

Energiebericht

des Landkreises Darmstadt-Dieburg

2008 bis 2018

Energiebericht

des Landkreises Darmstadt-Dieburg

2008 - 2018

Mit den Verbrauchs- und Entsorgungsdaten für Wasser und Abfall

Herausgeber:

Eigenbetrieb Gebäude- und Umweltmanagement
des Landkreises Darmstadt-Dieburg
Rheinstr. 91
64295 Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung.....	4
Vorbemerkung.....	5
2. Verbrauchsdaten der Schulen.....	7
2.1 Heizenergie.....	7
Kostenentwicklung.....	10
Emissionsbilanz.....	12
2.2 Strom.....	13
Kostenentwicklung.....	15
Emissionsbilanz.....	16
2.3 Energiebeschaffung.....	17
2.4 Wasser- und Abwasser.....	18
2.5 Abfall.....	20
2.6 Zusammenfassung.....	20
3. Maßnahmen / Beispielhafte Umsetzungen.....	23
3.1 Allgemeines.....	23
3.2 Sanierungsmaßnahmen.....	23
Sanierung des Hauptgebäudes der Albrecht-Dürer-Schule.....	23
Beleuchtungssanierung an Sporthallen, Schule am Pfaffenberg.....	29
3.3 Betriebsoptimierung.....	31
Neubau des Hauptgebäudes der Hessenwaldschule.....	31
Erkennung und Behebung von Fehlfunktionen, Heizung Marienschule.....	36
4. Einsatz von regenerativen Energien.....	38
4.1 Biomasseanlagen.....	38
4.2 Photovoltaikanlagen.....	39
5. Fördermittel.....	40
6. Klimawandel.....	41
7. Anhang.....	43
Erläuterungen zur Datengrundlage.....	43

1. Einführung

Im vergangenen Jahr wurde das Thema Klimagerechtigkeit von der Fridays for future-Bewegung, die vor allem von Schülerinnen und Schülern getragen wird, in die breite Bevölkerung getragen. Deren Forderungen werden von über 25.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, den Scientists for Future als gut begründet und berechtigt bestätigt.



Die globalen und lokalen Ziele zum Klimaschutz sind nur zu erreichen, wenn die Bürgerinnen und Bürger, die Wirtschaft und Industrie, aber auch die Städte, Gemeinden und Landkreise in ihren jeweiligen Verantwortungsbereichen ambitioniert handeln.

Das Thema Klimaschutz und Energieeinsparung sind in unserem Landkreis bereits seit den 90er Jahren im Fokus. 1995 begann der Aufbau eines Energiemanagements mit der Einstellung eines Energiebeauftragten in der Abteilung Hochbau/Bauunterhaltung. Mittlerweile arbeiten im Fachgebiet Energiemanagement/Qualitätssicherung des Da-Di-Werks fünf Mitarbeitende an den Themen Energiecontrolling, Begleitung von Baumaßnahmen und Qualitätssicherung, sowie an der Betriebsoptimierung.

Auf dem Weg zur Klimaneutralität müssen die Reduzierung der Energiebedarfe Hand in Hand mit einem Ausbau der regenerativen Energieerzeugung gehen. Das Land Hessen hat sich zum Ziel gesetzt bis 2030 55% der Treibhausgasemissionen einzusparen. Der Landkreis profitiert hierbei auch von den zu diesem Zweck eingerichteten Förderprogrammen.

Im vorliegenden Bericht werden die Entwicklung der Verbrauchsdaten im Zeitraum 2008 bis 2018 aufgeführt. Es zeigt sich, dass der Landkreis auf einem guten Weg ist, der engagiert fortgesetzt werden muss, um die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens von 2015 erreichen zu können.



Robert Ahrnt
Erster Kreisbeigeordneter

Vorbemerkung

Dieser Energiebericht umfasst die Betrachtung der Verbräuche von Heizenergie, Strom und Wasser, sowie des Abfallaufkommens der Schulen im Landkreis Darmstadt-Dieburg seit 2008, dem Gründungsjahr des Betriebszweigs Gebäudemanagement im Da-Di-Werk bis einschließlich 2018.

Der Energiebericht gibt einen Einblick in die Arbeit des Fachgebiets Energiemanagement / Controlling, das in enger Zusammenarbeit mit allen anderen Fachbereichen des Da-Di-Werkes, sowie den Hausmeistern und Nutzern der Schulen den Bau und Betrieb der Schulen des Landkreises Darmstadt-Dieburg optimiert.

Die Arbeit beginnt mit der Zusammenstellung der Leitlinien zum nachhaltigen Bauen, die die Grundlage für alle Neubau- und Sanierungsmaßnahmen zusammenfassen. Diese sind vom Kreistag beschlossen worden, in regelmäßigen Abständen werden Erfahrungen aus Bau und Betrieb sowie neue gesetzliche Regelungen eingearbeitet. Die Mitarbeit in den Projektteams bei Neubauten oder Sanierungen bildet einen weiteren Schwerpunkt, hier werden sowohl energetische, als auch qualitative Themen in die Planungsteams eingebracht.

Einen steigenden Anteil an den Aufgaben nimmt mittlerweile die Betriebsoptimierung ein. Ein Beispiel hierfür findet sich im Kapitel Neubau des Hauptgebäudes der Hessenwaldschule. Der Betrieb des Neubaus konnte nach der Inbetriebnahme und Übergabe an die Nutzer weiter optimiert werden, sowohl hinsichtlich des Energieverbrauches, des Nutzerkomforts als auch der Energiekosten.

Die Auswertung der Energiedaten im Rahmen des Energiecontrollings sowie die Optimierung des Betriebs stellt eine weitere Aufgabe dar. Neu installierte oder sanierte Heizungs- und Lüftungsanlagen werden auf die Gebäudeleittechnik aufgeschaltet, so ist die Überprüfung der Funktionen und Einstellungen auch aus der Ferne möglich. Hier können falsche Einstellungen (z. B. Nachheizung der Zuluft im Sommer oder Betrieb von Lüftungsanlagen in den Nachtstunden im Winter) sowie Fehlfunktionen erkannt und teilweise direkt behoben werden.

In **Kapitel 2** des Berichtes werden die Verbrauchswerte für die Schulen über die letzten elf Jahre zusammengefasst. Für diesen Zeitraum ist ein Rückgang des witterungs- und flächenbereinigten Heizenergieverbrauches von 128 kWh/m²a auf 116 kWh/m²a festzustellen. Diese Reduzierung wurde durch die Errichtung energieeffizienter Neubauten, die wärmetechnische Sanierung von Bestandsgebäuden sowie die Sanierung alter Heizzentralen erreicht. Absolut betrachtet ist der Heizenergieverbrauch der Schulen angestiegen, da die beheizte Fläche durch Zubauten aufgrund der Ausweitung des Ganztags-Schulbetriebes und dem damit verbundenen Ausbau der Mittagsversorgung und Betreuung stetig vergrößert wird.

Ein anderes Bild zeigt sich im Sektor Strom. Der Verbrauch an elektrischer Energie ist seit 2008 stetig angestiegen, nicht nur absolut, sondern auch flächenbereinigt. Erst in den letzten Jahren kommt es zu einer Stagnation im flächenbereinigten Verbrauchsanstieg. Diese Verbrauchssteigerung hat verschiedene Ursachen. Ein Teil beruht auf dem Ausbau des Ganztags-schulbetriebes, der eine steigende Nachfrage nach Mittagessensversorgung mit sich zieht. Ein weiterer wesentlicher Grund liegt in einer zunehmenden Aufstellung von Containeranlagen, die als Ausweichquartiere bei Umbau- und Sanierungsmaßnahmen dienen. Die Container sind im Allgemeinen strombeheizt und führen dadurch zu einem starken Anstieg des Stromverbrauches. Eine überschlägige Berechnung ergab, dass allein im Jahr 2014 ein Mehrverbrauch zwischen 580 und 1.170 MWh auf die Aufstellung von Containern zurückzuführen war. Das entsprach einem Anteil von 7,5 % bis 15 % des gesamten Stromverbrauches der Schulen in diesem Jahr.

Auch der Wasserverbrauch, der bis 2014 nahezu konstant geblieben ist, steigt in den letzten Jahren stetig an. Auch hier liegt eine Ursache sicherlich im Ausbau der Mittagsversorgung.

Für das Abfallaufkommen ist ein anderer Trend erkennbar. Dem Anstieg bis 2010 steht seit 2014 ein deutlicher Rückgang gegenüber. Ein Grund hierfür stellt sicherlich das in 2013 ausgeweitete Ressourcenmanagement dar.

In **Kapitel 3** des Berichtes werden Beispiele für die Qualitätssicherung, die Betriebsoptimierung und das Energiecontrolling dargestellt. Die Sanierungsmaßnahmen am Hauptgebäude der Albrecht-Dürer-Schule sowie die Ergebnisse der Beleuchtungssanierung in der Sporthalle der Schule am Pfaffenberg werden dargelegt. Als Beispiel für eine Betriebsoptimierung werden die Maßnahmen im Neubau der Hessenwaldschule erläutert, als Beispiel für das Energiecontrolling dient der Betrieb des Pelletkessels an der Marienschule.

Der Ausbau der regenerativen Energien wurde weiter fortgeführt, dies wird in **Kapitel 4** des Berichtes ausgeführt. Seit 2008 wurden zwanzig Pelletkessel installiert sowie drei Hackschnitzelkessel errichtet. Die in der Heizzentrale der Joachim-Schumann-Schule errichteten Kessel können sowohl Pellets als auch Hackschnitzel verfeuern. Insgesamt beträgt die Heizleistung auf Basis von Biomasse mittlerweile 5.755 kW.

In **Kapitel 5** wird ein Überblick über die eingeworbenen öffentlichen Fördermittel gegeben.

Die Verbrauchsdaten der einzelnen Schulen werden in diesem Bericht nicht einzeln aufgelistet, sie können auf der Homepage des Da-Di-Werks unter dem Verzeichnis Schulen eingesehen und bei Interesse heruntergeladen werden.

2. Verbrauchsdaten der Schulen

2.1 Heizenergie

Natürgemäß schwankt der Heizenergieverbrauch je nach Witterung, weshalb eine Klimabereinigung des Heizenergieverbrauches über die Gradtagszahlen (Methode zur Witterungsbereinigung des Heizenergieverbrauches) durchgeführt wird. In der nachfolgenden Abbildung 1 ist der aufsummierte Heizenergieverbrauch aller Schulen abgebildet. Es ist zu erkennen, dass der klimabereinigte Verbrauch (als Säulen dargestellt) über die vergangenen Jahre seit 2010 nahezu konstant ist. 2018 lag er bei ca. 50.800 MWh. Der unbereinigte Verbrauch, hier als Linie abgebildet, weist naturgemäß höhere Schwankungen auf. Im betrachteten Zeitraum lag der Verbrauch zwischen 35.000 und 48.000 MWh. Der sehr niedrige Wert von 35.000 MWh in 2014 resultiert aus dem extrem warmen Jahr.

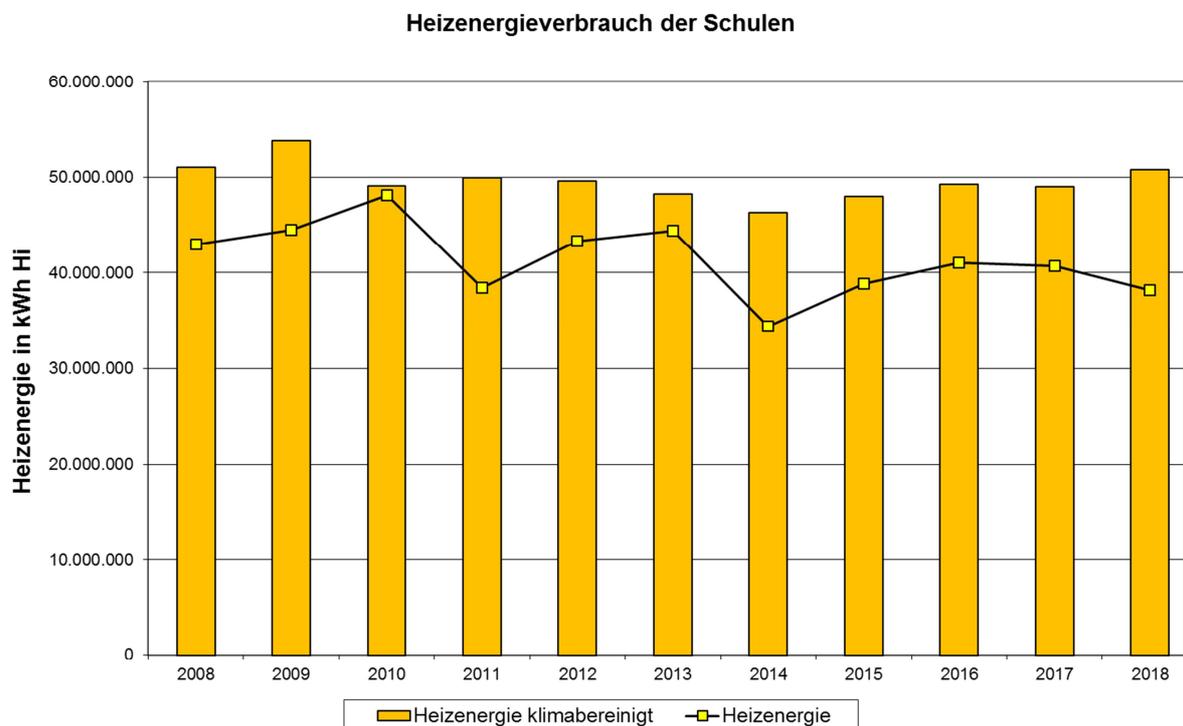


Abbildung 1

Die beheizte Netto-Grundfläche hat seit 2008 stark zugenommen, das wird aus Abbildung 2 ersichtlich. Bedingt durch die Neubau- und Sanierungsmaßnahmen im Rahmen der Konjunkturprogramme, sowie die Umsetzung des Schulbau- und Schulsanierungsprogramms, ist die Netto-Grundfläche um über 15 % gestiegen, von knapp 398.000 m² im Jahr 2008 auf annähernd 446.000 m² im Jahr 2018. Bildet man nun den Heizenergieverbrauch pro Fläche, so erkennt man eine Reduzierung des klimabereinigten Heizenergiekennwertes von 128,2 kWh/m²a in 2008 auf 108,6 kWh/m²a in 2014. Seit 2014 steigt der Kennwert wieder leicht an, auf 113,9 kWh/m²a in 2018.

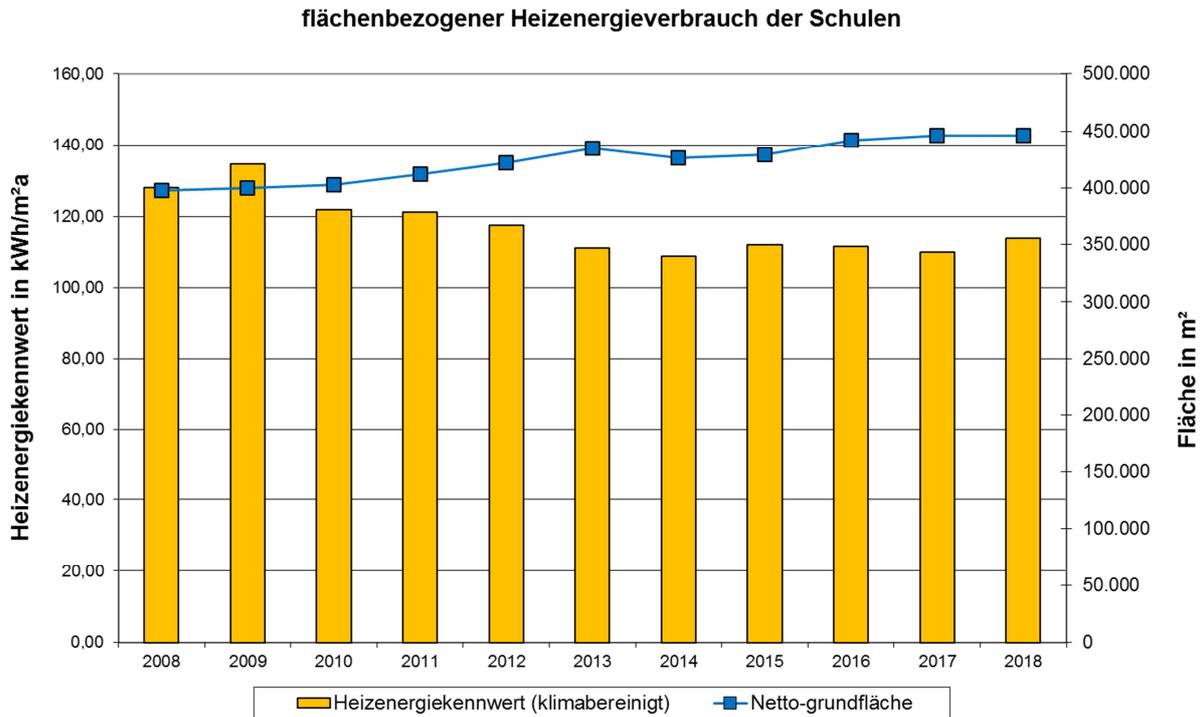


Abbildung 2

Hier zeigen die, in den Leitlinien zum nachhaltigen Bauen festgelegten, anspruchsvollen Neubau- und Sanierungsvorgaben ihre Wirkung. So werden Neubauten generell in Passivhausbauweise errichtet, bei Sanierungen ist ein Dämmstandard umzusetzen, der über die gesetzlichen Anforderungen hinausgeht, wenn möglich sind Passivhauskomponenten einzusetzen. Aus Abbildung 3 wird die Summe der eingesparten Heizenergie seit 2008 ersichtlich, diese summiert sich bis 2018 auf 98.361 MWh. Die vermiedenen Heizkosten belaufen sich auf 7,13 Mio. EUR.

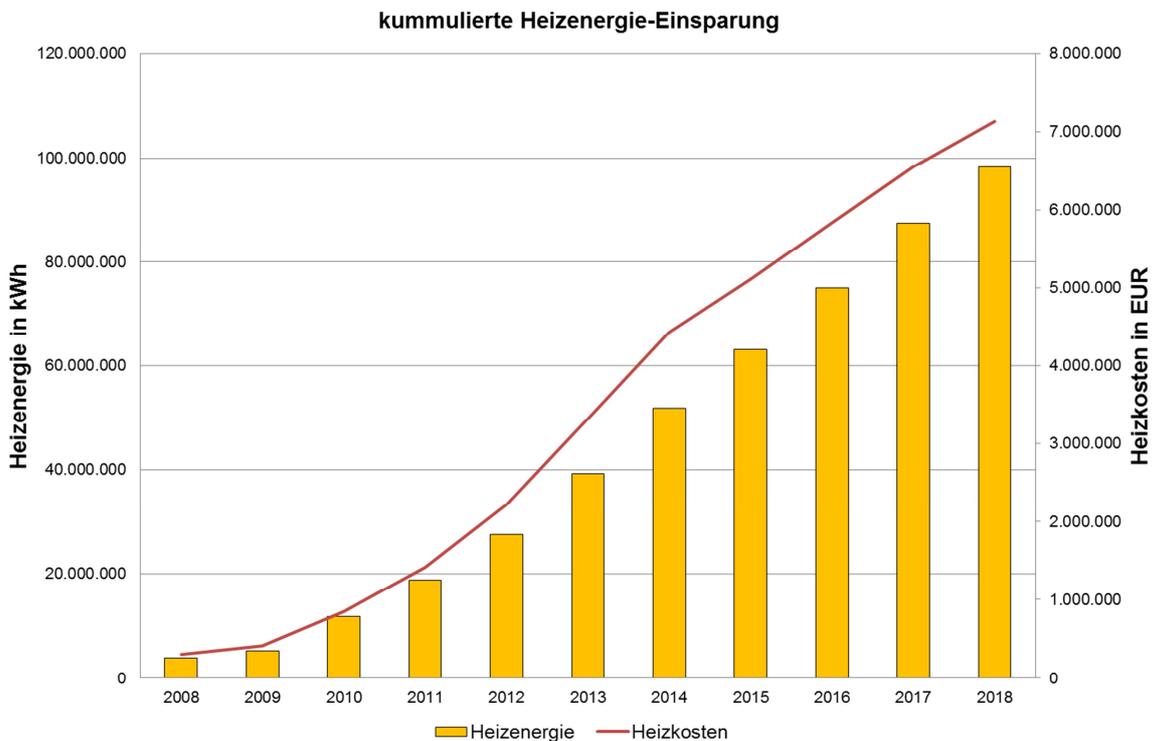


Abbildung 3

Die prozentuale Aufteilung der Heizenergie auf die unterschiedlichen Energieträger wird in Abbildung 4 dargestellt. Der weitaus größte Anteil der Wärme wird noch immer über Erdgas erzeugt. Allerdings ist dieser Anteil am Sinken, waren es in 2008 mit 79 % noch über 3/4, so sank der Anteil in 2018 auf 63 %. Der Anteil der Wärmeerzeugung durch Heizöl ist mittlerweile mit unter 1 % ebenso vernachlässigbar, wie der Anteil der Wärmeerzeugung aus Strom mit unter 0,1 %. In dieser Summe nicht enthalten sind allerdings die strombeheizten Container, die als temporäre Räume bei Um- und Neubaumaßnahmen, aber vermehrt auch als Möglichkeit für schnelle Zubauten genutzt werden. Der Strombezug hierfür erfolgt über Kraftstrom und wird in der Regel nicht separat erfasst. Diese Energie wird deshalb im Kapitel Strom betrachtet.

Der Anteil der Wärmeerzeugung aus Biomasse wird weiterhin ausgebaut. So stieg der Anteil in den vergangenen 10 Jahren von 1,2 % in 2008 auf 19,6 % in 2018. Dies ist fast ein Fünftel der gesamten Heizenergie.

Der Anteil an Wärmeerzeugung aus Nahwärme betrug in 2016 17 %. Dabei handelt es sich um insgesamt fünf große Schulen, die über je eine Heizzentrale mit Erdgaskessel plus BHKW mit Wärme versorgt werden.

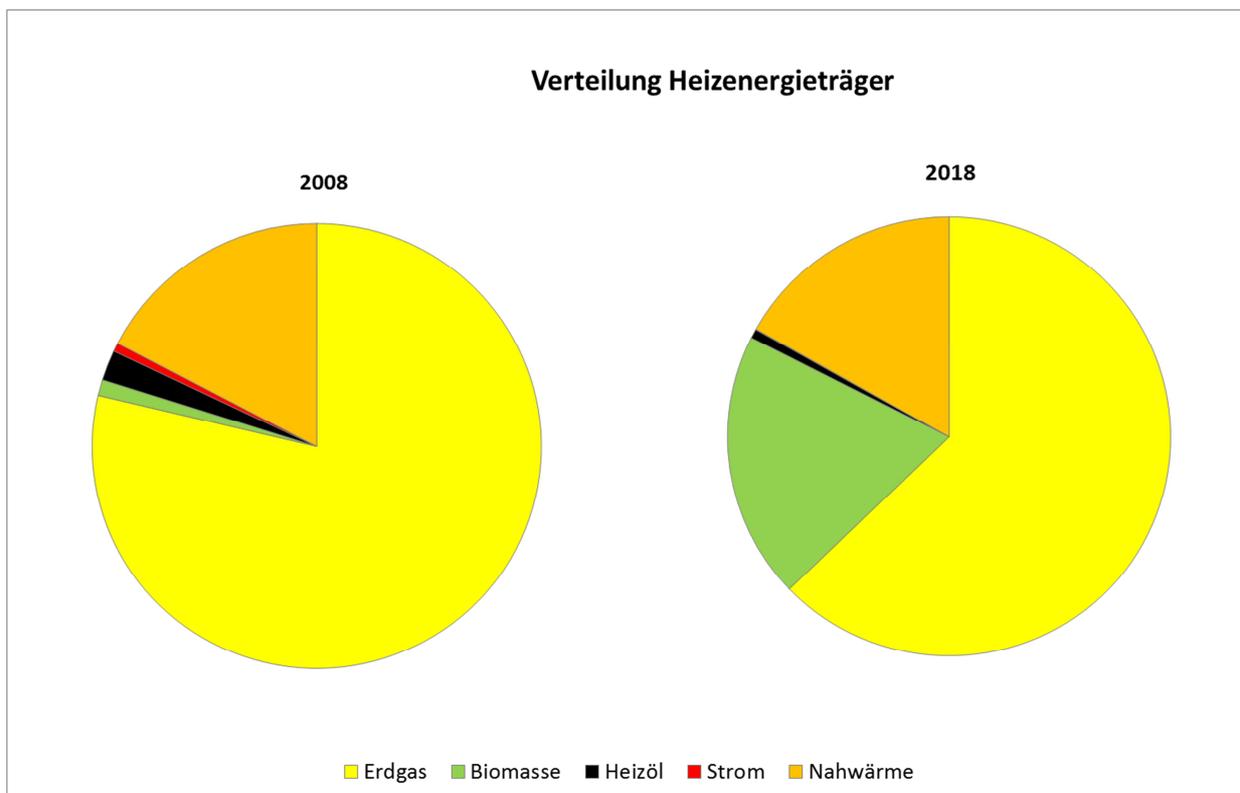


Abbildung 4

Kostenentwicklung

In der nachfolgenden Abbildung 5 ist die Entwicklung der Brutto-Heizenergiepreise dargestellt. Für die Ermittlung der Kosten für Nahwärme und Hackschnitzellieferungen gilt eine Besonderheit. Da beide Energieträger nach erzeugter Wärmemenge abgerechnet werden, fließen hierbei die Kesselverluste - im Gegensatz zu den anderen Heizenergieträgern - in die Preise ein. Deshalb wurde für diese beiden Energieträger ein pauschaler Wirkungsgrad von 80 % in die Preise eingerechnet, um eine bessere Vergleichbarkeit der Preise zu gewährleisten.

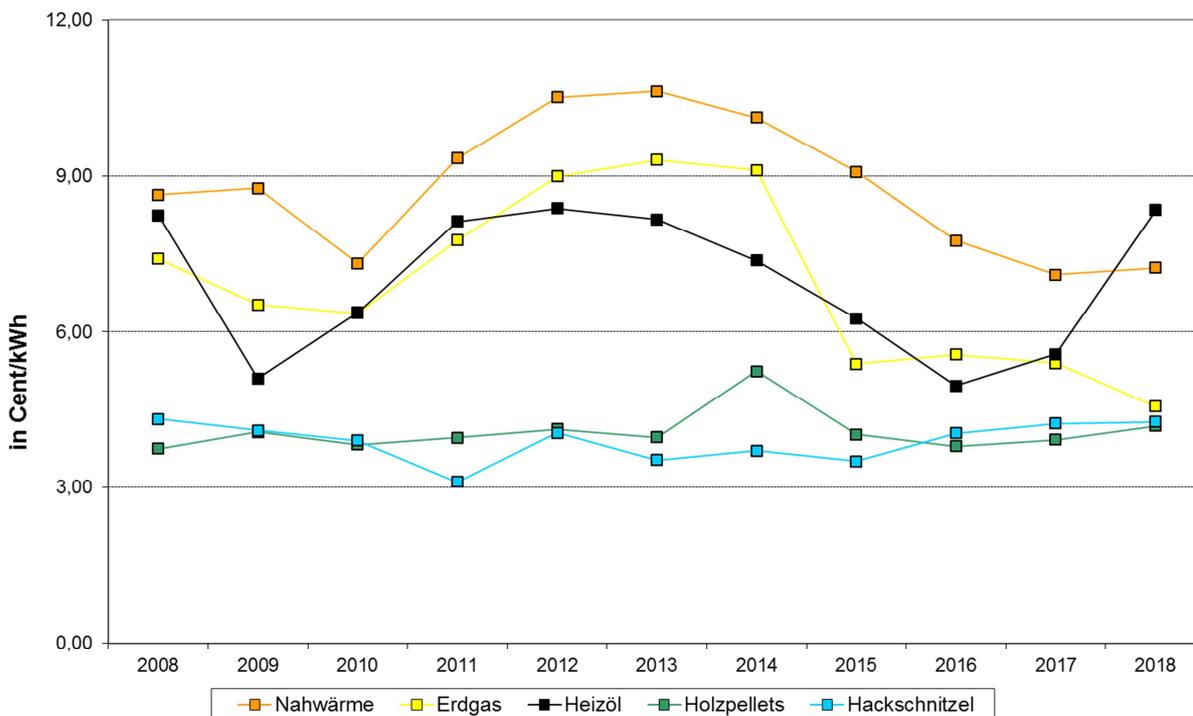


Abbildung 5

Es ist zu erkennen, dass die Preise für Heizöl, Erdgas und Nahwärme relativ stark schwanken. Nach einem Maximum in den Jahren 2011 bis 2014 sind sie in den letzten Jahren wieder gesunken.

Der Preisanstieg für Nahwärme schwankt mit dem Preis für Erdgas. Das ist plausibel, da die von uns bezogene Nahwärme mit Gas erzeugt wird. Die Kosten für Nahwärme sind naturgemäß höher als die Preise für andere Heizenergieträger, da die Investition in eine Heizungsanlage sowie die Instandhaltungs- und Wartungskosten in den Preis eingerechnet sind.

Der starke Preisrückgang für Erdgas resultiert aus der für das Jahr 2015 bis 2017 erstmals erfolgten öffentlichen Ausschreibung. Aufgrund des guten Zeitpunktes der Ausschreibung konnten Preise erzielt werden, die im unteren Bereich der marktüblichen Preise lagen. Da außerdem mit den neuen Verträgen keine Ölpreis-Bindung mehr besteht, liegt die Höhe der Einsparung bei fast 50 %. Dies macht sich bei den Heizkosten ab 2015 deutlich bemerkbar.

Der relativ hohe Preis für Heizöl in 2018 spiegelt den bundesweiten Trend im Herbst 2018 wider.

Die geringste Preisschwankung verzeichnen die Preise für Holz hackschnitzel und Pellets. Diese Preise werden in zwei- bis dreijährlichen europaweiten Ausschreibungen erzielt.

In Abbildung 6 ist die Entwicklung der Heizkosten als Säulen dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Kosten von 2008 bis 2013 um 16 % anstiegen und in 2014 wieder auf das Niveau von 2011 gefallen sind. Der Rückgang der Preise für Öl und Gas führte bis 2010 trotz Verbrauchssteigerungen bzw. gleichem Verbrauch zu sinkenden Kosten. Der über alle Heizenergieträger gemittelte Energiepreis lag in 2008 bei 8,0 ct/kWh. In 2013 stieg er auf 9,2 ct/kWh, in 2018 fiel er auf 5,3 ct/kWh.

Außer von der Preisentwicklung hängen die jährlichen Kosten natürlich auch stark von der Witterung ab. So war das Jahr 2012 kälter als 2011, die Kosten stiegen deshalb besonders stark, zum einen durch den erhöhten Verbrauch, zum anderen durch den Anstieg der Preise. Andererseits beruht der starke Rückgang der Heizkosten in 2014 um insgesamt 26 % zum größten Teil auf der extrem warmen Witterung dieses Jahres. Das Jahr war 24 % wärmer als das Vorjahr, die Heizkosten sanken aufgrund leicht gefallener Preise sogar um 26 %.

Wie vorangegangen bereits erläutert, sind die Preise für den Erdgasbezug ab 2015 aufgrund der öffentlichen Ausschreibung deutlich gesunken. So betragen die Kosten in 2018 mit 2,028 Mio. EUR weniger als die Hälfte der Kosten von 4,171 Mio. EUR in 2013.

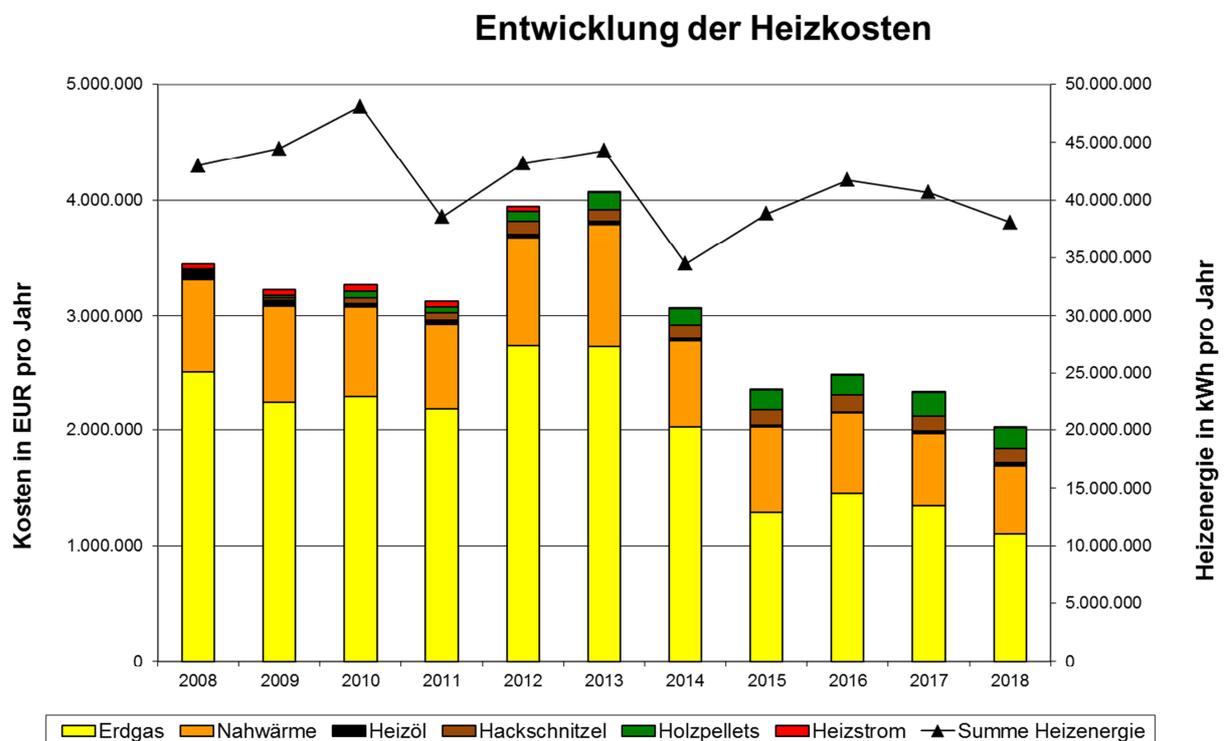


Abbildung 6

Emissionsbilanz

Die mit der Beheizung verbundenen CO₂-Emissionen werden mit dem Computermodell GEMIS, der Version 4.8 berechnet. Dieses Modell bilanziert die gesamten Emissionen für verschiedene Energieprozesse, inklusive Gewinnung, Transport, Verarbeitung und Nutzung. In der Abbildung 7 sind die CO₂-Äquivalent-Emissionen der verschiedenen Heizenergieträger pro Jahr als Säule aufgeführt. Nach einem Anstieg bis 2010 sinken die Emissionen seitdem und liegen in 2018 bei 7.992 t. Das bedeutet eine Reduzierung von 3.619 t seit dem Höhepunkt in 2010.

Die über alle Energieträger gemittelten CO₂-Emissionen pro kWh erzeugter Wärmemenge werden als schwarze Linie dargestellt. Auch dieser Mittelwert verminderte sich bis 2015 stetig und stagniert seitdem bei 0,21 kg/kWh. Die durchschnittliche CO₂-Emission lag 2008 noch bei 0,25 kg/kWh. Dieser Rückgang resultiert vor allem aus der Umstellung von Öl- und Gasheizungen auf eine Beheizung mit Biomasse.

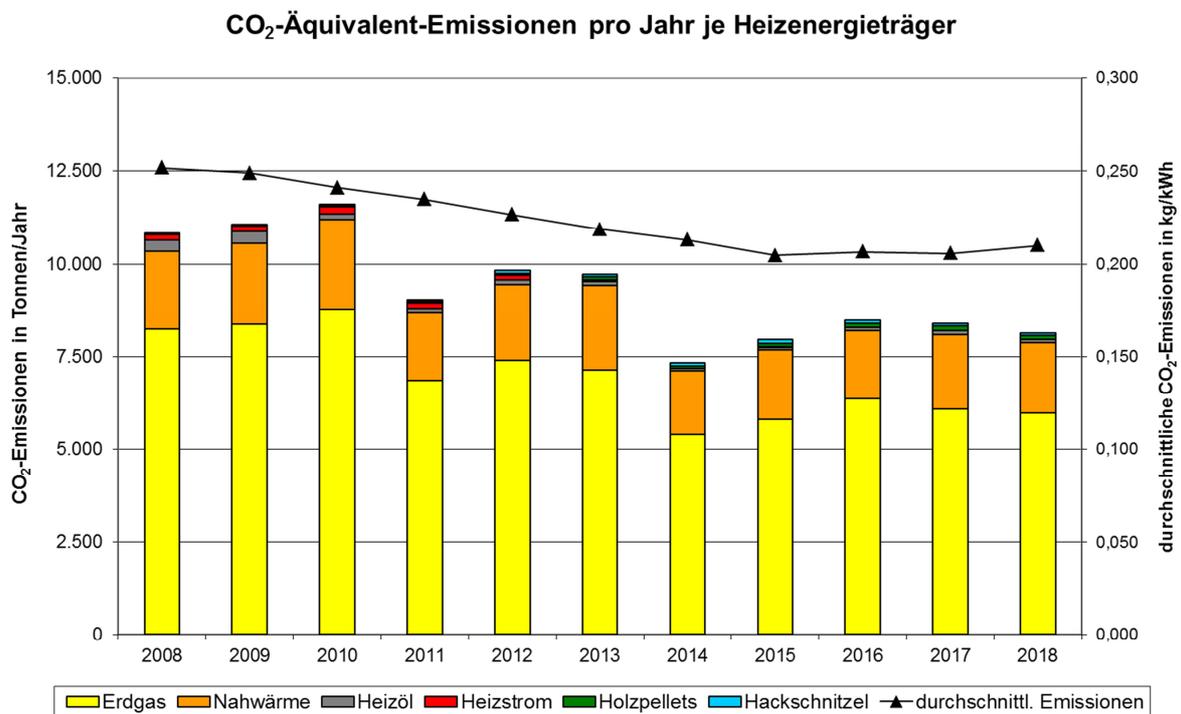


Abbildung 7

2.2 Strom

Entgegen der Entwicklung im Heizenergiebereich stieg der Verbrauch an elektrischer Energie bis 2013 stetig an, erkennbar in der Darstellung in Abbildung 8. Auch die flächenspezifischen Verbräuche, die in Abbildung 9 dargestellt sind, zeigen bis 2013 eine steigende Tendenz. In den letzten vier Jahren stagnieren die Höhe des Verbrauchs und der flächenspezifische Stromverbrauchskennwert.

Stromverbrauch und Stromkosten für Schulen

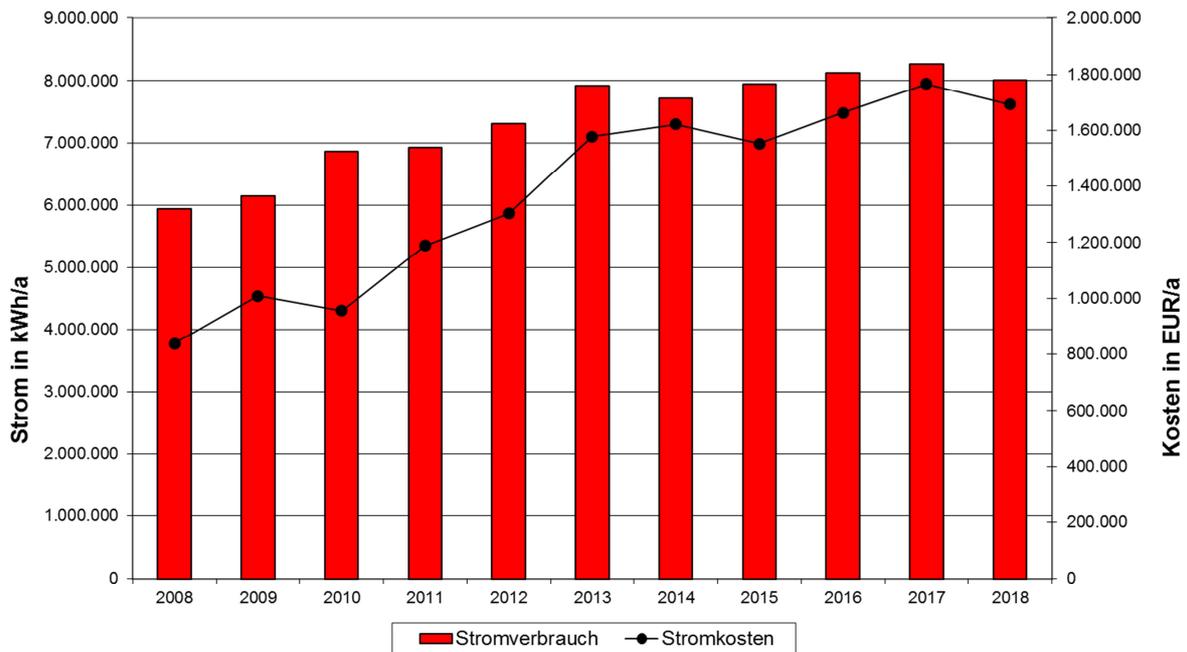


Abbildung 8

flächenbezogener Stromverbrauch der Schulen

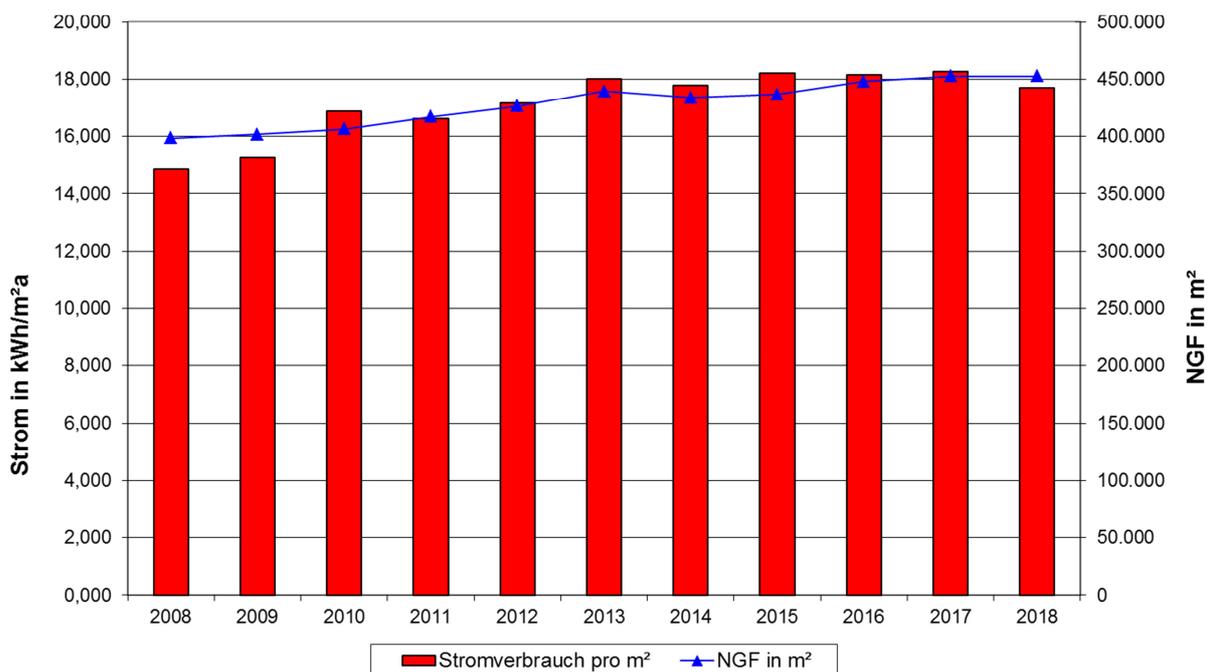


Abbildung 9

Wie bereits in den letzten Energieberichten ausgeführt, gibt es mehrere Gründe für den Anstieg dieser Verbräuche. Eine der Ursachen ist die Ausweitung der Betriebszeiten durch den Ganztagschulbetrieb. Mechanische Lüftungsanlagen sowie die Beleuchtung werden länger betrieben, was unmittelbar zu steigendem Stromverbrauch führt. Damit einhergehend wurde auch das Mittagessensangebot ausgebaut. Selbst wenn in den meisten Schulen nicht Vorort gekocht wird, so ist dennoch Energie für die Warmhaltung bzw. Kühlung der Speisen, das Spülen, die Beleuchtung und die Belüftung der Küchen und Mensen notwendig.

Weiterhin wird ein sehr hoher Anteil des Stromverbrauches durch die Nutzung von Containern verursacht. Diese zeitweise genutzten Container dienen als Ausweichräume bei Sanierungen oder Umbaumaßnahmen. Weiterhin werden sie aufgestellt, wenn kurzfristig ein weiterer Bedarf an Klassenräumen notwendig wird. Diese Containeranlagen sind in den meisten Fällen strombeheizt, da ein Anschluss an die bestehende Heizenergieversorgung oftmals aus wirtschaftlichen oder Kapazitätsgründen nicht möglich ist. Bei Untermessungen an unterschiedlichen Schulen wurde ein Stromverbrauch zwischen 120 und 240 kWh/m²a ermittelt. Rechnet man diesen Kennwert auf die gesamte Containerfläche an allen Schulen hoch, so bedeutet das z. B. für 2014 einen Strom-Mehrverbrauch zwischen 583.000 und 1.167.000 kWh. Das entspricht einem Anteil am gesamten Stromverbrauch zwischen 7,5 und 15 %, und damit etwa der Hälfte des Strommehrverbrauchs seit 2008, und ist eine Auswirkung der erhöhten Bautätigkeiten aufgrund des Schulneubau- und Schulsanierungsprogrammes.

Natürlich führt auch der Einbau von Lüftungsanlagen in neue und sanierte Schulen zu einer Erhöhung des Stromverbrauchs. Allerdings handelt es sich bei diesen Lüftungsanlagen um solche mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Neben einer besseren Luftqualität führt dies während der Heizperiode zu einer Einsparung von Heizenergie, da die Wärme der geruchsbelasteten Abluft zu 80 bis 90 % auf die kalte Zuluft übertragen wird. Die hierdurch eingesparte Menge an Heizenergie ist deutlich höher als der Mehrbedarf an elektrischer Energie.

Kostenentwicklung

Die Entwicklung der mittleren Strompreise ist in Abbildung 10 dargestellt. Es handelt sich hierbei um die gezahlten Bruttokosten, geteilt durch die Anzahl der Kilowattstunden, das bedeutet alle Strompreisbestandteile wie Leistungspreis, Netznutzungsentgelte und Umlagen sind inbegriffen. Für den Bereich der Tarifverträge stiegen die Preise von 2008 bis 2013 um 4,8 ct/kWh oder 23 %, seitdem sinkt er leicht. Im Bereich der Sonderverträge stieg der Preis im betrachteten Zeitraum bis 2014 um 6,1 ct/kWh, das entspricht einer Erhöhung von 44 %. Nach einem Rückgang in 2015 liegt er für 2016 wieder auf dem Niveau von 2014.

Mittlerweile bestimmen die Netzentgelte, Steuern und Umlagen den weitaus größten Teil des Strompreises. In 2016 lag der Anteil des reinen Stromarbeitspreises am mittleren Strompreis bei unter 20 %. Das bedeutet, 80 % der Kosten können durch die Ausschreibungen nicht beeinflusst werden. In 2019 erfolgt eine neue Strom-Ausschreibung für die Jahre 2020 bis 2022 (siehe 2.3 Energiebeschaffung).

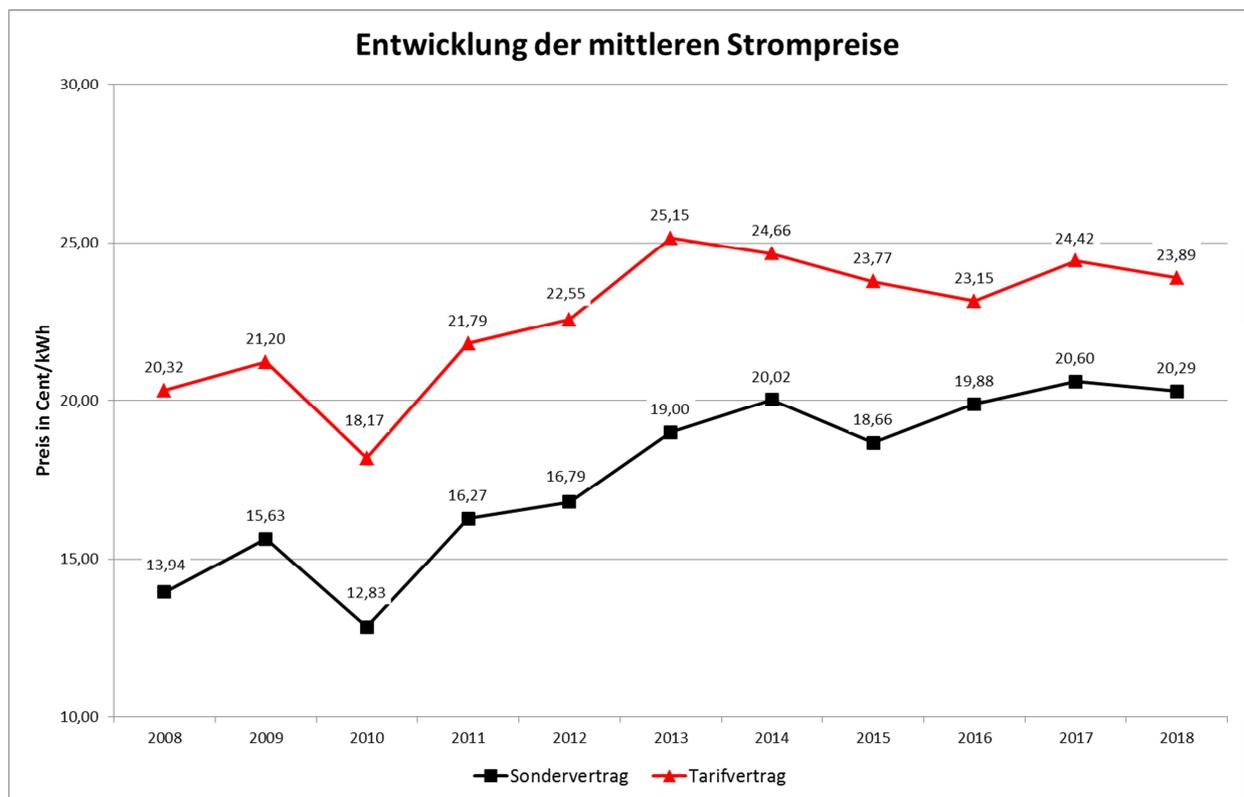


Abbildung 10

Emissionsbilanz

In Abbildung 11 sind die durch den Strombezug an den Schulen verursachten CO₂-Emissionen als Säulen dargestellt. Als schwarze Linie ist die Höhe der Emissionen gekennzeichnet, die bei Bezug von Strom im Bundes-Mix entstanden wären.

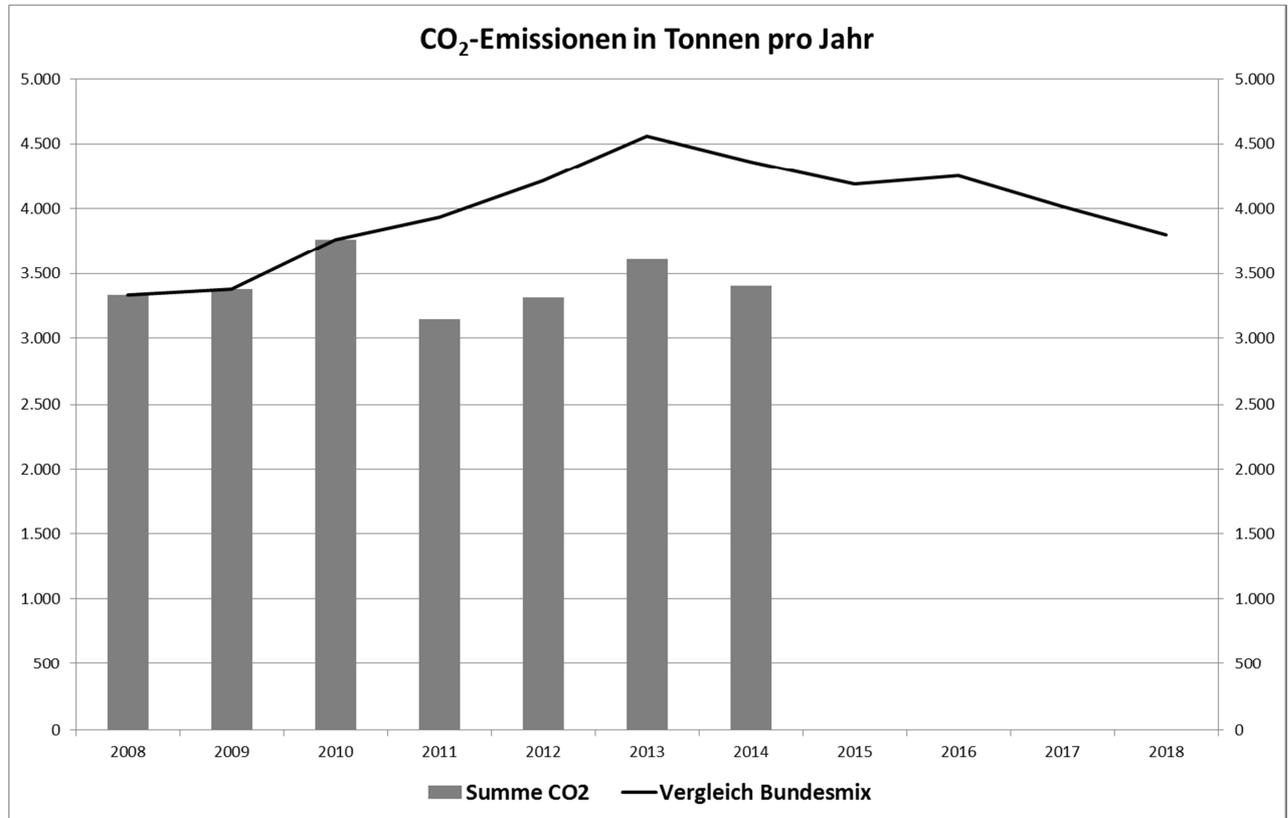


Abbildung 11

Ab 2011 wurde in der Ausschreibung für den Strombezug der Abnahmestellen im Tarifkundenbereich Strom aus 100 % erneuerbaren Quellen gefordert. Das betraf zu dem Zeitpunkt etwa ein Fünftel der gesamten Strommenge. Für den Bereich der Sonderverträge wurde keine Vorgabe gemacht. Seit 2015 wird für alle Liegenschaften CO₂-neutraler Strom bezogen. Deshalb liegen die Emissionen seit diesem Zeitpunkt bei null.

Für die Berechnungen der Emissionen werden die vom Umweltbundesamt veröffentlichten CO₂-Emissionen herangezogen. Anders als im Bereich der Heizenergie sinken die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung kontinuierlich, siehe Abbildung 12. Dies ist die Folge des stetigen Ausbaus der erneuerbaren Energiequellen. Der mittlere CO₂-Faktor sank von 764 g/kWh in 1990 auf 474 g/kWh in 2018.

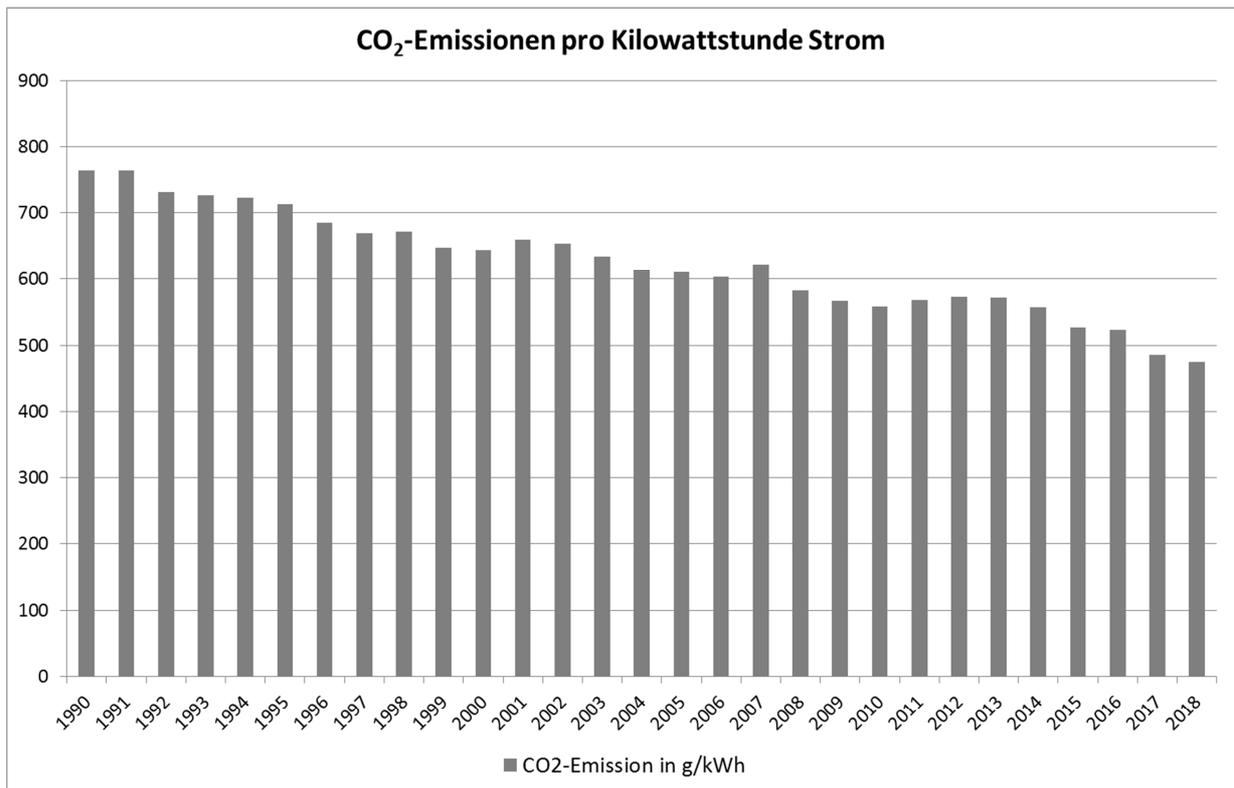


Abbildung 12

2.3 Energiebeschaffung

Der Bezug von Energie, wie Strom, Erdgas, Holzpellets oder Hackschnitzel muss wie alle anderen Lieferleistungen auch, öffentlich ausgeschrieben werden.

Die Strom- und Erdgaslieferungen für alle Liegenschaften des Da-Di-Werkes werden im August 2019 europaweit ausgeschrieben. Die Verträge werden eine Laufzeit von drei Jahren haben mit der Möglichkeit, die Verträge zweimal um ein weiteres Jahr zu verlängern.

Die jährlich benötigte Pelletmenge ist mittlerweile ebenfalls so groß, dass der Bezug europaweit ausgeschrieben werden muss. Die Ausschreibung erfolgte 2017 für den Zeitraum 2018 - 2019, mit einer Verlängerungsoption um ein Jahr.

Die Ausschreibung für den jährlichen Bedarf an Holzhackschnitzeln muss ebenfalls europaweit veröffentlicht werden. Für die nächste Lieferperiode (Oktober 2019 bis September 2021) erfolgt die Ausschreibung in 2019.

2.4 Wasser- und Abwasser

Der Wasserverbrauch an den Schulen erhöhte sich seit 2014 deutlich, wie aus Abbildung 13 ersichtlich wird. Der Grund hierfür liegt in dem weiteren Ausbau der Ganztagsbetreuung und der damit einhergehenden Mittagsversorgung.

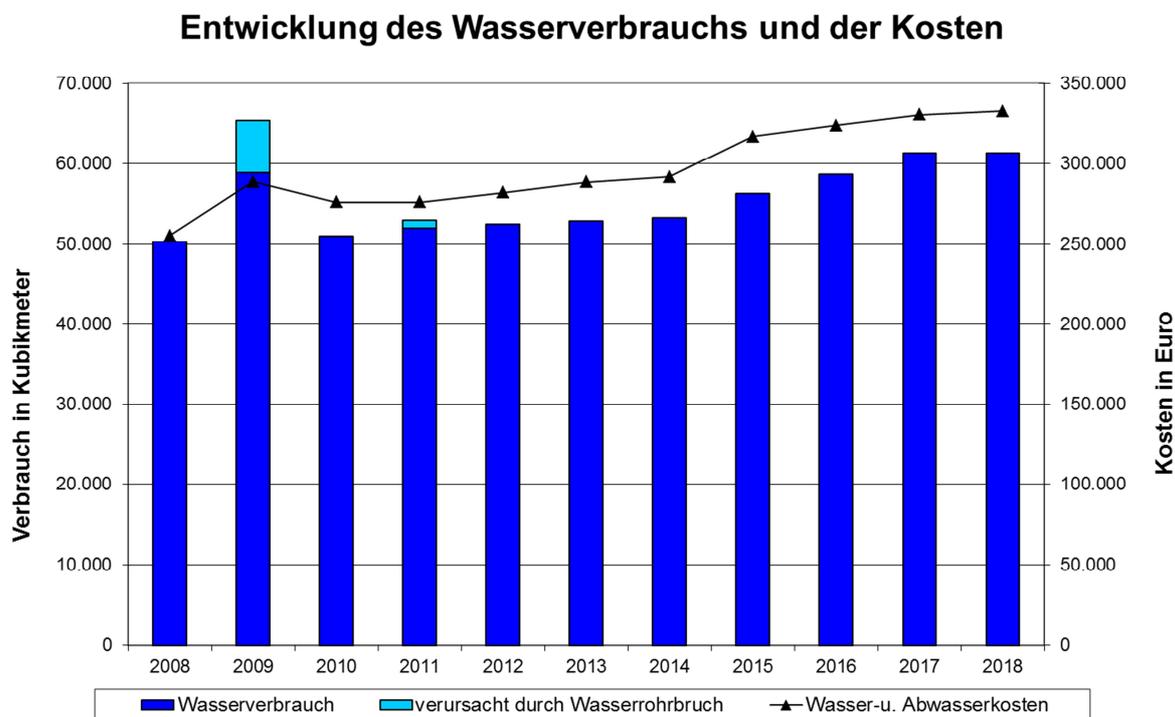


Abbildung 13

In Abbildung 13 ist auch zu erkennen, dass die spezifischen durchschnittlichen Wasserpreise innerhalb der letzten Jahre relativ konstant waren. Der Durchschnittspreis für Wasser und Abwasser ist von 2008 bis 2018 um 6,9 % gestiegen.

Die Kosten für die Wasserversorgung schwanken innerhalb des Landkreises von Gemeinde zu Gemeinde teilweise sehr deutlich. So betragen die Kosten für Trinkwasser 2018 in Griesheim 1,13 EUR/m³, in Mühlthal waren sie mit 2,50 EUR/m³ mehr als doppelt so hoch. Die Abwassergebühren schwanken noch stärker, zwischen 1,17 EUR/m³ in Alsbach-Hähnlein und 5,76 EUR/m³ in Modautal.

Niederschlagsgebühren

Mittlerweile haben alle Gemeinden im Kreisgebiet eine gesplittete Abwassergebühr eingeführt. Hierbei werden die Abwassergebühren in einen Anteil für das Schmutzwasser und einen für das Niederschlagswasser aufgeteilt. 2008 wurde diese Gebühr erst in 16 Städten und Gemeinden des Landkreises erhoben. Die Anzahl der Gemeinden, die diese Gebühr erhoben, erhöhte sich in den folgenden Jahren. Dies ist der Grund für die in Abbildung 14 erkennbare Zunahme der Fläche und Kosten.

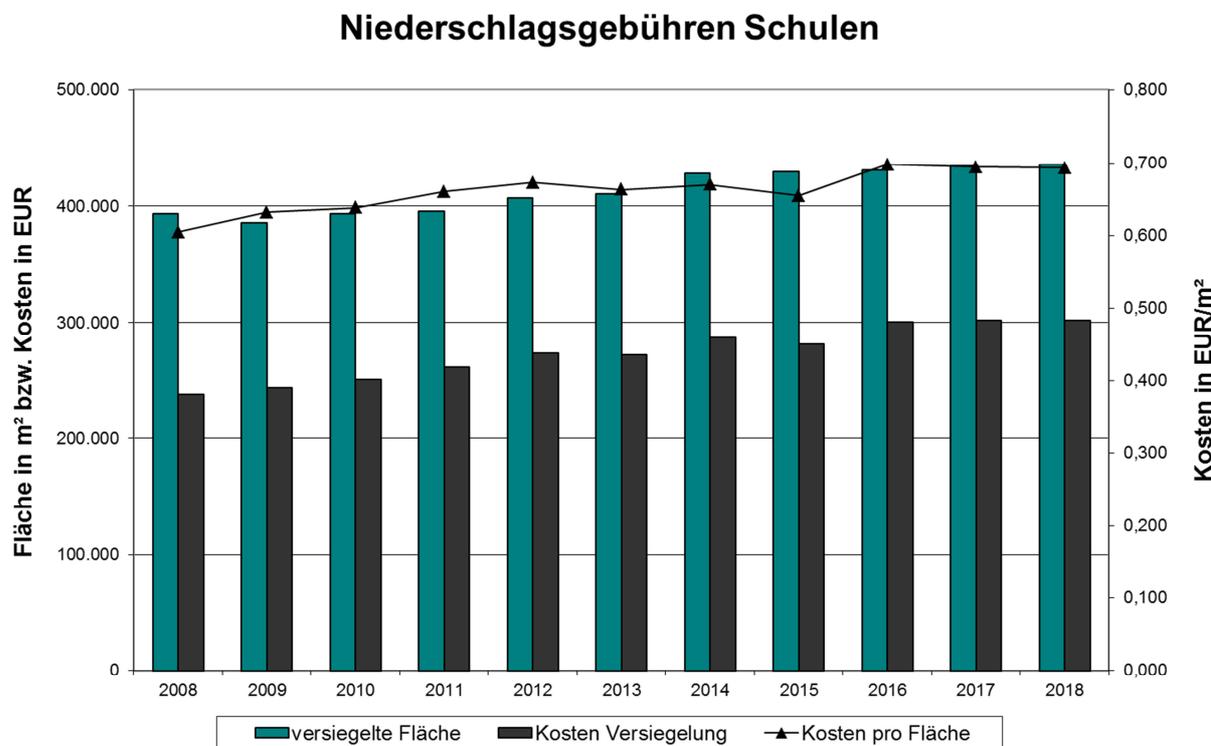


Abbildung 14

Wie schon bei den Wasser- und Abwassergebühren, so bestehen auch bei der Höhe der Niederschlagsgebühren starke Unterschiede zwischen den Gemeinden. So betragen in 2018 die spezifischen Preise 2018 in Bickenbach 0,28 EUR/m², in Dieburg dagegen 1,00 EUR/m². Der Durchschnittspreis lag bei 0,69 EUR/m².

2.5 Abfall

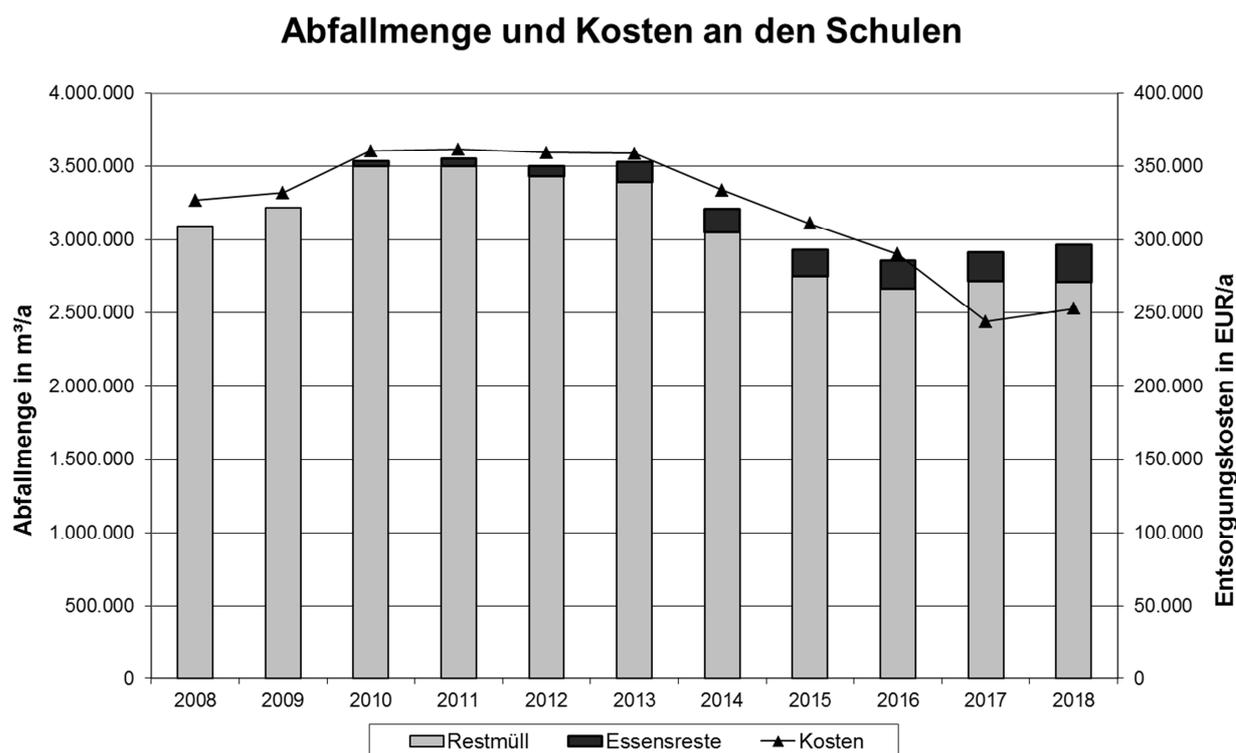


Abbildung 15

In der vorangestellten Abbildung 15 ist die Entwicklung des Abfallaufkommens an den Schulen dargestellt. Bis 2010 gab es eine Steigerung der Abfallmenge, ein Grund dafür lag sicherlich an den verlängerten Nutzungszeiten der Schulen im Rahmen der Ganztagsbetreuung und auch im Ausbau der Mittagsspeisensversorgung. Von 2011 bis 2013 stagnierte das Abfallaufkommen, ab 2013 erfolgte eine deutliche Reduzierung der Abfallmenge. Der Hauptgrund für den starken Rückgang wird in der erfolgreichen Einführung des Ressourcenmanagements vermutet. Dieses startete zum Schuljahresbeginn 2013/2014 mit 13 Schulen, bis 2018 wurde es auf 25 Schulen ausgeweitet. Die an diesem Programm teilnehmenden Schulen verpflichten sich zu einer Reduzierung der Abfallmengen, einem sparsamen Umgang mit Strom und Heizenergie sowie einem sorgsamem Umgang mit der Ausstattung und den Gebäuden. Im Gegenzug erhalten sie eine zusätzliche Putzkraft zur Reinigung der Sanitärräume.

Da die Gebühren für die Müllentsorgung von 2008 bis 2016 konstant waren, verliefen die Kosten für die Abfallentsorgung parallel zur Höhe des Abfallaufkommens, in 2017 gab es eine allgemeine Gebühren-Rückerstattung sowie eine Gebührenreduzierung, die zu einem deutlichen Rückgang der Kosten führte.

2.6 Zusammenfassung

Abbildung 16 fasst den klimabereinigten Energieverbrauch der Schulen über den Zeitraum 2003 bis 2018 zusammen. In 2003 wurde in allen Schulen eine Summe von 59.930 MWh für Beheizung und Stromwendungen benötigt. 2016 lag diese bei 59.727 MWh. Bei der Bewertung der Ergebnisse sind immer die in diesem Zeitraum deutlich vergrößerte Fläche und die ausgeweiteten Nutzungszeiten an den Schulen zu betrachten.

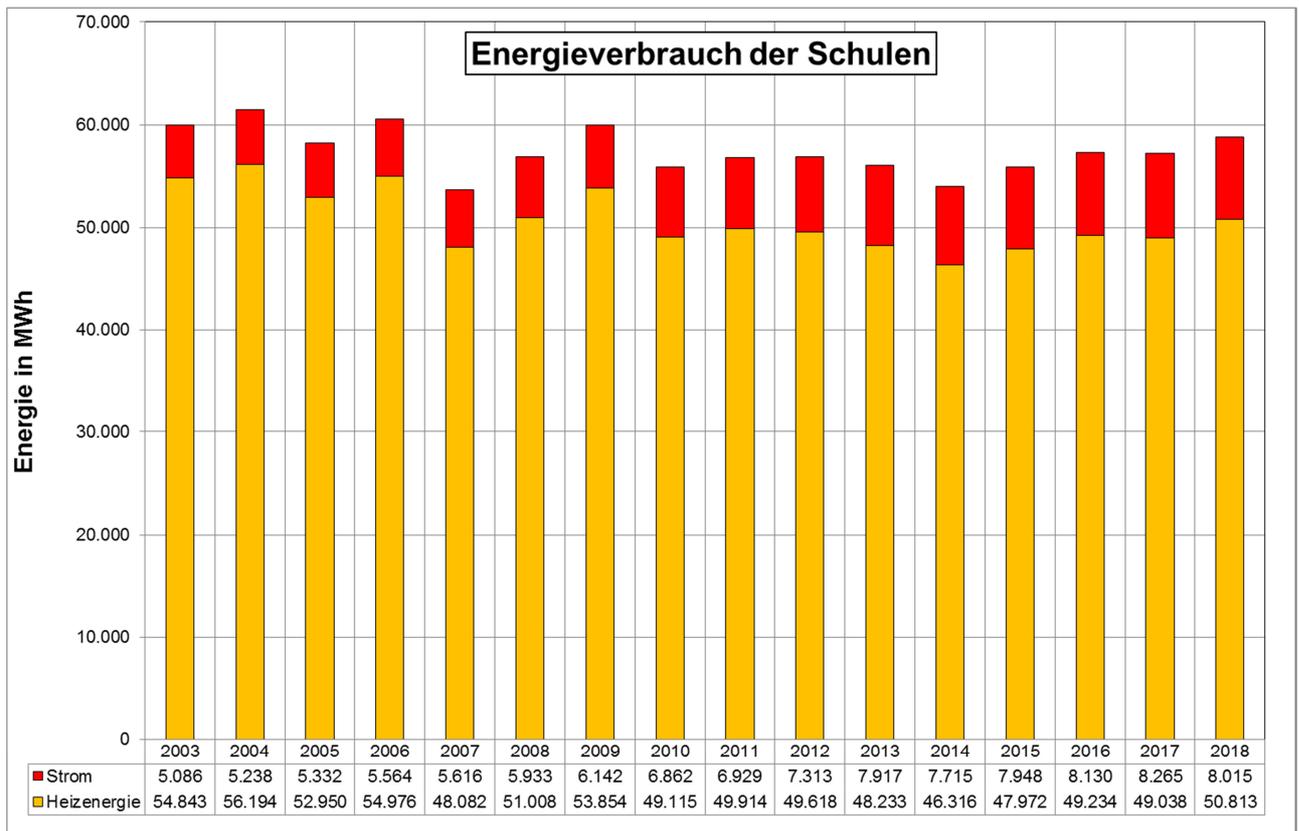


Abbildung 16

Einen Überblick über die Betriebskosten gibt Abbildung 17. Nach einem stetigen Anstieg der Kosten von 2003 bis 2013 auf 6,7 Mio. EUR, vermindern sich die Gesamtkosten seit 2014. Dies liegt an der starken Verringerung der Heizkosten, vor allem aufgrund der erzielten deutlich niedrigeren Erdgaspreise in der letzten Ausschreibung.

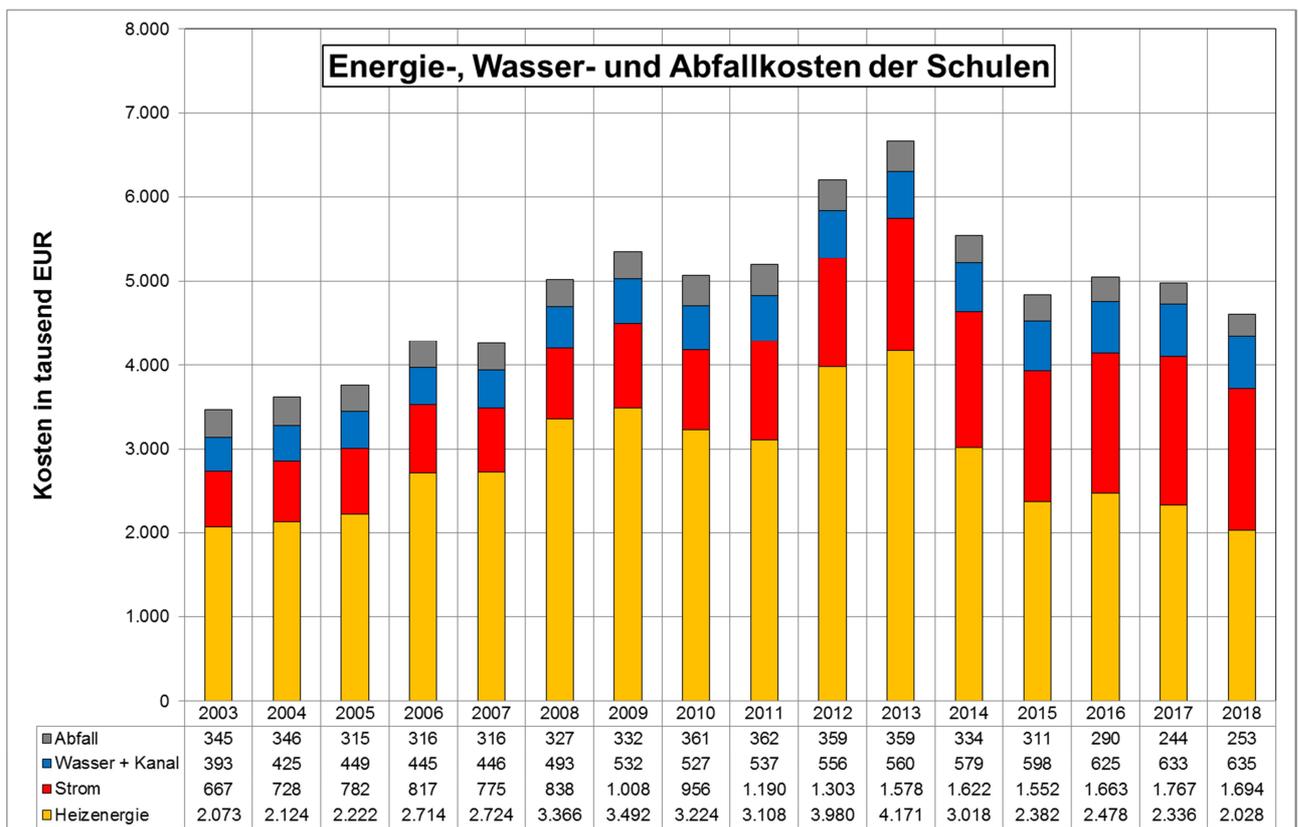


Abbildung 17

Die Entwicklung der CO₂-Emissionen, zusammengefasst für Heizenergie und Strom, ist in der nachfolgenden Abbildung 18 dargestellt. Die Linie kennzeichnet die Höhe der Emissionen, die verursacht worden wären, wenn es seit 2008 keine Veränderungen im Heizenergie- oder Strommix gegeben hätte. Das heißt, durch die Differenz der Fläche und der Linie wird sichtbar, wie hoch die Einsparung durch Umstellung auf emissionsärmere Energieträger und grünen Strom ist. In Abbildung 19 ist die aufsummierte Menge an vermiedenen CO₂-Emissionen über die vergangenen Jahre erkennbar.

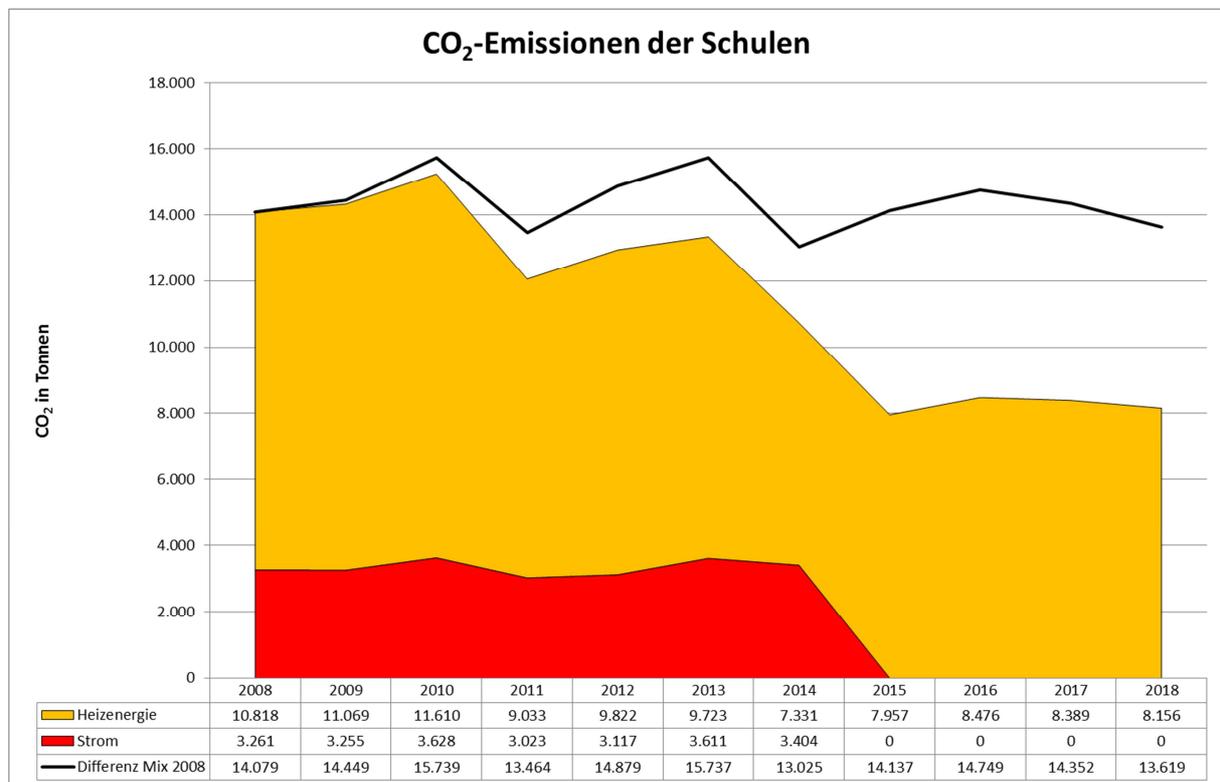


Abbildung 18

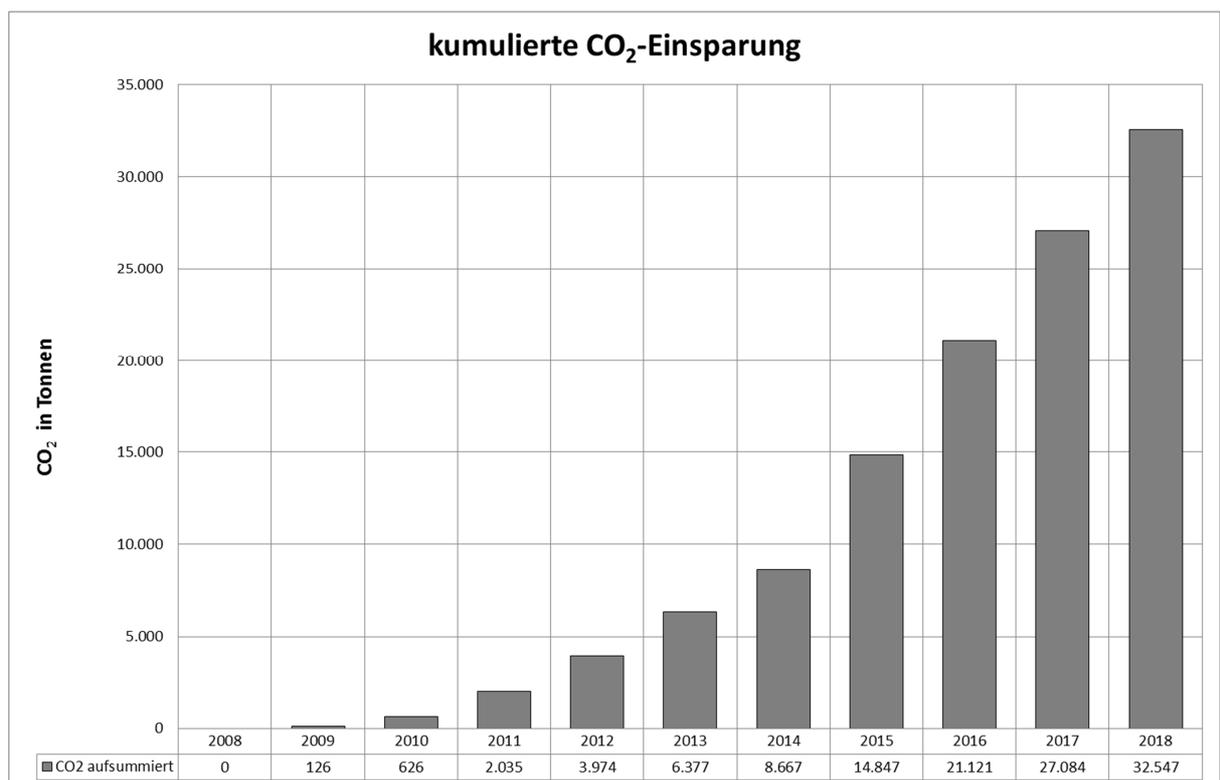


Abbildung 19

3. Maßnahmen / Beispielhafte Umsetzungen

3.1 Allgemeines

Im Jahr 2008 hat das Da-Di-Werk erstmals Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen erstellt. In diesen werden unter anderem Vorgaben für den Wärmeschutz aufgestellt, die deutlich über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehen. So wird für Neubauten generell der Passivhausstandard vorgegeben, wobei eine Zertifizierung der Gebäude im Allgemeinen nicht angestrebt wird. Bei Komplett-Sanierungen wird ein Heizenergiekennwert von 25 kWh/m²a angestrebt, bei der Durchführung von Teilsanierungen sind, soweit möglich, passivhaustaugliche Komponenten einzusetzen.

Die bestehenden Leitlinien werden in regelmäßigen Abständen aktualisiert, Erfahrungen werden eingearbeitet und Qualitätsvorgaben ergänzt, auch um die Langlebigkeit der Gebäude und damit die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Die Leitlinien wurden umbenannt in Leitlinien zum nachhaltigen Bauen, besser strukturiert und mit Checklisten versehen. Diese Checklisten dienen dazu, die Einhaltung der Vorgaben einfacher zu kontrollieren sowie bei Abweichung von einzelnen Vorgaben die Begründung dafür zu dokumentieren. Bei allen Planungsaufträgen sind diese Leitlinien mittlerweile Bestandteil der Beauftragung.

Die neueste Version der Leitlinien wurde 2018 in den entsprechenden Gremien und im Kreistag beschlossen.

3.2 Sanierungsmaßnahmen

Sanierung des Hauptgebäudes der Albrecht-Dürer-Schule

Die Albrecht-Dürer-Schule ist eine kooperative Gesamtschule am östlichen Ortsrand von Weiterstadt. Aktuell werden dort etwa 1.200 Schülerinnen und Schüler von ca. 100 Lehrerinnen und Lehrern unterrichtet.

Die Liegenschaft besteht aus dem Hauptgebäude, mehreren Nebengebäuden sowie einer Sporthalle. Insgesamt hatte die Schule eine Nutzfläche von etwa 12.500 m².



Das Hauptgebäude, das in zwei Bauabschnitten 1970 und 1974 errichtet wurde, musste aufgrund des unzureichenden Wärmeschutzes und Brandschutzmängeln grundlegend saniert werden.

Im Rahmen dieser Sanierung wurde durch die Aufstockung von Teilbereichen und die Errichtung von eingeschossigen Anbauten die Nutzfläche von 8.300 m² auf fast 9.400 m² vergrößert. Der naturwissenschaftliche Bereich wurde erneuert, der durch die Erweiterung der Mittagessensversorgung notwendige Platz für eine Mensa mit Aufwärmküche wurde in einem neuen Anbau untergebracht.

Über das Land Hessen wurde die Sanierung mit 2,3 Millionen EUR aus dem Förderprogramm Energetische Sanierung von kommunalen Nichtwohngebäuden gefördert. Es wurde der Standard „Modernisierung zum Passivhaus im Bestand“ erreicht, dieser entspricht einem Heizenergiekennwert von 25 kWh/m²a.

Die Sanierungsmaßnahme begann mit dem Aufbau von temporären Unterrichtsräumen, um den Schulbetrieb auch während der Baumaßnahme weiterführen zu können. Zum Schuljahresbeginn 2013 wurde eine Anlage aus Holzmodulen aufgebaut, mit dem Aufbau einer weiteren Containeranlage zum Schuljahresbeginn 2014 wurde das komplette Hauptgebäude ausgelagert.



Im Anschluss konnte die notwendige Schadstoffsanierung bis zum Sommer 2015 durchgeführt werden. Im nächsten Schritt folgten die notwendigen Abbrucharbeiten.



Dachdämmung

Die Dächer des Bestandsgebäudes waren nur mit einer 6 cm starken Dämmung gedämmt. Diese wurde ab Januar 2016 entfernt und neu als Gefälledämmung mit einer mittleren Stärke von 26 cm ausgeführt. Dadurch ergibt sich im Mittel ein U-Wert von $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Attiken wurden ebenfalls erneuert und mit einer entsprechenden Dämmung versehen.



Fensterarbeiten



Die bestehenden ungedämmten und undichten Aluminium-Schiebefenster wurden ebenfalls im Rahmen der Abbrucharbeiten demontiert. Die neuen passivhaustauglichen Holz-Aluminium-Fenster wurden ab März 2017 in die Dämmebene gebaut. Die Dreifachverglasung hat einen U-Wert von $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, der U-Wert des Holz-Rahmens mit aufgesetzter Aluminiumschale beträgt $1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$.

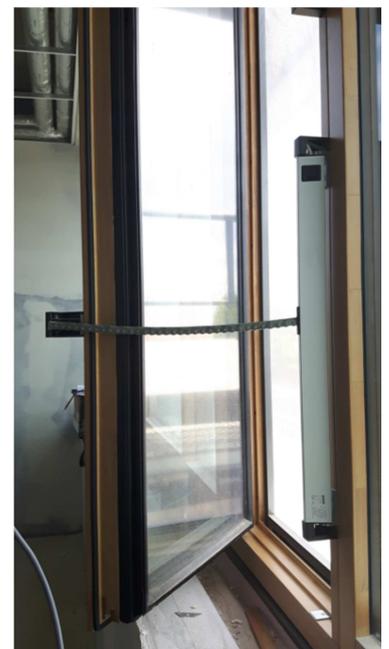


Ein Teil der Fassade wurde als Pfosten-Riegel-Konstruktion ausgeführt, auch diese Verglasung hat einen sehr guten U-Wert von $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, so dass der U-Wert über alle Fenster im Mittel $0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$ beträgt.

In den Klassen- und Verwaltungsräumen wurde jeweils ein Fenster als Nachtlüftungsflügel ausgeführt. Diese Flügel sind mit einem Gitter als Einbruch und Insektenschutz versehen und gewährleisten im Sommer zur Auskühlung nachts eine automatische Öffnung, wenn die Außentemperatur 5 Grad unter der Raumtemperatur liegt.

Auch in den Innenhöfen und im Sheddach sind einzelne Elemente zur automatisierten nächtlichen Lüftung vorgesehen.

Die Steuerung der Flügel erfolgt über die Gebäudeleittechnik, dadurch wird auch ein Öffnen der Fenster bei Regen vermieden.



Wärmedämmung der Wände

Das Gebäude wurde als Skelettkonstruktion in Stahlbeton-Fertigteilebauweise errichtet. Die Fassade bestand aus Fenster- und Brüstungsbändern. Die geschlossenen Fassadenelemente waren mit einer 4 – 5 cm dünnen Wärmedämmung versehen.

Im Zuge der Sanierung wurde auf die Vorsatzschale der vorhandenen Fassadenelemente eine 28 cm starke Polystyrol-Dämmung aufgebracht. Der U-Wert der Wand verbessert sich dadurch von 0,67 auf 0,11 W/m²K. Hierdurch werden nicht nur 80 % der bisherigen Wärmeverluste vermieden, sondern auch der thermische Komfort in den Klassenräumen deutlich verbessert.

Die Arbeiten an der Wanddämmung wurden im Zeitraum März bis November 2017 durchgeführt.

Bodenplatte

Die vorhandene Bodenplatte ist ungedämmt und mit einer umlaufenden Frostschräge ausgeführt. Im Rahmen der Sanierung wurde entlang der Frostschrägen außenseitig eine Perimeterdämmung aufgebracht. Die Bodenplatte für die Erweiterungen und Anbauten wurde mit einer 12 cm starken Dämmung versehen.



Luftdichtheit

Wichtig für einen niedrigen Heizenergieverbrauch, und auch den Bautenschutz ist die Ausführung einer guten Luftdichtheit. Dies stellt besonders bei bestehenden Gebäuden immer eine besondere Herausforderung dar, da nicht alle Bauteile zugänglich sind und nicht alle Anschlüsse neu ausgebildet werden können.

Bei einem ersten Luftdichtheitstest im April 2017 wurde z.B. eine Schwachstelle im Montageholz der Holz-Aluminium-Fassade lokalisiert. Diese konnte entschärft werden, so dass der finale Luftdichtheitstest im Februar 2018 mit einem für Sanierungen sehr guten n₅₀-Wert von 0,63/h (Luftwechsel bei einer Druckdifferenz von 50 Pa pro Stunde) abschloss.

Lüftungsanlagen

Vor der Sanierung gab es in dem Gebäude nur eine Lüftungsanlage für den naturwissenschaftlichen Bereich. Im Zuge der Sanierung wurden insgesamt vier Lüftungsanlagen installiert.

Aus hygienischen Gründen ist die Versorgung der Mensaküche und der Küchennebenräume eine eigene Anlage installiert worden. Zwei weitere Anlagen belüften die Klassenräume, Büros, Sanitär- und Lagerräume. Die Anlagen haben Wärmerückgewinnungsgrade von 80 % bis 83 %.

Die vierte Lüftungsanlage versorgt den naturwissenschaftlichen Bereich der Schule. Dort müssen die Gefahrstoffschränke permanent entlüftet werden. Aufgrund des speziellen schadstoffbeständigen Wärmetauschers ist der Wärmerückgewinnungsgrad mit 56 % geringer, als bei den anderen Anlagen.

In den Chemieräumen und dem Selbstlernzentrum sind reine Abluftanlagen installiert, die nur bei Betrieb der Digestorien laufen. Diese besitzen aufgrund der geringen Laufzeit und Luftmengen keine Wärmerückgewinnung. Die Grundlüftung für diese Räume wird über eine der beiden großen Lüftungsanlagen sichergestellt.

Sonnenschutz

Der bestehende Sonnenschutz an den Ost-, Süd- und Westfenstern war aufgrund des Alters zum größten Teil nicht mehr funktionstüchtig. Er wurde ersetzt durch Raffstore an allen Fensterflächen (bis auf die Innenhöfe). Diese sind zweiteilig kippbar ausgeführt. Durch die Zweiteilung des Behanges ist eine Verschattung des Raumes möglich, ohne dass die Beleuchtung eingeschaltet werden muss. Eine komplette Verdunkelung ist bei Bedarf ebenso möglich.

Die Jalousien werden elektrisch betrieben und automatisch über eine Wetterstation gesteuert. Eine manuelle Übersteuerung durch die Nutzerinnen und Nutzer ist jederzeit über einen Schalter im Raum möglich. Der manuelle Befehl wird jedoch nach einer festgelegten Zeit übersteuert. So soll eine Überhitzung der Räume im Sommer und die Nutzung solarer Gewinne im Winter ermöglicht werden.

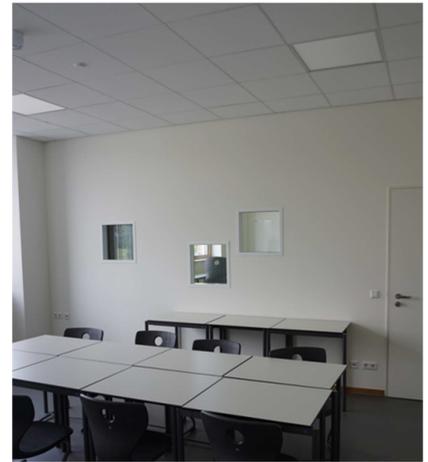


Beleuchtungssanierung

Für die neue Beleuchtung wurden ausnahmslos Leuchten mit LED-Technik eingesetzt. Bis auf einige Akzentbeleuchtungen wurden vor allem zwei Arten von Leuchten eingebaut.

In den Unterrichtsräumen und den Büros im Verwaltungsbereich wurden quadratische Einbauleuchten in die Kassettendecken gesetzt.

In den Flurbereichen, Sanitär- und Aufenthaltsbereichen wurden runde Einbauleuchten installiert. Die Beleuchtung in diesen Bereichen wird automatisch über Präsenzmelder geschaltet.



Der Schulbetrieb wurde im August 2018 nach den Sommerferien aufgenommen. So wie bei fast allen Bauvorhaben, wurden auch bei diesem bei der Abnahme Mängel festgestellt, die sukzessive abgearbeitet werden. Momentan gibt es noch Probleme mit der Jalousiesteuerung sowie der Funktion der Nachtlüftungsflügel. Diese hoffen wir im Zuge der nun begonnenen Betriebsoptimierung zügig zu beheben.

Beleuchtungssanierung an Sporthallen, Schule am Pfaffenberg

Angeregt durch das Bundes-Förderprogramm zur Sanierung der Beleuchtung in Sporthallen (Nationale Klimaschutzinitiative), wurde im Herbst 2015 in drei Schul-Sporthallen die Beleuchtung auf LED-Leuchten umgestellt. Zusätzlich wurde die Steuerung von einer manuellen auf eine präsenz- und tageslichtabhängige Steuerung umgestellt. Durch die Präsenzsteuerung wird die Beleuchtung nur bei Anwesenheit von Personen eingeschaltet, die Tageslichtsteuerung verursacht eine Dimmung der Beleuchtung je nach einfallendem Tageslicht.

Im Rahmen dieses Programmes wurden u.a. in der Schule am Pfaffenberg in Mühlthal die Quecksilberdampf Lampen ausgebaut und moderne LED-Lampen installiert. Durch diese Maßnahme wurde die installierte Lampen-Leistung von 39 kW auf 9 kW reduziert. Auch der Einbau der Präsenz- und Tageslicht-Steuerung führte zur Optimierung der Nutzungsdauer. Der Erfolg der Maßnahme ist aus Abbildung 20 gut zu erkennen. Da es in dieser Schule nur einen Zähler für den gesamten Strombezug gibt, ist hier der gesamte Strombezug dargestellt. Aus dem Diagramm ist der Verlauf der elektrischen Leistungsmessung für den Zeitraum 1. Juni 2015 bis 1. Mai 2016 ersichtlich. Hierbei sind die Tage horizontal aufgetragen, auf der vertikalen Achse sind die Stunden des Tages aufgetragen. Die Höhe der Leistung wird durch die Farbe verdeutlicht, von 0 kWh (grün) über 14 kWh (orange) bis 22 kWh (rot). Bereits die Erneuerung der Beleuchtung in den Herbstferien 2015 ist im Diagramm deutlich erkennbar. Im Zeitraum davor ist der Strombezug über den Tag deutlich höher, weiterhin ist erkennbar, dass die Beleuchtung länger eingeschaltet war. Ab November 2015 reduziert sich sowohl die Höhe, als auch die Dauer des Strombezugs deutlich.

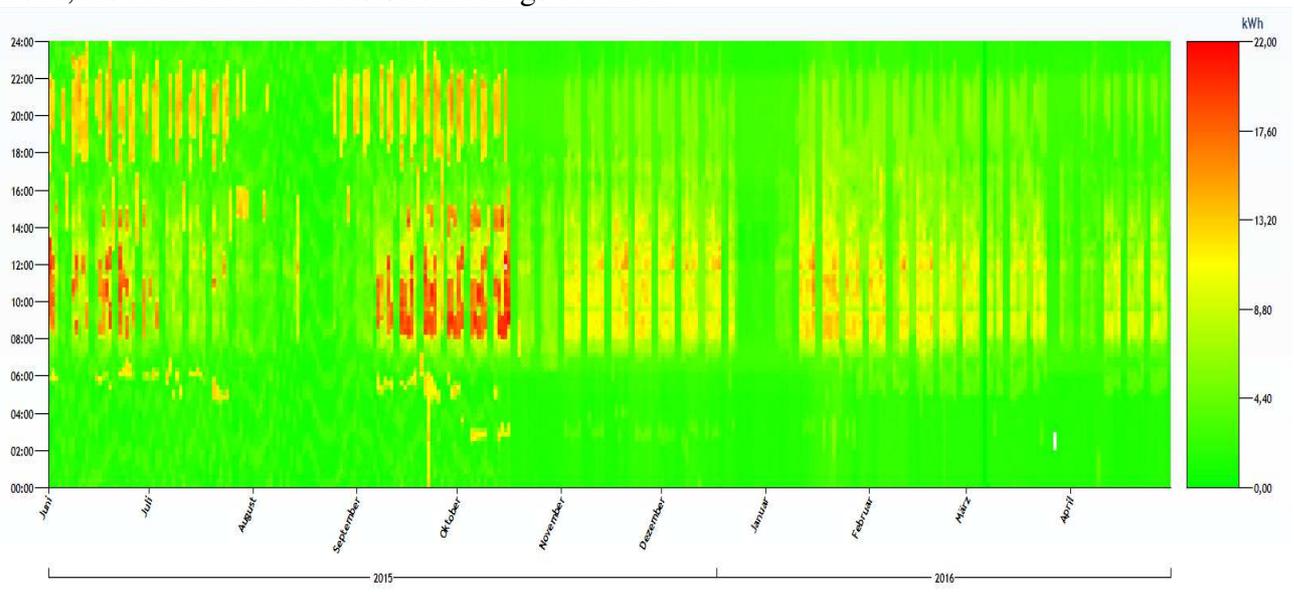


Abbildung 20

Da in dem betrachteten Zeitraum keine weiteren größeren stromsparenden Maßnahmen durchgeführt wurden, kann die Reduzierung des Strombezugs auf die Beleuchtungssanierung zurückgeführt werden. Wie aus Abbildung 21 ersichtlich ist, reduzierte sich der Strombezug von 180.000 kWh in den Jahren vor 2015 auf durchschnittlich 133.000 kWh in den Jahren 2016 bis 2018. Dies entspricht einer Verminderung um 26 %, einer Kosteneinsparung von knapp 10.000 EUR. Bei Gesamtkosten von 89.430 EUR und einer finanziellen Förderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit von 15.444 EUR, wird sich die Maßnahme in weniger als acht Jahren amortisiert haben.

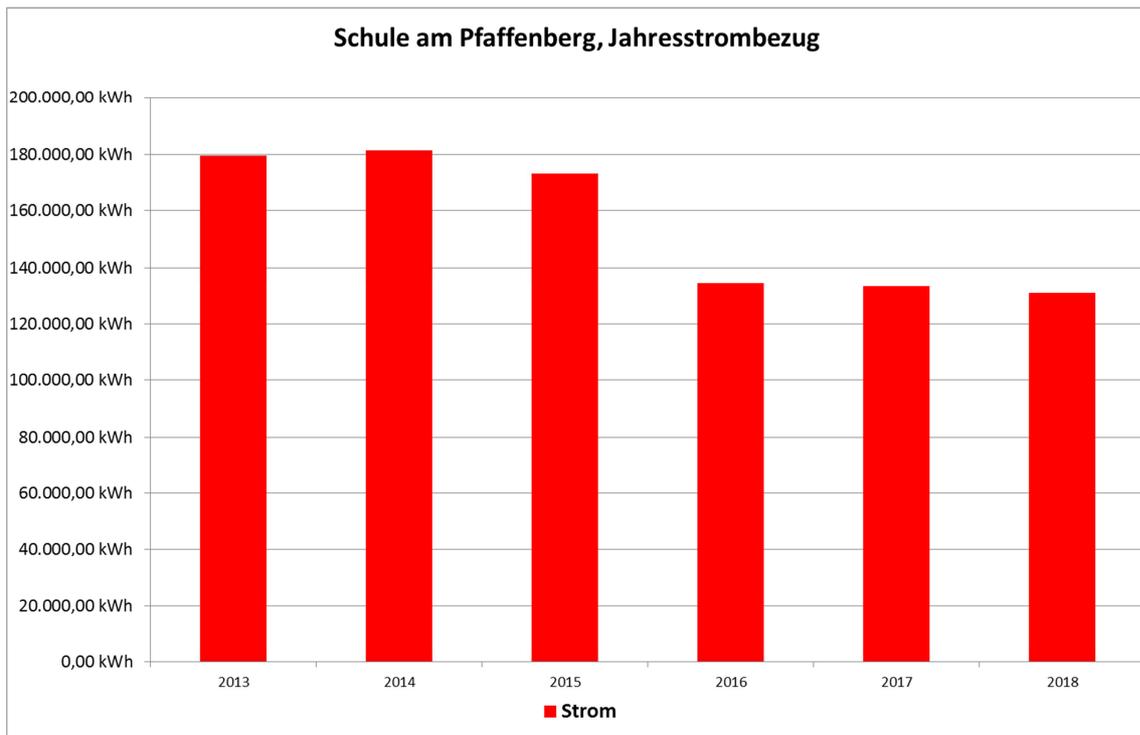


Abbildung 21

3.3 Betriebsoptimierung

Neubau des Hauptgebäudes der Hessenwaldschule

Projektbeschreibung

Bei dem Hauptgebäude der Hessenwaldschule in Weiterstadt handelte es sich um eine Stahlbetonskelettschule aus den 1970er Jahren. Das Gebäude wies erhebliche statische, energetische und brandschutztechnische Mängel auf.



Abbildung 22



Der Neubau, mit einer Bruttogrundfläche von 9.000 m², besteht aus drei jeweils dreigeschossigen Gebäudeteilen, die um einen zentralen Baukörper mit Aula und Pausenhalle gruppiert sind. Das Gebäude wurde mit Passivhauskomponenten errichtet. Die sehr gute Wärmedämmung, 3-fach verglasten Fenstern und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung führen zu einem errechneten Heizwärmebedarf von 16,3 kWh/m²a.

Das Gebäude wurde vollständig mit einem außenliegenden Sonnenschutz ausgestattet, der sowohl wetterabhängig als auch manuell durch den Nutzer gesteuert wird.

Außerhalb der Heizperiode werden nur die innenliegenden Räume durch die Lüftungsanlage versorgt. Räume mit offenbaren Fenstern werden in dieser Zeit durch die Nutzer manuell belüftet, auch um den Wärmeeintrag möglichst gering zu halten. Nach Nutzungsende wird bei Bedarf die Nachtlüftung aktiv. Automatisch öffnende Fenster ermöglichen im Hochsommer ein Auskühlen des Gebäudes bei nächtlich geringeren Außentemperaturen. Die massiven Gebäudeteile (Wände, Boden und Decken) sorgen für ein angenehmes Raumklima, da sie einen Großteil der tagsüber eingebrachten Wärme aufnehmen können, ohne dass die Gebäudetemperatur signifikant ansteigt.

Während der Heizperiode wird das Gebäude durch einen Holzpelletkessel mit Heizwärme versorgt. Durch den solaren Eintrag der Sonne und die Wärmequelle Mensch reduziert sich der Wärmebedarf auf ein Minimum.

Die Fertigstellung des Neubaus erfolgte in 2016 zu Beginn des Schuljahres, im August wurde das Gebäude den Nutzern und Nutzerinnen übergeben.

Heizenergie

In den folgenden drei Abbildungen wird der klimabereinigte Heizenergieverbrauch der letzten Heizperioden dargestellt. Abbildung 23 zeigt die erste Heizperiode nach Fertigstellung. In Abbildung 24 und Abbildung 25 werden der gesamte klimabereinigte Heizenergieverbrauch sowie die Einsparung zur ersten Heizperiode mit Negativwerten abgebildet. Zusätzlich wird der Energieverbrauch pro Quadratmeter Energiebezugsfläche angegeben.

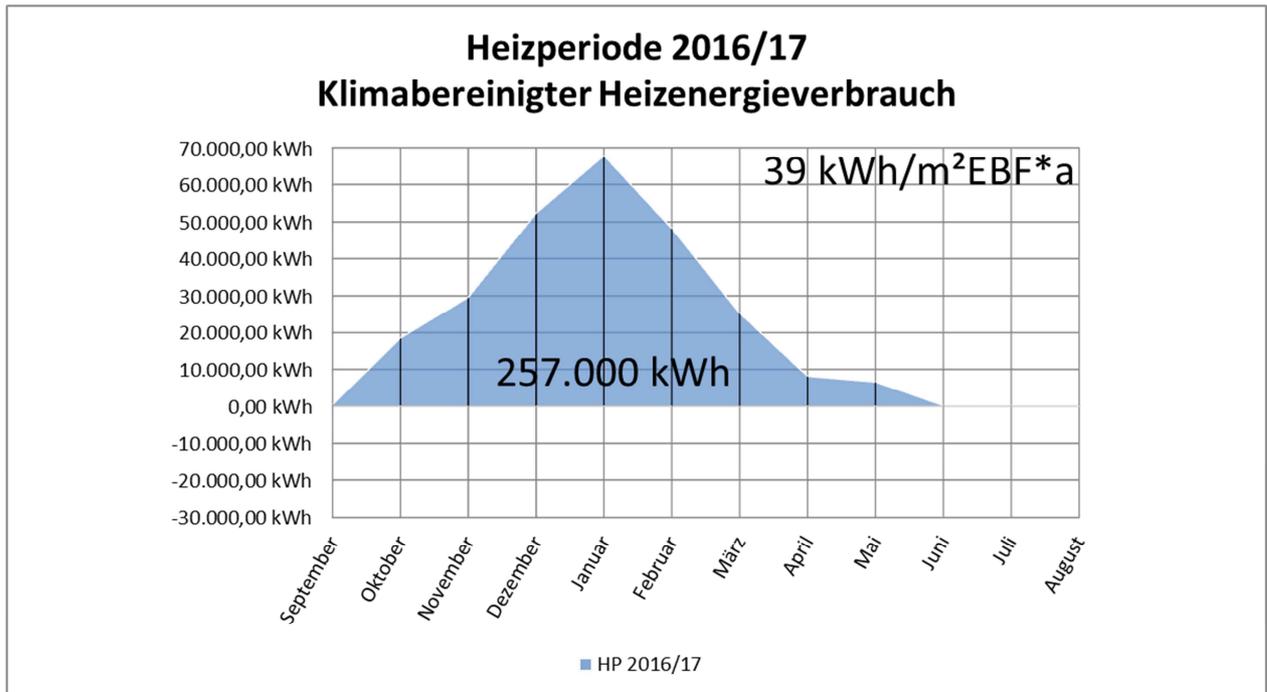


Abbildung 23

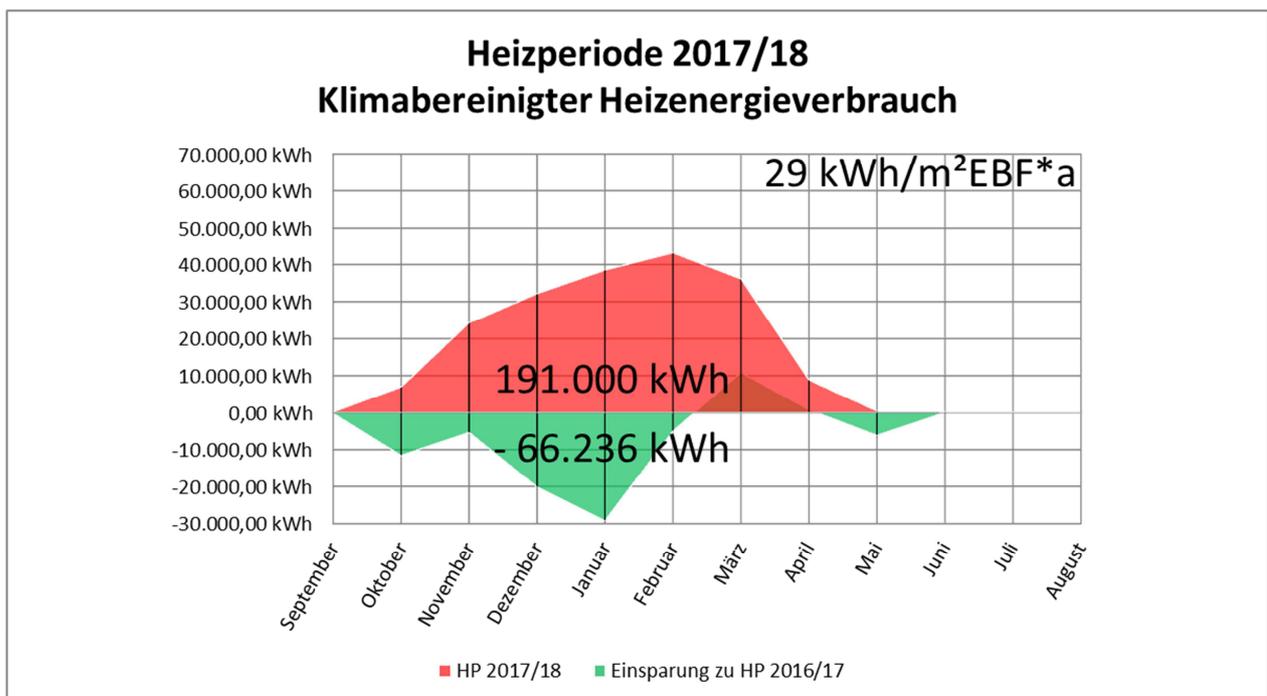


Abbildung 24

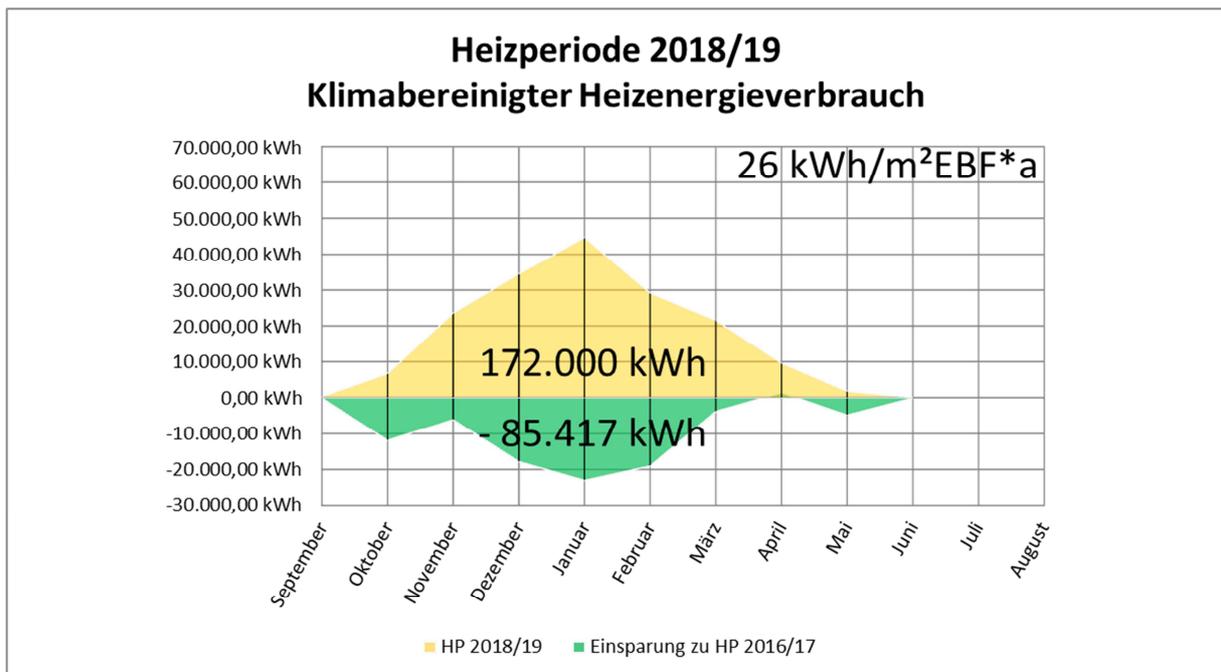


Abbildung 25

Die Messergebnisse zeigen, dass der Energieverbrauch von Heizperiode zu Heizperiode reduziert werden konnte. Diese Reduzierung gegenüber der ersten Heizperiode nach Inbetriebnahme war jedoch nur durch das Engagement und die Arbeit von vielen Akteuren zu erzielen.

Nach der Inbetriebnahme begannen die Mitarbeitenden des Energiemanagements mit der Auswertung der Energieverbrauchswerte, die die im Neubau eingebauten Energiezähler im 15-Minuten-Takt erfassen. Außerdem wird das Gebäude mit seinen technischen Anlagen über die Gebäudeleittechnik (GLT) analysiert und kontrolliert. Dieser Zeitraum wird Betriebsoptimierung genannt. Vorgegebene Sollwerte, Laufzeiten, etc. werden mit den Nutzern und den Hausmeistern abgestimmt und so verändert, dass Schülerinnen und Schüler ein angenehmes Lernumfeld erhalten und das Gebäude keine unnötige Energie verbraucht.

Die folgenden Maßnahmen wurden während des Betriebsoptimierungszeitraums umgesetzt:

- Parametrierung der Lüftungsanlage (Optimierung der Zulufttemperatur, der Wärmerückgewinnung, der Lüftungslaufzeiten sowie der Sommerlüftung)
- Parametrierung der Heizungsanlage (Optimierung der Raumsollwerttemperaturen, der Heizgrenztemperatur sowie des Absenkbetriebes)

Doch nicht nur die Veränderung von technischen Parametern führte zu einer Verbesserung, vor allem auch das Engagement der Hausmeister war maßgeblich daran beteiligt, dass eine erfolgreiche Betriebsoptimierung durchgeführt werden konnte. Die Hausmeister haben großes technisches Interesse an der Bedienung der GLT. Sie unterstützen die sommerliche Nachtlüftung durch das Öffnen der Klassenraum- und Flurtüren sowie das bewusste frühzeitige Ausschalten der Heizungsanlage. Neben den Hausmeistern zeigte auch die Schulleitung besonderes Interesse an den Verbrauchswerten des Neubaus und einem effizienten Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer.

Die Differenz zwischen berechnetem Heizenergiebedarf (16,3 kWh/m²a) und tatsächlichem Verbrauch (26 kWh/m²a) während der Nutzung lässt sich auf die getroffenen Annahmen zurückführen. Die theoretische Berechnung bezieht sich immer auf ein normiertes Nutzerverhalten, eine einheitliche Raumtemperatur sowie standardisierte Parameter wie interne Wärmequellen (Anzahl und Aufenthaltszeit der Nutzer), Ansätze für die Verschattung und viele mehr.

Gebäudeverhalten im Sommer

In den folgenden Abbildungen wird das sommerliche Gebäudeverhalten dargestellt. Der grüne Graph zeigt die Außentemperatur am bisher heißesten Tag. Der rote und blaue Graph zeigt die Raumtemperaturen der südlichsten Klassenzimmer im 1.OG und 2.OG.

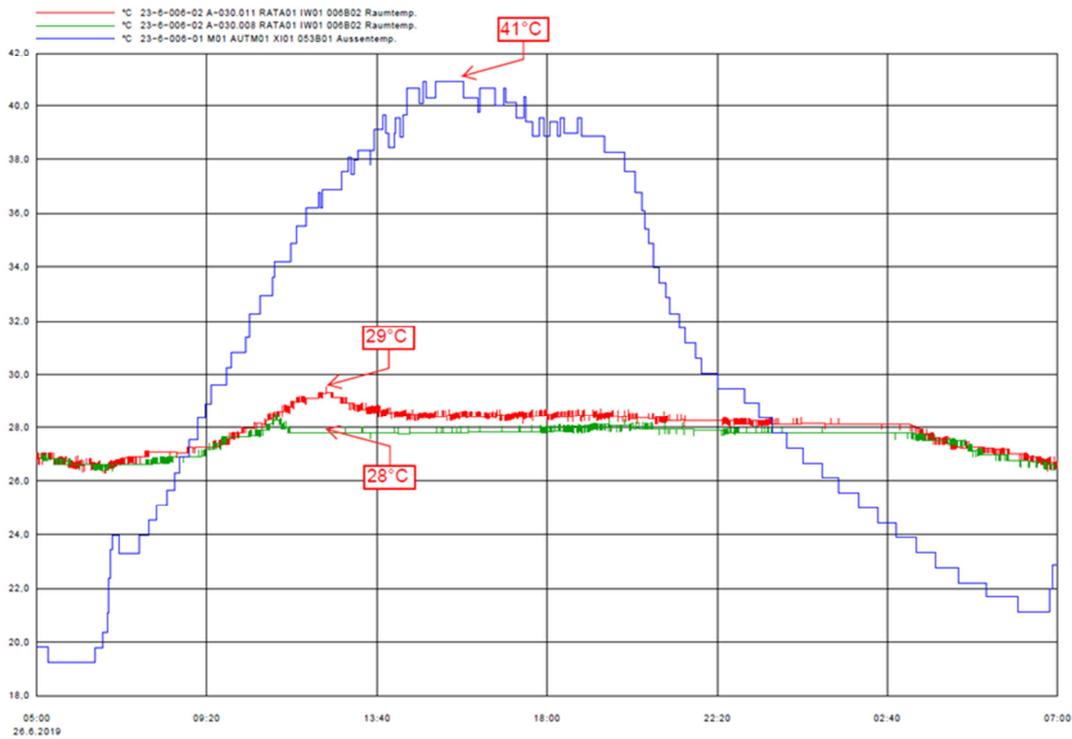


Abbildung 26

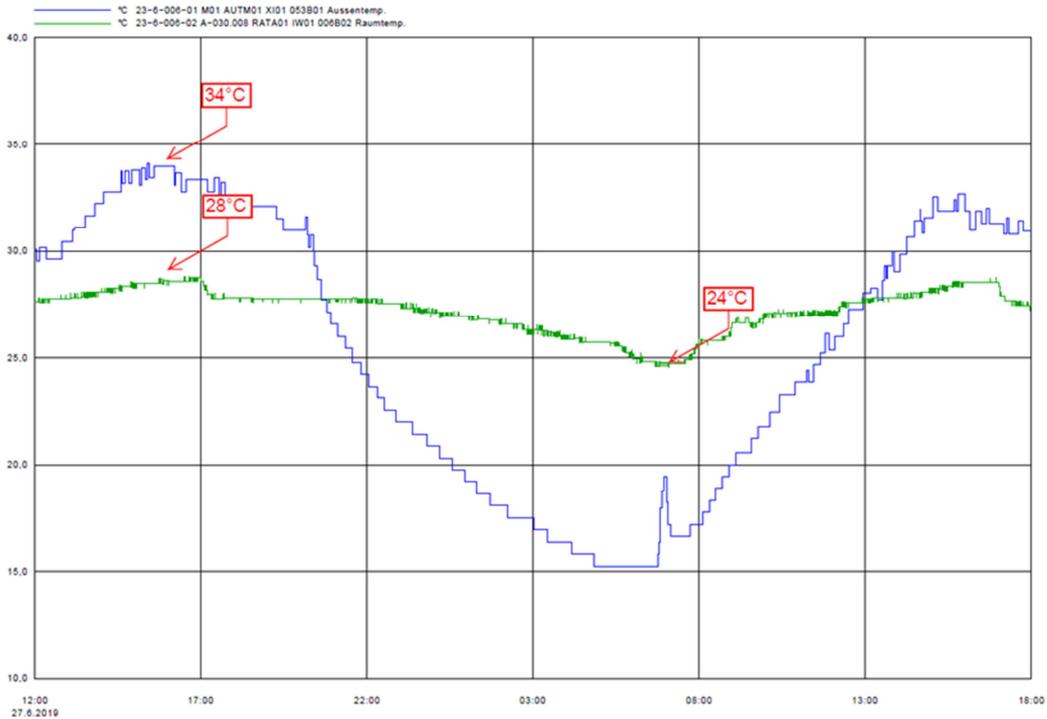


Abbildung 27

Abbildung 26 zeigt das sommerliche Verhalten des Gebäudes. Am heißesten Tag (26.06.2019) mit 41°C Außentemperatur erreichten die südlichen Klassenräume im 2. Obergeschoss zwischen 28 und 29°C trotz der Anwesenheit von ca. 30 Schülerinnen und Schülern. Obwohl es in dieser Zeit zu tropischen Nächten kam (nächtliche Außentemperaturen > 20 °C), wurden die inneren Wärmelasten durch die automatisierte Nachtlüftung um mehr als 2 Kelvin abgesenkt. Die Betonflächen fungieren dabei als optimale thermische Speichermassen. Bei nächtlichen Außentemperaturen kleiner als 20°C kann sogar eine Temperaturabsenkung im Klassenraum von rund 4 Kelvin erreicht werden (siehe Abbildung 27).

Vergleich Altbau zu Neubau

In Abbildung 28 ist der Heizenergieverbrauch des Altbaus gegenüber dem des Neubaus aufgetragen. Der Unterschied ist gut erkennbar. Das ehemalige Schulgebäude mit einer Energiebezugsfläche von ca. 4.500 m² benötigt pro Quadratmeter mehr als das Dreifache an Heizenergie, wie der Neubau mit einer Fläche von etwa 6.700 m².

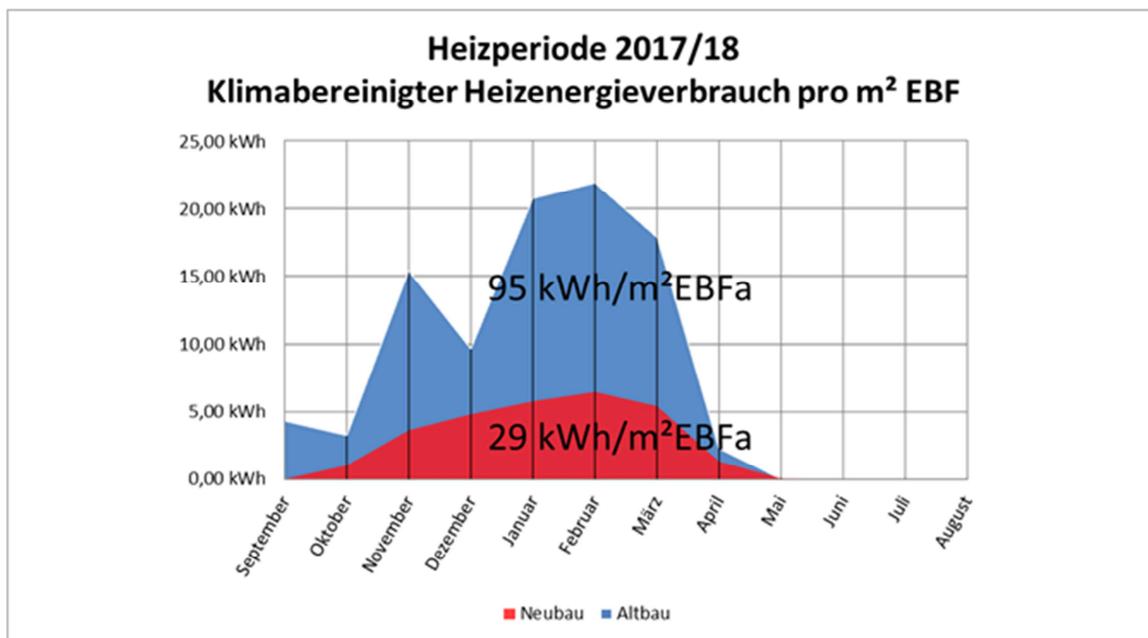


Abbildung 28

Erkennung und Behebung von Fehlfunktionen, Heizung Marienschule

Im Rahmen des Energiecontrollings, welches die Erfassung von Verbräuchen sowie die Aufbereitung und Analyse der Daten beinhaltet, können auch Fehlfunktionen von technischen Anlagen aufgedeckt werden. So erlaubt der Vergleich aktueller Verbräuche mit denen von Vorjahren einen Rückschluss auf die Betriebsweise der Systeme.

An der Marienschule in Dieburg wurde die zentrale Heizungsanlage zur Reduktion der CO₂-Emissionen 2012 auf eine Pelletheizung in Kombination mit einem Gas-Brennwertkessel umgestellt. Der Pelletkessel deckt die Grundlast der Liegenschaft, der Gasheizkessel dient zum Nachheizen bei Bedarf für Spitzenlasten (s. vereinfachtes Hydraulikschema, Abbildung 29). Dazu beheizt der Pelletkessel den Pufferspeicher, aus dem bei Wärmebedarf die Wärme bezogen wird. Ist die bevorratete Wärmemenge nicht ausreichend, wird über den Gas-Spitzenlastkessel nachgeheizt. Im Rahmen des Energiecontrollings wurde eine schleichende Erhöhung des Anteils der Gasheizung an der Wärmeerzeugung festgestellt (Abbildung 30). Durch Zusammenarbeit des Energiemanagements und der Haustechnik im Da-Di-Werk konnte die eingeschränkte Wärmeabfuhr vom Pelletkessel zum Wärmespeicher als Ursache ausgemacht werden. Die maximale Heizleistung war von ursprünglich 150 kW auf 40 kW abgefallen. Der Grund war ein zugesetzter Filter am Wärmemengenzähler (WMZ, Abbildung 29), so dass die Ursache durch eine Fachfirma einfach und schnell behoben werden konnte.

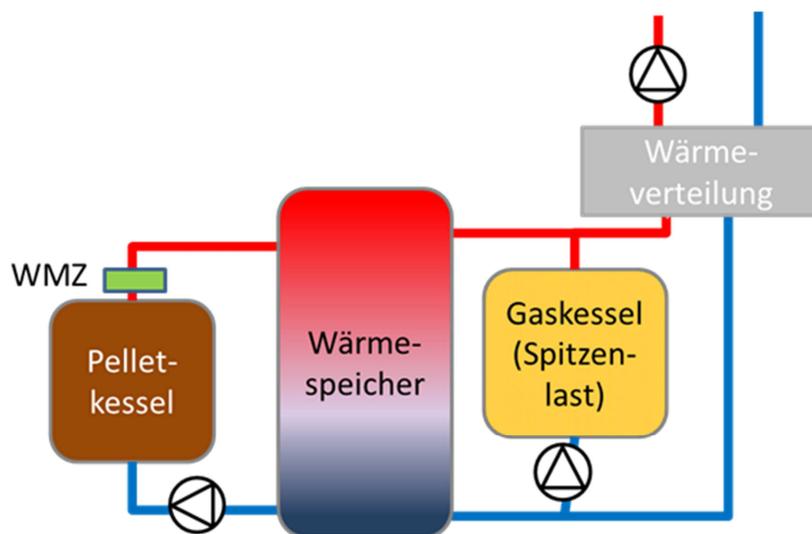


Abbildung 29

Nach der Maßnahme Anfang März 2019 ist der Anteil der Pelletheizung an der Wärmeerzeugung wieder deutlich gestiegen. In den Folgemonaten musste die Gasheizung sogar überhaupt nicht zuheizen. Es ist davon auszugehen, dass die im letzten Winter auf fast 200 % angestiegenen CO₂-Emissionen durch diese Maßnahme in Zukunft wieder auf das angestrebte Niveau fallen und der Anteil der Pelletheizung an der Wärmeerzeugung von ca. 50 % wieder auf 80 % steigen wird.

Im nächsten Winter sollte zusätzlich darauf geachtet werden, dass die Heizungsanlage in der Übergangszeit, spätestens im Mai runtergeregelt wird, da im Jahr 2019 deutlich höhere Wärmeabnahmen zu verzeichnen waren, als in den Vorjahren. Weiterhin ist als Maßnahme zur Reduktion des Heizwärmeverbrauchs die Installation von intelligenten Heizkörperthermostatventilen geplant, um Wärmeabnahme in nicht genutzten Räumen – z.B. Klassenräume, die während der Nachmittagsbetreuung nicht belegt sind, zu verringern.

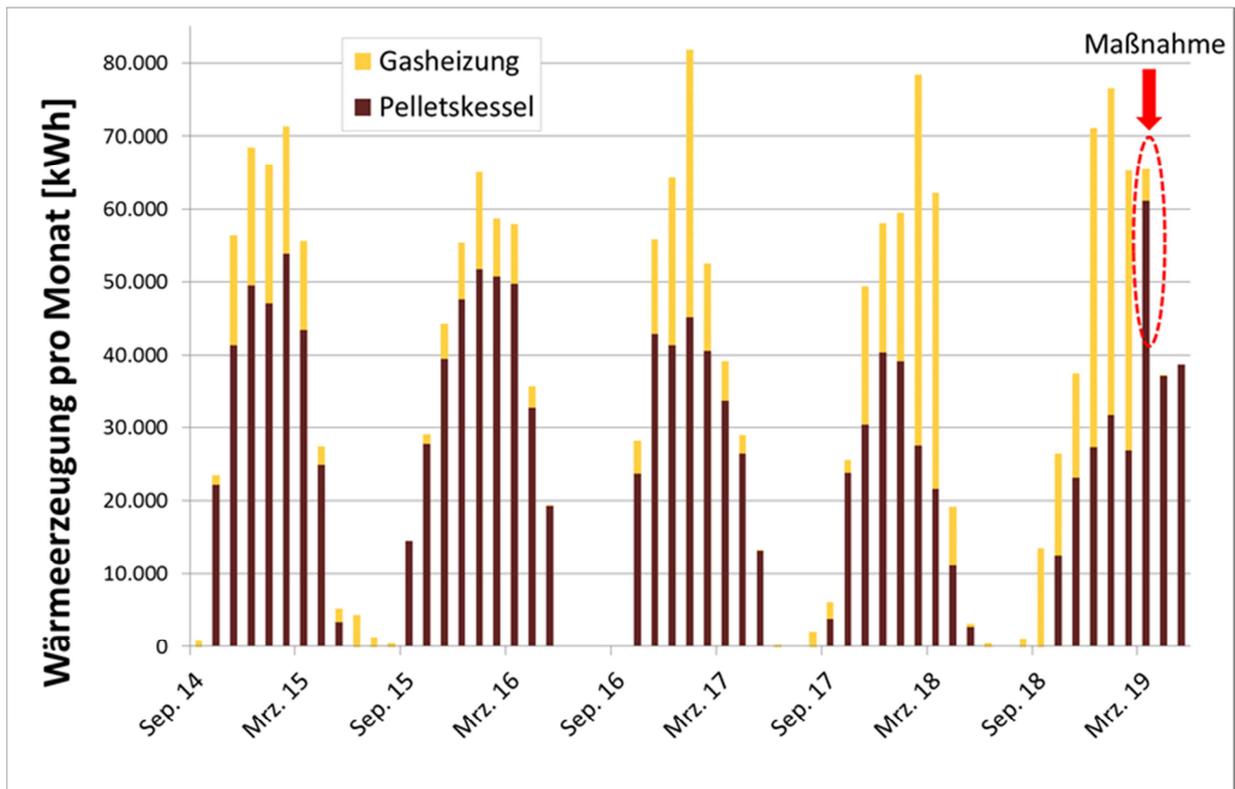


Abbildung 30

Abbildung 30 stellt die zeitliche Entwicklung der monatlichen Wärmeerzeugung durch Pellet- und Gasspitzelastkessel an der Marienschule dar. Seit November 2016 ist eine deutliche Erhöhung des Anteils der Gasheizung zu erkennen. Nach der Maßnahme (gestrichelte Markierung) im März 2019 ist der Anteil der Pelletheizung an der Wärmeerzeugung wieder sprunghaft gestiegen.

4. Einsatz von regenerativen Energien

Ein Schwerpunkt der Energiepolitik im Landkreis Darmstadt-Dieburg liegt auf dem Einsatz regenerativer Energiequellen. Für die Wärmeversorgung in den Gebäuden wird dabei der Einsatz von Biomasse favorisiert. Solarthermische Anlagen werden dann eingesetzt, wenn ein entsprechend hoher Warmwasserbedarf besteht, das ist im Allgemeinen nur in den größeren Sporthallen oder Mensen der Fall. Für die Aufstellung von Solaranlagen zur Stromerzeugung wurden die Dächer der Schulen und Sporthallen bislang an interessierte Investoren verpachtet. Eine Eigennutzung der Dachflächen wird aber wahrscheinlich in Zukunft verstärkt in Betracht kommen.

4.1 Biomasseanlagen

Bis Ende 2018 waren 20 Pelletkessel mit einer installierten Gesamt-Leistung von 3.215 kW in Betrieb. Hinzu kommen vier Holzhackschnitzelkessel mit insgesamt 2.500 kW Heizleistung. In Abbildung 31 ist der stetige Zubau an Biomasseheizungen erkennbar. 2018 erreichte die installierte Heizleistung 5,7 MW. Der Anstieg der installierten Leistung bedingt auch eine steigende Brennstoffmenge. Nur in 2014 und 2018 gab es einen Rückgang der Brennstoffmenge. Das lag zum einen an der sehr warmen Witterung in den beiden Jahren, zum anderen an Problemen mit der Fördertechnik der Hackschnitzel und der Hydraulik im Zentrum Auf der Leer. Ansonsten steigt der Bedarf an Holzhackschnitzeln und Holzpellets und verdrängt somit fossile Brennstoffe.

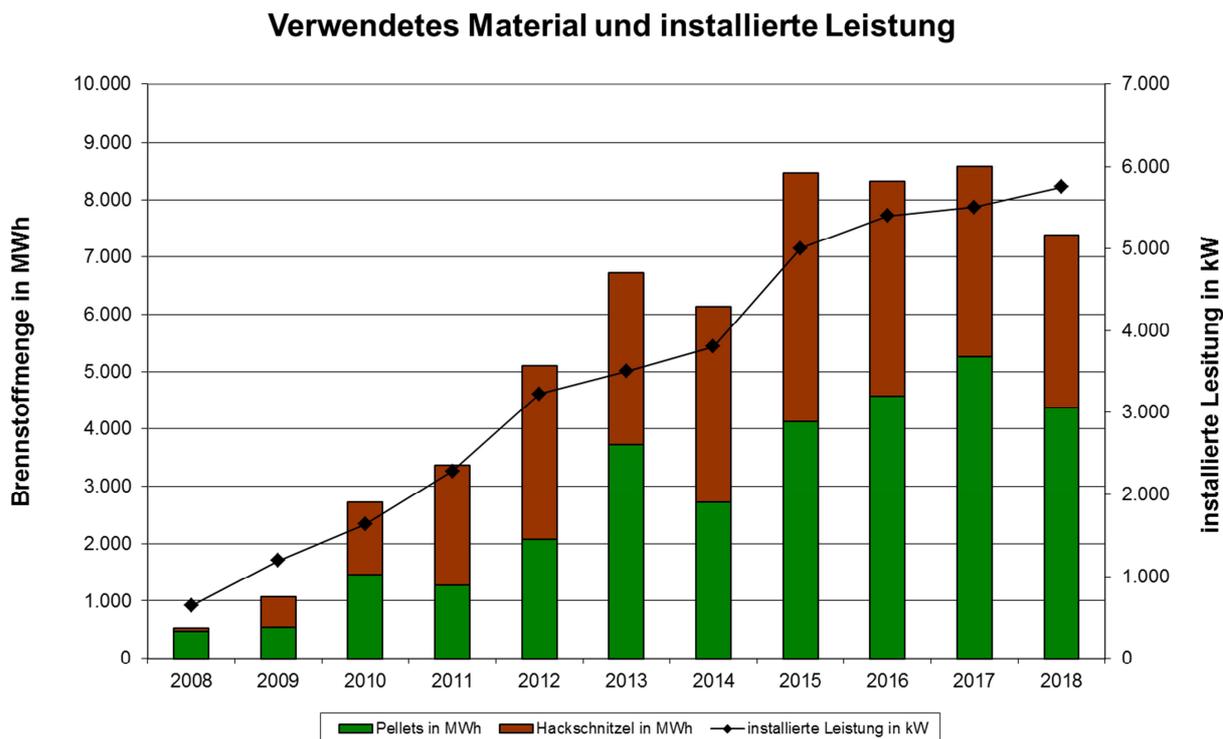


Abbildung 31

Fast alle der errichteten Biomassekessel wurden vom Land Hessen finanziell gefördert. Die Höhe der Förderung ist aus der Abbildung 32 im Kapitel Fördermittel erkennbar.

4.2 Photovoltaikanlagen

In der Vergangenheit hat der Landkreis Interessierten die Dächer der Schulen oder Sporthallen zur Installation von Photovoltaikanlagen zur Verfügung gestellt. 40 Anlagen mit einer Leistung von insgesamt 1862 kW_p waren bis 2018 auf kreiseigenen Dächern installiert.

An einer Photovoltaikanlage ist das Da-Di-Werk direkt beteiligt, diese befindet sich auf der Adam-Danz-Halle in Weiterstadt. Die Halle wurde gemeinsam mit der Stadt Weiterstadt errichtet und gemeinsam betrieben. An der Anlage mit einer Leistung von 164 kW_{peak} ist das Da-Di-Werk zu einem Drittel beteiligt. Der Betriebsbeginn war im Sommer 2011, die jährlichen Erträge abzüglich der Kosten sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

	Ertrag in MWh	Ertrag in EUR
2011	22,6	2.733,11
2012	152,4	2.256,30
2013	137,5	11.720,52
2014	140,7	11.255,10
2015	139,1	12.065,46
2016	124,8	10.490,52
2017	129,2	10.962,96
2018	136,4	11.315,86

Tabelle 1

Zukünftig werden wahrscheinlich verstärkt eigene Stromerzeugungs-Anlagen errichtet werden müssen. Ab 2019 sind nach Vorgabe der EU-Gebäuderichtlinie öffentliche Gebäude als Niedrigstenergiegebäude zu errichten. Die genaue Definition dieses Begriffes ist momentan noch in der politischen Diskussion, wird sich aber sehr wahrscheinlich am Begriff der englischen Fassung der Richtlinie „nearly zero-energy buildings“, also Nahezu-Nullenergie-Gebäude orientieren. Dieser sehr geringe Energiebedarf wird zu einem wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden müssen.

5. Fördermittel

Fördermittel für energetische Investitionen wurden sowohl aus Bundes- als auch aus Landesprogrammen eingeworben. Die Höhe der Zuschüsse ist aus der Abbildung 32 zu erkennen. Bis 2018 summieren sich diese Zuschüsse auf 3,3 Mio. EUR. Der größte Teil davon floss in den letzten beiden Jahren über das Landesprogramm zur energetischen Modernisierung kommunaler Nichtwohngebäude. Diese Fördermittel dienen als Zuschuss zur Sanierung der Albrecht-Dürer-Schule in Weiterstadt und der Schule auf der Aue in Münster. Auch der Neubau des Max-Planck-Gymnasiums in Groß-Umstadt im Passivhausstandard wird aus diesem Programm mit fast 400.000 EUR bezuschusst. Für die Förderung von Biomassefeuerungsanlagen wurden im betrachteten Zeitraum knapp 834.000 EUR ausgezahlt. Die Sanierung von Beleuchtungsanlagen in drei Sporthallen wurde aus Bundesmitteln mit einem Zuschuss von insgesamt 51.000 EUR gefördert.

Weitere Fördermittel für die Nachrüstung von Sonnenschutzmaßnahmen oder die Entsiegelung von Flächen wurden bereits als Klimaanpassungsmaßnahmen bewilligt.

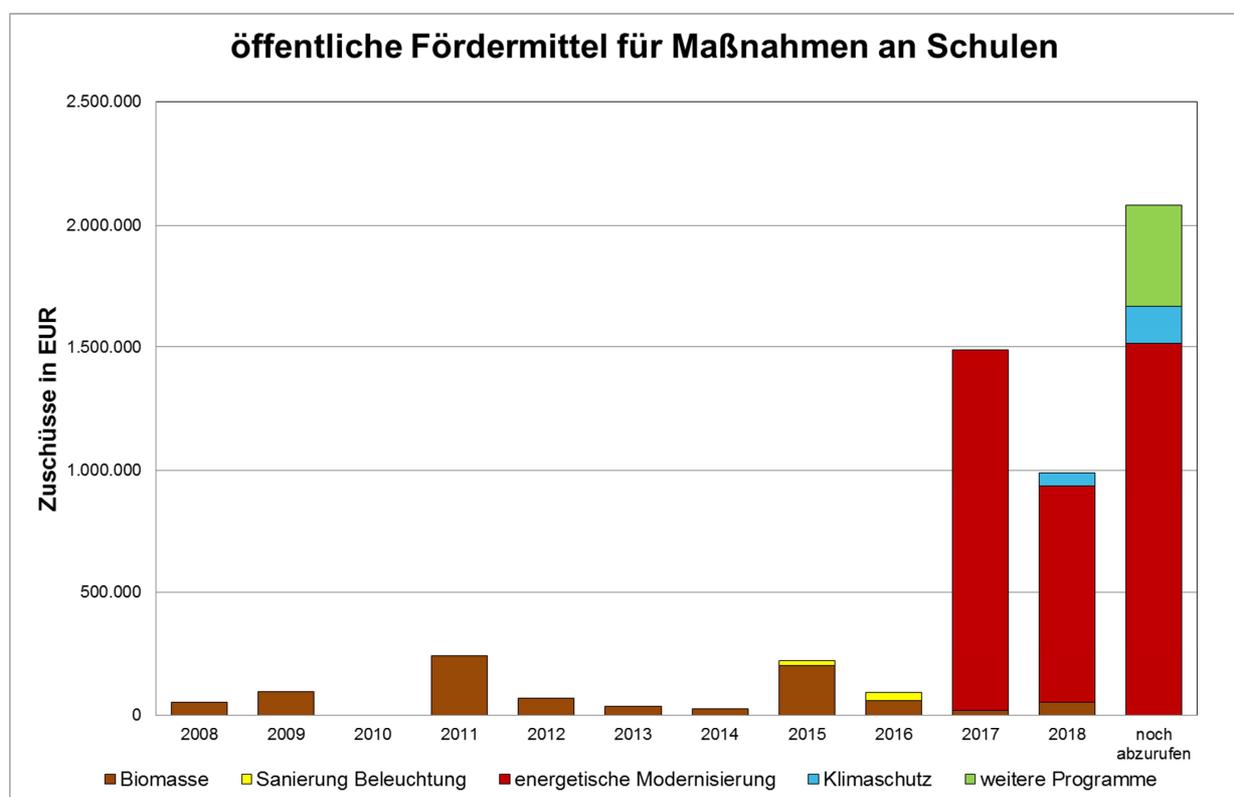


Abbildung 32

Auch in den kommenden Jahren werden weitere Fördermittel aus dem Programm zur energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden beantragt werden, sowohl für anstehende energetische Sanierungen als auch für die Errichtung von Ersatzneubauten.

6. Klimawandel

Neben den wirtschaftlichen Ergebnissen, die aus der Verringerung des Strom- und Heizenergiebedarfes resultieren, ist eine weitere Motivation des Energiemanagements die Reduzierung der Folgen des Klimawandels.

Wetter oder Klima?

Mit Klima wird das „mittlere Wetter“, also die Wetterereignisse über einen Zeitraum von 30 Jahren bezeichnet. Neben den Mittelwerten gehören zum Klima auch die natürlichen Schwankungen und das Auftreten von Extremwetterereignissen. Wenn sich also Mittelwert, Schwankungen und Extreme zwischen verschiedenen 30-Jahres-Zeiträumen signifikant ändern, spricht man von Klimawandel.

Klimawandel in Hessen

Auch in Hessen lassen sich klimatische Änderungen beobachten. Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie¹ hat in seinen Publikationen eine Zunahme der mittleren Jahrestemperatur zwischen den Zeiträumen 1901 – 1930 und 1991 – 2017 um 1,1°C dokumentiert. Die stärkste Zunahme erfolgte in den letzten Jahrzehnten, dies betrifft u.a. besonders Südhessen.

Weiterhin lässt sich seit den 1960er Jahren eine Reduzierung von Frosttagen² und Eistagen³ beobachten. Gleichzeitig nimmt die Anzahl der Sommertage, mit Höchsttemperaturen über 25°C und der sogenannten heißen Tage, mit Höchsttemperaturen über 30°C zu.

In der Abbildung 33 wird die Erwärmung in Deutschland verdeutlicht. In diesen „warming stripes“, die Darstellung wurde vom britischen Klimaforscher Ed Hawkins⁴ entwickelt, wird die Mitteltemperatur eines einzelnen Jahres als Farbstreifen aufgetragen. Der Zeitraum umfasst die Jahre von 1881 bis 2018. Hierbei steht dunkles Blau für kühl und dunkles Rot für warm. Gut erkennbar sind hier die Jahre 2014 und 2018, die sehr warm waren, wohingegen das Jahr 2010 relativ war.

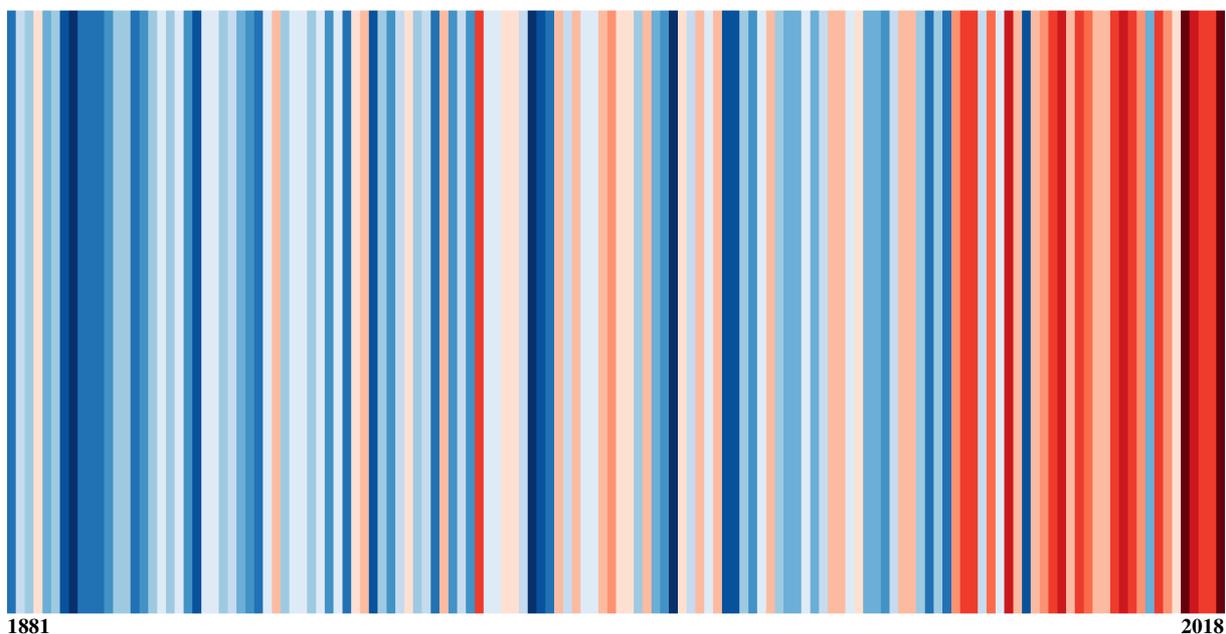
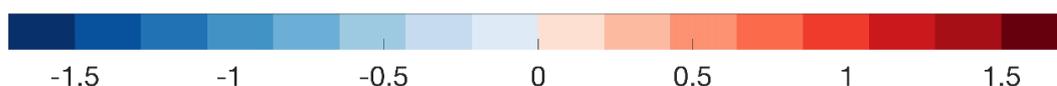


Abbildung 33



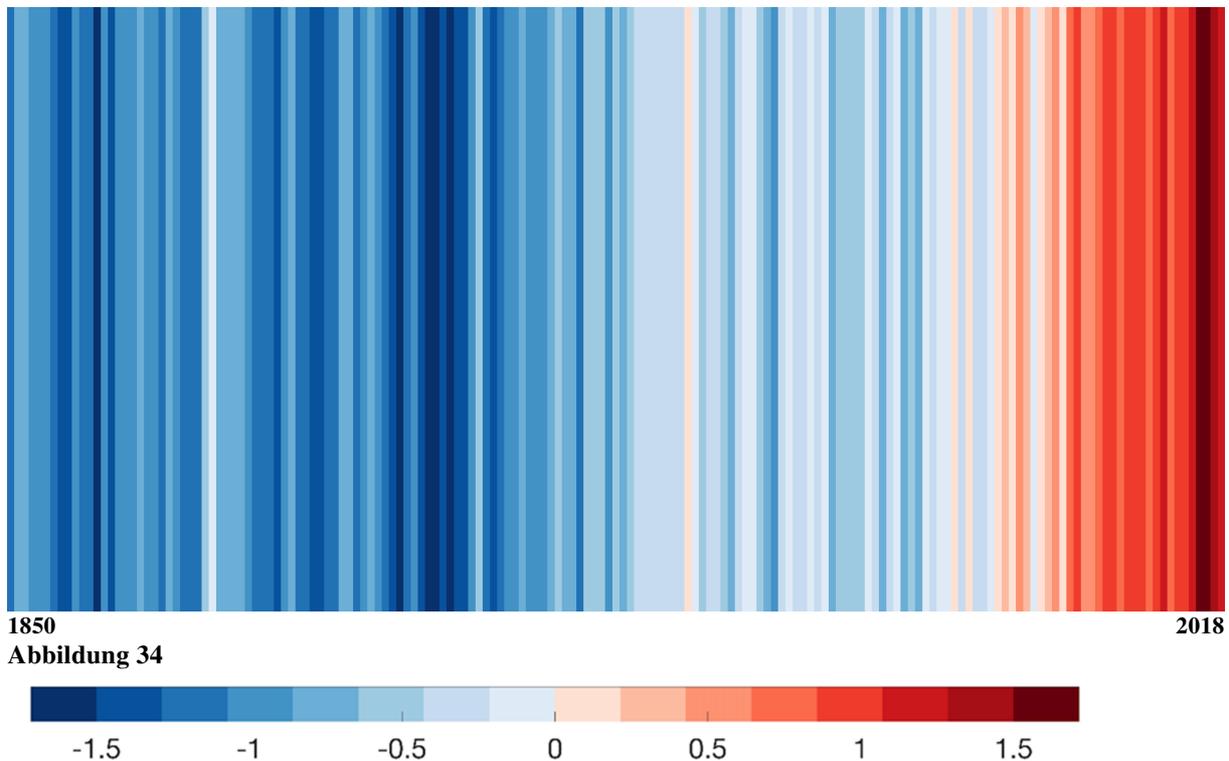
¹ HLNUG, Klimawandel in Hessen, <https://www.hlnug.de/publikationen.html>

² Tiefsttemperatur < 0°C

³ Höchsttemperatur < 0°C

⁴ Ed Hawkins, <https://showyourstripes.info/>

Noch deutlicher wird die Häufung der warmen und heißen Jahre in den letzten Jahrzehnten, wenn die weltweite Temperatur aufgetragen wird. In der nachfolgenden Abbildung 34 sind die globalen Durchschnittstemperaturen von 1850 bis 2018 aufgetragen.



Die Zunahme von warmen Tagen und Nächten im Sommer lässt sich auch für unser Kreisgebiet beobachten. Zukünftig werden wir, als Betreiber der Schulen in Zusammenarbeit mit dem Personal vor Ort und den Schülerinnen und Schülern, mit einem Bündel an baulichen und organisatorischen Maßnahmen darauf reagieren müssen, um einen angenehmen Schulbetrieb auch in der Sommerzeit zu ermöglichen. Wie am Beispiel der Hessenwaldschule gezeigt, gibt es Möglichkeiten, die auch ohne den Einsatz einer aktiven Kühlung ein angenehmes Raumklima gewährleisten. Dies ist wichtig, da durch eine Klimatisierung ein zusätzlicher Stromverbrauch entsteht, der die CO₂-Emissionen weiter steigen lässt, jedenfalls solange das Energiesystem noch nicht zu 100 % auf erneuerbare Energien umgestellt ist.

7. Anhang

Erläuterungen zur Datengrundlage

Ermittlung der Heizenergiedaten

Die angegebenen Werte beziehen sich, soweit nicht anders erwähnt, auf die Endenergie pro Kalenderjahr, bei Erdgas auf den Heizwert H_i (früher unterer Heizwert).

Lagergebundene Energieträger, wie Heizöl oder Holzpellets wurden dem Kalenderjahr zugeordnet, in dem die Lieferung stattfand. Dies kann im Einzelfall jährliche Schwankungen vortäuschen.

Sowohl die Nahwärme als auch die Holzhackschnitzel werden nach der Nutzenergie abgerechnet. Zur Vergleichbarkeit der Preise wurden diese allerdings (mit einem fiktiven Kesselwirkungsgrad von 80 %) auf Endenergie umgerechnet.

Witterungsbereinigung

Da der Heizenergieverbrauch abhängig von der jeweiligen Witterung ist, wird zum Vergleich der Jahre untereinander eine Witterungsbereinigung durchgeführt. Dazu dienen die Gradtagzahlen, die für den jeweiligen Standort den Zusammenhang zwischen Außenluft- und Raumtemperatur darstellen.

Zur Witterungsbereinigung wird der tatsächliche Heizenergieverbrauch über die Gradtagzahlen auf ein Normjahr umgerechnet. Dieser normierte Verbrauch wird durch die beheizte Netto-Grundfläche dividiert, um so einen flächenspezifischen Wert zu erhalten.

Die Daten in diesem Energiebericht wurden mit den Temperaturdaten der Station Darmstadt aufbereitet. Als langjähriges Mittel wurden die Daten der Station Würzburg (nach VDI 3807) herangezogen.

Darstellung der jährlichen Kosten

Für die jährlichen Kosten wird keine Bereinigung durchgeführt. In den Grafiken werden die jährlich in Rechnung gestellten Kosten dargestellt, da sich diese auch im Wirtschaftsplan niederschlagen.

Für die Berechnung der Wasser- und Abwasserkosten gab es ab 2010 eine Änderung. Bis 2009 wurde für die Berechnung der Kosten ein mittlerer Preis pro Gemeinde ermittelt, so dass für alle Schulen einer Gemeinde der gleiche Preis pro Kubikmeter angenommen wurde. Der Grund für diese Vorgehensweise lag in der Auswertung für das Da-Di-Management. Somit wurde keine Schule durch einen hohen Grundpreisanteil benachteiligt. Ab 2010 wurde nun diese Berechnung geändert. Für jede Schule werden die realen Kosten angegeben, die sich auch im Wirtschaftsplan widerspiegeln.

Berechnung der CO₂-Emissionen

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen im Bereich der Heizenergie wurden die folgenden Werte verwendet, veröffentlicht vom Institut Wohnen und Umwelt⁵, berechnet mit GEMIS 4.93.

	CO ₂ -Äquivalent in g/kWh
Erdgas	241
Heizöl	313
Holz-Pellets	18
Strom-mix	617

Bei diesem Verfahren wird der gesamte Lebenszyklus inklusive der Transporte und Materialvorleistungen, allerdings ohne die Entsorgung, bewertet.

⁵ Kumulierter Energieaufwand und CO₂-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger und -versorgungen

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen des Strombereiches werden die Veröffentlichungen des Umweltbundesamtes⁶ herangezogen, bei dem die Emissionen analog zum sich jährlich ändernden Erzeugungsmix angepasst werden.

	CO ₂ -Emissionen in g/kWh
2008	583
2009	567
2010	558
2011	568
2012	573
2013	572
2014	557
2015	527
2016	523
2017	486
2018	474

⁶ Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid- Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2018