

Energiemanagement beim Stadtentwässerungsbetrieb Paderborn

Der Stadtentwässerungsbetrieb Paderborn (STEB) ist für die Abwasserbeseitigung auf dem Gebiet der Stadt Paderborn (rd. 156.000 Einwohner) zuständig. Für diese Aufgaben betreibt der STEB ein etwa 1.040 km langes Kanalnetz mit 140 Sonderbauwerken, darunter 28 Pumpwerke und die zentrale Kläranlage im Ortsteil Sande. Innerhalb des Konzerns „Stadtverwaltung Paderborn“ ist der STEB mit rd. 11,5 GWh/a (rd. 7 GWh Strom und 4,5 GWh Wärme) einer der größten Energieverbraucher.

Vorhandene Energieerzeugungsanlagen

Aufgrund des hohen Energiebedarfs und der prozessbedingten Produktion von Klärgas auf der Kläranlage erzeugt der STEB bereits seit Anfang der 1980er Jahre über die betriebseigenen Blockheizkraftwerke (BHKW) Strom und Wärme für den Eigenverbrauch. Derzeit sind drei BHKW's mit einer Leistung von je 360 kW_{el} im Einsatz. Neben der Erzeugung von Strom wird über die BHKW's der gesamte Wärmebedarf für den Betrieb der Kläranlage sowie für die Beheizung der Gebäude erzeugt. Zusätzlich wird in den Sommermonaten mittels einer Adsorptions-Kältemaschine die Wärme der BHKW's in Kälte umgewandelt, die wiederum für die Klimatisierung verschiedener Anlagenteile sowie für die Büros genutzt wird.

2014 wurde eine weitere Energieerzeugungsanlage auf dem Gelände der Kläranlage errichtet. Nach einigen Herausforderungen während des Planungs- und Genehmigungsprozesses konnte im Dezember 2014 eine Windenergieanlage (WEA) in Betrieb genommen werden. Die WEA vom Typ Enercon E82 - E2 mit einem Nabenhöhe von rd. 138 Metern, einem Rotordurchmesser von 82 Metern und einer Leistung von 2,3 MW trägt seitdem neben den BHKW's als 2. Säule maßgeblich zur Eigenstromerzeugung auf der Kläranlage bei.

Mit dem Betrieb der WEA hat der STEB frühzeitig die Eigenerzeugung und den Eigenverbrauch von Strom aus erneuerbaren Energien vorangetrieben und war dadurch Vorreiter innerhalb der Stadtverwaltung und deren Eigenbetrieben. Durch die zusätzliche Erzeugungsanlage konnte der Strombezug aus dem öffentlichen Versorgungsnetz ab 2015 deutlich reduziert werden (siehe Abb. 1).

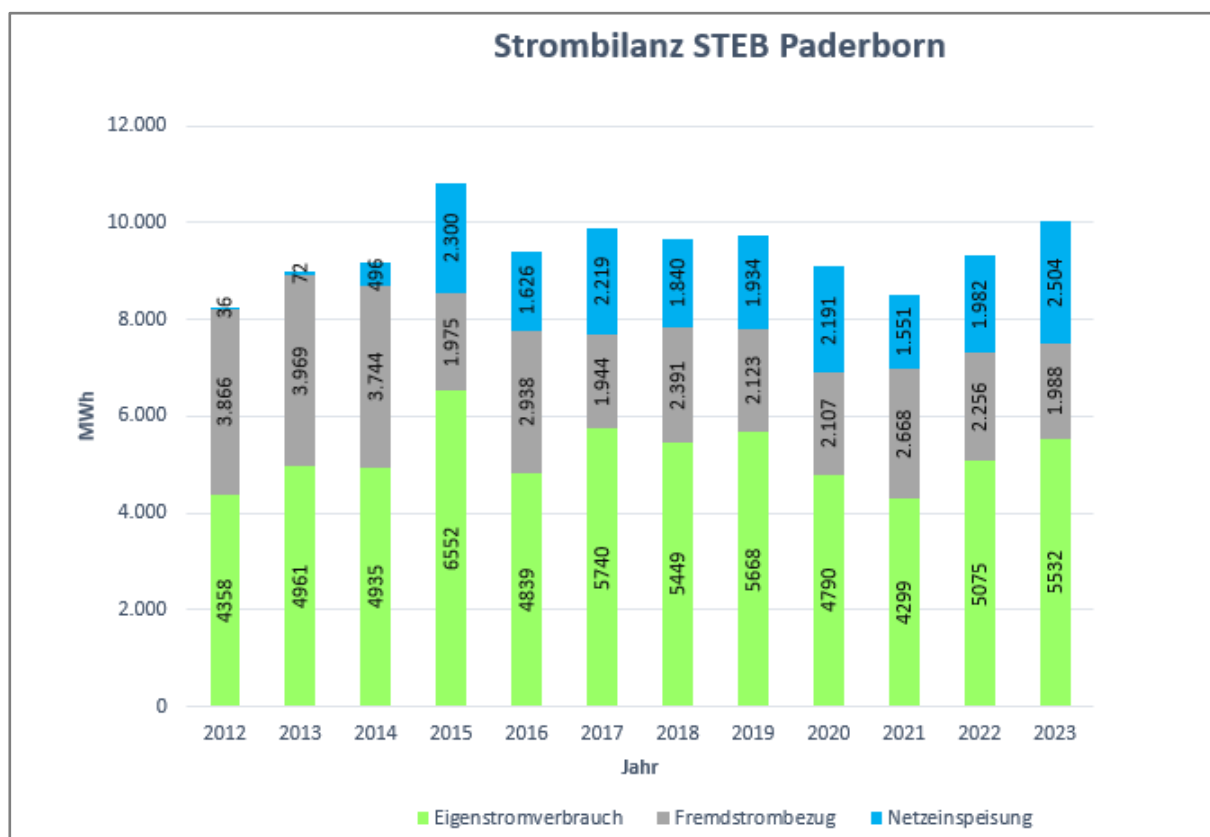


Abb. 1: Strombilanz des STEB in MWh

Die WEA erzeugte in den Jahren von 2015 bis 2023 zwischen 2.980 MWh (windarmes Jahr 2021) und 4.150 MWh (windintensives Jahr 2023) regenerativen Strom. Der Durchschnittswert liegt bei rd. 3.250 MWh. Von dieser Erzeugungsleistung wurden durchschnittlich 1.600 MWh Strom selbst verbraucht. Die Eigenverbrauchsquote aus Windkraft liegt damit bei durchschnittlich 49 %. Bezogen auf den Gesamtstromverbrauch der Kläranlage konnte die WEA durchschnittlich 22 % pro Jahr des benötigten Stroms liefern (Schwankungsbreite 20 %-24 %).

Durch die Inbetriebnahme der WEA ist ab dem Jahr 2015 folglich eine deutliche Reduzierung des Fremdstrombezugs zu verzeichnen. Dieser lag vor Inbetriebnahme bei durchschnittlich 3.860 MWh (2012-2014). Mit dem Betrieb der WEA wurde der Fremdstrombezug auf durchschnittlich 2.266 MWh (2015-2023) reduziert, was eine Verringerung um rund 40 % bedeutet. Gleichzeitig stieg die Netzeinspeisung von selbst erzeugtem Strom deutlich an. Diese liegt seit 2015 bei durchschnittlich 1.950 MWh.

Im Ergebnis kann eine durchschnittliche Einsparung zwischen den Kosten des Fremdstrombezugs (Ø 21,7 Cent/kWh) und den Gestehungskosten für die Eigenstromerzeugung durch die WEA (Ø 9 Cent/kWh) in Höhe von 12,7 Cent/kWh verzeichnet werden. Im Zeitraum von 2015-2023 konnten so Einsparungen von rd. 1,85 Mio. € erzielt werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gegenüberstellung der Eigenstromerzeugung zum Gesamtstromverbrauch des STEB und den rechnerischen Autarkiegrad. Auch hier wird der Betrieb der WEA ab dem Jahr 2015 deutlich.

Tabelle 1: Ermittlung Autarkiegrad Strom

	Eigenstromerzeugung (MWh)	Gesamtstromverbrauch (MWh)	Autarkiegrad (%)
2012	4.394	8.224	53
2013	5.033	8.930	56
2014	5.431	8.679	63
2015	8.852	8.527	104
2016	6.465	7.777	83
2017	7.959	7.683	104
2018	7.289	7.839	93
2019	7.602	7.790	98
2020	6.981	6.750	103
2021	5.850	6.967	84
2022	7.057	7.331	96
2023	8.036	7.520	107

Derzeitige „Energie-Aktivitäten“

Im Jahr 2019 hat der Rat der Stadt Paderborn durch einen Ratsbeschluss die Aktivitäten im Bereich „Klimaschutz“ und „CO₂-Neutralität“ weiter in den Mittelpunkt gerückt. Demnach soll das Unternehmen „Stadtverwaltung Paderborn“ mit allen Organisationseinheiten und Eigenbetrieben bis zum Jahr 2035 CO₂-neutral aufgestellt werden. Aufgrund der bestehenden Energieerzeugungsanlagen und des betrieblichen, strategischen Ziels eine energieoptimierte Abwasserreinigung zu betreiben, konnte der STEB bereits auf einem guten Fundament zur Erreichung der CO₂-Neutralität aufbauen.

Um den Fremdstrombezug aus dem öffentlichen Netz weiter zu reduzieren wurde 2020 durch ein externes Büro eine Studie zur „*Erweiterung der regenerativen Energieerzeugungskapazitäten auf der Kläranlage Paderborn*“ erstellt.

In dieser Studie wurden unterschiedliche Standorte, Bauarten und -größen von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) auf dem Gelände der Kläranlage sowie der Bau einer zweiten WEA untersucht. Da eine zweite WEA nur noch wenig zu einer zusätzlichen Eigenstromversorgung resp. zu einer Reduzierung des Fremdstrombezugs beitragen kann, konzentrierten sich die Aktivitäten in den letzten Jahren auf den Bau von PV-Anlagen, der 3. Säule der Eigenenergieerzeugung. Im Jahr 2022 wurde eine PV-Dachanlage mit einer Leistung von 99 kWp auf dem Verwaltungsgebäude sowie auf zwei Carports in Betrieb genommen. Weiterhin wurde 2023 eine PV-Freiflächenanlage mit einer Leistung von 850 kWp errichtet, die in diesem Jahr in Betrieb gehen wird. Zusätzlich zu den beiden bestehenden Anlagen wird in diesem Jahr eine weitere PV-Dachanlage mit einer Leistung von rd. 270 kWp auf einem neu zu errichtenden Dach über den Filterbecken der Flockungsfiltration erstellt.

Durch den verringerten Stromverbrauch resultiert auch ein reduzierter Gesamtenergieverbrauch des STEB (Strom, Wärme u. Kraftstoffe) im Vergleich zu 2012. Seit 2020 stagniert dieser zwischen 11.250 MWh und 11.660 MWh. Die leicht ansteigende Tendenz von 2020 bis 2023 ergibt sich im Wesentlichen aus einem höheren Strombedarf aufgrund betriebsbedingter Änderungen im Kläranlagenbetrieb. In den Jahren 2021 / 2022 wurde eine Versuchsanlage zur 4. Reinigungsstufe mit einer energieintensiven Ozonierungsanlage betrieben. Seit 2022 müssen energieintensive Umstellungen in der biologischen Reinigungsstufe vorgenommen werden. Im Jahr 2023 wurden, im Wesentlichen durch das niederschlagsintensive 4. Quartal bedingt, rd. 5 Mio. Kubikmeter Abwasser mehr gereinigt als in einem durchschnittlichen Jahr.

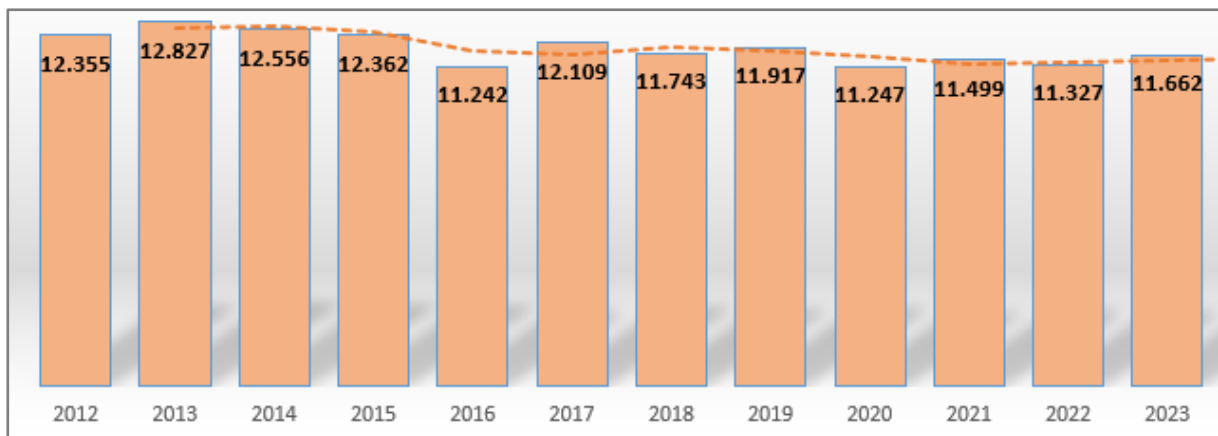


Abb. 2: Entwicklung des Gesamtenergieverbrauchs des STEB in MWh

Geplante Maßnahmen

Ab 2024 wird die erzeugte Strommenge aus PV-Anlagen durch die Inbetriebnahme der bereits realisierten PV-Freiflächenanlage mit 850 kWp und der geplanten Dachanlage mit rd. 270 kWp noch deutlich steigen. Der prognostizierte Ertrag liegt bei insgesamt rd. 1.000 MWh/a.

Neben den PV-Anlagen auf der Kläranlage sind weitere PV-Anlagen im Bereich der Sonderbauwerke im Kanalnetz geplant. Die größte Anlage soll auf dem Gelände der ehemaligen Kläranlage (jetzt RÜB) in der Kernstadt entstehen. Hier soll eine PV-Freiflächenanlage mit einer Leistung von rd. 830 kWp realisiert werden. Weiterhin sind zwei PV-Dachanlagen auf Schmutzwasserpumpwerken in zwei Paderborner Ortsteilen geplant.

Neben dem Ausbau von regenerativen Erzeugungsanlagen sind eine Vielzahl an Erneuerungs- und Optimierungsmaßnahmen auf der Kläranlage geplant, die den Energieverbrauch mittelfristig deutlich senken und somit gleichzeitig zur CO₂-Neutralität und einer Verbesserung der Umweltleistung beitragen. Als Grundlage hierfür dienen u.a. die Energetischen Feinanalysen sowohl für die Kläranlage Paderborn als auch für die Sonderbauwerke im Kanalnetz, die in den Jahren 2022 bis 2024 erstellt worden sind.

Die mit Abstand bedeutendste Maßnahme ist die Erneuerung der Belüftungstechnik der biologischen Reinigungsstufe. Die bestehende Oberflächenbelüftung wird gegen eine hocheffiziente Druckbelüftung ausgetauscht, was als Folge auch die Verkleinerung des erforderlichen Beckenvolumens mit sich bringt. Neben einer Verbesserung der Reinigungsleistung wird durch diese Maßnahme ein erhebliches Energieeinsparpotential realisiert. Prognostiziert ist eine Energieeinsparung von rund 2 Mio. kWh pro Jahr. Dies entspricht rund 30 % des jährlichen Strombedarfs der Kläranlage.

Eine weitere Maßnahme ist die Erneuerung der Gasverwertung. Die drei vorhandenen BHKW's mit jeweils 360 kW_{el} sollen sukzessiv durch drei leistungsgestaffelte Aggregate (550 kW, 360 kW und 250 kW elektrisch) ersetzt werden. Die Gasspeicherung wird um einen zusätzlichen Gasspeicher mit einem Volumen von 1.500 m³ erweitert, sodass in Zeiten mit viel Energieerzeugung durch Wind und Sonne das Klärgas zwischengespeichert werden kann. Zusätzlich wird ein Wärmepufferspeicher mit 100 m³ Nutzvolumen das durch die BHKW's erzeugte Heizwasser zwischenspeichern können, um es in Zeiten ohne bzw. auch reduzierten BHKW-Betrieb zu nutzen.

Durch die geplanten Maßnahmen sollen einerseits der Gesamtenergieverbrauch des STEB und andererseits der Fremdstrombezug nochmals deutlich gesenkt werden. Langfristiges Ziel ist es, den Fremdstrombezug auf Null zu reduzieren und den gesamten STEB damit vollständig energieautark zu betreiben. Gleichzeitig werden dadurch die CO₂-Emissionen gesenkt und das Ziel der CO₂-Neutralität bis 2035 aktiv unterstützt.