-KWK
- Kompensation über HHS, Pellets, Holz
- Kompensation über Wärmenetz Weihenbronn
- Kompensation über Holzhof

### CO<sub>2</sub>-Bilanz 2020



Nach den angesetzten Szenarien reichen die beachtlichen Maßnahmen und Bemühungen also nicht ganz aus, um Stand heute für das Jahr 2020 aus endenergetischer bzw. primärenergetischer Sicht den bilanziellen Plusenergiestandard zu erreichen. Durch die schon umgesetzten und zeitnah geplanten Maßnahmen ließe sich aber sehr wohl der Status einer „Plusstromgemeinde“ oder „Stromexportgemeinde“ erreichen (vgl. Abbildung 53).



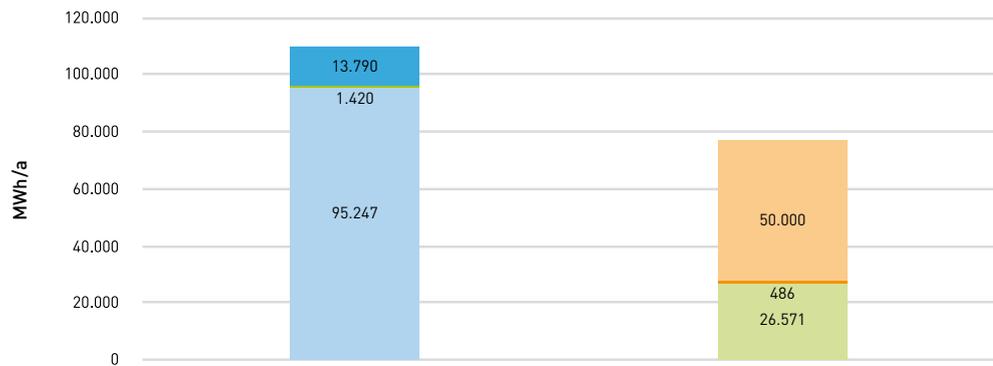
Die Strombilanz fällt mit 126 % Deckung deutlich positiv aus. Dies ist vor allem auf die Windkraftanlagen zurückzuführen, die den Großteil der Strombereitstellung ausmachen. Durch die Umsetzung weiterer Windkraftanlagen auf dem Gemeindegebiet könnten hier durch eine Einzelmaßnahme weitere große Effekte erzielt werden. Des Weiteren sind, wie bereits erwähnt, die zu 100 % regenerativ erzeugten Versorgungsanteile der emw am Wüstenroter Strommarkt nicht einbezogen.

Die Wärmebilanz ist dagegen nach diesem Szenario mit einer regenerativen Deckung von knapp 68 % nicht ausgeglichen (vgl. Abbildung 54). Bspw. ließe sich durch die effiziente Umwandlung des Stromüberschusses in Wärme durch den vermehrten Einsatz von effizienten Wärmepumpen das lokale Wärmedefizit teilweise ausgleichen – in besonderem Maße dann, wenn weitere Stromerzeugungsanlagen umgesetzt würden – und so würde auch insgesamt der Plusenergiestandard erreichbar erscheinen.

## Wärmebilanz 2020

**Abb.54:** Wärmebilanz für das Jahr 2020 (Quelle: zafh.net)

- Ausstoß Wohnen
- Ausstoß öffentliche Gebäude
- Ausstoß Wirtschaft
- Deckung über HHS, Pellets, Holz
- Wärmenetz Weihenbronn
- Deckung über Holzhof



Außerdem bestehen durchaus weitere Potenziale, etwa durch die weitere Erhöhung der Sanierungsraten der Wohngebäude und insbesondere der Priorisierung hierbei (älteste/ineffizienteste Gebäude zuerst). Sie stellen den absolut gesehen bedeutendsten Verbrauchsposten dar. Politische Entwicklungen, vor allem im Hinblick auf den Import fossiler Energieträger, sind schwer bzw. gar nicht abzusehen. Es ist durchaus möglich, dass Verschärfungen der politischen Lage erheblichen Einfluss auf unsere Energieversorgungsstruktur nehmen und gewisse Entwicklungen beschleunigen, andere hingegen abbremsen.

Bis zum Jahr 2020 hat sich die Gemeinde Wüstenrot natürlich einen sehr engen Zeitplan auferlegt, wenn man bedenkt, dass sich die Bundesregierung ähnliche Ziele bis zum Jahr 2050 gesteckt hat. Am Beispiel Wüstenrots wird aber deutlich, dass sich die Energiewende lokal/regional umsetzen lässt, wenn die Entscheidungsträger die Weichen stellen und eine engagierte, interessierte und gut informierte Bevölkerung ein solches Vorhaben aktiv mitträgt. Insofern kann Wüstenrot für viele ähnlich aufgestellte Gemeinden in Deutschland ein Vorbild sein. Dass das Projekt auch international auf Interesse stößt, bewiesen die Besuche diverser Delegationen, etwa aus China, Ungarn, Russland und Japan, in Wüstenrot.

Die Gemeinde selbst hat besonders bei der Umstellung ihrer infrastrukturellen Einrichtungen einen deutlichen Impuls in Richtung Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit gegeben. Effiziente Abwasserbehandlungsanlagen auf dem Stand der Technik, die Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED-Leuchtmittel oder die effiziente und regenerative Wärmeversorgung von Rathaus, Feuerwehr und Bauhof senden wichtige Signale an die Anwohner Wüstenrots. Die Amortisationszeiten der Maßnahmen sprechen ebenfalls dafür, dass sich lokale regenerative Energie effizient und wirtschaftlich einsetzen lässt.

## 8. Planung eines SmartGrid für den Ausbau erneuerbarer Energien in der Gesamtgemeinde

Die Energieerzeugung wird durch den Ausbau regenerativer Energien zunehmend volatil, also schwankender. Zugleich fluktuiert in vielen Fällen der Bedarf an elektrischer Energie. Die existierenden Stromnetze in ihrer heutigen Form sind für dieses wechselhafte Verhalten nicht ausgelegt und stoßen daher oft an ihre Leistungsgrenzen. Da Photovoltaik- und Windenergieanlagen meist auf Verteilnetzebene in das Stromnetz einspeisen, kann es hier zu einer Umkehr der Lastflussrichtung kommen. Das bedeutet, dass der Strom nicht mehr aus dem Hochspannungsnetz in die untergeordnete Netzebene fließt („Top-down-Prinzip“), sondern in entgegengesetzter Richtung („Bottom-up-Prinzip“): Es findet eine Rückspeisung elektrischer Energie aus Verteilnetzen in die Übertragungsebene statt. Da die Verteilnetze bislang für die prognostizierten bzw. gemessenen Lasten in den jeweiligen Versorgungsgebieten ausgelegt wurden, ergeben sich oft Engpässe bei der Integration erneuerbarer Energien. Insbesondere Windparks und große PV-Freiflächenanlagen stellen die Verteilnetzbetreiber vor Herausforderungen. Sowohl auf Übertragungs- als auch auf Verteilnetzebene muss daher über Möglichkeiten nachgedacht werden, die elektrische Infrastruktur flexibler zu machen und so zu stärken, dass auch in Zukunft ein stabiler Netzbetrieb möglich ist. Auf der Ebene des Verteilnetzes wurde für die Gemeinde Wüstenrot eine beispielhafte Lösung entwickelt, die den Zubau erneuerbarer Energien bis zum Erreichen des Plusenergiestatus berücksichtigt. Eine Netzarchitektur mit intelligenter Steuerung und eingebundenen Speichern für die ganze Gemeinde Wüstenrot zu entwickeln, so, wie sie in der Plusenergiesiedlung „im Kleinen“ umgesetzt wird, ist Ziel der in diesem Kapitel beschriebenen Analyse- und Planungsschritte.

### 8.1 SmartGrids: Flexibilisierung des Netzbetriebs durch intelligente Vernetzung von Erzeugung und Verbrauch

Ein viel diskutierter Begriff im Zusammenhang mit der Ertüchtigung des Verteilnetzes ist das „SmartGrid“, also das „intelligente Netz“. Um einen sicheren Netzbetrieb bei geringen Kosten zu ermöglichen, werden hier bewährte und innovative Technologien kombiniert, um das Netz zu flexibilisieren und zu stärken. Bei der klassischen Stärkung der Verteilnetze erfolgt ein physischer Netzausbau. Dabei werden die elektrischen Betriebsmittel wie z. B. Transformatoren, Erdkabel und Freileitungen durch leistungsstärkere Komponenten ersetzt oder ergänzt. Zusätzlich kann über eine Vernetzung aktiver Betriebsmittel<sup>18</sup> auch dynamisch auf das Verteilnetz eingewirkt werden. Dazu sind Kenntnisse über den aktuellen Netzzustand zu je-

<sup>18</sup> Das sind z. B. Verteilungsnetztransformatoren, Spannungsregler, Speicheranlagen, flexible AC-Distribution-Systeme und hybride AC/DC-Netze.

dem Augenblick von entscheidender Bedeutung. Der Netzzustand wird durch Messeinrichtungen erfasst und an den Netzbetreiber kommuniziert. Auf Basis dieser Informationen werden gezielte Handlungsstrategien entwickelt, die Netzengpässe beseitigen und die Netzstabilität aufrechterhalten. Aufgrund der vielfältigen Stellschrauben, durch die Einfluss auf den Netzzustand in einem SmartGrid Einfluss genommen werden kann, ist es möglich, auf unterschiedliche Belastungssituationen jeweils angemessen zu reagieren. Doch insbesondere die Weiterleitung und Verarbeitung der Daten mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnik ist hier das A und O.

Für SmartGrids ergeben sich vielfältige Möglichkeiten und Ansätze für eine innovative Betriebsführung. In Wüstenrot werden einige dieser Ansätze sowohl theoretisch als auch praktisch untersucht. Eine ganz wesentliche Voraussetzung dafür ist der freie Zugriff auf das Verteilnetz, der in Wüstenrot durch die Eigentümerstruktur der Energieversorgung Mainhardt Wüstenrot (emw) als lokaler Netzbetreiberin gegeben ist. Als Anteilseignerin kann die Gemeinde auf die zukünftige Ausgestaltung des Netzes Einfluss nehmen. Im Rahmen des Projekts EnVisaGe werden innovative SmartGrid-Ansätze auch im Neubaugebiet Vordere Viehweide in der Praxis erprobt. Die Erkenntnisse, die dort in Bezug auf die Plusenergiesiedlung gesammelt werden, sollen anschließend auf die gesamte Gemeinde übertragen werden. Für ein solches Vorhaben bedarf es auch entsprechender Anreize für die Stromverbraucher und -erzeuger, um diese in einen netzdienlichen und gesamtwirtschaftlich sinnvollen Netzbetrieb einzubinden.

## 8.2 Integration dezentraler Erzeugungsanlagen durch ein intelligentes Lastmanagement

Der Betrieb eines elektrischen Netzes bringt einige Herausforderungen mit sich. Jeder Leistungsfluss über eine elektrische Leitung ist mit einem Spannungsabfall verbunden. Um an das Stromnetz angeschlossene Geräte zu schützen, sind maximal zulässige Spannungsabweichungen einzuhalten. Des Weiteren sind die elektrischen Komponenten, also die Betriebsmittel in einem Netz, immer hinsichtlich eines maximal zulässigen Stromflusses dimensioniert. Auch hier gilt, dass diese Grenzwerte nicht oder nur sehr kurzfristig überschritten werden dürfen, um eine Zerstörung der Netzelemente zu verhindern; aus diesen maximal zulässigen Strömen ergibt sich die Übertragungskapazität der einzelnen Betriebsmittel. Wenn nun hohe dezentrale Einspeiseleistungen aus Photovoltaik- und Windenergieanlagen hinzugebaut werden, können sich an Tagen mit hohem Windaufkommen bzw. starker Sonneneinstrahlung hohe Lastflüsse in Richtung der übergeordneten Hochspannungsebene ergeben. Für diese Fälle sind z. B. starke Spannungsanstiege an weit vom Umspannwerk entfernten Netzausläufern zu erwarten. Diesen Herausforderungen kann mit verschiedenen Technologieoptionen begegnet werden, die in Tabelle 7 aufgeführt sind und im Folgenden näher beschrieben werden.

Technologieoption	Einflussnahme auf
Kabel-/Leitungsausbau	Leistungsfluss/Netzspannung
Abregeln erneuerbarer Energieanlagen	Leistungsfluss
Blindleistungsmanagement	Netzspannung
Regelbare Ortsnetztransformatoren	Netzspannung
Lastmanagement	Leistungsfluss
Batteriespeicher	Leistungsfluss/Netzspannung

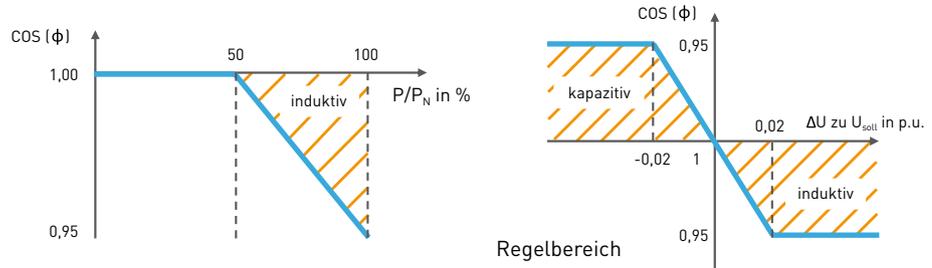
**Tabelle 7:** Aktuell verfügbare Technologieoptionen für den Verteilnetzausbau

**Kabel-/Leitungsausbau:** Der Kabel- und Leitungsausbau ist ein herkömmliches Verfahren zur Netzertüchtigung. Hierbei werden die Übertragungskapazitäten erweitert, indem die bestehenden Stromleiter gegen Stromleiter größeren Querschnitts ausgetauscht oder um weitere Stränge ergänzt werden. So können die maximal übertragbare Leistung gesteigert und der im Netz auftretende Spannungsabfall oder -anstieg verringert werden.

**Abregeln der erneuerbaren Energieanlagen:** Anlagen abzuregeln kann in Fällen starker dezentraler Einspeisung eine Überlastung des Verteilnetzes verhindern. Mit jeder Drosslung der Anlagenleistung sind jedoch Opportunitätskosten verbunden, also entgangene Gewinne. Zudem soll ein möglichst großer Anteil der erneuerbaren Energie vor Ort genutzt werden, um den Eigenbedarf zu decken. In den weiterführenden Analysen wird daher eine Abregelung der Anlagen vorerst nicht berücksichtigt. Stattdessen werden Ausbaumaßnahmen betrachtet, die das Netz der emw für die Aufnahme des gesamten Potenzials ertüchtigen.

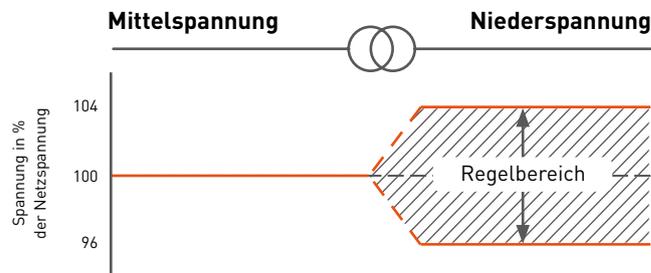
**Blindleistungsmanagement:** Mit dem Zubau von Photovoltaikanlagen und Windenergieanlagen in Verteilnetzen nimmt auch die Anzahl an installierten Wechselrichtern zu. In modernen PV-Wechselrichtern kommt Elektronik zur Steuerung der Leistungsabgabe zum Einsatz. Diese Leistungselektronik kann auch genutzt werden, um die Spannung am Netzanschlusspunkt zu beeinflussen. Dies geschieht, indem Blindleistung bereitgestellt wird. So ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten für den Verteilnetzbetreiber, um die Spannungen im Netz gezielt zu regeln. Gemäß den aktuellen Richtlinien müssen alle Wechselrichter neu installierter Anlagen leistungsabhängig Blindleistung bereitstellen können. In Abbildung 55 sind zwei verschiedene Kennlinien zur Bereitstellung von Blindleistung dargestellt. Alternativ werden globalere Ansätze verfolgt, die den gesamten Netzzustand berücksichtigen und somit einen optimierten Blindleistungseinsatz im gesamten Netz ermöglichen. Dadurch werden theoretisch die Leitungen weniger stark ausgelastet, und Verluste können reduziert werden.

**Abb. 55:** Beispielhafte Kennlinien zur lokalen Spannungsregelung durch Blindleistungsbereitstellung (Quelle: ifk)



**Regelbare Ortsnetztransformatoren:** Über Stufensteller kann bei regelbaren Ortsnetztransformatoren das Übersetzungsverhältnis von Primär- zu Sekundärspannung eingestellt werden, wie in Abbildung 56 zu sehen ist. Diese regelbaren Transformatoren werden in den Ortsnetzstationen installiert und verbinden die Mittel- mit der Niederspannungsebene. Spannungsänderungen auf Mittelspannungsebene können über Schaltmaßnahmen am Transformator ausgeregelt werden und wirken sich somit nicht auf die Niederspannungsebene aus. Ein Austausch aller Ortsnetztransformatoren würde es daher ermöglichen, Mittel- und Niederspannungsebene hinsichtlich der Spannungshaltung zu entkoppeln. Alle Ortsnetztransformatoren gleichzeitig auszutauschen, ist jedoch wirtschaftlich kaum zu vertreten; der Austausch müsste sukzessiv und der Lebensdauer der alten Transformatoren entsprechend erfolgen. Ein Tausch bietet sich für Stationen kritischer Niederspannungsnetze an. Insbesondere bei langen Sticleitungen können regelbare Transformatoren zusammen mit einer Spannungsüberwachung zu einem zuverlässigen Betrieb beitragen.

**Abb. 56:** Prinzip des „regelbaren Ortsnetztransformators“ (Quelle: ifk)



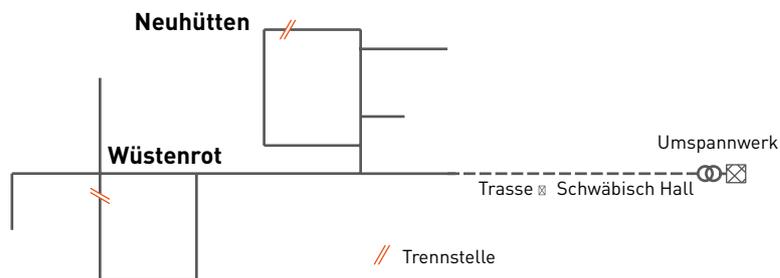
**Lastmanagement:** Durch aktives Lastmanagement können vom Verteilnetzbetreiber, ähnlich wie beim Konzept der Abregelung, kritische Netzsituationen vermieden werden. In diesem Fall wird Einfluss auf die Verbraucherseite genommen. Insbesondere Standorte mit großen Verbrauchern, bei denen ein zeitlich flexibler Einsatz möglich ist (z. B. Kühlhäuser), können von aktivem Lastmanagement profitieren. Da eine Beteiligung am Lastmanagement freiwillig

erfolgt, sind Anreize notwendig, um Verbraucher zu einem netzdienlichen Energiebezug zu bewegen. Ziel ist hier ein vernetzter und optimierter Betrieb von Lasten (und Speichern) hinsichtlich einer maximalen Eigenbedarfsdeckung im Netz der emw.

**Batteriespeicher:** Batteriespeicher können sowohl im Rückspeise- als auch im Starklastfall die Leistungsflüsse im Verteilnetz reduzieren. Im Falle einer sehr hohen dezentralen Einspeiseleistung bei niedriger Last<sup>19</sup> nehmen die Speicher elektrische Energie auf. Im Starklastfall, also bei geringer Einspeiseleistung und hoher Last, kann die gespeicherte Energie wieder abgegeben werden. Zusätzlich ist, wie bei Photovoltaikanlagen, ein aktives Blindleistungsmanagement möglich, wenn der Batteriespeicher über einen Wechselrichter angebunden ist.

### 8.3 Das Wüstenroter Stromnetz: Strukturmerkmale und Ausbau-szenarien

Das Netz der emw im Versorgungsgebiet der Gemeinde Wüstenrot weist typische Charakteristika eines ländlich geprägten Verteilnetzes auf. Das Netz besteht im Wesentlichen aus zwei offen betriebenen Mittelspannungsringen, die über eine gemeinsame Trasse vom ca. 25 km entfernten Umspannwerk Stadtheide in Schwäbisch Hall aus versorgt werden, wie schematisch in Abbildung 57 dargestellt ist. Durch den offenen Betrieb der Ringe können Leitungsverluste durch Ringströme verhindert werden. Im Bedarfsfall (z. B. Störung auf einem 20-kV-Kabel) können einzelne Gebiete durch Schalten der Trennstellen von der anderen Seite aus versorgt werden. Insbesondere auf den Stickleitungen zu entfernt gelegenen Ortsteilen sind ausgeprägte Spannungsabweichungen zu erwarten.



**Abb. 57:** Schematische Darstellung des Netzes der emw (Quelle: ifk)

<sup>19</sup> Etwa starke Sonneneinstrahlung und starker Wind in einem Zeitraum, in dem sehr wenig Abnahme erfolgt, z. B. an einem Werktagsvormittag im Sommer.

Um den möglichen Zubau erneuerbarer Energien im Netz der emw erfassen zu können, wurden die Potenziale für Wind, Photovoltaik und Biomasse im Gemeindegebiet Wüstenrot abgeschätzt. Neben dem Potenzial dezentraler Erzeugungsleistung muss auch die geografische Verortung der zu erwartenden Einspeiseleistung bestimmt werden. Ein von der Gemeinde in Auftrag gegebenes Gutachten weist zwei mögliche Standorte für Windenergieanlagen auf der Wüstenroter Gemarkung aus; dort ist jeweils der Bau von zwei 3-MW-Anlagen möglich. Zudem wird in den Netzanalysen eine Biomasse-Machbarkeitsstudie berücksichtigt, die ein Potenzial für eine Biogasanlage mit einer Gesamtleistung von 325 kWel am Standort Weißenbrunn ausweist. Einen weiteren wesentlichen Baustein der erneuerbaren Energieversorgung bilden auf Dachflächen installierte Photovoltaikanlagen. Das Gesamtpotenzial wurde mithilfe des 3D-Stadtmodells des `zafh.net` ermittelt (siehe Kapitel 5.1). Hierfür wurden Dachflächen aufgrund ihrer Dachneigung sowie des Azimuts im Hinblick auf ihre Eignung untersucht. Ergebnis der Berechnungen ist die Leistung aller auf Dachflächen installierbaren Photovoltaikanlagen. Insgesamt wird von einem Potenzial von ca. 9,6 MW an installierten Photovoltaikanlagen ausgegangen, was nahezu dem dreifachen Wert der maximalen Netzlast von ca. 3,5 MW entspricht. Um den Netzzustand für die Integration dieser EE-Potenziale beurteilen zu können, werden Netzanalysen anhand verschiedener Ausbauszenarien durchgeführt:

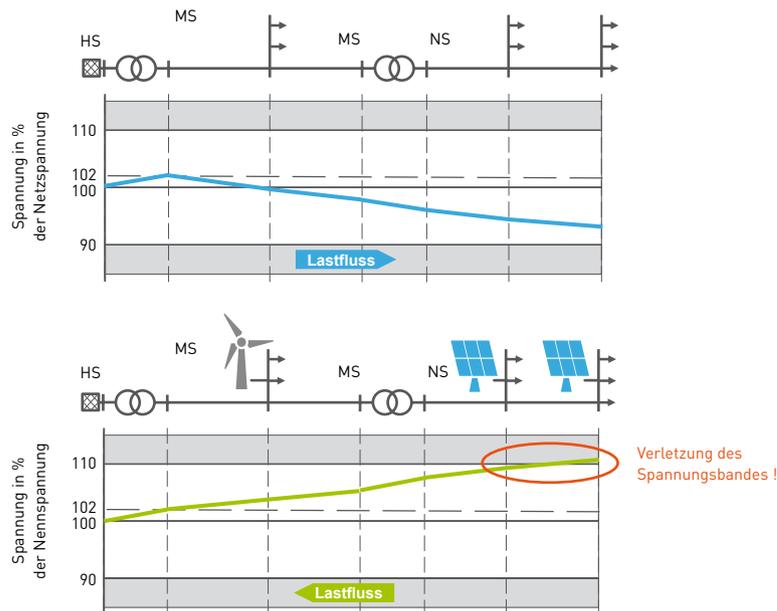
- Szenario 1: PV-Potenzial nach Dachflächen
- Szenario 2: PV-Potenzial mit Windkraft (zwei mögliche Standorte)
- Szenario 3: PV-Potenzial mit Windkraft und Biomasse-BHKW

Hierfür wurde ein Netzmodell des 20-kV-Netzes des Versorgungsgebietes erstellt. Die geografische Lage der Einspeisung des erneuerbar generierten Stroms wurde bestimmt und dem jeweils am nächsten liegenden Mittelspannungs-Netzknoten zugewiesen. Mithilfe einer Lastflussberechnung können nun Leistungsflüsse und Spannungen im Netz berechnet werden. Bei einem Zubau dezentraler Energieversorgungsanlagen in dieser Größenordnung sind für das betrachtete Netzgebiet sowohl Überlastungen der Betriebsmittel als auch starke Abweichungen der Spannungen vom Sollwert zu erwarten. Die Lastflussberechnung ermöglicht eine quantitative Betrachtung. Weiter unten in diesem Kapitel werden auch optimierende Lastflussberechnungen vorgestellt, mit deren Hilfe nicht nur der Netzzustand berechnet, sondern zugleich auch adäquate Gegenmaßnahmen zur Vermeidung kritischer Netzsituationen ermittelt werden können.

## 8.4 Netzanalyse für verschiedene Szenarien

Die Thematik der Netzanalyse ist gut erforscht und die Grundlagen der Lastflussberechnung sind in zahlreichen Büchern veröffentlicht. Lastflussrechnungen sind ein gängiges Werkzeug zur Auslegung von Stromnetzen und ermöglichen es, mögliche Engpässe im Betrieb zu identifizieren. Wenn erneuerbare Energieversorgungsanlagen zugebaut werden, ändert sich die Planungsgrundlage jedoch vollständig. Da die Netzlasten statistisch relativ gut erfasst und beurteilt werden können, ist die Auslegung von Netzen ohne dezentrale Einspeisung nach der

maximalen Last meist ausreichend. Oft werden die Kabel-/Leitungsstränge stärker dimensioniert, um zum einen Spannungsabweichungen zu verringern und zum anderen die Leitungsverluste zu reduzieren. Mit einer Transformation vom „Top-down-Prinzip“ hin zum „Bottom-up-Prinzip“ müssen die Auslegungskriterien allerdings neu formuliert werden. Die maximalen Leistungsflüsse ergeben sich dann häufig nicht mehr über die Lasten, sondern resultieren aus der maximalen zu erwartenden Einspeisung. Zudem ändert sich das Verhalten hinsichtlich der Spannungsabweichungen: Während bei einem Netz mit reinem Lastverhalten die Spannung entlang der Netzweige abfällt, ist bei einem Netz mit Einspeisung und Lasten das Verhalten der Spannung nicht mehr eindeutig bestimmt. Für eine ausreichend gute Prognose benötigt man nun sowohl detaillierte Wetterdaten als auch die genauen Einspeisepunkte und die Nennleistung der Energieversorgungsanlagen. Insbesondere im Hinblick auf die Spannungshaltung erschwert dies den stabilen Netzbetrieb erheblich. In Verteilnetzen, die ausschließlich Lasten versorgen, ist es oft ausreichend, den Transformator an der Übergabestelle von Hoch- zu Mittelspannung entsprechend einzustellen. Hier kann über das Übersetzungsverhältnis der Spannungen direkt Einfluss auf das Spannungsniveau der Mittelspannungsebene genommen werden. Wird die Spannung am Übergabepunkt erhöht, kann so der Spannungsabfall hin zu den entlegeneren Netzgebieten kompensiert werden (siehe Abbildung 58). Wird diese Strategie in Verteilnetzen genutzt, die sowohl Einspeisung als auch Lasten aufweisen, ist nicht mehr auszuschließen, dass sich die Spannungen an den Netzausläufern außerhalb des vorgeschriebenen Spannungsbandes befinden (siehe Abbildung 59).



**Abb. 58:** Schematische Darstellung des Spannungsabfalls entlang der Netzweige im Starklastfall (Quelle: ifk)

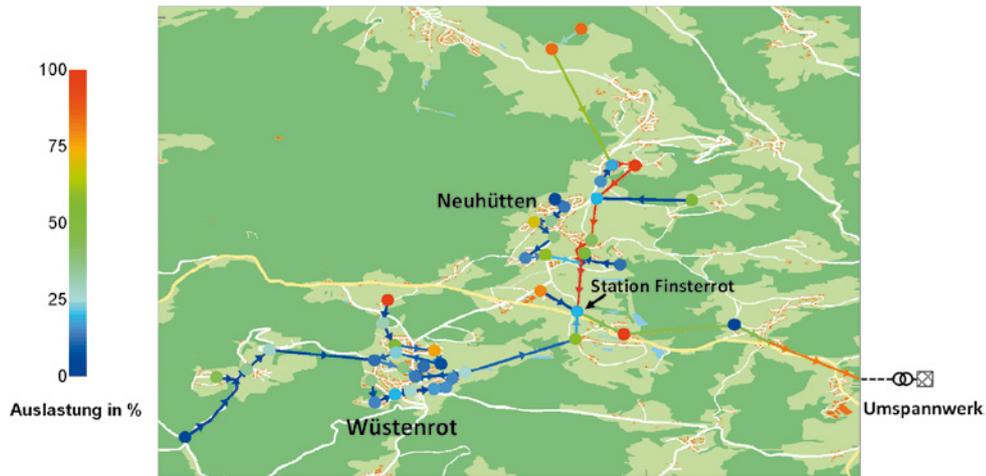
**Abb. 59:** Schematische Darstellung des Spannungsanstiegs entlang der Netzweige bei starker Einspeisung (Quelle: ifk)

Ein wesentlicher Punkt bei der Modellierung eines Verteilnetzes sind die zu Verfügung stehenden Daten. Da, wie bereits beschrieben, Mittel- und Niederspannungsnetze auf Grundlage der maximal zu erwartenden Lastflüsse ausgelegt werden, muss der genaue Netzzustand nicht zu jedem Zeitpunkt bekannt sein. Ein probates Mittel, um dennoch den Zeitpunkt maximaler Lasten bestimmen zu können, sind standardisierte Lastprofile. Diesen Energiebedarfsprofilen liegt die Annahme zugrunde, dass sich bei einer genügend großen Anzahl an betrachteten Verbrauchern die variierenden Lasten ausgleichen und sich charakteristische Bedarfsprofile für Haushalt, Industrie und Gewerbe sowie landwirtschaftliche Betriebe ergeben. Demzufolge ist in einem Netz mit reinen Lasten der Starklastfall relativ genau prognostizierbar. Kommen nun dezentrale Erzeugungsanlagen hinzu, wird eine Prognose der Lastflüsse erschwert. Um dennoch einen stabilen Netzbetrieb gewährleisten zu können, werden die Verteilnetze nach entsprechenden „Worst-Case-Szenarien“ ausgelegt. Ein solches Szenario wäre eine maximale Einspeisung aller dezentralen Erzeuger bei gleichzeitig minimaler Netzlast. Um eine Analyse der einzelnen Szenarien durchführen zu können, sind neben den Lasten und der Einspeisung aus dezentralen Energieversorgungsanlagen auch die elektrischen Spezifikationen der Netzbetriebsmittel notwendig. In der eigentlichen Lastflussberechnung wird ein Gleichungssystem gelöst, das sowohl die Erzeugung und den Verbrauch als auch die elektrischen Widerstände des gesamten Netzes berücksichtigt. Um eine möglichst einfache Interpretation der Ergebnisse zu gewährleisten, sind die Lastflüsse und Spannungen grafisch dargestellt. Dabei wurde für jeden Netzknoten die tatsächliche geografische Lage ermittelt und diese entsprechend auf einer Karte des Versorgungsgebietes<sup>20</sup> abgebildet. In Abbildung 60 sind die Lastflüsse für einen Fall extremer Rückspeisung gemäß der maximal angenommenen installierten Einspeiseleistung dargestellt. Während die Punkte die Auslastung der Ortsnetztransformatoren abbilden, geben die Pfeile die Lastflussrichtung wieder. Wie für die Auslastung der Betriebsmittel sind in Abbildung 61 auch die Spannungsverläufe über die Leitungen und Kabel farblich dargestellt. Anhand der Farbverläufe kann die kontinuierliche Änderung der Spannung entlang der Leitungen und Kabel nachvollzogen werden. Während für die Lastflüsse hier die Auslastung der Betriebsmittel prozentual zu ihrer theoretischen Maximallast angegeben ist, wird die Spannung üblicherweise bezogen auf die Nennspannung per Unit (p.u.) dargestellt. Im tatsächlichen Netzbetrieb können die elektrischen Komponenten kurzfristig auch höheren Leistungsflüssen oder Überspannungen ausgesetzt sein. Eine andauernde Überlastung kann allerdings die Lebensdauer drastisch reduzieren oder aber bei sehr hohen Überspannungen bzw. Überlasten auch zur Zerstörung der Betriebsmittel führen.

Hinsichtlich der Lastflüsse (siehe Abbildung 60) stellen sich im abgebildeten Rückspeisefall Überlastungen vom Anschlusspunkt der Windenergieanlagen hin zur Station Finsterrot ein. Betrachtet man die Spannungen der Netzknoten (siehe Abbildung 61), erkennt man, dass diese zu den Netzausläufern hin überhöht ist. Die maximale Abweichung zur Sollspannung an der Übergabestelle beträgt hier ca. 5 %, was eine deutliche Spannungsanhebung darstellt. Da

---

<sup>20</sup> Quelle Kartengrafiken: OpenStreetMap, veröffentlicht unter ODbL



**Abb. 60:** Grafische Darstellung der Auslastung der Betriebsmittel und der Lastflüsse im extremen Rückspeisefall (Quelle: ifk)



**Abb. 61:** Grafische Darstellung der Spannungsverläufe des Netzgebietes Wüstenrot im extremen Rückspeisefall (Quelle: ifk)

dezentrale Erzeugungsanlagen sowohl auf Mittel- als auch auf Niederspannungsseite angeschlossen werden können, wird für die folgenden Betrachtungen der konservativere Spannungsgrenzwert der Mittelspannungsrichtlinie herangezogen. Diese Richtlinie fordert, dass die dezentrale Einspeisung zu einer Spannungsabweichung von maximal 2 % führen darf. Sowohl zur Einhaltung des Spannungskriteriums als auch zur Vermeidung von Überlastungen der Kabel und Leitungen muss das Netz ausgebaut bzw. in den Netzbetrieb eingegriffen werden.

Mit dem Ziel, den Netzausbau zu minimieren, wird eine optimierende Lastflussberechnung erstellt. Hierbei geht das eigentliche Netzmodell in die Nebenbedingungen der Optimierung ein. Die Zielfunktion wird dann dem Optimierungsziel entsprechend angepasst. So ergeben sich unterschiedliche Anwendungsgebiete für die optimierende Lastflussberechnung. Im Projekt EnVisaGe werden drei verschiedene Optimierungsprobleme betrachtet:

- maximal integrierbare dezentrale Erzeugungsleistung bei optimaler geografischer Verteilung,
- notwendiger Leitungszubau, um bei gegebener dezentraler Einspeisung die Grenzwerte hinsichtlich Spannung und Betriebsmittelauslastung einzuhalten, und
- notwendiger Zubau von Batteriespeichern zur Einhaltung der Grenzwerte hinsichtlich Spannung und Betriebsmittelauslastung bei gegebener dezentraler Einspeisung.

Die maximal integrierbare dezentrale Erzeugungsleistung entspricht der maximal möglichen Gesamtleistung aller dezentralen Energieversorgungsanlagen. Hierbei wird ein Rückspeisefall bei maximaler Einspeisung und minimaler Netzlast zugrunde gelegt. Die Netzrestriktionen, wie maximale Spannungsabweichungen und Lastflüsse, müssen dabei eingehalten werden. Diese Analyse findet hinsichtlich des aktuellen Netzzustandes statt. Ein Netzausbau ist hier also nicht berücksichtigt.

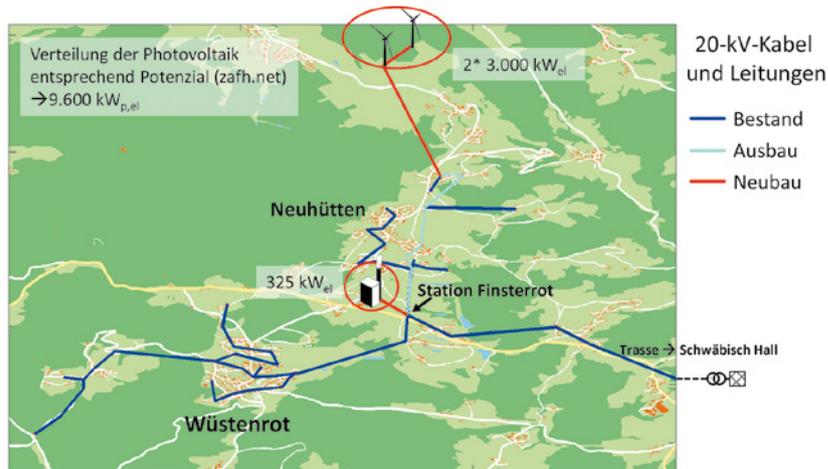
Der notwendige Leitungs- bzw. Kabelzubau entspricht einem Minimum zu installierender Übertragungskapazität auf das gesamte Netz hin betrachtet. Ziel ist, die dezentrale Erzeugung bei gleichzeitig möglichst geringer Spannungsanhebung einzubinden.

Der notwendige Zubau von Batteriespeichern entspricht dem Minimum der zusätzlich benötigten Lasten oder Einspeiser bei einem definierten Netzausbaugrad. Auch diese Analyse findet hinsichtlich des derzeitigen Netzzustandes statt. Das Optimierungsproblem besteht hier in der Minimierung der insgesamt zugebauten Speicherleistung bei gleichzeitiger Erfüllung der Nebenbedingungen.

## 8.5 Technische Analyse der Szenarien in Bezug auf das Stromnetz

Für die technische Analyse werden mehrere Szenarien definiert, die sich hinsichtlich des Zubaus dezentraler Energieversorgungsanlagen unterscheiden. Die Szenarien bauen auf den Potenzialanalysen auf, die in Kapitel 5 beschrieben sind. Hinsichtlich der Windenergieanlagen wird der dort favorisierte Standort berücksichtigt. Das BHKW wird als wärmegeführt betrachtet und speist daher im Worst-Case-Szenario auch bei starker Rückspeisung in das Stromnetz ein. Für die Photovoltaikanlagen wird eine Teilnutzung des gesamten PV-Potenzials angenommen. Zusammen mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor, der aus der Ausrichtung der einzelnen Anlagen resultiert, ergibt sich hier eine maximale Einspeisung von 50 % des gesamten Dachflächenpotenzials. Die Netzdaten werden von der emw bereitgestellt. Abgebildet wird das gesamte 20-kV-Netz der emw für das Versorgungsgebiet Wüstenrot. Der in Abbil-

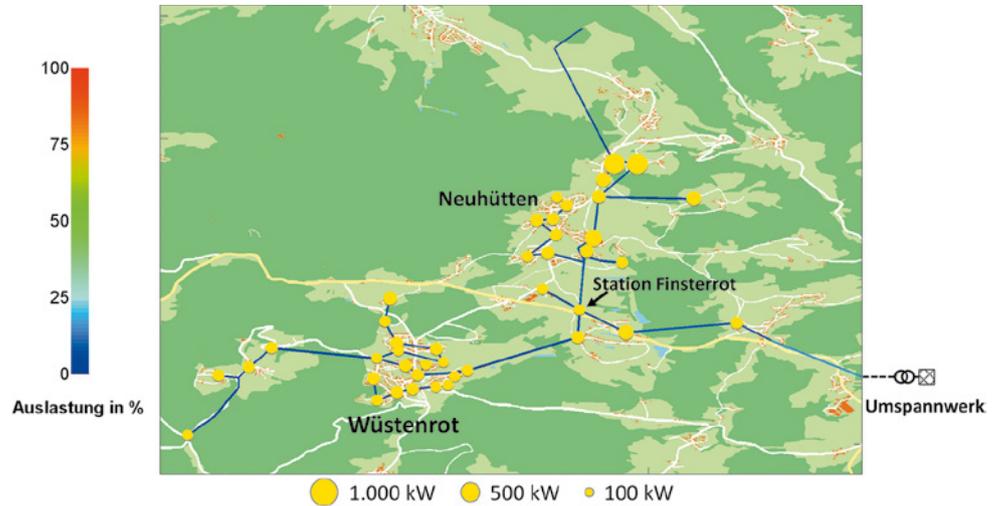
ding 62 rot markierte Ausbau der 20-kV-Erdkabel wird als notwendig erachtet und entsprechend der Leistung der Windenergieanlagen bzw. des BHKW dimensioniert. Die weiteren technischen Analysen beziehen sich auf das ausgebaute Netz.



**Abb. 62:** Gesamtpotenzial der berücksichtigten dezentralen Erzeugungleistung im Netz der emw (Quelle: ifk)

Um das Potenzial an zusätzlicher dezentraler Erzeugungleistung damit ins Verhältnis setzen zu können, wird der maximal mögliche Zubau ohne Netzausbaumaßnahmen bestimmt. Hierfür wird eine optimierende Lastflussberechnung durchgeführt. Die Zielfunktion der Optimierung ist die maximale Einspeisung aus dezentraler Erzeugung. Dabei ist der Freiheitsgrad in der Optimierung die Einspeiseleistung je Ortsnetzstation. Für diese Einspeiseleistung wird zugleich ein Blindleistungsmanagement der Erzeuger entsprechend den aktuellen Niederspannungsrichtlinien nach der  $\cos(\varphi)$ -Kennlinie angenommen. Um einen realistischen Lastfall abzubilden, wird aus Messdaten des Jahres 2013 der Zeitpunkt der minimalen Residuallast ermittelt. Das bedeutet, dass die Differenz aus aktueller Last und dezentraler Einspeisung möglichst gering wird. Für den betrachteten Fall wird die Differenz negativ, da hier mehr Energie bereitgestellt wird als benötigt. Die in der Mittelspannungsrichtlinie geforderte Begrenzung der Spannungsabweichung sowie die maximalen Lastflüsse über die Kabel sind in den Nebenbedingungen berücksichtigt. Eine Überlastung der Transformatoren wird in dieser Betrachtung zugelassen. Tritt eine Überlastung eines Ortsnetztransformators auf, muss dieser der Einspeiseleistung entsprechend dimensioniert werden, um sie zu integrieren. Mit einer optimalen geografischen Verteilung (siehe Abbildung 63) ergibt sich eine dezentrale Einspeiseleistung von insgesamt ca. 4,6 MW. Im Rahmen der Optimierung wird eine gleichmäßige Verteilung berücksichtigt. Zudem wird hier ein Gleichzeitigkeitsfaktor von ca. 0,7 angenommen. Demnach sind bei optimaler Verteilung dezentrale Erzeuger mit einer Erzeugungskapazität von ca. 6,5 MW in das Netz integrierbar.

**Abb. 63:** Maximal mögliche Integration dezentraler Erzeugungsleistung bei optimaler geografischer Verteilung (Quelle: ifk)



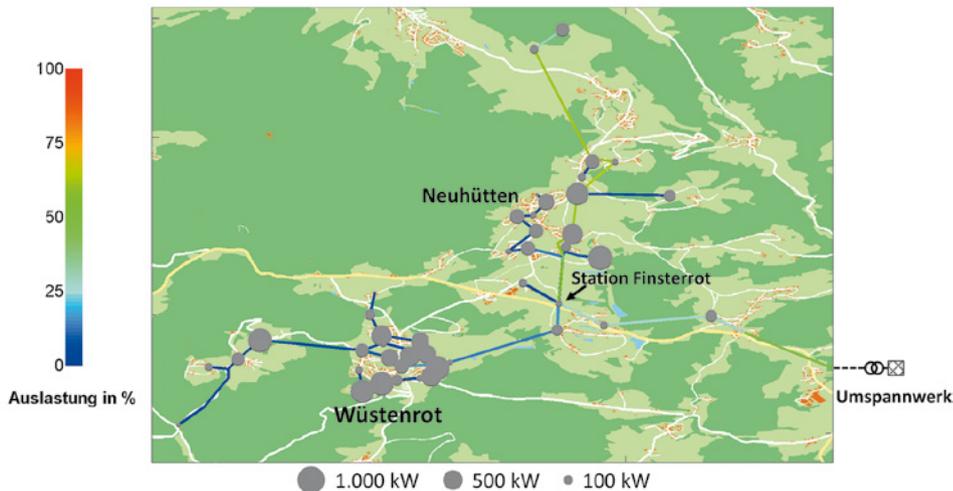
**Abb. 64:** Notwendiger Zubau an Übertragungskapazität hinsichtlich der Integration des Gesamtpotenzials (Quelle: ifk)



Es zeigt sich, dass das Gesamtpotenzial von ca. 15,9 MW nicht integriert werden kann, ohne das Verteilnetz auszubauen. Der notwendige konventionelle Ausbau der 20-kV-Kabel wird ebenfalls mithilfe der optimierenden Lastflussberechnung ermittelt. Dafür wird die Zielfunktion der Optimierung angepasst. Ziel ist, den benötigten Zubau zu minimieren. Vereinfachend wird zur Berechnung jedem Kabel ein Ausbaufaktor zugewiesen. Das optimale Ergebnis ist das Minimum der Summe der Ausbaufaktoren, multipliziert mit der Länge des jeweiligen Kabels. Mit jeder Iteration muss hier die Matrix der Netzwidestände neu berechnet werden.

Das macht das Verfahren vergleichsweise rechenaufwendig. Der notwendige Kabelausbau, der sich für die Nutzung des gesamten Potenzials erneuerbarer Energien ergibt, ist in Abbildung 64 dargestellt.

Eine weitere Möglichkeit, das gesamte Potenzial ohne Kabelausbau auszuschöpfen, stellen Batteriespeicher dar. Diese können flexibel als Erzeuger oder Verbraucher eingesetzt werden. Somit können die Lastflüsse über die Leitungen verringert werden. Aufgrund der geringeren Lastflüsse ist in der Folge auch ein geringerer Spannungsabfall zu beobachten. Da der Nutzen von Batteriespeichern zur Netzstabilisierung stark von deren geografischer Platzierung abhängig ist, werden mithilfe der optimierenden Lastflussberechnung die Standorte und Speicherleistungen bestimmt. Die Zielfunktion der Optimierung ist die Minimierung des notwendigen Speicherzubaus. Auch hier müssen alle Nebenbedingungen wie Spannungsgrenzwerte und maximale Lastflüsse eingehalten werden.



**Abb. 65:** Notwendiger Zubau dezentraler Speicher zur Integration des gesamten Potenzials erneuerbarer Energien (Quelle: ifk)

Im Fall der maximalen Einspeisung aus dezentralen Erzeugern wird eine Speicherleistung von ca. 6,4 MW benötigt. Die Verteilung der Speicher auf die einzelnen Netzknoten fällt im optimalen Fall relativ gleichmäßig aus, während der größte Speicher eine Leistung von ca. 110 kW aufweist. Da starke Winde statistisch gesehen sehr selten zusammen mit hoher Sonneneinstrahlung auftreten, können auch Szenarien mit geringerer Einspeiseleistung für die Auslegung des Speicherzubaus berücksichtigt werden. Geht man z. B. von einem Worst-Case-Szenario bei jeweils 80 % der maximalen Windenergie- und Photovoltaikleistung aus, reduziert sich der notwendige Speicherzubau auf ca. 4,5 MW. Die notwendige Speicherleistung kann auch von kleineren Speichereinheiten erbracht werden, die über eine intelligente Steuerung die notwendige Gesamtleistung gemeinsam erbringen.

Um das Verteilnetz der Gemeinde Wüstenrot für zukünftige Anforderungen zu ertüchtigen, steht also eine Vielzahl technologischer Optionen zu Verfügung. Ohne einen Netzausbau können ca. 6,5 MW an dezentraler Einspeiseleistung integriert werden, wenn diese optimal auf das Netz verteilt werden. Um das gesamte Potenzial der erneuerbaren Energieträger in Wüstenrot auszuschöpfen, müsste ein erheblicher Ausbau der 20-kV-Kabel erfolgen. Über die Installation von dezentralen Batteriespeichern wäre es aber möglich, den notwendigen Kabelausbau deutlich zu reduzieren. Ein Zusammenspiel der einzelnen Komponenten kann mithilfe der optimierenden Lastflussberechnung untersucht werden. Die Entscheidung für einen bestimmten Ausbaupfad hängt jedoch nicht nur von den technischen Erwägungen ab, denn neben der technischen muss auch eine wirtschaftliche Analyse des Verteilnetzausbaus erfolgen. Nicht immer ist der kurzfristig günstigste Ausbau auch der auf lange Sicht wirtschaftlichste. Zu berücksichtigen sind zudem (energie-)politische Ausrichtungen, z. B. hinsichtlich der Fragestellung, ob eine Abregelung der dezentralen Einspeiser grundsätzlich zugelassen werden soll. Zudem ist, wenn das Verteilnetz erfolgreich ausgebaut werden soll, auch die Akzeptanz des gewählten Ausbaupfades in der Bevölkerung von entscheidender Bedeutung.

## 8.6 Speichertechnologien zur Stromnetzentlastung

In der Entwicklung vom klassischen Stromnetz hin zum SmartGrid werden Batteriespeicher mit ihrem hochdynamischen Verhalten als Bausteine der Energiewende zunehmend attraktiv. Die Einsatzfelder sind vielfältig: dezentral in den Haushalten, oft in Verbindung mit Photovoltaikanlagen, oder als größere, zentrale Installationen direkt am Ort der Erzeugung, an wich-

**Abb. 66:** Batteriespeicher-Komplettsystem SRS2025  
(Quelle: ifk)



tigen Knotenpunkten oder auf Quartiersebene. Um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden, stehen Speichersysteme für die verschiedenen Zielgruppen zur Verfügung. Diese sollen im Folgenden einzeln betrachtet werden.

Standardspeicher sind für Wohnhäuser, Mehrfamilienhäuser sowie Betriebe, Gewerbe und öffentliche Einrichtungen konzipiert. Die für den optimierten Betrieb eines Speichers notwendige Steuerung und das zugehörige Energiemanagement-System sorgen dafür, dass zu jeder Zeit eine optimale Betriebsstrategie verfolgt wird. Je nach Anforderung können verschiedene Optimierungsstrategien wie Eigenverbrauch, Autarkie, Notstromversorgung, Inselnetzversorgung (System ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz), Anschlussleistungsbegrenzung sowie Einspeiseleistungsbegrenzung miteinander kombiniert und gegeneinander priorisiert werden.

Im Großspeicherbereich existieren auf dem Markt kundenspezifische Lösungen zwischen 100 kWh und mehreren MWh. Ein besonderes Augenmerk bei der Umsetzung solcher Speicherlösungen gilt hier der Auswahl des jeweils optimalen Zelltyps bzw. der verwendeten Zellchemie für die gewünschte Anwendung.

Netzbetreiber haben die Möglichkeit, solche Speicher unter anderem für folgende Zwecke einzusetzen:

- Vermeidung von Netzausbau
- Erbringung von Regeleistung (primär, sekundär)
- Quartierspeicher



**Abb. 67:** Batteriespeicher im 40-Fuß-Containerformat (Quelle: ADS-TEC GmbH)

- Verstetigung von Energieerzeugung/Energieverbrauch
- Notstromversorgung

## 8.7 Intelligente Steuerung in einem virtuellen Kraftwerk

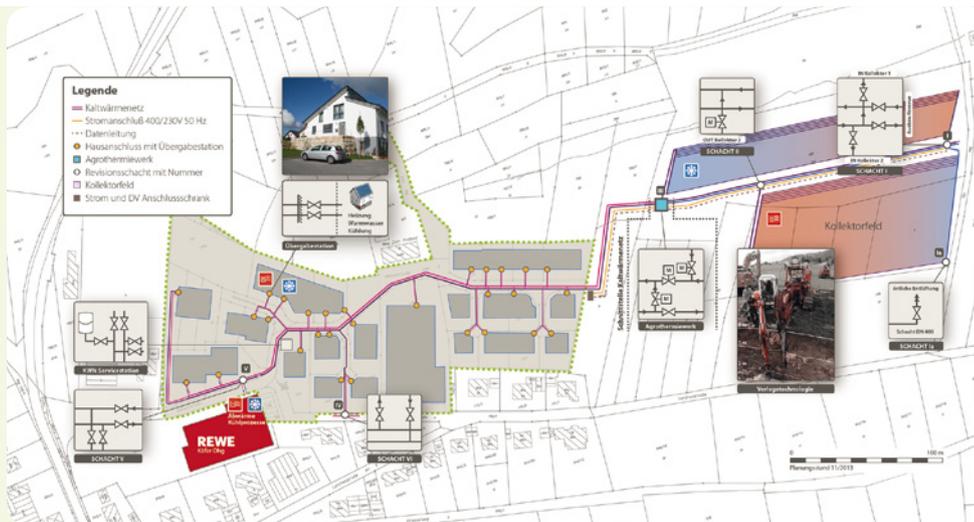
Um erneuerbare Energien in die Energieversorgung zu integrieren, müssen Wege gefunden werden, die elektrische Energie zu speichern und zu steuern. Ein virtuelles Kraftwerk bietet dabei einen erfolgversprechenden Lösungsansatz: die Speicherung von regenerativ erzeugter Energie in Form von Wärme oder Batteriespeichern. Diese Lösung setzt das Projektteam für die Plusenergiesiedlung Vordere Viehweide um, wo alle PV-Anlagen und Batteriespeicher zu einem virtuellen Kraftwerk zusammengefasst werden (siehe Kapitel 9.4). Zusammen mit dem geplanten Ausbau der Energieerzeugung in der Gemeinde durch Windkraftanlagen und Biomasse-BHKW sollen die Energieflüsse der Gesamtgemeinde auf ähnliche Weise gesteuert werden.

Ein virtuelles Kraftwerk ist zunächst einmal ein Verbund dezentraler Energieerzeugungsanlagen. Mit flexibel regelbaren Energieanlagen sollen temporäre Schwankungen im Stromnetz ausgeglichen werden. Der volatile Wind- und Solarstrom kann so besser in die Wärme- und Stromversorgung eingebunden werden. Besonders im Hinblick auf die Speicherung bietet der Wärmemarkt ein großes Potenzial. So werden Wärmespeicher idealerweise zu Zeiten hohen Windstromanteils aktiviert, um den regenerativen Strom in CO<sub>2</sub>-freie Wärme umzuwandeln und für den späteren Verbrauch vorzuhalten. Aus diesem Grund werden die Anlagen in Wüstenrot erst in Ergänzung mit den geplanten Blockheizkraftwerken vollständig sein. Diese erhalten in Zeiten, zu denen wenig Windstrom im Netz verfügbar ist, ein Signal zur Stromproduktion, und die gekoppelt erzeugte Wärme wird für den späteren Gebrauch gespeichert. So trägt jede einzelne Anlage im Pool des virtuellen Kraftwerks dazu bei, erneuerbare Energien besser in das Stromnetz zu integrieren. Das erhöht die Versorgungssicherheit und ist gleichzeitig ein Beitrag zum Klimaschutz.

Der gesamte Verbund dezentraler Anlagen, die in das virtuelle Kraftwerk eingebunden sind, wird rund um die Uhr überwacht und gesteuert. Für die einfache und datentechnisch sichere Einbindung wird ein Steuerungs- und Kommunikationsmodul an die Energieanlagen angeschlossen. Die Steuerung der dezentralen Anlagen erfolgt über eine verschlüsselte Internetverbindung in der Wärmeleitwarte der Vattenfall Europe Wärme AG in Berlin, die sehr hohe Sicherheitsanforderungen hinsichtlich Authentizität, Vertraulichkeit und Integrität erfüllt.

## 9. Pilotprojekt Plusenergiesiedlung Vordere Viehweide

Die Plusenergie-Neubausiedlung Vordere Viehweide ist ein erster Umsetzungsschritt auf dem Weg hin zum Plusenergiestatus der Gemeinde Wüstenrot. Die Nutzung von Sonnenenergie und Erdwärme sowie ein hoher Dämmstandard der Gebäude sorgen hier für eine über das Jahr positive Energiebilanz. Der auf den Dächern erzeugte Solarstrom wird so gesteuert, dass er ideal in den Gebäuden genutzt werden kann. Überschüssige Energie füllt Batterien und Wärmespeicher, bevor sie in das öffentliche Netz eingespeist wird. Dazu werden auch Wetterprognosen herangezogen. Auf diese Weise kann das Laden der Speicher intelligent und vorausschauend gesteuert und Lastspitzen in der Stromeinspeisung können minimiert werden. Durch die Anbindung an ein virtuelles Kraftwerk lassen sich darüber hinaus auch noch verfügbare Speicherpotenziale im Gebiet bündeln und als planbare Stromsenken einsetzen, um das Stromnetz flexibler zu machen. Hier wird das Gesamtsystem auf Basis der tatsächlichen Nachfrage und Verfügbarkeit optimiert. Die Einbindung in ein intelligentes Stromnetz (SmartGrid) ist für Quartiers-Energiekonzepte wie dieses ein zukunftsweisender Schritt. Eine ähnliche Lösung wird für die Netzertüchtigung der Gemeinde insgesamt angestrebt. Als Niedertemperatur-Wärmequelle für die Wärmepumpen wurde in der Plusenergiesiedlung ein innovatives Kaltwärmesetz mit einer großen, neuartigen und oberflächennahen Geothermieanlage als Wärme-/Kältequelle umgesetzt.



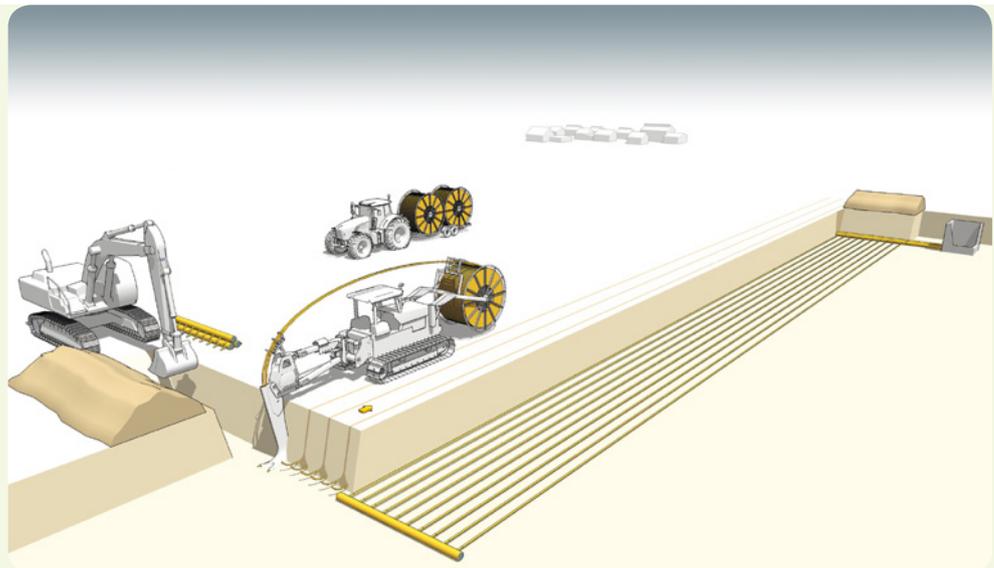
**Abb. 68:** Pilotanlage Wüstenrot, Bauschild-Ausschnitt (Quelle: Doppelacker GmbH)

## 9.1 Wärme- und Kälteversorgung aus dem Ackerboden

Als Wärmequelle bzw. Wärmesenke wurde in der Plusenergiesiedlung durch die Firma Doppelacker GmbH aus Petershagen das weltweit erste Agrothermie-Kollektorfeld eingerichtet. Durch dieses System können landwirtschaftlich genutzte Flächen und sonstige Freiflächen wie Parkplätze, Sportplätze o. Ä. als Erdreichkollektoren thermisch aktiviert werden. Dazu werden in 2 m Tiefe parallele Rohrleitungen in den Boden eingelassen. Das durch diese Rohre fließende Wasser gibt je nach Temperaturniveau Wärmeenergie an den Untergrund ab bzw. nimmt Wärmeenergie daraus auf. Über ein sogenanntes Kaltwärmenetz wird diese Wärme- bzw. Kälteenergie zu den daran angeschlossenen Wohngebäuden geleitet und hier zu Heiz- bzw. Kühlzwecken genutzt.

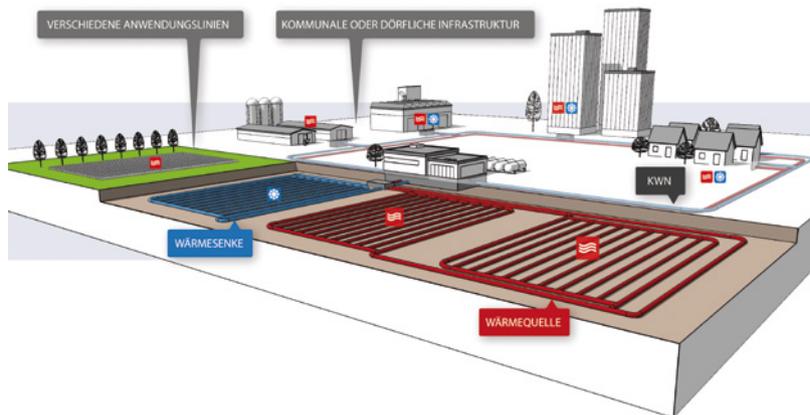
Um den Untergrund thermisch zu aktivieren (siehe Abbildung 69), kommt ein Spezialpflug zum Einsatz, der sich noch in der Entwicklung befindet und künftig zwei bis drei Rohrleitungen gleichzeitig parallel im Abstand von 50 cm in den Untergrund einziehen wird. So kann der Boden effizient erschlossen werden, ohne kostspielig Erde auszuheben. In der Plusenergiesiedlung wurde auf diese Weise ein 1,5 ha großes Feld als Erdreichkollektor erschlossen. Es versorgt die angeschlossenen Gebäude über das Kaltwärmenetz im Winter und Sommer mit Niedertemperaturwärme, die über Wärmepumpen genutzt wird. Im Sommer kann das Kaltwärmenetz mit verschwindend geringem Energieaufwand direkt zur Kühlung der Gebäude genutzt werden und ist somit zugleich eine Wärme- und Kältequelle.

**Abb. 69:** Thermische Aktivierung des Untergrundes durch Einlassen von Rohrleitungen mit einem Spezialpflug (Quelle: Doppelacker GmbH)





**Abb. 70:** Energiekonzept der Gebäude in der Plusenergiesiedlung (Quelle: zafh.net)



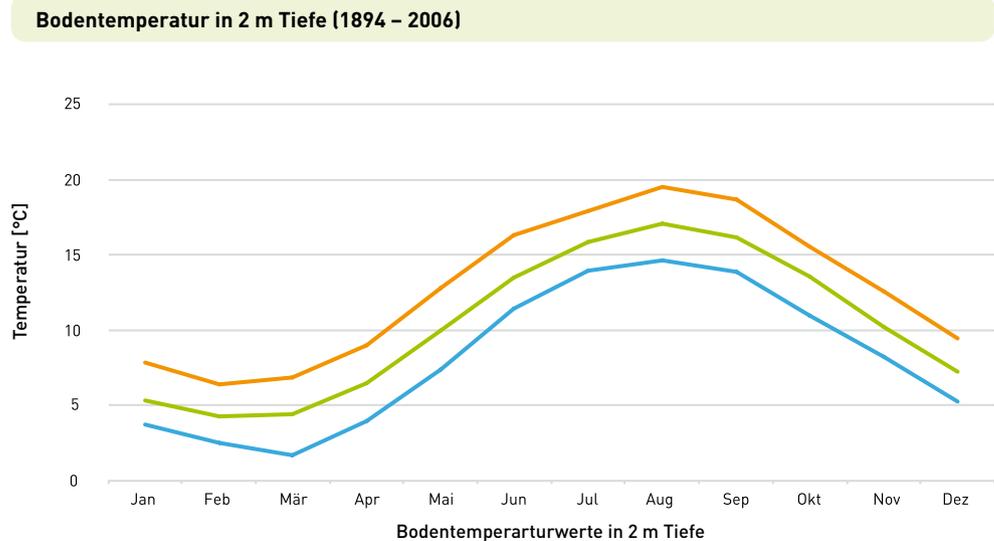
**Abb. 71:** Kaltwärmenetz mit Agrothermieflächen, ein System zum intelligenten Wärmeaustausch (Quelle: Doppelacker GmbH)

Der eigentliche Clou an dieser Technologie ist aber, dass durch das vergleichsweise niedrige Temperaturniveau des Kaltwärmenetzes Wärmeabnehmer und Kälteabnehmer miteinander vernetzt werden können und voneinander profitieren, denn Heizprozesse liefern Abkälte und Kühlprozesse liefern Abwärme. Gedacht ist diese Anwendung künftig für größere Bereiche, in denen industrielle Abwärme insbesondere aus Kühlprozessen in Nahwärmenetze eingespeist und in größerem Stil mit Gebäuden als Abnehmern vernetzt werden kann. Die Agrothermieflächen dienen in einem solchen System nicht nur als Wärme- bzw. Kältequelle, sondern auch als Puffer, da Heiz- und Kühlenergie nicht immer gleichzeitig anfallen. Auf diese Weise kann bisher ungenutzte Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau effizient nutzbar

gemacht werden. Abbildung 71 veranschaulicht die Kernidee, die hinter diesem System steckt.

Der Schlüssel zum hochenergieeffizienten Betrieb von Wärmepumpen liegt in einem möglichst geringen Temperaturunterschied zwischen der für Heizzwecke benötigten Vorlauftemperatur und der genutzten Niedertemperaturwärmequelle, z. B. der Außenluft oder dem Erdreich. Um die nötigen Vorlauftemperaturen der Heizung möglichst gering zu halten, eignen sich vor allem Flächenheizungen in den Gebäuden, die mit Vorlauftemperaturen um 35 °C und weniger auskommen. Werden wie hier Agrothermiekollektoren als Wärmequelle eingesetzt, schwanken die zur Verfügung stehenden Temperaturen im unbeeinflussten Erdreich je nach Jahreszeit zwischen 4 und 17 °C (siehe Abbildung 72). Im Mittel liegt die Temperatur bei ca. 10 bis 12 °C.

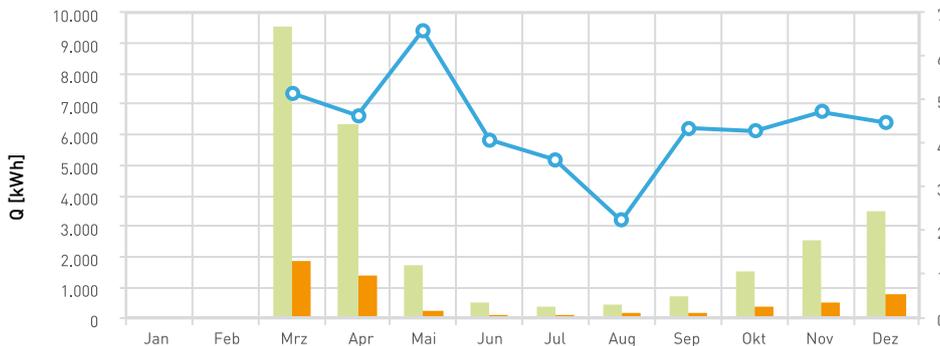
**Abb. 72:** Mittlerer monatlicher Temperaturverlauf im Erdreich in 2 Metern Tiefe (Quelle: Säkularstation Potsdam/PIK)  
 ■ höchster Monatsmittelwert  
 ■ Mittel  
 ■ tiefster Monatsmittelwert



Die Effizienz einer Wärmepumpe wird über die Jahresarbeitszahl beschrieben, die sich aus dem Verhältnis der insgesamt bereitgestellten Wärmemenge zur dafür aufgewandten elektrischen Energie ergibt. Hocheffiziente Wärmepumpensysteme mit Erdsonden erreichen Arbeitszahlen von 4 und mehr, was bedeutet, dass für die bereitgestellte Nutzwärme nur ein Viertel der elektrischen Energie verbraucht wird. Mit Agrothermiekollektor und Kaltwärmenetz werden die Wärmepumpen in der Plusenergiesiedlung zumindest eine ähnliche Effizienz erreichen. Diese Annahme konnte durch Messdaten aus dem Pilotprojekt in Wüstenrot bereits bestätigt werden (siehe Abbildung 73). Wenn es gelingt, den an das Baugebiet angren-

zenden REWE-Markt anzuschließen, der Abwärme aus Kühlprozessen bereitstellen kann, könnte die Netztemperatur noch deutlich angehoben werden, so dass dann für die Wärmepumpen Arbeitszahlen von 5 bis 6 zu erwarten wären. Gleichzeitig würde auch der Wirkungsgrad der Kältemaschinen durch die effiziente Rückkühlung über das Kaltwärmenetz deutlich steigen. Somit würden beide Seiten von diesem Anschluss profitieren. Es ist daher erklärtes Ziel des Projektteams, den REWE-Markt anzuschließen. Bislang scheitert das noch an der komplexen Eigentümer- und Pächterstruktur des Markts.

### Monitoring Plusenergiesiedlung



**Abb. 73:** Monitoring Plusenergiesiedlung Wüstenrot (Quelle: zafh.net)

■ Q<sub>Wärme</sub> [kWh]  
 ■ Q<sub>el, Gesamt</sub> [kWh]  
 ● Arbeitszahl

### Energetische Vorteile des Anlagensystems

Das Niedrigtemperaturangebot des Bodens ist überall verfügbar. Das darauf aufsetzende Wärmetauschersystem

- erschließt Anergie (Niedertemperaturwärme), hier Erdwärme, die mit Wärmepumpen, also unter Einsatz elektrischer Energie, auf das für Heizzwecke notwendige Temperaturniveau angehoben wird,
- steigert die Energieeffizienz der Wärmeversorgung durch deutlich niedrigeren Primärenergiebedarf – nur ca. 1/6 bis 1/4 kWh Strom pro kWh bereitgestellter Nutzwärme werden benötigt, was geringe Energiekosten garantiert –,
- ist aufnahmefähig für industrielle Abwärme, die zugleich die Effizienz eingebundener Arbeitsmaschinen (Wärmepumpen/Kältemaschinen) spürbar anhebt und mithilfe des Zwischenspeichers Boden den Exergiebedarf senkt, und
- trägt signifikant zur CO<sub>2</sub>-Einsparung und somit zum Klimaschutz bei.

## 9.2 Kalkulation, Auslegung und Ziele für die Markteinführung

### 9.2.1 Wie wird ein Neubaugebiet zur Plusenergiesiedlung?

Wesentliches Ziel für das Neubaugebiet Vordere Viehweide ist, Plusenergiestatus zu erreichen. Konkret bedeutet dies, dass durch die Nutzung von Sonnenenergie und Erdwärme eine große Menge regenerativer Energie in der Siedlung gewonnen wird. Kombiniert mit einem hohen Energiestandard der Gebäude (KfW 55 oder besser), möglichst effizienter Beleuchtung und energieeffizienten Geräten soll so eine positive Jahresenergiebilanz erreicht werden, so dass im Gebiet mehr Energie erzeugt als verbraucht wird. Bilanziert wird nach der Endenergie, die beschreibt, wie viel Energie inklusive aller Verluste im Gebiet tatsächlich verbraucht wird. Dabei werden Wärme und Strom als gleichwertig betrachtet. Unberücksichtigt bleibt hier in der Regel der durch den Verkehr verursachte Energieverbrauch. Im Idealfall kann dieser aus den Überschüssen der Photovoltaikanlagen zumindest teilweise gedeckt werden, wenn Elektrofahrzeuge eingesetzt werden. Generell bedeutet der Plusenergiestatus aber nicht, dass sich das Gebiet zu jeder Zeit selbst versorgt, also autark vom Energiesystem ist. Im Regelfall werden von den Photovoltaikanlagen im Sommer Überschüsse erzeugt, die in das Stromnetz als „idealen Speicher“ eingespeist werden, wohingegen im Winter vermehrt Strom aus dem Netz bezogen werden muss. Um einen möglichst hohen Anteil des Solarstroms selbst nutzen zu können, werden in der Plusenergiesiedlung Wärmepumpen mit Wärmespeichern und Batteriespeicher mit einer vorausschauenden Regelung intelligent gesteuert. Die nachfolgend dargestellte grobe Kalkulation zeigt, wie die für den Plusenergiestatus notwendige PV-Leistung in der Planungsphase grob abgeschätzt werden kann.

- Wärmebedarf der Wohngebäude inkl. Warmwasser

→ 25 Wohngebäude im KfW-55-Standard		
15 EFH (200 m <sup>2</sup> WFL à 56 kWh/m <sup>2</sup> a)		168 MWh/a
10 DHH (140 m <sup>2</sup> WFL à 52 kWh/m <sup>2</sup> a)		72 MWh/a
<b>Gesamtwärmebedarf</b>	<b>Q<sub>h,ges</sub></b>	<b>= 240 MWh/a</b>

- Wärmeversorgung über Wärmepumpen mit Erdreichkollektoren (JAZ = 4,0)

Strombedarf Heizung	Q <sub>el,h,ges</sub>	= 60 MWh/a
---------------------	-----------------------	------------

- Strombedarf Haushalt (3.600 kWh/Haushalt)

→ 25 Haushalte à 3.600 kWh/a	Q <sub>el,Haushalte</sub>	= 90 MWh/a
<b>Gesamtstrombedarf</b>	<b>Q<sub>el,gesamt</sub></b>	<b>= 150 MWh/a</b>

- Erforderliche installierte PV Leistung

Pro installiertem kW<sub>peak</sub> können in Wüstenrot ca. 950 kWh Strom pro Jahr erzeugt werden. Somit wären mind. 170 kW<sub>p</sub> erforderlich, um den Bedarf zu decken. Um sicherzustellen, dass für die Siedlung tatsächlich Plusenergie erreicht wird, wurden in den Kaufverträgen der städtischen Grundstücke im Baugebiet neben dem Energiestandard der Gebäude auch Photovoltaikanlagen von 10 kW<sub>p</sub> für Einfamilienhäuser und von 6 kW<sub>p</sub> für

Doppelhäuser als Mindestgröße vorgeschrieben. Daraus ergeben sich eine geplante mindestens vorhandene PV-Leistung im Baugebiet von 210 kW<sub>p</sub> und ein PV-Stromertrag von mind. ca.  $Q_{el, PV} = 200 \text{ MWh/a}$ .



**Abb. 74:** Die Plusenergiesiedlung (Quelle: zafh.net)



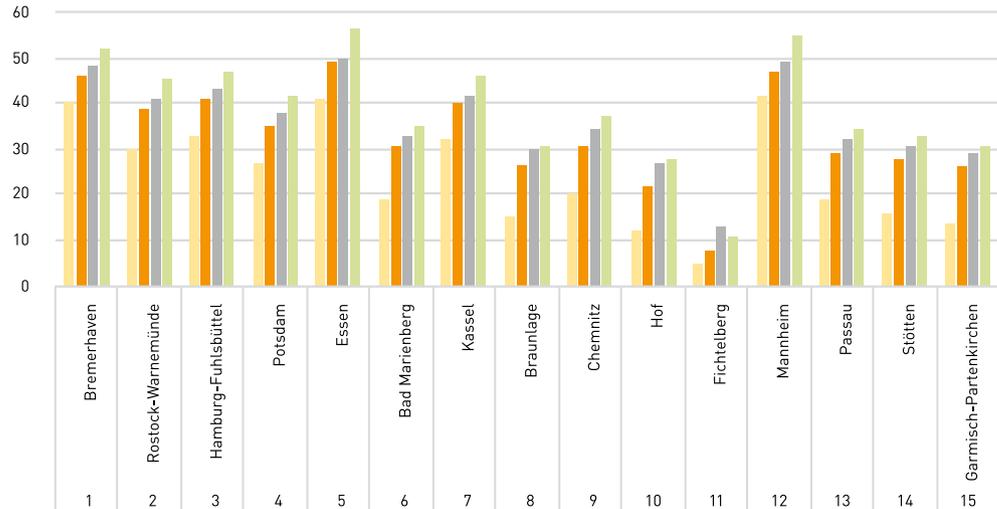
### 9.2.2 Wie viel Wärme kommt aus dem Acker?

Die Grundfrage bei der Planung einer Agrothermieanlage, die ein Bau- oder Bestandsgebiet mit Wärme beliefern soll, lautet: Wie groß muss die Fläche sein, um das Gebiet inkl. eventueller Erweiterungen zu versorgen? Richtwerte dazu, wie viel Energie und welche Leistung dem Boden entzogen werden kann, bietet die VDI-Richtlinie 4640 bzw. DIN 19685. Hier werden basierend auf Erfahrungen im Bau von Einfamilienhäusern für horizontale Erdreichkollektoren mit einer Verlegetiefe von 1,5 bis 2,0 m und einem Verlegeabstand von 50 cm Entzugsleistungen von – je nach Bodenqualität – 20 bis 40 W pro m<sup>2</sup> Bodenfläche angegeben.

### Wärmeentzugsleistung in W/m<sup>2</sup> (Deutschland)

**Abb. 75:** Grafischer Vergleich der maximal möglichen flächenspezifischen Entzugsleistung in den unterschiedlichen Klimazonen Deutschlands (Quelle: TU Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft, Theoretische Untersuchung von Spitzenlastwärmequellen/PRO INNO II)

- Sand
- Lehm
- Schluff
- sandiger Ton



Ein modernes Einfamilienhaus mit hohem Energiestandard benötigt je nach Größe des Gebäudes eine Wärmepumpe mit ca. 6 bis 8 kW Heizleistung. Im Baugebiet Vordere Viehweide werden Wärmepumpen mit einer Gesamtleistung von 160 kW für Neubauten benötigt. Hinzu kommen 80 kW für eine geplante Baugebietserweiterung sowie 60 kW für den Anschluss von Bestandsgebäuden. Insgesamt ist also eine Gesamtheizleistung von 300 kW erforderlich.

Unter Berücksichtigung einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 4,0 wird dem Acker im Endausbau eine Niedertemperaturwärmeleistung von maximal 225 kW entzogen. Dabei benötigen die Wärmepumpen 75 kW elektrische Leistung, um die Niedertemperaturwärme auf Heiztemperaturniveau anzuheben. Je nach Beschaffenheit des Untergrundes wäre somit für das Baugebiet eine Erdkollektorfläche von 0,6 bis 1,1 ha erforderlich, um ausreichend Wärmeleistung bereitzustellen. Die dazu ausgewählten Wiesenflächen weisen zwar einen feuchten Lehmboden auf und lassen somit eine hohe Wärmeentzugsleistung erwarten, allerdings beziehen sich die oben angegebenen Erfahrungswerte auf Flachkollektoren aus dem Einfamilienhausbereich mit Rohrabständen von 50 cm und Verlegetiefen zwischen 1,2 und 1,5 m. Im Baugebiet werden die Rohre der Agrothermiekollektoren aber in 2 m Tiefe mit einem Abstand von 1 m verlegt. Insbesondere aufgrund des größeren Abstandes wird die spezifische Flächenentzugsleistung geringer ausfallen. Daher wurde entschieden, den Agrothermiekollektor zur Sicherheit auf 1,5 ha auszulegen. Detaillierte Messungen im Rahmen des Projekts werden genauere Erkenntnisse zur tatsächlichen Entzugsleistung liefern, so dass künftig eine höhere Planungssicherheit gegeben ist. Außerdem ist mit der inzwischen weiterentwi-

ckelten Technik nun die Verlegung von zwei Rohrleitungen gleichzeitig in einem Abstand von 50 cm möglich, was die Flächeneffizienz deutlich erhöhen wird.



**Abb. 76:** Traktorpflug beim Einlegen der Kollektorrohre (Quelle: zafh.net, Doppelacker GmbH)

Das Interessante an der thermischen Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen ist ein im Vergleich zur stofflichen Nutzung deutlich höherer energetischer Ertrag. Tabelle 8 gibt einen Überblick darüber, welche spezifischen Energieerträge pro Hektar Fläche erreichbar sind. Demnach erreicht auf einer Fläche angebaute Miscanthus pro Hektar nur einen Energieertrag von 61 MWh, wohingegen durch die agrothermischen Nutzung 400 MWh pro Hektar und Jahr entzogen werden können, und das bei einer realen CO<sub>2</sub>-Einsparung. Da die landwirtschaftlichen Flächen nach wie vor ganz normal auch zum Anbau von Kulturpflanzen genutzt werden können, entsteht hier keine Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion.

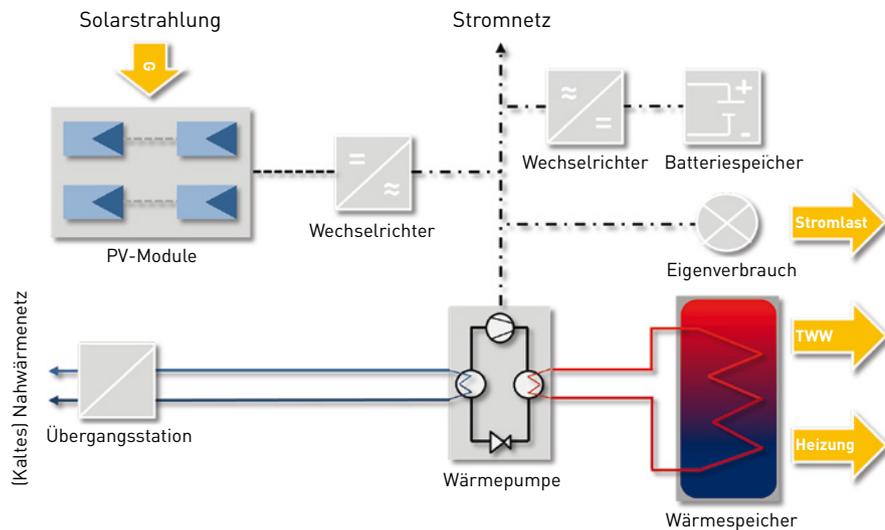
	Ertrag [t/ha] a	Energiegehalt in Öläquivalent [l/ha] a	Entzugsleistung [MWh/ha] a	CO <sub>2</sub> -Einsparung [t/ha] a
Kurzumtriebsplantage	12	5.120	51	0
Miscanthus (Chinaschilf)	15	6.081	61	0
Weizen	6,7	2.760	28	0
Raps	3,8	1.550	15	0
Geothermiekollektor (2.000 h/a)		40.000	400	104

**Tabelle 8:** Ertragskalkulation. Berechnungen: TU Dresden, IVMA, Professur Agrarsystemtechnik

### 9.3 Anlagentechnik auf Gebäudeebene und deren Steuerung

Die Gebäude der Plusenergiesiedlung sind mit einer Wärmepumpe in Verbindung mit einem Heizungspufferspeicher und einer Photovoltaikanlage ausgestattet. Bestimmte Gebäude erhalten zusätzlich einen Batteriespeicher, um die Anlage hinsichtlich der Eigennutzung des erzeugten Solarstroms durch die Wärmepumpe und die Haushaltsgeräte flexibler betreiben zu können. Die Photovoltaikanlage und die Wärmepumpe befinden sich dabei im Besitz des Hauseigentümers, die zurzeit noch teuren Batteriespeicher werden im Rahmen des Projekts zur Verfügung gestellt. Das Anlagenschema eines solchen Hauses ist in Abbildung 77 dargestellt.

**Abb. 77:** Anlagenschema Haus  
(Quelle: zafh.net)



Durch das gezielte Laden des Batteriespeichers und den Betrieb der Wärmepumpe zu Zeiten, in denen ein Überangebot an selbst erzeugtem Solarstrom besteht, lässt sich der Anteil selbst genutzten Stroms maximieren. Dies kommt dem Anlagenbetreiber zugute, da entsprechend weniger teurer Netzstrom bezogen werden muss. Weiterhin wird dadurch das Stromnetz weniger belastet, als es sonst geschieht, wenn z. B. an Sonnentagen zur Mittagszeit viele Photovoltaikanlagen parallel Strom erzeugen. Der erzeugte Strom wird im Idealfall gleich genutzt oder zur späteren Nutzung zwischengespeichert.

Verschiedene Betriebsmodi für den gemeinsamen Betrieb von Photovoltaikanlage, Wärmepumpe und Batteriespeicher werden innerhalb des Projekts untersucht. Hierfür werden

durch Simulationen sinnvolle Regelungsstrategien zunächst ermittelt und danach im laufenden Betrieb umgesetzt. Ergänzend erfolgt eine Betriebsführung durch eine sogenannte „prä-dikative Regelung“. Dabei wird anhand von Wetterprognosedaten der Wärmebedarf und Solarstromertrag des kommenden Tages simuliert und der optimale Betrieb der Systeme ermittelt und umgesetzt. Im Einzelnen wird bei den unterschiedlichen Betriebsmodi zwischen den folgenden Fällen unterschieden:

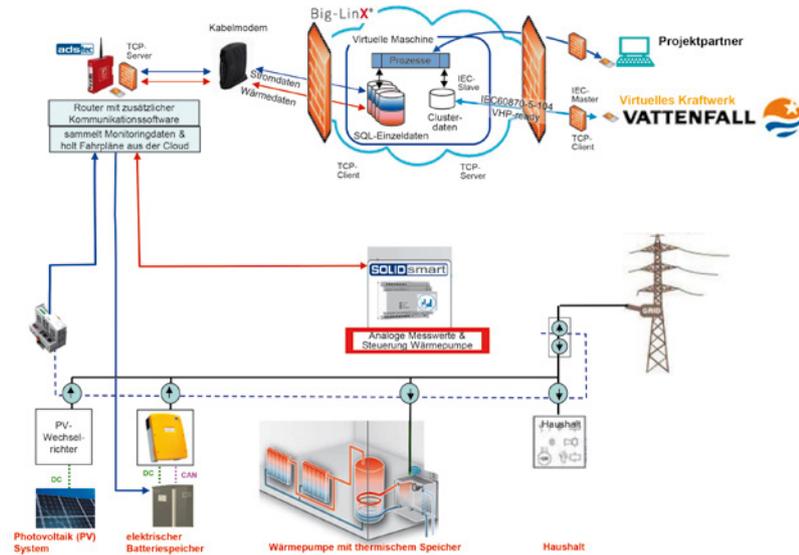
- Maximierung des Eigenverbrauchs: höchstmögliche Nutzung des selbst erzeugten Stroms durch die Wärmepumpe und den Haushalt. Dabei werden der Batteriespeicher und auch der Heizungspufferspeicher genutzt, um elektrische und die daraus umgewandelte Wärmeenergie zwischenzuspeichern.
- Netzdienlicher Betrieb: Dabei wird, genau wie bei der Maximierung des Eigenverbrauchs, die erzeugte Energie gezielt genutzt und zwischengespeichert. Primär geht es jedoch darum, die Belastungen zu reduzieren, die durch Einspeisespitzen im Stromnetz entstehen. Das kann teure Investitionen zum Ausbau der Netzinfrastruktur in Zukunft reduzieren. Als positive Nebenwirkung wird auch hierbei der Eigenverbrauch gesteigert.
- Virtuelles Kraftwerk: Dabei betrachtet der Energielieferant die Summe aller lokalen Wärmepumpen als eine aggregierte Abnahmestelle und steuert diese so, dass er seinen Stromeinkauf bzw. die Weiterverteilung abhängig von Netzsituationen anpassen kann.
- Kombination der Betriebsarten.

Der ausfallsichere Betrieb der Anlagen hat in allen Betriebsarten die höchste Priorität.

#### 9.4 Steuerung der Plusenergiesiedlung durch ein virtuelles Kraftwerk

Mit einer stromgeführten Betriebsweise, die auch Energiespeicher miteinbezieht, wird sichergestellt, dass zu jedem Zeitpunkt der Wärmebedarf des Kunden unter größtmöglicher Verwendung von erneuerbaren Energien gewährleistet ist. Zu diesem Zweck wird in der Leitstelle des virtuellen Kraftwerks für den prognostizierten zeitlichen Verlauf des zukünftigen Wärmebedarfs aller im Versorgungsgebiet Vordere Viehweide an das Niedertemperaturwärmenetz angeschlossenen Gebäude ein gemeinschaftlicher Fahrplan für den Betrieb der Wärmepumpen erstellt. Durch die "virtuelle" Betrachtung aller Wärmepumpen als eine aggregierte Abnahmestelle kann Vattenfall unter Berücksichtigung der prognostizierten Strompreise einen optimierten Summenfahrplan für den nächsten Tag in viertelstündlicher Auflösung bestimmen. In einem separaten Prozessschritt werden aus diesem Summenfahrplan individuelle Steuersignale für die Wärmepumpen in den einzelnen Liegenschaften erzeugt. Um Komforteinbußen bei der Wärmeversorgung der Gebäude zu vermeiden, werden Umschaltpunkte als untere Grenzwerte definiert, bei deren Erreichen automatisch von der stromgeführten Fahrweise rechtzeitig auf die traditionelle, wärmegeführte Fahrweise umgestellt wird. Damit wird sichergestellt, dass die ausreichende Wärmeversorgung zu jedem Zeitpunkt garantiert ist.

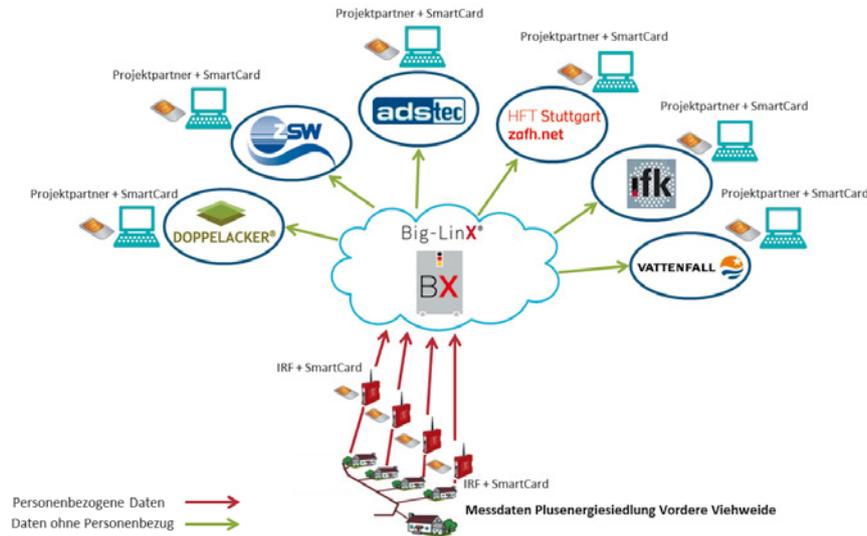
**Abb. 78:** Intensiv-Monitoring der elektrischen und thermischen Leistungsflüsse sowie des Anlagenbetriebs (Quelle: ZSW, ADS-TEC)



Für den Betreiber des virtuellen Kraftwerks ist die Plusenergiesiedlung somit praktisch ein „Cluster“, der aufgrund der Summe der Lastprofile, Speicherzustände und Wärmebedarfe für den nächsten Tag gesteuert wird. Aus dem Summenfahrplan müssen Einzelfahrpläne berechnet werden. Umgekehrt werden die Monitoring-Daten der einzelnen Häuser erfasst und für das virtuelle Kraftwerk aufsummiert. Das geschieht datentechnisch in einer „Big-LinX Cloud“. Hier werden in einer Datenbank die Einzel- und Cluster-Daten abgelegt bzw. generiert. Dies geschieht über Algorithmen und Simulationsmodelle, die von der HFT Stuttgart entwickelt wurden. Diese laufen in der Cloud in einer „virtuellen Maschine“, steuern die Datenauswertung und ermöglichen die Aggregation und Disaggregation der Monitoring-Daten und Fahrpläne.

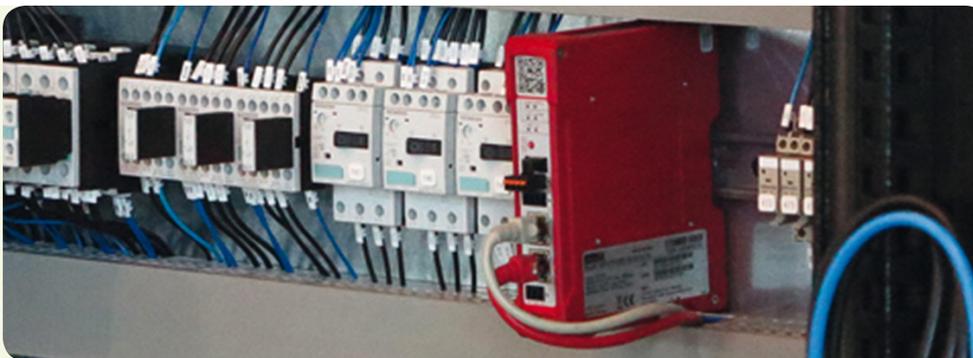
## 9.5 Datenverarbeitung und Verschlüsselung

Ein zentraler Bestandteil des Projekts EnVisaGe ist, verschiedene „Energie-Betriebskonzepte“ wie „virtuelles Kraftwerk“, „Eigenverbrauchsoptimierung“ oder „netzdienlicher Betrieb“ zu erproben, weiterzuentwickeln und zu optimieren. Zu diesem Zweck ist der Aufbau eines umfassenden Monitoring-Systems zur Datenerfassung notwendig. Um alle relevanten Messdaten der unterschiedlichen Messstellen, z. B. die einzelnen Privathaushalte der Plusenergiesiedlung, das Agrothermiekollektorfeld oder die Wetterstation, zu erfassen und zu übertragen, kommt die IRF (Industrial Router & Firewall) in Kombination mit der Big-LinX Cloud von ADS-TEC zum Einsatz. Bei der Übertragung und Anonymisierung der Messdaten, die zu einem großen Teil aus Privathaushalten stammen, steht die IT-Sicherheit an oberster Stelle.



**Abb. 79:** EnVisaGe-Systemmodell der Messdatenerfassung in der Plusenergiesiedlung (Quelle: ADS-TEC)

Das aus der industriellen Fernwartung stammende System bietet ein Höchstmaß an Sicherheit. Die einzelnen Messstellen bauen über den Router eine VPN-Verbindung zur Cloud auf. Um diese Verbindung herzustellen, ist es notwendig, dass im jeweiligen Router eine SmartCard mit zugehöriger PIN vorhanden ist. Für den Zugriff auf die Messdaten, die ohne jeglichen Bezug zu persönlichen Daten in der Cloud bereitgestellt werden, kommt derselbe Sicherheitsmechanismus zum Einsatz. Somit können nur Personen, die über eine SmartCard mit zugehöriger PIN verfügen, eine VPN-Verbindung zur Cloud und somit zur Datenbank mit den Messwerten aufbauen.



**Abb. 80:** Industrial Firewall & Router in Schaltschrank (Quelle: ADS-TEC)

Neben diesem sehr hohen IT-Sicherheitsstandard haben sich weitere Eigenschaften des Systems bewährt. So hat sich während der Projektlaufzeit als großer Vorteil herausgestellt, dass es frei skalierbar ist und Daten auch per Mobilfunk übertragen kann. So ist es jederzeit möglich, weitere verteilte Liegenschaften im Gemeindegebiet in das Monitoring-System zu integrieren, unabhängig von der vorhandenen Internetinfrastruktur.

Unterschieden wird bei der Datenerfassung zwischen einem Intensiv-Monitoring für die sechs Häuser, die auch mit Batteriespeichern ausgestattet werden, und dem extensiven Monitoring. Beim Intensiv-Monitoring werden mit einer Auflösung von bis zu 5 sec Stromwerte, Wärmebedarfe und Temperaturprofile aufgezeichnet, um Wärmepumpen sowie den thermischen und elektrischen Speicherbetrieb im Detail untersuchen zu können. Beim extensiven Monitoring werden die elektrischen Leistungsflüsse mit 15 min Auflösung für den Strombedarf des Haushalts, die Wärmepumpe und die Einspeisung der Photovoltaikanlage aufgezeichnet. Die Steuerung der Wärmepumpen durch das virtuelle Kraftwerk erfolgt nur bei den sechs Häusern, die mit dem Intensiv-Monitoring ausgestattet sind.

## 9.6 Speichertechnologien steigern Eigenstromnutzung und entlasten das Stromnetz

Strom aus Photovoltaikanlagen wird vor allem um die Mittagszeit erzeugt, wenn der Sonnenstand am höchsten ist. Den höchsten Strombedarf eines normalen Haushalts findet man jedoch in den Morgen- und Abendstunden, wenn vor allem Geräte wie Herd, Waschmaschine und Trockner benutzt werden. Ein kontinuierlich höherer Verbrauch wird nach Sonnenuntergang durch das Einschalten von Beleuchtung und Fernsehgeräten festgestellt. Der größte Anteil selbst erzeugten Solarstroms wird also von den Haushalten nicht direkt genutzt, sondern ins Stromnetz eingespeist. Ab einer bestimmten Dichte von Photovoltaikanlagen in

**Abb 81:** Vorteile dezentraler Speicher im Niederspannungsnetz (Quelle: Liacon GmbH)

### Ausgangssituation für dezentrale Speicher im Home Solarsystem in Deutschland heute:

- ca. 70 % der eingespeisten PV-Leistung kommen heute aus kleinen, dezentral verteilten Anlagen mit Einspeisung ins Niederspannungsnetz
- über 98 % der PV-Anlagen hängen am Niederspannungsnetz
- größter Verbrauch im Niederspannungsnetz
- kontinuierlich reduzierte Einspeisevergütung

#### Verbraucherinteresse

- Eigenverbrauchsoptimierung
- Autarkiegraderhöhung

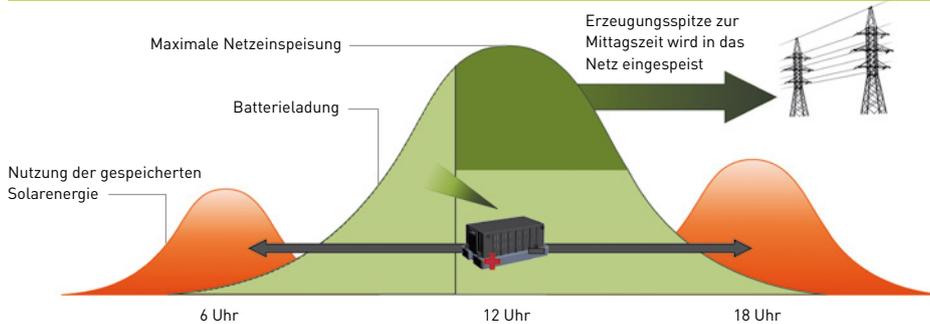


#### Netzbetreiberinteresse

- Reduktion von hoher Einspeisung und Fluktuation im Niederspannungsnetz

→ Dezentrale Speicher im Niederspannungsnetz helfen Verbrauchern UND Netzbetreibern

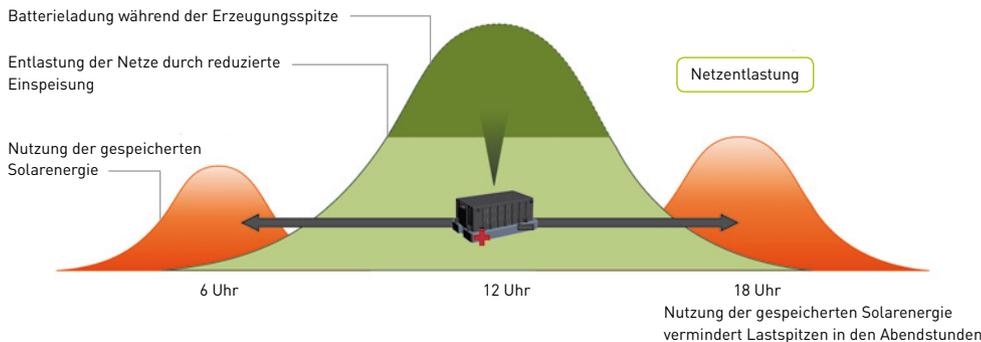
### Eigenverbrauchoptimierende Speicherung



**Abb 82:** Konventionelle Speicherung (Quelle: Liacon GmbH)

**Verbrauchersicht:** Eigenverbrauchsoptimierung  
**Netzbetreibersicht:** keine Netzentlastung (Glättung des Abendbezugspeaks)

### Netzdienliche Speicherung



**Abb 83:** Netzdienliche Speicherung (Quelle: Liacon GmbH)

**Verbrauchersicht:** Eigenverbrauchsoptimierung eingeschränkt (witterungsabhängig)  
**Netzbetreibersicht:** signifikante Netzentlastung

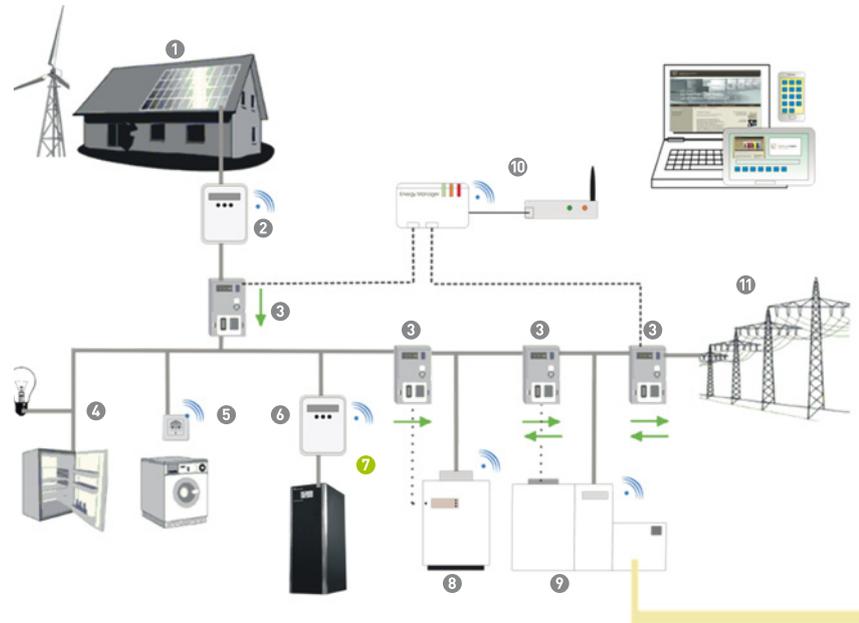
Wohnvierteln führt das gemeinsame Einspeisen vor allem um die Mittagszeit herum zu einer Überlastung der Stromnetze. Die Stromversorger müssen, um Störungen zu verhindern, kostenaufwendig die Netze ausbauen. Außerdem kann das Einspeisen von Strom aus mehreren Anlagen auf dieselbe Phase des Stromnetzes zu einer Phasenschieflage führen.

Eine Lösung für diese Probleme bieten lokale Stromspeicher, die den überschüssigen erzeugten Strom in den Mittagsstunden zwischenspeichern können. Dieser gespeicherte Strom kann dann in den Abendstunden im Haushalt verwendet werden. Das hat mehrere positive Effekte. Zum einen wird das Netz massiv entlastet, da um die Mittagsstunden weniger eingespeist wird und die abendlichen Strombezüge sinken. Zum anderen können die Haushalte, indem sie selbsterzeugten Strom nutzen, ihre Energiekosten drastisch senken. Der Betrieb von dezentralen kombinierten Photovoltaikanlagen mit Speichern muss jedoch intelligent gesteuert werden, um nicht entweder eine reine Eigenverbrauchsoptimierung ohne signifikante Netzentlastung („konventionelle“ Speicherung) oder eine rein netzdienliche Speicherung mit reduziertem Nutzen für den Verbraucher zu erreichen.

Hierzu werden sogenannte Energiemanager eingesetzt, die Informationen über die Erzeugungsseite, z. B. im Zusammenhang mit Wetterprognosen aus dem Internet, in das Haussystem integrieren. Ein solches Managementsystem kann auch noch weitere Daten berücksichtigen, um daraus eine für den Netzbetreiber und den Verbraucher optimale Nutzung zu erreichen, etwa Daten über das häusliche Verbrauchsprofil, die Netztarifsituation usw. Wie eine solche Installation aussehen könnte, wird in Abbildung 84 gezeigt.

**Abb 84:** Systemintegration in das Hausnetz (Quelle: Liacon GmbH)

- ① PV-Anlage
- ② PV-Wechselrichter
- ③ Bidirektionaler Zähler
- ④ nicht steuerbare Verbraucher
- ⑤ steuerbare Verbraucher
- ⑥ Batterie Wechselrichter
- ⑦ Batteriespeicher
- ⑧ Wärmepumpe
- ⑨ Blockheizkraftwerk
- ⑩ Home Manager
- ⑪ Netz

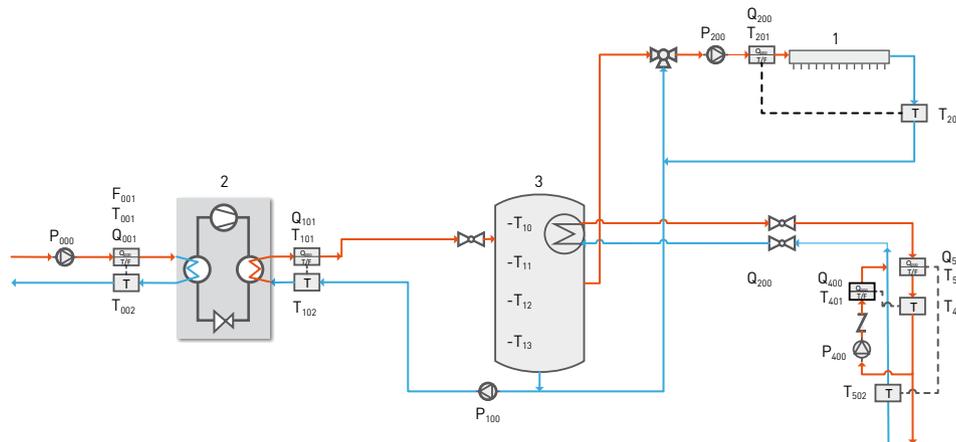


Schon heute gibt es eine große Vielfalt an Speichertechnologien auf dem Markt. Neben den verschiedenen Formen der Blei-Technologie gibt es eine große Bandbreite verschiedener Lithium-Ionen-Speichertechnologien, die sich sowohl in ihrer elektrochemischen Zusammensetzung als auch im Aufbau unterscheiden. Bei der Wahl der richtigen Speichertechnologie müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Neben den Investitionskosten und der Sicherheit der Technologie sind auch Faktoren wie Langlebigkeit und nutzbare Kapazität von Bedeutung.

## 9.7 Monitoring

### Monitoring der Plusenergiesiedlung

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Betriebsmodi der Hausanlagen untersuchen zu können, den Betrieb zu überwachen und zu optimieren sowie die simulationsgestützten Regelungsmechanismen mit den notwendigen Daten zu versorgen, müssen die elektrischen und auch die Wärmeenergieflüsse detailliert erfasst und ausgewertet werden. Dies geschieht über Smartmeter, die an den Schnittstellen zwischen Photovoltaikanlage, Wärmepumpe, Haushaltsstrom und Stromnetz eingebaut werden, und über Wärmemengenzähler und Temperatursensoren, die den Heizbetrieb und die Warmwasserbereitung überwachen. Das thermische Monitoring eines so ausgestatteten Gebäudes ist in Abbildung 85 dargestellt.



**Abb 85:** Schema thermisches

Gebäude-Monitoring (Quelle: zafh.net)

- 1 Fußbodenheizung
- 2 Wärmepumpe
- 3 Kombierter Pufferspeicher
- Messanbindung
- F** Durchflussmesser
- T** Temperaturmesser
- Q** Wärmemengenzähler
- $T_{10}^*$ ,  $T_{13}$ ,  $T_{20}^*$ ,  $T_{23}$  optional

Bei den einzelnen Gebäuden wird zwischen Intensiv-Monitoring und extensivem Monitoring unterschieden. Intensiv-Monitoring wird in sechs ausgewählten Gebäuden angewandt, die mit einem Batteriespeicher ausgestattet sind. Ziel dabei ist es, alle Betriebsparameter genau zu erfassen, um Aufschluss über die Auswirkungen der verschiedenen Regelungsstrategien auf die einzelnen Komponenten zu erhalten. In den übrigen am Projekt beteiligten Gebäuden wird extensives Monitoring mit deutlich geringerem Aufwand betrieben. Hier werden nur die für die Gesamtbilanz wichtigen Energieflüsse der Plusenergiegebäude bestimmt. Durch diese Aufteilung können detaillierte, umfangreiche Daten mit vertretbarem Aufwand gesammelt werden. Alle erfassten Daten werden zentral in einer SQL-Datenbank gespeichert, auf die die Projektpartner über eine per Smart-Card und PIN gesicherte Verbindung zugreifen können. Das ermöglicht eine einfache, teils automatisierte Auswertung und Fehlerüberwachung und

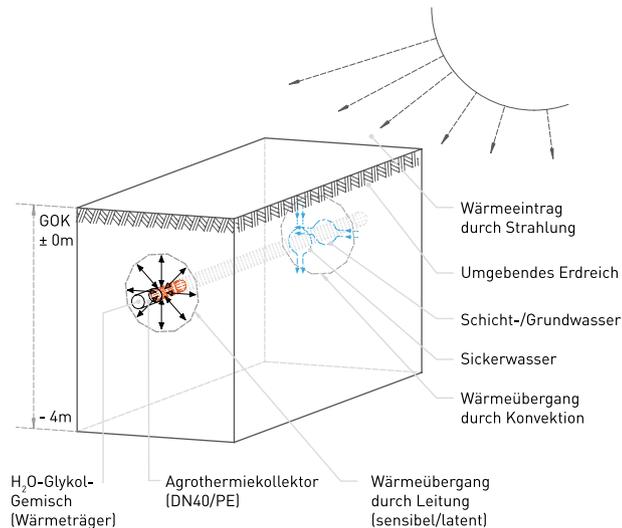
gestattet einen schnell zugänglichen Überblick über alle Daten der unterschiedlichen Messpunkte.

### **Monitoring der Agrothermie-Kollektorflächen**

Auch der Agrothermiekollektor soll als wichtiger Bestandteil des Kaltwärmenetzes durch das Monitoring in seiner Funktionsweise überprüft werden. Durch eine detaillierte Vermessung der Leistungsfähigkeit dieses Systems soll eine höhere Planungssicherheit für die Auslegung künftiger Anlagen erreicht werden.

Durch die gegebene Größe des Kaltwärmenetzes und unter Berücksichtigung der örtlichen Verteilung der „Wärmeeinspeiser“ und der „Wärmeabnehmer“ im Netz ergibt sich zeitlich betrachtet nicht in jedem Fall eine ausgeglichene Energiebilanz. Deshalb wird ein Pufferspeicher für das Überangebot an Wärme (Kühlfall im Sommer) bzw. die Übernachfrage an Wärme (Heizfall im Winter) notwendig. Durch die Installation des Agrothermiekollektors können die ersten 4 m Erdreich unter der Geländeoberkante für diese Aufgabe der Netzstabilisierung genutzt werden. Das so erschlossene Erdreich wird thermisch genutzt, um Leistungsspitzen auszugleichen, die im Netzbetrieb auftreten können. Neben den jahreszeitlich schwankenden Bodentemperaturen wird im Bereich des Agrothermiekollektors die Temperatur des angrenzenden Erdreichs durch zusätzliche Wärmelasten verändert. Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass sich die Amplitude der Temperaturkurve im Vergleich zum jahreszeitlich wechselnden Temperaturverlauf von ungestörtem Erdreich gleicher Tiefe und Beschaffenheit vergrößert. Bei sehr unausgeglichener Verteilung von Kühl- und Heizlasten können im Winter rund um die Agrothermiekollektorrohre sogenannte Eislinsen entstehen, da der Wärmeträger (eine Wasser-Glykol-Mischung) auch Betriebstemperaturen unter dem Gefrierpunkt ermöglicht. Wenn sich Eislinsen bilden, kommt es zu einem Phasenwechsel des Schicht- und Grundwassers in direkter Umgebung des Kollektors vom flüssigen in den festen Aggregatzustand. Diesem Prozess inhärent ist, dass der Phasenwechsel des Wassers von flüssig zu fest (Vereisen) oder umgekehrt von fester in die flüssige Phase (Schmelzen) mit einer hohen Wärmefreisetzung bzw. -aufnahme einhergeht, die ohne messtechnisch erfassbare Temperaturerhöhung erfolgt. Man spricht in diesem Fall von latenten (verborgenen) im Gegensatz zu sensiblen (fühlbaren) Wärmeübergängen. Die Messung von sensiblen Wärmeübergängen ist technisch nicht aufwendig und kann durch geeignete Temperatursensoren erfolgen. Latente Wärmeübergänge zu erfassen ist wesentlich anspruchsvoller und stellt die eigentliche Herausforderung des Monitoring eines Agrothermiekollektors dar. Hierzu wurde ein Messkonzept entwickelt, das neben der Bodentemperatur auch die Bodenfeuchte erfasst. Bei bekannter Porosität und bekanntem Feuchtegehalt der Krume können gewichtete, durchschnittliche Stoffwerte des Erdreichs gebildet werden, die in die Berechnung des thermischen Verhaltens eingehen. Die konvektiven Einflüsse des eventuell vorhandenen Schicht- oder Grundwassers sollen über Pegelmessungen bestimmt werden, anhand derer die Fließrichtung und -geschwindigkeit des Schichtwassers bestimmt wird. Mithilfe von Wetterdaten der Wetterstation in Wüstenrot wird die durch Strahlung in das System des Agrothermiekollektors eingebrachte Energie definiert.

Durch eine Energiebilanz aller beschriebenen Wärmeeinträge und der Entzugs- bzw. Speiseleistung des Kollektorrohrs im Heiz- bzw. Kühlfall können die Leistungsfähigkeit des Pufferspeichers überprüft und ein mathematisches Abbild des Kollektors validiert werden.



**Abb 86:** Energie- und Stoffströme, die beim Monitoring des Agrothermiekollektors erfasst werden (Quelle: zafh.net)

## 9.8 Akzeptanz

Die Nachfrage nach den insgesamt 25 Baugrundstücken in der Plusenergiesiedlung war zu Beginn der Vermarktungsphase im August 2011 noch sehr zögerlich. Die höheren Baukosten durch den vorgegebenen KfW-55-Standard mögen dabei eine Rolle gespielt haben, aber sicher auch eine gewisse Skepsis gegenüber der neuen Technik der Wärme- und Energieversorgung. Nach der Verleihung des Smart Grids-Quartier-Award für die Konzeption des Quartiers, einer Veröffentlichung in einer regionalen Baufachzeitschrift und mehreren Infoveranstaltungen vor Ort boomte die Nachfrage dann Anfang 2015, und die restlichen freien Grundstücke waren in kurzer Zeit vergeben. Bis zum Herbst 2015 gingen weiterhin sehr viele Anfragen ein, die alle abschlägig beschieden werden mussten. Nun ist eine Erweiterung des Baugebiets angedacht.

Gebaut haben überwiegend junge, technikinteressierte Familien, die zu einem großen Teil auch beruflich einen technischen Hintergrund haben und ihre Erfahrungen mit dem Plusenergiekonzept sehr positiv kommunizieren. Die Anregung der Gemeinde, eine „Eigentümer-Initiative Vordere Viehweide“ zu gründen, wurde bereitwillig umgesetzt. Durch gemeinsame

Aktivitäten wie Grillfeste und Wanderwochenenden intensivierte sich der Kontakt zwischen Gemeinde, Planern und Bauherren. Fragen können nun schneller beantwortet und Probleme eher erkannt werden, Lösungen werden gemeinsam gesucht und in die Tat umgesetzt. Erste Ansprechpartner sind zwei Bauherren, die als „Viehweidepaten“ nicht nur das Bindeglied zwischen Anwohnern und Verwaltung sind, sondern auch in Eigeninitiative weiteren (Bau-) Interessierten die Plusenergiekonzeption und die damit verbundene Technik im Haus erklären.

Auf Anregung von Thomas Löffelhardt, dem Leiter des Fachbereichs „Technik und Energie“ in der Gemeindeverwaltung, erfolgte auch die Gründung des „Arbeitskreises Haus“ zur Unterstützung bei der Umsetzung des Kaltwärmenetzes in der Vorderen Viehweide. Hier konnten ein Kreis von Handwerkern aus lokalen Betrieben einbezogen und Hemmschwellen gegenüber dem Projekt abgebaut werden. Ferner wurde auch Know-how für die Herstellung der Hausanschlüsse an das kalte Wärmenetz vermittelt.

## Ausgezeichnet

**Abb 87:** Verleihung des Smart Grids-Quartier-Award für die Plusenergiesiedlung mit Dr. Albrecht Reuter (l.), Vorstandsvorsitzender der Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg e. V., Thomas Löffelhardt (M.), Leiter des Fachbereichs „Technik und Energie“ der Gemeinde Wüstenrot, und Dr. Dirk Pietruschka (r.), Gesamtkoordinator des EnVisaGe-Projekts und Geschäftsführer des Instituts für angewandte Forschung der Hochschule für Technik Stuttgart (Foto: Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg e. V.)



Die Netzwerkplattform SmartGrids BW vergab im März 2015 den mit 5.000 Euro dotierten Smart Grids-Quartier-Award Baden-Württemberg für innovative Quartiere mit Vorbildcharakter zu gleichen Teilen an das Modellprojekt Weinsberg und das Projekt „EnVisaGe Wüstenrot“ für die dort entwickelte Plusenergiesiedlung. Die Wüstenroter Plusenergiesiedlung überzeugte die Jury durch den „besonderen Fokus auf den netzdienlichen Betrieb der Systeme sowie die vorbildliche Einbindung in das kommunale Gesamtkonzept der Gemeinde Wüstenrot“.

Ein Jahr zuvor, im März 2014, hatte eine unabhängige Jury aus Politik, Wissenschaft, Medien und Wirtschaft erstmals die „REENERGY“-Preisträger der Stuttgarter Fachmesse mit Kongress CEB Clean Energy Building gewählt. Der Preis war vom Messeveranstalter REECO ausgelobt worden. In der Kategorie „Energienachhaltige Kommune“ wurde der Wüstenroter Bürgermeister Heinz Nägele für die Wüstenroter Plusenergie-Strategie ausgezeichnet.

## 10. Wirtschaftlichkeit und Finanzierung

### 10.1 Wirtschaftlichkeitsanalysen

Die HFT Stuttgart verfolgt in Wüstenrot einen an der Hochschule entwickelten transdisziplinären Ansatz, Energieprojekte umzusetzen und dabei Fachexperten aus der Unternehmenspraxis wie auch relevante Anspruchsgruppen<sup>21</sup> („Stakeholder“) von vornherein einzubinden. Dabei ist ein Standardablauf vorgesehen, bei dem die folgenden drei Stufen gemeinsam durchlaufen werden:

1. **Energetisch-technische Analyse** zur Überprüfung der Grundvoraussetzungen: Erhebung energetischer Potenziale und der Aktionsfelder, Analyse technischer Machbarkeit, Festlegung der Maßnahmen sowie Alternativen und Varianten, Identifizierung relevanter Stakeholder-Gruppen
2. **Wirtschaftlichkeitsanalyse und Nachhaltigkeitsanalyse** als Grundlage für erste Investitionsentscheidungen: Berechnung und Bewertung der jeweiligen Investitionsvolumina und Betriebskosten, Ableitung erster Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen und deren Beitrag zu den jeweiligen Zielen der Region
3. **Entwicklung von geeigneten Finanzierungskonzepten aufbauend auf Punkt 2:** Identifizierung von Zielgruppen, Erhebung von Finanzierungsvolumina und vorhandenen Mitteln, Identifizierung von Finanzierungsbedarf und -engpässen, Untersuchung von Finanzierungsmöglichkeiten und innovativen Finanzierungsinstrumenten

Auf das Projekt EnVisaGe bezogen bedeutet das, dass alle grundsätzlich denkbaren Lösungsansätze in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energien zunächst energetisch-technisch geprüft werden, bevor sie die Ausgangsbasis für die nächsten Schritte bilden. Hierfür wurden alle potenziellen Projekte in einem Maßnahmenportfolio erfasst. Damit lassen sich alle Möglichkeiten zum energetischen Ausbau der Gemeinde systematisch erfassen und für jede Maßnahme das Bewertungsverfahren durchlaufen. Eingebettet ist dieser transdisziplinäre Analyseansatz in ein umfassenderes Konzept, die Energiewende auf kommunaler Ebene zu realisieren.

<sup>21</sup> Anspruchsgruppen sind alle internen und externen Personengruppen, die vom Transformationsprozess gegenwärtig oder in Zukunft direkt oder indirekt betroffen sind. Ein erfolgreiches Projektmanagement muss die Interessen aller Stakeholder bei allen Entscheidungen berücksichtigen.

**Abb 88:** Realisierung der kommunalen Energiewende  
(Quelle: HFT/ZNWM, Philipp Herre)



Abbildung 88 veranschaulicht die Meilensteine zur Realisierung der Energiewende auf kommunaler Ebene am Beispiel Wüstenrots. Den Energiebedarf aus eigenen Quellen statt über fossile, meist importierte Energieträger zu decken, ist ein Schritt der Gemeinde, um einen Kapitalabfluss zu verhindern und der zunehmenden Belastung von Privathaushalten, Unternehmen und Gemeinden durch steigende Energiekosten entgegenzuwirken.

Die Entwicklung des Energienutzungsplans im Rahmen des EnVisaGe-Projekts stellt einen Fahrplan für die Gemeinde dar, um schrittweise ihr Ziel zu erreichen. Ein wesentlicher Bestandteil zur Planung und Umsetzung einer Energiewende auf kommunaler Ebene ist die Partizipation und interkommunale Zusammenarbeit der Stakeholder und verschiedener regionaler Akteure, die sich an der Realisierung der lokalen Vorhaben beteiligen. Die Nachhaltigkeitsbewertung der geplanten Maßnahmen erlaubt neben einer Wirtschaftlichkeitsanalyse auch Aussagen zum ökologischen und sozialen Beitrag. Die ganzheitliche Bewertung ist als Grundlage dafür geeignet, Lösungsmöglichkeiten für den anstehenden Finanzierungsbedarf darzulegen. Die Zahl an Investoren, die ihr Geld verantwortlich anlegen wollen ("Sustainable Investments bzw. Responsible Investments"), ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Klassische Zielgrößen der Geldanlage werden um sogenannte ESG-Kriterien erweitert, um ökologische (Environment) und sozial-gesellschaftliche (Social) Aspekte sowie die Art der Lenkungsform (Governance) zu integrieren. Bei der energetischen Erneuerung im Gebäudebestand und dem

Umbau der Energieversorgung spielt die Finanzierung der Maßnahmen eine zentrale Rolle. Sustainable-Finance-Ansätze identifizieren in diesem Kontext Finanzierungsalternativen und potenzielle Investorengruppen, z. B. bürgerliches Kapital oder Finanzierungsplattformen.

Die in der Grafik dargestellten Meilensteine gewährleisten als Ergebnis Investitionen, um nachhaltig lokale Ressourcen der Gemeinde zu nutzen und das Ziel der Energieautarkie bis 2020 zu erreichen. Bürger der Gemeinde und der Umgebung haben die Möglichkeit, sich aktiv für Projekte zur Nutzung regenerativer Energien oder Effizienzmaßnahmen zu engagieren und gleichzeitig von der kommunalen Wertschöpfung zu profitieren.

### **Auswahl geeigneter Verfahren für die Wirtschaftlichkeits- und Nachhaltigkeitsanalyse**

Bewährte Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsanalyse umfassen allgemein statische Verfahren – etwa Gewinnvergleichsrechnung, Amortisationsrechnung usw. – und dynamische Investitionsrechnungsverfahren wie Kapitalwertmethode, Annuitätenmethode usw. Auch wenn diese Verfahren sich bewährt haben, sollten für einen ganzheitlichen Ansatz weitere beeinflussende Faktoren miteinbezogen werden.

Moderne Verfahren wie der vollständige Finanzplan oder das Lifecycle-Assessment (Lebenszyklusbewertung) bieten sowohl eine wirtschaftliche Bewertung als auch die Integration von Nachhaltigkeitskriterien (z. B. Energy Payback Time, Umweltverträglichkeit, Einsparungen von Brennstoffkosten, CO<sub>2</sub>-Zertifikate, EEG-Umlage). Investitionsrechnungsverfahren nach ökonomischen und Nachhaltigkeitskriterien wurden für einige beispielhafte Rechnungen durchgeführt und zeigen, dass die Anwendung der beiden genannten Verfahren sehr sinnvoll sein kann.

Ein vollständiger Finanzplan umfasst neben der Amortisation auch die Energy Payback Time (EPBT), bei der die Dauer erfasst wird, innerhalb der der Energieaufwand für Herstellung, Installation und Betrieb durch eine Anlage mit erneuerbaren Energieträgern wieder ausgeglichen ist.

Das Life Cycle Assessment (LCA) ist ein Entscheidungsinstrument zur Bewertung der ökologischen Einflüsse während des gesamten Lebenswegs des untersuchten Objekts. Es liefert detaillierte Umweltdaten (z. B. CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, Staub), die – in Relation zu Investitionskosten und Energieeinsparungen gesetzt – dazu beitragen können, Investitionsentscheidungen zu priorisieren. Für die Projekte der Gemeinde Wüstenrot wurden statische und dynamische Verfahren angewendet und um Elemente moderner, modifizierter Verfahren erweitert. Für die Projekte der Heizzentrale des Wärmenetzes in Weihenbronn sowie für ein Energiekonzept der Burgfriedenhalle wurden die Kostenvergleichsrechnung (auf Betriebs- und Investitionskostenbasis) und die Analyse der operativen Cashflows angewendet<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> Aufgrund ihrer Einfachheit in der Anwendung sowie der stark eingeschränkten Datenverfügbarkeit.

## 10.2 Kostenvergleich der Varianten an zwei Beispielen

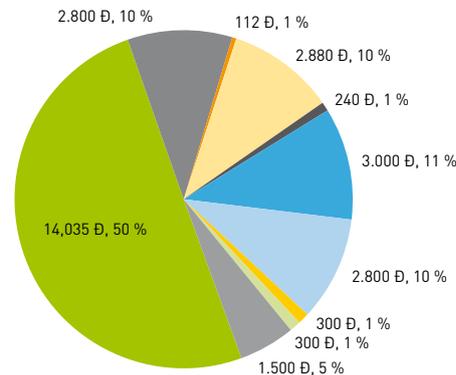
### Beispiel Heizzentrale des Wärmenetzes Weihenbronn

Die Heizzentrale des Wärmenetzes Weihenbronn ist ein Projekt, das für die mögliche Übernahme in die eine Energiegenossenschaft durchkalkuliert wurde. Das Netz wird zu einem niedrigen Preis von der Gemeinde an die Energiegenossenschaft verpachtet. Die Investitionskosten der Heizzentrale belaufen sich auf insgesamt 195.000 Euro. Kostensteigerungen über den Zeitverlauf sind berücksichtigt worden. Deutlich erkennbar ist, dass die Brennstoffkosten mit ca. 61 % der Betriebskosten (Hackgut und Öl für den bestehenden Kessel, der künftig nur als Backup bei Wartungen etc. genutzt wird) die Wirtschaftlichkeit wesentlich bestimmen und daher die Preisentwicklungen der Brennstoffe bedeutende Einflussgrößen hinsichtlich des Projekterfolgs sind.

#### Wärmenetz Weihenbronn: Betriebskosten der Heizzentrale

**Abb. 89:** Betriebskosten der Heizzentrale  
(Quelle: HFT/ZNWM)

- Heizen Hackgut
- Heizen Öl
- Solarthermie
- Strom
- Ascheverwertungskosten
- Wartung und Installation
- Personalkosten
- Verwaltung
- Versicherung
- Sonstige Betriebskosten (inkl. Durchleitungsgebühr)



Kostensteigerungen über den Zeitverlauf sind für die Szenarien Kostenanstieg „hoch“, „moderat“ und „Plan“ simuliert worden.<sup>23</sup> Dabei wurden die in Tabelle 9 gezeigten Annahmen zugrunde gelegt.

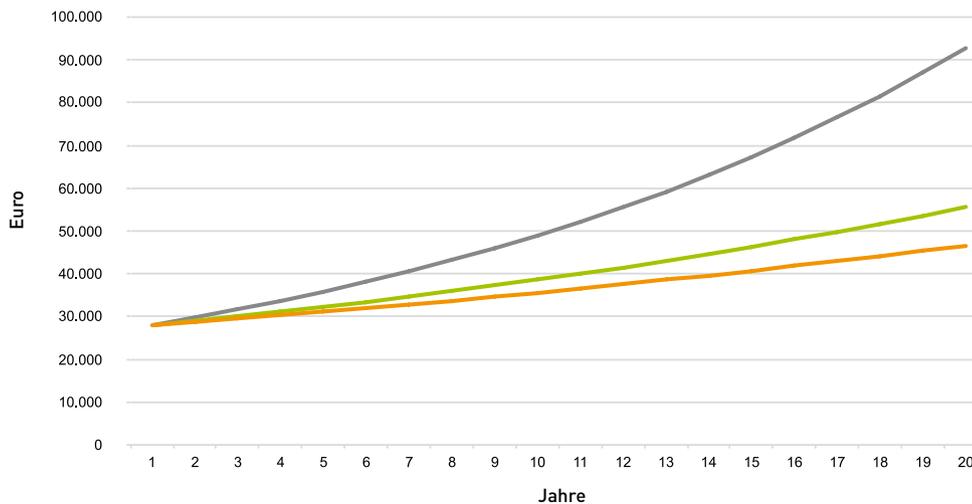
Daraus ergeben sich die in Abbildung 90 dargestellten Anstiege der Betriebskosten über den Planungszeitraum.

<sup>23</sup> Festlegung von Preissteigerungen basieren auf dem Energiebericht Baden-Württemberg 2014, S. 74, und Pellet- und Hackschnitzelpreisen laut C.A.R.M.E.N. e. V.

	Moderat Preissteigerung/a	Hoch Preissteigerung/a	Plan Preissteigerung/a
Holz hackschnitzel	4 %	5 %	3 %
Öl	4,50 %	7 %	3 %
Strom	5 %	8 %	3 %
Verwaltung, Vers., sonst. Betriebskosten	5 %	8 %	2 %
	<b>%/a</b>	<b>%/a</b>	<b>%/a</b>
Kalkulationszinssatz	3,5 %	3,5 %	3,5 %

**Tabelle 9:** Preissteigerungsraten (Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Energiebericht Baden-Württemberg, Stuttgart, 2014, S. 74 und Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V., Pellet- und Hackschnitzelpreise, <http://www.carmen-ev.de>, September 2014)

#### Verlauf der Betriebskosten über 20 Jahre



**Abb. 90:** Verlauf der Betriebskosten über 20 Jahre (Quelle: HFT/ZNWM)

- Hoch
- Moderat
- Plan

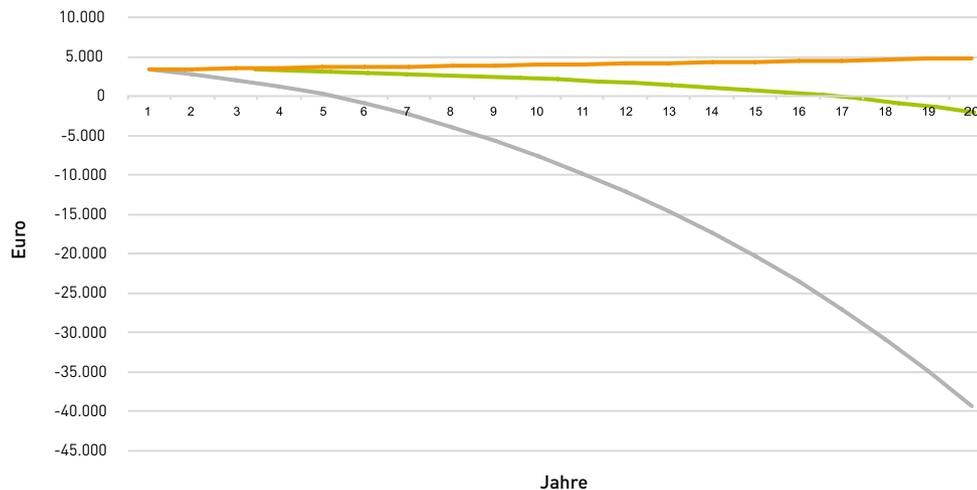
Der Geschäftsverlauf für das Genossenschaftsprojekt wurde mit den oben genannten Szenarien über 20 Jahre simuliert. Hier wurden Dividendenzahlungen von 3,5 % jährlich und ein Fremdkapitalzins von 3 % angenommen (laut Angebot). Dabei wurde ein Eigenanteil von 58.500 Euro an der Investitionssumme von 195.000 Euro unterstellt. Die Gewinn- und Verlustrechnung für das Szenario „Plan“ zeigt einen positiven Verlauf des Jahresüberschusses der Genossenschaft für den gesamten Planungszeitraum.

**Tabelle 10:** Gewinn- und Verlustrechnung (Quelle: HFT/ZNWM, Berechnung auf Basis eines Angebots der UBP-Consulting GmbH & Co. KG)

<b>Erträge</b>	<b>Jahr 1</b>	<b>Jahr 5</b>	<b>Jahr 10</b>	<b>Jahr 15</b>	<b>Jahr 20</b>
Grundpreis Privat	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Arbeitspreis Privat	3.752	4.223	4.896	5.675	6.579
Leistungspreis Privat	6.000	6.495	7.171	7.917	8.741
<b>Erträge Privat</b>	<b>10.752</b>	<b>11.718</b>	<b>13.066</b>	<b>14.592</b>	<b>16.320</b>
Grundpreis Gemeinde	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Arbeitspreis Gemeinde	15.960	17.963	20.824	24.141	27.986
Leistungspreis Gemeinde	6.750	7.306	8.067	8.906	9.833
<b>Erträge Gemeinde</b>	<b>34.710</b>	<b>37.270</b>	<b>40.891</b>	<b>45.047</b>	<b>49.819</b>
<b>Umsatzerlöse</b>	<b>45.462</b>	<b>48.987</b>	<b>53.957</b>	<b>59.640</b>	<b>66.139</b>
<b>Aufwendungen</b>	<b>Jahr 1</b>	<b>Jahr 5</b>	<b>Jahr 10</b>	<b>Jahr 15</b>	<b>Jahr 20</b>
Heizen Hackgut	14.035	15.797	18.312	21.229	24.610
Heizen Öl	2.800	3.151	3.653	4.235	4.910
Solarthermie	112	112	12	12	112
Strom	2.880	3.241	3.758	4.356	5.050
<b>Heizkosten</b>	<b>19.827</b>	<b>22.301</b>	<b>25.836</b>	<b>29.933</b>	<b>34.682</b>
Ascheverwertungskosten	240	270	313	363	421
Wartung u. Installation	3.000	3.247	3.585	3.958	4.370
Personalkosten	2.800	3.031	3.346	3.695	4.079
<b>Wartungskosten</b>	<b>6.040</b>	<b>6.548</b>	<b>7.245</b>	<b>8.016</b>	<b>8.870</b>
Verwaltung	300	325	359	396	437
Versicherung	300	325	359	396	437
Sonstige Betriebskosten	1.500	1.624	1.793	1.979	2.185
<b>Verwaltungskosten</b>	<b>2.100</b>	<b>2.273</b>	<b>2.510</b>	<b>2.771</b>	<b>3.059</b>
<b>Jährliche Betriebskosten</b>	<b>27.967</b>	<b>31.123</b>	<b>35.590</b>	<b>40.720</b>	<b>46.612</b>
<b>EBITDA</b>	<b>17.495</b>	<b>17.864</b>	<b>18.367</b>	<b>18.920</b>	<b>19.527</b>
Abschreibung	9.750	9.750	9.750	9.750	9.750
<b>EBIT</b>	<b>7.745</b>	<b>8.114</b>	<b>8.617</b>	<b>9.170</b>	<b>9.777</b>
Kalkulation, Zins	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925
<b>EBT</b>	<b>4.820</b>	<b>5.189</b>	<b>5.692</b>	<b>6.245</b>	<b>6.852</b>
Steuern	1.446	1.557	1.708	1.873	2.056
Jahresüberschuss	3.374	3.633	3.984	4.371	4.797
Ausschüttung an Eigenkapitalgeber	2.048	2.048	2.048	2.048	2.048
<b>Bilanzgewinn</b>	<b>1.327</b>	<b>1.585</b>	<b>1.937</b>	<b>2.324</b>	<b>2.749</b>

Für die Szenarien Kostenanstieg „hoch“ und „moderat“ zeigen die Ergebnisse über den Planungszeitraum im Vergleich zum Szenario „Plan“ keinen positiven Verlauf, wie in Abbildung 91 zu sehen ist.

#### Verlauf der Jahresüberschüsse für die drei ausgewählten Szenarien



**Abb. 91:** Verlauf der Jahresüberschüsse über den Planungszeitraum (20 Jahre) für die drei Szenarien (Quelle: HFT/ZNWM)

■ Hoch  
■ Moderat  
■ Plan

#### Handlungsempfehlung

Das geplante Vorhaben ist wirtschaftlich. Preisschwankungen stellen allerdings ein Risiko hinsichtlich des wirtschaftlichen Betriebs dar. Es können folgende grundlegenden Aussagen zum wirtschaftlichen Betrieb im Rahmen einer Genossenschaft gemacht und folgende beeinflussende Faktoren genannt werden:

- Nach der Variante „Plan“ ist das Projekt wirtschaftlich. Bei einem starken Anstieg der Brennstoffpreise wäre das Projekt unrentabel (Varianten „moderat“ und „hoch“), denn die Kosten für Hackschnitzel tragen ca. 50 % zu den Betriebskosten bei. Durch die Kopplung des Endpreises an die Brennstoffkosten (Wärmeliefervertrag) können diese Szenarien allerdings vermieden werden, was das Risiko für Investoren stark reduziert. Für den endgültigen Geschäftsplan werden noch Szenarien berechnet, in denen Preisanstiege für Brennstoffe auf den Endpreis umgelegt werden.
- Die Anzahl der Abnehmer beeinflusst ebenfalls die Wirtschaftlichkeit des Projekts.
- Die Dividendenzahlungen in den Anfangsjahren und im weiteren Verlauf sind eine weitere Einflussgröße.

### Beispiel Wärmekonzept Burgfriedenhalle Wüstenrot-Neuhütten

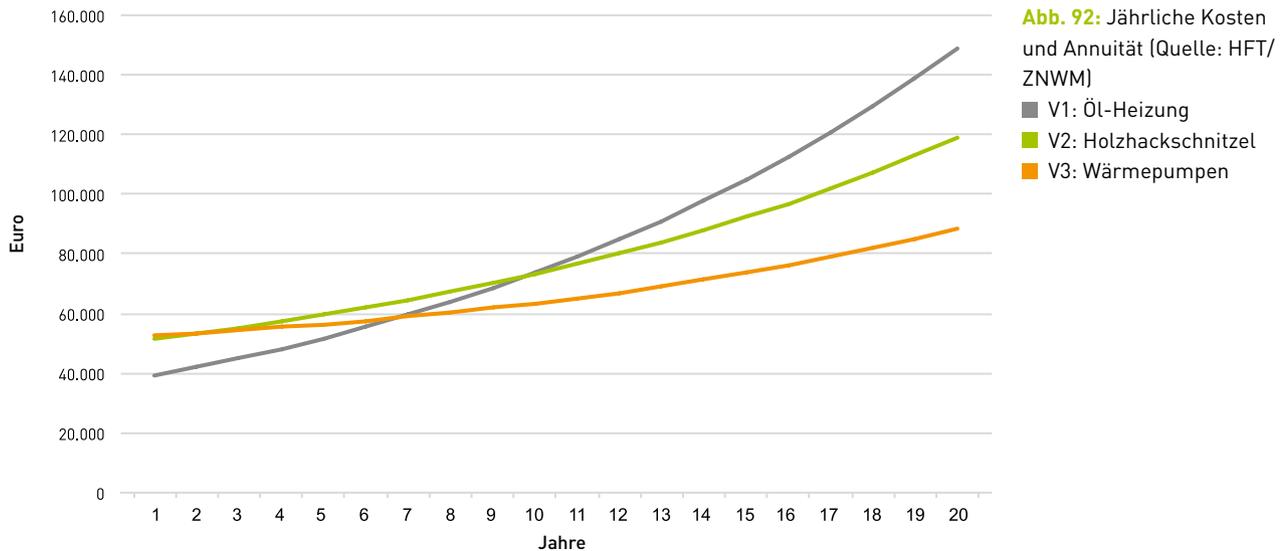
Die 1978 im Ortsteil Neuhütten erbaute Burgfriedenhalle ist mit 1.230 m<sup>2</sup> Fläche die größte Mehrzweckhalle der Gemeinde und wird für Veranstaltungen jeglicher Art genutzt. Für das neue Wärmekonzept der Burgfriedenhalle Wüstenrot kommen drei Varianten infrage. Die Investitionskosten der Variante 1, „Neue Ölheizung“, sind am geringsten. Variante 2, „Holzhackschnitzel“, und Variante 3, „Wärmepumpen“, weisen wesentlich höhere Investitionskosten auf. Variante 0, „Weiternutzung der bisherigen Heizanlage für weitere 20 Jahre“, stellt nur eine theoretische Vergleichsvariante dar, da die Anlage auf jeden Fall erneuert werden muss. Die betrachteten Varianten beinhalten jeweils eine Umstellung des Heizsystems auf ein Niedertemperatursystem, die Integration von Flächenheizsystemen und eine Erneuerung der Lüftungsanlage und deren Umstellung auf reinen Lüftungsbetrieb (künftig keine Heizfunktion).

**Tabelle 11:** Vergleich der Varianten für das Energiekonzept Burgfriedenhalle (Quelle: HFT/ZNWM, eigene Darstellung basierend auf einem Angebot der MEFA Befestigungs- und Montagesysteme GmbH und Berechnungen der Gemeinde Wüstenrot)

	Investitionskosten	Jährl. Betriebskosten	Anteil Brennstoff	CO <sub>2</sub> -Emissionen über 20 Jahre (t)	EUR pro vermiedene Tonne CO <sub>2</sub>
V0: Versorgung mit der herkömmlichen Heizanlage	- €	46.943 €	77 %	3.432	-
V1: Versorgung mit fossilen Brennstoffen	348.792 €	39.121 €	72 %	2.688	468
V2: Versorgung mit Holzhackschnitzeln und Öl	412.635 €	27.779 €	63 %	626	141
V3: Versorgung mit Wärmepumpen und Öl	437.625 €	29.707 €	62 %	1.198 (746 mit Ökostrom)	188

Die Betriebskosten für Variante 3 sind über den Zeitverlauf wesentlich niedriger als bei einer konventionellen Anlage, wie Abbildung 92 zeigt. Wenn die Fördermittel für alternative Heizanlagen berücksichtigt werden, verringern sich die Investitionssummen. Dadurch wird auch die Variante 3 wirtschaftlicher als eine konventionelle Heizung.

### Burgfriedenhalle: Jährliche Kosten und Annuität



### Handlungsempfehlung

Das Konzept der Wärmepumpe weist hohe Investitionskosten auf, allerdings sind die Betriebskosten über den Zeitverlauf am geringsten. Bei einer ganzheitlichen Bewertung der vorgeschlagenen Varianten lassen sich am Beispiel der Burgfriedenhalle folgende Aussagen zum ökologischen Beitrag zu den Gemeindezielen machen:

- Alle Maßnahmen verringern den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Gemeinde.
- Die Auswahl der am besten geeigneten Maßnahme ist abhängig von der Priorisierung der Gemeindeziele (ökonomische und ökologische Ziele).
- Bei der Berechnung der Kennzahl „Investitionssumme pro eingesparter Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent“ ist die Variante 2 zu bevorzugen (außer ggf. bei Ökostrom-Bezug).

## 10.3 Finanzierungskonzepte

Nach der technischen Analyse und der Ermittlung von Investitionsvolumina und Betriebskostenstrukturen unter Nachhaltigkeitskriterien werden im dritten Schritt die maßnahmen-spezifischen Akteursgruppen, die vorhandenen Mittel und das Finanzierungsvolumen ermittelt (siehe Abbildung 93). Durch einen Abgleich von Fördermitteln und Förderkrediten können

Finanzierungsbedarf und Finanzierungsgaps identifiziert werden. So lassen sich die Voraussetzungen dafür schaffen, geeignete Finanzierungsinstrumente und innovative Finanzierungsalternativen zu entwickeln.

**Abb. 93:** Finanzierungsprozess im Kontext des Maßnahmenportfolios, Auszug (Quelle: HFT/ZNWM)



Um den über Fördermittel und -kredite hinaus bestehenden Finanzierungsbedarf für die einzelnen Vorhaben decken zu können, wurden neben klassischen Finanzierungsinstrumenten (z. B. aus den Bereichen Eigen- und Fremdkapital sowie Asset-based Finance und Mezzanine) auch Instrumente und Konzepte aus dem Bereich Sustainable Finance untersucht. Im Vordergrund standen dabei Contracting und Energiegenossenschaften.

Bezogen auf die geplanten Maßnahmen der Gemeinde Wüstenrot werden die folgenden Contracting-Modelle im Hinblick auf die geplante Energiegenossenschaft untersucht, die als Contractor auftreten soll. Der Vorteil liegt darin, Projekte vor Ort durch einen regionalen Contractor durchführen zu können, an dem sich die Bürger vor Ort finanziell beteiligen und so mitbestimmen können. Dafür kommen folgende Formen des Contracting<sup>24</sup> in Betracht:

- **Energieliefer-Contracting:** Die Energiegenossenschaft plant, finanziert, errichtet und führt den Betrieb und Verkauf.
- **Energieeinspar-Contracting:** Die Energiegenossenschaft plant, finanziert, errichtet und garantiert Kosteneinsparungen.
- **Betriebsführungs-Contracting:** Die Energiegenossenschaft betreibt die Anlage (Bedienen, Überwachen, Reparieren und Instandhalten).

Das Finanzierungs-Contracting (Contractor finanziert die Anlage, betreibt sie aber nicht) ist aus finanzrechtlichen und kapitalmarktrechtlichen Gründen für Genossenschaften in der Regel nicht geeignet.

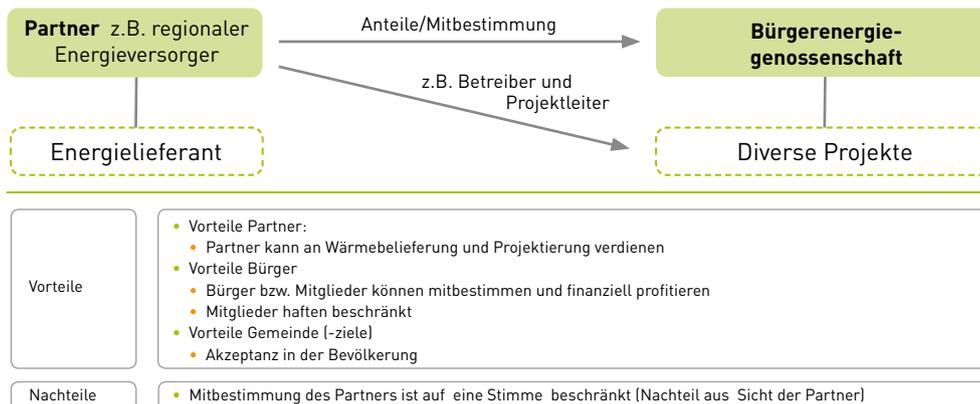
Genossenschaftliche Prinzipien ermöglichen eine subsidiäre, also unterstützende Bürgerbeteiligung an Projekten vor Ort. Bei Bürger-Energiegenossenschaften geht es klassischer-

<sup>24</sup> Hans-Hilmar Bühler „Beurteilung der Geschäftsmodelle unter Berücksichtigung des KAGB“, DGRV – Deutscher Genossenschafts- und Raiffeisenverband e. V., Bundeskongress genossenschaftliche Energiewende, Berlin, 3. Februar 2015, S. 11

weise um Energieerzeugungsanlagen wie Photovoltaik- und Windkraftanlagen. Deshalb ist Energieliefer-Contracting bislang das Hauptbetätigungsfeld für Energiegenossenschaften, Energieeinspar- und Betriebsführungs-Contracting sind noch relativ neue Felder. Mit bundesweit rund 850 Energiegenossenschaften im Jahr 2016 nimmt der Zweckbereich Energie von der Gesamtzahl der Genossenschaften bundesweit rund 10 Prozent ein. Jedes Mitglied kann die Entwicklung der Genossenschaft mitgestalten. Jeder hat die gleichen Rechte und kann sich meist schon mit einem geringen finanziellen Anteil daran beteiligen, um Erneuerbare-Energien-Projekte gemeinschaftlich in der Region zu realisieren. Oft wird allerdings das begrenzte Stimmrecht auf nur eine Stimme unabhängig von der Beteiligungshöhe als Nachteil gesehen (Prinzip „One man, one vote“). Ein weiterer Nachteil ist das eingeschränkte Kapitalaufnahmepotenzial.

Die folgende Grafik stellt die Beteiligungsmöglichkeiten größerer Gesellschaften an einer Genossenschaft dar, zum Beispiel die von Stadtwerken. Auf diesem Wege kann die Genossenschaft auch Projekte mit höherem Investitionsvolumen umsetzen. Dabei werden Beteiligungsmöglichkeiten von regionalen oder auch überregionalen Partnern betrachtet (siehe Abbildung 94). Diese können die Planung oder auch den Betrieb unterstützen, indem sie ihr Know-how oder auch eigenes Personal einsetzen. Zusätzlich verfügen sie oft über ausreichend Kapital für geplante Investitionen, um größere Maßnahmen wie z. B. ein größeres Wärmenetz bei geringfügiger Bürgerbeteiligung umzusetzen.

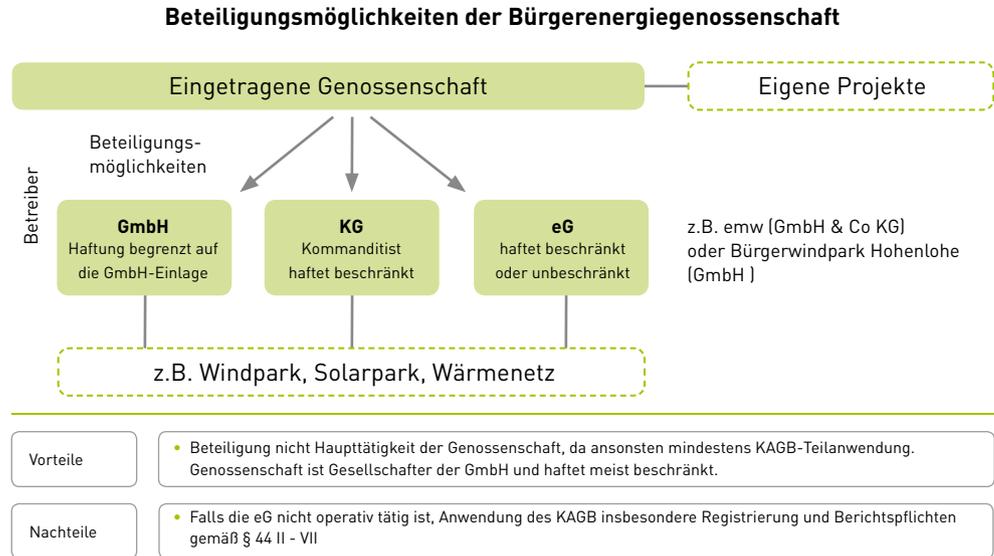
#### Beteiligung regionaler Partner an der Genossenschaft



**Abb 94:** Beteiligung regionaler Partner an Bürger-Energiegenossenschaft Wüstenrot (Quelle: HFT/ZNWM)

Abbildung 95 stellt die Beteiligungsmöglichkeiten einer Genossenschaft an anderen Projekten dar. Diese Möglichkeiten sind allerdings durch die Vorgaben des Kapitalanlagegesetzbuchs (KAGB) eingeschränkt. Wird die finanzielle Beteiligung an anderen Gesellschaften zur Haupttätigkeit der Genossenschaft, gehen die Vorteile der Rechtsform oft verloren.

**Abb. 95:** Beteiligungsmöglichkeiten für die geplante Bürger-Energiegenossenschaft Wüstenrot (Quelle: HFT/ZNWM)



Ziel für Wüstenrot war es, das Finanzierungspotenzial durch die Genossenschaft möglichst umfangreich zu gestalten, damit höhere Investitionsvolumina und die Finanzierung verschiedener Maßnahmen möglich werden. Dabei sind, abhängig von den geplanten Maßnahmen (Wärmenetz, Photovoltaik, Heizanlage usw.), jeweils verschiedene Geschäftsmodelle denkbar.

## 11. Information und Mitgestaltung

Bis 2020 zur Plusenergiekommune zu werden, ist für Wüstenrot nur zu erreichen, wenn die Bevölkerung mitwirkt und alle wichtigen Akteure eingebunden werden. Dabei geht es zum einen ganz konkret um die Mitwirkung der unmittelbar Betroffenen (Hauseigner in der Vorderen Viehweide und Nahwärmekunden in Weihenbronn, Ortsmitte etc.) an der technischen Umsetzung, zum anderen darum, das Vorhaben in einem demokratischen Meinungsbildungsprozess zu positionieren. Daran sind Bürgerinnen und Bürger, der Gemeinderat und viele weitere Akteure beteiligt, die das Projekt fördern, aber auch hemmen können.

Gute und klare Informationen sind die Basis für einen sachbezogenen Diskurs vor Ort. Gerade in Zeiten, in denen potenzielle private Investoren die Sicherheit der Vergütung für erzeugte Energie infrage stellen und die öffentliche Diskussion über Netztrassen und die Gerechtigkeit der EEG-Umlage die zuvor positive Haltung gegenüber dem Ausbau der erneuerbaren Energien umzukehren droht, ist umfassende Information wichtig, die auch Risiken nicht verschweigt. Daneben müssen aber auch die Vorteile hervorgehoben werden, z. B. die Wertschöpfung vor Ort, entstehende Arbeitsplätze, langfristige Versorgungssicherheit, Unabhängigkeit von schwankenden Energiepreisen, Wertsteigerung von energieeffizient sanierten Immobilien, sinkende CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimaschutz.

### **Bürger und Experten: ein Spagat**

Der Gemeinderat hat sich in einer Klausurtagung intensiv mit dem Plusenergieziel und den Umsetzungsschritten beschäftigt. Für die auf Wüstenrot bezogene Kommunikation wird vor allem der jährliche Energietag genutzt. Dieser ist die zentrale Informationsplattform für alle Interessierten, potenzielle Bauherren und Energiegenossenschaftler und bildet den Rahmen für die Zukunftswerkstatt, in der die Bürger ihre Meinung zum Ausbau der erneuerbaren Energien vorbringen können. Als Ausstellungs- und Informationszentrum wurde im Herbst 2015 der „I-Punkt Energie“ gegenüber vom Rathaus eröffnet, wo künftig beispielsweise über Fördermöglichkeiten in der Gebäudesanierung informiert wird. Ein mobiler Pavillon bietet außerdem die Möglichkeit, vor Ort auf verschiedensten Veranstaltungen und Wochenmärkten zu informieren.<sup>25</sup> Zielgruppe der Kommunikation ist die Bürgerschaft insgesamt, vor allem aber sanierungswillige Hauseigentümer, potenzielle Kunden von neu geplanten Wärmenetzen und Interessenten an einer Mitgliedschaft in der Energiegenossenschaft.

<sup>25</sup> Der Infostand wurde in Zusammenarbeit mit der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA), Abteilung „Zukunft Altbau“, inhaltlich konzipiert und bietet ein umfangreiches Sortiment an Infomaterialien, deren Themen von Strompartipps im Alltag bis zur detaillierten Gebäudesanierungs-Checkliste reichen.

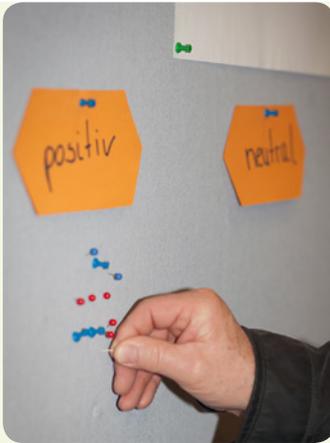
**Abb. 96:** Energietag mit Solar-spielzeug-Basteln für Kinder, Vorträgen mit Diskussion und Zukunftswerkstatt (Quelle: Gemeinde Wüstenrot, HFT/zafh.net)



Schon zu Beginn des Projekts wurde die Haushalts- und Gewerbeumfrage zum baulichen Zustand der Gebäude auch als Informationskanal genutzt, wozu leicht verständliche Informationen zusammen mit der Umfrage verteilt wurden. Seit 2014 werden auch Schülerinnen und Schüler in Unterrichtseinheiten zur „Wüstenroter Energiewende“ für das Thema sensibilisiert. Einige der Jüngeren engagieren sich in der Kinder-Klimaschutzinitiative „Plant for the Planet“.

Feststeht, dass nicht alle Bürgerinnen und Bürger erreicht werden können. Erste Schlüsse aus einer Akteursanalyse, in die wichtige Multiplikatoren in Wüstenrot einbezogen wurden, legen nahe, dass die Kommunikation weiter intensiviert werden muss. Zwar sind die direkt mit dem Projekt befassten Personen gut informiert, etwa die Bauherren in der Plusenergiesiedlung, anschlusswillige Hauseigentümer und der Gemeinderat. Ein großer Teil der Bevölkerung versteht jedoch nur oberflächlich, worum es in dem technisch anspruchsvollen Vorhaben geht, und auch die örtliche und regionale Presse ist mit den komplexen technischen Sachverhalten teilweise überfordert. Nun soll eine niederschwellig angelegte Artikelserie im Gemeindeblatt die Zielsetzung und die Umsetzungsvorhaben in kurzen Texten leicht verständlich erklären.

Die Kommunikation läuft auch über die Gemeindegrenzen hinaus auf einer fachlichen Ebene, auf nationalen und internationalen Tagungen und Kongressen sowie in der Fachpresse. Eine weitere Experten-Zielgruppe sind Bürgermeister, Energiemanager und Stadtplaner anderer Kommunen, die ähnliche Ziele verfolgen. Vor Ort in Wüstenrot haben sich bereits einige Delegationen aus Kommunalvertretern und Energiefachleuten aus dem In- und Ausland (z. B. aus Ungarn und China) informiert.



**Abb. 97 (Bild rechts):**

Bürgermeister Timo Wolf an der im Herbst 2015 zusammen mit dem „I-Punkt Energie“ neu eröffneten Solartankstelle (Quelle: Gemeinde Wüstenrot/Döttling)

Der Spagat, den die Kommunikation hier leisten muss, wurde bei der Konzeption der Projekt-Homepage deutlich, die von den am Projekt beteiligten Firmen aufgebaut wurde ([www.envi-sage-wuestenrot.de](http://www.envi-sage-wuestenrot.de)). Hier werden Informationen für interessierte Laien und auch Experten bereitgestellt, die Seiten sind der Informationstiefe entsprechend mit Farbsymbolen markiert.

Zeitnah umsetzen will die Gemeinde die Idee eines Energielehrpfads, der auch virtuell begehbar sein wird und die Highlights aus EnVisaGe und weitere Leuchtturmprojekte verbindet, zum Beispiel eine Plusenergie-Mehrzweckhalle in der Ortsmitte von Wüstenrot. So kann das Vorhaben anschaulich erklärt werden und der Lehrpfad zusammen mit dem „I-Punkt Energie“ als Rahmen für Führungen und Schulunterrichtseinheiten dienen.

## 12. Handlungsempfehlungen für kommunale Plusenergie-Zielsetzungen

### Planung und Analyse

3D-Stadtmodell: Das virtuelle 3D-Stadtmodell bietet vielfältige Analysemöglichkeiten und eignet sich mit seinen Möglichkeiten zur Szenarienentwicklung auch hervorragend als Planungswerkzeug. Datenerfassung, -bereinigung und -aufbereitung sind Basisbausteine, die allerdings oft in ihrer Relevanz und ihrem Aufwand unterschätzt werden. Es sollte unbedingt Wert darauf gelegt werden, fundiert zu planen sowie alle Daten koordiniert zu erfassen und aufzubereiten, da auf diesen Schritten die gesamte Analyse aufbaut.

Das vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) gelieferte 3D-Stadtmodell des Gemeindegebietes wies trotz manueller Nachbearbeitung durch das LGL Fehler auf, die nach Schätzung der HFT Stuttgart rund ein Drittel der Gebäude betrafen. Diese Fehler konnten automatisiert (etwa durch die Software CityDoctor der HFT Stuttgart) nicht behoben werden, sondern mussten durch ein Näherungsverfahren eingegrenzt werden. Eine weitere manuelle Nachbearbeitung des Modells ist aus Kosten- und Zeitgründen derzeit nicht vorgesehen, ergibt sich aber eventuell im Rahmen einer am LGL laufenden Pilotstudie.

Netzanalyse: Die Anzahl der im Projekt geplanten Messpunkte im Stromnetz war für eine zuverlässige Netzzustandsschätzung hinsichtlich der aktuellen Leistungsflüsse eher zu gering und daher mit Fehlern behaftet. Daher wurden den einzelnen Netzsträngen zusätzlich Lasten auf Grundlage von Analysen der Gebäudevolumina und der zu erwartenden mittleren Lastprofile zugeordnet. Damit ließen sich zu erwartende Maximallasten besser abschätzen als über die punktuell und zeitlich eingeschränkt gemessenen Maximallasten. Zur Verifizierung dieser Ansätze wird empfohlen, eine größere Anzahl an Messpunkten über einen längeren Zeitraum auszuwerten.

Die simulationsgestützte Analyse der Netzbelastung auf Basis der Ausbauszenarien für erneuerbare Energien im Gemeindegebiet erweist sich als ein sehr nützliches Instrument, um Schwachstellen im Stromnetz frühzeitig zu erkennen und verschiedene Gegenmaßnahmen wie den Einbau regelbarer Ortsnetztransformatoren, den Netzausbau oder Batteriespeicher zur Netzentlastung zu bewerten.

### Energieeffizienz und Potenziale

Infrastruktur: Neben den Effizienzpotenzialen der Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED lohnt sich auch ein Blick auf die Wasserver- und -entsorgung. Hier liegen Potenziale vor

allem darin, die Pumpentechnik zu erneuern und ein intelligentes Last- und Speichermanagement einzuführen. Bei einer günstigen topografischen Situation kann auf Erzeugungsseite geprüft werden, ob Frischwasserturbinen zur Stromrückgewinnung eingesetzt werden können. Für Kläranlagen bieten die Klärschlamm-trocknung (und Verbrennung vor Ort) sowie die Nutzung der Abwasserrestwärme ergänzende Potenziale, um Kosten zu senken.

Wärmenetze: Das Interesse am Netzanschluss ist in Wüstenrot sehr hoch. Das mag unter anderem auch am jüngst „verschärften“ baden-württembergischen EWärmeG liegen, das den Anschluss an ein nachhaltiges Netz sehr attraktiv macht. Auch in diesem Bereich ist ein energetisches 3D-Stadtmodell sehr hilfreich, da hier als entscheidender Wirtschaftlichkeitsfaktor die zu erwartende Wärmeabnahmedichte pro verlegtem Trassenmeter ermittelt und deren Entwicklung im Rahmen einer sukzessiven Sanierung von Bestandsgebäuden sehr genau vorhergesagt werden können. Außerdem erlauben ergänzende Werkzeuge eine automatisierte Trassenplanung, die auch Aspekte der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt.

Grundsätzlich zeigen die Untersuchungen, dass es für den Ausbau von Wärmenetzen sehr günstig ist, wenn zumindest ein oder mehrere Großabnehmer wie Schulen, Krankenhäuser, Rathäuser o. Ä. interessiert sind, die als Basis für den Netzausbau genutzt werden können. Häufig lässt sich dann bereits die Heiztechnik zu einem großen Teil über diese Abnehmer refinanzieren, so dass durch die weiteren Anschlüsse der Netzausbau finanziert werden kann.

Solarthermische Anlagen haben sich als Komponenten holzbefuerter Wärmenetze bewährt, da die Netze dann – bei entsprechender Auslegung der Kollektoren und Speicher – im Sommer rein solar betrieben werden können. So wird der ineffiziente Teillastbetrieb der Heizanlagen in den Sommermonaten vermieden. Neben zentralen Solaranlagen im Bereich der Heizzentrale können auch bestehende Kollektoren auf den Dächern der Kunden des Wärmenetzes eingebunden werden. Hier sollte allerdings eine genaue Netzanalyse vorgenommen werden, um sicherzustellen, dass keine Regelungsprobleme bei der Einspeisung ins Wärmenetz verursacht werden.

### **Umsetzung Plusenergiesiedlung**

Kaltwärmenetz mit Agrothermiekollektoren: Aus der europaweit ersten Umsetzung eines Kaltwärmenetzes mit Agrothermiekollektoren als Wärmequelle konnten zahlreiche nützliche Erkenntnisse für künftige Umsetzungen gewonnen werden. Die Wesentlichen sind im Folgenden dargestellt.

Verlegung der Agrothermiekollektoren: Es hat sich bei der Montage bewährt, die Kollektorrohre mit einem Kopfgraben einzubringen und nachträglich einen Zielkopfgraben anzulegen. Die Verlegung der Kollektorrohre längs zur Hanglage bedarf günstiger Wetterverhältnisse, weil sonst die Montagetechnik abdriften kann.

Die im Bodengutachten nicht angezeigten Sandsteinbänke auf einer Teilfläche des Kollektorfelds erforderten einen Pflügedurchgang vor der eigentlichen Verlegung. An einigen Stellen musste ein Bagger eingesetzt werden. Ein optimiertes Verfahren zur Bodenvorerkundung wäre hier hilfreich und soll im Zuge von Weiterentwicklungen der Verlegetechnik gefunden werden.

Zu Beginn des Projektes konnte nur ein Rohr eingezogen werden, was den Montageaufwand und die Effizienz der erschlossenen Fläche negativ beeinflusste. Mittlerweile wurde die Montagetechnik optimiert, so dass jetzt zwei Rohre in geringerem Abstand gleichzeitig eingezogen werden können. Im Endausbau sollen drei Rohre gleichzeitig eingezogen werden können. Dazu bedarf es allerdings einer Entwicklung neuer, für diese Anwendung optimierter Zugmaschinen. Die Entwicklung einer solchen Zugmaschine ist im Rahmen eines weiterführenden Forschungs- und Entwicklungsprojekts der Firma Doppelacker GmbH geplant.

Problem Grundstücksnutzungsrechte: In Umsetzungsprojekten kommt es häufig zu Verzögerungen, für die mit einem ausreichenden Zeitpuffer im Projektablauf vorgesorgt werden sollte. Konkret ist es zu Verzögerungen bei der Umsetzung der zweiten Agrothermiefläche gekommen, weil durch einen nicht vorhersehbaren Grundstücksverkauf Schwierigkeiten bei den Verhandlungen zur Nutzung der Grundstücke entstanden waren. Das Verlegen des Kollektors II verzögerte sich stark, da die Leitungsführung teilweise über Privateigentum erfolgt und die Verhandlungen mit einem Grundstückseigner erfolglos blieben. Daher mussten Alternativflächen ermittelt und mit den dortigen Eigentümern abgestimmt werden.

Nutzungsrechte sollten frühzeitig sondiert und ggf. mit Vorverträgen abgesichert werden. Vorbehalte von Grundeigentümern resultieren hauptsächlich aus der Erkenntnis, dass Kollektorflächen definitiv nicht mehr als Bauland genutzt werden können. Alternativ sollten die Flächen im Vorfeld erworben werden.

Kaltwärmenetz: Im Projekt musste das Kaltwärmenetz über einen Nachtrag in die Erschließung eingebracht werden, die bereits durchgeplant war und begonnen hatte, was zu sehr hohen Kosten führte. Es ist also generell darauf zu achten, ein Kaltwärmenetz frühzeitig zu planen und auch in die Gesamtplanung aufzunehmen.

Eichung/Wärmemengenzähler Kollektor: Die geltenden Regularien decken Wärmemengenzähler für Wasser mit Frostschutzbeimischung (Glykol) nicht ab. Die Glykolbeimischung dient dazu, den Betrieb auch bei starken Minustemperaturen im Winter zu sichern und ist daher unverzichtbar. Die Physikalisch-technische Bundesanstalt Braunschweig/Institut Berlin (PTB) arbeitet daran, die Eichfähigkeit für Zähler von Wasser-Glykol-Gemischen herzustellen und diese Rechtslücke zu schließen. Die steigende Nachfrage nach Niedrigtemperaturversorgung für energetisch sanierte Bestandsgebäude ebenso wie für neu gebaute Niedrigenergiehäuser braucht den Rahmen von rechtlich verlässlichen Wärmeversorgungsverträgen. Der PTB wurde das Angebot unterbreitet, die Pilotanlage in Wüstenrot zur Feldforschung zu nutzen. Die Doppelacker GmbH installierte Zähler der Schweizer BELIMO Automation AG, die

den Glykolgehalt ausweisen. Durch Probeentnahme und Laborprüfung wurde die Anzeige der Messgeräte bereits als korrekt bestätigt.

Wärmelieferverträge: Die Wärmelieferverträge in Bezug auf Abrechnung und Laufzeiten adäquat aufzusetzen, gestaltete sich komplizierter als ursprünglich geplant. Vor allem waren dabei auch Probleme hinsichtlich der Messtechnik zu lösen, da, wie im vorigen Abschnitt schon beschrieben, derzeit noch keine geeichten Zähler für Kaltwärmenetze mit Wasser-Glykol-Gemisch verfügbar sind. In Wüstenrot wurde entschieden, die Wärmemenge nach der Wärmepumpe zu messen und den Bezug an Niedertemperaturwärme über einen festen Faktor rechnerisch zu ermitteln. Für künftige Projekte sollte darüber nachgedacht werden, ob die gelieferte Wärme- bzw. Kältemenge über eine Flatrate abgerechnet werden kann; das würde dazu beitragen, den Verwaltungsaufwand und die Kosten zu verringern. Weiterhin wäre denkbar, die Infrastruktur aus Kaltwärmenetz und Agrothermiekollektor auf die Grundstückspreise umzulegen und sie den Bauherren zur Verfügung zu stellen. Aufgeteilt nach Anschlussleistung könnten dann zusätzlich anfallende (sehr geringe) Kosten für den Unterhalt des Netzes und ggf. die Pacht von Grundstücken für den Agrothermiekollektor als feste Jahresbeiträge umgelegt werden. Hierzu sind allerdings noch die rechtlichen Rahmenbedingungen zu klären und mögliche Vertragsmodelle zu entwickeln.

Entwicklung der Mess- und Steuerungstechnik der Plusenergiesiedlung und Anbindung an das virtuelle Kraftwerk: Der Aufwand für die Umsetzung des Monitoring und der technischen Steuerung in der Plusenergiesiedlung wurde stark unterschätzt. Insbesondere Planung, Installation und Software-Arbeiten waren mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden, der nicht eingeplant war. Gründe dafür liegen in der Vielfalt der Implementierungsoptionen für die Steuerung, die mit sehr unterschiedlichen Kosten einhergehen (Investitions- und Entwicklungsaufwand) und ganz unterschiedliche Eingriffe in Kundengeräte und -installationen mit sich bringen.

Die Abstimmung zwischen dem „elektrischen“ und dem „thermischen“ Teil der Steuerung gestaltete sich aufgrund verschiedener Sichtweisen bei der Beurteilung möglicher Lösungen und des Vorgehens bei der Entwicklung der Lösungen (Erstimplementierung beim Kunden vs. im Labor) als schwierig. Des Weiteren wurde der Einfluss der Datensicherheitsaspekte auf die Architektur der Lösung unterschiedlich gesehen. Probleme ergaben sich aus der Komplexität des Datenerfassungssystems, da dieses sowohl den Aufgaben zur Messdatenerfassung als auch den Aufgaben der intelligenten Steuerung und Regelung des komplexen Gesamtsystems gerecht werden muss. Der Ansatz, dies über eine übergeordnete, internetbasierte Datenerfassungs- und Transferstruktur umzusetzen, erwies sich jedoch als eine gute und zielführende Entscheidung.

Mit einer zunehmenden Standardisierung im Sinne von steuerbaren „Smart Home“-Geräten werden die Zahl der notwendigen Eingriffe und der Aufwand, um die gewünschten Funktionen zu erhalten, künftig deutlich sinken. So wurden im Rahmen der „Intersolar“ im Juni 2014 bereits eine Reihe von Energiemanagementsystemen angeboten, die zumindest das Thema

Photovoltaik und Wärme im häuslichen Umfeld umfassen. Leider werden in allen Systemen nur Teilaspekte bedient oder die Komponenten sind nur für spezielle Anlagen konzipiert (z. B. als Alleinstellungsmerkmal für eine spezielle Wärmepumpe, die aber im Projekt gar nicht verwendet werden kann). Der Markt konzentriert sich derzeit auf zwei Pole: Auf der einen Seite stehen bekannte, hochpreisige und universell programmierbare Gebäudeautomatisierungslösungen (die sich allenfalls in großen Gebäuden amortisieren), auf der anderen Seite eine Anzahl von Marktakteuren, die speziell entwickelte kompakte Energiemanagementlösungen anbieten, aber den vollen Umfang der notwendigen Schnittstellen und Funktionalität für das Projekt noch nicht anbieten. Die Standardisierung der Energiemanagementfunktionen, Schnittstellen und Hardwarekomponenten ist für den dezentralen Bereich zwingend erforderlich, nicht nur unter dem Aspekt der Investitions- und Betriebskosten für die Anlagen, sondern insbesondere auch, damit die Systeme für lokale Handwerker überhaupt installierbar und wartbar werden. Im Rahmen der Ausschreibung der Mess- und Steuerungstechnik konnte aber ein innovatives Unternehmen ausfindig gemacht werden, das die komplexen Anforderungen mit ausreichender Flexibilität in Zusammenarbeit mit dem Projektteam zu einem vertretbaren Preis umsetzen konnte. Für den künftigen kostengünstigen und standardisierten Praxiseinsatz sind auf jeden Fall weitere Entwicklungen notwendig.

Vermarktung der Baugrundstücke: Die gute Einbindung der Anwohner der Plusenergiesiedlung, die Verleihung des Smart Grids-Quartier-Award an den Wettbewerbsteilnehmer Wüstenrot/EnVisaGe sowie verstärkte Öffentlichkeitsarbeit zur Plusenergiesiedlung haben zu einem raschen Abschluss der Grundstücksvermarktung in der Vorderen Viehweide beigetragen. Weitere Anfragen nach Bauplätzen müssen seit dem Sommer 2015 negativ beantwortet werden. Ein frühzeitige gezielte Öffentlichkeitsarbeit mit der Zielgruppe der Bauinteressierten und das Vertrauen, das eine Auszeichnung wie der Smart Grids-Quartier-Award schaffen können, sind einem Projekt wie EnVisaGe förderlich. Das Baugebiet soll nun erweitert werden, und es haben sich neue Interessenten für einen Anschluss an das Kaltwärmenetz gefunden, darunter eine Gewerbeimmobilie und mehrere Bestandsgebäude. Auch der Anschluss des benachbarten REWE-Markts als Abwärmelieferant ist geplant.

Vermittlung von Know-how: Nach Fertigstellung der ersten Versorgungsanlagen in der Plusenergiesiedlung war eine verstärkte Nachfrage von Heizungsbauern und Fachleuten nach Versorgungsdaten festzustellen, sowohl aus dem Gemeindegebiet als auch aus benachbarten Kommunen. Mit Gründung eines „Arbeitskreises Handwerk“ versucht die Gemeinde, vor allem die örtlichen Betriebe (Heizungsbauer, Installateure, Solaranlagenbauer etc.) in das Projekt einzubinden sowie Know-how zu vermitteln und lokalen Unternehmen so neue Geschäftsfelder zu erschließen. Die Gemeinde bietet – auch über die von den Projektpartnern finanzierte und gepflegte Homepage [www.envisage-wuestenrot.de](http://www.envisage-wuestenrot.de) – regelmäßige Führungen für interessierte Experten an.

Netzwerkbildung Plusenergiesiedlung: Gute Erfahrungen hat das Projektteam damit gemacht, Netzwerke zu bilden. So initiierte die Gemeinde in der Vorderen Viehweide unter anderem Wanderwochenenden und Grillfeste für die an der Umsetzung der Plusenergiesied-

lung Beteiligten. Mit der Gründung der Anwohnerinitiative Vordere Viehweide („Viehweidepaten“) findet ein regelmäßiger Austausch zwischen Bauherren, Gemeinde und Projektsteuerern statt. So können einerseits mögliche Probleme schnell angesprochen und geklärt werden, andererseits stehen die Bauherren der bereits fertiggestellten und angeschlossenen Gebäude mit ihren Erfahrungen und ihrem Wissen den Baubeginnern und den am Kauf von Baugrund Interessierten vor Ort für Fragen zur Verfügung.

Datenschutz: Die Ausarbeitung einer Datenschutzkonzeption für die Erhebung und Analyse der gebäudebezogenen Daten in der gesamten Gemeinde und der Monitoring-Daten aus der Plusenergiesiedlung war sehr umfangreich und kostete Zeit. Eine Datenschutz- und Datenflussinformation wurde zusammen mit jedem Fragebogen zur Gebäudedatenerhebung an alle Haushalte verschickt. Die Erlaubnis zur Nutzung der Monitoring-Daten aus der Plusenergiesiedlung wurde an den Wärmeliefervertrag geknüpft (ohne sie wäre die Anbindung an das virtuelle Kraftwerk nicht möglich) und so der Betrieb der intelligenten Steuerung auch über die Projektlaufzeit hinaus ermöglicht.

In einem Forschungsprojekt ist eine Datenschutzvereinbarung zwar kein Muss, aber trotzdem haben alle Projektbeteiligten eine Geheimhaltungsverpflichtung für die Arbeit mit personenbezogenen Daten unterzeichnet. Damit wurde eine hohe Sensibilisierung des Projektteams für den Umgang mit personenbezogenen Daten erreicht.

## **Finanzierung**

### **Prioritäten setzen und Vorhaben finanzieren**

Um zur Plusenergiegemeinde zu werden, durchläuft eine Gemeinde einen typischen Prozess, indem sie unter Einbindung der Stakeholder Investitionsentscheidungen trifft und geeignete Finanzierungsalternativen identifiziert. Das in Kapitel 10 vorgestellte Instrument des Maßnahmenportfolios systematisiert diesen Prozess, indem alle Maßnahmen abgebildet und im Hinblick auf die Gemeindeziele bewertet und verglichen werden. Basierend auf den Ergebnissen der technischen Analyse können innovative Wirtschaftlichkeitsanalyseverfahren zeigen, wie sich die Ziele der Gemeinde (z. B. Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien, Verringerung des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Maßnahme oder Ortsteil) am kostengünstigsten erreichen lassen.

### **Pro und Contra Bürger-Energiegenossenschaft**

Am Beispiel des Wärmenetzes Weißenbronn lässt sich erkennen, dass eine Modellierung der Geschäftsverläufe eine gute Ausgangsbasis für den Geschäftsplan und die Satzung einer Genossenschaft darstellt. Dies ist der erste Schritt hin zur Gründung einer Genossenschaft und greift Barrieren bei der Einbindung von Bürgern und Partnern vor. Für größere Partner ist allerdings das auf eine Stimme begrenzte Stimmrecht eine Barriere, auch wenn es aus Sicht der Bürger eigentlich eine der Stärken einer Genossenschaft darstellt. Für Partner wie die Stadtwerke oder andere lokale Energieversorger, die notwendiges Kapital und Expertise in

der Projektierung und Betriebsführung mitbringen, kann diese Eigenschaft ausschlaggebend dafür sein, sich an Projekten nicht finanziell zu beteiligen. Allerdings ergeben sich für diese lokalen Akteure zusätzliche Geschäftsfelder im Bereich der Energiedienstleistung und die Möglichkeit, Kunden der Genossenschaft auch für andere Produkte (z. B. Wärme- oder Stromlieferung) zu gewinnen. Die oft von regionalen Planern anvisierte Variante einer finanziellen Beteiligung der Genossenschaft an größeren regionalen Gesellschaften führt durch die Vorgaben des Kapitalanlagegesetzbuchs in den meisten Fällen dazu, dass die Vorteile einer einfachen genossenschaftlichen Organisation entfallen. Daher ist diese Möglichkeit für Genossenschaften stark eingeschränkt.

## **Kommunikation und Partizipation**

### **Partizipation der ganzen Gemeinde**

Die Möglichkeit der Bürgerschaft, sich an Anlagen zur erneuerbaren Energieerzeugung über eine Bürger-Energiegenossenschaft zu beteiligen, wurde in einer Zukunftswerkstatt auf einem Energietag thematisiert und stieß auf gute Resonanz. In verschiedenen Gemeindegebieten zeichnete sich auch eine große Bereitschaft dazu ab, sich an neue Wärmenetze anschließen zu lassen. Mit dem neu eingerichteten „I-Punkt Energie“ eröffnen sich weitere Möglichkeiten der Bürgerbeteiligung und -information im Themenbereich Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Auch hier kann das 3D-Stadtmodell eingesetzt werden, etwa zur Visualisierung von Sanierungs- und Ausbauszenarien.

### **Öffentlichkeitsarbeit und „Wir-Gefühl“**

Gezielte Öffentlichkeitsarbeit kann den Wandlungsprozess hin zur Plusenergiegemeinde stark unterstützen. Die Gemeindeverwaltung – insbesondere der Fachbereich Planen und Bauen, Energie und Technik unter Leitung von Thomas Löffelhardt – leistet vor Ort personalintensive Informations- und Netzwerkarbeit (Beratung im „I-Punkt Energie“, Energietage mit Zukunftswerkstatt, Infoveranstaltungen, Beiträge zum Schulunterricht, Führungen, AK Handwerk und „Viehweidepatenschaft“). Mit der Finanzierung einer Projekt-Homepage, Wettbewerbsbeteiligungen und der Beteiligung an Infoveranstaltungen tragen auch die Partner dazu bei.

Aus einer im Sommer 2015 abgeschlossenen Akteursanalyse ergibt sich, dass das Plusenergieziel in der Gemeinde stark befürwortet wird. Daraus kann ein „Wir-Gefühl“ im Sinne eines gemeinsam unterstützten Ziels entstehen, das durch Erfolg und Anerkennung eine gewisse Dynamik erhält. Aufgrund der komplexen technischen Materie verstehen aber viele weniger technikaffine Bürger nicht, was im Einzelnen geschieht, oder fühlen sich von vornherein überfordert. Um solche Personen für das Thema zu interessieren, müssen niederschwellige Informationsangebote gemacht werden. In Wüstenrot wurde dazu ein Projektflyer herausgegeben, der die Zielsetzung und die Projekte in Weihenbronn (Biomasse-Nahwärmenetz mit Solar-Zuspeisung) und in der Vorderen Viehweide (Plusenergiesiedlung) verständlich erklärt. Geplant sind weiterhin ein Energiepfad und eine Energiepfad-App, die spielerisch Wissen

vermittelt. Öffentliche Veranstaltungen wurden bereits je nach Ausrichtung durch ein Kinderprogramm ergänzt (Energiequiz, Basteln von Solarspielzeug). Die Verleihung des Smart Grids-Quartier-Award ist eine Anerkennung, die ebenfalls dazu beiträgt, weitere Bevölkerungskreise einzubinden. Damit steigen die Chancen, auch im Bereich der Gebäudesanierung bzw. des energiebewussten Kauf- und Nutzerverhaltens erfolgreich zu sein.

### **Vorbildfunktion Kommune**

Durch die aktive Umsetzung von Baumaßnahmen im kommunalen Bereich erkennen mehr und mehr Bürger in Wüstenrot, welche Chancen die neuen Technologien bieten. Das sorgt für Interesse und Vertrauen in private Bau- und Sanierungsmaßnahmen. Leider fehlen der Gemeinde die Mittel, um Informationen, beispielsweise zu Förderungen rund um die energieeffiziente Gebäudesanierung, professionell an interessierte Bürger oder Gewerbetreibende zu vermitteln.



## Die Autoren

### **Dirk Pietruschka**

Dr. Dirk Pietruschka ist wissenschaftlicher Gesamtkoordinator des Projekts EnVisaGe und stellvertretender Institutsleiter des Zentrums für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net) an der Hochschule für Technik Stuttgart. Er studierte Grundlagen- und Bauphysik an der Hochschule für Technik in Stuttgart. Anschließend war er zehn Jahre als beratender Ingenieur in der Bau-praxis tätig. Nach einem Masterstudium in ‚Sustainable Energy Competence (SENCE)‘ und Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter wurde er an der De Montfort University (DMU) in Leicester, Großbritannien, zum Thema ‚Model Based Control Optimisation of Renewable Energy Based HVAC Systems‘ promoviert. Von August 2007 bis Oktober 2013 zeichnete er als Geschäftsführer des Forschungszentrums für Nachhaltige Energietechnik für den Bereich erneuerbare Energiesysteme und Bauphysik verantwortlich. Seit Oktober 2013 ist er Geschäftsführer des Instituts für Angewandte Forschung (IAF) der HFT Stuttgart und stellvertretender Institutsleiter des zafh.net. In dieser Doppelfunktion entwickelt er neue interdisziplinäre Forschungsfelder und baut die internationale Vernetzung der anwendungsorientierten Hochschulforschung an der HFT Stuttgart weiter aus.

Weitere Autoren dieser Publikation und Mitglieder des EnVisaGe-Projektteams sind:

### **HFT Stuttgart, Zentrum für nachhaltige Energietechnik (zafh.net)**

Prof. Dr. habil. Ursula Eicker, Dirk Monien, Ursula Pietzsch, Marcus Brennenstuhl, Ruben Pesch, Éric Duminil

### **HFT Stuttgart, Zentrum für Nachhaltiges Wirtschaften und Management (ZNWM)**

Prof. Dr. Tobias Popović, Daniel Worm

### **HFT Stuttgart, Zentrum für Geodäsie und Geoinformatik (ZGG)**

Prof. Dr. Volker Coors, Claudia Schulte

### **Gemeinde Wüstenrot**

Thomas Löffelhardt

### **ADS-TEC GmbH, Nürtingen**

Gernot Stiefel

### **Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)**

Dr. Jann Binder, Dirk Stellbogen

### **Universität Stuttgart, Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (ifk)**

Florian Gutekunst, Andreas Siebenlist

### **UBP-consulting GmbH & Co. KG, Walldorf**

Franz Bruckner, Dr. Gabriele Geier

### **LIACON GmbH, Itzehoe**

Dr. Gerold Neumann, Dr. Daniela Werlich

**Doppelacker GmbH, Petershagen-Eggersdorf**

Jens Kluge, Dr. Jürgen Kluge

**dieErneuerbaren, Backnang**

Dirk Storz

**Vattenfall Europe Wärme AG, Hamburg**

Roland Hellmer

## Das Zentrum für Nachhaltige Energietechnik der HFT Stuttgart

2002 erhielt das Forschungszentrum seinen Namen. Als landesweites Exzellenzcluster im Themenfeld Gebäudeenergieforschung wurde das „Zentrum für angewandte Forschung an Fachhochschulen – Nachhaltige Energietechnik“ (zafh.net) vom baden-württembergischen Wissenschaftsministerium mit Unterstützung der Landesstiftung Baden-Württemberg etabliert. Unter Leitung von Prof. Dr. habil. Ursula Eicker, die seit 1993 an der HFT Stuttgart forscht, und Dr. Dirk Pietruschka bearbeitet das zafh.net zahlreiche nationale und internationale Projekte zusammen mit Industriepartnern, Kommunen, Architekten, Wohnbaugesellschaften und Planungsbüros ebenso wie mit Hochschulen und Forschungsinstituten weltweit. Zentrale Forschungsthemen sind die Gebäude- und Stadtquartierssimulation, der Einsatz erneuerbarer Energiesysteme, das solare Heizen und Kühlen sowie die Entwicklung von innovativen Energiekonzepten für Gebäude und Quartiere.



ISBN 978-3-8167-9545-2



9 783816 795452

Fraunhofer IRB  Verlag