



Planungsleitfaden Teil 2

**Energieeffizienzmaßnahmen, Potenzialanalyse  
und Zielbilanz**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



**EnEff:Stadt**

Forschung für  
die energieeffiziente Stadt



**EnEff:Wärme**

Forschung für  
energieeffiziente Wärme- und Kältenetze

## Impressum

Herausgeber:

Hochschule für Technik Stuttgart

Forschungszentrum Nachhaltige Energietechnik (zafh.net)

Dr. Dirk Pietruschka,

stellvertretender Institutsleiter und Gesamtkoordinator des dieser Publikation zugrundeliegenden Projekts.

„EnVisaGe Wüstenrot“ wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in der Forschungsinitiative EnEff:Stadt/EnEff:Wärme im 6. Energierahmenforschungsprogramm der Bundesregierung.

Autor dieser Publikation:

Dirk Monien, HFT Stuttgart, Zentrum für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net)

Redaktion: Ursula Pietzsch, zafh.net

Titelbild: Holzhackschnitzel aus der Region auf dem Wüstenroter Holzhof (Foto: Pietzsch/HFT zafh.net)

## Inhalt

|  |    |
|--|----|
| 1. Energieeffizienzmaßnahmen und Einsparungspotenziale .....                             | 5  |
| 2. Erhebung theoretischer Einsparungen im Bereich Wärme.....                             | 6  |
| 2.1 Wohngebäude .....  | 6  |
| 3. Erhebung theoretischer Einsparungen im Bereich Strom.....                             | 9  |
| 3.1 Kommunalen Stromverbrauch .....  | 9  |
| 3.2 Straßenbeleuchtung .....   | 10 |
| 4. Effiziente Wasserversorgung und Lastmanagement.....                                   | 10 |
| 4.1 Effiziente Abwasserentsorgung .....  | 13 |
| 5. Gemeindeweiter Fahrplan zur Stromeinsparung.....                                      | 15 |
| 6. Potenzialanalyse zur nachhaltigen Bedarfsdeckung aus lokalen Quellen.....             | 15 |
| 6.1 Solarenergie.....  | 16 |
| 6.2 Windkraft.....   | 19 |
| 6.3 Biomasse, Biogas und feste Biomasse.....   | 21 |
| 6.4 Technologien für die Stromerzeugung aus fester Biomasse zur Kraft-Wärmekopplung..... | 26 |
| 6.5 Geothermie.....  | 26 |
| 7. Zielbilanz.....   | 27 |

# Einleitung

---

Bilanzielle Energieautarkie zu erreichen, ist das erklärte Ziel der Gemeinde Wüstenrot. Dazu wird der Startbilanz (siehe Planungsleitfaden Teil 1) eine Zielbilanz gegenübergestellt, aus der sich die dazu notwendigen Maßnahmen entwickeln lassen. Im Fall von Wüstenrot wurden Effizienzmaßnahmen und Einsparpotenziale untersucht. Um letzteres zu bilanzieren, hat das Forscherteam die Wasserversorgung, die Abwasserentsorgung sowie die Straßenbeleuchtung unter die Lupe genommen. Die Möglichkeiten der Bedarfsdeckung durch den Ausbau von lokal erschließbaren erneuerbaren Energiequellen wurden anhand der Möglichkeiten untersucht, die sich einer ländlichen Flächengemeinde wie Wüstenrot bieten. Chancen und Hemmnisse einer Umsetzung wurden hierbei ebenso offengelegt, wobei sich manch überraschende Erkenntnis ergab, unter anderem bezüglich einer realistischen politischen Zielsetzung im Bereich der erneuerbaren Energien (mehr dazu auch im Planungsleitfaden 4 – Smart Grid).

Die Zielbilanzierung schließlich diene als Basis des Energienutzungsplans, den die 6.500-Einwohner-Gemeinde im Projekt aus den im Projekt EnVisaGe erarbeiteten Analysen abgeleitet hat und an dessen Umsetzung sie weiter arbeitet.

Das Projekt EnEff:Stadt -EnVisaGe – Kommunale netzgebundene Energieversorgung – Vision 2020 am Beispiel der Gemeinde Wüstenrot“ wurde von 2012 bis 2016 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

# Planungsleitfaden Teil 2: Energieeffizienzmaßnahmen, Potenzialanalyse und Zielbilanz

---

## 1. Energieeffizienzmaßnahmen und Einsparungspotenziale

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 offengelegt hat, wie groß die Herausforderung tatsächlich sein müssen, müssen nun Maßnahmen umgesetzt werden: Schnell und in großem Umfang müssen Energie eingespart und die Energieeffizienz gesteigert werden. Diese Begriffe sollen zunächst definiert werden:

**Energieeinsparung** ist die Verringerung des absoluten Energiebedarfs, etwa durch bauliche Maßnahmen (Gebäudesanierung) oder durch Einsparungen über energiebewusstes Nutzerverhalten im Haushalt oder als Verkehrsteilnehmer.

**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. Deutliche 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 sowohl für den Strombedarf als auch 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 absoluten 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 dieses Leitfadens werden diese speziellen 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>1</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 und ist auch bei der Bilanzierung ausgeklammert.

## 2. Erhebung theoretischer Einsparungen im Bereich Wärme

### 2.1 Wohngebäude

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.

Alle bislang sanierten Wohngebäude einbezogen und alle weiteren Wohngebäude in Wüstenrot als saniert angenommen (Vollsanierung des Gebäudebestandes), würden sich die in Abbildung 1 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. Beides sind Maximalszenarien, weil sie davon ausgehen, dass alle Gebäude saniert sind. Die Medium-Variante stellt dabei das Maßnahmenbündel an Einzelmaßnahmen dar, das je Gebäudetyp

---

1

[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)

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. Die Betrachtung dient in erster Linie dazu, ein Gespür dafür zu entwickeln, welche Potenziale im Wohngebäudebestand begründet liegen.

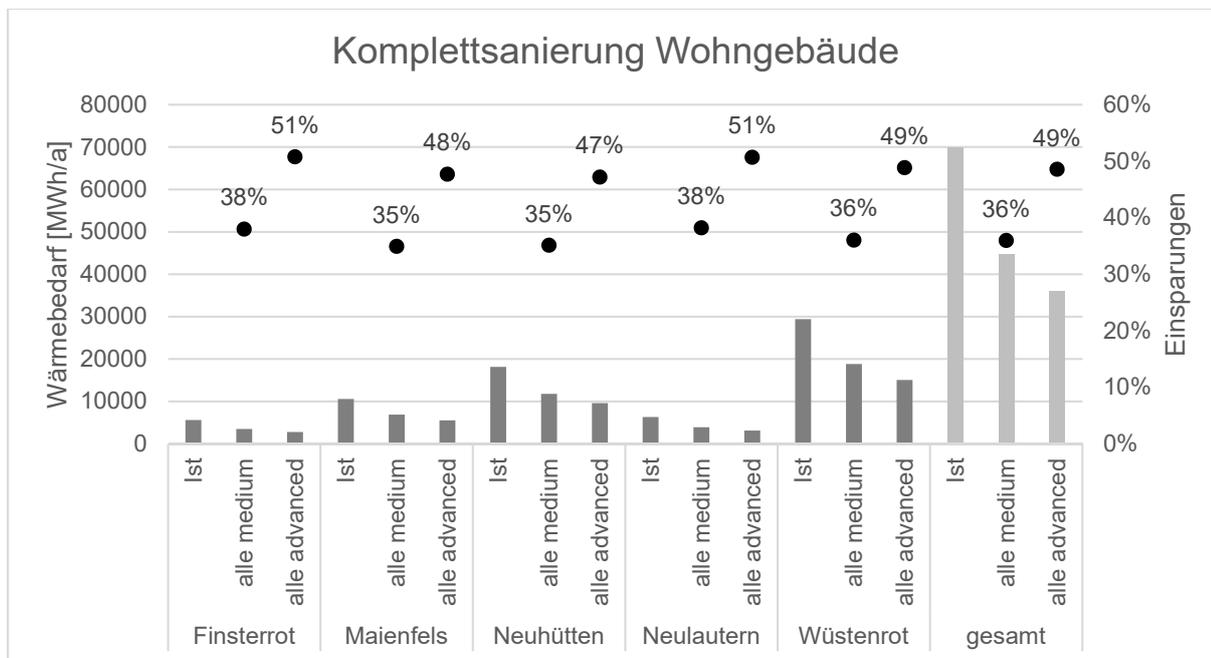


Abbildung 1: Einsparungen nach Maximalszenarien für Wohngebäude

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 zumindest 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 2016 bis 2020 wurde von gesteigerten Bemühungen der Gemeinde um Gebäudesanierungen ausgegangen – und somit mit einer Sanierungsrate von 3 % der Gebäude p. a. gerechnet.

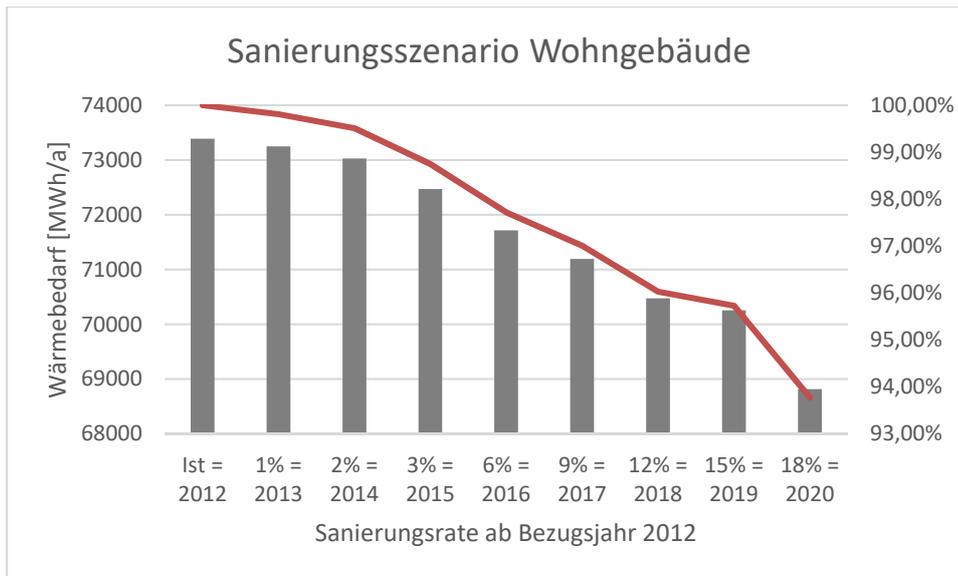


Abbildung 2: „Realistische Mischszenarien“ für Wohngebäude

Abbildung 2 ist zu entnehmen, dass selbst Sanierungsraten von bis zu 3 % 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 7 % reduzieren, dabei wären 18 % 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.

Allerdings: Die oben diskutierten Sanierungsszenarien beziehen sich 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>2</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 Heizungstechnik 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.

<sup>2</sup> <https://www.recknagel-online.de/aktuell/energiewende/30-09-2015-heizungsindustrie-waermewende-bleibt-bislang-aus/>

### 3. Erhebung theoretischer Einsparungen im Bereich Strom

#### 3.1 Kommunalen Stromverbrauch

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 daher 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 Gemeindekassen entsprechend belastet. Schon aus wirtschaftlichen Gründen gilt es, diesen Stromverbrauch durch Effizienzmaßnahmen so weit wie möglich zu senken. In Abbildung 3 ist der jährliche Stromverbrauch dargestellt, der durch kommunale Gebäude und die Infrastruktur in Wüstenrot entsteht.

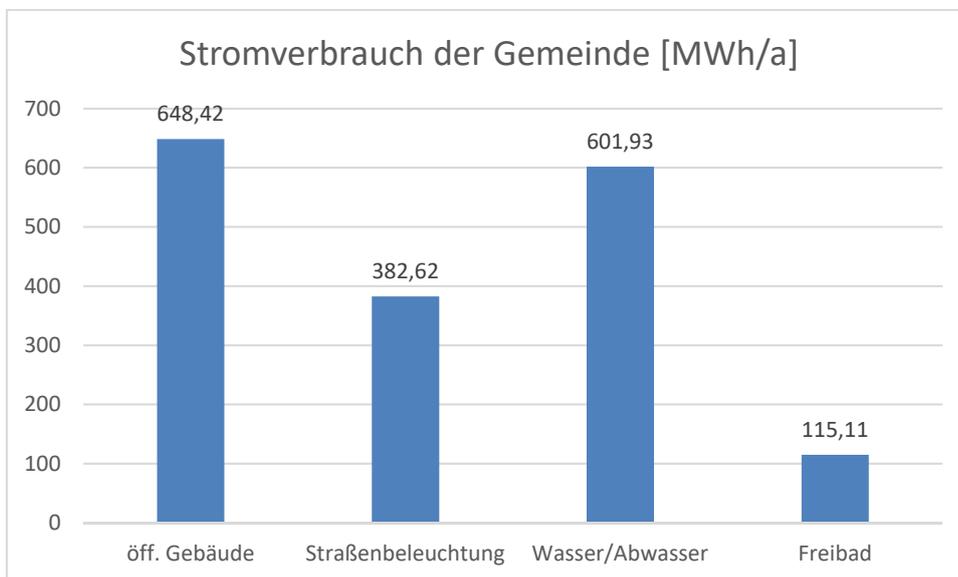


Abbildung 3: Stromverbrauchsposten der Gemeinde im Jahr 2012

Die Straßenbeleuchtung (21 %) und der Wasserkreislauf mit Frischwasserversorgung und Abwasserentsorgung (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.

### 3.2 Straßenbeleuchtung

Auf die Straßenbeleuchtung entfallen in deutschen Kommunen ca. 30 – 50 %<sup>3</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 für 568 Leuchten und einem Umrüstungsvolumen von 410.000 € und Fördermitteln von 100.000 € ist für die kommenden Jahre eingeplant.

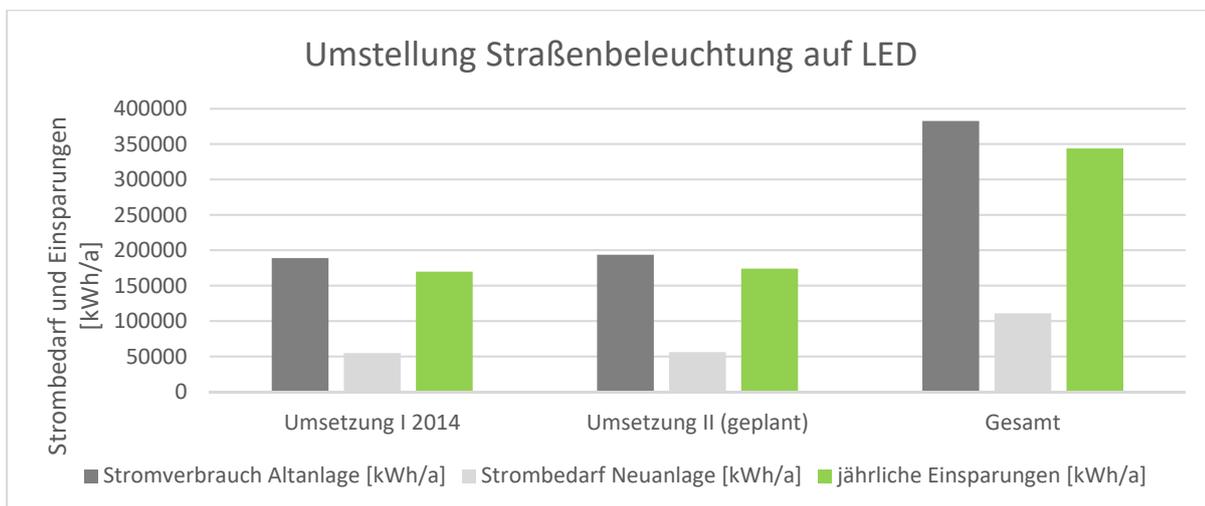


Abbildung 4: Kennzahlen zur Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technik

Von der Umrüstung waren insgesamt rund 38 Straßenkilometer betroffen. Bei kalkulierten Einsparungen von mehr als 70 % kann sich die gesamte Maßnahme bereits innerhalb von 8 bis 9 Jahren amortisieren.

## 4. 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 rund 90 % Anteil am Strombedarf erwies sich der Pumpaufwand als vielversprechend für eine genauere Analyse von Einsparpotenzialen.

<sup>3</sup> Energieeffiziente Straßenbeleuchtung – Einsparpotenziale identifizieren und erschließen (Onlinebroschüre dena 2014)

Weitere Potenziale versprach ein Lastmanagement, also die Beladung der jeweiligen Wasserspeicher in Abhängigkeit von den Nachfrageprofilen.

Der Wasserbedarf der Gemeinde betrug im Jahr 2014 rund 275.000 l und lag 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.

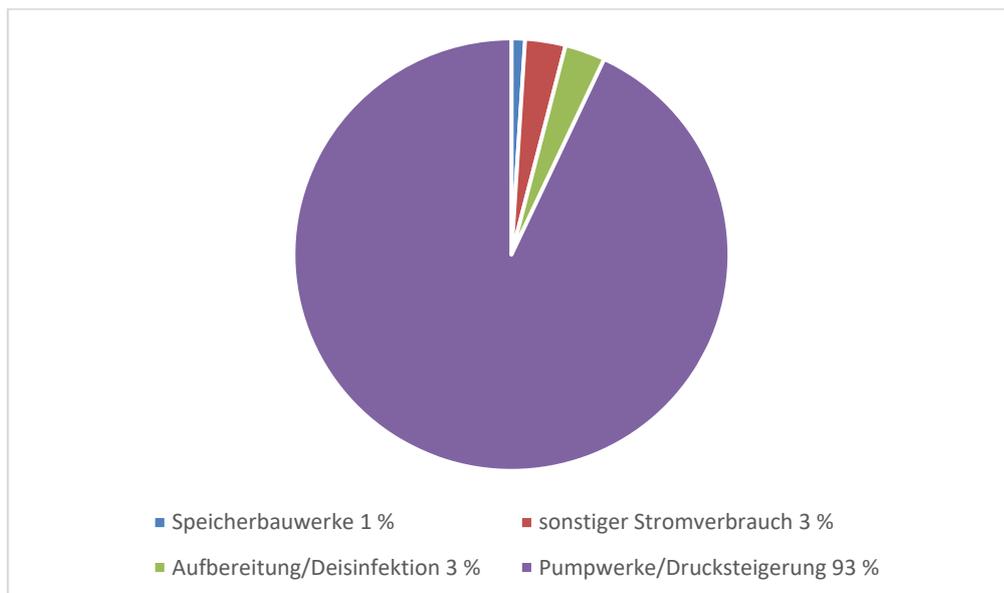


Abbildung 5: Durchschnittlicher Stromverbrauchsanteil einer Trinkwasserversorgung. Quelle: Umweltbundesamt

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 Amortisation des Umbauaufwands nicht absehbar ist. Diese Anlagen mit höheren Stromkosten wurden im Zuge der Untersuchungen ausfindig 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 Topographie 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>4</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>5</sup>. Somit steht etwa die Menge eines Tagesbedarfs von 700 m<sup>3</sup> Frischwasser als tatsächlich für intelligentes Lastmanagement nutzbare Reserve zur Verfügung.

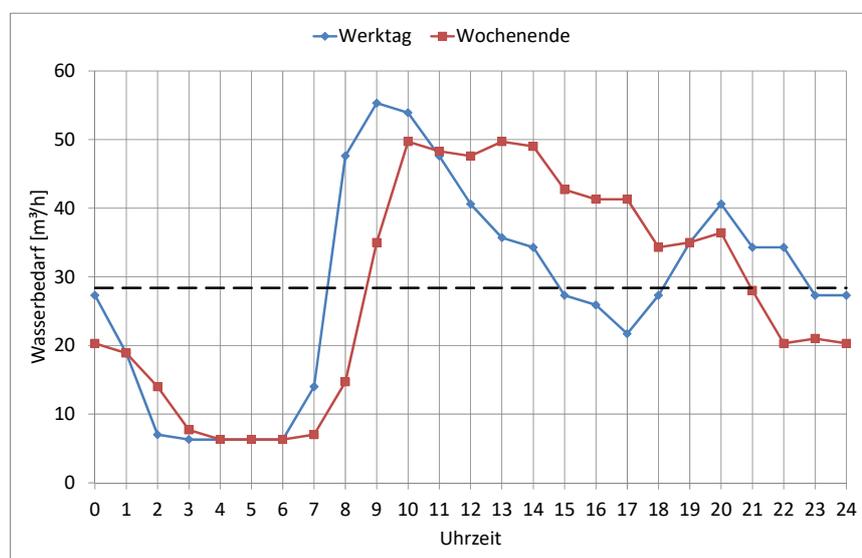


Abbildung 6: Angenommene Ganglinien der Frischwasserabnahme in der Gemeinde Wüstenrot auf der Basis des durchschnittlichen Tagesverbrauchs und von Vergleichskurven (Quelle: Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung)

Aus dem Tagesbedarf von 700 m<sup>3</sup> Frischwasser ergibt sich eine durchschnittliche Abnahme von knapp 30 m<sup>3</sup>/h<sup>6</sup> (siehe Abbildung 23). 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 Fernwasserzufuhr gespeist wird, ergibt sich, dass der Wasservorrat wegen der höheren Abnahmemenge über Tag absinkt und in den Nachtstunden wieder aufgefüllt wird (siehe Abbildung 7).

<sup>4</sup> Der Wüstenroter Ortsteil Neulautern hat ein eigenes Netz, ein zweites teilen sich die übrigen Teilgemeinden

<sup>5</sup> nach DVGW-Arbeitsblatt W 410

<sup>6</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.



Abbildung 7: Bilanzlinie des Wasservorrats unter der Annahme gleichmäßiger Zuspeisung und des Abnahmeprofiles nach Abbildung 6

Somit würde sich ein Lastmanagement mit Nutzung erneuerbarer Energien anbieten, welches 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 zu realisieren, 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.

#### 4.1 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 erfolgte 2017 bzw. soll im Laufe des Jahres 2018 erfolgen.

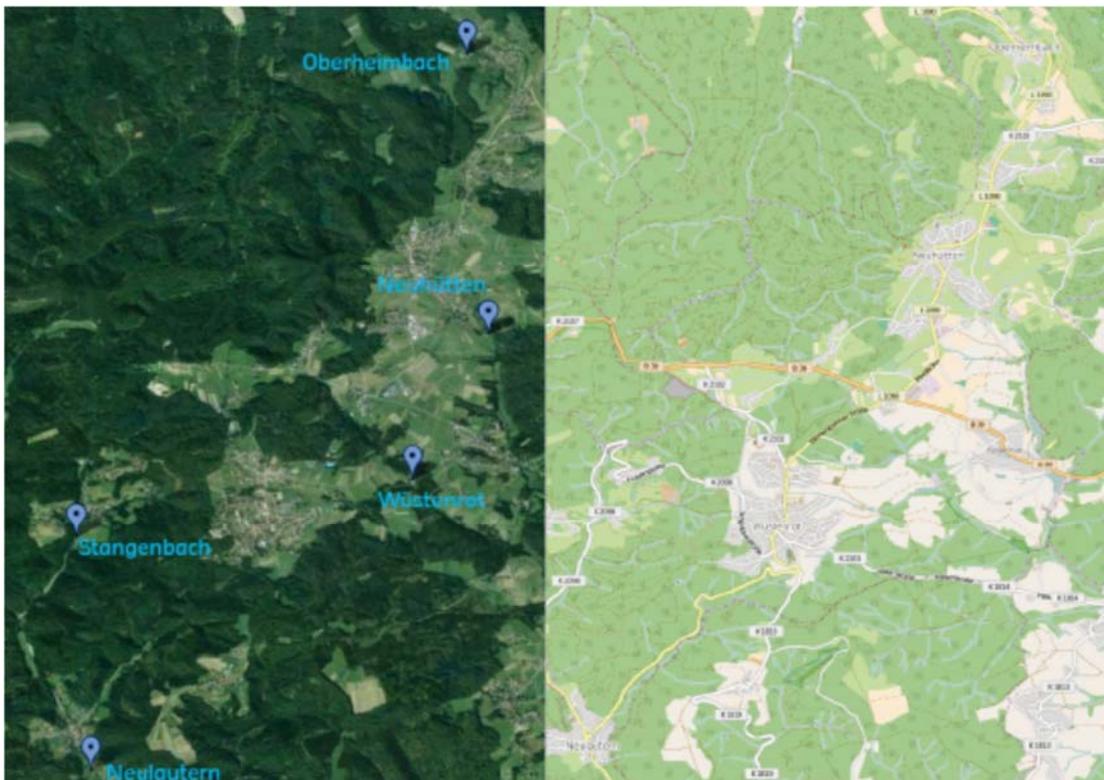


Abbildung 8: Lage der Kläranlagen im Gemeindegebiet (Foto: Google Earth)

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. 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. Für größere Anlagen mit größeren Umsatzmengen kann dies wirtschaftlich jedoch interessant sein.

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 jedoch an keinem Punkt des Abwasserkanalnetzes der Gemeinde Wüstenrot gegeben, weshalb die Untersuchungen nicht weiterverfolgt wurden.



Abbildung 9: Abwasserkanalnetz Wüstenrot (links), Wärmetauscher im Abwasserkanal (rechts) (Foto: Stadtwerke Bochum)

## 5. Gemeindewweiter Fahrplan zur Stromeinsparung

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.



Abbildung 10: (Mögliche) Einsparungen in der Infrastruktur 2020 gegenüber 2012

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.

## 6. Potenzialanalyse zur nachhaltigen Bedarfsdeckung aus lokalen Quellen

Es wurde gezeigt, welche Möglichkeiten es in Wüstenrot gibt, Energie zu sparen bzw. diese 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 kommen. Dazu

eigenen sich in Wüstenrot vor allem Photovoltaik und Windkraft. Außerdem muss für die Gemeinde, wie grundsätzlich in ländlichen Regionen, auch das Potenzial eruiert werden, Biomasse zu nutzen und Biogas zu produzieren. Überdies können auch in der Geothermie interessante Potenziale liegen.

## 6.1 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 bspw. Windgeschwindigkeit oder Diffusstrahlung können ebenfalls importiert werden. Für die verwendeten Algorithmen werden stundengenaue Werte benötigt. Enthält die Datenbank nur monatliche Mittelwerte, werden daraus mit Hilfe eines statistischen Verfahrens stündliche Werte generiert.

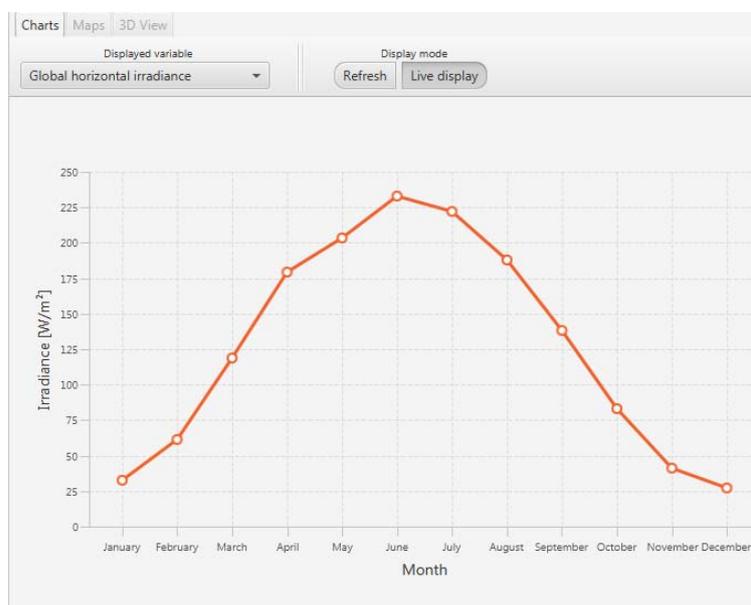


Abbildung 11: Monatliche Mittelwerte der globalen Strahlung für Wüstenrot aus PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>)

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 12 zeigt eine grafische Darstellung davon.

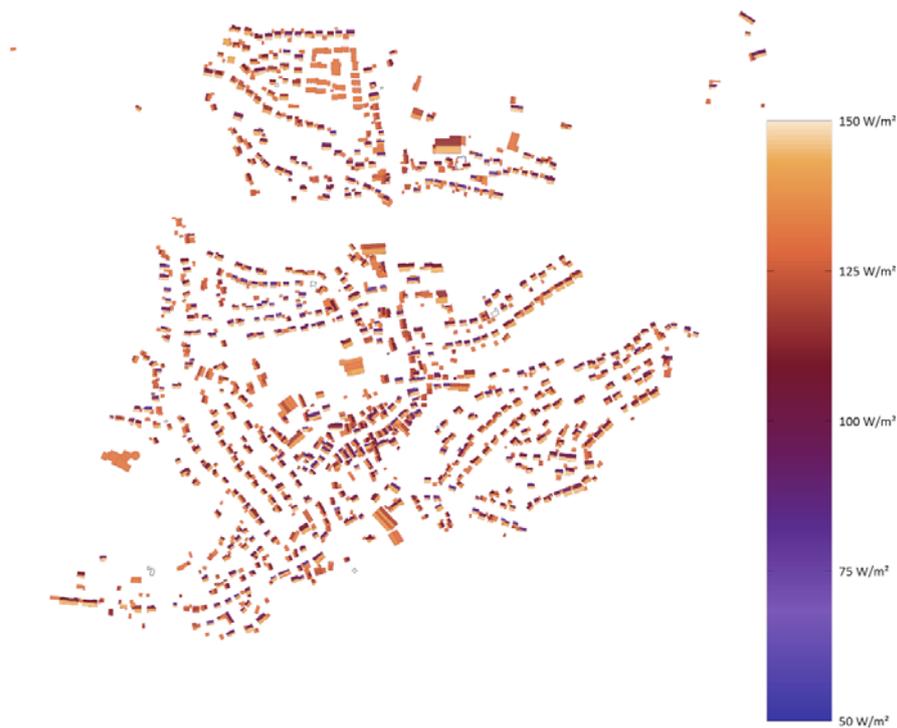


Abbildung 12: Durchschnittliche Einstrahlung auf die Dachflächen in Wüstenrot

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 13 zeigt.

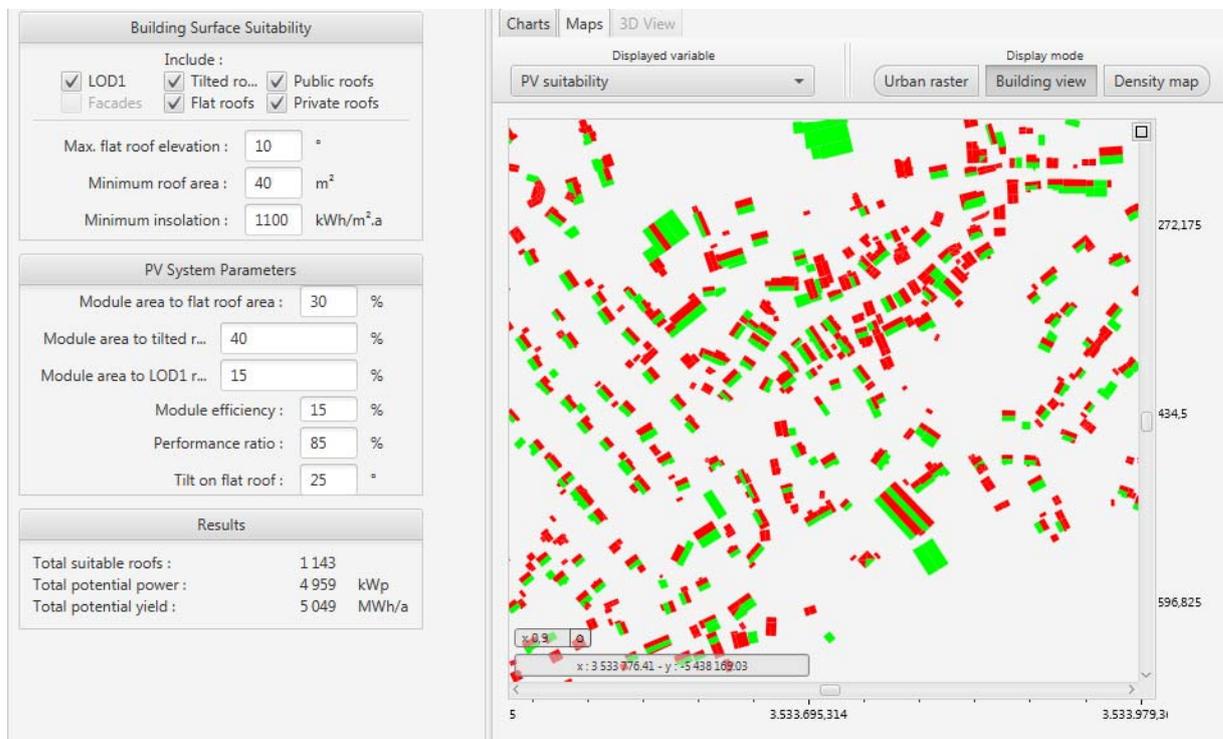


Abbildung 13: Dächer, die für Photovoltaik geeignet sind, werden grün markiert.

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 auch 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 14 zeigt die Verteilung und Größe der installierten Anlagen in Wüstenrot. Abbildung 15 zeigt die Entwicklung der installierten PV-Leistung. Die auf Gemeindegemarkung installierte PV-Stromleistung lag im Jahr 2012 bereits bei 2.50 MW<sub>p</sub>. Für die spätere Szenarienberechnung wurde davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2020 durch intensivierte Anstrengungen und Investitionen 50 % des verbleibenden Potenzials (7,1 MW<sub>p</sub>) erschlossen werden können. Das entspricht ab dem Jahr 2016 einer jährlichen PV-Zubaurate von 0,71 MW<sub>p</sub>.

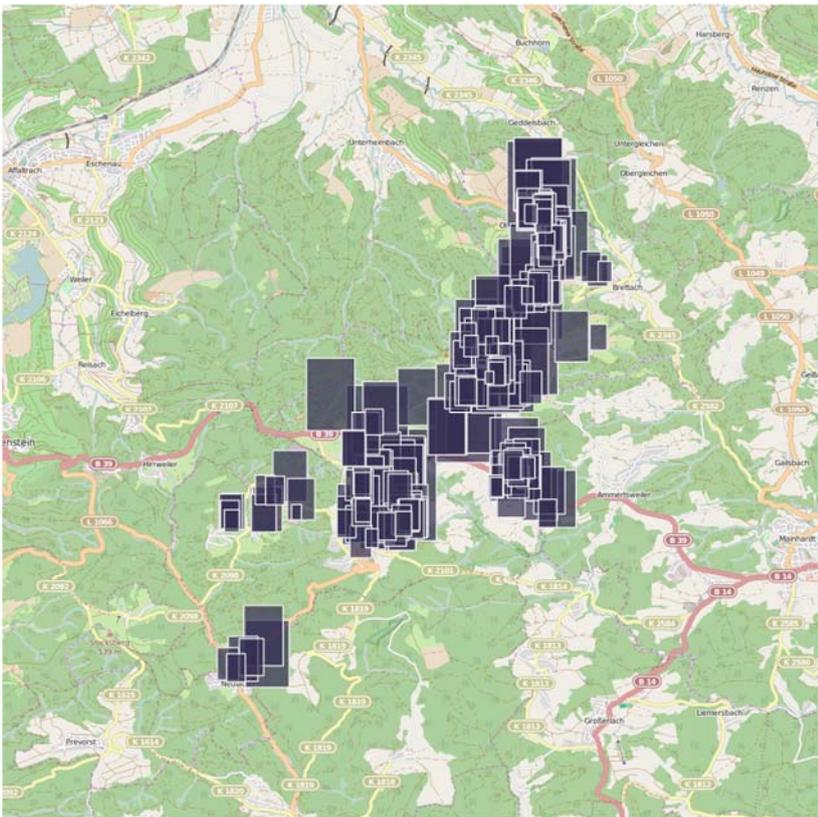


Abbildung 14: Lage und relative Größe der bereits installierten Photovoltaikanlagen

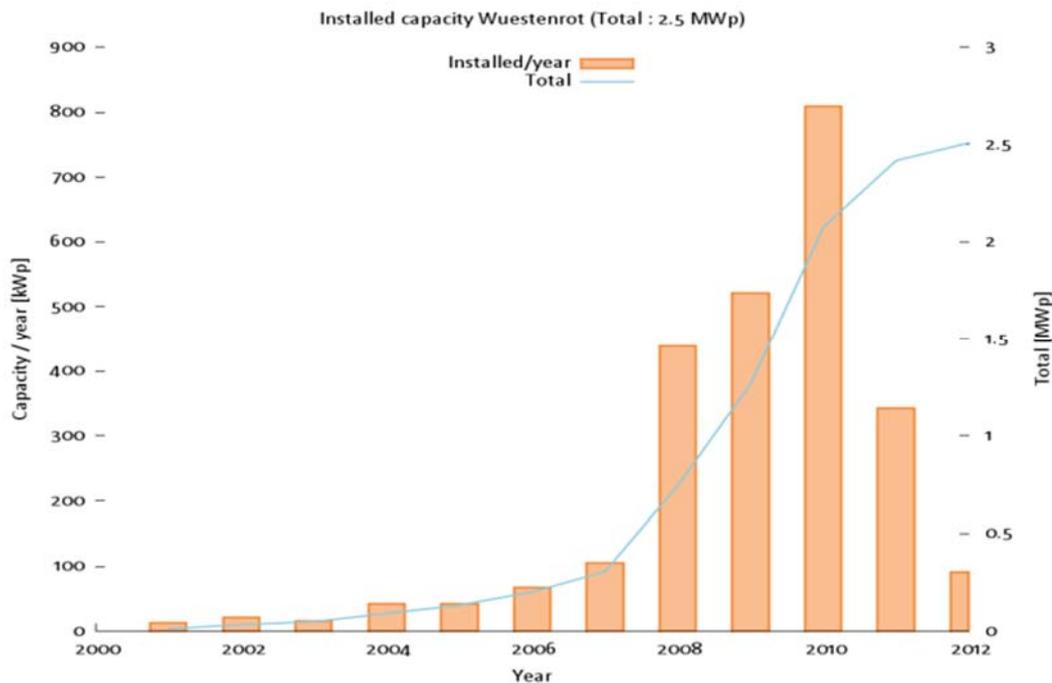


Abbildung 15: Entwicklung der installierten PV-Leistung in Wüstenrot (Stand: Dezember 2012), ab 2011 rückläufig aufgrund der Reduzierung der Einspeisevergütung.

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 solche 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 solarthermische 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 demnach, wenn ein Wärmenetz zur Verfügung steht, in das anfallende Überschüsse eingespeist werden können. So kann ansonsten ungenutzt bleibende Wärme an andere Verbraucher weitergegeben werden.

## 6.2 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>7</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

<sup>7</sup> Für einen walddreichen 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).

würden, zwei Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 6 MW installiert werden. Die erzeugte Energie müsste in das Mittelspannungsnetz eingespeist werden.<sup>8</sup> 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 weiterverfolgt. Parallel werden die genehmigungsrelevanten Aspekte vorangetrieben.

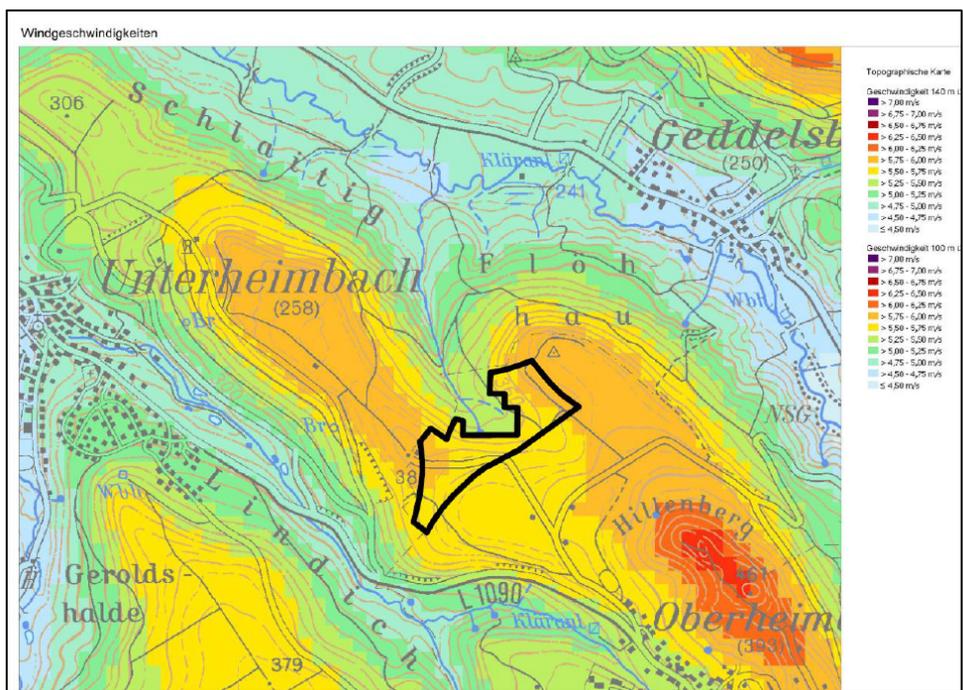


Abbildung 16: Zwei Windenergieanlagen könnten zwischen Unter- und Oberheimbach gebaut werden (Quelle: Windatlas Baden-Württemberg).

Tabelle 1: Wirtschaftliche Kenngrößen der geplanten Windkraftanlagen

|                              |                                    |
|------------------------------|------------------------------------|
| Windenergieanlagen           | 2 Nordex N-131 mit 134 m Nabenhöhe |
| Installierte Leistung        | 6.000 kWel                         |
| 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        |

Die Umsetzung von Windkraftanlagen auf dem Festland kann mitunter jedoch sehr schwierig und langwierig sein. Neben dem Artenschutz ist vor allem geschlossener Umsetzungswille in der Gemeinde vonnöten, um ein solches Projekt erfolgreich umsetzen zu können. Zweifelsohne können Windkraftanlagen einen großen Beitrag zur kommunalen Energiebereitstellung liefern, was die Untersuchungen in Wüstenrot eindrücklich belegten.

<sup>8</sup> Für die Einspeisung in das Hochspannungsnetz, so das Gutachten, müsste ein Umspannwerk für rund 1,7 Mio. Euro errichtet werden.

### 6.3 Biomasse, Biogas und feste Biomasse

Trotz ihrer ländlichen Struktur fällt in der Gemeinde Wüstenrot relativ wenig Biomasse an, die als Substrat in Biogasanlagen genutzt werden könnte. Im Gemeindegebiet kommen letztlich nur 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.

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 einer BGA für Wüstenrot wurde durch die beispielhafte Berechnung zweier Anlagen ermittelt. In Summe ist eine große Anlage mit viel Kapazität in Wüstenrot schwer zu realisieren, da die benötigten Substratmengen schlichtweg kaum zu beschaffen sind. Eine kleinere Biogasanlage, die lediglich mit Gras und Gülle betrieben wird, wäre insofern 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. Zur Umsetzung einer großen Abfall-Biogasanlage müsste zudem in Erwägung gezogen werden, auch Reststoffe (insbesondere Grüngut) aus den umliegenden Landkreisen zu verwerten.

Tabelle 2: Reststoffpotenzial in Wüstenrot

| Reststoffe      | Ertrag |  |
|-----------------|--------|--|
|                 | [t]    |  |
| Stroh           | 0      |  |
| Gülle           | 1.500  |  |
| Pferde-Festmist | 11.821 |  |
| Wein-Trester    | 3.150  | Wein: 28,2 % Trockensubstanz TS  |
| Apfel-Trester   |        | Apfel: 22,7 % TS   |
| Grüngut         | 401    | nur Verwertung des gesamten Grünguts<br>Landkreis HB erwünscht                                     |
| Altholz         | 0      | kein Potenzial vorhanden   |
| Industrie       | 0      | bisher keine Erfassung   |
| Klärschlamm     | 3.800  | 864 Mainhardt: 6.000 m <sup>3</sup> (5 % TS) Klärschlamm in<br>Aussicht/ 500 t gepresst (TS: 22 %) |
| Biotonne        | 501    | nur Verwertung des gesamten Grünguts LK<br>HB erwünscht  |

Tabelle 3: Kosten-/Leistungsrechnung große Biogasanlage in Wüstenrot

| <u>Leistungen / Kosten</u>                 | <u>Einheit</u>    | <u>Menge</u>       | <u>Preis</u>       | <u>Betrag</u> | <u>in % der</u> |
|--|-------------------|--------------------|--------------------|---------------|-----------------|
|  |                   | <u>Einheit / a</u> | <u>€ / Einheit</u> | <u>€ / a</u>  | <u>Leistung</u> |
| <b>Leistungen</b>                          |                   |                    |                    |               |                 |
| Stromeinspeisung (Direktvermarktung)       | kWh <sub>el</sub> | 5.118.971          | 0,188              | 962.623,00    | 96              |
| Wärmeverkauf                               | kWh <sub>th</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                  | 200,00             | 400           | 0,04            |
| Zinskosten Umlaufvermögen                  | €                 | 424.594,18         | 4,0 % / 6 Monate   | 8.491,88      | 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            |
|  | 0,50              |                    |                    |               |                 |
| Versicherung (in % vom Investitionsbedarf) | %                 |                    |                    | 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%        |                 |

Tabelle 4: Kosten-/Leistungsrechnung kleine Biogasanlage in Wüstenrot

| <u>Leistungen / Kosten</u>                 | <u>Einheit</u> | <u>Menge</u>       | <u>Preis</u>     | <u>Betrag</u> | <u>in % der</u> |
|--|----------------|--------------------|------------------|---------------|-----------------|
|  |                | <u>Einheit / a</u> | <u>€/Einheit</u> | <u>€/a</u>    | <u>Leistung</u> |
| <b>Leistungen</b>                          |                |                    |                  |               |                 |
| Stromeinspeisung (Direktvermarktung)       | kWhel          | 2.223.968          | 0,198            | 440.234,00    | 92              |
| Wärmeverkauf                               | kWhth          | 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>                     |                |                    |                  |               |                 |
| <b>Substrate</b>                           |                |                    |                  |               |                 |
| 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                  | 200,00           | 400           | 0,08            |
| Zinskosten Umlaufvermögen                  | €              | 232.361,38         | 4,0 %            | 4.647,23      | 0,97            |
| Summe variable Kosten                      |                |                    |                  | 237.008,61    | 49,6            |
| Deckungsbeitrag                            |                |                    |                  | 240.787,50    | 50,4            |
| Fixe Kosten                                |                |                    |                  |               |                 |
| <b>Abschreibung</b>                        |                |                    |                  | 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           |                  | 15.003,50     | 3,14            |
| Summe fixe Kosten                          |                |                    | 15,00            | 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%        |                 |

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 auch 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.

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.

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 derzeit 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>9</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>9</sup> Waldeignerstruktur der Gemarkung: 663 ha Privatwald (davon 530 ha Kleinprivatwald), 768 ha Staatswald, 52 ha Körperschaftswald.



Abbildung 17: Holzhof der UBP Holzenergie Wüstenrot GmbH & Co. KG (Foto: zafh.net)

Ein wichtiger Schritt, um das verfügbare Potenzial der Biomasse Holz zu erschließen, war die Inbetriebnahme des Biomassehofs im Ortsteil Weihenbronn 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, Sägeresth Holz 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 Weihenbronn) 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 Verhandlungen wurden schon aufgenommen, eine abschließende Regelung konnte jedoch noch nicht gefunden werden. Das Thema wird aber weiterverfolgt.

## 6.4 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.

Für eine Umsetzung in Wüstenrot böten sich vor allem die beiden folgenden Alternativen an:

Die Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf Holzbasis hat aktuell nur noch eine wirtschaftliche 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 elektrisch laut Hersteller). Dabei wird per Pellet-Feuerung ein Heißgasstrom erzeugt. Indem dieser über den Kopf eines Stirling-Motors geführt wird, wird dieser in Gang gesetzt und treibt einen Generator an. Das überschüssige Heißgas wird anschließend über einen Kessel geführt und damit Warmwasser für Heizzwecke erzeugt. 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.

## 6.5 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>10</sup>.

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

---

<sup>10</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).

eigentlichen Sinne sprechen, denn die in geringer Tiefe gespeicherte thermische Energie ist eigentlich Solarenergie, nämlich durch Sonneneinstrahlung erzeugt 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, wurde im Projekt in Kombination mit einem „kalten Nahwärmenetz“ für eine ganze Siedlung demonstriert und hinsichtlich der Leistungsfähigkeit untersucht; das ist im Planungsleitfaden Teil 3 anhand des Pilotprojekts Plusenergiesiedlung Vordere Viehweide näher beschrieben. Aufbauend auf den hier gewonnenen Erfahrungen werden Potenziale zur Umsetzung weiterer Systeme im Gemeindegebiet untersucht.

## 7. Zielbilanz

Eine bilanzielle Energieautarkie zu erreichen, ist das Ziel der Gemeinde Wüstenrot. Wie weit diese bis 2020 zu erreichen ist, soll dieses Kapitel veranschaulichen, indem der Ausgangsbasis gegenübergestellt wird, was zu erwarten ist, wenn Energieeinsparungen und Energieeffizienzmaßnahmen realisiert werden, erneuerbare Energiequellen genutzt und eine netzgebundene, regenerative Wärmeversorgung ausgebaut wird. Im vorliegenden Teil der Leitfadensammlung wird nicht auf die konkrete Umsetzung der Maßnahmen eingegangen, sondern lediglich das theoretische Potenzial in die Bilanz aufgenommen. Für Näheres zur Maßnahmenumsetzung sei auf die Leitfäden Teil 3 (Umsetzung Wärme) bzw. Teil 4 (Smart Grid) verwiesen.

Im Bereich der Wärmebilanz 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.

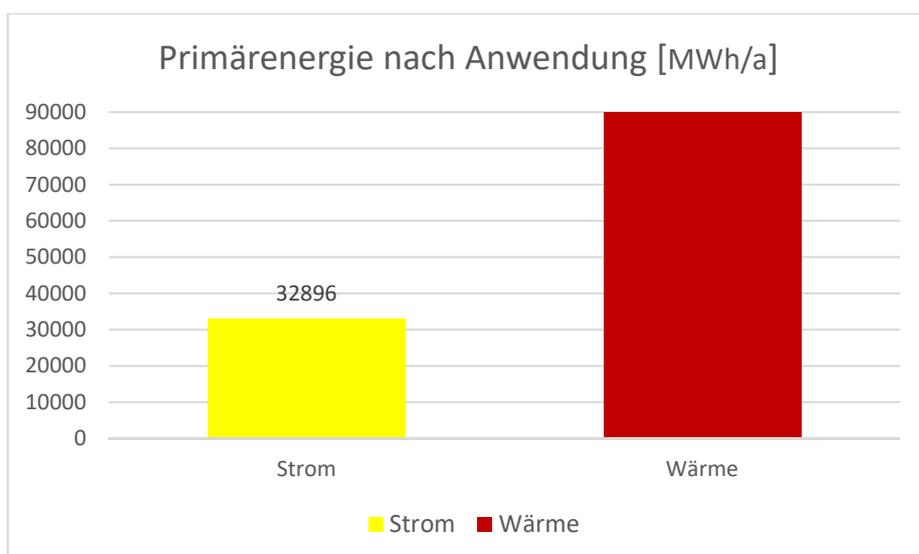


Abbildung 18: Primärenergiebedarf nach Anwendung im Jahr 2020

Aus endenergetischer Sicht hat sich die Bedarfsstruktur mit 5% Bedarfsreduktion bei der Wärmeversorgung dagegen nur wenig verändert (vgl. Abbildung 19). Die Einsparungen beim Strombedarf führen auf die Gesamtgemeinde bezogen zu einer Bedarfsreduktion von lediglich 2%.

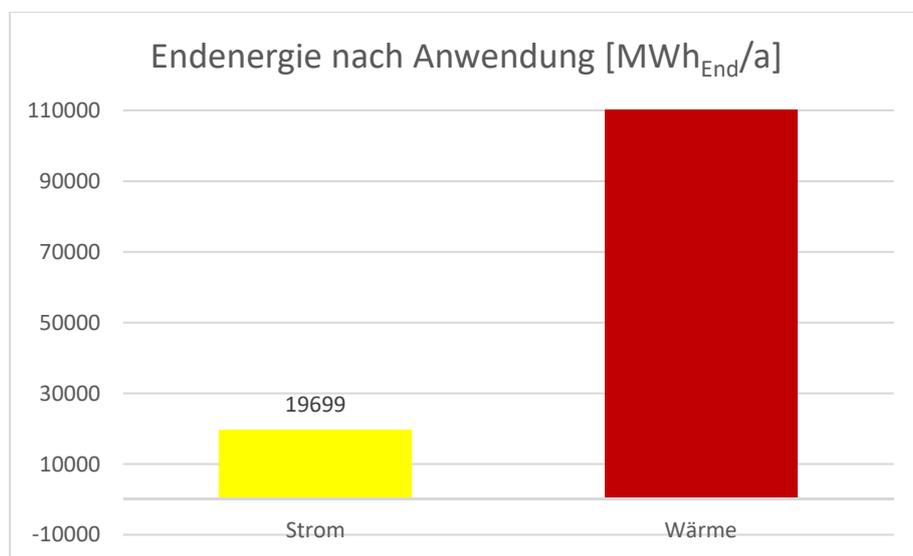


Abbildung 19: Endenergiebedarf nach Anwendung im Jahr 2020

Bei der Verteilung des Primärenergiebedarfs (Abbildung 20) und des Endenergiebedarfs (Abbildung 21) auf die Sektoren fallen nach wie vor in erster Linie die Wohngebäude ins Gewicht. Die Einsparungen, die sich hier im Vergleich zum Bezugsjahr 2012 erzielen lassen, belaufen sich auf 10% primärenergetische Einsparung bzw. 5% endenergetische Einsparung.

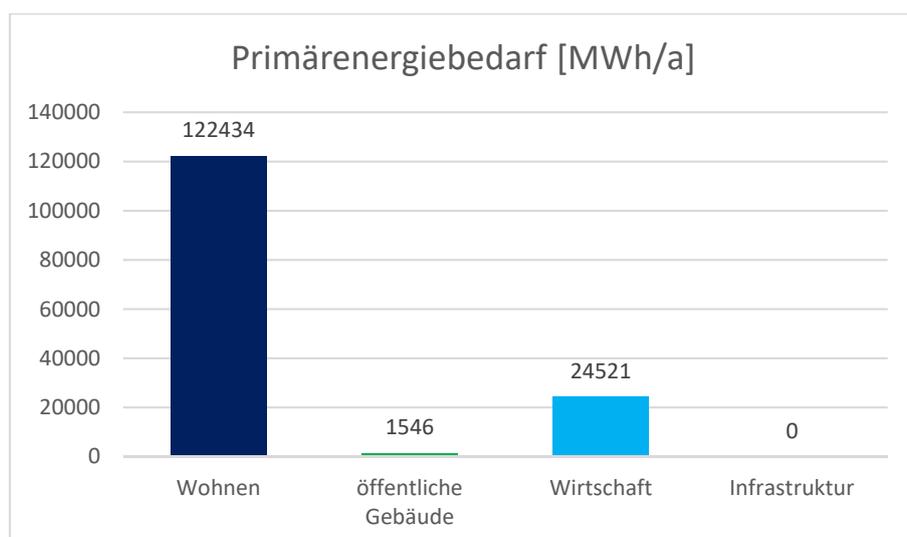


Abbildung 20: Primärenergiebedarf nach Sektoren im Jahr 2020

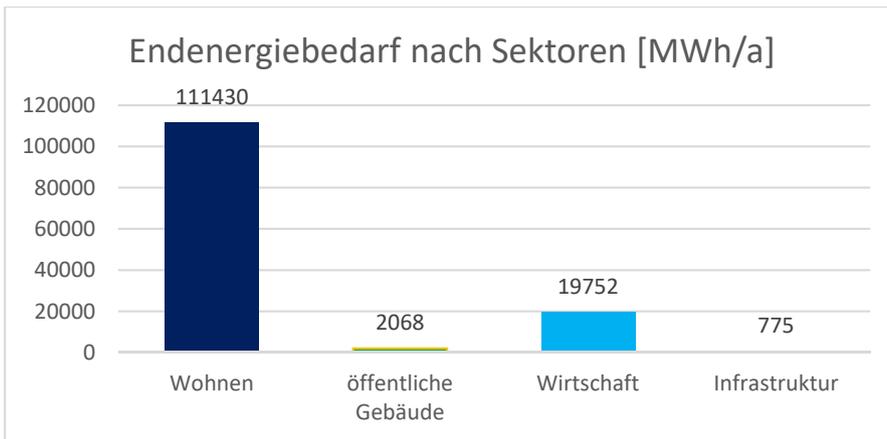


Abbildung 21: Endenergiebedarf nach Sektoren im Jahr 2020

Die Verhältnisse der Sektoren untereinander verändern sich auch hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes kaum (vgl. Abbildung 22). 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.

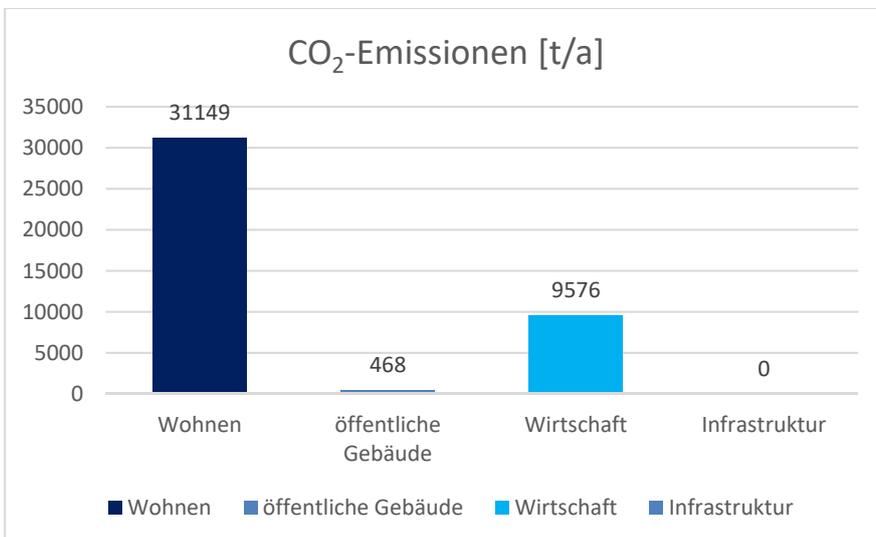


Abbildung 22: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektoren

Dem Energiebedarf bzw. dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß werden aber 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 sehr ermutigend aus (vgl. Abbildung 23). Dem Primärenergiebedarf für Wohngebäude, Wirtschaft, öffentliche Gebäude und Infrastruktur von insgesamt 138 GWh steht ein Ertrag (aus PV, Windkraftanlagen, Biogasanlage,

Biomasse-KWK, Wärmenetz Weihenbronn und Holzhof) von 138 GWh gegenüber, kann also zu 100 % lokal gedeckt werden. Endenergetisch stehen 133 GWh Bedarf im Jahr 2020 knapp 105 GWh an erzeugter Energie gegenüber. Das entspricht einer Deckung von fast 80 %.

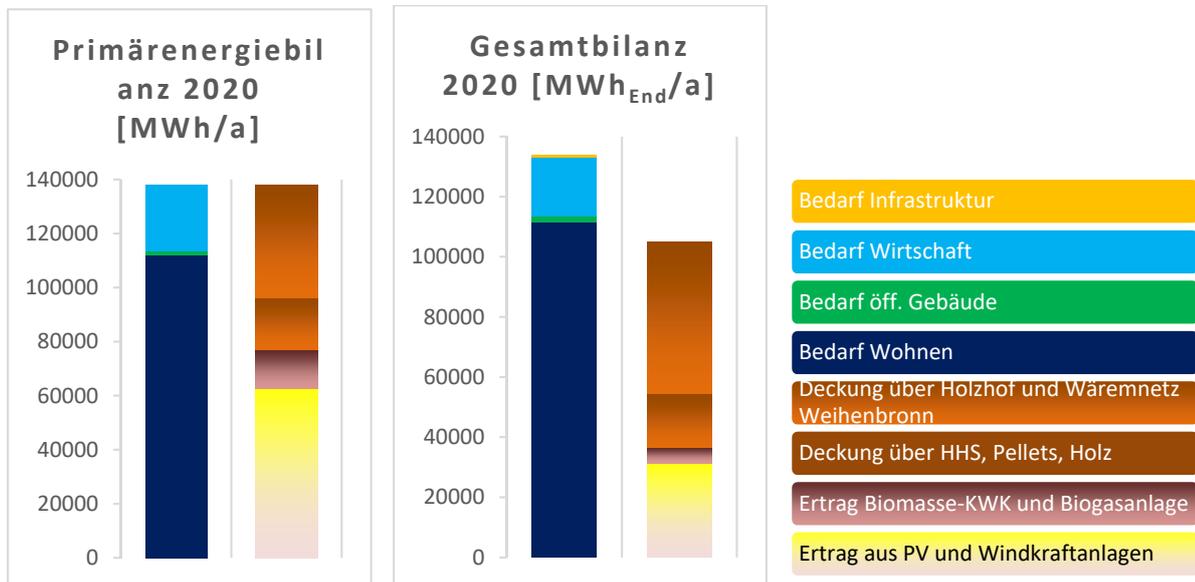


Abbildung 23: Gegenüberstellung Bedarf-Ertrag, bezogen auf End- und Primärenergie

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz fällt ebenfalls sehr günstig aus (vgl. Abbildung 24). 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 den Großteil der verbleibenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, so dass sich mit dem für 2020 geplanten Energieträgermix 106 % Überdeckung und somit Klimaneutralität in Wüstenrot erreichen lässt.

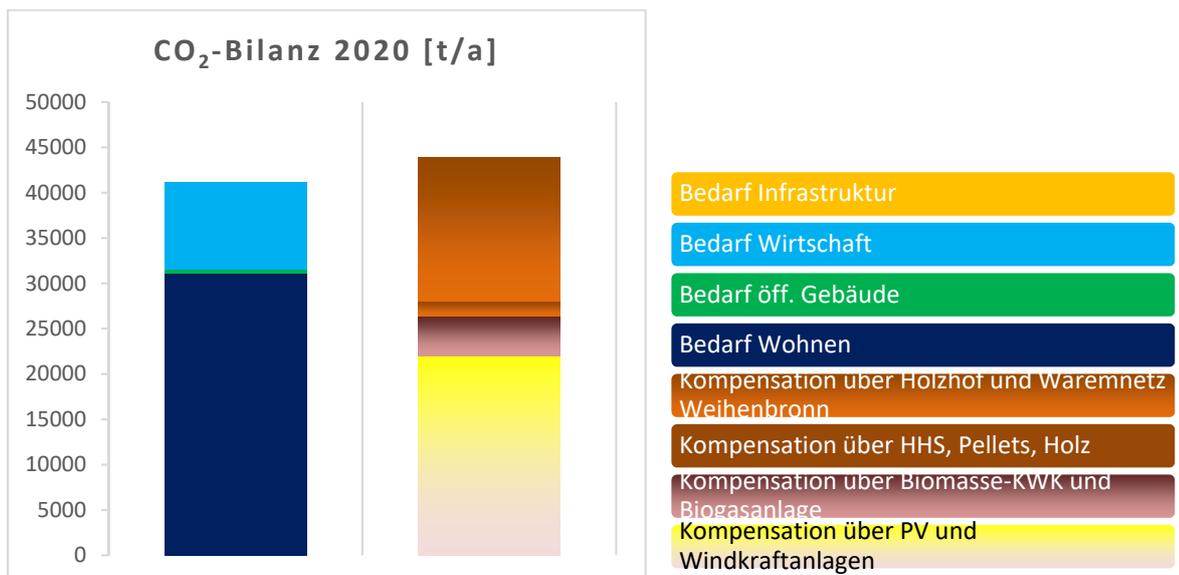


Abbildung 24: CO<sub>2</sub>-Bilanz für das Jahr 2020

Gemessen an den Zielen der Gemeinde reichen nach Stand der Szenarien die beachtlichen Maßnahmen und Bemühungen also nicht ganz aus, um für das Jahr 2020 aus endenergetischer 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 25)



Abbildung 25: Strombilanz für das Jahr 2020

Die Strombilanz fällt mit 185 % Deckung deutlich positiv aus. Dies ist vor allem auf die Windkraftanlagen zurückzuführen, die den Großteil der Strombereitstellung ausmachen.

Die Wärmebilanz ist dagegen nach diesem Szenario mit einer regenerativen Deckung von rund 60 % nicht ausgeglichen (vgl. Abbildung 26). Allerdings lässt sich durch die effiziente Umwandlung des Stromüberschusses in Wärme durch den vermehrten Einsatz von effizienten Wärmepumpen das lokale Wärmedefizit ausgleichen und insgesamt der Plusenergiestandard erreichen.

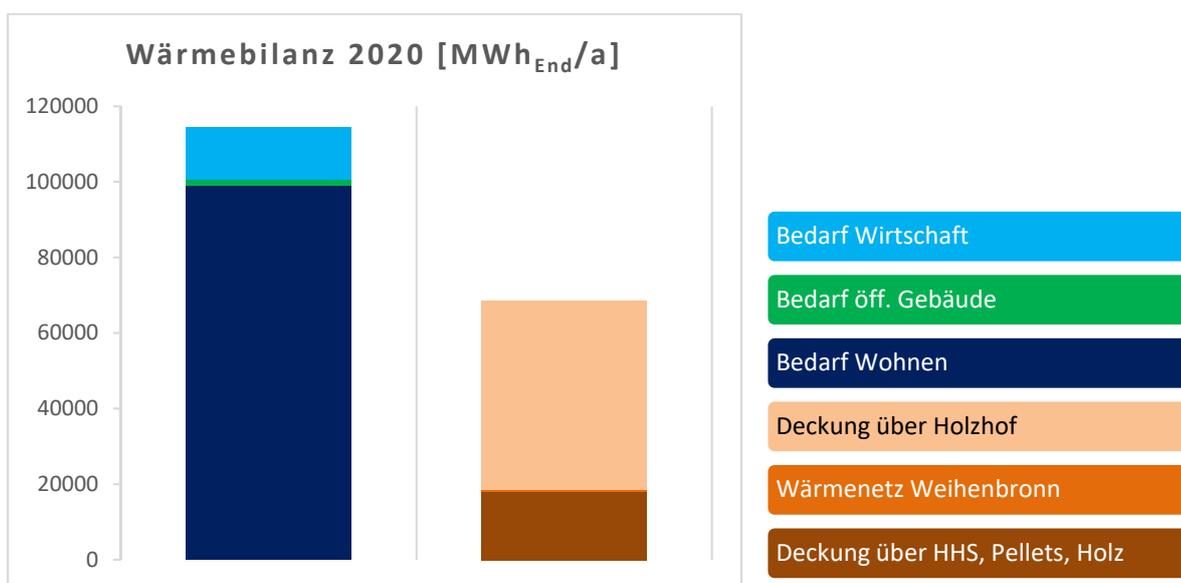


Abbildung 26: Wärmebilanz für das Jahr 2020

Außerdem bestehen durchaus weitere Potenziale, etwa durch die weitere Erhöhung der Sanierungsraten der Wohngebäude. 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.

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 in lokalem und regionalem Rahmen umsetzen lässt, wenn die Entscheidungsträger die Weichen stellen und eine engagierte und interessierte Bevölkerung ein solches Vorhaben unterstützt. Insofern kann Wüstenrot für viele ähnlich aufgestellte Gemeinden in Deutschland ein Vorbild sein. Dass das Projekt auch international auf Interesse stößt, bewiesen die Besuche von Delegationen aus China, Ungarn, Russland und Japan in Wüstenrot.

Die Gemeinde selbst hat besonders bei den infrastrukturellen Einrichtungen einen deutlichen Impuls 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.