

CONSISTE

Consulting für
intelligenten
Stromeinsatz

Ursula Rath

Dipl.-Physikerin

Dorfstraße 42
72074 Tübingen

Fon 0 70 71 68 71 63

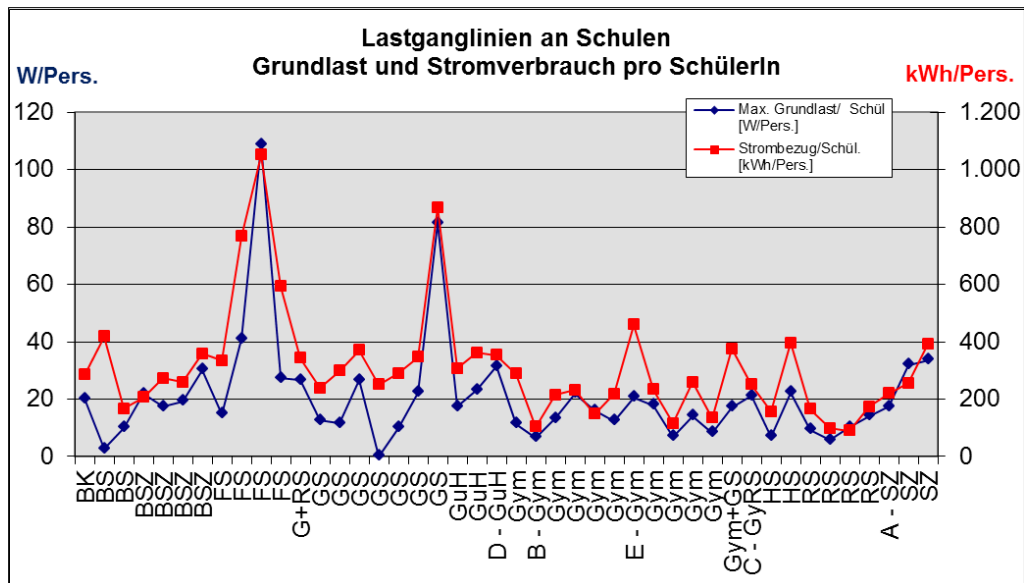
Fax 0 70 71 68 71 64

info@consiste.de

www.consiste.de

Relevanz des Grundlaststromverbrauchs an Schulen

Erstellung von Stromsparkonzepten für 5 Schulen
Entwicklung von elektrischen Kenndaten
abgeleitet aus der elektrischen Lastganglinie



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die vorliegende Untersuchung wurde innerhalb der wissenschaftlichen Begleitforschung zum Forschungsvorhaben „Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule“ (Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, FKZ 03ET1075C) erstellt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin.

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Erstellt
Frühjahr – Herbst 2015

Dipl.-Phys. Ursula Rath
CONSISTE – Tübingen

Relevanz des Grundlaststromverbrauchs an Schulen

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	3
2	Schulsteckbriefe	6
2.1	Schule A [Nr. 3, Kürzel FH]	6
2.2	Schule B [Nr. 4, Kürzel W]	14
2.3	Schule C [Nr. 9, Kürzel DG]	21
2.4	Schule D [Nr. 15, Kürzel HK].....	28
2.5	Schule E [Nr. 19, Kürzel LM].....	35
3	Wichtige Punkte aus der Studie Lastganglinien für Schulen mit Bezug auf die ausgewählten 5 Schulen.....	40
4	Auswertung	46
4.1	Überblick	46
4.2	Zwei Studien mit verwandten Themen.....	48
4.3	Vorgefundene Defizite und Maßnahmenvorschläge.....	51
4.4	Empfehlungen	55
5	Anhang	57

1 Aufgabenstellung

In einer ersten Untersuchung zum Verlauf der elektrischen Lastganglinien an 43 Schulen (eine weitere kam später hinzu) wurde festgestellt, dass bei einem erheblichen Anteil dieser Gebäude eine elektrische Grundlast in nennenswerter Höhe von bis zu einigen –zig Kilowatt (10 bis 50 kW, im Extremfall 100 kW) vorhanden war. Überschlägig hochgerechnet verursachte die Grundlast häufig 30 bis 50% des Jahresstromverbrauchs dieser Objekte. Es wird vermutet, dass ein Teil der Grundlast aufgrund von regeltechnischen Defiziten entsteht, aber auch Stand-by-Verluste sowie Geräte und Anlagen, die während der Nichtnutzungszeiten unnötig in Betrieb sind, könnten relevant sein.

Daher wäre es zur Realisierung von Stromeinsparschritten interessant, dieses Verbrauchssegment besser zu verstehen. Aus diesem Grund wurden aus den Schulen der ersten Untersuchung einige ausgewählt und für diese Stromeinsparkonzepte erstellt. Es sollten sowohl Schulen mit niedriger als auch mit hoher Grundlast untersucht werden. Bewusst wurden Schulen verschiedenen Schultyps gewählt, jedoch ohne Schwimmbad. Gegenstand der Konzepte sollte sein, sämtliche elektrischen Verbraucher in sinnvoller Genauigkeit zu erfassen, den vorhandenen Stromverbrauch in einer Hochrechnung abzubilden und auf die einzelnen Anwendungen aufzuteilen. Ebenso war gefordert, die Lastganglinien für einige interessante Zeitfenster zu erstellen und zu analysieren. Zum dritten sollten mögliche Verursacher der Grundlast ermittelt und in ihrer Relevanz abgeschätzt werden.

Für Schulen wie für alle Stromabnehmer mit einem Jahresstromverbrauch über 100 MWh werden von Seiten der Energieversorger die Lastverläufe des elektrischen Strombezugs im Viertelstundentakt aufgezeichnet. Daraus können Lastganglinien für jährliche, monatliche, wöchentliche oder tägliche Zeitfenster erstellt und analysiert werden. In manchen Fällen sind auch für Abnehmer mit niedrigerem Verbrauch Lastgänge verfügbar.

Aus den Daten über die Gebäude, die die Schulträger zur Verfügung gestellt haben, wie Jahresstromverbrauch, Bruttogeschossfläche, Zahl der SchülerInnen etc., wurden im Rahmen der Untersuchung „Lastganglinien an Schulen“ von 2012 [LGL Schulen] Kennzahlen gebildet wie z.B. Grundlast pro Fläche bzw. pro SchülerIn, Spitzenlast pro Fläche bzw. pro SchülerIn, dito für den Jahresstromverbrauch. Diese ermöglichen es, verschiedene Schulen hinsichtlich ihres Stromverbrauchs besser zu vergleichen, als es mit der alleinigen Kennzahl „Stromverbrauch pro Fläche“ möglich ist.

Aus den vorhandenen Datensätzen wurden zwei Objekte mit eher niedrigen, drei mit eher hohen Kennzahlen ausgewählt und genauer untersucht.

Für die Hochrechnungen wird hinsichtlich der Nutzungsdauer für Geräte und Anlagen für den schulischen Bereich von 200 Tagen/Jahr ausgegangen, für die Verwaltung von 220 Tagen. Manche Geräte sind bestimmungsgemäß ganzjährig in Betrieb, so z. B. Kühl- und Gefrierschränke oder Abluftanlagen für Chemieschränke.

Bei der Datenerhebung wurde versucht, möglichst alle Stromverbraucher zu erfassen, insbesondere jene mit höherer Leistung bzw. mit langen Betriebszeiten. Dennoch mag das eine oder andere Gerät fehlen, dies wird jedoch die Gesamtaussage nicht generell verändern.

Nachstehend finden sich die Eckdaten der fünf ausgewählten Schulen. Zur Anonymisierung sind sie hier mit den Buchstaben A bis E bezeichnet. In der ersten Studie hatten sie die in der zweiten Spalte genannten Nummern. Das Kürzel dient der leichteren Zuordnung und

ermöglicht dem jeweiligen beteiligten Schulträger, seine Schule direkt zu identifizieren. Eine der Schulen ist klein (D), eine zweite (E) klein bis mittelgroß, eine hat eine recht große Nutzfläche (A), drei haben viele SchülerInnen (A, B, C). Drei haben eine in absoluten Werten niedrige Grundlast (B, D, E), zwei haben eine nach spezifischen Kennzahlen niedrige Grundlast (A, B).

Tab. 1: Eckdaten der 5 ausgewählten Schulen

Schule	Schule [Nr., Kürzel]	Schultyp	Nutzfläche (BGF) [m²]	Mittelwert Strombezug über 5 J. [kWh]	Zahl SchülerInnen	Zahl Klassen	Grundlast [kW] von .. bis		Max. Spitzenlast [kW]
A	3, FH	SZ	21.647	303.996	1.380	73	14	24	180
B	4, W	Gym	10.259	125.158	1.201	49	3	8	75
C	9, DG	Gym+RS	12.760	308.423	1.230	51	12	26	160
D	15, HK	GS, RS	7.076	90.174	255	13	4	8	52
E	19, LM	Gym	9.243	222.844	485	25	8	10	140

Abkürzungen: SZ – Schulzentrum; Gym – Gymnasium; RS – Realschule; GS – Grundschule

Hohe Kennwerte sind in der nachfolgenden Tabelle rot markiert, niedrige grün. Bei Werten, die knapp unter/über den am Fuß der Tabelle genannten Grenzen liegen, sind die Felder nicht ausgefüllt, nur angeleuchtet.

Die in der untersten Zeile genannten Grenzwerte wurden aus den vorliegenden 44 Datensätzen abgeleitet. Bei einer höheren Anzahl von Schulen könnten sich diese auch noch ein wenig verschieben. Die angegebenen Grenzwerte haben als Aussage: Innerhalb der untersuchten Gruppe liegt diese Schule bei diesem Kennwert hoch/im mittleren Bereich/tief.

Tab. 2: Spezifische Kennwerte der 5 ausgewählten Schulen

Schule	Fläche /Schül. [m²/P.]	Grundlast/ Schül. [W/Pers.]		Max. Grundlast/Fl. [W/m²]	Max. Spitzenlast / Schül. /Fläche [W/Pers.] [W/m²]		Strombezug / Schül. /Fläche [kWh/P.] [kWh/m²]		VDI 3807 Richtwert ... Mittelwert [kWh/m²]
		Max.Min.			/ Schül.	/Fläche	/ Schül.	/Fläche	
A	15,7	17,4	10,1	1,1	130	8,3	220	14,0	8 ... 15
B	8,5	6,7	2,5	0,8	62	7,3	104	12,2	8 ... 10
C	10,4	21,1	9,8	2,0	130	12,5	251	24,2	7 ... 10
D	27,7	31,4	15,7	1,1	204	7,3	354	12,7	7 ... 11
E	19,1	20,6	16,5	1,1	289	15,1	459	24,1	8 ... 10
Grenzwerte	hoch > 20 tief < 10	hoch >20 tief < 10	hoch >15 tief < 5	hoch > 2 tief < 1	hoch > 150 tief < 100	hoch>15 tief < 8	hoch> 250 tief < 150	hoch > 25 tief < 15	

Anmerkung: rot/grün hinterlegt – Grenzwert erfüllt; rot/grün angeleuchtet – dicht am Grenzwert

Als Referenz ist in der letzten Spalte sowohl Richtwert als auch Mittelwert des Stromverbrauchs pro Fläche aus der VDI 3807 für den jeweiligen Schultyp angegeben. Es wird ersichtlich, dass der Richtwert von keiner der Schulen erreicht wird, der Mittelwert von den beiden Objekten mit niedrigen Kennwerten sowie von einem der Objekte mit überwiegend

hohen Kennwerten fast bzw. vollständig erreicht wird, zwei Objekte liegen weit oberhalb des Mittelwerts.

Diese Stromsparkonzepte sowie die resultierende Auswertung wurden von CONSISTE, Tübingen, im Schwerpunkt Energieeffiziente Schule erstellt, den das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Programms „Energieoptimiertes Bauen – EnOB“ fördert. Auftraggeber war im Rahmen eines FE-Projekts das Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart.

2 Schulsteckbriefe

2.1 Schule A [Nr. 3, Kürzel FH]

An diesem Schulstandort ist ein Gymnasium, eine Förderschule, eine Realschule und eine Grund- und Hauptschule vorhanden, mehrere Küchen mit Essensausgabe, die meisten durch einen Caterer betrieben, mehrere Lehrküchen, eine Tiefgarage, keine Sporthalle. Die Stadtbibliothek ist ebenfalls den Schulen angegliedert und läuft über denselben Stromzähler.

Der abgerechnete Stromverbrauch der Schulen betrug im Mittel über die letzten 5 Jahre rd. 271 MWh im Jahr. Seit Oktober 2010 ist eine Photovoltaik-Anlage mit 120 kW Leistung installiert, deren Ertrag zum abgerechneten Stromverbrauch hinzuzurechnen ist, somit ergibt sich ein durchschnittlicher jährlicher Stromverbrauch von rd. 304 MWh. Gegenüber den Jahren 2007 bis 2009 kann eine Reduzierung des Stromverbrauchs festgestellt werden.

Tab. 3: Stromverbrauch Schule A über die letzten Jahre (Datenquelle: Stadtverwaltung)

Stromverbrauchswerte Schule A	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Mittel über die letzten 5 Jahre	Spezif. Stromverbr. [kWh/m ²]
Abgerechneter Stromverbrauch [MWh/a]	384	371	351	286	267	268	271	264	271	
Stromverbrauch incl. PV-Anteil [MWh/a]	384	371	351	294	309	310	313	294	304	14,0

Die Bruttogeschossfläche (BGF) beträgt 21.647 m².

Der spezifische Stromverbrauch pro BGF beträgt im Mittel 14 kWh/m².

Nach VDI 3807 liegt der Mittelwert für Schulzentren bei 8 kWh/m²*a, der Richtwert bei 5 kWh/m²*a.

Die Schulen wurden im Schuljahr 2013/2014 von insgesamt rund 1.380 Schülerinnen und Schülern in 73 Klassen besucht.

Nachfolgend wird die Aufteilung des hochgerechneten Strombedarfs des Schulzentrums im Überblick dargestellt. Das weitaus größte Verbrauchssegment ist die Beleuchtung, gefolgt von den sonstigen Geräten und Anlagen sowie von den Küchen und Hauswirtschaft.

Unter „Sonstige Geräten und Anlagen“ fallen beispielsweise Telefon- und Sprechanlagen, Einbruch- und Brandmeldeanlagen, Server und Switches, Aufzüge, Regeltechnik, ggf. Kompressoren.

Tab. 4: Strombedarf Schule A - Hochrechnung (Datenquelle: Erhebung bei Ortsterminen, eigene Hochrechnung)

Zusammenfassung (gerundete Werte)	Bedarf Ist [kWh/a]	Bedarfs- aufteilung [%]
Beleuchtung	138.830	46,2
Bürogeräte Verwaltung	16.230	5,4
Informationstechnik in Klassenräumen	19.960	6,6
Geräte Küchen + Hauswirtschaft	39.660	13,2
Diverse Maschinen	5.360	1,8
Warmwasser dezentral	17.000	5,7
Sonstige Geräte und Anlagen	46.820	15,6
Lüftungsanlagen	12.870	4,3
Pumpen	3.600	1,2
Summe	300.330	100,0

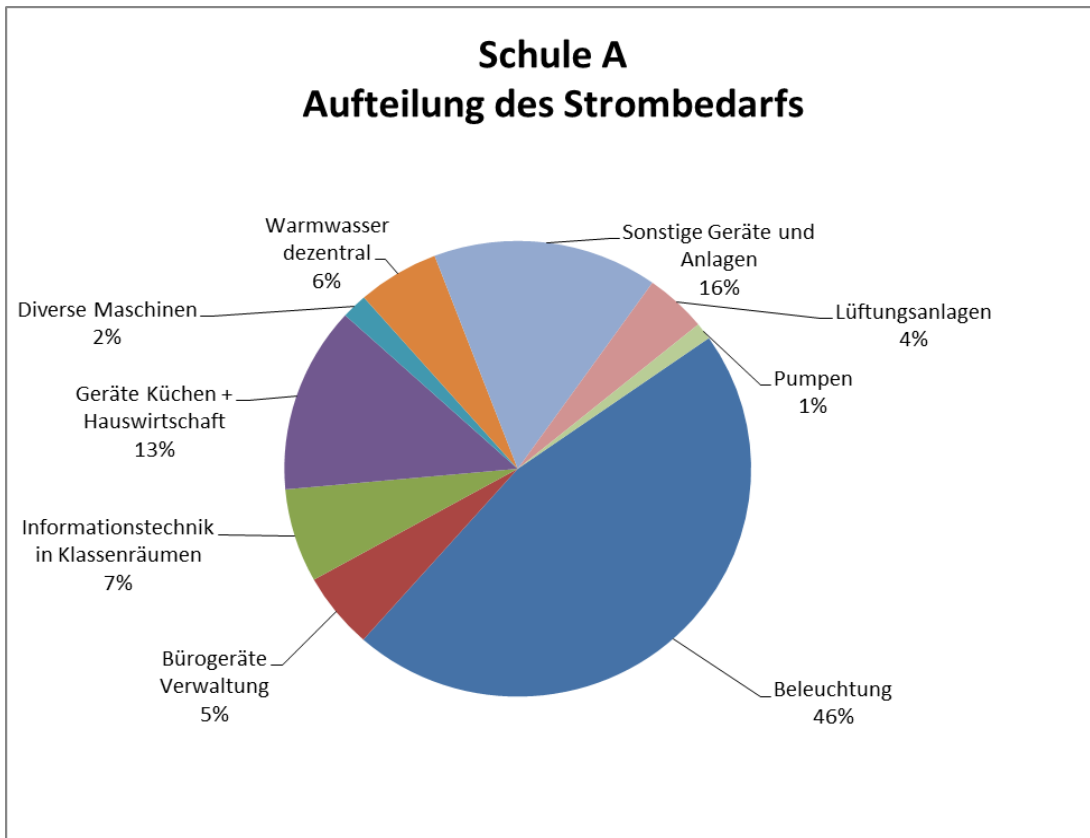


Abb. 1: Aufteilung des Strombedarfs auf die einzelnen Sektoren

Die Schulen sind sehr unterschiedlich in der Größe, daher sind auch die Stromverbrauchsanteile recht verschieden.

Tab. 5: Strombedarf Schule A – Aufteilung auf die vier Schulen und die Tiefgarage

Schulzentrum Zusammenfassung (gerundete Werte)	Bedarf Ist [kWh/a]	Anteil je Schule [%]
Gymnasium	105.440	35,1
Förderschule	45.610	15,2
Grund- und Hauptschule	74.280	24,7
Realschule	57.530	19,2
Tiefgarage	17.470	5,8
Schulen	300.330	100,0

Nachstehend ist exemplarisch ein Monatsverlauf für den Dezember 2014 gezeigt, wie er aus den Daten des Energieversorgungsunternehmens abgeleitet werden kann. Drei Wochen lang ist normaler Schulbetrieb zu verzeichnen, danach sind Weihnachtsferien. Der höchste Jahreswert trat am 15.12. mit 191 kW auf, in der Regel liegen die Spitzen bei 160 bis 180 kW im Winter, bei 80 bis 100 kW im Sommer.

Die Grundlast liegt im Winter stets bei mindestens 20 kW; an einzelnen Tagen geht der Stromverbrauch auf Null zurück, zu diesen Zeiten liefern die PV-Anlagen ausreichend Strom zur Versorgung der Schulen, bzw. speisen ins öffentliche Netz zurück. Die Spitzenleistung der vorhandenen PV-Anlagen liegt bei 120 kW.

Die täglich auftretenden Lastanstiege um ca. 15 bis 20 kW oberhalb des Sockelwerts in den Schulferien fallen auf, die Verursacher sollten ermittelt werden. Offensichtlich schaltet um 7 Uhr eine Anlage für eine kurze Zeit an; diese Spitze tritt ganzjährig an allen Wochentagen auf, nicht am Wochenende (s. u.: der 31.12. ist ein Mittwoch, der 19.12. war der letzte Schultag).

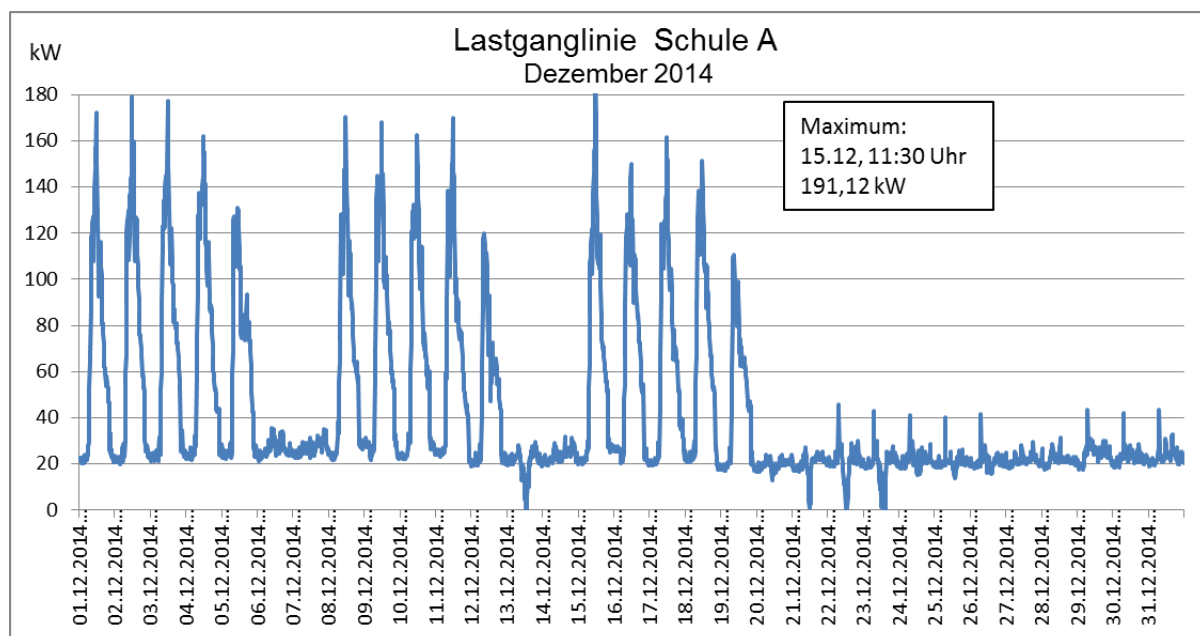


Abb. 2: Verlauf des Lastgangs Strom im Dezember 2014

Sockelstromverbrauch

Es ist ein Sockelstromverbrauch, d. h. ein ununterbrochen durchgehender Verbrauch von etwa 18 bis 24 kW in den Wintermonaten zu verzeichnen, in den Sommermonaten bei 14 bis 20 kW; auch zu Nachtzeiten, am Wochenende und in den Ferien liegt die Last in dieser Größenordnung. Dies führt per se zu einem Stromverbrauch von vorsichtig abgeschätzt 130.000 kWh im Jahr, umgerechnet ist das über 40% des gesamten Stromverbrauchs.

Als Verursacher kommen Server, Pumpen, Kühl- und Gefrierschränke, Regeltechnik und zentrale Dienste wie die Telefon- und Sprechanlagen, Brand- und Einbruchmeldeanlagen in Frage. Evtl. haben Aufzüge Stand-by-Verluste. Evtl. sind die Kompressoren auch länger in Betrieb als gedacht.

Diesen Anteil des Stromverbrauchs zu reduzieren, dürfte die preisgünstigste, schnellste und wirksamste Einsparmaßnahme sein.

Lastspitzen und üblicher Verlauf

Vormittags treten Lastspitzen von 160 bis 180 kW im Winter, von 80 bis 110 kW im Sommer auf, freitags ist die Spitze niedriger, da eine der Ausgabeküchen geschlossen ist.

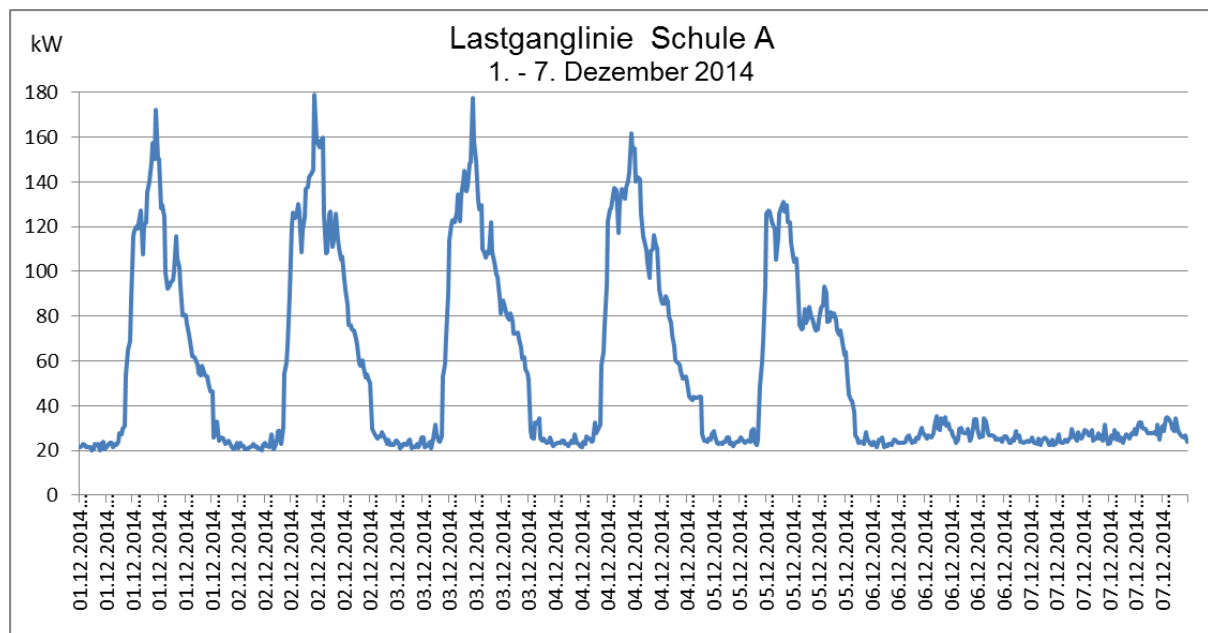


Abb. 3: Lastganglinie für Anfang Dezember 2014

Im August ist die Photovoltaik gut zu sehen. Die morgendlichen Spitzen an allen Werktagen mit ca. 20 kW fallen auch hier auf, ebenso wie im Dezember.

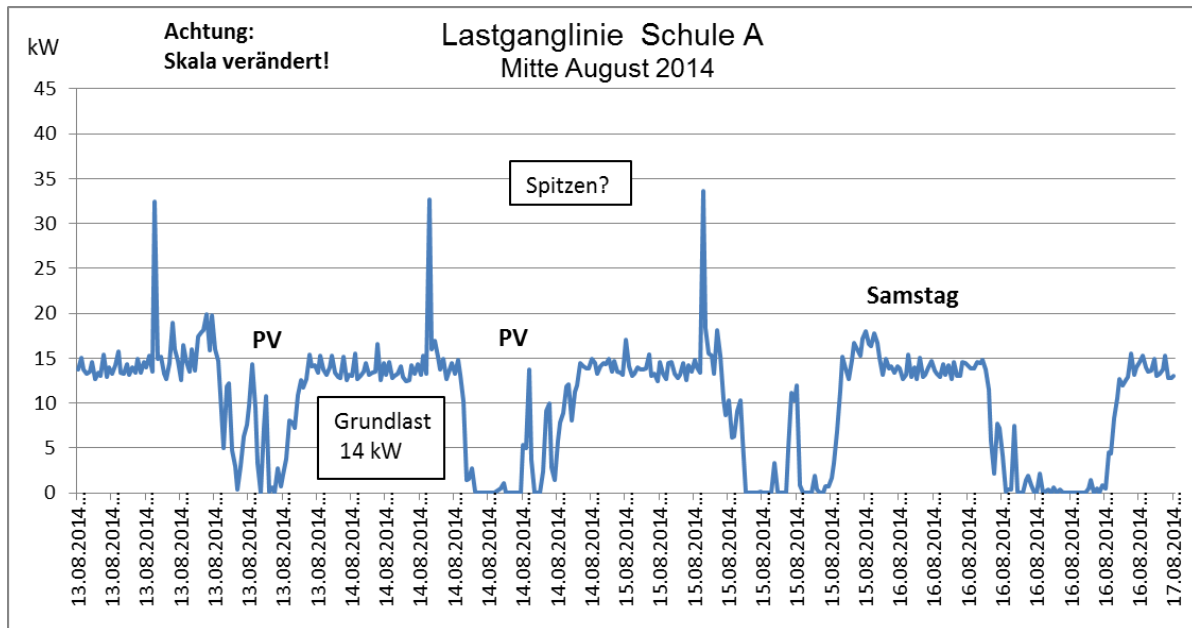


Abb. 4: Lastganglinie für Mitte August 2014 (Skala der y-Achse verändert ggü. den anderen Lastgängen!)

Nachfolgend ist der vom Energieversorger zu verschiedenen Zeiten gemessene elektrische Leistungsbezug zusammen gestellt. Die Werte sind aus den vorliegenden Lastganglinien abgelesen. Da alle vier Schulen und die Tiefgarage über nur einen Zähler verrechnet werden, ist über den Energieversorger auch nur eine Lastganglinie verfügbar.

Tab. 6: Leistungsbezug der Schule A (Quelle: Auswertung der Daten des EVU)

Leistungsbezug in kW	Sommer	Winter
Maximum	80 bis 110	160 bis 180, einmalig 190
Tageswert Werktag vormittags	40 bis 100	100 bis 160, freitags ca. 120
Tageswert Werktag nachmittags	30 bis 80	60 bis 120
Durchschnitt im Normalbetrieb	50 bis 70	100 bis 120
Durchschnitt in den Ferien	15	22
Sockelstrombezug nachts	14 bis 20, im Mittel 18	18 bis 24, im Mittel 22

Auswertung

Die Auswertung der lastbezogenen Kenndaten der Schule A (vergl. die nachfolgende Tabelle) in Relation zu den anderen Schulen aus der zitierten Lastganglinien-Untersuchung lässt sich folgendermaßen interpretieren:

Die Schule liegt in mehreren der gebildeten Relationen zwischen Grundlast bzw. Spitzenlast und Fläche bzw. Zahl der SchülerInnen im Mittelfeld, in drei Werten liegt sie im Vergleich zu den anderen Schulen aus der Lastganglinien-Untersuchung tief (grün markiert); dies sind Grundlast pro Fläche, Spitzenlast pro Fläche und Strombezug pro Fläche.

Zurückzuführen ist dies u.a. auf

- eine Grundlast von im Mittel 20 kW, die für eine Schule dieser Größe nicht besonders auffällig ist
- eine mittlere Personen-Dichte pro Fläche
- aus diesen Gründen niedriger Strombezug/Fläche, leicht erhöhter pro SchülerIn
- Beleuchtung überwiegend noch aus der Bauzeit
- relativ dunkle Eingangshallen und Flure, lange Brenndauern von Leuchten, daher auch der hohe Verbrauchsanteil der Beleuchtung (vergl. Abb. 1)
- vier Ausgabeküchen sowie vier Lehrküchen, diese dominieren die Tagesspitze
- ansonsten eher wenig Technikausstattung, daher niedrige Spitzenlast pro Fläche
- die Hausmeister achten auf ihre Gebäude.

Es fällt auf, dass die vier Schulen trotz der vier Ausgabe- sowie vier Lehrküchen sowie der dunklen Situation in einem Teil der Eingangsbereiche und Flure in einigen der Kennwerte niedrig liegen. Dies dürfte u.a. auf die insgesamt relativ hohe Fläche zurück zu führen sein, die zum Kennwert von 16 m²/Person führt.

Tab. 7: Eckdaten von Schule A

Schultyp	Nutzfläche (BGF) [m ²]	Mittelwert Strombezug ü. 5 J. [kWh]	Zahl SchülerInnen	Zahl Klassen	Grundlast vonbis [kW]		Spitzenlast [kW] bis
Schulzentrum	21.647	303.996	1.380	73	14	24	180

Tab. 8: Abgeleitete Kenndaten auf Basis der Lastganglinien

Schule	Fläche /Schül. [m ² /P.]	Grundlast/ Schül. Max.Min. [W/Pers.]		Max. Grundlast/Fl. [W/m ²]	Max. Spitzenlast / Schül. /Fläche [W/Pers.] [W/m ²]		Strombezug / Schül. /Fläche [kWh/P.] [kWh/m ²]		VDI 3807 Richtwert ... Mittelwert [kWh/m ²]
A	15,7	17,4	10,1	1,1	130	8,3	220	14,0	8 ... 15
Grenzwerte	hoch > 20 tief < 10	hoch >20 tief < 10	hoch >15 tief < 5	hoch > 2 tief < 1	hoch > 150 tief < 100	hoch>15 tief < 8	hoch> 250 tief < 150	hoch > 25 tief < 15	

Nachstehend sind die möglichen Grundlastverursacher aufgeführt. Der dort errechnete Jahresstromverbrauch liegt bei gut zwei Drittel des erwarteten Grundlaststromverbrauchs von rund 130 MWh, der sich außerhalb der Nutzungszeiten ergibt. Es wäre demnach zu erwarten, dass weitere grundlastrelevante Geräte und Anlagen vorhanden bzw. dass manche längere Zeit in Betrieb sind, als auf Basis der vorliegenden Informationen angenommen wurde.

Möglicherweise gibt es auch Verbraucher, die im Rahmen dieser Untersuchung nicht aufgefunden worden sind, z.B. Transformatoren mit hohem Stillstandsverlust. Alternativ besteht die Möglichkeit, dass die vorhandenen Sockelstromerzeuger höhere Leistung ziehen, als hier angesetzt, und dass ein höherer Anteil des Gesamtstromverbrauchs zu Lasten dieser Gruppe geht.

Tab. 9: Mögliche Verursacher des Sockelstrombezugs (Quelle: Ortstermine; Abschätzung)

Geräte und Anlagen, die eventuell nachts durchlaufen (geschätzte Werte)	Anzahl	Leistungsbezug Gerätegruppe [W]	Strombedarf Gerätegruppe (gerundet) [kWh/a]
Fluchtwegebeleuchtung	42	360	1.730
Stand-by Verwaltung	118	590	3.610
Stand-by Gruppen- und Übungsräume	283	1.415	9.000
Kühl- und Gefrierschränke	27	3.190	10.550
Elektr. Wassererwärmung	23	66.000	10.520
Telefon- u. Sprechanlagen	7	1.300	11.400
Server + Switches	48	3.430	30.040
Regeltechnik	8	200	1.760
Kompressoren	2	2.500	2.000
Aquarium	2	120	1.060
Lüftung Chemieschränke	6	1.310	8.660
Pumpen	3	720	3.600
Summe		81.140	93.930

Stand-by-Stromverbrauch ist im Wesentlichen auf Geräte der Informationstechnik zurückzuführen, also auf PCs, Monitore und Peripheriegeräte, auf Beamer, White Boards etc.. Elektrische Wassererwärmung findet an vielen Stellen über Untertisch-Warmwasserspeicher statt, stellenweise auch in größeren Speichern in Putzräumen.

Empfehlungen

Als Auswertung mit Blickrichtung auf Schulen mit absehbar niedrigem Stromverbrauch lassen sich die folgenden Punkte ableiten:

- Grundlast in die Planungen einbeziehen und minimieren
- Spezielle Anforderungen an Geräte und Anlagen stellen, die grundlastrelevant sein können, niedriger Verbrauch während Nutzungspausen auch z.B. für Telefon-, Alarm- und Brandmeldeanlage, dito für Server, Switches, Regeleinheiten etc.
- Gute Ausnutzung der Flächen
- Eher größere Schulen (wobei hier die jeweiligen Randbedingungen bzgl. Größe und Struktur der Kommune vorrangig maßgeblich sein werden)
- Hoch effiziente Beleuchtung, Einsatz von LED bei Lampenersatz sowie bei Erneuerung der Beleuchtung, insbesondere an Stellen mit längerer Brenndauer
- Beleuchtung über Bewegungsmelder und Helligkeitssensoren geregelt
- Tageslichtnutzung
- Helle Oberflächen

- Regeltechnische Optimierung der Haustechnik
- Technische Ausstattung so hoch wie nötig, so niedrig wie möglich
- Effiziente Haustechnik
- Elektrische Erwärmung des Wassers kritisch hinterfragen, ggf. Durchlauferhitzer statt Speicher installieren
- Nutzersensibilisierung.

2.2 Schule B [Nr. 4, Kürzel W]

Die Schule ist ein Gymnasium mit einem Musikzug, der in manchen Jahrgängen von der Hälfte der SchulanfängerInnen besucht wird. Es ist eine Turnhalle und eine Gymnastikhalle vorhanden, die durch Vereine und durch das städtische Sommerferienprogramm genutzt werden. Ein Teil des Sportunterrichts findet in einer großen Sporthalle außerhalb statt. Es gibt keine Mensa, nur eine Cafeteria. Die Schule bietet im Rahmen der offenen Ganztageschule eine Nachmittagsbetreuung und eine umfangreiche Zahl an AGs an.

Es wurden kürzlich umfangreiche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, die neben einer baulichen Ertüchtigung (Hauptgebäude Bj. 1927) auch eine Optimierung eines Teils der Beleuchtung umfassten.

Die Schule ist an ein Fernwärmenetz angeschlossen.

Der Stromverbrauch betrug im Mittel über die letzten 5 Jahre rd. 125 MWh im Jahr, mit einem relativ tiefen Wert von 118 MWh im Jahr 2014.

Die Bruttogeschossfläche (BGF) beträgt ca. 10.260 m².

Der spezifische Stromverbrauch pro BGF betrug im Mittel 12,2 kWh/m².

Die Schule wurde im Schuljahr 2013/2014 von 1.201 Schülerinnen und Schülern in 49 Klassen besucht.

Tab. 10: Stromverbrauch Schule B

	2010	2011	2012	2013	2014	Mittelwert über 5 Jahre
Stromverbrauch [kWh/a]	124.100	129.640	125.740	128.190	118.120	125.160

Nachfolgend wird der Stromverbrauch der Schule im Überblick dargestellt.

Tab. 11: Strombedarf Schule B - Hochrechnung
(Datenquelle: Erhebung bei Ortsterminen, eigene Hochrechnung)

Zusammenfassung (gerundete Werte)	Verbrauch Ist	Verbrauchs- aufteilung
	[kWh/a]	[%]
Beleuchtung	43.370	37,7
Bürogeräte Verwaltung	7.820	6,8
Informationstechnik in Unterrichts- und Aufenthaltsräumen	14.460	12,6
Diverse Geräte in Unterrichtsräumen	2.170	1,9
Geräte Cafeteria + Küchen	14.490	12,6
Warmwasser dezentral	5.250	4,6
Sonstige Geräte und Anlagen	12.270	10,7
Lüftungsanlagen	6.050	5,3
Pumpen + Hebe-Anlagen	9.200	8,0
Summe	115.080	100,0

Die Hochrechnung liegt mit 115 MWh rund 10 MWh oder 8% unter dem 5-jährigen Mittel.

Das weitaus größte Verbrauchssegment ist die Beleuchtung, gefolgt von den sonstigen Geräten und Anlagen, der Informationstechnik sowie von Cafeteria, Küchen und Hauswirtschaft. Unter „Sonstige Geräten und Anlagen“ fallen beispielsweise Telefon- und Sprechanlagen, Einbruch- und Brandmeldeanlagen, Server und Switches, Aufzüge, Regeltechnik, ggf. Kompressoren.

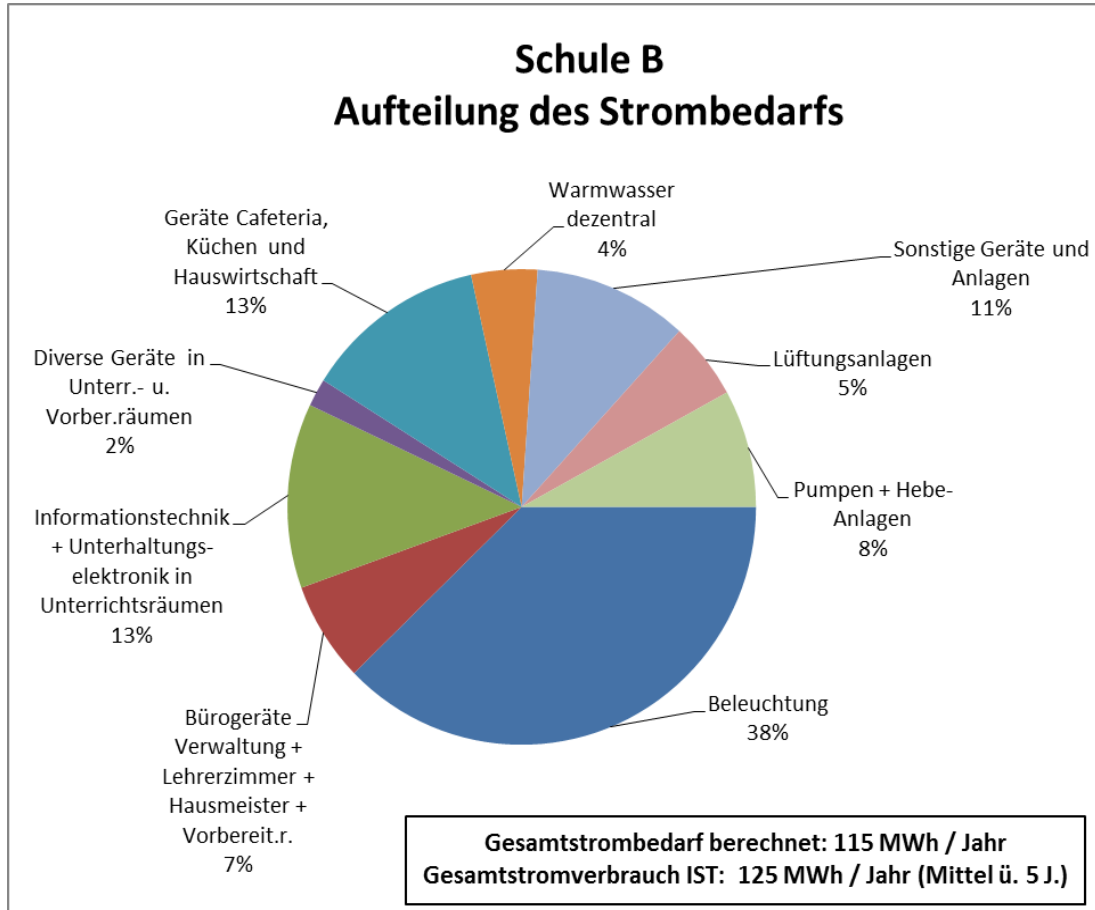


Abb. 5: Aufteilung des Stromverbrauchs auf die einzelnen Sektoren

Nachstehend sind exemplarisch die Lastganglinien für das 3. und 4. Quartal 2014 sowie ein Auszug für den Übergang von den letzten Schultagen in die Sommerferien gezeigt.

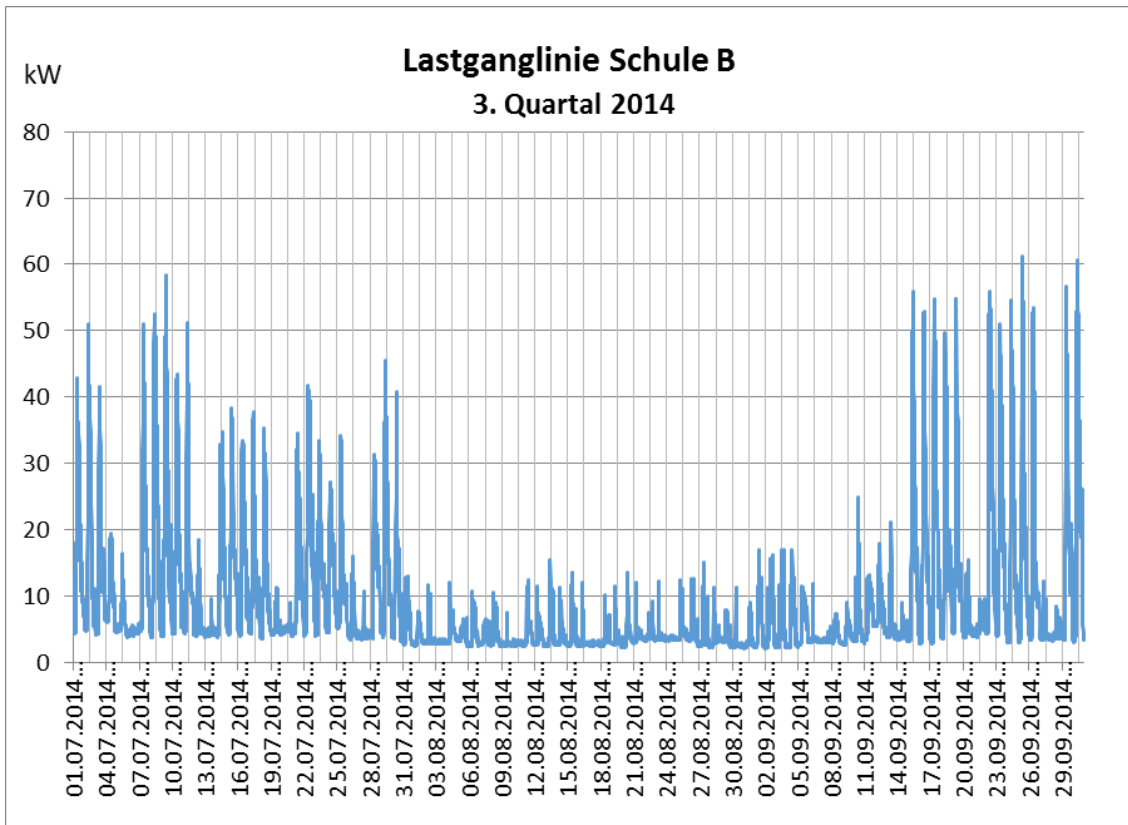


Abb. 6: Verlauf des Lastgangs Strom im 3. Quartal 2014

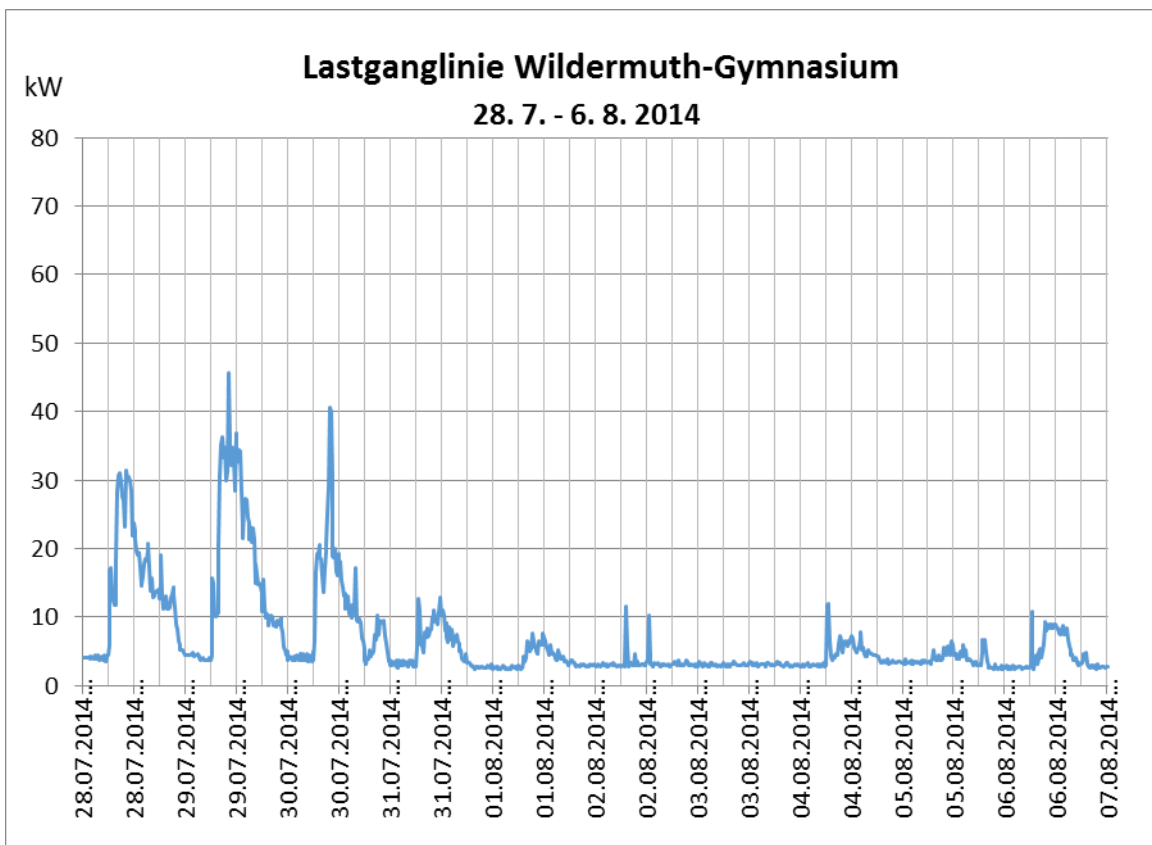


Abb. 7: Lastganglinie für Ende Juli/Anfang August 2014, Übergang von Schul- in Ferienbetrieb

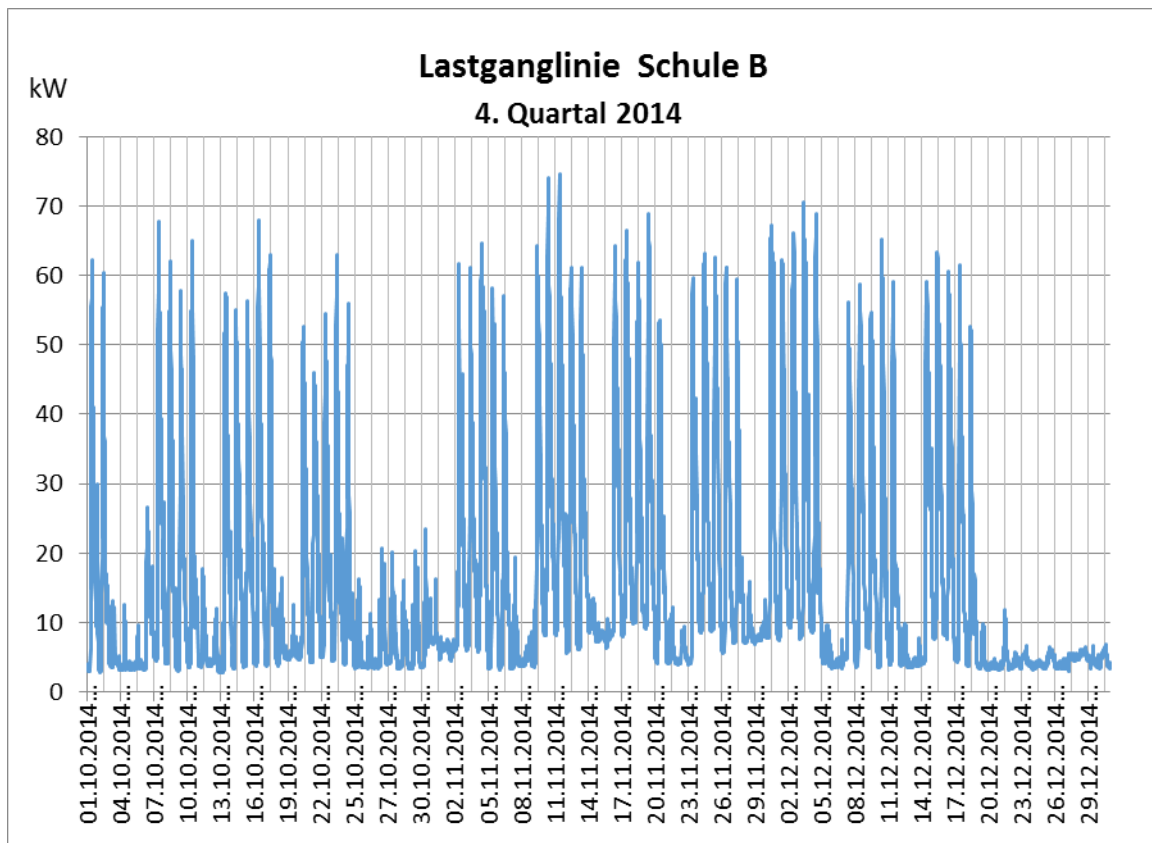


Abb. 8: Verlauf des Lastgangs Strom im 4. Quartal 2014

Lastspitzen und üblicher Verlauf

Es treten Lastspitzen von 35 bis 50 kW im Sommer, 60 bis 75 kW im Winter auf. Nachmittags liegen die Werte tiefer bei 30 kW im Sommer, 40 bis 50 kW im Winter.

Tab. 12: Leistungsbezug Schule B (Quelle: Auswertung der Daten des EVU)

Leistungsbezug in kW	Sommer	Winter
Maximum	35 – 50	60 – 75
Tageswert Werktag vormittags	40 – 50	65 – 75
Tageswert Werktag nachmittags	30	40 – 50
Durchschnitt in den Ferien	3 – 5	5 – 8
Sockelstrombezug nachts	3 – 5	5 – 8

Sockelstromverbrauch

Es ist ein Sockelstromverbrauch, d. h. ein ununterbrochen durchgehender Verbrauch von etwa 3 bis 5 kW im Sommer, 5 bis 8 kW im Winter zu verzeichnen, auch zu Nachtzeiten und am Wochenende liegt die Last in dieser Größenordnung. Dies führt per se zu einem Stromverbrauch von vorsichtig abgeschätzt 40.000 kWh im Jahr, umgerechnet ist das etwa ein Drittel des gesamten Stromverbrauchs, verbunden mit Kosten von gut 8.000 Euro.

Als Verursacher kommen Server und Switches, Pumpen, Regeltechnik und evtl. zentrale Dienste wie Telefon- und Sprechanlagen, Brand- und Einbruchmeldeanlagen in Frage. Evtl. hat der Aufzug Stand-by-Verluste.

Die Verursacher des Sockelstromverbrauchs sollten vorrangig identifiziert werden; nach Möglichkeit sind sie in der Leistung zu reduzieren oder ggf. zeitweilig abzuschalten.

Durch abwechselndes Ausschalten „verdächtiger“ Verbraucher kann versucht werden, die theoretische Analyse praktisch zu verifizieren. Anschließend sind ggf. investive Maßnahmen erforderlich.

Nachstehend sind mögliche Grundlastverursacher aufgeführt. Es sind dies beispielsweise Geräte der Informationstechnik, die durchgehend in Stand-by sind, Telefon- und Sprechanlagen, Einbruch- und Brandmeldeanlagen, die ohne Unterbrechung betrieben werden, Server und Switches, die durchlaufen, regeltechnische Anlagen u.a..

Beachtet werden muss, dass nie alle gleichzeitig in Betrieb sind, zudem können einige in mehreren Stufen betrieben werden (Pumpen, Lüftungsanlagen ...). Der dort errechnete Jahresstromverbrauch liegt mit 46 MWh zwar nahe bei den erwarteten rund 40 MWh Grundlaststromverbrauch, ist aber nicht deckungsgleich, da diese Geräte ja auch während der üblichen Schulnutzung in Betrieb sind, etwa ein Viertel des nachstehend gezeigten Verbrauchs ist daher der normalen Nutzung zuzurechnen.

Insgesamt ergibt sich ein für diese Fragestellung relevanter Leistungsbezug von gut 17 kW.

Einige Geräte können nicht abgeschaltet werden, wie Server, Fluchtwegebeleuchtung, Kühl- und Gefriergeräte oder die Abluft der Chemieschränke. Bei einigen ist unklar, ob sie nachts laufen, wie z.B. Geräte im Stand-by, die Abluftanlagen innenliegender Räume oder Umwälzpumpen.

Tab. 13: Mögliche Verursacher des Sockelstrombezugs (Quelle: Ortstermine; Abschätzung)

Geräte und Anlagen, die ggf. nachts durchlaufen	Anzahl	Betriebsdauer tägl.	Leistungsbezug je Gerät	Leistungsbezug Gerätegruppe	Strombedarf pro Gerät	Strombedarf Gerätegruppe (gerundet)
(geschätzte Werte)		[h]	[W]	[W]	[kWh/a]	[kWh/a]
Stand-by Verwaltung	60	12	5	300	31	1.840
Stand-by in Unterrichtsräumen	129	12	5	645	32	4.100
Telefon- u. Sprechanlage	2	24	200	400	1.752	3.504
Amok-Alarm	1	24	50	50	438	440
Brand- u. Einbruchmeldeanl.	2	24	200	400	1.752	3.504
Server	5	24	100	500	876	4.380
Schaltrelais / Switches	10	24	50	500	438	4.380
Fluchtwegebeleuchtung	30	24	5	150	24	720
Kühl-/Gefrierschränke	12	8	120	730		1.870
Getränke- u. Snackautomaten	5	8	600	2.000	1.752	5.840
Warmwasserspeicher	3			6.000		820
Lüftungsanlagen	4			1.310		5.620
Pumpen	10			4.100		9.200
Summe				17.085		46.218

Auswertung

Die Auswertung der lastbezogenen Kenndaten der Schule B (vergl. die nachfolgende Tabelle) in Relation zu den anderen Schulen aus der zitierten Lastganglinien-Untersuchung lässt sich folgendermaßen interpretieren:

In allen gebildeten Relationen zwischen Grundlast bzw. Spitzenlast und Fläche bzw. Zahl der SchülerInnen liegt diese Schule relativ niedrig.

Zurückzuführen ist dies u.a. auf

- eine Grundlast, die für eine Schule dieser Größe niedrig ist
- eine hohe Zahl an SchülerInnen
- eine hohe Personen-Dichte pro Fläche
- kürzlich durchgeführte Sanierungsschritte, u.a. auch an der Beleuchtung
- Flure mit Tageslicht (etwa die Hälfte der Flurfläche)
- Wärmeversorgung über ein Fernwärmenetz, daher wenige Heizpumpen
- wenige Lüftungsanlagen
- keine Vollküche oder Mensa, nur eine Cafeteria (benachbarte Mensa wird genutzt)
- nur zwei eher wenig genutzte PC-Räume
- als Gymnasium mit Musikzug Ausrichtung auf diesen Sektor mit wenig Technikbedarf
- Hausmeister hat ein Auge auf sein Gebäude und behebt Defekte zeitnah.

Die Nutzung der in einer benachbarten Schulen angesiedelten gemeinschaftlichen Mensa durch SchülerInnen und LehrerInnen von Schule B müsste korrekterweise anteilig in den Energieverbrauch der Schule mit eingerechnet werden.

Es ist festzuhalten, dass die Kennwerte in Relation zu anderen Schulen niedrig sind, obwohl die Turnhalle abends von Vereinen genutzt wird und Räume der Schule für ein städtisches Sommerferienprogramm zur Verfügung gestellt werden. Allerdings ist auch ein Teil des Sportunterrichts in eine auswärtige Halle ausgelagert.

Zudem werden im Rahmen der offenen Ganztageschule viele Kurse und AGs angeboten.

Dennoch verbleibt eine Grundlast von 3 bis 8 kW (im Mittel 5 kW), die bei vorsichtiger Hochrechnung ein Drittel des Gesamtstromverbrauchs verursacht.

Tab. 14: Relevante Eckdaten von Schule B

Schultyp	Nutz- fläche (BGF) [m ²]	Mittelwert Strom- bezug ü. 5 J. [kWh]	Zahl Schüler- Innen	Grundlast [kW] von bis		Spitzen- last [kW] bis
				3	8	
Gymnasium	10.259	125.158	1.201	3	8	75

Tab. 15: Abgeleitete Kenndaten auf Basis der Lastganglinien

Schule	Fläche /Schül. [m ² /P.]	Grundlast/ Schül. Max.Min. [W/Pers.]		Max. Grund- last/Fl. [W/m ²]	Max. Spitzenlast / Schül. /Fläche [W/Pers.] [W/m ²]		Strombezug / Schül. /Fläche [kWh/P.] [kWh/m ²]		VDI 3807 Richtwert ... Mittelwert [kWh/m ²]
		6,7	2,5		62	7,3	104	12,2	
B	8,5	6,7	2,5	0,8	62	7,3	104	12,2	8 ... 10
Grenz- werte	hoch > 20 tief < 10	hoch >20 tief < 10	hoch >15 tief < 5	hoch > 2 tief < 1	hoch > 150 tief < 100	hoch>15 tief < 8	hoch> 250 tief < 150	hoch > 25 tief < 15	

Empfehlungen

Als Auswertung mit Blickrichtung auf Schulen mit absehbar niedrigem Stromverbrauch lassen sich die folgenden Empfehlungen ableiten:

- Gute Ausnutzung der Flächen
- Eher größere Schulen (wobei hier die jeweiligen Randbedingungen bzgl. Größe und Struktur der Kommune vorrangig maßgeblich sein werden)
- Hoch effiziente Beleuchtung, nach Möglichkeit LED, insbesondere an Stellen mit längerer Brenndauer
- Beleuchtung über Bewegungsmelder und Helligkeitssensoren geregelt
- Tageslichtnutzung
- Fernwärmeversorgung
- Technische Ausstattung so hoch wie nötig, so niedrig wie möglich
- Effiziente Haustechnik
- Mensabetrieb konzentriert und effizient an einer Stelle
- Nutzersensibilisierung.

2.3 Schule C [Nr. 9, Kürzel DG]

Bei Schule C handelt es sich um ein Gymnasium, eine Realschule und eine 3-Feld-Sporthalle sowie eine Mensa, die an drei Tagen pro Woche durch einen Elternverein betrieben wird. In den letzten Jahren wurden zwei Erweiterungsgebäude für die Schulen erstellt. Die Realschule wurde aufgrund eines Brandschadens 2012 in Teilen saniert und erhielt u.a. eine neue Beleuchtung. Die Beleuchtung für Schulhof, Parkplatz und einen vorbei führenden Radweg, die ebenfalls über den Zähler der Schulen abgerechnet wird, wurde 2014 aufgrund eines Hagelschadens saniert und durch LED-Lampen ersetzt.

Der abgerechnete Stromverbrauch betrug im Mittel über die letzten 5 Jahre rd. 308 MWh im Jahr.

Tab. 16: Stromverbrauch Schulzentrum über die letzten Jahre (Datenquelle: Schulträger)

Stromverbrauchswerte Schulzentrum	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Mittel über die letzten 5 Jahre	Spezif. Stromverbr. kWh/m ²
Abgerechneter Stromverbrauch [MWh/a]	268	275	282	331	315	298	315	284	308,4	24,2

Die Bruttogeschossfläche (BGF) beträgt 12.760 m² (Gymnasium 6.520 + Realschule 3.767 + Sporthalle 2.473). Spätere Anbauten an die Realschule und das Gymnasium sind in den Flächenangaben enthalten und deren Ausstattung mit elektrischen Verbrauchern in den Verbrauchsangaben eingeschlossen.

Der errechnete Wert von 329 MWh liegt 7% über dem derzeitigen abgerechneten.

Tab. 17: Strombedarf Schule C - Hochrechnung (Datenquelle: Erhebung bei Ortsterminen, eigene Hochrechnung)

Zusammenfassung (gerundete Werte)	Bedarf Ist [kWh/a]	Bedarfsaufteilung [%]
Beleuchtung	88.990	27,0
Bürogeräte Verwaltung	11.070	3,4
Informationstechnik in Klassenräumen	24.500	7,4
Geräte Küchen + Hauswirtschaft	23.630	7,2
Diverse Maschinen	4.390	1,3
Warmwasser dezentral	22.550	6,8
Sonstige Geräte und Anlagen	39.000	11,8
Lüftungsanlagen	67.040	20,4
Pumpen	48.030	14,6
Summe	329.200	100,0

Nachfolgend wird die Aufteilung des hochgerechneten Strombedarfs des Schulzentrums im Überblick dargestellt. Das größte Verbrauchssegment ist die Beleuchtung, gefolgt von den Lüftungsanlagen, den Pumpen und den sonstigen Geräten und Anlagen.

Unter „Sonstige Geräten und Anlagen“ fallen beispielsweise Telefon- und Sprechanlagen,

Einbruch- und Brandmeldeanlagen, Server und Switches, Aufzüge, Regeltechnik, ggf. Kompressoren.

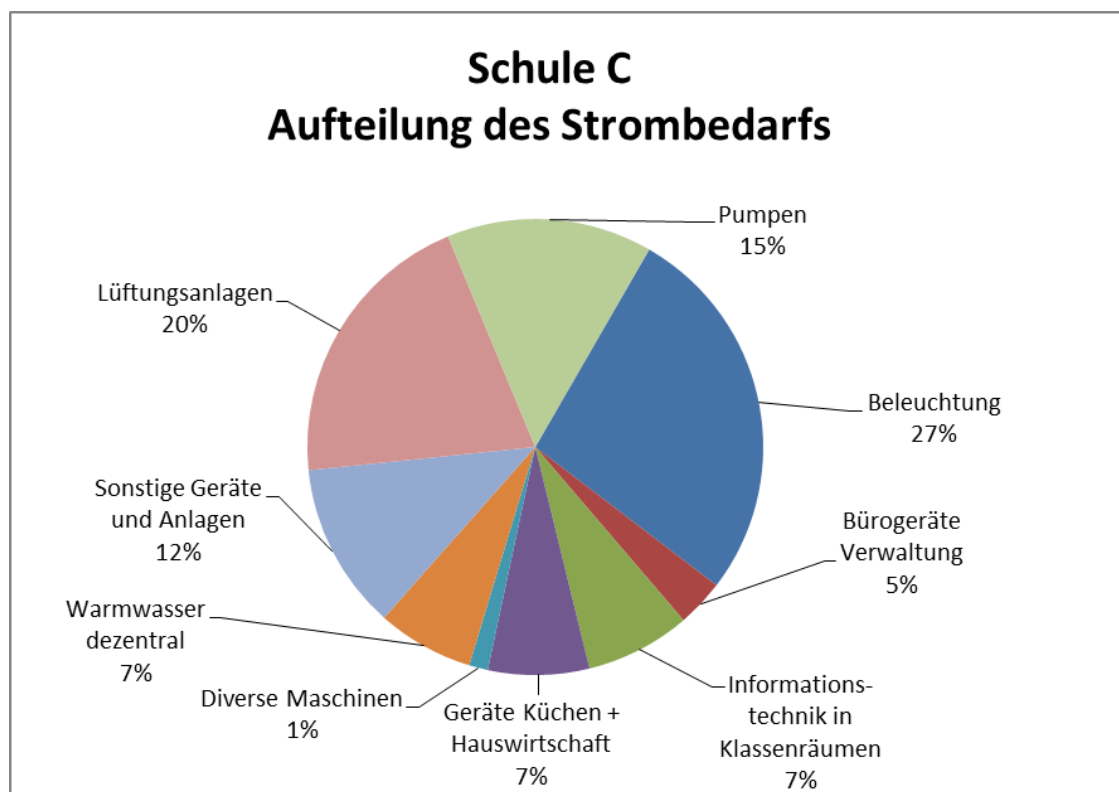


Abb. 9: Aufteilung des Strombedarfs auf die einzelnen Sektoren

Für die Schulen werden von Seiten des Energieversorgers die Lastverläufe des elektrischen Strombezugs im Viertelstundentakt aufgezeichnet. Es können Lastverläufe jährlich, monatlich, wöchentlich oder täglich ausgewiesen und analysiert werden. Da alle Gebäude über einen Zähler verrechnet werden, ist auch nur eine Lastganglinie verfügbar.

Nachstehend ist exemplarisch ein Monatsverlauf für den Dezember 2014 gezeigt. Drei Wochen lang ist normaler Schulbetrieb zu verzeichnen, danach sind Weihnachtsferien. Der höchste Jahreswert trat am 02.12. mit ca. 165 kW auf, in der Regel liegen die Spitzen bei 120 bis 160 kW im Winter, bei 60 bis 80 kW im Sommer.

Die Grundlast liegt bei etwa 12 bis 14 kW im Sommer, 22 bis 26 kW im Winter, im Mittel über das Jahr bei etwa 20 kW.

Die täglich auftretenden Lastanstiege um ca. 20 kW oberhalb des Sockelwerts in den Schulferien fallen auf, die Verursacher sollten ermittelt werden.

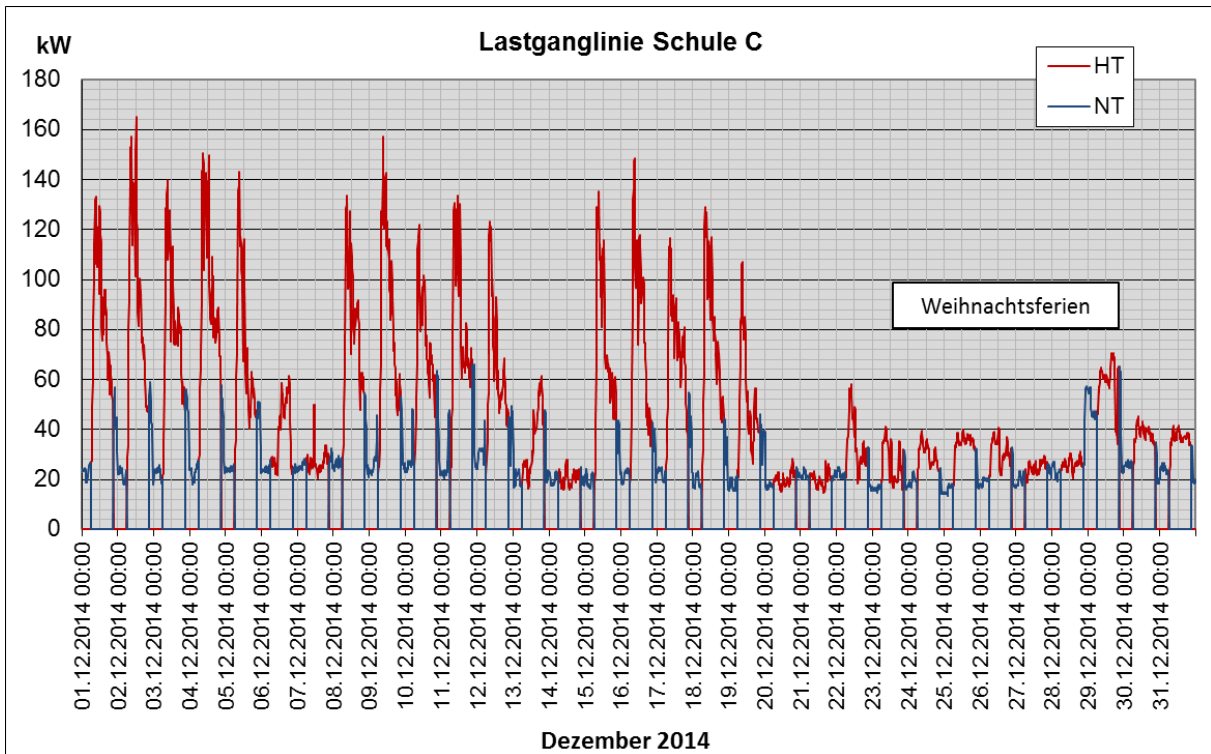


Abb. 10: Verlauf des Lastgangs Strom im Dezember 2014

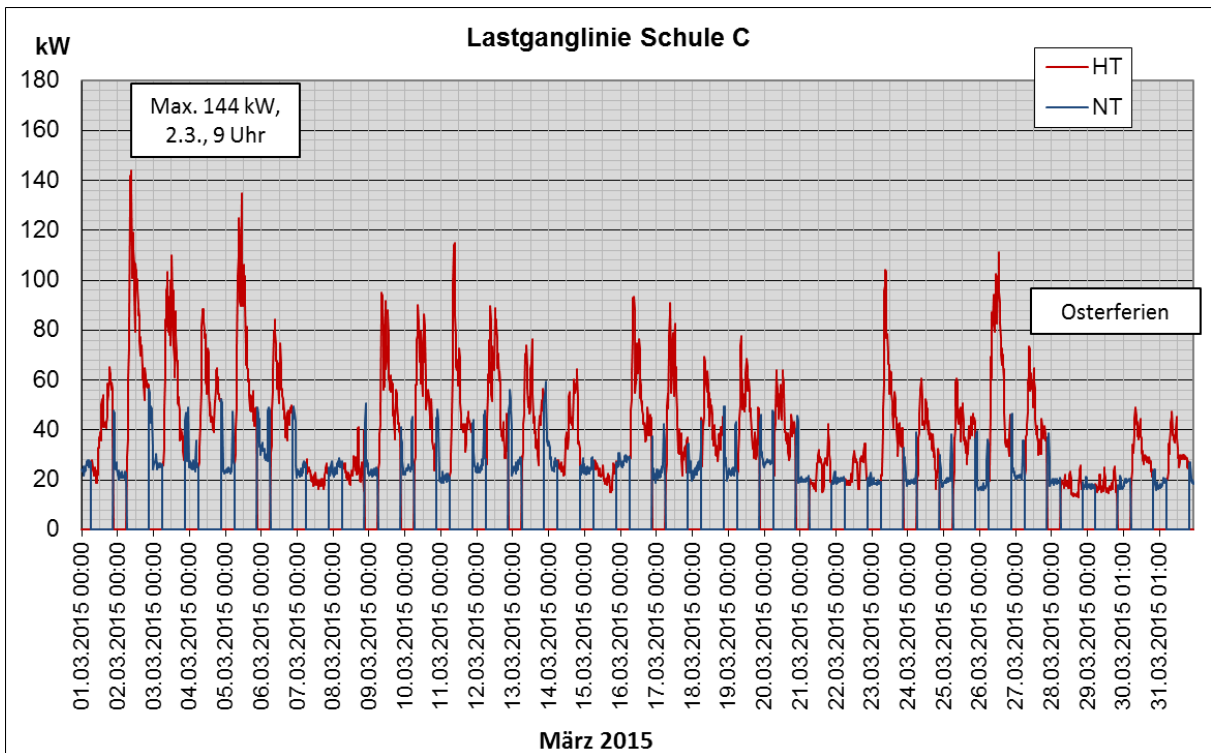


Abb. 11: Verlauf des Lastgangs Strom März 2015

Lastspitzen und üblicher Verlauf

Vormittags treten Lastspitzen von 105 bis 160 kW im Winter, von 60 bis 80 kW im Sommer auf, freitags ist die Spitze niedriger, u.a., da die Küche nur an drei Tagen pro Woche in Betrieb ist, am Freitag nicht.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Werte für die Lastspitzen und den Strombezug zu Grundlastzeiten:

Tab. 18: Leistungsbezug Schulzentrum auf dem Höhnisch (Quelle: Auswertung der Daten des Energieversorgers)

Leistungsbezug in kW	Sommer	Winter
Maximum	60 bis 80	105 bis 160
Tageswert Werktag vormittags	60 bis 80	110 bis 140
Tageswert Werktag nachmittags	30 bis 60	60 bis 100
Durchschnitt in den Ferien	12 - 16	22 - 26
Sockelstrombezug nachts	13	24

Im Vergleich zwischen den Lastganglinien vom Mai 2015 und Mai 2012 lässt sich feststellen, dass sich die Grundlast gegenüber seinerzeit etwa 10-12 kW eher erhöht hat, auf 12 – 16 kW.

Sockelstromverbrauch

Es ist ein Sockelstromverbrauch, d. h. ein ununterbrochen durchgehender Verbrauch von etwa 22 bis 26 kW in den Wintermonaten zu verzeichnen, in den Sommermonaten bei 12 bis 16 kW; auch zu Nachtzeiten, am Wochenende und in den Ferien liegt die Last in dieser Größenordnung. Dies führt per se zu einem Stromverbrauch von überschlägig gerechnet 130 MWh im Jahr, umgerechnet rund 40% des gesamten Stromverbrauchs.

Als Verursacher kommen Server und Switches, Pumpen, Lüftungsanlagen, Kühl- und Gefriergeräte, Regeltechnik und zentrale Dienste wie die Telefon- und Sprechanlagen, Brand- und Einbruchmeldeanlagen in Frage. Evtl. verbleiben PCs über Nacht in Betrieb.

Diesen Anteil des Stromverbrauchs zu reduzieren, dürfte die preisgünstigste, schnellste und wirksamste Einsparmaßnahme sein.

Die Verursacher des Sockelstromverbrauchs sollten vorrangig identifiziert werden; nach Möglichkeit sind sie in der Leistung zu reduzieren oder ggf. zeitweilig abzuschalten.

Durch abwechselndes Ausschalten „verdächtiger“ Verbraucher kann versucht werden, die theoretische Analyse praktisch zu verifizieren. Anschließend sind ggf. investive Maßnahmen erforderlich.

Nicht alle Anlagen können geschaltet werden, Server und Switches sind ganzjährig in Betrieb, die Anlagen für die zentralen Dienste ebenfalls, Kühl- und Gefriergeräte ebenso, die Fluchtwegebeleuchtung muss durchlaufen, ebenso die Abluft der Chemieschränke, wenn hier auch ein Betrieb auf niedrigerer Stufe denkbar ist.

In der folgenden Tabelle sind Geräte und Anlagen, die über Nacht und in den Ferien in Betrieb bleiben, mit ihren Leistungswerten (z. T. geschätzt) aufgelistet. Beachtet werden muss, dass nie alle gleichzeitig laufen, zudem können einige in mehreren Stufen betrieben werden.

Tab. 19: Mögliche Verursacher des Sockelstrombezugs (Quelle: Ortstermine; Abschätzung)

Geräte und Anlagen, die ggf. nachts und am Wochenende in Betrieb sind	Anzahl	Leistungsbezug Gerätegruppe [W]	Strombedarf Gerätegruppe [kWh/a]
Fluchtwegebeleuchtung	44	320	1.390
Stand-by Verwaltung	68	340	2.080
Stand-by Gruppen- und Übungsräume	213	1.070	6.770
Kühl- und Gefrierschränke	20	2.880	9.960
Elektr. Wassererwärmung	42	86.010	22.550
Telefon- u. Sprechanlagen, Brand- u. Einbruchmeldeanlagen	14	2.550	22.350
Server + Switches	33	1.380	12.090
Lüftungsanlagen Klassenräume	36	25.200	59.230
Lüftung Chemieschränke	4	1.600	8.360
Pumpen	25	9.290	48.060
Summe		130.600	192.800

Insgesamt ergibt sich ein für diese Fragestellung relevanter Leistungsbezug von ca. 130 kW, wobei vorrangig die elektrische Wassererwärmung zu Buche schlägt. Jedoch ist die Gleichzeitigkeit bei diesen Geräten nur gering, sie heizen nach, wenn die eingestellte Temperatur unterschritten wird. Die 5-l-Speicher werden daher eher tagsüber in Betrieb sein, wenn tatsächlich Wasser gezapft wird. Insofern ist diese Gruppe für den Grundlaststromverbrauch nur bedingt relevant.

Weitere für die Grundlast relevante Verbraucher, die tatsächlich durchlaufend Strom benötigen, sind Lüftungsanlagen, Pumpen, Server und Switches, Geräte im Stand-by. Kühl- und Gefriergeräte laufen auch nachts, aber im Intervall.

Um diesen Lastanteil zu reduzieren, sollten zeitnah Gespräche mit den Schulleitungen und den Hausmeistern sowie den ggf. beauftragten Firmen über mögliche regeltechnische Optimierungen stattfinden.

Auswertung

Die Auswertung der lastbezogenen Kenndaten der Schule C (vergl. die nachfolgende Tabelle) in Relation zu den anderen Schulen aus der zitierten Lastganglinien-Untersuchung lässt sich folgendermaßen interpretieren:

In einigen der gebildeten Relationen zwischen Grundlast bzw. Spitzenlast und Fläche bzw. Zahl der SchülerInnen liegt diese Schule relativ hoch (rot unterlegt), in einigen im Mittelfeld, in der Fläche pro SchülerIn relativ tief (grün unterlegt).

Zurückzuführen ist dies u.a. auf

- eine Grundlast von im Mittel etwa 20 kW (12 bis 14 kW im Sommer, 22 bis 26 kW im Winter), die nicht übermäßig hoch ist, sich aber im Gesamtstromverbrauch und in der Höhe der Kennwerte deutlich bemerkbar macht
- eine hohe Personen-Dichte pro Fläche

- eine hohe Grundlast pro SchülerIn
- Lüftungsanlagen für die Sporthalle sowie für die Gift- und Chemieschränke, die lange in Betrieb sind
- Beleuchtung teilweise noch aus der Bauzeit
- Beleuchtungsstromanteil mit 27% eher niedrig, vermutlich aufgrund der vielen vorhandenen Oberlichter und aufgrund der Sanierungen von Realschule und Parkplatz
- Mensabetrieb
- einige PCs für SchülerInnen laufen durch
- aus diesen Gründen hoher Strombezug pro Fläche ebenso wie pro SchülerIn
- Hausmeister haben ein Auge auf ihre Gebäude, das reduziert den Verbrauch.

Tab. 20: Relevante Eckdaten von Schule C

Schultyp	Nutzfläche (BGF) [m²]	Mittelwert Strombezug ü. 5 J. [kWh]	Zahl SchülerInnen	Zahl Klassen	Grundlast [kW] von bis		Spitzenlast [kW]
Realschule u. Gymnasium	12.760	308.423	1.230	51	12	26	160

Tab. 21: Abgeleitete Kenndaten auf Basis der Lastganglinien

Schule	Fläche /Schül. [m²/P.]	Grundlast/ Schül. Max.Min. [W/Pers.]		Max. Grundlast/Fl. [W/m²]	Max. Spitzenlast / Schül. /Fläche [W/Pers.] [W/m²]		Strombezug / Schül. /Fläche [kWh/P.] [kWh/m²]		VDI 3807 Richtwert ... Mittelwert [kWh/m²]
C	10,4	21,1	9,8	2,0	130	12,5	251	24,2	7 ... 10
Grenzwerte	hoch > 20 tief < 10	hoch >20 tief < 10	hoch >15 tief < 5	hoch > 2 tief < 1	hoch > 150 tief < 100	hoch>15 tief < 8	hoch> 250 tief < 150	hoch > 25 tief < 15	

Empfehlungen

Als Auswertung mit Blickrichtung auf Schulen mit absehbar niedrigem Stromverbrauch lassen sich die folgenden Punkte ableiten:

- Grundlast in die Planungen einbeziehen und minimieren
- Spezielle Anforderungen an Geräte und Anlagen stellen, die grundlastrelevant sein können, niedriger Verbrauch in Betrieb und während Nutzungspausen auch z.B. für Telefon-, Alarm- und Brandmeldeanlage, dito für Switches, Regeleinheiten etc.
- Gute Ausnutzung der Flächen
- Eher größere Schulen (wobei hier die jeweiligen Randbedingungen bzgl. Größe und Struktur der Kommune vorrangig maßgeblich sein werden)
- Tageslichtnutzung
- Hoch effiziente Beleuchtung, möglichst LED, insbesondere an Stellen mit längerer Brenndauer
- Beleuchtung über Bewegungsmelder und Helligkeitssensoren geregelt

- Regeltechnische Optimierung der Haustechnik
- Effiziente Haustechnik
- Technische Ausstattung so hoch wie nötig, so niedrig wie möglich
- Elektrische Erwärmung des Wassers kritisch hinterfragen, ggf. Durchlauferhitzer statt Speicher installieren
- Nutzersensibilisierung.

2.4 Schule D [Nr. 15, Kürzel HK]

Bei dieser Schule sind eine Grund- und eine Realschule sowie eine 3-Feld-Sporthalle mit Gymnastikhalle an einem Standort vorhanden. Der Stromverbrauch in Schule D ist in der Zeit von 2010 bis 2014 von 94 MWh auf 81 MWh im Jahr 2012 zurückgegangen und seitdem wieder auf 93 MWh angestiegen, Gründe hierfür sind nicht bekannt. Er betrug im Mittel über die letzten 5 Jahre rd. 90 MWh im Jahr.

Die Bruttogeschossfläche (BGF) beträgt ca. 7.076 m².

Der spezifische Stromverbrauch pro BGF betrug im Mittel der letzten 5 Jahre 12,8 kWh/m². Die Schule wurde im Schuljahr 2014/2015 von 255 Schülerinnen und Schülern in 13 Klassen besucht, davon 162 in der Grundschule, 93 in der Realschule.

Tab. 22: Stromverbrauch Schule D

	2010	2011	2012	2013	2014	Mittelwert ü. 5 Jahre
Stromverbrauch [kWh/a]	94.038	90.558	81.634	91.883	93.305	90.284

Der Stromverbrauch der Schule verteilt sich wie nachfolgend gezeigt, auf die einzelnen Anwendungsbereiche; die Beleuchtung hat den höchsten Verbrauchsanteil, die Informationstechnik, die Pumpen und die Lüftungsanlagen sind wesentliche Verbrauchssegmente.

Tab. 23: Strombedarf Schule D - Hochrechnung
(Datenquelle: Erhebung bei Ortsterminen, eigene Hochrechnung)

Zusammenfassung (gerundete Werte)	Verbrauch Ist	Verbrauchs- aufteilung
	[kWh/a]	[%]
Beleuchtung	37.590	39,2
Bürogeräte Verwaltung + Lehrerzimmer	2.850	3,0
Informationstechnik in Unterrichtsräumen	16.100	16,8
Geräte Küchen + Hauswirtschaft	2.780	2,9
Warmwasser dezentral	4.380	4,6
Diverse Maschinen in Unterrichtsräumen	410	0,4
Sonstige Geräte und Anlagen	5.910	6,2
Lüftungsanlagen	10.230	10,7
Pumpen	15.700	16,4
Summe	95.950	100,0

Die Hochrechnung liegt mit 96 MWh etwa 5% über dem 5-jährigen Mittel.

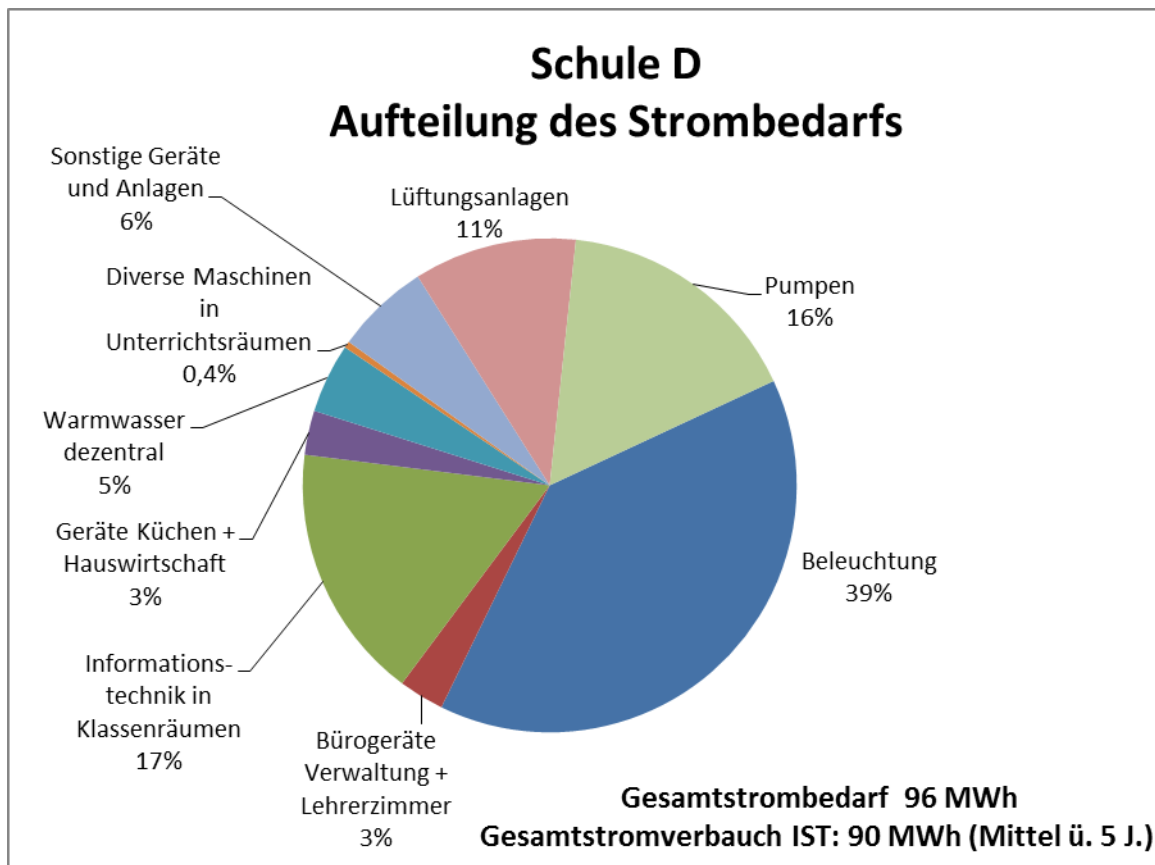


Abb. 12: Aufteilung des Stromverbrauchs auf die einzelnen Sektoren

Das weitaus größte Verbrauchssegment ist die Beleuchtung, gefolgt von den Pumpen, der Informationstechnik in Klassenräumen und den Lüftungsanlagen.

Für die Schule wird von Seiten des Energieversorgungsunternehmens der Verlauf des elektrischen Strombezugs im Viertelstundentakt aufgezeichnet. Nachstehend sind exemplarisch die Verläufe für das 3. und 4. Quartal 2014 sowie ein Auszug gezeigt.

Während der Schulzeit im Sommer beträgt der elektrische Leistungsbezug im Maximum etwa 35 kW, die Grundlast liegt meist bei 1,5 bis 3 kW.

Der Vergleich zwischen 2011 und 2014 zeigt, dass die Grundlast über weite Strecken gleich geblieben ist. In den Schulferien 2014 wurden Teile des Schulzentrums genutzt, vermutlich die Sporthalle. Die Last am Tag ist 2014 gegenüber 2011 eher geringer geworden, was jedoch der PV-Anlage zuzuschreiben sein dürfte.

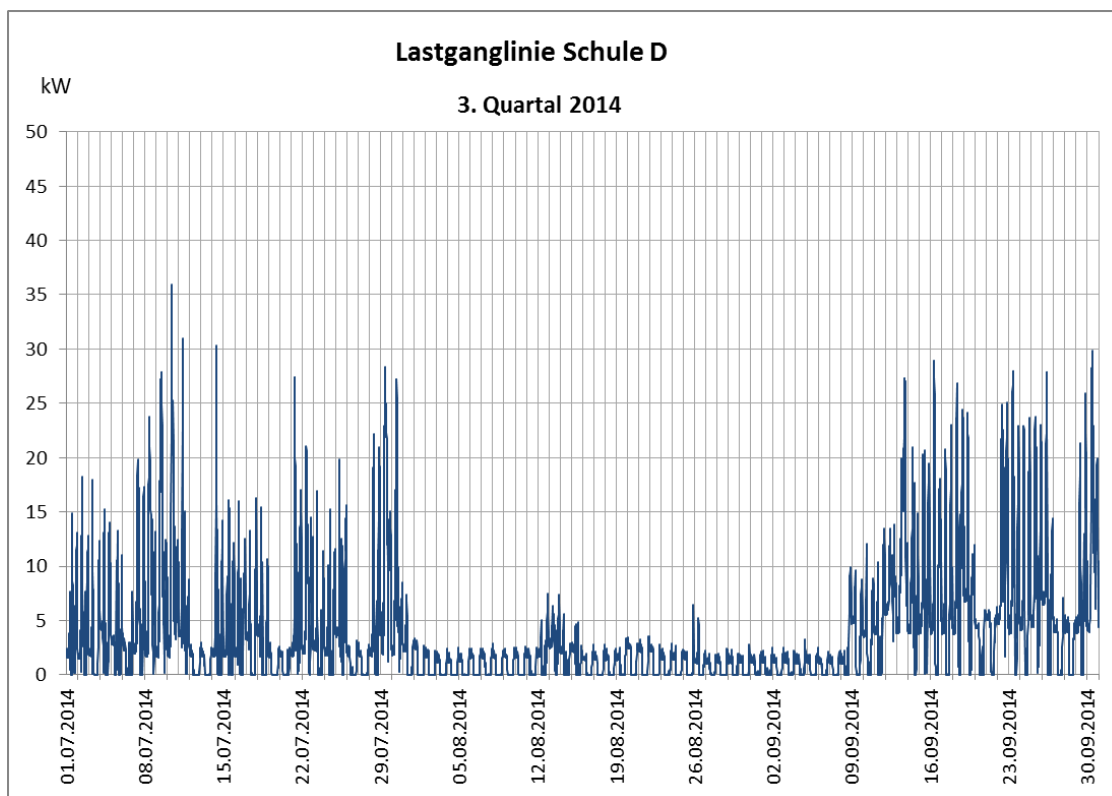


Abb. 13: Verlauf des Lastgangs Strom im 3. Quartal 2014

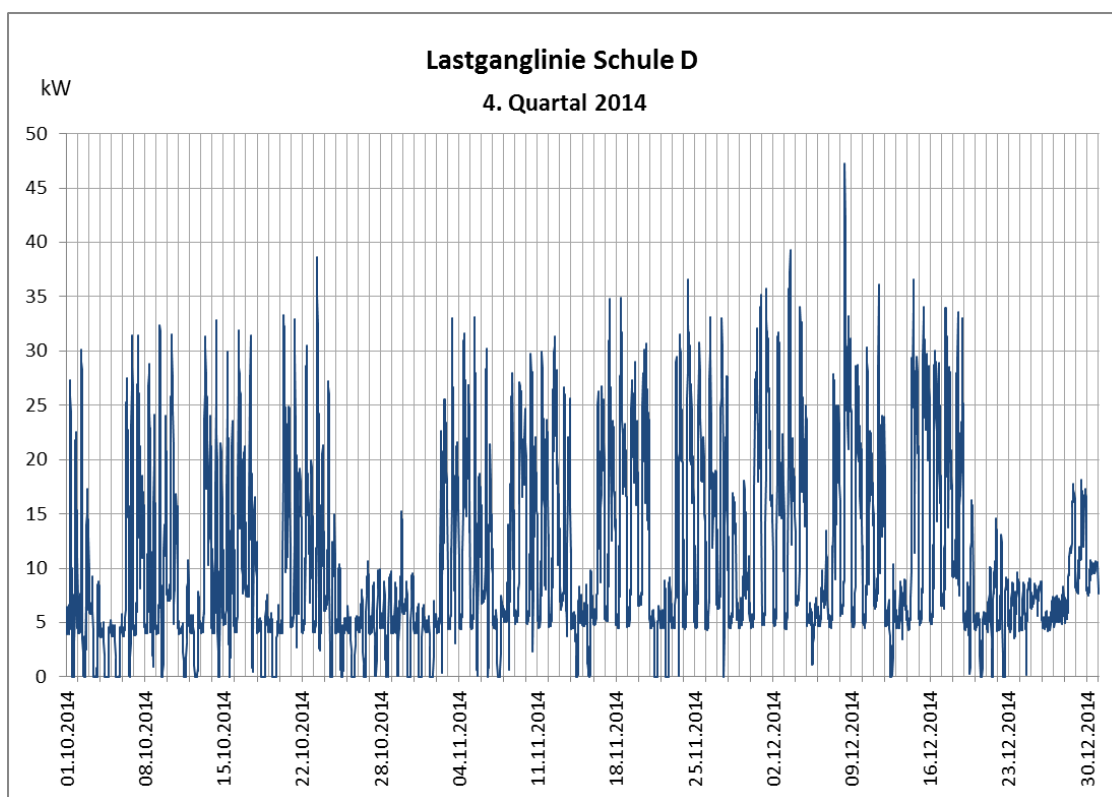


Abb. 14: Verlauf des Lastgangs Strom im 4. Quartal 2014

Die Nullwerte liegen um die Mittagszeit und entstehen durch eine Photovoltaikanlage auf der Sporthalle, die seit 2013 in Betrieb ist. Deutlich sichtbar ist dies in der nachfolgenden Abbildung.

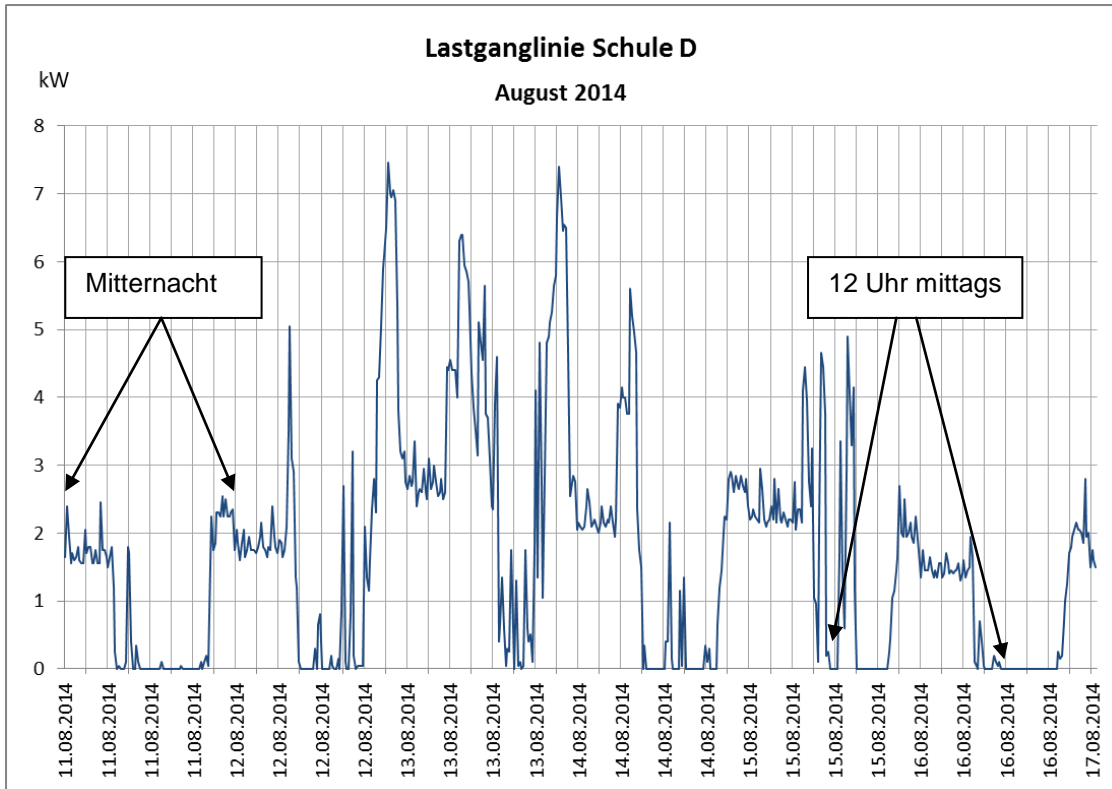


Abb. 15: Lastganglinie für einige Tage Mitte August 2014

Lastspitzen und üblicher Verlauf

Es treten Lastspitzen von 15 bis 30 kW im Sommer, 30 bis 40 kW im Winter auf, vereinzelt bis 48 kW.

Nachmittags liegen die Werte tiefer bei 6 bis 8 kW im Sommer, 20 bis 30 kW im Winter.

Tab. 24: Leistungsbezug Nachbarschaftsschule (Quelle: Auswertung der Daten des EVU)

Leistungsbezug in kW	Sommer	Winter
Maximum	35	48
Tageswert Werktag vormittags	15 bis 30	30 bis 40
Tageswert Werktag nachmittags	6 bis 8	20 bis 30
Durchschnitt in den Ferien	1,5 - 3	5 - 8
Sockelstrombezug nachts	1,5 - 3	5 - 8

Sockelstromverbrauch

Es ist ein Sockelstromverbrauch, d. h. ein ununterbrochen durchgehender Verbrauch von etwa 1,5 bis 3 kW im Sommer, 5 bis 8 kW im Winter zu verzeichnen, auch zu Nachtzeiten und am Wochenende liegt die Last in dieser Größenordnung. Dies führt per se zu einem Stromverbrauch von etwa 30.000 kWh im Jahr, umgerechnet ist das nahezu ein Drittel des gesamten Stromverbrauchs, verbunden mit Kosten von über 6.000 Euro.

Als Verursacher kommen die Warmwasserspeicher, Server und Switches, Pumpen, Regeltechnik und zentrale Dienste wie die Telefonanlagen in Frage. Auch die Lüftungsanlagen sind evtl. länger in Betrieb als notwendig. PCs und Monitore laufen gelegentlich durch.

Die Verursacher des Sockelstromverbrauchs sollten vorrangig identifiziert werden; nach Möglichkeit sind sie in der Leistung zu reduzieren oder ggf. zeitweilig abzuschalten. Durch abwechselndes Ausschalten „verdächtiger“ Verbraucher kann versucht werden, die theoretische Analyse praktisch zu verifizieren. Es sollten Gespräche mit der Schulleitung und dem Hausmeister sowie den zuständigen Personen bei der Stadtverwaltung über mögliche regeltechnische Optimierungen stattfinden. Anschließend sind ggf. investive Maßnahmen erforderlich.

In der nachstehenden Tabelle sind Geräte und Anlagen, die über Nacht in Betrieb bleiben, mit ihren Leistungswerten (z. T. geschätzt) aufgelistet. Beachtet werden muss, dass nie alle gleichzeitig in Betrieb sind, zudem können einige in mehreren Stufen betrieben werden. Der dort errechnete Jahresstromverbrauch liegt fast beim 1,5-fachen des erwarteten Grundlaststromverbrauchs von rund 30 MWh, der sich außerhalb der Nutzungszeiten ergibt.

Insgesamt ergibt sich ein für diese Fragestellung relevanter Leistungsbezug von etwa 43 kW, der allergrößte Teil durch die Warmwasserspeicher, wobei diese nachts immer nur kurz und nie gleichzeitig Leistungsbezug aufweisen. Einige Geräte können nicht abgeschaltet werden, wie Server und Switches, Kühl- und Gefriergeräte oder die Anlagen für die zentralen Dienste. Bei einigen ist unklar, ob sie nachts laufen, wie z.B. Geräte im Stand-by, Abluftanlagen oder Umwälzpumpen.

Tab. 25: Mögliche Verursacher des Sockelstrombezugs (Quelle: Ortstermine; Abschätzung)

Geräte und Anlagen, die ggf. nachts durchlaufen	Anzahl	Betriebsdauer tägl.	Leistungsbezug je Gerät	Leistungsbezug Gerätegruppe	Strombedarf pro Gerät	Strombedarf Gerätegruppe (gerundet)
(geschätzte Werte)		[h]	[W]	[W]	[kWh/a]	[kWh/a]
Stand-by Verwaltung	24	10	10	240	57	1.360
Stand-by Unterricht	69	10	10	690	57	3.920
Telefonanlagen	2	24	100	200	876	1.750
Server	2	24	100	200	876	1.750
Schaltrelais / Switches	4	24	50	200	438	1.750
WLAN / Modem	4	24	10	40	88	350
Zu-/Abluft Umkleideräume	2			2.250	4.500	4.500
Kühl-/Gefrierschränke	5	8	85	425	248	1.240
Warmwasserspeicher	14			28.000		4.380
Lüftungsanlagen	7			5.240		10.230
Pumpen	23			5.490		15.700
Summe				42.975		46.930

Auswertung

Die Auswertung der lastbezogenen Kenndaten der Schule D (vergl. die nachfolgende Tabelle) in Relation zu den anderen Schulen aus der zitierten Lastganglinien-Untersuchung lässt sich folgendermaßen interpretieren:

In einigen der gebildeten Relationen zwischen Grundlast bzw. Spitzenlast und Fläche bzw. Zahl der SchülerInnen liegt diese Schule relativ hoch.

Zurückzuführen ist dies u.a. auf

- eine Grundlast, die für eine Schule dieser Größe hoch ist
- eine niedrige Zahl an SchülerInnen
- eine niedrige Personen-Dichte pro Fläche
- aus diesen Gründen ein niedriger Strombezug pro Fläche, ein hoher pro SchülerIn
- Lüftungsanlagen für die Sporthalle, die lange in Betrieb sind
- PCs für SchülerInnen laufen durch
- Beleuchtung noch aus der Bauzeit
- keine Vollküche oder Mensa
- eher wenig Technikausstattung, daher auch niedrige spezifische Spitzenlast
- Hausmeister hat ein Auge auf sein Gebäude.

Tab. 26: Relevante Eckdaten von Schule D

Schultyp	Nutzfläche (BGF) [m ²]	Mittelwert Strombezug ü. 5 J. [kWh]	Zahl SchülerInnen	Zahl Klassen	Grundlast [kW] von bis		Spitzenlast [kW] ... bis
Grund- und Realschule	7.076	90.174	255	13	4	8	52

Tab. 27: Abgeleitete Kenndaten auf Basis der Lastganglinien

Schule	Fläche /Schül. [m ² /P.]	Grundlast/ Schül. Max.Min. [W/Pers.]		Max. Grundlast/Fl. [W/m ²]	Max. Spitzenlast / Schül. /Fläche [W/Pers.] [W/m ²]		Strombezug / Schül. /Fläche [kWh/P.] [kWh/m ²]		VDI 3807 Richtwert ... Mittelwert [kWh/m ²]
D	27,7	31,4	15,7	1,1	204	7,3	354	12,7	7 ... 11
Grenzwerte	hoch > 20 tief < 10	hoch >20 tief < 10	hoch >15 tief < 5	hoch > 2 tief < 1	hoch > 150 tief < 100	hoch>15 tief < 8	hoch> 250 tief < 150	hoch > 25 tief < 15	

Empfehlungen

Als Auswertung mit Blickrichtung auf Schulen mit absehbar niedrigem Stromverbrauch lassen sich die folgenden Punkte ableiten:

- Grundlast in die Planungen einbeziehen und minimieren
- Spezielle Anforderungen an Geräte und Anlagen stellen, die grundlastrelevant sein können, niedriger Verbrauch während Nutzungspausen auch z.B. für Telefon-, Alarm- und Brandmeldeanlage, dito für Switches, Regeleinheiten etc.
- Gute Ausnutzung der Flächen

- Eher größere Schulen (wobei hier die jeweiligen Randbedingungen bzgl. Größe und Struktur der Kommune vorrangig maßgeblich sein werden)
- Hoch effiziente Beleuchtung, möglichst LED, insbesondere an Stellen mit längerer Brenndauer
- Beleuchtung über Bewegungsmelder und Helligkeitssensoren geregelt
- Tageslichtnutzung
- Regeltechnische Optimierung der Haustechnik
- Technische Ausstattung so hoch wie nötig, so niedrig wie möglich
- Effiziente Haustechnik
- Elektrische Erwärmung des Wassers kritisch hinterfragen, ggf. Durchlauferhitzer statt Speicher installieren
- Nutzersensibilisierung.

2.5 Schule E [Nr. 19, Kürzel LM]

Schule E, ein Gymnasium, verfügt sowohl über eine Sporthalle und eine Gymnastikhalle als auch über eine Mensa, die durch einen Caterer betrieben wird und neben der Schule weitere städtische Gebäude mit Essen versorgt. Die Beleuchtung für die Gymnastikhalle wurde kürzlich saniert (LED). Der Stromverbrauch betrug im Mittel über die letzten 5 Jahre rd. 223 MWh im Jahr, mit einem eher hohen Wert von 230 MWh im Jahr 2010 und einem eher tiefen Wert von 214 MWh im Jahr 2012. Die Abweichung nach unten könnte durch die Umbauphase der Mensa 2012 begründet sein.

Die Bruttogeschossfläche (BGF) beträgt 9.243 m². Der spezifische Stromverbrauch pro BGF betrug im Mittel 24,1 kWh/m². Wird der Stromverbrauch der Mensaküche (ca. 68 MWh) herausgerechnet, verbleibt ein spezifischer Wert von 16,8 kWh/m². Die VDI 3807 gibt für Gymnasien einen Richtwert von jährlich 8 kWh/m² und einen Mittelwert von 10 kWh/m² an, jeweils bezogen auf die BGF.

Die Schule wird von rund 485 Schülerinnen und Schülern besucht.

Tab. 28: Stromverbrauch Schule E (Daten Stadtverwaltung)

	2010	2011	2012	2013	2014	Mittelwert ü. 5 Jahre
Stromverbrauch [kWh/a]	230.316	227.545	214.118	219.205	223.036	222.844

Nachfolgend wird der Stromverbrauch der Schule im Überblick dargestellt. Das größte Verbrauchssegment ist die Beleuchtung, dicht gefolgt von der Küche – hier wäre ein Teil des Verbrauchs auch dem Catering für andere Objekte zuzurechnen. Die diversen Lüftungsanlagen für Küche und Mensa, für die Sport- und die Gymnastikhalle sowie für den naturwissenschaftlichen Bereich und die Digestorien sind die nächstgrößere Verbrauchsgruppe. Die Wassererwärmung erfolgt in diesem Objekt im Wesentlichen über die Heizzentrale. Auch die Informationstechnik in Unterrichtsräumen hat einen nennenswerten Anteil am Gesamtstromverbrauch.

Tab. 29: Strombedarf Schule E - Hochrechnung
(Datenquelle: Erhebung bei Ortsterminen, eigene Hochrechnung)

Zusammenfassung (gerundete Werte)	Bedarf Ist [kWh/a]	Bedarfs- aufteilung [%]
Beleuchtung	71.720	32,1
Bürogeräte Verwaltung +Lehrerzimmer + Hausmeister + Lehrmittelr.	7.840	3,5
Informationstechnik + Unterhaltungselektronik in Unterrichtsräumen	22.580	10,1
Geräte Mensaküche, Service LehrerInnen, Hauswirtschaft	68.100	30,5
Diverse Maschinen in Unterrichtsräumen	1.220	0,5
Warmwasser dezentral	550	0,2
Sonstige Geräte und Anlagen	11.020	4,9
Lüftungsanlagen	32.410	14,5
Pumpen	7.760	3,5
Summe	223.200	100,0

Die Hochrechnung liegt mit 223 MWh genau beim 5-jährigen Mittel von 223 MWh.

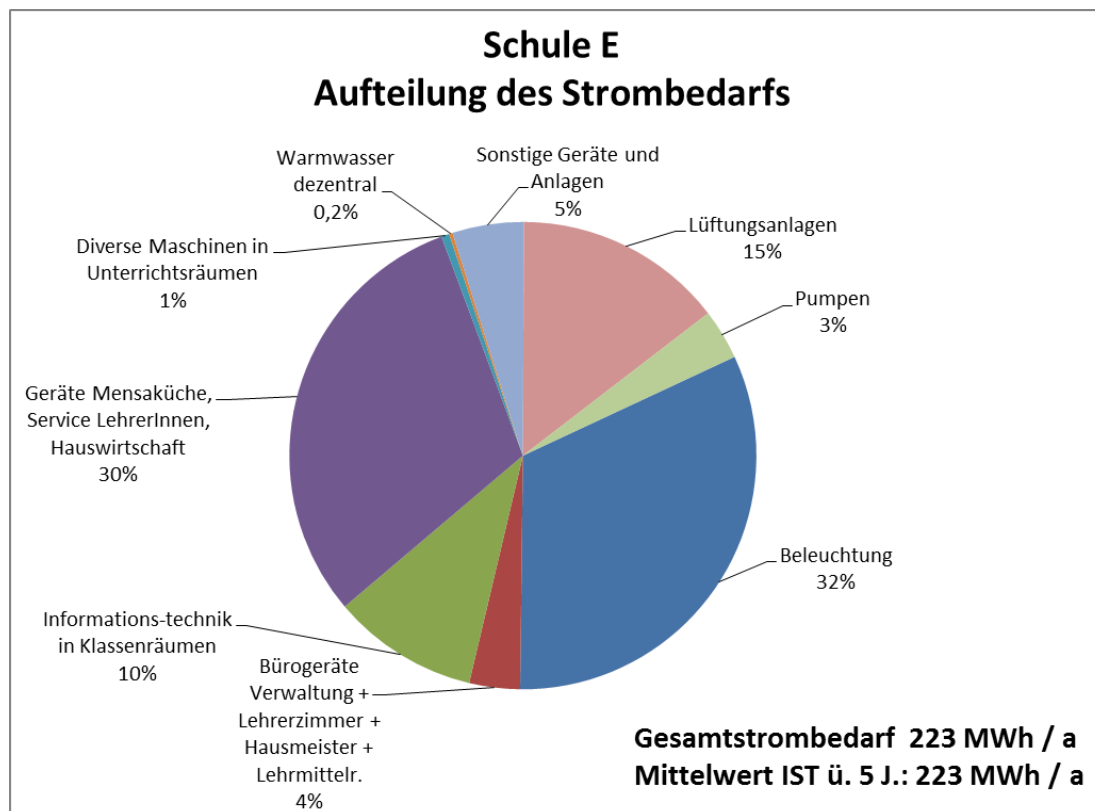


Abb. 16: Aufteilung des Stromverbrauchs auf die einzelnen Sektoren

Der nachfolgende Lastgang vom Januar 2015 zeigt die durchlaufende Grundlast sowie die Tagesspitzen, die in erheblichem Umfang von den Geräten der Mensa verursacht sind. Der Verlauf und die absolute Höhe hat sich gegenüber 2011 nicht verändert.

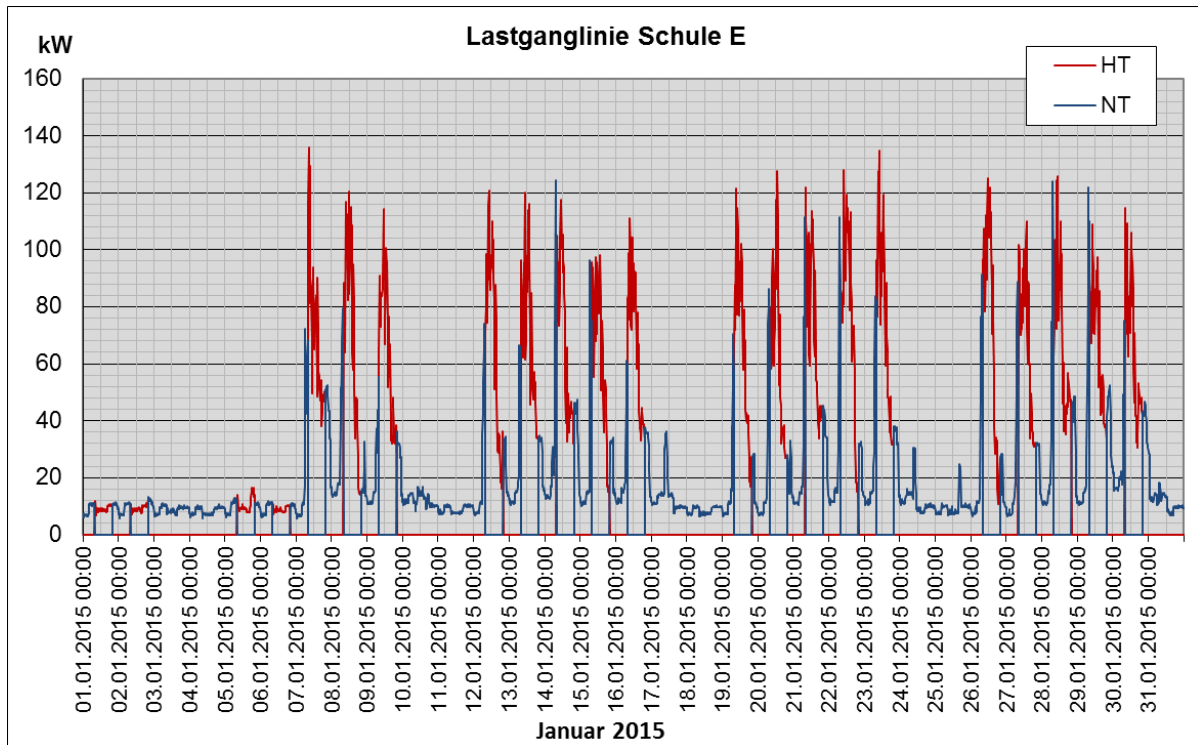


Abb. 17: Verlauf des Lastgangs Strom - Januar 2015

Nachfolgend sind die Leistungswerte zusammen gestellt, wie sie sich aus den Lastganglinien ergeben.

Tab. 30: Leistungsbezug Schule E (Quelle: Auswertung der Daten des EVU)

Leistungsbezug in kW	Sommer	Winter
Maximum	80 bis 100	100 bis 140
Tageswert Werktag vormittags	60 bis 100	80 bis 140
Tageswert Werktag nachmittags	40 bis 80	40 bis 80
Durchschnitt in den Ferien	8 bis 10	8 bis 10
Sockelstrombezug nachts	8 bis 10	8 bis 10

Nachstehend sind die möglichen Grundlastverursacher aufgeführt. Der dort errechnete Jahresstromverbrauch liegt zwar nahe bei den erwarteten 50 bis 60 MWh Grundlaststromverbrauch, ist aber nicht deckungsgleich, da diese Geräte ja auch während der üblichen Schulnutzung in Betrieb sind. Etwa ein Viertel ist der normalen Nutzung zuzurechnen.

Tab. 31: Mögliche Verursacher des Sockelstrombezugs von Schule E (Quelle: Ortstermine; Abschätzung)

Geräte und Anlagen, die nachts durchlaufen	Anzahl	Betriebsdauer tägl.	Leistungsbezug je Gerät	Leistungsbezug Gerätegruppe	Strombedarf pro Gerät	Strombedarf Gerätegruppe (gerundet)
(geschätzte Werte)		[h]	[W]	[W]	[kWh/a]	[kWh/a]
Stand-by Verwaltung	39	8	10	390	70	2.730
Stand-by Unterricht	68	8	10	680	72	4.870
Telefon- und Sprechanlagen	2	24	200	400	1.752	3.500
Brandmeldeanlage	1	24	250	250	2.190	2.190
Server	4	24	100	400	876	3.500
Schaltrelais / Switches	12	24	25	300	219	2.630
WLAN / Modem	5	24	20	100	175	880
Aquarien	4	24	50	200	240	960
Fluchtwegebeleuchtung	6	24	5	30	24	140
Kühl-/Gefriergeräte	4	16	205	375	599	1.090
Kühlraum *	2	8	400	800	1.168	2.340
Tiefkühlraum *	1	8	600	600	1.752	1.750
Lüftungsanlagen	9			11.950		32.410
Pumpen	14			2.155		7.755
Summe				18.630		66.745

Auswertung

Die Auswertung der lastbezogenen Kenndaten der Schule E (vergl. die nachfolgende Tabelle) in Relation zu den anderen Schulen aus der zitierten Lastganglinien-Untersuchung lässt sich folgendermaßen interpretieren:

In allen gebildeten Relationen zwischen Grundlast bzw. Spitzenlast und Fläche bzw. Zahl der SchülerInnen liegt diese Schule relativ hoch.

Zurückzuführen ist dies u.a. auf

- eine Grundlast, die für eine Schule dieser Größe hoch ist
- eine niedrige Zahl an SchülerInnen
- eine niedrige Personen-Dichte pro Fläche
- große Lüftungsanlagen vom Baujahr 1980
- eine Mensaküche, die andere Einrichtungen mit versorgt
- lange Laufzeiten der PCs für die SchülerInnen
- Hausmeister hat ein Auge auf sein Gebäude und optimiert Betriebszeiten der Anlagen.

Die Mensanutzung durch SchülerInnen und LehrerInnen müsste korrekterweise nur anteilig in den Energieverbrauch der Schule mit eingerechnet, die Versorgung anderer Einrichtungen sowie das Catering für Veranstaltung herausgerechnet werden.

Es verbleibt eine Grundlast von 8 bis 10 kW, die rund 60 MWh und damit gut ein Viertel des Gesamtstromverbrauchs verursacht.

In den folgenden Tabelle sind die Eckdaten von Schule E aufgeführt sowie relative Kennwerte bezogen auf die Zahl der SchülerInnen oder auf die BGF gebildet. Rot hinterlegt sind jene Felder, deren Werte im Verhältnis zu den anderen Schulen aus der Studie „Lastganganalyse von Schulen“ [LGL Schulen] hoch sind. Die Wertespanne aus dem Vergleich mit den anderen Schulen ist im Fuß der Tabelle genannt. Besonders hoch liegt die Spitzenlast pro SchülerIn, was der Mensaküche geschuldet sein dürfte, sowie der Strombezug pro

SchülerIn, ebenfalls zum Teil aufgrund der Küche (etwa 30% des Gesamtwertes). Jedoch verbleibt auch nach Abzug der Küchennutzung ein Strombezug pro SchülerIn, der mit rd. 300 kWh/Pers. hoch ist.

Tab. 32: Relevante Eckdaten von Schule E

Schultyp	Nutzfläche (BGF) [m ²]	Mittelwert Strombezug ü. 5 J. [kWh]	Zahl SchülerInnen	Zahl Klassen	Grundlast [kW] von bis		Spitzenlast [kW]
Gymnasium	9.243	222.844	485	25	8	10	140

Tab. 33: Abgeleitete Kenndaten auf Basis der Lastganglinien

Schule	Fläche /Schül. [m ² /P.]	Grundlast/ Schül. Max.Min. [W/Pers.]		Max. Grundlast/Fl. [W/m ²]	Max. Spitzenlast / Schül. /Fläche [W/Pers.] [W/m ²]		Strombezug / Schül. /Fläche [kWh/P.] [kWh/m ²]		VDI 3807 Richtwert ... Mittelwert [kWh/m ²]
E	19,1	20,6	16,5	1,1	289	15,1	459	24,1	8 ... 10
Grenzwerte	hoch > 20 tief < 10	hoch >20 tief < 10	hoch >15 tief < 5	hoch > 2 tief < 1	hoch > 150 tief < 100	hoch>15 tief < 8	hoch> 250 tief < 150	hoch > 25 tief < 15	

Empfehlungen

Als Auswertung mit Blickrichtung auf Schulen mit absehbar niedrigem Stromverbrauch lassen sich die folgenden Punkte ableiten:

- Gute Ausnutzung der Flächen
- Eher größere Schulen (wobei hier die jeweiligen Randbedingungen bzgl. Größe und Struktur der Kommune vorrangig maßgeblich sein werden)
- Hoch effiziente Beleuchtung, möglichst LED, insbesondere an Stellen mit längerer Brenndauer
- Beleuchtung über Bewegungsmelder und Helligkeitssensoren geregelt
- Tageslichtnutzung
- Zeitliche Regelung der technischen Anlagen optimieren
- Effiziente Haustechnik
- Lüftungsanlagen optimieren
- Technische Ausstattung so hoch wie nötig, so niedrig wie möglich
- Mensabetrieb konzentriert und effizient an einer Stelle, sparsame Geräte einsetzen
- Insbesondere effiziente Kühl- und Gefriergeräte und –anlagen einsetzen
- Nutzersensibilisierung.

3 Wichtige Punkte aus der Studie Lastganglinien für Schulen mit Bezug auf die ausgewählten 5 Schulen

Im Rahmen von Stromsparkonzepten für einige Schulen fiel auf, dass die ständig anstehende elektrische Grundlast z. T. beachtlich hoch war. Nachstehend ist ein Beispiel gezeigt.

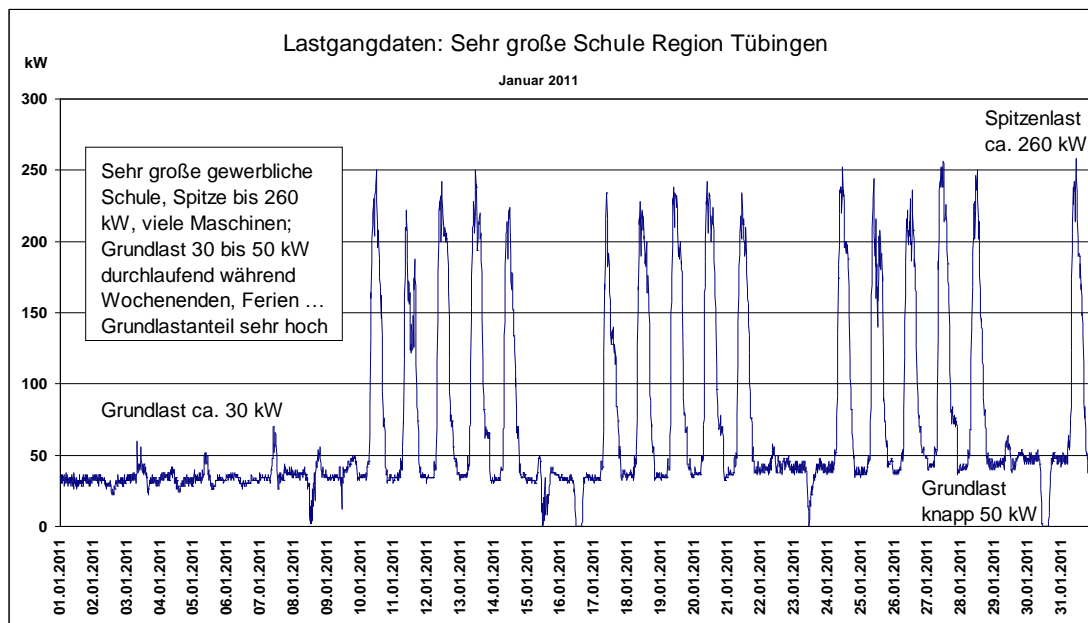


Abb. 18: Lastganglinie einer sehr großen gewerblichen Schule

Für die hier gezeigte Schule verursachte der Strombezug während der Nichtnutzungszeiten deutlich mehr Kosten als jener während des Schulbetriebs. Pro Kilowatt Grundlaststrombezug sind je nach Tarif jährliche Kosten von 1.300 bis 1.500 Euro zu veranschlagen, gerechnet nur während 6.500 Stunden Nichtnutzungszeit.

Um festzustellen, ob ein solcher Verlauf typisch ist bzw. ob er häufig vorkommt, wurden die Lastganglinien (LGL) für 40 Schulen von den Schulträgern respektive den Energieversorgern angefordert (vier weitere Schulen stammen aus anderen Untersuchungen und werden in der Datenbank mitgeführt). Es wurden wesentliche Kenndaten über das jeweilige Gebäude abgefragt, wie Jahresstromverbrauch der letzten 5 Jahre, Nutzfläche, Zahl der SchülerInnen, Angaben zur Nutzung, ggf. Besonderheiten wie z. B. VHS-Nutzung, Vereinsnutzung in einer Turnhalle, Ganztagesunterricht, PV-Nutzung, KWK-Anlage vorhanden u. ä..

Diese Untersuchung wurde von Ingenieurbüro inco GmbH, Aachen, und CONSISTE, Tübingen, gemeinsam im Schwerpunkt Energieeffiziente Schule durchgeführt, den das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des Programms „Energieoptimiertes Bauen – EnOB“ fördert. Auftraggeber war im Rahmen eines FE-Projekts das Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart. Der Bericht ist veröffentlicht unter <http://www.enob.info/de/publikationen/publikation/details/analyse-von-lastganglinien-an-schulen/>

Im Hinblick auf die Fragestellung, wie relevant die Grundlast in Schulen für den Stromverbrauch der Gebäude ist, wurden die Lastgänge hinsichtlich minimaler und maximaler Grundlast sowie Maximalwert der Jahresverläufe (Spitzenlast) untersucht. Manche der Objekte besitzen eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, deren Wert wurde zur Bestimmung der Grundlast heraus gerechnet. PV-Anlagen sind für die Grundlastbetrachtung nicht relevant, da sie den Verbrauchszustand am Tag betreffen, nicht den in der Nacht.

Die sich aus diesen Analysen ergebenden Daten wurden dann unter verschiedenen Blickwinkeln ausgewertet, nachfolgend sind exemplarisch einige der Auswertungen gezeigt.

Minimale und maximale Grundlastwerte variieren sehr stark, zwischen minimal 1 kW und im Spitzenwert 100 kW waren Lastgangdaten vorhanden, wie nachfolgend gezeigt. Die höchsten Werte stammen von einem sehr großen beruflichen Schulzentrum mit zahlreichen Ausbildungsgängen sowie von zwei großen Schulzentren mit Sporthallen, eine davon auch mit Schwimmbad, insoweit handelt es sich um spezielle Fälle. Zwei der nächst höheren Werte stammen von beruflichen bzw. gewerblichen Schulen. Für eine der Schulen wurden zwar die meisten Eckdaten geliefert, nicht jedoch die Grundlastwerte, daher ist in der Abbildung kein Wert benannt. Dass die beruflichen Schulen sowie die Schulzentren die absolut höchsten Lastbezüge aufweisen, überrascht aufgrund der i.d.R. hohen Zahl an SchülerInnen nicht.

Die für die vorliegende Untersuchung ausgewählten 5 Schulen sind wiederum mit den Buchstaben A bis E gekennzeichnet.

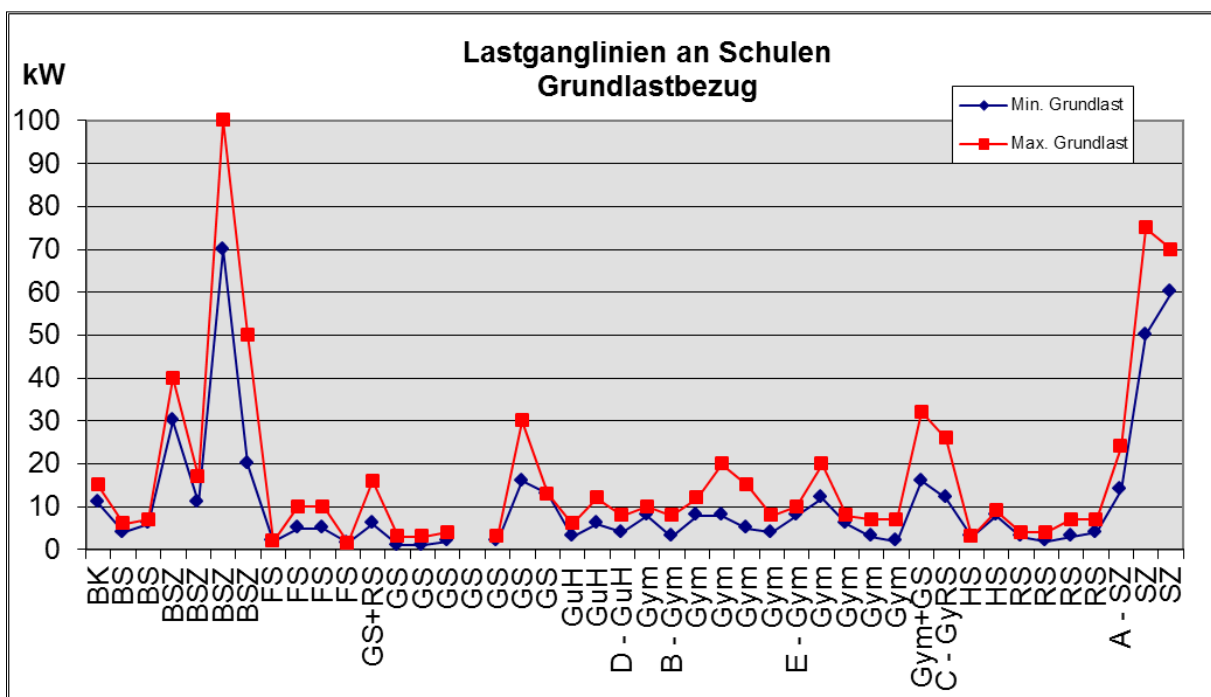


Abb. 19: Vorgefundene minimale und maximale Werte der Grundlast, sortiert nach Schultyp

Die Kürzel für die Schultypen sind folgende: BK – Berufskolleg, BS/BSZ – Berufsschule/zentrum, FS – Förderschule, GS – Grundschule, GuH – Grund- und Hauptschule, HS – Hauptschule, RS – Realschule, SZ – Schulzentrum, GyRS – Gym + RS, Gym – Gymnasium.

Werden diese absoluten Werte in Relation zur Fläche der Gebäude sowie auch zur Zahl der SchülerInnen gesetzt, relativiert sich die Höhe stark. Zu beachten ist, dass berufliche und

gewerbliche Schulen häufig von TeilzeitschülerInnen besucht werden, die nur ein bis drei Tage pro Woche anwesend sind. Diese wurden nur zu 50% in die Schülerzahl eingerechnet.

Die höchsten spezifischen Grundlastwerte verzeichnet eine Schule für geistig und körperlich behinderte SchülerInnen (Förderschule), die auch über ein kleines Schwimmbad verfügt. Aufgrund der spezifischen Anforderungen zur Förderung der SchülerInnen sind die Kennwerte dieses Schultyps nicht mit den anderen zu vergleichen. Die zweithöchsten Werte zeigt eine Grundschule mit Schwimm- und mit Sporthalle.

Eine Grundlast von 10 bis 20 W pro SchülerIn tritt häufig auf, Werte um 30 W/Person sind bereits hoch. Zur Bewertung muss berücksichtigt werden, dass eine Grundlast von 20 W/P. bei 1.000 SchülerInnen dann auch schon eine Grundlast von 20 kW bedeutet, also ein Wert, der aufzeigt, dass dringender Handlungsbedarf besteht.

Eine in Relation niedrige Grundlast zwischen 5 und 10 W/P. kommt mehrfach vor und wird in den Schulen auch unter derzeitigen Verhältnissen erreicht. Dies kann als Anhaltswert dienen, welche Werte ohne weiteres zu erreichen sind, da in den verwendeten Schulen bislang keine Aufmerksamkeit auf dem Thema Grundlast lag. Werden die Objekte auch hinsichtlich des Grundlastbezugs optimiert, sollten demnach Werte von 5 W/P. deutlich unterschritten werden können.

Die folgende Grafik zeigt die Grundlast und die Spitzenlast jeweils auf die Zahl der SchülerInnen bezogen. Eine gewisse Korrelation ist ersichtlich, Schulen mit hoher spezifischer Grundlast pro Person haben tendenziell auch eine hohe spezifische Spitzenlast. Für viele Schulen gilt: Spezifische Grund- und Spitzenlast unterscheiden sich ungefähr um den Faktor 4 bis 5.

Spezifische Werte der Spitzenlast von 80 bis 150 W/Pers. kommen häufig vor, unter 50 W/P. ist niedrig, über 200 W/P. hoch.

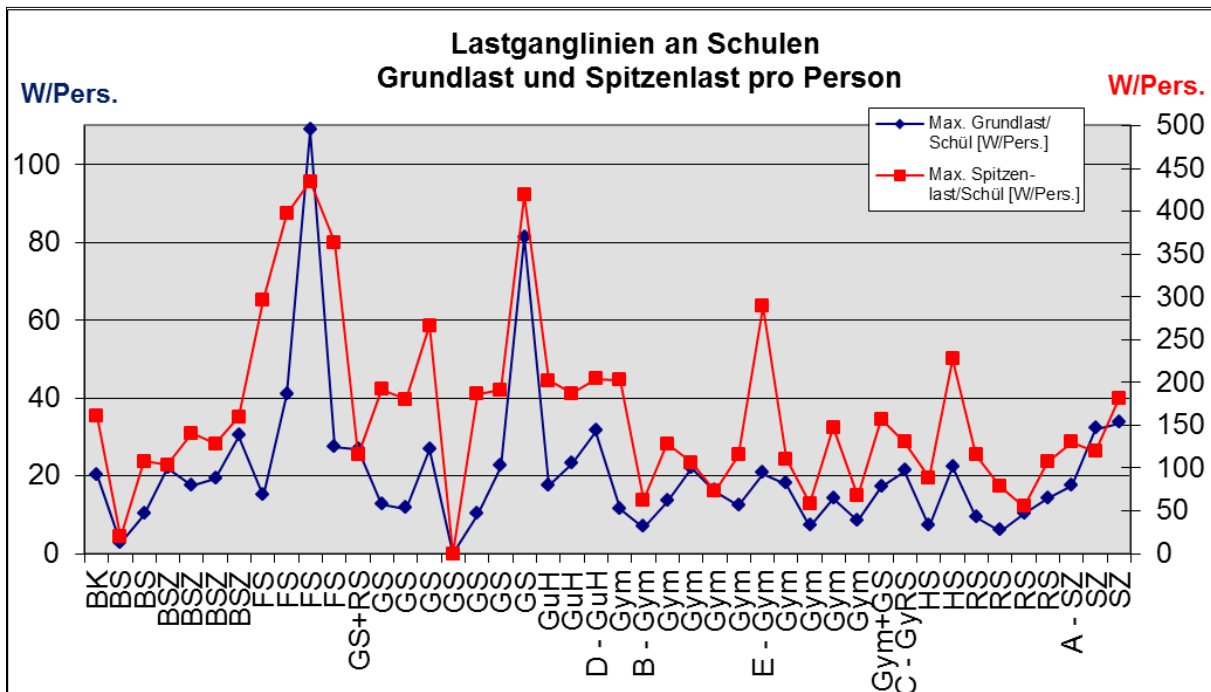


Abb. 20: Maximale Grundlast (linke Achse) sowie Spitzenlast (rechte Achse) bezogen auf die SchülerInnenzahl

Ergebnisse für die maximale Spitzenlast pro Fläche liegen in der Regel zwischen 5 und 10 W/m², einzelne Ausreißer deutlich darunter, einzelne darüber. Die Gründe dafür sind aus den vorliegenden Daten nicht ablesbar und müssten in einer vertieften Untersuchung gefunden werden.

Die maximale Grundlast pro Fläche ist ebenfalls eine interessante Größe mit erheblicher Schwankungsbreite. Die vorgefundenen Werte liegen zwischen knapp über Null bis 3 W/m², meist um 0,5 bis 1 W/m². Die Flächen pro Person werden als korrelierender Wert mit aufgezeigt. Die Schulen mit relativ niedrigen spezifischen Grundlastwerten lassen sich bedingt dem Schultyp „Grundschulen (mit Sporthallen)“ zuordnen. Bei diesen ist eine Korrespondenz mit der relativ hohen spezifischen Fläche feststellbar. Bei anderen Schultypen gilt dies nicht.

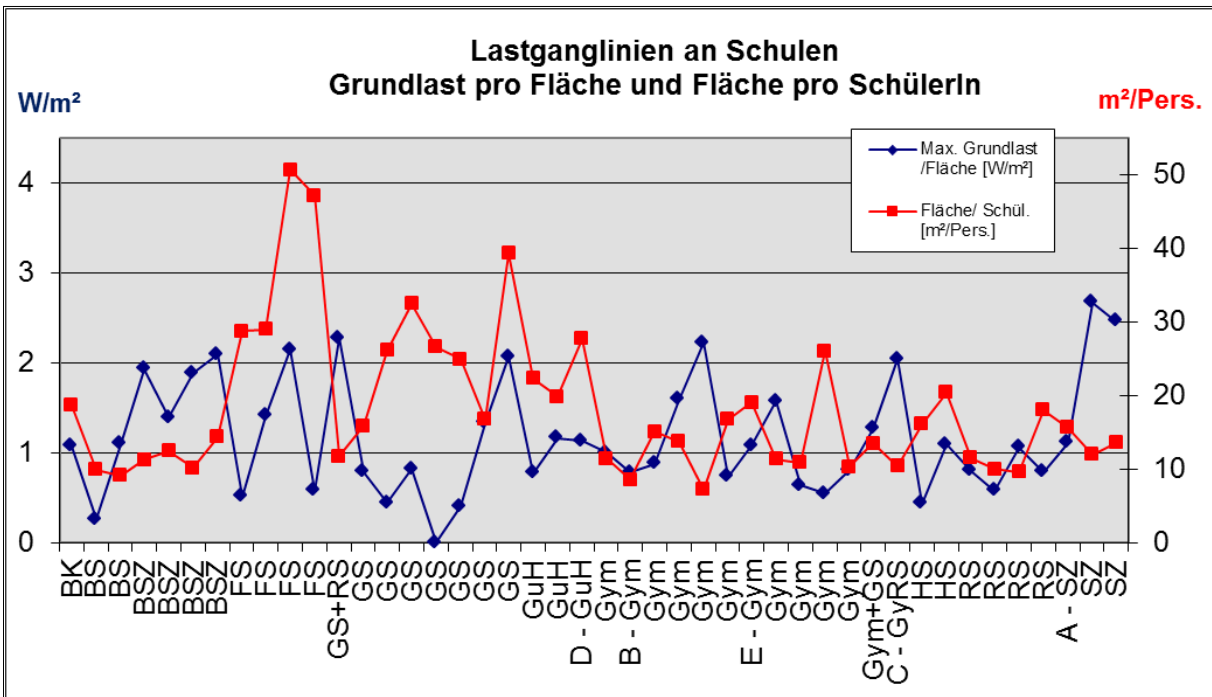


Abb. 21: Maximale Werte der Grundlast bezogen auf die Fläche (linke Achse) sowie Fläche pro SchülerIn (rechte Achse)

Entsprechend der sehr unterschiedlichen Größe der verfügbaren Objekte variiert der mittlere Strombezug stark. Zwei große Berufsschulzentren weisen die beiden höchsten Werte auf, gefolgt von 3 Schulzentren mit verschiedenen Schultypen und Sporthallen sowie einer gewerblichen Schule. Interessant wird dann die Auswertung nach spezifischem Strombezug pro SchülerIn. Viele Werte liegen zwischen 100 und 250 kWh pro Person und Jahr, 400 kWh/P.*a sind hoch. Eine schwache Korrelation zwischen diesen beiden Größen „Stromverbrauch pro Jahr“ und „Stromverbrauch pro SchülerIn“ kann für die Schultypen Gym, HS, RS und SZ gesehen werden.

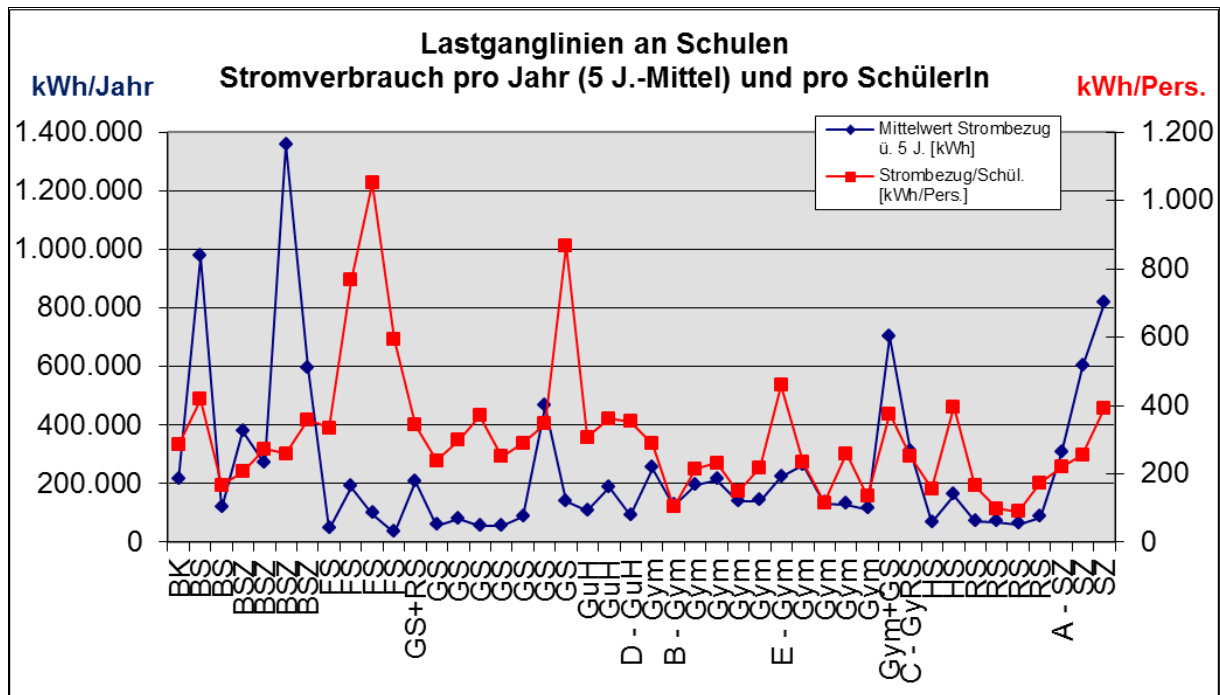


Abb. 22: Strombezug pro Jahr (5-jähriges Mittel; linke Achse) und Strombezug pro SchülerIn (rechte Achse)

Ergänzend wurde noch die vielfach benutzte Relation Strombezug pro Fläche gebildet. Die Werte bewegen sich zwischen 9 und 30 kWh/m²*a mit einem Ausreißer von 43 kWh/m². Aussagen hinsichtlich typischer Werte pro Schultyp sind schwierig, die Unterschiede liegen innerhalb einer Gruppe beim Faktor 3. Nur wenige Schulen erreichen den Mittelwert laut VDI 3807, keine den Richtwert. Viele liegen weit über den Werten für die jeweiligen Schultypen.

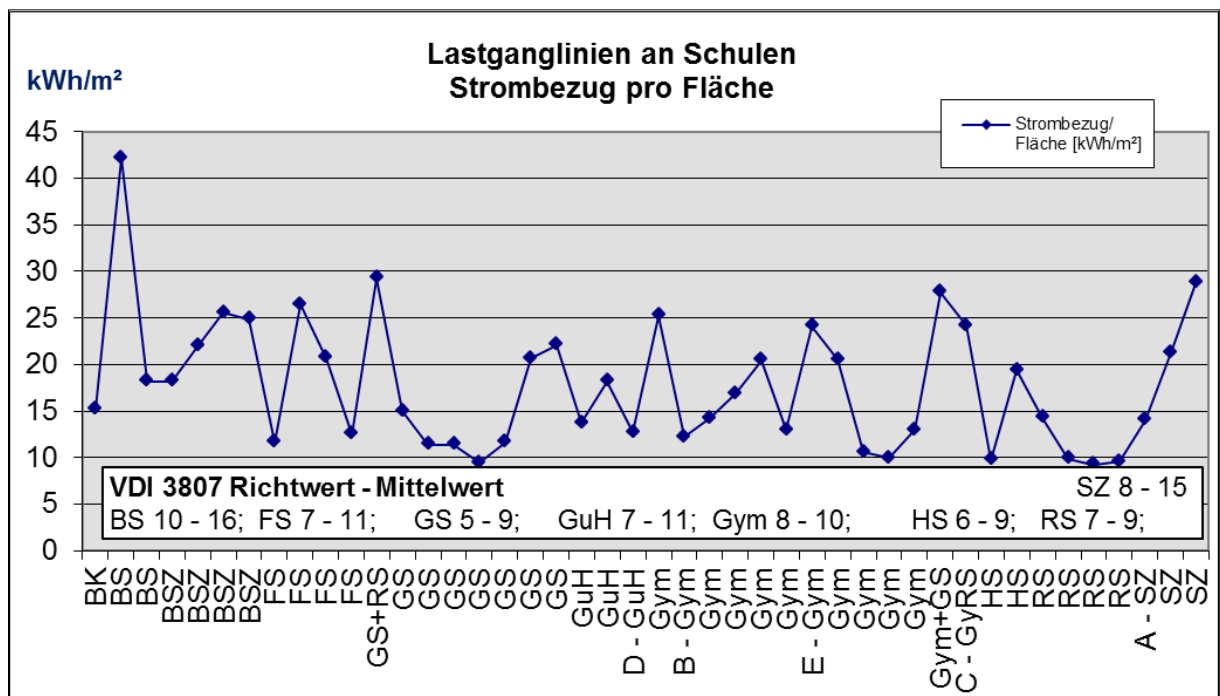


Abb. 23: Mittlerer jährlicher Strombezug bezogen auf die Fläche

Resultate:

Trägern von beruflichen und gewerblichen Schulen ist zu empfehlen, die Grundlast ihrer Gebäude genauer zu analysieren, da schon allein aufgrund der Schulgröße Grundlastwerte von 20 bis 30 kW häufig und Werte von 50 bis 100 kW bei sehr großen Schulen vorkommen.

Spezifische Werte der Stromkennzahlen pro Fläche oder pro SchülerIn geben Hinweise auf Problemfälle. Gelegentlich werden sich einfache Erklärungen finden, wie die Versorgung mehrerer Gebäudeteile aus einer Heizzentrale, was den Stromverbrauch und die Grundlast des versorgenden Gebäudes anhebt, oder spezifische Nutzungen wie Schwimmhalle oder ein besonderer Schultyp (Förderschule). Doch lohnt es sich auf jeden Fall, den Grundlastverlauf genau zu analysieren und Auffälligkeiten nachzugehen. Hohe spezifische Werte für Grundlast pro Quadratmeter und pro SchülerIn müssen ein Alarmsignal sein, ebenso wie ein hoher Stromverbrauch pro Person.

Relevant aus Sicht eines Schulträgers ist, dass die Reduktion der Grundlast um ein Kilowatt rund 6.500 kWh jährlich oder 1.300 bis 1.500 Euro einspart. Dabei wurde davon ausgegangen, dass eine Schule etwa 2.200 bis 2.300 Nutzungsstunden pro Jahr hat, also 6.500 Std. ohne Nutzung, und dass Schulträger aufgrund der Ausschreibung von Stromlieferverträgen derzeit einen Strompreis von 20 bis 22 Cent zu bezahlen haben. Eine nennenswerte Reduktion der Grundlast erbringt für die Haushalte von Kommunen und Landkreisen demnach eine spürbar finanzielle Entlastung. Dies insbesondere unter dem Aspekt, dass manche Einspar Schritte bei der Grundlast durch regeltechnische Maßnahmen ohne oder mit geringen Investitionen erreichbar sind.

Zudem entstehen durch die Reduktion beim Strombezug ökologische Vorteile, pro Kilowatt Leistungsreduktion werden knapp 4 Tonnen CO₂ eingespart.

Die Interpretation von elektrischen Lastganglinien an Schulen kann die energetische Optimierung der Objekte unterstützen. Es sind zusätzliche Informationen ablesbar, die Anhaltspunkte für Stromeinsparpotenziale geben, wenn sie in Relation zu den hier festgestellten Wertebereichen gesetzt werden. Die Lastganglinie ist ein nützliches zusätzliches Instrument zur energetischen Bewertung von Schulen, das eine schnelle energetische Bewertung ermöglicht. Auch für andere kommunale Gebäude können, sofern Lastganglinien verfügbar sind, sehr schnell erste Verbrauchseinsparungen beim Strom gesehen und in Angriff genommen werden.

Für einzelne Schultypen gibt es Tendenzen hinsichtlich erwartbarer spezifischer Werte pro SchülerIn oder pro Fläche, jedoch ist die vorliegende Stichprobe für eine belastbare Zuordnung recht klein.

Für die Schulträger ist die Lastganglinie ein schnelles Instrument, um jene Schulen heraus zu filtern, bei denen mit überschaubarem finanziellem Aufwand nennenswerte Einsparpotenziale erzielt werden können.

4 Auswertung

4.1 Überblick

Nachstehend sind nochmals die Eckdaten der fünf ausgewählten Schulen sowie deren Besonderheiten und die spezifischen Kennwerte für Grundlast, Spitzenlast und Stromverbrauch in Bezug auf die Zahl der SchülerInnen sowie auf die Fläche zusammengestellt.

Tab. 34: Eckdaten der 5 ausgewählten Schulen

Schule	Schule [Nr., Kürzel]	Schultyp	Nutzfläche (BGF) [m²]	Mittelwert Strombezug über 5 Jahre [kWh]	Zahl SchülerInnen	Zahl Klassen	Grundlast [kW] von bis		Max. Spitzenlast [kW]
A	3, FH	SZ	21.647	303.996	1.380	73	14	24	180
B	4, W	Gym	10.259	125.158	1.201	49	3	8	75
C	9, DG	Gym+RS	12.760	308.423	1.230	51	12	26	160
D	15, HK	GS, RS	7.076	90.174	255	13	4	8	52
E	19, LM	Gym	9.243	222.844	485	25	8	10	140

Abkürzungen: SZ – Schulzentrum; Gym – Gymnasium; RS – Realschule; GS – Grundschule

Tab. 35: Besonderheiten der 5 ausgewählten Schulen

Schule	Schultyp	Besonderheiten der Schulen
A	SZ	mehrere Ausgabe- und Lehrküchen, Küchenbetrieb überwiegend durch Caterer, wenig Technik, keine Sporthalle, Tiefgarage, Stadtteilbibliothek
B	Gym	Viele Sanierungsschritte bereits erfolgt, 1 Sport- und 1 Gymnastikhalle, Nutzung einer auswärtigen Sporthalle, keine Mensa, nur Cafeteria, Musikzug, offene Ganztagesbetreuung, viele AGs, Fernwärmebezug
C	Gym+RS	Mensa, Mensabetrieb durch Elternverein, 3-Feld-Sporthalle, Beleuchtung für Parkplatz + Schulhof + Radweg
D	GS, RS	3-Feld-Sporthalle mit Gymnastikhalle, keine Mensa
E	Gym	Mensa (mit Versorgung anderer Gebäude), Mensabetrieb durch Caterer, Sporthalle mit Gymnastikhalle
		Sporthallen werden in der Regel abends und z.T. auch am Wochenende von Vereinen genutzt

Tab. 36: Spezifische Kennwerte der 5 ausgewählten Schulen

Schule	Fläche /Schül. [m²/P.]	Grundlast/ Schül. Max.Min. [W/Pers.]		Max. Grundlast/Fl. [W/m²]	Max. Spitzenlast / Schül. /Fläche [W/Pers.] [W/m²]		Strombezug / Schül. /Fläche [kWh/P.] [kWh/m²]		VDI 3807 Richtwert ... Mittelwert [kWh/m²]
A	15,7	17,4	10,1	1,1	130	8,3	220	14,0	8 ... 15
B	8,5	6,7	2,5	0,8	62	7,3	104	12,2	8 ... 10
C	10,4	21,1	9,8	2,0	130	12,5	251	24,2	7 ... 10
D	27,7	31,4	15,7	1,1	204	7,3	354	12,7	7 ... 11
E	19,1	20,6	16,5	1,1	289	15,1	459	24,1	8 ... 10
Grenzwerte	hoch > 20 tief < 10	hoch >20 tief < 10	hoch >15 tief < 5	hoch > 2 tief < 1	hoch > 150 tief < 100	hoch>15 tief < 8	hoch> 250 tief < 150	hoch > 25 tief < 15	

Anmerkung: rot/grün hinterlegt – über/unter Grenzwert; rot/grün angeleuchtet – dicht am Grenzwert

Resultate

Es lassen sich aus den erstellten Kennwerten folgende Resultate aus den vorstehend beschriebenen fünf Stromsparkonzepten für Schulen ablesen:

Belegungsdichte

Die Belegungsdichte der Gebäude beeinflusst die Kennzahlen stark, die Fläche pro SchülerIn liegt zwischen 8 und 28 m²/P..

Belegungsdichte und spezifische Grundlast

Eine knappe Fläche pro SchülerIn und eine niedrige Grundlast pro Fläche ziehen einen niedrigen Strombezug pro SchülerIn und pro Fläche nach sich (Schule B, Schule A bedingt). Eine hohe Fläche pro SchülerIn und eine hohe Grundlast/Schül. lassen einen hohen Strombezug pro SchülerIn erwarten (Schulen D und E). Die Grundlast pro Fläche ist aufgrund der relativ hohen Fläche pro Person als reziproker Wert hier dennoch niedrig.

Selbst bei niedriger Fläche/Schül. führt eine hohe Grundlast/Schül. zu einem hohen Strombezug/Schül. und pro Fläche (Schule C). Zudem ist hier die Grundlast/Fläche erhöht.

Sporthalle

Wenn eine Sport- und eine Gymnastikhalle vorhanden sind, sind erhöhte Verbrauchswerte zu erwarten (Schulen C, D, E), jedoch nicht zwingend (Schule B).

Mensa

Auch eine Mensa lässt eher höhere Verbrauchswerte erwarten – vergl. die Schulen E und C, dies tritt jedoch nicht zwingend ein, siehe Beispiel Schule A.

Bei Schulen mit Mensen sind erhöhte bis hohe Werte für die Spitzenlast zu erwarten, insbesondere bei intensiver Nutzung (s. Schule E).

Spezifischer Strombezug pro Fläche

Ein niedriger Strombezug pro Fläche ist nur bedingt ein Indiz für einen insgesamt niedrigen Verbrauch. Schulen mit hoher Fläche pro SchülerIn haben dennoch einen hohen Stromverbrauch pro Person.

Insofern sind Mittelwert und Richtwert aus der VDI 3807 nur bedingt aussagekräftig.

Spezifischer Strombezug pro SchülerIn

Eine interessante Korrelation ergibt sich, wenn sowohl die Grundlast als auch der jährliche Strombezug auf die Zahl der SchülerInnen bezogen wird – vergl. die nachfolgende Abbildung.

Es lässt sich die überschlägige Formel aufstellen: Grundlast/Person x 10 (bis zu x 20) x 1.000 Std. = kWh pro Person und Jahr. Anders gesagt: der Jahresstromverbrauch pro Person [kWh/Pers.] liegt beim 10- bis 20-tausendfachen der Grundlast pro Person [W/Pers.]. Dabei ist klar, dass 1 W durchlaufende Grundlast einen Stromverbrauch von 8,76 kWh verursacht, ganzjährig gerechnet, auch während der Nutzungszeiten, bzw. 6,5 kWh, wenn nur der Betrieb zu Nichtnutzungszeiten der Schule berücksichtigt wird. Interessant ist, dass der Gesamtstromverbrauch pro Person ziemlich genau der genannten Korrelation folgt. Es ist

demzufolge die Abschätzung zulässig: Eine Schule mit einer spezifischen Grundlast von 10 W/Schül. wird einen spezifischen Stromverbrauch von 100 bis 200 kWh/Schül. haben. Und es lässt sich aus der vorliegenden Gruppe von 44 Schulen ableiten:

Ein Jahresstromverbrauch von weniger als 150 kWh/Schül.*a ist niedrig, von über 250 kWh/Schül.*a ist hoch.

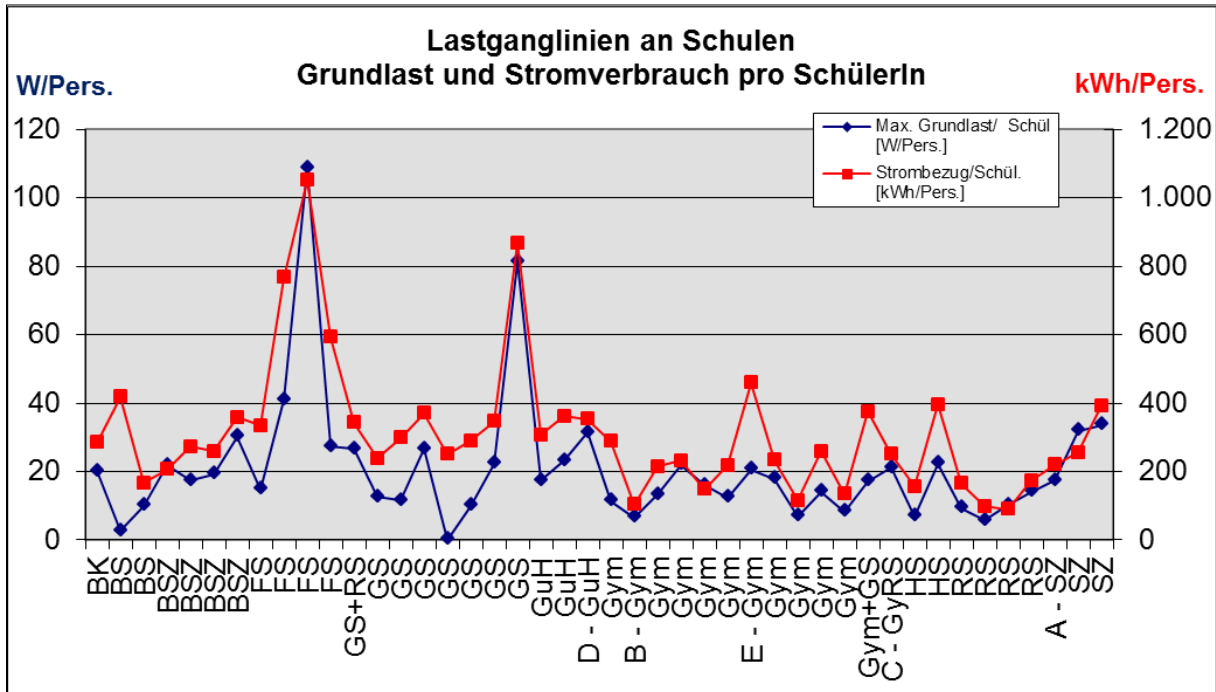


Abb. 24: Grundlast sowie jährlicher Strombezug jeweils bezogen auf die Zahl der SchülerInnen

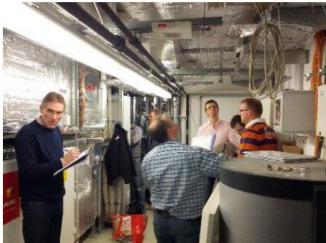
4.2 Zwei Studien mit verwandten Themen

Von Plesser et al werden aus der Untersuchung 8 Passivhaus-Kitas in Hannover - Optimierung von Qualitätssicherungsprozessen für Nachhaltige Gebäude – [8 KiTas] Empfehlungen für das Energiedesign, das Qualitätsmanagement und die Nutzereinbindung für Kitas abgeleitet:

- Das Energiedesign sollte einfach und robust gewählt werden. Insbesondere sollten komplexe Versorgungskonzepte und anspruchsvolle Automatisierungen vermieden werden.
- Ein Qualitätsmanagement ist für Gebäude heute unverzichtbar. Die proKlima-Vorgaben bilden hier gute Grundlagen. Ergänzende Detaillierungen sollten im Bereich der Lüftungs- und Automationsanlagen sowie im Monitoring der ersten beiden Betriebsjahre erfolgen.
- Für die Einbindung der Nutzer wird empfohlen, bis zu drei Nutzerworkshops vor und nach der Inbetriebnahme durchzuführen. Als Schnittstelle sowohl zwischen Nutzer und den beteiligten Fachexperten auf allen Seiten sowie zwischen Planung/Errichtung und Betrieb wird die Einrichtung eines Technischen Hausmeisters empfohlen, der die Nutzer ab der Errichtung als „Gebäudepartner“ begleitet.

Ergebnisse des Monitorings: Qualitätsdefizite im Betrieb

Qualitätsdefizite im Betrieb:



- Nutzungsgrad Gasbrennwertkessel (40 kW_{th}): ca. 0,8 (Ziel: 0,9-0,95)
- Lüftungsgeräte in 2 Kitas laufen an Wochenenden durch
- Nachtlüftung in 7 Kitas (2-5 Uhr) mit kaum messbarem Effekt
- CO₂-Regelung setzt nur oberhalb der Grundlüftung ein (Abluft Nebenräume: 1.800 m³/h); nur ein schwaches Regelverhalten
- Spezifische Ventilatorleistung: ca. 0,4 - 0,7 Wh/m³ (Ziel: 0,33 Wh/m³)
- Beleuchtungsleistung: > 3 W/m² statt 2 W/m²

→ Einsparpotential Strom (im Betrieb): 5 - 10 kWh_E/(m²_{EBF}a)

Fazit



- Das Projekt wurde mit ambitionierten Zielsetzungen von allen Beteiligten konstruktiv umgesetzt.
- Es wurde ein hochwertiges Qualitätsmanagement umgesetzt.
- Im Rahmen des DBU-Projekts wurde ein Betriebsmonitoring für das Jahr 2014 und Nutzerworkshops durchgeführt.
- Die Kitas wurden von den Nutzern positiv angenommen.
- Das Raumklima im Betrieb ist gut.
- Energiekennwerte liegen deutlich höher als vom Bauherrn auf Basis der Planung erwartet:
 - Strom: 37 kWh_E/(m²_{EBF}a) (PHPP: 18 kWh_E/(m²_{EBF}a))
 - Wärme: 69 kWh_E/(m²_{EBF}a) (PHPP: 45 kWh_E/(m²_{EBF}a))

→ **Vom Leuchtturm in die Breite:
Die Herausforderung liegt nicht im Konzept,
sondern in der Skalierung!**

Abb. 25: Zwei Folien von Dr. Plesser, energydesign Braunschweig [8 KiTas]

Vorstehend werden zwei Folien aus der Projektpräsentation von Dr. Plesser vom 18.04.2015 zitiert, deren Aussagen sich mit Erfahrungen aus den hier diskutierten fünf Stromsparkonzepten decken.

Ähnliches wird berichtet im bine-Projektinfo 09/2015 zum Thema „Langzeitmonitoring Gebhard-Müller-Schule Biberach“ [G-Müller-Schule]:

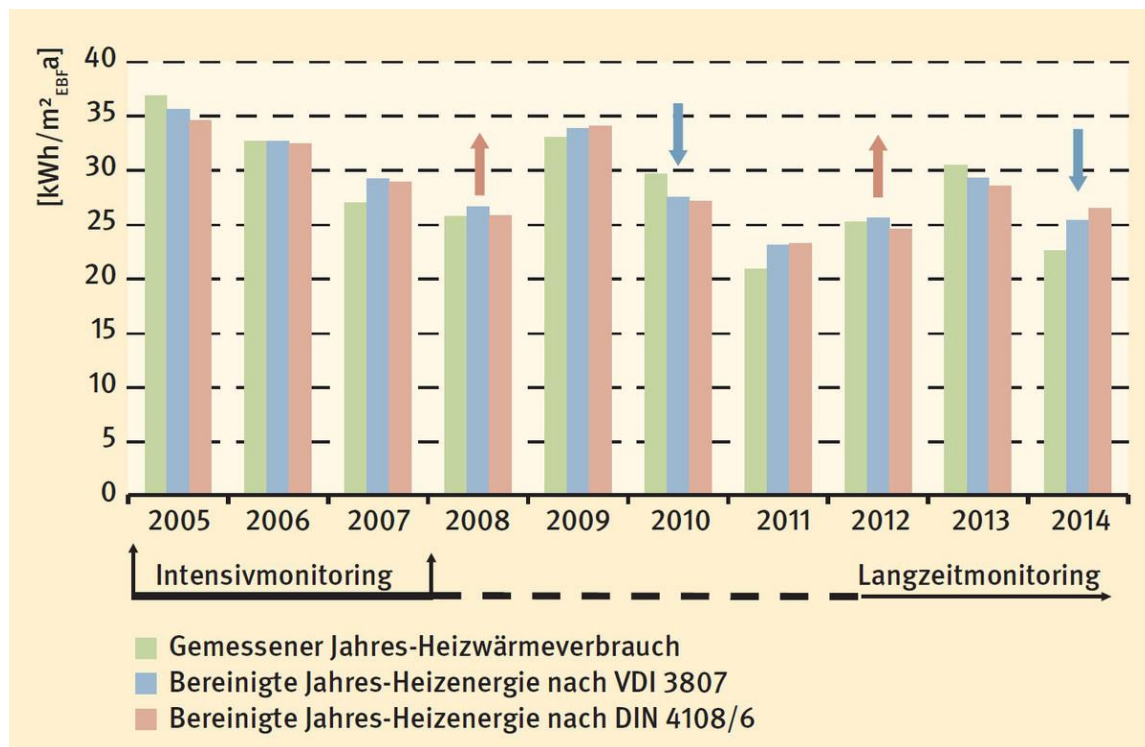


Abb. 26: Langzeitmonitoring der Gebhard-Müller-Schule in Biberach [G-Müller-Schule]

Das Langzeitmonitoring der Gebhard-Müller-Schule zeigte deutlich die Entwicklung des Heizwärmeverbrauchs bezogen auf die Energiebezugsfläche (EBF). Ohne Überwachung (2009) erhöhte sich der Energieverbrauch. Diese Tendenz ließ sich durch das Monitoring stoppen.

Hinsichtlich des Stromverbrauchs hat die Auswertung der laufend aufgezeichneten Betriebsdaten bei der GMS dazu beigetragen, erhebliche Standby-Verluste zu identifizieren. Die RLT-Anlagen verbrauchten 2009 rund 14.500 kWh Strom außerhalb der für den Lüftungsbetrieb freigegebenen Zeiten. Das waren 16 % des gesamten Stromverbrauchs der Lüftungsanlagen in 2009. Ursache dafür waren u. a. nicht notwendige Transformatoren je RLT-Anlage, die mittlerweile ausgebaut wurden. Die täglichen Betriebszeiten der Berufsschule sind annähernd mit denen eines Bürogebäudes vergleichbar. Über das Jahr betrachtet ergeben sich allerdings deutliche Abweichungen. In den Schulferien ist nur eine der drei RLT-Anlagen teilweise in Betrieb. Dies und die Stillstandszeiten an Feiertagen, Wochenenden und in den Nachtstunden führen zu ca. 6.200 Stunden Stand-by-Zeiten im Jahr mit einem unnötigen Stromverbrauch von im Mittel 13.000 kWh. Um diese Verluste zu verringern, ist es notwendig, die Anlagen vom Stromnetz zu trennen. Dies erfordert technische Nachrüstungen und Anpassungen. Beispielsweise sind die Steuerprogramme der GLT

so anzupassen, dass durch den Abschaltvorgang und das anschließende Wiederhochfahren der Anlagen keine Störungen auftreten. Auch andere Anlagenkomponenten wie die Wärmepumpenaggregate, die Grundwasserpumpe und weitere Pumpen weisen Stand-by-Verluste auf, die teilweise eingespart werden könnten.

Die Ergebnisse aus dem Monitoring an der GMS zeigen, dass es sich lohnt, dieses Thema zu berücksichtigen, obgleich vorhandene Einsparpotenziale durch teilweise hohe Investitionskosten für Nachrüstungen nur zum Teil nutzbar sind.

Idealerweise sollte das Thema Grundlaststromverbrauch bereits in der Planungsphase grundsätzlich untersucht werden, diesbezügliche Verbrauchsanteile sollten minimiert und für die verbleibenden notwendigen Verbrauchergruppen optimale technische Lösungen gewählt werden. Eine Verringerung der elektrischen Grundlast um 1 kW erspart jedes Jahr ca. 6.500 kWh am Stromverbrauch und verringert die Stromkosten jeweils um 1.300 bis 1.500 Euro (gerechnet während der Nicht-Nutzungszeiten von etwa 6.500 Std./a und mit 20 bzw. 22 ct/kWh).

4.3 Vorgefundene Defizite und Maßnahmenvorschläge

Es gibt beim Grundlaststromverbrauch – wie stets beim Energiethema – keine einzelne Maßnahme, die das Problem löst, es sind u.a. folgende Defizite, die in den Schulen aufgefunden wurden und die verbessert werden müssen:

Haustechnik

- Regeltechnische Fehleinstellungen bei Heizungs- und Lüftungsanlagen, z.B. Betrieb von Lüftungsanlagen auf hoher Stufe auch außerhalb der Nutzungszeiten, keine Schaltung für Ferienzeiten oder Wochenende
 - turnusmäßig Einstellungen prüfen
 - hoch komplexe Regeltechnik birgt die Gefahr der Fehlbedienung
 - Schulungen für Hausmeister
 - Monitoring durch Schulträger installieren
- Ineffiziente Pumpen und Ventilator-Motoren (zu alt, zu groß)
 - Wartungszyklen einhalten, Filter reinigen lassen etc.
 - bei Sanierung auf hocheffiziente Anlagen Wert legen
 - hydraulischen Abgleich durchführen lassen

Beleuchtung

- Zu lange Betriebszeiten bei der Beleuchtung, z.B. 13 Std. täglich bis zum Ende der Reinigungszeiten in allen Fluren
 - Bewegungsmelder mit Helligkeitssensoren würden hier Abhilfe schaffen
- Beleuchtung in leeren Klassenräumen in Betrieb
 - Nutzersensibilisierung
 - Bewegungsmelder
 - Beleuchtung per „Wischer“ mehrfach am Tag ausschalten (nicht beliebt, greift in Nutzung ein)

- Bewegungsmelder schalten nicht mehr korrekt
→ Hinweis an Hausmeister, um Problem zeitnah zu erkennen
- Generell: Beleuchtungssystem stammt noch aus der Bauzeit; Leuchtstoffröhren mit KVG, Leuchten stark gealtert; ineffiziente Leuchten (Deckeneinbau mit opaker Abdeckung); Lichtsituation aufgrund der baulichen Randbedingungen ungünstig / dunkle und/oder raue Oberflächen, Verschattung, Tageslichtnutzung suboptimal
→ bei anstehender Sanierung Beleuchtung optimieren
→ möglichst LED mit hoher Effizienz installieren, mindestens 80 Lumen/Watt, besser 100 bis 120 lm/W. Mittlerweile sind viele Bauformen und verschiedene Lichtleistungen im Angebot

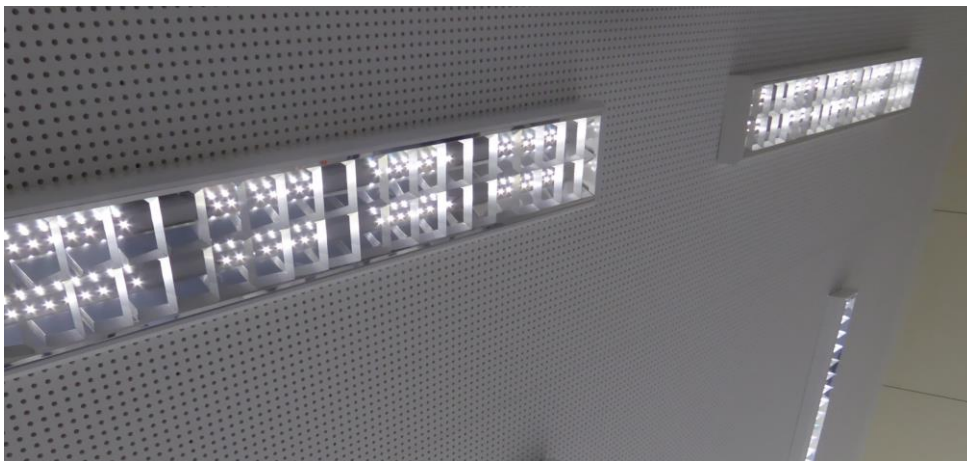


Abb. 27: Vergilbte Leuchtenabdeckung bei Lichtsystem aus der Bauzeit des Gebäudes versus moderne LED-Lampen

IKT / Stand-by

- Stand-by bzw. Dauerbetrieb bei Informations- und Kommunikationstechnik – PCs laufen teils in Stand-by, teils in Normalbetrieb durch, Monitore sind nach Schulschluss angeschaltet, z.T. trotz Schlüsselschalter in Klassenräumen
→ unbedingt Energiemanagement der IKT turnusmäßig prüfen und sachgerecht einstellen
→ bzgl. Nutzung von Schlüsselschaltern klare Dienstanweisungen für LehrerInnen durch die Schulleitungen

→ Nutzersensibilisierung auch für SchülerInnen, auch wenn das aufgrund der Fluktuation sehr mühsam ist

- Generell: PCs benötigen mehr Strom als Thin Clients
→ bei Neu-Anschaffung kritisch prüfen, welcher technische Stand für die SchülerInnen, welcher für die LehrerInnen notwendig ist, nach Möglichkeit Thin Clients wählen

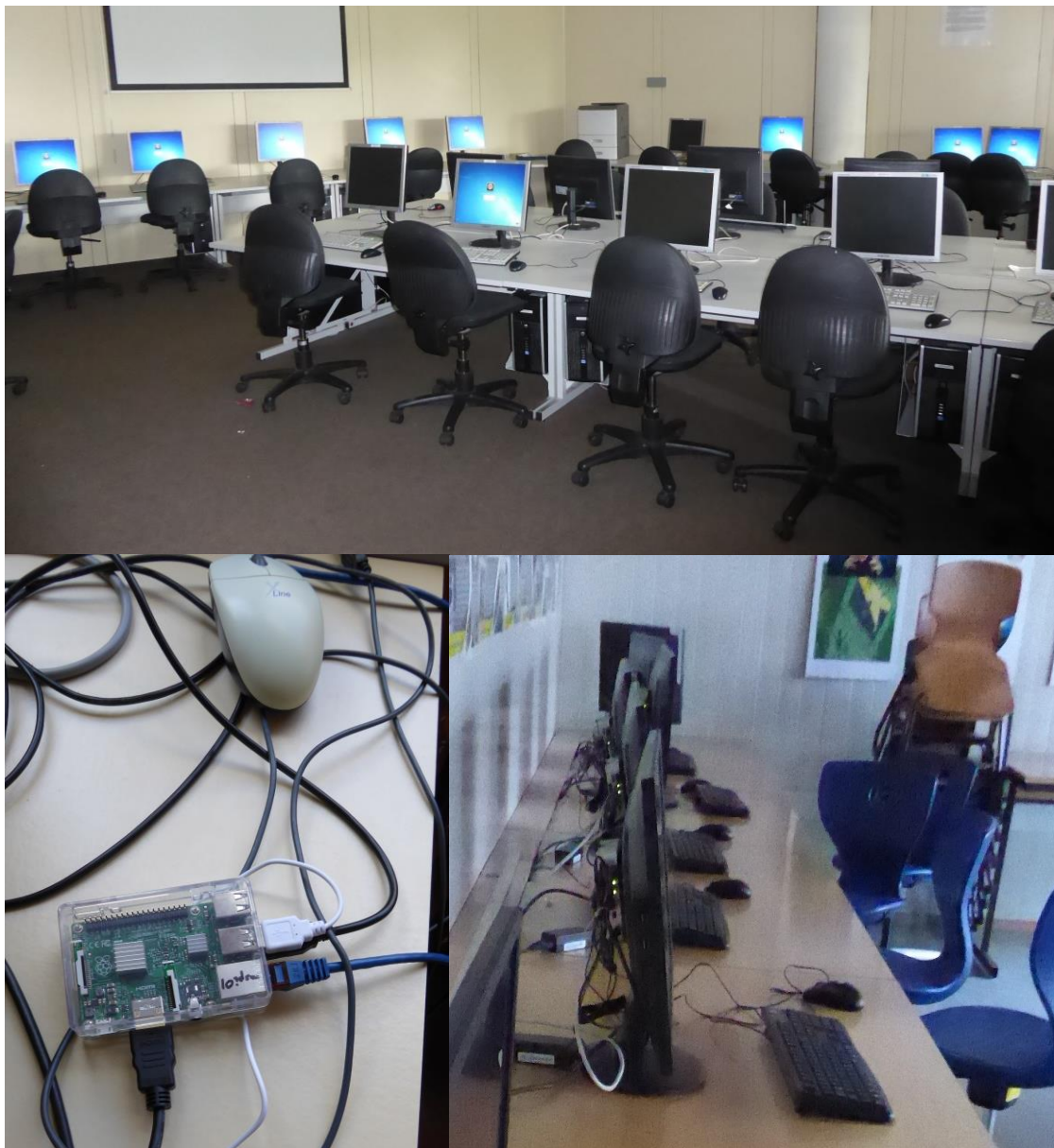


Abb. 28: PCs sind nach Unterrichtsende in Betrieb; Bausatz aus Technik-AG → Mini-Thin Clients (Raspberry Pi) für sehr einfache Anwendungen; Thin Clients am Monitor angebracht, allerdings leider in Stand-by

Elektrische Wassererwärmung

- Elektrische Wassererwärmung ist auch in den Ferien in Betrieb
→ im ersten Schritt Hausmeister anweisen, zumindest an Ostern, Pfingsten, im Sommer und an Weihnachten Speicher ausschalten
→ Bedarfstaster für Untertisch-Warmwasserspeicher installieren
→ bei größeren Warmwasserspeichern prüfen, ob Zeitschaltung möglich ist
→ prüfen, ob ein Teil der Zapfstellen ohne Warmwasser auskommt
→ u.U. auf Durchlauferhitzer umstellen

Kühl- und Gefriergeräte

- Zahlreiche Kühl- und Gefriergeräte vorhanden, manche nur gering befüllt
 - Notwendigkeit überprüfen
 - bei Neu-Anschaffung Geräte mit EU-Label A+++ wählen
- Getränkeautomaten mit ineffizienter Kältetechnik und Dauerbeleuchtung
 - Notwendigkeit für Angebot hinterfragen
 - Beleuchtung der Automaten abmontieren/ausschalten, meist reicht Umgebungslicht
 - Geräte mit Zeitschaltuhr am Wochenende und in den Ferien abschalten, sofern keine verderbliche Ware enthalten
 - Lieferanten mit den Stromkosten belasten (wird den Preis des Warenangebots erhöhen)
 - Effiziente Geräte anfordern

Sonstige Geräte und Anlagen

- Technische Defizite – Telefon- und Sprechanlagen kennen für die Nebenzeiten kein Stand-by und brauchen vermutlich ohnehin mehr Strom als nötig, weil die Problematik bislang nicht thematisiert wurde
 - Marktcheck, wie viel Leistung z.B. für welche Zahl an Nebenstellen am Markt vorhanden und wie viel notwendig ist, anschließend auf Vorgaben auf EU-Ebene (analog Grenzwerte für Stand-by-Strombezug) hinarbeiten
- Dito für Einbruch- und Brandmeldeanlagen
- Dito für Server und Switches
- Verborgene Verluste wie z.B. überflüssige/zu große Trafos
 - nur über sehr detaillierte Gebäudeanalysen und messtechnische Überprüfung aufzufinden
- Druckluftverluste
 - Notwendigkeit der Druckluft kritisch hinterfragen
 - Netz überprüfen und abdichten
 - ggf. kleineren Kompressor installieren
 - Betriebszeiten überprüfen, möglichst auf Nutzungszeiten begrenzen

4.4 Empfehlungen

Als Auswertung mit Blickrichtung auf Schulen mit absehbar niedrigem Stromverbrauch lassen sich die folgenden Punkte zusammenfassen, die im vorherigen Kapitel ausführlicher erläutert wurden:

- Grundlast in die Planungen einbeziehen und minimieren
- Verborgene Verluste wie z.B. zu große oder überflüssige Transformatoren vermeiden, möglichst bereits in der Planung
- Spezielle Anforderungen an Geräte und Anlagen stellen, die grundlastrelevant sein können, notwendig ist ein niedriger Verbrauch in Betrieb und während Nutzungspausen z.B. für Telefon- und Sprechanlagen, Einbruch- und Brandmeldeanlagen, dito für Switches, Regeleinheiten etc..
Hierzu sind ggf. rechtliche Regelungen auf Bundes- oder EU-Ebene erforderlich, analog der Effizienzanforderungen für Pumpen oder zu Stand-by.
- Gute Ausnutzung der Flächen
- Eher größere Schulen, wobei hier die jeweiligen Randbedingungen bzgl. Größe und Struktur der Kommune vorrangig maßgeblich sein werden
- Tageslichtnutzung
- Helle Oberflächen mit gutem Reflexionsgrad
- Hoch effiziente Beleuchtung; effiziente LED (mind. 80 Lumen pro Watt, besser 100 bis 120 lm/W) wählen, insbesondere dort, wo lange Brennzeiten erforderlich sind
- Beleuchtung über Bewegungsmelder und Helligkeitssensoren geregelt
- Regeltechnische Optimierung der Haustechnik, ist sofort umsetzbar
- Effiziente Haustechnik
- Stand-by vermeiden
- Technische Ausstattung so hoch wie nötig, so niedrig wie möglich; gilt sowohl für Technik-Angebot für SchülerInnen als auch für Regeltechnik für die technischen Anlagen
- Elektrische Erwärmung des Wassers kritisch hinterfragen, ggf. Durchlauferhitzer statt Speicher installieren, ggf. Bedarfstaster für Untertischwarmwasserspeicher einbauen
- Notwendigkeit von Kompressoren prüfen, ggf. Netz abdichten
- Nutzersensibilisierung
- Kurz- und mittelfristig auf die Anschaffung effizienter Geräte großen Wert legen, sowohl für Informations- und Kommunikationstechnik, als auch für haustechnische Geräte und für Geräte für die Mensen/Ausgabeküchen. Prüfen, ob als Rechner für die SchülerInnen Thin Clients ausreichend sind

- Hausmeister frühzeitig in die Überlegungen zu Umbau/Sanierung/Anbau einbeziehen; Funktionalität von technischen Optimierungen im Alltag überprüfen
- Bei Bedarf / auf Wunsch Hausmeister themenbezogenen Weiterbildung anbieten.

Für die untersuchten Schulen waren immer nur Lastgänge für das Gesamtareal verfügbar, speziell bei mehreren Schulen mit unterschiedlichen Nutzungen, mit Mensa und Sporthalle(n), ggf. Tiefgarage oder Parkplatzangebot wären hier genauere Analysemöglichkeiten von Vorteil.

Zumindest sollten bei mehreren Gebäuden Unterzähler vorhanden sein, möglichst mit Fernablesung. Bei außerschulischer Nutzung von Sporthallen sowie bei Betrieb von Mensen durch Caterer sind dann bessere Abrechnungsmöglichkeiten gegeben.

In einem Folgeschritt sollte überlegt werden, wie die relevanten Grundlastverbraucher genauer erfasst werden können. Ggf. sollten exemplarisch Messungen installierter Geräte und Anlagen erfolgen. Eine Marktrecherche des Stromverbrauchs in verschiedenen Betriebszuständen für jene Anlagen, die bestimmungsgemäß 24 Stunden in Betrieb sind, wäre hilfreich.

Für einzelne Schultypen gibt es Tendenzen hinsichtlich erwartbarer spezifischer Werte pro SchülerIn oder pro Fläche, jedoch ist die vorliegende Stichprobe für eine belastbare Zuordnung zu klein. Daher wird vorgeschlagen, den Umfang der Stichprobe um weitere Objekte auf mindestens 100 Schulen zu erhöhen, so dass sich eine höhere Gesamtzahl von Schulen ergibt. Speziell die häufig vorkommenden Schultypen Grundschule, Grund- und Hauptschule, Werkrealschule, Realschule und Gymnasium sollten in dieser Erweiterung enthalten sein. Sondernutzungen wie Schwimmbäder sollten möglichst ausgeschlossen werden, sie erschweren eine übertragbare Aussage.

Relevant ist es auf jeden Fall, in Schulen mit hohen spezifischen Grundlastwerten nach den Ursachen zu suchen und diese nach Möglichkeit zu beheben. Vielfach werden Defizite bei den regeltechnischen Einstellungen Ursache sein, ggf. auch unsachgemäßer Umgang mit Geräten und Anlagen, hier können kurzfristig Erfolge erreicht werden. Technische Defizite können meist erst bei fälligem Ersatz von Geräten und Anlagen behoben werden, es sei denn, es handelt sich um eklatante Mängel wie sehr starke Überdimensionierung.

Um für einzelne Objekte mit weniger Aufwand zu Aussagen zu kommen, wie der Grundlaststromverbrauch reduziert werden kann, wird folgendes Prozedere vorgeschlagen:

Anstatt im Rahmen eines Stromsparkonzeptes sämtliche elektrischen Verbraucher aufzunehmen, werden die erwartbar für die Grundlast relevanten Verbraucher erfasst, die beispielhaft in den Schulsteckbriefen in diesem Bericht dargestellt sind. Sind diesbezüglich zahlreiche Geräte und Anlagen vorhanden, kann in einem ersten Schritt mit deren Optimierung begonnen werden. Genauere Analysen des Stromverbrauchs zur Aufteilung auf die verschiedenen Anwendungen können dann auch erst in einem zweiten Schritt erfolgen.

5 Anhang

[LGL Schulen] Rath, CONSISTE, Tübingen zus. mit Ingenieurbüro inco GmbH, Aachen: Lastganglinien an Schulen; Bericht im Schwerpunkt Energieeffiziente Schule, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des Programms „Energieoptimiertes Bauen – EnOB“, 2012. Auftraggeber Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart im Rahmen eines FE-Projekts, veröffentlicht unter <http://www.enob.info/de/publikationen/publikation/details/analyse-von-lastganglinien-an-schulen/>

[8 KiTas] Dr.-Ing. Stefan Plesser et al, energydesign Braunschweig: 8 Passivhaus-Kitas in Hannover - Optimierung von Qualitätssicherungsprozessen für Nachhaltige Gebäude; DBU-Bericht vom 31.3.2015
<http://energydesign-bs.de/publikationen/>
sowie Vortrag zum Projekt
http://energydesign-bs.de/wp-content/uploads/ed376_phi_Plesser_150418.pdf

[G-Müller-Schule] Prof. Dr. Königsdorff et al, HS Biberach: bine-Projektinfo 09/2015: Langzeitmonitoring Gebhard-Müller-Schule Biberach
<http://www.bine.info/themen/gebaeude-stadt/nichtwohnungsbau/publikation/schulgebaeude-im-langzeitmonitoring/heizung-kuhlung-lueftung-2/#sthash.643nvMCh.dpuf>