



Energiebericht 2019

Regensburg plant & baut

Inhalt

1.	Statistik	6
1.1.	Gesamtübersicht	7
1.2.	Wasser-, Strom- und Wärmeverbräuche	10
1.3.	Preisentwicklung	16
1.4.	Kohlendioxid-Emissionen	18
2.	Konkrete Maßnahmen der Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung	20
2.1.	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	20
2.2.	Photovoltaikentwicklung: 100 Prozent erneuerbare Energie als Ziel	22
2.3.	Holzpellettheizkesselanlage in der Schule Hohes Kreuz	24
2.4.	Energie aus Abwasser	29
2.4.1.	Haus der Musik, Bismarckplatz 1 (Sing- und Musikschule, Junges Theater Regensburg)	29
2.4.2.	Wärme- und Kältetechnik im Museum des Hauses der Bayerischen Geschichte	31
3.	Klärwerk Regensburg – Energetische Betrachtung	32
3.1.	Einleitung	33
3.2.	Maßnahmen zur Energieoptimierung	34
3.3.	Der Energiebedarf des Klärwerks Regensburg im bundesweiten Vergleich	36
3.4.	Künftige Maßnahmen zur Energieoptimierung	38
4.	LED-Straßenbeleuchtung	40
4.1.	Zwischenbilanz: Das LED-Sanierungskonzept geht auf	41
4.2.	Die Geschichte der Straßenbeleuchtung in Regensburg	42
4.3.	Was ist LED?	43
4.4.	„Lichtjahr 2008“ – zwei Impulse für eine energieeffiziente Zukunft	43
4.5.	Kampagne für Kampagne zum sauberen Lichtkonzept	44
4.6.	Sukzessive Umstellung statt Totalumrüstung in kurzer Zeit	45
4.7.	Was sagen die Bürgerinnen und Bürger zu ihrer Stadt im neuen Licht?	46
4.8.	Erhebliche Stromeinsparungen	47



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

der Einsatz regenerativer Energieträger, Nachhaltigkeit und Vorbildfunktion sind die Leitgedanken unseres städtischen Energiecontrollings und aller Fachbereiche der Stadt Regensburg, bei denen ein hoher Energiebedarf anfällt. Dieser Energiebericht spiegelt den hohen Stellenwert dieser drei Komponenten im Handeln der Stadt Regensburg wider.



Seit Jahren werden energiesparende Maßnahmen im städtischen Gebäudebestand mit Hochdruck durchgeführt. Dabei wird auch der wirkungsvolle Betrieb der vorhandenen technischen Anlagen auf Energieeffizienz geprüft und optimiert. Hierzu ist es notwendig, die Energieverbräuche kontinuierlich im Blick zu haben, um ein einmal erreichtes niedriges Verbrauchsniveau zu halten bzw. weiterhin zu senken.

Ein Meilenstein bei der Überwachung der Energieverbräuche der städtischen Liegenschaften ist die Einführung der Software Interwatt, die sich derzeit noch im Aufbau befindet. Sie ermöglicht es, bei vielen städtischen Schulen, Kindertagesstätten und Verwaltungsgebäuden jederzeit die aktuellen Energieverbräuche einzusehen, die teilweise im 10-Minuten-Takt importiert werden. Überdurchschnittliche Mehr- oder Minderverbräuche können so schnell erkannt und bei Bedarf Schwachstellen oder Mängel zeitnah beseitigt werden.

Dieser Energiebericht gewährt auch interessante Einblicke in die Anstrengungen des städtischen Klärwerks, das sich zum Ziel gesetzt hat, eine klimaneutrale Abwasserreinigung zu erreichen. Dabei wurden die Energieeinsparpotenziale und Möglichkeiten an Energieeigenerzeugung identifiziert und in entsprechenden Maßnahmen realisiert – „ein Ort der Ideen als auch ein Ort der Umsetzung.“

Ein weiterer Beitrag zur Energieeinsparung wird auf dem Gebiet der Straßenbeleuchtung geleistet. Auch wenn die Stadt Regensburg zu 100 Prozent mit elektrischer Energie aus regenerativen Quellen versorgt wird, müssen weiterhin Anstrengungen unternommen werden, um die Energieeffizienz zu steigern. Dies tut sie unter anderem durch die kontinuierliche Umsetzung des LED-Sanierungskonzepts. Der wirtschaftliche Einsatz von hocheffizienten LED-Leuchtmitteln, die durchschnittlich 80 Prozent weniger elektrische Energie benötigen als veraltete Glühlampen, wird bei jeder Unterhaltsmaßnahme überprüft und wo möglich realisiert. Neuanlagen werden grundsätzlich in LED-Technik ausgeführt.

Die bereits erzielten Erfolge motivieren und bestärken uns, diesen Weg weiterzugehen und unsere Bemühungen und Aktivitäten zum Thema Energieeinsparung noch weiter zu intensivieren. Energie zu sparen und den Einsatz alternativer Energien zu prüfen und, wo möglich, zu nutzen, bleiben auch weiterhin enorm wichtige Herausforderungen für unsere Zukunft. Dabei geht es nicht nur darum, Kosten zu sparen, sondern vor allem CO₂-Emissionen zu vermeiden und damit unsere Lebensqualität zu erhalten.

Christine Schimpfermann
Planungs- und Baureferentin

1. Statistik



Energieverbräuche, Kostenentwicklung, CO₂-Emissionen und der Einsatz erneuerbarer Energien

1.1.

Gesamtübersicht

Mit der vorliegenden Gesamtübersicht werden die Energieverbräuche und die damit verbundenen Kosten für Wärme, Strom und Wasser sowie die energiebedingten CO₂-Emissionen für die vom Amt für Gebäudeservice unterhaltenen Gebäude dargestellt.

Die Verbrauchswerte zur Wärmeerzeugung (Erdgas, Öl, Fernwärme und Heizstrom) beziehen sich auf die beheizte Nettoraumfläche der Gebäude (u. a. Schulen, Verwaltungsgebäude, Kindertageseinrichtungen), die im Dezember 2018 circa 454 000 Quadratmeter betrug. Für die Betrachtung der Strom- und Wasserverbräuche werden

zusätzlich zu den Gebäuden auch Brunnen, Spielplätze, Sportanlagen sowie die gesamte Straßenbeleuchtung zur Berechnung herangezogen. In nachfolgender Tabelle sind die Verbrauchsdaten von Strom, Wärme, Wasser sowie die damit verbundenen CO₂-Emissionen für das Jahr 2018 zusammengefasst. (Abb. 1)

Abb. 1:
2018
Verbrauch, Kosten
und CO₂-Emissionen

	Strom 100 % Ökostrom	Wärme- erzeugung	Wasser/ Abwasser
Verbrauch	15,96 GWh	27,18 GWh	0,12 Mio. m ³
Kosten	2,83 Mio. Euro	1,45 Mio. Euro	0,38 Mio. Euro
CO₂-Emissionen	0,00 t	5.529,58 t	

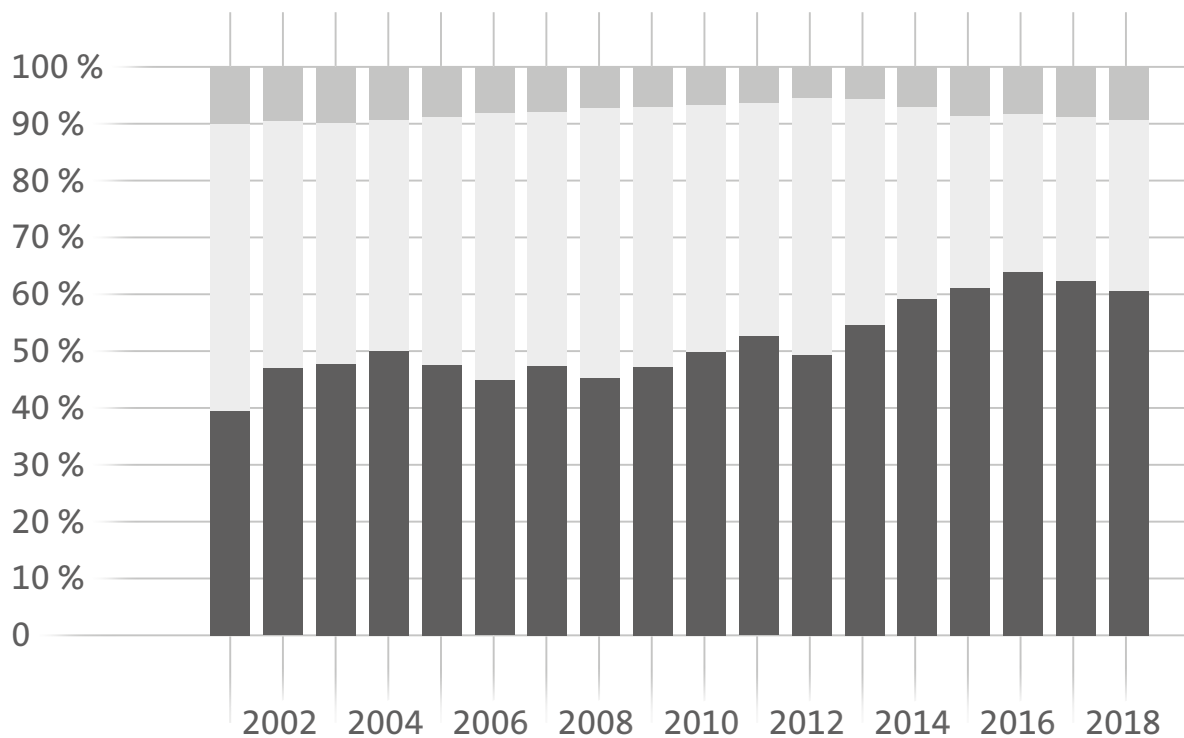


Abb. 2: Vergleichswerte 2001 bis 2018 Kostenanteile

- Wasser/Abwasser
- Wärmeerzeugung
- Strom

Bezogen auf die Gesamtkosten sind die Kostenanteile der Wärmeerzeugung seit 2001 von circa 50 Prozent auf 30 Prozent gesunken. Demgegenüber ist im selben Zeitraum ein deutlicher Kostenanstieg im Stromsektor zu verbuchen. Die Kostenanteile für Wasser und Abwasser sind weitestgehend konstant. (Abb. 2)

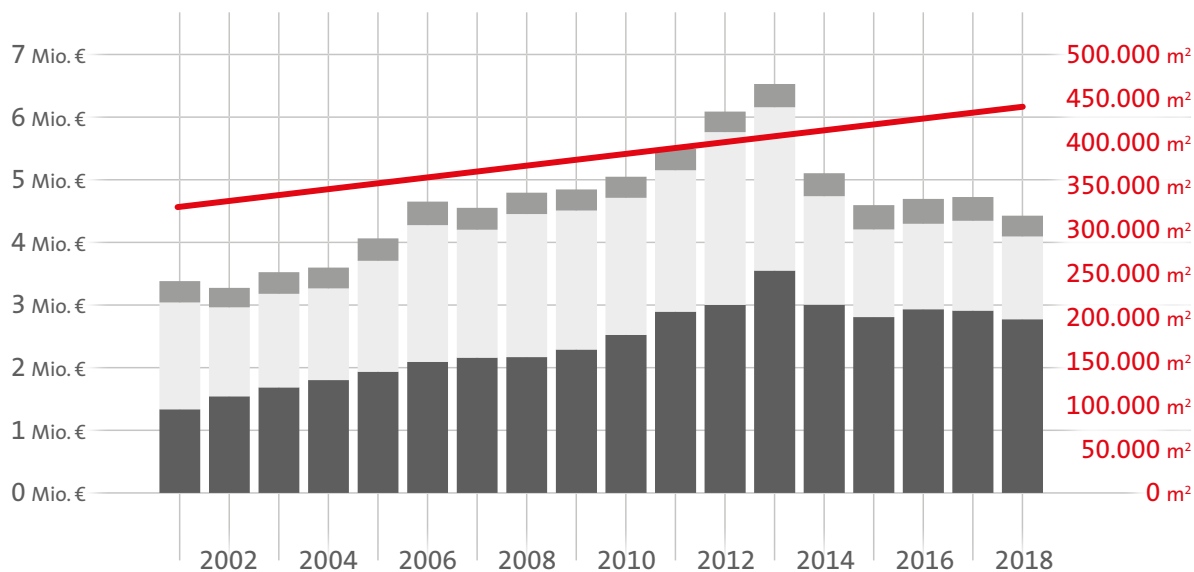


Abb. 3: **Kostenentwicklung 2001 bis 2018**

- Wasser/Abwasser
- Wärmeerzeugung
- Strom
- Zu beheizende Netto-Raumfläche (NRF)

Basierend auf den tatsächlich abgerechneten Verbrauchsdaten mit den Energie- und Wasserlieferanten, ist in Abbildung 3 die Entwicklung der Gesamtkosten für Strom, Wärmeerzeugung und Wasser/Abwasser vom Jahr 2001 bis 2018 dargestellt. Die Abwasserkosten stehen dabei in direktem Bezug zu den Frischwasserverbräuchen und wurden entsprechend ermittelt.

Seit 2001 ist die Netto-Raumfläche (NRF) der städtischen Gebäude von circa 344 000 auf 454 000 Quadratmeter angestiegen. Dies entspricht einem Flächenzuwachs von rund 32 Prozent. Die Gesamtausgaben für Strom, Wärmeerzeugung und Wasser/Abwas-

ser sind zwischen den Jahren 2001 und 2013 von rund 3,4 Mio. Euro auf insgesamt 6,5 Mio. Euro gestiegen. Bedingt durch die gesunkenen Bezugspreise von Erdgas und Strom und die Energieeinsparungen durch energieeffiziente Neu- und Ersatzbauten sowie Sanierungen (z. B. Neubau Grundschule Prüfening, Generalsanierung Grundschule am Napoleonstein und Goethe Gymnasium), erfolgte im Jahr 2014 eine signifikante Kostenreduzierung. Trotz einer Zunahme der Nutzfläche in den vergangenen Jahren sind die jährlichen Aufwendungen von rund 4,5 Mio. Euro annähernd konstant geblieben.

Wasser-, Strom- und Wärmeverbräuche

Nachfolgend werden die Verbrauchsdaten der städtischen Liegenschaften dargestellt. Dabei wird auf die Energieformen Strom und Wärme sowie auf den Wasserverbrauch eingegangen.

Wasserverbrauch

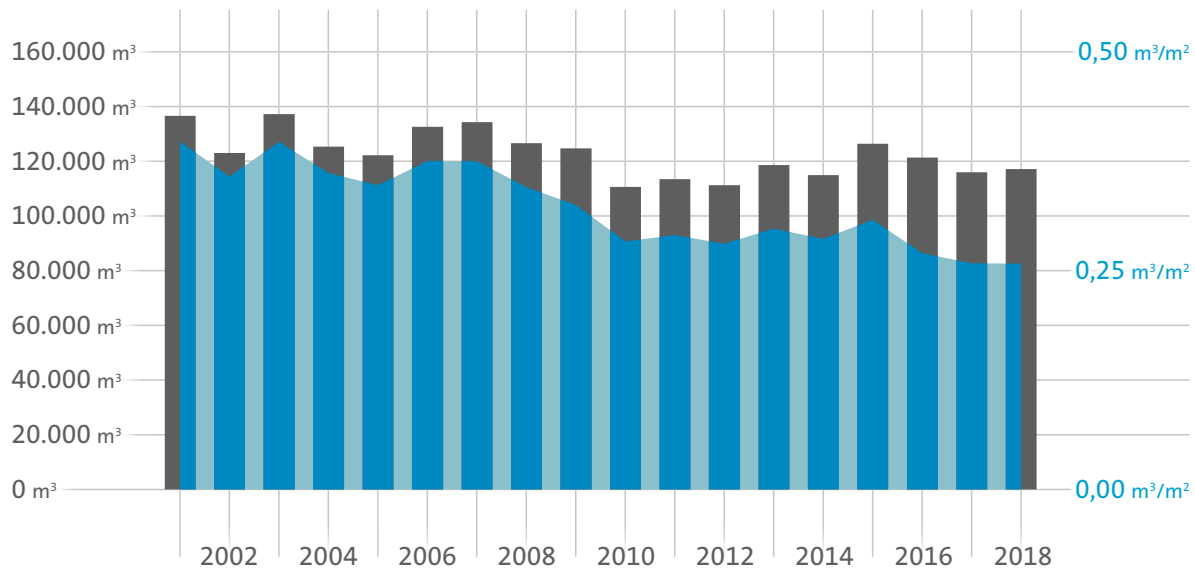
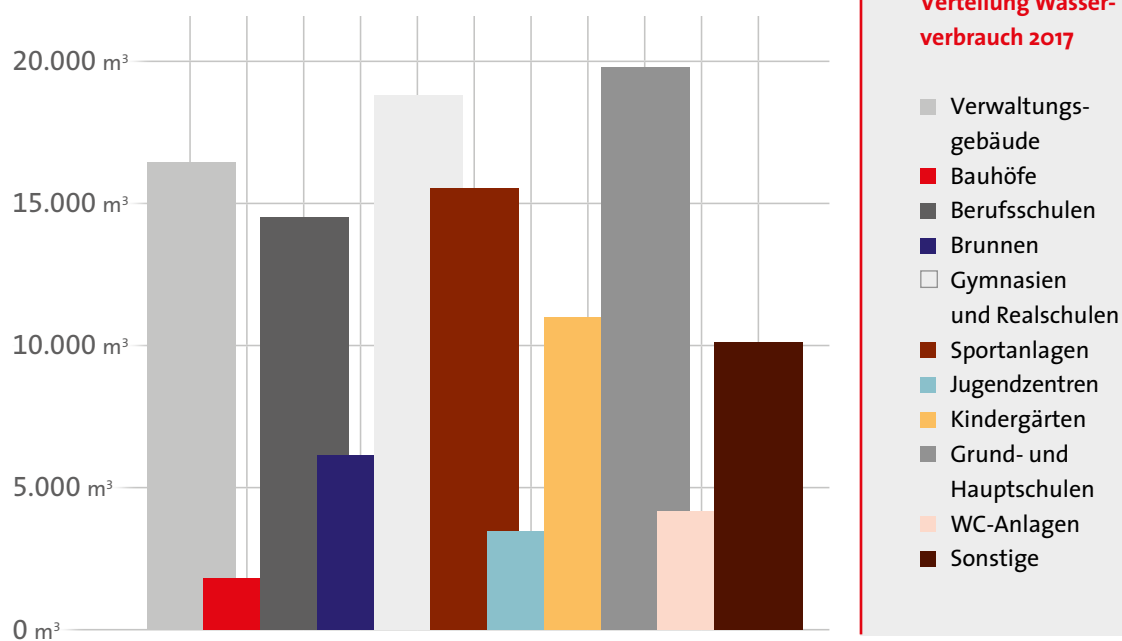


Abb. 4: Entwicklung Wasserverbrauch

- Gesamtverbrauch Wasser
- Verbrauch pro Quadratmeter Netto-Raumfläche (NRF)

Der Wasserverbrauch der städtischen Gebäude einschließlich der Brunnen ist seit dem Jahr 2010 weitestgehend konstant. Trotz der Übernahme der Sportanlage Ost sowie diverser Flächenerweiterungen (Neubauten und Erweiterungen bestehender Gebäude) hat sich der jährliche Verbrauch auf weniger als 120 000 Kubikme-

ter eingependelt. Lediglich im Jahr 2015 ist ein deutlicher Mehrverbrauch zu verbuchen, dieser ist aber hauptsächlich den hohen sommerlichen Temperaturen und somit einer intensiven Grünflächenbewässerung geschuldet. Insgesamt hat sich der Verbrauch gegenüber 2001 um circa 20 000 Kubikmeter (rund 14,5 Prozent) verringert. (Abb. 4)



Während 2001 der durchschnittliche jährliche Wasserverbrauch pro Quadratmeter Nutzfläche bei 396 Litern lag, wurde dieser bis in das Jahr 2018 auf 256 Liter reduziert. Mit einer Summe von insgesamt 53 000 Kubikmeter im Jahr stellen die Schulen mit insgesamt 22 600 Schülern den größten Wasserverbraucher der Stadt Regensburg dar. Dies entspricht circa 46 Prozent des gesamten städtischen Wasserverbrauchs. Neben den Verwaltungsgebäuden mit 16 380 Kubikmeter gehören auch die Sportanlagen und deren Grünflächenbewässerung (circa 15 500 Kubikmeter) zu den Hauptabnehmern für das Medium Wasser. (Abb. 5)

Stromverbrauch

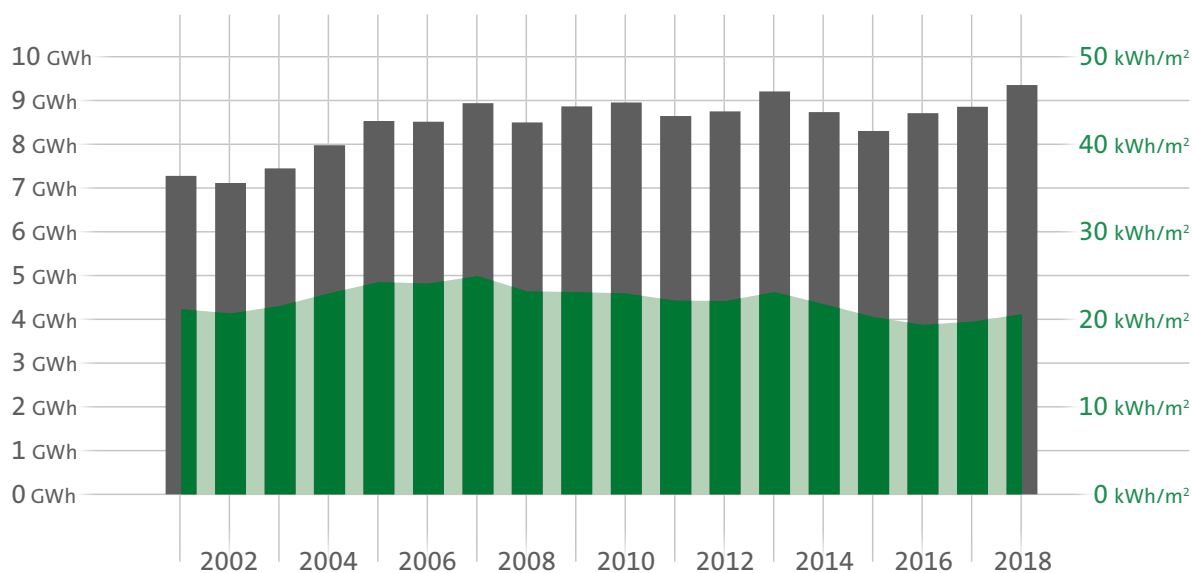
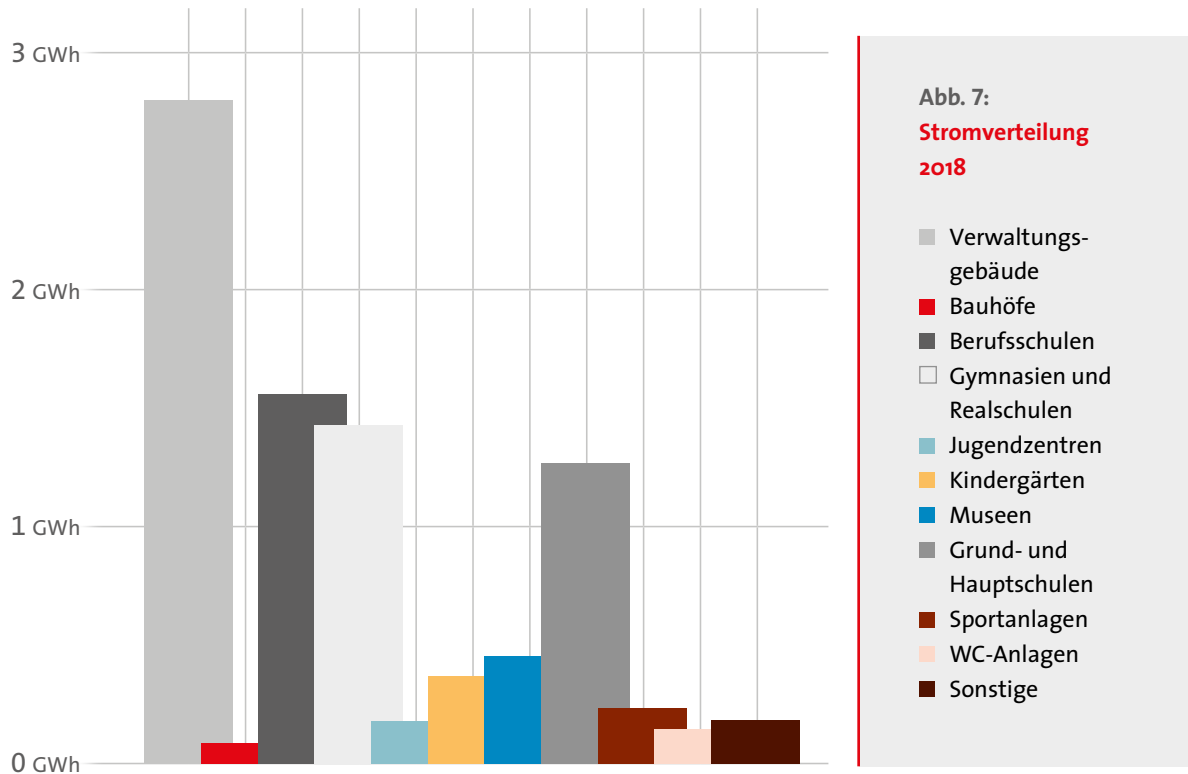


Abb. 6: Entwicklung Stromverbrauch

- Gesamtverbrauch Strom
- Stromverbrauch pro Quadratmeter Netto-Raumfläche (NRF)

Der Stromverbrauch 2018 aller vom Amt für Gebäudeservice unterhaltenen Liegenschaften betrug rund 9,2 Gigawattstunden; somit ist der Gesamtverbrauch im Vergleich zu 2001 um etwa 27 Prozent gestiegen. Berücksichtigt man den Flächenzuwachs von mehr als 110 000 Quadratmeter (circa 32 Prozent) seit dem Jahre 2001, so ergibt sich ein durchschnittlicher Verbrauch von knapp über 20,3 Kilowattstunden pro Jahr und Quadratmeter. Dies entspricht einem durchschnittlichen Rückgang von circa 0,9 Kilowattstunden pro Quadratmeter. (Abb. 6)



Zusätzlich sollen an dieser Stelle die Verbräuche für die Straßenbeleuchtung sowie der Lichteinsatz zur Inszenierung kultureller Gebäude oder Sehenswürdigkeiten erwähnt werden. Daraus ergeben sich für die Stadt Regensburg in Addition zu den vorher genannten 9,2 Gigawattstunden insgesamt etwa 14,9 Gigawattstunden an elektrischer Arbeit für das Jahr 2018. Die Beleuchtung stellt folglich mit circa 5,7 Gigawattstunden pro Jahr (rund 38 Prozent des Gesamtverbrauchs) den größten Verbraucher dar und ist daher entsprechend kostenintensiv. Durch den fortschreitenden Einsatz energieeffizienter LED-Technik wurden in diesem Bereich bereits große Energieeinsparungen erreicht (vgl. Bericht über LED-Beleuchtung ab Seite 40).

In Abbildung 7 sind die Verbräuche (ohne Straßenbeleuchtung) für das Jahr 2018 den einzelnen Einrichtungen zugeordnet.

Zusammen mit dem Rechenzentrum (Verbrauch etwa 0,350 Gigawattstunden) ist das Neue Rathaus samt Bürgerverwaltungszentrum in der D.-Martin-Luther-Straße mit insgesamt 1,3 Gigawattstunden pro Jahr der größte Einzelstromverbraucher der Stadt. Dies entspricht etwa 14 Prozent des Gesamtverbrauchs der vom Amt für Gebäudeservice betreuten Gebäude. Insgesamt beziehen die Verwaltungsgebäude mehr als 2,8 Gigawattstunden elektrische Energie aus dem öffentlichen Netz. Auf alle Schulen entfielen 2018 etwas mehr als 4,3 Gigawattstunden (circa 47 Prozent) an elektrischer Arbeit. (Abb. 7)

Wärmeverbrauch

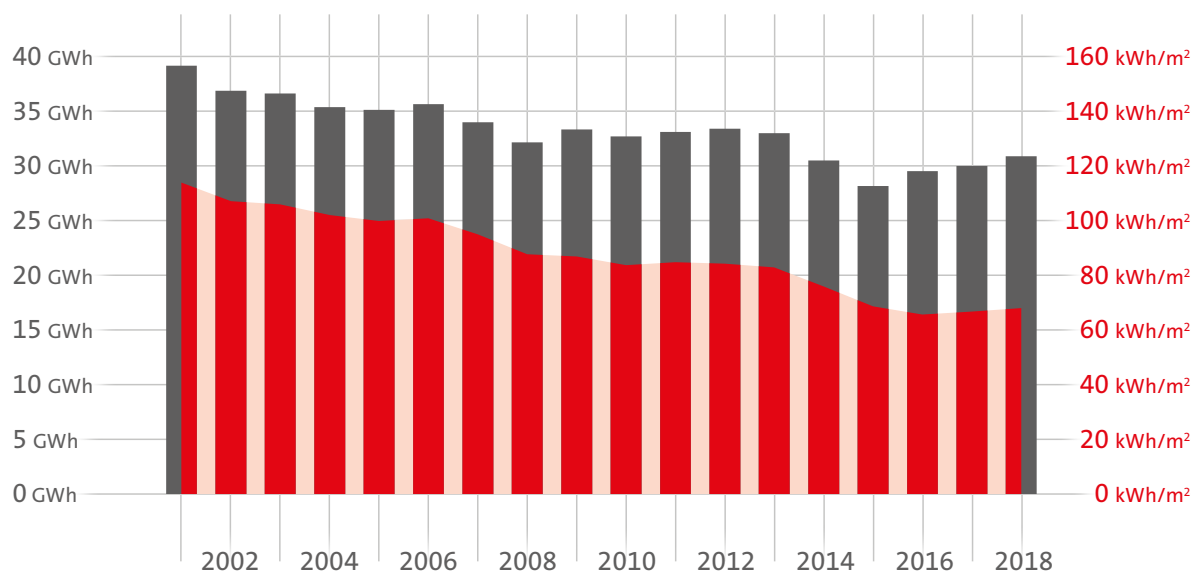


Abb. 8: Entwicklung Wärmeverbrauch

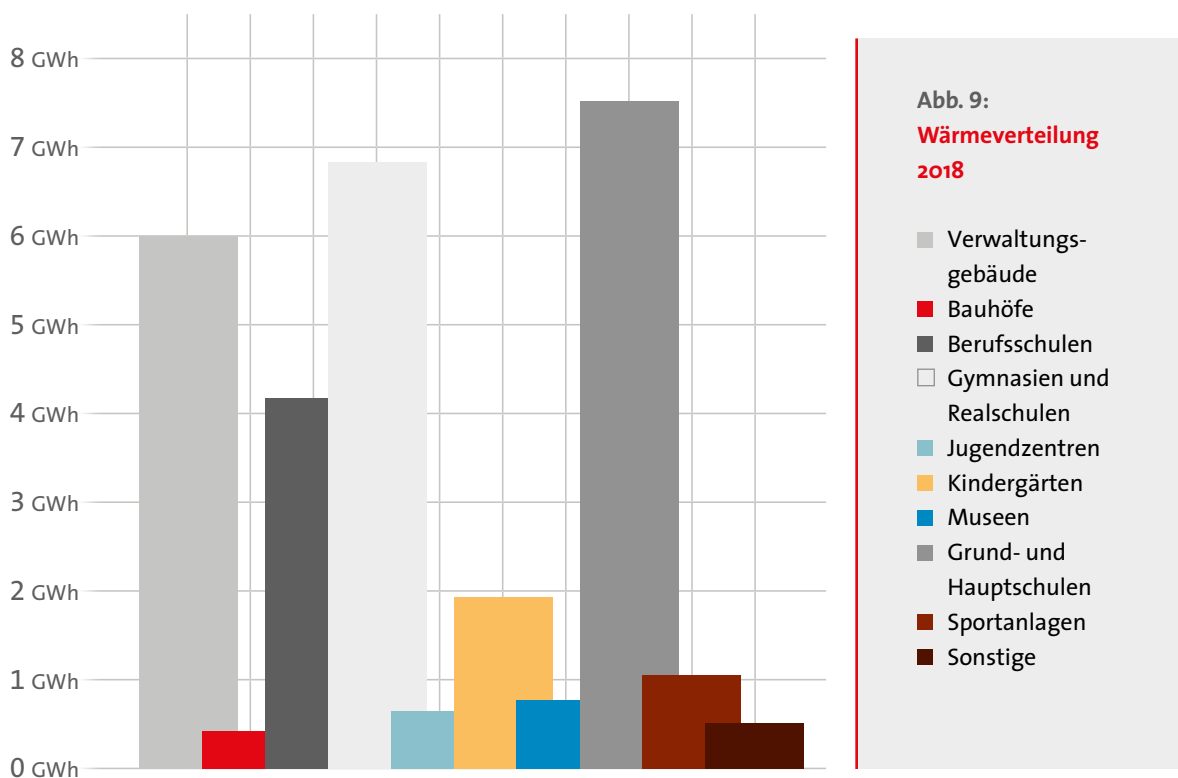
- Gesamtverbrauch Wärme witterungsbereinigt
- Verbrauch pro Quadratmeter Netto-Raumfläche (NRF)

Die Witterung hat auf den Wärmebedarf eines Gebäudes erheblichen Einfluss. Aus diesem Grund werden die erhobenen Daten mittels Gradtagszahlen witterungsbereinigt dargestellt, was zu einer deutlich besseren Vergleichbarkeit der Wärmeverbräuche und Bewertung von Maßnahmen führt. Die Verbräuche der von verschiedenen Lieferanten bezogenen Heizenergieträger (Erdgas, Heizöl und Fernwärme) wurden seit dem Jahr 2001 um rund 24 Prozent auf 30,1 Gigawattstunden im Jahr 2018 gesenkt. Der Anteil der Liegenschaften, die mit Gas beheizt wurden, lag bei circa 96 Prozent. Bedingt durch die Neubaumaßnahme an der Hauptfeuerwache

betrug der Anteil der Ölbefuerung vorübergehend 3,4 Prozent. Nach Fertigstellung wird diese an das örtliche Fernwärmenetz angeschlossen, was zu einer deutlichen Reduzierung des Ölbedarfs führen wird. Mithilfe von Fernwärme werden derzeit lediglich 0,4 Prozent und über Biomasse 0,3 Prozent des Wärmebedarfs der Liegenschaften gedeckt. Zehn Liegenschaften verfügen über eine Wärmepumpe, der Energiebedarf hierfür lässt sich aber aufgrund der Zählerstruktur derzeit nicht rekonstruieren und wurde somit statistisch noch nicht erfasst. Insgesamt ist der gesamte Heizenergiebedarf in den vergangenen vier Jahren leicht gestiegen. (Abb. 8)

Trotz der Flächenerweiterungen durch Neu- und Erweiterungsbauten (auch temporäre Containeranlagen) sowie der zeitlichen Nutzungsausweitungen vor allem in Schulen (Ganztagsbetreuung) und Kindergärten, Kindertagesstätten und Horten wurde – bezogen auf die Netto-Raumfläche – der Verbrauch seit Anfang des Jahrtausends deutlich verringert. Während 2001 der spezifische Heizenergiekennwert für die städtischen

Liegenschaften noch bei etwa 113 Kilowattstunden pro Quadratmeter lag, ist der Verbrauch auf 67 Kilowattstunden pro Quadratmeter im Jahr 2018 zurückgegangen. Dies entspricht einer Reduzierung von nahezu 41 Prozent. Speziell beim Wärmeverbrauch wird deutlich, dass durch energieeffiziente Neubauten, energetische Sanierungen und einem sensibilisierten Nutzerverhalten signifikante Verbrauchseinsparungen realisierbar sind.



Rund 62 Prozent der gesamten Heizenergie wird in den städtischen Bildungseinrichtungen verbraucht. Auf die Verwaltungsgebäude entfällt lediglich ein Anteil von 20 Prozent. Der größte Bedarf ist dabei in der Kerschensteiner Berufsschule mit etwa 2,6 Gigawattstunden und im Neuen Rathaus mit nahezu 2,1 Gigawattstunden zu decken. (Abb. 9)

Preisentwicklung

Wasser und Abwasser

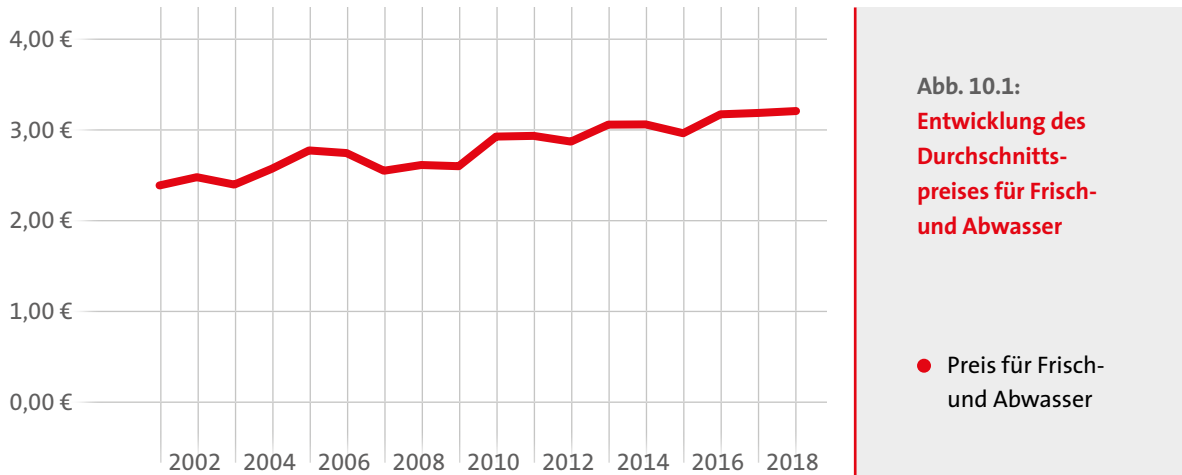


Abb. 10.1:
Entwicklung des
Durchschnitts-
preises für Frisch-
und Abwasser

● Preis für Frisch-
und Abwasser

Die Preise für Frischwasser und Abwasser sind in den letzten Jahren annähernd stabil geblieben. Der gemittelte Preis aller Liegenschaften (Brunnenanlagen mit eingeschlossen) im Jahr 2018 betrug 3,19 Euro pro Kubikmeter.

Strom

Der Strompreis setzt sich aus den Energiekosten und den nicht beeinflussbaren Anteilen für Steuern, Konzessionsabgaben, Netzentgelte, Messkosten und der EEG-Umlage zusammen. Diese Abgaben machten 2018 im Mittel rund 85 Prozent der Gesamtkosten für eine Kilowattstunde Strom aus.

Die Preise für die Stromlieferung sind grundsätzlich abhängig von der Netzebene, der Anschlussart (Messeinrichtung) der einzelnen Liegenschaften sowie der Zusammensetzung des bezogenen Stroms (Strom-Mix oder Ökostrom). Aus diesem Grund wurde für jeden Jahreswert ein durchschnittlicher spezifischer Strompreis aus dem Verhältnis des gesamten Strombezugs zu den Gesamtkosten über alle Anschlussarten und Netzebenen errechnet. Der auf diese Weise gemittelte Strompreis betrug im Jahr 2018 für alle Liegenschaften 19,41 Cent pro Kilowattstunde. Seit 2014 bezieht die Stadt Regensburg vom Energieversorgungsunternehmen reinen Ökostrom, der gegenüber dem üblichen Graustrom (Strom-Mix) geringfügige

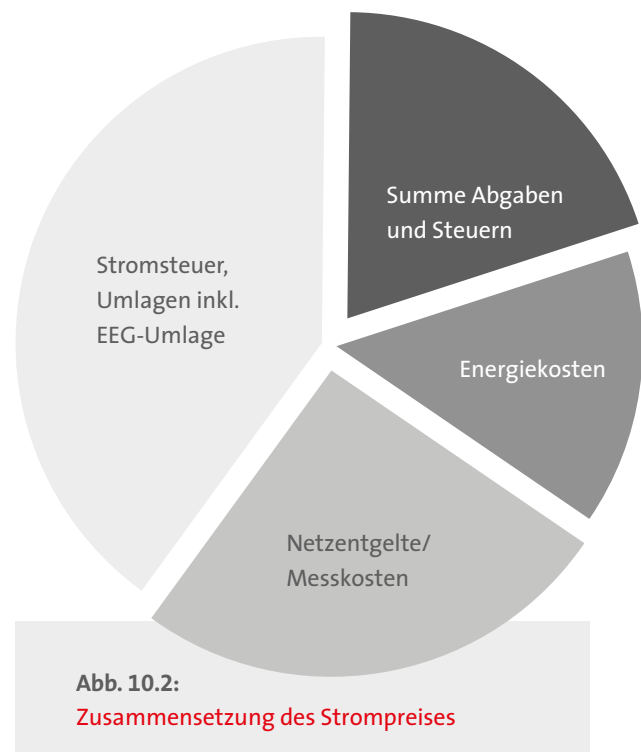
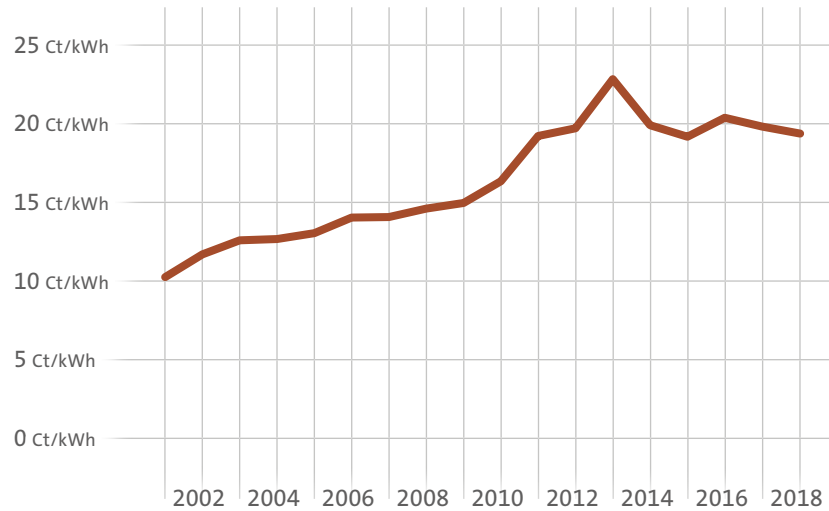


Abb. 10.2:
Zusammensetzung des Strompreises

Mehrkosten verursacht. Der durchschnittliche Strompreis liegt seitdem nahezu unverändert zwischen 19,4 und 20,3 Cent pro Kilowattstunde. (Abb. 10.3)

Abb. 10.3:
Entwicklung
durchschnittlicher
Strompreis

● Strompreis



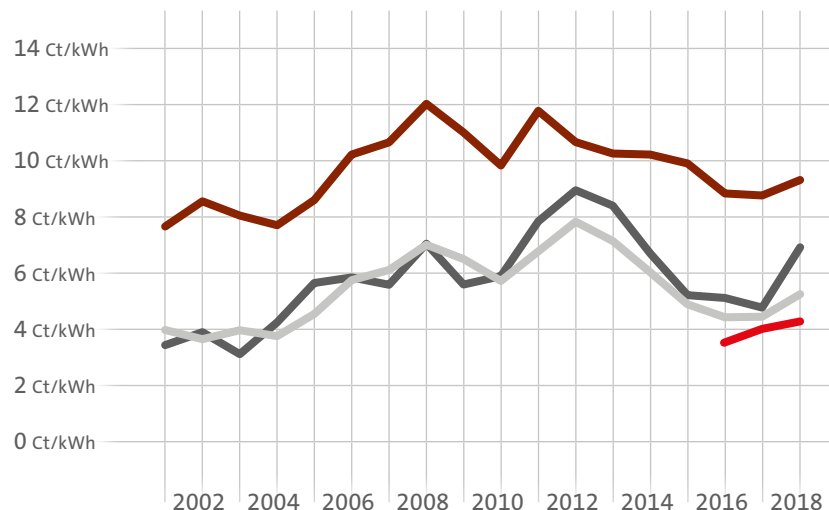
Wärme

Für die Bemessung des durchschnittlichen Wärmepreises wurden alle anfallenden Kosten (unter anderem Leistungspreis, Messkosten, Gefahrenzuschläge) mit aufgenommen. Dadurch konnten – über das Verhältnis Gesamtkosten zu Gesamtbezug – die mittleren spezifischen Wärmekosten ermittelt werden. Dabei zeigte sich, dass das durchschnittliche Preisniveau der fossilen Energieträger sowie der Fernwärme bis 2012 kontinuierlich anstieg. Ab dieser Zeit fielen die Preise bis 2017. Seitdem ist wieder ein Anstieg der Be-

zugspreise zu verzeichnen. 2018 lag der Durchschnittspreis für das gängigste Medium Gas bei 5,21 Cent pro Kilowattstunde. Der Heizölpreis lag mit 6,81 Cent pro Kilowattstunde leicht über diesem Niveau. Mit 9,23 Cent pro Kilowattstunde ist die Fernwärme das teuerste Medium. Seit 2016 wird in der Grundschule Hohes Kreuz eine Pelletheizung betrieben. Die Holzpellets hierfür kosteten im Jahr 2018 im Mittel 4,29 Cent pro Kilowattstunde. (Siehe auch Bericht Seite 24 zur Schule Hohes Kreuz)

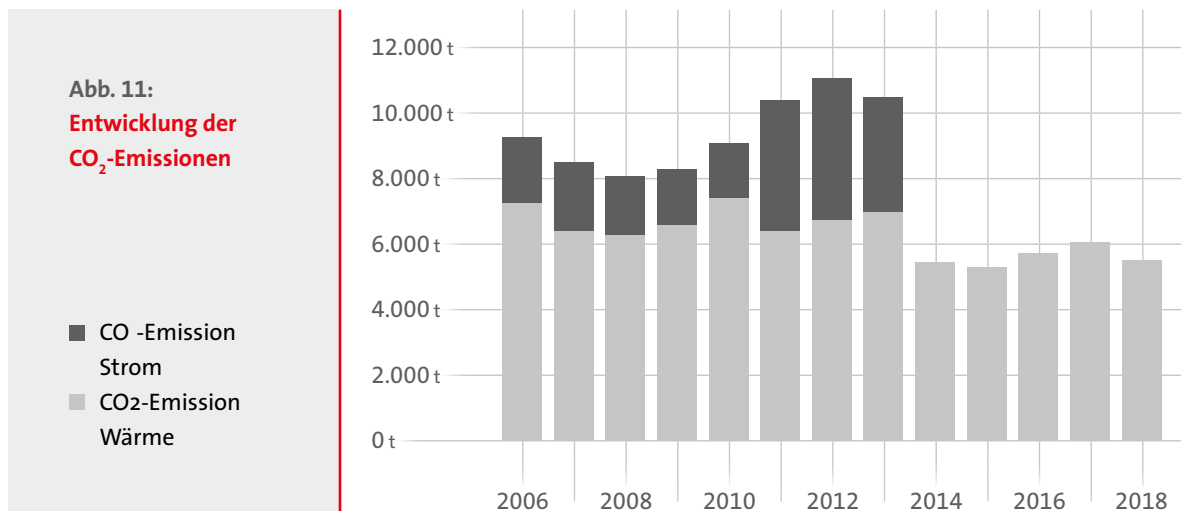
Abb. 10.4:
Entwicklung
durchschnittlicher
Wärmepreis

● Fernwärme
● Gas
● Heizöl
● Biomasse (Holzpellets)



Kohlendioxid-Emissionen

Bezogen auf das Jahr 2006, sanken die gesamten CO₂-Emissionen der städtischen Liegenschaften um 40,5 Prozent auf etwa 5 530 Tonnen im Jahr 2018. Ungeachtet des Flächenzuwachses, kam es im Wärmesektor bis 2018 zu einer Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes um circa 24,7 Prozent.



Die Umweltauswirkungen im Stromsektor sind abhängig von der Zusammensetzung des vom Energieversorgungsunternehmens (EVU) gelieferten Stroms. Während 2006 ein Anteil von 34 Prozent des bezogenen Stroms aus Kernenergie und 21 Prozent aus erneuerbaren Energien stammten, veränderte sich nach der Katastrophe von Fukushima im März 2011 die Zusammensetzung deutlich. Der Anteil der Kernenergie wurde in diesem Jahr zugunsten von fossilen Brennstoffen verringert, was zu

einem signifikanten Anstieg der städtischen CO₂-Emissionen führte. 2013 wurde der Anteil der erneuerbaren Energien im Strom-Mix des Energieversorgers auf 36,3 Prozent erhöht. Seit dem Jahr 2014 bezieht die Stadt Regensburg reinen Ökostrom und weist daher im Stromsektor keine CO₂-Emissionen mehr auf. Insgesamt hat die Stadt seit 2014 durch die Verbrauchsreduzierungen in der Wärmebedarfsdeckung, vor allem aber durch die konsequente Nutzung von grünem Strom, bezogen auf das Jahr 2006, rund 18 000 Tonnen CO₂ eingespart.



Abb. 11.1: **Energiesparende Beleuchtung**



2.

Konkrete Maßnahmen der Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung

2.1.

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Blockheizkraftwerke (BHKW) nutzen das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung. Dabei erzeugt ein mit Brennstoff (zum Beispiel Erdgas) betriebener Verbrennungsmotor gleichzeitig Strom und Wärme.

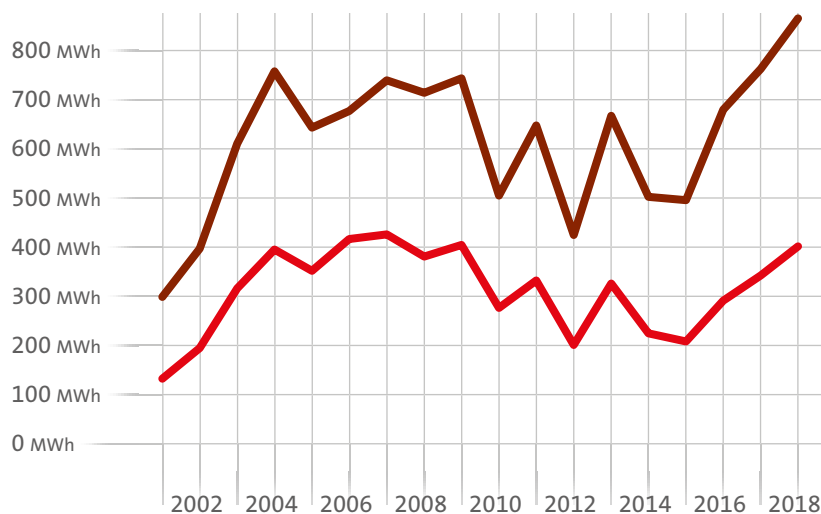


Abb. 12:
Strom und Wärme
aus KWK-Anlagen

- Wärmemenge
- Stromerzeugung



Blockheizkraftwerk – höherer Gesamtwirkungsgrad

Der durch den angetriebenen Generator erzeugte Strom wird weitestgehend direkt vor Ort verbraucht und die anfallende Wärme wird abgeführt und sowohl zur Gebäudebeheizung als auch zur Warmwasserbereitung verwendet. Durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme lassen sich mit einem Blockheizkraftwerk gegenüber einer getrennten Erzeugung deutlich höhere Gesamtwirkungsgrade erreichen.

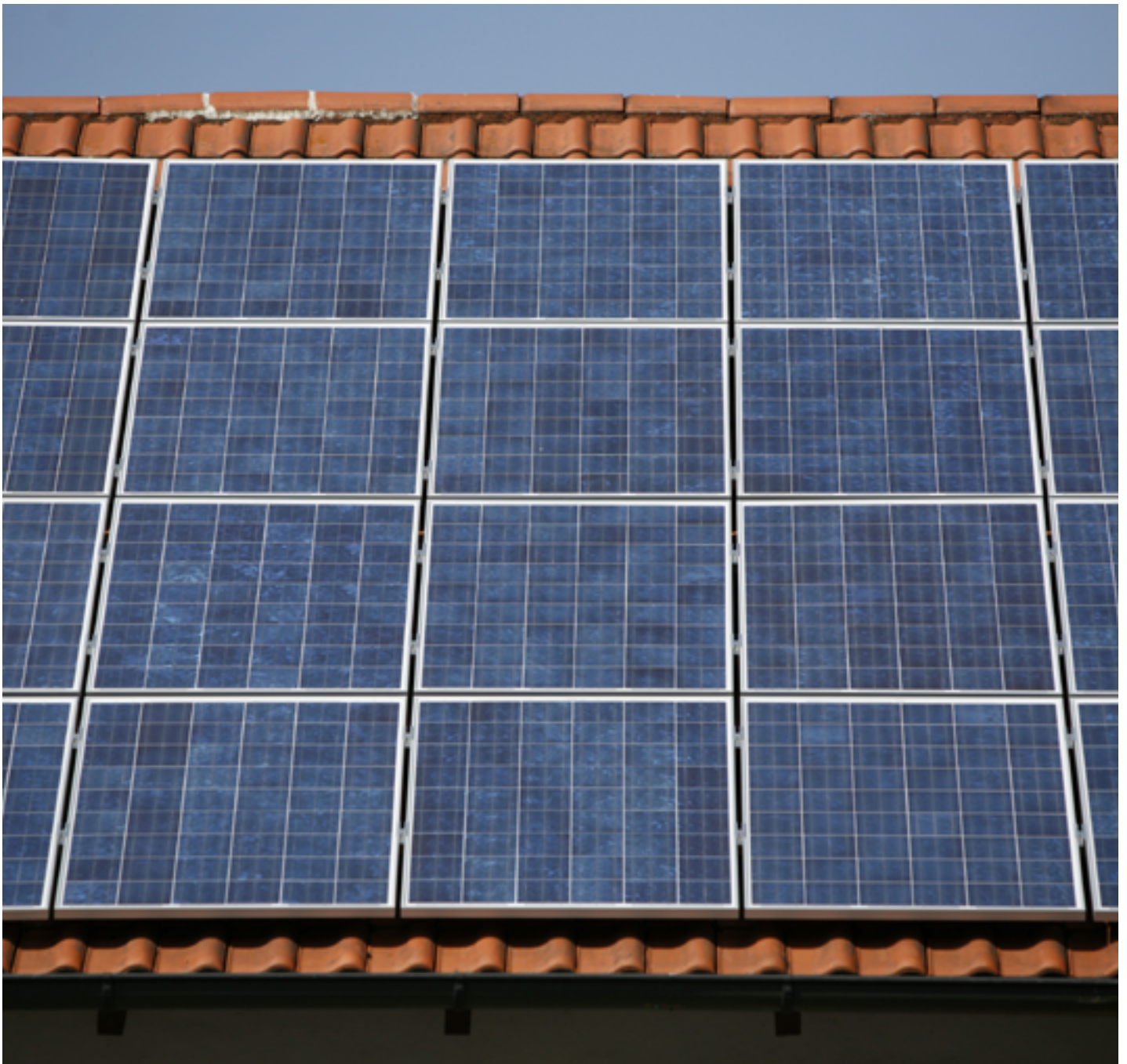
Ende November 2017 wurde in der städtischen Sportanlage Oberer Wöhrd das zehnte BHKW fertiggestellt und in Betrieb genommen. 2018 wurden an sieben Standorten insgesamt 304 Megawattstunden Strom und etwa 883 Megawattstunden Wärme erzeugt. Störungsfrei arbeitende Anlagen erreichten mit LZ durchschnittliche Betriebszeiten von bis zu 6 000 Stunden pro Jahr. Zusätzlich zu den genannten Anlagen wird im Klärwerk der Stadt Regensburg das bei der Abwasserreinigung entstehende Klärgas in eigenständigen Blockheizkraftwerken verfeuert und dabei Strom und Wärme erzeugt. (Siehe Bericht ab Seite 32)

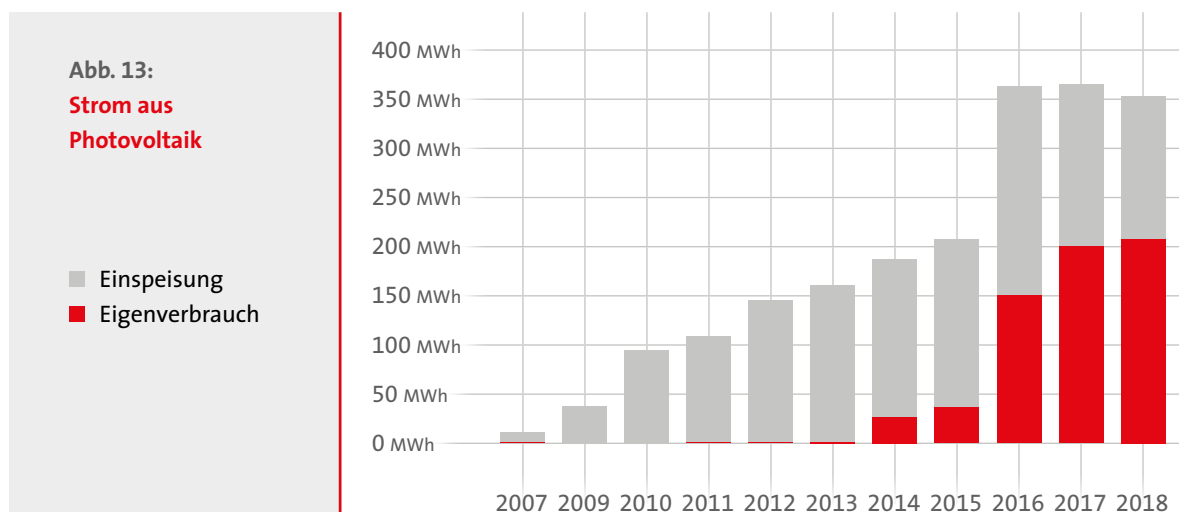


Abb. 12.1: **Blockheizkraftwerk**

Photovoltaikentwicklung: 100 Prozent erneuerbare Energie als Ziel

Im „Leitbild Energie und Klima der Stadt Regensburg“ wird der konsequente Umstieg auf erneuerbare Energien in Hinblick auf die Ziele des Paris-Abkommens gefordert. So soll der Anteil an erneuerbaren Energien am Energiebedarf der Stadt Regensburg bis zum Jahr 2050 auf nahezu 100 Prozent erhöht werden.





Zum Jahresende 2018 waren auf beziehungsweise an den städtischen Gebäuden Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von 404 Kilowatt peak installiert. Seit der Inbetriebnahme der Anlage auf dem Parkhaus der Beruflichen Oberschule Regensburg/Staatliche Fachoberschule und Berufsoberschule in der Fort-Skelly-Straße (Gesamtleistung 182 Kilowatt peak) im Jahr 2016 stieg der durchschnittliche jährliche solare Ertrag auf mehr als 350 Megawattstunden. Während bis 2013 der erzeugte Strom hauptsächlich ins öffentliche Netz eingespeist wurde, rückt aufgrund der geänderten Einspeisevergütung nun der Eigenverbrauch in den Mittelpunkt. So wurden im Jahr 2018 etwa 205 Megawattstunden in den städtischen Gebäuden selbst verbraucht. Zusätzlich zu den vorhandenen Photovoltaikanlagen wurden in den Investitionsplan 2019 bis 2023 Nachrüstungen auf bestehenden Gebäuden (unter anderem Berufsschulzentrum Kerschensteiner, Grundschule Burgweinting) mit einer Gesamtleistung von circa 280 Kilowatt Peak aufgenommen. Weitere Anlagen mit insgesamt rund 360 Kilowatt peak sind derzeit in Verbindungen mit Neubauten beispielsweise auf der Grundschule Kreuzschule, dem Museumsdepot Burgweinting oder auf dem Kinderhaus in der Guerickestraße

geplant und werden demnächst realisiert. Eine größtmögliche solare Nutzung vorhandener Dach- und Freiflächen wird angestrebt, um die Treibhausgasemissionen und Energiekosten der kommunalen Liegenschaften dauerhaft zu senken. Daher prüft das Amt für Gebäudeservice zusätzliche Standorte zur solaren Energieerzeugung auf bestehenden städtischen Liegenschaften. Dabei sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Verschattung
- vorhandene Lichtkuppeln/
Dachflächenfenster
- Dachbegrünung
- Statik
- Wirtschaftlichkeit
- Satzung über örtliche Bauvorschriften zum Schutz der Altstadt von Regensburg (Altstadtschutzsatzung)

Holzpelletheizkesselanlage in der Schule Hohes Kreuz

Die Grundschule Hohes Kreuz in der Straubinger Straße 42, 93055 Regensburg, wurde in den Jahren 2015/16 mit einem quadratischen Anbau in Massivbauweise erweitert. Dieser ist über das bestehende westliche Treppenhaus an den Bestand angebunden.



Durch diese Erweiterung wurden notwendige Räume für die Einrichtung eines gebundenen Ganztagszuges (Klassenräume, Differenzierungsräume, Mehrzweckraum, Küche, Speise- und Aufenthaltsraum), eine Pausenhalle sowie eine Kleinsporthalle einschließlich der erforderli-

chen Nebenräume geschaffen. Die Sporthalle mit den Nebenräumen ist im Untergeschoss untergebracht. Speisesaal, Küche, WCs und Pausenhalle befinden sich im Erdgeschoss. Die Klassen- und Differenzierungsräume des Ganztagszuges wurden im Obergeschoss mit Anbindung an den Bestand errichtet.

2.3.1. Voruntersuchung

Während der Planungsphase wurden im Vorfeld mehrere Heizsysteme geprüft und miteinander verglichen. Dabei wurde berücksichtigt, dass das bestehende Schulgebäude in absehbarer Zukunft zu sanieren ist. Die Heizanlage sollte zunächst nur für den Anbau dimensioniert und soweit vorbereitet werden, dass später eine Erweiterung auf die entsprechende Heizlast in der neuen Technikzentrale problemlos machbar ist.

Aufgrund der Initiative des Energiemanagements der Stadt Regensburg wurde untersucht, ob der Einsatz einer Heizanlage mit dem regenerativen Rohstoff Holz möglich ist. Infrage kam nur eine Holzpelletsanlage, da hier der Wartungsaufwand relativ gering ist und der erforderliche Lagerraum verhältnismäßig klein ist.

Bei der Untersuchung wurden unter anderem die Investitions- und Betriebskosten, die Wartungsintensität sowie der Platzbedarf und die CO₂-Bilanz der einzelnen Varianten gegenübergestellt.

Folgende Gründe/Argumente haben zum Einsatz einer Pelletheizung geführt:

- nachwachsender, natürlicher, heimischer Rohstoff
- Einsparung von fossiler Energie
- CO₂-neutral
- Erfüllen des EEWärmeG (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz)
- niedrige Brennstoffkosten (im Vergleich zu Gas oder Öl)
- kostengünstige Errichtung des Pelletlagers im Zuge der Neubaumaßnahme und optimale Positionierung an der Außenwand zur Straubinger Straße
- geeigneter Zufahrtsweg mit gut zugänglichem Anlieferungspunkt für Silopumpwagen, ohne das Schulgelände befahren zu müssen. In der Regel ist eine Straßenbreite von mindestens drei Metern und eine Durchfahrtshöhe von mindestens vier Metern erforderlich.



Abb. 14: **Pelletkessel mit Vorratsbehälter**

Die erste städtische Holzpelletanlage ist seit September 2016 in Betrieb.

2.3.2. Holzpellets

Holzpellets sind die komprimierteste Form der Holzenergie und besitzen Dank ihrer sehr geringen Restfeuchte und der homogenen Zusammensetzung einen hohen Brennwert. Zur Herstellung von Pellets werden zu 100 Prozent naturbelassene Holzreste maschinell unter hohem Druck zu genormten Holzstiften gepresst. Der Rohstoff hierfür fällt in großen Mengen in Form von Hobel- oder Sägespänen als Abfallprodukt in der Holzverarbeitenden Industrie an. Der Brennstoff hat eine sehr gute Ökobilanz, da es sich hierbei um nachwachsende Rohstoffe handelt und die Pellets bei der Verbrennung nur so viel CO₂ ausstoßen, wie das Holz im Laufe seines Wachstums aufgenommen hat. Als Brennstoff werden ausschließlich zertifizierte Holzpellets nach EN plus A1 verwendet.



Abb. 15: Holzpellets als Energieträger

Für die Produktion werden zu 100 Prozent naturbelassene Holzreste verarbeitet.

2.3.3. Realisiertes Heizungskonzept

Die Wärmeversorgung der Grundschule Hohes Kreuz erfolgt über eine Pelletheizung, die im ersten Untergeschoss des neuen Erweiterungsbaus der Schule untergebracht ist. Der vollautomatische Biomassekessel mit einer Nennleistung von 80 Kilowatt besitzt einen Wirkungsgrad von bis zu 96 Prozent. Die Gesamtheizlast des Gebäudes beträgt etwa 74 Kilowatt. Der Heizraum mit zentralem Kaminstein ist für eine spätere Gesamtleistung von rund 150 Kilowatt ausgelegt.

Damit könnte im Rahmen einer energetischen Sanierung der Bestandsbau, der derzeit durch einen Gaskessel mit Wärme versorgt wird, über eine Fernleitung angeschlossen werden. Um die Emissionen von Biomasse bei der Verbrennung möglichst gering zu halten, wurden effiziente Technologien und aufeinander optimierte Systembestandteile eingebaut. Der Pelletkessel verfügt über modernste Verbrennungstechnik und garantiert einen wirtschaftlichen und vor allem emissionsarmen Betrieb.

Zwei Heizungspufferspeicher mit je 1 500 Liter Inhalt dienen zur besseren Kesselauslastung, zur Spitzenlastabdeckung und als hydraulischer Trennspeicher zwischen Kessel und Heizungsnetz. Die Auslastung des Kessels mit einer hohen Anzahl an jährlichen Volllaststunden verursacht geringere Anlagenverluste sowie günstigere Wartungs- und Betriebskosten.

Die Versorgung mit Warmwasser erfolgt über ein Frischwassermodul. Der zusätzlich installierte PV-Heizer (Photovoltaikanlage auf dem Dach) zur Erwärmung des Brauchwassers mit einer Leistung von 1,5 Kilowatt, der in den Sommermonaten die Kesselstarts minimiert, trägt nicht nur zur Schonung der Umwelt, sondern auch zu einem wirtschaftlichen Betrieb der Anlage bei.

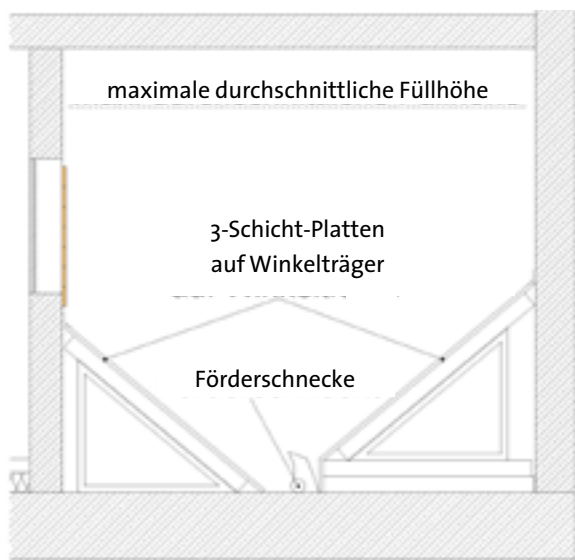


Abb. 16: **Schnitt Pelletslagerraum**

Durch die Schrägböden fließen die Pellets in die Mitte zur Austragschnecke.

2.3.4. Pelletslager

Die Pellets werden unterhalb des Kesselraums, im zweiten Untergeschoss, gelagert und gelangen über ein speziell ausgelegtes Saugsystem mit Staubzyklonabscheider zum Kessel. Dort wird ein Tagesbehälter je nach Bedarf automatisch gefüllt, woraus die Pellets dann über eine Zellradschleuse und eine darunter liegende Stokerschnecke in die Brennkammer des Kessels gefördert werden. Der Lagerraum besitzt eine Grundfläche von rund 22 Quadratmeter und eine Höhe von 2,90 Meter. Nach Abzug des Volumens von circa 20 Kubikmeter, das durch die Schrägböden verursacht wird (siehe Abb. 16), ergibt sich ein nutzbares Raumvolumen von circa 44 Kubikmeter. Dies entspricht einem Pelletsgewicht von etwa 28 Tonnen (eine LKW-Ladung: 26 Tonnen). In loser Form werden die Holzpellets per Silopumpwagen transportiert und über ein Schlauchsystem in den Vorratsraum eingeblasen. Bisher wurde das Lager einmal pro Jahr durchschnittlich mit 18 Tonnen Pellets befüllt.

2.3.5. Reinigung, Wartung und Asche

Die regelmäßige Wartung der Anlage gewährleistet einen störungsfreien, energiesparenden und umweltschonenden Heizbetrieb. Daher muss die Kesselanlage (unter anderem Abgasgebläse, Abgaskammer, Brennkammer mit Rost und Wärmetauscher) in vorgegebenen zeitlichen Abständen gründlich gereinigt werden. Ein

Heizungsfachbetrieb (Anlagenerrichter) wurde mit der Vollwartung beauftragt. Die Aschemenge entspricht etwa 0,4 Volumenprozent des Brennstoffverbrauchs. Der Füllstand der Aschebox wird durch die zuständige Hausverwaltung einmal wöchentlich geprüft und gegebenenfalls geleert.

2.3.6. Technik und Datenübertragung

Um die Leistung der Holzpelletanlage regelmäßig zu bewerten, sind Energiezähler für den Wärmeertrag installiert. Außerdem werden über die übergeordnete Gebäude-Regelanlage die Temperaturen des Wärmeerzeugers und des Pufferspeichers aufgezeichnet. Die Aufschaltung

der Anlage auf die Gebäudeleittechnik (GLT) ermöglicht durch Trendaufzeichnung eine zeitnahe Kontrolle der Funktion und Effizienz der Anlagenkomponenten und der Feuerungsanlage. Die Versorgung mit Warmwasser erfolgt über ein Frischwassermodul. Der Verbrauch wird über Wärmemengenzähler erfasst.

2.3.7. Fazit

Ziel war es, die Grundschule Hohes Kreuz CO₂-neutral, zukunftsorientiert und kostengünstig mit Heizenergie zu versorgen. Eine wichtige Rolle bei der Entscheidung zur Pelletheizung spielten die örtlichen und baulichen Gegebenheiten (Pelletlager), um eine störungsfreie Anlieferung der Pellets mit einem Silopumpenwagen auch während des Schulbetriebs zu ermöglichen.

Die Wartungskosten und der Platzbedarf sind zwar bei der umweltfreundlichen Pelletheizung gegenüber einem Gasbrennwertkessel höher, dafür liegen die Brennstoffkosten deutlich unter denen für fossile Brennstoffe. Während die Preise für Öl und Gas immer mehr ansteigen, sind die Preise für Pellets im Laufe der Jahre relativ stabil geblieben.

Wenn die zukünftigen Erfahrungen aus dieser Maßnahme zufriedenstellend sind, wird der Einsatz weiterer Pelletanlagen in städtischen Gebäuden untersucht. Eine interessante Alternative auf dem Weg zur unabhängigen, 100 Prozent erneuerbaren Energieversorgung eines Gebäudes stellt auch die kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom mittels einer Holzpellet-KWK-Anlage (Kraft-Wärme-Kopplung) dar. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage ist jedoch stark abhängig vom Strom- und Wärmebedarf der jeweiligen Liegenschaft und muss im Einzelfall geprüft werden.



Energie aus Abwasser

Gerade im historischen Altstadtbereich steht die Stadt Regensburg zum Thema „regenerative Energiequellen“ vor einer besonderen Herausforderung. Dachflächen sollen frei von störenden Aufbauten durch technische Anlagen bleiben, die Nutzung von Geothermie ist durch vorhandene Bodendenkmäler und die Gründung der eng aneinander stehenden, historischen Gebäude nahezu unmöglich und die Verwendung von Biomasse (Holzpellets oder Hackschnitzel) sollte in der Innenstadt wegen der Feinstaubemissionen vermieden werden.

Bei der Sanierung des Präsidialpalais am Bismarckplatz (Haus der Musik) und für den Neubau des Museums Haus der Bayerischen Geschichte am Donaumarkt entschied man sich deshalb für Energiegewinnung (Wärme- und Kälteversorgung) aus Abwasser. Dank einer ganzjährigen Temperatur von mindestens zwölf Grad Celsius beinhaltet das

Abwasser in den Sammelkanälen ein enormes und stabiles Energiepotenzial. Dieses Potenzial für die Erzeugung von Heiz- und Kühlenergie mittels einer Wärmepumpe ist im Vergleich zu Abwärmequellen, wie z. B. Erdwärme, Grundwasser oder Außenluft, relativ hoch. Darüber hinaus erlaubt die Wärmepumpe einen sowohl umweltfreundlichen als auch wirtschaftlichen Betrieb.

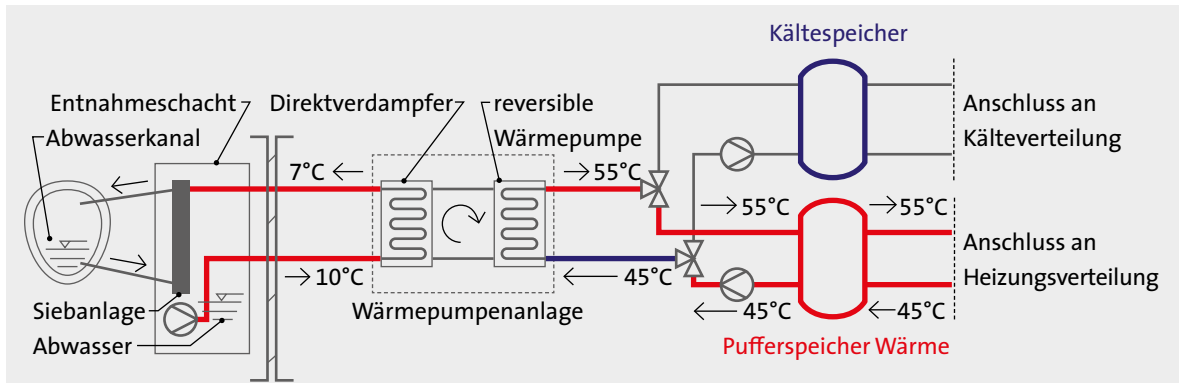
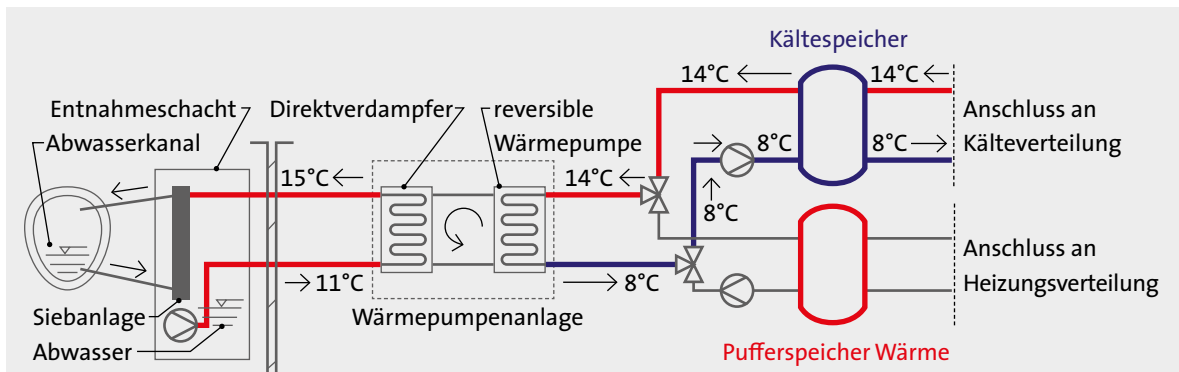
2.4.1. Haus der Musik, Bismarckplatz 1 (Sing- und Musikschule, Junges Theater Regensburg)

Bei den Planungen für die Sanierung des Präsidialpalais war der Handlungsspielraum hinsichtlich einer energetischen Optimierung begrenzt. Aus denkmalpflegerischer Sicht konnte keine Veränderung der Fassade durch das Aufbringen einer Wärmedämmschicht vorgesehen werden. Dennoch sollte das Gebäude nicht mehr Primärenergie für Heizen und Kühlen benötigen, als gut gedämmte Gebäude. Da auch eine Innendämmung ausgeschlossen wurde, suchte man nach anlagentechnischen Lösungen, um den Primärenergiebedarf zu senken.

Unter der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit musste ein technisches Gesamtkonzept entwickelt werden, das sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt. Dieses war auf die vorhandenen baulichen Gegebenheiten und den errechneten Wärme- und Kältebedarf zugeschnitten.



An den vorhandenen städtischen Abwasserkanal in der Schottenstraße wurde ein Schachtbauwerk angebaut, in dem das 12 bis 20 Grad warme Abwasser zunächst über ein Wehr fließt und gesiebt wird. Von dort aus wird es unterirdisch in die Wärme- und Kältezentrale im Keller des Gebäudes geleitet und am Ende wieder in den Kanal



(Quelle: Wolfram Stodtmeister, ECO.S, „Weltkulturerbe kann Energiewende“, „Regensburg plant und baut – Haus der Musik“, Informationsveröffentlichung der Stadt Regensburg, Februar 2015, S. 78 ff)

zurückgepumpt. Die im Abwasser enthaltene thermische Energie wird mittels Wärmetauscher ausgekoppelt. Im Heizfall wird in der Technikzentrale mithilfe der elektrisch betriebenen Wärmepumpe dem Abwasser Wärme entnommen. Anschließend wird es der Entnahmestelle gekühlt zurückgeführt. Für den Kühlfall wird die gleiche Wärmepumpe verwendet: Diesmal wird das Abwasser für die Rückkühlung genutzt und dem Kanal erwärmt wieder zugeführt.

Um die aufsteigende Feuchtigkeit in den vorhandenen Mauerwerkswänden zu verhindern und somit die Wände trocken zu halten, wurden im gesamten Erdgeschoss des Gebäudes an den Außenwänden und auch an dicken Innenwänden Heizleitungen montiert. Da der Betrieb dieser Leitungen zum Feuchteschutz auch im Sommer erforderlich ist, wurde ein kleines Blockheizkraftwerk mit einer Heizleistung von circa 13 Kilowatt und einer elektrischen Leistung von 5,5 Kilowatt eingeplant. Durch die Nutzung des Blockheizkraftwerkes auch außerhalb der Heizperiode ist eine lange Betriebszeit und damit eine hohe Wirtschaftlichkeit gewährleistet. Der erzeugte Strom wird für die Eigenversorgung des Gebäudes genutzt und der Überschuss wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Die Spitzenlast zur Wärmeversorgung des Gebäudes decken zwei gasbefeuerte Brennwertkessel mit einer Leistung von je 130 Kilowatt ab. Die Aufteilung auf zwei Wärmeerzeuger wurde zur Erhöhung der Betriebssicherheit gewählt.



Daten Wärme- und Kältezentrale

Planung	Ingenieurbüro ECO.S, Berlin/ Regensburg	
	IB Hieger + Gaßner, Regensburg	
Bau	Firma Stemmler, Regensburg	
Betrieb	Stadt Regensburg, Amt für Gebäudeservice	
Heizleistung Wärmepumpe		130 kW
Pufferspeichervolumen		6.000 l
Kühlleistung Wärmepumpe		75 kW
Pufferspeichervolumen		3.000 l
BHKW Heizleistung		13 kW
elektrische Leistung		5,5 kW
2 Gas-Brennwertkessel		je 130 kW
Inbetriebnahme		2001

2.4.2. Wärme- und Kältetechnik im Museum Haus der Bayerischen Geschichte

In einer Vereinbarung hat sich die Stadt Regensburg gegenüber dem Freistaat Bayern verpflichtet, unter anderem die Wärme- und Kälteversorgung für das Museum Haus der Bayerischen Geschichte zu übernehmen. Hierfür erstellte sie auf eigene Kosten die Technikzentrale im Keller des Museums. Sämtliche für Heizung und Kühlung notwendige Energie wird hier sowohl für das Museum und die benachbarte Bavariathek als auch den Österreicher Stadel zur Verfügung gestellt. Sie wird ausschließlich über die Wärmepumpen bzw. Kältemaschinen (Gesamtleistung bis zu 850 Kilowatt) erzeugt, die das Abwasser aus dem nahe liegenden Hauptsammler nutzen. Zu diesem Zweck wurde ebenfalls ein Schachtbauwerk an den Abwasserkanal angebaut, von dem das Abwasser zunächst unterirdisch in die Wärmetauscher gepumpt, die benötigte Energie hieraus entzogen und anschließend wieder zurück in den Kanal gepumpt wird.

Im Rahmen der Neuplanung konnten bei dieser Maßnahme, anders als beim Haus der Musik, großdimensionierte Räumlichkeiten für die Technikzentrale realisiert werden. Dadurch war es möglich, große Pufferspeicher unterzubringen (20 und 40 Kubikmeter), die eine kontinuierliche Versorgung der Gebäude mit Wärme und Kälte gewährleisten.

Im Museumsgebäude wie auch in der Bavariathek und im benachbarten Österreicher Stadel erfolgt die Wärme- und Kälteversorgung vorwiegend über die Lüftung und zu einem geringen Anteil über Bauteile und Heizkörper. Durch eine zusätzliche Wärmerückgewinnung in den Klimaanlagen wird die Energiebilanz noch verbessert. Das Museum erreicht mit der Klimatisierung aus Abwasser nicht nur den Standard eines Passivhauses, es wird auch völlig CO₂-frei gekühlt und beheizt, da die Pumpen mit hundertprozentigem Ökostrom vom Energieversorgungsunternehmen betrieben werden. Allein bei der Wärmeversorgung erspart die innovative und ausschließlich mit erneuerbarer Energie betriebene Anlage 340 Tonnen Kohlendioxid pro Jahr im Vergleich zu einer mit Erdgas betriebenen Heizung.



Daten Wärme- und Kältezentrale

Planung	Ingenieurbüro ECO.S, Berlin/ Regensburg	
Bau und Betrieb	Firma ENGIE, München	
Heizleistung (50/40°C)	780 kW	
Pufferspeichervolumen	20 000 l	
Kühlleistung (0/6°C, 6/12°C und 13/17°C)	850 kW	
Pufferspeichervolumen	40 000 l	
Inbetriebnahme	Januar 2018	

Da dieses Projekt beispielgebend für andere historische Städte ist, wurde es mit 500 000 Euro aus dem Sonderinvestitionsprogramm „Nationale UNESCO-Welterbestätten“ gefördert.



3. Klärwerk Regensburg – Energetische Betrachtung



Einleitung

Wasser gehört zu unseren wertvollsten Lebensgrundlagen. Auch wenn aufgrund der reichlichen Niederschläge in unseren Breiten kein Wassermangel besteht, so bedarf die Erhaltung sauberer Gewässer auch in Zukunft weiterer Anstrengungen.

Ein Perpetuum Mobile beim Strom?

Gerade die städtische Entwicklung setzt nicht nur eine hochwertige Wasserversorgung, sondern auch eine leistungsfähige Abwasserentsorgung und -reinigung voraus. Für die Reinigung des Abwassers und für die Behandlung des Klärschlammes ist jedoch ein erheblicher Energieaufwand notwendig. Nachdem das Thema „Regenerative Energie“ im Hinblick auf die Klimaerwärmung eine immer bedeutsamere Rolle einnimmt, sind die Planungen im Klärwerk darauf ausgerichtet, die vorhandenen Potenziale zu nutzen und zu optimieren. Am Ende des Optimierungsprozesses kann das Ziel einer energieneutralen Abwasserreinigung erreicht werden.

Das Klärwerk in Regensburg ist seit fast 40 Jahren in Betrieb, um das Abwasser der Stadt und der Anschlussgemeinden Barbing, Neutraubling, Obertraubling, Pentling, Petten-
dorf, Donaustauf, Tegernheim, dem Abwasserzweckverband Regental und einem Ortsteil der Stadt Maxhütte-Haidhof zu reinigen. Das Klärwerk wurde dabei in mehreren Ausbaublocken seit der Inbetriebnahme im Jahr 1979 ständig erweitert. Zudem wurde die Reinigungsleistung für das Abwasser und deren Inhaltstoffe deutlich gesteigert.

Im Klärwerk Regensburg – mit einer Ausbaugröße von 400 000 EW (Einwohnerwert) – wird derzeit das Abwasser von circa 270 000 Einwohnern gereinigt. Dabei liegt der

Schwerpunkt bei der bestmöglichen Entfernung der Abwasserinhaltsstoffe, um die Donau vor dem Eintrag von großen Nährstofffrachten zu schützen. Für die energieintensiven Reinigungsprozesse des Abwassers und der Schlammbehandlungsanlagen wird derzeit eine jährliche Strommenge von etwa elf Millionen Kilowattstunden benötigt. Damit ist das Klärwerk mit Abstand der größte Stromverbraucher unter den städtischen Anlagen. Das neue Rathaus mit dem Bürgerverwaltungszentrum liegt mit einem Verbrauch von 1,3 Millionen Kilowattstunden pro Jahr an zweiter Stelle.

Möglichkeiten bei Erneuerungsmaßnahmen zur Energieeinsparung

Bei dem Betrieb des Klärwerks sind primär die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen an die Qualität der Abwasserreinigung und die Entsorgung von Reststoffen wie Rechengut, Sandfanggut und entwässertem Klärschlamm sicherzustellen. Im Rahmen von verfahrenstechnischen Optimierungen bei der Abwasserreinigung und bei der Schlammbehandlung gewann der Aspekt des Energieeinsatzes über die Jahre hinweg immer mehr an Bedeutung. Er wurde konsequent weiterverfolgt und bei den Erneuerungsmaßnahmen berücksichtigt.



BHKW-Modul im Klärwerk mit einer elektrischen Leistung von 635 Kilowatt

3.2.

Maßnahmen zur Energieoptimierung

Der größte Anteil am Strombedarf für das Klärwerk wird durch die biologische Reinigungsstufe verursacht. Für die Erzeugung der Druckluft, die für die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen notwendig ist, müssen etwa 50 Prozent des gesamten Strombedarfs aufgewendet werden.

Zur Deckung des enormen Strombedarfs wird im Klärwerk das erzeugte Methangas als wertvoller Brennstoff seit Betriebsbeginn eingesetzt. Dieses wird aus dem Klärschlamm in den Faulbehältern gewonnen.

Das Methangas wird in drei vorhandenen Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Gewinnung von elektrischer Energie und Abwärme eingesetzt. Dabei konnten über Jahre hinweg etwa 50 bis 60 Prozent des eigenen Strombedarfs am Klärwerk gedeckt werden. Die anfallende Wärmeenergie wurde zur Beheizung der Faulbehälter und zur Gebäudeheizung für das Klärwerk und für den Kanalunterhalt verwendet. Die überschüssige Wärmeenergie konnte nicht genutzt werden und wurde über die Abgaskamine abgeleitet.

Mit der Erneuerung der BHKW-Anlage in den Jahren 1993 und 1994 konnte, durch die neue Motorentchnik und den höheren Wir-

kungsgrad bei der Stromerzeugung, die Eigenstromerzeugung auf circa 65 Prozent gesteigert werden.

Energiestudie 2009 zeigt weitere Einsparpotenziale

Ab dem Jahr 2009 wurden Überlegungen angestellt, den Energieeinsatz weiter zu optimieren. Dabei wurde die gesamte Anlagentechnik hinsichtlich eventueller Einsparpotenziale im Rahmen einer Energiestudie untersucht. Daraus wurden verschiedene Maßnahmen umgesetzt, beispielsweise der Einsatz von stromeffizienten Antrieben oder Verfahrensoptimierungen bei den Hebewerken, um den Strombedarf zu reduzieren. Nachdem die Anlage schon nahe am Optimum betrieben wurde, konnte mit den Maßnahmen nur eine

Einsparung von wenigen Prozentpunkten erreicht werden. In der Energiestudie wurde bereits darauf hingewiesen, dass durch eine neue Motorentchnik bei der BHKW-Anlage mit einem deutlich besseren Wirkungsgrad der Wert der Stromerzeugung von 33 Prozent auf 40 Prozent erhöht werden kann. In den Jahren 2012 und 2013 wurde eine neue BHKW-Anlage installiert. Mit der neuen Technik konnte die Eigenstromerzeugung auf nun rund 70 Prozent gesteigert werden.

Damit wurde auf der Grundlage der physikalischen Gesetze und des Energiegehalts der Abwasserinhaltsstoffe das Optimum erreicht. Eine weitergehende Steigerung der Energieproduktion nur auf diesem Wege ist nach derzeitigem Stand der Technik nicht mehr möglich.

Der Weg bis zum energieneutralen Klärwerk

Im Jahr 2015 wurden in einer Versuchsphase aus einem Milchverarbeitungsbetrieb fett-haltige Schlämme aus der Produktion als sogenannte Co-Substrate übernommen und

der Schlammbehandlungsanlage am Klärwerk zugeführt. Durch die hohe Konzentration an leicht abbaubaren Stoffen konnte dadurch eine deutliche Erhöhung der Methangasproduktion erreicht werden. Nach der erfolgreichen Testphase wurden ab dem Jahr 2016 die Co-Substrate regelmäßig angeliefert und in der Schlammfäulung verwertet. Mit der Zunahme der Methangasproduktion konnten die Einsatzzeiten des BHKW entsprechend gesteigert werden. Außerdem konnte die Eigenstromerzeugung bis zum Jahreswechsel 2016/2017 auf circa 90 Prozent erhöht werden.

Da in dem Zeitraum von 2015 bis einschließlich 2017 die Sanierung der Faulbehälter durchgeführt wurde, standen für die Erzeugung des Methangases nur zwei Behälter zur Verfügung. Nach Abschluss der Sanierungsmaßnahme im November 2017 konnte die Gasproduktion mit dem Betrieb von drei Faulbehältern ab dem Jahr 2018 nochmals erhöht werden. Damit wurde wieder eine Maßnahme mit dem Ziel eines energieneutralen Betriebs erfolgreich abgeschlossen.



Klärwerk,
Nachklärbecken

Der Energiebedarf des Klärwerks Regensburg im bundesweiten Vergleich

Die Betrachtung des Energiebedarfs von Kläranlagen hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. So hat auch die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) im Jahr 2015 das Arbeitsblatt 216 zur energetischen Betrachtung von Kläranlagen herausgegeben.

Anhand des DWA-Arbeitsblattes 216 lassen sich Kläranlagen hinsichtlich des durchschnittlichen, einwohnerspezifischen Energiebedarfs in Kilowattstunden pro Einwohnerwert und Jahr (kWh/EW-a) bundesweit vergleichen und einordnen. Für das Klärwerk Regensburg ist ein täglicher Strombedarf von etwa 30 000 Kilowattstunden

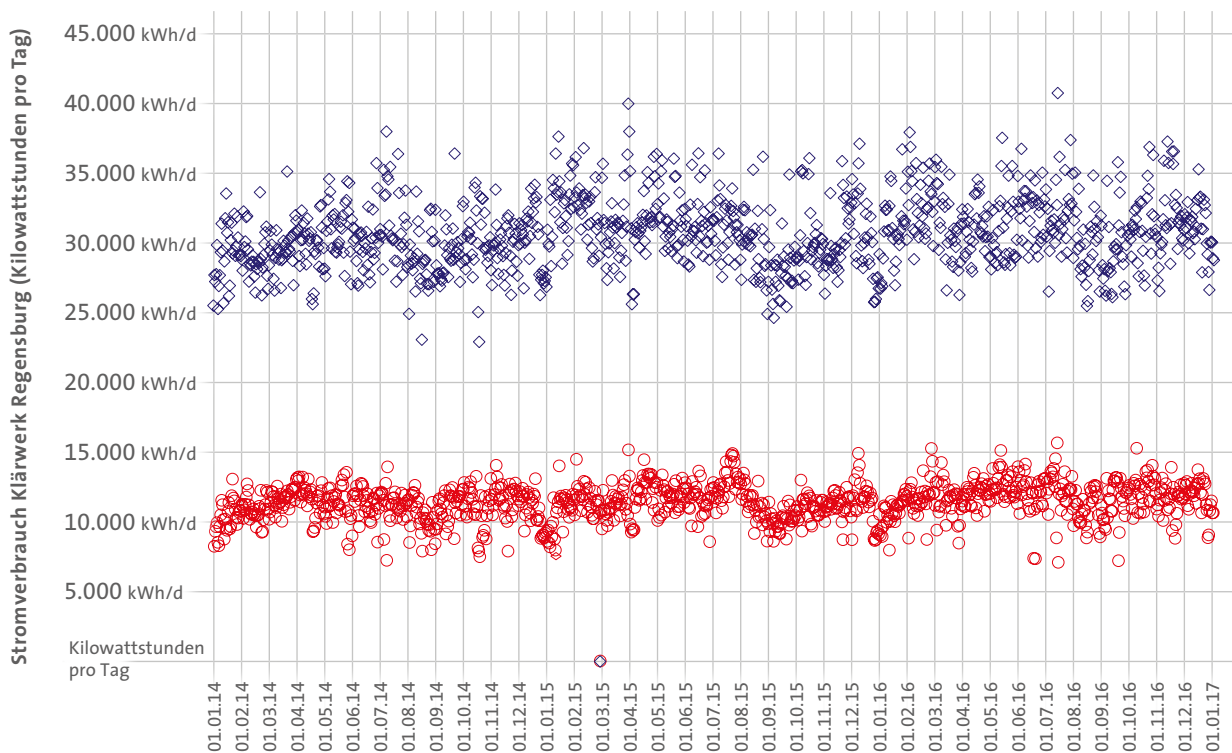
erforderlich. Damit ergibt sich ein jährlicher Strombedarf von circa 11 000 000 Kilowattstunden. Der größte Stromverbrauch entsteht bei der Druckluftherzeugung für die biologische Reinigungsstufe. Dieser Stromverbrauch liegt im Mittel bei rund 11 000 Kilowattstunden pro Tag beziehungsweise rund 4 000 000 Kilowattstunden pro Jahr.

Abb. 17:

Stromverbrauch des Klärwerks Regensburg

◇ Stromverbrauch Gesamtanlage

○ Stromverbrauch Gebläse



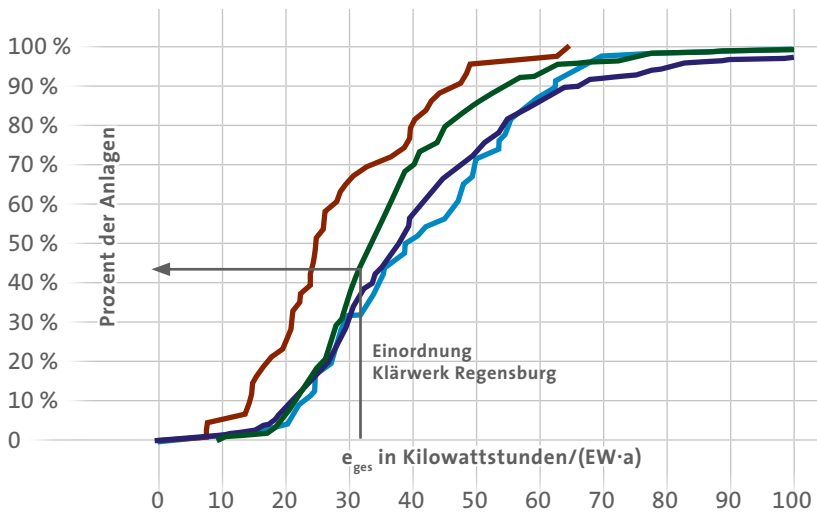


Abb. 18:

Einwohnerspezifischer Gesamtstromverbrauch (nach DWA A-216)

(Nur Anlagen der Größenklassen 3, 4 und 5)

- Tropfkörperanlagen
- Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb
- Belebungsanlage mit aerober Schlammstabilisierung
- Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung

Nur ein Fünftel aller Kläranlagen in Deutschland sind bei der Belüftung energetisch günstiger als Regensburg.

Zur Ermittlung des einwohnerspezifischen Stromverbrauchs wird der mittlere Einwohnerwert (EW) auf Basis der Fracht für den Chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) angesetzt. Der Chemische Sauerstoffbedarf ist eine Maßeinheit, mit der die organische Abwasserbelastung definiert wird.

Diese lag in den Jahren 2014 bis 2016 bei durchschnittlich 335 350 EW. Somit ergibt sich ein einwohnerspezifischer Wert (e_{ges}) von 32,8 Kilowattstunden pro Einwohnerwert und Jahr (kWh/EW·a) für die Gesamtanlage.

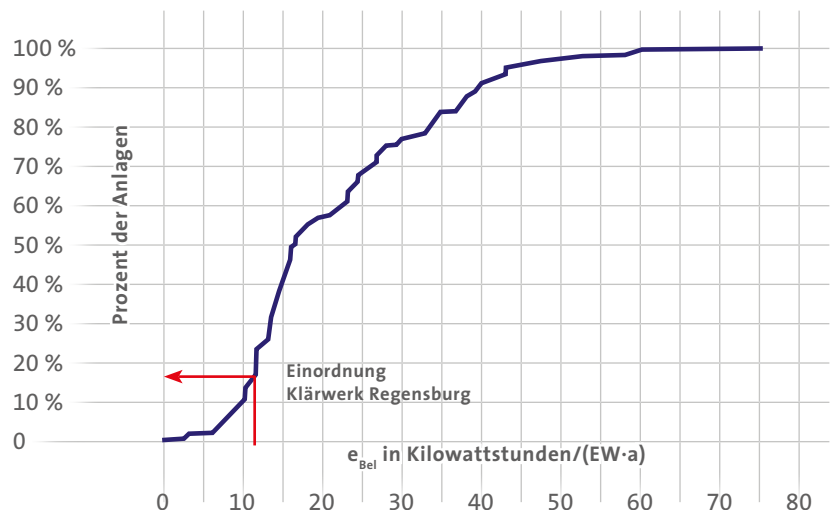
Für die Belüftung der biologischen Reinigungsstufe ergibt sich ein einwohnerspezifischer Strombedarf (e_{Bel}) von 11,9 Kilowattstunden pro Einwohnerwert und Jahr (kWh/EW·a).

Diese Werte können in einem bundesweiten Vergleich herangezogen werden. Dabei ist Folgendes festzustellen:

- Mit einem Stromverbrauch von $e_{ges} = 32,9 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$ für das gesamte Klärwerk liegt Regensburg im bundesweiten Vergleich in der unteren Hälfte aller betrachteter Kläranlagen. (Abb. 18)
- Hinsichtlich des einwohnerspezifischen Stromverbrauchs ($e_{Bel} = 11,9 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$) für die Belüftung der biologischen Stufe sind nur etwa 20 Prozent aller vergleichbaren Kläranlagen in Deutschland energetisch günstiger einzustufen. (Abb. 19)

Abb. 19:

Einwohnerspezifischer Stromverbrauch des Klärwerks Regensburg für die Belüftung (nach DWA A-216) im Vergleich mit 111 Kläranlagen



Künftige Maßnahmen zur Energieoptimierung

Bei den weiteren Planungen zur Optimierung der Verfahrenstechnik wird auch das Thema „Energie“ eine wesentliche Rolle spielen.

Um das Ziel einer „Eigenversorgung zu 100 Prozent“ zu erreichen, bestehen noch einige Optimierungsmöglichkeiten. Dabei sollen folgende Maßnahmen zur Reduzierung des Strombedarfs bzw. zur Erhöhung der Gasproduktion umgesetzt werden:

- Einbau von Gasdruckerhöhungsgebläsen für die Versorgung der BHKW-Anlage aus dem Niederdruckgassystem: Dadurch kann auf das energieaufwändige Verdichten des Methangases und auf die Speicherung in den Hochdruckgasbehältern verzichtet werden.
- Erneuerung der Druckluftverdichter, der Druckluftverteilung und der Belüftungstechnik in der biologischen Reinigungsstufe: Mit dieser Maßnahme könnte der Strombedarf um bis zu 10 Prozent reduziert werden.
- Installation eines neuen Regelungskonzeptes für die Stickstoffelimination zur Reduzierung und Optimierung des Sauerstoffeintrages in der biologischen Reinigungsstufe.
- Erhöhung der Methangasproduktion mit Abschluss der Sanierung der Faulbehälter durch die Verlängerung der Aufenthaltszeiten und des besseren Abbaus der organischen Substanzen.

Nach Umsetzung aller geplanten Maßnahmen könnte das Ziel einer Eigenstromversorgung zu 100 Prozent voraussichtlich ab dem Jahr 2020 erreicht werden.

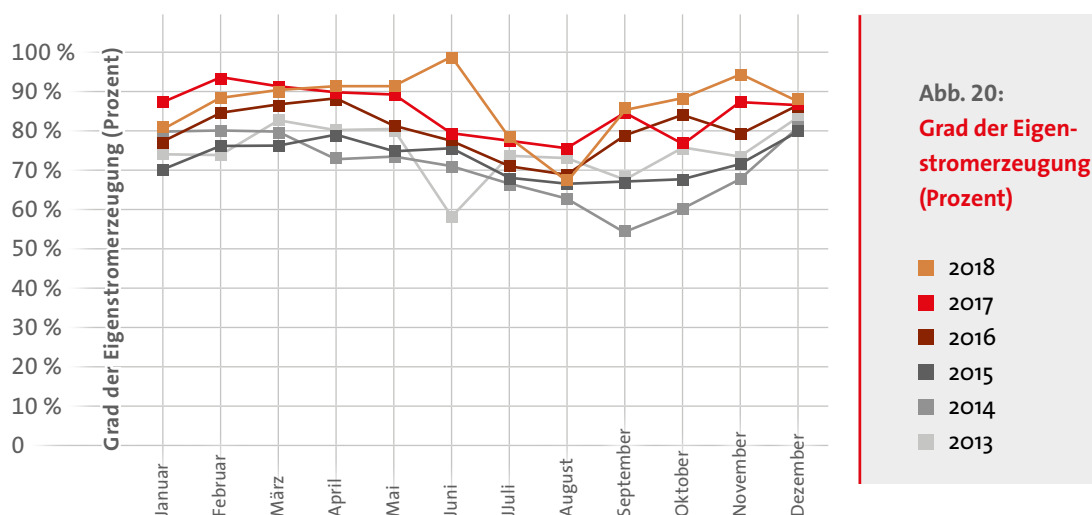


Abb. 20:
Grad der Eigenstromerzeugung (Prozent)

■ 2018
■ 2017
■ 2016
■ 2015
■ 2014
■ 2013



Klärwerk,
Gasspeicherung

Fazit

Das Perpetuum Mobile bei der Stromerzeugung ist bei der Abwasserreinigung mit dem im Abwasser enthaltenen Energiegehalt physikalisch nicht möglich. Mit dem Einsatz von zusätzlichen Stoffen wie zum Beispiel fetthaltigen Schlämmen aus der Milchindustrie kann die Gasproduktion jedoch deutlich gesteigert werden. In Kombination mit den Optimierungsmaßnahmen zur Reduzierung des Strombedarfs in der biologischen Reinigungsstufe kann das Ziel eines „energieneutralen Klärwerks“ erreicht werden.



4.

LED-Straßenbeleuchtung

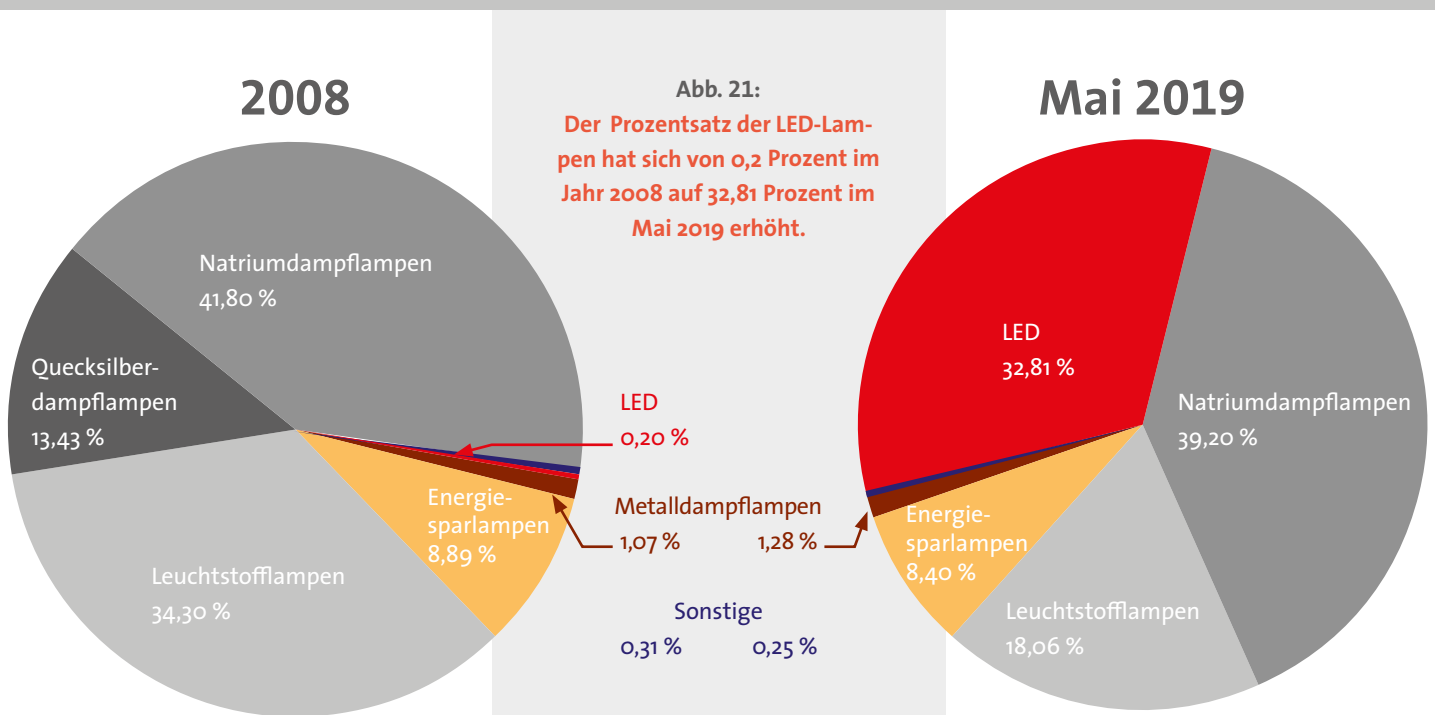


Die richtige Straßenbeleuchtung (im Bild die Ratisbona-Altstadtleuchten) wirkt sich ganz erheblich auf das nächtliche Erleben einer Stadt aus – besonders in einer historischen Altstadt wie Regensburg.

Zwischenbilanz: Das LED-Sanierungskonzept geht auf

Geringer Stromverbrauch, höhere Lebensdauer, verbesserte CO₂-Bilanz und die Vermeidung von Lichtverschmutzung – diese vier Ziele bilden die Grundlage der städtischen Initiative zur energetischen Sanierung der Straßenbeleuchtung mit Hilfe von LED-Technik. Sie startete 2009, und seitdem hat sich die Zahl der LED-Lampen in der Stadt auf 6 205 Stück erhöht. Während 2008 lediglich 0,2 Prozent aller Leuchten auf LED-Basis funktionierten, waren es im Mai 2019 bereits 32,81 Prozent.

Pionierarbeit, die über die Stadt hinausstrahlt



Bis 2021 sollen weitere rund 3 000 LED-Lampen eingebaut werden. Der Stadtlichtplan zielt insgesamt auf zwei Bereiche ab:

- den sukzessiven Umbau veralteter Beleuchtungstechnologie im Bestand und
- den Einsatz energieeffizienter LED-Technik bei sämtlichen Ausbauprojekten.

Die Geschichte der Straßenbeleuchtung in Regensburg

Obwohl schon für das Jahr 1860 im Stadtteil Reinhausen die erste elektrische Straßenbeleuchtung erwähnt wird, ist die Geschichte der elektrifizierten Beleuchtung in der Stadt verhältnismäßig jung.

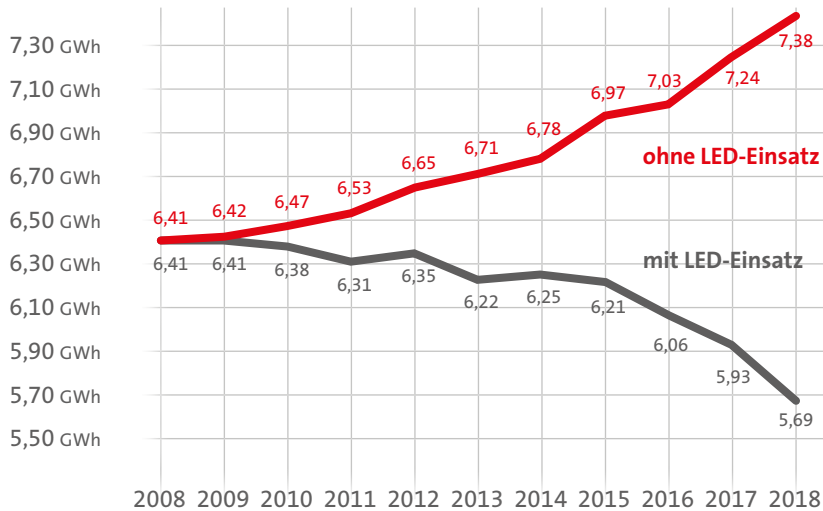


Abb. 22:

Gesamtjahresstromverbrauch reduziert

Dank LED-Umrüstung konnte der Gesamtjahresstromverbrauch 2018 auf 5,69 Millionen Kilowattstunden reduziert werden. Dabei hat sich die Anzahl der Lampen aufgrund des Straßenausbaus jährlich erhöht. Ohne LED-Einsatz wäre der Stromverbrauch auf 7,38 Millionen Kilowattstunden angestiegen.

Gaslampen wurden im öffentlichen Raum ab Ende des 19. Jahrhunderts eingesetzt und blieben bis in die 1970er-Jahre klassisches Leuchtmittel. Erst ab dieser Zeit wurde die Gasbeleuchtung großflächig durch elektrische Beleuchtung ersetzt. Damals kamen Leuchtstoff- und Quecksilberdampflampen zum Einsatz. Die 1980er-Jahre brachten mit den Natriumdampfhochdrucklampen einen technologischen Entwicklungssprung. 2009 – vor Einführung der LED-Technik – wurden die 16 822 Lampen der Stadt auf 390



Abb. 23: Umrüsten einer Altstadtleuchte auf LED mit einem OSRAM Retrofit



Abb. 24: Quecksilberdampflampe

beleuchteten Straßenkilometern mit einem Mix aus Natriumdampflampen, Leuchtstofflampen, Quecksilberdampflampen, Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) und Metalldampflampen betrieben. Der Gesamtstromverbrauch lag bei jährlich 6 412 435 Kilowattstunden. Stand Mai 2019 wurden 18 912 Lampen auf 419 Straßenkilometern betrieben. Der jährliche Stromverbrauch 2018 lag nur noch bei 5 694 385 Kilowattstunden. (Abb. 22) Dabei hat die LED-Technik die Quecksilberdampfhochdrucklampe, die inzwischen EU-weit vom Markt genommen wurde, vollständig ersetzt.

Was ist LED?

Die „light-emitting diode“ ist ein lichtemittierendes Halbleiter-Bauteil. Fließt durch die Diode Strom, strahlt sie Licht ab.

Die Anfang der 1960er-Jahre erfundene LED wurde in den ersten drei Jahrzehnten nur als Leuchtanzeige und zur Signalübertragung genutzt. Die permanente Verbesserung der Lichtausbeute von 0,1 Lumen pro Watt in den Anfangsjahren auf über 300 Lumen pro Watt heute (Tendenz steigend) führte ab den 1990er-Jahren zum Einsatz als Leuchtmittel im Alltagsgebrauch.

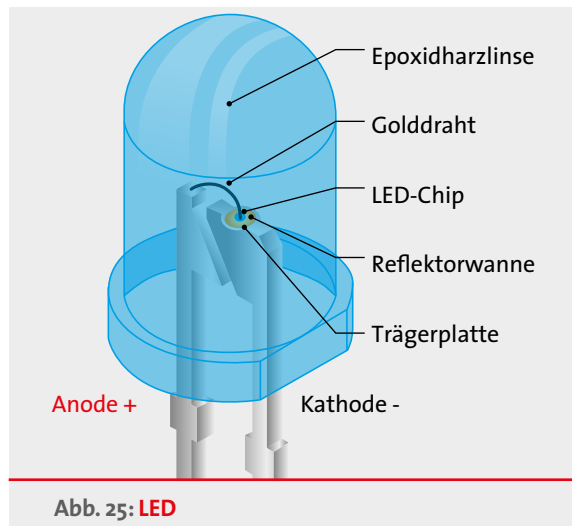


Abb. 25: LED

„Lichtjahr 2008“ – zwei Impulse für eine energieeffiziente Zukunft

Zwei Ereignisse läuteten eine Wende in der Beleuchtungshistorie der Stadt ein:

Zum einen beschloss der Stadtrat im Oktober 2008 den „Stadtlichtplan Regensburg“. Er ist eine Entscheidungs- und Planungsgrundlage für die Umsetzung künftiger Beleuchtungskonzepte.

Zum anderen lobte im Juli 2008 das Bundesumweltministerium zusammen mit der KfW-Bankengruppe und dem Umweltbundesamt den Wettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ für die Umsetzung künftiger Beleuchtungskonzepte aus. Die Stadt entschloss sich, als Wettbewerbsbeitrag in Zusammenarbeit mit der in der LED-Technik marktführenden Firma OSRAM Opto Semiconductors Regensburg ein Pilotprojekt mit Ratisbona-Altstadtleuchten (Abb. 23 und 24) aufzulegen. Es sollte klären, ob eine Umrüstung der Leuchten

in der historischen Altstadt auf LED-Technik im Rahmen des Stadtlichtplanes nicht nur energieeffizient, sondern auch praxistauglich und vor allem altstadtgerecht möglich wäre. Dabei sollte ein neuer LED-Lampenprototyp insgesamt 250 verbrauchsinensitive Quecksilberdampf Lampen ersetzen und den Energiebedarf sowie die CO₂-Emission um mehr als die Hälfte reduzieren.

Regensburg erhielt für diesen Wettbewerbsbeitrag den ersten Preis in der Kategorie „Sanierung in Großstädten mit 100 000 bis 500 000 Einwohnern“. Dieser Preis sicherte der Stadt Fördermittel im Rahmen der Klimaschutzinitiative der Bundesregierung aus dem Umweltinnovationsprogramm für die Umsetzung des Lichtkonzepts in der Altstadt.

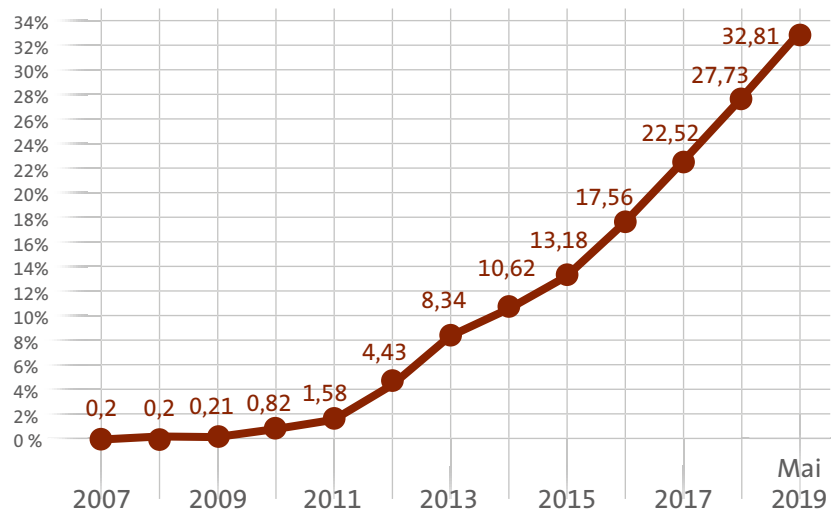
Kampagne für Kampagne zum sauberen Lichtkonzept

Das erfolgreiche Pilotprojekt mündete 2009 in die städtische Initiative „Energieeffizienz durch LED-Technik in der Straßenbeleuchtung“. Seit 2009 werden als wichtigste Maßnahme alle Straßenbeleuchtungsanlagen – ob bei einem Straßenneubau oder einer Sanierung – in LED-Technik ausgeführt.

Abb. 26:

Anteil an LED-Lampen in Prozent

Seit 2009 steigt der Anteil der LED-Lampen am gesamten Beleuchtungskonzept der Stadt kontinuierlich an. Bis 2023 werden voraussichtlich mehr als 60 Prozent aller Straßenleuchten in LED-Technik betrieben.



Von 2009 bis 2017 wurden in einer Kampagne circa 2 100 energieineffiziente und durch Schadstoffe belastete Quecksilberdampflampen, die in etwa 12 Prozent aller städtischen Leuchten verbaut waren, durch LED-Leuchtmittel ersetzt. Dabei wurde durch drei Einzelförderanträge die maximale Bezuschussung durch das Bundesumweltamt erreicht. In einer zweiten Kampagne werden bis 2021 rund 3 000 verbrauchsintensive Leuchtstofflampen durch LED-Technik ersetzt. Dies entspricht etwa einem weiteren Sechstel der Gesamtbeleuchtung der Stadt. Mit einer durchschnittlichen jährlichen Umrüs-

tungsquote von vier Prozent seit 2009 werden bis 2023 voraussichtlich mehr als 60 Prozent aller Straßenbeleuchtungen in Regensburg mit LED-Technik ausgerüstet sein. Die restlichen 40 Prozent der Straßenbeleuchtung werden dann aus relativ energieeffizienten Natriumdampflampen und Energiesparlampen bestehen. Diese heute schon durch LED-Technik abzulösen, beinhaltet nur wenig weiteres Einsparpotenzial. Da die Weiterentwicklung der LED-Technik ein permanenter, schnelllebiger Prozess ist, wird der Austausch der Natriumdampflampen in den nächsten Jahren aber durchaus erfolgen können.

Sukzessive Umstellung statt Totalumrüstung in kurzer Zeit

Gerade die hohe Entwicklungsgeschwindigkeit in der Beleuchtungstechnologie mahnt die Stadt zu umsichtiger Umstellung in mehreren Phasen.



Abb. 27: **Verschiedene Lampentypen jeweils alt und neu**

Links: Siemens Kofferleuchte, daneben Thorn Christian
Oben: Siemens Ansatzleuchte, daneben Schreder TECEO

- Eine sofortige Umrüstung aller Leuchten würde die Stadt von einem Hersteller und vom Technologiestandard des Umstellungsjahres abhängig machen. Die LED-Technik wird permanent in Sachen Lichtausbeute und Stromverbrauch weiterentwickelt. Die sukzessive Umstellung erlaubt die Nutzung des immer neuesten Technologiestandes.
- Die zeitgleiche Umrüstung aller Lampen würde nach Erreichen der Lebensdauer eine hohe Reinvestitionssumme bedeuten. Die Umrüstungs- und Erneuerungskosten auf einen längeren Zeitraum zu verteilen, erfüllt die Grundsätze nachhaltigen Wirtschaftens.
- Der LED-Markt zeichnet sich herstellerseitig durch schnelllebige Entwicklung und häufige Herstellerwechsel aus. Durch den sukzessiven Ausbau beschränken sich mögliche Qualitäts- oder Nachschubprobleme mit einzelnen LED-Generationen auf handhabbare Teilbereiche, ohne das Gesamtbeleuchtungskonzept der Stadt zu gefährden.
- Die schrittweise Umstellung in Leuchtfamilien kommt den personellen Kapazitäten der Abteilung Straßenbeleuchtung entgegen.



Was sagen die Bürgerinnen und Bürger zu ihrer Stadt im neuen Licht?

Die Beleuchtung einer Stadt hat nicht nur Energieaspekte, sondern beeinflusst das Lebensgefühl der Menschen. Deshalb wurde bereits frühzeitig in einer Befragung eruiert, wie die Regensburgerinnen und Regensburger zum Einsatz der LED-Technik in ihrer Stadt stehen.

Bei dieser Meinungsumfrage Ende 2009 sprachen sich 90 Prozent der Befragten aufgrund der Energieeffizienz und CO₂-Reduzierung, aber auch wegen der lichttechnischen Vorteile für die Umsetzung des Projektes „Sanierung der Altstadtbeleuchtung“ aus. Ein wesentlicher Vorteil sei die Vermeidung von Lichtverschmutzung. Das bedeutet: Stadtbeleuchtung soll die Verkehrswege, Plätze, Radwege und Gehwege ausleuchten, aber möglichst das Licht an den Fassaden reduzieren und nicht in Wohnungen blenden oder unnötig den Stadthimmel erhellen. Die LED-Technik kann sowohl punktuell als auch mit steuerbarer Streuung eingesetzt werden.

Erhebliche Stromeinsparungen

Dass Regensburg den Weg zur zukunftsfähigen Stadtbeleuchtung schon vor zehn Jahren eingeläutet hat, stellt sich heute als Pionierarbeit heraus, die sich andere Städte gerade bei der Beleuchtung historischer Stadtbereiche zum Vorbild nehmen können.

Wie jüngste Initiativen zum LED-Ausbau in Gemeinden der Region zeigen, dürfte diese Pionierarbeit bereits den einen oder anderen Impuls gesetzt haben. Die Regensburger Zahlen zur Energieeinsparung unterstreichen jedenfalls augenfällig, dass sich der Umbau auf LED-Technik für die Umwelt und den städtischen Haushalt gleichermaßen lohnt. Hätte man 2009 nicht mit dem neuen LED-Konzept begonnen, sondern auf die damals bestehende Technik gesetzt, wäre der Stromjahresverbrauch alleine durch den Straßenausbau von damals 6,41 Millionen Kilowattstunden bis 2018 auf 7,38 Millionen Kilowattstunden gestiegen. Durch die LED-Initiative wurden 2018 zahlenmäßig weit mehr Leuchten als 2009 mit nur

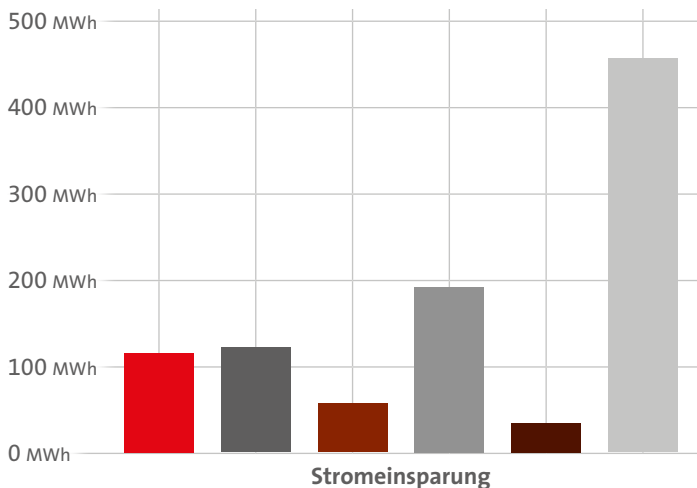


Abb. 28: Stromeinsparung bei den einzelnen Leuchtentypen (Umrüstung) – alleine die TECEO-Leuchten sparen mit LED-Technik jährlich 455,4 Megawattstunden Strom ein.

■ Ratsbonaleuchten	■ Castorleuchten
■ Pilzleuchten	■ BEGA-Leuchten
■ Thornleuchten	■ TECEO

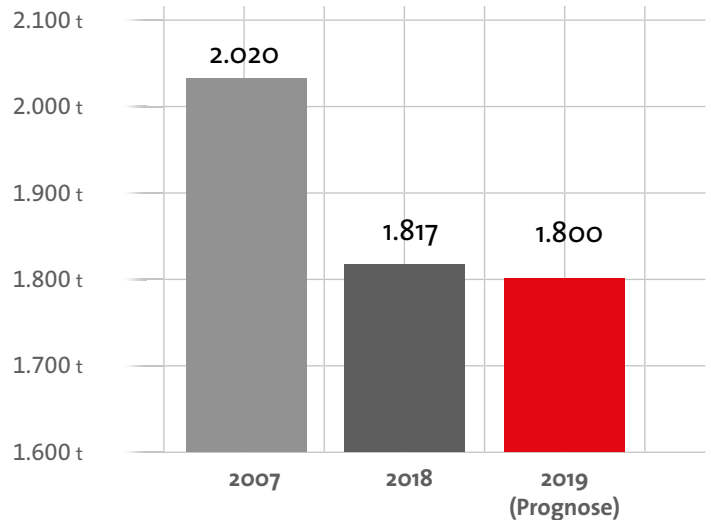


Abb. 29: Berechneter CO₂-Gesamtausstoß (Umrüstung und Neuanlagen) auf Basis des Referenzwertes von 319 g/Kilowattstunden.

noch 5,69 Millionen Kilowattstunden Strom betrieben. Der Lampentyp mit dem höchsten Einspareffekt war die TECEO-Leuchte. Durch die Umrüstung auf LED können dadurch pro Jahr 455,4 Megawattstunden an elektrischer Energie eingespart werden. (Abb. 28)

Die Stadt Regensburg bezieht seit 2014 vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) klimaneutralen Strom aus 100 Prozent erneuerbaren Energiequellen. Um dennoch die durch die Umrüstung und Neuanlagen eingesparten CO₂-Emissionen im Vergleich zum Jahr 2007 aufzuzeigen, wurde als Referenzwert der CO₂-Ausstoß des Nicht-Ökostroms des EVU von aktuell 319 Gramm pro Kilowattstunde für die Berechnung herangezogen. Insgesamt wäre also beim Bezug von Nicht-Ökostrom eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes der Regensburger Stadtbeleuchtung – dank der LED-Initiative – von 2 020 Tonnen in 2007 auf voraussichtlich 1 800 Tonnen in 2019 zu verbuchen (Prognose von Mai 2019). (Abb. 29)





Impressum

- Herausgeber:** © Stadt Regensburg – Planungs- und Baureferat
Amt für Gebäudeservice, D.-Martin-Luther-Straße 1, 93047 Regensburg
- Redaktion:** Christina Stieräugl-Rimböck (Amt für Gebäudeservice)
- Produktion:** faust | omonsky KG kommunikation, Ohmstraße 1, 93055 Regensburg
- Gestaltung:** Sebastian Franz, Dipl.-Designer (FH)
- Autoren:** Amt für Gebäudeservice: Christina Stieräugl-Rimböck, Markus Dafner (Statistik)
Tiefbauamt: Robert Lorenz (Bericht ab Seite 32), Franz Wimmer (Bericht ab Seite 40)
- Bilder:** Bilddokumentation Stadt Regensburg: Peter Ferstl, Stefan Effenhauser
Seite 20/21, 26: 123rf.com/jirkaejc
- Druck:** Erhardi Druck GmbH, Leibnizstraße 11, 93055 Regensburg
Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier Vivus 89,
Blauer Engel und EU Ecolabel zertifiziert
- Auflage:** 500 Exemplare

Regensburg, Oktober 2019





15:10
 1.8 °C
 10628
 3294
 25.4 °C

Regensburg plant & baut
www.regensburg.de