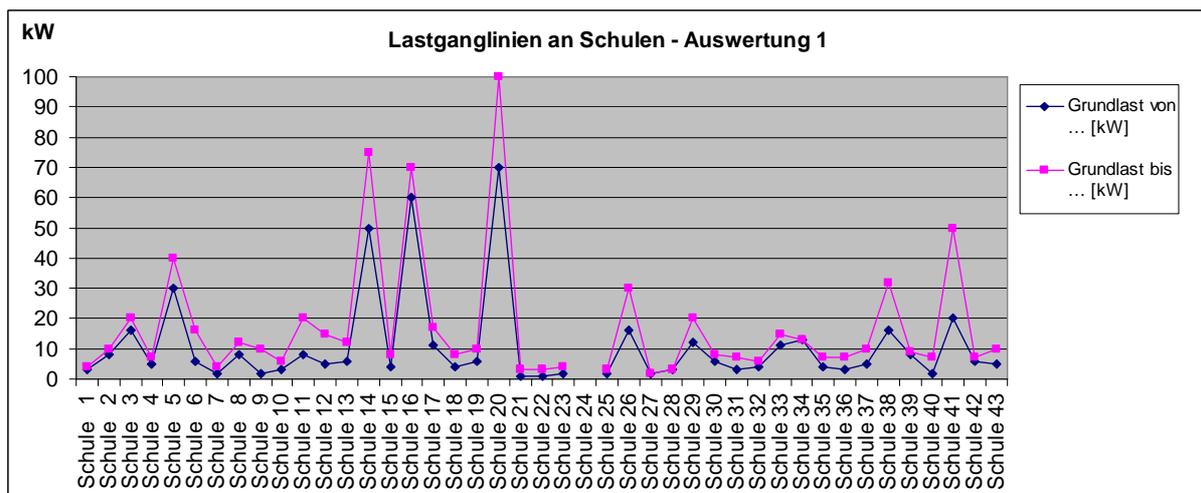


## Analyse von Lastganglinien an Schulen - Phase I -



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Diese Untersuchung wurde im Schwerpunkt  
Energieeffiziente Schule durchgeführt, den das  
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
im Rahmen des Förderkonzeptes  
Energieoptimiertes Bauen EnOB fördert.  
Auftraggeber war im Rahmen eines FE-Projekts  
das Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart

Erstellt im Sommer 2012

Dipl.-Phys. Ursula Rath  
CONSISTE – Tübingen

In Kooperation mit

Dipl.-Ing. Regina Bähr und Dipl.-Ing. Martin Klima  
Ingenieurbüro inco GmbH – Aachen

# Inhaltsverzeichnis

1	Lastganglinien an Schulen .....	3
1.1	Ausgangssituation und Vorgehensweise .....	3
1.1.1	Einführung in das Projekt.....	3
1.1.2	Vorgehensweise .....	4
1.1.3	Elektrische Lastganglinien in der Literatur.....	5
1.2	Ergebnisse .....	7
1.2.1	Zusammenfassung .....	7
1.2.2	Diskussion der vorgefundenen Lastgänge .....	10
1.2.3	Auswertung.....	14
1.3	Schlussfolgerungen.....	22
2	Anhang .....	24
2.1	Literaturquellen .....	24
2.2	Verwendeter Fragebogen: .....	25

# 1 Lastganglinien an Schulen

## 1.1 Ausgangssituation und Vorgehensweise

### 1.1.1 Einführung in das Projekt

Im Rahmen von Stromsparkonzepten wurde 2011/2012 der Verlauf elektrischer Lastganglinien mehrerer Schulgebäude in der Region um Tübingen analysiert. Es war abzulesen, dass durchgängig elektrische Leistung in Höhe von mehreren Kilowatt angefordert wurde, ohne dass dem jeweiligen Objektträger oder dem Nutzer klar gewesen wäre, woher dies resultiert. Bei kleineren Objekten lag die Last bei 5 bis 10 kW, bei einem großen bei 30 bis 50 kW. Dies war nachts, an Wochenenden, in Urlaubs- und Ferienzeiten der Fall, im Sommer ebenso wie im Winter. Der Anteil am gesamten Stromverbrauch, der durch diese Grundlast verursacht wurde, belief sich auf etwa 20 bis 50%.

Die Verursacher dieser Lastganglinien (LGL) waren in einer Analyse nur ansatzweise feststellbar. Zu vermuten ist, dass Lüftungs- und Klimaanlage, Server ggf. mit Kühlung sowie regeltechnische Einrichtungen Grund für den Hauptanteil der Grundlast sind, in einem Fall wohl auch eine Druckluftanlage. Zur Absicherung der genannten Annahmen sollen in Fortsetzung dieser bereits laufenden Untersuchungen an drei Schulen die regeltechnischen Einstellungen überprüft sowie ggf. durch sukzessives Abschalten möglicher Verursacher diese und ihre jeweilige Relevanz in einer vertieften Untersuchung identifiziert werden.

Um festzustellen, ob hohe elektrische Leistungsanforderungen zu Grundlastzeiten sehr häufig auftauchen, wurde beim Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) die erste Phase eines Förderantrags gestellt und bewilligt, die nun abgeschlossen ist. Ziel des Projekts war es, bei verschiedenen Schultypen die Höhe der Grundlast sowie die Höhe einiger spezifischer Größen wie Grundlast pro SchülerIn oder Grundlast pro Fläche festzustellen. Ziel war unter anderem auch, Schulträgern Hinweise an die Hand zu geben, worauf sie beim Energiemanagement ihrer Objekte besonders achten sollten. Interessant wäre ebenfalls, wenn eine Systematik für das Vorkommen hoher Grundlasten in manchen Schultypen auffindbar wäre.

Da von Interesse ist, ob die hier regional festgestellten Auffälligkeiten bundesweit zu finden sind, wurden neben 20 Objekten aus der Umgebung von Tübingen weitere 20 aus dem Aachener Raum in die Untersuchung aufgenommen. Die dortigen Objekte wurden vom Ingenieurbüro inco GmbH aus Aachen betreut. Weitere drei Objekte wurden hinsichtlich des Stromverbrauchs bereits vor Beginn des Projekts (und unabhängig von diesem) genauer untersucht und hier nachrichtlich mitgeführt.

Nicht zuletzt wurde bei der Konzeption des Projekts bedacht, dass die Reduktion einer Grundlast pro Kilowatt rund 6.500 kWh jährlich oder 1.300 Euro einspart. Dabei wurde davon ausgegangen, dass eine Schule etwa 2.200 bis 2.300 Nutzungsstunden pro Jahr hat, und

dass Schulträger aufgrund der Ausschreibung von Stromlieferverträgen derzeit einen Strompreis von etwa 20 Cent zu bezahlen haben. Eine nennenswerte Reduktion der Grundlast erbringt für die Haushalte von Kommunen und Landkreisen demnach eine spürbar finanzielle Entlastung.

Die Betreuung des Projekts lag beim Fraunhofer-Institut für Bauphysik – Stuttgart, stellvertretend für den Auftraggeber Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

### 1.1.2 Vorgehensweise

Da der Analyseaufwand am Einzelobjekt zur genauen Erhebung des anteiligen Stromverbrauchs verschiedener Gerätegruppen und Anlagen erheblich ist, wurde mehrstufig vorgegangen:

- In der ersten, hier vorgelegten Phase wurden LGL für jeweils 20 Schulen in den Regionen Aachen + Tübingen von den Schulträgern angefordert. Es wurde überprüft, ob ein durchgängig hoher Lastverlauf bei vielen oder zumindest bei der Mehrzahl der Objekte auftritt. Es erfolgte bei auffälligen Gebäuden eine kurze Abfrage hinsichtlich möglicher Ursachen für die Grundlast.
- Für diesen Arbeitsschritt wurden die elektrischen Lastganglinien für das Jahr 2011 oder auch für 2011 bis Mitte 2012 herangezogen. Energieversorgungsunternehmen stellen diese i. d. R. für Objekte mit einem nennenswerten Jahresstrombedarf viertelstundenscharf zur Verfügung. Derartige Daten liegen, abhängig vom Energieversorgungsunternehmen, teils als Listen in Excel vor und können dann grafisch ausgewertet werden, bei Bedarf auch taggenau. Teils besteht die Möglichkeit, sich in eine Datenbank einzuloggen und dort die Daten für die gewünschten Zeitfenster abzufragen.
- Nachstehend ist ein Beispiel gezeigt.

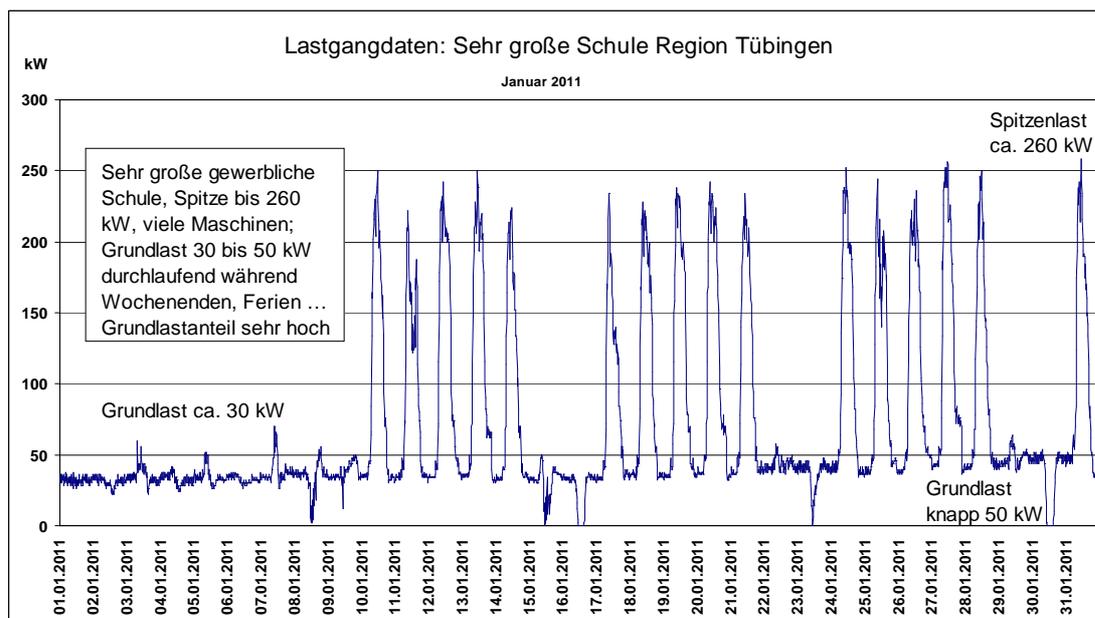


Abb. 1: Lastganglinie einer sehr großen gewerblichen Schule

- Zudem wurden bei den Schulträgern wesentliche Kenndaten über das jeweilige Gebäude abgefragt, wie Jahresstromverbrauch der letzten 5 (mindestens 3) Jahre, Nutzfläche, Zahl der SchülerInnen, Angaben zur Nutzung, ggf. Besonderheiten wie z. B. VHS-Nutzung, Vereinsnutzung in einer Turnhalle, Ganztagesunterricht u. ä. ... Der verwendete Fragebogen findet sich im Anhang.
- Um Relationen herstellen zu können, wurden die vorgefundenen Werte für Grundlast, ebenso wie auch für die Spitzenlast auf die Zahl der SchülerInnen sowie auf die Schulfläche bezogen sowie einige weitere Kenndaten gebildet, genaueres siehe Auswertungskapitel.
- Falls sich die oben beschriebenen Überlegungen bestätigen, sollen in einer künftigen Phase II genauere Analysen einiger auffälliger Schulen erfolgen. Hierbei werden bei Begehungen vor Ort die wesentlichen elektrischen Verbraucher (-gruppen) erfasst. Eine Hochrechnung ergibt die Verteilung des Jahresstromverbrauchs auf die vorliegenden Anwendungen. Es werden Vorschläge hinsichtlich Optimierungsmöglichkeiten gemacht. Am Ende liegt dem Schulträger ein Stromsparkonzept für das Objekt vor, welches Hinweise für die vorhandenen Sparpotenziale sowie die relevanten Verbraucher(-gruppen) in absoluter Höhe sowie hinsichtlich der Grundlast gibt.
- Über eine Ausweitung des Projekts auf Schulen außerhalb der beiden Regionen Tübingen und Aachen wurde im Vorfeld gesprochen, jedoch wird erst nach Durchführung von Phase II darüber entschieden werden.

Die Datenerhebung erwies sich als relativ aufwändig, da viele der Objekte aus mehreren Gebäudeteilen bestehen und zum Teil nicht sofort klar ist, welche auf den Hauptzähler gelegt sind. Auch das Vorhandensein von Photovoltaik- oder Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen bzw. deren Einspeisesituation (ins öffentliche Netz oder ins Objekt) waren nicht immer von vornherein klar. Eine größere Zahl von Schulen konnte trotz Bereitschaft der Schulträger zur Beteiligung nicht ins Projekt aufgenommen werden, da aufgrund der zu geringen Stromabnahme keine Lastkurve vom Energieversorger zu erhalten war. Hier mussten dann in einer zweiten Anfragerunde weitere Objekte gefunden werden.

### **1.1.3 Elektrische Lastganglinien in der Literatur**

Über die Thematik „Lastgang“ oder „Lastganglinie“ an Schulen ist nach unserem Recherche-stand derzeit wenig in der Literatur aufzufinden. Wenn sie diskutiert wird, dann am ehesten unter dem Blickwinkel eines standardisierten Lastgangs als Planungswerkzeug für Energieversorgungsunternehmen (EVU) oder unter dem Aspekt der Netzauslastung bzw. des Netzdesigns [Clausthal], [FfE].

Sehr viele auffindbare Quellen beziehen sich auf Hersteller-Informationen über regeltechnische Elemente zur Erfassung oder Steuerung des Lastgangs, auch von Seiten von Energieversorgungsunternehmen. Auch im Kontext der Bildung von Jahresdauerlinien für Kraftwärmekopplungsanlagen kommt gelegentlich das Stichwort Lastgang vor, häufig allerdings als thermischer Jahreslastgang.

Gleichzeitig werden deutliche Defizite beim effizienten Betrieb von Gebäuden gesehen [bine2010], [Optimus], ein Mangel, bei dessen Behebung die genauere Betrachtung der Lastgänge von Nutzen sein kann.

Hinsichtlich der speziellen Fragestellung zu Schulen sind nur einzelne Quellen vorhanden: An der Benjamin-Franklin-Oberschule in Berlin wurde 2011 auf den Lastverlauf in den Ferien hingewiesen, mit dem Gedanken, die an Wochenenden eintretenden tieferen Leistungswerte auch auf die übrigen Nächte zu übertragen. Der weitergehende Gedanke, welche Verbraucher denn überhaupt während Nicht-Nutzungszeiten in Betrieb sein müssen, wurde nicht gefasst [Franklin].

Unter <http://www.umweltschulen.de/energie/index.html> sind einige Schulprojekte dargestellt, die z. T. auch einen Lastgang analysiert haben. Dies bezog sich meist auf die Fragestellung, welche Verbraucher(-gruppen) zu welcher Tageszeit und in welcher Höhe Stromverbrauch verursachen. Das Thema Grundlast wurde nur am Rand gestreift.

Eine Schule in Erftstadt-Lechenich hat bereits 2004-2006 das Thema Lastgang diskutiert, allerdings unter dem Aspekt, was durch eigene Aktivitäten an Tageslast vermieden werden kann, sowie unter dem Aspekt, dass eine Mensa dazu gebaut worden ist [http://www.rs-lechenich.de/AGs/Energie\\_lang.html](http://www.rs-lechenich.de/AGs/Energie_lang.html). Die mögliche Frage nach der doch nennenswerten Grundlast von rund 10 kW wurde nicht formuliert.

Am Institut für Gebäude- und Solartechnik an der TU Braunschweig wird intensiv an der energetischen Optimierung von Schulgebäuden gearbeitet, ein Bezug auf die elektrische Grundlast an Schulen konnte jedoch nicht aufgefunden werden <http://www.igs.bau.tu-bs.de>.

Fazit aus den Recherchen: Lastverlauf und Grundlast war immer wieder ein Thema, nicht nur für Versorgungsunternehmen oder für Anbieter von Leistungen, sondern auch für das hier interessierende Segment der Schulen. Bisher wurde jedoch nie die Fragestellung nach der Höhe und nach der Notwendigkeit der Grundlast systematisch gestellt. Dies soll im Rahmen dieses Projekt geleistet werden, wobei die Antwort auf die Frage nach der Notwendigkeit sicher erst im Rahmen von Detailkonzepten in der angedachten Phase II des Projekts gegeben werden kann.

## 1.2 Ergebnisse

### 1.2.1 Zusammenfassung

Die Grundlast variiert sehr stark, abhängig von Schulart und Schulgröße, zwischen minimal 1 kW und im Spitzenwert 100 kW waren Werte vorhanden. Hohe Werte stammen häufig von beruflichen bzw. gewerblichen Schulen, dies resultiert u. a. aus der üblichen Größe dieses Schultyps, aber auch große Schulzentren kommen zum Teil auf eine hohe Grundlast.

Es wurde eine Reihe von spezifischen Werten gebildet und in Relation gesetzt:

Eine spezifische maximale Grundlast von 10 bis 20 W pro SchülerIn tritt häufig auf, Werte um 30 W/Person sind in Relation hoch. Zur Bewertung muss berücksichtigt werden, dass ein spezifischer Wert von 20 W/P. für eine Schule mit 1.000 SchülerInnen dann auch schon eine Grundlast von 20 kW bedeutet, also einen Wert, der aufzeigt, dass Handlungsbedarf besteht. Eine minimale Grundlast von 5 bis 10 W/P. kommt mehrfach vor und ist offenbar in den Schulen auch unter derzeitigen Verhältnissen erreichbar. Weitere Reduzierungsmöglichkeiten sollten vorhanden sein.

Ergebnisse für die maximale Spitzenlast pro Fläche liegen in der Regel zwischen 5 und 10 W/m<sup>2</sup>, einzelne Ausreißer deutlich darunter, einzelne darüber. Die Gründe dafür sind aus den vorliegenden Daten nicht ablesbar und müssten in einer vertieften Untersuchung gefunden werden.

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

Es wäre zu erwarten gewesen, dass die beruflichen Schulen aufgrund des vorhandenen Maschinenparks einen hohen Wert bei der Spitzenlast pro Person aufzeigen, dies ist nicht der Fall. Die spezifische Grundlast dieser Schulen liegt allerdings meist im oberen Bereich, es kommen aber auch tiefe Werte vor.

Die maximale Grundlast pro Fläche ist ebenfalls eine interessante Größe mit erheblicher Schwankungsbreite. Die vorgefundenen Werte liegen zwischen knapp über Null bis 4 W/m<sup>2</sup>, meist um 1 W/m<sup>2</sup>. Wiederum sollten die Ausreißer genauer untersucht werden.

Entsprechend der sehr unterschiedlichen Größe der verfügbaren Objekte variiert der mittlere Strombezug stark. Zwei große Berufsschulzentren sind die beiden höchsten Werte, gefolgt von 3 Schulzentren mit verschiedenen Schultypen und Sporthallen sowie einer gewerblichen Schule. Interessant wird dann die Auswertung nach spezifischem Strombezug pro SchülerIn. Die meisten Werte liegen zwischen 150 und 300 kWh pro Person und Jahr, 400 kWh/P.\*a sind hoch.

Ergänzend wurde noch die vielfach benutzte Relation Strombezug pro Fläche gebildet. Diese Kenngröße ist bereits Standard bei der energetischen Bewertung von Gebäuden. Die Werte bewegen sich zwischen 10 und 35 kWh/m<sup>2</sup>\*a, wobei der höchste Wert aufgrund der Datenlage zu hinterfragen ist.

Resultierend lässt sich als generelle Aussage ableiten, dass Trägern von beruflichen und gewerblichen Schulen zu empfehlen ist, die Grundlast ihrer Gebäude genauer zu analysie-

ren, da schon allein aufgrund der Schulgröße Grundlastwerte von 10 bis 20 kW häufig vorkommen.

Grundlast und 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. Doch lohnt es sich auf jeden Fall, den Grundlastverlauf genau zu analysieren und Auffälligkeiten nachzugehen. Hohe spezifische Werte für Grundlast pro Quadratmeter oder pro SchülerIn müssen ein Alarmsignal sein, ebenso ein hoher Stromverbrauch pro Person.

Nachfolgend sind die wichtigsten Kenndaten der betrachteten Schulen dargestellt, wie z. B. Fläche (Bruttogrundfläche - BGF) Zahl der SchülerInnen (TeilzeitschülerInnen nur zu 50% gezählt), mittlerer Stromverbrauch über die letzten fünf (drei) Jahre, Höhe der Grundlast von ... bis xy Kilowatt, sowie einige auf die Personenzahl sowie die Fläche bezogene Werte.

Tab. 1: Wichtigste Kenndaten der betrachteten Schulen

Interne Schuli-Nr.	Schultyp		Nutzfläche (BGF) ca. [m <sup>2</sup> ]	Mittelwert Strombezug [kWh]	Zahl SchülerInnen	Zahl Kurse/Klassen ca.	Grundlast		Spitzenlast max. [kW]	Fläche/Schül. [m <sup>2</sup> /Pers.]	Strombezug/Schül. [kWh/Pers.]	Strombezug/Fläche [kWh/m <sup>2</sup> ]
							von	bis [kW]				
1	Realschule	RS	4.000	75.600	539	20	3	4	50	7	140	19
2	Gymnasium	Gym	10.000	217.000	942	42	8	10	178	11	230	22
3	Realschule	RS	5.000	168.400	450	16	16	20	170	11	374	35
4	Gymnasium	Gym	7.000	136.600	1.311	52	5	7	75	5	104	20
5	Berufl.Gymn., Wirtschaftsgymn., Berufskolleg/- schule, div. Fachschulen	BSZ	20.100	405.900	1.830	91	30	40	190	11	222	20
6	Grundschule, Werkrealschule und Realschule	G+ RS	7.000	206.000	600	31	6	16	69	12	343	29
7	Realschule	RS	5.000	68.600	692	25	2	4	54	7	99	14
8	Gymnasium	Gym	8.800	194.200	903	38	8	12	116	10	215	22
9	Gymnasium + Realschule + Turnhalle	Gym+ RS	12.800	294.200	1.207	42	2	10	45	11	244	23
10	Grund- und Hauptschule	GuH	7.700	63.500	346	14	3	6	70	22	306	14
11	Gymnasium	Gym	12.600	127.000	912	39	8	20	97	14	232	17
12	Gymnasium	Gym	6.800	82.900	935	40	5	15	68	7	148	20
13	Grund- und Hauptschule	GuH	10.300	112.200	518	26	6	12	97	20	361	18
14	Grund-, Haupt- u. Werkrealschule, Realschule, Gymnasium	SZ	28.100	182.700	2.348	97	50	75	280	12	255	21
15	Grund- und Hauptschule	GuH	7.100	36.800	258	13	4	8	52	27	357	13

16	Grundschule, Realschule, Gymnasium	SZ	28.400	327.000	2.086	87	60	70	378	14	392	29
17	Hauswirtschaftl. Schulzentrum	BSZ	12.200	267.900	981	40	11	17	138	12	273	22
18	Gymnasium	Gym	10.900	141.300	650	28	4	8	75	17	217	13
19	Gymnasium	Gym	9.200	226.400	500	25	6	10	141	18	453	24
20	Berufsschulzentrum, TG, Hauswirtsch. Gymn., kaufm. Berufskolleg	BSZ	53.100	1.355.400	5.223	338	70	100	670	10	260	26
21	Grundsch._mSpH	GS	3.800	57.200	240	9	1	3	46	16	238	15
22	Grundsch._mSpH	GS	6.800	77.800	261	11	1	3	47	26	298	11
23	Grundsch._mSpH	GS	4.900	55.500	150	7	2	4	40	32	370	11
24	Grundsch._mSpH	GS	5.700	53.800	215	9				27	250	9
25	Grundsch._mSpH	GS	7.500	87.100	300	12	2	3	56	25	290	12
26	Gesamtsch.+SpH	GS	22.500	464.400	1340	49	16	30	256	17	347	21
27	Förderschule_mSpH	FS	4.000	45.100	135		2	2	40	29	334	12
28	Weiterf.Sch.+SpH (Hauptschule)	HS	7.000	67.200	429	22	3	3	38	16	157	10
29	Weiterf. Schule_mSpH (Gymnasium)	Gym	12.700	261.300	1120	47	12	20	124	11	233	21
30	Weiterf. Schule_mSpH (Gymnasium)	Gym	12.500	131.900	1150	50	6	8	67	11	115	11
31	Weiterf. Schule_oSpH (Realschule)	RS	6.600	61.300	686	24	3	7	38	10	89	9
32	Berufskolleg_mSpH	BS	58.500	1.068.600	3193		4	6	45	18	335	18
33	Berufskolleg_mSpH	BK	14.000	212.800	749		11	15	120	19	284	15
34	Grundschulen_mSpH + Schwimmhalle	GS	6.300	138.800	160	8	13	13	67	39	868	22
35	Realschule mit Turnhalle	RS	9.000	85.500	495	19	4	7	53	18	173	10
36	Gymnasium mit TH	Gym	13.000	127.900	495	20	3	7	73	26	258	10
37	Förderschule incl. TH	FS	7.100	187.500	244		5	10	97	29	767	26
38	Gymnasium + Gesamtschule	Gym+GS	25.000	700.100	1870	70	16	32	294	13	374	28
39	Hauptschule mit TH	HS	8.300	160.000	405	20	8	9	92	20	395	19
40	Gymnasium	Gym	8.700	113.100	842	30	2	7	57	10	134	13
41	Gewerbliche Schule	BSZ	24.000	605.900	1.659	116	20	50	265	14	365	25
42	Berufsschule	BS	6.400	124.400	696	30	6	7	75	9	179	20
43	Schule für Geistigbehinderte	FS	4.700	100.300	92	16	5	10	40	51	1.090	21

## 1.2.2 Diskussion der vorgefundenen Lastgänge

Die Schulen sind anonymisiert, 20 sind aus der Region Tübingen, 20 aus der Region Aachen. Drei Schulen wurden bereits vor Projektbeginn im Auftrag des Schulträgers genauer untersucht und insofern im Rahmen dieser Studie nachrichtlich mitgeführt.

Gelegentlich wird gesondert auf den Schultyp hingewiesen, also z. B. auf Grund- und Hauptschule oder Berufsschule als zwei Schultypen mit stark unterschiedlicher Ausstattung mit Geräten und Anlagen oder wenn ein Schwimmbad vorhanden ist.

Wenn Besonderheiten wie Abendnutzung oder Ferienprogramme relevant für den Lastverlauf sind, wird in den Diagrammen bzw. in deren Erläuterung darauf hingewiesen. Dies gilt ebenso für vorhandene Blockheizkraftwerke (KWK) oder für Photovoltaik-Anlagen (PV).

Nachstehend wird ein Beispiel für ein größeres Gymnasium gezeigt. In der Schule haben in den letzten Jahren einige Sanierungsschritte stattgefunden, die Heizungsregelung ist erneuert, ein Teil der Beleuchtung ebenfalls. Die Grundlast liegt bei 5 bis 7 kW, durchgehend über das ganze Jahr, kein Unterschied zwischen Sommer- und Winterhalbjahr, die Spitzenlast bei 75 kW. Beide Werte sind in Relation zur Schulgröße recht niedrig (weiteres vergl. nachfolgende Auswertungskapitel).

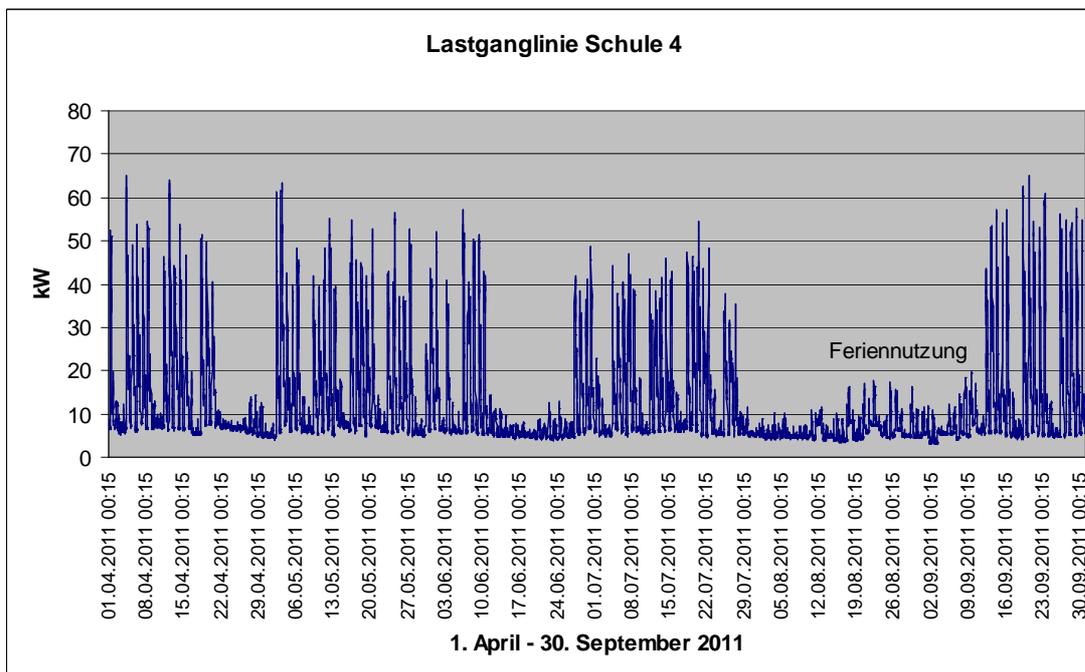


Abb. 2: Lastganglinie eines Gymnasiums - Sommerhalbjahr

Es fällt auf, dass in den Sommerferien nennenswerte Nutzung stattfindet – die Sporthalle der Schule wird für Angebote des kommunalen Sommerferienprogramms mit genutzt.

Im Winterhalbjahr liegt die Spitzenlast meist bei 60 bis 70 kW und geht dann zum Sommer zurück auf etwa 40 kW, die Differenz dürfte hauptsächlich der Beleuchtung geschuldet sein.

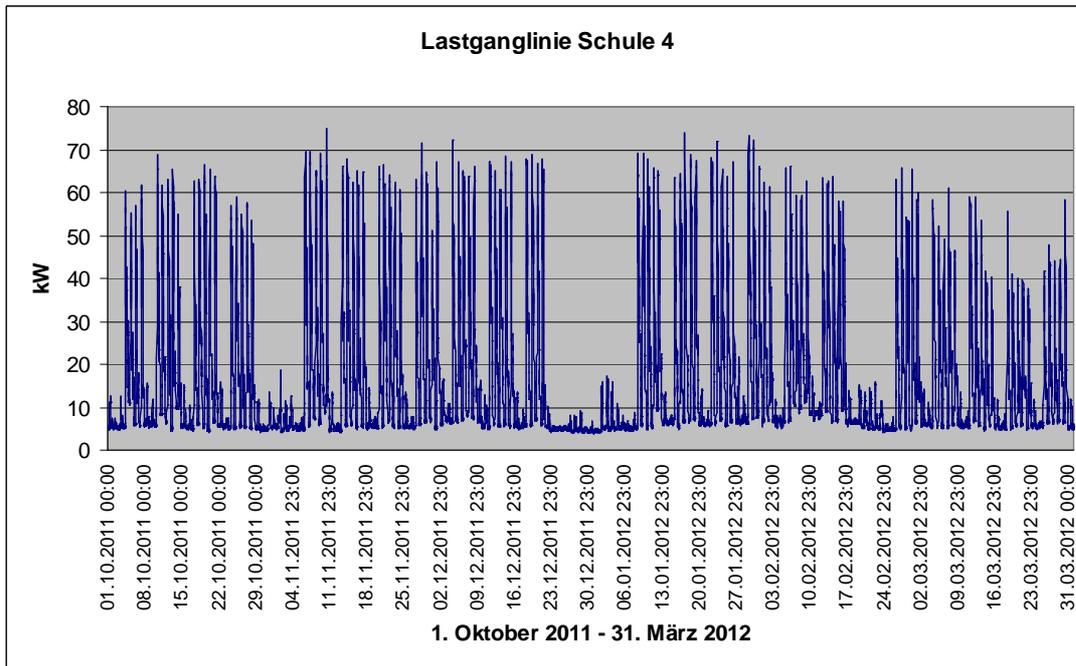


Abb. 3: Lastganglinie eines Gymnasiums - Winterhalbjahr

Die nachfolgend gezeigte Grund- und Hauptschule hat eine Grundlast von rund 3 kW, eine Spitzenlast von 38 kW. Die tatsächlich anstehende Grundlast wird nur im Sommer sichtbar, wenn das Blockheizkraftwerk ausgeschaltet wird. Der Betrieb von BHKWs verschleiert gelegentlich die Höhe der Grundlast, bei einigen Objekten war die KWK so ausgelegt, dass während der Wintermonate stets ausreichend elektrische Leistung zur Deckung des Grundlaststrombedarfs der Schule verfügbar war. In anderen Objekten deckte die KWK nur einen Teil der Grundlast ab oder lief nur über begrenzte Zeiten im Jahr, so dass die Sprünge leicht erkennbar waren.

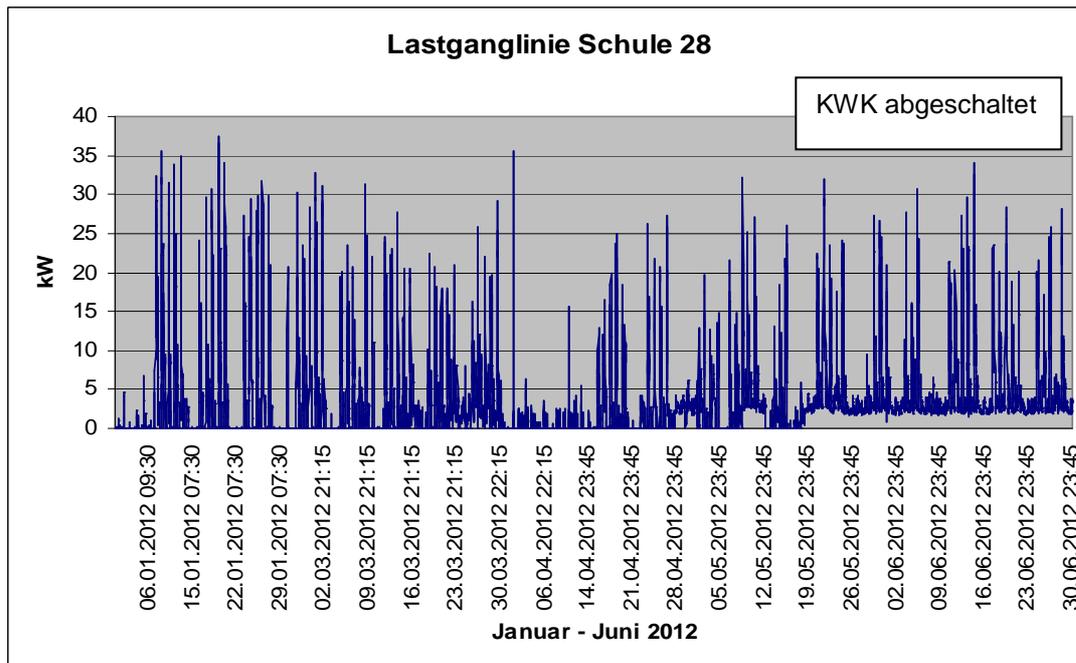


Abb. 4: Lastganglinie einer Grund- und Hauptschule

Auf den Dächern mancher Schulen sind PV-Anlagen installiert; ist dies der Fall, sieht ein Lastgang im Winter typischerweise aus wie nachfolgend gezeigt. An Tagen mit hoher Solarstrahlung geht die elektrische Last zurück bis auf Null, der Überschuss wird ins öffentliche Netz eingespeist. Im Sommer ist der Rückgang an entsprechend mehr Tagen zu sehen. Typisch ist ein Verlauf in den Sommerferien, wo dann Lastbezug nur nachts auftritt und tags die PV-Anlage sämtlichen Verbrauch kompensiert.

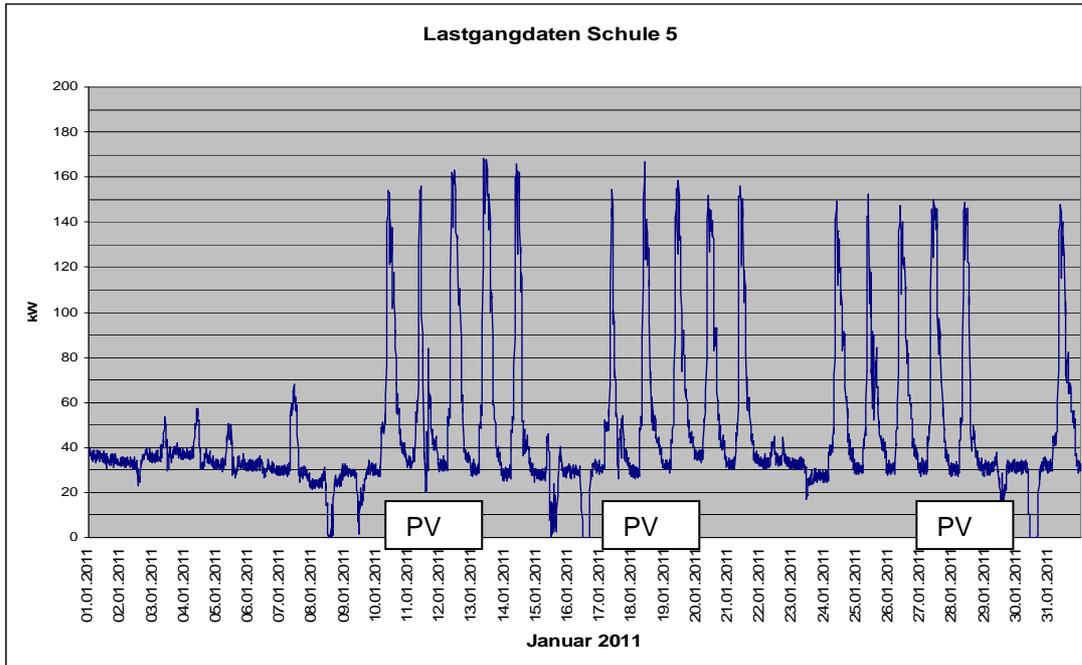


Abb. 5: Lastganglinie einer Schule mit PV-Einspeisung

Auch Nutzungsbesonderheiten wie etwa eine Abendnutzung der Schulturnhalle durch Vereine oder eine größere Veranstaltung am Wochenende sind gut ablesbar. In einigen der Schulen wird in der Ferienzeit weiterhin Sport von Vereinen angeboten oder es gibt die bereits erwähnten Sommerferienangebote. In beruflichen Schulen laufen zum Teil Kurse auch in den Ferien.

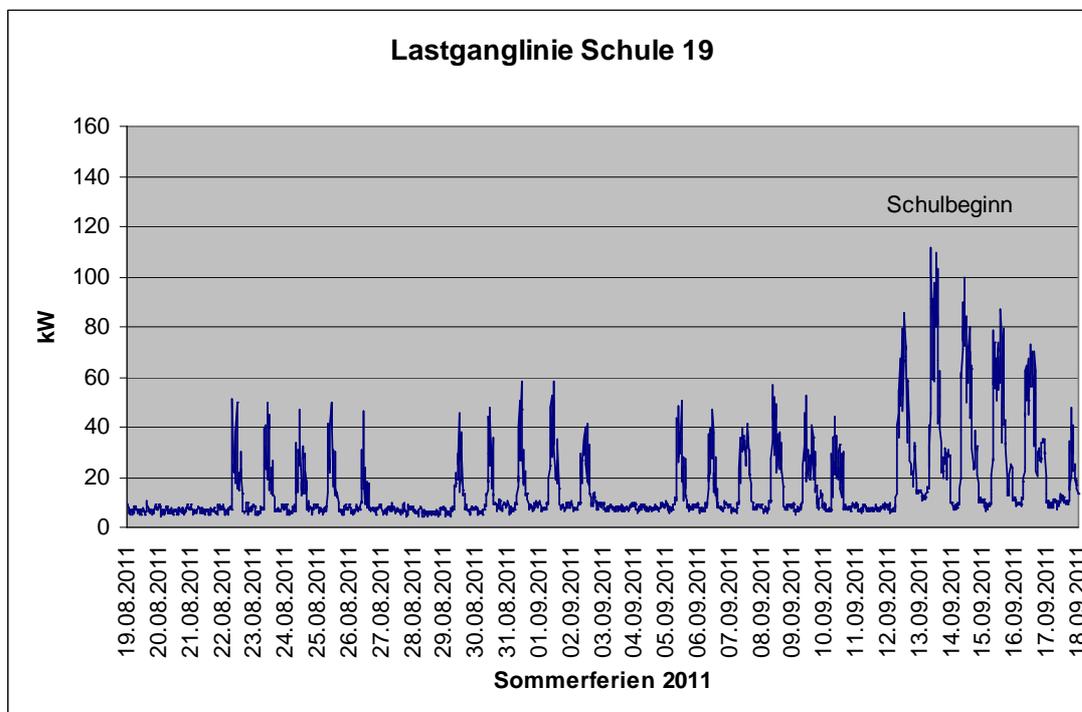


Abb. 6: Lastganglinie einer Schule mit Teilnutzung in der zweiten Hälfte der Sommerferien

### 1.2.3 Auswertung

Im Hinblick auf die Fragestellung, wie relevant die Grundlast in Schulen für den Stromverbrauch der Gebäude ist, wurden die vorliegenden Lastgänge der Energieversorgungsunternehmen 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. Die sich aus diesen Analysen ergebenden Daten wurden dann unter verschiedenen Blickwinkeln ausgewertet.

Um einerseits die aufgefundenen Werte den zugrunde liegenden Schulen, andererseits den Schultypen zuordnen zu können, wurden jeweils zwei Auswertungen gebildet: Einmal eine Sortierung nach der Schulnummer, einmal nach dem Schultyp. In den nachfolgenden Abbildungen sind diese jeweils übereinander gezeigt. Die Kürzel für die Schultypen sind folgende: BK – Berufskolleg, BS/BSZ – Berufsschule/-zentrum, FS – Förderschule, GS – Grundschule, HS – Hauptschule, RS – Realschule, SZ – Schulzentrum, Gym – Gymnasium.

Die Grundlast wurde aus den vorliegenden Lastgängen abgelesen. Minimale und maximale Werte sind jene Werte, die während Ferien, Wochenenden oder nachts vorzufinden sind. Sie variieren sehr stark, abhängig von Schulart und Schulgröße, zwischen minimal 1 kW und im Spitzenwert 100 kW waren Werte vorhanden, wie nachfolgend gezeigt. Die beiden höchsten Werte stammen von einem sehr großen beruflichen Schulzentrum mit zahlreichen Ausbildungsgängen sowie von großen zwei 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.

Resultierend lässt sich daraus ableiten, dass Trägern von beruflichen und gewerblichen Schulen zu empfehlen ist, die Grundlast ihrer Gebäude genauer zu analysieren, da angesichts der üblichen Größe dieses Schultyps meist Grundlast in Höhe von 10 kW aufwärts zu verzeichnen ist.

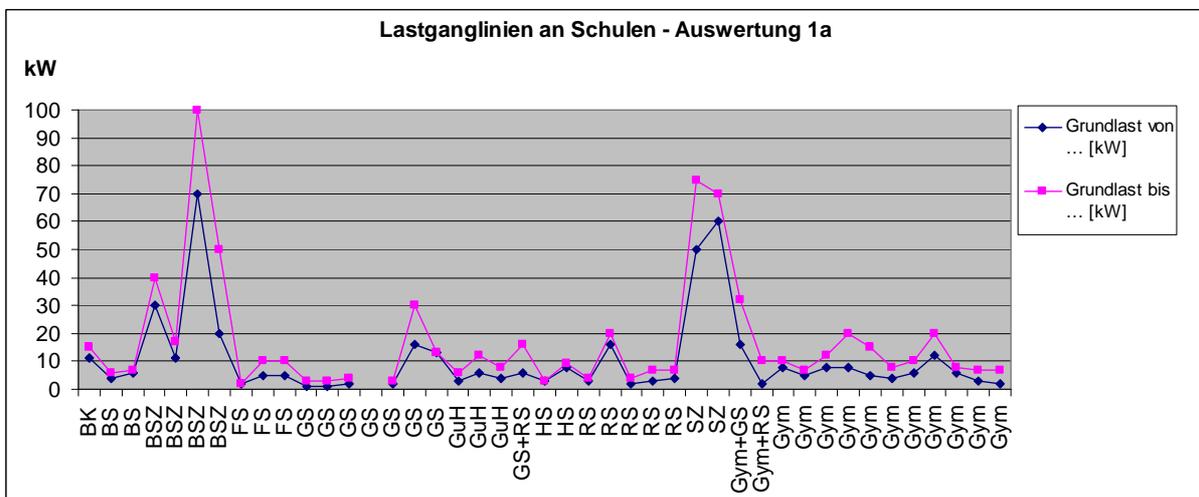
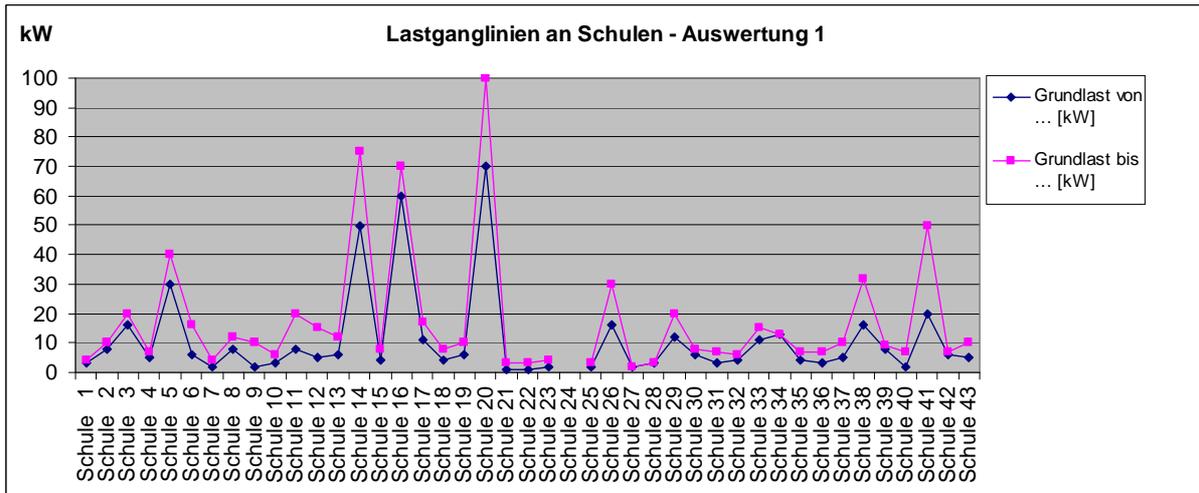


Abb. 7: Vorgefundene minimale und maximale Werte der Grundlast

Werden diese absoluten Werte in Relation zur Fläche der Gebäude sowie auch zur Schülerzahl gesetzt, relativiert sich die Höhe stark. Zu beachten ist, dass berufliche und gewerbliche Schulen häufig von Teilzeitschülern 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.

Die hohen Werte für Schule 3 resultieren vermutlich daraus, dass dort eine Mensa sowie eine Heizzentrale untergebracht sind, die benachbarte Gebäude mit versorgen.

Eine Grundlast von 10 bis 20 W pro SchülerIn tritt häufig auf, Werte um 30 W/Person sind in Relation 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.



Die minimale Grundlast pro Schüler/In kann als Anhaltswert dienen, welche Werte ohne weiteres zu erreichen sind, da in den verwendeten Schulen in der Regel bislang keine Aufmerksamkeit auf dem Thema Grundlast lag. Werte um 10 W/P. kommen häufig vor und werden zum Teil auch noch deutlich unterschritten, tendenziell eher in Gymnasien, aber auch in anderen Schultypen. Berufliche Schulen und Förderschulen liegen eher beim doppelten Wert.

Werden die Objekte auch hinsichtlich des Grundlastbezugs optimiert, sollten demnach Werte von 5 W/P. unterschritten werden können.

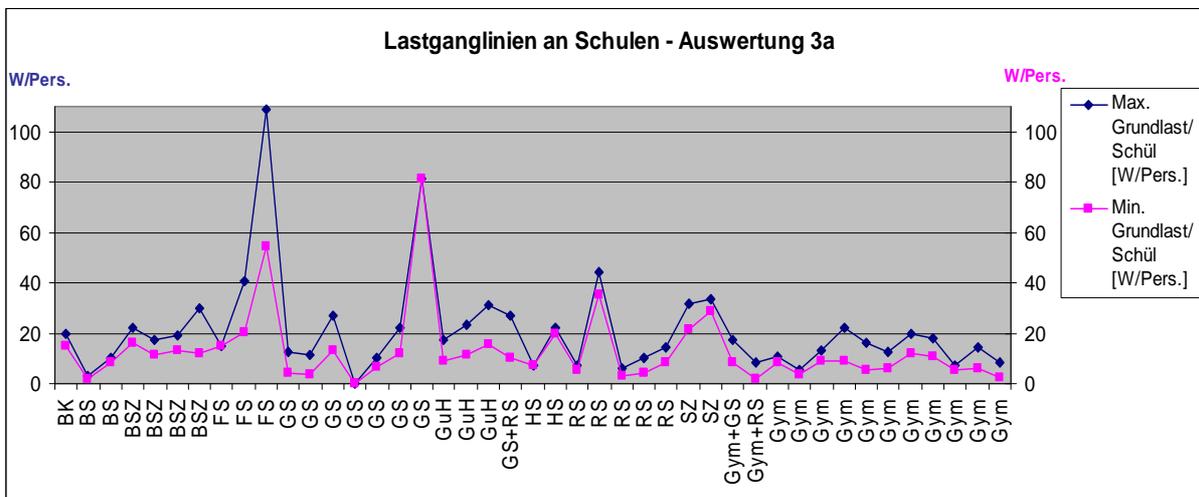
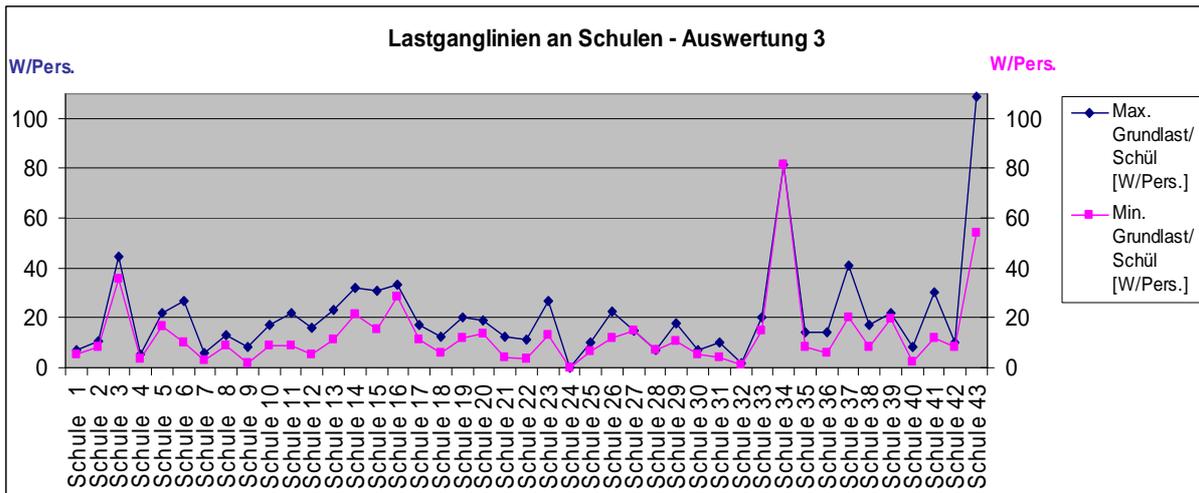


Abb. 9: Minimale und maximale Werte der Grundlast bezogen auf die Schülerzahl

Eine weitere interessante Größe könnte die maximale Spitzenlast pro Fläche sein. Die vorgefundenen Werte liegen in der Regel zwischen 5 und 10 W/m<sup>2</sup>, einzelne Ausreißer deutlich darunter, einzelne darüber. Die Gründe dafür sind aus den vorliegenden Daten nicht ablesbar und müssten in einer vertieften Untersuchung gefunden werden. Zu Schule 3 vergleiche die Aussage beim vorhergehenden Diagramm.

Um diese Größen besser einordnen zu können, wurden die Flächen pro Schüler/In errechnet und im Diagramm eingefügt; diese liegen mit einer sehr großen Spannweite zwischen 4 und 40 m<sup>2</sup>/Person, mit dem (zu erwartenden) Ausreißer der bereits erwähnten Förderschule auf gut 50 m<sup>2</sup>/P., aber auch recht hohen Flächen bei einigen Grundschulen sowie einem Gymnasium. Bei den Grundschulen sind diese Werte mit der Ganztagesbetreuung zu erklären.

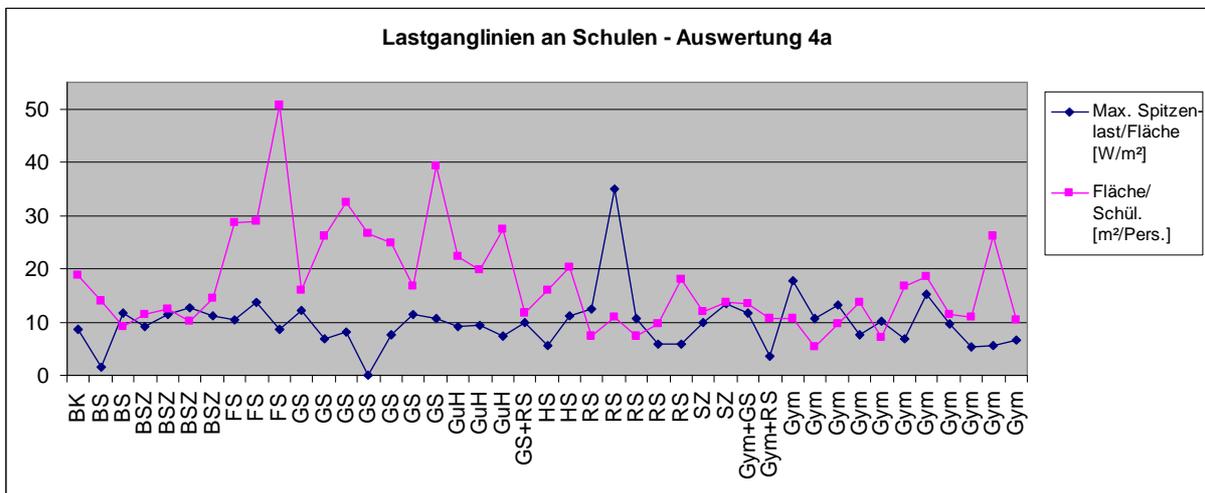
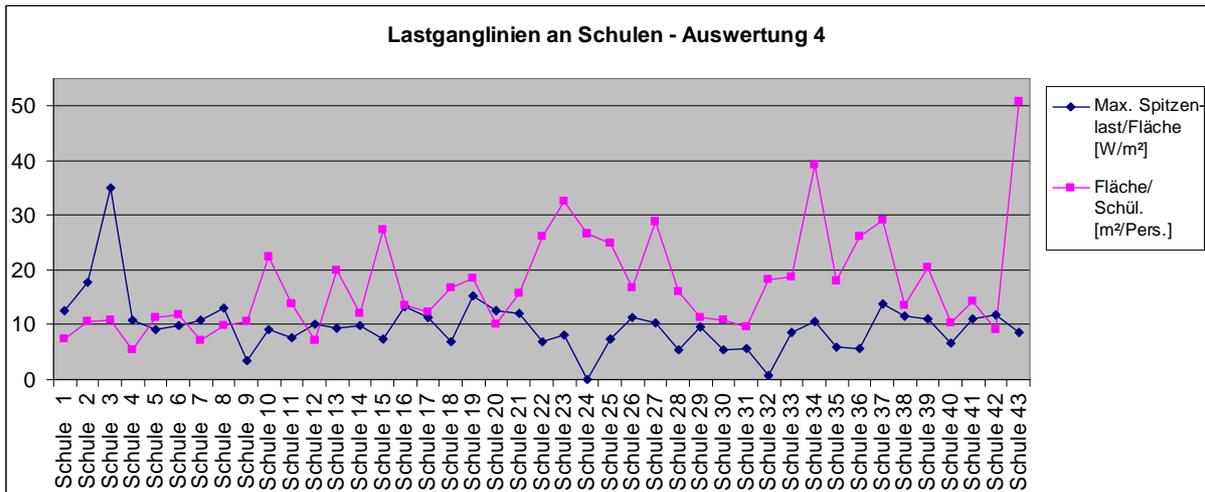


Abb. 10: Maximale Werte der Spitzenlast bezogen auf die Fläche sowie Fläche pro Schüler/In





Ergänzend wurde noch die vielfach benutzte Relation Strombezug pro Fläche gebildet. Die Werte bewegen sich zwischen 10 und 35 kWh/m<sup>2</sup>\*a, wobei der höchste Wert wiederum von der bereits erwähnten Schule 3 stammt und daher zu hinterfragen ist. Es lassen sich keine Aussagen hinsichtlich typischer Werte pro Schultyp formulieren.

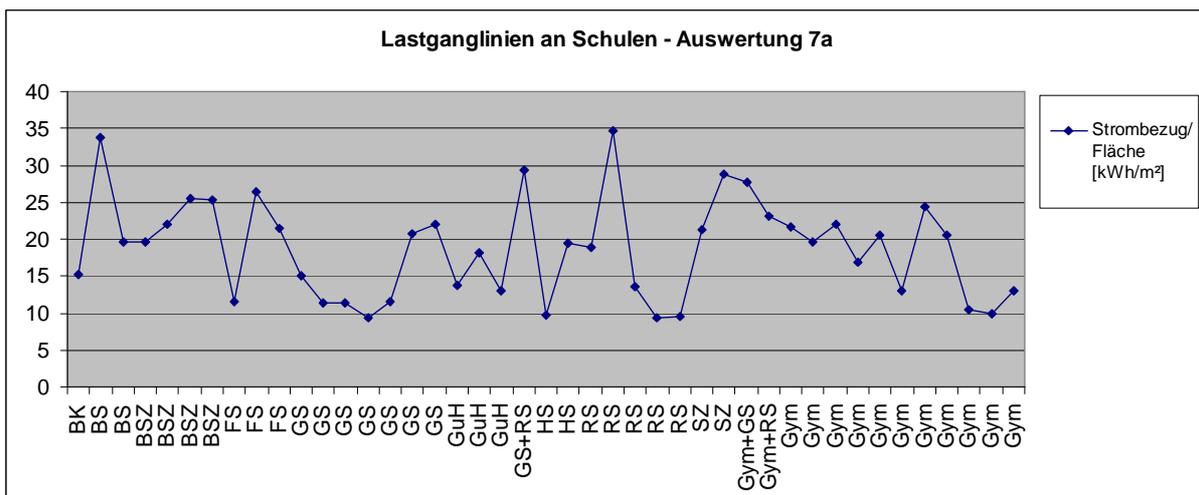
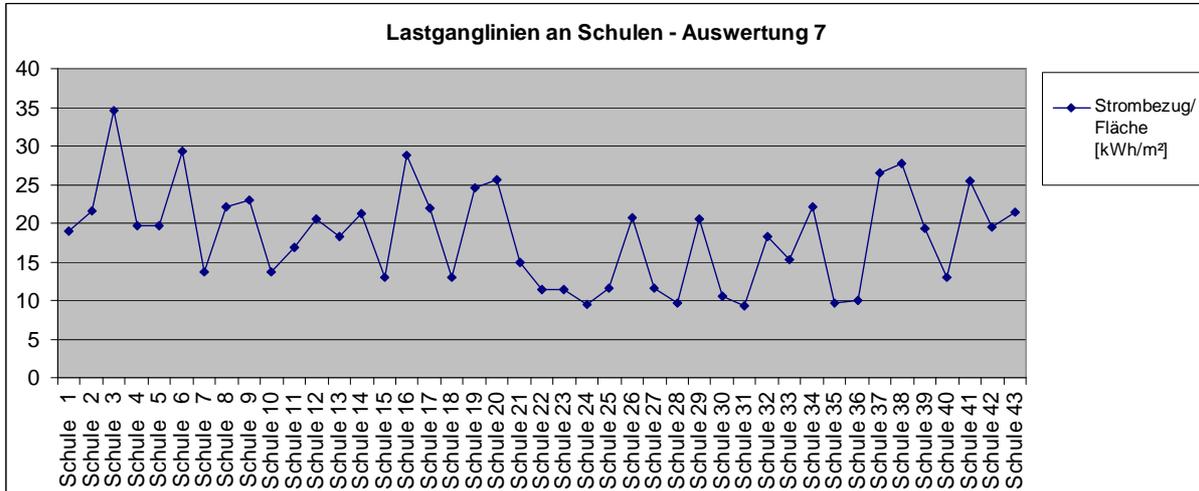


Abb. 13: Mittlerer jährlicher Strombezug bezogen auf die Fläche

## 1.3 Schlussfolgerungen

Die Grundlast variiert sehr stark, abhängig von Schulart und Schulgröße. Die vorgefundenen Werte lagen zwischen minimal 1 kW und im Spitzenwert 100 kW. Hohe Werte stammen häufiger von beruflichen bzw. gewerblichen Schulen, bedingt durch die meist hohe Größe. Resultierend lässt sich daraus ableiten, dass Trägern von beruflichen und gewerblichen Schulen zu empfehlen ist, die Grundlast ihrer Gebäude genauer zu analysieren.

Aber auch jenen Schulträgern mit kleineren Objekten ist ein genauere Blick auf die Höhe der Grundlast nahe zu legen, wie die nachstehenden Ausführungen zeigen. Der Vorschlag erschließt sich aus der Betrachtung der spezifischen Werte.

Spezifische Werte:

Eine maximale Grundlast von 10 bis 20 W pro SchülerIn tritt häufig auf, Werte um 30 W/Person sind in Relation 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.

Die minimale spezifische Grundlast liegt bei 5 bis 10 W/m<sup>2</sup>. Diese Werte sind in Schulen aufgefunden worden, die bislang i.d.R. nicht besonders auf die Grundlast geachtet haben und stellen daher einen Richtwert dar, der ohne weiteres erreicht werden kann. Es ist daher zu erwarten, dass auch tiefere Werte möglich sind.

Die vorgefundenen Werte für die die maximale Spitzenlast pro Fläche liegen in der Regel zwischen 5 und 10 W/m<sup>2</sup>, einzelne Ausreißer deutlich darunter, einzelne darüber. Die Gründe dafür sind aus den vorliegenden Daten nicht ablesbar und müssten in einer vertieften Untersuchung gefunden werden.

Auf die Zahl der SchülerInnen bezogene spezifische Werte der Spitzenlast von 80 bis 150 W/Pers. kommen häufig vor, unter 50 W/P. ist niedrig, über 200 W/P. hoch.

Es wäre zu erwarten gewesen, dass die beruflichen Schulen aufgrund des vorhandenen Maschinenparks einen hohen Wert bei der Spitzenlast pro Person aufzeigen, dies ist nicht der Fall. Die spezifische Grundlast dieser Schulen liegt allerdings meist im oberen Bereich, es kommen aber auch tiefe Werte vor. Bei der Interpretation dieser Werte sollte mitgedacht werden, dass TeilzeitschülerInnen nur zu 50% mitgezählt worden sind.

Die maximale Grundlast pro Fläche ist ebenfalls eine interessante Größe mit erheblicher Schwankungsbreite. Die vorgefundenen Werte liegen zwischen knapp über Null bis 4 W/m<sup>2</sup>, meist um 1 W/m<sup>2</sup>. Wiederum sollten die Ausreißer genauer untersucht werden.

Entsprechend der sehr unterschiedlichen Größe der verfügbaren Objekte ist der mittlere Strombezug über die letzten 5 (3) Jahre sehr unterschiedlich. Interessant wird dann die Auswertung nach spezifischem Strombezug pro SchülerIn. Die meisten Werte liegen zwischen 150 und 300 kWh/P.\*a, 400 kWh/P.\*a sind hoch.

Ergänzend wurde noch die vielfach benutzte Relation Strombezug pro Fläche gebildet. Die Werte bewegen sich zwischen 10 und 35 kWh/m<sup>2</sup>\*a, wobei der höchste Wert wiederum von der bereits erwähnten Schule 3 stammt und daher zu hinterfragen ist.

Resultierend lässt sich sagen:

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. Es sollte überlegt werden, den Umfang der Stichprobe zu erhöhen, speziell hinsichtlich der häufig vorkommenden Schultypen.

Ohne genauere Kenntnis der Gebäude ist nicht ablesbar, woher im Einzelnen besonders hohe absolute oder spezifische Werte rühren, wenn nicht zusätzliche Informationen über die Gebäude vorhanden sind. Es ist zwar zu vermuten, dass zum einen Lüftungs-, evtl. auch Klimaanlage Ursache für die Grundlast sind, zum anderen regeltechnische Einrichtungen. Auch Server und ggf. ihre Kühlung können dieses Verbrauchssegment erhöhen. In beruflichen Schulen sind u. U. Druckluftanlagen Ursache für hohe Werte.

Aus der Analyse des Grundlastverlaufs kann jedoch nicht abgelesen werden, welche Anwendung in welcher Höhe für die Grundlast verantwortlich ist. Aus diesem Grund empfiehlt sich eine vertiefende Untersuchung, die die auffälligen Schulen genauer hinsichtlich der Ursachen von Stromverbrauch, Grund- und Spitzenlast analysiert. Vermutlich können am ehesten übertragbare Ergebnisse erzielt werden, wenn nicht die sehr großen Schulzentren oder die Förderschulen analysiert werden, sondern einige der mittelgroßen, häufiger vorkommenden Schultypen.

Eine definitive Zuordnung der Grundlast zu bestimmten Verbrauchergruppen kann im Rahmen eines Stromsparkkonzepts durch eine Abschaltaktion erfolgen; hierbei werden während einer Ferienperiode (um den Schulbetrieb nicht zu stören) gezielt relevante elektrische Verbraucher abgeschaltet und resultierend gemessen, wie sich der Leistungsbezug verändert, ob der jeweils erwartete Rückgang verifiziert werden kann. Dies ist allerdings mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

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.

## 2 Anhang

### 2.1 Literaturquellen

[Clausthal] Vorlesung Elektrizitätswirtschaft, Kap. Elektrizitätsanwendungen, Dr. Klaus-Dieter Maubach, TU Clausthal 2008

[Optimus] Technische Optimierung und Energieeinsparung, Dr. Kati Jagnow, Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Optimus-Projekt, gefördert durch DBU

[bine] Gebäude energieeffizient betreiben – den Anspruch der Planung einlösen, Stefan Plesser, EnBop, bine-Info I/2010

[Franklin] Energiecontrolling an Berliner Schulen – Benjamin-Franklin-Oberschule, ein Energieeffizienzprojekt von Vattenfall Europe, 2011

[FfE] Strukturoptimierung in Ballungsgebieten – Energiebedarfsprognose für die Stadt München, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, 2007

## 2.2 Verwendeter Fragebogen:

**Analyse von Lastganglinien in Schulen - Forschungsprojekt im Auftrag des BMWi, vertreten durch das Fraunhofer IBP Stuttgart**

Anmerkung:  
 Daten zum Lastgang bitte zusammen mit den Daten zur Schule versenden; per Mail an info@consiste.de (Region Tübingen) bzw. an r.baehr@ib-inco.de (Region Aachen);  
 Ansprechpartnerinnen: Fr. Rath, Büro CONSISTE, 07071/687163 für das Gesamtprojekt, Fr. Bähr, Büro INCO, 0241/474670, für die Region Aachen

Schule	Straße	PLZ + Ort	Kontaktperson mit Tel. + Mail	Interne Schlüsselnr. zur Anonymisierg.	Schultyp	Nutzfläche (BGF) [m²]

				Analysen   Strategien   Konzepte <b>CONSISTE</b> Consulting für intelligenten Strom Einsatz Juni 2012						
Strombezug [kWh], mind. die letzten 3 Jahre					Zahl SchülerInnen	Zahl Klassen	Besonderheiten (Schwimmbad, Turnhalle, VHS, Vereine ...)	PV-Anlage vorhanden seit ...	BKHW vorhanden	Sonst. Anmerkungen, Kommentare
2007	2008	2009	2010	2011						

<b>Genauere Detaillierung der Nutzung</b>					
Ganztagsbetrieb (regelmäßiger Schulbetrieb bis 16 Uhr); ja/nein	regelmäßige Abendnutzung des Gebäudes durch VHS, Vereine; ja/nein	Turnhalle vorhanden; ja/nein	Nutzung der Turnhalle durch Vereine; ja/nein	Schwimmhalle vorhanden; ja/nein	Nutzung d. Schwimmhalle durch Vereine; ja/nein