

Energienutzungsplan
für die
Stadt Langenzenn



Diese Studie wurde erstellt von:

Alexander Schrammek

Christian Stenglein

Matthias Scherner

ENERGIEAGENTUR nordbayern GmbH

Fürther Str. 244a

90429 Nürnberg

Fon: 0911/ 99 43 96-0

Fax: 0911/ 99 43 96-6

E-Mail: schrammek@ea-nb.de

Beauftragt durch die Stadt Langenzenn

Bearbeitungszeitraum:

Juni 2019 bis November 2020

Diese Studie wird gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Ausgangslage	7
1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung	7
1.2 Energiewende: Jetzt oder nie.....	7
1.3 Rahmendaten.....	9
1.3.1 Beschreibung des Gebiets.....	9
1.3.2 Demographie und demographische Entwicklung	10
1.3.3 Flächennutzung	10
1.3.4 Wirtschaft und Beschäftigung.....	11
1.3.5 Energiepolitische Zielsetzung der Kommune.....	11
2 Bestandsanalyse	12
2.1 Energieverbrauch und Energieinfrastruktur	12
2.1.1 Gesamter Stromverbrauch.....	12
2.1.2 Energieinfrastruktur und Wärmebedarf	13
2.1.2.1 Erdgasverbrauch	14
2.1.2.2 Ermittlung des Wärmebedarfs und kommunale Verbrauchsschwerpunkte	15
2.1.2.3 Wohngebäudebestand.....	16
2.1.2.3.1 Wohngebäude / Heizwärme- und Endenergiebedarf.....	17
2.1.2.3.2 Wohngebäude Sanierungspotenzial bis 2030.....	18
2.1.2.4 Gesamter Wärmebedarf	22
2.2 Vorhandene Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung nach EEG23	
2.2.1 Photovoltaik Dachanlagen	24
2.2.1.1 Ausbaupotenzial Photovoltaik Dachanlagen	24
2.2.2 Photovoltaik Freiflächenanlagen	26
2.2.3 Biogas KWK	26
2.2.4 Windkraft	27
2.3 Vorhandene Anlagen zur regenerativen Wärmeerzeugung	28
2.3.1 Solarthermie.....	29
2.3.2 Biomasse (Holz).....	30
2.3.3 Wärmepumpen, Oberflächennahe Geothermie.....	31
2.3.4 Biogas KWK	31
2.4 Endenergiebedarf Bestandsanalyse.....	32
2.5 Treibhausgasemissionen Bestandsanalyse	33
3 Gebäudeanalysen.....	34
3.1 Benchmark kommunale Liegenschaften.....	34
3.2 Fördermöglichkeiten investive Sanierungsmaßnahmen	36
3.3 Rathaus/Stadtverwaltung	38
3.3.1 Benchmark Rathaus/Stadtverwaltung	39
3.3.2 Gebäudehülle	40
3.3.3 Heizungstechnik/Warmwasserbereitung	49
3.3.4 Beleuchtung	54
3.4 Altes Rathaus.....	56
3.4.1 Benchmark Altes Rathaus	56
3.4.2 Gebäudehülle	57

3.4.3	Heizungstechnik/Warmwasserbereitung/Lüftungstechnik	64
3.4.4	Beleuchtung	68
3.5	Mittelschule und Turnhallen	69
3.5.1	Benchmark Mittelschule und Turnhallen	70
3.5.2	Gebäudehülle	71
3.5.3	Heizungstechnik/Warmwasserbereitung/Lüftungstechnik	75
3.5.4	Beleuchtung	79
3.6.1	PV-Anlage Mittelschule	81
3.6.1.1	Grundsätzliches	81
3.6.1.2	Varianten PV Mittelschule.....	83
3.6.1.2.1	Variante 1 PV Anlage 48 kWp.....	84
3.6.1.2.2	Variante 1a PV Anlage 48 kWp mit Stromspeicher 33 kWh.....	87
3.6.1.2.3	Variante 2 PV Anlage 99 kWp.....	88
3.6.1.2.4	Variante 2a PV Anlage 99 kWp mit Stromspeicher 33 kWh.....	90
3.6.1.3	Variantenvergleich	92
3.7	Grundschule	95
3.7.1	Benchmark Grundschule	96
3.7.2	Gebäudehülle	96
3.7.3	Heizungstechnik/Warmwasserbereitung.....	101
3.7.4	Beleuchtung	105
3.8	Kindergarten.....	106
3.8.1	Benchmark Kindergarten	106
3.8.2	Gebäudehülle	107
3.8.3	Heizungstechnik/Warmwasserbereitung.....	111
3.8.4	Beleuchtung	114
3.9	Kommunales Energiemanagement in der Praxis	116
4	Kläranlage.....	120
4.1	Zielsetzung.....	120
4.2	Potentialanalyse und Konzepte.....	121
4.2.1	Übersicht über Effizienzpotentiale.....	122
4.2.2	Kennwerte der Kläranlage Langenzenn	123
4.2.3	Auslastung der Kläranlage Langenzenn	124
4.2.4	Energieverbrauch der Kläranlage Langenzenn.....	124
4.2.5	Eigenenergieversorgung der Kläranlage Langenzenn	125
4.2.6	Klimawirksame Emissionen im Abwasserreinigungsprozess	130
4.2.7	Abwasserreinigung und Kläranlagen in der Region	133
4.2.8	Abwasserüberleitung	135
4.2.9	Zentrale Schlammfäulung	137
4.2.10	Klärschlammverwertung	138
4.2.11	Erneuerbare Energien	142
4.3	Empfehlung Kläranlage	145
5	Mögliches weiteres Vorgehen	146
5.1	ENP-Umsetzungsbegleitung.....	146
5.2	KEM-Förderung	146
5.3	Energieberatung für Nichtwohngebäude von Kommunen	146
5.4	Netzwerk	146

6	Anhang	147
6.1	Abbildungsverzeichnis.....	147
6.2	Tabellenverzeichnis.....	152
6.3	Abkürzungen	153
6.4	Einheiten	155
6.5	Auflistung Kläranlagen	156
6.6	Pläne.....	158

1 Ausgangslage

1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Der Stadtrat der Stadt Langenzenn hatte beschlossen einen Energienutzungsplan erstellen zu lassen. Dieser Plan, der von der Bayerischen Staatsregierung ausdrücklich empfohlen wird, soll Kommunen einen strukturierten Einstieg in die Energiewende ermöglichen, oder auch dessen Fortführung optimieren. Der Energienutzungsplan wird als Grundlage für künftige energiepolitische Entscheidungen dienen.

In einer Bestandsanalyse werden die Strukturen der Energieversorgung, der aktuelle Verbrauch und mögliche Einspar- und Erzeugungsmöglichkeiten untersucht. Als Schwerpunktthemen werden kommunale Liegenschaften untersucht und ein KEM-Konzept zur energetischen Optimierung erstellt. Ein bestehendes Konzept zur zentralen Wärmeversorgung wird analysiert. Nach der Auswertung wird eine mögliche zentrale Wärmeversorgung weitergehend betrachtet. Des Weiteren wird ein Optimierungskonzept für die Kläranlage erstellt.

1.2 Energiewende: Jetzt oder nie.

Die Diskussion um Klimaschutz und Energiewende in Deutschland trägt bisweilen groteske Züge. Mit Logik kommt man diesem Phänomen nicht immer bei. Das betrifft nicht nur die kruden „Argumente“ der Klimawandel-Leugner, die die eindeutigen Ergebnisse der Wissenschaft ignorieren und deshalb noch verhältnismäßig schnell zu entlarven sind. Manche Beiträge kommen leider etwas subtiler daher und verleiten auch den ein oder anderen überzeugten Klimaschützer erst einmal zur Zustimmung. In diese Kategorie fällt zum Beispiel der schöne Satz: „Energie muss bezahlbar bleiben!“ Die Feststellung an sich ist eine Binsen, denn unbezahlbare Energie ist in etwa so erstrebenswert wie ein Leben in der Höhle oder ein Bungeesprung ohne Seil. Niemand will das. Doch es wird suggeriert, dass eine schnelle und engagierte Energiewende unweigerlich dazu führt, dass die Preise für Energie ins Unermessliche steigen. Und deshalb, sagen die Mahner, darf es nicht zu schnell gehen.

Doch nicht nur diese Schlussfolgerung ist falsch, sondern schon das zugrunde liegende Märchen von der „teuren erneuerbaren Energie“. Denn die Fakten sprechen eine andere Sprache:

Die Erzeugungskosten für Strom aus Photovoltaikmodulen sind in Deutschland teilweise schon unter 5 Euro-Cent pro Kilowattstunde gesunken. In sonnigen Wüstenregionen sind es bereits 2 Cent und weniger. Strom aus Windkraft liegt noch etwas darüber, arbeitet sich aber auch langsam in diese Bereiche vor. Solarkollektor-Felder liefern auch in Deutschland schon Wärmeenergie für 2 Cent pro Kilowattstunde. Wer sein Elektrofahrzeug mit Strom aus seiner eigenen PV-Anlage lädt, senkt seine „Spritkosten“ auf 1,50 Euro pro 100 Kilometer. Was an alledem ist teuer?

Doch der eigentliche Vorteil der erneuerbaren Energie liegt nicht in ihrem Preis, sondern in einer schnellen und spürbaren Reduktion des CO₂-Ausstoßes. Nirgends ist der Hebel für wirksamen Klimaschutz größer als im Energiesektor. Die Überhitzung unseres Planeten zwingt uns zum Handeln. Die gute Nachricht lautet: Der schnelle Ausstieg aus der fossilen Energiewirtschaft ist zu schaffen! Durch die beherzte Umsetzung der Energiewende vor Ort können wir tatsächlich etwas bewegen. Die Umstellung der Rathaus-Heizung auf Biomasse, die PV-Anlage zur Eigenstromerzeugung auf dem

Schuldach, der Bau eines Nahwärmenetzes für einen ganzen Ortsteil: All diese Maßnahmen sorgen dafür, dass die Treibhausgas-Emissionen vor Ort erheblich zurückgehen.

Dass man dabei auch noch Geld spart, ist weit mehr als ein angenehmer Nebeneffekt. In der Umstellung auf erneuerbare, vor Ort gewonnene Energie steckt auch eine der größten wirtschaftlichen Chancen für den ländlichen Raum. Hier kann Energie erzeugt werden, hier sind Flächen und Potenziale vorhanden, hier kann Wertschöpfung stattfinden und der Abfluss von Millionenbeträgen für den Einkauf fossiler Energieträger verhindert werden. Das Geld bleibt in der Region, und zwar nicht einmal, sondern immer wieder, Jahr für Jahr für Jahr.

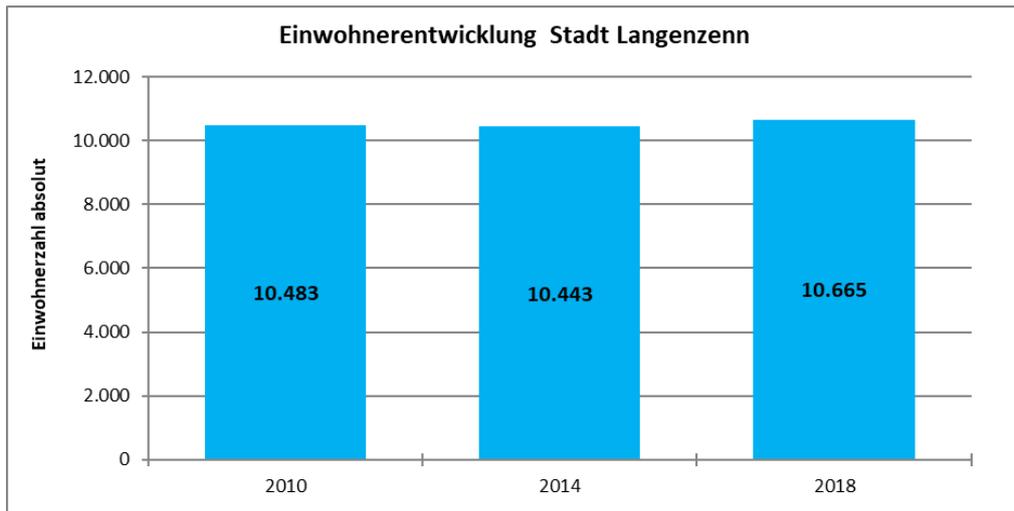
Trotzdem wird die Energiewende selbst 2020 noch von einigen Zeitgenossen als Spielwiese für weltfremde Öko-Spinner oder Panikreaktion besorgter Freitags-Demonstranten abgetan. Sie irren sich gewaltig. Hermann Scheer, der 2010 viel zu früh verstorbene Vordenker der Erneuerbaren, wurde nie müde, die historische Dimension dieses Wandels herauszuarbeiten. „Der Umstieg auf kostenlose Primärenergie aus erneuerbaren Quellen steht historisch an“, konstatierte Scheer immer wieder trocken. Der Wandel wird also kommen, ob wir wollen oder nicht. Aber nur, wenn er schnell genug kommt, wird es uns gelingen, den Temperaturanstieg auf unserem Planeten auf ein erträgliches Maß zu begrenzen. Deshalb ist eine engagierte Energiewende vor Ort die beste Antwort, die wir auf die Klimakrise geben können.

- Hammerschmiede (Weiler)
- Langenzenn (Hauptort)

1.3.2 Demographie und demographische Entwicklung

Zum 31.12.2018 hatte die Stadt Langenzenn 10.665 Einwohner. Die Bevölkerungsdichte beträgt ca. 229 Einwohner pro Quadratkilometer und liegt somit unter dem Durchschnitt des Landkreises Fürth mit 372 EW/km² aber über dem bayerischen Mittel von 179 EW/km².

Abbildung 2: Einwohnerentwicklung 2010 bis 2018



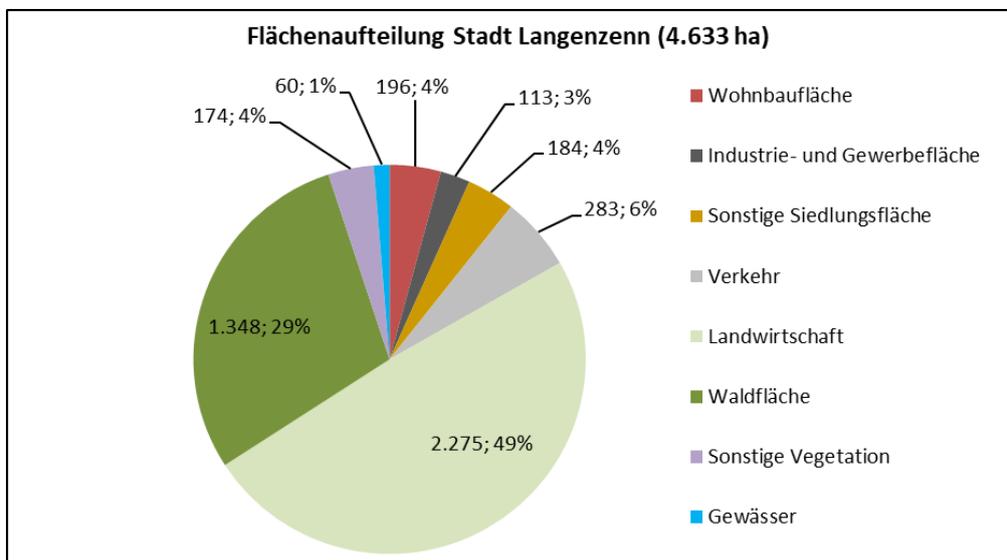
Quelle: Eigene Grafik auf der Grundlage von Statistik Kommunal (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung)

Zwischen 2010 und 2018 ist die Bevölkerung um 1,7 % gestiegen.

1.3.3 Flächennutzung

Das Stadtgebiet umfasst insgesamt 4.633 ha. Den größten Anteil nimmt mit knapp 50 % die Landwirtschaftsfläche ein, gefolgt von rund 30 % Waldfläche. 4% des Gebietes sind Wohnbaufläche und 3 % Industrie- und Gewerbeflächen.

Abbildung 3: Flächennutzung



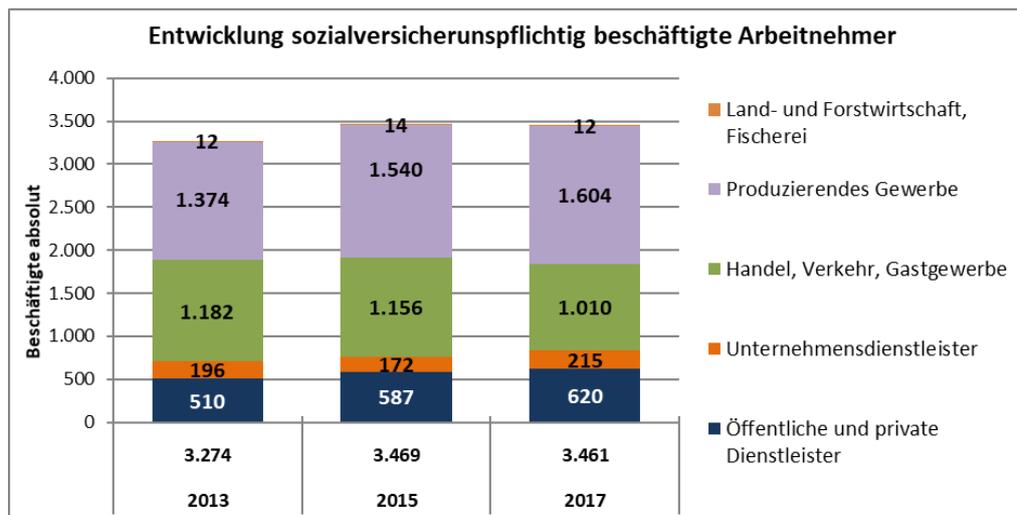
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage Statistik Kommunal

Der große Anteil an Landwirtschafts- und Waldfläche bietet ein hohes Potenzial zur Nutzung erneuerbarer Energien.

1.3.4 Wirtschaft und Beschäftigung

Insgesamt waren im Jahr 2017 3.461 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort gemeldet, dies sind 32 % bezogen auf die Einwohnerzahl. Im gesamten Landkreis Fürth liegt das Verhältnis nur bei 21 %. Der größte Anteil der Arbeitnehmer ist mit knapp 50% im Sektor produzierendes Gewerbe beschäftigt.

Abbildung 4: Beschäftigungsentwicklung 2013-2017



Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage Statistik Kommunal

1.3.5 Energiepolitische Zielsetzung der Kommune

Die Stadt Langenzenn hat bislang noch keine öffentlich formulierten energiepolitischen Ziele, zum Beispiel in Form eines Leitbildes oder einer sonstigen politischen Willenserklärung. Dies bedeutet aber nicht, dass es in diesem Bereich noch keine konkreten Projekte gäbe.

Im Jahr 2011 wurden im Rahmen einer Bürgerwindenergiebeteiligung vier Windkraftanlagen in Betrieb genommen. Hiervon speisen zwei Anlagen im Gebiet Langenzenn und zwei Anlagen in Wilhermsdorf ein. Inzwischen befinden sich im Einspeisegebiet Langenzenn 10 Anlagen mit insgesamt 29 MW.

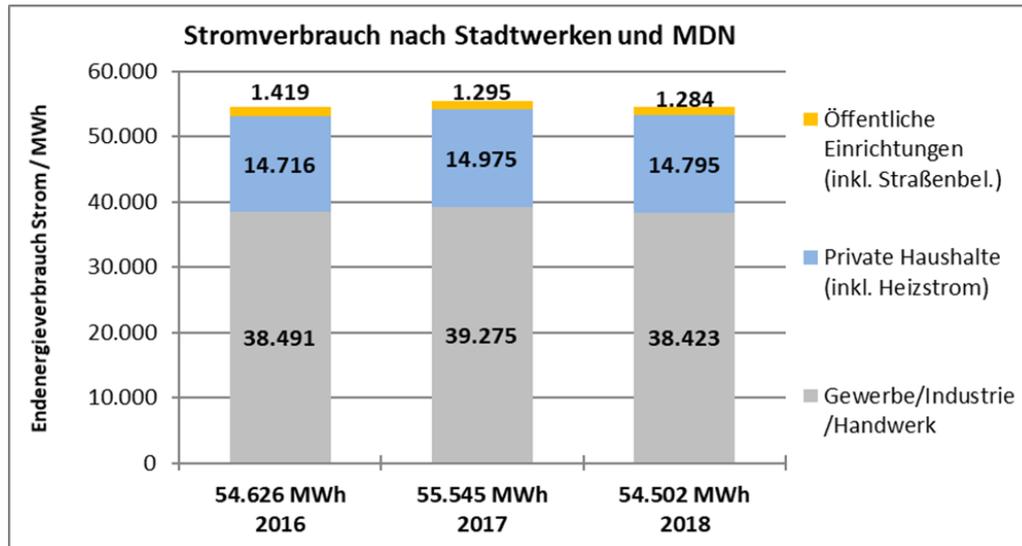
2 Bestandsanalyse

2.1 Energieverbrauch und Energieinfrastruktur

2.1.1 Gesamter Stromverbrauch

Folgende Stromverbrauchswerte wurden durch die Stadtwerke Langenzenn und den Netzbetreiber Main-Donau-Netzgesellschaft (MDN) für die äußeren Ortsteile angegeben:

Abbildung 5: Stromverbrauch gesamtes Stadtgebiet

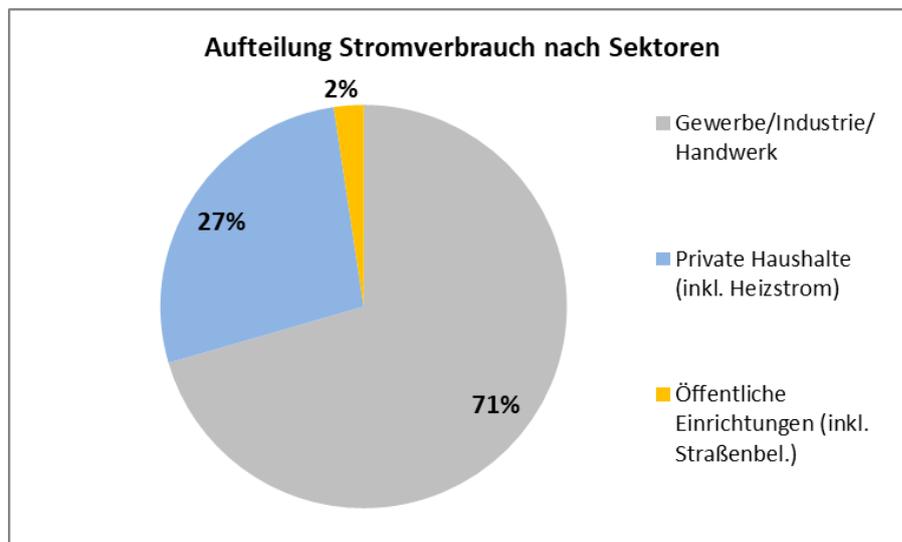


Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben Stadtwerke und MDN

Der Stromverbrauch ist mit rund 55.000 MWh/a in den drei Betrachtungsjahren beinahe konstant geblieben.

Mit 71%, ist der Sektor Gewerbe der mit Abstand größte Stromverbraucher. Der kommunale Stromverbrauch hat einen Anteil von ca. 2%.

Abbildung 6: Stromverbrauch nach Sektoren

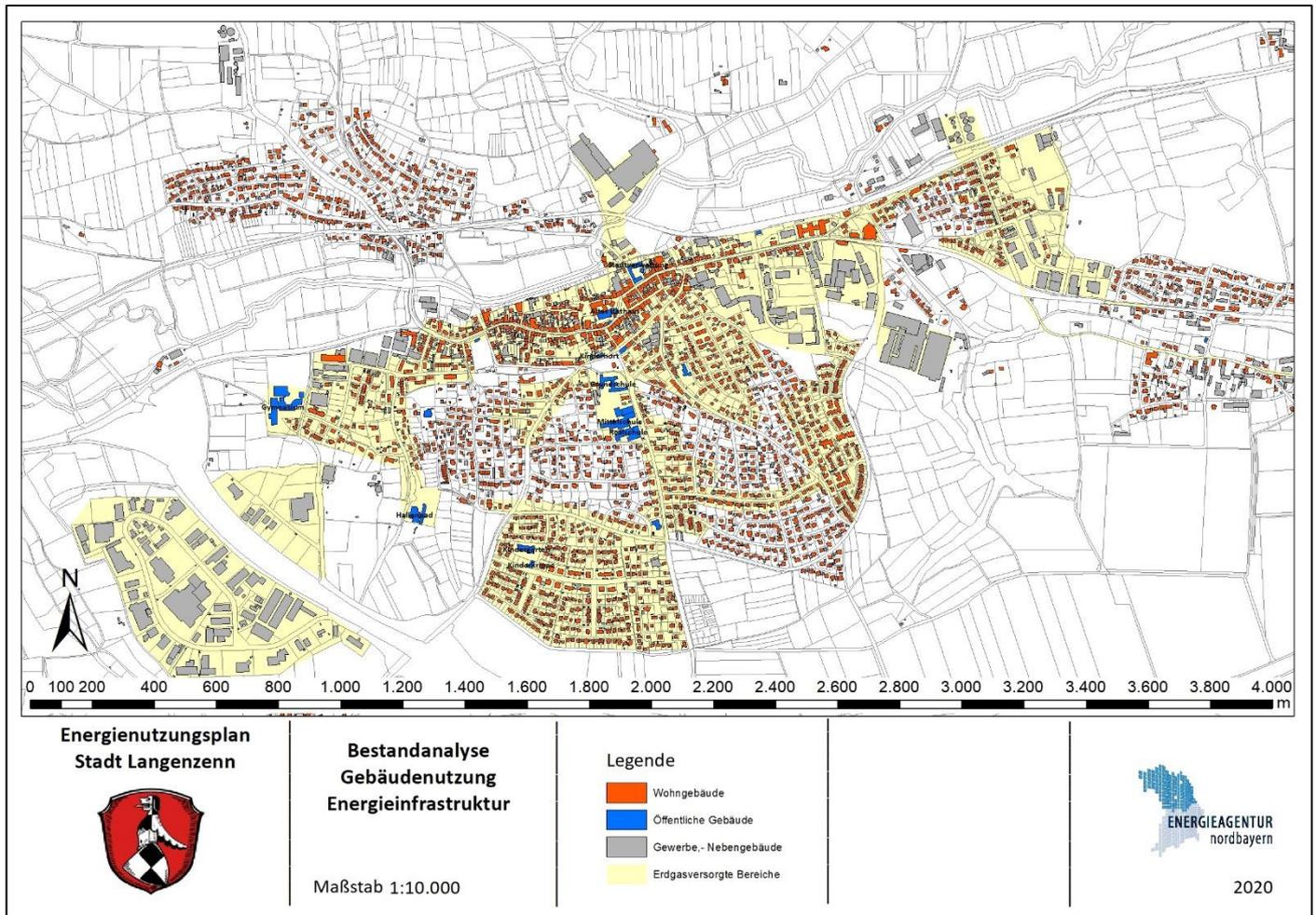


Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage Stadtwerke und MDN

2.1.2 Energieinfrastruktur und Wärmebedarf

Folgende Abbildung zeigt die Gebäudenutzung in Langenzenn anhand der LoD1-Daten vom Vermessungsamt:

Abbildung 7: Gebäudenutzung/Energieinfrastruktur Langenzenn



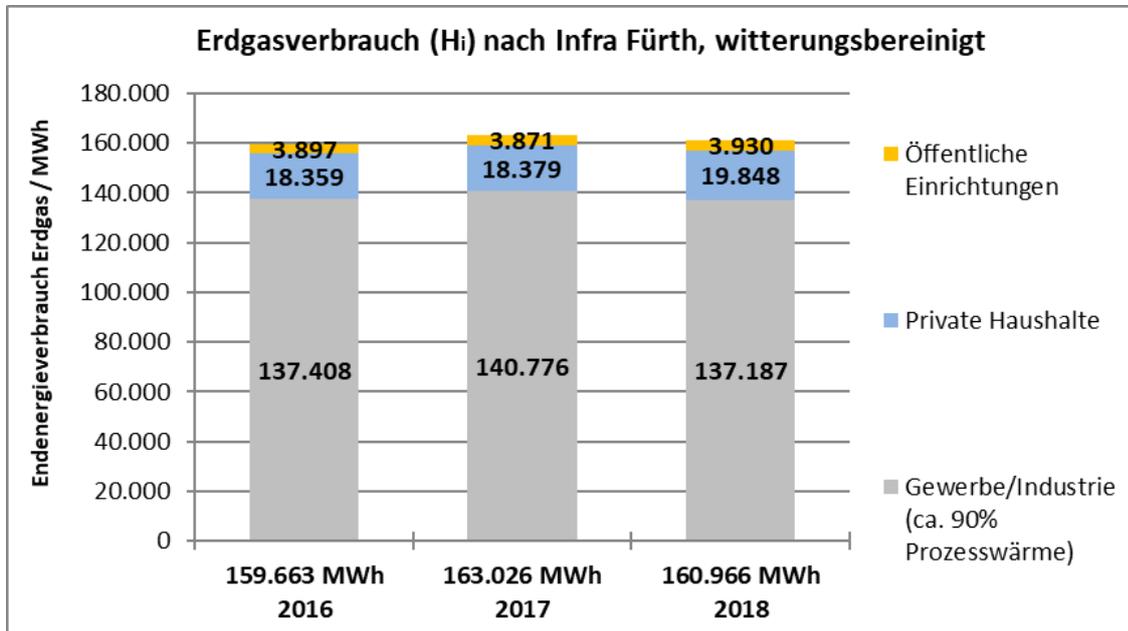
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage Datenerhebung (Maßstabsgerechter Plan im Anhang)

In den gelb markierten Gebieten besteht eine Erdgasversorgung durch die Infra Fürth. Nah- bzw. Fernwärmenetze sind bisher nicht vorhanden.

2.1.2.1 Erdgasverbrauch

Folgende Abbildung zeigt den witterungsbereinigten Erdgasverbrauch in Langenzenn:

Abbildung 8: Erdgasverbrauch gesamtes Stadtgebiet



Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben Infra Fürth

Der gesamte Erdgasverbrauch ist in den drei Betrachtungsjahren mit rund 160.000 MWh relativ konstant geblieben. Der Großteil des Erdgasverbrauchs entfällt auf Prozesswärme.

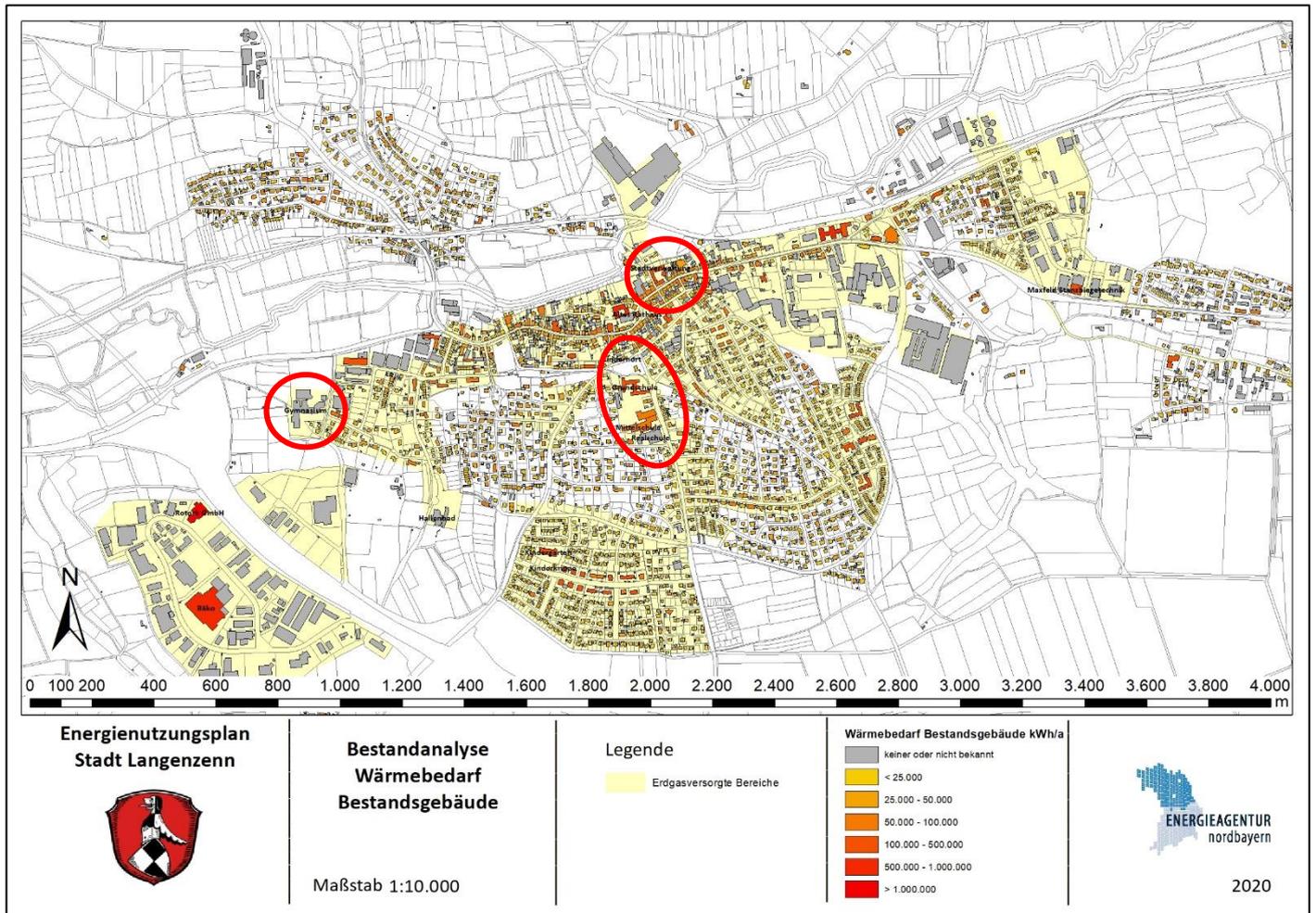
Die Firma Wienerberger hat im Jahr 2019 ihre Produktion in Langenzenn eingestellt, hierdurch ist eine deutlicher Rückgang der Prozesswärme zu erwarten.

2.1.2.2 Ermittlung des Wärmebedarfs und kommunale Verbrauchsschwerpunkte

Zur Ermittlung des Wärmebedarfs werden unterschiedliche Datenquellen berücksichtigt und ausgewertet. Anhand der GIS-Daten wird aus der Gebäudegrundfläche und Gebäudehöhe ein gebäudescharfer Wärmebedarf errechnet und im Plan dargestellt.

Für die Wohngebäude wird der Wärmebedarf anhand statistischer Daten ermittelt und mit der Datenabfrage beim zuständigen Bezirksschornsteinfeger abgestimmt. Ein weiterer Abgleich erfolgt mit dem dargestellten Erdgasverbrauch.

Abbildung 9: Jahreswärmebedarf je Gebäude



Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage GIS-Daten (Plan maßstabsgerecht im Anhang)

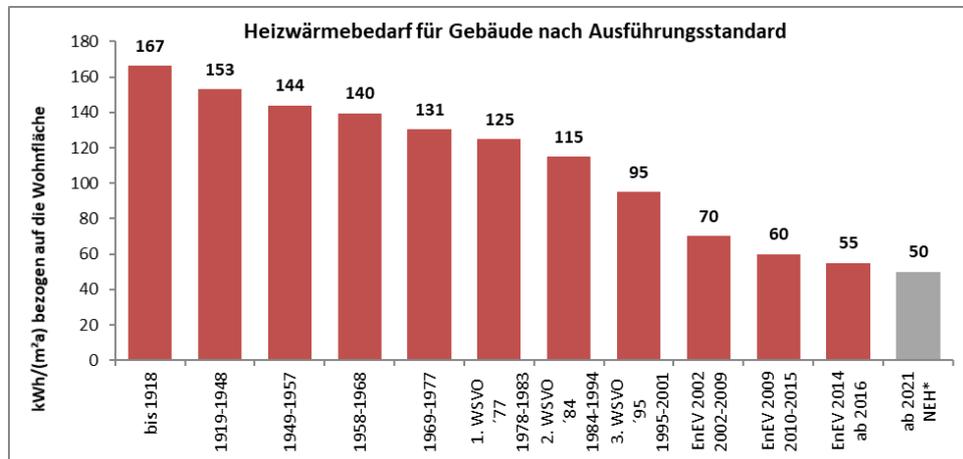
Für kommunale und gewerbliche Gebäude wurden die zur Verfügung gestellten Verbrauchswerte aus der Datenerhebung eingearbeitet. Bei den sonstigen Nichtwohngebäuden ist der Wärmebedarf, je nach Nutzung, sehr unterschiedlich und kann in Bezug auf die Gebäudefläche stark abweichen. Aus diesem Grund kann hierfür kein sinnvoller Verbrauchswert angegeben werden.

Kommunale Verbrauchsschwerpunkte sind das Schulzentrum mit Grund-, Mittel- und Realschule, der innerstädtische Bereich rund um die Stadtverwaltung, sowie das Gymnasium.

2.1.2.3 Wohngebäudebestand

Im Folgenden wird der Wohngebäudebestand näher untersucht und bewertet. Die Abbildung zeigt den statistischen Heizwärmebedarf für den Gebäudebestand nach Ausführungsstandard:

Abbildung 10: Heizwärmebedarf für Wohngebäude nach Ausführungsstandard



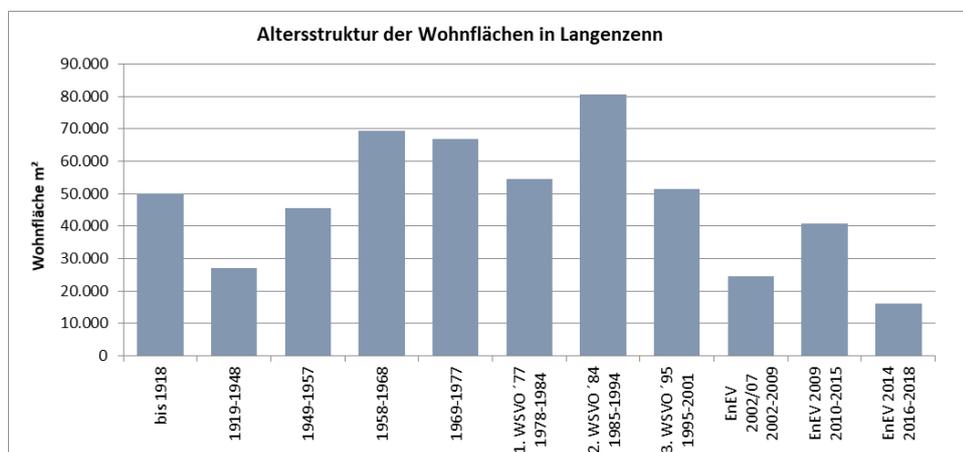
Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage Institut für Wohnen und Umwelt IWU; Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Während frühere Dämmvorschriften allein die Verhinderung von Schäden durch Kondensatausfall in den Bauteilen im Blickfeld hatten, sollte durch die Einführung der Wärmeschutzverordnung (WSVO) 1977 zum ersten Mal der Endenergiebedarf der Gebäude gesenkt werden. Die erste und zweite WSVO definieren erstmals Wärmeschutzstandards für einzelne Bauteile. Seit der 3. WSVO von 1995 wird für Neubauten der Jahres-Heizwärmebedarf auf ca. 95 kWh/a je m² Wohnfläche begrenzt. In der Energie-Einsparverordnung (EnEV) von 2002 werden die Regelwerke für die Qualität der Gebäudehülle und der Effizienz der Anlagentechnik zusammengefasst. Die EnEV definiert demzufolge einen einzuhaltenden Jahres-Primärenergiebedarf. Eine Novellierung der EnEV im Jahr 2009 und 2014 führte zu einer weiteren Verbesserung der Energiestandards im Gebäudebereich.

Das geplante Gebäude-Energie-Gesetz (GEG), das die EnEV ersetzen soll, sieht zum jetzigen Zeitpunkt keine Verschärfung für den Neubau und die Sanierung vor. Aufgrund verbesserter Baustoffe wird ab 2021 trotzdem von einer geringen Effizienzsteigerung ausgegangen.

Folgende Abbildung zeigt die Bautätigkeit in Abhängigkeit der Baualtersklassen:

Abbildung 11: Altersstruktur des Wohnraums



Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage Statistik Kommunal

Die große Bautätigkeit hatte von den 60er Jahren bis in die 90er Jahre stattgefunden. Insbesondere bei Gebäuden bis einschließlich 2. WSVO ist ein hohes Einsparpotenzial durch energieeffiziente Gebäudesanierung vorhanden.

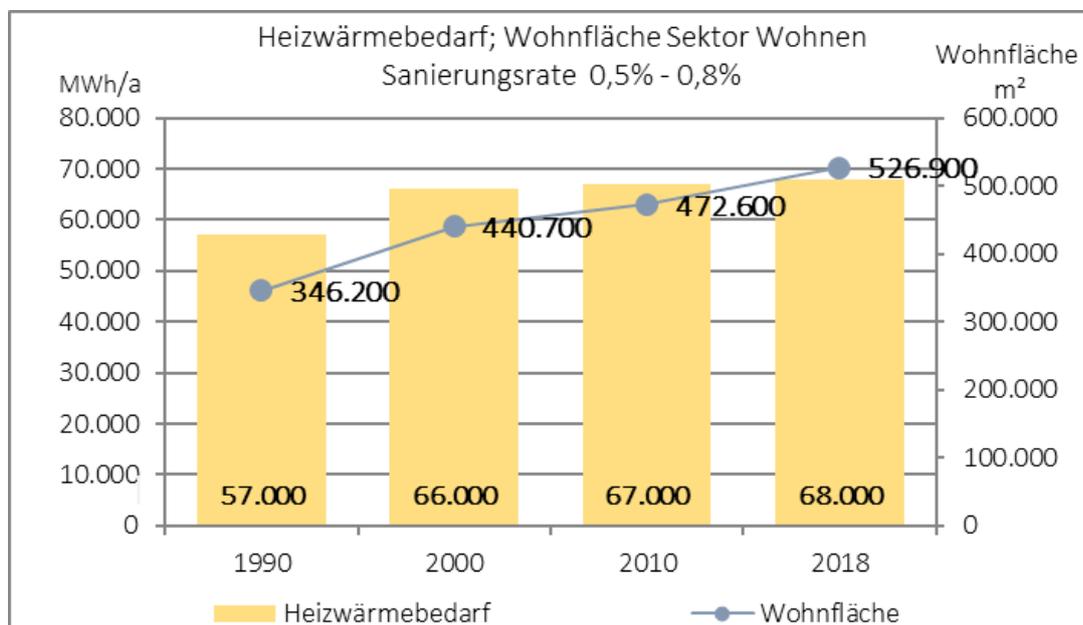
Insgesamt gibt es im Gemeindegebiet momentan rund 527.000 m² Wohnfläche bei 4.940 Wohnungen in 2.978 Wohngebäuden. Jeder Einwohner bewohnt im Durchschnitt 49,4 m².

2.1.2.3.1 Wohngebäude / Heizwärme- und Endenergiebedarf

Unter Berücksichtigung aller direkten und indirekten Emissionen sind Gebäude (Wohn- und Nichtwohngebäude) derzeit für bis zu 30 Prozent der Treibhausgasemissionen (THG) in Deutschland verantwortlich (nur direkte Emissionen: 13 Prozent). Das Energiekonzept der Bundesregierung fordert einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050¹. Das größte Einsparpotenzial liegt hierbei in der energetischen Gebäudesanierung. Die energetische Sanierungsrate liegt derzeit bei jährlich nur etwa 0,5 % bis 0,8 %.

Bei den folgenden Berechnungen ist zu berücksichtigen, dass von der Energiebedarfsseite ausgegangen wird. Unter Berücksichtigung des energetischen Standards des Gebäudebestandes und eines standardisierten Nutzerverhaltens wird der durchschnittliche Heizwärmebedarf der Gebäude ermittelt. Die Ergebnisse des tatsächlichen Energieverbrauchs können aufgrund von abweichenden Nutzerverhalten davon abweichen.

Abbildung 12: Entwicklung Wohnfläche und Heizwärmebedarf



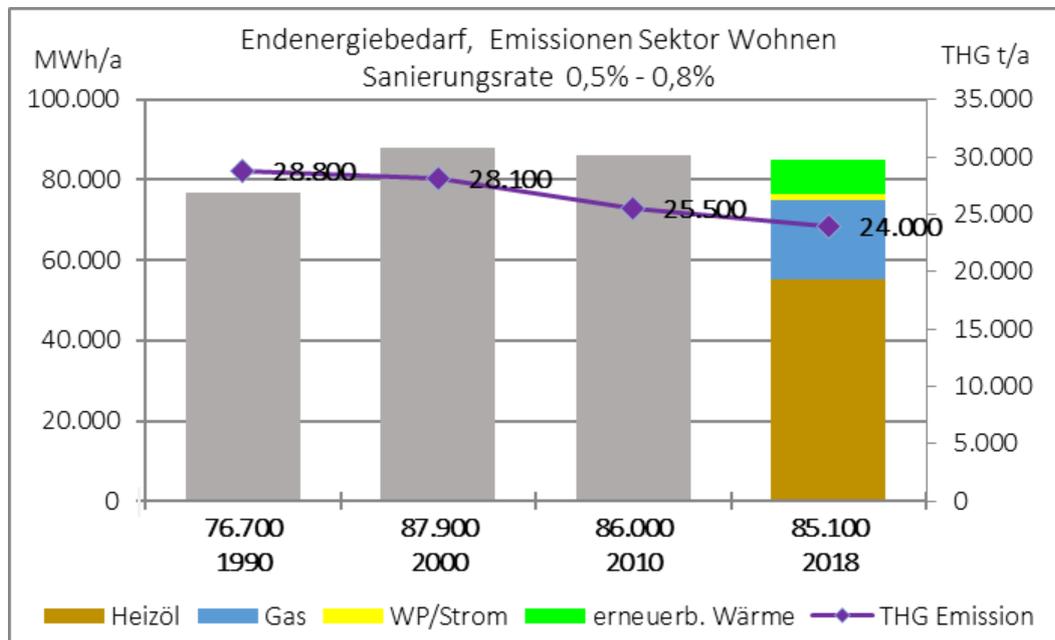
Quelle: Eigene Berechnung

Zwischen 1990 und 2018 steigt der Heizwärmebedarf um knapp 20 %, während die Wohnfläche um 52 % gewachsen ist. Diese Entwicklung ist auf immer höheren Anforderungen an den Gebäudeneubau und die Gebäudesanierung zurückzuführen.

¹ Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung, November 2016 und Klimaschutzprogramm 2030 zur Umsetzung des Klimaschutzplans, Oktober 2019

Unter Berücksichtigung des zusätzlichen Wärmebedarfs für die Trinkwassererwärmung und der Anlagenverluste der Heizzentralen hatte sich der gesamte Endenergiebedarf wie folgt entwickelt:

Abbildung 13: Entwicklung Endenergiebedarf Wohngebäude



Quelle: Eigene Berechnung

Durch die energetische Sanierung des Gebäudebestandes und die fortwährende Verbesserung der Heiztechnik wird der nötige Wärmebedarf immer effizienter erzeugt. Dadurch ist der Endenergiebedarf im Wohnbereich seit dem Jahr 2000 um 3,4 % zurückgegangen. Bezogen auf 1990 gab es jedoch einen Anstieg um 11 %.

Für das Jahr 2018 ist hier der aktuelle Heizwärmemix dargestellt, der sich durch den steigenden Zuwachs an erneuerbarer Wärme stetig verbessert hat. Trotz Anstieg des Endenergiebedarfs gegenüber 1990, haben sich die THG-Emissionen mit derzeit 24.000 t jährlich um 17 % reduziert. Aber, 65 % der Wärme im Wohnbereich wird noch mit Heizöl erzeugt.

2.1.2.3.2 Wohngebäude Sanierungspotenzial bis 2030

Die THG-Emissionen im bundesweiten Gebäudesektor sind seit 1990 von ca. 210 Mio. t bis 2018 bereits um rund **44 Prozent** gesunken. 2018 lagen sie nach ersten Schätzungen bei 117 Mio. t. Im Jahr 2030 dürfen im Gebäudesektor noch höchstens 72 Mio. t emittiert werden. Dies entspricht einem Rückgang um **66 bis 67 Prozent** gegenüber 1990². Die Energieeinsparung im Gebäudebereich soll vor allem durch zwei Maßnahmenpakete erreicht werden: Einerseits soll die Sanierungsrate der energetischen Sanierung von Gebäuden mindestens verdoppelt werden, andererseits wird der Einsatz von Erneuerbaren Energien wie Holzpellets oder Umweltwärme deutlich verstärkt.

Entsprechend den Anforderungen an den Neubau steigen auch die energetischen Anforderungen bei der Gebäudesanierung. Durch weiteren technologischen Fortschritt sinken in Zukunft aber auch gleichzeitig die Baukosten für hocheffiziente Maßnahmen wie Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

² Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung, November 2016 und Klimaschutzprogramm 2030 zur Umsetzung des Klimaschutzplans, Oktober 2019

und Passivhausfenster. Die Bundesregierung unterstützt zudem die energieeffiziente Gebäudesanierung durch das KfW-Programm „Energieeffizient Sanieren“ und den Einsatz Erneuerbarer Energien mit dem Zuschussprogramm „Heizen mit Erneuerbaren Energien“.

Im Rahmen des Energienutzungsplans werden folgende zwei Sanierungsszenarien mit unterschiedlichen Sanierungsraten berechnet:

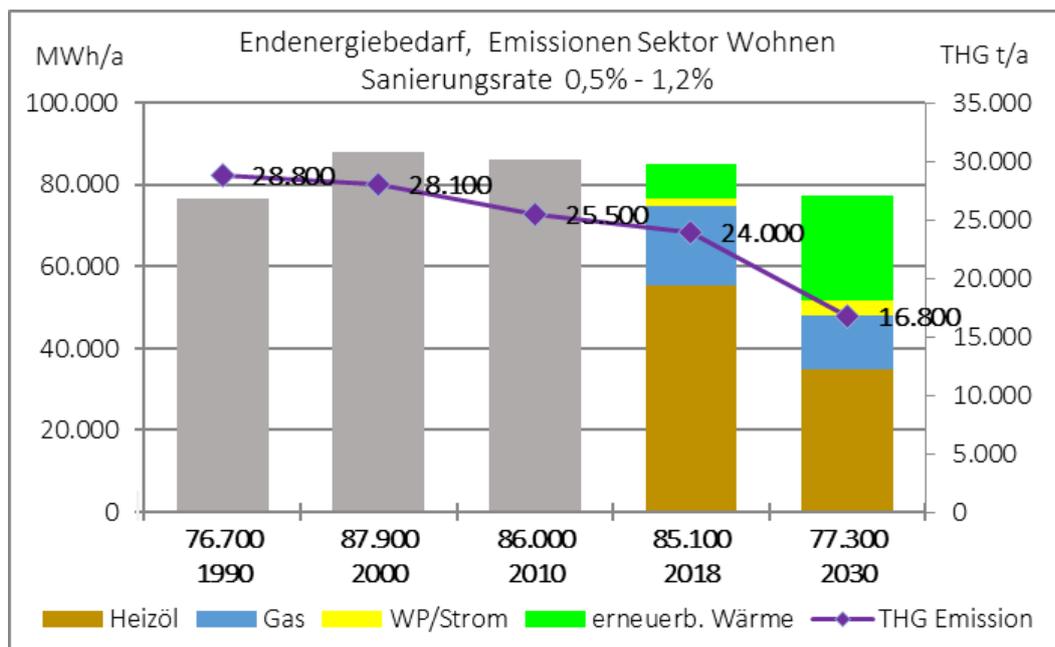
- **Referenzszenario:** Steigerung der Sanierungsrate auf 1,2 % bis 2030
- **Effizienzzenario:** Steigerung der Sanierungsrate auf 2,0 % bis 2030

Außerdem werden unterschiedliche Steigerungsraten bei Hocheffizienzsanierungen (z.B.: KfW-Effizienzhäuser) und beim Heizwärmemix berücksichtigt.

Wohngebäudesanierung Referenzszenario

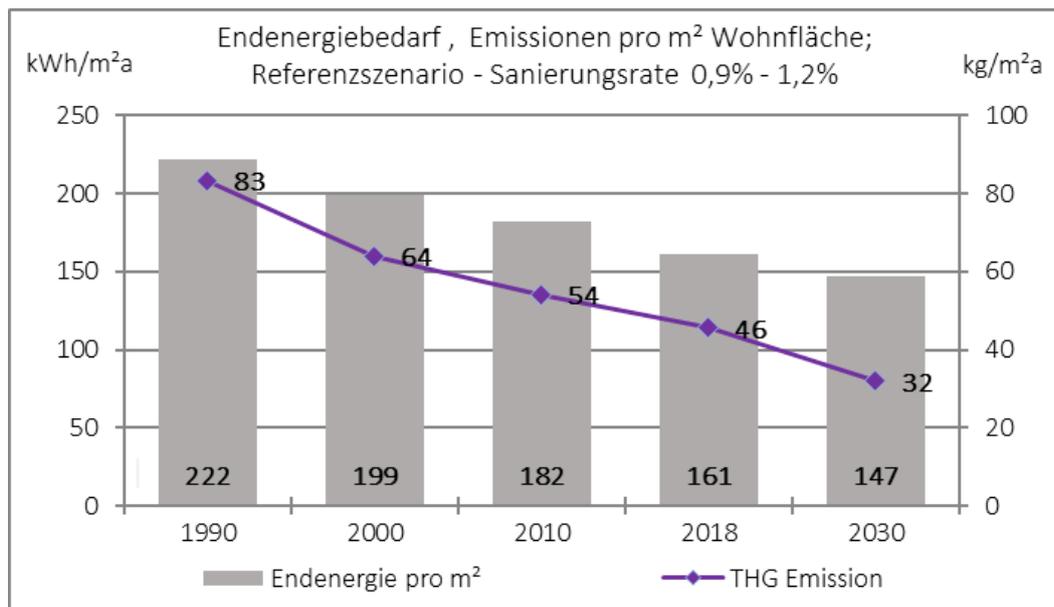
Im Referenzszenario steigt die jährliche Sanierungsrate moderat auf 1,2 % im Jahr 2030. Hieraus ergibt sich folgendes Reduktionspotenzial:

Abbildung 14: Reduktionspotenzial Endenergiebedarf Referenzszenario



Quelle: Eigene Berechnung

Der Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser reduziert sich im Referenzszenario um 9,2 % bezogen auf 2018 und erreicht in etwa wieder das Niveau von 1990. Die THG-Emissionen betragen im Jahr 2030 16.800 t. Dies wäre ein Rückgang von 30 % gegenüber 2018 und 42 % bezogen auf 1990.

Abbildung 15: Reduktionspotenzial Endenergiebedarf je m² Wohnfläche, Referenzszenario

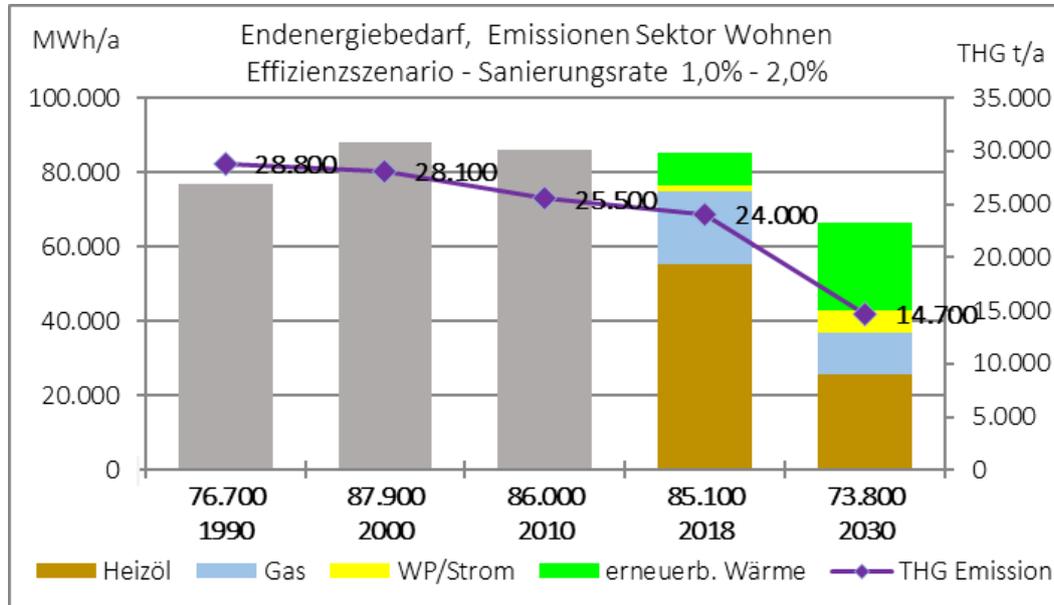
Quelle: Eigene Berechnung

Um den Wohnflächenzuwachs zu bereinigen, werden die Einsparpotenziale bezogen auf einen m² Wohnfläche dargestellt. Gegenüber 1990 reduzieren sich hier der Endenergiebedarf um 34 % auf 147 kWh/m²a und die THG-Emissionen um 61 % auf 32 kg/m²a.

Wohngebäudesanierung Effizienzscenario

Im Effizienzscenario steigt die jährliche Sanierungsrate auf 2,0 % im Jahr 2030: Hieraus ergibt sich folgendes Reduktionspotenzial:

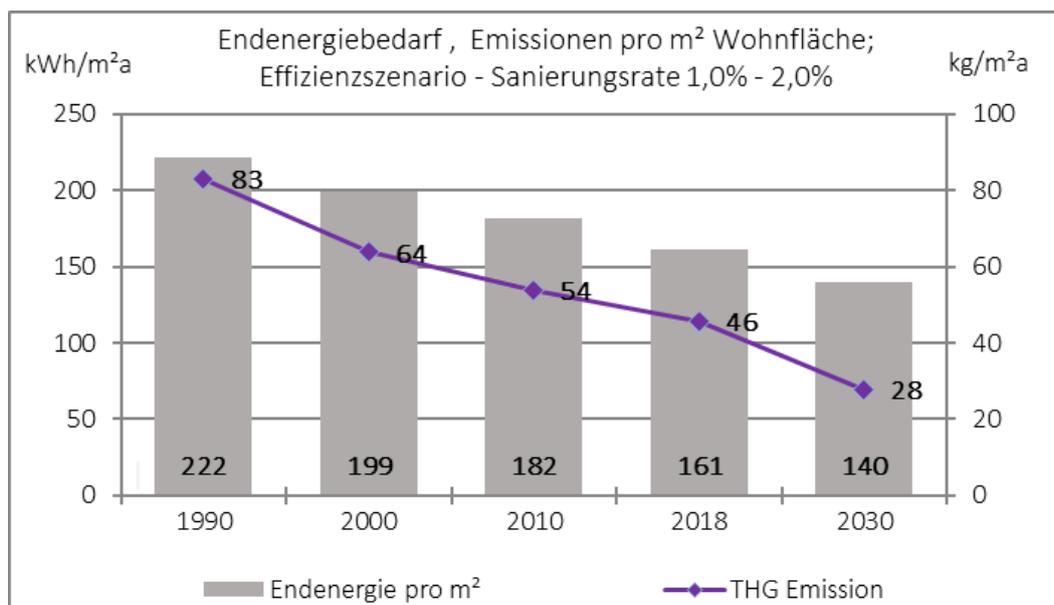
Abbildung 16: Reduktionspotenzial Endenergiebedarf Effizienzscenario



Quelle: Eigene Berechnung

Der Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser reduziert sich im Effizienzscenario um 13,3 % bezogen auf 2018 und um 3,8 % gegenüber 1990. Die THG-Emissionen betragen im Jahr 2030 14.700 t. Dies wäre ein Rückgang von 39 % gegenüber 2018 und knapp 50 % bezogen auf 1990.

Abbildung 17: Reduktionspotenzial Endenergiebedarf je m² Wohnfläche, Effizienzscenario



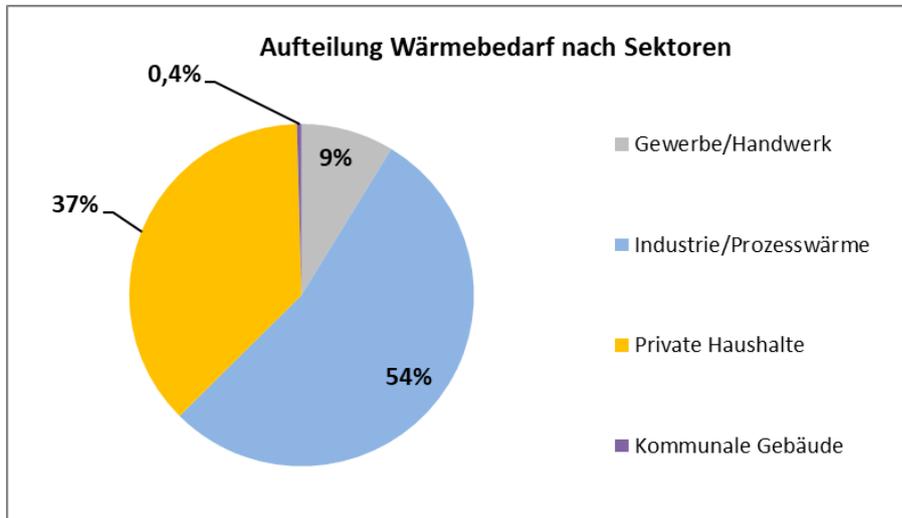
Quelle: Eigene Berechnung

Bezogen auf die Wohnfläche sinkt der Endenergiebedarf im Effizienzscenario gegenüber 1990 um 37 % auf 140 kWh/m²a und die THG-Emissionen um 66 % auf noch 28 kg/m²a.

2.1.2.4 Gesamter Wärmebedarf

Anhand der Auswertung der Baualtersklassen, der Schornsteinfegerbefragung und der Erhebung bei den Energieversorgern beträgt der **Wärmebedarf im gesamten Gemeindegebiet ca. 229.500 MWh/a**. Folgende Abbildung zeigt die ermittelte Wärmeaufteilung nach Verbrauchssektoren:

Abbildung 18: Aufteilung Wärmebedarf gesamtes Gemeindegebiet



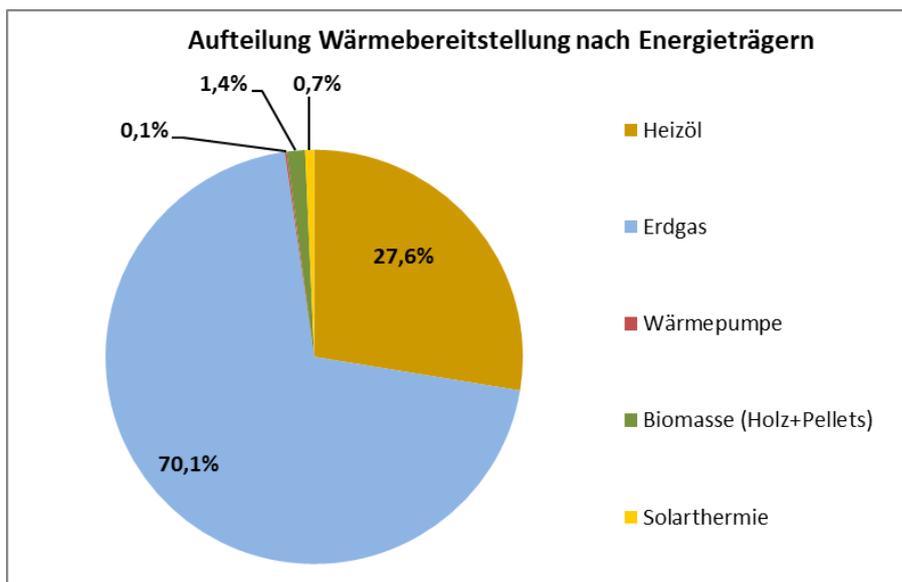
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Datenerhebung und Auswertung

Den größten Anteil am gesamten Wärmebedarf hat die Prozesswärme mit über 50 % gefolgt von den privaten Haushalten (Wohngebäuden) mit 37 %. Der Wärmebedarf Gewerbe/Handwerk beträgt 9 % und die kommunalen Gebäude haben einen Anteil von 0,4 %.

Die Firma Wienerberger hat im Jahr 2019 ihre Produktion in Langenzenn eingestellt, hierdurch ist ein deutlicher Rückgang der Prozesswärme zu erwarten.

Bei der Aufteilung Wärmebereitstellung sind auch die vorhandenen Anlagen zur regenerativen Wärmeerzeugung berücksichtigt (siehe Punkt 2.3).

Abbildung 19: Wärmebereitstellung Stadt Langenzenn



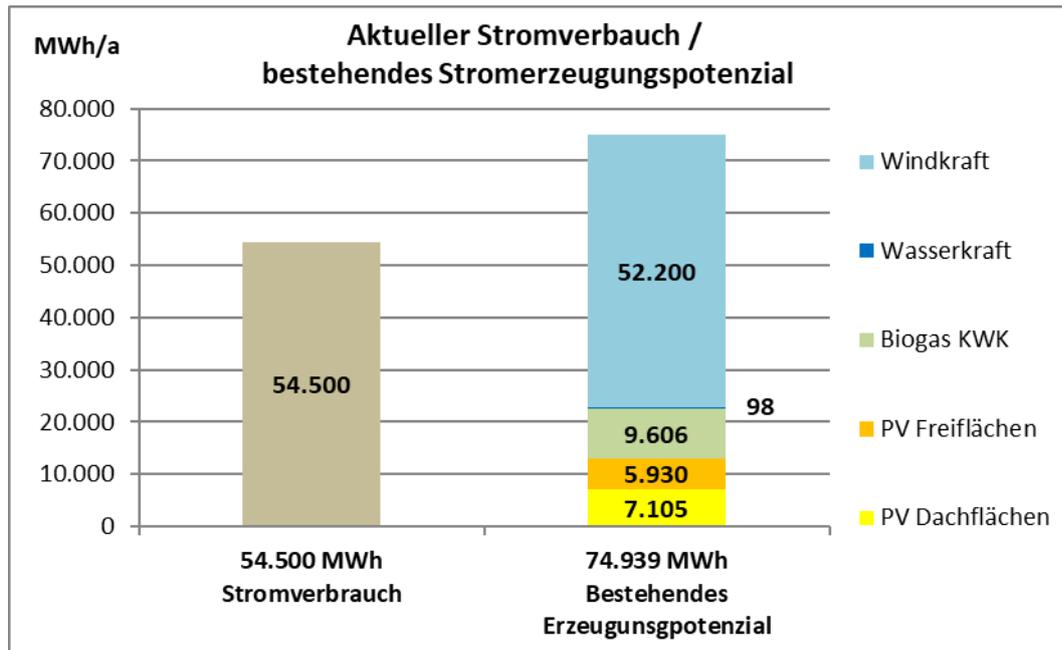
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage Datenerhebung Schornsteinfeger

Rund 70% der Wärme wird derzeit mit Erdgas erzeugt, Heizöl hat noch einen Anteil von knapp 30 %. Nur 2,2 % der aktuellen Wärmebereitstellung erfolgt Erneuerbaren Energien, wie Biomasse-Heizungen, Solarthermie und Wärmepumpe.

2.2 Vorhandene Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung nach EEG

Aktuell (2018) besteht in Langenzenn ein Stromerzeugungspotenzial von rund 75.000 MWh aus erneuerbaren Energien. Dies entspricht bilanziell dem 136-fachen des gesamten Stromverbrauchs.

Abbildung 20: Regenerative Stromerzeugung



Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage der Datenerhebung und Berechnungen

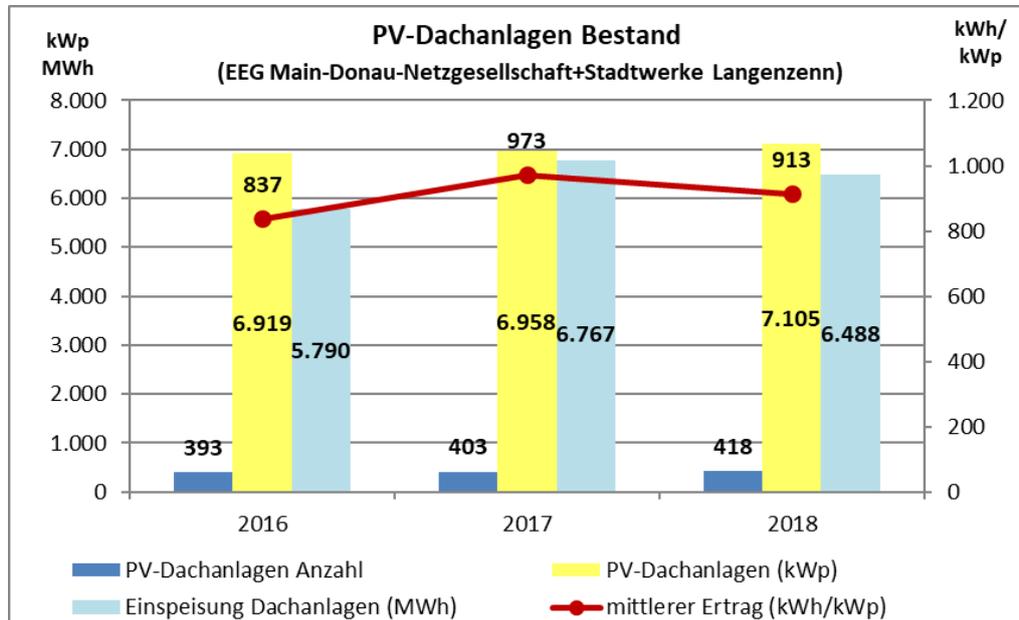
70 % der regenerativen Stromerzeugung erfolgt durch Windkraft, gefolgt von Biogas KWK und Dachflächen- und Freiflächen PV. Wasserkraft spielt eine untergeordnete Rolle.

Im Folgenden werden die vorhandenen Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung beschrieben.

2.2.1 Photovoltaik Dachanlagen

In den drei Betrachtungsjahren wurden in Langenzenn 25 PV-Dachanlage mit 186 kWp zugebaut.

Abbildung 21: Entwicklung PV-Dachanlagen



Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Stadtwerke Langenzenn und Main-Donau-Netzgesellschaft

Die installierte Gesamtleistung betrug Ende 2018 7.105 kWp, es wurden 6.488 MWh Strom eingespeist. Im Jahr 2017 erreichte der mittlere Ertrag mit 973 kWh/kWp einen Höchstwert, der über dem durchschnittlichen „Optimalwert“ von 950 kWh/kWp für Dachanlagen in dieser Region liegt.

2.2.1.1 Ausbaupotenzial Photovoltaik Dachanlagen

Für PV-Dachanlagen wird auf Basis Leitfaden Energienutzungsplan³ ein überschlägiges Ausbaupotenzial ermittelt. Hierbei wird ausgehend von der Gebäudegrundfläche und einer nutzbaren Solareinstrahlung je m² Gebäudegrundfläche eine mögliche Stromerzeugung berechnet. Die Anzahl und die Grundfläche der nutzbaren Gebäude wird anhand der Datengrundlage aus dem Geoinformationssystem (GIS) ermittelt.

Nach Statistik Kommunal gibt es in Langenzenn derzeit ca. 2.980 Wohngebäude. Abzüglich aller Wohngebäude, die eine Grundfläche kleiner als 50 m² aufweisen, die im Innerstädtischen Denkmalschutzbereich liegen und denen anteilig bereits eine PV- oder Solarthermieanlage zuzuordnen ist, verbleiben 2.120 Wohngebäude mit insgesamt 270.000 m² Grundfläche.

Anhand des gleichen Berechnungsvorganges verbleiben 1.600 Nichtwohngebäude mit 472.200 m² Grundfläche.

Anhand dieser Annahmen ergibt sich folgendes PV-Dachpotenzial für Wohn- und Nichtwohngebäude:

³ Leitfaden Energienutzungsplan, Verfasser: Technische Universität München, August 2010

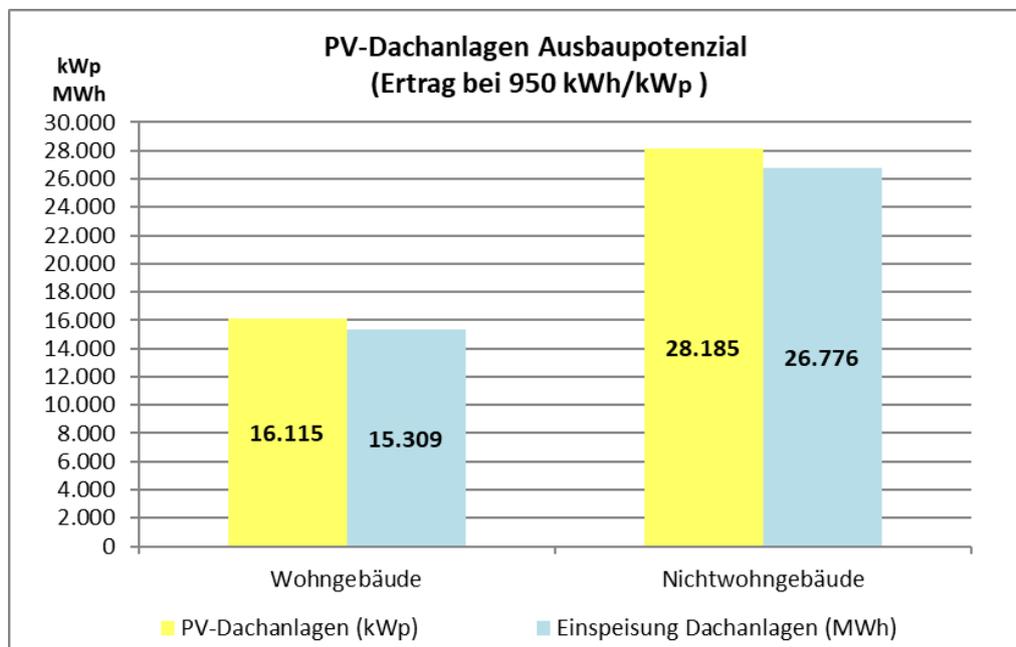
Tabelle 1: PV-Dachflächen Ausbaupotenzial Wohn- und Nichtwohngebäude

	Anzahl	m ² Grundfläche	Nutzbare Strahlungsangebot *630 kWh/m ² Grundfläche	PV-Stromerzeugung mit Nutzungsgrad **9 %	950 kWh/kWp	kWp/Geb.
Wohngeb.	2.120	270.004	170.102 MWh	15.309 MWh	16.115 kWp	7,6
Nichtwohngeb.	1.601	472.237	297.510 MWh	26.776 MWh	28.185 kWp	17,6
Summe	3.721	742.241	467.612 MWh	42.085 MWh	44.300 kWp	11,9

*Leitfaden Energienutzungsplan S. 117; **Leitfaden Energienutzungsplan S. 36

Die nutzbare Solareinstrahlung von 630 kWh/m² Gebäudegrundfläche ergibt ein gesamtes nutzbares Strahlungsangebot von 467.600 MWh/a. Bei 9 % Nutzungsgrad von PV-Anlagen bezogen auf das nutzbare Strahlungsangebot ergibt sich ein gesamtes Stromerzeugungspotenzial von 42.085 MWh/a. Bei einer durchschnittlichen Ertragsannahme von 950 kWh/kWp folgt hieraus eine PV-Leistung von 44.300 kWp. Dies entspricht durchschnittlich 7,6 kWp je Wohngebäude und 17,6 kWp je Nichtwohngebäude.

Folgende Abbildung zeugt das berechnete Ausbaupotential bei Wohn- und Nichtwohngebäuden:

Abbildung 22: PV-Dachflächen Ausbaupotenzial Wohn- und Nichtwohngebäude

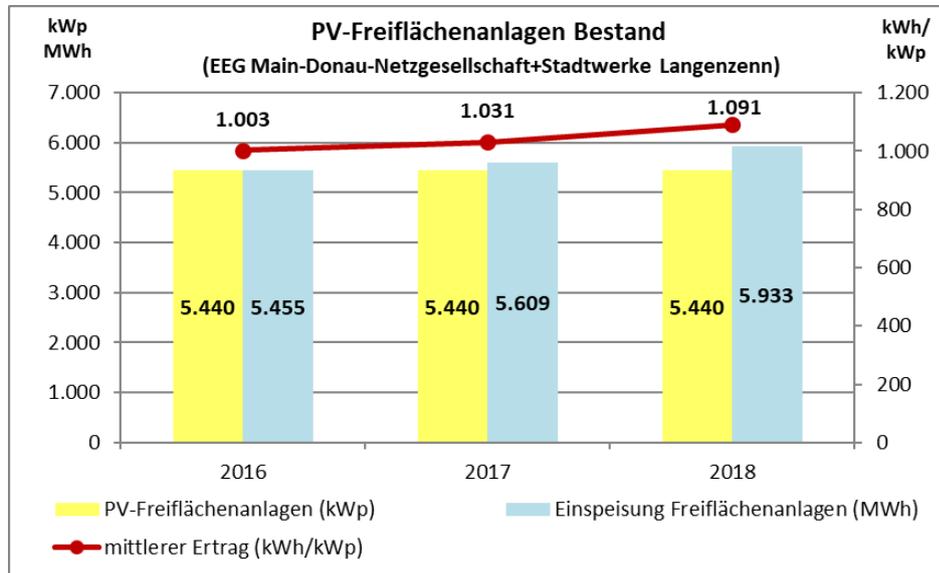
Bei Wohngebäuden besteht ein Ausbaupotenzial von rund 16.000 kWp. Dies ist mehr als das Doppelte der momentan vorhandenen Dachanlagen. Hierbei ist ein weiterer möglicher Ausbau von Solarthermie nicht berücksichtigt.

Bei Nichtwohngebäuden besteht zusätzlich ein Ausbaupotenzial von ca. 28.200 kWp.

2.2.2 Photovoltaik Freiflächenanlagen

In Langenzenn sind derzeit zwei PV-Freiflächenanlagen mit insgesamt 5.440 kWp vorhanden.

Abbildung 23: Entwicklung PV-Freiflächenanlagen



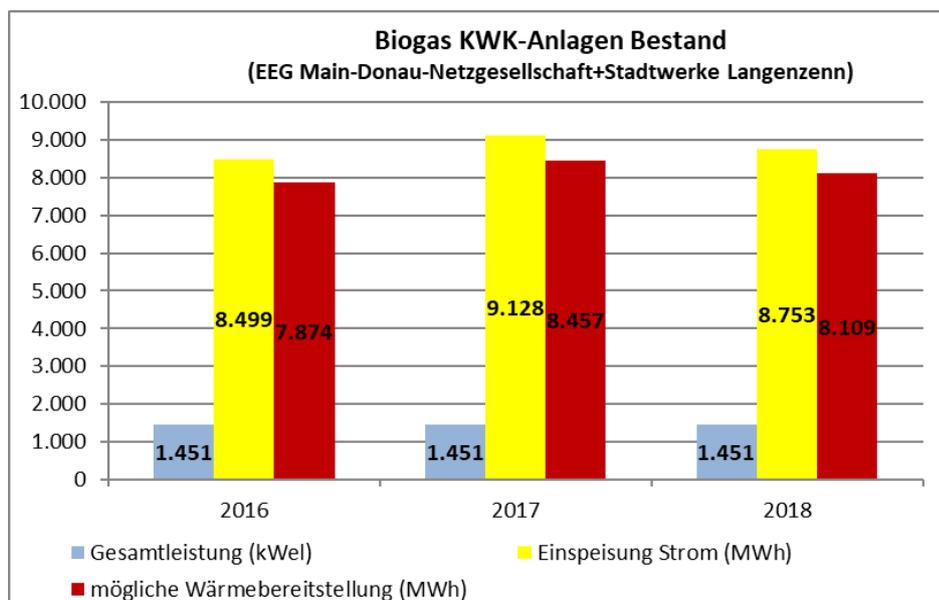
Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Stadtwerke Langenzenn und Main-Donau-Netzgesellschaft

Hierdurch wurden in den drei Betrachtungsjahren durchschnittlich 5.666 MWh Strom in das Netz eingespeist.

2.2.3 Biogas KWK

Derzeit gibt es in Langenzenn drei Biogas KWK-Anlagen mit einer maximalen elektrischen Gesamtleistung von 1.451 kW, hierdurch wurden durchschnittlich 8.800 kWh Strom eingespeist. Dies entspricht einer möglichen, nutzbaren Wärmeerzeugung von ca. 8.000 kWh/a.

Abbildung 24: Biogas KWK-Anlagen



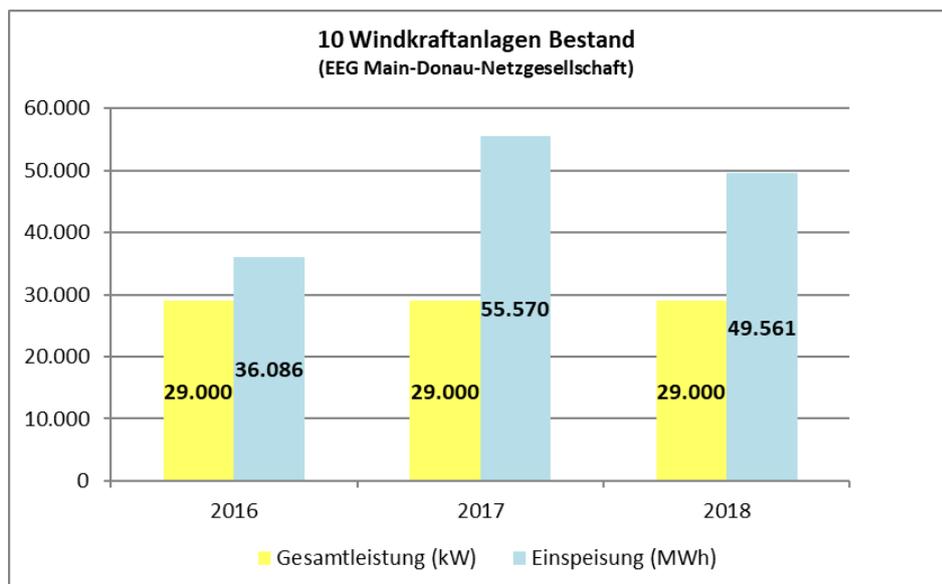
Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Stadtwerke Langenzenn und Main-Donau-Netzgesellschaft

Kurzbeschreibung Biogasanlagen:

- Langenzenn Würzburger Str. 530 kWel Wärme-Abgabepotenzial vorhanden
- Keidenzell 741 kWel Bioabfallvergärung,
Wärmeversorgung Gewächshaus
- Ödenhof 180 kWel eigene Wärmenutzung
- Hardhof 2*75 kWel Inbetriebnahme 2018
(noch keine EEG-Jahresmeldung in 2018)

2.2.4 Windkraft

Im Jahr 2011 wurden im Rahmen einer Bürgerwindenergiebeteiligung vier Windkraftanlagen in Betrieb genommen. Hiervon speisen zwei Anlagen im Gebiet Langenzenn und zwei Anlagen in Wilhermsdorf ein. Inzwischen befinden sich im Einspeisegebiet Langenzenn 10 Anlagen mit insgesamt 29 MW, hiervon sind die letzten zwei Windkraftanlagen 2016 in Betrieb gegangen.

Abbildung 25: Windkraftanlagen

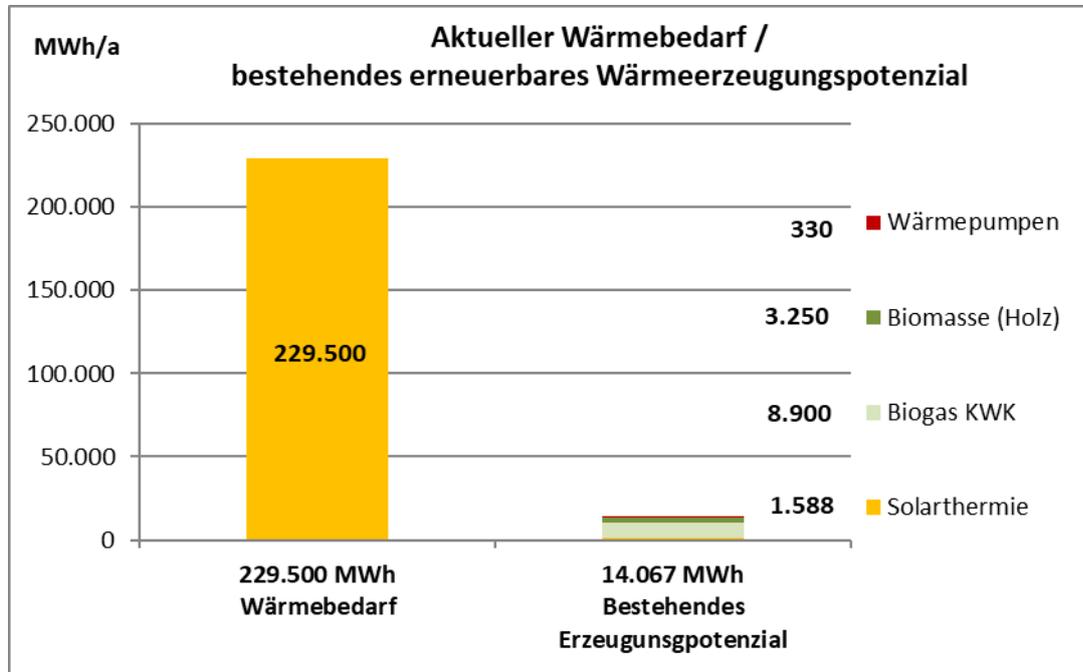
Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Stadtwerke Langenzenn und Main-Donau-Netzgesellschaft

Die höchste Stromerzeugung in den drei Betrachtungsjahren war im Jahr 2017. Bei 1.916 Vollaststunden wurden 55.570 MWh Strom erzeugt.

2.3 Vorhandene Anlagen zur regenerativen Wärmeerzeugung

Aktuell besteht in Langenzenn ein regeneratives Wärmeerzeugungspotenzial von ca. 14.000 MWh/a. Dies entspricht lediglich 6 % des gesamten Wärmebedarfs.

Abbildung 26: Regenerative Wärmeerzeugung



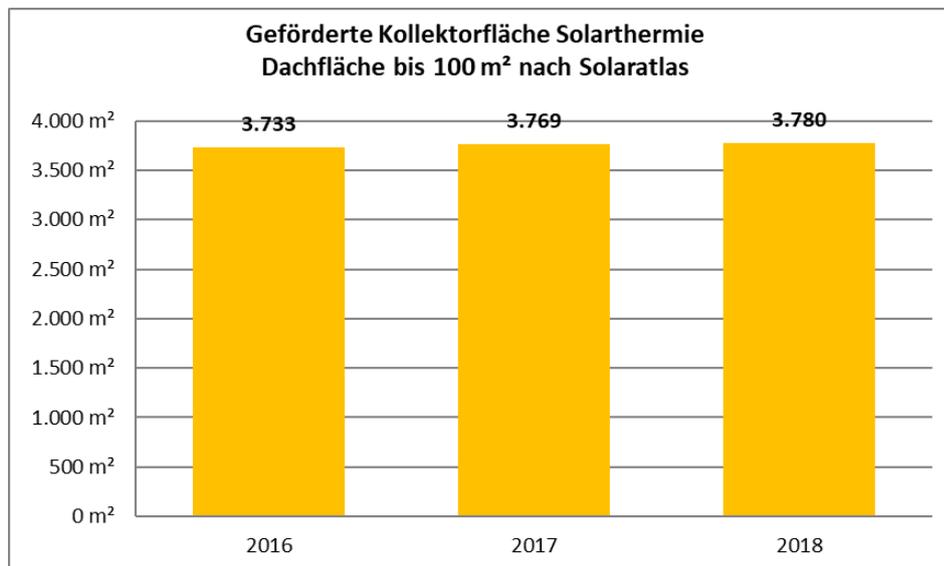
Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage der Datenerhebung und Berechnungen

Über die Hälfte der regenerativen Wärmeerzeugung könnte durch Biogas-KWK erzeugt werden. Gefolgt von Holzheizungen und Solarthermie. Wärmepumpen spielen noch eine untergeordnete Rolle.

2.3.1 Solarthermie

Solarthermische Anlagen erzeugen Wärme zur Warmwassererwärmung und/oder Heizungsunterstützung. Zur Datenerhebung kann hier auf den Solaratlas zurückgegriffen werden, der die geförderten Solarthermieanlagen bis 40 m² Kollektorfläche abbildet. Die Förderung erfolgt durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

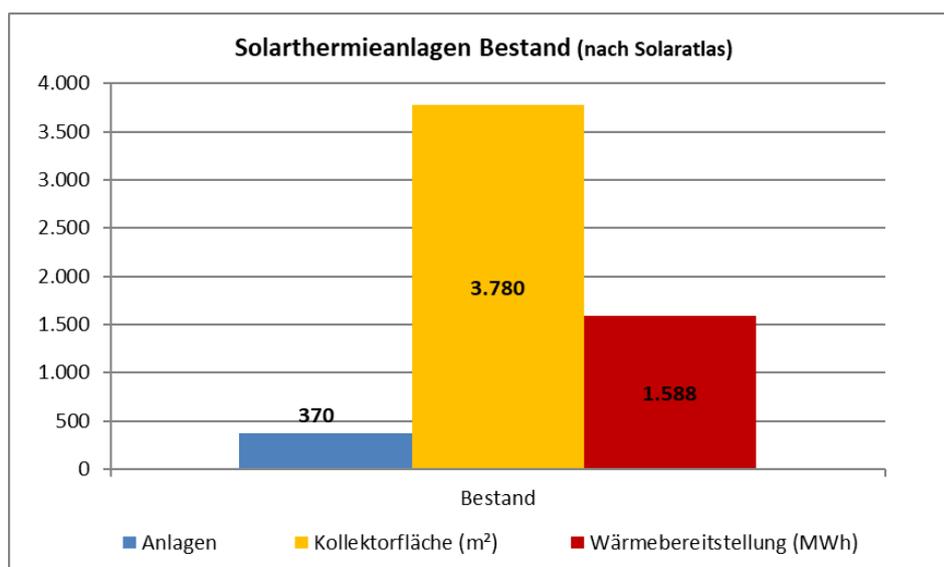
Abbildung 27: Installierte Kollektorfläche Solarthermie



Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Solaratlas

In den Jahren 2016 bis 2018 wurden lediglich 47 m² Kollektorfläche hinzugebaut. Dies entspricht 4-5 Solarthermieanlagen.

Abbildung 28: Installierte Solarthermieanlagen



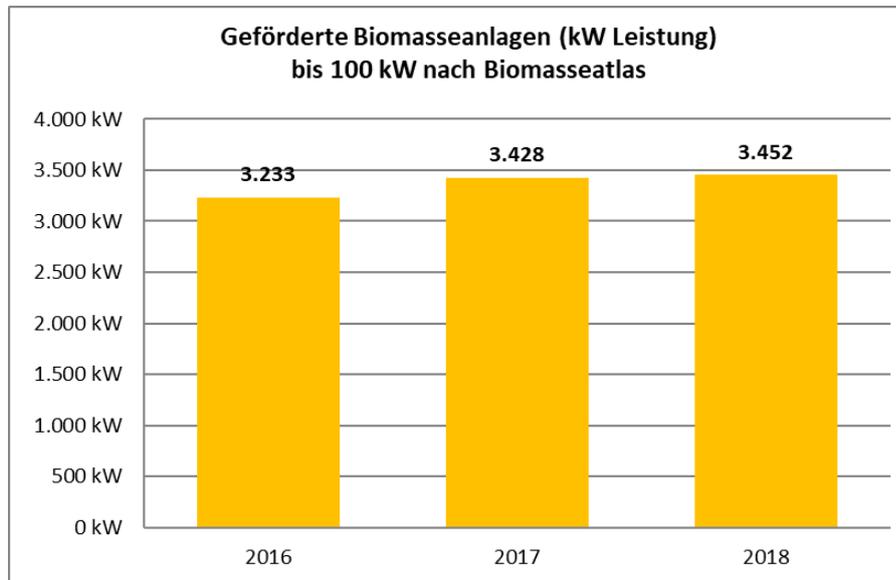
Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Solaratlas

Im Jahr 2018 sind 370 geförderte Solarthermieanlagen in Langenzenn installiert und erzeugen ca. 1.600 MWh Wärme. Die durchschnittliche Anlagengröße liegt bei 10 m² Kollektorfläche.

2.3.2 Biomasse (Holz)

Biomasseanlagen zur reinen Wärmeerzeugung werden mit Scheitholz, Hackschnitzeln und Holzpellets betrieben. Zur Datenerhebung kann hier auf den Biomasseatlas zurückgegriffen werden, der aber lediglich die geförderten Biomasseanlagen bis 100 kW Nennwärmeleistung abbildet. Die Förderung erfolgt durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

Abbildung 29: Geförderte Nennwärmeleistung Biomasseanlagen

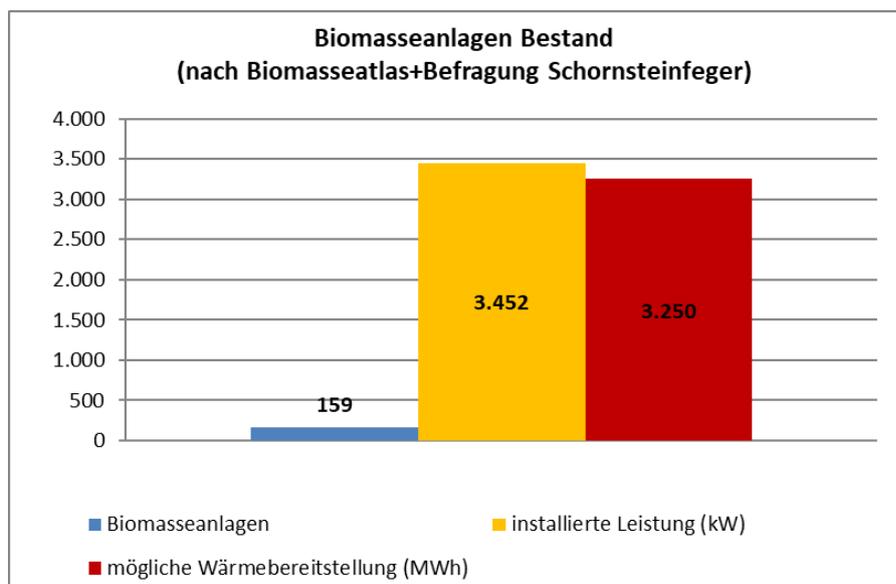


Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Biomasseatlas

In den letzten drei Betrachtungsjahren wurden 219 kW Nennwärmeleistung hinzugebaut. Dies entspricht ca. 7-8 Biomasseheizungen.

Nach zusätzlicher Auswertung der Schornsteinfegerdaten sind im Jahr 2018 insgesamt 159 Biomasseanlagen mit insgesamt 3.452 kW Nennwärmeleistung installiert. Hierdurch werden 3.250 MWh Wärme bereitgestellt. Die durchschnittliche Anlagengröße beträgt 20 kW.

Abbildung 30: Installierte Biomasseanlagen



Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Biomasseatlas, Befragung Schornsteinfeger

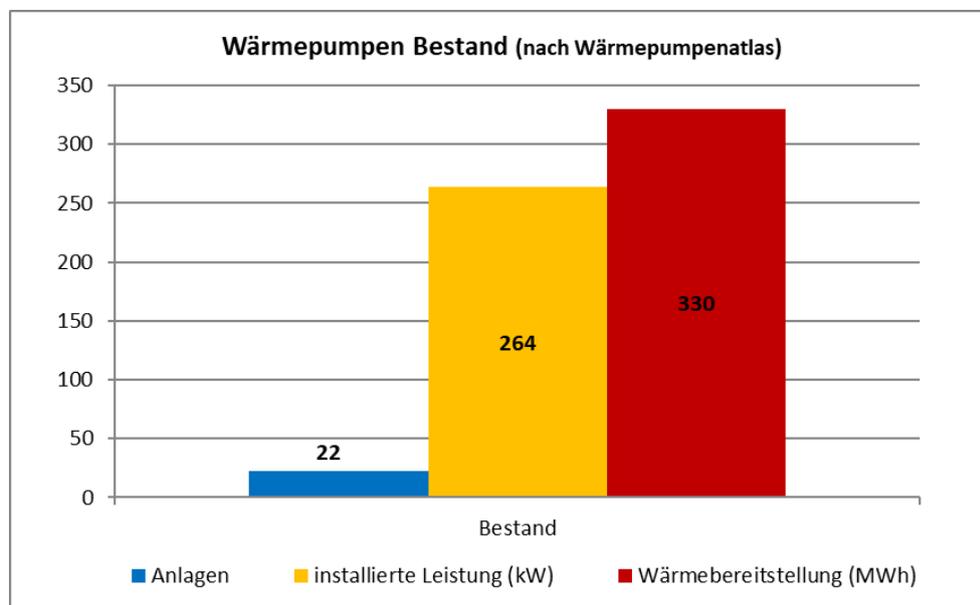
2.3.3 Wärmepumpen, Oberflächennahe Geothermie

Eine Wärmepumpe erzeugt unter Aufwendung von Strom thermische Energie aus einem Reservoir mit niedrigerer Temperatur (Umgebungswärme) und hebt dies auf ein höheres Temperaturniveau (Raumwärme). Durch Wärmepumpen kann aber auch gekühlt werden. Hierbei gibt es drei verschiedene Techniken:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe, entzieht die Energie aus der Umgebungsluft
- Sole-Wasser-Wärmepumpe, entzieht die Energie aus der Erde über Kollektoren oder Erdwärmesonden
- Wasser-Wasser-Wärmepumpe, entzieht die Energie aus dem Grundwasser

Zur Datenerhebung kann hier auf den Wärmepumpenatlas zurückgegriffen werden, der die seit 2008 geförderten Wärmepumpen bis 100 kW Nennwärmeleistung abbildet.

Abbildung 31: Installierte Wärmepumpen in Langenzenn



Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage Wärmepumpenatlas

Im Jahr 2018 sind 22 geförderte Wärmepumpen in Langenzenn installiert und können ca. 330 MWh Wärme erzeugen. Hierfür werden rund 100 MWh Strom benötigt. Die durchschnittliche Anlagengröße beträgt 12 kW.

2.3.4 Biogas KWK

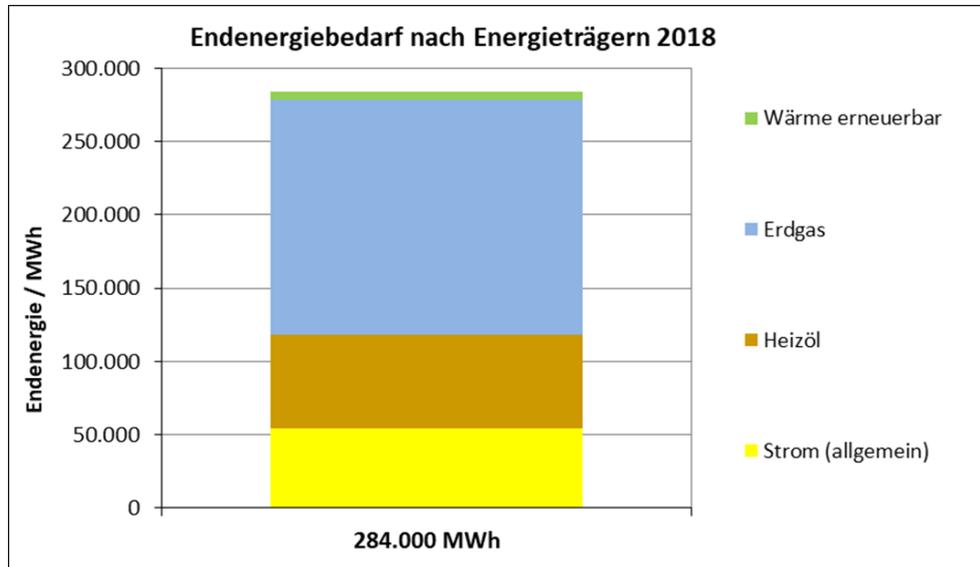
Bei optimalem Betrieb der vorhandenen Biogas KWK-Anlagen mit 6.000 Vollaststunden können 8.900 MWh nutzbare Wärme erzeugt werden.

(Siehe auch Biogas KWK Stromerzeugung, Punkt 2.2.3)

2.4 Endenergiebedarf Bestandsanalyse

Die folgende Endenergiebilanz zeigt den ermittelten Endenergiebedarf mit insgesamt 284.000 MWh für das bilanzierte Jahr 2018:

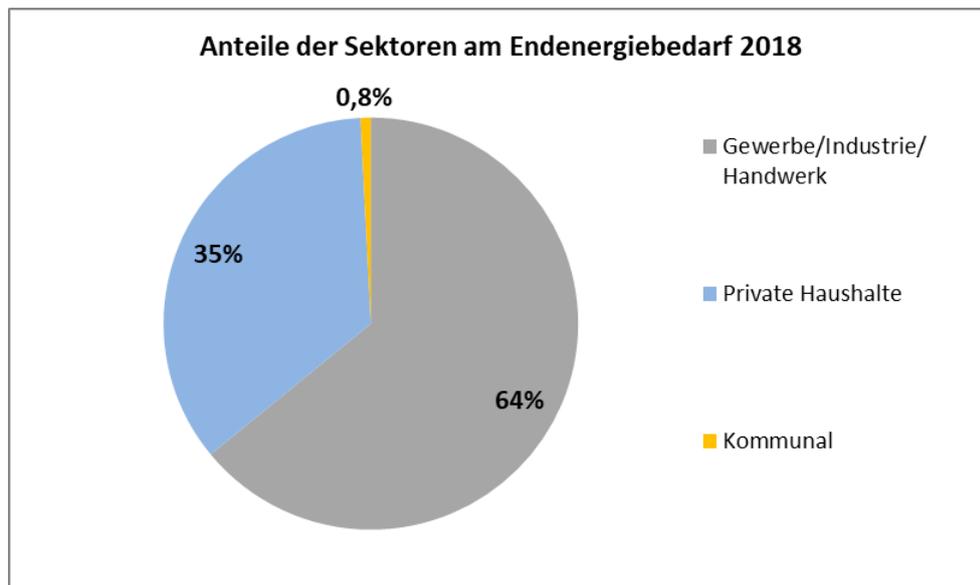
Abbildung 32: Gesamter Endenergiebedarf 2018



Quelle: Eigene Darstellung nach Datenerhebung

Über 57 % am Endenergiebedarf hat der Energieträger Erdgas, gefolgt von Heizöl mit 22 % und Strom mit 20 %. Die erneuerbaren Energieträger zur Wärmeerzeugung haben einen Anteil von knapp 2 %.

Abbildung 33: Anteile der Sektoren am Endenergiebedarf 2018



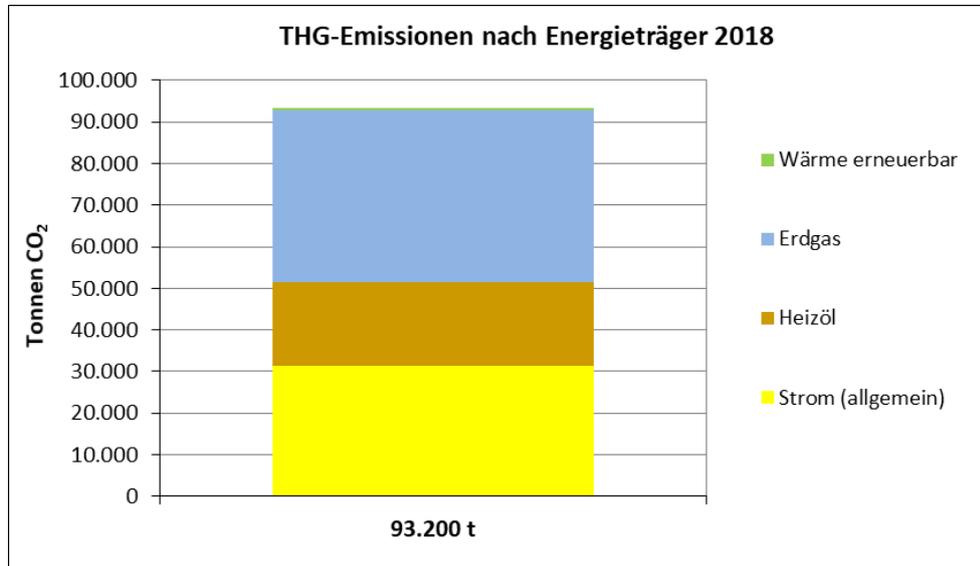
Quelle: Eigene Darstellung nach Datenerhebung

Mit 2/3 ist der Sektor Gewerbe, der größte Verbraucher in Langenzenn, 1/3 verbrauchen die privaten Haushalte. Der kommunale Energieverbrauch liegt bei unter einem Prozent.

2.5 Treibhausgasemissionen Bestandsanalyse

Jedem Energieträger ist ein spezifischer Emissionsfaktor zugeordnet. In der vorliegenden Bilanzierung werden die Treibhausgasemissionen incl. Prozesskette verwendet. Aus oben dargestellter Endenergiebilanz ergibt sich folgende THG-Bilanz:

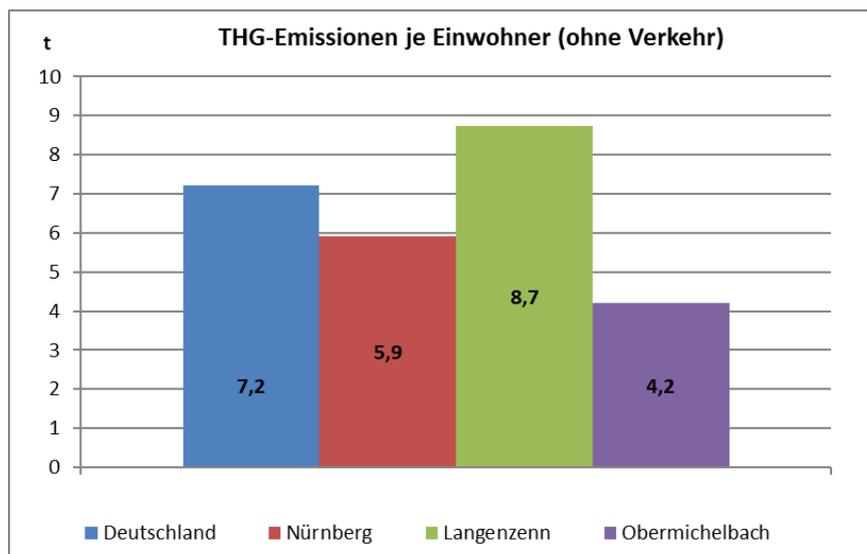
Abbildung 34: Treibhausgasemissionen 2018



Quelle: Eigene Darstellung nach Berechnung

Die gesamten THG-Emissionen betragen für das Jahr 2018 93.200 Tonnen. Da Strom den höchsten Emissionsfaktor hat, ist hier der Anteil mit 34 % höher als beim Endenergiebedarf. Erdgas verursacht mit knapp 45 % aber die meisten Emissionen. Heizöl hat eine Emissionsanteil von 22 %, erneuerbare Wärme 0,4 %. Folgende Abbildung zeigt die personenbezogenen THG-Emissionen in Langenzenn im Vergleich zu Deutschlandwerten und im Vergleich zu Nürnberg und Obermichelbach:

Abbildung 35: THG-Emissionen je Einwohner



Quelle: Eigene Darstellung nach eigener Berechnung

Die Höhe der personenbezogenen Emissionen ist insbesondere abhängig vom Industrialisierungsgrad einer Region. Langenzenn liegt hier mit 8,7 Tonne je Einwohner über den Deutschlandwerten und Nürnberg.

3 Gebäudeanalysen

Für fünf kommunale Liegenschaften der Stadt Langenzenn werden die Energieverbräuche aufgenommen und ein Benchmark erstellt. Im Anschluss erfolgte am 09. Sept. 2020 eine Vor-Ort-Begehung der Gebäude, um Effizienzpotenziale der Gebäudehülle und der Anlagentechnik aufzuzeigen.

Folgende Gebäude sind Bestandteil der Untersuchung:

- Rathaus/Stadtverwaltung
- Altes Rathaus
- Grundschule
- Mittelschule
- Kindergarten

Die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen bewirkt einerseits Einsparungen beim Endenergieverbrauch, den CO₂-Emissionen und den Energiekosten. Andererseits wird durch die notwendigen Investitionen der regionale Wirtschaftskreislauf aktiviert.

3.1 Benchmark kommunale Liegenschaften

Der Benchmark zeigt die Verbräuche bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) aus dem Bauwerkszuordnungskatalog (BWKZ), der in den Energieausweisen angegeben wird und in etwa einem Neubaustandard entspricht. Seit Inkrafttreten der EnEV 2014 am 01. Mai 2014 besteht eine Aushangpflicht für Energieausweise in öffentlichen Gebäuden mit starkem Publikumsverkehr ab 250 m² Nutzfläche (§ 16 EnEV).

Für den Benchmark der kommunalen Liegenschaften wurden durch die Verwaltung die Wärme- und Stromverbräuche der Jahre 2016/2017/2018 zur Verfügung gestellt. Die Energieträger zur Wärmeherzeugung werden in kWh Heizwert (Hi) umrechnet und witterungsbereinigt. Somit ist die Entwicklung des Wärmeverbrauchs der einzelnen Jahre vergleichbar.

Zur Ermittlung der spezifischen Verbrauchswerte für Wärme und Strom in kWh/m² werden die Energieverbräuche bezogen auf die jeweilige Nettogrundfläche (NGF) der Gebäude umgerechnet. Es sollte auch in Zukunft eine regelmäßige Verbrauchserfassung erfolgen, um den Benchmark in den folgenden Jahren fortführen zu können. Um die ermittelten Verbrauchswerte einordnen zu können erfolgt ein Benchmark nach dem Bauwerkzuordnungskatalog (BWZK). Als Grundlage des BWZK dient die Auswertung eines umfangreichen Datenbestandes von Bestandsgebäuden verschiedener Gebäudekategorien⁴.

4 Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, April 2015

Folgende Tabelle zeigt die häufigsten Gebäudekategorien mit Verbrauchswerten:

Tabelle 2: Gebäudekategorien mit Verbrauchswerten nach BWZK

BWZK	Gebäudekategorie	Anmerkung	Wärme	Strom
1300	Verwaltungsgebäude normale technische Ausstattung < 3.500 m ²	für Rathäuser	80	20
1300	Verwaltungsgebäude normale technische Ausstattung > 3.500 m ²	für Rathäuser	85	30
1320	Verwaltungsgebäude höhere technische Ausstattung (m ² beliebig)		85	40
4100	allgemeinbildende Schule < 3.500 m ²		105	10
4100	allgemeinbildende Schule > 3.500 m ²		90	10
4400	Kindertagesstätten	für Kindergärten	110	20
5100	Sporthallen (ohne Schwimmhallen)		110	25
7000	Gebäude für Produktion, Werkstätten, Lagergebäude < 3.500 m ²	für Bauhöfe	110	20
7000	Gebäude für Produktion, Werkstätten, Lagergebäude > 3.500 m ²	für Bauhöfe	110	65
7700	Gebäude für öffentliche Bereitschaftsdienste	für Feuerwehrhäuser	100	20
9100	Gebäude für kulturelle und musische Zwecke		65	20
9120	Ausstellungsgebäude	für Museen	75	40
9130	Bibliotheksgebäude		55	40
9140	Veranstaltungsgebäude	für Theater	110	40
9150	Gemeinschaftshaus		135	30
nicht im BWZK				
Lfd. 3.4	Freizeitzentren, Jugendhäuser, Gemeindehäuser		105	20
Lfd. 9.1	Bürogebäude nur beheizt		105	35
Lfd. 9.3	Bürogebäude Vollklimaanlage		135	105
	Durchschnitt Wohngebäude (eigene Berechnung)		130	30

Es ist zu berücksichtigen, dass die hier veröffentlichten Vergleichswerte einer „Vollnutzung“ der Gebäude entsprechen. Wird in der Praxis ein Gebäude nur teilweise oder unregelmäßig genutzt, wird der Vergleichswert höher sein, auch wenn das Gebäude in keinem guten energetischen Zustand ist.

3.2 Fördermöglichkeiten investive Sanierungsmaßnahmen

Im Folgenden werden Förderprogramme dargestellt, die für die Umsetzung energetischer Sanierungsmaßnahmen in Anspruch genommen werden können:

KfW-Förderprogramm 218 „IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren“

Gefördert werden hier die energetischen Sanierungsmaßnahmen von Nichtwohngebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur, die das energetische Niveau eines KfW-Effizienzhauses für Bestandsgebäude erreichen. Außerdem wird die Umsetzung von Einzelmaßnahmen gefördert, hier gelten allerdings sehr hohe Anforderungen an die Einzelbauteile.

Neben der zinsgünstigen Finanzierung von derzeit 0,01% (Stand 07/2020) gibt es je nach Sanierungsniveau einen Tilgungszuschuss:

- **KfW-Effizienzhaus 70:** 27,5 % des Zusagebetrages; maximal 175 Euro pro m²
- **KfW-Effizienzhaus 100:** 20,0 % des Zusagebetrages; maximal 100 Euro pro m²
- **Einzelmaßnahmen:** 20,0 % des Zusagebetrages; maximal 50 Euro pro m²

Die KfW fordert einen Sachverständigen, der die förderfähigen Maßnahmen und die Umsetzung des geförderten Vorhabens bestätigt.

Nach Rücksprache mit dem Fördermittelgeber ist das Programm mit weiteren Förderprogrammen aus Bundes- und Landesmitteln kombinierbar. Die Förderantragstellung erfolgt direkt bei der KfW-Förderbank in Berlin.

Investive Klimaschutzmaßnahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative

Für investive Klimaschutzmaßnahmen gibt es folgende Zuschüsse:

- Innen- und Hallenbeleuchtung: Umrüstung in LED. Der Investitionszuschuss beträgt bis zu 20%, bei finanzschwachen Kommunen bis zu 25%

Gefördert wird der Einbau von kompletter hocheffizienter LED-Beleuchtungstechnik (bestehend aus einem Träger für das Leuchtmittel sowie Leuchtmittel, Reflektor und Abdeckung) in Verbindung mit der Nutzung einer tageslichtabhängigen Leistungs- und/oder Präsenzsteuerung sowie einer zonenweisen Zu- und Abschaltung von Leuchten in Abhängigkeit von den Soll-Beleuchtungsstärken. Alternativ zu einer tageslichtabhängigen Leistungsregelung bzw. einer Präsenzsteuerung kann in Fluren und Treppenhäusern eine Zeitsteuerung und in Umkleiden oder anderen Nebenräumen mit geringer Betriebsstundenzahl ein Eingangsbewegungsmelder installiert werden.

- Sanieren- und Nachrüsten von raumlufttechnischen Anlagen Der Investitionszuschuss beträgt bis zu 25%, bei finanzschwachen Kommunen bis zu 25%

Bei energieeffizienten Sanierungen erhöht sich die Luftdichtigkeit des Gebäudes. Besonders in Klassenräumen kann die nötige Luftqualität durch alleiniges Fensterlüften nicht sichergestellt werden. Im

Rahmen eines Lüftungskonzeptes sollte die Installation einer Lüftungstechnischen Anlage untersucht werden. Die muss durch ein geeignetes Haustechnik-Planungsbüro erfolgen.

- Einbau von Komponenten der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik in Verbindung mit einer Gebäudeleittechnik zur Gebäudeautomation, bis zu 40%, bei finanzschwachen Kommunen bis zu 50%

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

Für investive Klimaschutzmaßnahmen gibt es folgende Zuschüsse:

- Heizungsoptimierung, bis zu 30% der Nettoinvestitionen bis maximal 25.000 €.

Ersatz von Heizungs-Umwälzpumpen und Warmwasser-Zirkulationspumpen durch hocheffiziente Umwälzpumpen und Warmwasser-Zirkulationspumpen.

Durchführung eines hydraulischen Abgleichs bei bestehenden Heizsystemen in Verbindung mit nötigen zusätzlichen Investitionen wie z.B.: voreinstellbare Thermostatventile, Technik zur Volumenstromregelung, usw.

Bei allen Förderprogrammen sind die jeweiligen Richtlinien und Merkblätter zu beachten!

3.3 Rathaus/Stadtverwaltung

Das Areal der Stadtverwaltung umfasst folgende Gebäudeteile:

- a) Haupteingang Rathaus (Zwischenbau)
- b) Stadtverwaltung/Bürgerhaus, Komplettsanierung 2012 (Süd- und Westflügel)
- c) Stadtwerke (Hopfensiegelscheune)
- d) Betreutes Wohnen

Abbildung 36: Luftbild Rathaus Stadtverwaltung



Quelle: Bayernatlas

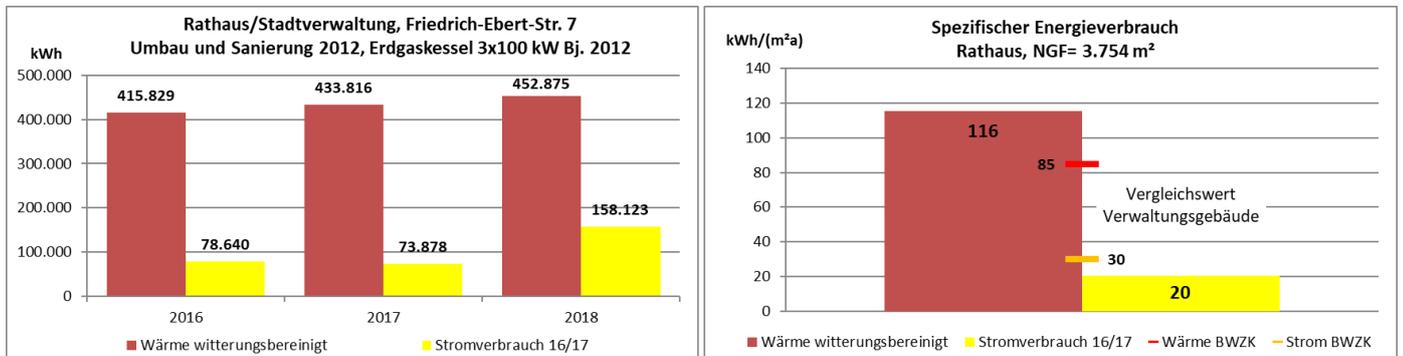
Das Areal hat eine gesamte Nettogrundfläche (NGF) von 3.754 m² und wird über eine gemeinsame Heizzentrale im „Betreuten Wohnen“ mit Wärme versorgt. Da keine Wärmemengenzähler je Gebäudeteil installiert sind, können sie nicht separat bewertet werden.

Der Gebäudeflügel Süd/West der Stadtverwaltung wurde 2012 komplett umgebaut und auch energetisch saniert.

3.3.1 Benchmark Rathaus/Stadtverwaltung

Der Wärmeverbrauch ist in den drei Betrachtungsjahren um 9 % angestiegen. Der mehr als doppelt so hohe Stromverbrauch im Jahr 2018 resultiert aus einer Theateraktion im Sommer (Hans-Sachs-Spielgruppe) und wird beim spezifischen Stromverbrauch (kWh/m²) nicht berücksichtigt.

Abbildung 37: Benchmark Rathaus/Stadtverwaltung



Trotz der Sanierung eines Großteiles der Gebäudefläche liegt der spezifische Verbrauchswert für Wärme mit 116 kWh/m² um 36 % über dem Vergleichswert von Verwaltungsgebäuden. Dieser hohe Wert ist sowohl auf die unsanierten Gebäudeteile und auch auf die teilweise Nutzung als Betreutes Wohnen zurückzuführen.

Der spezifische Stromverbrauch liegt mit 20 kWh/m² um 33 % unter dem Vergleichswert.

Um die Gebäude getrennt voneinander bewerten zu können, sollten Wärme und Strom Unterzähler installiert werden.

3.3.2 Gebäudehülle

Der Gebäudeflügel Süd/West der Stadtverwaltung wurde 2012 komplett umgebaut und energetisch saniert. Hierbei wurden auch die Dächer gedämmt und neu eingedeckt.

Abbildung 38: Westansicht Stadtverwaltung



Aufgrund des Denkmalschutzes kann keine außenliegende Außenwanddämmung aufgebracht werden.

Abbildung 39: Außenansicht Fenster



Die Holzfenster wurden nach Anforderungen des Denkmalschutzes erstellt und mit einer 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung gefertigt.

Abbildung 40: Innenansicht Eingangsbereich Rathaus (Zwischenbau)

Einige Bereiche wurden komplett entkernt und neu erstellt. Denkmalgeschütztes Fachwerk wurde erhalten.

Die Außenwände wurden innenseitig mit 8-10 cm Perlit-Wärmedämmputz verkleidet. In einigen Außenwandbereichen wurden unter dem Putz Wandheizungselemente installiert.

Abbildung 41: Innenansicht Dachgeschoss

Im Dachgeschoss wurde die Dachkonstruktion freigelegt. Die Dachdämmung erfolgt hier als Zwischensparrendämmung.

Abbildung 42: Innenansicht Spitzboden nicht ausgebaut

Die oberste Geschossdecke zum nicht ausgebauten Spitzboden ist mit 20 cm Mineralwolle gedämmt.

Abbildung 43: Detail oberste Geschosßdecke / Zwischensparrendämmung

Hier ist der wärmebrückenfreie Übergang von der Zwischensparrendämmung zur obersten Geschosßdecke zu sehen.

Abbildung 44: Südansicht Stadtwerke (Hopfensiegelscheune)

Der Gebäudeteil Stadtwerke wurde in den Jahren 1985-88 saniert und war nicht Bestandteil der umfassenden Sanierung im Jahr 2012.

Die Außenwand des EG besteht aus einem verputzten Mauerwerk, mit Sandsteinelementen rund um die großflächigen Fensteröffnungen. Das OG ist in Fachwerkkonstruktion erstellt.

Abbildung 45: Innenansicht EG Stadtwerke

Die großflächigen, schlecht gedämmten, Holzelemente haben weder für den Winter noch für den Sommer ausreichende Dämmeigenschaften. Somit ist es im Winter kalt und im Sommer heiß.

Abbildung 46: Detail Fensterelement EG

Wegen des Denkmalschutzes darf kein außenliegender Sonnenschutz als sommerlicher Wärmeschutz angebracht werden. Die Heizkörper vor den Holzelementen sorgen im Winter für hohe Wärmeverluste.

Abbildung 47: Detail Fenster OG

Die Fenster wurden kurz nach der 2. WSVO von 1984 erstellt. Eine 2-Scheiben-Verglasung dieser Bau-
altersklasse hat noch keine wärmedämmende Edelgasfüllung. Die Fenster haben somit einen eher
schlechten U_w -Wert von ca. 2,5. Auch sind die Holzrahmen teils stark verwittert und schlecht schlie-
ßend.

Die innenseitig verkleidetete Fachwerkwand im OG hat lediglich eine Dicke von 20 cm und offensichtlich
einen schlechten Dämmwert. Auch hier wird es im Sommer sehr heiß und im Winter kalt.

Abbildung 48: Innenansicht Spitzboden

Der Spitzbogen über dem Dachgeschoss ist auch beim Gebäudeteil Stadtwerke mit 20 cm Mineralwolle gedämmt.

Abbildung 49: Eingangsbereich Betreutes Wohnen

Auch der Gebäudeteil Betreutes Wohnen wurde in den Jahren 1985 – 88 saniert.

Der südliche Baukörper (nicht im Bild) wurde in diesem Zusammenhang neu errichtet.

Abbildung 50: Detail Fenster OG

Holzfenster mit 2-Scheiben-Verglasung und außenliegendem Sonnenschutz.

Die Fenster beim Betreuten Wohnen entsprechen energetisch den Fenstern beim Gebäudeteil Stadtwerke und sind somit auf keinem guten energetischen Niveau. Auch hier sind die Holzrahmen teils stark verwittert.

Der Innenbereich konnten beim Betreuten Wohnen nicht begangen werden.

Handlungsempfehlung Gebäudehülle:

- **Gebäudeteil Rathaus/Stadtverwaltung:** Die Gebäudehülle ist aufgrund des Umbaus und der Sanierung im Jahr 2012 energetisch auf einem guten Niveau, hier besteht kein Handlungsbedarf. Gewisse Einschränkungen durch den Denkmalschutz sind im Bereich der Außenwände (Innen-Dämmputz) und der Fenster (keine 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung) vorhanden.
- **Gebäudeteil Stadtwerke:** Die Fenster und Fensterelemente sollten wie auch beim Rathaus erneuert werden. Dies verbessert den Wärmeschutz. Ist kein außenliegender Sonnenschutz möglich kann auf der Südseite eine Sonnenschutzverglasung eingesetzt werden.

Alternativ kann vorab bei den bestehenden Fenstern eine Hitzeschutzfolie aufgeklebt werden, hier sind geeignete Produkte auf dem Markt.

Die Fachwerk-Außenwände im OG können innenseitig mit einer geeigneten Innendämmung oder Dämmputz verkleidet werden, dies verbessert sowohl den sommerlichen als auch den winterlichen Wärmeschutz.

Kalziumsilikatplatten sowie Perlit-Dämmputze als Innendämmung regulieren außerdem den Feuchtehaushalt der Bauteile. In der Tauperiode kann das Material Feuchtigkeit aufnehmen und speichern, in der Verdunstungsperiode wird die gespeicherte Feuchtigkeit wieder abgegeben.

- **Gebäudeteil Betreutes Wohnen:** Das Betreute Wohnen konnte nicht im Detail begangen werden. Es ist aber davon auszugehen, dass hier die ähnlichen Empfehlungen wie beim Gebäudeteil Stadtwerke gelten.

3.3.3 Heizungstechnik/Warmwasserbereitung

Abbildung 51: Heizraum Betreutes Wohnen



Für die Gebäude Betreutes Wohnen, Stadtwerke und Rathaus wurde eine zentrale Heizungsanlage errichtet. Drei Gasbrennwertgeräte Vitodens 200-W, Baujahr 2012, Leistung jeweils 100kW erzeugen die Wärme.

Abbildung 52: Heizkreisverteilung



In der Hauptverteilung sind drehzahlregelte Pumpen der ersten Generation installiert.

Abbildung 53: Warmwasserbereitung Betreutes Wohnen

Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral über einen 500 Liter Warmwasserspeicher. Nur im Dachgeschoß des Rathauses wird das Warmwasser dezentral über Elektro- Speicher erzeugt.

Abbildung 54: Heizungsunterverteilung Rathaus

In der Heizungsverteilung sind bereits Hocheffizienzpumpen installiert.

Abbildung 55: Heizungsunterverteilung Stadtwerke

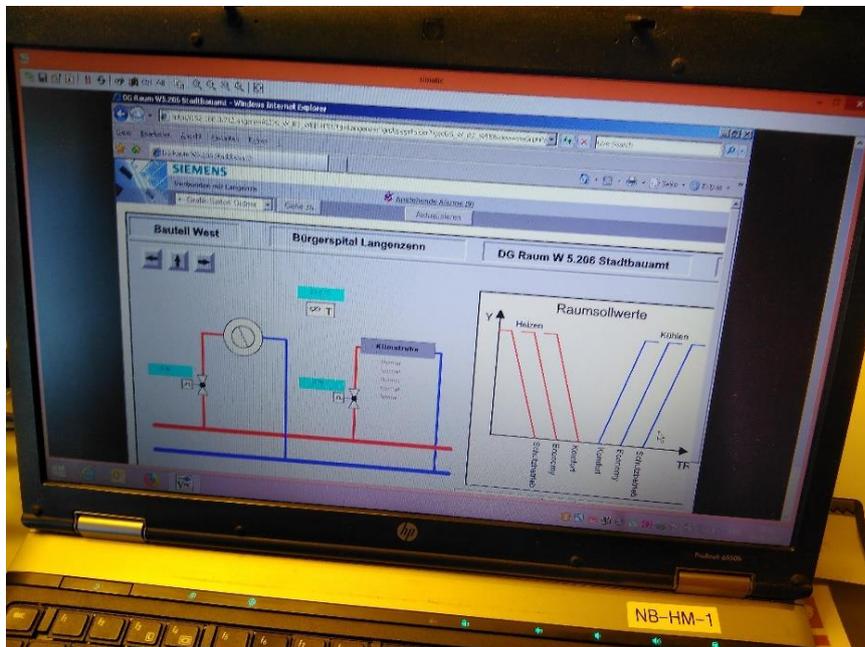
In der Heizungsverteilung ist noch keine Hocheffizienzpumpe installiert. Die Heizungsrohre sind von außen stark korrodiert.

Abbildung 56: Wärmeabgabe Heizkörper

Die Wärmeabgabe erfolgt überwiegend in allen Gebäudeteilen über Heizkörper.

Abbildung 57: Wandheizung (Quelle Stadtverwaltung)

In einigen Außenwandbereichen der Stadtverwaltung wurden im Rahmen der Sanierung 2012 dem Perlitputz Wandheizungselemente installiert. Dadurch entsteht ein angenehmes Raumklima.

Abbildung 58: Gebäudeleittechnik

Über den PC kann auf die Gebäudeleittechnik zugegriffen werden. Hier können viele Parameter der einzelnen Heizungsunterstationen und teilweise die einzelnen Räume eingesehen und verändert werden.

Handlungsempfehlungen Heizungstechnik:

- Durch den Zusammenschluss der drei Gebäudeteile und der Nutzung „Betreutes Wohnen“ sollte die Installation eines Blockheizkraftwerkes in Betracht gezogen werden. Dieses könnte ebenfalls im Heizraum „Betreutes Wohnen“ platz finden und sowohl Wärme als auch Strom erzeugen. Ein Blockheizkraft nutzt den Brennstoff sehr effizient. Dadurch wird die Umwelt entlastet und es werden hohe Kosten für Wärme und Strom gespart.
- Teilweise sind noch unregelte Heizungspumpen installiert. Diese sollten gegen Hocheffizienzpumpen getauscht werden.
- Die Heizungsverteilung „Stadtwerke“ ist stark korrodiert. Um die Betriebssicherheit zu erhalten, sollte die Ursache gefunden und behoben werden.
- Die Heizungsverteilung „Stadtwerke“ ist nur ungenügend gedämmt. Dadurch wird es in den Büros teilweise sehr warm und es geht unnötig viel Energie verloren. Nachdem die Ursache der Korrosion behoben ist, sollten die Leitungen und Armaturen gedämmt werden.
- Bei der Begehung lag die Außentemperatur zwischen 16 °C und 20°C. Dabei viel auf, dass die Vorlauftemperaturen der einzelnen Heizkreise relativ hoch waren. Hier sollten die Parameter der Gebäudeleittechnik überprüft und optimiert werden.

3.3.4 Beleuchtung

Abbildung 59: Innenansicht Flur Rathaus



Im Rahmen der Umbaumaßnahmen 2012 wurde die Beleuchtung komplett auf LED umgestellt. In Fluren und WCs sind größtenteils Bewegungsmelder installiert.

Abbildung 60: LED-Arbeitsplatzleuchte



Die Büro-Arbeitsplätze wurden mit LED-Arbeitsplatzleuchten ausgestattet.

Abbildung 61: Innenansicht Büro Stadtwerke

Auch in den nicht sanierten Bauabschnitten wurde die Beleuchtung auf LED umgerüstet.

Handlungsempfehlung Beleuchtung:

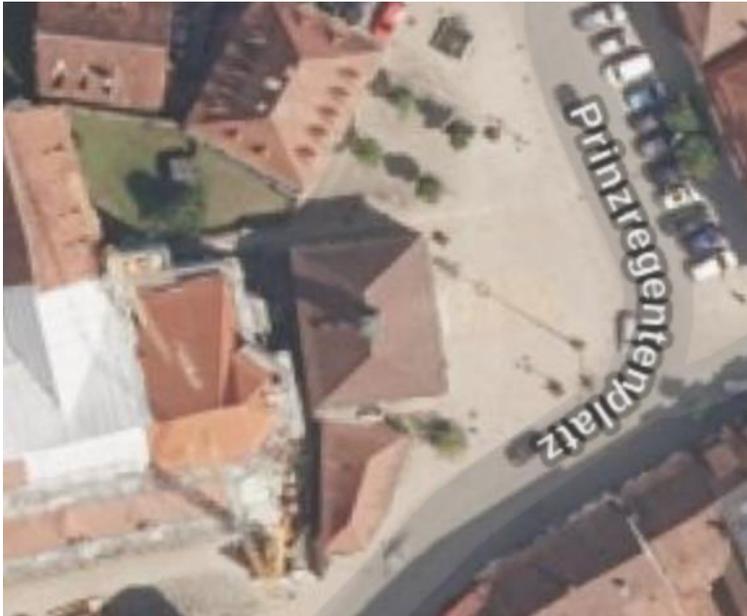
- Die Beleuchtung ist weitestgehend auf LED umgerüstet. Hier besteht kein weiterer Handlungsbedarf.

3.4 Altes Rathaus

Das Alte Rathaus aus dem 18. Jahrhundert hat eine Nettogrundfläche (NGF) von 493 m². In den Jahren 1996/97 wurde das Gebäude teilweise entkernt und komplett saniert. 2015/16 wurde das komplette Heizungssystem erneuert.

Im EG befindet sich das Trauzimmer, im OG ist der Sitzungssaal des Stadtrates.

Abbildung 62: Luftbild Altes Rathaus

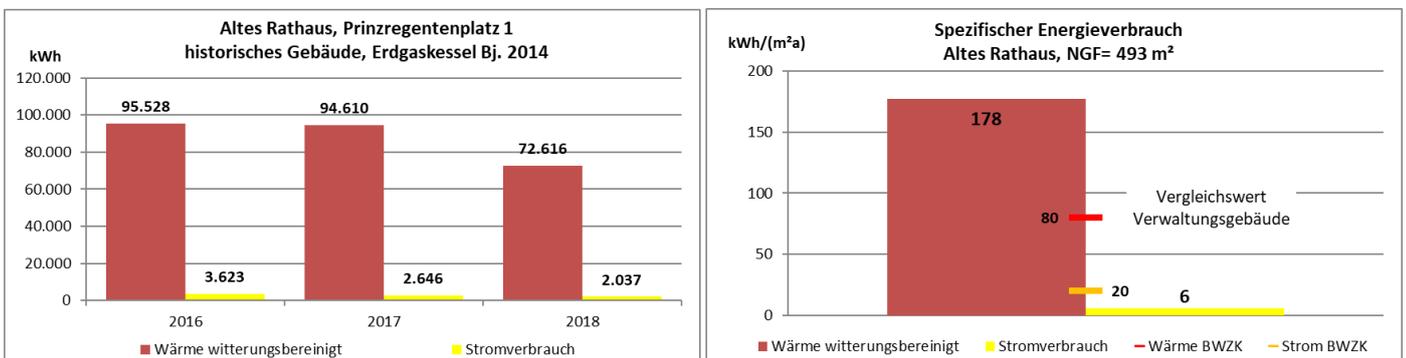


Quelle: Bayernatlas

3.4.1 Benchmark Altes Rathaus

Der Wärmeverbrauch war im Jahr 2018 um über 20 % geringer als in den beiden Vorjahren. Der Stromverbrauch ist in den drei Betrachtungsjahren um 44 % zurückgegangen.

Abbildung 63: Benchmark Altes Rathaus



Trotz geringer Nutzungsintensität ist der spezifische Wärmeverbrauch mit 178 kWh/m² sehr hoch und liegt um das 2,25-fache über dem Vergleichswert von Verwaltungsgebäuden. Damit das Gebäude mit den dicken Sandsteinwänden nicht auskühlt muss es in der Heizperiode auf relativ hohem Temperaturniveau gehalten werden. Außerdem ist durch die Feuchteproblematik auch der Keller beheizt.

Der Stromverbrauch ist mit 6 kWh/m² der geringen Nutzung entsprechend sehr gering.

3.4.2 Gebäudehülle

Abbildung 64: Nord-Ost Ansicht mit Haupteingang



Die Außenwände bestehen aus Sandsteinmauerwerk mit einer Wandstärke von über 90 cm im EG. Gebäudeinnenseitig ist das Sandsteinmauerwerk verputzt. Trotz der Wandstärke hat das Sandsteinmauerwerk einen sehr schlechten U-Wert⁵ von ca. 1,3-1,5 W/m²K.

Abbildung 65: Außenansicht Fenster

⁵ Der Wärmedurchgangskoeffizient U – vereinfacht U-Wert genannt – ist ein Maß für die thermische Qualität von Bauteilen. Er bezeichnet den Wärmestrom, der bei einer Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft von 1 K (oder 1 °C) durch eine 1 m² große Bauteilfläche hindurchfließt. Je kleiner der Wert, desto effizienter das Bauteil. (Bei einem Neubau wäre ein U-Wert von ca. 0,28 gefordert.)



Die Holzfenster wurde nach Anforderungen des Denkmalschutzes erstellt und mit einer 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung gefertigt.

Abbildung 66: Detailansicht Fenster



Der Wetterschenkel des Fensterrahmens ist leicht verwittert, ansonsten sind die Fenster in einem guten Zustand. Laut Stempel im Scheibenzwischenraum wurden die Fenster im Jahr 1997 gefertigt und haben somit bereits eine energieeffiziente Edelgasfüllung im Scheibenzwischenraum.

Abbildung 67: Innenansicht Eingangsbereich mit Trauzimmer

Im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen wurde das Gebäude entkernt und eine Stahlkonstruktion eingebaut.

Abbildung 68: Innenansicht Sitzungssaal im OG

Auch im Sitzungssaal befindet sich eine Stahlkonstruktion zur Lastabtragung.

Abbildung 69: Detail oberste Geschoßdecke / Zwischensparrendämmung



Die Geschosdecke über dem Sitzungssaal ist mit rund 20 cm Mineralwolle gedämmt.

Abbildung 70: Flur Untergeschoss

Das UG ist über einen offenen Treppenabgang vom EG erreichbar. Die Außenwände im UG sind permanent feucht, was sich auch deutlich am Geruch feststellen lässt.

Abbildung 71: Feuchteschaden UG Außenwand

Vor ca. drei Jahren wurden die Außenwände mit Sanierputz verputzt. Großflächig bröckelt der feucht getränkte Putz aber schon wieder ab.

Abbildung 72: Nische mit Außenlüfter

In einigen Nischen sind Außenlüfter eingebaut, die aber insgesamt viel zu klein dimensioniert sind, um die hohe Luftfeuchte abzutransportieren.

Abbildung 73: Entfeuchtungsgerät

Seit kurzem sind zwei Entfeuchtungsgeräte in Betrieb, die beinahe täglich gelehrt werden müssen. Eine vorhandene Sockelheizung führt derzeit noch zu keiner Verbesserung der Feuchteproblematik.

Handlungsempfehlung Gebäudehülle:

- **Außenwände EG+OG:** Das dicke Sandsteinmauerwerk speichert innenseitig kaum Wärme und sorgt durch die daraus resultierende geringe Oberflächentemperatur für ein unbehagliches Raumklima. Zur Verbesserung der Energieeffizienz könnte eine Innendämmung mit Kalziumsilikatplatten oder mit Perlit-Wärmedämmputz aufgebracht werden. Diese Baustoffe regulieren außerdem den Feuchtehaushalt der Bauteile. In der Tauperiode kann das Material Feuchtigkeit aufnehmen und speichern, in der Verdunstungsperiode wird die gespeicherte Feuchtigkeit wieder abgegeben.
- **Fenster:** Die Holzfenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung haben bereits eine gute Dämmwirkung.
- **Oberste Geschosdecke:** Die oberste Geschosdecke ist bereits mit 20 cm Mineralwolle gut gedämmt.
- **Außenwände Keller:** Feuchtigkeit löst die Bindemittel aus den Baumaterialien, so dass die Gefüge ihren Zusammenhalt verlieren. Feuchtigkeit kann durch Frost-Tau-Wechsel zur Zerstörung der Materialgefüge von Natursteinen und Putzen führen. Außerdem transportiert Feuchtigkeit Salze in Baumaterialien hinein, die wiederum durch die Volumenvergrößerung bei ihrer Kristallisation oder Hydratation zu beträchtlichen Schäden in Mauerwerk und Putzen führen können. Dies führt zu Abplatzungen sowie zur Ausbildung von Feuchtigkeitsflecken bis hin zu Schimmelbildung.

Kurz vor Fertigstellung der Studie wurde festgestellt, dass seit der Umbauphase 1996/97 eine flächige Drainage unter der Bodenplatte vorhanden ist. Die Pumpe, die das in der Drainage gesammelte Wasser abpumpen sollte, funktioniert wohl seit geraumer Zeit nicht mehr. Nach Instandsetzung der Pumpe wird sich zeigen, ob die Drainage zum Entfeuchten des Mauerwerks beitragen kann.

3.4.3 Heizungstechnik/Warmwasserbereitung/Lüftungstechnik

Abbildung 74: Technikraum



Gasbrennwertgerät Viessmann Vitodens 200-W, Baujahr 2015, Leistung 42kW.

Abbildung 75: Heizkreisverteilung



In den Heizkreisen sind drehzahlgeregelte Pumpen vorhanden, die ebenso 2015 installiert wurden.

Abbildung 76: Heizkörper im Sitzungssaal



Die Wärmeabgabe im „Alten Rathaus“ erfolgt über Heizkörper.

Abbildung 77: Heizungsregelung



Laut Aussage des Hausmeisters ist die Viessmann Regelung grundsätzlich im abgesenkten Betrieb. Bei einer Veranstaltung, wie Sitzung, Hochzeit usw. wird dann die „Komforttemperatur“ eingestellt.

Abbildung 78: Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral über Elektrospeicher.

Abbildung 79: Lüftungsanlage

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Baujahr 1997, Volumenstrom 1.800m³/h, 11kW Heizleistung.

Abbildung 80: Lüftungssteuerung Sitzungssaal

Die Lüftungsanlage wurde lediglich für den Sitzungssaal installiert. Über ein Bedienfeld können einfache Einstellungen, im Sitzungssaal vorgenommen werden.

Abbildung 81: Lüftung im Keller

Um den Keller mit Frischluft zu versorgen und die Feuchteluft nach außen zu transportieren, wurden zwei „WC-Lüfter“ installiert.

Handlungsempfehlungen Heizungstechnik Lüftungstechnik:

- Grundsätzlich ist die Heizungs- und Lüftungstechnik (für den Sitzungssaal) in einen guten Zustand.
- Die kleinen Lüfter, die im Keller montiert sind, sind für die enorme Feuchtlast zu klein und Grundsätzlich ungeeignet. Für den Keller sollte eine zentrale Lüftungsanlage installiert werden, die sowohl trocknen als auch Heizen kann. Die Lüftungsanlage sollte dann über den Feuchtegehalt und die Temperatur geregelt werden.

Vermutlich wird dann auch im Sommer Heizungswärme und sehr viel Strom benötigt. Dadurch könnte sich der Einbau eines kleinen Sterling Mirko- Blockheizkraftwerkes oder einer Brennstoffzelle lohnen.

3.4.4 Beleuchtung

Abbildung 82: Beleuchtung Altes Rathaus



Die Beleuchtung besteht hauptsächlich aus Decken Einbauleuchten und indirekter Wandbeleuchtung. Ab 2015 wurde die Beleuchtung kontinuierlich auf LED-Retrofit umgestellt.

Handlungsempfehlung Beleuchtung:

- Kein weiterer Handlungsbedarf.

3.5 Mittelschule und Turnhallen

Das Areal Mittel- und Realschule umfasst folgende Gebäudeteile:

- a) Mittelschule ursprünglich Bj. 1967, Komplettsanierung mit Teilabriss und Neubau 2017
- b) Alte Turnhalle Bj. 1967
- c) Neue Turnhalle Bj. 2000
- d) Staatliche Realschule, nicht Bestandteil der Untersuchung

Abbildung 83: Luftbild Mittelschule



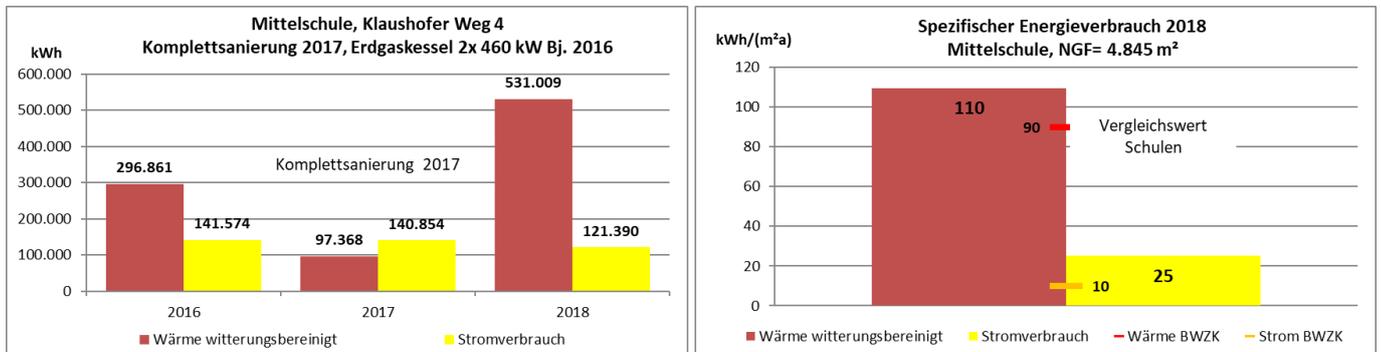
Quelle: Bayernatlas

Die Gebäude Mittelschule und Turnhallen haben eine gesamte Nettogrundfläche (NGF) von 4.845 m² und werden über eine gemeinsame Heizzentrale mit Wärme versorgt. Da keine Wärmemengenzähler je Gebäude installiert wurden, können sie nicht separat bewertet werden. Der Energiebenchmark erfolgt somit für alle drei Gebäudeteile.

3.5.1 Benchmark Mittelschule und Turnhallen

Der Wärmeverbrauch der Jahre 2016/17 wird aufgrund der hier stattgefundenen Komplettsanierung nicht für den Benchmark herangezogen. Ebenso wird für den Benchmark nur der Stromverbrauch 2018 bewertet, da im Rahmen der Sanierung komplett auf LED-Beleuchtung umgestellt wurde.

Abbildung 84: Benchmark Mittelschule und Turnhallen



Der spezifische Verbrauchswert für Wärme liegt mit 110 kWh/m² um 22 % über dem Vergleichswert von allgemeinbildenden Schulen trifft aber genau den Vergleichswert für Turnhallen.

Der Stromverbrauch liegt mit 25 kWh/a deutlich über den Vergleichswert von Schulen trifft aber auch genau den Wert von Turnhallen.

Die Entwicklung der Verbrauchswerte sollten auch weiterhin erfasst und analysiert werden. Um die Gebäude getrennt voneinander bewerten zu können, sollten Wärme und Strom Unterzähler installiert werden.

3.5.2 Gebäudehülle

Der Bereich Mittelschule wurde 2017 komplett energetisch saniert. Dies betrifft die Gebäudehülle, die Anlagentechnik und die Beleuchtung. Teilweise wurden Gebäudeteile abgerissen und neu errichtet.

Abbildung 85: Nordansicht Bauteil Klassenräume



Die neu gebauten Bereiche (hier Klassentrakt) bestehen aus einer Betonkonstruktion mit außenseitiger Dämmung und einer Verkleidung aus Fassadenplatten. Im Vordergrund ist der Bestands-Schornstein zu sehen.

Abbildung 86: Ansicht Fassade Laubengang 1. OG



Die Fenster und Fenstertüren besten aus Alurahmen mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung.

Abbildung 87: Dachaufsicht Mittelschule, Neue und Alte Turnhalle

Auch die Dächer der Mittelschule wurden entsprechend den aktuellen Anforderungen gedämmt und mit einer neuen Blecheindeckung versehen. Oben im Bild ist die Alte Turnhalle, links im Bild ist die neue Turnhalle zu sehen.

Die Dächer der alten Turnhalle, geneigtes Ziegeldach und Flachdach mit Kiesdeckung wurden nicht saniert.

Abbildung 88: Außenansicht Neue Turnhalle

Die Neue Turnhalle wurde im Jahr 2000 errichtet und entspricht somit der 3. Wärmeschutzverordnung (WSVO).

Abbildung 89: Innenansicht Neue Turnhalle

Die großflächige Befensterung mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung an der Westseite ist zum Hitzeschutz mit einem außenliegenden Sonnenschutz ausgestattet.

Abbildung 90: Nordansicht Alte Turnhalle

Die Gebäudehülle der Alten Turnhalle von 1967 ist noch komplett unsaniert. Vor der ersten WSVO von 1974 wurden Gebäude noch ohne gesetzliche Anforderungen an den Wärmeschutz errichtet.

Abbildung 91: Detailansicht Profilit-Verglasung

Insbesondere die Profilit-Verglasungen mit dem Betonsturz sorgen für hohe Wärmeverluste. Aber auch das Mauerwerk dieser Baualtersklasse besitzt noch keinen ausreichenden Wärmeschutz.

Folgende Tabelle zeigt die energetischen Eigenschaften der Bauteile. Das technische Maß ist der U-Wert⁶. Je kleiner der U-Wert, desto besser ist der Wärmeschutz. Am 01.11.2020 tritt das neue Gebäude-Energie-Gesetz in Kraft. Hier wird sich an den Anforderungen und Werten für die Gebäudehülle nichts ändern.

Tabelle 3: Bewertung Gebäudehülle Turnhallen

EnEV -Referenzgebäude EnEV Anlage 2 Tabelle 1		Alte Turnhalle Bj. 1967 U-Wert nach Baualtersklasse			Neue Turnhalle Bj. 2000 U-Wert 3. WSVO			Höchstwerte für Erneuerung von Bauteilen EnEV Anlage 3 Tabelle 1	Vorgaben KfW Einzelmaßnahmen
Bauteil	U-Wert (W/m ² K)	Bauteil	U-Wert	Verhältnis zu Referenz	Maßnahme	U-Wert	Verhältnis zu Referenz	U-Wert	U-Wert
Dach	0,20	Dachkonstruktion Holz/Massiv	1,3-1,4	675%	Dachkonstruktion Holz/Massiv	0,30	150%	0,24	0,14
Außenwand	0,28	Massivwand aus Hochlochziegeln	1,40	500%	Massivwand aus Hochlochziegeln	0,50	179%	0,24	0,20
Fenster, Fenstertüren	1,30	Profilit-Verglasung Doppelschalig	2,80	215%	2-Scheiben Wärmeschutzverglasung	1,50	115%	1,30	0,95
Boden gegen Erdreich	0,35	Stahlbeton-Bodenplatte	1,20	343%	Stahlbeton- Bodenplatte	0,60	171%	0,50	0,25

Die U-Werte für den Bestand sind Kennwerte und entsprechen typischen Bauteilen der Baualtersklasse. Dem gegenübergestellt sind die U-Werte für unterschiedliche Anforderungen dargestellt:

- EnEV Referenzgebäude: Die U-Werte für das EnEV-Referenzgebäude sind der Ansatz für die Neubauberechnung eines Gebäudes nach EnEV.
- Erneuerung von Bauteilen: Bei Erneuerung oder Ersatz von Bauteilen müssen mindestens die Werte nach EnEV Anlage 3 zu § 8 und § 9, Tabelle 1 eingehalten werden.

⁶ Der Wärmedurchgangskoeffizient U – vereinfacht U-Wert genannt – ist ein Maß für die thermische Qualität von Bauteilen. Er bezeichnet den Wärmestrom, der bei einer Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft von 1 K (oder 1 °C) durch eine 1 m² große Bauteilfläche hindurchfließt.

- KfW Einzelmaßnahmen: Zur Förderfähigkeit von energetischen Einzelmaßnahmen müssen mindestens die technischen Mindestanforderungen der KfW eingehalten werden. Siehe auch Fördermöglichkeiten.

Handlungsempfehlung Gebäudehülle:

- **Mittelschule:** Die Gebäudehülle der Mittelschule ist aufgrund der Sanierung im Jahr 2017 energetisch auf einem hohen Niveau, hier besteht kein Handlungsbedarf.
- **Neue Turnhalle:** Die Gebäudehülle der neuen Turnhalle entspricht zwar nicht dem aktuellen Neubaustandard, ist aber energetisch auf einem guten Niveau. Energetische Maßnahmen sind wirtschaftlich noch nicht sinnvoll.
- **Alte Turnhalle:** Die Gebäudehülle der Alten Turnhalle wurde noch vor der ersten WSVO errichtet. Insbesondere die Profilit-Verglasung verursacht hohe Wärmeverluste. Durch energetische Sanierungsmaßnahmen kann hier ein hohes Einsparpotenzial erreicht werden. Durch ein umfassendes Sanierungskonzept kann hier auch ein KfW-Effizienzgebäude erreicht werden.

3.5.3 Heizungstechnik/Warmwasserbereitung/Lüftungstechnik

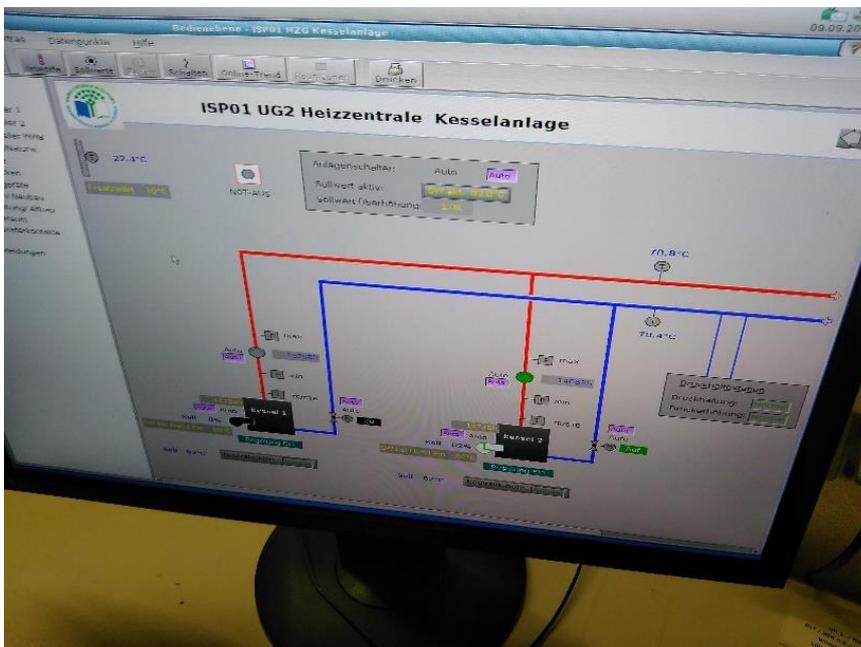
Abbildung 92: Heizraum Mittelschule



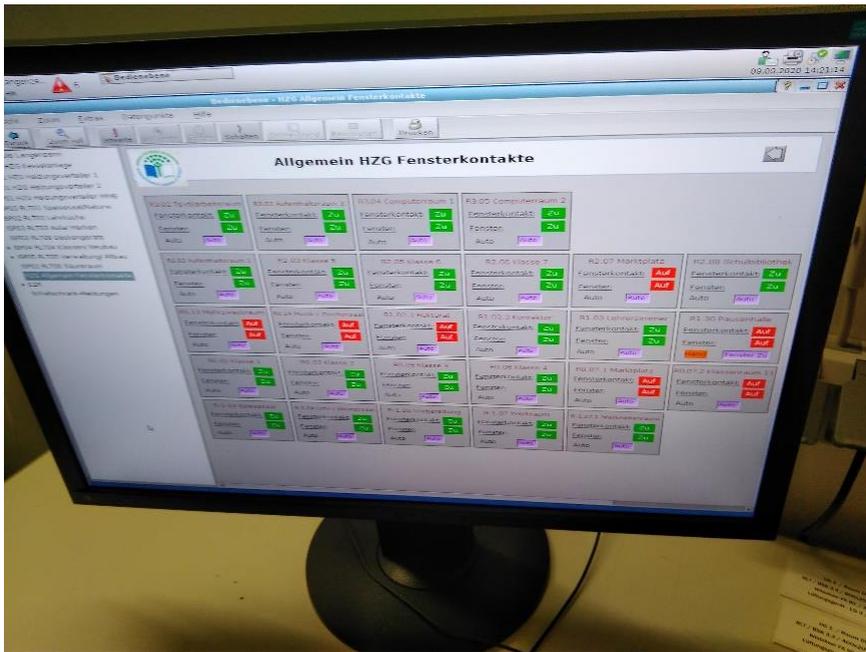
2 x Gasbrennwertgerät Viessmann Vitocrossal 200, Baujahr 2015, Leistung jeweils 115kW.

Abbildung 93: Heizkreisverteilung

In den Heizkreisen sind bereits überall Hocheffizienzpumpen installiert.

Abbildung 94: Gebäudeleittechnik Heizungstechnik

Über die Gebäudeleittechnik können sämtliche Parameter der Heizungsanlage, Verteiler und der einzelnen Zimmer ausgelesen und verändert werden.

Abbildung 95: Gebäudeleittechnik Fensterkontakte

Die Gebäudeleittechnik erfasst u.a., ob ein Fenster geöffnet oder geschlossen ist. Sollten während der Heizperiode Fenster geöffnet sein, wird der jeweilige Raum nicht mehr beheizt.

Abbildung 96: Lüftungsanlage

Die Lüftungsanlage ist in einen sehr guten Zustand. Diese versorgt die Klassenzimmer und die Aula mit Frischluft.

Abbildung 97: Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral über zwei 1.000 Liter Pufferspeicher mit Frischwasserstation.

Handlungsempfehlungen Heizungstechnik / Lüftungstechnik:

- Die Heizungsanlage ist in einen sehr guten Zustand. Grundsätzlich hätte man allerdings versuchen können erneuerbare Energien einzusetzen.
- Für die neue Turnhalle wurde keine Lüftungsanlage installiert. Aufgrund der Corona- Auflagen muss aber ein großer Luftaustausch stattfinden. Dies kann nur mit einer vernünftigen, großen Lüftungsanlage erfolgen. Diese sollte mit Wärmerückgewinnung und Umluftbetrieb ausgestattet sein. Die Installation einer solchen Anlage wäre z.B. auf dem Hallendach möglich.

3.5.4 Beleuchtung

Abbildung 98: Klassenzimmer Mittelschule



Die Beleuchtung der gesamten Mittelschule wurde mit modernster LED-Technik erstellt. In vielen Bereichen ist die Beleuchtung dimmbar und mit Bewegungsmeldern ausgestattet.

Abbildung 99: Innenansicht Neue Turnhalle



Die neue Turnhalle ist noch mit T8-Leuchtstoffröhren und konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) bestückt. Bei Leuchtstoffröhren mit KVGs verbraucht das Vorschaltgerät zusätzlich zur Leuchtstoffröhre elektrische Energie.

Eine T8 Röhre mit 1,5 m Länge hat eine Leistung von ca. 58 W. Das Vorschaltgerät hat eine zusätzliche Leistungsaufnahme von 13 W. Bei einer vergleichbaren Retrofit LED Röhre reduziert sich die Leistung um über 50% auf ca. 29 W.

Die moderne LED-Technologie wurde auch auf T8-Röhren angewandt, sodass Sie Ihre alten Leuchtstoffröhren ganz leicht ersetzen können. Der Sockel ist dabei derselbe, sodass Sie die neue LED-Röhre bloß in Ihre vorhandene Fassung einzusetzen brauchen. Wichtig ist, dass Sie die zu ersetzende Wattzahl beachten, da auch diese wieder mit der Länge der Röhre zusammenhängt. Bei einem KVG wird zusätzlich ein LED-Starter benötigt, dieser ist üblicherweise bei der Lieferung mit inbegriffen. Auch haben LED Leuchten eine deutlich höhere Lebensdauer von bis zu 50.000 Stunden.

Abbildung 100: Innenansicht Alte Turnhalle



Im Rahmen der Sanierung der Mittelschule wurde in der Alten Turnhalle eine LED-Beleuchtung installiert.

Handlungsempfehlung Beleuchtung:

- Die Beleuchtung der Mittelschule und der Alten Turnhalle sind durch LED-Nutzung auf dem neuesten Stand der Technik.
- Die Beleuchtung der Neuen Turnhalle sollte mit LED-Retrofitleuchten ausgestattet werden.

Bei Umrüsten auf komplett neue LED-Beleuchtungstechnik (bestehend aus einem Träger für das Leuchtmittel sowie Leuchtmitteln in Verbindung mit der Nutzung einer tageslichtabhängigen Leistungs- und/oder Präsenzsteuerung ist ein Zuschuss in Höhe von 20 % bei der KfW möglich. Sie bietet Fördermöglichkeiten für investive Sanierungsmaßnahmen.

3.6.1 PV-Anlage Mittelschule

Für die Mittelschule mit Turnhallen wird die Wirtschaftlichkeit von zwei unterschiedlich großen PV Anlagen mit Eigenstromnutzung untersucht. Beide Varianten werden jeweils ohne und mit Stromspeicher bewertet.

3.6.1.1 Grundsätzliches

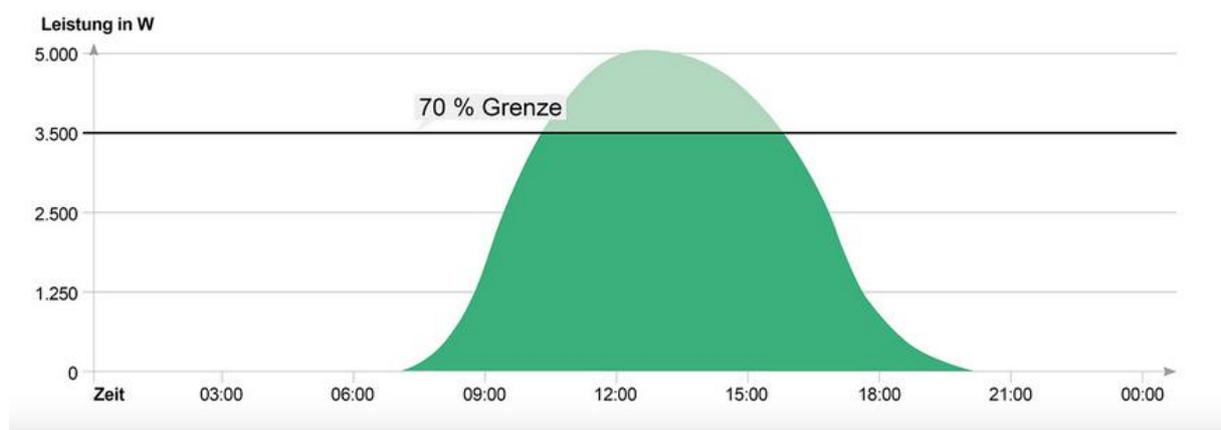
Die Umsetzung von PV-Projekten erfolgt im Spannungsfeld von deutlich niedrigeren EEG-Vergütungen aber auch stark gesunkenen Modulpreisen im Vergleich zu den zurückliegenden Jahren. Eine hohe Stromeigennutzungsquote kann in dieser Gemengelage einen großen wirtschaftlichen Vorteil generieren, da der Kostenvorteil für den eingespeisten Strom mehr als doppelt so hoch ist wie die Einspeisevergütung.

- **Abregelung am Einspeisepunkt**

Bei Photovoltaikanlagen **bis 30 kW** besteht die Wahlmöglichkeit im Einspeisemanagement zwischen der Rundfunksteuertechnik, oder der Begrenzung der maximalen Wirkleistungseinspeisung auf dauerhaft 70 % der installierten Maximalleistung der Anlage. Ertragsverlust pro Jahr:

- Süddach bis zu 5 %
- West- oder Ostdach bis zu 3 %
- West- und Ostdach kein Ertragsverlust (PV-Anlage auf zwei Dachflächen)

Ab **30 kW bis 100 kW** gilt das vereinfachte Einspeisemanagement. Hier müssen die Anlagen mit einer durch die Netzbetreiber in Fernschaltung zu betreibenden Abschaltvorrichtung ausgestattet sein.



<https://www.dz-4.de>

- **Wandlermessung**

Seit Januar 2016 ist bei elektrischen Anlagen mit Betriebsströmen über 63 A eine Wandlermessung vorzusehen. Dies betrifft PV-Anlagen ab einer Größe von ca. 40 kWp, ist aber vom jeweiligen Hausanschluss des Gebäudes abhängig.

Die genaue Grenze muss jeweils mit dem Verteilnetzbetreiber abgeklärt werden.

- **Direktvermarktung für Anlagen über 100 kWp**

Seit 2016 gilt für alle Anlagen über 100 kW installierter Leistung die verpflichtende Direktvermarktung. Außerdem muss eine Fernsteuerbarkeit der Anlage gewährleistet sein.

Anlagen unter 100 kW können jedoch auch freiwillig die Direktvermarktung nutzen. Ebenso ist ein Wechsel einer Bestandsanlage mit einer fixen Einspeisevergütung in die Direktvermarktung nach dem Marktprämienmodell möglich - ebenfalls eine erneute Rückkehr zur festen Einspeisevergütung.

Der Betreiber der Anlage handelt den Strom zum **Marktpreis** an der Strombörse. Zuzüglich erhält er eine **Marktprämie**. Diese gleicht die Differenz zwischen Marktpreis und Vergütungsanspruch nach EEG aus.

Der Weg zur Direktvermarktung

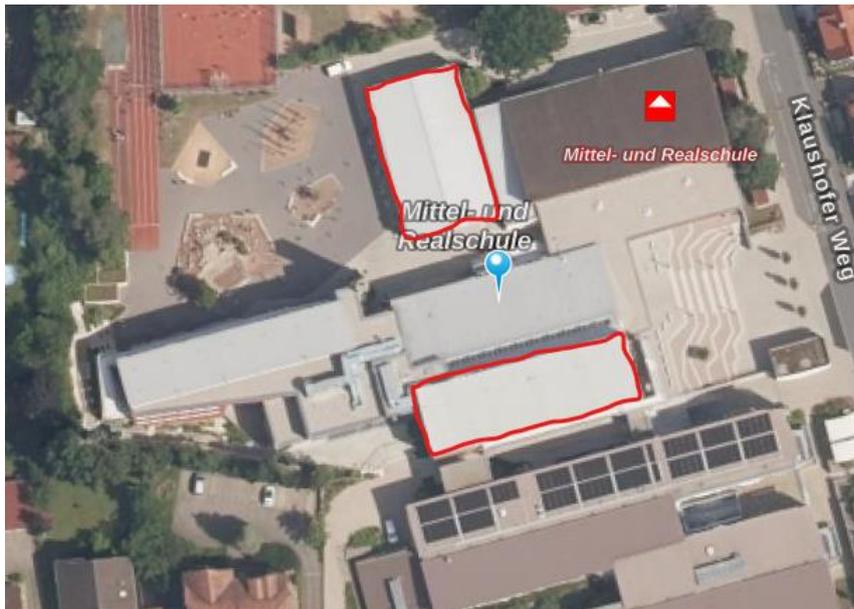
Der erste Schritt der Direktvermarktung ist die Auswahl eines geeigneten Direktvermarkters. In einem Vertrag zur Stromvermarktung werden die Pflichten von Direktvermarkter und Anlagenbetreiber festgehalten - beispielsweise die Übernahme von Ausgleichsenergiesrisiken, die Herstellung der Fernsteuerbarkeit, Zahlungsmodalitäten etc. Anschließend meldet der Direktvermarkter die Anlage beim Verteilnetzbetreiber zur Direktvermarktung an und übernimmt die Anlage in seinen Bilanzkreis. Sobald der Direktvermarkter den Fernzugriff auf die Anlage realisiert hat, startet die Direktvermarktung. Der Direktvermarkter erstellt individuelle Prognosen für jede Anlage, handelt den produzierten Strom möglichst abweichungsfrei an der Strombörse, kümmert sich um den Ausgleich von Fehl- oder Überschussmengen im untertätigen Stromhandel und rechnet schließlich die Erlöse aus der Stromproduktion mit dem Betreiber ab.

3.6.1.2 Varianten PV Mittelschule

Bei der Variante 1 wird „nur“ das nach Süden ausgerichtete Pultdach der Mittelschule (Dachneigung 14,8°) mit einer PV-Anlage belegt. In der Variante 2 wird zusätzlich das nach Ost-West ausgerichtete, flachgeneigte Satteldach der Neuen Turnhalle berücksichtigt.

Um die Eigenstromnutzung zu berechnen wird im PV-Simulationsprogramm der Stromlastgang der Mittelschule aus dem Jahr 2019 eingelesen.

Abbildung 101: Luftbild Mittelschule



Quelle: BayernAtlas

Die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen hängen zu einem großen Anteil von der Definition der relevanten Parameter ab. Bei einer Betrachtung über 20 Jahre erfolgen dabei immer Abschätzungen, vor allem hinsichtlich der Preissteigerung des ersetzten Stroms. Inwieweit sich diese mit der zukünftigen Entwicklung decken, wird sich zeigen. Deshalb sind die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen immer unter einem gewissen Vorbehalt zu sehen. Der Vergleich der einzelnen Varianten untereinander behält auch bei geänderten Rahmenbedingungen eine Aussagekraft, da für alle Varianten die gleichen Parameter angesetzt wurden.

Die folgende Wirtschaftlichkeitsberechnung wird mit **Bruttokosten** berechnet. Nachfolgende Parameter wurden zu Grunde gelegt:

- Spezifische Investitionen PV-Anlage 1.250 – 1.300 €/kWp
- Stromspeicher 33 kWh ca. 35.000 €
- Stromverbrauch Schule 2019 ca. 120.000 kWh/a
- Kosten Strombezug ca. 27 ct/kWh netto
- Preissteigerung Strom 2 % jährlich
- Durchschnittliche EEG-Vergütung 7,0 – 8,0 ct/kWh
- EEG-Umlage selbstgenutzter Strom 2,6 ct/kWh (ab 10 kWp)

Die volle EEG-Umlage beträgt für das Jahr 2021 6,5 ct/kWh. Für den selbstgenutzten Strom ist entsprechend der aktuell gültigen EEG eine anteilige Umlage von 40 % fällig. **Diese Regelung gilt nicht für die ersten erzeugten 10.000 kWh bei Anlagen unter 10 kWp.**

Folgende Varianten werden berechnet:

- Variante 1: PV-Anlage 48 kWp (Pulldach Mittelschule)
- Variante 1a: PV-Anlage 48 kWp, Stromspeicher 33 kWh
- Variante 2: PV-Anlage 99 kWp (Pulldach Mittelschule + Neue Turnhalle)
- Variante 2a: PV-Anlage 99 kWp+ Stromspeicher 33 kWh

Die Simulation erfolgt mit dem Programm PV-SOL Premium.

3.6.1.2.1 Variante 1 PV Anlage 48 kWp

Die Variante 1 ist eine PV-Dachanlage mit 144 Modulen bei einer Fläche von 243 m². Dies entspricht ca. 5 m² je kWp.

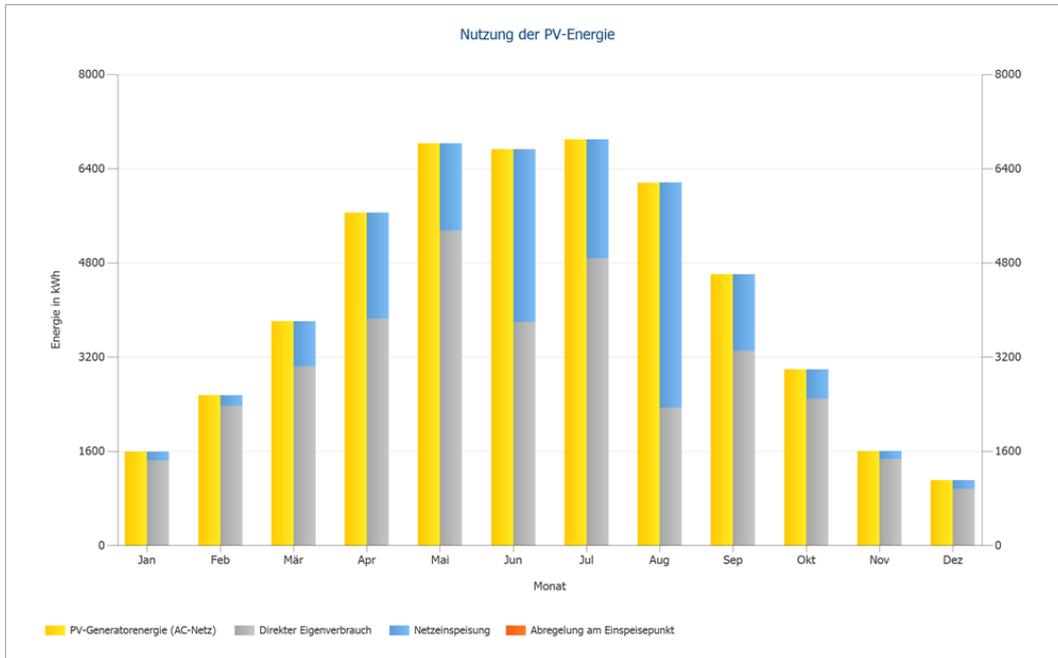
Abbildung 102: Dachaufsicht Variante 1, installierte Leistung 48 kWp



Aufgrund des großen Dachüberstandes der Dach-Nordkante wurde auf eine PV-Reihe verzichtet. Vor Umsetzung ist eine Prüfung der Statik durchzuführen.

Folgende Grafik zeigt die anteilige Verwendung des erzeugten PV-Stroms. Über das gesamte Jahr gesehen liegt der „Direkte Eigenverbrauch“ bei 70 %.

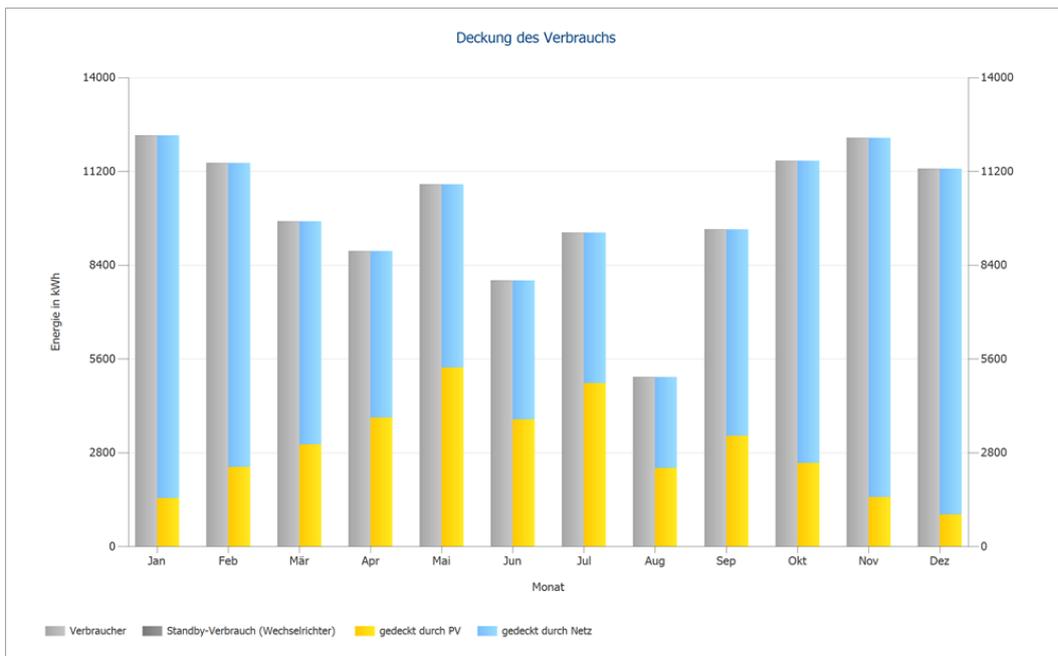
Abbildung 103: Variante 1; PV-Nutzung



Insgesamt erzeugt diese PV-Anlage jährlich 50.540 kWh Strom. Dies entspricht einem spezifischen Jahresertrag von rund 1.063 kWh/kWp (im ersten Jahr).

Die Grafik zeigt die anteilige Deckung des Stromverbrauchs in der Schule.

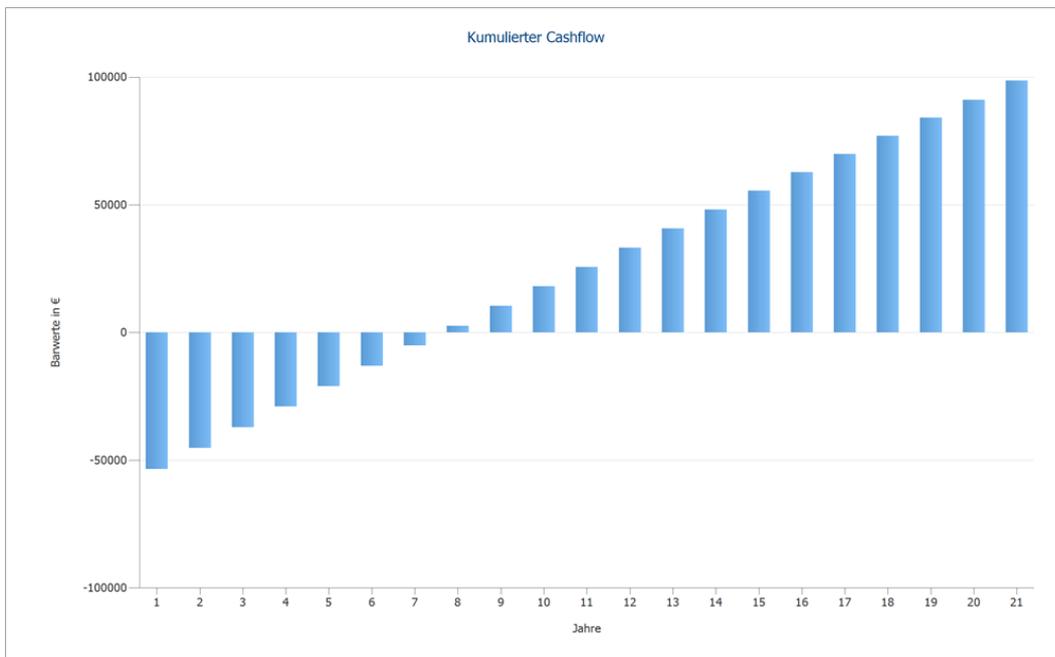
Abbildung 104: Variante 1; Deckung Stromverbrauch



Der sogenannte „Autarkiegrad“ durch die PV-Deckung liegt hier bei 29 %.

Abbildung 105: Variante 1; Cash-Flow

Der kumulierte Cashflow (Gewinn) beträgt bei 2 % Strom-Preissteigerung 98.300 € nach 20 Jahren Betrachtungszeitraum.

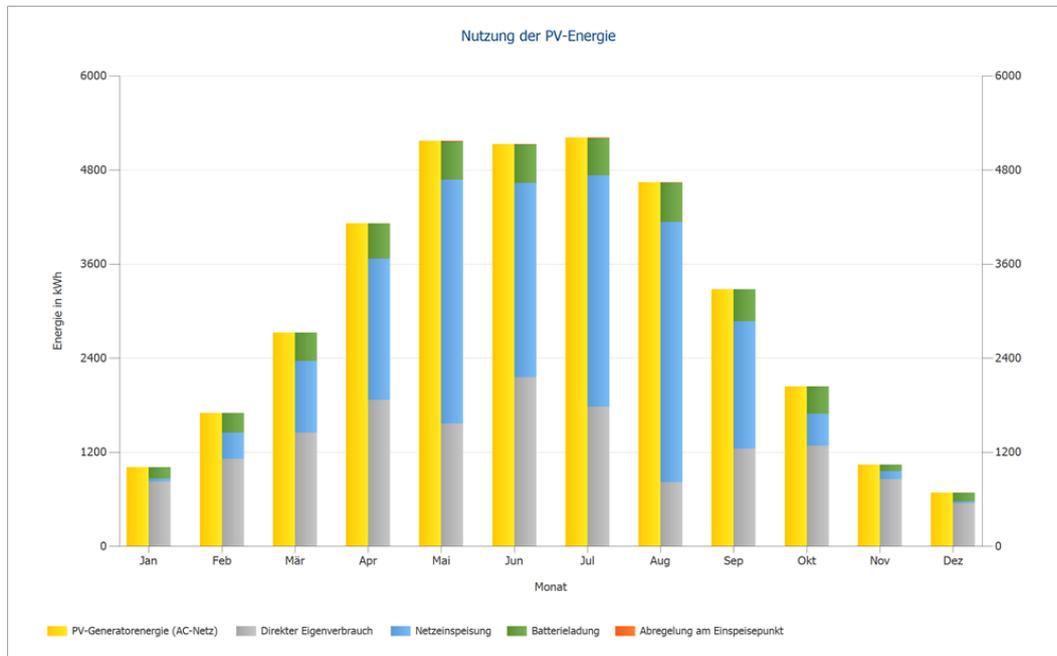


Bei Investitionen von rund 61.800 € amortisiert sich die Anlage nach 7,7 Jahren.

3.6.1.2.2 Variante 1a PV Anlage 48 kWp mit Stromspeicher 33 kWh

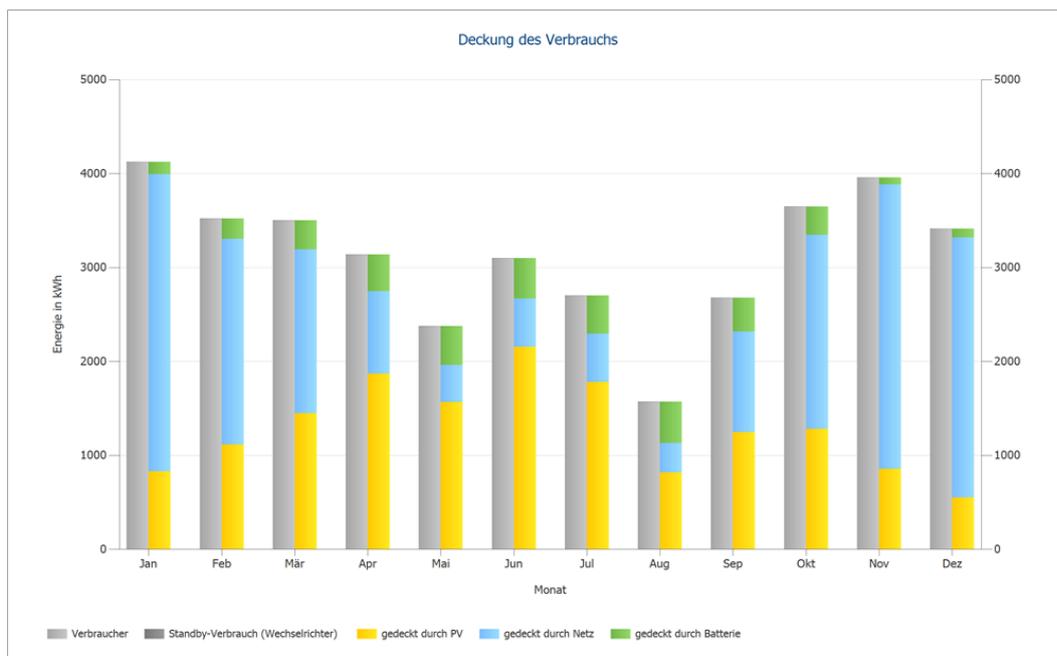
Bei der 48 kWp Anlage wird die Einbindung eines Stromspeichers in einer weiteren Simulation untersucht. Der hier angesetzt Speicher hat eine Anfangs-Ladekapazität von 33 kWh. Folgende Grafik zeigt die anteilige Verwendung des erzeugten PV-Stroms. Hier wird zusätzlich die Batterieladung dargestellt, die dem Eigenverbrauch zugutekommt:

Abbildung 106: Variante 1a; PV-Nutzung



Der Eigenverbrauch erhöht sich von 70 % ohne Speicher auf 79 % mit Speicher.

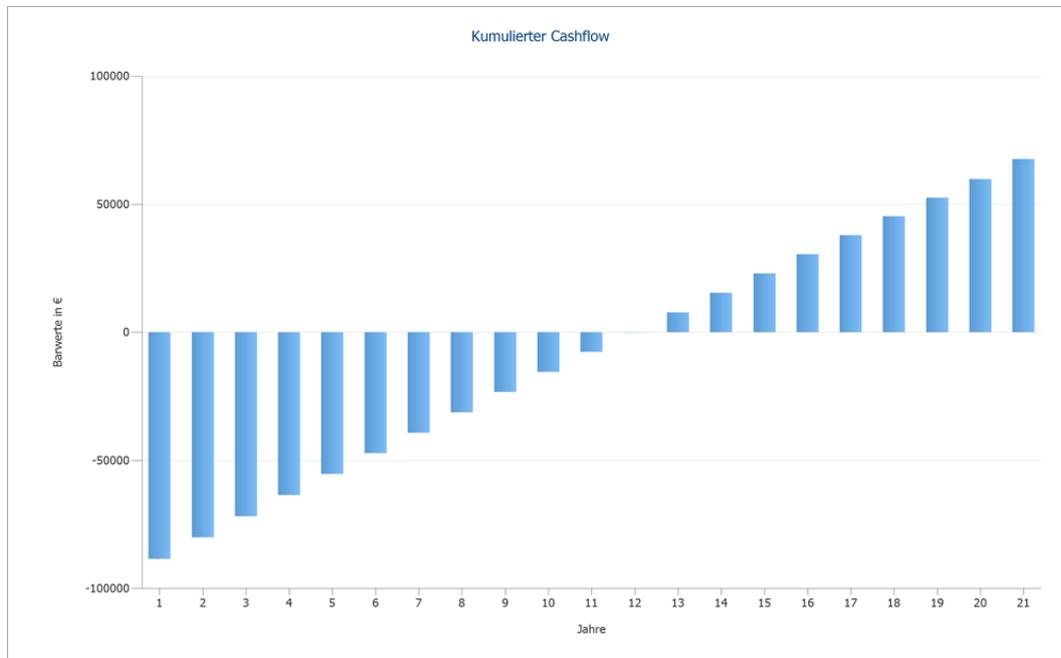
Abbildung 107: Variante 1a; Deckung Energieverbrauch



Durch den Stromspeicher steigt der Autarkiegrad von 70 % auf 79 %.

Durch die höheren Investitionen für den Stromspeicher reduziert sich der kumulierte Cashflow auf rund 67.600 €.

Abbildung 108: Variante 1a; Cash-Flow



Diese Anlage amortisiert sich dann erst nach 12 Jahren.

3.6.1.2.3 Variante 2 PV Anlage 99 kWp

In der Variante 2 wird zusätzlich das Dach der Neuen Turnhalle mit 302 PV-Modulen belegt. Die Anordnung der Module berücksichtigt die Verschattung durch den Kamin und durch das Pultdach der Alten Turnhalle.

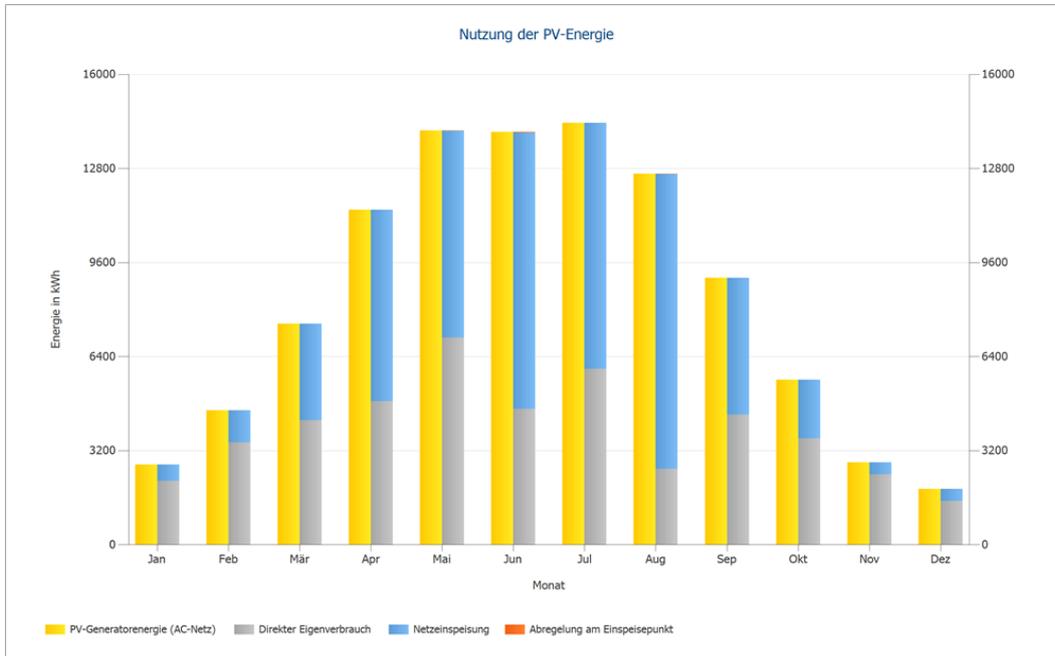
Abbildung 109: Dachaufsicht Variante 2, installierte Leistung 99 kWp



Auch hier ist vor Umsetzung ist eine Prüfung der Statik durchzuführen.

Folgende Grafik zeigt die anteilige Verwendung des erzeugten PV-Stroms. Über das gesamte Jahr gesehen liegt der „Direkte Eigenverbrauch“ bei 47 %.

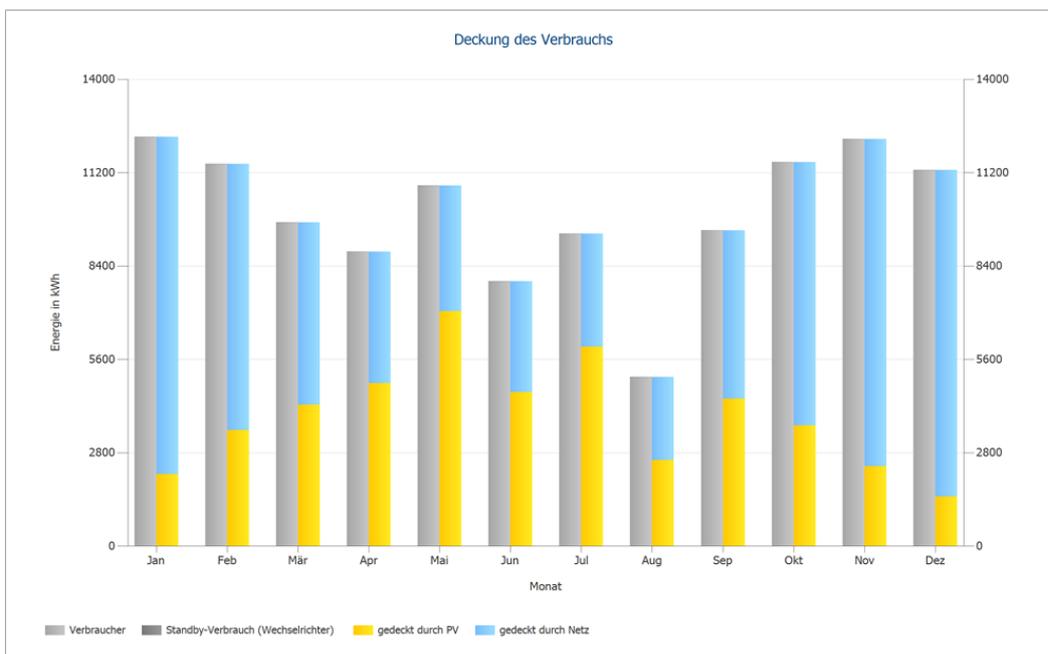
Abbildung 110: Variante 2; PV-Nutzung



Insgesamt erzeugt diese PV-Anlage jährlich 100.700 kWh Strom. Dies entspricht einem spezifischen Jahresertrag von rund 1.010 kWh/kWp (im ersten Jahr).

Die Grafik zeigt die anteilige Deckung des Stromverbrauchs in der Schule.

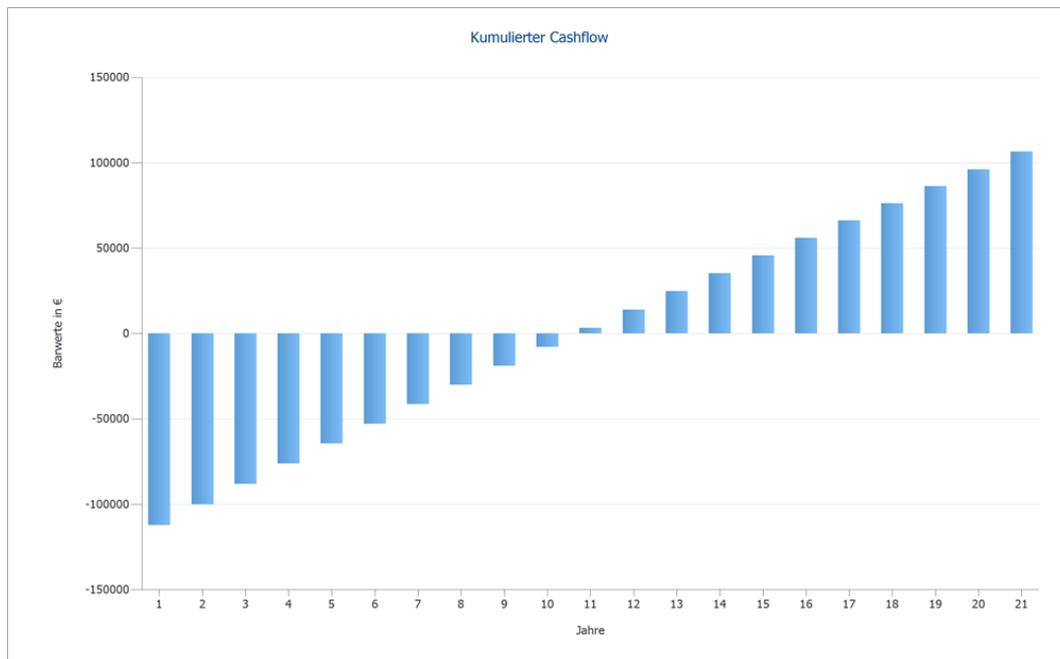
Abbildung 111: Variante 2; Deckung Stromverbrauch



Der „Autarkiegrad“ durch die PV-Deckung liegt hier bei 39 %.

Abbildung 112: Variante 2; Cash-Flow

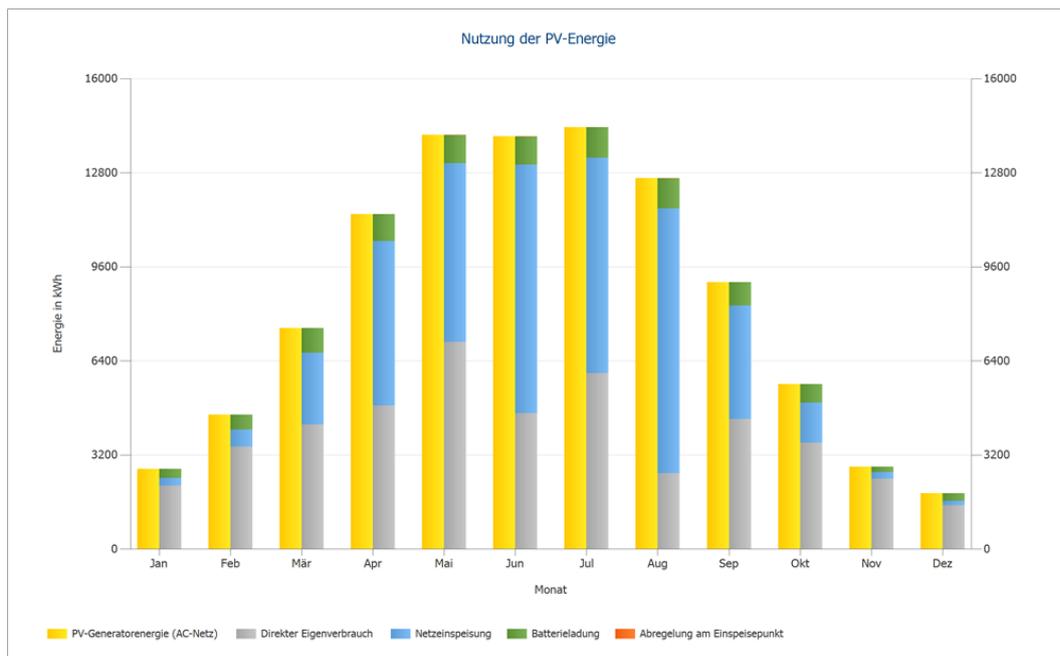
Der kumulierte Cashflow (Gewinn) beträgt bei 2 % Strom-Preissteigerung 106.600 € nach 20 Jahren Betrachtungszeitraum.



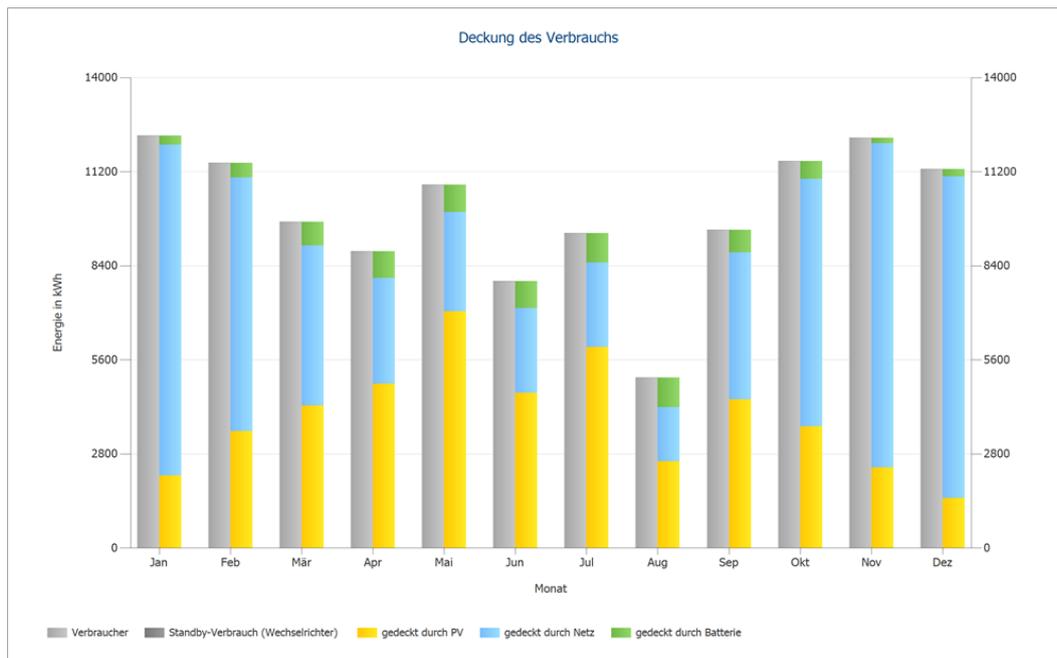
Bei Investitionen von rund 124.600 € amortisiert sich die Anlage nach 10,7 Jahren.

3.6.1.2.4 Variante 2a PV Anlage 99 kWp mit Stromspeicher 33 kWh

Auch hier wird eine Stromspeicher mit einer Anfangs-Ladekapazität von 33 kWh angesetzt.

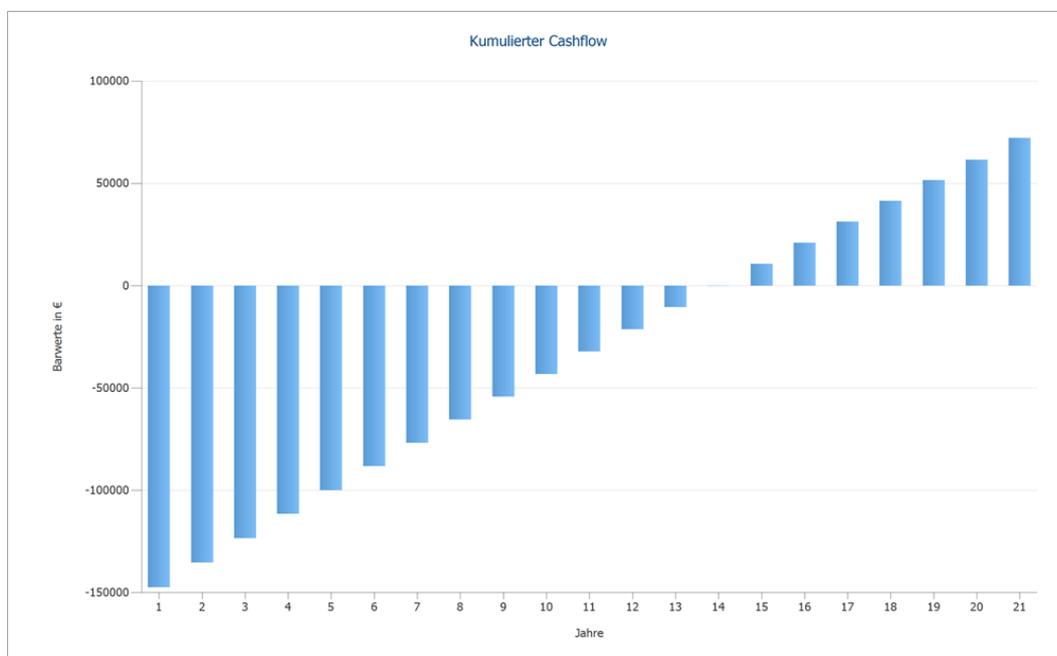
Abbildung 113: Variante 2a; PV-Nutzung

Der Eigenverbrauch erhöht sich von 47 % ohne Speicher auf 54 % mit Speicher.

Abbildung 114: Variante 2a; Deckung Energieverbrauch

Durch den Stromspeicher steigt der Autarkiegrad von 39 % auf 45 %.

Durch die höheren Investitionen für den Stromspeicher reduziert sich der kumulierte Cashflow auf rund 72.200 €.

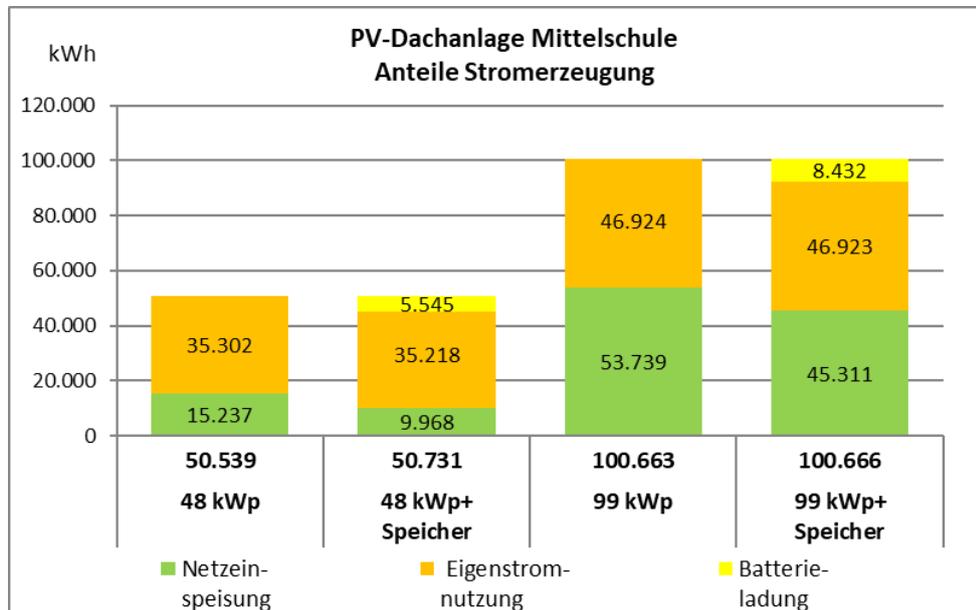
Abbildung 115: Variante 2a; Cash-Flow

Diese Anlage amortisiert sich dann erst nach 14 Jahren.

3.6.1.3 Variantenvergleich

- **Stromerzeugung/Deckungsanteile**

Abbildung 116: Variantenvergleich PV-Anlage Mittelschule; Stromerzeugung/Deckungsanteile

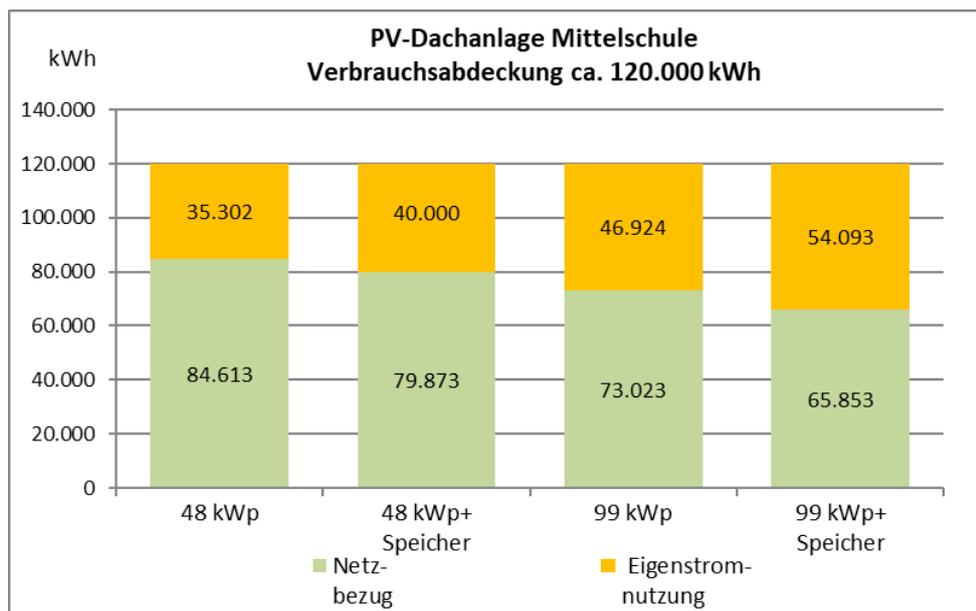


Mit der Größe der PV-Anlage erhöht sich natürlich auch die gesamte Stromerzeugung. Die Eigenstromnutzung ist bei kleineren Anlagen im Verhältnis zur Stromeinspeisung aber deutlich höher.

Die hier dargestellte Batterieladung erhöht die Eigenstromnutzung in der Mittelschule, wie auch in folgender Grafik dargestellt:

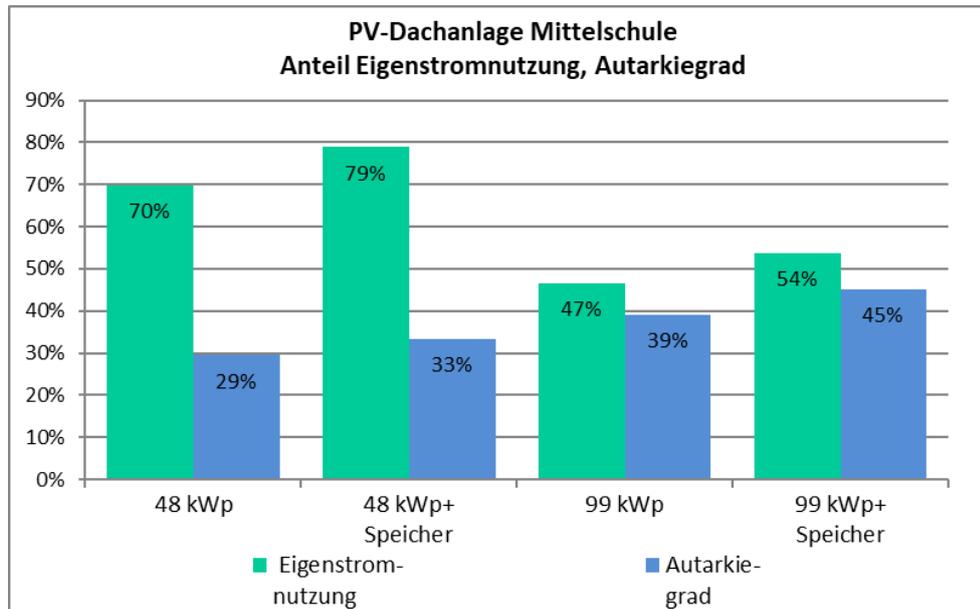
- **Verbrauchsabdeckung Schule**

Abbildung 117: Variantenvergleich PV-Anlage Mittelschule; Verbrauchsabdeckung



- Anteil Eigenstromnutzung, Autarkiegrad

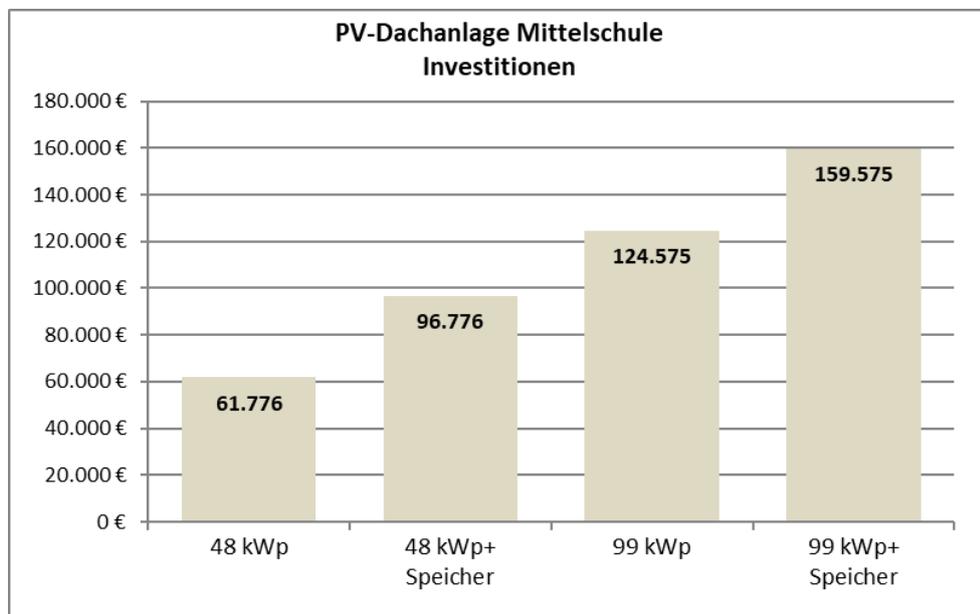
Abbildung 118: Variantenvergleich PV-Anlage Mittelschule; Eigenstromnutzung, Autarkiegrad



Gegenläufig zum Anteil der Eigenstromnutzung erhöht sich der Autarkiegrad bei größeren PV-Anlagen. Mit Stromspeicher können hier bis zu 45 % erreicht werden.

- Investitionen (brutto)

Abbildung 119: Variantenvergleich PV-Anlage Grundschule; Investitionen

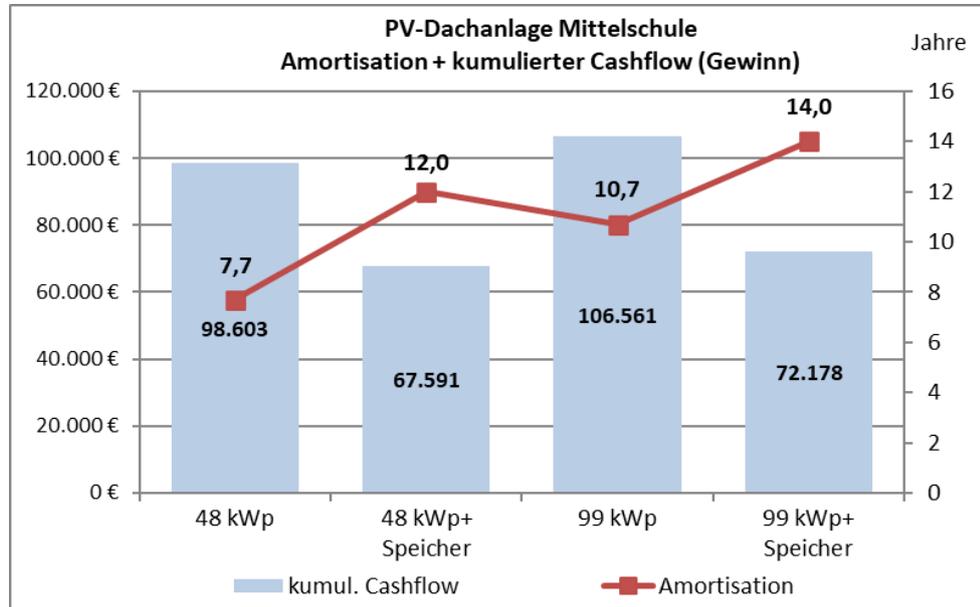


Die spezifischen Investitionen wurden mit 1.300 €/kWp bei der kleineren und mit 1.250 €/kWp bei der größeren PV-Anlage angesetzt. Für den Stromspeicher mit 33 kWh werden 35.000 € geschätzt.

- **Kumulierter Cashflow/Amortisation**

Der kumulierte Cashflow stellt das wirtschaftliche Ergebnis über die Nutzungsdauer von zwanzig Jahren bei 2 % Strom-Preissteigerung dar.

Abbildung 120: Variantenvergleich PV-Anlage Grundschule; kumulierte Cashflow



Die Anlage mit 48 kWp erwirtschaftet nach 20 Jahren einen Gewinn von rund 98.600 € bei einer Amortisation von 7,7 Jahren. Durch eine Verdopplung der Anlagengröße steigt der Gewinn „nur“ um ca. 8.000 €, die Amortisation tritt erst drei Jahre später ein.

Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen verringert sich durch einen Batteriespeicher erheblich. Die zusätzliche Stromeigennutzung steht in keinem wirtschaftlichen Verhältnis zu den notwendigen Investitionen. Durch Batteriespeicher kann zwar der Autarkiegrad erhöht werden, wirtschaftlich darstellbar ist dies jedoch nicht. Derzeit gibt es auch keine Förderprogramme für Speicher in Nichtwohngebäuden.

Die Preisentwicklung der Stromspeicher hat jedoch in den letzten Jahren gezeigt, dass in Zukunft weitere Preisnachlässe zu erwarten sind. Ein Speicher kann jederzeit auch nachträglich in ein PV-System eingebunden werden.

3.7 Grundschule

Die Grundschule wurde in den 60er Jahren, und somit noch vor der 1. WSVO errichtet. Im Jahr 2000 wurde ein Großteil des Gebäudes energetisch saniert. Hierbei wurde die Dämmung der Kaltdachkonstruktion des gesamten Gebäudes aufgedoppelt. Bis auf den „Nordflügel“ wurden neue Alufenster mit 2-Scheiben-Isolierverglasung eingebaut und ein Wärmedämmverbundsystem aufgebracht. Der „Nordflügel“ wird momentan im Rahmen einer Teilsanierung energetisch nachsaniert. Im **Bereich a** wird derzeit ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aufgebracht, neue Alufenster mit 3-Scheiben-Wärme-schutzverglasung sind teilweise schon eingebaut. Der bestehende, eingeschossige Laubengang **Bereich b** wird abgerissen und zweigeschossig neu erstellt.

Abbildung 121: Luftbild Grundschule



Quelle: Bayernatlas

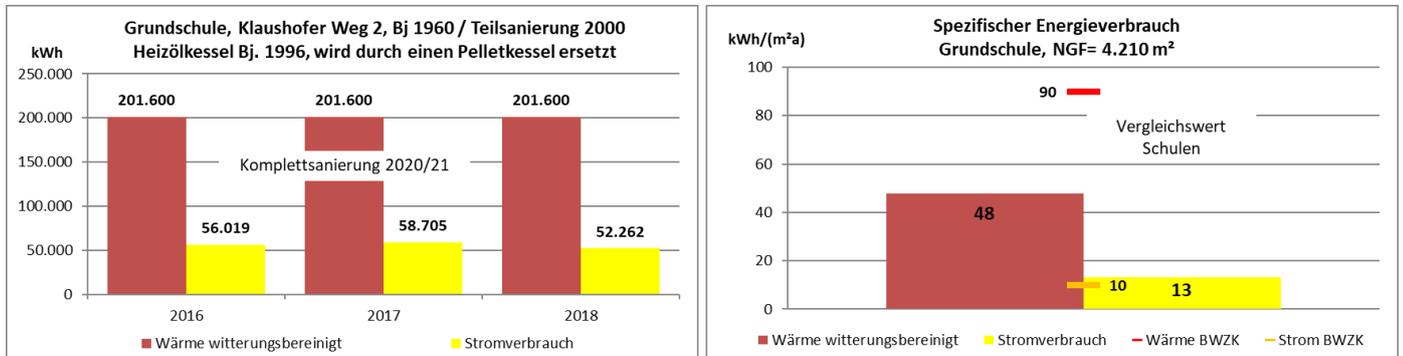
Die Grundschule hat eine gesamte Nettogrundfläche (NGF) von 4.210 m² und wurde über eine Heizölheizung mit Wärme versorgt. Der Ölkessel ist bereits ausgebaut und wird durch einen Pelletkessel ersetzt.

Die Beleuchtung wird komplett auf LED-Technik umgerüstet.

3.7.1 Benchmark Grundschule

Der Heizölverbrauch der vergangenen Jahre betrug im Durchschnitt jährlich 20.000 Liter. Der Stromverbrauch pendelt so um 55.000 kWh/a.

Abbildung 122: Benchmark Grundschule



Der spezifische Verbrauchswert für Wärme liegt mit 48 kWh/m² um rund 50 % unter dem Vergleichswert von allgemeinbildenden Schulen. Dieser Wert erscheint sehr niedrig.

Der Stromverbrauch liegt mit 13 kWh/a nur knapp über dem Vergleichswert.

Die Entwicklung der Verbrauchswerte sollte nach Fertigstellung der Sanierung regelmäßig erfasst und geprüft werden. Hierzu muss ein Wärmemengenzähler installiert werden.

3.7.2 Gebäudehülle

Abbildung 123: Ostansicht mit Haupteingang



Bereich Haupteingang, bereits saniert u.a. mit Alu-Fenstern und 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung.

Abbildung 124: Westansicht Innenhof

Bereits sanierter Bereich mit WDVS und Alu-Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung.

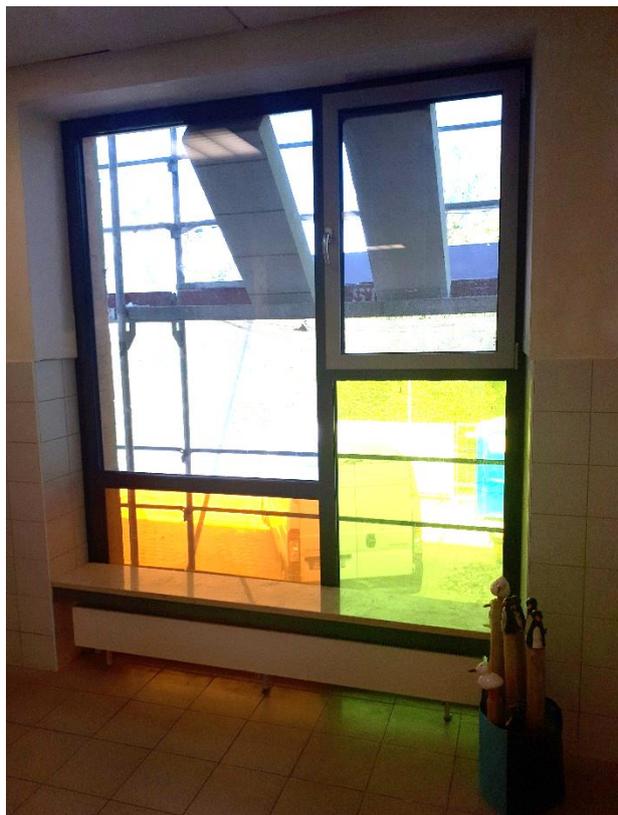
Abbildung 125: Detailansicht WDVS

Teilweise sind Beschädigungen der Spechte im WDVS vorhanden. Diese sollten zeitnah verspachtelt werden.

Abbildung 126: Ansicht Nordflügel

Auf der Seite des Haupteingangs wird derzeit am „Nordflügel“ ein WDVS mit ca. 18 cm dicke aufgebracht.

Abbildung 127: Innenansicht neue Fenster



Neues Fensterelement mit Alurahmen und 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung.

Abbildung 128: Südansicht unsanierter Gebäudeteil (Nordflügel)

Der hier vorhandene Laubengang wird im Rahmen der Teilsanierung abgerissen und zweigeschossig neu erstellt. In den Obergeschossen sind auch noch die Holzfenster aus den 60er Jahren vorhanden.

Abbildung 129: Nordansicht Alte Turnhalle

Die noch vorhandenen Holz-Verbundfenster werden alle durch Alufenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ersetzt.

Handlungsempfehlung Gebäudehülle:

- Die Dämmung der Dächer wurde bereits bei der Sanierung im Jahr 2000 aufgedoppelt.
- Die unsanierten Gebäudeteile werden im Rahmen der Teilsanierung energetisch auf aktuellen Stand saniert.
- Alle Wände sind dann mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) ausgestattet.
- Alle Holzfenster sind dann durch Alufenster mit 2- oder 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung ersetzt.

Somit besteht hier kein weiterer Handlungsbedarf.

3.7.3 Heizungstechnik/Warmwasserbereitung

Zum Zeitpunkt der Begehung war keine Heizungsanlage vorhanden. Diese wurde demontiert und der Einbau der neuen Anlage stand kurz bevor.

Abbildung 130: Heizungsverteilung Grundschule

In der Heizungsverteilung sind noch 2 herkömmliche Pumpen installiert. Die restlichen Pumpen sind bereits drehzahlregelt.

Abbildung 131: Wärmeübergabe

Die Wärmeabgabe erfolgt mittels Heizkörper. Laut Aussage des Hausmeisters werden bei der Heizungssanierung alle Heizkörperventile erneuert.

Abbildung 132: Heizungssteuerung

Der alte Schaltschrank für die Heizungsanlage wird zukünftig einer modernen Gebäudeleittechnik weichen.

Abbildung 133: Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral über Elektrospeicher.

Handlungsempfehlungen Heizungstechnik:

- Beim Einbau der neuen Heizungsanlage muss auch der Heizungsverteilung Beachtung geschenkt werden. Neue Pumpen und Strangregulierungsventile werden eingebaut.
- Ein Hydraulischer Abgleich wird durchgeführt. Hierzu sollen alle Heizkörperventile erneuert werden und für den hydraulischen Abgleich voreinstellbar sein.

Der hydraulische Abgleich

Beim hydraulischen Abgleich wird durch Engpässe und Widerstände im Heizungssystem das Heizungswasser gleichmäßig verteilt. Dies ist eine Aufgabe für den Heizungsfachmann. Er geht dabei wie folgt vor:

- Für jeden Raum ermittelt er die tatsächlich benötigte Wärmemenge. Hierbei berücksichtigt er die Dämmung der Außenwände, die Qualität der Fenster und Verluste über Fußboden und Decke.
- Als Nächstes begutachtet er die Heizkörper und bestimmt, abhängig von der Heizkörpergröße und der Vorlauftemperatur des Heizsystems, die notwendige Heizwassermenge.
- Um die richtige Pumpenleistung zu ermitteln, muss das gesamte Rohrnetz erfasst, oder sinnvoll abgeschätzt werden.

- Dann wird gerechnet! Als Ergebnis erhält der Heizungsfachmann die Voreinstellungswerte für die Thermostatventile oder die Heizkörperverschraubungen.
- Zum Schluss stellt er die jeweils ermittelten Werte an den Ventilen ein.

Abbildung 11: Schema Hydraulischer Abgleich

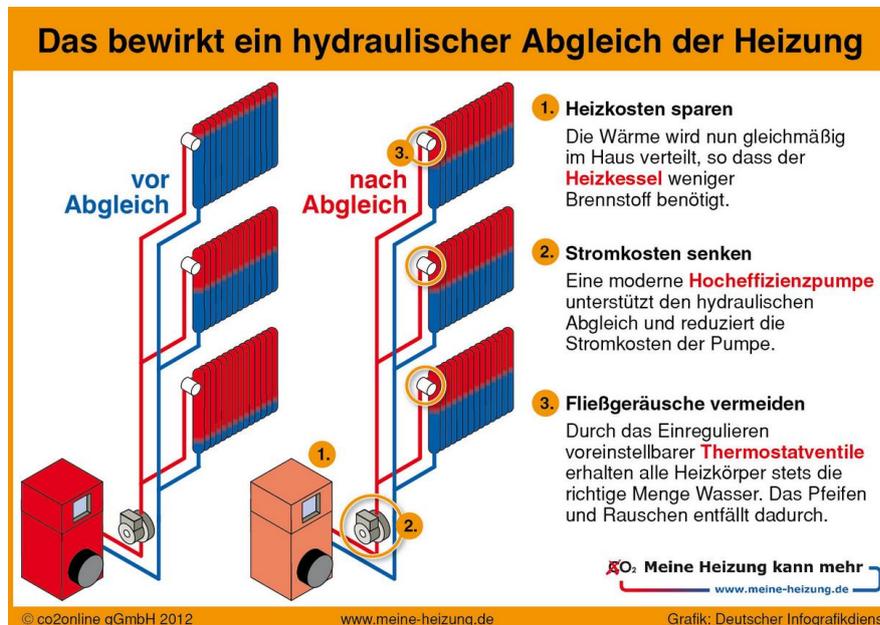


Abbildung 134: Voreinstellbares Heizkörperventil



Zur Durchführung des hydraulischen Abgleichs müssen voreinstellbare Thermostatventile an den Heizkörpern nachgerüstet werden.

3.7.4 Beleuchtung

Abbildung 135: Klassenzimmer Grundschule



Im Rahmen der Teilsanierung wird die Beleuchtung der Grundschule auf LED umgerüstet.

Derzeit sind z.B. in den Klassenräumen noch 9 Spiegelrasterleuchten mit je zwei T8-Leuchtstoffröhren und konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) vorhanden.

Eine T8 Röhre mit 1,5 m Länge hat eine Leistung von ca. 58 W. Das Vorschaltgerät hat eine zusätzliche Leistungsaufnahme von 13 W. Bei einer vergleichbaren Retrofit LED Röhre reduziert sich die Leistung um über 50% auf ca. 29 W.

Handlungsempfehlung Beleuchtung:

- Eine Umrüstung der gesamten Beleuchtung auf LED ist ohnehin geplant.

3.8 Kindergarten

Der Kindergarten wurde im Jahr 1989 und somit nach der 2. WSVO errichtet. Der Kindergarten hat eine Nettogrundfläche (NGF) von 825 m² und wird durch einen Erdgaskessel mit Wärme versorgt.

Abbildung 136: Luftbild Kindergarten

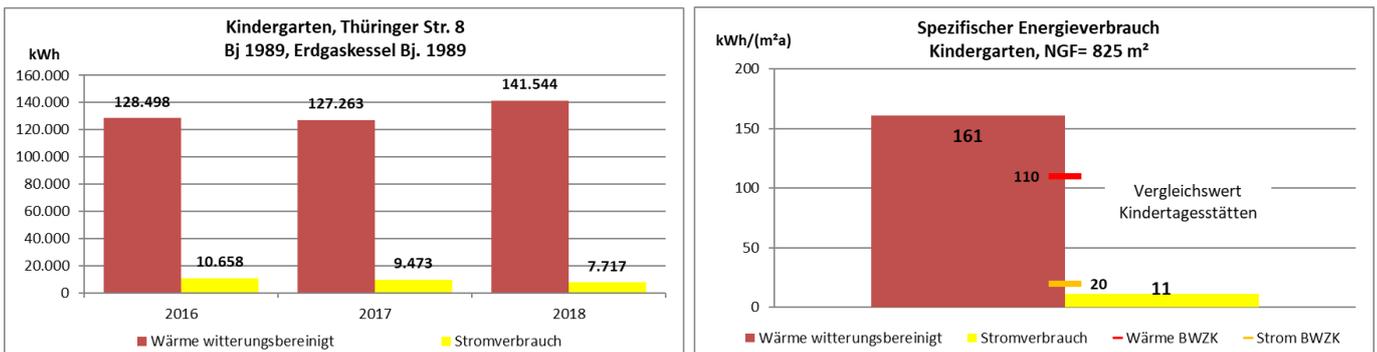


Quelle: Bayernatlas

3.8.1 Benchmark Kindergarten

Der Erdgasverbrauch ist von 2016/17 auf 2018 um 10% angestiegen, dafür ist der Stromverbrauch um knapp 30 % zurückgegangen.

Abbildung 137: Benchmark Kindergarten



Der spezifische Verbrauchswert für Wärme liegt mit 161 kWh/m² um 46 % über dem Vergleichswert von Kindertagesstätten. Der Baukörper hat aufgrund seiner Konstruktion ein schlechtes A/V-Verhältnis⁷, was grundsätzlich zu einem erhöhten Wärmeverbrauch führt.

Der Verbrauchswert für Strom liegt dafür mit 11 kWh/a um knapp 50 % unter dem Durchschnittswert.

⁷ Die Kompaktheit von Baukörpern wird durch das **Verhältnis** der wärmeabgebenden Hüllfläche (**A**) zum beheizten Volumen (**V**) angegeben, dem sogenannten **A/V-Verhältnis**. Je kleiner das **A/V-Verhältnis**, desto geringer ist der spezifische Energiebedarf pro m³ beheiztem Raum bei sonst gleichen Bedingungen.

3.8.2 Gebäudehülle

Abbildung 138: Ostansicht, Eingangsseite



Der Baukörper besteht aus unterschiedlichsten Konstruktionselementen wie z.B. Mauerwerk und Holz-Ständerbauweise.

Das Dach hat sowohl eine Ziegeldeckung als auch eine Blechdeckung.

Abbildung 139: Teilansicht West zum Außenbereich



Dieser Gebäudeteil hat seitlich Betonwände mit Dämmung und Fassadenplattenverkleidung. Die Fensterfläche ist auch hier eine Holz-Ständerbauweise mit farbigen Holzelementen.

Abbildung 140: Detailansicht Dachentwässerung

Die Dachentwässerung erfolgt beim Kindergarten innenliegend, quer durchs Gebäude von Ost nach West. Feuchteprobleme konnten nach Lokalisierung der Undichtigkeiten behoben werden.

Abbildung 141: Innenansicht Dachentwässerung

Die innenliegende Dachentwässerung erfolgt über transparente Entwässerungsrohre (hier im Vordergrund). Das Dachtragwerk ist teils Holz, teils Stahlkonstruktion.

Abbildung 142: Detail Dachüberstand mit Stahlträgern

Die teilweise vorhandenen Stahldurchdringungen sorgen auch für erhöhte Wärmeverluste.

Abbildung 143: Detailansicht Fensterkonstruktion

An vielen Stellen sind sehr verschachtelte Details, die eine energetische Sanierung des Gebäudes deutlich erschweren. Die Fenster haben eine 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, aber noch ohne wärmedämmende Edelgasfüllung im Scheibenzwischenraum. Eine Wärmefunktionsschicht dürfte aber bereits vorhanden sein.

Abbildung 144: Nordansicht Alte Turnhalle

Insgesamt gesehen hat das Gebäude einen hohen Fensterflächenteil.

Folgende Tabelle zeigt die energetischen Eigenschaften der Bauteile des Kindergartens. Das technische Maß ist der U-Wert⁸. Je kleiner der U-Wert, desto besser ist der Wärmeschutz. Am 01.11.2020 tritt das neue Gebäude-Energie-Gesetz in Kraft. Hier wird sich an den Anforderungen und Werten für die Gebäudehülle nichts ändern.

Tabelle 4: Bewertung Gebäudehülle Kindergarten

EnEV-Referenzgebäude EnEV Anlage 2 Tabelle 1		Kindergarten Bj. 1989 U-Wert nach 2. WSV0			Höchstwerte für Erneuerung von Bauteilen EnEV Anlage 3 Tabelle 1	Vorgaben KfW Einzelmaßnahmen
Bauteil	U-Wert (W/m ² K)	Bauteil	U-Wert	Verhältnis zu Referenz	U-Wert	U-Wert
Dach	0,20	Dachkonstruktion Holz/Massiv	0,5-0,6	275%	0,24	0,14
Außenwand	0,28	Außenwände	0,60	214%	0,24	0,20
Fenster, Fenstertüren	1,30	2-Scheiben- Wärmeschutzvergl.	2,00	154%	1,30	0,95
Boden gegen Erdreich	0,35	Stahlbeton-Bodenplatte mit Trittschalldämmung	0,60	171%	0,50	0,25

Die U-Werte für den Bestand sind ca. Werte und entsprechen typischen Bauteilen der Baualtersklasse. Dem gegenübergestellt sind die U-Werte für unterschiedliche Anforderungen dargestellt:

- EnEV Referenzgebäude: Die U-Werte für das EnEV-Referenzgebäude sind der Ansatz für die Neubauberechnung eines Gebäudes nach EnEV.

⁸ Der Wärmedurchgangskoeffizient U – vereinfacht U-Wert genannt – ist ein Maß für die thermische Qualität von Bauteilen. Er bezeichnet den Wärmestrom, der bei einer Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft von 1 K (oder 1 °C) durch eine 1 m² große Bauteilfläche hindurchfließt.

- Erneuerung von Bauteilen: Bei Erneuerung oder Ersatz von Bauteilen müssen mindestens die Werte nach EnEV Anlage 3 zu § 8 und § 9, Tabelle 1 eingehalten werden.
- KfW Einzelmaßnahmen: Zur Förderfähigkeit von energetischen Einzelmaßnahmen müssen mindestens die Technischen Mindestanforderungen der KfW eingehalten werden. Siehe auch Fördermöglichkeiten.

Handlungsempfehlung Gebäudehülle:

- Das schlechte A/V-Verhältnis und der hohe Fensterflächenanteil führen zu dem erhöhten Wärmeverbrauch.
- Die Bauteile entsprechen energetisch der 2. WsVO, aber sind doch noch deutlich schlechter als heutige Neubauanforderungen.

Durch eine energetische, hochwertige Sanierung könnte der Wärmeverbrauch mindestens halbiert werden. Aufgrund der verschachtelten, inhomogenen Bauweise, würden aber immense Kosten entstehen, die sich zum jetzigen Zeitpunkt kaum amortisieren würden.

Erst wenn ohnehin Sanierungsmaßnahmen anstehen, sollten Energieeffizienzmaßnahmen mitberücksichtigt werden.

3.8.3 Heizungstechnik/Warmwasserbereitung

Abbildung 145: Heizraum Kindergarten



Gaskessel Viessmann, Baujahr 1991, Leistung 65kW. Zum Zeitpunkt Begehung hatte die Heizungsanlage eine Temperatur von 70 °C!

Abbildung 146: Heizkreisverteilung

Es ist nur ein Heizkreis vorhanden. In diesem ist aber bereits eine Hocheffizienzpumpe installiert.

Abbildung 147: Heizungsregelung

Die Heizungsregelung entspricht noch immer den gesetzlichen Anforderungen, aber nicht der einer effizienten Heizungsregelung. Es ist außerdem fraglich, ob die Regelung noch richtig funktioniert.

Abbildung 148: Wärmeabgabe

Die Wärmeabgabe erfolgt über Heizkörper.

Abbildung 149: Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung erfolgt über einen liegenden 150 Liter Speicher. Vermutlich hat man sich damals für diese Variante entschieden, da der Heizraum so klein ist.

Handlungsempfehlungen Heizungstechnik:

- Die Heizungsanlage ist völlig veraltet und überdimensioniert. Grundsätzlich empfehlen wir eine Erneuerung der Heizungsanlage durch eine Heizungsanlage mit erneuerbaren Energien. Bei der

geringen Größe des Heizraumes könnte dies nur durch einen Anbau erfolgen. Eine „einfachere Variante“ wäre der Einbau eines Gasbrennwertgerätes.

- Es sollte ein hydraulischer Abgleich durchgeführt werden. Hierzu müssen die Thermostatventile an den Heizkörpern erneuert werden.
- Die Heizkreispumpe ist effizient und modern. Allerdings erscheint sie für den Kindergarten viel zu groß. Hier sollte nochmal gerechnet und die Größe der Hocheffizienzpumpe angepasst werden.
- Die Warmwasserbereitung ist überholt und hygienisch sehr bedenklich. Erfolgt eine Heizungsanierung im jetzigen Heizraum, wird es schwierig wieder einen Warmwasserspeicher zu installieren. Zukünftig könnte die Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip über einen Wärmetauscher erfolgen, der an der Heizungsanlage angeschlossen ist, oder dezentral, elektrisch über Durchlauferhitzer / Speicher.

3.8.4 Beleuchtung

Abbildung 150: Beleuchtung Gruppenraum



Die Beleuchtung erfolgt im gesamten Kindergarten in erster Linie durch Glühbirnen.

Abbildung 151: Beleuchtung Eingangsbereich**Handlungsempfehlung Beleuchtung:**

- Die Beleuchtung kann ohne großen Aufwand sukzessive auf LED-Birnen umgestellt werden.

3.9 Kommunales Energiemanagement in der Praxis

Durch die Einführung eines Kommunalen Energiemanagements (KEM) wird die Kommune in die Lage versetzt, die Energieverbräuche der eigenen Liegenschaften zu erfassen, regelmäßig zu überprüfen, Fehlentwicklungen zu erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Ebenfalls kann durch das Energiemanagement die Wirksamkeit von Effizienzmaßnahmen überprüft und gegebenenfalls nachgesteuert werden. In Langenzenn könnte dies folgende Gebäude umfassen:

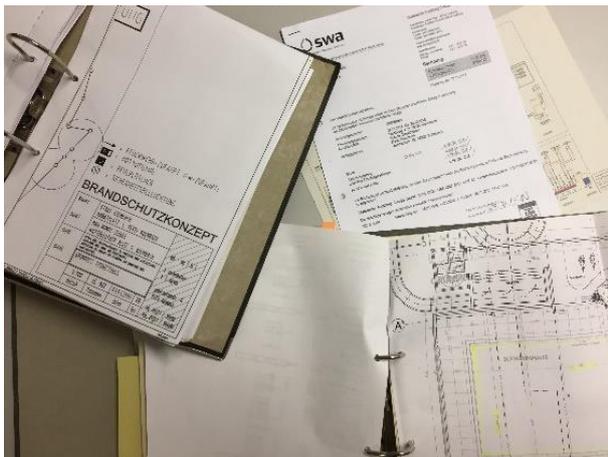
- Rathaus/Stadtverwaltung, Friedrich-Ebert-Str. 7
- Altes Rathaus, Prinzregentenplatz 1
- Mittelschule, Klaushofer Weg 4
- Grundschule, Klaushofer Weg 2
- Kindergarten, Thüringer Str. 8
- Kinderkrippe, Thüringer Str. 8a
- Kinderhort, Obere Ringstr. 15/17
- Bücherei, Rosenstr. 10
- Kinderhort/Krippe, Klaushofer Weg 1
- Feuerwehr neu, Kapell-Leite 12
- Bauhof, Gewerbestr. 8
- Stadthalle, Pfaffenleite
- Kulturhof, Hindenburgstr. 32

Das Kommunale Energiemanagement umfasst im Wesentlichen folgende Bestandteile:

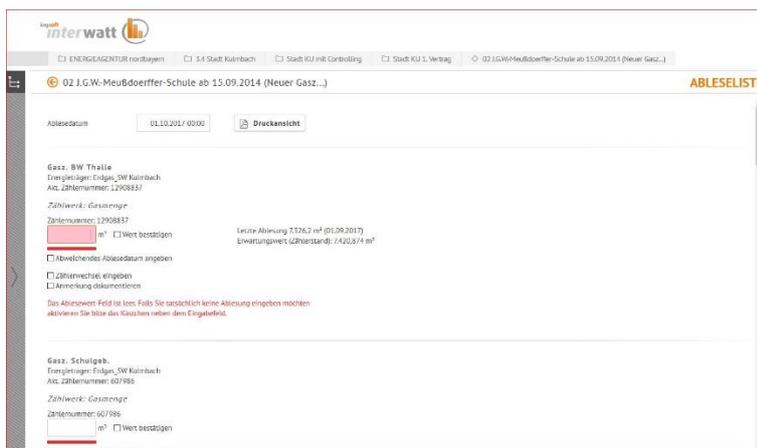
Abbildung 152: Gebäudebestandsaufnahme



Bei den Liegenschaftsbegehungen werden im 1. Schritt sämtliche Zähler, das Gebäude an sich und die Gebäudetechnik dokumentiert.

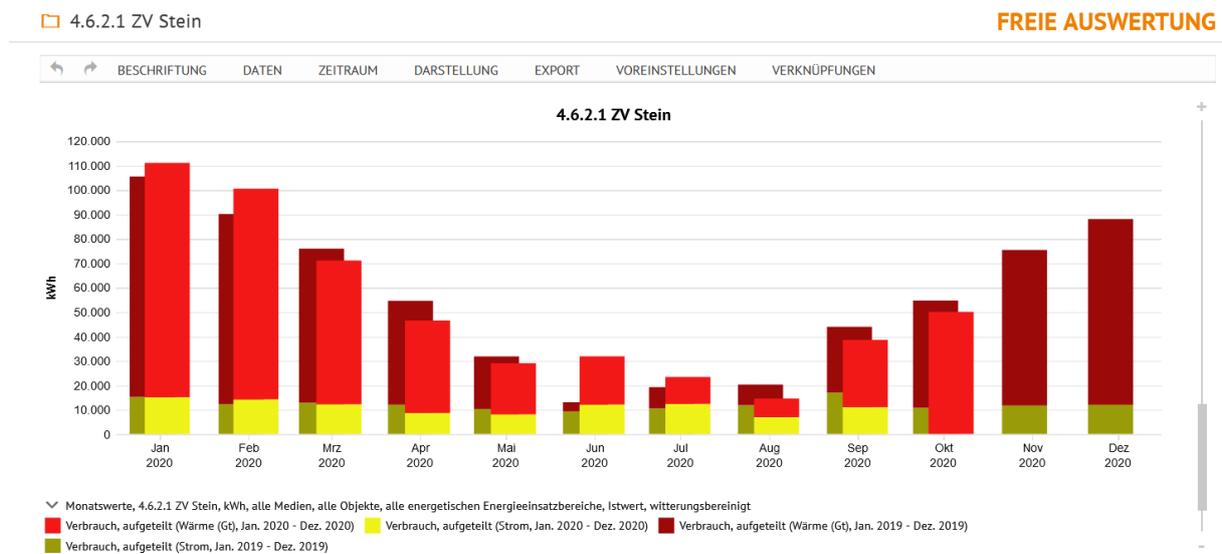
Abbildung 153: Erfassen und eingeben weiterer Daten

Die Daten aus der Gebäudebegehung, Flächenangaben und Rechnungen werden in eine spezielle Software für Energiemanagement eingegeben. Üblicherweise versucht man Referenzwerte zu bilden. Es empfiehlt sich daher, auch Rechnungen bzw. Verbräuche der vergangenen Jahre einzugeben.

Abbildung 154: Monatliches Erfassen der Verbräuche

Zum Erfassen der monatlichen Verbräuche gibt es verschiedene Möglichkeiten. Sehr komfortabel ist das automatische Erfassen der Verbräuche über digitale und vernetzte Zähler. Dies setzt allerdings moderne und vernetzte Zähleinrichtungen voraus. Im Rathaus von Langenzenn ist bereits eine Gebäudeleittechnik installiert, wodurch ein automatisches Datenloggen relativ einfach umzusetzen ist. In anderen Liegenschaften bietet es sich eher an, die Verbräuche einmal im Monat per Hand abzulesen. Diese Werte können dann direkt (am PC oder mit einer Handy-App) in eine Maske der Software eingegeben werden.

Abbildung 155: Beispielauswertung für Wärme und Strom



Sind die nötigen Parameter und Daten in der Management Software angelegt, erfolgen monatliche Auswertungen. In der Beispielauswertung werden Stromverbrauch (gelb) und Wärmeverbrauch (rot) pro Monat in einen Balken angezeigt. Auffälligkeiten wie hier im Juni 2020 müssen hinterfragt und nachverfolgt werden.

Abbildung 156: Beispielfoto für weitere Begehungen / Durchsprachen



Grundsätzlich ist es wichtig, dass es regelmäßige Durchsprachen mit der Verwaltung sowie Gebäudebegehungen stattfinden.

Zu behandelnde Themen können z.B. sein:

- Überdimensionierte Heizungsanlagen
- Falsche Reglereinstellungen
- Veraltete Pumpen
- Hydraulikfehler
- Nutzung Erneuerbarer Energien in unzureichendem Maß und wenn nur bedingt funktionsfähig
- WW-Bereitung im Übermaß
- Beleuchtungen veraltet
- Installation von Photovoltaikanlagen
- Maßnahmen an der Gebäudehülle
- Vorort Einweisung / Schulung auf bestimmten Techniken
- usw.

Abbildung 157: Beispielfoto Nutzerschulung



Die Schulung für Hausmeister, Nutzer und Verantwortliche der Liegenschaften setzt dort an, wo der klassische Arbeitsbereich aufhört und stellt das Bindeglied zum Energiemanagement her. So besteht die Möglichkeit, die Effizienz der Gebäude deutlich zu verbessern.

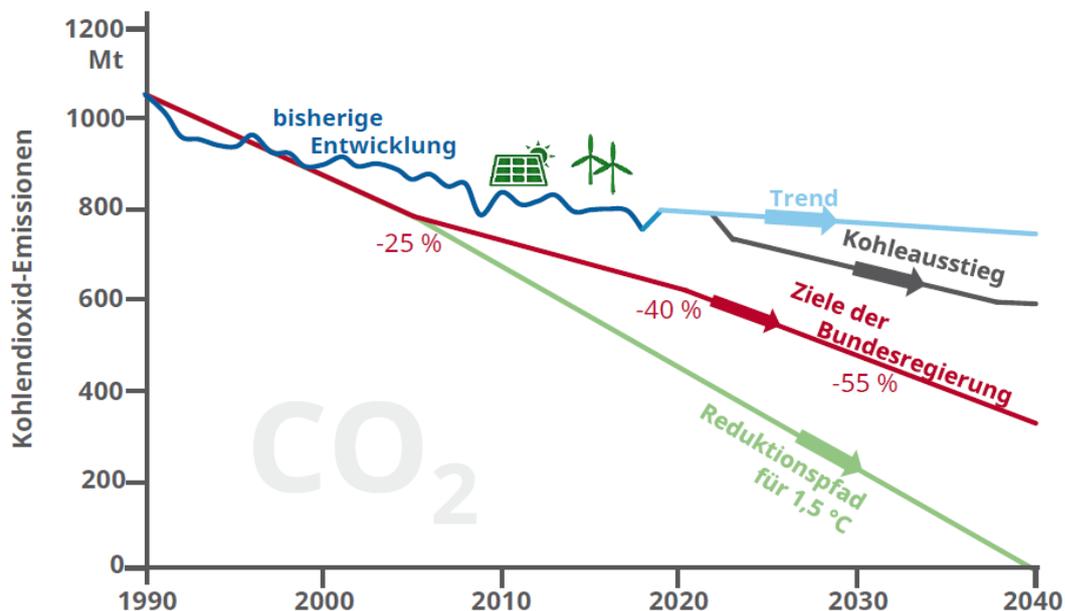
4 Kläranlage

Im Folgenden wird eine Voruntersuchung für ein Wärmenetz für ein geplantes Neubaugebiet durchgeführt. Darauf aufbauend wird die mögliche Anbindung des Neubaugebietes an das neu geplante Schulzentrum untersucht.

4.1 Zielsetzung

Die Treibhausgasreduzierung für den Klimaschutz ist eine der Herausforderungen unserer Zeit. Der aktuelle Trend zeigt, dass das **6-fache Tempo** bei der Treibhausgas-Reduzierung für die Zielerreichung erforderlich ist (siehe Abbildung 158).

Abbildung 158: Trend und Ziele der Treibhausgas-Reduzierung



Quelle: Prof. Dr. Volker Quasching: Klimaschutz in der Sackgasse – Bedrohung und Wege in eine neue Energiewelt

Politik und Wissenschaft haben die **Abwasserreinigung** und die **Kläranlagen** als einen **Baustein der Energiewende** identifiziert. Die Einbeziehung wasserwirtschaftlicher Anlagen in regionale Energiekonzepte hat durch die von der Bundesregierung beschlossene Energiewende eine noch größere Bedeutung erlangt⁹.

Wenn die Abwasserreinigung und die Kläranlagen der Zukunft nachfolgend aufgeführte Ziele erreichen, leisten sie damit einen erheblichen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz.

- Emissionen der Abwasserreinigung gelangen nicht als Treibhausgas in die Atmosphäre.
- Kohlenstofffracht des Abwassers wird bestmöglich für die Energieversorgung genutzt.

⁹ Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Förderung von Forschungsvorhaben auf dem Gebiet "Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft" (ERWAS) des Förderschwerpunktes "Nachhaltiges Wassermanagement - NaWaM" im Rahmen des Förderprogramms "Forschung für nachhaltige Entwicklungen - FONA", <http://www.bmbf.de/foerderungen/18326.php>, aufgerufen am 11.04.2012

- Kläranlagen versorgen sich zu 100% selbst mit Strom und stellen überschüssige Energie anderen Sektoren zur Verfügung.
- Kläranlagen sind ein Baustein der nachhaltigen ökologischen Energieversorgung.

Im Rahmen der zu erarbeitenden Energiestrategie werden die Kläranlage und regionale, allianzübergreifende Potentiale zur Reduzierung von klimaschädlichen Emissionen analysiert. Darauf aufbauend werden innovative Konzepte, die sich an zuvor benannten Zeilen orientieren, vorgestellt.

In diesem ersten Schritt liegt der Fokus auf der Fragestellung:

Wie leisten wir den größten Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz?

Einige Ansätze sind unter den aktuellen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich umsetzbar. Daher muss die Politik in einem nächsten Schritt die Rahmenbedingungen gestalten, damit die als nachhaltig bewerteten Konzepte wirtschaftlich umgesetzt werden können.

4.2 Potentialanalyse und Konzepte

Die Kläranlage ist in Langenzenn einer der größte Energieverbraucher und Erzeuger von speicherbarer Erneuerbarer Energie (EE). Weiterhin produziert die Kläranlage mit dem Klärschlamm erhebliche Abfallmengen mit hohem Kohlenstoffgehalt, der energetisch genutzt werden kann.

Die SBR-Kläranlage in Langenzenn wurde 2001 in der aktuellen Ausbaustufe in Betrieb genommen. 2019 wurden zwei neue Gebläse erneuert, mit denen Luft in die Belebung geblasen wird. Der Einbau eines optimierten Propellers im Schlammfaulbehälter, für die Verbesserung der Gasausbeute, ist geplant. Der Klärschlamm wird ohne maschinelle Voreindickung im Faulturm ca. 20 Tage gefault und stabilisiert. Nach der maschinellen Entwässerung wird der Klärschlamm einer thermischen Verwertung über das Entsorgungsunternehmen Südwasser zugeführt.

Aus dem in der Schlammfaulung erzeugten Klärgas und Erdgas wird mittels BHKW's Strom und Wärme für die Eigenversorgung bereitgestellt. 2020 werden die BHKW's erneuert. Eine 28 kWp-PV-Anlage ist auf dem Dach des Betriebsgebäudes installiert, die von den Stadtwerken betrieben wird.

4.2.1 Übersicht über Effizienzpotentiale

In Tabelle 5 sind Effizienzpotentiale, die bei Konzepten für die Kläranlage Langenzenn Berücksichtigung finden könnten, zusammengestellt. Sie sind gegliedert nach den Handlungsfeldern des Bayerischen Aktionsprogrammes Energie¹⁰.

Tabelle 5: Effizienzpotentiale Kläranlage Langenzenn

Handlungsfeld	Potential KA Langenzenn
Solarenergie	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gebäudeheizung ✓ Stromerzeugung
Wasserkraft	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pumpspeicherkonzepte bei SBR-Anlagen ✗ Nutzung von geodätischen Höhenunterschieden im Kanalnetz, in der Kläranlage und zwischen Kläranlage und Auslauf
Bioenergie	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Schlammfäulung mit Klärgaserzeugung ✓ Biogas-Erzeugung (Co-Vergärung) ✓ Biologische Methanisierung ✓ Klärschlammverwertung
Windenergie	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Stromerzeugung durch Micro-Windanlagen auf Dächern und Freiflächen ✓ in der Region
Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gebäudeheizung, ✓ Klärschlammwärmerzeugung in der Schlammfäulung, ✓ Klärschlammwässerung und -trocknung ✓ Einspeisung in Fernwärme- und Kältenetze
Versorgungssicherheit, Netze, Flexibilitäten und Sektorenkopplung	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Energiespeicherung ✓ Ausgleich von Netzschwankungen <p>Bereitstellung von regenerativ erzeugter Energie in</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Stromnetz, ✓ Wärmenetz ○ Kältenetz
Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Abwärme aus Gasverstromung, Elektrolyse und Klärschlammverwertung mit den Handlungsoptionen siehe Geothermie
Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Speicherung von überschüssigem regenerativ erzeugtem Strom als Wasserstoff oder Kohlenwasserstoff (Power-to-X) ✓ Bereitstellung von regenerativen Energieträgern für Mobilität und Industrieanwendungen
Energieeffizienz im Gebäudebereich und bei Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reduzierung des Energiebedarfs und -verbrauchs ✓ Nutzung von regenerativ erzeugter Energie durch Eigenerzeugung, Nutzung aus Wärme- und Kältenetzen sowie Sektorenkopplung
Energieforschung	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entwicklung und Einführung von innovativen Technologien und Konzepten

Legende:
 ✓ Potential vorhanden
 ○ Potential unter aktuellen Randbedingungen als nicht in ein Konzept implementierbar bewertet
 ✗ kein Potential vorhanden

Quelle: eigene Darstellung

¹⁰ Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. (November 2019). Bayerisches Aktionsprogramm Energie. München, Bayern. abgerufen am 04. Januar 2020 von <https://www.bestellen.bayern.de/>

Viele der Potentiale in den Handlungsfeldern können einen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten, sind aber nicht wirtschaftlich in Konzepten der Abwasserwirtschaft umsetzbar. Im Nachfolgenden wird auf die Potentiale mit großer Wirkung für die zuvor benannten Ziele eingegangen.

4.2.2 Kennwerte der Kläranlage Langenzenn

Aus den Betriebsdaten der Jahre 2016 – 2018 der Kläranlage Langenzenn wurden die Kennwerte des Energiechecks nach DWA-Arbeitsblatt A-216¹¹ ermittelt (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Kläranlage Langenzenn, Betriebsdatenauswertung der Jahre 2016 bis 2018 und ermittelte Kennwerte des Energiechecks nach DWA-Arbeitsblatt A 216

		2016	2017	2018
Betriebsdaten aus Jahresberichten				
Ausbaugröße Kläranlage	[$EW_{60, BSB5}$]	20.000	20.000	20.000
Angeschlossene Einwohner	[EZ]	10.933	10.951	10.996
Einwohner bezogen auf BSB-Belastung (60g/(E-d))	[EW_{60}]	16.540	16.602	15.038
Zulauf fracht BSB ₅ i.M.	[kg/d]	992	996	902
Zulauf fracht CSB i.M.	[kg/d]	1.303	1.271	1.200
Faulgasanfall	[Nm ³]	98.044	95.594	82.708
Erdgasverbrauch	[Nm ³]	17.691	19.506	22.761
Stromverbrauch gesamt, E_{ges}	[kWh/a]	509.099	503.367	499.668
Stromerzeugung BHKW, $E_{KWK,el}$	[kWh/a]	272.299	262.567	197.668
Stromerzeugung BHKW, $E_{PV,el}$ (Fremdbetreiber)	[kWh/a]	27.259	27.683	30.693
Stromverbrauch, Netzbezug	[kWh/a]	236.800	240.800	302.000
spez. Gesamtstromverbrauch der Anlage (bezogen auf den Einwohnerwert $EW_{60, BSB5}$)	[kWh/($EW_{BSB5} * a$)]	32,7	30,3	33,2
Kennwerte Energiecheck nach DWA-A 216				
Einwohner bezogen auf CSB-Belastung (120g/(E-d))	[EW_{CSB}]	10.867	10.592	10.000
spez. Gesamtstromverbrauch der Anlage e_{ges} (bezogen auf den Einwohnerwert EW_{CSB}),	[kWh/($EW_{CSB} * a$)]	47	48	50
Eigenversorgungsgrad Elektrizität nur BHKW, $EV_{el, BHKW}$	[%]	53,5	52,2	39,6
Eigenversorgungsgrad Elektrizität mit PV, EV_{el}	[%]	58,8	57,7	45,7
spez. Faulgasanfall (bezogen auf den Einwohnerwert EW_{CSB})	[l/($EW_{CSB} * d$)]	25	25	23

Quelle: eigene Darstellung

¹¹ DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: Arbeitsblatt DWA-A 216 „Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“, Dezember 2015, Hennef

4.2.3 Auslastung der Kläranlage Langenzenn

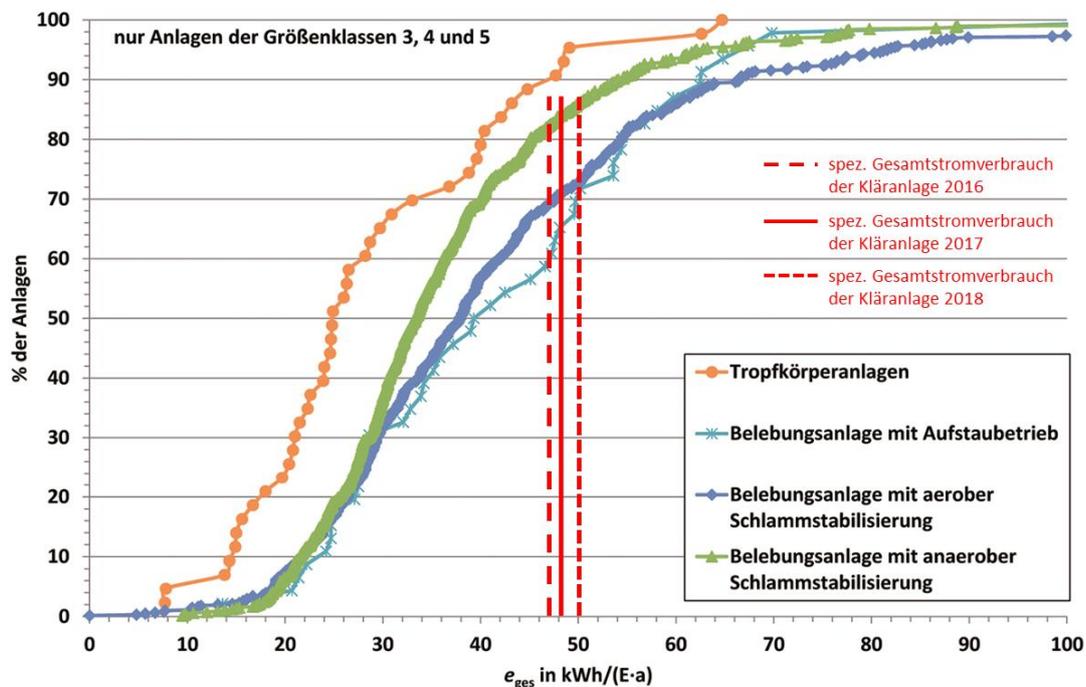
2016 bis 2018 lag die Auslastung der Kläranlage zwischen 15.000 EW (75 %) und 16.600 EW (83 %) angeschlossenen Einwohnergleichwerten ($EW_{60,BSB5}$), Tendenz fallend.

Als Ersteinschätzung kann gefolgert werden, dass die Kläranlage Langenzenn freie Kapazitäten hat und Abwässer von 4.000 – 5.000 Einwohnergleichwerten aus der Region mit behandeln könnte.

4.2.4 Energieverbrauch der Kläranlage Langenzenn

In den Jahren 2016 bis 2018 lag der spezifische Energieverbrauch der Kläranlage Langenzenn zwischen 47 und 50 kWh pro Einwohnergleichwert (EW_{CSB}) und Jahr. Im Vergleich mit der DWA-Referenz haben 60% bis 70% der Kläranlagen mit Aufstaubetrieb einen geringeren spezifischen Energieverbrauch (siehe Abbildung 159).

Abbildung 159: spezifischer Energieverbrauch bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte EW_{CSB} der Kläranlage Langenzenn 2016-2018 im Vergleich mit DWA-Referenz



Quelle: Betriebsdatenauswertung der Jahresbeichte 2016-2018, Grafik eigene Darstellung, Hintergrund-Diagramm aus DWA A-216

Die Ersteinschätzung auf Grundlage von Abbildung 159 ergibt, dass **Energie-Effizienz-Potential in der Abwasserreinigung** der Kläranlage Langenzenn **vorhanden** ist.

Bei der Anlagenbegehung mit Klärwerksleiter Hr. Sand wurden folgende Potentiale identifiziert:

- Einsatz von Sauerstoff anstatt Luft für die Belüftung der Belebung (Potential 78% geringeres Volumen = Energieeinsparung, Synergieeffekte mit biologischer Methanisierung, H₂-Energiespeicherung und H₂-Mobilität)
- Energieeffiziente Pumpen und Motoren (Potential bis zu 3% pro Aggregat, Fördermöglichkeit über die Kommunalrichtlinie)

4.2.5 Eigenenergieversorgung der Kläranlage Langenzenn

Wärme

Das Ingenieurbüro Miller hat bei der Planung der BHKW-Erneuerung¹² einen Grad der *Eigenversorgung Wärme* von 99,6 % und einen Wärmeüberschuss von 160.000 kWh in den Sommermonaten bilanziert. Die Wärme wird wie folgt bereitgestellt:

- 81% BHKW – Klärgas,
- 18% BHKW – Erdgas und
- 0,4% Heizkessel – Erdgas.

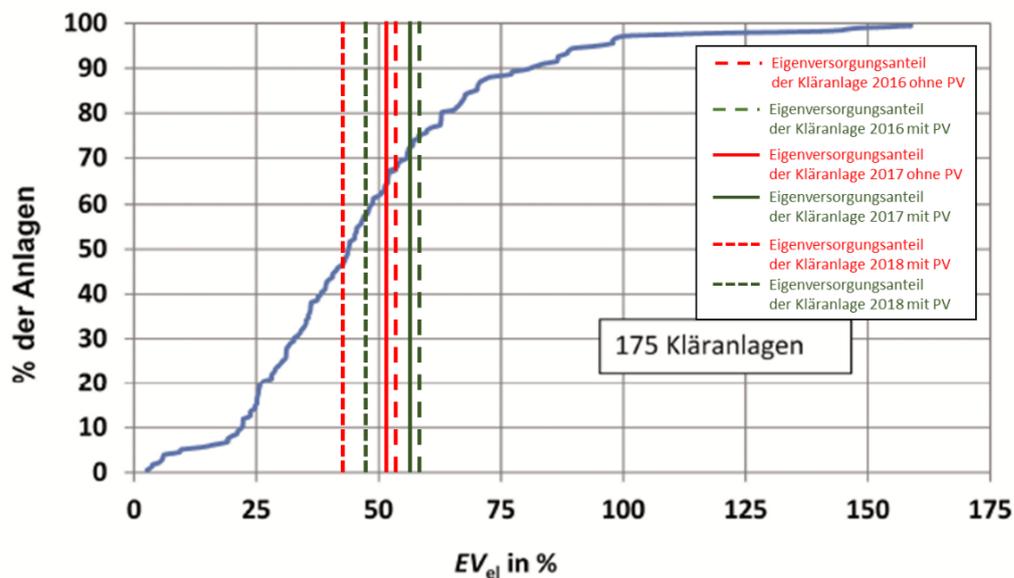
Die Ersteinschätzung ergibt, dass die Kläranlage Langenzenn die benötigte Wärme nahezu vollständig regenerativ erzeugt. **Potential hinsichtlich Reduzierung der Treibhausgasemissionen** besteht durch die **Substitution von Erdgas**.

Strom

Für die Ersteinschätzung Eigenversorgung Strom werden der *Grad der Eigenversorgung* und der spezifische Faulgasanfall pro Einwohnergleichwert EW_{CSB} mit den DWA-Referenzen aus dem Merkblatt DWA A-216 verglichen.

Die Kläranlage Langenzenn hat 2016 - 2018 zwischen 40% und 54% des benötigten Stroms mit BHKW's aus Klärgas und Erdgas erzeugt (siehe Abbildung 160). Wird die Stromerzeugung aus der PV-Anlage auf dem Betriebsgebäude mit einbezogen, lag der Eigenversorgungsgrad ca. 5 % höher zwischen 46% und 59%.

Abbildung 160: spezifischer Faulgasanfall bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte EW_{CSB} der Kläranlage Langenzenn 2016-2018 im Vergleich DWA-Referenz



Quelle: Betriebsdatenauswertung der Jahresberichte 2016-2018, Grafik eigene Darstellung, Hintergrund-Diagramm aus DWA A-216

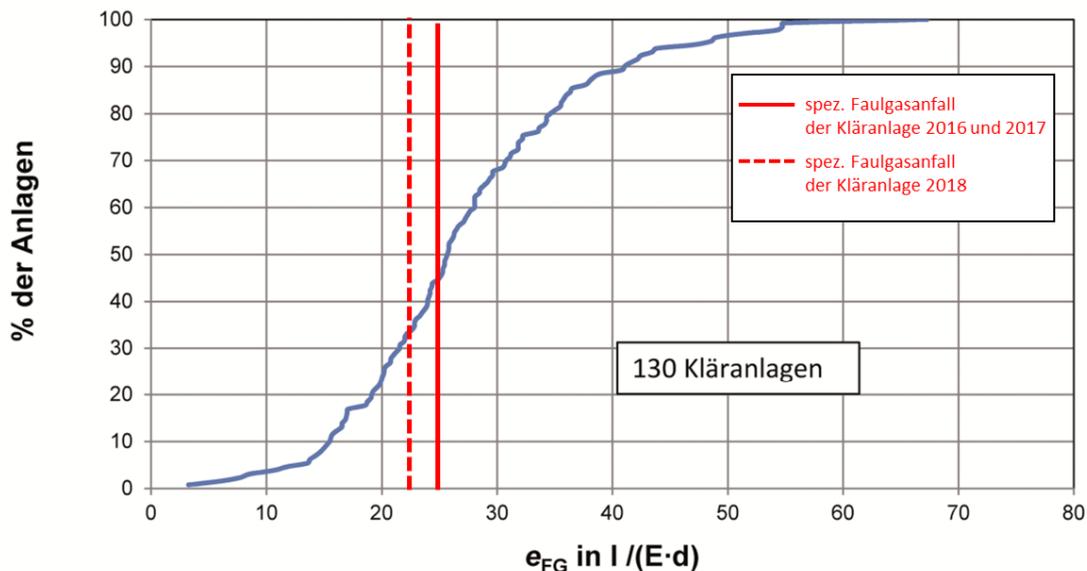
¹² Ingenieurbüro Miller: Kläranlage Langenzenn - Ertüchtigung der Gasverwertung, Vorentwurf vom 26.10.2018

Im Vergleich mit den 175 Kläranlagen der DWA-Referenz liegt die Kläranlage Langenzenn bei der Eigenversorgung Strom im oberen Mittelfeld.

Klärgasverwertung

In den Jahren 2016 – 2018 wurden zwischen 98.000 und 82.700 Nm³ Klärgas pro Jahr erzeugt. Mit 23 - 25 Liter Klärgas pro Einwohnergleichwert EW_{CSB} und Jahr liegt die Kläranlage Langenzenn im Vergleich mit den 130 Kläranlagen der DWA-Referenz im unteren Mittelfeld (siehe Abbildung 161).

Abbildung 161: spezifischer Faulgasanfall bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte EW_{CSB} der Kläranlage Langenzenn 2016-2018 im Vergleich DWA-Referenz



Quelle: Betriebsdatenauswertung der Jahresbeichte 2016-2018, Grafik eigene Darstellung, Hintergrund-Diagramm aus DWA A-216

Die Ersteinschätzung zum Klärgasanfall auf Grundlage von Abbildung 161 ergibt, dass **Optimierungspotential bei der Klärgaserzeugung** auf der Kläranlage Langenzenn **vorhanden** ist.

Die Faulgaserzeugung und die Eigenversorgung Strom können erhöht werden durch

- Steigerung des spezifischen Gasertrages u.a. durch
 - o zweistufige Faulung (Potential bis zu 10% Gasmehrertrag)
 - o Desintegration (Potential bis zu 20% Gasmehrertrag)
 - o Innovative Verfahrenstechnik, u.a. durch (Fördermöglichkeit in Forschungs- und Innovationsprojekten)
 - biologische Methanisierung
 - PEGA_{KA}-Verfahren
- Erhöhung der Schlammmenge – zentrale Schlammfäulung für die Region (Fördermöglichkeit über die Kommunalrichtlinie)

PV-Anlagen

Auf dem Gelände der Kläranlage besteht Potential für die Errichtung von PV-Anlagen auf Gebäuden und Freiflächen.

Abbildung 162: Potential PV-Anlagen auf dem Gelände der Kläranlage Langenzenn



Quelle: eigene Darstellung, Hintergrundbild -

Bei Nutzung aller verfügbaren Flächen, wie beispielhaft in Abbildung 162 dargestellt, könnten PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 660 kWp auf dem Klärwerksgelände errichtet werden. Bei einem ortsüblichen Ertrag von 900 kWh/kWp könnten 600.000 kWh/Jahr erzeugt werden. Dies entspricht dem 1,2-fachen des jährlichen Stromverbrauchs der Kläranlage.

Tabelle 7: Zusammenstellung Potential PV-Anlagen auf dem Gelände der Kläranlage Langenzenn

Ort	Reihen	Anzahl pro Reihe	Summe PV-Module	Leistung pro Reihe	Leistung für alle Reihen dieser Fläche	Ertrag pro Jahr
Freifläche Nord 1	6	90 Stck.	540 Stck.	23,4 kWp	140,4 kWp	126.360 kWh
Freifläche Nord 2	8	90 Stck.	720 Stck.	23,4 kWp	187,2 kWp	168.480 kWh
Freifläche Süd 1	3	150 Stck.	450 Stck.	39,0 kWp	117,0 kWp	105.300 kWh
Freifläche Süd 2	4	90 Stck.	360 Stck.	23,4 kWp	93,6 kWp	84.240 kWh
Betriebsgebäude	1	100 Stck.	100 Stck.	26,0 kWp	26,0 kWp	23.400 kWh
Überdachung Regenüberlaufbecken	2	90 Stck.	180 Stck.	23,4 kWp	46,8 kWp	42.120 kWh

Überdachter Park- platz	1	45 Stck.	45 Stck.	11,7 kWp	11,7 kWp	10.530 kWh
Garage	1	15 Stck.	15 Stck.	3,9 kWp	3,9 kWp	3.510 kWh
Messstation	1	15 Stck.	15 Stck.	3,9 kWp	3,9 kWp	3.510 kWh
Schleppdach	3	45 Stck.	135 Stck.	11,7 kWp	35,1 kWp	31.590 kWh
Summe					665,6 kWp	599.040 kWh

Quelle: eigene Darstellung

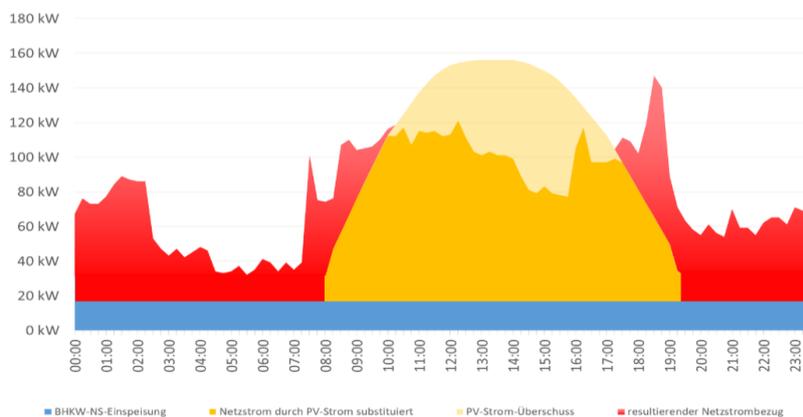
Für die Steigerung der Eigenversorgung können mit größeren PV-Anlagen folgende zusätzliche Energiespeicher kombiniert werden:

- Klärgas-Speicher,
- Batterie-Speicher für die Kurzzeitspeicherung von Strom und
- Wasserstoff bzw. synthetisch erzeugtes Methan als Langzeitspeicher.

Nutzung volatiler Erneuerbarer Energien (EE)

Bei den aktuell üblichen Stromversorgungskonzepten auf Kläranlagen deckt das BHKW eine Grundlast, die PV-Anlage substituiert am Tag benötigten Netzstrom (teilweise oder vollständig) und der PV-Überschuss wird ins Netz eingespeist (beispielhafte Tagesganglinie siehe Abbildung 163).

Abbildung 163: Beispiel einer Tagesganglinie des Stromverbrauchs einer Kläranlage mit konstanter BHKW-Grundlast und PV-Anlage

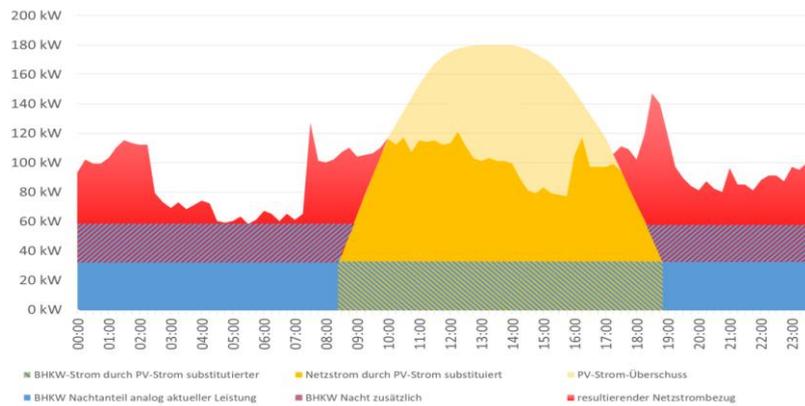


Quelle: eigene Darstellung

Bei innovativen Konzepten mit Ausrichtung auf die optimale Nutzung Erneuerbaren Energien wird die Klärgasverstromung in Abhängigkeit von verfügbaren volatilen Erneuerbaren Energien (PV- und Windstrom) gesteuert.

Das Potential wird anhand einer beispielhaften Tagesganglinie aufgezeigt. Die gelb-blau-schraffierte Fläche ist der PV-Strom-Anteil, der tagsüber anstatt Klärgas-Strom genutzt wird. Der rot-blau-schraffierte Stromanteil kann aus dem tagsüber eingesparten Klärgas erzeugt werden.

Abbildung 164: Beispiel einer Tagesganglinie des Stromverbrauchs einer Kläranlage mit an die PV-Strom-Produktion angepasster Klärgasverstromung



Quelle: eigene Darstellung

4.2.6 Klimawirksame Emissionen im Abwasserreinigungsprozess

Der Energienutzungsplan unterstützt Kommunen Maßnahmen zu identifizieren, die zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen führen. Die Abwasserreinigung verursacht Treibhausgasemissionen

- bei Anlagenerrichtung, Umbau, Rückbau (Transporte, Baugerätemissionen, Baustoffe, etc.),
- durch die Nutzung von für den Anlagenbetrieb,
- als Abbauprodukte im Reinigungsprozesses (Emission von Methan- und Lachgas),
- Betriebsmittel: Strom, Wärme, Flockungshilfsmittel, Fällmittel etc. und
- Reststoffverwertung (Faulungsprozesse, Transporte, thermische Verwertungsprozesse, Hilfsstoffe, etc.).

Lachgas und Methan haben ein vielfach höheres Treibhausgaspotential wie Kohlendioxid (siehe Tabelle 8). Kleine Mengen an Methan oder Lachgas haben bereits eine erhebliche Auswirkung auf die klimawirksamen Emissionen einer Kläranlage.

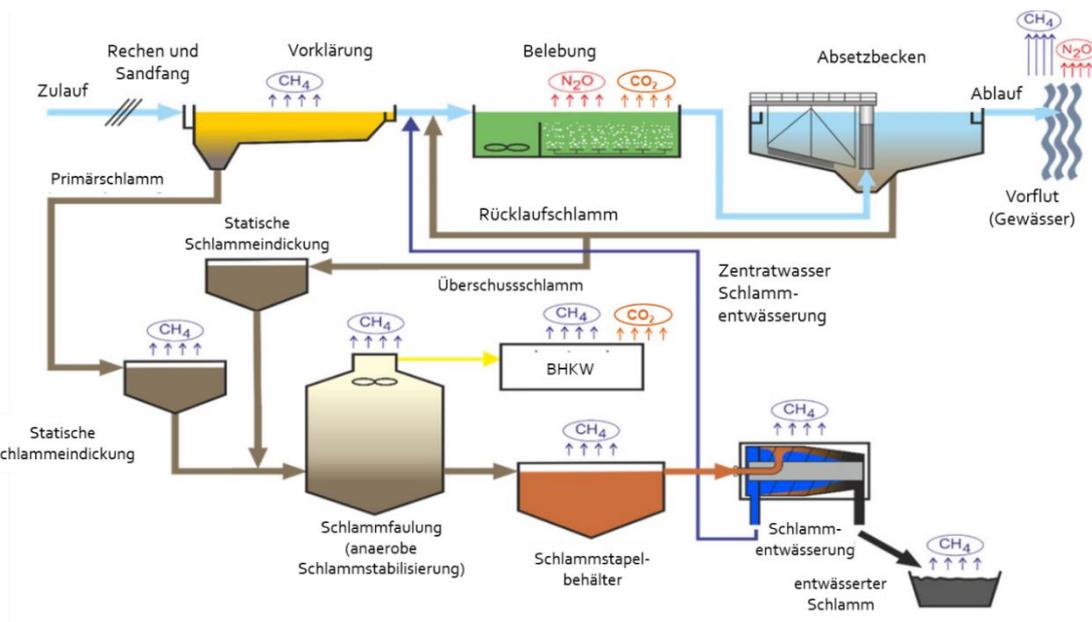
Tabelle 8: Treibhausgaspotential in der Abwasserreinigung emittierter Gase

Bezeichnung		Treibhausgaspotential relativ zu CO ₂ [g CO ₂ -eq/ g Gas] (bezogen auf 20 Jahre)	Verweilzeit in der Atmosphäre [Jahre]
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1	50- 200
Methan	CH ₄	25	12
Distickstoffmonoxid (Lachgas)	N ₂ O	264	114

Quelle: Myhre et.al.¹³,

¹³ G. Myhre, D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nalajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura, H. Zhang et al.: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Hrsg.: Intergovernmental Panel on Climate Change. 30. September 2013, Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, S. Table 8.1.A, Seiten 8–88 bis 8–99 (climatechange2013.org; abgerufen am 03. 03 2019]

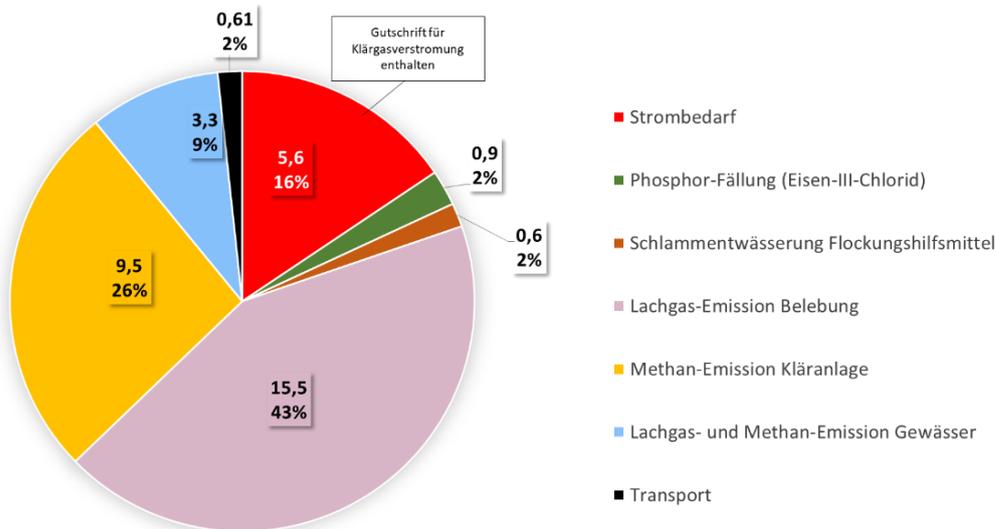
Abbildung 165: Treibhausgasemissionen im Abwasserreinigungsprozess mit Schlammfäulung



Quelle: Parravicini et.al.¹⁴, überarbeitete Darstellung

Zur Verdeutlichung wird auf aktuelle Forschungsergebnisse zurückgegriffen, die das mögliche **Potential zur Vermeidung klimaschädlicher Emissionen** im Abwasserreinigungsprozess aufzeigen. Das Ergebnis der Untersuchung von Parravicini et.al.¹⁴ 2016 in Österreich zeigt die Verteilung der klimaschädlichen Emission auf Kläranlagen (siehe Abbildung 166).

Abbildung 166: Anteile der Treibhausgasemissionen von Abwasserreinigungsanlagen mit Schlammfäulung – Untersuchungsergebnisse aus einer Studie auf österreichischen Kläranlagen



Quelle: Parravicini et.al.¹⁴, eigene Darstellung

Ein erheblicher Anteil der klimaschädlichen Emissionen wird laut dem Untersuchungsergebnis von Parravicini et.al. durch Lachgas- und Methan verursacht.

¹⁴ Parravicini, V.; Svardal, K.; Krampe, J.: Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants. TU-Wien - Institut for Water Quality, Resources and Waste Management, Energy Procedia 97 (2016) Page 246-253, www.sciencedirect.com

Alle zuvor aufgezeigten Emissionsanteile können durch technische Maßnahmen reduziert werden:

- Strom-/und Wärmeversorgung
 - o Energie-Effizienz-Potentiale
- Lachgas- und Methan-Emissionen der Abwasserreinigung
 - o Prozessbedingungen der Belebung in den Nitrifikations- und Denitrifikationsphasen optimieren u.a. Sauerstoffgehalt, NO_3N -Konzentration, C/N-Verhältnis
 - o Emissionen absaugen und behandeln z.B. Abluft mit Methan-Gas über Zuluft für BHKW's energetisch verwerten,
 - o anderes Bakterium in der Belebung einsetzen, z.B. Comammox,
 - o anderes Reinigungsverfahren z.B. Deammonifikation,
- Lachgas- und Methan-Emissionen im Gewässer
 - o Abwasser auf der Kläranlage besser reinigen
= niedrigere Ablaufwerte
= weniger Emissionen aus den Gewässern

Eine Treibhausgasbilanz für die Kläranlage Langenzenn (auf Basis von Messdaten) wurde bisher nicht erstellt. Die abgedeckten Klärschlammstapelbehälter sind ein Novum und bieten einmalige Rahmenbedingungen für die Quantifizierung und Bilanzierung der Treibgasemissionen. Eine Förderung in Forschungsprojekten ist aktuell erwartbar.

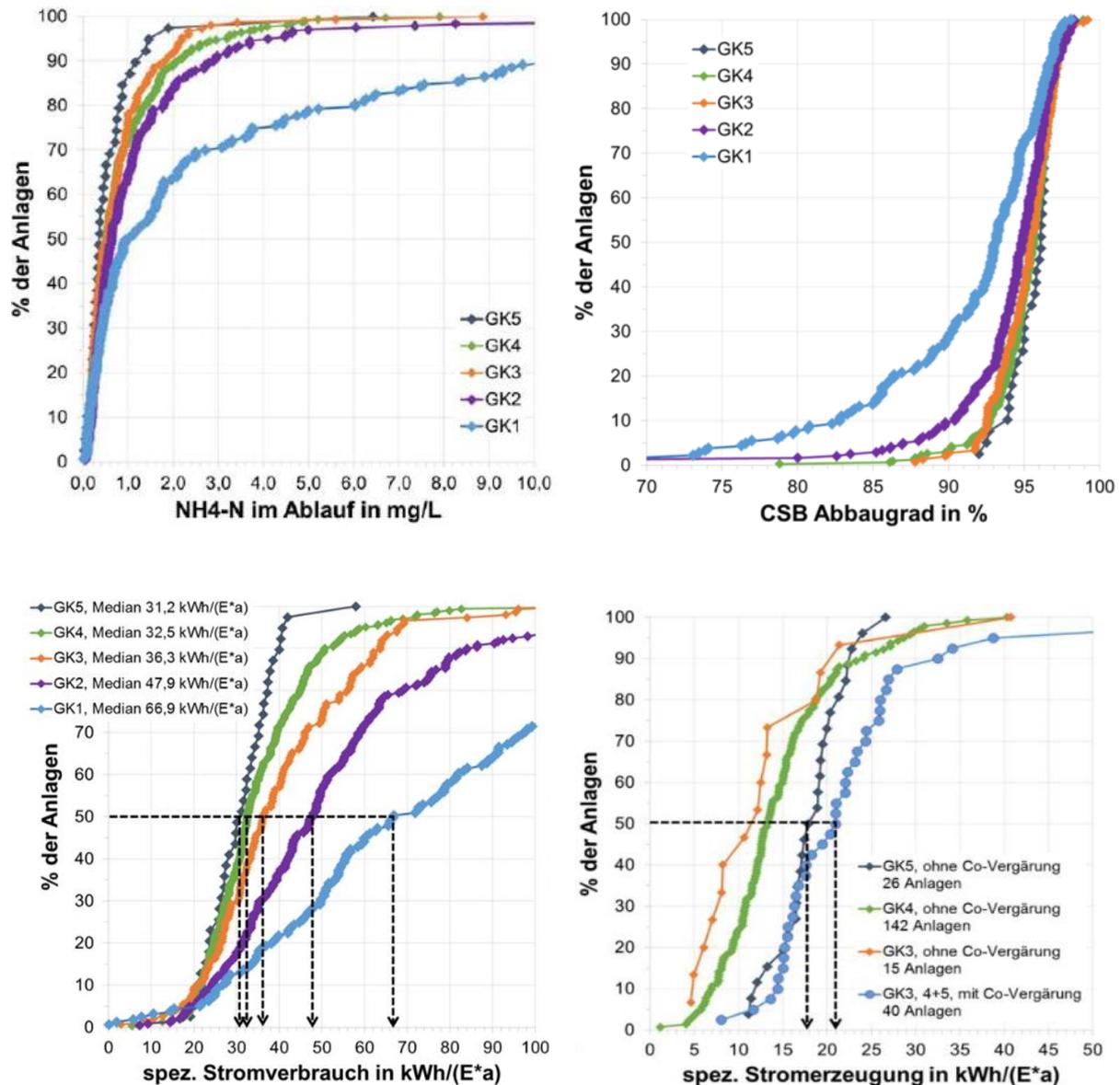
Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) erarbeitet aktuell in der Arbeitsgruppe DWA-AG KA-6.7 „Treibhausgasemissionen bei der Abwasserbehandlung“ ein Merkblatt für die Treibgasbilanzierung¹⁵.

¹⁵<https://detest.dwa.de/de/regelwerksankuendigungen-volltext/treibhausgasemissionen-bei-der-abwasserbehandlung.html>, aufgerufen am 16.03.2020

4.2.7 Abwasserreinigung und Kläranlagen in der Region

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) führt regelmäßig einen Leistungsvergleich von Reinigungsleistung und der Energieeffizienz der Abwasserreinigung durch.

Abbildung 167: Betriebsdatenauswertung von Abwasserreinigungsanlagen im DWA-Leistungsvergleich



Quelle: DWA Landesverband Baden-Württemberg¹⁶

¹⁶ 44. Leistungsvergleich der kommunalen Kläranlagen Baden-Württemberg – Landesergebnisse (2017) © DWA 2018, Landesverband Baden-Württemberg.

[https://www.dwa-bw.de/files/_media/content/PDFs/LV_Baden-Wuerttemberg/Homepage/BW-Dokumente/Homepage 2013/Nachbarschaften/Schwentner_Leistungsvergleich2017 Manuskript \(25.04.18\).pdf](https://www.dwa-bw.de/files/_media/content/PDFs/LV_Baden-Wuerttemberg/Homepage/BW-Dokumente/Homepage%2013/Nachbarschaften/Schwentner_Leistungsvergleich2017%20Manuskript%20(25.04.18).pdf), aufgerufen am 14.03.2019

Aus der Auswertung der Betriebsdaten des DWA-Leistungsvergleiches können folgende allgemeingültige Potentiale abgeleitet werden:

- Größere Kläranlagen reinigen Abwasser besser als kleine Kläranlagen, resultierend werden weniger Klimagase in der Vorflut emittiert.
- Größere Kläranlagen haben einen geringeren spezifischen Energieverbrauch pro Einwohnergleichwert als kleine Kläranlagen
- Größere Kläranlagen erzeugen mehr Energie und haben einen höheren Eigenversorgungsgrad als kleine Kläranlagen

Auf größeren Kläranlagen werden effizientere Technologien genutzt, die besserer Reinigungsleistung, geringeren Energieverbrauch und Eigenstromversorgung über Klärgaserzeugung ermöglichen.

Das Fazit ist: **Je größer die Kläranlagen umso umwelt- und klimafreundlicher** kann die Abwasserreinigung gestaltet werden. Mit der Abwasserüberleitung zu großen Kläranlagen lässt sich **Effizienzpotential mit vorhandenen und lang erprobten Technologien in der Region erschließen**.

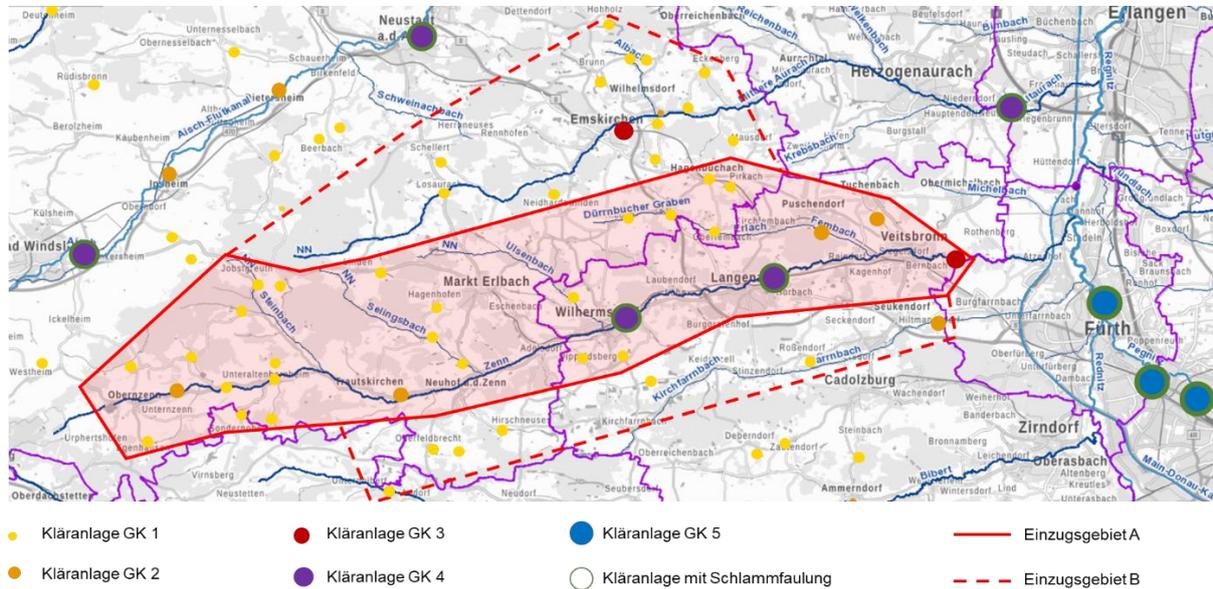
Auf folgende Konzepte für die Erschließung der Effizienzpotentiale wird nachfolgend eingegangen

- Abwasserüberleitung zu großen Kläranlagen,
- zentrale Schlammfäulung und
- regionale zentrale Klärschlammverwertung.

4.2.8 Abwasserüberleitung

In der Region zwischen Herzogenaurach und Bad Windsheim befinden sich ca. 50 Kläranlagen mit einer kumulierten Ausbaugröße von etwas mehr als 200.000 Einwohnerequivalenten (siehe Abbildung 168).

Abbildung 168: Kläranlagen in der Region



Quelle: eigene Darstellung auf Hintergrundkarte des UmweltAtlas Bayern ¹⁷

Größtenteils sind es kleine Kläranlagen der Größenklasse 1 bis 3 mit einer kumulierten Ausbaugröße von ca. 27.000 Einwohnerequivalenten (siehe Tabelle 9). Die größten Kläranlagen (GK 4) sind Herzogenaurach (65.000 EW), Bad Windsheim (50.000 EW), Neustadt a.d.Aisch (32.500 EW), Langenzenn (20.000 EW) und Wilhermsdorf (14.000 EW).

Tabelle 9: Kläranlagen in der Region (Detaillierte Auflistung im Anhang)

Kläranlagen	Größenklasse (GK)	Anzahl	Ausbaugröße kumuliert
GK 1	> 1.000 EW	40	9.700 EW
GK 2	1.000 EW – 5.000 EW	6	14.850 EW
GK 3	5.001 EW – 10.000 EW	2	15.500 EW
GK 4	10.001 EW – 100.000 EW	5	181.500 EW

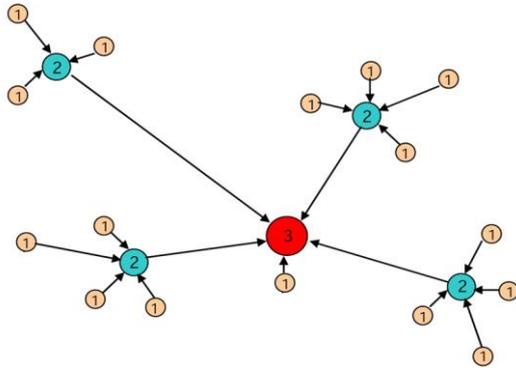
Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage UmweltAtlas Bayern ¹⁷

Eine energieeffiziente Konzeption einer Abwasserüberleitung orientiert sich an der Topographie und folgt möglichst den natürlichen Fließgewässern. In der Region sind dies die Zenn, die Aurach, der Farnbach und die Aisch. Im Einzugsgebiet der Zenn mit Ihren Zuflüssen (Einzugsgebiet A in Abbildung 168) liegen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von ca. 61.000 Einwohnerequivalenten. In den angrenzenden Einzugsgebieten der Aurach und des Farnbachs (Einzugsgebiet B in Abbildung 168) liegen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von ca. 13.500 Einwohnerequivalenten. In Summe ergibt sich in den dargestellten Einzugsgebieten mit 50 Kläranlagen ein Potential von ca. 106.500 Einwohnerequivalenten (kumulierte Ausbaugröße).

¹⁷ © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de, aufgerufen am 07.01.2020

Die größeren Kläranlagen Bad Windsheim, Neustadt und Herzogenaurach liegen zu weit von dem Haupteinzugsgebiet der Zenn entfernt. Das weite Fördern des Abwassers entgegen dem natürlichen Weg des Wassers, würde einen erheblichen Teil der Effizienzpotentiale aufzehren. Daher werden die Kläranlagen Bad Windsheim, Neustadt und Herzogenaurach bei der weiteren Betrachtung zur Abwasserüberleitung nicht einbezogen.

Abbildung 169: Strukturkonzept Abwasserüberleitung

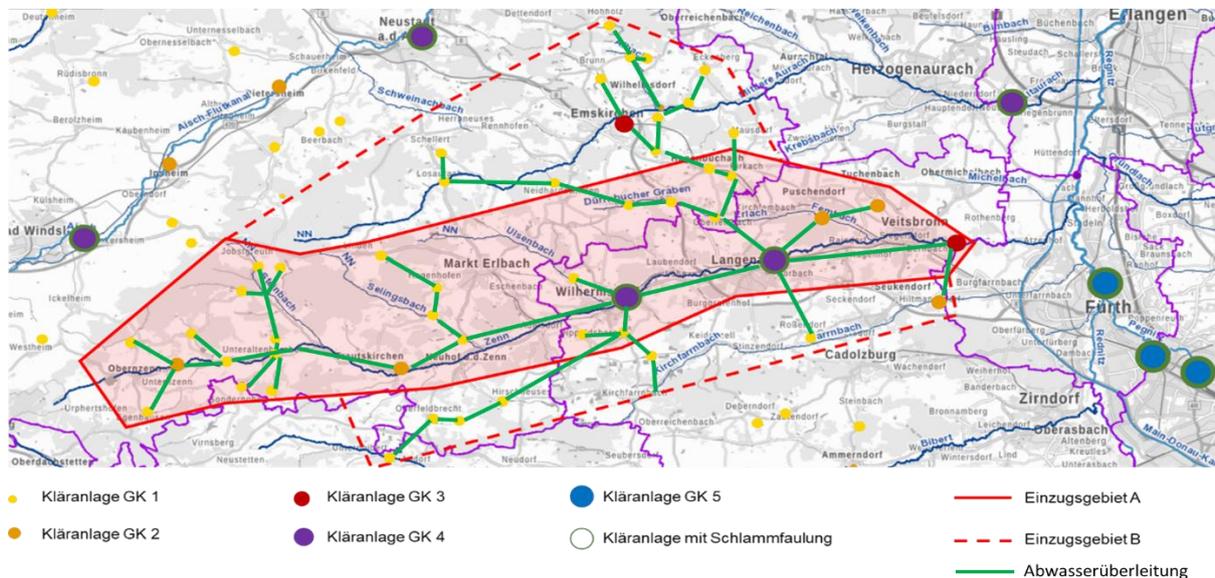


Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt¹⁸:

Werden bestehende Kläranlagen als Sammelpunkte für die Abwasserweiterleitung angenommen (siehe Abbildung 169), kann das in Abbildung 170 dargestellte Verbundnetz skizziert werden.

Langenzenn liegt am unteren Flusslauf der Zenn und auf dem Gelände der Kläranlage sind freie Flächen für eine Anlagenerweiterung vorhanden. Der Standort wäre für eine zentrale Kläranlage sehr gut geeignet. Eine weitere Option wäre die Überleitung des gesamten Abwassers zur Kläranlage Fürth.

Abbildung 170: mögliches Abwasserüberleitungskonzept



Quelle: eigene Darstellung auf Hintergrundkarte des UmweltAtlas Bayern¹⁹

¹⁸ Bayerisches Landesamt für Umwelt: Klärschlamm entsorgung in Bayern – Planungshilfe für Kommunen, Augsburg, Mai 2011

¹⁹ © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de, aufgerufen am 07.01.2020

Die Abwasserüberleitung wird über die RZWas wie folgt gefördert.

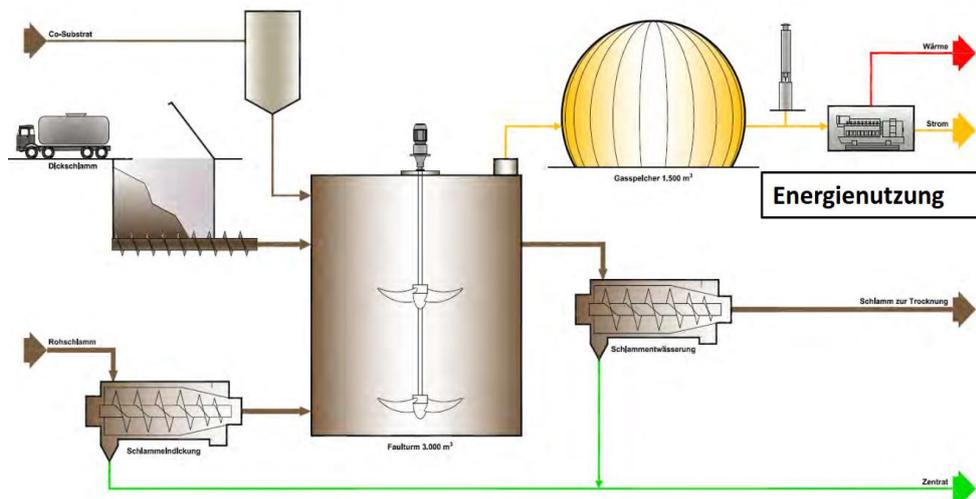
- **Erstmaliger Bau von Verbundkanälen anstelle der Sanierung von Kläranlagen**
 - min. 50% u. max. 90% der Ausgaben
 - 150 EUR pro Meter Abwasserkanal
 - aufnehmender Zweckverband erhält 40 EUR je aufgenommenem Einwohner (max. 100.000 EUR) zzgl. Zuwendung, die die aufgenommene Einrichtung für Sanierungsmaßnahmen erhalten würde
- **Bauliche Sanierung bestehender Kläranlagen, Pumpwerke und Regenbecken**
 - max. 70% der Ausgaben nach Ausführung
 - 250 EUR pro angeschlossenen Einwohner
- **Erstellung von Sanierungs- und Strukturkonzepten**
 - max. 70% der Ausgaben nach Ausführung
 - max. 50.000 EUR
 - 20 EUR je aufgenommenem Einwohner

Das Förderprogramm RZWas wurde am 9. Juli 2020 um 4 Jahre verlängert.²⁰

4.2.9 Zentrale Schlammfäulung

Wenn eine Abwasserüberleitung nicht umsetzbar ist, können Effizienzpotentiale über zentrale Schlammfäulung erschlossen werden. Dabei wird energiereicher Klärschlamm von kleinen Kläranlagen ohne Schlammfäulung bestehenden Schlammfäulungen zugeführt.

Abbildung 171: Praxisbeispiel zentrale Klärschlammverwertung ZWAR Rügen



Quelle: Franck, J²¹

²⁰ <https://bayern.de/glauber-guter-tag-fuer-bayerische-kommunen-erfolgsprojekt-rzwas-wird-ueber-2021-hinaus-fortgesetzt/>

²¹ Franck, J.: Praxisbeispiel dezentrale thermische Klärschlammbehandlung. Seminar Dr. Borm - Dr. Ermel: Dezentrale Klärschlammbehandlung 3. März 2016, https://born-ermel.eu/files/bornermel/uploads/.../Joern_Franck_Therm_KS_Ruegen_.pdf

Auf den kleinen Kläranlagen wird der Energiebedarf durch Installation einer Vorklärung und verringerte Aufenthaltszeit des Schlammes in der Belebung reduziert. Gleichzeitig wird der Energiegehalt des Klärschlammes erhöht.

Für die Potentialanalyse wird als Näherung angenommen, dass Kläranlagen ab Größenklassen 2 eine Vorklärung installiert werden kann. In den in Abbildung 168 dargestellten Einzugsgebieten A+B ergibt sich ein Potential von ca. 65.000 Einwohnerequivalenten (Ausbaugröße) für zentrale Schlammfäulung.

4.2.10 Klärschlammverwertung

Die Klärschlammverwertung wird in drei wesentliche Prozessschritte unterteilt

- Klärschlamm-trocknung,
- Thermische Verwertung und
- Phosphor-Recycling.

Nachfolgend werden die Effizienzpotentiale der Klärschlamm-trocknung und der thermischen Verwertung dargestellt. Das Phosphor-Recycling ist ein nachgelagerter Prozess, der nach aktueller Einschätzung auf regionale Betrachtungen nur einen sehr geringen Einfluss hat. Aktuell besteht die Phosphor-Recycling-Verpflichtung für Kläranlagen größer 50.000 Einwohnerequivalenten. Kleine Kommunen scheuen aktuell nicht abschätzbaren Kosten und tendieren zu Kläranlagen unter 50.000 EWG. Die Verschiebung des Schwellenwertes nach unten wird aktuell bereits diskutiert.

Es wird empfohlen, dass sich die Politik nicht von diesem Schwellenwert bei der Entscheidungsfindung leiten lässt. Zielführender ist, dass die Parlamente die Rahmenbedingung für die Umsetzung von nachhaltigen Konzepten auch für kleine Kommunen wirtschaftlich gestalten.

Klärschlamm-trocknung

Für die Klärschlamm-trocknung werden erhebliche Wärmemengen benötigt. Zielführend ist die Nutzung von überschüssiger Abwärme

- der Klärgas-verstromung,
- der Klärschlamm- und Abfallverwertung
- von Biogasanlagen,
- aus der Industrie,
- aus der Stromerzeugung und -speicherung,
- etc.

Bei der Klärschlamm-trocknung entstehende Brüdenabwässer müssen in den Kläranlagen behandelt werden. Daher werden Kläranlagen mit einer Klärgas-verstromung als optimale Standorte für Klärschlamm-trocknungen erachtet.

Alle Klärschlämme aus Kläranlagen sollten thermisch verwertet werden, damit enthaltenen Schadstoff, Medikamentenrückstände, etc. aus dem Kreislauf entfernt werden. Resultierend ergibt sich ein Teil des Potentials für die Klärschlamm-trocknung aus dem in den Kläranlagen der Region anfallenden Klärschlamm. Zusätzlich kann Klärschlamm außerhalb der Einzugsgebiete A+B angenommen und getrocknet werden. Zusätzliche mitbehandelte Mengen steigern die Wirtschaftlichkeit.

Thermische Klärschlammverwertung

Das Potential bezüglich Klärschlammverwertung kann als analog dem Potential der Trocknung eingeschätzt werden.

Thermische Klärschlammverwertungen werden ab ca. 750 to_{TS} Klärschlamm (ca. 30.000 EWG) realisiert (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Verfahren zur thermischen Klärschlammverwertung

Verfahren	Größenordnung	Anbieter
Monoverbrennung Stationäre Wirbelschicht	2.500 bis 95.000 to _{TS} /a ab 100.000.EW	z.B. Huber, Intec Energy
Pyrolyse	ab 750 to _{TS} /a ab 30.000 EW	z.B. Pyreg, Pyromax, Thermosystems

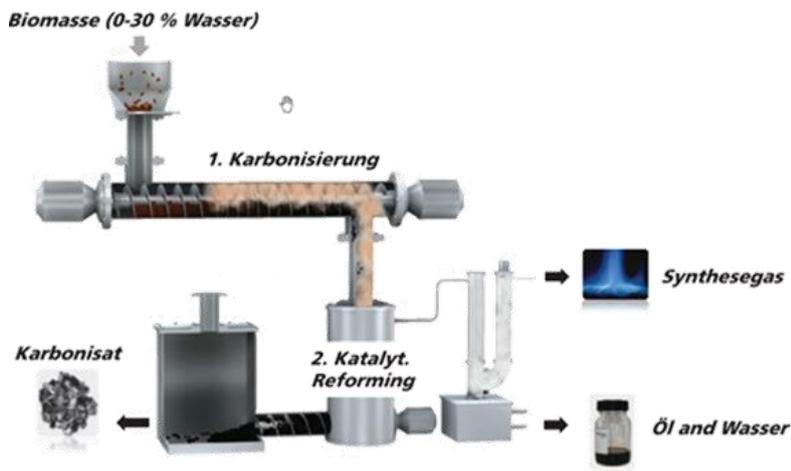
Quelle: eigene Darstellung

Eine Klärschlammverwertung kann auf Kläranlagen ab 30.000 EWG nahezu energieautark betrieben werden, wenn eine kaskadierende Abwärmenutzung in Verbindung mit Klärschlamm-trocknung und Schlammfäulung umgesetzt wird.

Bis zu einer Auswahl einer thermischen Verwertungstechnologie für die Region ist Vorarbeit mit einigem zeitlichen Vorlauf erforderlich. In dieser Zeit werden weitere Verfahrenstechnologien zur Wahl stehen.

Aktuell werden innovative Technologien entwickelt bzw. im Demonstrationsmaßstab erprobt, die in biogenen Reststoffen, z.B. Klärschlamm, enthaltenen Kohlenstoff in synthetische Energieträger umwandeln. Ein Beispiel aus der Region ist das von Fraunhofer UMSICHT in Sulzbach-Rosenberg entwickelte TCR®-Verfahren, bei dem Synthesegas, Öl, Wasser und eine P-haltige Asche erzeugt werden (Abbildung 172).

Abbildung 172: Konzept des Thermo-Katalytisches-Reforming (TCR®)



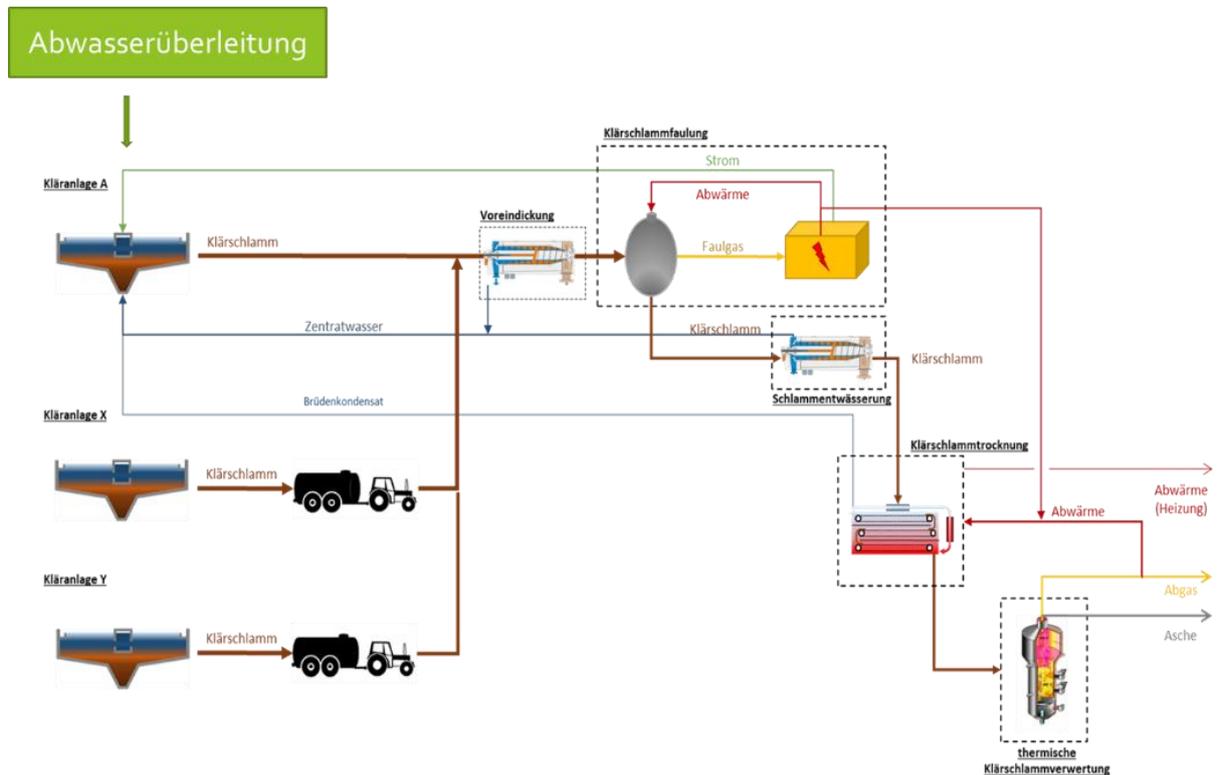
Quelle: Fraunhofer UMSICHT²²

²² <https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/de/abteilungen/energietechnik/biomassekonversion-mittels-tcr-.html>, aufgerufen 03.03.2019

Regionales Konzept mit Abwasserüberleitung und zentraler Klärschlammverwertung

Die Umsetzung eines regionalen Abwasserkonzeptes mit zentraler Schlammfäulung, Klärschlamm-trocknung und thermischer Klärschlammverwertung, wie in Abbildung 173 schematisch dargestellt, wird empfohlen. Das Konzept verbindet die optimale Nutzung des im Abwasser enthaltenen Kohlenstoffs zur Eigenenergieversorgung und optimale Abwärmenutzung.

Abbildung 173: Regionales Konzept mit Abwasserüberleitung und zentraler Klärschlammverwertung



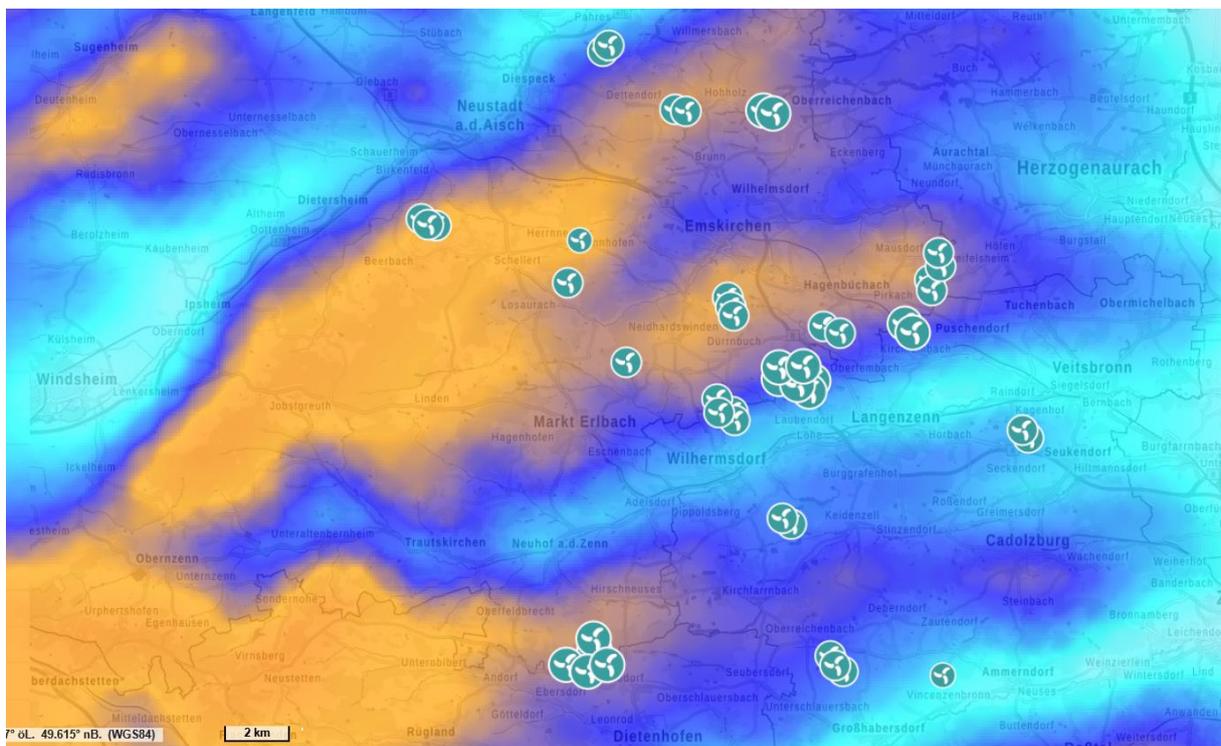
Quelle: eigene Darstellung

Auf die Einbindung volatiler Erneuerbarer Energien wird im nachfolgenden Kapitel eingegangen.

4.2.11 Erneuerbare Energien

Die Energieversorgung der Zukunft wird von Erneuerbaren Energien (EE) geprägt sein. Dafür müssen alle regional verfügbaren Ressourcen effizient genutzt werden. In der Region wird bereits das Potential volatiler EE aus Sonnen und Wind genutzt, (siehe Abbildung 174). Aus Sicht der Energieagentur besteht aber Potential für den weiteren Ausbau.

Abbildung 174: Windkraftanlagen in der Region um Langenzenn



Quelle: © Bayerisches Landesamt für Umwelt²³

Die mit dem Ausbau der EE einhergehende Aufgabe liegt in der Speicherung von überschüssigem Strom aus EE. Bei der aktuell favorisierten Wasserstoff-Technologie gibt es Synergieeffekte mit der Abwasserreinigung durch:

- Einsatz des entstehenden Reinsauerstoffes in der Belebung,
- Einsatz von Wasserstoff zur biologischen Methanisierung in der Schlammfäulung und
- Nutzung der Abwärme aus der Elektrolyse für Schlammwärmerung, Klärschlamm-trocknung etc.

Erste innovative Konzepte zur Speicherung volatiler EE mit der Wasserstoff-Technologie sind in Franken bereits umgesetzt. Ein Beispiel ist das Projekt **Windgas Haßfurt**. Der Wasserstoff wird in einem Tank für die Rückverstromung in einem bivalenten BHKW (Erd-/Klärgas + Wasserstoff) gespeichert oder in das Erdgasnetz eingespeist. Aktuell wird die Versorgung der Belebung der Kläranlage mit

²³ <https://www.energieatlas.bayern.de>, aufgerufen 13.03.2020

Reinsauerstoff aus dem Elektrolyseur umgesetzt. Neben der Wasserstofftechnologie wird in Haßfurt bereits ein großer Batteriespeicher in Kombination mit einer PV-Anlage betrieben.

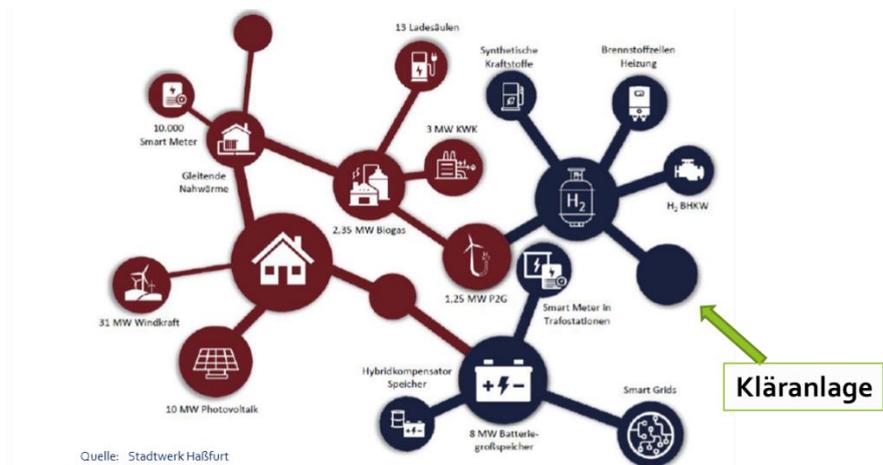
Abbildung 175: Windgas Haßfurt



Quelle: Greenpeace Energy²⁴

Das Gesamtversorgungskonzept des Stadtwerks Haßfurt (siehe Abbildung 176) zeigt ein mögliches Versorgungsszenario der Zukunft und die für die Erreichung der Klimaziele erforderliche Sektorenkopplung.

Abbildung 176: Versorgungskonzept Stadtwerk Haßfurt



Quelle: Stadtwerk Haßfurt

Quelle: Stadtwerk Haßfurt, bearbeitete Darstellung

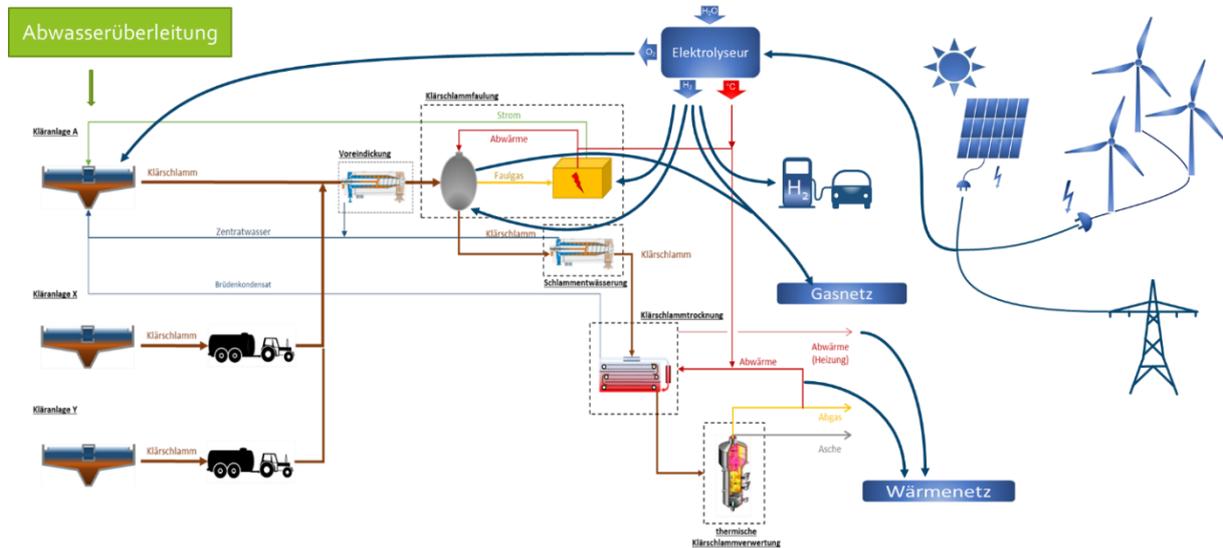
Regionales Konzept mit Abwasserüberleitung, zentraler Klärschlammverwertung, Erneuerbaren Energien, Energiespeicher und Sektorenkopplung

Auf Grundlage zuvor beschriebener Potentiale wird das in Abbildung 177 dargestellte Konzept mit Abwasserüberleitung, zentraler Klärschlammverwertung, Erneuerbaren Energien, Energiespeicher und Sektorenkopplung für die Region entwickelt. Bei der Darstellung liegt der Fokus auf der Verdeutlichung von Synergieeffekten zwischen Abwasserreinigung und Wasserstoff-Technologie. Auf die Darstellung

²⁴ <https://www.greenpeace-energy.de/blog/wissen/windgas/unsere-windgas-partner-hassfurt-ist-energie-kommune-des-monats/>, aufgerufen 03.03.2020

eines Batterie-Kurzzeitspeicher und der Direktnutzung verfügbarer Erneuerbarer Energien wurde verzichtet.

Abbildung 177: Regionales Konzept mit Abwasserüberleitung, zentraler Klärschlammverwertung, Einbindung volatiler Erneuerbarer Energien und Wasserstoff-Technologie als Speicher



Quelle: eigene Darstellung

In Bayern wird die Wasserstofftechnologie gefördert²⁵ durch:

- Errichtung von (öffentlichen und betriebsinternen) Wasserstofftankstellen für wasserstoffbetriebene Nutzfahrzeuge, Busse und Sonderfahrzeuge,
 - für öffentliche Tankstellen: bis zu 90 Prozent der Differenz zwischen den beihilfefähigen Kosten und dem Betriebsgewinn der Investition,
 - Für nichtöffentliche Tankstellen (u. U. in Kombination mit wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen) ist eine Förderung der Investitionsmehrkosten mit Förderquoten von grundsätzlich bis zu 40 Prozent (für kleine und mittlere Unternehmen bis 60 Prozent bzw. 50 Prozent),
- Anschaffung von bis zu 3 wasserstoffbetriebenen Nutzfahrzeugen, Kraftomnibussen und Sonderfahrzeuge und Umrüstung,
- Klimaneutrale Wasserstofferzeugungsanlagen wie Elektrolyseure vor Ort zur bedarfsorientierten Erzeugung von Wasserstoff als Bestandteil der Betankungsinfrastruktur,
 - Förderhöchstquote von 40 Prozent der Investitionsmehrkosten (für kleine und mittlere Unternehmen bis 60 Prozent bzw. 50 Prozent).

²⁵ <https://www.stmwi.bayern.de/service/foerderprogramme/wasserstofftankstelleninfrastruktur/>, aufgerufen am 03.11.2020

4.3 Empfehlung Kläranlage

Die **Abwasserreinigung** und die **Kläranlagen** sind einen **Baustein der Energiewende** und bei der **Erreichung der Klimaziele**.

Effizienzpotentiale in der Abwasserreinigung sind in folgenden Handlungsfeldern auf kommunaler und regionaler Ebene identifiziert worden:

- Abwasserüberleitung zu größeren Kläranlagen,
- Zentrale Schlammfäulung,
- regionale Klärschlamm-trocknung,
- regionale thermische Klärschlammverwertung,
- Nutzung volatiler Erneuerbarer Energie und,
- Speicherung volatiler Erneuerbarer Energie – Synergie zwischen Wasserstoff-Technologie und Reinsauerstoff-Belebung.

Die Potentiale können in dem dargestellten Konzept über Sektorenkopplung optimal genutzt werden.

- Energieanalyse der Kläranlage Langenzenn zur konkreten Ermittlung von kurzfristig erschließbaren Effizienzpotentialen,
- Konkretisierung des regionalen Abwasserkonzeptes für die Region Zenn, Aurach und Farnbach,
- Konkretisierung eines regionalen Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlammverwertungs-konzeptes für die Region zwischen Herzogenaurach und Bad Windsheim,
- Konkretisierung der Einbindung und Speicherung volatiler Erneuerbarer Energien für die Energieversorgung der Abwasserreinigung und
- Konkretisierung der Reinsauerstoffbelebung in Verbindung mit Wasserstoff-Erzeugung.

Die zuvor benannten Maßnahmen werden teilweise vom Bund oder Freistaat Bayern gefördert.

5 Mögliches weiteres Vorgehen

Folgende möglich Förderprogramme stehen für die Begleitung zur Umsetzung von Maßnahmen aus dem Energienutzungsplan zur Verfügung:

5.1 ENP-Umsetzungsbegleitung

Die Umsetzungsbegleitung von Maßnahmenvorschlägen aus Energienutzungsplänen durch fachkundige Dritte soll die Beratung und gutachterliche Unterstützung der Kommune, insbesondere die gezielte Einbindung der beteiligten Akteure umfassen. Eine Umsetzungsbegleitung kann nur erfolgen, wenn dafür kein fachlich geeignetes Personal vorhanden ist.

Es sind keine Vergleichsangebote nötig, wenn der Ersteller des ENP auch die Umsetzungsbegleitung betreut.

Es dürfen keine Ingenieur-Planungsleistungen erbracht werden, die Begleitung und Unterstützung von Ausschreibungen sind möglich.

Die Zuschusshöhe beträgt wie beim Energienutzungsplan 70%. Die zuwendungsfähigen Gesamtkosten dürfen eine Bagatellgrenze in Höhe von 4.000€ nicht unterschreiten. Es können mehrere Umsetzungsbegleitungen beantragt werden.

5.2 KEM-Förderung

Die Einführung eines Kommunalen Energiemanagement kann mit bis **90 % Zuschuss**, über die Richtlinie zum Umwelt-Förderschwerpunkt „Klimaschutz in Kommunen“ des bayerischen Umweltministeriums gefördert werden.

Weitere Informationen sind im Klimaschutzprogramm Bayern 2050 zu finden. Bei der Antragstellung sind wir gerne behilflich.

5.3 Energieberatung für Nichtwohngebäude von Kommunen

Umfassendes Sanierungskonzept für kommunale Nichtwohngebäude mit dem Ziel der Sanierung zu einem KfW-Effizienzgebäude oder einem Sanierungsfahrplan.

Alternativ wird eine Neubauberatung für Nichtwohngebäude gefördert, basierend auf dem KfW-Effizienzgebäude (55 oder 70).

Die Zuwendung beträgt bis zu 80 % bis maximal 15.000 €.

5.4 Netzwerk

Die Teilnahme an einem „Kommunalen Netzwerk“ wird von der Bundesanstalt für Wirtschafts- und Ausführungskontrolle (BAFA) mit bis zu **60 % Zuschuss** gefördert. Innerhalb eines solchen Netzwerkes kann dann z.B. das „Energiemanagement“ aufgebaut werden.

6 Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte Stadt Langenzenn	9
Abbildung 2: Einwohnerentwicklung 2010 bis 2018	10
Abbildung 3: Flächennutzung	10
Abbildung 4: Beschäftigungsentwicklung 2013-2017	11
Abbildung 5: Stromverbrauch gesamtes Stadtgebiet	12
Abbildung 6: Stromverbrauch nach Sektoren	12
Abbildung 7: Gebäudenutzung/Energieinfrastruktur Langenzenn	13
Abbildung 8: Erdgasverbrauch gesamtes Stadtgebiet	14
Abbildung 9: Jahreswärmebedarf je Gebäude	15
Abbildung 10: Heizwärmebedarf für Wohngebäude nach Ausführungsstandard	16
Abbildung 11: Altersstruktur des Wohnraums	16
Abbildung 12: Entwicklung Wohnfläche und Heizwärmebedarf	17
Abbildung 13: Entwicklung Endenergiebedarf Wohngebäude	18
Abbildung 14: Reduktionspotenzial Endenergiebedarf Referenzszenario	19
Abbildung 15: Reduktionspotenzial Endenergiebedarf je m ² Wohnfläche, Referenzszenario	20
Abbildung 16: Reduktionspotenzial Endenergiebedarf Effizienzszenario	21
Abbildung 17: Reduktionspotenzial Endenergiebedarf je m ² Wohnfläche, Effizienzszenario	21
Abbildung 18: Aufteilung Wärmebedarf gesamtes Gemeindegebiet	22
Abbildung 19: Wärmebereitstellung Stadt Langenzenn	22
Abbildung 20: Regenerative Stromerzeugung	23
Abbildung 21: Entwicklung PV-Dachanlagen	24
Abbildung 22: PV-Dachflächen Ausbaupotenzial Wohn- und Nichtwohngebäude	25
Abbildung 23: Entwicklung PV-Freiflächenanlagen	26
Abbildung 24: Biogas KWK-Anlagen	26
Abbildung 25: Windkraftanlagen	27
Abbildung 26: Regenerative Wärmeerzeugung	28
Abbildung 27: Installierte Kollektorfläche Solarthermie	29
Abbildung 28: Installierte Solarthermieanlagen	29
Abbildung 29: Geförderte Nennwärmeleistung Biomasseanlagen	30
Abbildung 30: Installierte Biomasseanlagen	30
Abbildung 31: Installierte Wärmepumpen in Langenzenn	31
Abbildung 32: Gesamter Endenergiebedarf 2018	32
Abbildung 33: Anteile der Sektoren am Endenergiebedarf 2018	32
Abbildung 34: Treibhausgasemissionen 2018	33
Abbildung 35: THG-Emissionen je Einwohner	33
Abbildung 36: Luftbild Rathaus Stadtverwaltung	38
Abbildung 37: Benchmark Rathaus/Stadtverwaltung	39
Abbildung 38: Westansicht Stadtverwaltung	40
Abbildung 39: Außenansicht Fenster	40
Abbildung 40: Innenansicht Eingangsbereich Rathaus (Zwischenbau)	42
Abbildung 41: Innenansicht Dachgeschoss	42
Abbildung 42: Innenansicht Spitzboden nicht ausgebaut	43

Abbildung 43: Detail oberste Geschoßdecke / Zwischensparrendämmung	43
Abbildung 44: Südansicht Stadtwerke (Hopfensiegelscheune)	44
Abbildung 45: Innenansicht EG Stadtwerke	44
Abbildung 46: Detail Fensterelement EG	45
Abbildung 47: Detail Fenster OG	45
Abbildung 48: Innenansicht Spitzboden	46
Abbildung 49: Eingangsbereich Betreutes Wohnen	46
Abbildung 50: Detail Fenster OG	47
Abbildung 51: Heizraum Betreutes Wohnen	49
Abbildung 52: Heizkreisverteilung	49
Abbildung 53: Warmwasserbereitung Betreutes Wohnen	50
Abbildung 54: Heizungsunterverteilung Rathaus	50
Abbildung 55: Heizungsunterverteilung Stadtwerke	51
Abbildung 56: Wärmeabgabe Heizkörper	51
Abbildung 57: Wandheizung (Quelle Stadtverwaltung)	52
Abbildung 58: Gebäudeleittechnik	52
Abbildung 59: Innenansicht Flur Rathaus	54
Abbildung 60: LED-Arbeitsplatzleuchte	54
Abbildung 61: Innenansicht Büro Stadtwerke	55
Abbildung 62: Luftbild Altes Rathaus	56
Abbildung 63: Benchmark Altes Rathaus	56
Abbildung 64: Nord-Ost Ansicht mit Haupteingang	57
Abbildung 65: Außenansicht Fenster	57
Abbildung 66: Detailansicht Fenster	58
Abbildung 67: Innenansicht Eingangsbereich mit Trauzimmer	59
Abbildung 68: Innenansicht Sitzungssaal im OG	59
Abbildung 69: Detail oberste Geschoßdecke / Zwischensparrendämmung	59
Abbildung 70: Flur Untergeschoss	61
Abbildung 71: Feuchteschaden UG Außenwand	61
Abbildung 72: Nische mit Außenlüfter	62
Abbildung 73: Entfeuchtungsgerät	62
Abbildung 74: Technikraum	64
Abbildung 75: Heizkreisverteilung	64
Abbildung 76: Heizkörper im Sitzungssaal	65
Abbildung 77: Heizungsregelung	65
Abbildung 78: Warmwasserbereitung	66
Abbildung 79: Lüftungsanlage	66
Abbildung 80: Lüftungssteuerung Sitzungssaal	67
Abbildung 81: Lüftung im Keller	67
Abbildung 82: Beleuchtung Altes Rathaus	68
Abbildung 83: Luftbild Mittelschule	69
Abbildung 84: Benchmark Mittelschule und Turnhallen	70
Abbildung 85: Nordansicht Bauteil Klassenräume	71
Abbildung 86: Ansicht Fassade Laubengang 1. OG	71
Abbildung 87: Dachaufsicht Mittelschule, Neue und Alte Turnhalle	72
Abbildung 88: Außenansicht Neue Turnhalle	72

Abbildung 89: Innenansicht Neue Turnhalle	73
Abbildung 90: Nordansicht Alte Turnhalle	73
Abbildung 91: Detailansicht Profilit-Verglasung	74
Abbildung 92: Heizraum Mittelschule	75
Abbildung 93: Heizkreisverteilung	76
Abbildung 94: Gebäudeleittechnik Heizungstechnik	76
Abbildung 95: Gebäudeleittechnik Fensterkontakte	77
Abbildung 96: Lüftungsanlage	77
Abbildung 97: Warmwasserbereitung	78
Abbildung 98: Klassenzimmer Mittelschule	79
Abbildung 99: Innenansicht Neue Turnhalle	79
Abbildung 100: Innenansicht Alte Turnhalle	80
Abbildung 101: Luftbild Mittelschule	83
Abbildung 102: Dachaufsicht Variante 1, installierte Leistung 48 kWp	84
Abbildung 103: Variante 1; PV-Nutzung	85
Abbildung 104: Variante 1; Deckung Stromverbrauch	85
Abbildung 105: Variante 1; Cash-Flow	86
Abbildung 106: Variante 1a; PV-Nutzung	87
Abbildung 107: Variante 1a; Deckung Energieverbrauch	87
Abbildung 108: Variante 1a; Cash-Flow	88
Abbildung 109: Dachaufsicht Variante 2, installierte Leistung 99 kWp	88
Abbildung 110: Variante 2; PV-Nutzung	89
Abbildung 111: Variante 2; Deckung Stromverbrauch	89
Abbildung 112: Variante 2; Cash-Flow	90
Abbildung 113: Variante 2a; PV-Nutzung	90
Abbildung 114: Variante 2a; Deckung Energieverbrauch	91
Abbildung 115: Variante 2a; Cash-Flow	91
Abbildung 116: Variantenvergleich PV-Anlage Mittelschule; Stromerzeugung/Deckungsanteile	92
Abbildung 117: Variantenvergleich PV-Anlage Mittelschule; Verbrauchsabdeckung	92
Abbildung 118: Variantenvergleich PV-Anlage Mittelschule; Eigenstromnutzung, Autarkiegrad	93
Abbildung 119: Variantenvergleich PV-Anlage Grundschule; Investitionen	93
Abbildung 120: Variantenvergleich PV-Anlage Grundschule; kumulierte Cashflow	94
Abbildung 121: Luftbild Grundschule	95
Abbildung 122: Benchmark Grundschule	96
Abbildung 123: Ostansicht mit Haupteingang	96
Abbildung 124: Westansicht Innenhof	97
Abbildung 125: Detailansicht WDVS	97
Abbildung 126: Ansicht Nordflügel	98
Abbildung 127: Innenansicht neue Fenster	98
Abbildung 128: Südansicht unsaniertes Gebäudeteil (Nordflügel)	100
Abbildung 129: Nordansicht Alte Turnhalle	100
Abbildung 130: Heizungsverteilung Grundschule	101
Abbildung 131: Wärmeübergabe	102
Abbildung 132: Heizungssteuerung	102
Abbildung 133: Warmwasserbereitung	103
Abbildung 134: Voreinstellbares Heizkörperventil	104

Abbildung 135: Klassenzimmer Grundschule	105
Abbildung 136: Luftbild Kindergarten	106
Abbildung 137: Benchmark Kindergarten	106
Abbildung 138: Ostansicht, Eingangsseite	107
Abbildung 139: Teilansicht West zum Außenbereich	107
Abbildung 140: Detailansicht Dachentwässerung	108
Abbildung 141: Innenansicht Dachentwässerung	108
Abbildung 142: Detail Dachüberstand mit Stahlträgern	109
Abbildung 143: Detailansicht Fensterkonstruktion	109
Abbildung 144: Nordansicht Alte Turnhalle	110
Abbildung 145: Heizraum Kindergarten	111
Abbildung 146: Heizkreisverteilung	112
Abbildung 147: Heizungsregelung	112
Abbildung 148: Wärmeabgabe	113
Abbildung 149: Warmwasserbereitung	113
Abbildung 150: Beleuchtung Gruppenraum	114
Abbildung 151: Beleuchtung Eingangsbereich	115
Abbildung 152: Gebäudebestandsaufnahme	116
Abbildung 153: Erfassen und eingeben weiterer Daten	117
Abbildung 154: Monatliches Erfassen der Verbräuche	117
Abbildung 155: Beispielauswertung für Wärme und Strom	118
Abbildung 156: Beispielfoto für weitere Begehungen / Durchsprachen	118
Abbildung 157: Beispielfoto Nutzerschulung	119
Abbildung 158: Trend und Ziele der Treibhausgas-Reduzierung	120
Abbildung 159: spezifischer Energieverbrauch bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte EW _{CSB} der Kläranlage Langenzenn 2016-2018 im Vergleich mit DWA-Referenz	124
Abbildung 160: spezifischer Faulgasanfall bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte EW _{CSB} der Kläranlage Langenzenn 2016-2018 im Vergleich DWA-Referenz	125
Abbildung 161: spezifischer Faulgasanfall bezogen auf die angeschlossenen Einwohnerwerte EW _{CSB} der Kläranlage Langenzenn 2016-2018 im Vergleich DWA-Referenz	126
Abbildung 162: Potential PV-Anlagen auf dem Gelände der Kläranlage Langenzenn	127
Abbildung 163: Beispiel einer Tagesganglinie des Stromverbrauchs einer Kläranlage mit konstanter BHKW-Grundlast und PV-Anlage	128
Abbildung 164: Beispiel einer Tagesganglinie des Stromverbrauchs einer Kläranlage mit an die PV- Strom-Produktion angepasster Klärgasverstromung	129
Abbildung 165: Treibhausgasemissionen im Abwasserreinigungsprozess mit Schlammfäulung	131
Abbildung 166: Anteile der Treibhausgasemissionen von Abwasserreinigungsanlagen mit Schlammfäulung – Untersuchungsergebnisse aus einer Studie auf österreichischen Kläranlagen	131
Abbildung 167: Betriebsdatenauswertung von Abwasserreinigungsanlagen im DWA- Leistungsvergleich	133
Abbildung 168: Kläranlagen in der Region	135
Abbildung 169: Strukturkonzept Abwasserüberleitung	136
Abbildung 170: mögliches Abwasserüberleitungskonzept	136
Abbildung 171: Praxisbeispiel zentrale Klärschlammverwertung ZWAR Rügen	137
Abbildung 172: Konzept des Thermo-Katalytisches-Reforming (TCR®)	140

Abbildung 173: Regionales Konzept mit Abwasserüberleitung und zentraler Klärschlammverwertung	141
Abbildung 174: Windkraftanlagen in der Region um Langenzenn	142
Abbildung 175: Windgas Haßfurt	143
Abbildung 176: Versorgungskonzept Stadtwerk Haßfurt	143
Abbildung 177: Regionales Konzept mit Abwasserüberleitung, zentraler Klärschlammverwertung, Einbindung volatiler Erneuerbarer Energien und Wasserstoff-Technologie als Speicher	144

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: PV-Dachflächen Ausbaupotenzial Wohn- und Nichtwohngebäude	25
Tabelle 2: Gebäudekategorien mit Verbrauchswerten nach BWZK.....	35
Tabelle 3: Bewertung Gebäudehülle Turnhallen.....	74
Tabelle 4: Bewertung Gebäudehülle Kindergarten.....	110
Tabelle 5: Effizienzpotentiale Kläranlage Langenzenn	122
Tabelle 6: Kläranlage Langenzenn, Betriebsdatenauswertung der Jahre 2016 bis 2018 und ermittelte Kennwerte des Energiechecks nach DWA-Arbeitsblatt A 216	123
Tabelle 7: Zusammenstellung Potential PV-Anlagen auf dem Gelände der Kläranlage Langenzenn	127
Tabelle 8: Treibhausgaspotential in der Abwasserreinigung emittierter Gase.....	130
Tabelle 9: Kläranlagen in der Region (Detaillierte Auflistung im Anhang)	135
Tabelle 10: Verfahren zur thermischen Klärschlammverwertung	139

6.3 Abkürzungen

AG	Aktiengesellschaft
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BGF	Bruttogeschossfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ in t /a	Kohlenstoffdioxidemissionen in Tonnen pro Jahr
dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnEV Neubaustandard	Festlegung des maximal zulässigen Jahresprimärenergiebedarfs Q_p und der Transmissionswärmeverluste H_t für einen Neubau gem. EnEV
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GK	Größenklasse Kläranlagen
HKW	Heizkraftwerk
H _o	oberer Heizwert
H _t	Transmissionswärmeverluste nach EnEV
H _u	unterer Heizwert
IWU	Institut für Wohnen und Umwelt
KEM	Kommunales Energiemanagement
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KfW 100 (Sanierung)	Nach Förderrichtlinien der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Jahresprimärenergiebedarf darf max. 100% des EnEV Neubaustandards erreichen und die Transmissionswärmeverluste maximal 115%.
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
LfU	Landesamt für Umwelt

NF	Nutzfläche
NGF	Nettogrundfläche
PEV	Primärenergieverbrauch
PV	Photovoltaik
Q _p	Jahresprimärenergiebedarf nach EnEV
RLT-Anlage	Raumlufttechnische Anlage
Srm	Schüttraummeter
THG	Treibhausgas
TWW	Trinkwarmwasser
UBA	Umweltbundesamt
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft e. V.
WRG	Wärmerückgewinnung
WSVO	Wärmeschutzverordnung
wb	witterungsbereinigt, Witterungsbereinigung
WW	Warmwasser

6.4 Einheiten

°C	Grad Celsius
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
ha	Hektar
kg	Kilogramm
kg/kWh _{el}	Kilogramm pro Kilowattstunde elektrisch
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kWh _{el}	Kilowattstunde elektrisch
kWh _{th}	Kilowattstunde thermisch
kW _{Peak}	Kilowattpeak: Maßeinheit für die genormte Leistung (Nennleistung) einer Solarzelle.
m ²	Quadratmeter
m ³ /h	Volumenstrom in Kubikmeter pro Stunde
mWs	Meter Wassersäule
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
MWh _{el}	Megawattstunden elektrisch
MWh _{th}	Megawattstunden thermisch
Nm ³	Normkubikmeter
Pkm	Personenkilometer
t	Tonne

6.5 Auflistung Kläranlagen

Kläranlage	GK	Ausbaugröße	Landkreis	Anlagensystem
Cadolzburg OT Roßendorf	1	200 EW	Fürth	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Emskirchen OT Borbath	1	100 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Emskirchen OT Brunn	1	900 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage mit technischer Zwischenstufe
Emskirchen OT Dürrnbuch	1	250 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Emskirchen OT Eckenberg	1	150 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Emskirchen OT Elgersdorf	1	150 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Mechanische Reinigungsanlage/Behelfsanlage
Emskirchen OT Gunzendorf	1	100 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Mechanische Reinigungsanlage/Behelfsanlage
Emskirchen OT Hohholz	1	200 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Emskirchen OT Mausdorf	1	400 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Emskirchen OT Neidhardswinden	1	250 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Emskirchen OT Pirkach	1	300 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Emskirchen	3	7.500 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Belebungsanlage mit gemeinsamer Schlammstabilisierung
Flachslanden OT Sondernöhe	1	950 EW	Ansbach	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Hagenbüchach OT Bräuersdorf	1	100 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Hagenbüchach OT Oberfembach	1	200 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Langenzenn	4	20.000 EW	Fürth	Belebungsanlage
Markt Erlbach OT Altselingsbach	1	300 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Belebungsanlage
Markt Erlbach OT Hagenhofen	1	300 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Markt Erlbach OT Jobstgreuth	1	150 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Markt Erlbach OT Linden	1	550 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Markt Erlbach OT Losaurach	1	150 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Rotationstauchkörperanlage
Markt Erlbach OT Wilhelmsgreuth	1	80 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Mehrstufige biologische Kläranlage
Neuhof/Zenn OT Hirschneuses	1	200 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Neuhof/Zenn OT Neuselingsbach	1	250 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Rotationstauchkörperanlage
Neuhof/Zenn OT Oberfeldbrecht	1	130 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Neuhof/Zenn OT Unterfeldbrecht	1	150 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Belebungsanlage

Kläranlage	GK	Ausbau-größe	Landkreis	Anlagensystem
Neustadt a.d. Aisch	4	32.500 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Belebungsanlage
Neustadt/Aisch OT Schellert	1	250 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Obernzenn	2	2.500 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Tropfkörperanlage
Obernzenn OT Breitenau	1	180 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Obernzenn OT Egenhausen	1	300 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Obernzenn OT Hechelbach	1	100 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Obernzenn OT Limbach	1	100 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Obernzenn OT Oberaltenbernheim	1	100 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Rotationstauchkörperanlage
Obernzenn OT Rappenu	1	150 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Obernzenn OT Unteraltenbernheim	1	400 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Obernzenn OT Wimmelbach	1	140 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Puschendorf	2	2.500 EW	Fürth	Belebungsanlage mit gemeinsamer Schlammstabilisierung
Seukendorf	2	4.500 EW	Fürth	Mehrstufige biologische Kläranlage
Trautskirchen	2	1.600 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Tuchenbach	2	1.900 EW	Fürth	Abwasserteichanlage mit technischer Zwischenstufe
Veitsbronn	3	8.000 EW	Fürth	Belebungsanlage
Wilhelmsdorf	2	1.850 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Belebungsanlage mit gemeinsamer Schlammstabilisierung
Wilhelmsdorf OT Ebersbach	1	80 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Wilhelmsdorf OT Oberalbach	1	70 EW	Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Wilhelmsdorf OT Dippoldsberg	1	150 EW	Fürth	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Wilhelmsdorf OT Dürrfarnbach	1	120 EW	Fürth	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Wilhelmsdorf OT Kirchfarnbach	1	650 EW	Fürth	Abwasserteichanlage mit technischer Zwischenstufe
Wilhelmsdorf OT Meiersberg	1	300 EW	Fürth	Abwasserteichanlage - unbelüftet
Wilhelmsdorf OT Unterulsenbach	1	100 EW	Fürth	Abwasserteichanlage - unbelüftet
ZV Oberes Zenntal S. Wilhelmsdorf	4	14.000 EW	Fürth	Belebungsanlage
Summe	51	106.550 EW		

6.6 Pläne

- Gebäudenutzung/Energieinfrastruktur
- Wärmebedarf Gebäude

