

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in neuen und sanierten Schulen

Endbericht

Autor:

Dipl.-Ing. Andreas Greml

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in neuen und sanierten Schulen

ENERGIE TIROL

DI Andreas Greml – TB Andreas Greml



Mai 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung: Stromverbrauch und Stromeffizienz in neuen und sanierten Schulen .....</b>	<b>7</b>
<b>Zwölf Grundsätze für stromeffiziente Schulen.....</b>	<b>12</b>
<b>1 Einleitung und Vorbemerkungen.....</b>	<b>16</b>
1.1 Ausgangspunkt des Forschungsprojektes.....	16
1.2 Ziel des Forschungsprojektes .....	16
1.3 Vorgangsweise – Übersicht .....	16
1.4 Messeinrichtungen und Einschränkungen.....	17
1.4.1 Messeinrichtungen.....	17
1.4.2 Blindstrom verzerrt Messungen mit Klappwandler.....	23
1.4.3 Spannungsniveau wird bei Klappwandlern nicht gemessen .....	23
1.4.4 Evaluierung liefert keine statistische Hochrechnung.....	25
1.4.5 Keine Veröffentlichung der Ergebnisse von Einzeluntersuchungen.....	25
<b>2 Elektrotechnische Grundlagen.....</b>	<b>26</b>
2.1 Wirkleistung .....	26
2.2 Wirk- und Blindleistung .....	26
2.3 Blindleistung .....	27
2.4 Scheinleistung .....	27
2.5 Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ bzw. $\cos \Phi$ ).....	28
<b>3 Bestehende Benchmarks, Studien und Infos zum Stromverbrauch in Schulen ...</b>	<b>29</b>
3.1 Benchmarks zum Strombedarf in Schulen .....	29
3.1.1 Allgemein zugängliche Benchmarks bzw. Kennzahlen.....	29
3.1.2 Schulen in e5-Gemeinden:.....	31
3.1.3 Benchmark für Schulen in Salzburg .....	33
3.1.4 Sonstige Benchmarks .....	34
3.1.5 Resümee zu den vorhandenen Benchmarks.....	38
3.1.6 Benchmark mit Ausstattungsmerkmalen .....	39
3.2 Studien zum Strombedarf in Schulen .....	42
3.3 Lastganguntersuchungen an Salzburger Schulen.....	42
3.3.1 Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding:.....	44
3.4 Infomaterial zum Thema Stromverbrauch bzw. Stromeffizienz in Schulen .....	45
<b>4 Benchmarkbaukasten .....</b>	<b>48</b>
4.1 Fragebogen zur Ausstattung der Schule .....	49
4.2 Individueller Benchmarkbaukasten.....	50
4.3 Hochrechnung aus der Leistung .....	54
4.4 Benchmarkhilfe für einzelne Bereiche .....	55

4.4.1	Haustechnik .....	56
4.4.2	Beleuchtung.....	57
4.4.3	EDV .....	58
4.4.4	Kochen, Werken,.. ..	59
4.4.5	Sonstiges (Hausmeister, Lehrerküche,..) .....	60
4.5	Benchmarkhilfe für WP, Elektrodirektheizung und Kühlung.....	61
<b>5</b>	<b>Stromverbrauch der untersuchten Schulen .....</b>	<b>63</b>
5.1	Spezifischer Gesamtstromverbrauch der Schulen.....	63
5.1.1	Volksschulen.....	63
5.1.2	Neue Mittelschulen .....	65
5.2	Monatliche Aufteilung der Stromverbräuche.....	67
5.3	Lastganganalysen der Schulen .....	72
5.3.1	Allgemeines zu den durchgeführten Lastgangauswertungen .....	72
5.3.2	Jahresverlauf .....	72
5.3.3	Monatsverläufe .....	73
5.3.4	Wochen und Tagesverläufe .....	74
5.3.5	Statistische Auswertung.....	77
5.3.6	Hohe Verbräuche außerhalb der Schulzeiten.....	78
5.3.6.1	Grundlast in den Sommerferien.....	78
5.3.6.2	Vermeidbarer Betrieb von Anlagen in den Ferien .....	82
5.3.6.3	Lastganganalysen als Hilfestellung für Schulen.....	87
5.4	Aufteilung des Stromverbrauchs .....	88
5.4.1	Beispiel für Jahresverlauf und Aufteilung in einer sanierten NMS.....	89
5.5	Analyse des Stromverbrauchs für einzelne Bereiche .....	97
5.5.1	Elektrodirektheizung.....	98
5.5.2	Wärmepumpenheizung .....	99
5.5.3	Kühlung (wassergeführte Systeme) .....	103
5.5.4	Wärmeerzeugung mit Öl, Gas, Pellets, Fernwärme.....	107
5.5.5	Heizung - Wärmeverteilung.....	110
5.5.6	Warmwasser- Zentral mit Strom.....	118
5.5.7	Warmwasser- Zentral mit der Heizung .....	127
5.5.8	Warmwasser- Dezentral mit Strom (für Klassentrakt).....	130
5.5.9	Klassenzimmerlüftung.....	132
5.5.10	Sonstige Haustechnik .....	141
5.5.10.1	Beispiele Dachrinnenheizung .....	142
5.5.10.2	Beispiele Personenaufzug .....	147
5.5.10.3	Beispiel Abwasser Hebeeinrichtungen:.....	150
5.5.10.4	Brandmeldeanlage, Rauchabzüge.....	151

5.5.10.5	Schließsysteme, Automatische Türen.....	152
5.5.11	Beleuchtung.....	153
5.5.11.1	Beleuchtung Klassentrakt.....	153
5.5.11.2	Notbeleuchtung .....	165
5.5.11.3	Außenbeleuchtung .....	166
5.5.12	EDV, Drucker, Scanner, Server etc.....	172
5.5.12.1	EDV, Drucker, Scanner etc.....	172
5.5.12.2	Server.....	178
5.5.13	Multimedia tafeln, Beamer .....	180
5.5.14	Kochen und Werken.....	183
5.5.14.1	Werken Keramik.....	186
5.5.14.2	Werken Textil .....	190
5.5.14.3	Werken Holz.....	191
5.5.15	Direktion, Verwaltung, Lehrerbereich .....	193
5.5.16	Gebäudebetreuung und Reinigung .....	195
5.5.16.1	Hausmeisterbereich.....	195
5.5.16.2	Reinigung .....	196
5.5.17	Mittagstisch.....	196
5.5.18	Stromverbrauch der Sporthallen .....	198
5.5.18.1	Beleuchtung der Sporthalle .....	201
5.5.18.2	Lüftung Sporthalle .....	209
<b>6</b>	<b>Einsparpotenziale.....</b>	<b>211</b>
6.1	Technisches Einsparpotenzial.....	211
6.2	Einsparpotenzial durch Nutzerverhalten.....	211
6.2.1	LehrerInnen und SchülerInnen.....	211
6.2.2	HausmeisterInnen.....	213
6.2.2.1	Einfach umzuschaltendes Heizungssystem zw. Sommer und Winter .....	213
6.2.2.2	Sporthalle- Ausschalten aller Verbraucher in den Ferienzeiten.....	215
6.2.2.3	Lüftung komplett ausschalten .....	216
<b>7</b>	<b>Leitfaden Stromeffizienz in Schulen für Sanierungen und Neubauten.....</b>	<b>217</b>
7.1	Systematische Verbrauchserfassung - Zählerstruktur	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.2	Energiebuchhaltung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.3	Maßnahmen bei den einzelnen Stromanwendungen	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.4	Beispiel einer idealen Schule für den elektrischen Strombedarf .....	217
<b>8</b>	<b>Empfehlungen für das Land Tirol.....</b>	<b>229</b>
<b>9</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>231</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>232</b>
<b>12</b>	<b>Angesprochene Normen und Richtlinien.....</b>	<b>234</b>



## **Kurzfassung: Stromverbrauch und Stromeffizienz in neuen und sanierten Schulen**

### **Hintergrund:**

Schulen weisen nach der Sanierung oft einen höheren Strombedarf auf, als vor der Sanierung. Auch völlig neu konzipierte Schulen klagen häufig über hohe Stromverbräuche bzw. -kosten. Diese hohen Stromverbräuche bzw. -kosten werden oft einer einzelnen neuen Technologie (z.B. Beamer, Klassenzimmerlüftung, Lift, ...) zugerechnet, auch wenn keine Übersicht über die Aufteilung der Stromverbräuche vorhanden ist. Systematische Optimierungen sind aufgrund der unbekannteren Aufteilung der Stromverbräuche auf die einzelnen Verbrauchergruppen (Beleuchtung, Heizung, Warmwasser, Lüftung, EDV-Ausstattung etc.) pauschal nicht möglich. Weiters sind die Stromverbräuche durch Fremdnutzungen (z.B. Sportvereine) teilweise verzerrt. Zielwerte für die Planer (z.B. Bauordnung, NEH Standard, PH Standard) wie beim Wärmebereich gibt es für den Stromverbrauch nicht.

### **Ziele des Projektes:**

Durch Analysen des Stromverbrauchs von zumindest 10 neu errichteten bzw. sanierten Schulen und der Ermittlung von Einsparmöglichkeiten sollen die Erkenntnisse durch einen „Leitfaden zur Realisierung stromeffizienter Schulen bei Neubau und Sanierung“ auf andere Schulen übertragbar gemacht werden. Teilaspekte können auch auf bestehende Schulen, die nicht saniert werden, angewendet werden. Der Fokus liegt aber darauf, dass neue bzw. umfassend sanierte Schulen nach der Anwendung des Leitfadens einen sehr geringen Strombedarf aufweisen.

### **Detailziele:**

1. Analyse des Stromverbrauchs von 10 Tiroler Schulen, die in den letzten 5 Jahren saniert oder neu errichtet wurden, nach der elektrischen Anwendung und den Nutzungsbereichen.
2. Ermittlung der technischen Einsparmöglichkeiten in den einzelnen Anwendungen bzw. Bereichen
  - a. Bei Neuinvestition
  - b. Im laufenden Betrieb (mit größeren bzw. geringeren Investitionen)
3. Abschätzung der Einsparpotenziale aufgrund des Nutzerverhaltens
4. Leitfaden für die Optimierung des Strombedarfes für Sanierungen und Neubauten

### **Wesentliche Projektschritte:**

1. Auswahl der geeigneten Schulen
2. Erfassung des Gesamt-Strombedarfes und des Leistungsverlaufes bzw. Ermittlung des Stromverbrauchs der wesentlichen Verbrauchergruppen bzw. -bereiche durch Subzähler.
3. Auswertung des Stromverbrauchs der Schulen bzw. der einzelnen Verbrauchergruppen und Bereiche.
4. Ermittlung der Einsparpotenziale
5. Leitfaden zur Realisierung stromeffizienter Schulen bei Neubau und Sanierung
6. Verbreitung der Ergebnisse

### **Projektpartner:**

- Energie Tirol (Projektleitung)
- TB Andreas Greml



**Projektfinanzierung:** Land Tirol

## Wesentliche Ergebnisse:

### 1. Stromverbrauch – Benchmark – Benchmarkbaukasten

Der jährliche Stromverbrauch pro SchülerIn bzw.  $m^2_{\text{BGF}}$  schwankt in den Schulen beträchtlich. Die Bandbreite bei den untersuchten 8 Neuen Mittelschulen bzw. 4 Volksschulen lag zwischen folgenden Werten:

VS: 11,3 bis 14,4 kWh/ $m^2_{\text{BGF}}$  bzw. 183 bis 417 kWh/SchülerIn  
NMS: 7,8 bis 32,3 kWh/ $m^2_{\text{BGF}}$  bzw. 224 bis 876 kWh/SchülerIn

Die im Rahmen des e5 Landesprogramms gesammelten Daten liegen, um Ausreißer bereinigt, zwischen 6 bis 32 kWh/ $m^2a$  mit einem Mittelwert von ca. 18 kWh/ $m^2a$  (inkl. Sporthalle).

Aufgrund der unterschiedlichen Ausstattungsmerkmale (insbesondere bei Heizung, Warmwasser, Kühlung und Lüftung) und unterschiedlichen Nutzung (insbesondere Sporthalle) sind die spezifischen Gesamtverbräuche lt. Tarifzähler normalerweise nicht aussagekräftig bzw. nicht direkt vergleichbar. Es benötigt zumindest eine Unterscheidung bzw. Bereinigung je nach Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser, Ausstattung mit einer Klassenzimmerlüftung bzw. besonderen Nutzungszonen. Zudem ist ein Benchmark nur aufgrund des Tarifzählers bei Photovoltaikanlagen mit Eigenstromnutzung nicht möglich. Für vertiefte Benchmarks ist eine minimale Subzählerstruktur notwendig, die bisher normalerweise nicht vorhanden ist.

Die Aufteilung des Stromverbrauchs von 8 bis 18 kWh/ $m^2_{\text{BGF}}a$  in einer sehr guten bis durchschnittlichen Schule setzt sich folgendermaßen zusammen: Werte in Klammer stellen sehr hohe Werte dar.

- Heizung bzw. Wärmeverteilung: 0,4 – 1,4 (3,0) kWh/ $m^2a$
- Zentrale Warmwasserbereitung im Sommer mit Strom: 0,8 – 1,6 (3,1) kWh/ $m^2a$
- Sonstige Haustechnik (Lift, ...) 0,2 – 1,0 (2,0) kWh/ $m^2a$
- Dachrinnenheizung, Begleitheizungen etc. 0,0 – 3,0 (6,0) kWh/ $m^2$
- Beleuchtung: 3 – 10 (16) kWh/ $m^2a$
- Notbeleuchtung: 0,3 – 1,0 (2,5) kWh/ $m^2a$
- EDV, Tafelsysteme, Beamer, Server: 1,7 – 3,3 (6,6) kWh/ $m^2a$
- Kochen, Werken: 0,3 – 0,6 (0,8) kWh/ $m^2a$
- Direktion, Lehrer, Gebäudebetreuung, Reinigung: 0,7 – 1,5 (2,7) kWh/ $m^2a$

Bereiche, die heute noch nicht zur Standardausrüstung gehören:

- Klassenzimmerlüftung: 0,7 – 1,6 (3,8) kWh/ $m^2a$
- Nachtkühlung mit Klassenzimmerlüftung: 0,2 – 0,5 (1,3)
- Kühlung über Grundwasser: 0,3 – 0,6 kWh/ $m^2a$  (1,5)

Um Schulen in Zukunft aussagekräftiger vergleichen zu können, wurde im Rahmen des Projekts ein Benchmarkbaukasten erarbeitet, der es ermöglicht, den an die Ausstattung und Nutzung angepassten Benchmarkwert zu ermitteln. Zudem wurde eine Hilfestellung für die Abschätzung des Stromverbrauchs für einzelne Bereiche erarbeitet. Dieser ermöglicht Energieberatern und Planern auch ohne aufwändige Zählereinbauten bzw. Messungen eine grobe Abschätzung des Stromverbrauchs.

### 2. Lastgangauswertung

Die Auswertung der Lastgänge ergab überraschend hohe Stromverbräuche bzw. elektrische Leistungen in den unterrichtsfreien Zeiten (Samstag, Sonntag, Ferien). Diese lagen teils nur geringfügig unter denen von Unterrichtstagen. Das zeigt sich auch darin, dass die Verbräuche in der unterrichtsfreien Zeit zwischen 48 % und 65 % des gesamten Stromverbrauchs der untersuchten Schulen ausmachen.

### 3. Stromtarif

Von der TIWAG bzw. den regionalen Energieversorgern wird allen Gemeinden ein spezieller Gemeindetarif angeboten. Ein Tarifcheck wurde daher nicht durchgeführt, da Angebote von anderen Anbietern für Gemeinden normalerweise nicht in Frage kommen. Die Gesamtstrompreise inkl. MwSt. der Schulen betragen im Schnitt ca. 15 Cent/kWh.

### 4. Technische Einsparpotenziale

Mit dem Bau bzw. der Sanierung einer Schule werden die wesentlichen Stromverbräuche für die Zeit bis zur nächsten Renovierung festgelegt. Spätere Verbesserungen sind auch aufgrund der Struktur (Schulverbände) meist nur schwer möglich bzw. wirtschaftliche unrentabel. Entscheidend ist es daher, schon bei der Sanierung die technischen Voraussetzungen für einen effizienten Betrieb sicherzustellen. Die technischen Einsparpotenziale sind bei Neuinvestitionen vor allem bei der Haustechnik (Lüftung, Warmwasser, Pumpen für die Heizung), der Beleuchtung und im Beschaffungswesen (Computer, Beamer, Tafeln etc.) der Schulen gegeben.

Beispiel 1: Eine Lüftungsanlage mit CO<sub>2</sub>-Regelung und variablem Druckniveau spart 20 bis 50 % Strom. Werden diese beiden Regelungsmöglichkeiten in der Investitionsphase eingespart, können diese später technisch und wirtschaftlich so gut wie nicht mehr nachgerüstet werden.

Beispiel 2: Bei BUS-Systemen (z.B. KNX/DALI) entstehen Standby-Verbräuche bei der Beleuchtung, weil die elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) unter Spannung gehalten werden. Mit einer speziellen Schaltung, bzw. einem zusätzlichen Aktor, der die Spannung wegschaltet, wenn keine Leuchte im Kreis brennt, lässt sich dieser Verlust (ca. 0,5 bis 1,5 W bzw. bei dimmbaren Leuchten bis ca. ca. 3,5 W pro Leuchte) vermeiden.

Beispiel 3: Die untersuchten zentralen Warmwasserbereitungen mit Strom weisen alle einen Nutzungsgrad unter 10 % auf. Durchlauferhitzer für alle Kleinanwendungen und ein WW-Speicher ohne Zirkulation in direkter Nähe der Duschräume von Sporthallen reduziert die Verluste deutlich.

Die umsetzbaren Einsparpotenziale nach Abschluss der Sanierung bzw. des Neubaus liegen vor allem im Bereich der Regeltechnik.

Beispiel 4: Umstellung von Regelstrategien, z.B. Beschränkung der Pumpenlaufzeit für die Heizung.

#### **Wesentliche technische Einsparmöglichkeiten bei Neubau und Sanierung:**

1. Bei einer zentralen WW-Bereitung beträgt der Nutzungsgrad meist unter 10 %.  
Lösung: Ein Speicher ohne Zirkulation direkt bei den Nassräumen der Sportstätten (Einsparung bis 80 %, Speicherverluste bleiben erhalten), alle anderen Zapfstellen mit Durchlauferhitzern (keine Kleinspeicher) Einsparung ca. 70 – 95 %.
2. Klassenzimmerlüftung mit Luftqualitätsfühler und variabler Druckregelung (20 - 50 %)
3. LED-Beleuchtung (insbesondere in Sporthallen) (ca. 50 %)
4. Vermeidung von Standby bei Beleuchtungen in BUS-Systemen (z.B. KNX/DALI)
5. Zentrale bzw. gruppenweise LED-Notbeleuchtung (ca. 50 %)
6. Einfache Umschaltmöglichkeit zwischen Winter- und Sommerbetrieb bzw. Schulbetrieb und Ferienbetrieb, bei dem alle nicht notwendigen Verbraucher stromlos geschaltet werden
7. Begrenzung der Laufzeit von Heizungspumpen in der Nacht bzw. an Wochenenden bei gemäßigten Außentemperaturen (ca. 25 %)
8. Maßnahmen zur gesicherten (völligen) Abschaltung von EDV, Beamer, Tafeln etc.
9. Vermeidung von Dachrinnenheizungen bzw. Gullyheizungen

## 5. Einsparpotenziale aufgrund des Nutzerverhaltens

Die Einsparmöglichkeiten aufgrund des Nutzerverhaltens werden meist überschätzt. Wobei die Möglichkeiten des Hausmeisters den Stromverbrauch zu reduzieren meist größer sind als die der LehrerInnen und SchülerInnen. Bei LehrerInnen und SchülerInnen stellt das zeitgerechte Ein- bzw. Ausschalten von Beleuchtung, Computern, Kopierern und Beamern etc. meist die einzige Möglichkeit dar, zum Stromsparen beizutragen. Je weniger der Schulbetrieb regelungstechnisch automatisiert ist, umso größer sind die Auswirkungen eines aufmerksamen Hausmeisters spürbar.

Beispiel 5: Die Lüftung der Sporthalle läuft nicht abhängig von der Luftqualität, sondern wird manuell aus und eingeschaltet. Eine aufmerksame Hausbetreuung verhindert z.B. ein Durchlaufen über das Wochenende.

## 6. Leitfaden für die Abschätzung und Optimierung des Stromverbrauchs für Sanierung und Neubauten

Der Leitfaden für die Abschätzung und Optimierung unterteilt sich in folgende Bereiche:

- Haustechnik (Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung)
- Beleuchtung
- EDV-Ausstattung inkl. Beamer, Tafeln etc.
- Sonstige Ausstattung (Schulküchen, Werkstätten etc.)

## 7. Resümee

Das Stromsparpotenzial in Schulen ist wie erwartet relativ hoch. Im Schnitt können bei einer stromoptimierten Sanierung bzw. einem stromoptimierten Neubau ca. 50 % der späteren Stromkosten eingespart werden (8 kWh/m<sup>2</sup> BGF statt ca. 16 kWh/m<sup>2</sup> BGF ohne Sporthalle). Die Stromverbräuche werden zum Großteil mit dem Neubau bzw. der Sanierung festgelegt, d.h. danach lassen sie sich meist nur noch geringfügig durch Anpassung von Regelungen und Steuerungen bzw. durch Beeinflussung des Nutzerverhaltens verbessern. Die Verluste einzelner Systeme (z.B. zentrale WW-Bereitung über 90 % Verluste) bzw. die Stromverbräuche einzelner Dienstleistungen am Gesamtverbrauch ergaben teils überraschend hohe Werte (z.B. Notbeleuchtung ca. 1,25 kWh/m<sup>2</sup>, Standby-Verbrauch bei der Beleuchtung mit BUS-Systemen bis ca. 3,5 W/Leuchte). Die Stromverbrauchswerte für die Lüftung (1,6 kWh/m<sup>2</sup>) und die Kühlung über Grundwasser (0,50 kWh/m<sup>2</sup>) zeigen, dass hoher Komfort in Schulen nicht unbedingt mit einem hohen Stromverbrauch einhergehen muss. Denn diese beiden Dienstleistungen haben gemeinsam einen Stromverbrauch der sich schon durch eine moderne LED Beleuchtung gegenüber einer Standardbeleuchtung mit Leuchtstoffröhren einsparen lässt.

## 8. Empfehlungen

Um Schulen stromeffizient zu gestalten, ist schon beim Neubau bzw. der Sanierung ein spezielles Augenmerk auf den späteren Stromverbrauch zu legen. Die ÖISS Richtlinien enthalten zum Thema Stromeffizienz bisher nur wenig Empfehlungen und sollten entsprechend adaptiert werden.

Der Energieausweis, der bisher vor allem für die Optimierung des Wärmebereiches eingesetzt wurde, sollte auch für die Optimierung des Strombedarfes in der Haustechnik (Hilfsenergien) genutzt werden. Die Vermeidung bzw. Minimierung der Kühlung ist gemeinsam mit dem Wärmebereich zu optimieren. Der Stromverbrauch der technischen Ausstattung (Computer, Beamer etc.) sollte durch eine Ergänzung der Inventarliste um die Bereiche elektrische Leistung und erwarteter Stromverbrauch pro Jahr erweitert werden.

Der Einbau einer minimalen Subzähler-Struktur ermöglicht gezielte Auswertungen und Benchmarks. Bei Neubauten soll die Elektro-Verkabelung auch so vorgenommen werden, dass einzelne Verbrauchergruppen (z.B. Beleuchtung) eigens erfasst bzw. gemessen werden können.

### Projektpartner:

- Energie Tirol (Projektleitung)
- TB Andreas Greml



**Projektfinanzierung:** Land Tirol

## Zwölf Grundsätze für stromeffiziente Schulen

Beim Neubau bzw. der Sanierung einer Schule wird der Stromverbrauch im Wesentlichen für die nächsten 10 bis 20 Jahre festgelegt. Die Einsparmöglichkeiten durch das Nutzerverhalten, die Gebäudebetreuung und durch optimierte Einstellungen der Regelungen sind begrenzt und fallen gegenüber den Grundsatzentscheidungen bei Neubau und Sanierung eine Größenordnung niedriger aus. Eine technisch voll ausgestattete Schule (z.B. inkl. Klassenzimmerlüftung, Grundwasserkühlung) benötigt in optimierter Form nur ca. 8 kWh/m<sup>2</sup>. Dies entspricht der Hälfte des durchschnittlichen Stromverbrauchs heutiger Schulen.

1. Planungsziele für den Stromverbrauch festlegen
2. Systematische Verbrauchserfassung – Energiebuchhaltung
3. Kühlung vermeiden bzw. minimieren
4. Stromsparende Heizung bzw. Wärmeverteilung mit Hocheffizienzpumpen
5. Warmwasser möglichst mit Durchlauferhitzern
6. Effiziente mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung
7. Stromeffiziente „sonstige“ Haustechnik
8. LED-Beleuchtung mit Anwesenheits- bzw. Tageslichtsteuerung
9. LED Notbeleuchtung mit Optimierung der Einsatzzeiten
10. Stromeffiziente EDV-Ausstattung
11. Schulküche, Lehrerküche etc. mit effizienten Geräten
12. Nutzerverhalten beachten bzw. sensibilisieren

### 1. Planungsziele für den Stromverbrauch festlegen

Bisher gibt es beim Neubau bzw. der Sanierung meist nur Planungsziele für den Wärmeverbrauch (HWB, HEB,...), die über den Energieausweis oder über Gebäudestandards (klimaaktiv, Passivhaus,...) abgedeckt werden. Um jedoch auch stromeffiziente Schulen zu bekommen, muss der elektrische Energieverbrauch ebenfalls bereits im Planungsstadium berücksichtigt bzw. seitens der Auftraggeber mit Planungszielen für einzelne Bereiche (Beleuchtung, Lüftung,...) versehen werden. Der im Projekt „Stromeffizienz in Schulen“ geschaffene Benchmarkbaukasten bzw. die dort vorgenommene Abschätzung des Verbrauches der einzelnen Bereiche kann dabei als Basis verwendet werden.

### 2. Systematische Verbrauchserfassung – Energiebuchhaltung

Subzähler für die folgenden Bereiche sollten ein vertieftes Benchmark bzw. die Kontrolle der Planungsziele ermöglichen und Optimierungen erleichtern:

- Haustechnik (Heizung, Kühlung, WW, Lüftung)
- Schulbereich (Klassen, Direktion, EDV-Räume,..)
- Sporthalle
- Sportplatz (zumindest, wenn mit Flutlicht ausgestattet)
- Sondernutzungsbereiche (z.B. Hausmeisterwohnung, Mittagstisch, Kegelbahnen, Vereinslokale etc.)
- Elektrische Sonderheizungen (z.B. Dachrinnen-, Gullyheizungen etc.)

Subzähler sollten möglichst ohne Wandler eingesetzt werden, um falsche Einstellungen zu vermeiden und zumindest mit einem Impulsausgang für eine Fernauslesung vorbereitet sein. Im Idealfall sind die wesentlichen Verbrauchsbereiche in eine Leittechnik eingebunden (Modbuszähler) bzw. unterliegen einem laufenden Monitoring.

Erweiterung der Inventarliste von elektrischen Geräten (Computer, Drucker, Kopierer, Telefonanlage, Schließsystemen,...) um die Aspekte maximale Leistung, Standby und hochge-

rechnerischer Jahresstromverbrauch ist eine wesentliche Hilfe bei der Investitionsentscheidung bzw. bei der Verbrauchskontrolle.

Bei PV-Anlagen mit Eigenverbrauchsanteil sollte die Aufzeichnung der Erträge im Wechselrichter im 15-Minuten-Intervall erfolgen, um in Kombination mit dem Tarifizähler eine Gesamtleistung für den Verbrauch ermitteln zu können.

### 3. Kühlung vermeiden bzw. minimieren

Temperaturen über 25° C vermindern die Leistungsfähigkeit von LehrerInnen und SchülerInnen. Die bisher oft einseitige Optimierung der Gebäudehülle hinsichtlich des Heizwärmebedarfes muss um die Kühlenergie erweitert werden.

- Eine Kühlung ist durch die Optimierung der Gebäudehülle und der internen Lasten zu vermeiden bzw. zu minimieren.
- Ideale Unterrichtsräume haben die Fensterfronten nach Norden (weniger Probleme mit Überwärmung, geringe bzw. keine Blendwirkung)
- Statische Verschattungen sind mechanischen Verschattungen vorzuziehen.

Zumindest in einzelnen Räumen (z.B. EDV-Räumen) lässt sich auch bei einer optimierten Gebäudehülle eine Überwärmung manchmal nicht vermeiden. Eine umfassende Gebäudekühlung sollte möglichst über Grundwasser oder über den Solekreis einer Wärmepumpenanlage für die Heizung zur Verfügung gestellt werden. Eine passive Nachtkühlung über Fenster/Klappen ist nur bei entsprechender Berücksichtigung in der grundsätzlichen Gebäudeplanung umsetzbar. Eine aktive Nachtkühlung mit der Lüftungsanlage ist deutlich ineffizienter, als eine Kühlung über ein wassergeführtes System. In Kombination mit einer PV-Anlage ist auch eine Kältemaschine bzw. eine reversibel arbeitende Luft-Wärmepumpe eine ökologisch akzeptable Kühlvariante, wenn Grundwasser bzw. Sole nicht zur Verfügung stehen. Bei entsprechend geringer Kühllast (max. 25 W/m<sup>2</sup>) lässt sich die Kühlenergie auch über die Fußbodenheizung einbringen.

Hinweis: Eine gute Grundwasserkühlung benötigt ca. 0,55 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF.a</sub> (0,3 kWh für Grundwasserpumpe und 0,24 kWh/m<sup>2</sup> für die Kälteverteilung über FBH)

### 4. Stromsparende Heizung bzw. Wärmeverteilung mit Hocheffizienzpumpen

Der Stromverbrauch für die Wärmeverteilung wird meist unterschätzt. Neben der Installation von stromsparenden Wärmeerzeugern, Pumpen und Regelungen spielt für den Stromverbrauch auch die Länge der Heizperiode (abhängig von Gebäudequalität) eine entscheidende Rolle. In gut gedämmten Schulgebäuden ist es, auch bei sehr tiefen Außentemperaturen, meist ohne Probleme möglich die komplette Heizung inkl. aller Pumpen in der Nacht über mehrere Stunden (z.B. 22.00 bis 4:00) still zu legen. Eine einfache Umschaltmöglichkeit zwischen Winter und Sommerbetrieb erleichtert der Gebäudebetreuung die rasche Anpassung an die Witterungsverhältnisse.

### 5. Warmwasserbereitung möglichst mit Durchlauferhitzern

Warmwasser sollte nur in jenen Bereichen zur Verfügung gestellt werden, in denen es unbedingt benötigt wird. In Klassenräumen ist im Normalfall heute kein Warmwasser mehr not-

wendig. Auch in WCs ist meist kein Warmwasser erforderlich. Zentrale Warmwassersysteme mit Zirkulationsleitungen sollten in Schulen auf alle Fälle vermieden werden. Sie weisen meist Nutzungsgrade von nur 3 – 10 % auf. Einzelne Bereiche, bei denen Warmwasser benötigt wird (z.B. Reinigung, Werkstätten, Lehrerküchen, einzelne Waschbecken usw.), werden am besten mit elektrischen Durchlauferhitzern versorgt. Diese haben zwar eine höhere elektrische Anschlussleistung als Kleinspeicher bzw. Untertischboiler, sind in Summe aber, insbesondere bei geringer Nutzung, wesentlich effizienter. Der Warmwasserspeicher des Sportbereiches sollte so in lokaler Nähe der Nassräume angeordnet werden, dass auch hier auf eine Zirkulationsleitung verzichtet werden kann. D.h. bei einer Warmwasserbereitung für den Sportbereich mit der Heizung sollte der WW-Speicher nicht im Heizraum, sondern in der Nähe der Nassräume angebracht werden und möglichst nur einmal am Tag beladen werden. Im Sommer sollte das Warmwasser aus ökologischen Gründen mit Hilfe der Sonne bzw. Strom erwärmt werden (Ziel: keine Heizung läuft im Sommer). Im Idealfall mit einer PV-Anlage und einer WW-Wärmepumpe. Bei einer el. WW-Bereitung (Strom direkt oder WP) lässt sich die Eigenstromnutzung der PV Anlage deutlich erhöhen.

### 6. Effiziente mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Gilt bei der Kühlung der Vermeidungs- bzw. Minimierungsgrundsatz, so ist bei der Lüftung aus vielen Studien klar, dass auf diese in Schulen nicht verzichtet werden kann, ohne den Lernerfolg deutlich einzuschränken und die Gesundheit von LehrerInnen und SchülerInnen zu beeinträchtigen. Durch eine optimierte Lüftungskaskade (Unterrichtsraum – Gang – Aula, bzw. Unterrichtsraum – Gang – Nassräume, WC, Garderoben), eine CO<sub>2</sub>-Regelung und eine variable Druckregelung lassen sich 20 bis 50 % der Stromkosten einer konventionell geplanten zentralen Lüftungsanlage einsparen. Klassenweise Lösungen sind nur in der Sanierung zu empfehlen, wenn auch das Lüftungskonzept mit aktiver Überströmung nicht möglich ist. Eine einfache Stromlosschaltung der Gesamtanlage über die Ferien vermindert die Standby-Verbräuche (Fühler, Volumenstromregler etc.).

Hinweis: Eine gute Klassenzimmerlüftung benötigt nur ca. 1,6 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.a und hat eine Leistungsziffer von über 5 (eingesparte Wärme zu Stromverbrauch im Winter). Weitere Infos unter [www.komfortlüftung.at](http://www.komfortlüftung.at)

### 7. Effiziente „sonstige“ Haustechnik

Die Vermeidung unnötiger Stromverbraucher, die Berücksichtigung des Stromverbrauchs bei der Investitionsentscheidung und deren Einsatzbedingungen sind zu beachten.

- Völlige Vermeidung von Gully- bzw. Dachrinnenheizungen
- Einbeziehung der WCs in die Klassenzimmerlüftung (Kaskade)
- Vermeidung von Hebeanlagen für Abwässer
- Beachtung des Stromverbrauchs (Betrieb und Standby) bei allen Ausstattungen
- Einfache Abschaltmöglichkeiten einzelner Systeme (z.B. EDV-Anlagen, Pultsysteme)
- Tiefgaragen mit natürlicher Belüftung
- Vermeidung von Parkraumbewirtschaftung (z.B. Ticketautomaten,..)

### 8. LED-Beleuchtung mit Anwesenheits- bzw. Tageslichtsteuerung

LED Leuchtmittel stellen die langfristig günstigste Variante der Beleuchtung dar. Mit Bewegungsmeldern und Tageslichtsteuerungen in den Klassen lässt sich der Stromverbrauch

weiter optimieren. Tageslichtabhängige Bewegungsmelder für die Verkehrsbereiche und zeitliche Beschränkungen für Außenbeleuchtungen tragen zu einer Reduktion des Stromverbrauchs in diesen Bereichen bei. Bei Beleuchtungssystemen mit BUS-Technik (z.B. KNX/DALI) ist unbedingt eine Schaltung zur Vermeidung von Standby vorzusehen, da bei konventionellen Systemen die elektronischen Vorschaltgeräte nicht spannungslos sind und 0,15 bis 1,5 W pro Leuchte benötigen. Bei dimmbaren Leuchten sogar bis 3,5 W.

### 9. LED Notbeleuchtung mit Optimierung der Einsatzzeiten

Im Bereich der Notbeleuchtung sind ebenfalls LED Systeme die erste Wahl (ca. 1 – 3 W pro Leuchtpunkt). Es sollten zentrale Lösungen (230 V) bzw. Gruppenlösungen (24 V) mit Speichersystemen, die nicht belüftet werden müssen, zum Einsatz kommen. Einzelleuchten sind sowohl von der Effizienz als auch von den Wartungskosten zu vermeiden. Die normgerechte Möglichkeit der Beschränkung der Einsatzzeiten bei der Sicherheitsbeleuchtung sollte genutzt (einprogrammiert) werden.

### 10. Effiziente EDV-Ausstattung

Auch hier kommt es vor allem auf die Berücksichtigung des Stromverbrauchs im Zuge der Investitionsentscheidung an. Ein Zentralschalter bzw. schaltbare Steckerleisten vermeiden unnötigen Standby-Verbrauch, der bei älteren Geräten ca. 3 – 15 W auch bei ausgeschaltetem Computer beträgt. Bei neuen Geräten mit Leistungen im Standby deutlich unter 1 W ist das Problem des Standby deutlich entschärft. Die neuen Geräte haben aber im Standby sehr hohe Blindstromanteile. Wake-on-LAN (Einschalten über Fernbefehle per LAN) für Updates ist auf Energieeffizienz hin zu konfigurieren (S3 bis S5) bzw. ist in den Energieeinstellungen ein automatisches Herunterfahren nach einer bestimmten Zeit ohne Nutzung zu empfehlen. Bei den Servern ist darauf zu achten, dass sie in Aufstellungsbereichen untergebracht sind, in denen keine aktive Kühlung benötigt wird (z.B. ungedämmte Kellerräume).

### 11. Schulküche, Lehrerküche etc. mit effizienten Geräten

Der Einsatz von Geräten mit der höchsten Energieeffizienz laut ErP-Label sollte an sich selbstverständlich sein. Ein Hauptschalter erleichtert das gesicherte Ausschalten aller Geräte (außer Kühlgeräte). Aufsteller von Getränkeautomaten etc. sollten auch für deren Stromkosten aufkommen.

### 12. Nutzerverhalten beachten bzw. sensibilisieren

Das Nutzerverhalten ist insofern zu sensibilisieren, dass nur Geräte eingeschaltet sind, die auch gerade benötigt werden. Der Standby-Verbrauch kann z.B. durch jährliche spezielle Aktionstage, in denen der Unterschied bei der benötigten Leistung bzw. Energie aufgezeigt wird, immer wieder ins Bewusstsein gerufen werden.

Neben dieser Kurzfassung der 12 Grundsätze für stromeffiziente Schulen gibt es auch eine ausführlichere Fassung als eigenständiges Dokument.

# 1 Einleitung und Vorbemerkungen

## 1.1 Ausgangspunkt des Forschungsprojektes

Schulen weisen nach der Sanierung oft einen höheren Strombedarf als vor der Sanierung auf. Und auch völlig neu konzipierte Schulen klagen häufig über hohe Stromverbräuche bzw. -kosten. Diese hohen Stromverbräuche bzw. -kosten werden oft einer einzelnen neuen Technologie (z.B. Beamer, Klassenzimmerlüftung, Lift etc.) zugerechnet, obwohl keine Übersicht über die Aufteilung der Stromverbräuche vorhanden ist. Systematische Optimierungen sind aufgrund der unbekanntenen Aufteilung der Stromverbräuche auf die einzelnen Verbrauchergruppen (Beleuchtung, Heizung, Warmwasser, Lüftung, EDV-Ausstattung etc.) pauschal nicht möglich. Weiters sind die Stromverbräuche durch Fremdnutzungen (z.B. durch Sportvereine) teilweise verzerrt.

Hinweis: Beim Neubau bzw. der Sanierung von Schulen werden meist nur Planungsziele für den Wärmeverbrauch (zumindest über den Energieausweis) definiert. Für den Strombedarf gibt es diese bisher normalerweise jedoch nicht.

## 1.2 Ziel des Forschungsprojektes

Durch eine Analyse des Stromverbrauchs von 10 neu errichteten bzw. sanierten Schulen und der Ermittlung von Einsparmöglichkeiten sollen die Erkenntnisse durch einen „Leitfaden zur Senkung des Strombedarfes von Schulen bei Neubau und Sanierung“ auf andere Schulen übertragbar gemacht werden. Teilaspekte können auch auf bestehende Schulen, die nicht saniert werden, angewendet werden. Der Fokus liegt aber darauf, dass neue bzw. umfassend sanierte Schulen nach der Anwendung des Leitfadens einen sehr geringen Strombedarf aufweisen.

## 1.3 Vorgangsweise – Übersicht

Das Projekt war in 6 Arbeitspakete unterteilt:

AP 1	Auswahl der geeigneten Schulen
AP 2	Erfassung des Gesamt-Strombedarfes und des Leistungsverlaufes in 10 Schulen sowie Ermittlung des Stromverbrauchs der wesentlichen Verbrauchergruppen bzw. -bereiche durch Subzähler.
AP 3	Statistische Auswertung des Stromverbrauchs der Schulen bzw. der einzelnen Verbrauchergruppen und Bereiche.
AP 4	Ermittlung der Einsparpotenziale
AP 5	Leitfaden zur Realisierung stromeffizienter Schulen bei Neubau und Sanierung
AP 6	Verbreitung der Ergebnisse

Im Detail ergaben sich folgende Arbeitsschritte:

1. Auswahl der Schulen
2. Auswahl geeigneter (Online-)Messsysteme
3. Installation der Messeinrichtungen in den einzelnen Schulen
4. Mehrfaches „Umklemmen“ der Klappwandler auf unterschiedliche Verbraucher bzw. Verbrauchergruppen
5. Entwicklung der Formblätter für die Aufzeichnung manuell abzulesender Zähler
6. Entwicklung des Excel-Sheets für die Auswertung der Schulen
7. Laufende Ablesung der „nicht-online-Zähler“ durch die Hauswarte
8. Laufende Beobachtung der Messeinrichtungen (Ausfall, Besonderheiten,...)
9. Auswertung der Tarifzähler
10. Auswertung der Sub-Zählungen einzelner Verbrauchergruppen
11. Ermittlung der wesentlichen Stromsparmöglichkeiten
12. Verfassung des Leitfadens „Stromeffizienz in Schulen“
13. Verfassen des Endberichtes
14. Verbreitung der Ergebnisse

## 1.4 Messeinrichtungen und Einschränkungen

### 1.4.1 Messeinrichtungen

Um nicht nur Verbrauchswerte, sondern auch eine Übersicht über den Verlauf des Verbrauchs von einzelnen Bereichen bzw. einzelnen Geräten und Anwendungen zu bekommen, wurde der Großteil der Anlagen mit dem Online-Messsystem der Firma LineMetrics vermessen. Das System besteht aus einer Datenübertragungsbox, an die 8 Messeinrichtungen angeschlossen werden können. Für die Strommessung wurden durchwegs Klappwandler eingesetzt, die im Leistungsbereich zwischen 5 und 100 A zur Verfügung stehen. Die Möglichkeit Modbuszähler bzw. die Impulse von digitalen Stromzählern auszulesen, wurde nur selten verwendet, da in den Schulen nur selten derartige Sub-Zähleinrichtungen vorhanden waren.



Abbildung 1.1: Datenübertragungsbox und Klappwandler (Quelle: LineMetrics)



Abbildung 1.2: Datenübertragungsbox und Klappwandler in einem gut zugänglichen Unterverteiler in einem absperrbaren Raum

Um die Daten auslesen zu können, mussten folgende Schritte auf der Onlineplattform von LineMetrics vorgenommen werden:

1. Zuordnen der Eingänge (Klappwandler, Impulszählung, Temperaturfühler, CO<sub>2</sub>-Fühler,...) und Definition der Werte bei 10 V (z.B. 10 V = 25 A bei einem 25 A Klappwandler)
2. Zusammenfassen von mehreren Eingangssignalen (z.B. drei Phasen) in einen Messwert (z.B. Leistung)
3. Vorgabe für die Form der Anzeige des Messwertes (Balken, Linie, ...)
4. Bestimmung der Auswertung (Mittelwert, Maximalwert, ...)

### 1. Konfiguration der Eingänge der Box:

Volders Hauptverteiler 1		Volders Hauptverteiler 1	
<p><b>Eingänge</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 E1 100A</li> <li>2 E2 100A</li> <li>3 E3 100A</li> <li>4 E4 100A</li> <li>5 E5 100A</li> <li>6 E6 100A</li> <li>7 E7 100A</li> <li>8 E8 100A</li> </ul>		<p>Firmware: 2.8.2</p> <p>Modbus Konfiguration    Firmware</p> <p>Baudrate    9600</p> <p>Parität    Gerade (Even)</p> <p>Stop Bit    2</p> <p><a href="#">Modbus Einstellungen bearbeiten</a></p>	
<p><b>Modbusgeräte</b></p> <p>+ Modbusgerät hinzufügen</p>			

Abbildung 1.3: Konfiguration der Eingänge (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

2. Zusammenfassen von mehreren Eingangssignalen (z.B. drei Phasen) zu einem Messwert (z.B. Leistung bei drei Phasen)

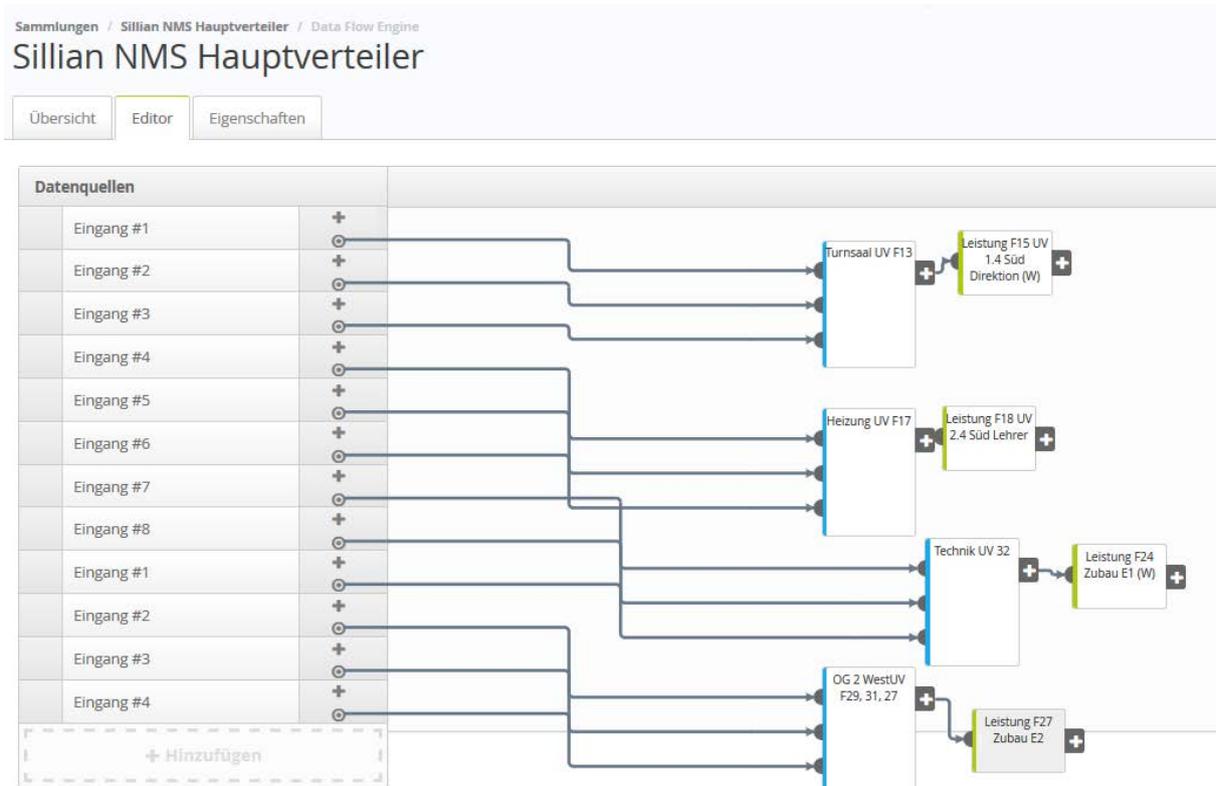


Abbildung 1.4: Konfiguration der Eingänge (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

The screenshot shows the 'Strom zu Leistung' konfigurieren dialog box. At the top, there is a title bar with the text '"Strom zu Leistung" konfigurieren' and a close button (X). Below the title bar is a large text box containing the instruction: 'Wandelt eine ein- oder dreiphasige Stromstärke in Leistung um.' Below this are several input fields: 'Titel' with the value 'Turnsaal UV F13', 'Spannung \*' with the value '240', 'Cosinus Phi \*' with the value '0.85', and 'Phasen' with a dropdown menu set to '3-Phasig'. At the bottom left, there is a checkbox labeled 'Hilfe zeigen'. At the bottom right, there are two buttons: 'Abbrechen' and 'Speichern'.

Abbildung 1.5: Konfiguration der Eingänge (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

3. Vorgabe für die Form der Anzeige des Messwertes (Balken, Linie , ...)

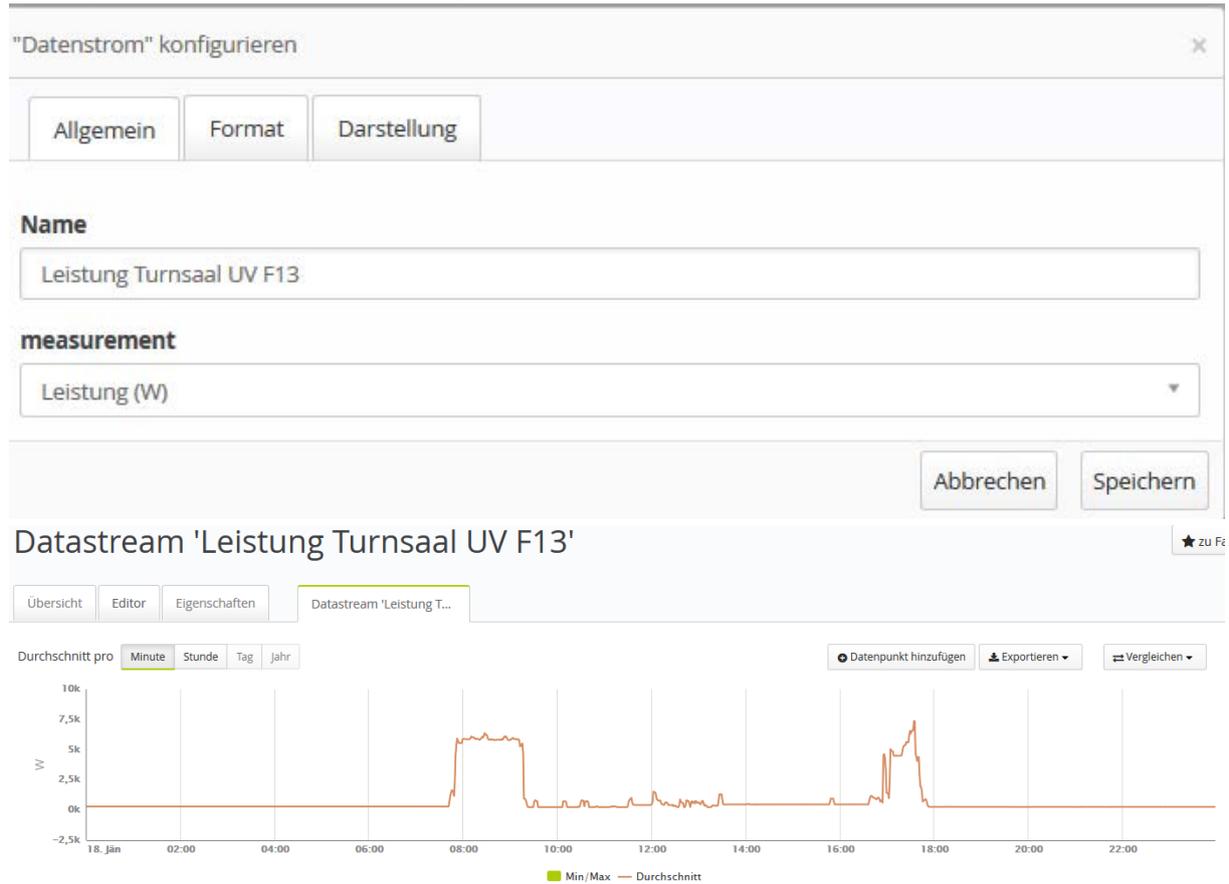


Abbildung 1.6: Definition der Anzeigewerte (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

4. Bestimmung der Auswertung (Mittelwert, Maximalwert, ...)

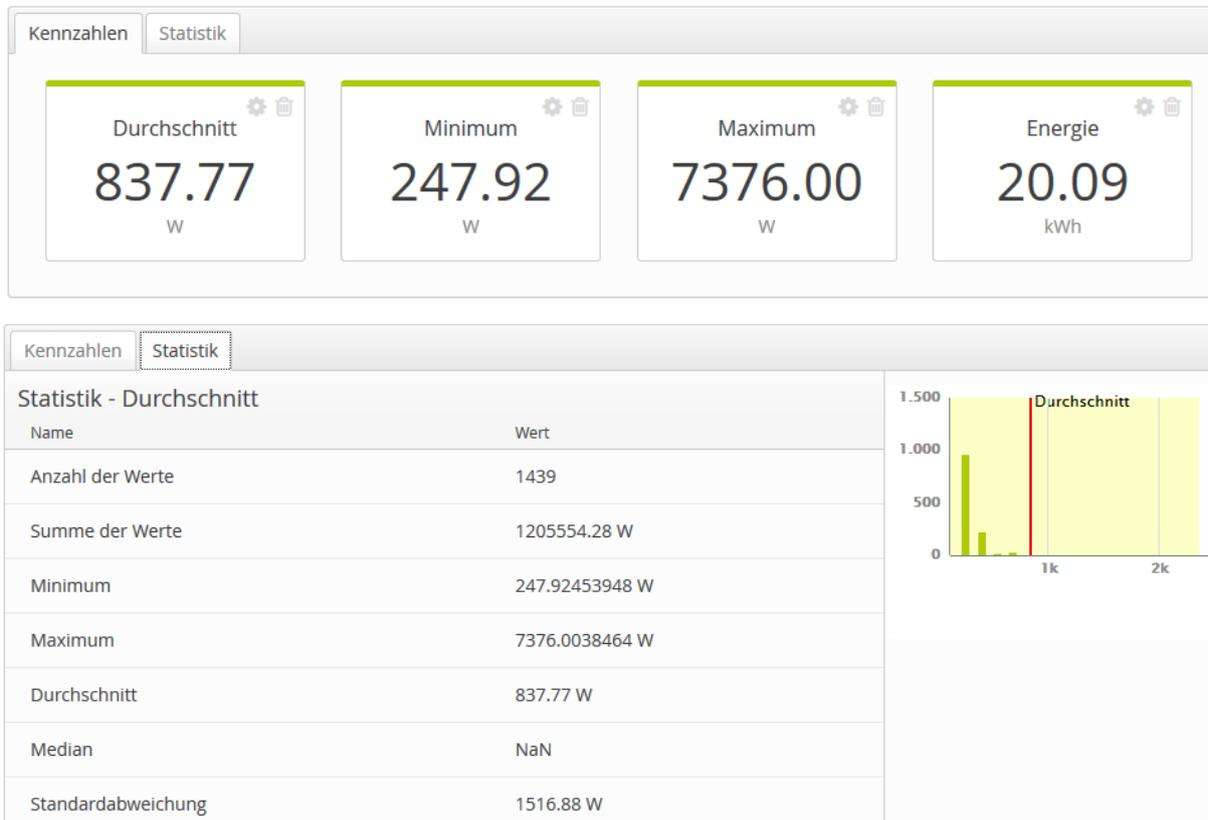


Abbildung 1.7: Definition der Auswertungen (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

Für die Hardware steht eine Übersicht zur Verfügung, auf der erkennbar ist, ob die Boxen online sind.

Liste der Boxen			Box hinzufügen
Name		Typ	Status
Volders Hauptverteiler 1	1187	Hardwarebox	Online ?
ZellUG/Kirchbichl Hauptverteiler 3	1337	Hardwarebox	Online ?
Mayrhofen VS 3	1342	Hardwarebox	Online ?
Brixlegg Hauptverteiler 3	10218	Hardwarebox	Online ?
Volders Hauptverteiler 3	10232	Hardwarebox	Online ?
Volders Hauptverteiler 2	10231	Hardwarebox	Online ?
Zell B2/Kirchbichl Hauptverteiler 2	10242	Hardwarebox	Online ?
Zell B1/Kirchbichl Hauptverteiler 1	10253	Hardwarebox	Online ?
Schwendau/Brixlegg Hauptverteiler 1	10275	Hardwarebox	Online ?
Mayrhofen Volksschule 1 25A/10A	10276	Hardwarebox	Online ?
Sillian NMS Hauptverteiler 2 25A/10A	10274	Hardwarebox	Online ?
Zell A2/Brixlegg Hauptverteiler 2	10277	Hardwarebox	Online ?

Abbildung 1.8: Hardwareübersicht (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

In den Sammlungen werden die Messwerte der einzelnen Verbraucher aufgezeichnet.

LINEMETRICS

Hilfe
AG Andreas Greml
TB Greml

- Übersicht
- Favoriten
- Sammlungen
- Hardware
- API
- Anleitungen neu

## Sammlungen

+ Hinzufügen

NMS Jenbach 3.OG West (Wechsel Messpunkte 29.6 und 13.10)

Unterverteiler 3. OG West

NMS Jenbach Hauptverteiler - jede einzelne Phase (bis Sept.2016)

Leistungen Hauptverteiler im 1 Stock

Test Stromwandler Greml

Testlogger Stromwandler

Abbildung 1.9: Sammlungsübersicht (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

Innerhalb der Sammlungen befindet sich dann die Übersicht über die Datenströme

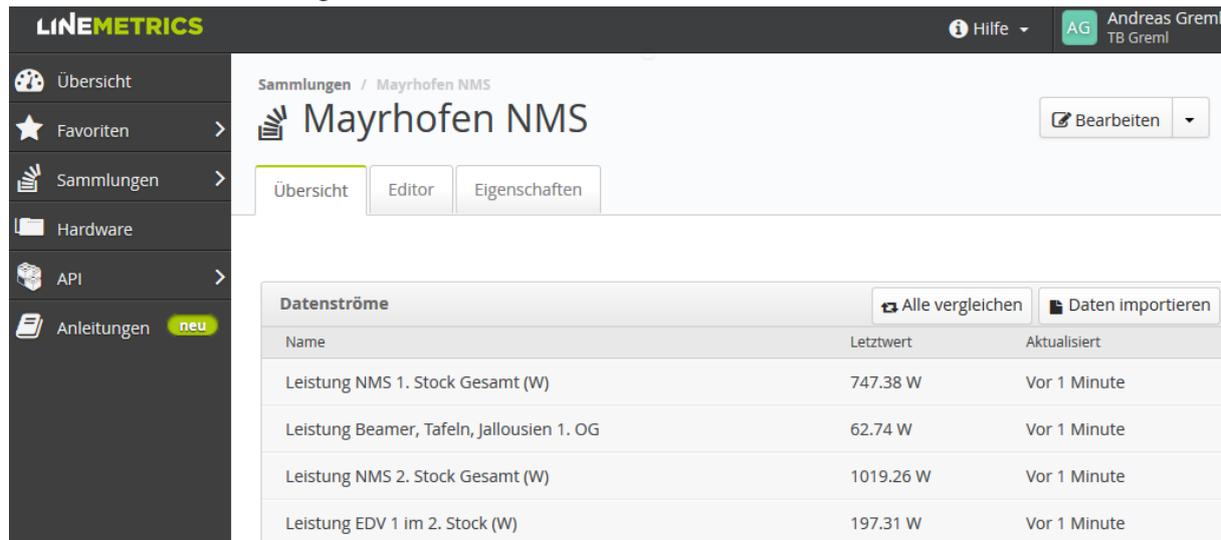


Abbildung 1.10: Übersicht der Datenströme in einer Sammlung (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

Für den einzelnen Datenstrom lassen sich dann die konfigurierten Werte ablesen.

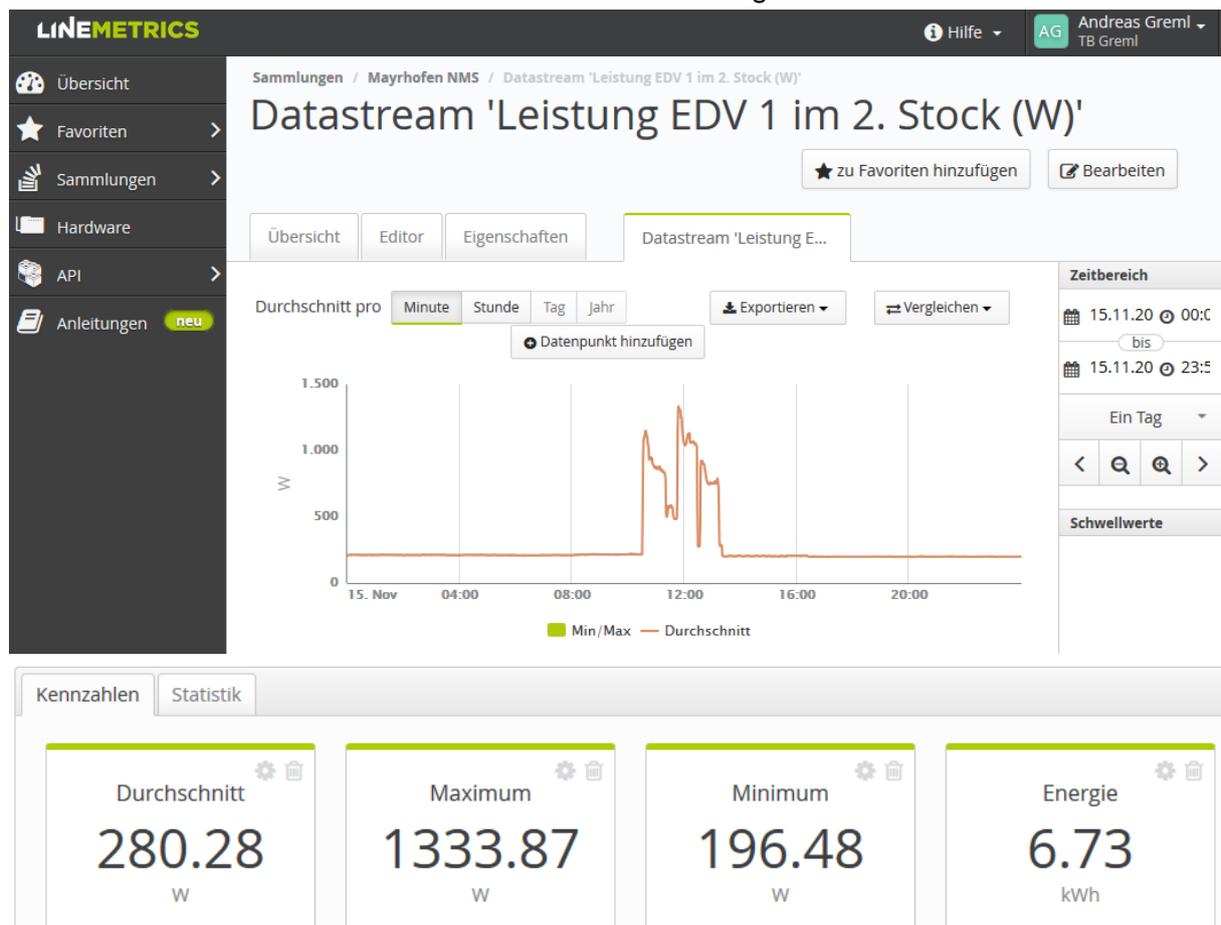


Abbildung 1.11: Einzelner Datenstrom (Quelle: Onlineplattform LineMetrics)

Zu beachten ist, dass sich die Maximal- bzw. Minimalwerte jeweils auf das eingestellte Zeitintervall beziehen. D.h., der Minimalwert bzw. Maximalwert ist der maximale Durchschnittswert einer Minute/Stunde/Tag. Der Durchschnitt bezieht sich dann auf den gesamten eingestellten Zeitraum.

Richtige Maximalwerte sind daher meist nur im Minutenintervall abzulesen, außer die Leistung bleibt z.B. über eine ganze Stunde konstant auf dem Maximalwert.

Für die Auswahl und den Test der Mess- bzw. Onlinesysteme wurde in einer Schule das System von List Engineering aus Volders verwendet. Es ist ähnlich aufgebaut wie das System von LineMetrics. Da jedoch zum Entscheidungstermin nur LineMetrics über ein konfigurierbares Onlineauswertungstool verfügte, wurde LineMetrics als Hauptmesssystem ausgewählt. Das getestete System von List Engineering wurde in der Testschule jedoch weiter verwendet.



Abbildung 1.12: Aufzeichnungssystem von List Engineering

### 1.4.2 Blindstrom verzerrt Messungen mit Klappwandler

Ein großer Vorteil von Messungen mit den Klappwandlern liegt darin, dass diese ohne Unterbrechung der Stromversorgung installiert werden können. Der Nachteil der beiden verwendeten Messsysteme mit Klappwandlern ist jedoch, dass insbesondere der Blindstromanteil nicht erfasst werden kann. Die Messung ist daher nur bei Verbrauchern ohne Blindstromanteil (z.B. Warmwasserbereitung mit einem elektrischen Heizstab ( $\cos \Phi = 1$ ) wirklich korrekt. Bei allen anderen Verbrauchern ist die Messung um den Blindstromanteil verzerrt. D.h. die Messwerte sind tendenziell zu hoch. Bei der Messung von ganzen Gebäudeteilen ist der Fehler relativ gering, da der  $\cos \Phi$  meist zwischen 0,9 und 1 liegt. Bei der Messung von speziellen Bereichen, z.B. Computerräumen, kann die Abweichung deutlich sein, da diese Geräte im Betrieb meist einen  $\cos \Phi$  von 0,6 bis 0,9 aufweisen und im Standby der  $\cos \Phi$  zwischen 0,03 und 0,25 beträgt. Dies kann bei Anwendungen mit bekanntem  $\cos \Phi$  jedoch bei der Auswertung korrigiert werden.

### 1.4.3 Spannungsniveau wird bei Klappwandlern nicht gemessen

Eine weitere Unsicherheit bei der Messung über die beiden verwendeten Systeme mit Klappwandlern ist, dass das Spannungsniveau zwischen 230 und 240 V schwankt. Diese Schwankung wird bei dieser Art der Messung ebenfalls vernachlässigt, da nur die Stromstärke gemessen wird. Durch eine einmalige Messung der Spannung und der Annahme, dass die Spannung über den Messzeitraum im jeweiligen Versorgungsgebiet nur gering schwankt, lässt sich aber auch dieser Unsicherheit korrigieren.

Ein Messsystem, das diese beiden Nachteile bezüglich  $\cos \Phi$  und Spannungsniveau beseitigt, stellt eine Kombination aus Klappwandler und einem fix installierter Messsystem von Spannung und Phasenverschiebung dar. Diese Systeme benötigen jedoch eine fixe Installation und entsprechend Platz im Installationsschrank. Dieses Messsystem wurde im Projekt nicht verwendet, da beim Forschungsprojekt oft zwischen den einzelnen Schulstandorten bzw. den Verteilerkästen gewechselt werden musste, bzw. vielfach zu wenig Platz in den Verteilerkästen vorhanden war.



Abbildung 1.13: Wandlermessung mit Bildstromerfassung (Quelle: Fa. netconnect)

Für Bereiche, in denen keine Datenverbindung und daher keine Verwendung des Online Messsystems möglich war, wurden auch geeichte Stromzähler der Fa. Eltako eingesetzt. Sie verfügen neben der Energiezählung auch über Anzeigen für die Leistung, den Strom und die Spannung, sodass einerseits die Momentanwerte der Anlagen ausgelesen werden konnten und der Wirkleistungsfaktor ( $\cos \Phi$ ) ermittelt werden konnte. Weiters verfügen die Stromzähler über einen zusätzlichen Impulsausgang, der für eine Fernüberwachung verwendet werden könnte.



Abbildung 1.14: geeichte 1 bzw. 3 Phasenzähler jeweils mit Impulsausgang (Quelle: Eltako)

Für einzelne Geräte (PC, Kopierer, Reinigungsmaschinen etc.) wurden Steckermessgeräte verwendet.



Abbildung 1.15: Steckermessgerät (Quelle: Conrad Electronic)

Neben den herkömmlichen Angaben von Wirkleistung in W und Energie in kWh, wird bei den verwendeten Geräten auch der Wirkfaktor  $\cos \Phi$ , der Lasttyp (induktiv oder kapazitiv) und die Netzfrequenz angezeigt. Zudem kann die Laufzeit der Geräte ermittelt werden, falls sie keinen zu hohen Standby Verbrauch, der vom Messgerät als Teil der Betriebszeit interpretiert wird, haben.

#### **1.4.4 Evaluierung liefert keine statistische Hochrechnung**

Diese Evaluierung ermöglicht mit zehn Schulen unterschiedlicher Größe und Nutzung (Volksschule bzw. Neue Mittelschule) keine statistische Hochrechnung bzw. konkreten Rückschlüsse auf den Gesamtbestand der Schulen. Eine statistische Auswertung der Anlagen wurde nur in sinnvollen Teilbereichen vorgenommen, da aufgrund der unterschiedlichen Anwendungen und der geringen Untersuchungsobjekte eine aussagekräftige Statistik vielfach nicht möglich ist. Das Projekt diente aber vor allem dazu festzustellen, in welchem Bereich typische Anwendungen liegen sowie zu bestimmen, in welchen Bereichen eine größere statistische Auswertung für die Zukunft sinnvoll wäre. Die Evaluierung sollte vor allem qualitative Aussagen darüber liefern, wie Schulen in Zukunft systematisch ihren Stromverbrauch analysieren und reduzieren können bzw. im Falle von Neubau und Sanierung zu stromoptimierten Lösungen kommen.

#### **1.4.5 Keine Veröffentlichung der Ergebnisse von Einzeluntersuchungen**

Das primäre Ziel der Untersuchung war die Ermittlung der spezifischen Stromverbräuche und das Aufzeigen von Verbesserungsmöglichkeiten, um zukünftig Schulen mit geringerem Stromverbrauch zu bekommen. Daher sind in diesem Endbericht die einzelnen Messwerte und Kenndaten nicht den einzelnen Schulen direkt zuordenbar. Die Auswertungen und Berichte für die einzelnen Schulen sind ausschließlich den jeweiligen Schulen bzw. Schulerhaltern zugänglich.

## 2 Elektrotechnische Grundlagen

Die elektrotechnischen Grundlagen werden in diesem Bericht nicht eigens aufbereitet, da es dazu schon genügend Informationsmaterial gibt.

Beispiele:

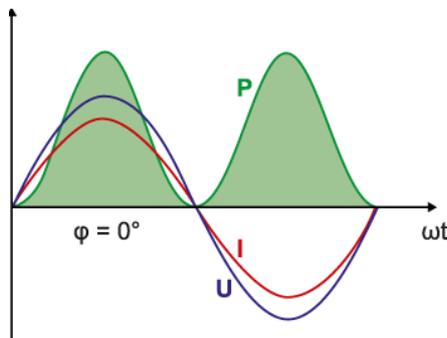
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrotechnik>
- [http://htl.moedling.at/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/Grundlagen\\_der\\_ET\\_02.pdf](http://htl.moedling.at/fileadmin/_migrated/content_uploads/Grundlagen_der_ET_02.pdf)
- <https://www.frustfrei-lernen.de/elektrotechnik/elektrotechnik-uebersicht.html>
- [http://www.bin-br.at/Lernplattform/Script/Inhalte/Fachueb/Gruel/E\\_Gruel.htm](http://www.bin-br.at/Lernplattform/Script/Inhalte/Fachueb/Gruel/E_Gruel.htm)

Nur der Begriff des Blindstromes wird kurz erläutert, da dieser bei den Messungen mit Klappwandlern besonders zu beachten ist.

### 2.1 Wirkleistung

Vgl. <https://www.janitza.de/grundlagen-zur-blindleistungskompensation.html>

Schaltet man einen Wirkwiderstand, z.B. ein Heizgerät, in einen Wechselstromkreis, so sind Strom und Spannung phasengleich.

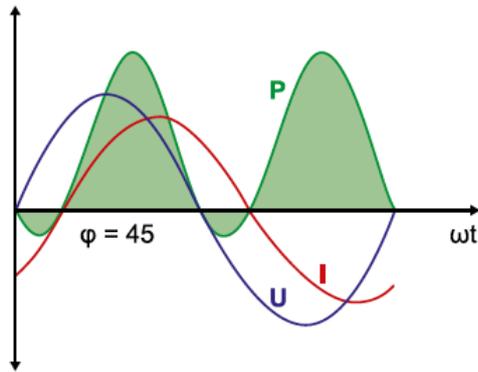


Durch Multiplikation zusammengehöriger Augenblickswerte von Strom (I) und Spannung (U) ergeben sich die Augenblickswerte der Leistung (P) bei Wechselstrom. Die Wechselstromleistung hat den Scheitelwert  $P = U \times I$ .

Abbildung 2.1: Spannung und Strom phasengleich (Quelle: [www.janitza.de](http://www.janitza.de))

### 2.2 Wirk- und Blindleistung

Eine rein ohmsche Last tritt in der Praxis selten auf. Häufig kommt zusätzlich eine induktive Komponente dazu. Dies gilt für alle Verbraucher, die zur Funktion ein magnetisches Feld benötigen (z.B. Motoren, Transformatoren etc.). Der verwendete Strom, der zum Aufbau und Umpolen des magnetischen Feldes benötigt wird, verbraucht sich nicht, sondern pendelt als Blindstrom zwischen Generator und Verbraucher.



Eine Phasenverschiebung tritt auf, d.h., die Nulldurchgänge von Spannung und Strom sind nicht mehr deckungsgleich. Bei induktiver Last läuft der Strom der Spannung nach, bei kapazitiver Last ist das Verhältnis genau umgekehrt. Berechnet man jetzt die Augenblickswerte der Leistung ( $P = U \times I$ ), entstehen immer dann negative Werte, wenn einer der beiden Faktoren negativ wird.

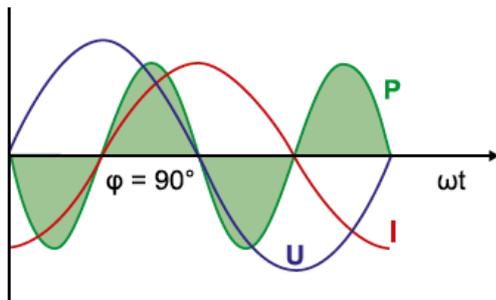
Abbildung 2.2: Spannung und Strom nicht phasengleich (Quelle: [www.janitza.de](http://www.janitza.de))

Beispiel:

Phasenverschiebung  $\varphi = 45^\circ$  (entspricht einem induktiven  $\cos \varphi = 0,707$ ). Die Leistungskurve überlagert in den negativen Bereich.

### 2.3 Blindleistung

Induktive Blindleistung tritt u.a. bei Motoren und Transformatoren auf – ohne Berücksichtigung von Leitungs-, Eisen- und Reibungsverlusten.

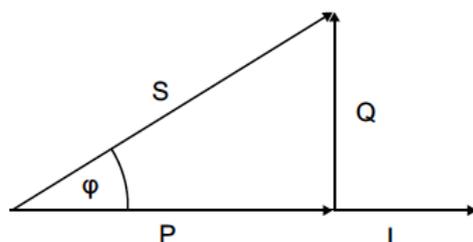


Beträgt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung  $90^\circ$ , z.B. bei einer „idealen“ Induktivität oder bei einer Kapazität, so werden die positiven wie auch die negativen Flächenteile gleich groß. Die Wirkleistung entspricht dann dem Faktor 0 und es tritt nur Blindleistung auf. Die ganze Energie pendelt dabei zwischen Verbraucher und Erzeuger hin und her.

Abbildung 2.3: Blindleistung (Quelle: [www.janitza.de](http://www.janitza.de))

### 2.4 Scheinleistung

Die Scheinleistung kennzeichnet die einem elektrischen Verbraucher zugeführte oder zuzuführende elektrische Leistung. Die Scheinleistung  $S$  ergibt sich aus den Effektivwerten von Strom  $I$  und Spannung  $U$ .



Bei verschwindender Blindleistung, z. B. bei Gleichspannung, ist die Scheinleistung gleich dem Betrag der Wirkleistung. Ansonsten fällt diese größer aus. Elektrische Betriebsmittel (Transformatoren, Schaltanlagen, Sicherungen, elektrische Leitungen usw.), die Leistung übertragen, müssen entsprechend der zu übertragenden Scheinleistung ausgelegt sein.

Abbildung 2.4: Scheinleistung (Quelle: [www.janitza.de](http://www.janitza.de))

## 2.5 Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ bzw. $\cos \Phi$ )

Das Verhältnis von Wirkleistung  $P$  zu Scheinleistung  $S$  nennt man Wirkleistungsfaktor oder Wirkfaktor. Der Leistungsfaktor kann zwischen 0 und 1 liegen. Bei sinusförmigen Strömen stimmt der Wirkleistungsfaktor mit dem Cosinus ( $\cos \varphi$ ) überein.

In Stromversorgungseinrichtungen wird zur Vermeidung von Übertragungsverlusten ein möglichst hoher Leistungsfaktor angestrebt. Im Idealfall beträgt er genau 1, praktisch aber nur etwa 0,95 (induktiv). Energieversorgungsunternehmen schreiben für ihre Kunden häufig einen Leistungsfaktor von mindestens 0,9 vor. Wird dieser Wert unterschritten, so wird die bezogene Blindarbeit gesondert in Rechnung gestellt.

Bei Schulen kommt es im Normalfall zu keiner Verrechnung der Blindleistung, da sich der  $\cos \Phi$  in der zulässigen Bandbreite der Energieversorger bewegt. Dieser ist daher für Gesamtbetrachtungen eher von untergeordneter Bedeutung. Für die Messung einzelner Verbrauchergruppen (z.B. Beleuchtung) ist dieser jedoch zu beachten.

Beispiel für Bauteil mit sehr hohem Blindstromanteil:

Phasenüberwachungsrelais haben eine sehr hohe Blindleistung (z.B. 1,7 W Wirkleistung und 16 VA,  $\cos \Phi = 0,1$ )



Abbildung 2.5: Darstellung aus Datenblatt DIN-Sicherheitstechnik: Notlicht Drei-Phasenüberwachungsrelais, Stand 03/2015.

### 3 Bestehende Benchmarks, Studien und Infos zum Stromverbrauch in Schulen

Der Strombedarf in Schulen ist ein bisher eher vernachlässigtes Thema. Dies zeigt sich auch darin, dass nur sehr wenige Studien, Benchmarks und Infomaterialien zur Verfügung stehen.

#### 3.1 Benchmarks zum Strombedarf in Schulen

Zum Strombedarf in Schulen besteht in Österreich derzeit keine zentrale Benchmark-Datenbank. Die Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) bzw. die Landesverwaltungen verfügen aufgrund ihres Gebäudepools grundsätzlich über die Möglichkeit Benchmarks zum Stromverbrauch auf Gesamtverbrauchsebene ihrer Schulen durchzuführen. Neue Mittelschulen und Volksschulen sind in Gemeindebesitz und für Gemeinden besteht intern meist keine Möglichkeit Stromverbräuche konkret zu vergleichen. Diese Möglichkeit haben nur größere Städte, die mehrere Schulen betreiben. Über das e5 Programm haben auch kleine Gemeinden die Möglichkeit ihre Schulen auf Tarifebene zu vergleichen (siehe nächstes Kapitel).

##### 3.1.1 Allgemein zugängliche Benchmarks bzw. Kennzahlen

Die einzige öffentliche Plattform, die gefunden wurde, um den Stromverbrauch einer Schule grob einzuordnen, stellt der Energiesparverband Oberösterreich (ESV) zur Verfügung. Im Rahmen der Förderung für PV-Anlagen für Schulen wurde auch ein Benchmarktool eingerichtet, in dem die Schulen den spezifischen Stromverbrauch (ohne Elektroheizung, Heizungswärmepumpe, Warmwasseraufbereitung) ihrer Schule einordnen können. Eine Datenbank dahinter existiert aber laut telefonischer Auskunft beim ESV nicht.

**Online-Check: Stromverbrauch in der Schule/im Kindergarten**

Mit diesem einfachen Online-Tool können Sie feststellen, ob der Stromverbrauch in Ihrer Schule oder Ihrem Kindergarten zu hoch ist.

Geben Sie einige wenige Daten ein (Stromverbrauch lt. Stromrechnung, Größe der Schule/des Kindergartens, Anzahl der Schüler/innen bzw. der Kinder) und Sie erhalten eine erste Einschätzung, ob der Stromverbrauch im Vergleich hoch, mittel oder niedrig ist.

**Ihre Eingaben:**

Typ	Bitte wählen...	
Stromverbrauch lt. Jahresstromrechnung*	-	kWh
Zeitraum, in dem dieser Stromverbrauch angefallen ist	365	Tage
Fläche der Schule/des Kindergartens	-	m <sup>2</sup>
Anzahl Personen (Schüler/innen, Lehrer/innen, Kinder, Kindergarten-Pädagog/innen, Angestellte) auf dieser Fläche	-	Personen

Werte aktualisieren

**GUT** **MITTEL** **SCHLECHT**

\* ohne Stromverbrauch für Elektroheizung, Heizungswärmepumpe, Warmwasseraufbereitung

Abbildung 3.1: Eingabemaske Benchmark Schulen (PV-Schule) <http://www.pv-schule.at/strom-sparen/schul-check/>

Die in der Grafik hinterlegten Zahlenwerte für die Einordnung sind in der Broschüre „Stromsparen in der Schule“ dargestellt.

## So erkennen Sie, wo Ihre Schule liegt

Beispiele für Kennzahlen oberösterreichischer Schulen:

### Beispiel Stromverbrauch

Volks- & Hauptschulen, sonstige Schulen:



### Beispiel Stromverbrauch

Fach- & Berufsschulen:



[http://www.pv-schule.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info\\_und\\_Service/Publikationen/Strom\\_sparen\\_Schule\\_fin.pdf](http://www.pv-schule.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Strom_sparen_Schule_fin.pdf)

Abbildung 3.2: Einordnung Stromverbrauch von Schulen

Im oberösterreichischen Energiebericht von 2015 wurden für Berufsschulen bzw. landwirtschaftliche Fach- und Berufsschulen folgende Zahlen zum Stromverbrauch veröffentlicht. Hinweis: m<sup>2</sup> bezieht sich auf beheizte BGF.

### Gebäudearten

Energiekennzahlen Strom [kWh/m<sup>2</sup>a]

Jahr	Betriebswerkstätte	Berufsschule	Bezirkshauptmannschaft	Jugend-Kinderheim, Jugendherberge, Gästehaus	Kunst, Kultur	Landwirtschaftliche Fach- und Berufsschule
	BW	BS	BH	JEKH	KU	LWBFS
2005	27	26	31	37	54	26
2006	21	24	30	33	56	29
2007	31	24	28	32	57	27
2008	31	25	30	32	59	26
2009	31	26	29	33	63	27
2010	30	26	28	31	54	27
2011	28	25	27	31	52	29
2012	29	25	27	32	54	28
2013	26	24	28	32	71	27
2014	27	25	27	30	69	26

Abbildung 3.3: Auszug Stromkennzahlen ÖÖ

[http://www.energiesparverband.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info\\_und\\_Service/Energie\\_in\\_Oe/Umsetzungsbericht/2015-Energiebericht.pdf](http://www.energiesparverband.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Energie_in_Oe/Umsetzungsbericht/2015-Energiebericht.pdf)

Hinweis: Die Stromverbräuche von Berufsschulen und von landwirtschaftlichen Schulen sind jedoch nicht mit Volks- bzw. Neuen Mittelschulen - dem Fokus dieser Untersuchung - zu vergleichen. Berufsschulen und landwirtschaftliche Schulen weisen normalerweise höhere Stromverbräuche auf.

### 3.1.2 Schulen in e5-Gemeinden:

Für die Schulen in den e5-Gemeinden von Österreich besteht eine gute Datenbasis auf Gesamtverbrauchsebene. Die Auswertung bei e5 erfolgt unterteilt in Schulen mit und ohne Sporthalle. Eine Unterteilung in Volksschulen und Mittelschulen ist bisher leider nicht erfolgt. Die große Spannweite der Verbräuche zeigt, dass ein Benchmark auf Ebene des Tarifzählers ohne Korrekturen durch die Ausstattung nur eine geringe Aussagekraft hat.

#### Schulen mit Sporthalle:

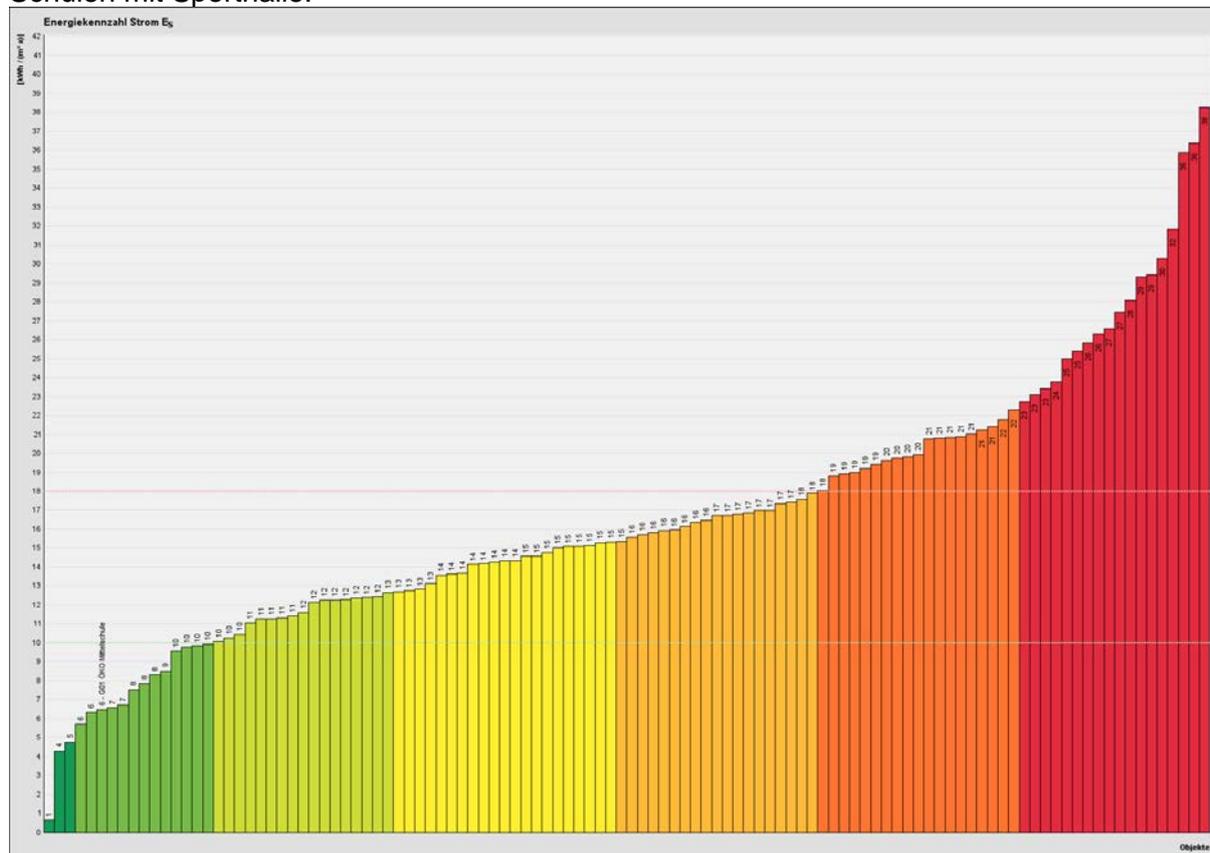


Abbildung 3.4: Benchmark Schulen mit Sporthalle (Quelle: ESV e5)

Die Bandbreite bei Schulen mit Sporthalle liegt zwischen 6 und 32 kWh/m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche, wenn man die höchsten und niedrigsten 3 Werte aus der Wertung nimmt. Der Mittelwert liegt bei ca. 18 kWh/m<sup>2</sup>.

#### Schulen ohne Sporthalle:

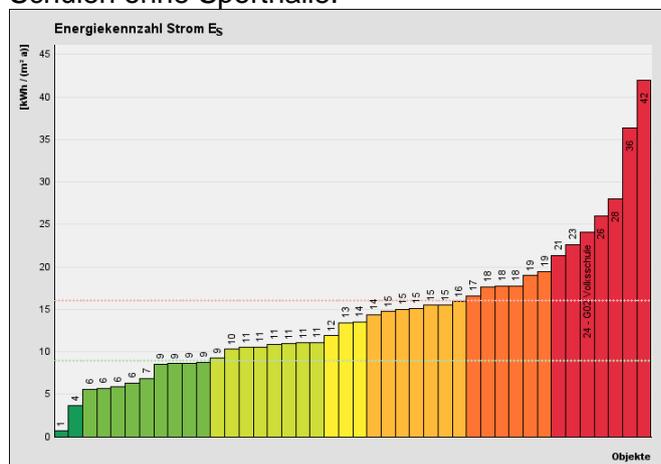


Abbildung 3.5: Benchmark Schulen ohne Sporthalle (Quelle: ESV e5)

Die Bandbreite bei Schulen ohne Sporthalle liegt zwischen 6 und 26 kWh/m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche, wenn man die höchsten und niedrigsten 3 Werte aus der Wertung nimmt. Der Mittelwert liegt bei ca. 16 kWh/m<sup>2</sup>.

Die Tendenz der letzten Jahre ergab lt. Auskunft des Energieinstituts Vorarlberg, welches die e-5 Datenbank betreut, sinkende Wärme-, aber steigende Stromverbräuche.

In der e5 Datenbank sind nur wenige Objekte mit Sporthallen enthalten:

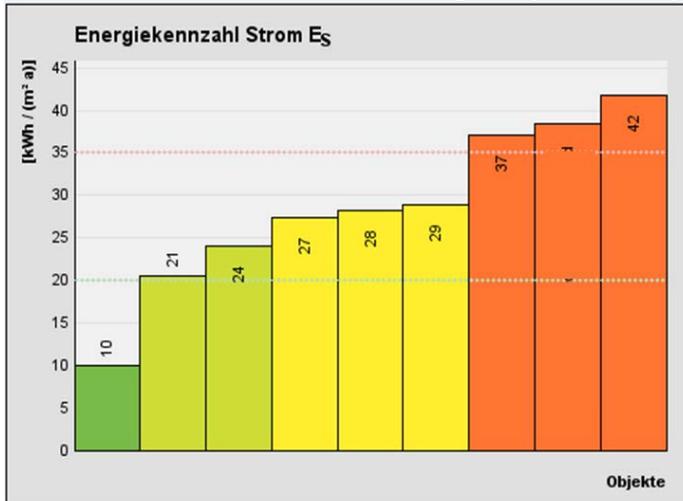


Abbildung 3.6: Benchmark Sporthallen (Quelle: ESV e5)

Die Bandbreite der Sporthallen liegt zwischen 10 und 42 kWh/m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche wobei nicht ersichtlich ist, ob darin auch das Warmwasser (und dessen Bereitung) enthalten ist oder nicht.

### 3.1.3 Benchmark für Schulen in Salzburg

Aus den Daten der Schulen, die uns von der Stadt Salzburg zur Verfügung gestellt wurden und die nach Volksschulen und Neuen Mittelschulen getrennt sind, lässt sich ableiten, dass es keinen besonders großen Unterschied im Stromverbrauch zwischen Neuen Mittelschulen und Volksschulen gibt. Der Mittelwert der 18 Volksschulen lag bei 14 kWh/m<sup>2</sup>BGF und der von den 10 Neuen Mittelschulen bei 15 kWh/m<sup>2</sup>BGF. Aufgrund der etwas geringeren Anwesenheit des Personals bzw. der geringeren EDV-Stunden in einer Volksschule würde man eher einen größeren Unterschied erwarten. Auch ergab die Auswertung keine eindeutige Abhängigkeit des Stromverbrauchs von der Schulgröße – was aber auch nicht zu erwarten war.

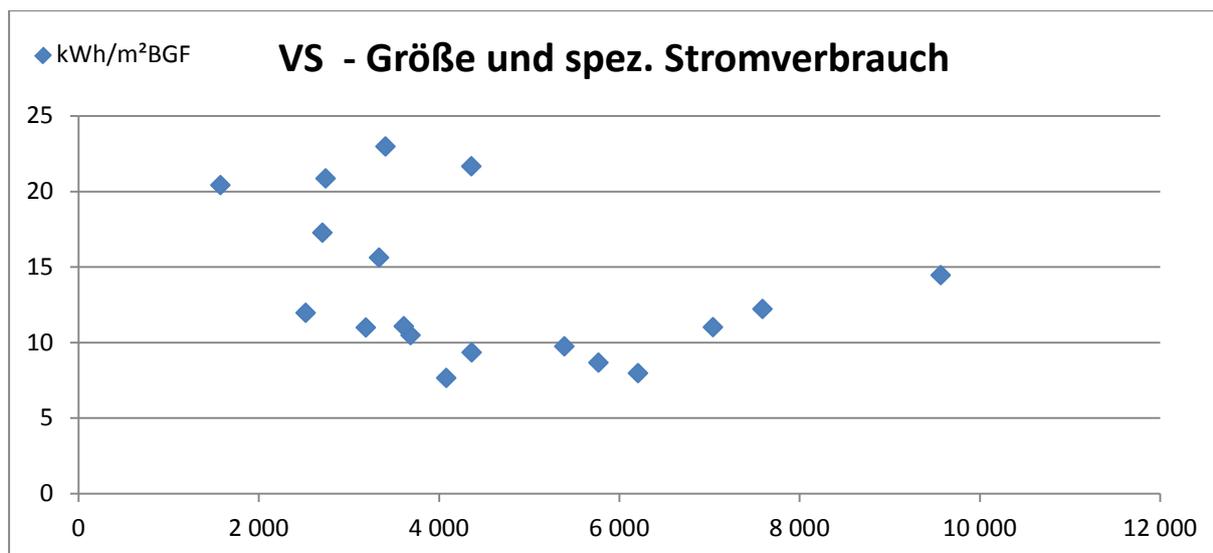


Abbildung 3.7: Benchmark Volksschulen und Gebäudegröße (Datenquelle: Stadt Salzburg)

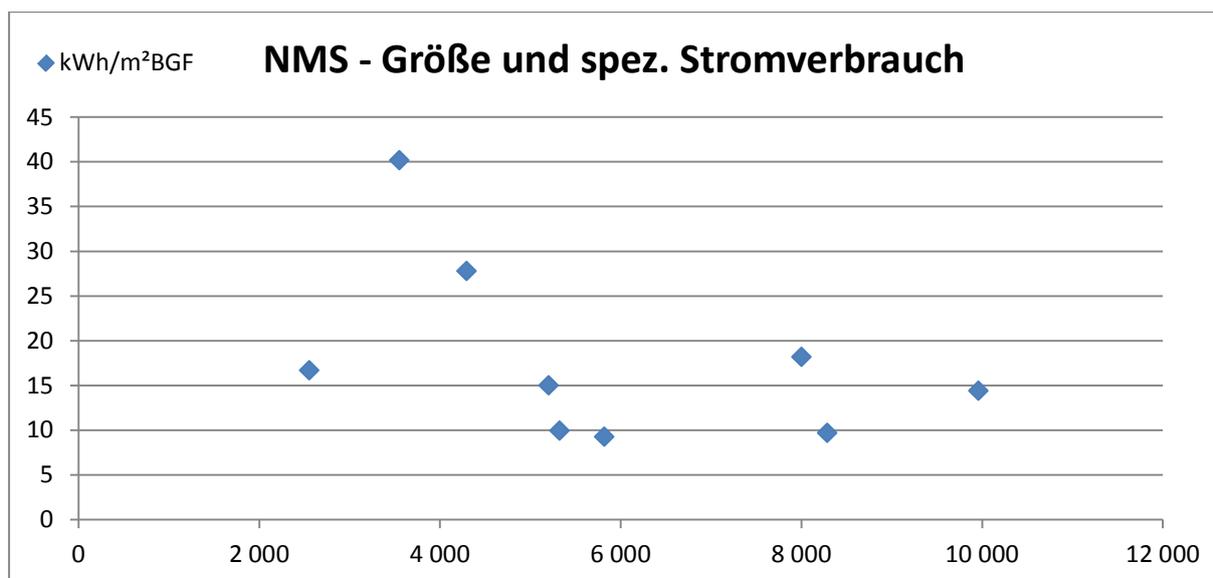


Abbildung 3.8: Benchmark Neue Mittelschulen und Gebäudegröße (Datenquelle: Stadt Salzburg)

### 3.1.4 Sonstige Benchmarks

Im Facility Manager der Ausgabe vom Oktober 2015 sind 15 kWh/m<sup>2</sup>BGF für den spezifischen Stromverbrauch von Schulen (Gesamt, Berufsschulen) enthalten.



Strom-Benchmarks			
Gebäudeart	[kWh/(m <sup>2</sup> -a)]	Bezugsgröße	Datenquelle
Schulen (Gesamt-, Berufsschulen)	15	Beheizte Bruttogeschossfläche	Sauter/VDI 3807-2
Verwaltung (Büro) mit mechanischer Lüftung	50	Beheizte Bruttogeschossfläche	Sauter/VDI 3807-2
Hörsaalgebäude	38	Beheizte Bruttogeschossfläche	VDI 3807-2
Shoppingcenter	60	Mietfläche des Shoppingcenters	Sauter
Hotel (ohne Restaurant)	40	Beheizte Bruttogeschossfläche	Hermes
Hotel (mit Restaurant)	83	Beheizte Bruttogeschossfläche	Hermes
	[kWh/(ÜN-a)]		
Hotel (ohne Restaurant)	6	Übernachtung (ÜN)	Hermes
Hotel (mit Restaurant)	21	Übernachtung (ÜN)	Hermes
	[kWh/(Planbett-a)]		
Krankenhäuser 250 - 500 Betten	5.529	„Planbett“	VDI 3807-2
Zielwerte der Optimierung	3.775	„Planbett“	VDI 3807-2

Abbildung 3.9: Strom Benchmark (Quelle: Der Facility Manager)

Im Bericht „Energieverbräuche von Bildungsgebäuden in Deutschland“ des Fraunhofer Instituts für Bauphysik in Stuttgart wurden für Schulen folgende Zahlenwerte veröffentlicht:

Zusammenstellung der statistischen Kenngrößen wie Mittelwert, Standardabweichung und Mittelwert innerhalb der Standardabweichung für den Stromverbrauch der Bildungsgebäudetypen.

Gebäudetyp	Anzahl der Gebäudedaten	Vorgefundener Bereich	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert der Gebäudedaten innerhalb der Standardabweichung	Anzahl der Gebäudedaten innerhalb der Standardabweichung
	-	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	-
Kindergärten	8	6,0...72,0	26,3	± 20,1	22,0	6
Schulen	185	1,0...123,0	26,0	± 19,6	20,0	155
Schulsport-hallen	4	18,4...110,0	63,5	± 39,9	62,9	2
Fachhoch-schulen	59	8,4...136,8	47,9	± 27,9	44,9	45
Universitäts-gebäude	303	2,2...931,2	125,8	± 145,0	81,8	266

Abbildung 3.10: Strom Benchmark (Quelle: Fraunhofer Institut Stuttgart)

Die Stromverbrauchswerte für einzelne Schulen (Umweltschulen) sind auf folgender Seite veröffentlicht: [http://www.umweltschulen.de/energie/k\\_elektro.html](http://www.umweltschulen.de/energie/k_elektro.html)

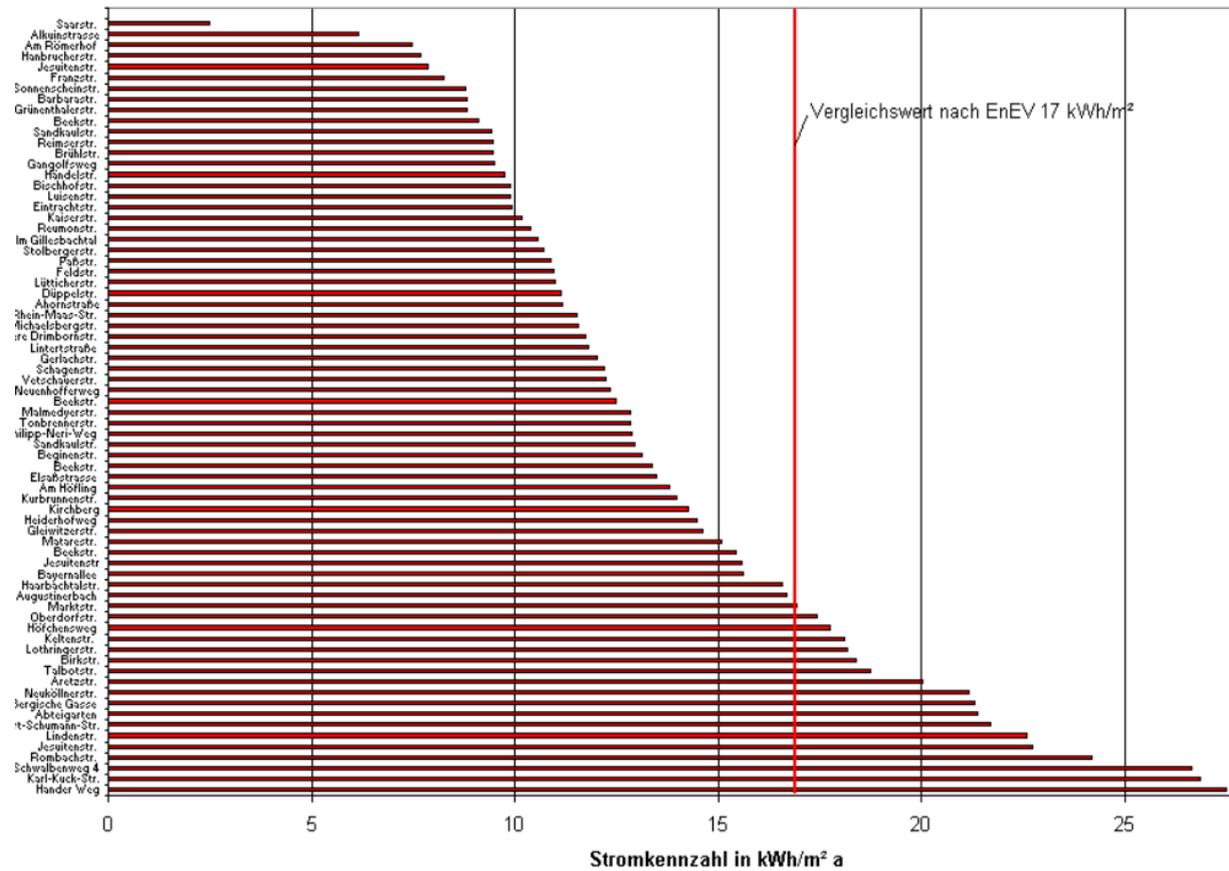


Abbildung 3.11: Strom Benchmark Schulen (Quelle: Umweltschulen)

Die Verbräuche der Umweltschulen liege etwas unter den sonstigen Durchschnittswerten bzw. unter dem Vergleichswert der ENEV.

Für Schulen in Hamburg wurden von Li-Hamburg folgende Durchschnittszahlen veröffentlicht:



Abbildung 3.12: Strom Benchmark Schulen (Quelle: Hansestadt Hamburg)

Die Grafik zeigt den steigenden spezifischen Stromverbrauch.

Auch der Einordnung der Energieverbrauchsausweise nach Vorschlag des Deutschen Städtetages liegen die Benchmarks der Städte zugrunde. Die Einordnungen wurden so gewählt, dass in allen Klassen gleich viele Gebäude zu liegen kommen.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

BZK Bauwerkszuordnung	Anzahl Werte	Untergrenzen der Klassen (kWh/m <sup>2</sup> a)						
		A	B	C	D	E	F	G
4100 Allgemeinbildende Schulen	6.210	0,0	11,5	13,2	15,0	17,0	19,6	23,8
6430 Altentagesstätten	92	0,0	15,5	19,9	24,1	27,6	33,4	42,5
7740 Bauhöfe	187	0,0	14,1	17,6	25,5	31,1	42,0	59,0
4200 Berufliche Schulen	782	0,0	14,0	16,7	19,6	23,2	27,3	36,1
4210 Berufsfachschulen*	11	0,0	8,4	8,8	13,2	16,3	18,4	28,9
6400 Betreuungseinrichtungen	756	0,0	14,6	20,0	24,0	29,0	37,2	51,0
7300 Betriebs- und Werkstätten	102	0,0	12,9	17,9	22,2	25,2	33,0	54,9
9130 Bibliotheksgebäude	115	0,0	19,0	25,1	32,2	39,9	52,7	83,5
7760 Feuerwehren	550	0,0	15,0	19,5	26,0	35,5	52,5	72,8
5500 Freibadanlagen	27	0,0	98,8	124,1	132,2	144,9	189,2	242,7
9700 Friedhofsanlagen	337	0,0	15,4	20,2	28,7	41,8	77,6	111,9
7600 Garagegebäude*	52	0,0	10,5	15,0	19,1	31,3	42,2	77,0
9100 Geb. f. kulturelle u. musische Zwecke	357	0,0	18,8	28,4	36,1	48,5	64,7	93,8
7700 Geb. f. öff. Bereitschaftsdienste	849	0,0	14,5	18,7	24,9	33,0	46,8	67,8
5300 Geb. f. Sportplatz- u. Freibadanl.	249	0,0	15,0	19,7	27,5	36,3	49,8	88,1
2000 Geb. f. wiss. Lehre u. Forschung	103	0,0	20,8	30,3	52,0	69,3	131,2	258,5
9400 Gebäude für Pflanzenhaltung	20	0,0	13,5	14,7	25,5	29,6	48,1	56,2
9150 Gemeinschaftshäuser	107	0,0	14,5	18,4	22,3	28,4	33,4	46,0
6300 Gemeinschaftsunterkünfte	7	0,0	10,0	11,0	28,0	29,0	32,0	35,0
1200 Gerichtsgebäude	38	0,0	21,5	25,2	30,2	40,6	42,3	47,2
4150 Gesamtschulen	182	0,0	12,6	15,7	19,6	22,6	26,4	33,4
4115 Grund- u. Hauptschulen mit Turnhalle	738	0,0	11,9	14,3	16,2	18,1	20,0	23,8
4112 Grund- und Hauptschulen	203	0,0	12,0	13,1	14,4	16,0	17,9	21,2
4121 Grund-, Haupt- und Realschulen	862	0,0	10,9	12,0	13,4	15,1	17,3	21,2
4110 Grundschulen	2.465	0,0	11,4	12,9	14,6	16,6	18,9	22,8
4140 Gymnasien	1.076	0,0	12,4	14,6	16,8	19,1	21,4	26,3
5100 Hallen (ohne Schwimmh.)	1.239	0,0	14,9	18,4	22,4	26,9	32,1	43,8
4120 Hauptschulen	1.067	0,0	11,0	12,2	13,6	15,3	17,4	21,9
2100 Hörsaalgebäude*	37	0,0	19,5	29,1	42,7	46,5	52,9	103,1
2300 Institutsgeb. f. Forsch. u. Unters.*	149	0,0	16,8	35,8	56,8	81,2	108,8	147,8
2200 Institutsgebäude f. Lehre u. Forsch.	93	0,0	20,8	30,3	56,1	70,2	125,8	256,8
6415 Jugendhäuser/Jugendzentren	525	0,0	15,4	20,6	25,5	31,2	38,8	52,1
9600 Justizvollzugsanstalten*	188	0,0	32,7	45,3	50,9	60,7	70,5	80,4
4410 Kindergärten	784	0,0	15,8	19,8	23,7	27,8	32,8	42,0
4400 Kindertagesstätten	4.301	0,0	15,8	19,7	23,0	26,8	31,1	37,9
3200 Krankenhäuser für Akutranke	16	0,0	62,7	95,4	100,7	106,6	135,3	139,6
7500 Lagergebäude*	89	0,0	5,0	6,5	8,7	13,4	20,3	40,5
7100 Landwirtschaftl. Produktionsstätten*	41	0,0	3,4	8,0	22,7	24,7	35,6	45,3
5130 Mehrzweckhallen	145	0,0	16,6	19,4	22,4	24,4	32,0	55,3
9121 Museen	150	0,0	28,3	35,1	48,7	66,1	85,3	158,6
1100 Parlamentsgebäude*	34	0,0	19,0	25,2	30,0	33,5	49,2	67,1
3400 Pflegeheime (Alte, Behinderte)	39	0,0	23,4	28,0	37,8	47,3	53,6	61,2
1340 Polizeidienstgebäude	63	0,0	32,1	55,7	70,1	84,0	112,8	125,5
1313 Rathäuser	88	0,0	17,8	21,7	35,3	39,5	45,2	65,8
4130 Realschulen	480	0,0	11,0	12,5	13,9	15,8	18,2	22,0
1350 Rechenzentren	8	0,0	134,8	137,0	145,3	173,3	174,0	195,2
4000 Schulen und KTs	11.858	0,0	12,3	14,7	17,4	20,4	24,6	31,5
5200 Schwimmhallen	204	0,0	44,1	81,8	142,1	227,1	456,9	847,2
3300 Sonderkrankenhäuser* (z.B. Sucht)	30	0,0	39,3	43,8	51,0	55,7	61,1	71,8
4300 Sonderschulen	446	0,0	11,0	12,9	14,8	17,2	20,5	24,9
5000 Sportbauten	2.108	0,0	15,8	20,9	26,8	34,3	48,8	84,5
5400 Sportplatzanlagen (Außenanlagen)	376	0,0	20,3	28,4	42,6	54,7	70,3	90,0
5110 Turn- und Sporthallen	1.020	0,0	15,0	18,4	22,5	27,1	32,0	42,1
9140 Veranstaltungsgebäude	161	0,0	22,3	34,6	41,7	47,7	68,7	140,6
7200 Verkaufsstätten	15	0,0	48,1	57,7	63,4	252,2	395,5	444,0
6500 Verpflegungseinrichtungen	68	0,0	19,4	22,9	28,8	45,4	55,2	73,2
1320 Verwaltungsgeb. m. höh. techn. Ausst.	121	0,0	19,9	24,6	35,6	41,9	50,3	62,6
1310 Verwaltungsgeb. m. norm. techn. Ausst.	787	0,0	15,9	20,2	26,2	33,5	42,4	63,6
1300 Verwaltungsgebäude	1.806	0,0	16,3	21,5	26,7	33,2	41,4	61,1
4500 Weiterbildungseinrichtungen	57	0,0	15,7	19,2	23,4	31,3	34,6	47,5
6100 Wohnhäuser	173	0,0	14,4	20,6	31,6	39,4	44,6	60,2
6200 Wohnheime	97	0,0	17,8	24,4	30,1	43,2	52,7	76,2
Summe	45.340							

Abbildung 3.13: Klasseneinteilung Strom (Quelle: Deutscher Städtebund – Arbeitskreis Energiemanagement Ausgabe 2.2. 2016) – Achtung Einordnung nach Nettogrundfläche

### 3.1.5 Resümee zu den vorhandenen Benchmarks

Alle verfügbaren Benchmarks beziehen sich auf die Bruttogrundfläche. Zahlenwerte pro Schüler oder Klasse sind nur sehr selten und wenn, dann für einzelne Schulen verfügbar. Der Hintergrund liegt laut Auskunft der Benchmarks-Verantwortlichen darin, dass jährlich wechselnde Schülerzahlen eine Veränderung der Basis bringen würden, welche administrativ sehr aufwändig zu erheben ist. Die Bruttogrundfläche stellt hingegen eine konstante Größe dar. Eine genaue Definition der Bruttogrundfläche (beheizte Bruttogrundfläche oder gesamte Bruttogrundfläche) gibt es meist nicht.

Als Vereinheitlichung wird vorgeschlagen in Zukunft die Definition der konditionierten BGF nach dem österreichischen Energieausweis heranzuziehen. Die BGF wird im OIB-Dokument „[Begriffsbestimmungen](#)“ definiert bzw. wird darin auf die ÖNORM B 8110-6 verweisen.

Auszug aus B8110-6: Definition Bruttogrundfläche

#### 3.5

##### konditionierte Brutto-Grundfläche

##### *BGF*

Fläche, die vom konditionierten Brutto-Volumen umschlossen wird

Konditionierte Brutto-Grundflächen, insbesondere in Dachgeschossen, werden nur ab einer Netto-Raumhöhe von 1,5 m berücksichtigt. In diesem Fall wird für die Ermittlung der *BGF* als fiktive umschließende Wanddicke 0,4 m angenommen. In Treppenhäusern, Aufzugsschächten sowie Ver- und Entsorgungsschächten wird die *BGF* errechnet, als wäre die Geschosdecke durchgezogen. Das gilt auch für Treppenaugen bis zu einer maximalen Fläche von 2 m<sup>2</sup> je Geschos und Treppe. Treppenaugen mit einer größeren Fläche werden – abzüglich der maximal anrechenbaren Fläche von 2 m<sup>2</sup> je Geschos und Treppe – von der betreffenden *BGF* in Abzug gebracht. Sonstige Deckenöffnungen (z. B. bei Galerien) sind nicht in die konditionierte Brutto-Grundfläche einzurechnen.

Aus den vorliegenden Benchmarks bzw. Zusammenstellungen lassen sich folgende grobe, mittlere jährliche Verbrauchswerte ohne Elektroheizung bzw. Heizung mit Wärmepumpe ableiten.

- Volks- und Neue Mittelschulen in Tirol: 16 – 18 kWh/m<sup>2</sup> BGF
- Sporthallen in Tirol: ca. 30 kWh/m<sup>2</sup> BGF

Zu beachten ist, dass es sich bei diesen Mittelwerten um Bestandsschulen jeglichen Alters handelt. Neue oder sanierte Schulen verfügen meist über eine deutlich höher elektrifizierte Ausstattung (Lüftung, Beamer, Lift etc.) und sind nicht direkt vergleichbar. Zudem ist die Art der Warmwasserbereitung (mit der Heizung oder Strom) in den Zahlenwerten nicht berücksichtigt.

Die große Bandbreite der Verbräuche (8 bis 32 kWh/m<sup>2</sup>a) zeigt, dass für einen seriösen Vergleich eine vertiefende Betrachtung der Verbräuche unerlässlich ist. Insbesondere die Ausstattung in den Bereichen Warmwasser, Heizung, Kühlung und Lüftung muss differenziert betrachtet bzw. korrigiert werden, um konkrete Aussagen über die Gesamteffizienz bzw. ein mögliches Einsparpotenzial treffen zu können.

### 3.1.6 Benchmark mit Ausstattungsmerkmalen

Im Rahmen dieses Projektes wurden zusätzlich zu den 12 Objekten, in denen Messungen durchgeführt wurden, 31 Rückmeldungen eines Benchmarkfragebogens ausgewertet. Neben dem Stromverbrauch, der SchülerInnen- bzw. LehrerInnenanzahl und der beheizten Bruttogrundfläche (BGF) wurden hier auch noch wesentliche Ausstattungsmerkmale der Schulen abgefragt.



# Strombedarf in Schulen

Fragebogen Benchmark

Version V1.0 März 2017

An  
Energie Tirol  
Südtirolerplatz 4  
6020 Innsbruck

Pflichtfeld  
kein Pflichtfeld

## 1. Schule:

Name der Schule:

Art der Schule:  Volksschule  Neue Mittelschule  Sonderschule

Baujahr der Schule:  Letzte große Sanierung der Schule:

Anzahl SchülerInnen:  Anzahl LehrerInnen:

Beheizte Bruttogrundfläche:  oder: Beheizte Nutzfläche

## 2. Stromverbrauch

Werte für das Jahr:

Stromverbrauch Gesamt:  kWh (ohne Strom für WP und Elektordirektheizung)

## 3. Ausstattung

**Heizung:**  Fernwärme/Nahwärme  Ölheizung  eigene Biomasseheizung  
 Gasheizung  Wärmepumpe  Stromheizung

**Warmwasserbereitung im Winter:**  Mit der Heizung  Mit Heizung + Solar  Solar + Strom  
 Eigene Wärmepumpe  Strom direkt

**Warmwasserbereitung Sommer:**  Mit der Heizung  Mit Heizung + Solar  Solar + Strom

**Lüftungsanlage in den Klassen:**  Ja  Nein

**Beleuchtung:**  LED  %  Leuchtstoffröhren/Energiesparlam  %

**Tafelsystem:**  Kreide/Whiteboard  Beamer/Multifunktionstafel

**Gibt es Klimageräte?**  Ja  Stk.  Nein für:

**Stromverbrauch Sporthalle inkludiert?**  Ja  Nein

Sporthalle extern genutzt?  Nie  selten (1-3 x/Woche)  oft (fast täglich)

**Photovoltaikanlage:**  Nein  Ja - Eigenstromanlage (Nur Überschuss ins Netz)  
 Ja - Art unbekannt  Ja - Fremdstromanlage (alles ins Netz)

Anmerkungen/Besonderheiten:

Ausgefüllt von:

**Danke für ihre Unterstützung!**

Datum:  Mailadresse:

Die Befragung hat 31 Rückmeldungen ergeben. 28 Schulen, 17 VS und 11 NMS davon konnten in die Auswertung aufgenommen werden. Drei Schulen mussten wegen fehlenden Angaben ausgeschieden werden. Die durchschnittliche Fläche betrug in den Volksschulen 16 m<sup>2</sup> BGF pro SchülerIn und in den NMS 27 m<sup>2</sup> BGF. Von den 28 Schulen hatten:

Heizung: 44 % Ölheizung, 23 % Gasheizung, 30 % Fernwärme, 3 % Biomasse

Warmwasser: 4 Schulen bereiten das WW das ganze Jahr mit Strom, 2 im Sommer mit Strom und im Winter mit der Heizung und 15 immer mit der Heizung. Der Rest der Schulen machte keine Angaben.

Lüftung: 4 Schulen bzw. 12 % hatte eine Lüftungsanlage für die Klassenräume

Beleuchtung: Ca. 75 % der Schulen hatten eine Beleuchtung vorwiegend oder nur mit Leuchtstoffröhren. 25 % der Schulen vorwiegend bzw. ausschließlich LED Beleuchtung.

Tafelsystem: 12 Schulen hatten Beamer oder Smart Boards, 8 ein klassisches Tafelsystem mit Kreide. Der Rest hat gemischte Ausstattungen.

Auch bei der Auswertung dieser 28 Schulen zeigte sich, dass es keine Möglichkeit gibt die Ausstattungen sinnvoll in eine Benchmarkauswertung einfließen zu lassen, da zu viele Abhängigkeiten bzw. Parameter einfließen würden bzw. zu wenige Schulen wirklich vergleichbar Ausstattungen haben. Die Auswertung wurde daher nur pro m<sup>2</sup> BGF bzw. SchülerIn bezogen auf die Fläche pro SchülerIn vorgenommen.

Über alle Schulen ergibt sich folgende Verteilung des Stromverbrauchs pro SchülerIn bezogen auf die m<sup>2</sup> BGF pro SchülerIn.

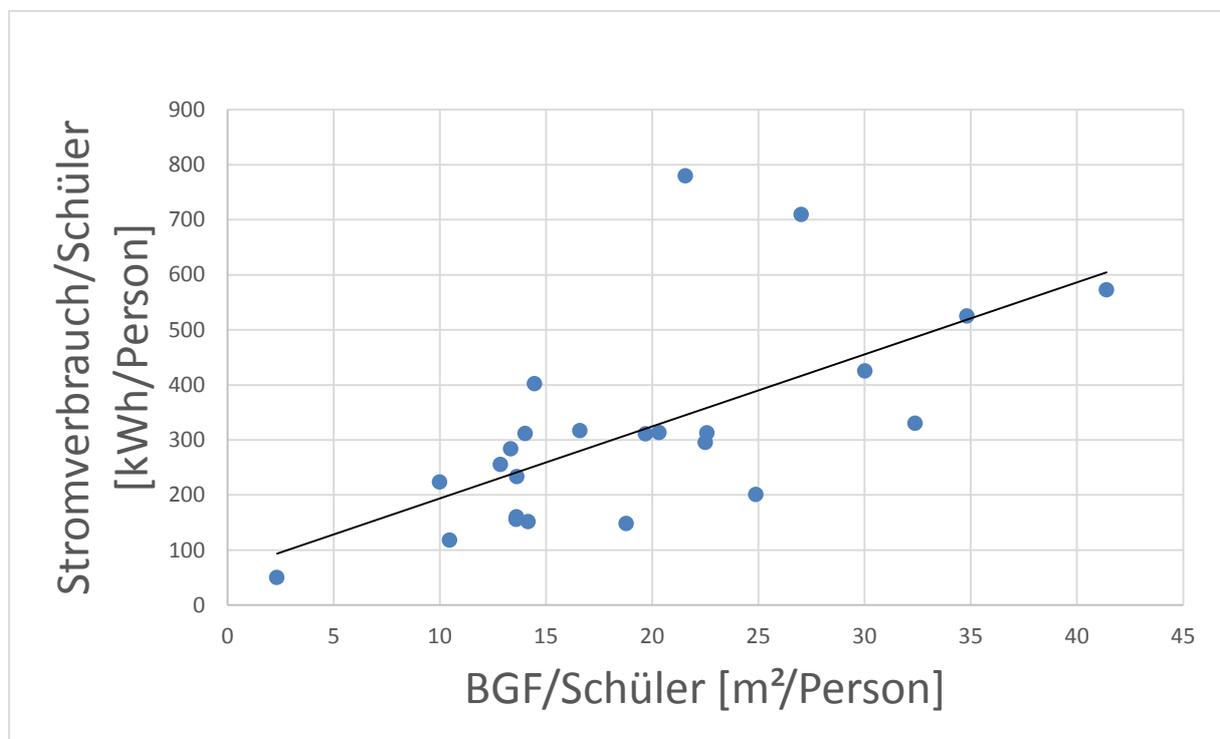


Abbildung 3.15: spezifischer Stromverbrauch pro SchülerIn

Der Anstieg des Stromverbrauchs pro SchülerIn mit der Fläche/SchülerIn ist deutlich ersichtlich.

Über alle Schulen ergibt sich folgende Verteilung des Stromverbrauchs pro m<sup>2</sup> BGF bezogen auf die m<sup>2</sup> BGF pro SchülerIn.

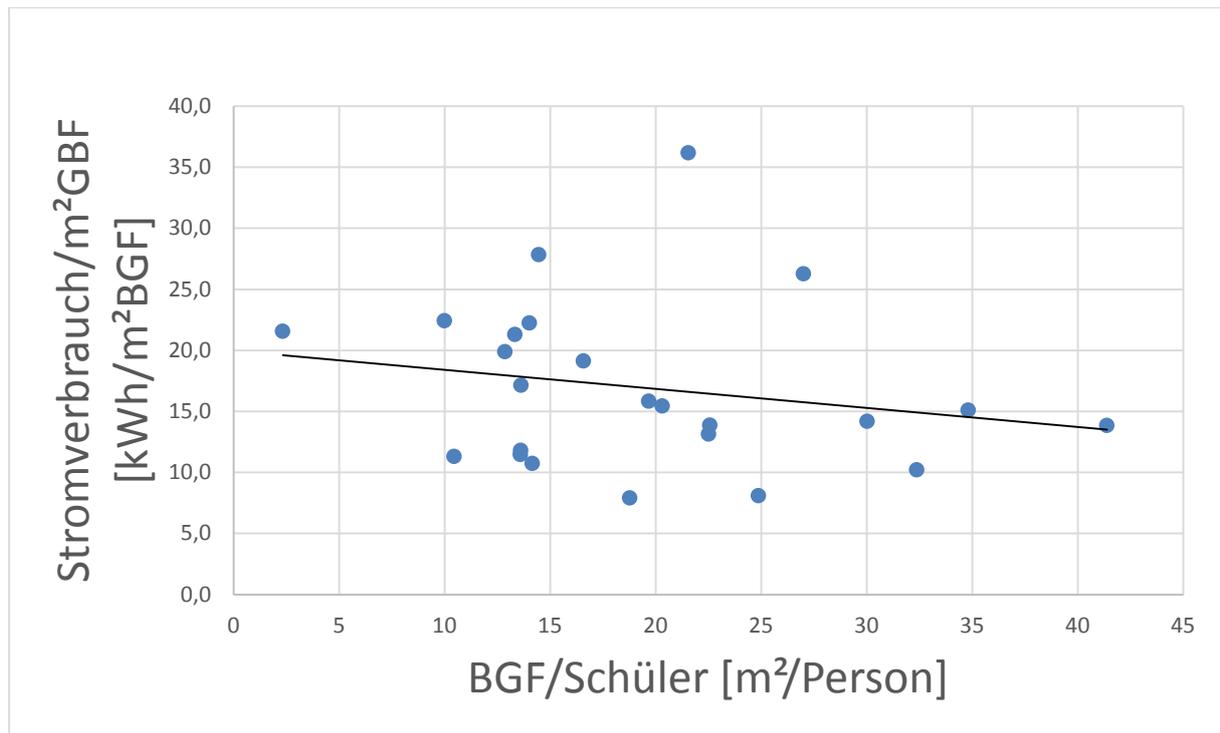


Abbildung 3.16: spezifischer Stromverbrauch pro m<sup>2</sup> BGF

Bei der Betrachtung des spezifischen Stromverbrauchs bezogen auf die spezifische Fläche pro SchülerIn gleicht sich dies entsprechend aus. Dies ist ein erster Hinweis, dass der Stromverbrauch nicht vorwiegend von der Nutzung abhängt, was sich bei der Auswertung der Lastgänge bestätigt hat, da ca. 40 bis 65 % des Stromverbrauchs außerhalb der Nutzungszeiten liegt.

Die Bandbreite des Stromverbrauchs betrug bei den NMS 128 bis 780 kWh/a und SchülerIn: Der Mittelwert ca. 350 kWh/a und SchülerIn. Pro m<sup>2</sup> BGF betrug die Bandbreite dieser Erhebung 8 bis 26 kWh bzw. als Mittelwert 14 kWh/m<sup>2</sup> BGF.a

Die Bandbreite des Stromverbrauchs betrug bei den VS 152 bis 525 kWh/a und SchülerIn: Der Mittelwert ca. 300 kWh/a und SchülerIn. Pro m<sup>2</sup> BGF betrug die Bandbreite 8 bis 28 kWh bzw. als Mittelwert 17 kWh/m<sup>2</sup> BGF.a

Überraschend erscheint, dass der Stromverbrauch pro m<sup>2</sup> in den Volksschulen sogar höher liegt als in den NMS. Wenn man jedoch die unterschiedlichen Flächen pro SchülerIn beachtet relativiert sich dies wieder und beim Wert pro SchülerIn verbraucht ein NMS im Schnitt doch um 50 kWh/a mehr als eine VolksschülerIn. Dies erscheint vor allem aufgrund der Bereiche EDV, Kochen, Werken und der insgesamt höheren Stundenzahl in einer NMS auch logisch. Aber auch hier muss man erkennen, dass ein Vergleich ohne vertiefte Beachtung der Ausstattung nicht wirklich möglich ist. Die Zahlenwerte dieser Auswertung sind aufgrund der geringen Anzahl an Werten jedoch nur bedingt aussagekräftig. Sie passen größtenteils aber sehr gut zu den Benchmarks aus dem vorigen Kapitel.

### 3.2 Studien zum Strombedarf in Schulen

Umfassende vertiefende Studien zum Stromverbrauch in Schulen sind im deutschsprachigen Raum (D/A/CH) nicht bekannt. Alle gefundenen Studien bleiben durchwegs auf der Gesamtverbrauchsebene des Tarifzählers. Sie sind daher in diesem Bericht unter Benchmark angeführt. Nur für einzelne Schulen bestehen Auswertungen zum Stromverbrauch bzw. dessen tiefere Verwendung nach Verbrauchergruppen (Beleuchtung, Heizung, Warmwasserung, Lüftung, EDV-Ausstattung,...).

Folgende Studien von Einzelobjekten, in welchen der Stromverbrauch vertieft betrachtet wurde, konnten ermittelt werden:

### 3.3 Lastganguntersuchungen an Salzburger Schulen<sup>1</sup>

In Salzburg wurden im Rahmen des vom klima+energiefond geförderten Projektes „Smart City Salzburg – Stromeffizienz bei öffentlichen Gebäuden“ an sieben Schulen (3 Volksschulen und 4 Neue Mittelschulen) eine Lastganganalyse durchgeführt. Vertiefte Untersuchungen über die Aufteilung des Stromverbrauchs nach Anwendungen waren im Projekt jedoch nur für einzelne Heizzentralen enthalten. Ein Ergebnis bei den Lastganganalysen waren auffallend hohe Verbräuche in der ungenutzten Zeit der Gebäude. Es wurden in diesem Projekt auch neue Kennzahlen geschaffen, um Aussagen zum Einsparpotenzial aus den Lastganganalysen zu ermöglichen.

RV 4000: Der Wert RV4000 gibt an, wie viel Prozent des Jahresstromverbrauchs außerhalb der Kernnutzungszeit des Gebäudes benötigt wird. Als Kernnutzungszeit werden die 4000 Stunden mit dem höchsten Verbrauch bezeichnet [%]

Erhobener Reststromverbrauch 4000 in % nach Nutzungsart

Nutzung	MIN	MAX	Durchschnitt
Kindergarten	13,0%	30,7%	21,5%
Volksschule	11,6%	20,4%	16,6%
Neue Mittelschule	22,0%	33,6%	28,2%
Amtsgebäude	29,1%	42,3%	33,1%
Seniorenheim	29,8%	35,3%	32,5%

Abbildung 3.17: Erhobener RV4000 (Quelle: Endbericht Smart City Salzburg – Stromeffizienz bei öffentlichen Gebäuden)

Leistungsaufnahme in der Grundlastzeit: Ermittelt wird diese mit Hilfe der geordneten Dauerlastganglinie. Der Mittelwert im Zeitraum Stunde 7.000 und 8.000 ist die definierte Leistungsaufnahme (siehe dazu die folgende Abbildung).

---

<sup>1</sup> Smart City Salzburg – Stromeffizienz bei öffentlichen Gebäuden, KR12841232

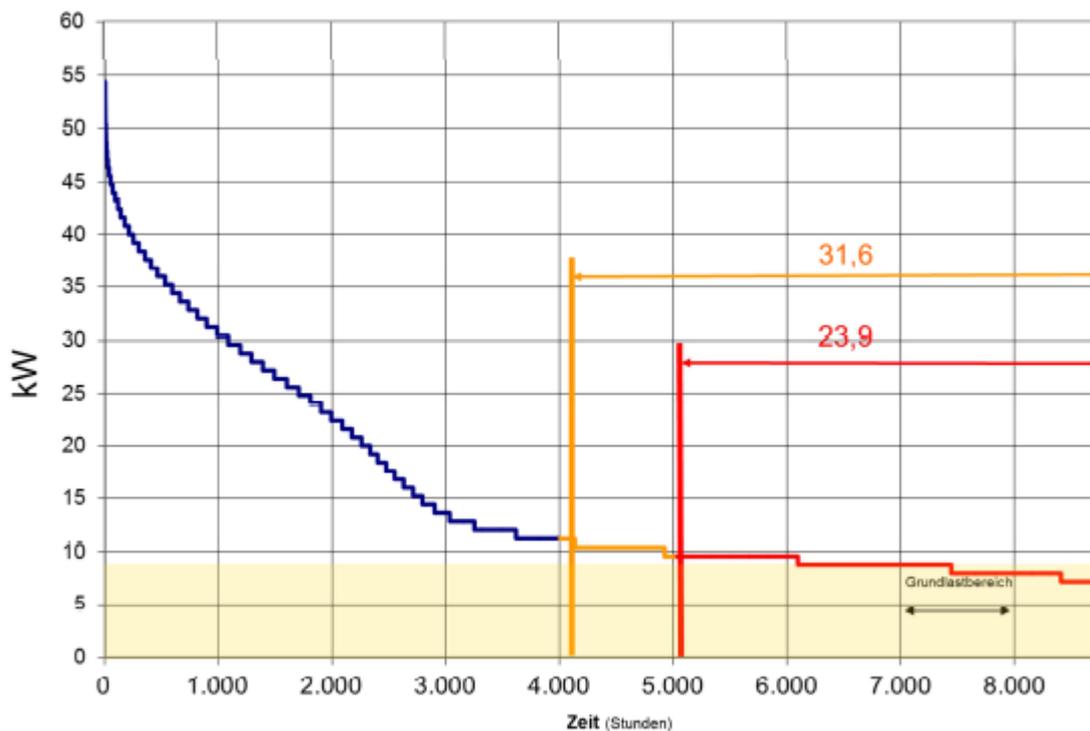


Abbildung 3.18: Veranschaulichung der Definition des Grundlastbereiches bzw. RV 4000 (Quelle: Endbericht Smart City Salzburg – Stromeffizienz bei öffentlichen Gebäuden)

Der % Anteil der Grundlast gibt an, wie viel % des Jahresverbrauchs durch die Grundlast (=  $kW_{min}$ ) verursacht wird. Die Ermittlung des Verbrauchs der Grundlast erfolgt mit der Leistungsaufnahme Grundlast ( $kW_{min}$ ) multipliziert mit der Jahrestundenzahl (8760 h oder 8784 h in einem Schaltjahr) [%]. Die spezifische Grundlast [ $W/m^2BGF$ ]: gibt an, wie groß die Leistungsaufnahme bei Objekten in der Nichtnutzungszeit der Gebäude ist. Als Nichtnutzungszeit wird hier der Zeitraum bei der geordneten Dauerlastganglinie im Bereich der Stunden 7.000 bis 8.000 Stunden bezeichnet, wobei für diesen Zeitraum der Mittelwert genommen wird. Es ist davon auszugehen, dass in diesem Zeitraum bei den meisten keine Objekt-nutzung erfolgt und dadurch nur die Infrastruktur genutzt wird, die unbedingt erforderlich ist.

Erhobene spezifische Grundlast ( $W/m^2BGF$ ) nach Nutzungsart

Nutzung	MIN	MAX	Durchschnitt
Kindergarten	0,29	1,92	1,07
Volksschule	0,19	0,56	0,35
Neue Mittelschule	0,30	1,14	0,57
Amtsgebäude	0,72	4,13	2,25
Seniorenheim	2,55	2,68	2,65

Abbildung 3.19: Erhobener spez. Grundlast (Quelle: Endbericht Smart City Salzburg – Stromeffizienz bei öffentlichen Gebäuden)

### 3.3.1 Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding:

In Erding (D) wurde eine nachhaltige Passivhausschule mit sehr niedrigem Gesamt-Primärenergiebedarf von der DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) gefördert bzw. auch dessen Monitoring und Evaluierung begleitet bzw. gefördert.

Zahlwerte für 2014:

- Gesamtstromverbrauch: 18,25 kWh/m<sup>2</sup> BGF
- Grundlastanteil: 48 %
- Haustechnik inkl. Lüftung 19 % bzw. 3,46 kWh/m<sup>2</sup> BGF
- Sicherheitsbeleuchtung 8 % bzw. 1,42 kWh/m<sup>2</sup> BGF
- Schulbetrieb (WW, Beleuchtung, EDV,....) 73 % bzw. 13,37 kWh/m<sup>2</sup> BGF
- Stromverbrauch pro SchülerIn: 166 kWh/m<sup>2</sup>

In dieser hochtechnisierten Schule machten die dezentralen Steuerungen in einer Referenzklasse inkl. Verschattung über 40 Watt Dauerleistung bzw. 43 % des Stromverbrauchs aus. Die Beleuchtung hingen nur 24 % und EDV und Beamer ca. 32 % aus.

Auch die Berufsschule Erding zeigt, dass ein Monitoring bzw. eine Optimierung in den ersten Betriebsjahren zielführend ist. So konnte der Strombedarf der Kühlung um 50 % und die Grundlast der Schule von 13 auf 10 kW reduziert werden.

Weitere öffentlich zugängliche Studien, die den Stromverbrauch von Schulen vertieft behandeln, konnten nicht ermittelt werden. Jene Schulen, die aus Mitteln des Energie- und Klimafonds saniert wurden, müssen für den Erhalt der Förderung ein Monitoringsystem installieren – dieses beschränkt sich jedoch leider nur auf den Wärmebereich.

### 3.4 Infomaterial zum Thema Stromverbrauch bzw. Stromeffizienz in Schulen

Für Planer bzw. Auftraggeber (Gemeinden) konnte kein vertiefendes Infomaterial zum Thema Stromverbrauch bzw. Stromeffizienz in Schulen eruiert werden. Auch in den ÖISS Richtlinien sind nur wenige Informationen zu diesem Thema enthalten.

Beispiele für stromrelevante Vorgaben bzw. Anregungen die in den ÖISS Richtlinien enthalten sind (zusammengestellt von Frau Rabl vom ÖISS):

## 8. Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitäranlagen (HKLS)

### Haustechnikenergiebedarf

Der Elektro-Energiebedarf für die Heizung und Warmwasserbereitung ist durch gesonderte Stromzähler zu erfassen und mit der Energiebuchhaltung auszuweisen - siehe auch Betriebshinweise.

### Warmwasserbereitung

Durchlaufsysteme sind Speichersystemen vorzuziehen.

### Legionellen

Vorzugsweise sind Durchflusstrinkwassererwärmer (Durchfluss-TWE) zu verwenden; bei Zapfstellen mit geringer Warmwasserentnahme sind dezentrale TWE (z.B. Elektrospeicher für Waschtische) vorzusehen.

### Wärmeerzeugung / Energieträger

Elektroheizungen sind zu vermeiden.

### Wärmepumpen

Für elektrische Wärmepumpen mit den Wärmequellen Erdreich und Wasser gelten außerdem folgende Anforderungen:

- Die Vorlauftemperatur des Heizsystems darf max. 35°C betragen
- Die Entzugsleistung darf bei Erdsonden auf max. 50 W/lfm, bei Erdkollektoren auf max. 15 W/lfm oder 30 W/m<sup>2</sup> ausgelegt werden. Höhere Werte sind nur bei Vorliegen eines geologischen Gutachtens zulässig.
- Zur Kontrolle der Jahresarbeitszahl muss ein Wärmemengenzähler sowie ein separater Stromzähler für den Kompressor und die Hilfsantriebe eingebaut sein.
- Wärmepumpengütesiegel DACH (oder gleichwertig)

Empfehlung: zertifizierter Wärmepumpeninstallateur, Qualifikation entsprechend DIN EN ISO/IEC 17024<sup>1</sup> (Nachweis einer entsprechenden Ausbildung).

Bei den ÖISS Betriebshinweisen für Schulen (Stand 2014) sind folgende stromrelevante Bereiche enthalten:

- Ressourcenbuchhaltung
- EDV
- Geräte

Im Folgenden sind diese Auszüge aus der Richtlinie heraus kopiert:

### Ressourcenbuchhaltung

Ressourcenbuchhaltung umfasst die Überwachung von Energie- und Wassereinsatz; diese sind monatlich festzuhalten und mit vorher zu definierenden Sollwerten (z.B. errechnete Energiekennzahlen, Sollwerte des Energiecontractings etc.) zu vergleichen.

Die Energiebuchhaltung soll insbesondere folgende Verbräuche erfassen und bewerten:

- Energieeinsatz für Raumwärme getrennt nach Energieträgern (inkl. Hilfsenergie)
- Energieeinsatz für Warmwasser getrennt nach Energieträgern (inkl. Hilfsenergie)
- Energieeinsatz für Belüftung
- Energieeinsatz für sonstige Energie verbrauchende Einrichtungen wie Beleuchtung, EDV-Geräte; Kopierer, Fernseher etc.

Die Wasserbuchhaltung soll insbesondere folgende Verbräuche erfassen und bewerten:

- Kaltwasserverbrauch
- Warmwasserverbrauch

Für den Fall von Überschreitungen der Sollwerte sind durch die hausverwaltende Stelle standardisierte Ablaufpläne für die weiteren Schritte festzulegen.

### EDV

Erfahrungsgemäß werden die Möglichkeiten des stromsparenden EDV-Einsatzes von der Mehrheit der NutzerInnen nicht aus eigenem Antrieb verwendet. Deswegen und um die EDV-Nutzung insgesamt energieeffizienter zu gestalten, sollen Stromsparfunktionen wie „Monitor aus nach 15 Minuten“ oder „Stand-By per Ein-/Aus-Tastendruck“ o.ä. bereits bei der Einrichtung der EDV-Geräte (unveränderbar) vorkonfiguriert werden.

NutzerInnen – Information: Die NutzerInnen sind wirksam über den richtigen und stromsparenden Umgang mit der EDV und anderen elektrischen Geräten sowie Überwärmungsrisiken durch EDV-Ausrüstung zu informieren. Die Information sollte jedenfalls umfassen:

- Verhalten bei Beendigung der Gerätebenutzung:
  - PC herunterfahren und (mittels Steckerleiste) ganz ausschalten.
  - Monitor an die Steckerleiste hängen und ebenfalls ganz ausschalten.
  - EDV-Peripherie nur im Bedarfsfall einschalten und nach Verwendung gleich wieder ausschalten (Lautsprecher, Scanner, evtl. Drucker, ...)
- Verhalten bei Arbeitsunterbrechungen:
  - Bei längerer Nichtnutzung des PCs (>2h): den PC herunterfahren und mittels schaltbarer Steckerleiste gesamte EDV am Arbeitsplatz ganz abschalten.

### Geräte

Bei der Beschaffung von Geräten sollte energieeffizienten Ausführungen der Vorzug gegeben werden.

Hinweis: Die entsprechenden Kriterienkataloge von Ökokauf Wien<sup>7</sup> enthalten ökologische Anforderungen an die Beschaffung von elektrischen Büro- und Haushaltsgeräten. Analog zu den EDV Anlagen ist bei allen Geräten auf einen stromsparenden Betrieb zu achten.

Die Auszüge zeigen, dass im Bereich Strom und Stromeffizienz in Schulen die Informationsdichte noch nicht sehr hoch ist. Der in diesem Projekt erarbeitete Benchmarkbaukasten bzw. der Leitfaden zur Stromeffizienz in Schulen könnte daher als Basis für eine ÖISS Richtlinie zu diesem Thema dienen.

Zum Strombedarf in Schulen konnte für LehrerInnen und SchülerInnen nur eine Broschüre des Energiesparverbandes OÖ ermittelt werden. Das Infomaterial für LehrerInnen und SchülerInnen zum Thema Stromsparen in der Schule wurde ebenfalls im Rahmen der Photovoltaikförderung in OÖ zur Verfügung gestellt.



Abbildung 3.20: Infobroschüre "Strom sparen in der Schule"

[http://www.pv-schule.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info\\_und\\_Service/Publikationen/Strom\\_sparen\\_Schule\\_fin.pdf](http://www.pv-schule.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Strom_sparen_Schule_fin.pdf)

## 4 Benchmarkbaukasten

Der Stromverbrauch pro SchülerIn bzw. m<sup>2</sup> BGF in Schulen schwankt beträchtlich. Aufgrund der unterschiedlichen Ausstattungsmerkmale (Heizung, Warmwasser, Lüftung, Mittagstisch,...) und Nutzungen (insbesondere Sporthalle) sind die spezifischen Gesamtverbräuche lt. Tarifzähler normalerweise nicht direkt vergleichbar. Es benötigt zumindest eine Unterscheidung bzw. Bereinigung je nach Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser, Ausstattung mit einer Klassenzimmerlüftung bzw. besonderen Nutzungszonen.

Da im deutschsprachigen Raum trotz intensiver Recherche kein vertieftes Benchmarksystem für Schulen gefunden werden konnte, wurde der nachfolgend beschriebene Benchmarkbaukasten entwickelt. Dieser war zwar nicht im Projektauftrag enthalten, da aber ein gutes Benchmarksystem eine wesentliche Voraussetzung ist, um zukünftig in Schulen das Thema Strom und Stromeffizienz voranzutreiben, wurde er zusätzlich in das Forschungsprojekt aufgenommen.

Das Ziel des Benchmarkbaukastens ist es die unterschiedlichen Ausstattungsmerkmale (insbesondere bei Heizung, Warmwasser und Lüftung) und Nutzungen (insbesondere Sporthalle) in die Benchmarkzahl zu integrieren und damit eine individuell auf die Ausstattungsmerkmale abgestimmte Benchmarkeinordnung zu erhalten.

Außerdem wurde damit eine Hilfestellung für die Abschätzung des Stromverbrauchs und des Einsparpotenziales für einzelne Bereiche geschaffen. Dies ermöglicht Energieberatern auch ohne aufwändige Zählereinbauten bzw. Messungen zu einer groben Abschätzung für Stromverbräuche von Teilsystemen zu kommen.

Der Benchmarkbaukasten wurde als Excel-Tool gestaltet, welches sich entweder am Computer, oder auch per Hand mit den Formblättern ausfüllen lässt (teilweise auch mit SchülerInnen). Der Baukasten setzt sich aus folgenden Blättern zusammen:

1. Fragebogen zur Ausstattung der Schule
2. Ermittlung individueller Benchmarkzahlen für den Verbrauch (kWh/m<sup>2</sup>a) mit der konkreten Ausstattung der Schule in drei Vertiefungsgraden (Mini – Midi – Maxi)
3. Ermittlung individueller Benchmarkzahlen für die Leistung (W/m<sup>2</sup>a) mit der konkreten Ausstattung der Schule in drei Vertiefungsgraden (Mini – Midi – Maxi)
4. Benchmarkhilfe für einzelne Bereiche (Haustechnik, Beleuchtung, EDV-Multimedia, Schulküche-Werkräume, Sonstige Bereiche )

**Achtung:** Der Stromverbrauch für die Wärmepumpe für Heizzwecke bzw. für eine Elektrodirektheizung wird in diesem Benchmarkbaukasten getrennt berücksichtigt, da diese Stromverbräuche stark von der Gebäudequalität abhängen und für diese Bereiche meist ohnehin eigene Sub-Stromzähler vorhanden sind, so dass sie eigenständig beurteilt werden können. Auch die Kühlung ist hochgradig von der Gebäudequalität abhängig und wird eigens beurteilt. Sie ist daher ebenfalls getrennt von den restlichen Stromverbräuchen im Benchmarkbaukasten enthalten.

## 4.1 Fragebogen zur Ausstattung der Schule

Der Fragebogen zur Ausstattung der Schule ist eine adaptierte bzw. weiterentwickelte Version des Fragebogens zum Benchmark der Schulen von Kap.3.1.7.



# Strombedarf in Schulen

Fragebogen Benchmark

Version V1.3 Okt 2017

An  
Energie Tirol  
Südtirolerplatz 4  
6020 Innsbruck

Pflichtfeld  
 kein Pflichtfeld

### 1. Schule:

Name der Schule:  Anzahl Klassen:

Art der Schule:  Volksschule  Neue Mittelschule  Sonderschule

Baujahr der Schule:  Letzte große Sanierung der Schule:

Anzahl SchülerInnen:  Anzahl LehrerInnen:

Beheizte Bruttogrundfläche:  oder: Beheizte Nutzfläche

### 2. Stromverbrauch

Werte für das Jahr:

Stromverbrauch Gesamt:  kWh (ohne Strom für WP und Elektordirektheizung)

### 3. Ausstattung

Wärmeerzeugung:  Fern-/Nahwärme  Biomassekessel  Wärmepumpe  
 Gaskessel  Ölkessel  Strom direkt

Warmwasserbereitung:  Zentral  Dezentral  Gemischt

Warmwasserbereitung im Winter:  Mit der Heizung  Eigene Wärmepumpe  Strom direkt

Warmwasserbereitung Sommer:  Mit der Heizung  Eigene Wärmepumpe  Strom direkt

Thermische Solaranlage:  Ja  Nein

Lüftungsanlage in den Klassen:  Ja  Nein

Beleuchtung:  LED  %  Leuchtstoffröhren/Energiesparlampen  %

Tafelsystem:  Kreide/Whiteboard  Beamer/Multifunktionstafel

Gibt es Klimageräte?  Ja  Stk.  Nein für:

Stromverbrauch Sporthalle inkludiert?  Ja  Nein  mit einer Lüftungsanlage

Sporthalle extern genutzt?  Nie  selten (1-3 x/Woche)  oft (fast täglich)

Photovoltaikanlage:  Nein  Ja - Eigenstromanlage (Nur Überschuss ins Netz)  
 Ja - Art unbekannt  Ja - Fremdstromanlage (alles ins Netz)

Anmerkungen/Besonderheiten:

Ausgefüllt von:

**Danke für ihre Unterstützung!**

Datum:  Mailadresse:

## 4.2 Individueller Benchmarkbaukasten

Das System des Benchmarkbaukastens für den Stromverbrauch von Schulen beruht auf dem System, dass einzelnen Ausstattungsmerkmalen spezifische Benchmarks (kWh/m<sup>2</sup> BGF) zugeordnet werden. D.h., hat eine Schule eine Lüftung für die Klassen, bekommt sie im Benchmarkbaukasten einen Zuschlag. Für die Erfassung wurden drei Vertiefungsvarianten erstellt. Die Stufen Mini, Midi und Maxi können je nach der Tiefe des Erfassungsgrades der einzelnen Verbrauchsfelder gewählt werden.

Beim Benchmarkbaukasten ist zu beachten, dass dieser immer versucht die gesamte Bandbreite abzubilden. D.h., dass ein niedriger Ausstattungsgrad mit einer optimalen Technik den geringsten Verbrauch und ein hoher Ausstattungsgrad mit ineffizienter Technik die höchsten Verbräuche ergibt. Beispiel: Eine Lüftung, die nur die Luftmenge für eine geringe Luftqualität (über 1.400 ppm CO<sub>2</sub>) zur Verfügung stellt, eine gute spezifische Ventilatorleistung (SFP) und eine CO<sub>2</sub>-Regelung mit variabler Druckregelung hat, steht für den geringsten Verbrauch. Wohingegen eine Lüftung für hohe Luftqualität (800 ppm CO<sub>2</sub>), mit schlechter SFP und nur mit Zeitsteuerung für den höchsten Verbrauch steht.

**Stufe Mini:** Hier werden nur aufgrund der Ausstattungsmerkmale bei Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung sowie für die Sporthalle individuelle Kennzahlen gebildet.

Differenzierte Bereiche für den Schultrakt und die Haustechnik:

Stromeffizienz in Schulen - Benchmarkbaukasten - Mini (kWh/m <sup>2</sup> a)				
Fläche Klassentrakt:		m <sup>2</sup> BGF		
Fläche Sporthalle:		m <sup>2</sup> BGF	Schule:	
Gesamt:		m <sup>2</sup> BGF		kWh/a Strom (ohne WP, E-Heizung bzw. Kühlung)
Benchmark Strom (ohne Strom für Wärmepumpe, Kühlung bzw. Elektrodirektheizung):			kWh/m <sup>2</sup> BGF	für das Jahr:

Klassentrakt inkl. Haustechnik (ohne Strom für WP, Kühlung bzw. Elektrodirektheizung)				
1 Haustechnik Heizung - Warmwasser - Lüftung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Wärmeerzeugung mit Fernwärme	0	0	0	
Wärmeerzeugung mit Gaskessel (nicht modulierend)	0,02	0,05	0,1	
Wärmeerzeugung mit Gaskessel (modulierend)	0,02	0,09	0,3	
Wärmeerzeugung mit Öl	0,02	0,05	0,1	
Wärmeerzeugung mit Biomasse (Pellet, Hackschnitzel)	0,02	0,15	0,4	
Wärmeverteilung	0,2	0,8	2,4	
Warmwasser - Zentral, ganzjährig mit Strom direkt	1,5	3	6	Stark abhängig von Nutzung, Bei WW-WP JaZ 2,5
Warmwasser - Zentral, nur Sommer mit Strom direkt	0,8	1,6	3,1	Stark abhängig von Nutzung, Bei WW-WP JaZ 2,5
Warmwasser - Zentral ganzes Jahr mit Öl oder Gas	0,002	0,015	0,06	vereinfacht für Gas und Öl, FW = "0"
Warmwasser - Zentral ganzes Jahr mit Pellet bzw. HS	0,002	0,025	0,1	
Warmwasser - Dezentral (Kleinspeicher, Untertischboile)	0,4	0,6	0,8	Stark abhängig von Nutzung, Bei WW-WP JaZ 2,5
Warmwasser - Dezentral (El. Durchlauferhitzer)	0,1	0,15	0,25	Stark abhängig von Nutzung
Klassenzimmerlüftung	0,7	1,6	3,8	Abhängig von Luftqualität und Regelung
Nachtlüftung mit Klassenzimmerlüftung	0,2	0,5	1,3	Abhängig von Auslegung und Regelung
Gesamt (individuell zusammenzählen)				
2 Sonstige Haustechnik (Lift, Brandschutz, Verschattung,...)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	0,2	1	2	inkl. Dachrinneheizung
3 Allg. Schulbetrieb Gesamt (Beleuchtung, EDV,...)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	5,7	15,4	26,2	
4 Sonstiges Zusatzbetrieb (z.B. Mittagstisch)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	0	0	0	
5 Gesamt Klassentrakt inkl. Haustechnik	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt Klassentrakt				

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Die individuelle Benchmarkskala bzw. die Einordnung „niedrig – mittel – hoch“ bzw. grün orange-hell und orange-dunkel wird dann durch zusammenzählen der individuellen Werte für die einzelnen Bereiche ermittelt.

Die Sporthalle wird im Benchmarkbaukasten „Mini“ als gesamtes übernommen, wobei zwischen den folgenden drei Nutzungsgraden unterschieden:

1. Keine bzw. sehr geringe externe Nutzung (nur wenige Stunden pro Woche)
2. Mittlere externe Nutzung (3-4 mal pro Woche)
3. Hohe externe Nutzung (fast jeden Tag)

Diese beiden Bereiche werden dann über die Flächenverhältnisse zu einer Benchmarkskala für den Gesamtbereich zusammengefasst.

Sporthalle				
6 Heizung, Kühlung und WW beim Schultrakt inkludiert	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt (aus Blatt Sporthalle)				bezogen auf Fläche der Sporthalle
Gesamt (ohne Strom für WP, Kühlung bzw. Elektrodirektheizung)				
7 Klassenrakt und Sporthalle	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt (gewichtet auf Gesamtfläche)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	bezogen auf Gesamtfläche

**Stufe Midi:** Hier wird der Klassentrakt vertieft mit Kennzahlen versehen:

2 Sonstige Haustechnik (Lift, Brandschutz, Verschattung,...)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	0,2	1	2	inkl. Dachrinnenheizungen
3 Beleuchtung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	3	10	16	
4 Computer, Server inkl. Kühlung,, Multimedia, Kopierer,..	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	1,7	3,3	6,6	
5 Werken, Kochen,... (ohne Beleuchtung)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	0,3	0,6	0,9	
6 Sonstiges (Lehrer, Reinigung, ..)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	0,7	1,5	2,7	
7 Sonstiges Zusatzbetrieb (z.B. Mittagstisch)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt	0	0	0	inkl. Lüftung
8 Gesamt Klassentrakt	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Gesamt Klassentrakt	5,9	16,4	28,2	inkl. Klassenzimmerlüftung

**Stufe Maxi:** In dieser Stufe werden die Bereiche sonstige Haustechnik und Klassentrakt nochmals vertieft aufgeschlüsselt.

2	Sonstige Haustechnik	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
	Dachrinnenheizung, Gullyheizung	0	0,75	1,5	Sollten neue bzw. sanierte Gebäude nicht benötigen
	Lifte	0,05	0,1	0,4	
	Hebeeinrichtungen	0	0	0	Für einzelne WC's in Keller vernachlässigbar
	Brandschutz, Verschattung, Schliesssystem, Bus,...	0,1	0,2	0,3	
	Sonstiges (Parkplatzschranken, Parkautomat,...)	0,1	0,2	0,3	
	<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>				
3	Beleuchtung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
	Beleuchtung Klassentrakt	1,9	6,3	12	
	Standby Beleuchtung Klassentrakt (nur bei Busssystemen)	0,7	2	4	normal Gegenläufig zur Beleuchtung bzw. "0"
	Notbeleuchtung	0,3	1	2,5	
	Außenbeleuchtung	0,03	0,3	0,8	
	<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>				
4	EDV, Multimedia, Kopierer	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
	Tafelsysteme bzw. Beamer	0,4	1	2	Abhängig von Ausstattung (0%, 50%, 100%)
	Computer für Schüler, Lehrer, Direktion, HM	0,3	1,5	4	inkl. Standby
	Server	0,35	0,5	0,7	
	Kühlung Server	0,1	0,2	0,35	
	Kopierer, Fax, EDV-Netzwerk, Sat, Antennenverstärker	0,05	0,1	0,15	
	<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>				
5	Werken, Kochen,... (ohne Beleuchtung)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
	Schulküche für Schüler	0,2	0,4	0,6	inkl. Dunstabzug
	Werkräume (Holz, Metall, Textiles Werken,...)	0,05	0,1	0,15	meist zu vernachlässigen
	Brennofen Keramik	0,05	0,1	0,15	sehr individuell von Nutzung
	<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>				
6	Sonstiges Schulbetrieb	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
	Teeküche für Direktion, Lehrer und Verwaltung	0,3	0,5	0,7	ohne Beleuchtung, ohne Computer, ohne Kopierer, ...
	Hausmeisterbereich (inkl. Jauseverkauf, Getränkeautomaten)	0,15	0,5	1	
	Reinigung (ohne benötigtes WW)	0,3	0,5	0,7	
	<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>				
7	Sonstiges Zusatzbetrieb	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
	Mittagstisch				sehr Individuell
8	Gesamt Klassentrakt	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
	Gesamter Klassentrakt				

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Im Bereich Sporthalle erfolgt die Unterscheidung einerseits über die technische Ausstattung bei Beleuchtung und Lüftung und andererseits über die Intensität der Nutzung.

Stromeffizienz in Schulen - Benchmarkbaukasten - Sporthalle (kWh/m <sup>2</sup> a)				
		Schule bzw. Sporthalle:		
Fläche Sporthalle:	m <sup>2</sup> BGF	kWh/a Strom Sporthalle (ohne WP, E-Heizung bzw. Kühlung)		
Benchmark Strom (ohne Strom für Wärmepumpe, Kühlung bzw. Elektrodirektheizung):	kWh/m <sup>2</sup> BGF	für das Jahr:		
Spezifische Leistungen für Lüftung und Beleuchtung				
2 Heizung, Kühlung und WW beim Schultrakt inkludiert	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Lüftung Sporthalle	8	16	24	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Beleuchtung Sporthalle	2,5	9	17	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Standby Beleuchtung Sporthalle (nur bei Bus-Systemen)	0,1	0,25	0,5	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Sporthalle - keine externe Nutzung				
1 Heizung, Kühlung und WW beim Schultrakt inkludiert	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Volllaststunden für Lüftung und Beleuchtung	400	500	600	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Lüftung Sporthalle	3,2	8,0	14,4	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Nachtkühlung Sporthalle mit Lüftung	1,6	2,4	3,2	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Beleuchtung Sporthalle	1,0	4,5	10,2	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Standby Beleuchtung Sporthalle	0,8	2,1	4,1	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Diverses (Musik, Uhr, Anzeigetafel, Brandschutz,...)	0,2	0,4	0,6	bezogen auf Fläche der Sporthalle
<b>Gesamt</b> (individuell zusammenzählen)	<b>5,2</b>	<b>15,0</b>	<b>29,3</b>	ohne Nachtkühlung mit Lüftung
Sporthalle - mittlere externe Nutzung				
2 Heizung, Kühlung und WW beim Schultrakt inkludiert	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Volllaststunden für Lüftung und Beleuchtung	800	1000	1200	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Lüftung Sporthalle	6,4	16,0	28,8	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Nachtkühlung Sporthalle mit Lüftung	1,6	2,4	3,2	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Beleuchtung Sporthalle (Innen, Außen, Notbeleuchtung)	2,0	9,0	20,4	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Standby Beleuchtung Sporthalle	0,8	1,9	3,8	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Diverses (Musik, Uhr, Anzeigetafel,...)	0,2	0,4	0,6	bezogen auf Fläche der Sporthalle
<b>Gesamt</b> (individuell zusammenzählen)	<b>9,4</b>	<b>27,3</b>	<b>53,6</b>	ohne Nachtkühlung mit Lüftung
Sporthalle - hohe externe Nutzung				
3 Heizung, Kühlung und WW beim Schultrakt inkludiert	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	Anmerkungen:
Volllaststunden für Lüftung und Beleuchtung	1300	1500	1700	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Lüftung Sporthalle	10,4	24,0	40,8	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Nachtkühlung Sporthalle mit Lüftung	1,6	2,4	3,2	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Beleuchtung Sporthalle (Innen, Außen, Notbeleuchtung)	3,3	13,5	28,9	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Standby Beleuchtung Sporthalle	0,7	1,8	3,5	bezogen auf Fläche der Sporthalle
Diverses (Musik, Uhr, Anzeigetafel,...)	0,2	0,4	0,6	bezogen auf Fläche der Sporthalle
<b>Gesamt</b> (individuell zusammenzählen)	<b>14,6</b>	<b>39,7</b>	<b>73,8</b>	ohne Nachtkühlung mit Lüftung

### 4.3 Hochrechnung aus der Leistung

Über eine Vollerhebung der installierten Leistungen und der Hochrechnung über die abgeschätzten Volllaststunden lässt sich der Stromverbrauch einer Schule ebenfalls auf einzelne Verbraucher abschätzen. Auch für diese Methode bietet der Benchmarkbaukasten eine entsprechende Unterstützung. Die Zahlenwerte für die einzelnen Kennwerte bzw. die Volllaststunden erfolgt aufgrund der vermessenen Objekte und entsprechenden Abschätzungen. Die Zahlenwerte sind ebenfalls ein erster Ansatz, der nach einer größeren Anzahl an vertieften Benchmarkerhebungen evaluiert und angepasst werden sollte.

Klassentrakt inkl. Haustechnik				
1 Heizung - Warmwasser - Lüftung - Kühlung	Leistung (W)	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Wärmeerzeugung für Heizzwecke und WW		1 500	0	
Wärmeerzeugung für WW im Sommer		300	0	
Wärmeverteilung		2 400	0	
Warmwasser - Zentral, ganzjährig mit Strom		4 500	0	
Warmwasser - Zentral, nur Sommer mit Strom		2 000	0	
Warmwasser - Dezentral (Kleinspeicher, Untertischboiler)		4 500	0	
Klassenzimmerlüftung		1 200	0	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	0		0	
2 Sonstige Haustechnik	Leistung (W)	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Dachrinnenheizung, Gullyheizung		1 800	0	
Hebeeinrichtungen			0	Keine generelle Abschätzung der Std. möglich
Lifte		100	0	kWh/Fahrt?
Brandschutz, Verschattung, Schliesssystem,...		8 760	0	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	0		0	
3 Beleuchtung	Leistung (W)	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Beleuchtung Klassentrakt		1 000	0	
Außenbeleuchtung		3 000	0	
Notbeleuchtung		8 760	0	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	0		0	
4 EDV, Multimedia, Kopierer	Leistung (W)	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Tafelsysteme bzw. Beamer inkl. Computer		1 000	0	
Computer für Schüler		800	0	
Server		8 760	0	
Kühlung Server		500	0	sehr individuell
Kopierer, Fax, EDV-Netzwerk, Sat, Antennenverstärker		8 760	0	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	0		0	
5 Werken, Kochen,... (ohne Beleuchtung)	Leistung (W)	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Schulküche für Schüler		400	0	sehr individuell
Werkräume (Holz, Metall, Textiles Werken,..)		400	0	sehr individuell
Brennöfen Keramik		100	0	sehr individuell
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	0		0	
6 Sonstiges Schulbetrieb	Leistung (W)	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Lehrerküche		200	0	
Hausmeisterbereich (inkl. Jausenverkauf, Getränkeautomaten)		400	0	
Reinigung (ohne benötigtes WW)		600	0	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	0		0	
7 Sonstiges Zusatzbetrieb	Leistung (W)	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Mittagstisch		400	0	
8 Gesamt Klassentrakt	Leistung (W)	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
<b>Gesamter Klassentrakt</b>	0		0	

Sporthalle				
9 Heizung, Kühlung und WW beim Schultrakt inkludiert	Leistung	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Warmwasser mit Strom (falls nicht im Klassentrakt enthalten)		4 500	0	Stark abhängig von Nutzung Sporthalle
Beleuchtung Sporthalle		2 000	0	
Lüftung Sporthalle		2 000	0	
Diverses (Musik, Uhr, Anzeigetafel,...)		6 000	0	
<b>Gesamt</b>	0		0	

#### 4.4 Benchmarkhilfe für einzelne Bereiche

Um die installierten Leistungswerte für die einzelnen Bereiche zu erfassen und deren Verbrauch mittels der geschätzten Volllaststunden hochzurechnen, wurden vertiefende Erfassungsblätter für folgende Bereiche geschaffen.

1. Haustechnik
2. Beleuchtung
3. EDV und Multimedia
4. Schulküche, Werken,..
5. Sonstige Bereiche (Lehrerküche, Hausmeister, Reinigung, Mittagstisch/Nachmittagsbetreuung)

### 4.4.1 Haustechnik

1 Heizung	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Wärmeerzeugung inkl. Steuerung:					0	
Hauptverteilerpumpe:					0	
Pumpe zu Subverteiler 1:					0	
Pumpe zu Subverteiler 2:					0	
Heizkreis 1:					0	
Heizkreis 2:					0	
Heizkreis 3:					0	
Heizkreis 4:					0	
Heizkreis 5:					0	
Heizkreis 6:					0	
Heizkreis 7:					0	
Heizkreis 8:					0	
Heizkreis 9:					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
2 WW mit dem Heizkessel	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Speicherladepumpe 1:					0	
Speicherladepumpe 2:					0	
Speicherladepumpe 3:					0	
Zirkulation 1:					0	
Zirkulation 2:					0	
Zirkulation 3:					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
3 WW mit Strom	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Speicher 1:					0	
Speicher 2:					0	
Speicher 3:					0	
Kleinspeicher:					0	
Untertischboiler:					0	
Durchlauferhitzer:					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
4 Lüftung	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Lüftung 1:					0	
Lüftung 2:					0	
Lüftung 3:					0	
Lüftung 4:					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
5 Gebäudekühlung	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Frischwasserkühlung					0	
Kühlung mit Kältemaschine					0	
Pumpen Verteilsystem bzw. Kühlregister Lüftung					0	
<b>Gesamt</b>	0				0	
6 Sonstige Haustechnik	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Dachrinnenheizung, Gullyheizung,...					0	
Abwasser Hebewerke					0	
Lifte					0	
Brandschutzanlage					0	
el. Schliesssystem					0	
el. Außenverschattung					0	
el. Innenverschattung (Blendschutz)					0	
Uhrenanlage					0	
Lautsprecheranlage					0	
Bussystem					0	
Sat- bzw. Antennenverstärker					0	
Telefonanlage					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
Gesamte Haustechnik						
<b>Gesamt</b>	0	W			0	





4.4.4 Kochen, Werken,..

1 Kochen	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Kühlschrank			0		0	
Gefrierschrank			0		0	
Kaffeemaschine			0		0	
Herd			0		0	
Backrohr			0		0	
Dunstabzug			0		0	
Mikrowelle			0		0	
Geschirrspüler			0		0	
			0		0	
			0		0	
			0		0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
2 Textiles Werken	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Nähmaschine			0		0	
Bügeleisen			0		0	
			0		0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
3 Werken Holz, Metall, Elektro,..	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Keramik Brennofen			0		0	
Bandsäge			0		0	
Kreissäge			0		0	
Ständerbohrmaschine			0		0	
Druckluftkompressor			0		0	
			0		0	
			0		0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
Gesamt Kochen, Werken,..						
<b>Gesamt</b>	0	W			0	

### 4.4.5 Sonstiges (Hausmeister, Lehrerküche,..)

1 Lehrerküche	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Kühlschrank					0	
Gefrierschrank					0	
Kaffeemaschine 1:					0	
Kaffeemaschine 2:					0	
Herd					0	
Backrohr					0	
Dunstabzug					0	
Mikrowelle					0	
Geschirrspüler					0	
					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
2 Hausmeisterbereich inkl. Jausenverkauf	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Kühlschrank					0	
Gefrierschrank					0	
Kaffeemaschine					0	
Herd					0	
Backrohr					0	
Dunstabzug					0	
Mikrowelle					0	
Geschirrspüler					0	
					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
3 Reinigung	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Kehrmaschine 1:					0	
Kehrmaschine 2:					0	
Wischmaschine 1:					0	
Wischmaschine 2:					0	
Staubsauger 1:					0	
Staubsauger 2:					0	
Waschmaschine 1:					0	
Waschmaschine 2:					0	
Trockner 1:					0	
Trockner 2:					0	
					0	
					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
4 Mittagstisch/Nachmittagsbetreuung	Leistung	Anzahl	Leistung ges.	Voll. Stunden	kWh/a	Anmerkungen:
Kühlschrank					0	
Gefrierschrank					0	
Backrohr					0	
Dunstabzug					0	
Mikrowelle					0	
					0	
					0	
					0	
					0	
<b>Gesamt</b>	0	W			0	
Gesamt Sonstige						
<b>Gesamt</b>	0	W			0	

## 4.5 Benchmarkhilfe für WP, Elektrodirektheizung und Kühlung

Wärmepumpenheizungen, Elektrodirektheizungen und Kühlungen sind nicht direkt im Benchmarkbaukasten enthalten, da diese Verbräuche sehr von der Gebäudequalität abhängen und für diese Bereiche ohnehin meist eigene Subzähler vorhanden sind. Sie müssen/können daher speziell betrachtet werden.

Ausgangsbasis für Strom- und Wärmepumpenheizung				
Spezifischer Heizwärmebedarf am Standort nach OIB:		kWh/m² BGF		
Spezifischer Heizwärmebedarf am Standort nach PHPP:		kWh/m² BGF		
<b>Einordnung HWB</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Berechnung nach OIB	10	20	40	
Berechnung nach PHPP	15	25	50	
Strom für Wärmepumpenheizung				
<b>Wärmeverteilverluste</b>	<b>gut</b>	<b>mittel</b>	<b>schlecht</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Verteilungsverluste (inkl. zurückgewonnener Verluste)	10%	15%	20%	Berechnung mit Energieausweisprogramm
<b>Jahresarbeitszahl Wärmepumpe</b>	<b>gut</b>	<b>mittel</b>	<b>schlecht</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Jahresarbeitszahl GW - WP (ohne GW-Pumpe)	4,5	4	3,5	
Jahresarbeitszahl Sole - WP (ohne Sole-Pumpe)	4	3,5	3	
Jahresarbeitszahl Luft-Wärmepumpe	3	2,5	2	
<b>Strom für Grundwasser- bzw. Solepumpe</b>	<b>gut</b>	<b>mittel</b>	<b>schlecht</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Strom für Grundwasserpumpe	5%	10%	15%	der produzierten Wärme
Strom für Solepumpe	2%	5%	8%	der produzierten Wärme
Strom für Ventilator Verdampfer	0%	0%	0%	Bei Prüfung schon inkludiert
<b>1 Wärmepumpenheizung</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Strom für Grundwasserpumpe	3,7	7,2	17,1	
Strom für Solepumpe	4,1	8,2	20,0	
Strom für Außenluftwärmepumpe	5,5	11,5	30,0	Stromverbrauch des Verdampfers inkludiert
Strom für Grundwasserpumpe	0,2	0,7	2,6	
Strom für Solepumpe	0,1	0,4	1,6	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>				
Strom für Elektrodirektheizung				
<b>Wärmeverteilverluste</b>	<b>gut</b>	<b>mittel</b>	<b>schlecht</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Überwärmung bei Nachtspeicherheizungen	10%	15%	20%	
<b>2 Elektrodirektheizung</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>kWh/m² BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Gesamtstrom el. Direktheizung	15	25	50	
Gesamtstrom el. Nachtspeicherheizung	16,5	29	60	inkl. Überwärmung
<b>Gesamt (auswählen)</b>				

Strom für Kühlung				
Spezifischer außeninduzierter Kühlbedarf nach OIB:		kWh/m <sup>2</sup> BV		
Nutzkältebedarf nach PHPP:		kWh/m <sup>2</sup> BGF		
<b>Einordnung Kühlenergiebedarf</b>	<b>kWh/m<sup>3</sup></b>	<b>kWh/m<sup>3</sup></b>	<b>kWh/m<sup>3</sup></b>	<b>Anmerkungen:</b>
Außeninduzierter Kühlbedarf nach OIB	0	0,5	1	
	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Nutzkältebedarf nach PHPP	5	10	15	
<b>Einordnung SEER WP</b>	<b>gut</b>	<b>mittel</b>	<b>schlecht</b>	<b>Anmerkungen:</b>
SEER GW-WP(ohne GW-Pumpe)	k.A.	k.A.	k.A.	bei Grundwasser kein WP-Betrieb vorgesehen
SEER Sole-WP(ohne Sole-Pumpe)	3,5	3	2,5	
SEER Außenluftwärmepumpe	2,5	2	1,5	
<b>Strom für Grundwasser- bzw. Solepumpe</b>	<b>gut</b>	<b>mittel</b>	<b>schlecht</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Strom für Grundwasserpumpe (W/m <sup>2</sup> BGF)	0,30	0,50	0,80	
Strom für Solepumpe	2%	5%	8%	der gelieferten Kälte
Strom für Ventilator Verdampfer	0%	0%	0%	Bei Prüfung schon in SEER inkludiert
Strom für Kälteverteilung - Leistung (W/m <sup>2</sup> BGF)	0,20	0,40	0,60	
Strom für Kühlregister Lüftung (W/m <sup>2</sup> BGF)	0,02	0,05	0,08	
<b>Stunden</b>	<b>gut</b>	<b>mittel</b>	<b>schlecht</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Strom für Grundwasserpumpe (W/m <sup>2</sup> BGF)	200	600	1000	
<b>1 Kühlung</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Kühlung mit Grundwasser (nur Grundwasserpumpe)	0,06	0,3	0,8	
Strom für Solepumpe der WP (bzw. passive Kühlung)	0,03	0,17	0,48	
Kühlung mit Kältemaschine der Sole WP	1,4	3,3	6,0	
Strom für reversible Außenluftwärmepumpe	2	5	10	Stromverbrauch des Verdampfers inkludiert
Strom für Kälteverteilung (z.B. Fußbodenheizung)	0,04	0,24	0,60	
Strom für Kühlregister Lüftung	0,004	0,03	0,08	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>				

## 5 Stromverbrauch der untersuchten Schulen

Die Auswertung des Stromverbrauchs der untersuchten Schulen wurde auf vier Ebenen durchgeführt:

1. Spezifischer Gesamtstrombedarf
2. Monatliche Aufteilung der Stromverbräuche
3. Lastgang der Schulen
4. Aufteilung des Stromverbrauchs auf Verbrauchsbereiche (Heizung, Lüftung, ..)

Der Lastgang konnte nur bei jenen Schulen analysiert werden, bei denen der Energieversorger auch die Lastgangdaten zur Verfügung stellen konnte. Aufgrund der unterschiedlichen Struktur der elektrischen Verdrahtung konnte die Ebene 4, die Aufteilung der Stromverbräuche auf Verbrauchsbereiche, nur in unterschiedlicher Tiefe durchgeführt werden. Die Gestaltung einer benchmarkfreundlichen Verdrahtungsstruktur von neuen Schulen ist daher ein wichtiger Schritt, um in Zukunft vertiefte Auswertungen einfacher vornehmen zu können.

### 5.1 Spezifischer Gesamtstromverbrauch der Schulen

Die untersuchten Schulen teilten sich in vier Volksschulen (VS) und acht Neue Mittelschulen (NMS) auf. Der spezifische Gesamtstromverbrauch der untersuchten Schulen stellt sich folgendermaßen dar:

#### 5.1.1 Volksschulen

Allgemein	VS 1	VS 2	VS 3	VS 4	Einheit
Klassentrakt - Bruttogrundfläche (BGF)	1040	1275	1548	1744	m <sup>2</sup>
Sporthalle - Bruttogrundfläche (BGF)	177	bei Gesamt	199	500	m <sup>2</sup>
Gesamt - Bruttogrundfläche (BGF)	1217	1275	1748	2244	m <sup>2</sup>
Anzahl SchülerInnen	42	157	130	125	P
Anzahl Klassen	3	9	6	11	Stk.
Fläche pro SchülerIn (Klassentrakt)	24,8	8,1	11,9	14,0	m <sup>2</sup> /S
					
Strom - Gesamtverbrauch - Benchmark	VS 1	VS 2	VS 3	VS 4	Einheit
Stromverbrauch Gesamt 2015	17.500	15.120	23.874	25.430	kWh/a
Stromverbrauch pro m <sup>2</sup> BGF	14,4	11,9	13,7	11,3	kWh/m <sup>2</sup> a
Stromverbrauch pro SchülerIn	416,7	96,3	183,6	203,4	kWh/Schüler.a
Stromverbrauch pro Klasse	5.833	1.680	3.979	2.312	kWh/Schüler.a
Spezifische Dauerleistung	1,64	1,35	1,56	1,29	W/m <sup>2</sup> BGF
Strompreis pro kWh (Gesamt)	0,142	0,154	0,147	0,144	Cent/kWh
Ausstattung	VS 1	VS 2	VS 3	VS 4	
Wärmeversorgung Heizung	Pellet	Fernw.	Öl	Fernw.	
Warmwasser im Winter	mit Heizung	mit Heizung	mit Heizung	mit Heizung	
Warmwasser im Sommer	mit Heizung	mit Strom	mit Heizung	mit Strom	
Klassenzimmerlüftung	Nein	Ja	Nein	Nein	
Aktive Gebäudekühlung (Nachtlüftung)	n.r.	Ja	n.r.	n.r.	
Beleuchtung	Leuchtstr.	Leuchtstr.	Leuchtstr.	Leuchtstr.	
Tafelsystem	Beamer/M	Beamer/M	Beamer/M	Beamer/M	
Klimageräte (Z.B. für Server)	Nein	Nein	Nein	Nein	
Sporthalle extern genutzt	mittel	n.r.	gering	intensiv	n.r. = nicht relevant

Hinweis: Bei der VS2 ist die Haustechnik nicht enthalten.

In einer Volksschule ist teilweise auch der Stromverbrauch des Kindergartens enthalten. Daher sind die Werte pro Schüler bzw. pro Klasse entsprechend verzerrt (Zahlenwerte in Orange).

Die Bandbreite des Stromverbrauchs der Volksschulen bewegte sich zwischen 11,3 und 14,4 kWh/m<sup>2</sup> BGF. Wobei die 14,4 teils durch einen hohen Stromverbrauch bei der Dachrinnenheizung bewirkt wurden (ca. 4 - 6 kWh/m<sup>2</sup>).

### 5.1.2 Neue Mittelschulen

Allgemein	NMS 1	NMS 2	NMS 3	NMS 4	Einheit
Klassentrakt - Bruttogrundfläche (BGF)	4125	7020	4865	8400	m <sup>2</sup>
Sporthalle - Bruttogrundfläche (BGF)	keine	1486	3897	1600	m <sup>2</sup>
Gesamt - Bruttogrundfläche (BGF)	4125	8506	8763	10000	m <sup>2</sup>
Anzahl SchülerInnen	170	342	211	395	P
Fläche pro SchülerIn	24,3	20,5	23,1	21,3	m <sup>2</sup> /S
Strom - Gesamtverbrauch - Benchmark	NMS 1	NMS 2	NMS 3	NMS 4	Einheit
Stromverbrauch Gesamt 2015	96 354	149 900	184 937	205 000	kWh/a
Stromverbrauch pro m <sup>2</sup> BGF	23,4	17,6	21,1	20,5	kWh/m <sup>2</sup> a
Stromverbrauch pro SchülerIn	566,8	438,3	876,5	519,0	kWh/S.a
Spezifische Dauerleistung	2,67	2,01	2,41	2,34	W/m <sup>2</sup> BGF
Fläche pro Schüler Klassentrakt	24,3	20,5	23,1	21,3	W/m <sup>2</sup> BGF
Ausstattung	NMS 1	NMS 2	NMS 3	NMS 4	
Wärmeversorgung Heizung	Fernw.	Gas	Gas	Fernwärme	
Warmwasser im Winter	mit Heizung	mit Heizung	mit Heizung	mit Heizung	
Warmwasser im Sommer	mit Heizung	mit Strom	mit Heizung	mit Strom	
Klassenzimmerlüftung	Ja	Ja	Ja	Ja	
Aktive Gebäudekühlung (Nachtlüftung)	mit Lüftung	mit Lüftung	mit Lüftung	Nein	
Beleuchtung	Leuchtstr.	Leuchtstr.	Leuchtstr.	Leuchtstr.	
Tafelsystem	Beamer/M	Beamer/M	Beamer/M	Beamer/M	
Klimageräte (Z.B. für Server)	Nein	Nein	Nein	Ja	
Sporthalle extern genutzt	keine	mittel	mittel	mittel	

Allgemein	NMS 5	NMS 6	NMS 7	NMS 8	Einheit
Klassentrakt - Bruttogrundfläche (BGF)	7882	3848	5374	5000	m <sup>2</sup>
Sporthalle - Bruttogrundfläche (BGF)	500	525	bei VS	1200	m <sup>2</sup>
Gesamt - Bruttogrundfläche (BGF)	8382	4373	5374	6200	m <sup>2</sup>
Anzahl SchülerInnen	291	185	187	271	P
Fläche pro SchülerIn	27,1	20,8	28,7	18,5	m <sup>2</sup> /S
		4373			
Strom - Gesamtverbrauch - Benchmark	NMS 5	NMS 6	NMS 7	NMS 8	Einheit
Stromverbrauch Gesamt 2015	65.289	75.223	81.500	236.711	kWh/a
Stromverbrauch pro m <sup>2</sup> BGF	7,8	17,2	15,2	38,2	kWh/m <sup>2</sup> a
Stromverbrauch pro SchülerIn	224,4	406,6	435,8	873,5	kWh/S.a
Spezifische Dauerleistung	0,89	1,96	1,73	4,36	W/m <sup>2</sup> BGF
Fläche pro Schüler Klassentrakt	27,1	20,8	28,7	18,5	W/m <sup>2</sup> BGF
Ausstattung	NMS 5	NMS 6	NMS 7	NMS 8	
Wärmeversorgung Heizung	Fernwärme	Gas	Fernwärme	Gas/WP	
Warmwasser im Winter	mit Heizung	mit Heizung	mit Heizung	mit Heizung	
Warmwasser im Sommer	mit Heizung	mit Strom	Mit Strom	mit Heizung	
Klassenzimmerlüftung	Ja	Nein	Ja	Ja	
Aktive Gebäudekühlung (Nachtlüftung)	Nein	Nein	Nein	Grundwasser	
Beleuchtung	Leuchtstr.	Leuchtstr.	Leuchtstr.	Leuchtstr.	
Tafelsystem	Beamer/M	Beamer/M	Beamer/M	Beamer/M	
Klimageräte (Z.B. für Server)	Ja	Ja	Nein	Nein	
Sporthalle extern genutzt	Nein	mittel	intensiv	mittel	

Die Bandbreite des Stromverbrauchs der untersuchten NMS bewegte sich zwischen 7,8 und 38,2 kWh/m<sup>2</sup>BGF. Im Wert 38,2 kWh/m<sup>2</sup> ist jedoch noch die Wärmepumpe für die Heizung und die Kühlung mit Grundwasser enthalten. Ohne Wärmepumpe bzw. Kühlung liegt diese NMS bei 32,3 kWh/m<sup>2</sup>a.

Aufgrund der geringen Anzahl der vertieft vermessenen Schulen und der unterschiedlichen Ausstattungsmerkmale (Lüftung, Warmwasserbereitung, Kühlung etc.) ist, wie schon angesprochen, ein direkter Vergleich nicht sinnvoll.

Insgesamt sieht man aber, dass die untersuchten Schulen - unabhängig vom Ausstattungsgrad - in der Bandbreite der im vorigen Kapitel erhobenen Benchmarkzahlen liegen. Ohne aussagekräftige Benchmarkmöglichkeit ist es daher notwendig den Stromverbrauch, wie in diesem Projekt, individuell weiter zu vertiefen, um Aussagen zur Stromeffizienz bzw. zum Stromsparpotenzial zu erhalten.

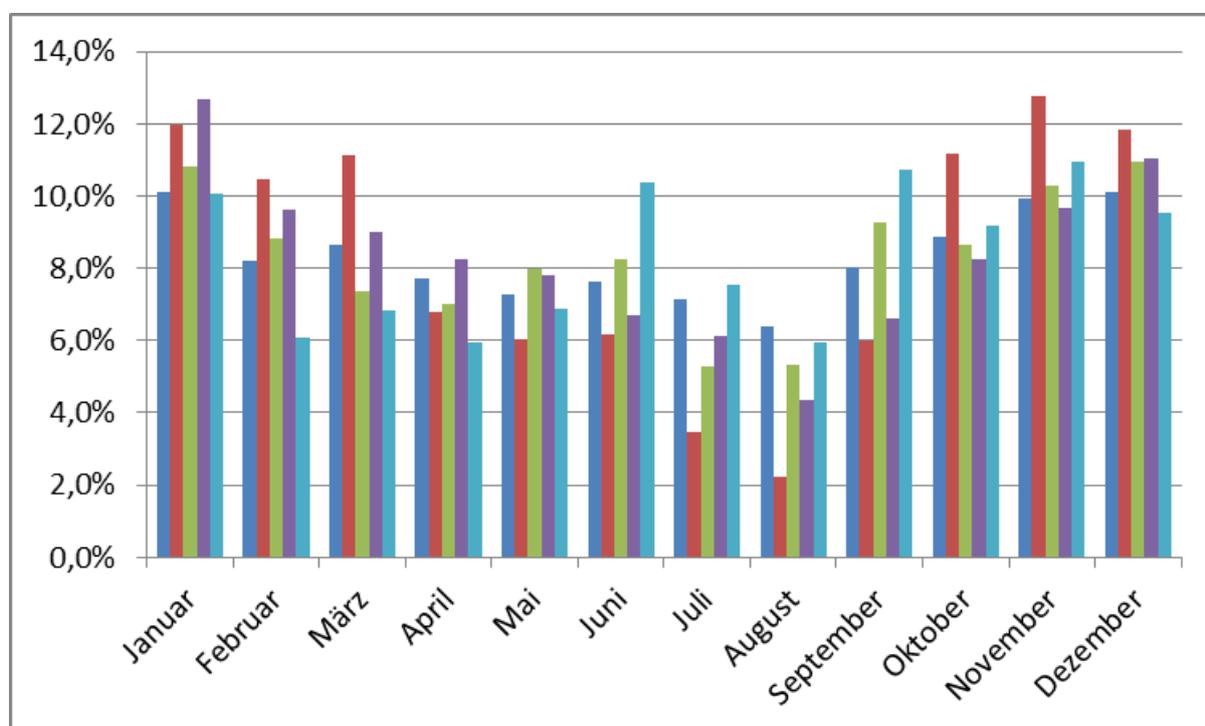
Ziel sollte es daher sein, für Österreich ein Online-Benchmarksystem aufzubauen, sodass ein direkter Vergleich mit ähnlich ausgestatteten Schulen möglich ist und eine Aussage über ein mögliches Stromsparpotenzial schon über die oberste Verbrauchsebene (Tarifzähler) möglich wird. Im Rahmen dieses Projektes wurde daher versucht mit dem Benchmarkbaukasten eine erste Basis dafür zu schaffen (war kein der ursprüngliches Projektziel). Dieser Benchmarkbaukasten sollte daher in einem Folgeprojekt mit deutlich mehr Schulen konkret getestet bzw. validiert werden.

## 5.2 Monatliche Aufteilung der Stromverbräuche

Der Übersichtlichkeit halber werden nicht alle Auswertungen der einzelnen Schulen dargestellt (diese sind in den individuellen Auswertungsberichten der Schulen enthalten), sondern nur eine Gesamtübersicht und einzelne stellvertretende Ergebnisse dargestellt.

Die Auswertung der monatlichen Stromverbräuche in den einzelnen Schulen zeigt ein sehr unterschiedliches Bild. Auffallend ist, dass die Unterschiede zwischen den Monaten mit Schulbetrieb und ohne Schulbetrieb teils deutlich geringer ausfallen, als man gemeinhin vermuten könnte.

	NMS 1	NMS 2	NMS 3	NMS 4	NMS 5
Januar	10,1%	12,0%	10,8%	12,7%	10,1%
Februar	8,2%	10,5%	8,8%	9,6%	6,1%
März	8,6%	11,1%	7,3%	9,0%	6,8%
April	7,7%	6,8%	7,0%	8,2%	5,9%
Mai	7,3%	6,0%	8,0%	7,8%	6,9%
Juni	7,6%	6,1%	8,3%	6,7%	10,4%
Juli	7,2%	3,5%	5,3%	6,1%	7,5%
August	6,4%	2,2%	5,3%	4,3%	6,0%
September	8,0%	6,0%	9,3%	6,6%	10,7%
Oktober	8,9%	11,2%	8,6%	8,2%	9,2%
November	9,9%	12,8%	10,3%	9,7%	11,0%
Dezember	10,1%	11,8%	11,0%	11,0%	9,5%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%



## Beispiel 1: Stromverbräuche in den Sommerferien teils höher als zu Schulzeiten

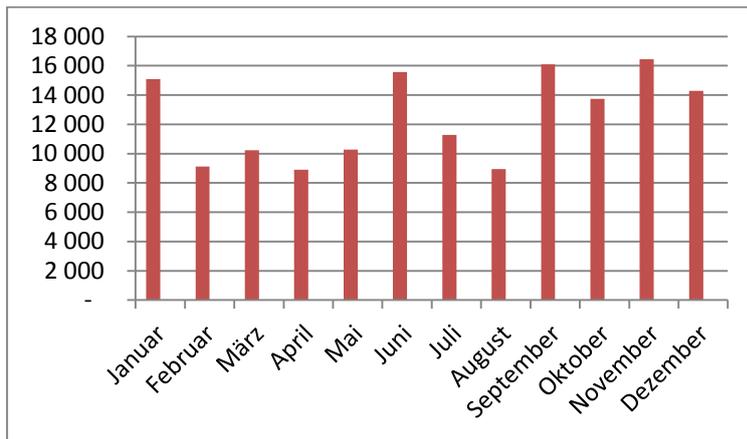


Abbildung 5.1: Monatsverlauf mit Verbräuchen die im Juli/August fast gleich hoch sind wie im April.

**Begründung:** In dieser Schule wird das Warmwasser im Winter mit der Heizung und im Sommer mit Strom bereitete und die Lüftung hat eine Nachtkühlfunktion. Auf diesen beiden Aspekten beruhen die hohen Stromverbräuche im Juni bzw. September. Die hohen Verluste (Speicher und Zirkulation) der zentralen Warmwasserbereitung bewirken die hohen Stromverbräuche in der Ferienzeit.

Zentrale WW-Bereitung im Winter mit Heizung und im Sommer mit Strom: Jahresverlauf Sept. 2015 bis Sept. 2016



Deutlich sichtbar ist die el. WW-Bereitung ab Mitte Mai. Das hinsichtlich der Hygiene relevante Ausschalten der WW-Bereitung im August ist auch bei den Monatsverläufen erkennbar. Dieses Beispiel wird bei der WW-Bereitung nochmals ausführlich beleuchtet, da der Nutzungsgrad unter 5 % beträgt.

Einen weiteren Teil trägt die Grundlast des Gebäudes im Sommer bei. Deutlich wirkt sich auch die Beleuchtung der Gänge aus, die bei Reinigungsarbeiten bis zu 16 kW ausmacht, da diese automatisch durch die Bewegungsmelder (ohne Tageslichtsensor) aktiviert wird. Die maximale Last im Sommer beträgt am Tag ca. 34 kW, die sich aus ca. 16 kW Beleuchtung (vorwiegend Gangbereich), 15 kW Warmwasser und 3 kW allgemeine Grundlast zusammensetzt.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Eine Umstellung der Beleuchtung auf Bewegungsmelder mit Tageslichtsensor würde den Stromverbrauch in der Reinigungszeit deutlich verringern, da die Gänge durch den Innenhof mit ausreichend Tageslicht versorgt sind.

### Gangbeleuchtung im August 2016 im 3. Stock (nur West/Nord)



Man sieht die hohe Einschalthäufigkeit der Gangbeleuchtung in den Sommermonaten durch die Reinigungstätigkeiten im gesamten August. Zu beachten ist, dass hier nur ein Teilbereich der Gangbeleuchtung (Hälfte eines Stockes) in der Messung enthalten ist.

### Tagesverlauf für einen Teilbereiches des 3. Stockes am 10. August 2016:



**Beispiel 2:** Stromverbrauch sinkt in den schulfreien Monaten kaum erkennbar ab.

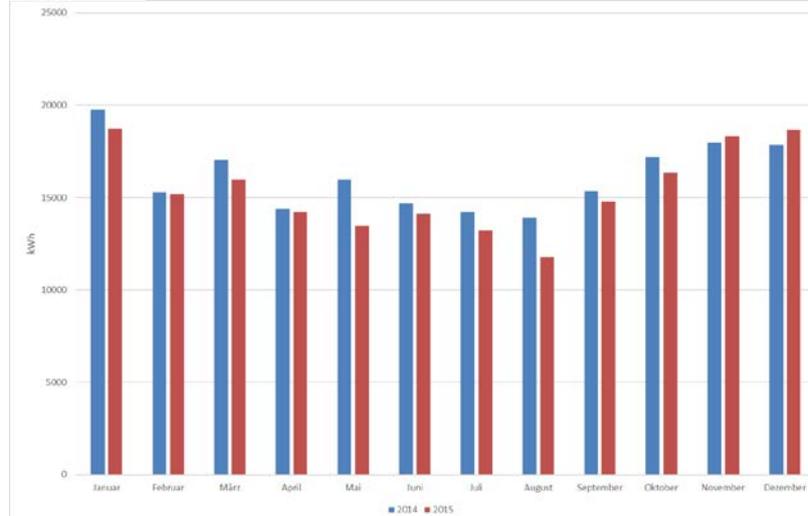


Abbildung 5.2: Monatsverlauf nur gering niedrigeren Verbräuchen in den Ferienmonaten Juli und August

Bei diesem Beispiel erfolgt die WW-Bereitung mit der Heizung und hat so nur einen geringen Einfluss auf den Stromverbrauch im Sommer. Das Gebäude hat aber auch im Sommer eine Grundlast von meist 16 kW und nur selten unter 10 kW. Dies kommt daher, dass die Lüftung der Sporthalle am Tag teils auf niedriger Stufe läuft bzw. auch im Sommer zur Nachtkühlung verwendet wird. Dieser Umstand ist auch aus dem Verbrauch der Niedertarifzeiten zu erkennen. Dieser ändert sich über das Jahr nur unwesentlich und bleibt auch in den Sommerferien über 4.000 kWh/Monat.

Analyse Strom						
	Zählerstand		Verbrauch		Zählerstand	
Zähler Nr.:	693692					
Maßeinheit:	[kWh]		[kWh]	[kWh]		[kWh]
Anfangsstand	10.479			3.820		
31. Jan 2016	10.722	60	14.580	3.891	60	4.260
29. Feb 2016	10.907	60	11.100	3.951	60	3.600
31. Mrz 2016	11.104	60	11.820	4.025	60	4.440
30. Apr 2016	11.292	60	11.280	4.091	60	3.960
31. Mai 2016	11.462	60	10.200	4.167	60	4.560
30. Jun 2016	11.633	60	10.260	4.246	60	4.740
31. Jul 2016	11.737	60	6.240	4.309	60	3.780
31. Aug 2016	11.853	60	6.960	4.374	60	3.900
30. Sep 2016	12.018	60	9.900	4.450	60	4.560
31. Okt 2016	12.211	60	11.580	4.517	60	4.020
30. Nov 2016	12.469	60	15.480	4.587	60	4.200
31. Dez 2016	12.693	60	13.440	4.661	60	4.440
<b>Verbrauch</b>	[kWh]		<b>132.840</b>	[kWh]		<b>50.460</b>

Die Verbräuche zur Niedertarifzeit (22:00 bis 6:00 Uhr) bleiben aufgrund der Standby-Lasten bzw. der teils durchlaufenden Lüftungen (insgesamt ca. 16 kW) fast gleich. Nur die Tagesverbräuche gehen um 30 bis 40 % zurück. Wenn man die Grundlast (Mittelwert der Stunden 7000 – 8000) von 13,2 kW auf das ganz Jahr hochrechnet, ergibt dies 115.000 kWh/a. D.h. bei einem Stromverbrauch von insgesamt 183.000 kWh/a bedeutet die Grundlast einen Verbrauch von 63 %. Nur 37 % des Verbrauchs resultiert aus der tatsächlichen Nutzung.

Beispiel 3: Der Stromverbrauch sinkt in den schulfreien Monaten - erwartungsgemäß - deutlich ab.

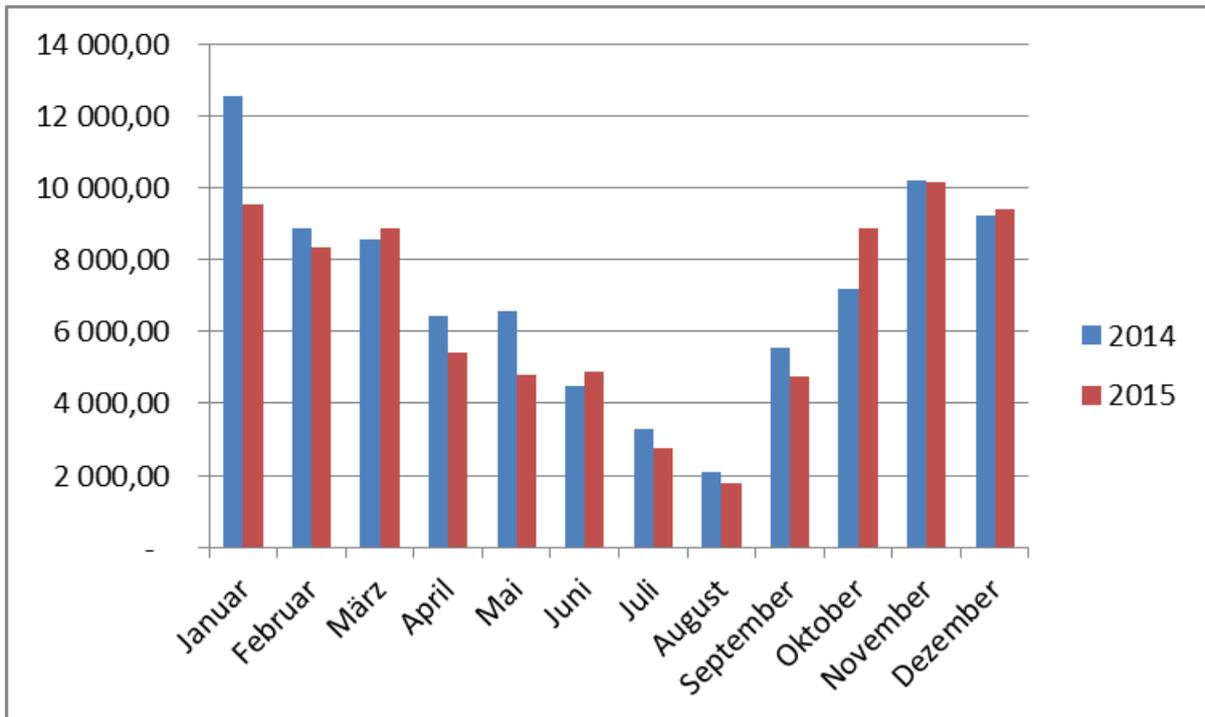


Abbildung 5.3: Monatsverlauf mit deutlichen geringeren Verbräuchen in Ferienmonaten Juli und August

Begründung: In dieser NMS ist die Warmwasserbereitung der Volksschule bzw. dem dortigen Stromverbrauch zugeordnet. Zudem verfügt die Schule über eine Klassenzimmerlüftung, die im Sommer komplett abgeschaltet wird. Alle Verbraucher werden vom Hauswart penibel abgeschaltet. Die Abstufung zwischen den Monaten April, Mai und September gegenüber den Monaten November bis März resultiert zum größten Teil aus der Heizung und aus der Beleuchtung.

## 5.3 Lastganganalysen der Schulen

Der Lastgang konnte nur in jenen Schulen analysiert werden, die mit einem moderner Tarifzähler mit einer Aufzeichnung der 15-Minuten-Leistung ausgestattet sind bzw. deren Lastgänge nicht durch eine Eigenstrom-Photovoltaikanlage verzerrt sind.

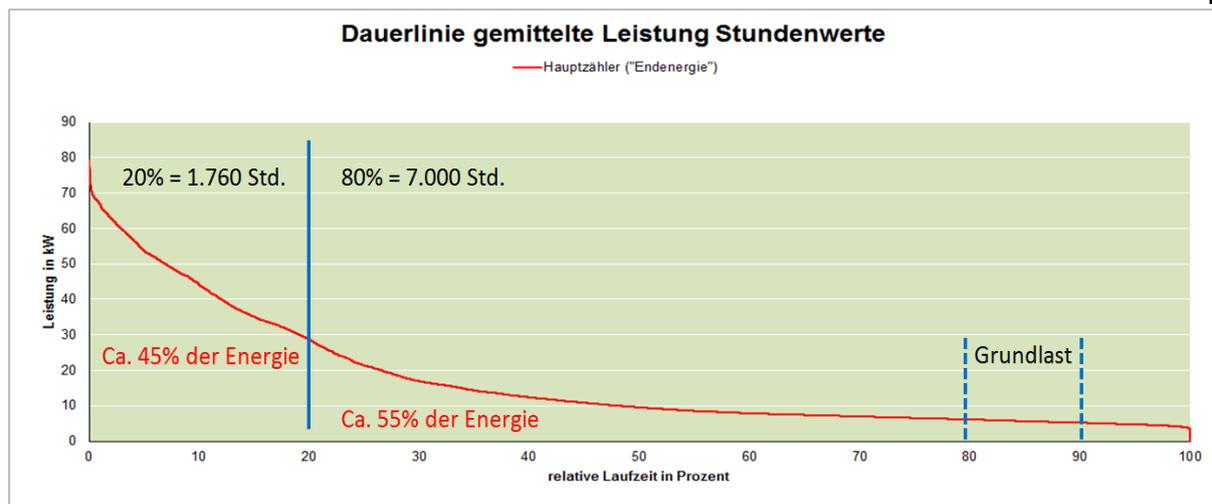
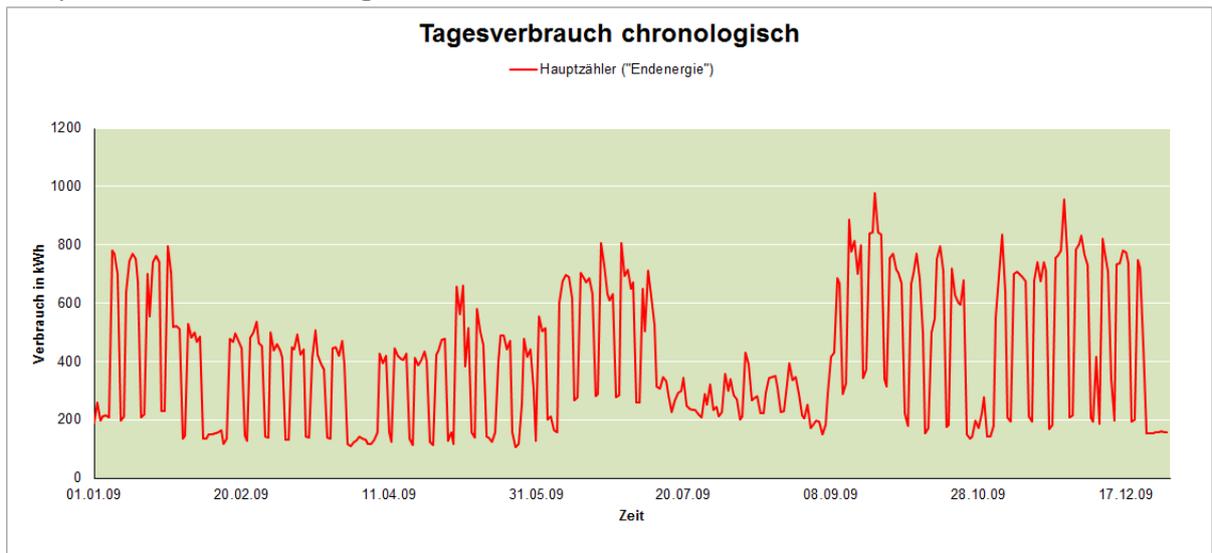
### 5.3.1 Allgemeines zu den durchgeführten Lastgangauswertungen

Die Lastgänge der einzelnen Schulen wurden mit dem kostenlosen Lastgang-Tool des IWU bzw. die Vergleichswerte mit einem eigenen Excel-Tool ausgewertet. Bei den Lastgängen wurden dabei folgende Auswertungen vorgenommen:

- Tagesverbrauch chronologisch
- Dauerkennlinie gemittelte Stundenleistung
- Monatsverlauf Verbrauch (Winter bzw. Sommer mit und ohne Schulbetrieb)
- Wochenverläufe (Winter bzw. Sommer mit und ohne Schulbetrieb)
- Maximale Leistung
- Minimale Leistung
- Mittlere Leistung
- Verbrauchsanteile innerhalb und außerhalb der Kernbetriebszeit (8:00 bis 16:00 Uhr)

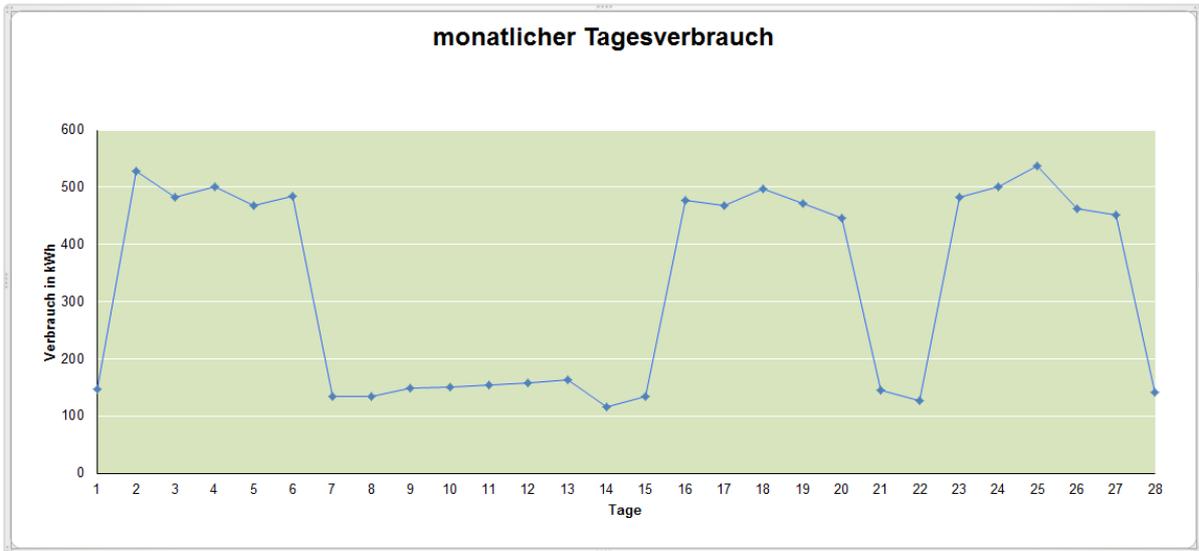
### 5.3.2 Jahresverlauf

Beispiel für eine Auswertung:

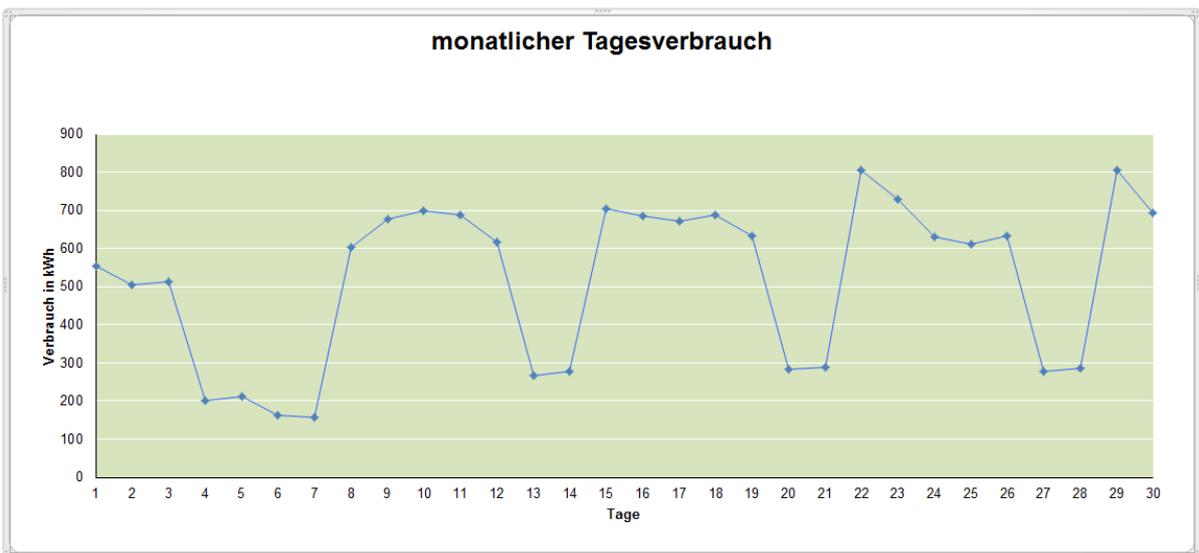


### 5.3.3 Monatsverläufe

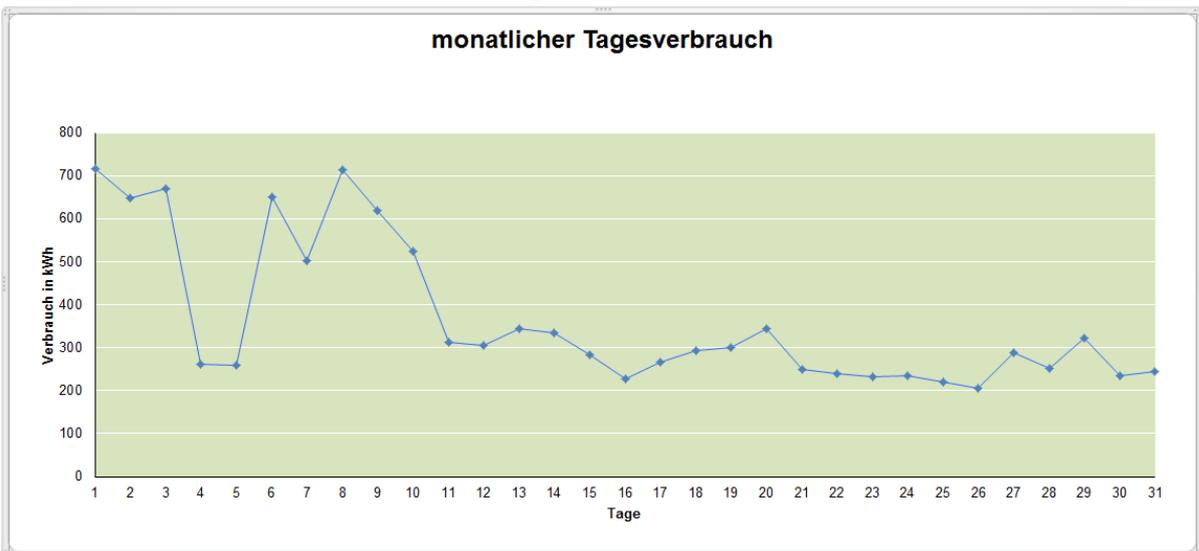
Monatsverlauf Winter: Februar (mit Ferienwoche)



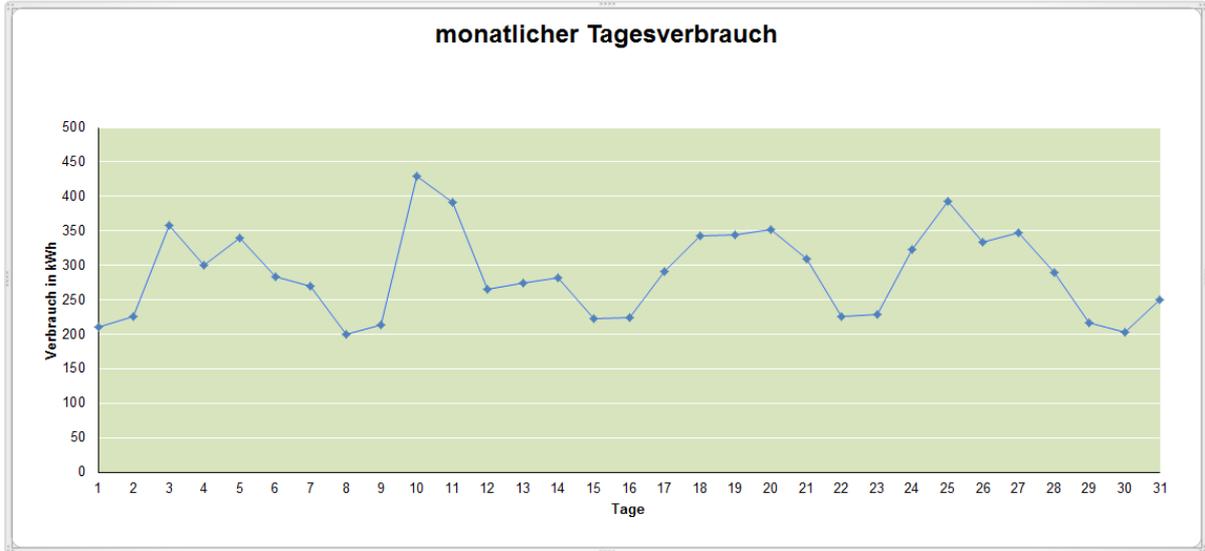
Monatsverlauf Sommer: Juni (mit Pfingstfeiertagen)



Monatsverlauf Sommerferien: Juli (anfangs noch mit Schulbetrieb)

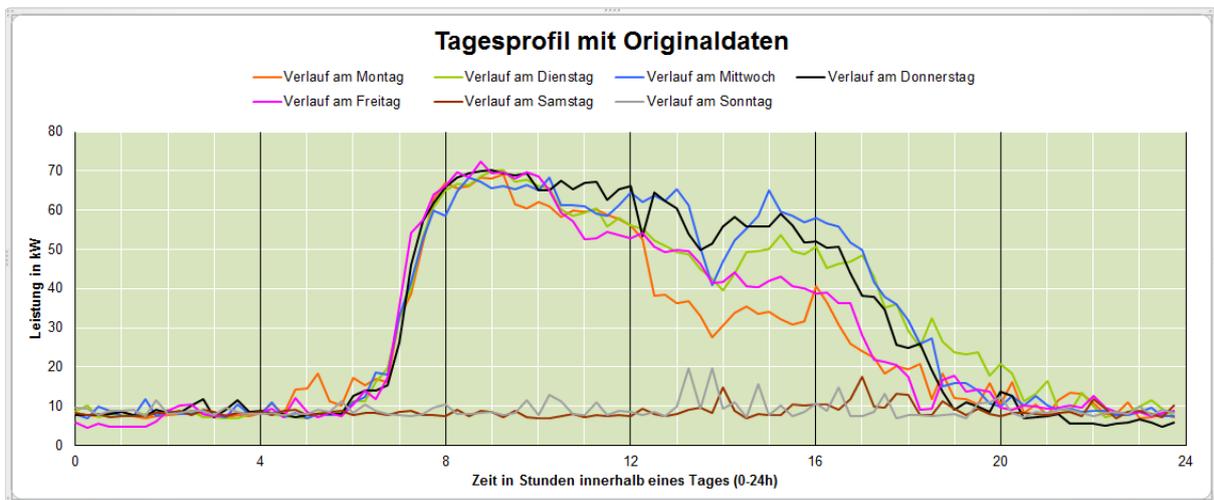
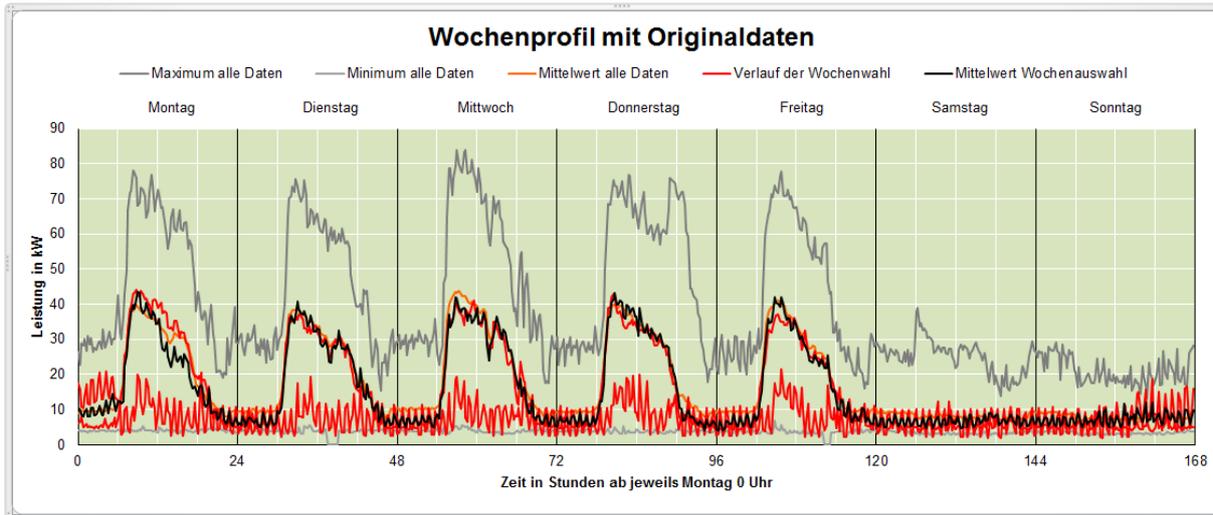


Monatsverlauf Sommerferien: August (mit Reinigungstätigkeiten)

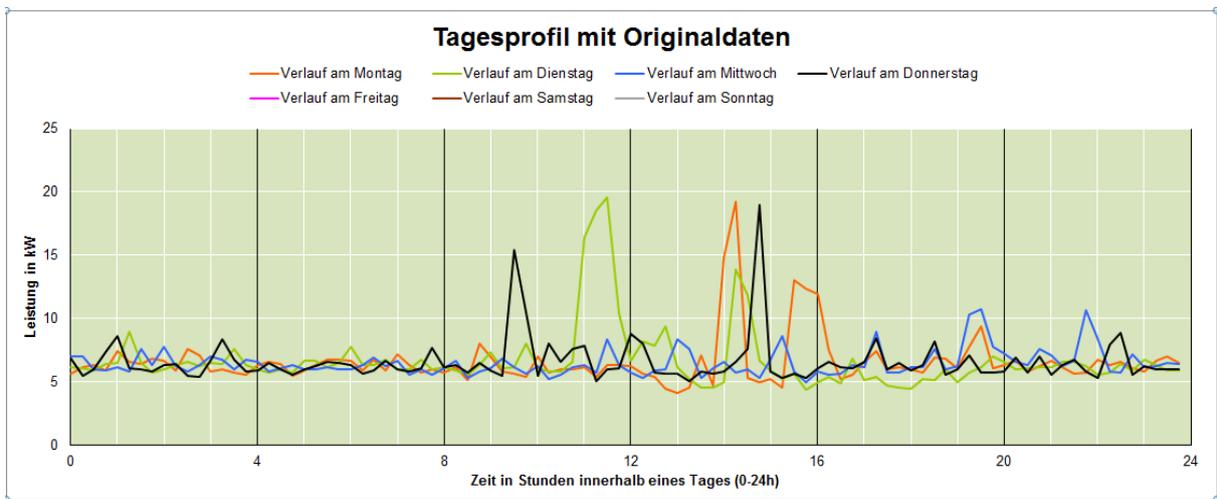
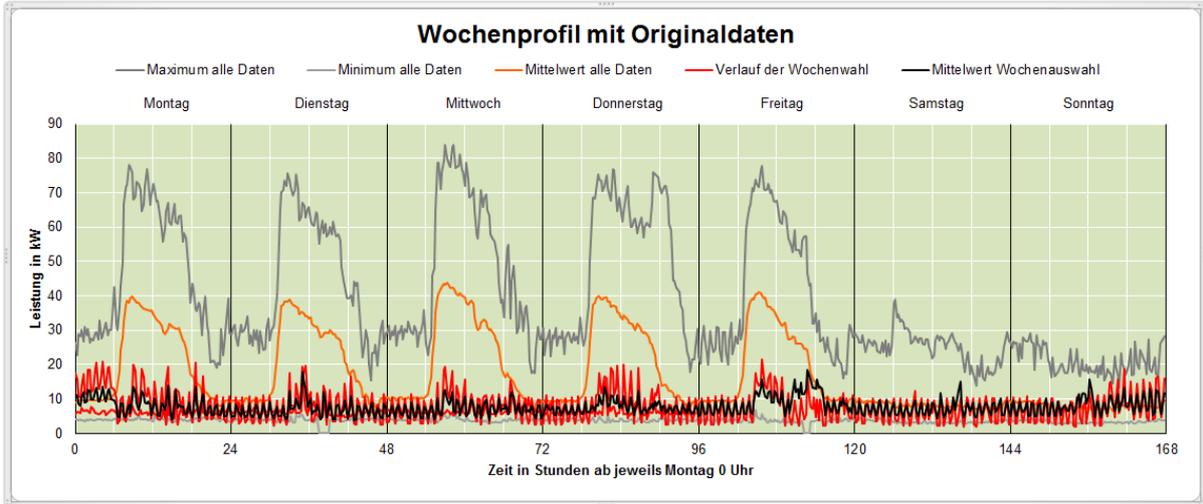


5.3.4 Wochen und Tagesverläufe

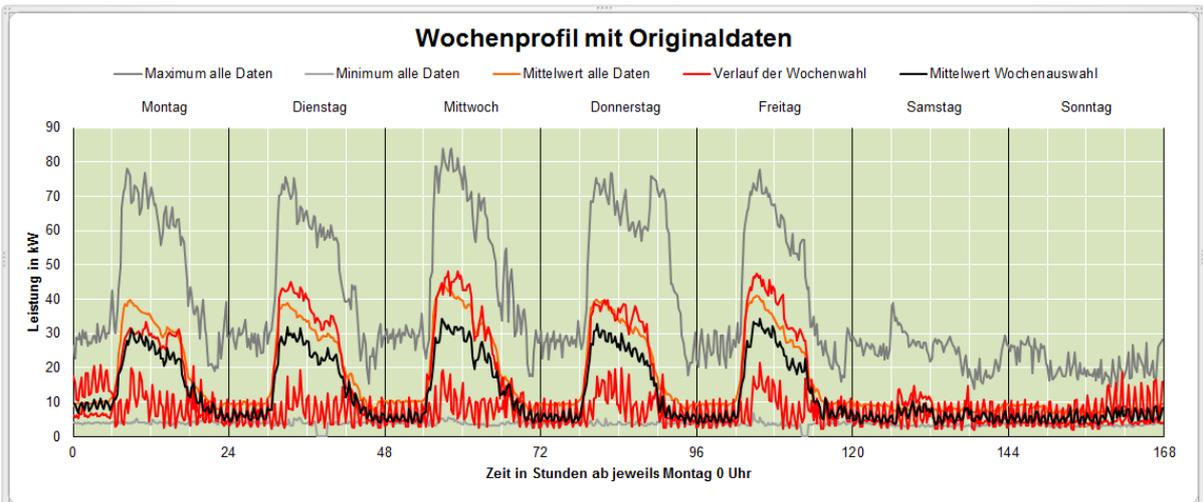
Wochenprofil Schulbetrieb Winter: (3. Jännerwoche)

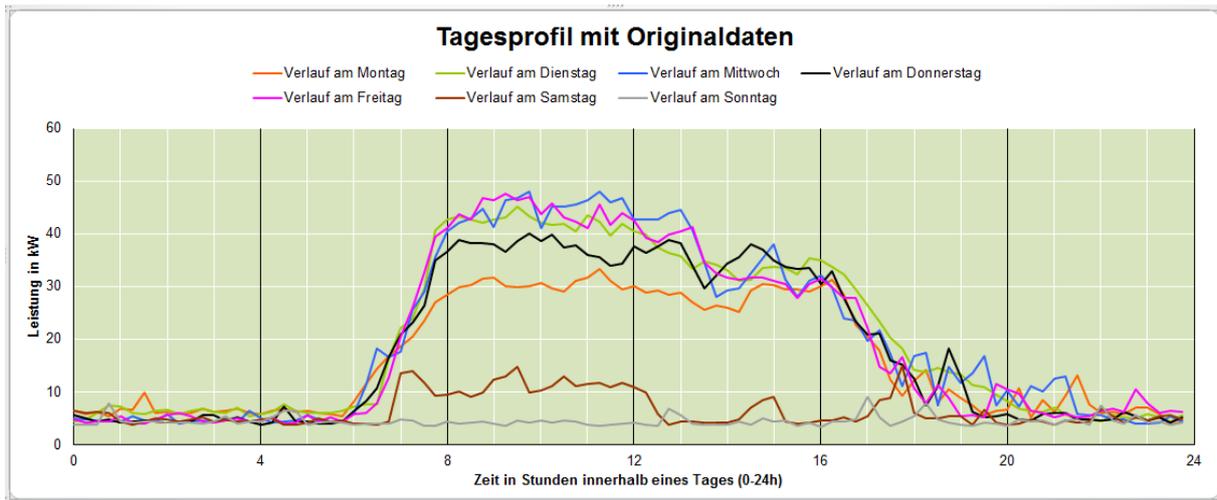


Wochenprofil Ferien Winter: Letzte/Erste Jahreswoche

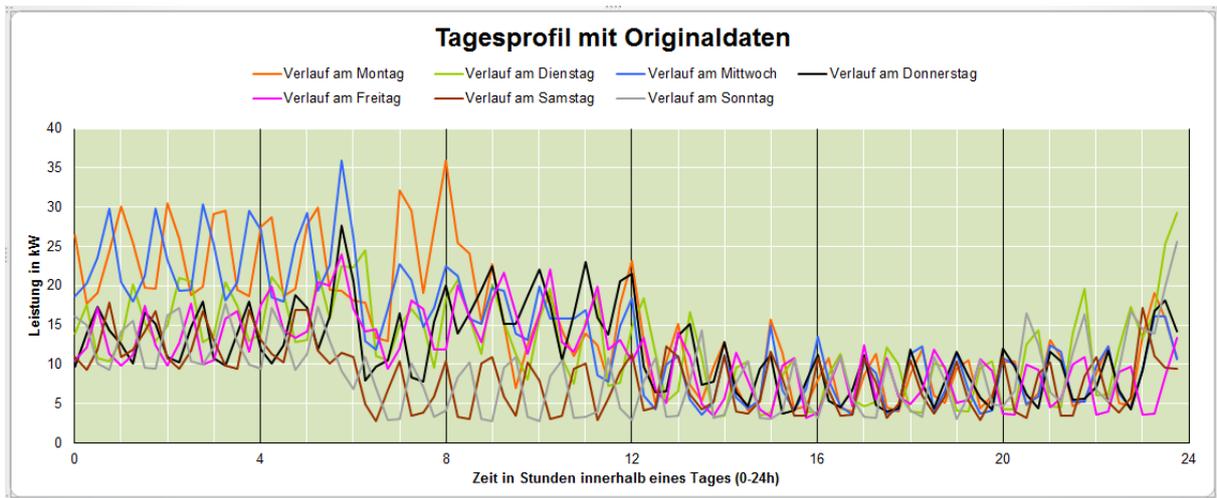
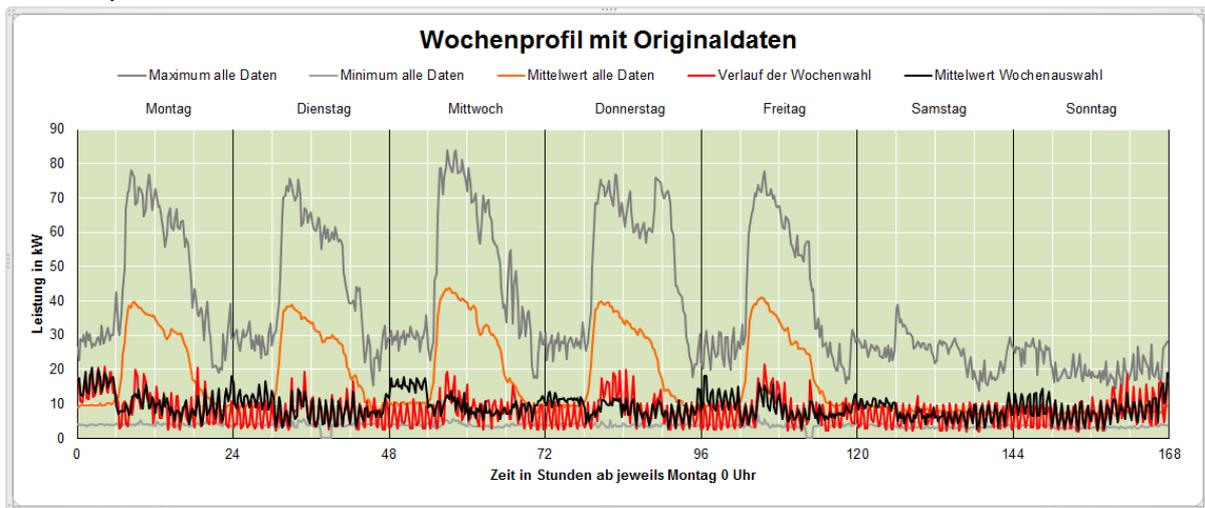


Wochenprofil Schulbetrieb Sommer: Woche 21 (Mai)





Wochenprofil Ferien Sommer: Woche 32



Bei diesem Beispiel zeigen sich die hohen Leistungen in den Sommerferien, die deutlich über den Werten in den Winterferien bzw. in der Nacht sogar über den Werten mit Schulbetrieb liegen (Woche 21). Zudem sind die Leistungen in der Nacht deutlich höher als am Tag. Begründet ist dies einerseits durch die Umstellung der WW-Bereitung auf Strom bzw. durch die aktive Nachtkühlung mit der Klassenzimmerlüftung.

### 5.3.5 Statistische Auswertung

Gesamter Zeitraum		
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]
Maximale Leistung	84,1	9,88
Minimale Leistung	2,0	0,24
Mittlere Leistung	18,0	2,11

Nutzungszeit		
Dauer	40 h/woche	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]
Maximale Leistung	84,1	9,88
Minimale Leistung	2,2	0,26
Mittlere Leistung	34,9	4,11

Standbyzeit		
Dauer	128 h/woche	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m <sup>2</sup> ]
Maximale Leistung	78,7	9,25
Minimale Leistung	2,0	0,24
Mittlere Leistung	12,7	1,49

Verhältnis Standby zu Gesamtzeit [%]	
Zeit	76,2%
Mittlere Leistung	70,5%
Verbrauch	53,7%

Verhältnis Nutzungszeit zu Gesamtzeit [%]	
Zeit	23,8%
Mittlere Leistung	194,3%
Verbrauch	46,3%

Verhältnis Standby zu Nutzungszeit [%]	
Zeit	320,0%
Mittlere Leistung	36,3%
Verbrauch	116,2%

Verhältnis Nutzungszeit zu Standby [%]	
Zeit	31,3%
Mittlere Leistung	275,4%
Verbrauch	86,1%

Die Lastganganalysen zeigen grundsätzlich typische Verläufe für Schulen. In einigen Schulen sind insbesondere die hohen Lasten an den Wochenenden bzw. in den Ferien auffällig.

- Die spezifische maximale Leistung beträgt zwischen 8 und 19 W/m<sup>2</sup>BGF. Wobei in den 19 Watt/m<sup>2</sup> eine Grundwasserwärmepumpe enthalten ist. Ohne diese schwankt die spez. max. Leistung zwischen 8 und 12 W/m<sup>2</sup> BGF, wobei nur bei den größeren Schulen (alles NMS) Lastgänge vorhanden waren.
- Die Werte der spez. Dauerleistung lag zwischen 0,89 und 3,6 W/m<sup>2</sup> (4,36 inkl. Kühlung und WP-Heizung)
- Die Volllaststunden betragen zwischen 1.780 und 2.700 Std.
- Der Anteil des Stromverbrauchs außerhalb der Kernzeit ( Mo –Fr. 8:00 bis 16:00 Uhr) beträgt zwischen 48 % und 66 %

### 5.3.6 Hohe Verbräuche außerhalb der Schulzeiten

Die Messungen und Auswertungen ergaben allgemein sehr hohe Verbräuche außerhalb der Nutzungszeit bzw. auch in den Ferien. An zwei Beispielen wird einerseits die Aufteilung der Grundlast in den Sommerferien und andererseits die Verbräuche von Anlagen, die auch in den Ferien in Betrieb sind sichtbar.

#### 5.3.6.1 Grundlast in den Sommerferien

Die Zusammensetzung der Grundlast außerhalb der eigentlichen Schulzeit wird anhand eines Beispiels mit einer durchschnittlichen Grundlast von 4,5 kW bzw. 0,6 W/m<sup>2</sup> BGF in den Sommerferien aufgezeigt.

Von den 4,5 kW sind nach einer groben Einschätzung nur 1,5 – 2 kW wirklich unbedingt notwendig. Dies sind: Server 500 W, Notbeleuchtung 500 W, Lift 200 W (wobei nicht verifizierbar war, warum dieser so hoch liegt - andere Lifte liegen deutlich darunter) und sonstige Kleinverbraucher (Brandschutz, Uhr, Bewegungsmelder für Beleuchtung etc.) 300 W.

Leistungsverlauf: Sonntag 7. August 2016



Man erkennt die laufende Warmwasserbereitung (bezüglich deren möglicher Abschaltung wird auf das Kapitel zur zentralen WW-Bereitung verwiesen.) und die Grundlast von 4.645 W.

Die Grundlast setzt sich folgendermaßen zusammen: Die Differenz von 4.645 und 4.735 W ergibt sich aus den Messungenauigkeiten:

Bereich	W
Heizung	387
Lüftung	517
Lift	214
Sporttrakt	791
Aula und HM	607
Klassen Ost/Süd	1617
Klassen West/Nord	620
<b>Gesamt</b>	<b>4.753</b>

Die Vernachlässigung des  $\cos \Phi$  durch die Messung mit Klappwandlern dürfte bei der Grundlast eine größere Rolle spielen als beim Normalbetrieb. Aus den vertieften Auslesewerten der Tarifizähler, in denen der  $\cos \Phi$  teilweise im 15-Minuten-Takt aufgezeichnet wird, ergibt sich laut Auskunft eines Energieversorgers jedoch keine erkennbare Veränderung zwischen den Zeiten mit Schulbetrieb und den Ferien.

Die Verläufe der einzelnen Verbrauchsgruppen am 1.7.2016



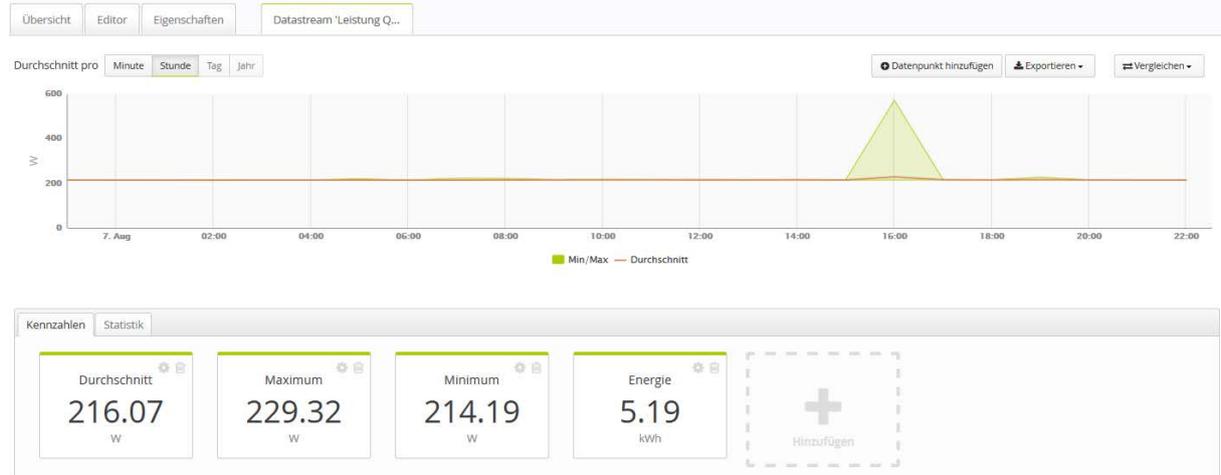
Ca. 390 W Grundlast resultieren aus der Heizzentrale



Ca. 500 W Grundlast resultieren aus der Lüftung

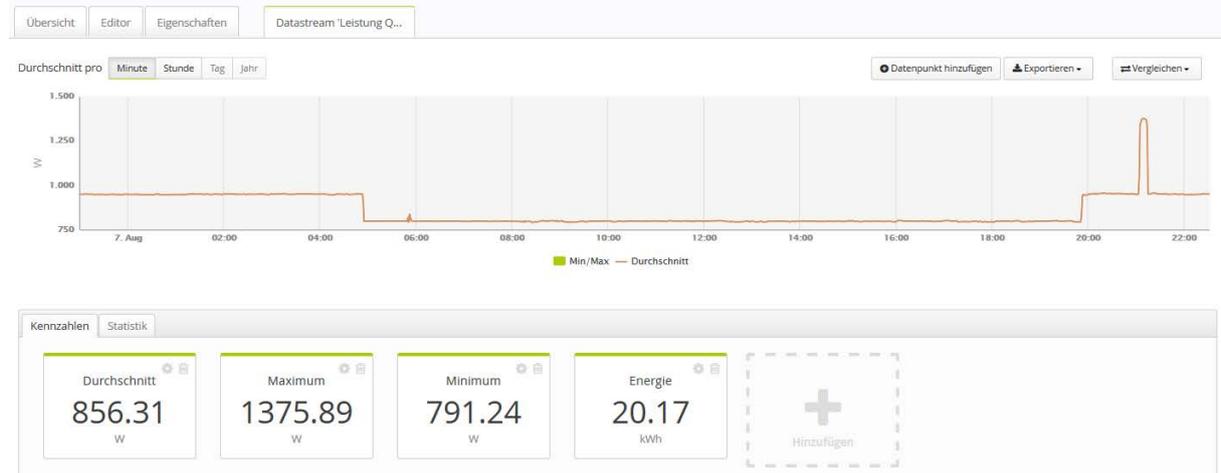
# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Datastream 'Leistung Q5 - Lift Gesamt'



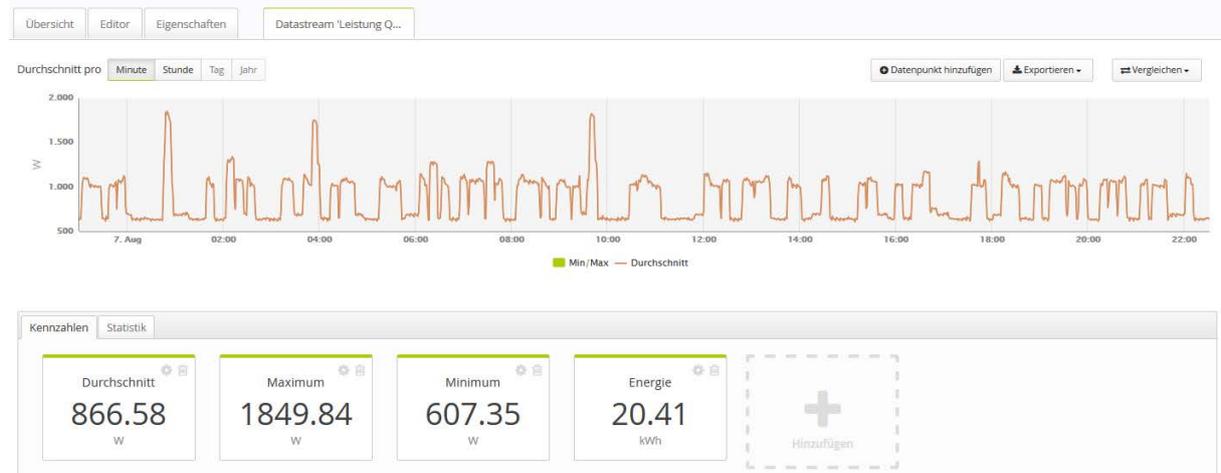
Ca. 200 W Grundlast resultieren aus dem Lift

## Datastream 'Leistung Q7 - Sporttrakt Gesamt'



Ca. 800 W Grundlast resultieren aus dem Sporttrakt

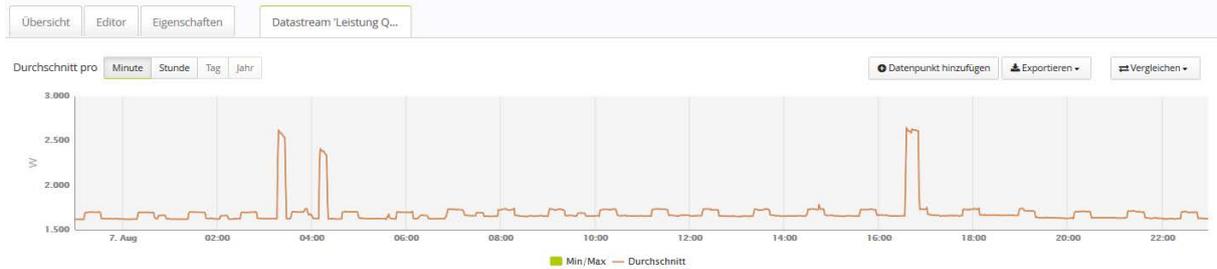
## Datastream 'Leistung Q10 - Aula Gesamt'



Ca. 600 W Grundlast resultieren aus der Aula (mit Notbeleuchtung) und dem Bereich der HausmeisterIn.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

### Datastream 'Leistung Q8 Süd/Ost Gesamt (W)'



Ca. 1.600 W Grundlast resultieren von den Klassenräumen im Süd/Osttrakt mit den Computerräumen

### Datastream 'Leistung Q9 Nord/West Gesamt (W)'

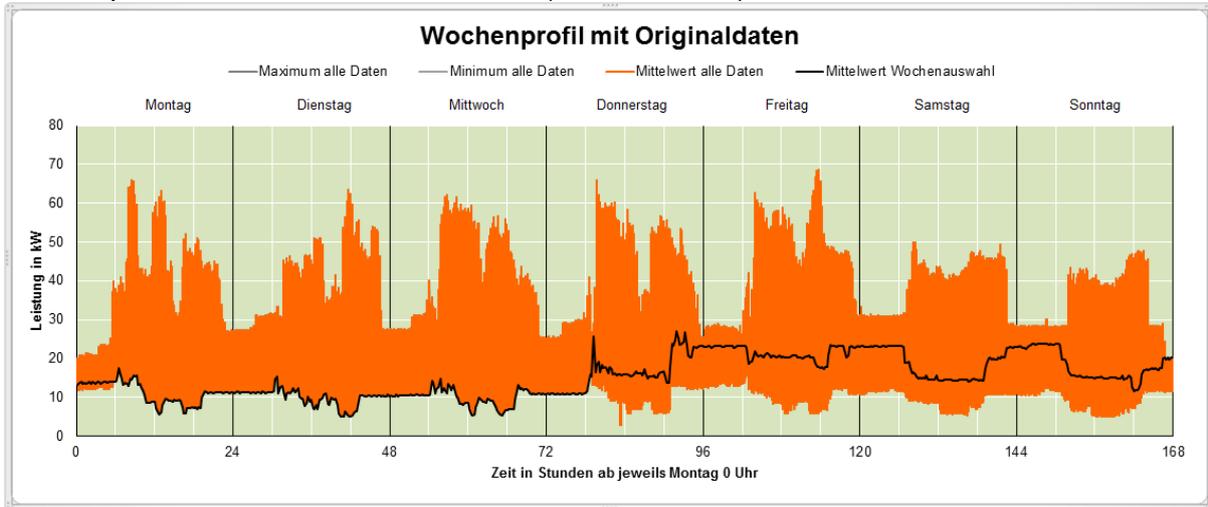


Ca. 600 W Grundlast resultieren von den Klassenräumen im Nord/Westtrakt

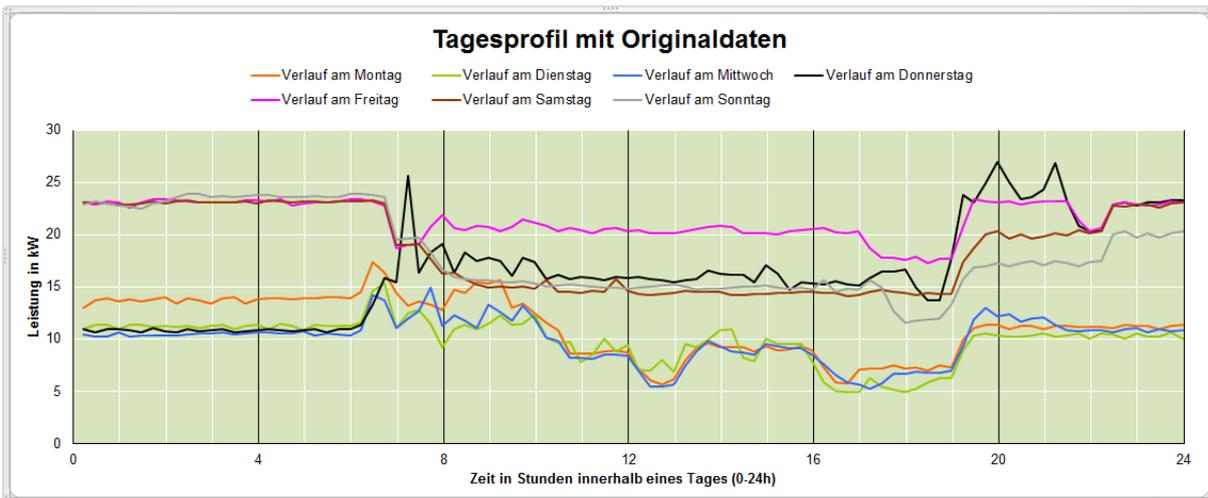
### 5.3.6.2 Vermeidbarer Betrieb von Anlagen in den Ferien

Ein Beispiel für einen sehr hohen Verbrauch außerhalb der Betriebszeit in den Sommerferien zeigt das folgende Beispiel.

Wochenprofil Ferien Sommer: Woche 34 (Sommerferien)



Dieser Wochenverlauf zeigt, dass in dieser Woche zuerst die jährlich niedrigsten Leistungen benötigt wurden und ab Donnerstag die Verbräuche wieder deutlich angestiegen sind.



Die einzelnen Tagesverläufe zeigen dass die Leistung am Tag bis auf 5 kW absinkt in der Nacht jedoch nie unter 10 kW fällt. Die Warmwasserbereitung erfolgt ganzjährig mit dem Heizkessel und hat daher keine wesentliche Auswirkung. Die Schule verfügt aber über 4 zentrale Lüftungsanlagen (Klassenzimmer, Schulküchen, Sporthalle, Garderoben), welche teilweise auch zur aktiven Nachtlüftung verwendet werden bzw. teilweise auch am Tag laufen (z.B. zur Geruchs-beseitigung bei der Intensivreinigung). Zudem ist eine exzessive Außenbeleuchtung mit ca. 3 kW für den erhöhten Leistungsbedarf in der Nacht verantwortlich. Auch für diese Schule sollte die unbedingt nötige Standby Leistung für Notlicht, Server, WW-Bereitung etc. ca. 1,5 bis 2,5 kW betragen. Ein etwas größerer Leistungsbedarf resultiert auch aus der Beleuchtung mit einem BUS-System (KNX/DALI).

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Die Leistungsverläufe einzelner Bereiche in der Zeit vom 1. bis 7. August zeigen die Anteile der einzelnen Bereiche am Sommerverbrauch auf.

Die Bereiche „Allgemein“ und „Klassen“ stehen für ca. 1/3 des 2. Stockes.

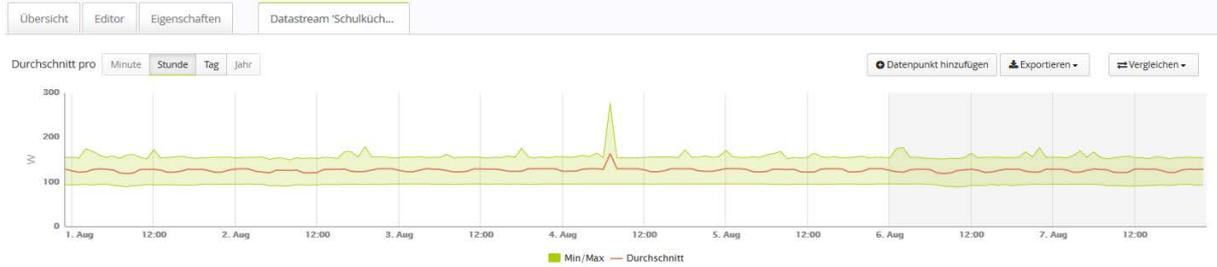


Hochgerechnet auf die 3 Stockwerke ergeben sich ca. 3 kW Grundlast für den Klassenbereich.

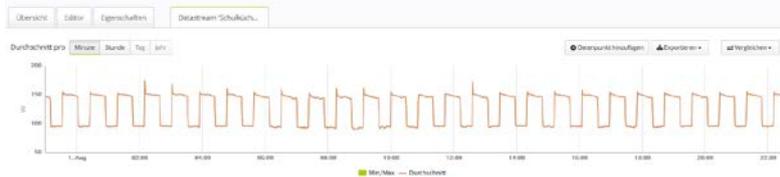


# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Datastream 'Schulküche Leistung (OG2 EDV Unterricht 4B+4C (W) bis 28.12016)'

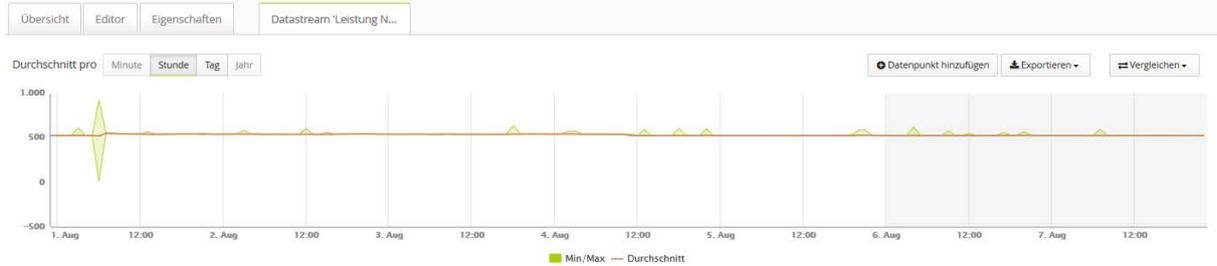


## Datastream 'Schulküche Leistung (OG2 EDV Unterricht 4B+4C (W) bis 28.12016)'



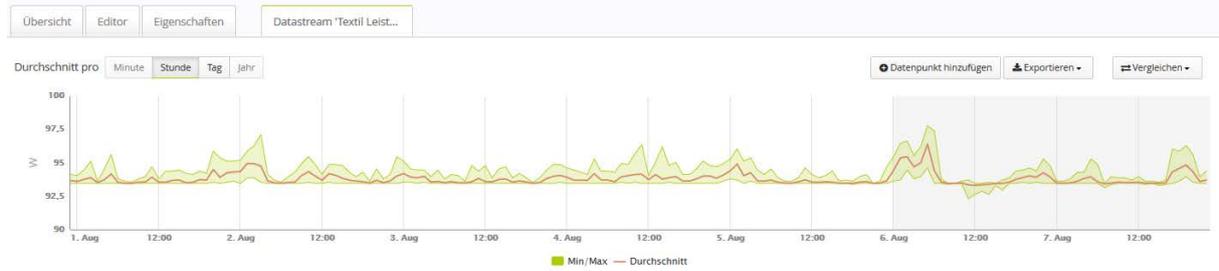
## Kühlschrank in der Schulküche

## Datastream 'Leistung Notlicht (W)'

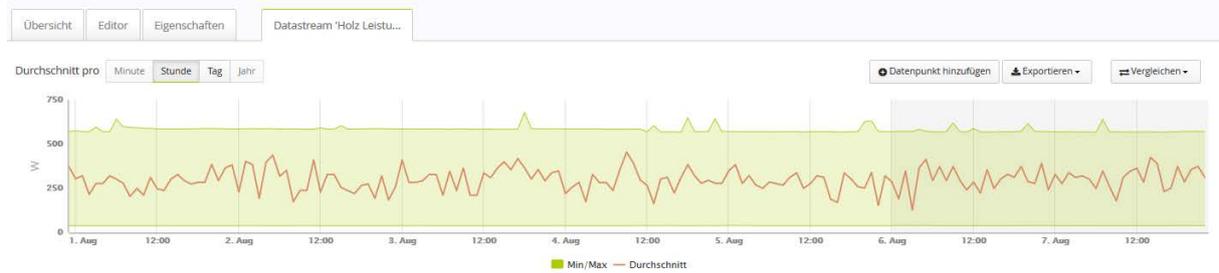


# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

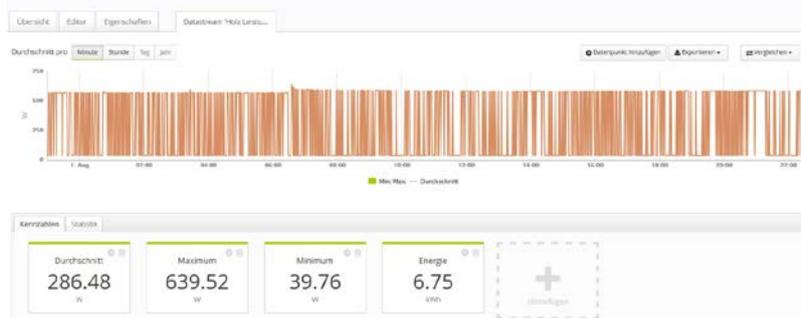
## Datastream 'Textil Leistung (OG1 EDV Gruppenraum 1A+1B (W) bis 28.1.2016)'



## Datastream 'Holz Leistung (OG1 EDV Unterricht 2B + 2C (W) (Werte bis 7.12. falsch) richtig bis :



## Datastream 'Holz Leistung (OG1 EDV Unterricht 2B + 2C (W) (Werte bis 7.12. falsch) richtig bis :



## Luftkompressor

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Datastream 'Leistung NMS Kirchbichl Klassenzimmerlüftung Gesamt (W)'



## Datastream 'Leistung NMS Kirchbichl Klassenzimmerlüftung Gesamt (W)'



Insbesondere die Stromverbräuche der Klassenzimmerlüftung in den Ferien könnte einfach vermieden werden.

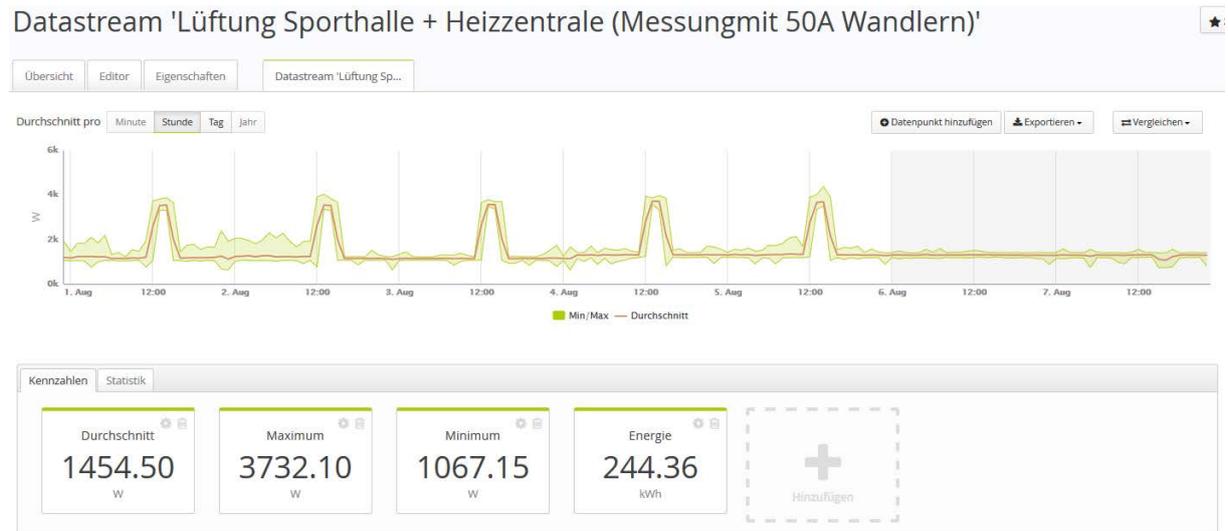
Hinweis: Im Datenstrom Lüftung Sporthalle ist auch die Energie für die Heizzentrale enthalten.

## Datastream 'Lüftung Sporthalle + Heizzentrale (Messung mit 50A Wandlern)'



Man erkennt dass in den Sommerferien die Lüftung der Sporthalle über einen längeren Zeitraum (11. Juli bis 20 August) deutlich reduziert ist.

Wochenverlauf: 1. bis 7. August 2016



Der Wochenverlauf zeigt jedoch den täglichen Betrieb einer Lüftung.



Der Betrieb zwischen 13:00 und 15:00 Uhr war nicht durch eine Nutzung bedingt, sondern ist fix programmiert. Die 750 Watt Grundlast kommen von der Lüftung bzw. der restlichen Haus-technik (WW ganzjährig mit dem Heizkessel).

Resümee: Das Stromsparpotenzial im Sommer durch konsequentes Ausschalten nicht unbedingt benötigter Verbraucher ist in dieser Schule sehr hoch.

### 5.3.6.3 Lastganganalysen als Hilfestellung für Schulen

Mit einer landesweiten Aktion, bei der an allen Schulen deren Lastgangprofil ausgewertet wird, könnte man generell den Fokus auf das Thema Stromsparen legen und auch den Stromverbrauch in den Ferien thematisieren bzw. dafür sensibilisieren. Diese Aktion könnte man zumindest für alle Schulen durchführen, bei denen derzeit schon Lastgänge aufgezeichnet werden, bzw. ohne aufwändige technische Nachrüstung, Lastgänge aufgezeichnet werden könnten. Für Schulen bei denen derzeit eine Lastgangmessung zu aufwändig ist, könnte man spätestens mit der Umrüstung auf Smart Meter eine ähnliche Aktion durchführen.

## 5.4 Aufteilung des Stromverbrauchs

Die Aufteilung des Stromverbrauchs für die einzelnen Bereiche der Schulen wird ebenfalls jeweils als Übersicht und vertieft für einzelne Anwendungen dargestellt.

Die Analyse des Stromverbrauchs einer Schule muss immer individuell auf deren vorhandene Versorgungsstruktur angepasst werden. Diese Versorgungsstrukturen sind in jeder Schule anders und eigentlich nie so angelegt, dass die gewünschten Bereiche so zusammengefasst sind, dass eine einfache Bestimmung des Stromverbrauchs z.B. für die Beleuchtung erfolgen kann. Meist sind diese auf verschiedene Verteilerkästen z.B. pro Stock verteilt. Da mit dem vorhandenen Budget natürlich nicht jeder Abgang bzw. Verbraucher der 10 Schulen vorgenommen werden konnte, werden einzelne Bereiche hochgerechnet bzw. abgeschätzt (z.B. Stromverbrauch für Beleuchtung in einem Stock – hochgerechnet für alle ähnlichen Stockwerke).

Die grundsätzliche Vorgangsweise für die Aufteilung des Stromverbrauchs ist jedoch immer gleich:

1. Messung gesamte Schule (Über Tarifizähler bzw. bei mitversorgten nichtschulischen Bereichen zusätzliche Messung des reinen Schulbereichs)
2. Messung der einzelnen Unterverteiler bzw. Bereiche
3. Messung der verschiedenen Abgänge (Dienstleistungen) in den Unterverteilern
4. Zusammenzählen bzw. Hochrechnen der Verbräuche für gleiche Dienstleistungen (z.B. Beleuchtung)

### 5.4.1 Beispiel für Jahresverlauf und Aufteilung in einer sanierten NMS

Jahresverlauf: Sept 2015 bis Sept 2016

Strom - Aufteilung auf Bereiche	kWh/a	%	kWh/m <sup>2</sup> a	W
Haustechnik gesamt	50 771	33,9%	5,97	
Allgemeiner Schulbetrieb gesamt	81 877	54,6%	11,66	
Sporthalle (inkl. Lüftung, ohne WW)	17 252	11,5%	11,61	
Gesamt	149 900	100,0%	17,62	10

Aufteilung Haustechnik	kWh/a	Wert	kWh/m <sup>2</sup> a	W
Heizung	7 763	15,3%	0,91	
Warmwasser	17 000	33,5%	2,00	
Klassenzimmerlüftung	22 789	44,9%	2,68	
Gebäudekühlung (Nachtkühlung)	1 200	2,4%	0,14	
Lift	2 018	4,0%	0,24	
Sonstige Haustechnik (Brandschutz, Verschattung,...)	in allg. Schulb.			
Gesamt	50 771	100,0%	5,97	10

Jahresverlauf: Sept 2015 bis Sept 2016

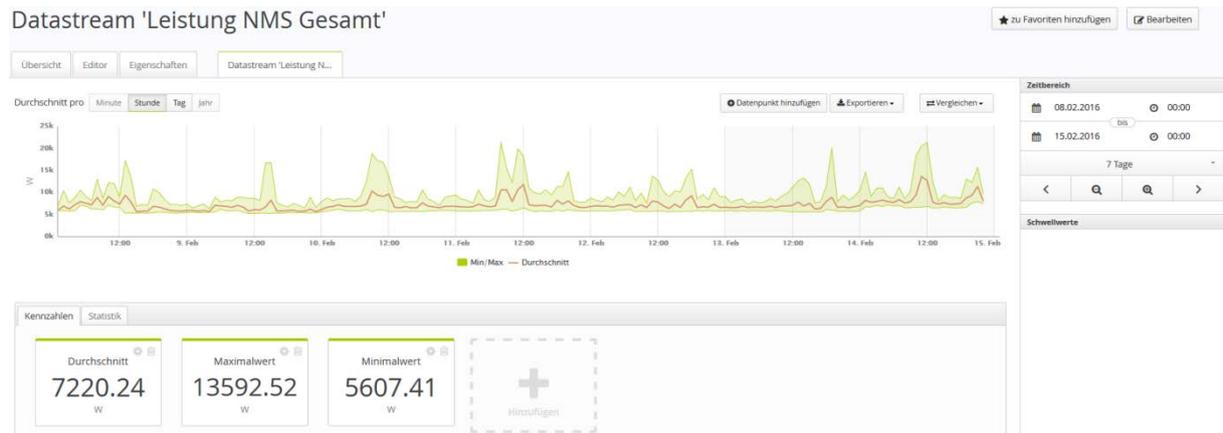


Schulwoche mit Winterbetrieb (WW mit Heizung) 22.2. bis 29.2.2016



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Ferienwoche mit Winterbetrieb (WW mit Heizung) 22.2. bis 29.2.2016



## Schulwoche mit Sommerbetrieb (WW mit Strom) 13. Bis 19.6. 2016

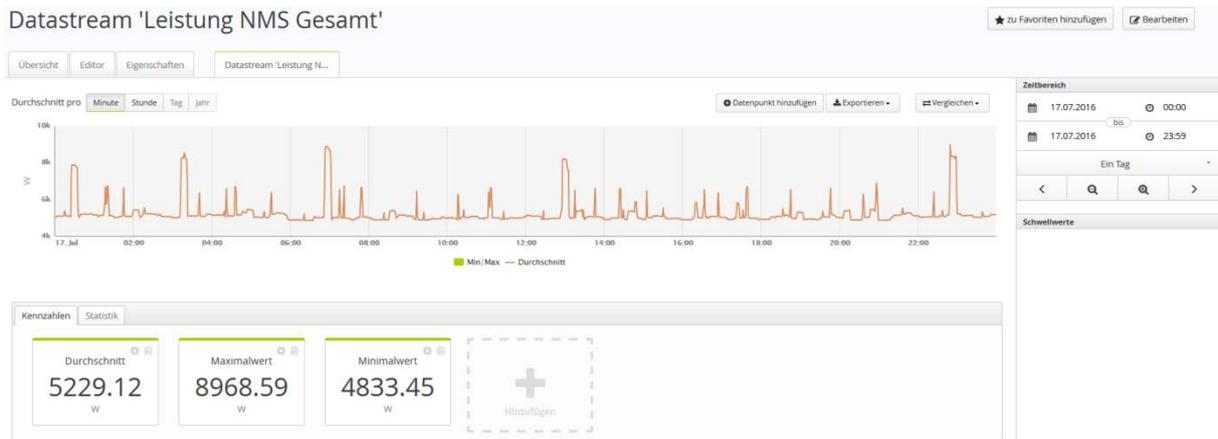


## Ferien mit Sommerbetrieb (WW mit Strom, keine Reinigungsarbeiten) 11. bis 18.7.2016



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Ein Samstag daraus 17.7.2016



Ein Wochentag daraus 13.7.2016



Datastream 'Leistung Q7 - Sporttrakt Gesamt'



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Datastream 'Leistung Q8 Süd/Ost Gesamt (W)'



## Datastream 'Leistung Q9 Nord/West Gesamt (W)'



## Datastream 'Leistung Q10 - Aula Gesamt'



## Datastream 'Leistung Q2 - Lüftung Gesamt'



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Ferien mit Sommerbetrieb (WW mit Strom, mit Reinigungsarbeiten) 1. bis 7.8.2016

### Datastream 'Leistung NMS Gesamt'



### Heizung und WW 1. bis 7.8.2016

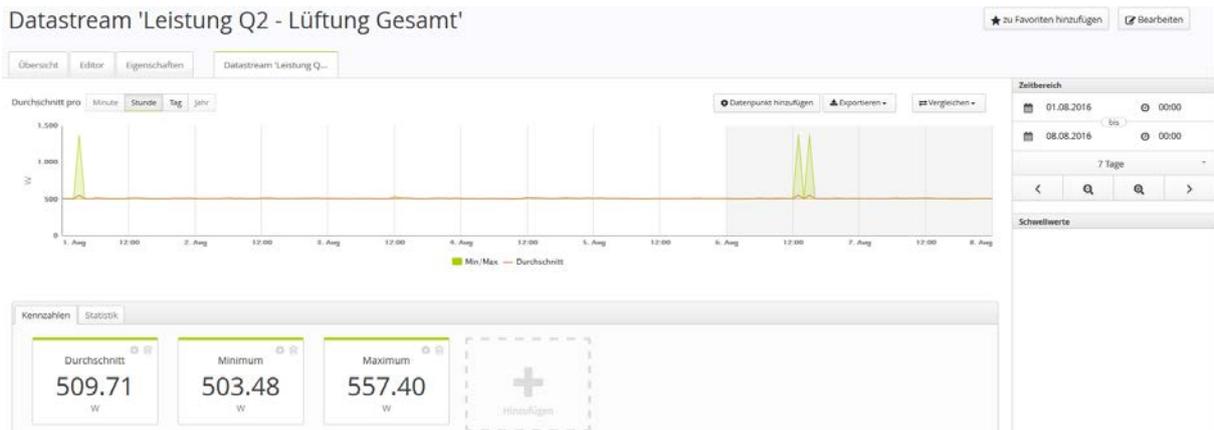
### Datastream 'Leistung Q6 - Heizung Gesamt'



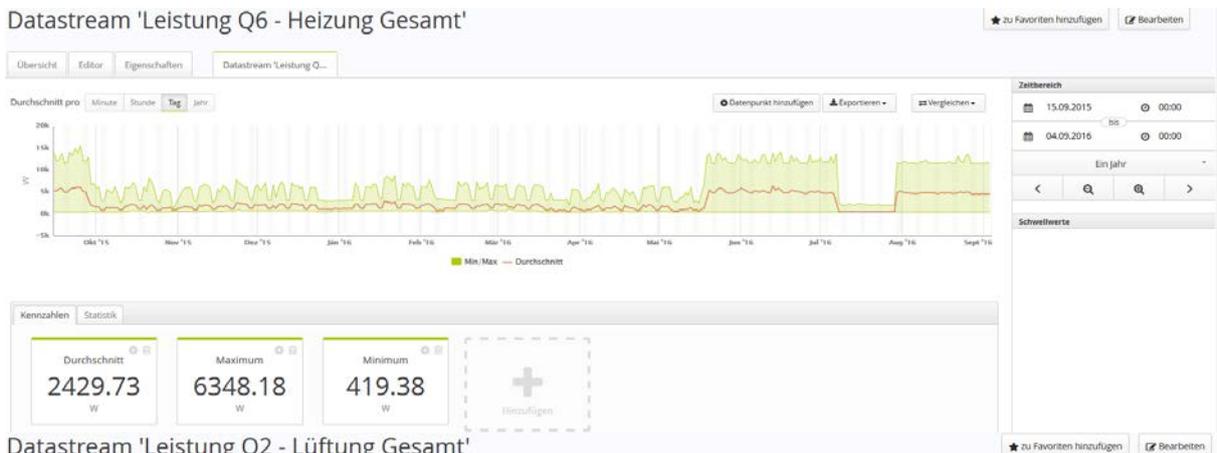
### Datastream 'Leistung Q6 - Heizung Gesamt'



Lüftung 1. bis 7.8.2016



Die Lastgänge der einzelnen Bereiche ergeben folgende Verläufe: Q1 bzw. Q3 und Q4 sind nicht NMS bzw. nicht belegt.



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Datastream 'Leistung Q5 - Lift Gesamt'



## Datastream 'Leistung Q8 Süd/Ost Gesamt (W)'



## Datastream 'Leistung Q9 Nord/West Gesamt (W)'



## Datastream 'Leistung Q10 - Aula Gesamt'



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen



## 5.5 Analyse des Stromverbrauchs für einzelne Bereiche

Die Analyse der einzelnen Stromverbrauchsbereiche erfolgte einerseits aufgrund eines theoretischen Ansatzes und andererseits aus den Erfahrungen der vermessenen Objekte. Ziel ist sowohl die Bandbreite des Stromverbrauchs für diese Bereiche bzw. Dienstleistungen und damit auch das theoretische Einsparpotenzial einzuschätzen zu können als auch die Kennzahlen für den Benchmarkbalken zu generieren.

Der Einsatz von Strom für eine Elektrodirektheizung, eine Wärmepumpe (WP) oder für die Kühlung wird aufgrund der großen Abhängigkeit von der Gebäudequalität, wie im Benchmarkbalken, gesondert behandelt. Da für diese Großverbraucher fast immer ein eigener Subzähler vorhanden ist, macht es auch aus diesem Aspekt Sinn, diese Bereiche von den übrigen typischen Stromverbräuchen in Schulen zu trennen.

Hinweis: Bei der Wärmepumpe ist nur die Wärmezeugung (inkl. Grundwasserpumpe bzw. Solepumpe) gesondert behandelt. Die Wärmeverteilung im Gebäude ist im allgemeinen Benchmarksystem enthalten, da sich dieses nicht von einer Öl-, Gas- oder Pelletsheizung unterscheidet.

Strom für el. Direktheizung, WP bzw. Kühlung (sehr abhängig von der Qualität der Gebäudehülle)

- Elektrodirektheizung, el. Nachtspeicherheizung
- Wärmepumpenheizung
- Kühlung mit Grundwasser

Haustechnik:

- Heizung (Hilfsenergie)
- Warmwasser
- Lüftung
- Heizung mit Öl, Gas, Pellets, Fernwärme
- Sonstige Haustechnik (Lift, Brandschutz, Verschattung, Hebewerke,..)

Schulbetrieb:

- Beleuchtung
- EDV, Multimedia, Kopierer,..
- Kochen, Werken

Direktion, Verwaltung, Reinigung

- Direktion
- Hausmeister
- Reinigung (ohne WW)

Sonstiger Zusatzbetrieb

- Mittagstisch
- Nachmittagsbetreuung

Sporthalle

- Warmwasser (wenn nicht mit Schule)
- Lüftung
- Beleuchtung
- Diverses (Musik, Uhr, Anzeigetafel,..)

Bei der Abschätzung der Stromverbräuche in den Kategorien niedrig, mittel und hoch kommt es durch das Zusammentreffen mehrerer Faktoren wie z.B. ineffiziente Pumpen, hohe Laufzeiten durch eine schlechte Gebäudequalität bzw. die Regelungswahl zu sehr großen Unterschieden in den Stromverbräuchen pro m<sup>2</sup> BGF. Dies ist grundsätzlich gewünscht, um die Bandbreite aufzuzeigen.

### 5.5.1 Elektrodirektheizung

Der spezifische Stromverbrauch kann bei einer Elektrodirektheizung ohne Speicherfunktion mit dem Heizwärmebedarf (HWB) gleichgesetzt werden. Eine Elektrodirektheizung sollte, wenn überhaupt, aus ökologischen Gründen nur bei Gebäuden in Passivhausqualität zum Einsatz kommen.

Einordnung HWB	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Berechnung nach OIB	10	20	40
Berechnung nach PHPP	15	25	50

Die Einordnung des Stromverbrauchs erfolgt bei einer Elektrodirektheizung 1:1 dem HWB nach PHPP und bei einer Nachtspeicherheizung mit einem Verlustzuschlag von 10 % für die Überwärmemengen in den nicht genutzten Zeiten des Gebäudes.

Einordnung HWB	gut	mittel	schlecht
Überwärmung bei Nachtspeichern	10 %	15 %	20 %

Elektrodirektheizung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Gesamtstrom el. Direktheizung	15	25	50
Gesamtstrom el. Nachtspeicherheizung	16,5	29	60

Die Größenordnung des Stromverbrauchs einer Elektrodirektheizung ist auch bei einem Passivhaus meist höher, als der gesamte restliche Stromverbrauch der Schule.

**Einsparmöglichkeiten Elektrodirektheizung:** Die Einsparmöglichkeiten bei einer Elektrodirektheizung bestehen bei einer fixierten Gebäudehülle vor allem in der optimalen Anpassung der Temperatur an die Nutzung. Durch die geringe Trägheit der Stromdirektheizung ohne Speicher kann diese auf solare und interne Wärmen sehr rasch reagieren bzw. kann eine vorausschauende Regelung (interne Wärmen durch die Personen, solare Einstrahlung) umgesetzt werden. Die geringe Auskühlrate eines Passivhauses könnte man zudem dazu nutzen, die Strom-Spitzenlast zu senken, da nicht alle Räume gleichzeitig beheizt werden müssen. Bei Nachtspeicherheizungen ist darauf zu achten, dass die Speicher möglichst wenig Wärme abstrahlen, wenn diese nicht benötigt wird bzw. dass sie den Raum nicht überwärmen. Eine Steuerung, welche die nächtliche Speicherladung von der Außentemperatur bzw. Wetterprognose abhängig macht, hilft zusätzlich die unerwünschte Abstrahlung zu vermindern. Den höheren Verbräuchen der Elektro-Speicherheizung durch die unerwünschte Wärmeabgabe bzw. Überwärmung des Raumes steht die bessere Netzdienlichkeit durch die Speicherfunktion entgegen. Grundsätzlich ist aber eine Wärmepumpe immer einer Elektrodirektheizung vorzuziehen (Falls nicht anders möglich, auch als Außenluftwärmepumpe).

Hinweis: Keine der untersuchten Schulen verfügte über eine Elektrodirektheizung.

### 5.5.2 Wärmepumpenheizung

Bei der Wärmepumpenheizung wird im Folgenden nur der Strom für die Wärmeerzeugung d.h. die Wärmepumpe und die Nebenaggregate der Wärmepumpe (Grundwasserpumpe, Solepumpe etc.) angesetzt. Der Strom für die Wärmeverteilung wird unter der allgemeinen Haustechnik bilanziert bzw. im Benchmarkbaukasten im Bereich Wärmeverteilung berücksichtigt. Ausgehend vom Heizwärmebedarf des Gebäudes nach PHPP wird das Wärmepumpensystem hochgerechnet.

Einordnung HWB	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Berechnung nach OIB	10	20	40
Berechnung nach PHPP	15	25	50

HWB nach PHPP und 20 % Verluste bei der Wärmeverteilung und die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ergeben den Stromverbrauch für die Wärmepumpe pro m<sup>2</sup> BGF (noch ohne Energie für Grundwasser- bzw. Solepumpe. Bei einer Luftwärmepumpe ist die Energie für den Verdampfer enthalten, da diese auch bei der Leistungsprüfung enthalten ist. Als Wärmeabgabesystem ist ein System mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 35° bis 45° C hinterlegt.

Wärmepumpe	gut	mittel	schlecht
Jahresarbeitszahl GW-WP	4,5	4	3,5
Jahresarbeitszahl Sole WP	4,0	3,5	3,0
Jahresarbeitszahl Luft-WP	3	2,5	2

Wärmepumpe	gut	mittel	schlecht
Netto-Wärmeverteilverluste	10 %	15 %	20 %

Für die Hilfsenergie in den drei Kategorien „gut“, „mittel“ und „schlecht“ wurden folgende Werte angesetzt:

- Strom für Grundwasserpumpe: 5, 10 bzw. 15 % des Stroms für die WP (sehr abhängig von der Tiefe des Grundwassers und Pumpentechnologie)
- Strom für Solepumpe: 2, 5 bzw. 8 % des Stroms für die Wärmepumpe (abhängig von Pumpentechnologie bzw. Dimensionierung)
- Strom für Lüfter bei der Außenluftpumpe: ist in der Leistungszahl bzw. Jahresarbeitszahl schon enthalten

Wärmepumpe	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Strom für GW-WP	3,7	7,2	17
Strom für Sole-WP (Sole/W bzw. W/W)	4,1	8,2	20
Strom für Außenluftwärmepumpe	5,5	11,5	30
Strom für Grundwasserpumpe	0,2	0,7	2,6
Strom für Solepumpe	0,1	0,4	1,6
<b>Gesamt</b> (individuell addieren)			

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

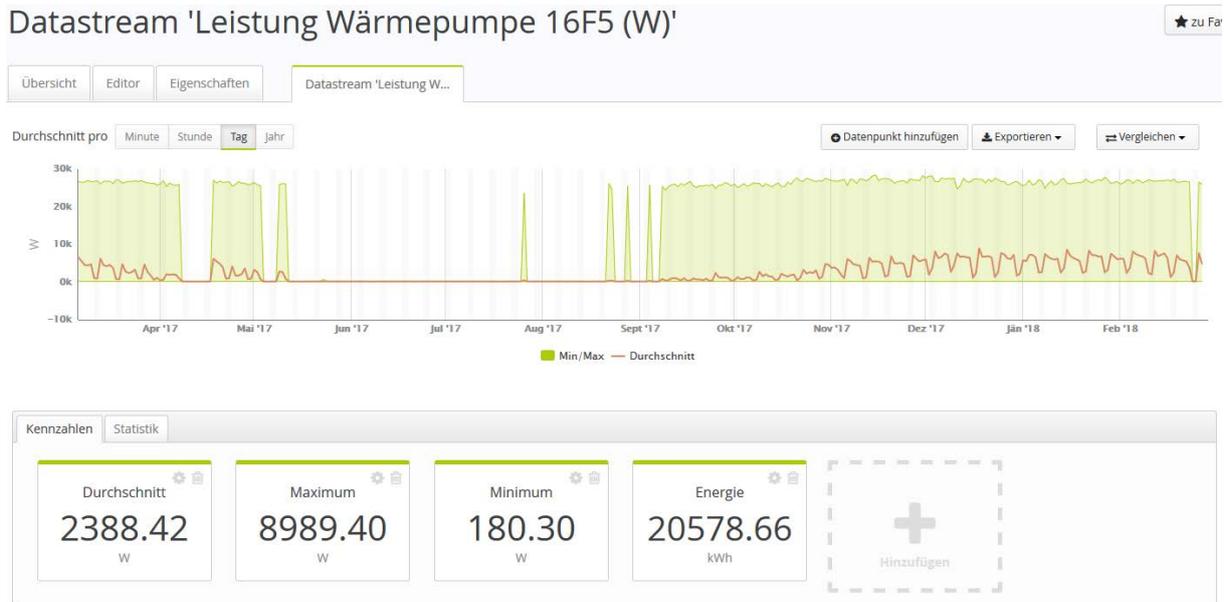
Aus den Zahlenwerten ist ersichtlich, dass insbesondere die Grundwasser- bzw. Solepumpen mit alter Technologie, neben dem Strom für den Verdichter, eine relevante Größenordnung erreicht.

Beispiel: Wärmepumpenheizung, 2-stufig, 36 bzw. 18 kW el. Leistung

Verlauf Wärmepumpe für Heizzwecke (keine WW-Bereitung).

Verlauf über 12 Monate: 6. 3. 2017 bis 28.2. 2018

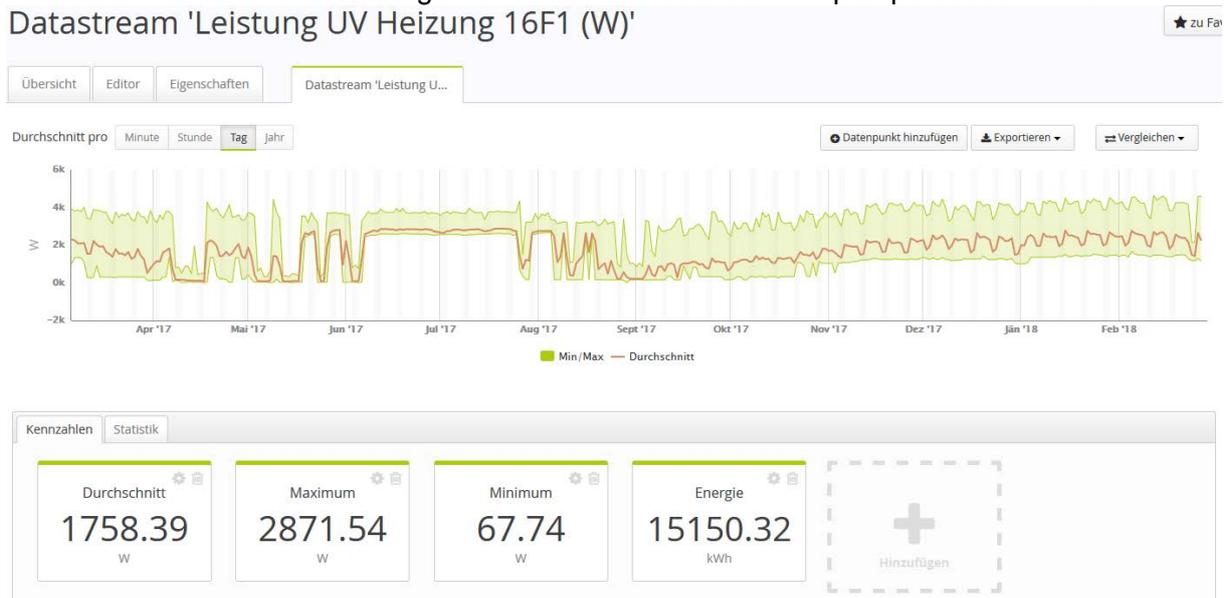
Hinweis: der Strom für die Grundwasserpumpe ist darin nicht enthalten



Erkennbar ist neben der reinen Betriebszeit im Winter (einzelne Anläufe in den Sommerferien sind jedoch nicht geklärt), dass die Wärmepumpe auch im Sommer mit 180 W für einen Teil der Standby-Leistung der Haustechnik verantwortlich ist.

Verlauf über 12 Monate: 6. 3. 2017 bis 28.2. 2017

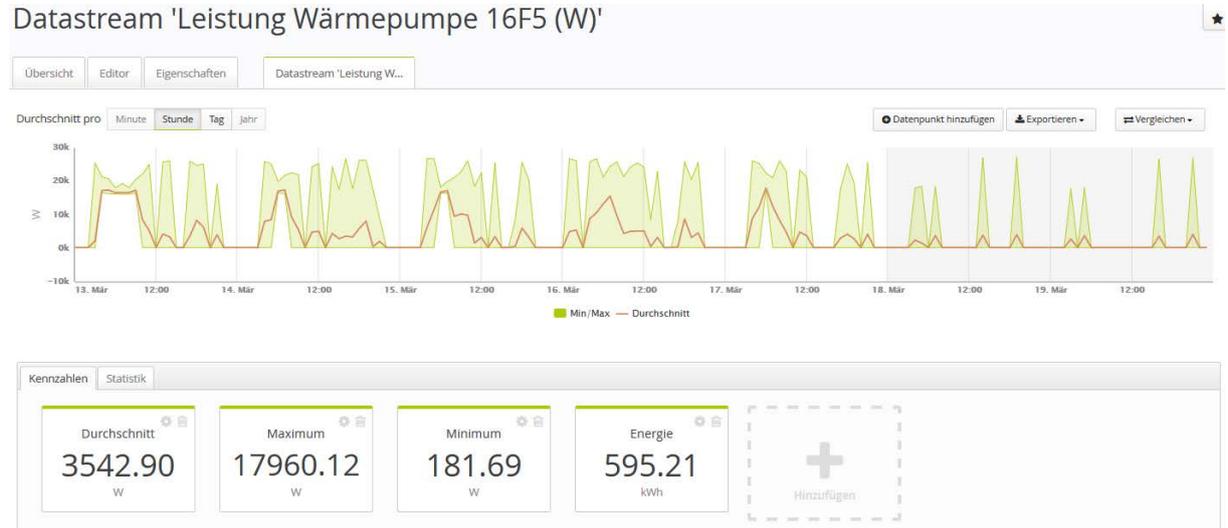
Stromverbrauch des UV Heizung in dem auch die Grundwasserpumpe inkludiert ist.



## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Erkennbar ist, dass der übrige Heizungsbereich inkl. der Grundwasserpumpe, die auch zum Kühlen verwendet wird, inkl. der Wärmeverteilung und den Gasspitzenlastkesseln über denselben Zeitraum einen nur um 25% geringeren Verbrauch als die WP hatte, da die Grundwasserkühlung auch über den Sommer weiter betrieben wurde.

Ein Wochenverlauf im Winter zeigt folgende Verhältnisse: 13. bis 17. 3. 2017



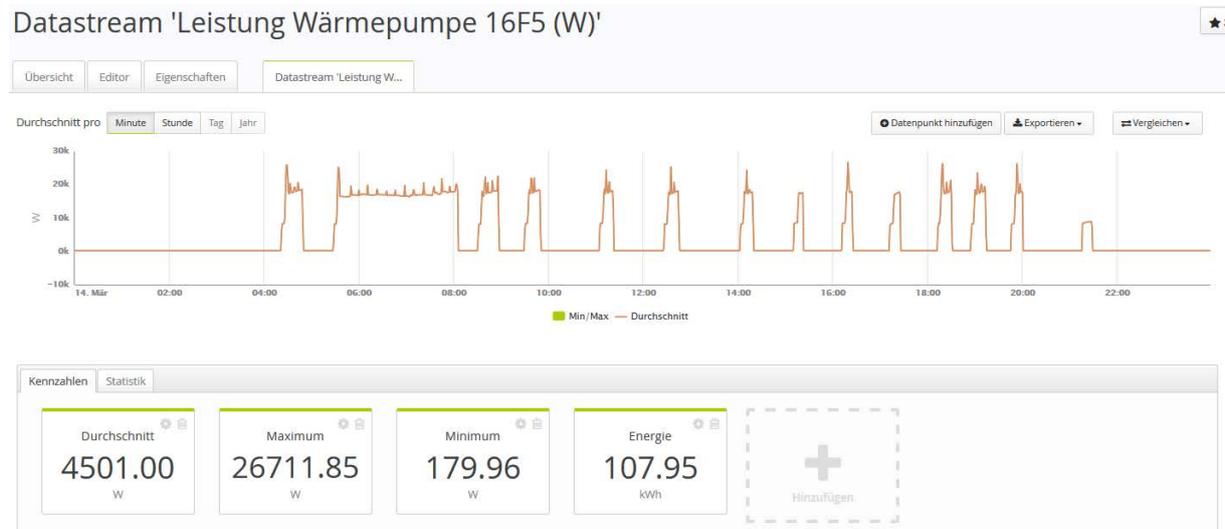
Der dazugehörige Wochenverlauf des Heizungsbereiches sieht für diesen Zeitraum folgendermaßen aus:



Man sieht, dass durch die Grundwasserpumpe die gleichen Lastspitzen wie bei der Wärmepumpe erzeugt werden und, dass der Stromverbrauch für die Wärmepumpe im Heizbetrieb ca. doppelt so hoch ist, wie der des restlichen Heizungsbereiches (Wärmeverteilung, WW-Zirkulation, vier Gasthermen als Kaskade).

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Der Tagesverlauf am Dienstag, den 14. 3. 2017 ergibt folgendes Bild:



Man erkennt gut, das Takten der Wärmepumpe mit ca. 18 kW (Stufe 1).

Der dazugehörige Tagesverlauf des Heizungsbereiches sieht für den 14. 3. 2017 folgendermaßen aus:



Auch hier sieht man gut den Verlauf der Grundwasserwärmepumpe (ca. 1.700 W) und die ca. 1.600 W für die restlichen Verbraucher des Heizungsbereichs. Man erkennt auch, dass, obwohl die Wärmepumpe in der Nacht eigentlich nie läuft, das sonstige Verteilsystem fast mit der gleichen Leistung von ca. 1.500 W durchläuft. Hierin liegt sicher ein wesentliches Sparpotenzial für diesen Verbrauchsbereich. Der Anteil der Grundwasserpumpe am Stromverbrauch der Wärmepumpe beträgt ca. 10 %.

**Einsparmöglichkeiten Wärmepumpenheizung:** Die Einsparmöglichkeiten beim Strombedarf der Wärmepumpe bestehen bei einer fixierten Gebäudequalität vor allem in der Optimierung des Temperaturniveaus auf der Wärmeabgabeseite (Heizkurve, hydraulischer Abgleich), der Auswahl der Wärmepumpe und in einer Optimierung im Bereich der Grundwasser bzw. Solepumpe. Bei Neuanschaffungen sollten drehzahlgeregelte Wärmepumpen bzw. Grundwasserpumpen zum Einsatz kommen, bei denen mit der Leistung der Wärmepumpe auch die Leistung der Grundwasser- bzw. Solepumpen entsprechend mit geregelt werden. Bei Wärmepumpen, die auch für die WW-Bereitung verwendet werden, sollte die Wärmepumpe über eine Heißgasauskopplung für die WW-Bereitung verfügen. Meist ist es jedoch

zweckmäßiger für das WW eine eigene WW-Wärmepumpe zu betreiben. Bezüglich der generellen Vermeidung von zentralen Warmwassersystemen mit Zirkulation wird auf das Kapitel „Warmwasser“ verwiesen. Die Einsparmöglichkeiten bei der Wärmeabgabe werden im Kapitel „Wärmeverteilung“ behandelt.

### 5.5.3 Kühlung (wassergeführte Systeme)

Die Kühlung von Schulen wird vielfach als „Luxus“ bezeichnet. Temperaturen über 25° C vermindern jedoch deutlich die Leistungsfähigkeit von LehrerInnen und SchülerInnen. Eine stromeffiziente Kühlung ist daher nicht von vornherein abzulehnen, wenn die Gebäudehülle keine weitere Reduktion der Kühllast ermöglicht. Insbesondere, wenn ohnehin ein Grundwasser- oder Solekreis für die Wärmepumpenheizung vorhanden ist und die Kühllast so gering ist, dass sie über die normalen Heizflächen (z.B. Fußbodenheizung) eingebracht werden kann (max. 25 Watt/m<sup>2</sup>). Zumindest in einzelnen Räumen (EDV-Räumen) lässt sich auch bei einer optimierten Gebäudehülle eine Überwärmung manchmal nicht vermeiden. Hier sind auch Einzellösungen mit Splitgeräten eine akzeptable Lösung, insbesondere in Kombination mit einer PV Anlage. Die passive Nachtkühlung über Fenster/Klappen ist nur bei entsprechender Berücksichtigung in der grundsätzlichen Gebäudeplanung umsetzbar. Bei einer aktiven Nachtlüftung mit der Klassenzimmerlüftung liegen die Stromverbräuche deutlich über einer Kühllösung mit Grundwasser oder Sole. Eine Nachtkühlung mit der Klassenzimmerlüftung sollte daher nur bei sehr geringen Kühllasten eingesetzt werden, da dies die ineffizienteste Kühlmöglichkeit darstellt. Ein Kühlregister in der Lüftungsanlage ist bei einem vorhandenen Sole- oder Grundwasserkreis immer vorteilhaft, da hier die Kühlenergie mit der ohnehin hygienisch notwendigen Luftmenge eingebracht werden kann. Eine Kühlung bzw. Entfeuchtung in der Lüftungsanlage erfordert aufgrund des Kondensatausfalls aber eine erhöhte Aufmerksamkeit bezüglich der Hygiene. Die Lüftungsanlage sollte immer nach dem hygienischen Lüftungsbedarf und nicht nach der Kühlleistung betrieben werden. In Kombination mit einer PV-Anlage ist auch eine Kältemaschine bzw. eine reversibel arbeitende Luft-Wärmepumpe eine ökologisch akzeptable Kühlvariante, wenn Grundwasser bzw. Sole nicht zur Verfügung stehen. Bei einer Kühlung über die Wärmeabgabeflächen (z.B. Fußbodenheizung) ist jedoch zu beachten, dass es zu keiner Kondensation an den Oberflächen bzw. im Bauteilinneren kommt. Zu beachten ist auch, dass durch eine Flächenkühlung die Bildung eines feuchtschwülen Raumklimas gefördert wird. Um dies gesichert zu verhindern, müsste die Frischluft auch entfeuchtet werden, was durch das Kühlregister in der Lüftungsanlage möglich ist. Dies bedeutet letztendlich eine Vollklimatisierung des Schulgebäudes, welche aus Lernaspekten zwar wünschenswert wäre, aber derzeit meist den Rahmen der Investitions- und der Betriebskosten sprengt. Langfristig wird man sich diesem Thema aber nicht ganz verschließen können. Besonders, wenn durch den Klimawandel während der Schulzeit vermehrt längere Hitzeperioden eintreten.

Ausgehend vom außeninduzierten Kühlbedarf nach OIB (Achtung bezogen auf m<sup>3</sup>) bzw. den Nutzkältebedarf pro m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> nach PHPP (bezogen auf BGF umgerechnet aus NF) wird der Stromverbrauch für die einzelnen Kühlvarianten für den Benchmarkbaukasten ermittelt. Der Stromverbrauch für die Kälteverteilung wird bei der Kühlung direkt berücksichtigt, da diese nur bei gekühlten Gebäuden anfällt. Eine Nachtkühlung mit der Klassenzimmerlüftung wird bei der Lüftung berücksichtigt.

Einordnung Kühlenergiebedarf	kWh/m <sup>3</sup>	kWh/m <sup>3</sup>	kWh/m <sup>3</sup>
Außeninduzierte Kühlbedarf nach OIB	0	0,5	1

Einordnung Kühlenergiebedarf	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Berechnung nach PHPP	5	10	15

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Bei der Einordnung des Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) ist die Grundwasserwärmepumpe nicht angeführt, da davon ausgegangen wird, dass bei Grundwassernutzung die Wärmepumpe zu Kühlzwecken nicht läuft, sondern die Kühlung direkt über das Grundwasser erfolgt.

Einordnung SEER WP	gut	mittel	schlecht
SEER WW WP	---	---	---
SEER Sole WP	3,5	3	2,5
SEER Luft-WP	2,5	2,0	1,5

Für den Stromverbrauch der Pumpen in den drei Kategorien „gut“, „mittel“ und „schlecht“ wurden folgende Werte angesetzt:

- Grundwasserpumpe:  $W/m^2_{BGF}$
- Solepumpe: % der gelieferten Kälte
- Luftwärmepumpe: in SEER enthalten
- Kälteverteilung:  $W/m^2$  pro 10 W Kühlleistung
- Kühlregister Lüftung:  $W/m^2_{BGF}$

Spez. Leistungen	gut	mittel	schlecht
Strom für Grundwasserpumpe	0,20	0,40	0,80
Strom für Solepumpe	2 %	5 %	8 %
Strom für Ventilator Verdampfer	0 %	0 %	0 %
Strom für Kälteverteilung - Leistung	0,2	0,4	0,6
Strom für Kühlregister Lüftung	0,02	0,05	0,08

Nur für Schulzeitraum:

Kühlung - Stunden	gut	mittel	schlecht
Vollaststunden	400	700	1000

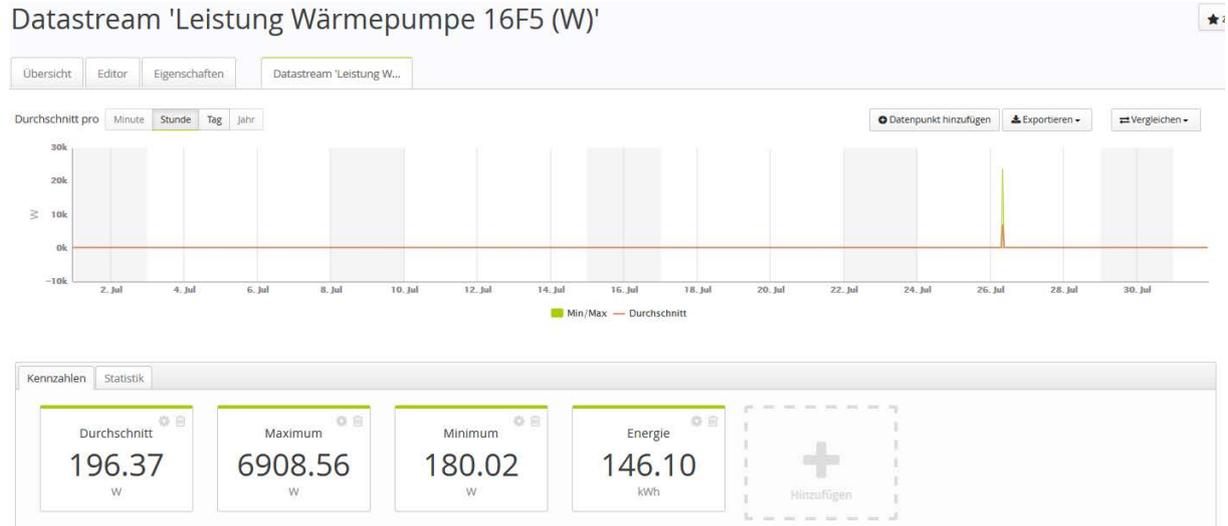
Stromverbrauch für Kühlung	$kWh/m^2$ BGF	$kWh/m^2$ BGF	$kWh/m^2$ BGF
Kühlung mit Grundwasser (nur GWP)	0,12	0,35	0,8
Strom für Solepumpe der WP (bzw. passive Kühlung)	0,03	0,17	0,48
Kühlung mit Kältemaschine der Sole WP	1,4	3,3	6,0
Strom für rev. Außenluftwärmepumpe	2	5	10
Strom für Kälteverteilung (z.B. FBH)	0,08	0,28	0,60
Strom für Kühlregister Lüftung	0,008	0,035	0,08

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Die Größenordnung des jährlichen Stromverbrauchs pro m<sup>2</sup> BGF für die Kühlung ist bei optimierten Schulgebäuden und optimierten Kühlanlagen mit Grundwasser oder Sole im Verhältnis zum sonstigen Stromverbrauch überraschend gering. Dies ist vor allem durch die normalerweise geringe Laufzeit der Kühlung bedingt (200 bis 1.000 Std.).

**Beispiel:** Grundwasserkühlung mit der Grundwasserpumpe der Wärmepumpe

Wärmepumpe: 1. bis 31. 7. 2017



Es ist erkennbar, dass die Wärmepumpe nur am 26. 7. 2017 kurz angelaufen ist (Grund nicht nachvollziehbar) und sonst in Bereitschaft stand (180 W).

26. 7. 2017



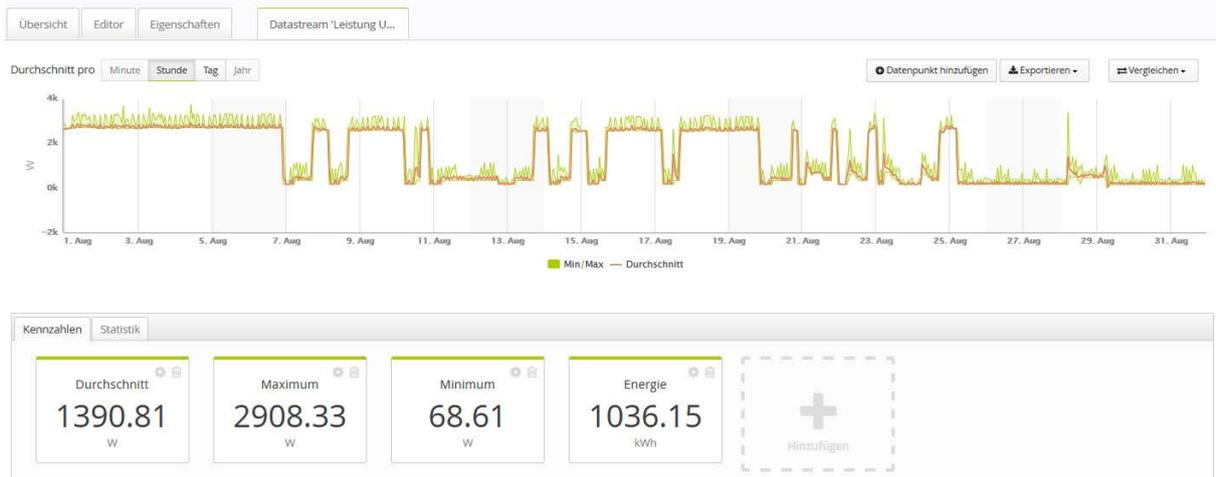
UV Heizung inkl. Grundwasserpumpe: 1. bis 31. 7. 2017

Datastream 'Leistung UV Heizung 16F1 (W)'



UV Heizung inkl. Grundwasserpumpe: 1. bis 31. August 2017

Datastream 'Leistung UV Heizung 16F1 (W)'



Es ist erkennbar, dass die Grundwasserkühlung die gesamten Ferien durchlief. Der Stromverbrauch von beinahe 3.000 kWh bedeutet, bezogen auf den spezifischen Jahresstromverbrauch von 0,6 kWh/m<sup>2</sup>, 1,3 % des Jahresverbrauchs. Dieser könnte durch Abschalten der Kühlfunktion in den Ferien zum Großteil vermieden werden. Das bedeutet aber eventuell schlechte (bis unzumutbare) Arbeitsbedingungen für das Reinigungspersonal.

**Einsparmöglichkeiten wassergeführte Kühlung:** Die bisher oft einseitige Optimierung der Gebäudehülle hinsichtlich des Heizwärmebedarfs muss um die Kühlenergie bzw. Sommer-tauglichkeit erweitert werden.

- Die Kühlung ist durch die Optimierung der Gebäudehülle zu minimieren.
- Ideale Unterrichtsräume haben die Fensterfronten nach Norden (Belichtung und Überwärmung).
- Statische Verschattungen sind mechanischen Verschattungen vorzuziehen.

Die mit der Kühlung zu erreichende Temperatur in den Klassenräumen sollte ca. 25° C betragen, da darüber mit deutlichen Einbußen bei der Leistungsfähigkeit gerechnet werden muss. Unter 24° C sollte man die Räume aber aus Effizienzgründen nicht abkühlen. Beim Erreichen der Solltemperatur sollten, wie im Heizbetrieb, möglichst auch die Pumpen der

Kälteverteilung abgeschaltet werden. Ein Betrieb in den Ferienzeiten sollte natürlich vermieden werden. An Samstagen und Sonntagen ist aufgrund der beschränkten Kühlleistung ein durchlaufen der Kühlung jedoch meist notwendig bzw. sinnvoll. Eine Optimierung der Grundwasserpumpe, insbesondere wenn sie sowohl für die Wärmepumpe als auch die Kühlung verwendet wird, ist aufgrund der hohen gemeinsamen Laufzeiten für den Sommer- und Winterbetrieb besonders wichtig.

#### 5.5.4 Wärmeerzeugung mit Öl, Gas, Pellets, Fernwärme

In diesem Kapitel über Wärmeerzeugung sind nur die Hilfsenergieverbräuche für die Wärmeerzeugung angesetzt. Die Wärmeverteilung wird im nächsten Kapitel behandelt. Ausgehend vom Heizwärmebedarf des Gebäudes wird der Strombedarf über den anteiligen Stromverbrauch des Heizkessels (Gebläse, Pelletsaustragung etc.) an der Wärmeerzeugung ermittelt.

Einordnung HWB	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Berechnung nach OIB	10	20	40
Berechnung nach PHPP	15	25	50

Unter Einrechnung von 20 % Verteilverlusten ergeben sich für die Heizung folgende zu erzeugende Wärmemengen

Zu erzeugende Wärmemenge	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Wärmeerzeugung	18	30	60

Hinweis: der anteilige Stromverbrauch von modulierenden Gaskesseln mit einem Gebläsebrenner mit Drosselregelung ist höher als bei einem Gaskessel ohne Modulation (Siehe Grafik bei den Einsparungen). Die Werte wurden aus Herstellerangaben bzw. den installierten Heizkesseln abgeleitet.

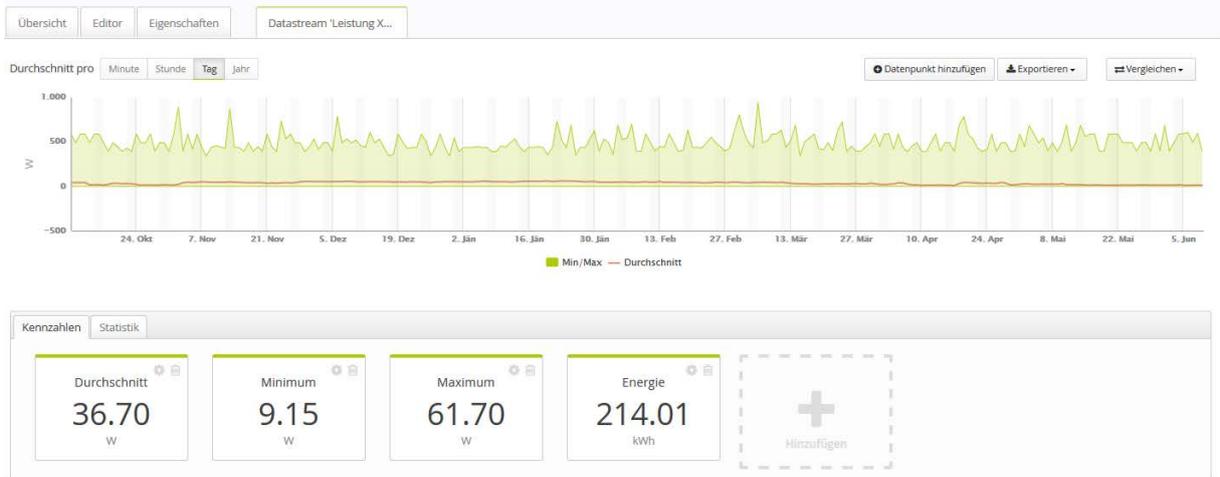
Strom Heizung – % der Kesselleistung	%	%	%
Fernwärme (nur Regelung)	0,0	0,0	0,0
Gaskessel nicht modulierend	0,1	0,15	0,2
Gaskessel modulierend	0,1	0,3	0,6
Ölkessel	0,1	0,15	0,2
Biomassekessel (Pellets, HS)	0,1	0,5	1

Daraus ergibt sich dann für den Benchmarkbaukasten folgende Einordnung für den spezifischen Verbrauch pro m<sup>2</sup> BGF.

Strom Heizung - Wärmeerzeugung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Fernwärme (nur Regelung)	0,0	0,0	0,0
Gaskessel nicht modulierend	0,02	0,05	0,1
Gaskessel modulierend	0,02	0,09	0,3
Ölkessel	0,02	0,05	0,1
Biomassekessel (Pellets, HS)	0,02	0,15	0,4

## Beispiel Gaskessel:

Gaskessel: 10. 10. 2016 bis 10. 6. 2017  
Datastream 'Leistung X1.4 Gaskessel (W)'



Bezogen auf die Gesamtfläche der Schule entspricht dies einem Stromverbrauch von 0,05 kWh/m<sup>2</sup> BGF

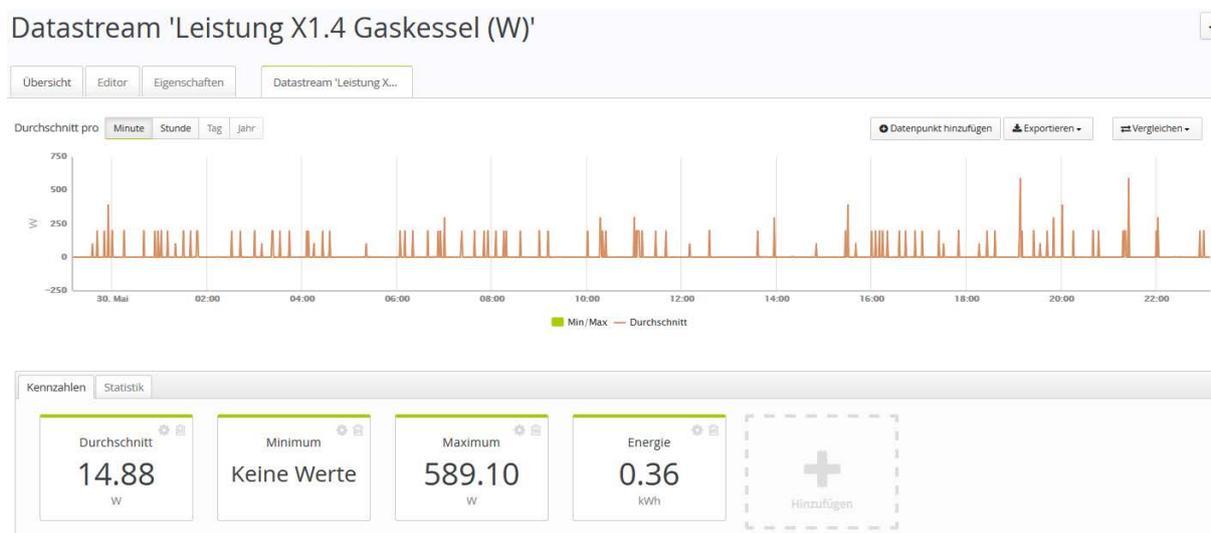
## Monatsverlauf: Februar 2016



### Tagesverlauf Winterbetrieb: 1. 2. 2017



### Tagesverlauf Standby: 30. 5. 2017

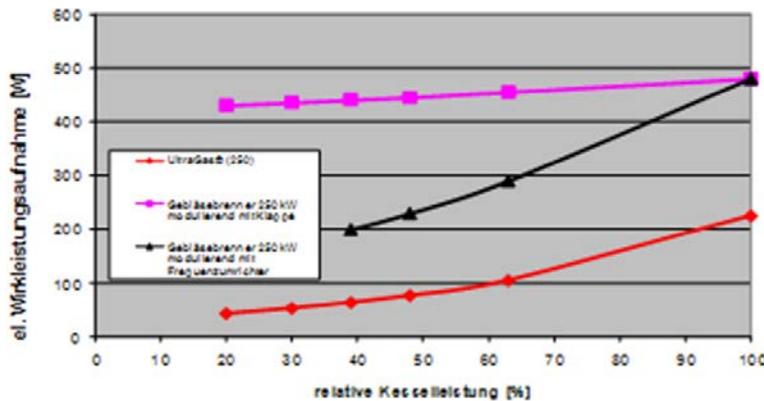


Obwohl die WW-Bereitung schon auf Strom umgestellt wurde, ist der Heizkessel immer noch in Bereitschaft geschaltet.

**Einsparmöglichkeiten bei der Wärmeerzeugung:** Bei bestehenden Wärmeerzeugern ist außer einer konsequenten Anpassung des Betriebs an die Heizperiode keine Einsparmöglichkeit vorhanden. Bei Ersatzinvestitionen ist aber auch bei Heizkesseln auf den Stromverbrauch zu achten. Die Bandbreite des Hilfsenergiebedarfes z.B. bei Biomassekesseln reicht von 0,1 bis 0,9 % der Wärmeerzeugung. D.h. auch bei Wärmeerzeugern sollte der Hilfsenergie deutlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden als bisher. Eine gute Vergleichsmöglichkeit für Biomassekessel stellt die GET Datenbank des Landes Salzburg dar.

Die Stromverbräuche von Gas- und Ölkesseln sind nicht so leicht vergleichbar, da diese nicht in der GET Datenbank enthalten sind. Bei Ölkesseln ist der Stromverbrauch mit ca. 0,2 % auch bei neuen Kesseln in etwa gleich hoch wie bei Bestandskesseln, da die Hersteller aufgrund der auslaufenden Technologie meist keine neuen Entwicklungen mehr in ihre Produkte einarbeiten und daher die Ventilator-technologie meist noch die selbe wie bei Bestandskesseln ist.

Bei Gaskesseln gibt es deutliche Unterschiede. Das folgende Diagramm zeigt die Stromverbräuche eines Gaskessels über den Leistungsbereich bei unterschiedlicher Ventilator-technik.



Beispiel: Kessel mit 220 kW

**Magenta:** Gebläsebrenner mit Drossel - Strom ca. 0,2 % der Wärmeleistung bei Volllast und 1 % bei 20 % Teillast. Das ergibt einen Schnitt von ca. 0,6 %.

**Schwarz:** Gebläsebrenner mit Frequenzumformer- keine typische Technik mehr

**Rot:** Moderner Kessel mit effizienter Ventilator-technik – ca. 0,1 % über den gesamten Leistungsbereich

### 5.5.5 Heizung - Wärmeverteilung

Bei der Wärmeverteilung sind vor allem die Stromverbräuche der Pumpen für den Gesamtstromverbrauch ausschlaggebend. Umschaltventile, Mischermotoren etc. werden bei dieser Betrachtung unter den Pumpen subsumiert.

Angesetzte Werte in den drei Stromverbrauchskategorien „niedrig“, „mittel“ und hoch“:

- Alles bzw. vorwiegend Hocheffizienzpumpen, Abschaltung in der Nacht
- Gemischte Pumpenstruktur, durchlaufender Betrieb
- Vorwiegend Altbestand mit Standardpumpen (3 Stufen), durchlaufender Betrieb

Die Art des Wärmeabgabesystems (Flächenheizung oder Radiatoren) ist eher von untergeordneter Bedeutung, da in Schulen meist Radiatoren bzw. Mischsysteme zum Einsatz kommen. Würde man das Wärmeabgabesystem ebenfalls noch berücksichtigen, müsste man für die Flächenheizung gegenüber den Radiatoren einen Aufschlag ansetzen. Auf diese Unterscheidung wurde jedoch verzichtet.

Die spezifischen Werte für die Leistung pro m<sup>2</sup> BGF und die Laufzeit (Volllaststunden) wurde anhand der vermessenen Schulen abgeleitet.

Heizung - Wärmeverteilung	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Wärmeverteilung	0,2	0,4	0,6

Für den spezifische Energieverbrauch ist die durchschnittliche Laufzeit der Pumpen verantwortlich, die einerseits von der Gebäudequalität und andererseits von der Regelstrategie (Pumpen laufen nur bei Wärmeanforderung, Sperre von gewissen Zeiten) abhängt.

Laufzeit Pumpen (Volllaststunden)	1000	2000	4000
-----------------------------------	------	------	------

Daraus ergibt sich für den Benchmarkbaukasten folgende Einordnung für den spezifischen Verbrauch.

Heizung - Wärmeverteilung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Stromverbrauch Wärmeverteilung	0,2	0,8	2,4

Werte aus den 10 Schulen: Die Bandbreite der installierten bzw. gemessenen spezifischen Leistungen bei den Heizpumpen lag zwischen 0,12 W/m<sup>2</sup>BGF (Passivhausschule mit Hocheffizienzpumpen) und 2,05 W/m<sup>2</sup>BGF (sanierte Schule, jedoch unsanierte Heizungsanlage bzw. Pumpenstruktur).

### Beispiel 1: Gemischte Struktur an Umwälzpumpen



Abbildung 5.4: Beispiel für Gasheizung mit gemischter Pumpenstruktur

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Leistungen und Hochrechnung der Stromverbräuche von Pumpen im Winterbetrieb für Tage mit und ohne Schulbetrieb.

		Tage mit Heizbetrieb: Tage mit Schulbetrieb				Schulfreie Tage (Sa. So) 17.12.2016				Ferientag (z.B. 26.12.2016)			
Nr.	Bezeichnung Bereich	max. Leistung W	min. Leistung W	Schnitt W	Verbrauch kWh	max. Leistung W	min. Leistung W	Schnitt W	Verbrauch kWh	max. Leistung W	min. Leistung W	Schnitt W	Verbrauch kWh
1	Gaskessel	253	0	52	1	343	0	41	1				
2	Kesselpumpen	674	277	313	8	580	254	315	8				
3	Zubringerpumpe Bestand	355	46	72	2	450	43	68	2				
4	UWP Boilerladung Direktion	391	0	11	0	491	0	16	0				
6	Zirkulationspumpe WW HM	389	0	10	0	585	0	16	0				
7	UWP Boilerladung Schule	333	27	40	1	406	0	18	0				
8	UWP Lüftung Küche	406	0	35	1	445	0	42	1				
9	Zirkulation WW Schule	72	72	72	2	0	0	0	0				
12	UWP Nord 1	107	107	107	3	109	106	107	3				
13	UWP Nord 2	105	100	102	2	106	101	103	2				
14	UWP Süd 1	150	145	147	4	150	145	148	4				
15	UWP Süd 2	7	7	7	0	7	7	7	0				
16	UWP Sonderklassen	162	156	158	4	164	157	160	4				
17	UWP Gymnastik Turnsaal	37	37	37	1	37	37	37	1				
18	UWP Aula	21	21	21	1	21	21	21	1				
19	UWP Pausenraum	155	13	132	3	154	13	38	1				
20	UWP Klassen Neu	47	47	47	1	47	47	47	1				
21	UWP Direktion	45	45	45	1	45	45	45	1				
22	Sicherung 230V (Regelung)	78	78	78	2	78	78	78	2				
<b>UV Heizung Gesamt</b>		<b>3983</b>	<b>1178</b>	<b>1495</b>	<b>36</b>	<b>4609</b>	<b>1054</b>	<b>1321</b>	<b>32</b>				

		Tage mit Heizbetrieb: Tage mit Schulbetrieb				Tag mit Schulbetrieb: z.B. 10.1.2017				Summe Strombedarf:			
Nr.	Bezeichnung Bereich	max. Leistung W	min. Leistung W	Schnitt W	Vollaststunden Std.	max. Leistung W	min. Leistung W	Schnitt W	Vollaststunden Std.	Schulfrei kWh	Schulbetrieb kWh	Gesamt kWh	Anteil % %
1	Gaskessel	436	0	52	2,9	436	0	52	2,9	100	180	280	3,7%
2	Kesselpumpen	755	258	312	9,9	755	258	312	9,9	601	1 078	1 679	22,3%
3	Zubringerpumpe Bestand	440	42	70	3,8	440	42	70	3,8	138	242	380	5,1%
4	UWP Boilerladung Direktion	391	0	12	0,7	391	0	12	0,7	21	41	63	0,8%
6	Zirkulationspumpe WW HM	391	0	16	1,0	391	0	16	1,0	19	55	74	1,0%
7	UWP Boilerladung Schule	431	26	38	2,1	431	26	38	2,1	77	131	208	2,8%
8	UWP Lüftung Küche	609	0	25	1,0	609	0	25	1,0	67	86	154	2,0%
9	Zirkulation WW Schule	72	72	72	24,0	72	72	72	24,0	138	249	387	5,1%
12	UWP Nord 1	107	103	105	23,6	107	103	105	23,6	205	363	568	7,6%
13	UWP Nord 2	193	100	101	12,6	193	100	101	12,6	196	349	545	7,2%
14	UWP Süd 1	147	140	144	23,5	147	140	144	23,5	282	498	780	10,4%
15	UWP Süd 2	7	0	1	3,4	7	0	1	3,4	13	3	17	0,2%
16	UWP Sonderklassen	160	0	23	3,5	160	0	23	3,5	303	79	383	5,1%
17	UWP Gymnastik Turnsaal	37	37	37	24,0	37	37	37	24,0	71	128	199	2,6%
18	UWP Aula	21	21	21	24,0	21	21	21	24,0	40	73	113	1,5%
19	UWP Pausenraum	154	13	137	21,4	154	13	137	21,4	253	473	727	9,7%
20	UWP Klassen Neu	45	45	45	24,0	45	45	45	24,0	90	156	246	3,3%
21	UWP Direktion	44	44	44	24,0	44	44	44	24,0	86	152	238	3,2%
22	Sicherung 230V (Regelung)	78	78	78	24,0	78	78	78	24,0	150	270	419	5,6%
<b>UV Heizung Gesamt</b>		<b>4909</b>	<b>979</b>	<b>1345</b>	<b>6,6</b>	<b>4909</b>	<b>979</b>	<b>1345</b>	<b>6,6</b>	<b>2 870</b>	<b>4 648</b>	<b>7 519</b>	<b>100,0%</b>
		<b>Energieverbrauch Gesamt:</b>				<b>2 870</b>	<b>4 648</b>	<b>7 519</b>	<b>100%</b>				

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Verlauf der Gesamtleistung Heizung an einem Schultag mit Heizbetrieb: Mittwoch 1. 2. 2017



Bei einem sehr gut gedämmten Gebäude, wie es diese sanierte Schule darstellt, könnte die Wärmeversorgung in der Nacht normalerweise ohne Probleme einige Stunden komplett außer Betrieb gesetzt werden.

Verlauf der Gesamtleistung Heizung an einem Wochenende (Samstag) mit Heizbetrieb: 4. 2. 2017



Am Wochenende könnte man die Zeit, in der das Wärmeversorgungssystem komplett außer Betrieb gesetzt werden kann, noch zusätzlich erweitern.

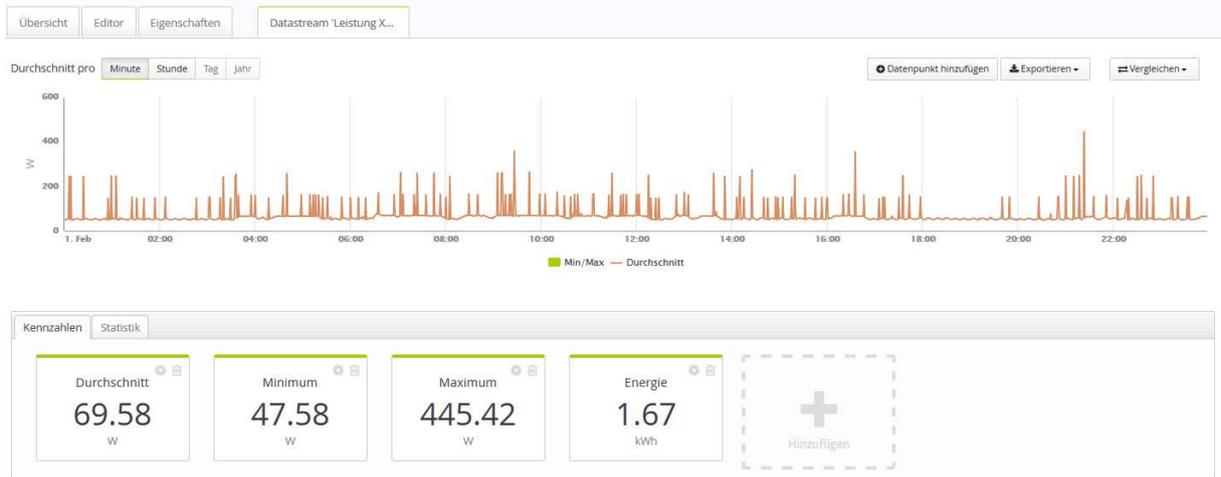
# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Verlauf der Leistungen von Heizkessel und Pumpen an einem Schultag: Mittwoch 1. 2. 2017

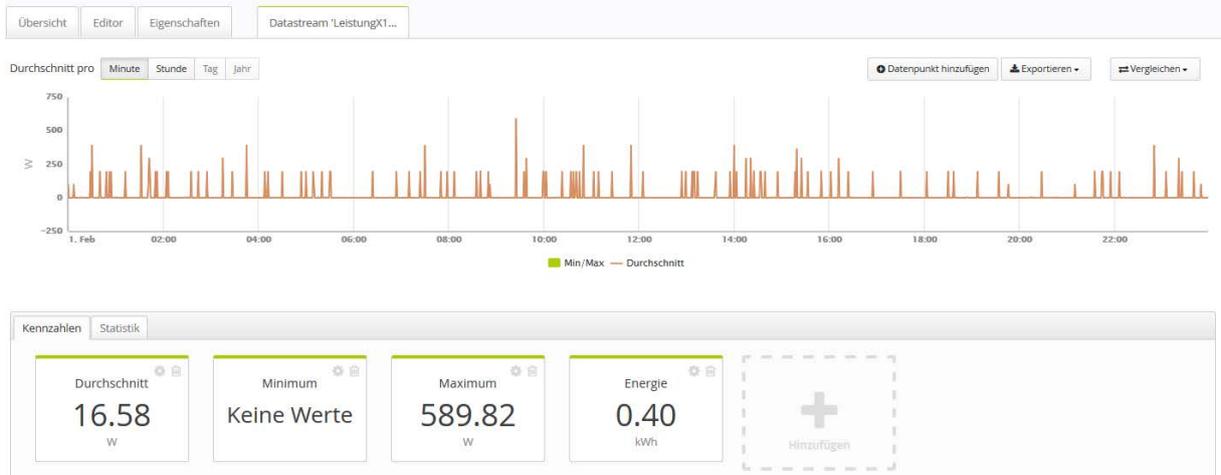
## Datastream 'Leistung X1.6 Kesselpumpe (W)'



## Datastream 'Leistung X1\_12 Zubringerpumpe Bestand (W)'

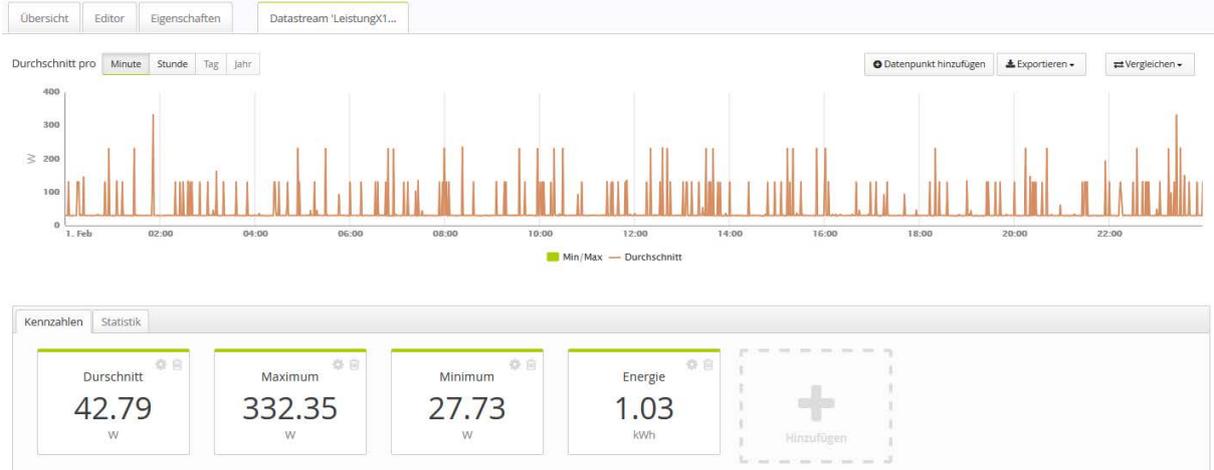


## Datastream 'LeistungX1\_18 Boilerladung Wohnung HM (W)'



Diese WW-Versorgung bzw. Zirkulation ist eigentlich außer Betrieb gesetzt. Dennoch sind auf dieser Pumpe Laufzeiten vorhanden. Neben dem Stromverbrauch ergeben sich dadurch auch zusätzliche Wärmeverluste.

## Datastream 'LeistungX1\_21 UWP Boilerladung Schule (W)'

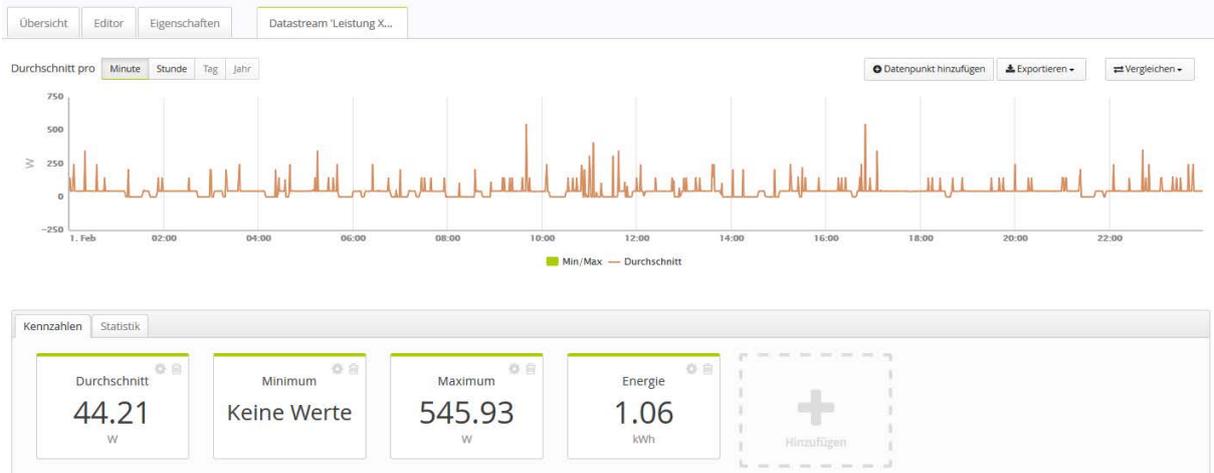


## Datastream 'Leistung X 1\_25 Zirkulation WW Schule'



Insbesondere bei Pumpen, die durchgehend laufen, ist auch ein Austausch funktionsfähiger Pumpen wirtschaftlich.

## Datastream 'Leistung X1\_55 UWP Lüftung Küche (W)'



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Datastream 'Leistung X1\_26 UWP Nord 1'



## Datastream 'Leistung X1\_27 UWP Nord 2 P1 (P2 und 3 nicht gemessen - nur Laufzeitkontrolle)'



## Datastream 'Leistung X1\_26 UWP Nord 1'



Die Pumpen Nord 2, Süd 1 und Süd 2 haben einen ähnlichen Verlauf.

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

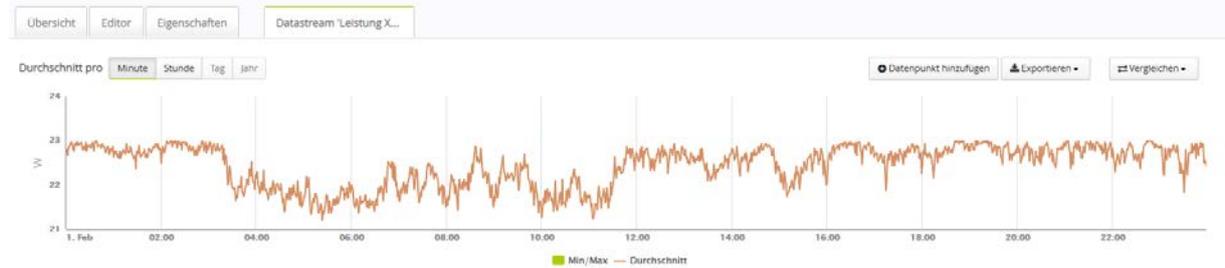
## Datastream 'Leistung X1\_36Sonderklassen'



## Datastream 'Leistung X1\_39 UWP Gymnastik, Turnsaal'



## Datastream 'Leistung X1\_54 UWP Aula'





**Einsparmöglichkeiten bei der Wärmeverteilung:** Neben der Installation von stromsparenden Pumpen und Regelungen spielen für den Stromverbrauch auch die Einregulierung und korrekte Einstellung der Heizkreispumpen (oder selbstadaptierende Pumpen) bzw. die Länge der Heizperiode (abhängig von Gebäudequalität) eine entscheidende Rolle. In den meisten gut gedämmten Schulgebäuden ist es, auch bei sehr tiefen Außentemperaturen, ohne Probleme möglich die komplette Heizung inkl. aller Pumpen in der Nacht über mehrere Stunden (z.B. 22.00 bis 4:00 Uhr) still zu legen. An Wochenenden kann dieser Zeitraum teilweise noch erweitert werden. D.h. bei sehr gut gedämmten Gebäuden sollte ein automatisches Abschalten der Wärmeverteilung von Freitag nach Schulende bis Sonntag am Abend, ohne Unterschreitung der Solltemperatur am Montag, möglich sein. Ob auch ein Abschalten des Heizkessels möglich ist, hängt von der Art der Warmwasserbereitung ab. Erfolgt die WW-Bereitung mit dem Heizkessel, so kann dieser normalerweise nicht abgeschaltet werden. Sonst kann die Hygienesrichtlinie B 5019 nicht eingehalten werden, da der Speicher bzw. die Zirkulation zu viel Wärme verlieren und die geforderten Systemtemperaturen nicht mehr eingehalten werden. Näheres dazu im Kapitel Warmwasser. Ein längeres Stromlosschalten der Heizungspumpen ist nur bei einer entsprechenden Wasserqualität im Wärmeverteilungssystem möglich. Andernfalls kommt es durch Ablagerungen zum Blockieren der Pumpen.

### 5.5.6 Warmwasser- Zentral mit Strom

Der Strombedarf für die Warmwasserbereitung stellt eine wesentliche Unsicherheit in einem Benchmarksystem für Schulen dar, da der Warmwasserverbrauch mit der Nutzung stark variiert bzw. die Art der WW-Bereitung (WW-Bereitung mit der Heizung, ganzes Jahr oder nur im Sommer mit Strom, Strom direkt oder WP) einen großen Einfluss auf den Strombereich hat. Aufgrund der Messungen in den Schulen zeigte sich jedoch, dass bei zentralen Systemen meist über 90 % auf die Verluste (Zirkulation + Speicherabstrahlung) entfallen. D.h. es gab fast keine Unterschiede im Stromverbrauch, ob Schulbetrieb mit WW-Verbrauch war bzw. die Sporthalle intensiv genutzt wurde oder nicht.

Angesetzte Werte in den drei Kategorie „gut“, „mittel“, „schlecht“:

- Einspeicherlösung, ErP Klasse B, kurze, gut gedämmte Zirkulation
- Zweispeicherlösung ErP Klasse C, mittelmäßig lange, mittelmäßig ged. Zirkulation
- Zweispeicherlösung ErP Klasse D, lange, schlecht gedämmte Zirkulation

Warmwasser – ganze Jahr mit Strom	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Nutzenergie inkl. Sporthalle	0,4	0,6	0,8
Speicher	0,2	0,6	1,5
Zirkulationsverluste	1,0	1,9	3,7
<b>Gesamt</b>	<b>1,6</b>	<b>3,1</b>	<b>6,0</b>

Bei einer WW-Bereitung mit Strom nur im Sommer werden 365 – 230 Heitztage angesetzt. Dies könnte man noch mit der Gebäudequalität bzw. den individuellen Heitztagen des Gebäudes verknüpfen, worauf aber aus Gründen der Einfachheit verzichtet wurde. Ebenfalls nicht angesetzt wurde ein mögliches Ausschalten der WW-Bereitung in den Schulferien und anschließendes Spülen des Systems (Aufgrund der Reinigungsarbeiten ist dies meist auch nur für wenige Wochen möglich).

Warmwasser – nur Sommer mit Strom	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Nutzenergie	0,2	0,25	0,4
Speicher	0,1	0,25	0,5
Zirkulationsverluste	0,4	0,7	1,4
<b>Gesamt</b>	<b>0,6</b>	<b>1,2</b>	<b>2,3</b>

Aufgrund der in den Schulen gemessenen Verbrauchsstruktur erscheint bei zentralen Systemen aus dem WW-Verbrauch keine besondere Unterscheidung, ob mit oder ohne Sporthalle notwendig, da die Nutzenergie bei zentralen Systemen nur zwischen 3 und 10 % lag. Bei Schulen ohne Sporthalle ist meist ohnehin keine zentrale WW-Bereitung vorhanden, sodass Schulen ohne Sporthalle auch aus diesem Grunde im Benchmark ohne Berücksichtigung der Ausstattung im Schnitt um 2 kWh/m<sup>2</sup> besser abschneiden.

Die folgenden beiden Beispiele zeigen die hohen Verluste der WW-Bereitung von zentralen Warmwassersystemen auf.

**Beispiel 1:** Nur geringer Nutzenergieanteil bei einer zentralen WW-Bereitung für die Sporthalle und die Küche (WW im Klassentrakt für die Reinigung wird mit el. Kleinspeichern bereitgestellt). Zentrale WW-Bereitung im Winter mit Heizung, im Sommer mit Strom:

Jahresverlauf Sept. 2015 bis Sept. 2016

Datastream 'Leistung Q6 - Heizung Gesamt'



Deutlich sichtbar ist die el. WW-Bereitung bis Anfang Oktober bzw. ab Mitte Mai

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Sommerbetrieb: 15. 5. 2015 bis 5. 9. 2016

## Datastream 'Leistung Q6 - Heizung Gesamt'



Erkennbar ist, dass der Speicher im Sommer vier Wochen außer Betrieb gesetzt wurde, was aufgrund der Hygienerichtlinie eine Spülung des gesamten Systems bedingt. Diese Spülung ist aber eigentlich auch bei durchlaufendem WW-Betrieb notwendig, weil die Zapfmengen über die Sommerferien zu gering sind. Siehe dazu auch unter Einsparmöglichkeiten.

Sommerbetrieb - Schulbetrieb: 1. 6. bis 30. 6. 2016



Auf die sichtbare Verbrauchsspitze am 13. Juni 2016 wird bei den Tageswerten noch näher eingegangen.

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Sommerbetrieb - Ferienbetrieb: 1. 8. bis 31. 8. 2016

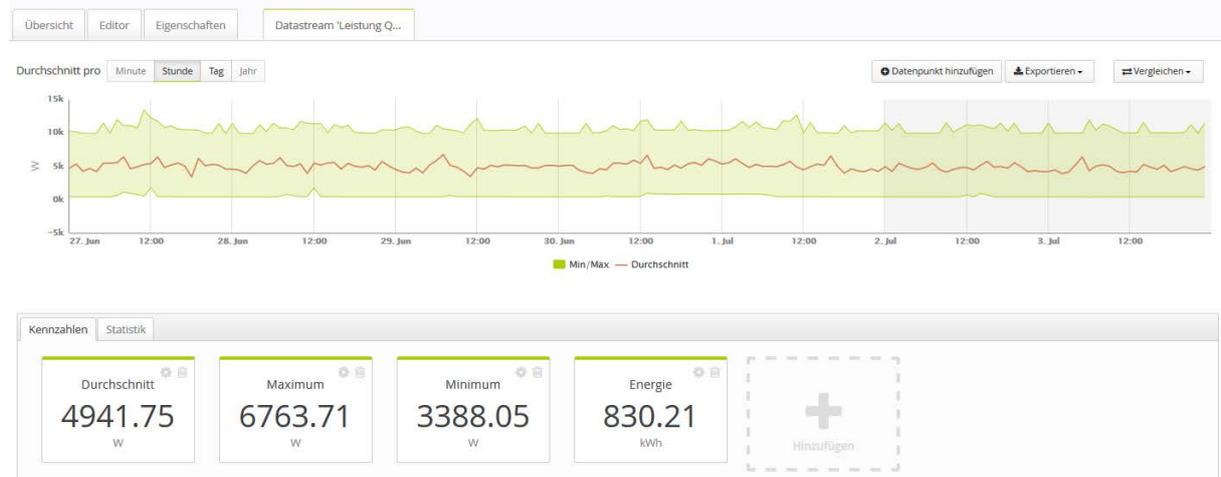
## Datastream 'Leistung Q6 - Heizung Gesamt'



Der Verbrauch in der schulfreien Zeit (auch ohne Nutzung der Sporthalle durch Vereine, Schulküche) zeigt nur einen um 5 % verringerten Stromverbrauch. In dieser Zeit fanden zwar Reinigungsarbeiten an der Schule statt, aber für diese gibt es in den meisten Gebäudebereichen zusätzliche Stockwerksspeicher.

Zentrale WW-Bereitung: Sommerwoche mit Schulbetrieb 27. 6. bis 3. 7. 2016

## Datastream 'Leistung Q6 - Heizung Gesamt'



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Zentrale WW-Bereitung: Sommerwoche ohne Schulbetrieb 1. 8. bis 7. 8. 2016



Im Wochenverlauf ist kein wirklicher Unterschied erkennbar.

## Sommertag: Typischer Schultag Di. 29. 6. 2016



## Sommertag: Typischer Sonntag 3. 7. 2016



Die Tagesverläufe zeigen, dass zwischen einem Wochentag und einem Sonntag ohne Gebäudenutzung der Stromverbrauch im Bereich WW nur unwesentlich voneinander abweicht. Die Differenz des Strombedarfs beträgt, wenn man die Grundlast des Heizungsbereichs von 390 W bzw. 9,4 kWh/Tag heraus rechnet, weniger als 4 %. D.h. bezogen auf diese beiden Tage ergibt sich eine Nutzenergie von 4 %. 96 % des Stromverbrauchs sind Verluste. Dass an beiden Tagen keine größere Nutzung vorlag, sieht man auch am gleichmäßigen Verlauf der Nachheizzeiten am Speicher.

Einen Ausnahmetag mit klar sichtbarer Nutzung stellt Montag der 13. 6. 2016 dar.



Aber auch an einem Ausnahmetag, mit der höchsten Nutzung im Messzeitraum, steigt der Nutzenergieanteil bei diesem zentralen System nicht über 30 %.

## Beispiel 2: Einfluss der Zirkulation in WW-Systemen

Das folgende Beispiel zeigt die Auswirkungen einer der ÖNORM B 5019:2017 „Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen“ nicht konformen Abschaltung der Zirkulation während der Nachtstunden bzw. am Wochenende.

Speicherverluste an einem Sonntag ohne Zirkulation:



Die reinen Speicherverluste (Zirkulation ausgeschaltet) betragen über 8 kWh pro Tag.

Gleicher Speicher am Montag mit Zirkulation von 5:30 bis 22:30 Uhr.



Die Verbrauchsstruktur zeigt, dass so gut wie keine Nutzung vorliegt (sichtbar erst am Abend – jedoch auch dort nur in geringem Ausmaß). Die Zirkulationsverluste (inkl. Aufheizung der Zirkulationswassermenge) betragen über 30 kWh pro Tag.

### Verbrauch für 12 Stunden mit Zirkulation



Bei einer durchlaufenden Zirkulationspumpe betragen die Speicherverluste und Zirkulationsverluste insgesamt ca. 50 kWh pro Tag. D.h. die Zirkulationsverluste erhöhen sich bei einer normgerechten Betriebsweise bzw. durchlaufender Zirkulation von ca. 30 kWh auf 42 kWh pro Tag.

Insgesamt zeigte sich bei den Messungen, dass noch einige Zirkulationspumpen mit einer Zeitschaltung betrieben werden. Dies ist zwar vom Energiespardedanken der zuständigen Gebäudebetreuungen löblich, aber mit der Hygienerichtlinie nicht vereinbar.

**Einsparmöglichkeiten zentrale WW-Bereitung:** Zentrale WW-Systeme für das gesamte Gebäude bzw. auch für Teilbereiche (z.B. Sporthalle und Küche) sollten in Schulen nicht mehr zur Anwendung kommen. Ein zentraler Warmwasserspeicher des Sportbereiches sollte in direkter lokaler Nähe der Nassräume aufgestellt werden, sodass auf eine Zirkulationsleitung verzichtet werden kann. D.h. auch bei einer Warmwasserbereitung mit der Heizung sollte der Speicher nicht im Heizraum, sondern in der Nähe der Nassräume angebracht werden, da die Verluste einer zeitlich begrenzten Speicherladung deutlich geringer sind als die Verluste einer durchlaufenden Zirkulationsleitung. Im Sommer sollte das Warmwasser aus ökologischen Gründen nicht mit einem Heizkessel erzeugt werden. Im Idealfall mit einer Luft-Warmwasser-Wärmepumpe. Bei einer PV-Anlage lässt sich die Eigenstromnutzung durch eine intelligente Einbindung der WW-Bereitung deutlich erhöhen.

Bei bestehenden zentralen WW-Bereitungen ist aufgrund der hohen Verluste auch eine zeitweise Abschaltung (Sommerferien) und eine normgerechte Wiederinbetriebnahme zielführend, da bei einer Unterbrechung bzw. stark reduzierten Wasserentnahme von über 4 Tagen auch bei einer durchlaufenden Zirkulation bzw. Wärmeerzeugung ein vollständiger Wassertausch laut ÖNORM B 5019:2017 „Hygienerrelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen“ gefordert wird.

Risikogruppen und Maßnahmen bei stark reduzierten Betrieb nach B 5019:2017

**Tabelle 2 — Einteilung der Risikogruppen**

Risiko- gruppe	Gefährdungspotential für Infektionen	Bereiche (Beispiele)
4	hoch	Krankenanstalten oder Bereiche von Krankenanstalten mit immunsupprimierten <sup>a</sup> Patienten
3	mittel bis hoch	Krankenanstalten oder Bereiche von Krankenanstalten, die nicht unter die Risikogruppe 4 fallen (zB Pflegeeinheiten, Normalstationen), Altenheime, Pflegeheime, Kuranstalten, Rehabilitationszentren, physikalisch-therapeutische Einrichtungen
2	gering bis mittel	Sportanlagen, Kasernen, Schulen, Bade- und Wellnesseinrichtungen, Fitnesscenter, Beherbergungsbetriebe (zB Hotels, Jugendheime), soweit sie nicht unter die Risikogruppe 3 fallen
1a	gering	Verwaltungsgebäude, öffentliche Gebäude
1b	gering	private Gebäude, Wohnanlagen

<sup>a</sup> Immunsupprimierte Patienten können zB Patienten mit Chemotherapie, transplantierte Patienten oder Patienten mit einer Erkrankung des Immunsystems sein.

Schulen und Sportanlagen fallen unter die Risikogruppe 2 und bedingen folgende Maßnahmen:

**Tabelle 5 — Maßnahmen bei stark reduzierter Wasserentnahme für die Risikogruppe 2**

Betriebszustand	Maßnahmen
<b>Stark reduzierte Wasserentnahme bis zu 4 Tagen</b> und Dauerbetrieb der Zirkulationspumpe sowie Funktion der Wärmebereitstellung	–
<b>Stark reduzierte Wasserentnahme bis zu 4 Tagen</b> bei unterbrochenem Betrieb der Zirkulationspumpe oder bei unterbrochener Wassererwärmung	Keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Es wird jedoch der vollständige Wasseraustausch in dem von der Unterbrechung betroffenen Teil der Anlage empfohlen.
<b>Unterbrechung 4 Tage bis 10 Wochen</b> und Dauerbetrieb der Zirkulationspumpe sowie Funktion der Wärmebereitstellung	1) vollständiger Wasseraustausch der Anlage durch Öffnen aller Warmwasserarmaturen 2) anschließend Öffnen aller Kaltwasserarmaturen
<b>Unterbrechung 4 Tage bis 10 Wochen</b> bei unterbrochenem Betrieb der Zirkulationspumpe oder bei unterbrochener Wassererwärmung	1) vollständiger Wasseraustausch der Anlage durch Öffnen aller Warmwasserarmaturen 2) anschließend Öffnen aller Kaltwasserarmaturen

Aus der Norm ergibt sich, dass bei allen Ferien eigentlich ein vollständiger Wassertausch des Warmwassers und des Kaltwassers vorzunehmen ist. Ein Abschalten des gesamten WW-Systems erfordert die gleichen Maßnahmen, sodass dies die energiesparendere Variante darstellt.

### 5.5.7 Warmwasser- Zentral mit der Heizung

So sinnvoll es ist das Warmwasser bei zentralen Systemen in der Heizperiode mit dem Heizkessel zu bereiten, so unökologisch ist dies außerhalb der Heizperiode (außer bei Fernwärmenetzen, die ohnehin in Betrieb sind). Von den untersuchten Schulen hatten nur zwei Schulen eine ganzjährige WW-Bereitung mit dem Heizkessel. Die notwendige Wärme, welche der Heizkessel bereitstellen muss (ohne den Wirkungsgrad der Erzeugung bzw. der Speicherladung), wird gleich wie bei der WW-Bereitung mit Strom angesetzt.

Warmwasser – im Winter mit der Heizung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Nutzenergie inkl. Sporthalle	0,2	0,35	0,5
Speicher	0,1	0,35	0,9
Zirkulationsverluste	0,6	1,2	2,3
<b>Gesamte Wärmeerzeugung für HK</b>	<b>0,9</b>	<b>1,9</b>	<b>3,7</b>

Mit einem Nutzungsgrad in der Heizperiode von 75 % ergeben sich folgende Wärmemengen für die Heizkessel.

Warmwasser – im Winter mit der Heizung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Vom Heizkessel erzeugte Wärmemenge	<b>1,2</b>	<b>2,5</b>	<b>4,9</b>

Bei einer Warmwasserbereitung mit dem Heizkessel nur während der Heizperiode wird der zusätzliche Stromverbrauch durch die Heizung nicht extra angesetzt, da die erzeugte Wärmemenge gegenüber der Heizenergie auch bei gut gedämmten Schulgebäuden unter 30 % ausmacht bzw. die Auswirkung unter der Unsicherheit des Stromverbrauchs in der Wärmeerzeugung liegt. Bei einer %-mäßigen Berechnung über den Brennstoffverbrauch ist dieser bei einer individuellen Berechnung ohnehin inkludiert.

Warmwasser – ganze Jahr mit der Heizung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Nutzenergie inkl. Sporthalle	0,4	0,6	0,9
Speicher	0,2	0,6	1,4
Zirkulationsverluste	1	1,9	3,7
<b>Gesamt</b>	<b>1,5</b>	<b>3,1</b>	<b>6,0</b>

Mit einem durchschnittlichen Nutzungsgrad von 66 % (75 % in der Heizperiode und ca. 50 % außerhalb der Heizperiode) ergeben sich folgende Wärmemengen für die Heizkessel.

Warmwasser – ganze Jahr mit der Heizung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Vom Heizkessel erzeugte Wärmemenge	<b>2,3</b>	<b>4,8</b>	<b>9,2</b>

Es wird vereinfacht mit den gleichen prozentmäßigen Anteilen des Stromverbrauchs wie bei der Heizung gerechnet, obwohl dieser durch den fixen Stromverbrauch der Regelung im Sommer etwas höher liegt.

Strom Heizung – Wärmeerzeugung WW	%	%	%
Fernwärme (nur Regelung)	0,0	0,0	0,0
Gaskessel nicht modulierend	0,1	0,15	0,2
Gaskessel modulierend	0,1	0,3	0,6
Ölkessel	0,1	0,15	0,2
Biomassekessel (Pellet, HS)	0,1	0,5	1

Daraus ergibt sich für den Benchmarkbaukasten folgende Einordnung für den spezifischen Verbrauch pro m<sup>2</sup> BGF für die ganzjährige WW-Bereitung mit der Heizung:

Strom Heizung – Wärmeerzeugung WW	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Fernwärme (nur Regelung)	0,0	0,0	0,0
Gaskessel nicht modulierend	0,002	0,007	0,02
Gaskessel modulierend	0,002	0,015	0,06
Ölkessel	0,002	0,007	0,02
Biomassekessel (Pellet, HS)	0,002	0,025	0,1

Aus der Größenordnung der Zahlenwerte für die ganzjährige WW ist erkenntlich, dass für die WW-Bereitung mit dem Heizkessel im Winter kein eigener Ansatz zielführend ist, da dieser deutlich unter den Unsicherheiten bei der Wärmeerzeugung für Heizzwecke liegt.

**Beispiel 1: WW-Bereitung ganzjährig mit dem Heizkessel (Öl)**

Das folgende Beispiel bezieht sich auf einen 500 Liter WW-Speicher, der nur für die Reinigung verwendet wird.

Heizung vom 1. 1. 2017 bis 31. 10. 2017



Diese Messung enthält alle Pumpen und den Heizkessel. Man erkennt zwar die Zeit der reinen WW-Bereitung von Mai bis September 2017, sieht aber auch, dass das Verbrauchsniveau bei der reinen WW-Bereitung nicht viel geringer ist als in der Heizperiode.

Wintertag: Dienstag 17. 1. 2017



Ausschnitt von zwei Stunden: 8:00 bis 10:00 Uhr



Gut zu erkennen ist das häufige Takten des Heizkessels, der seit der Sanierung des Gebäudes (Heizzentrale blieb unverändert) auch für den Winterfall deutlich zu groß ist.

Sommerferien: Sonntag 20. 8. 2017



Mit den vom Klappwandler gemessenen 9 kWh Stromverbrauch des Heizkessels bzw. der Steuerungen könnte man die gesamte Energie des WW mit einem Drucklauferhitzer leicht

abdecken. Eine große Unsicherheit in dieser Rechnung stellt jedoch der  $\cos \Phi$  dar, der die Werte hier eventuell deutlich verzerrt. Eine Stilllegung des Speichers und eine Umstellung auf einen Durchlauferhitzer ist in dieser Situation auf alle Fälle die bessere Lösung, da dann sowohl die Speicherverluste, als auch die gesamten Verluste des Heizkessels wegfallen.

### 5.5.8 Warmwasser- Dezentral mit Strom (für Klassentrakt)

Bei einer dezentralen Versorgungsstruktur des Warmwassers muss man zwischen Systemen mit Kleinspeichern bzw. Untertischboilern und Systemen mit Durchlauferhitzern unterscheiden. In Schulen werden bisher nur sehr selten Durchlauferhitzer eingesetzt, obwohl diese aufgrund der Verbrauchsstruktur deutlich vorteilhafter als Untertischboiler oder Kleinspeicher sind. Die höhere Anschlussleistung der Durchlauferhitzer stellt aufgrund der geringen Gleichzeitigkeit in Schulen normalerweise kein Problem dar.

Warmwasser	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
El. Kleinspeicher nur für Schultrakt	0,4	0,6	0,8
El. Durchlauferhitzer nur für Schultrakt	0,1	0,15	0,25

#### Beispiel 1: Geringer Nutzenergieanteil bei Kleinspeichern in Schulen

Kleinspeicher für Reinigungszwecke 50 Liter: Woche 19. 4. – 26. 4. 2016



Kleinspeicher für Reinigungszwecke 50 Liter: Di. 20 .4. 2016



Kleinspeicher für Reinigungszwecke 50 Liter: So. 24 .4. 2016



Der Kleinspeicher für die Reinigungszwecke wurde in dieser Woche nur 2 x genutzt und von den 6,04 kWh/Woche können nur 1,63 kWh als Nutzenergie angesetzt werden. Die täglichen Bereitschaftsverluste betragen 0,63 kWh bzw. 4,41 kWh/Woche. Dies ergibt eine Nutzenergie von 27 %. Die restlichen 73 % des Stromverbrauchs sind als Verluste anzusehen.

**Einsparmöglichkeiten dezentrale WW-Bereitung:** WW für einzelne Zapfstellen (Werkräume, Küchen, Reinigung) sollten am besten mit elektronischen Durchlauferhitzern versorgt werden. Durchlauferhitzer haben zwar eine höhere Anschlussleistung als Kleinboiler oder Untertischboiler, sie sind aber in Summe, insbesondere bei geringer Nutzung, wesentlich effizienter. Aufgrund der geringen Nutzung und der geringen Gleichzeitigkeit in Schulen sind sie in Hinblick auf die maximale Leistung nicht als kritisch anzusehen. Wenn die Zapfstelle primär für die Reinigung verwendet wird, ist sie hinsichtlich der Gesamtleistung noch unkritischer, da die Reinigungstätigkeiten üblicherweise außerhalb der Unterrichtszeiten und damit außerhalb der Lastspitzen stattfinden. Die bei Durchlauferhitzern mit geringer Anschlussleistung begrenzten Temperaturen stellen heutzutage auch für die Reinigung kein Problem mehr dar, da die meisten Reiniger gar keine Temperaturen über 45° C erlauben. Ist dennoch ein Kleinspeicher oder Untertischboiler unabdingbar, liegt die Einsparung bei der Beschaffung

eines sparsamen Speichers bzw. einer einfachen Stromlosschaltung für das Wochenende und die Ferien (leicht zugänglicher Stecker bzw. Schalter).

Bei Durchlauferhitzern ist zwischen hydraulischen und elektronischen Durchlauferhitzern zu unterscheiden. Elektronische Durchlauferhitzer haben den Vorteil, dass die Temperatur an der Zapfstelle durch eine automatische Leistungsanpassung an die Durchflussmenge konstant gehalten wird. Durch die konstante, einfach einzustellende Temperatur ergeben sich gegenüber hydraulischen Durchlauferhitzern folgende Energieersparnisse.

ALT	NEU	ERGEBNIS
Kleinspeicher am Waschbecken	Elektronischer Durchlauferhitzer	Spart bis zu 85% Energie
Kleinspeicher an der Küchenspüle	Elektronischer Durchlauferhitzer	Spart bis zu 40% Energie
Hydraulischer Durchlauferhitzer in Bad und Dusche	Elektronischer Durchlauferhitzer	Spart bis zu 30% Energie

Quelle: WIRTSCHAFTS

### 5.5.9 Klassenzimmerlüftung

Eine Klassenzimmerlüftung mit Wärmerückgewinnung stellt zwar einen zusätzlichen Stromverbraucher in einer Schule dar, aus Gesundheits- bzw. Leistungssteigerungsgründen sollte aber bei keinem Neubau bzw. keiner Sanierung auf eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung verzichtet werden. Unter Einrechnung der Leistungssteigerung bei LehrerInnen und SchülerInnen zahlt sich diese auch wirtschaftlich aus (siehe [www.komfortlüftung.at](http://www.komfortlüftung.at)). Von der Stromseite ist keine Unterscheidung in zentrale und dezentrale Systeme notwendig, da sie in etwa gleiche spezifische Stromverbräuche aufweisen. Dezentrale Systeme haben zwar geringere Druckverluste, jedoch schlechtere Ventilatoren bzw. einen höheren Strombedarf für den elektrischen Frostschutz bzw. die Nacherwärmung.

Die Stromverbräuche werden, ausgehend von der anzustrebenden Luftqualität, laut der „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“ des Lebensministeriums (Fassung:2017) wie folgt berechnet.

Tabelle 7: Richtwerte und Ziele für die Raumluftqualität, Konzentrationsangaben der CO<sub>2</sub>-Konzentration in ppm

Klasse	Beschreibung	Arithmetischer Mittelwert der Momentanwerte für CO <sub>2</sub> [ppm]
Klasse 1	Ziel für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen	≤ 800
Klasse 2	Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen, in denen geistige Tätigkeiten verrichtet werden bzw. die zur Regeneration dienen	≤ 1000
Klasse 3	Allgemeiner Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen	≤ 1400
Klasse 4	Richtwert für Innenräume mit geringer Nutzungsdauer durch Personen	≤ 5000
Außerhalb der Klassen	Für die Nutzung durch Personen nicht akzeptabel	> 5000

Hinweis: da es bei der Einteilung „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ um den Stromverbrauch geht, sind die niedrigsten Luftwerte auch dem Stromverbrauch „niedrig“ zugeordnet.

Klassenzimmerlüftung	ppm	ppm	ppm
Angestrebter CO <sub>2</sub> -Wert	1.400	1.000	800

Aus den gewünschten CO<sub>2</sub>-Werten ergeben sich die Luftmengen pro Person (für Schüler zwischen 10 und 14 Jahren)

Klassenzimmerlüftung	m <sup>3</sup> /h p.P.	m <sup>3</sup> /h p.P.	m <sup>3</sup> /h p.P.
Luftmenge pro Person	24	30	45

Umgerechnet mit ca. 20 m<sup>2</sup> BGF pro Schüler ergeben sich folgende Luftmengen pro m<sup>2</sup>BGF bezogen auf das Gesamtgebäude mit Kaskadenlüftung (z.B. Klasse – Flur – Aula).

Klassenzimmerlüftung	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup>	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup>	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup>
Luftmenge pro m <sup>2</sup> BGF	1,2	1,5	2,25

Je nach spezifischer Ventilatorleistung der Lüftung (W/(m<sup>3</sup>/h)) ergeben sich folgende spezifische Leistungswerte pro m<sup>2</sup> BGF bezogen auf das Gesamtgebäude (optimierte Kaskade). Der Ansatz erfolgt zuerst ohne aktive Nachtkühlung mit der Klassenzimmerlüftung.

Für die drei Kategorien der spezifischen Ventilatorleistungen wurden folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

1. Optimierte Anlage (max. 200 Pa ext. DV, Luftqualitätssensor, variable Druckregelung)
2. Standardanlage mit Konstantdruckregelung und Luftqualitätsfühler
3. Ältere Anlage mit fixer Luftmenge und Zeitregelung

Klassenzimmerlüftung	W/(m <sup>3</sup> /h)	W/(m <sup>3</sup> /h)	W/(m <sup>3</sup> /h)
Spezifische Ventilatorleistung	0,45	0,6	0,75

Klassenzimmerlüftung	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spezifische Leistung pro m <sup>2</sup> BGF	0,54	0,9	1,7

Klassenzimmerlüftung	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Zuschlag für Filterverschmutzung, Fühler, V-Regler etc.	0,05	0,09	0,17

Insgesamt ergibt sich daher eine spezifische Leistung inkl. Filterverschmutzung und Nebenverbrauchern:

Klassenzimmerlüftung	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spezifische Leistung pro m <sup>2</sup> BGF	0,6	1,0	1,9

Die Volllaststunden sind abhängig von der Art der Luftmengenanpassung (fixe Luftmenge oder abhängig von Luftqualität) und der Art der Regelung (variable oder konstante Druckregelung bei zentralen Anlagen).

Für die drei Kategorien wurden folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt (zentral):

1. Luftqualitätssensor, variable Druckregelung
2. Standardanlage mit Konstantdruckregelung und Luftqualitätsfühler
3. Fixe Luftmenge und Zeitregelung

Volllaststunden pro Jahr	1200	1600	2000
--------------------------	------	------	------

Klassenzimmerlüftung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Zentral und Dezentral (ganzjährig)	0,7	1,6	3,8

Die Volllaststunden für die Nachtkühlung über die Lüftungsanlage sind besonders abhängig von der Einstellung der Luftmenge und der Temperaturregelung.

Volllaststunden Nachtkühlung	300	500	700
------------------------------	-----	-----	-----

Nachtlüftung mit Klassenzimmerlüftung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Zentral und Dezentral	0,20	0,50	1,3

Beispiele für den Unterschied von verschiedenen Regelstrategien und deren Auswirkungen:

## Beispiel 1: Tagesverlauf einer Lüftungsanlage mit reiner Zeitsteuerung: Dienstag, 26. 1. 2016 (Winter - Schulbetrieb)



Die Regelung mit einer reinen Zeitsteuerung ist nicht nur vom Stromverbrauch her ungünstig, sondern verursacht auch trockene Luft.

## Tagesverlauf mit CO<sub>2</sub>-Fühler, ohne Variabel Druckregelung: Dienstag, 16. 2. 2016 (Winter - Schulbetrieb)



Die dargestellte Anlage, ohne variable Druckregelung, hat einen CO<sub>2</sub>-Fühler, der auf 800 ppm eingestellt ist, zudem gibt es einen Kurzschluss zwischen Fortluft und Zuluft. Beides, in Kombination mit einer sehr komfortorientierten Regelungseinstellung (800 ppm), kann als mögliche Ursache für die nur sehr langsame Leistungsabnahme nach Schulschluss angesehen werden. Der Unterschied zu einer konstant, mit Zeitschaltuhr betriebenen Anlage ist hier nur sehr gering.

Die Nachtlüftung muss aus energetischer Sicht kritisch gesehen werden, insbesondere, wenn es die Möglichkeit einer wesentlich effizienteren Kühlung über das Grundwasser gäbe.

Von den untersuchten Anlagen war keine mit variabler Druckregelung ausgestattet.

**Einsparmöglichkeiten bei der Lüftung:** Die wesentlichen Einsparmöglichkeiten bei der Lüftung sind die Luftmengenoptimierung durch eine Optimierung der Kaskade und einer klassenweisen Regelung über einen Luftqualitätsfühler (CO<sub>2</sub>-Fühler in Klassenräumen, VOC-Fühler in Umkleidebereichen) und die niedrigen Gesamtdruckverluste in Kombination mit einer variablen Druckregelung, die bei Teilbelegung eine Regelung entlang der Anlagenkennlinie ermöglicht. In Summe lassen sich 20 bis 50 % der Stromkosten einer konventionell geplanten, zentralen Lüftungsanlage einsparen. Raumweise Lösungen sind nur in der Sanierung zu empfehlen, wenn neue Systeme mit aktiver Überströmung nicht möglich sind. Eine einfache Stromlosschaltung über die Ferien vermindert die Standby-Verbräuche (Fühler, Regelklappen etc.). Bei Sporthallen ist ein VOC-Fühler meist besser geeignet, als ein CO<sub>2</sub>-Fühler.

Wesentliche Aspekte für den Stromverbrauch von Lüftungsanlagen in Schulen:

- Optimierte Lüftungskaskade
- Stromeffiziente Auslegung – Ventilator und Gesamtdruckverlust (spez. Leistung max. 0,45 W/(m<sup>3</sup>/h), Ziel 0,30 W/(m<sup>3</sup>/h))
- Klassenweise Luftmengenregelung durch Luftqualitätssensor (CO<sub>2</sub>, oder VOC)
- Zentrale Anlagen: Variable Druckregelung, möglichst kein elektrischer Frostschutz
- Dezentrale Anlagen: Leistungsgeregelter elektrischer Frostschutz
- Gesicherter Filterwechsel (stromeffiziente Filter, z.B. A+ nach Eurovent)
- Gesicherte Abschaltung in den Ferienzeiten

Das Thema Einsparmöglichkeiten bei Lüftungsanlagen ist auf [www.komfortlüftung.at](http://www.komfortlüftung.at) ausführlich behandelt. In diesem Bericht werden daher nur die drei wichtigsten Aspekte, nämlich Lüftungskaskade, CO<sub>2</sub>-Regelung und variable Druckregelung ausgeführt.

### Einsparung durch Kaskadenprinzip im Schulbereich:

Das Kaskadenprinzip ist eine der wesentlichen Voraussetzungen, um eine kostengünstige, energieeffiziente Lüftung in Schulen zu erreichen.

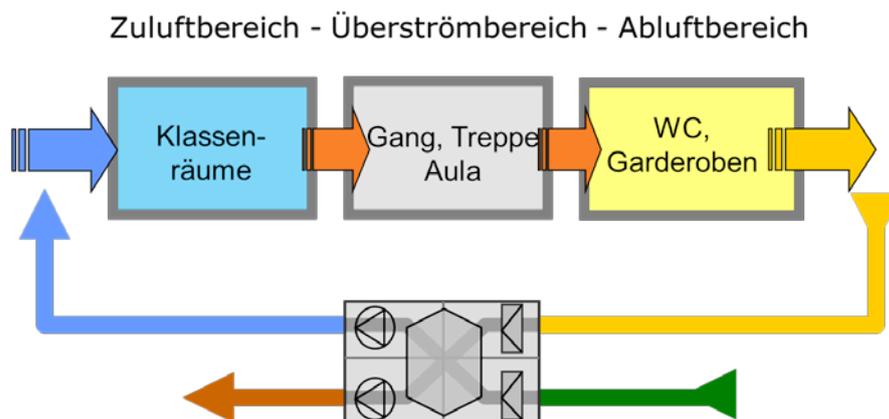


Abbildung 5.5: Kaskadenprinzip in Schulen bzw. Kindergärten (Quelle: basierend auf Heinrich Huber, Minergie CH)

Luftmengenbeispiel Schule mit und ohne Kaskade: Würde man in den einzelnen Räumen, z.B. Schulklasse, jeweils gleichzeitig Zu- und Abluft installieren, so ergäbe sich ein deutlich erhöhter Verrohrungsaufwand und die Luftmengen würden allein durch die Luftmengen der WCs um ca. 25 % ansteigen.

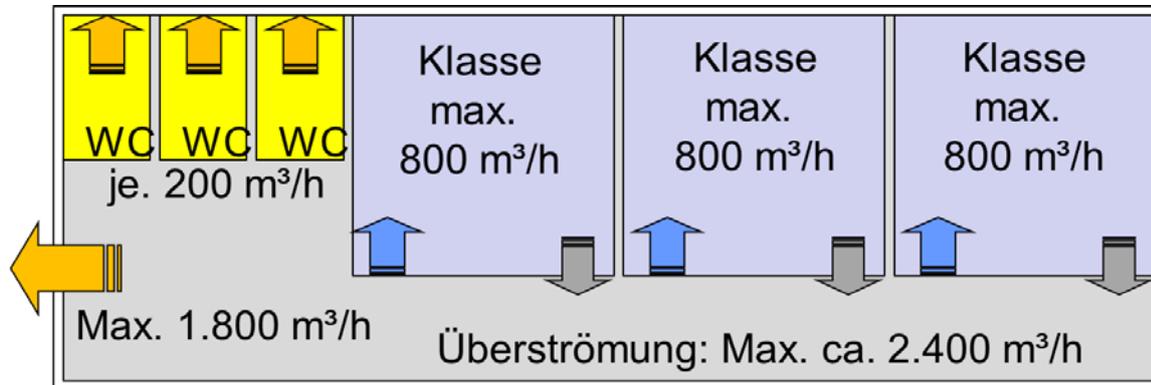


Abbildung 5.6: Kaskadenprinzip Beispiel Luftmengeneinsparung

- Max. Luftmenge inkl. Kaskade: 2.400 m³/h
- Max. Luftmengen ohne Kaskade:  $2.400 + 3 \times 200$  (WC) = 3.000 m³/h
- Erhöhung der Luftmenge ohne Kaskade: 25 %

Der Luftmengenvorteil der Kaskade wäre in Schulen insgesamt noch deutlich höher, wenn man die Belüftung von Gänge, Garderoben, Aula etc. auch noch extra ansetzen würde.

Einen weiteren Vorteil der Lüftungskaskade in Schulen stellt der Entfall der Volumenstromregler für die Abluft dar, da diese ohne aktive Regelung in den Flur bzw. den Bereich der Aula erfolgt.

Die Bedenken mancher Planer auch WCs und Garderoben in das Lüftungskonzept der Klassen zu integrieren ist auch bei Rotationswärmtauschen mit geringen Leckagen und richtigen Druckverhältnisse (richtige Ventilatoranordnung) für gerichtete, interne Leckageströme unbegründet. Zahlreiche Beispiele zeigen, dass dies ohne Probleme funktioniert. Im Idealfall ist daher nur eine Lüftungsanlage für den Klassentrakt inkl. aller Nebenräume (Garderoben, WCs etc.) sowie eine zweite Anlage für die Sporthalle notwendig.

### **Einsparung durch Luftqualitätsfühler im Schulbereich:**

Im Projekt „BIGMODERN Subprojekt 5: Machbarkeitsanalysen innovativer technischer Lösungen“ wurde das Einsparpotenzial durch verschiedene Steuerungen, welche vom Schweizer Bundesamt für Energie erhoben wurde, aufbereitet.

Im Rahmen des Forschungsprojektes - CO<sub>2</sub>-gesteuerte Lüftungen in Schulhäusern- vom Schweizer Bundesamt für Energie ([www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)) wurden Schulgebäude mit verschiedenen Systemen zur Bedarfslüftung untersucht. Die Luftaufbereitung erfolgt zentral.

### 1. Zeitgesteuerte Anlage

- Jeder Raum verfügt über mechanisch einstellbare Volumenstromregler in der Zu- und Abluft, welche die Sollluftmenge sicherstellen. Durch die fixe Einstellung ist keine Reduktion der Luftmenge bei Teilbelegung möglich
- Die Anlage wird zentral über ein Zeitprogramm gesteuert. Die Betriebszeiten sind für alle Schulräume identisch

### 2. Präsenzgesteuerte Anlage

- Jeder Raum verfügt über motorisch angesteuerte Volumenstromregler in der Zu- und Abluft
- Der Präsenzmelder (PIR-Sensor) steuert die Volumenstromregler an (ein /aus)
- Verbrauchsreduktion von 0.4 bis 0.6 kWh Strom sowie 1.0 bis 1.3 kWh Heizwärme pro m<sup>3</sup>/h

### 3. CO<sub>2</sub> gesteuerte Anlage

- Jeder Raum verfügt über motorisch angesteuerte Volumenstromregler in der Zu- und Abluft
- Der CO<sub>2</sub> Sensor steuert die Volumenstromregler an (0 bis 100%)
- Verbrauchsreduktion von 0.6 bis 1 kWh Strom sowie 1.8 bis 2.3 kWh Heizwärme pro m<sup>3</sup>/h

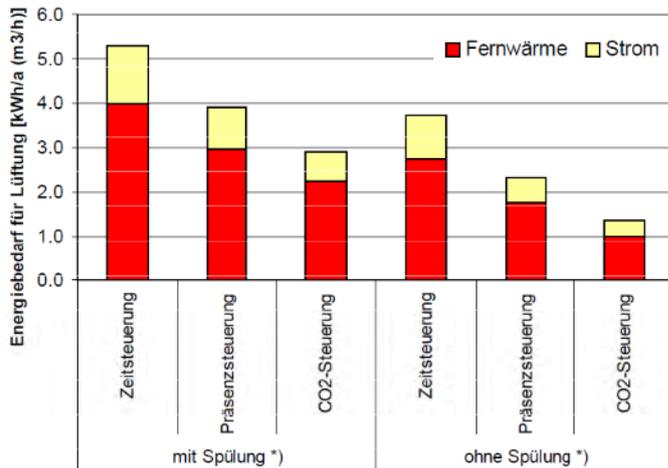


Abbildung 21: Vergleich des spez. Energiebedarfs bei verschiedenen Lüftungssteuerungen (CO<sub>2</sub>-gesteuerte Lüftungen in Schulen - W. Hässig, A. Primas, P. Karlstöm, M. Leonarz, M. Marti)

Abbildung 5.7: Auszug aus dem Bericht „BIGMODERN Subprojekt 5: Machbarkeitsanalysen innovativer technischer Lösungen“

Rechnet man die in der Schweizer Studie erhobenen Werte für den Stromverbrauch von Lüftungsanlagen mit Spülfunktion und Zeitsteuerung von 1,3 kWh/m<sup>3</sup> Luftmenge bzw. die Einsparung von ca. 0,6 kWh durch die CO<sub>2</sub>-Reglung auf die Energie pro Fläche um, so ergibt sich bei 30 m<sup>3</sup>/h und 20 m<sup>2</sup> BGF pro SchülerIn ein Verbrauch mit Zeitsteuerung von 1,95 kWh/m<sup>2</sup> BGF.a bzw. eine Einsparung bei der CO<sub>2</sub>-Steuerung von 0,9 kWh/m<sup>2</sup>BGF.a.

### Einsparung durch variable Druckregelung:

Besteht eine Luftmengenregelung mit gleichbleibendem Druckniveau, so verändert der Luftqualitätssensor den Volumenstrom am Volumenstromregler. Durch die geringere Luftmenge sinkt der Druckverlust in der jeweiligen Luftleitung und der Ventilator regelt entsprechend des Zusammenhanges von Luftvolumenstrom und Druckverlust die Drehzahl bzw. Leistung zurück. Die Rückregelung erfolgt aber nicht entsprechend der Anlagenkennlinie, sondern aufgrund des gleichbleibenden Druckniveaus.

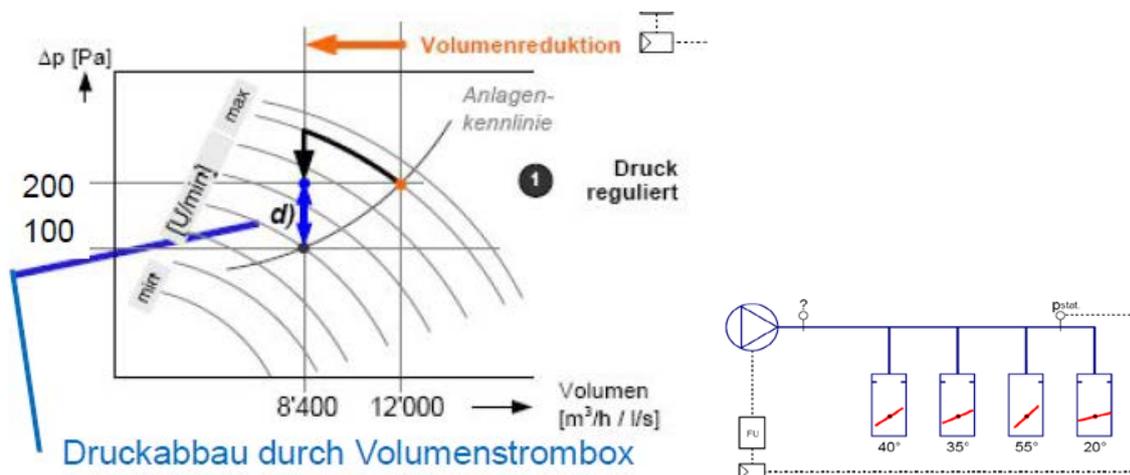


Abbildung 5.8 Konstante Druckregelung (Quelle: Belimo)

Der vom Ventilator aufgebaute Druck wird durch den Volumenstromregler wieder abgebaut und ist als zusätzlicher Verlust anzusehen. Genaugenommen bleibt im gesamten Luftstrang (Außenluft – Zuluft bzw. Abluft – Fortluft) der gesamte externe Differenzdruck nicht ganz gleich, da sich die Konstantdruckregelung nur auf den Zuluft- oder Abluftstrang bezieht. Durch die geringeren Luftmengen sinken aber auch die Druckverluste im Außenluft- bzw. Fortluftstrang. Die internen Druckverluste verhalten sich ebenfalls mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.

Bei einer Konstantdruckregelung geht die Stromeinsparung daher mit etwas mehr als der Änderung des Volumenstromes einher und ist abhängig von der Aufteilung der Druckverluste in den einzelnen Bereichen. Bei einer typischen Aufteilung von z.B. 200 Pa externem Druck und 400 Pa (interner Druckverlust + dynamischer Druck) ergibt sich bei einer Reduktion der Luftmenge von 30 % ein zu überwindender Gesamtdruck von 382 Pa.

Luftmenge	100%	80%	70%	50%
Externer Druck Zuluft (Konstantdruck)	200	200	200	200
Theoretischer Externer Druck (variabler Druck)	200	128	98	50
Interner Druck Standardkonfiguration + Heizregister	320	205	157	80
Zusätzliche Einbauten	0	0	0	0
Dynamischer Druck	80	51	25	6
Gesamtdruck (Konstantdruck)	600	456	382	286
Gesamtdruck (variable Druckregelung)	600	384	280	136

Abbildung 5.9 Druckverlusteinsparung bei Konstant- bzw. variabler Druckregelung



### 5.5.10 Sonstige Haustechnik

Unter sonstiger Haustechnik sind Lifte, Brandschutzeinrichtungen, Verschattungsanlagen, Schließsysteme, Hebeeinrichtungen für Abwässer, Dachrinnen- und Gullyheizungen zusammengefasst. Den größten variablen Anteil daran haben natürlich Dachrinnen- und Gullyheizungen. Diese sollten bei neuen bzw. sanierten Gebäuden eigentlich nicht mehr notwendig sein.

Für die drei Kategorien „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ wurden folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

El. Dachrinnen-, Gully- und Flächenheizungen:

1. Keine Dachrinnen-, Gully- bzw. Heizungen von Auffahrten und Eingangsbereichen
2. Einzelne Dachrinnen- bzw. Gullyheizungen
3. Größere bzw. mehrere Dachrinnen-, Gully - und Flächenheizungen

Hebeeinrichtungen für Abwasser:

1. Keine Hebeeinrichtungen
2. Hebeeinrichtung nur für Nebenbereich
3. Hebeeinrichtung für einen Hauptwasserstrang

Lifte:

1. Kein Lift
2. Lift nur für Lehrer und Sonderfälle bzw. mit geringem Standby-Verbrauch
3. Lift allgemein zugänglich bzw. mit hohem Standby-Verbrauch

Bei Brandschutz, Schließsystem und Verschattung erfolgt keine Differenzierung nach der Ausstattung, sondern nur nach der Energieeffizienz der Systeme.

Die Bereiche mit grauer Schriftfarbe können normalerweise vernachlässigt werden. Für die Parkscheinautomaten liegen keine Messungen vor, auch der Hersteller konnte keine Angaben zum Stromverbrauch machen. Wert in Klammer bei Dachrinnenheizung entspricht dem höchsten gemessenen Wert bei den Untersuchungen.

Sonstige Haustechnik	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Dachrinnenheizung, Gullyheizungen	0	0,75	1,5 (6)
Lifte	0,05	0,1	0,4
Brandschutz (ca. 20 W normal zu vernachlässigen)	0,03	0,05	0,07
BUS-Systeme* (ca. 0,25 W pro Aktor)	0,05	0,07	0,09
Schließsysteme (ca. 20 W normal zu vernachlässigen)	0,03	0,05	0,07
Hebeeinrichtungen (normal zu vernachlässigen)	0	0	0
Automatische Schiebetür (zu vernachlässigen)	0	0	0
Zeiterfassung für Reinigung (ca. 5 W)	0	0	0
Parkplatzschranken (ca. 12 W)	0	0	0
Parkscheinautomat (ohne Heizung, ca. 70 W)	?	?	?
Parkscheinautomat (im Freien, Heizung 1,0 kW)	?	?	?
<b>Gesamt</b>	<b>0,15</b>	<b>1,1</b>	<b>1,8 (6,3)</b>

\*Nicht inkludiert sind hier die durch das BUS-System ausgelösten Standby-Verbräuche bei den angeschlossenen Geräten (z.B. Standby der EVG von Leuchten, jeweils 0,3 bis 1,5 W, bei dimmbaren Leuchten bis zu 3,5 W). Diese sind in der Beleuchtung enthalten.

### 5.5.10.1 Beispiele Dachrinnenheizung

#### Beispiel 1: Dachrinnenheizung mittelgroße Schule (ca. 5.000 m<sup>2</sup> BGF)

Monat 14. 2. bis 13. 3. 2017

Sammlungen / Zell a. Ziller UV HVT UG (Dachrinnenheizung) / Datastream 'Leistung Dachrinnenheizung Kreis 2 (W)'



Datastream 'Leistung Dachrinnenheizung Kreis 1 (W)'



Woche: 6. bis 12. 3. 2017

Sammlungen / Zell a. Ziller UV HVT UG (Dachrinnenheizung) / Datastream 'Leistung Dachrinnenheizung Kreis 1 (W)'



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Datastream 'Leistung Dachrinnenheizung Kreis 2 (W)'



Montag, 6. 3. 2017

## Datastream 'Leistung Dachrinnenheizung Kreis 1 (W)'



Montag, 6. 3. 2017

## Datastream 'Leistung Dachrinnenheizung Kreis 2 (W)'



## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Die Aufzeichnungen der Betriebsstunden, ergaben für den Zeitraum vom 12. 2. 2015 bis zum 14. 2. 2017 insgesamt 3.887 Stunden bzw. 1.938 Stunden pro Jahr. Hochgerechnet mit der Leistung der beiden Heizkreise von 1.750 Watt ergibt dies einen Stromverbrauch pro Jahr von 3.400 kWh, was dem Verbrauch eines mittleren Haushaltes entspricht. Umgelegt auf die Fläche bedeuten dies bei diesem sehr großen Gebäude ca. 0,66 kWh/m<sup>2</sup> bzw. 4 % des durchschnittlichen Verbrauchs einer Schule.

Die Dachrinnenheizung wird rein nach Temperatur (3° C) ein- bzw. ausgeschaltet. Egal, ob eine Vereisungsgefahr durch auftauenden Schnee besteht, oder nicht. D.h., auch wenn kein Schnee am Dach ist, der schmelzen kann, schaltet sich die Dachrinnenheizung ein. Zudem wurde das Dach im Zuge der Sanierung gedämmt, sodass die Gefahr einer Vereisung minimiert ist und man versuchen sollte, überhaupt ohne die Dachrinnenheizung auszukommen. Falls das nicht funktioniert, sollte man sie mit einem zusätzlichen Feuchtfühler auszurüsten, der die Dachrinnenheizung nur dann einschaltet, wenn auch eine reale Vereisungsgefahr durch abtauenden Schnee besteht.

### Beispiel 2: Dachrinnenheizung einer kleinen Schule (ca. 750 m<sup>2</sup> BGF)

Woche: 12. bis 18. 3. 2018



Dienstag, 20. 3. 2018

### Datastream 'Leistung 18Q2 Dachrinnenheizung 2'



Die durchschnittliche Dauerleistung der beiden Heizkreise beträgt gemeinsam ca. 1.600 W. Der maximale Tagesverbrauch ergibt sich daher mit 38,4 kWh/Tag.

20./21. 3. 2018: 12 Std. von 20:00 bis 8:00 Uhr

### Datastream 'Leistung 18Q2 Dachrinnenheizung 2'



Kein Verbrauch von 3:30 bis 7:30 Uhr

Temperaturen am Mittwoch, den 21. März 2018

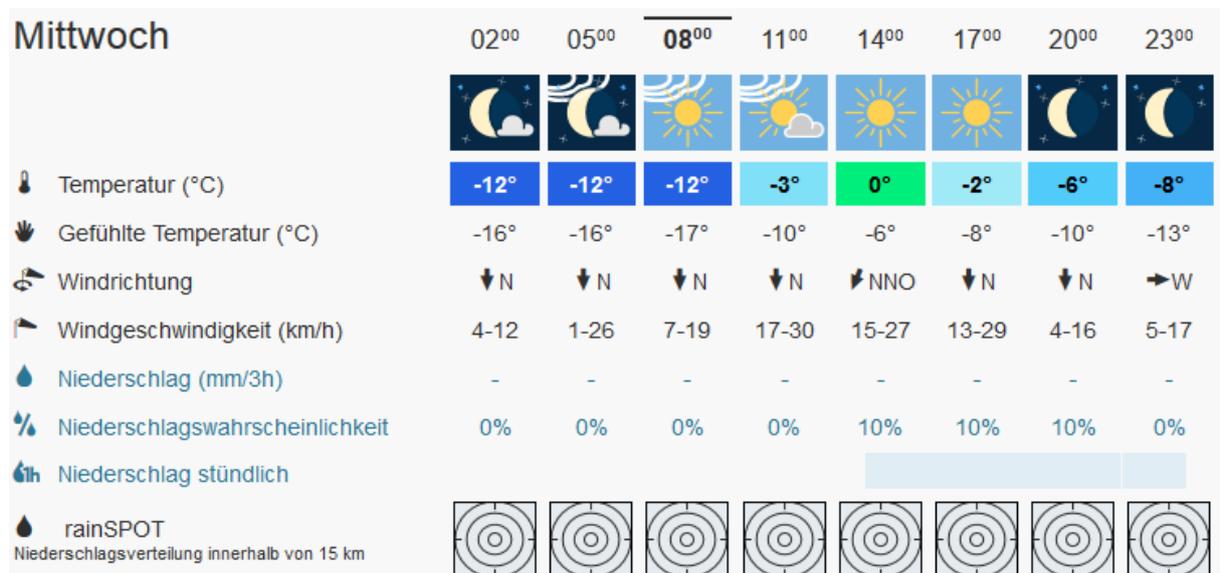


Abbildung 5.11: Temperaturverlauf Quelle: www.meteoblue.com (Abgerufen für den Schulstandort am 21. März 2018)

Erkennbar ist, dass die Dachrinnenheizung auch eine untere Temperaturschwelle hat, welche die Heizung bei Temperaturen unter -12° C wieder abschaltet.

Insgesamt ergibt sich bei 2.800 bis 3.600 Std. ein Verbrauch von 4.500 bis 5.600 kWh für die Dachrinnenheizung. Bezogen auf die Bruttogrundfläche bedeutet dies einen spezifischen Verbrauch von 6 bis 7,4 kWh/m<sup>2</sup>a. Dies entspricht ca. 35 bis 45 % des gesamten Stromverbrauchs der Schule (16,8 kWh/m<sup>2</sup> BGF).

Auch bei dem im Kapitel „Studien“ angeführten Bericht zu den Auswertungen der Lastgänge in öffentlichen Gebäuden in Salzburg erreichte der Stromverbrauch aufgrund einer Fehlfunktion der Dachrinnenheizung 20 % des Gesamtstromverbrauchs einer großen Schule.

**Einsparmöglichkeiten bei Dachrinnen- und Gullyheizungen:** Die wesentliche Einsparung besteht in der Vermeidung von Dachrinnen- und Gullyheizungen. In sanierten Gebäuden werden teilweise Dachrinnenheizungen betrieben, obwohl dies aufgrund der Sanierung nicht mehr notwendig ist, da der Schmelzwasseranfall aufgrund der guten Dämmung minimiert oder ganz verhindert wurde.

Wenn eine Beheizung nicht zu vermeiden ist, sollte sie nicht nur mit einer Temperaturregelung, sondern auch mit einem zusätzlichen Feuchtfühler (Eisfühler) kombiniert werden, um die Einschaltzeiten auf jene Stunden zu reduzieren, in denen eine reale Gefahr der Vereisung besteht. Ohne Feuchtfühler ist die Heizung auch in Betrieb, wenn gar kein Schnee vorhanden ist, der schmelzen könnte.

Ein Temperaturregler mit einer 2. Schaltstufe bewirkt, dass bei sehr kalten Temperaturen (Einstellung meist zwischen -5 bis -12° C) die Dachrinnenheizung wieder ausschaltet, da kein Schmelzwasser zu erwarten ist.

z.B. Stundenwerte für die Jahre 2007 – 2016: Quelle: ZAMG

	< -12° C	< -5° C	< 0° C	< +3° C
Innsbruck	16 Std.	281 Std.	1.248 Std.	2.340 Std.
Kufstein	13 Std.	218 Std.	1.131 Std.	2.336 Std.
Landeck	14 Std.	261 Std.	1.235 Std.	2.367 Std.
Galtür	231 Std.	1.203 Std.	2.793 Std.	3.975 Std.

## 5.5.10.2 Beispiele Personenaufzug

Die Personenaufzüge in den Schulen sind normalerweise nur für Lehrer und Gebäudebetreuer zugänglich.

### Beispiel Lift 1 mit hohem Standby-Anteil:

Jahresverlauf:

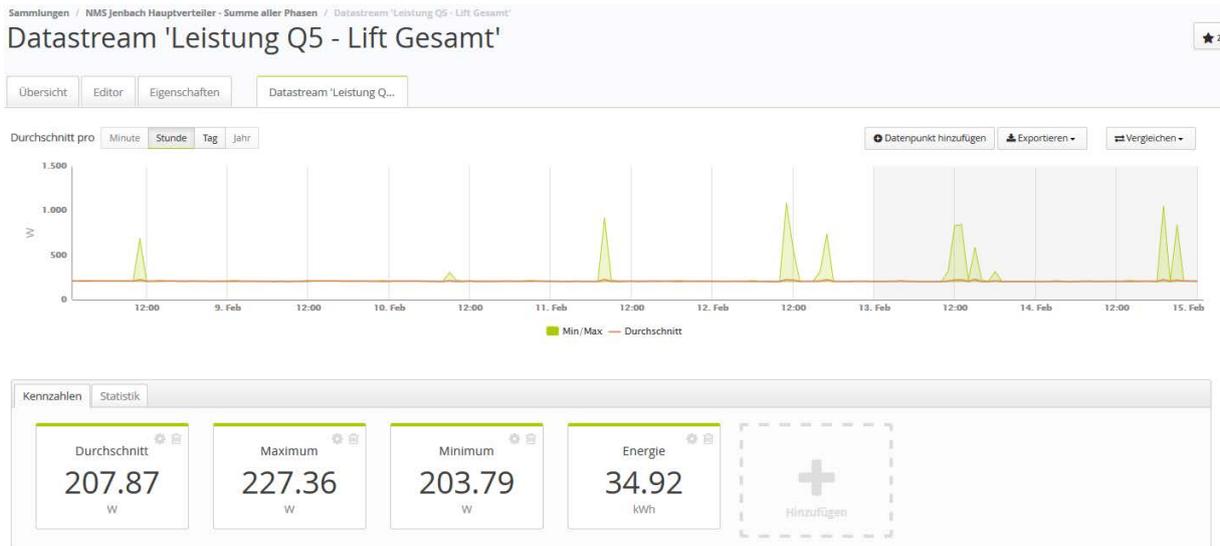


Wochenverlauf: 15. 2. 2016 bis 21. 2. 2016 (Winter – Schulbetrieb)



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Wochenverlauf: 8. 2. 2016 bis 14. 2. 2016 (Winter – Ferien)



Tagesverlauf: Dienstag, 16. 2. 2016 (Schulbetrieb)



Tagesverlauf: Sonntag, 19. 6. 2016 (Schulfrei)



## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Allein die Grundlast von 200 Watt ist bereits für ca. 1.800 kWh Stromverbrauch verantwortlich (ohne Berücksichtigung des  $\cos \Phi$ ). Die Energie für den eigentlichen Personentransport verursacht nur ca. 200 kWh pro Jahr. D.h. der Nutzanteil beträgt nur 10 %, wenn der Standby-Anteil nicht doch durch einen anderen, unbekanntem Verbraucher verursacht wird.

### Beispiel Lift 2 ohne Standby-Anteil:

Jahresverlauf:



Tagesverlauf: Dienstag, 26. 1. 2016 (Schulbetrieb)



Die Nutzenergie für den Personentransport ist mit ca. 200 kWh/Jahr bei beiden Liftbeispielen in etwa gleich.

**Einsparmöglichkeiten bei Aufzügen:** Die wesentliche Einsparung besteht in der Vermeidung von hohen Standby-Verbräuchen (Fernwartung bzw. Notfallmeldungen). Die eigentliche Transportenergie ist mit 0,04 W/m<sup>2</sup> BGF vernachlässigbar.

### 5.5.10.3 Beispiel Abwasser Hebeeinrichtungen:

Hebeeinrichtungen für einzelne Bereiche (z.B. WC im Keller) sind vom Stromverbrauch her von untergeordneter Bedeutung. Hebeeinrichtungen für größere Abwasserbereiche sind in Tirol eher untypisch und wurden daher nicht weiter vertieft.

Wochenverlauf 16. Bis 22. 1. 2017



Tagesverlauf mit hoher Nutzung: Mittwoch, 18. 1. 2017



Tagesverlauf mit geringer Nutzung: Mittwoch 1. 2. 2017



### 5.5.10.4 Brandmeldeanlage, Rauchabzüge

Die Brandmeldeanlage verursacht über das Jahr gesehen nur einen geringen Strombedarf und kann meist vernachlässigt werden.

Beispiel 1: Brandmeldeanlage für eine kleine Volksschule

Monatsverlauf 9. 1. bis 8. 2 2017



Beispiel 2: Brandmeldeanlage für eine mittelgroße NMS

Monatsverlauf 9. 1. bis 8. 2 2017



Der geringste Stromverbrauch für eine Brandmeldeanlage wurde mit 5 W vermessen.

Die automatischen Rauchabzüge sind im Normalzustand stromlos und verursachen daher keinen Stromverbrauch.

**Einsparmöglichkeiten bei Brandmeldeanlagen:** Einbeziehung des Stromverbrauchs bei der Investitionsentscheidung.

### 5.5.10.5 Schließsysteme, Automatische Türen

Schließsysteme und automatische Türen zählen ebenfalls zu den Kleinverbrauchern und werden nicht vertieft behandelt.

Wochenverlauf Türöffner: 23. Bis 29.10.2017

Datastream 'Leistung 18Q3 Türöffner'



Wochenverlauf Schiebetür: 23. bis 29. 10. 2017

Datastream 'Schiebetür Eingang Ost'



Tagesverlauf 23. 10. 2017

Datastream 'Schiebetür Eingang Ost'



### 5.5.11 Beleuchtung

Die Beleuchtung ist meist der größte Stromverbraucher in Schulen und primär abhängig von der installierten Leuchtentechnologie sowie dem Nutzerverhalten bzw. der automatischen Bedarfsanpassung (tageslichtabhängig, Bewegungsmelder etc.)

Im Bereich Beleuchtung wird im Klassentrakt zwischen folgenden drei Bereichen unterschieden.

1. Beleuchtung Klassentrakt
2. Notbeleuchtung
3. Außenbeleuchtung

Die Stromverbräuche für die Standby-Verluste von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) werden gesondert behandelt, da sie nur bei BUS-Systemen auftreten.

#### 5.5.11.1 Beleuchtung Klassentrakt

Ausgehend von der durchschnittlichen Belichtungsstärke wird die installierte Beleuchtungsleistung abgeschätzt und dann hochgerechnet.

Demonstrationstische	500 Lux
<b>Küchen</b>	500 Lux
Räume für technisches und textiles Werken	500 Lux
<b>Tafelbeleuchtung</b>	500 Lux („grün“), 300 Lux, wenn weiß
Vorbereitungs- und Übungsräume	500 Lux
<b>Zeichensäle</b>	500 Lux
Bibliothek	300 Lux
<b>Computerübungsräume</b>	300 Lux
<b>Direktion, Administration, Beratung</b>	300 Lux
<b>Lehrerarbeitsräume / Sammlungen</b>	300 Lux
<b>Unterrichtsräume, Laboratorien, Werkstätten</b>	300 Lux
Turnsaal	200 Lux (500 Lux für Wettkampfsport)
Aula und Pausenzonen	200 Lux
<b>Gemeinschafts- und Versammlungsräume</b>	200 Lux
Schulbuffet	200 Lux
<b>Treppen</b>	150 Lux
Archiv/Sammlungen	100 Lux
Verkehrsflächen, Flure	100 Lux
Sanitärräume und Garderoben	100 – 200 Lux
Zugangswege	5 – 10 Lux

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Ausgehend von der Standard-Belichtungsstärke von 300 Lux für Klassenräume und 500 Lux für spezielle Bereiche ergibt sich je nach Ausstattung der Verkehrsflächen und der Überdimensionierung der Beleuchtungsstärke ein Durchschnittswert für den gesamten Klassentrakt von 250 bis 350 Lux.

Beleuchtung – Klassentrakt (Gesamt)	Lux	Lux	Lux
Beleuchtungsstärke (Durchschnitt)	250	300	350

Aufgrund der gleichmäßig gewünschten Ausleuchtung für alle Bereiche entspricht dies mit Einrechnung der Streuverluste (Wände bzw. Überlappungen) und des Wartungsfaktors (für Verschmutzung und sinkende Leuchtkraft) von ca. 20 % dem notwendigen gerichteten Lichtstrom in Lumen.

Beleuchtung – Klassentrakt	Lumen	Lumen	Lumen
Lichtstrom (Durchschnitt)	300	360	420

Für die gerichtete Lichtausbeute zur Bodenfläche (inkl. Reflektorverlusten) wurden folgende Durchschnittswerte angesetzt:

1. LED 100 Lumen/Watt
2. Leuchtstoffröhren T5 HE\* 50 Lumen/Watt
3. Leuchtstofflampen T8 (oder T5 HO\*\* Röhren mit 80 W) 40 Lumen/Watt

\*HE: High Efficiency; \*\*HO: High Output

Beleuchtung Klassentrakt	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spez. Beleuchtungsleistung exkl. VG	3	7,2	10,5

Inklusive ca. 5 – 10 % Stromverbrauch für das elektronisches Vorschaltgerät (EVG), 10 % für das verlustarme Vorschaltgerät (VVG) und 10 - 20 % beim konventionellen Vorschaltgerät (KVG) bedeutet dies eine Gesamtleistung von:

1. Sparsames EVG 5 %
2. Standard EVG oder VVG 10 %
3. KVG 15 %

Beleuchtung Klassentrakt	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spez. Beleuchtungsleistung inkl. VG	3,2	7,9	12

Die Volllaststunden sind abhängig von den Raumgegebenheiten, der Art der Regelung und dem Nutzerverhalten. In Klassenräumen wird zwischen den drei folgenden Regelungsarten unterschieden:

1. Tageslichtreglung in den Klassen, Bewegungsmelder oder Tageslichtsensoren in den Bewegungsbereichen
2. Schaltung einzelner Reihen in den Klassen, Zeitschaltung in den Bewegungszonen
3. Gesamtschalter für Klasse, manuelle Schalter in den Bewegungszonen

Volllaststunden	600	800	1000
-----------------	-----	-----	------

Zu beachten ist, dass die zusätzlichen Stromverbräuche durch Bewegungsmelder und Standby von EVG durch BUS-Systeme in den Volllaststunden nicht enthalten sind.

Beleuchtung – Klassentrakt	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Klassentrakt ohne Standby	1,9	6,3	12

Standby-Verbräuche bei der Beleuchtung entstehen, weil bei BUS-Systemen (z.B. KNX/DALI) die Leuchten normalerweise nicht stromlos geschaltet sind. Die Standby-Leistungen der EVG liegen meist zwischen 0,5 und 1,5 für nicht-dimmbare EVG und bis zu 5 W bei dimmbaren EVG (Schnitt ca. 3 W). Es gibt jedoch auch Bus-Schaltungen, welche diesen Standby-Verbrauch vermeiden können.

Für die drei Kategorien „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ wurden folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

1. BUS-System mit Standby-Vermeidung oder nicht dimmbaren Leuchten
2. BUS-System mit Standby-Vermeidung und dimmbaren Leuchten
3. BUS-System ohne Standby-Vermeidung mit dimmbaren EVG

Beleuchtung Klassentrakt (Gesamt)	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spez. Standby-Leistung	0,1	0,20	0,4

Die Standby-Stunden wurden bei allen Systemen vereinfacht mit 8.760, abzüglich der Volllaststunden, gerechnet. Dies trifft bei gediminten Systemen genaugenommen jedoch nicht mehr zu. Bei Systemen ohne BUS-System ist dieser Bereich „0“.

Standby-Stunden	7.760	7.960	8.260
-----------------	-------	-------	-------

Zu beachten ist, dass sich die Standby-Verbräuche entgegengesetzt den Stromverbräuchen für die Nutzungszeit verhalten. D.h., einfache manuelle Schalter haben keine Standby-Verbräuche, dimmbare Bus-Systeme die höchsten.

Beleuchtung – Klassentrakt (Gesamt)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Standby EVG, Gateway, Dimmer, Lichtsensor,..	0,7	1,6	3,3

Aus den Bandbreiten des Stromverbrauchs für die Nutzungszeit und die Standby-Zeit ist ersichtlich, dass es möglich ist, dass eine LED Beleuchtung mit BUS-System und Tageslichtanpassung für die Nutzungszeit weniger Energie benötigt als für die Zeit im Standby.

**Vergleich mit LENI Berechnung laut ÖNORM H 5059:2007**

Die normgerechte Berechnung des LENI-Faktors (lighting energy numeric indicator) ergibt deutlich zu hohe Werte. Diese liegen über den durchschnittlichen Gesamtstromverbräuchen der Schulen (16 – 18 kWh/m<sup>2</sup> BGF). Beispiel einer Volksschule:

Gebäudetyp: "Kindergarten oder Pflichtschule"			
Beleuchtungsenergiebedarf in Anlehnung an die ÖNORM H 5059:7007			
<b>Wahl des Gebäudetyps zur Ermittlung der Standardbetriebsstunden</b>			
Gebäudetyp		Kindergarten oder Pflichtschule	
Zeit der Tageslichtnutzung		t <sub>D</sub> =	2860 h/a
Zeit der Kunstlicht		t <sub>N</sub> =	368 h/a
jährliche Standardbetriebsstunden		t <sub>TOTAL</sub> =	3228 h/a
Notbeleuchtung vorhanden („JA“) / NEIN		E <sub>m</sub> =	300 lux
<b>Bestimmung des Tageslicht-Teilbetriebsfaktors (Abschnitt 8)</b>			
Handschaltung			1
Dimmen m. Photozellen – konst. Bel.stärke			0,9
Dimmen m. Photozellen – konst. Bel.stärke mit Tageslichterfassung			0,8
Tageslicht- Versorgungsfaktor		F <sub>D</sub> =	1
<b>Bestimmung des Belegungs- Teilbetriebsfaktors (Abschnitt 9)</b>			
Handschaltung			1
Regelung			0,9
Nutzungsabhängigkeitsfaktor		F <sub>O</sub> =	1
<b>Bestimmung des Konstantlichtfaktors (Abschnitt 10)</b>			
Konstantlichtfaktor (Defaultwert)		F <sub>C</sub> =	0,83
<b>Leerlaufverlust- Leistung</b>			
Leerlaufverlustleistung der Leuchten für Notbeleuchtung [kWh/m <sup>2</sup> a]		P <sub>em</sub> =	1,00
Leerlaufverlustleistung der Beleuchtungskontrollgeräte im Standby [kWh/m <sup>2</sup> a]		P <sub>pc</sub> =	0,00
<b>Auswahl 1 (Hauptbeleuchtung)</b>			
Anteil:	90,00%	η Raum =	0,8000
LED Leuchten mit EVG/DALI Rasterleuchte mit lichtlenkenden Prismen		η Leuchtmittel	85,0000
		η Leuchte =	0,6000
		η 1 =	0,0221
<b>Auswahl 2</b>			
Anteil:	10,00%	η Raum =	0,8000
Leuchtstoffröhre T16 mit EVG geschl. Feuchtraum Wannenleuchte		η Leuchtmittel	85,0000
		η Leuchte =	0,4000
		η 2 =	0,0037
<b>Auswahl 3</b>			
Anteil:	0,00%	η Raum =	0,8000
Standard Glühlampe		η Leuchtmittel	85,0000
		η Leuchte =	0,5000
		η 3 =	0,0000
spezifische elektrische Bewertungsleistung		P <sub>spez</sub> =	7,72 W/m <sup>2</sup>
Fläche (Brutto)		A <sub>Brutto</sub> =	3.034 m <sup>2</sup>
Gesamtleuchtenleistung		P <sub>n</sub> =	18.739 W
effektive jährliche Betriebsstunden		t <sub>U</sub> =	3.228 Stunden
jährlicher Energiebedarf für Beleuchtung		LENI =	52.634,58 kWh/a
spez. jährlicher Energiebedarf für Beleuchtung		Q <sub>LENI</sub> =	21,69 kWh/m <sup>2</sup> a
spez. Jährl. Energiebedarf für Beleuchtung		Q <sub>LENI, Benchmark</sub> =	25 kWh/m <sup>2</sup> a

Abbildung 5.12: LENI Berechnung Quelle: Ing. David Canaval Diplomarbeit Differenzierte Betrachtung des LENI-Beleuchtungsenergiebedarfs mit dem Ziel der Bewertbarkeit von Notbeleuchtungssystemen

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Beispiel 1: Bewegungsmelder im Gangbereich (Teil einer Etage) ohne Tageslichtsensor.

Zeitraum: 1. 10. 2015 bis 31. 5. 2016



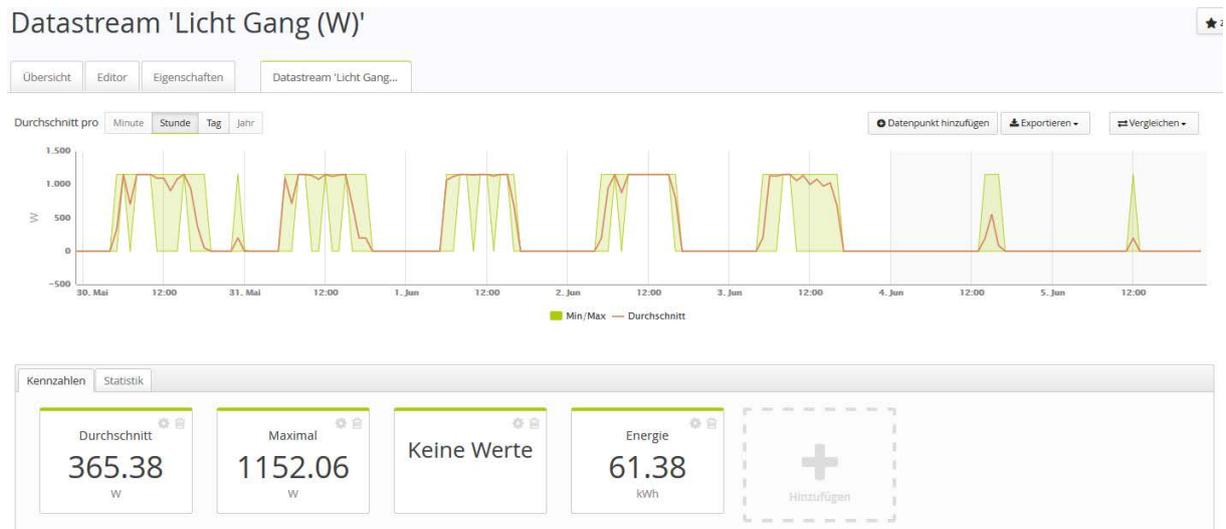
Sommerferien: 1. 7. 2016 bis 30. 7. 2016 (inkl. Reinigung)



Insgesamt ergeben sich, wenn man die 8 Monate von Oktober bis Mai und den Juli auf das gesamte Jahr hochrechnet, ca. 2.300 kWh/a.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Wochenverlauf: 29. 5. bis 5. 6. 2016 (Sommer – Schulbetrieb)



Es zeigt sich schon in der Wochendarstellung die hohe Einschaltzeit.

Tagesverlauf: Dienstag, 31. 5. 2016 (Sommer - Schulbetrieb)



Der Tagesverlauf zeigt, dass die Beleuchtung so gut wie immer eingeschaltet ist. Der Bewegungsmelder ohne Tageslichtsensor hilft daher nur den Verbrauch außerhalb der Betriebszeiten zu reduzieren.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Tagesverlauf, Sonntag 29. 5. 2016 (Sommer - Sonntag)

### Datastream 'Licht Gang (W)'



Die Gesamtbetriebszeit der Beleuchtung im Gangbereich betrug 2.031 Stunden. Eine Zeit, die in anderen Schulen auch ohne Bewegungsmelder nicht erreicht wird. Die Nachrüstung mit einem Tageslichtsensor würde das Problem beseitigen. Für den Stiegenaufgang ergaben sich sogar 2.400 Stunden.

Ersichtlich ist auch, dass das System ohne BUS-Anbindung arbeitet, da keine Standby-Verbräuche der EVG sichtbar sind. Die Stromverbräuche der Bewegungsmelder sind dem Allgemeinstrom zugeordnet.

### Beispiel 2: Vier Klassen in einer NMS: Beleuchtung mit T5 Leuchten (ca. 600 W pro Klasse)

Teilmessungen über mehrere Monate: 1. 1. 2017 bis 30. 9. 2017



Wochenverlauf Winter: 23. bis 29. 1. 2017

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen



## Wochenverlauf Sommer: 12. bis 19. 6. 2017



## Wochenverlauf Sommerferien: 15. bis 21. 8. 2017



## Tagesverlauf Winter: 24. 1. 2017

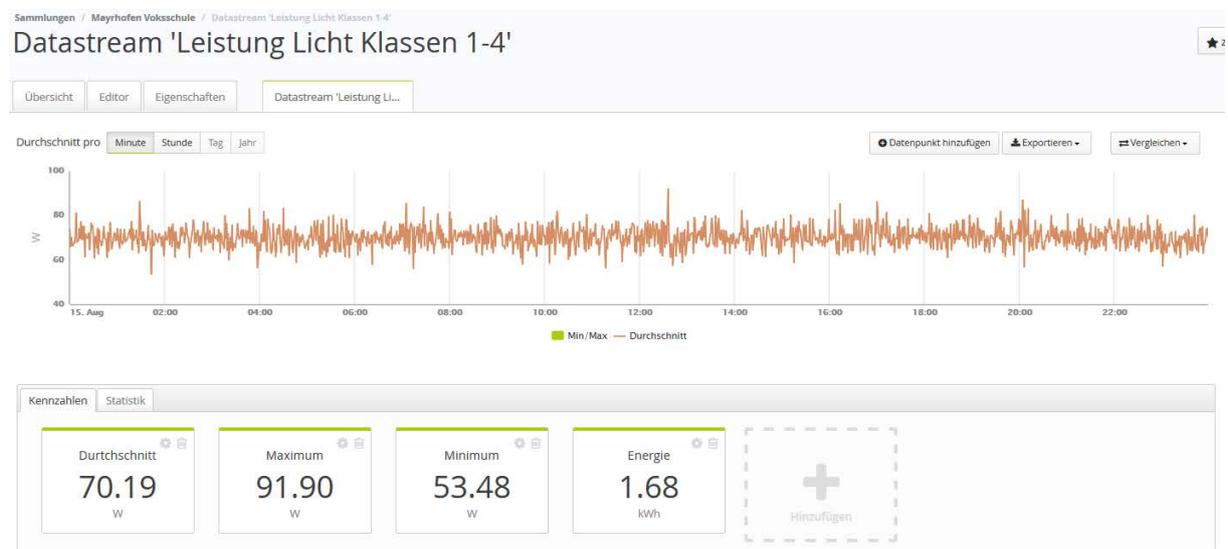
# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen



## Tagesverlauf Sommer: Dienstag 13. 6. 2017



## Tagesverlauf Sommerferien: Dienstag 16. 8. 2017



## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

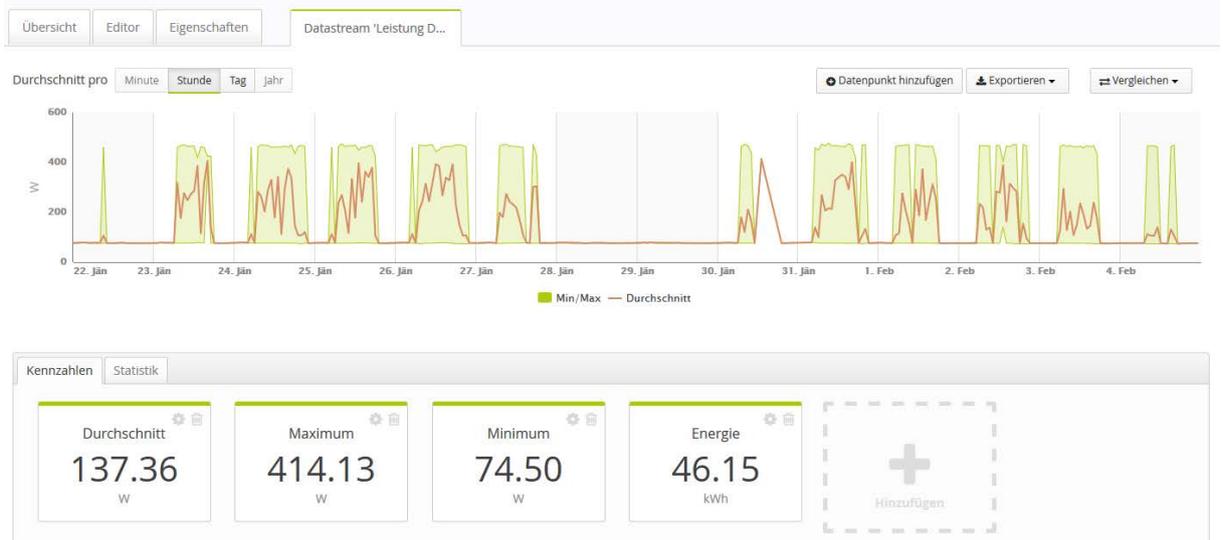
Der Standby-Verbrauch von ca. 55 W für die vier Klassen ergibt einen Jahresstromverbrauch von 480 kWh. Dies bedeutet einen Anteil von 30 % am Gesamtjahresverbrauch von ca. 1.700 kWh für die Beleuchtung (ohne Berücksichtigung des  $\cos \Phi$ ).

Die Dauerleistung von ca. 55 W ergibt sich aus dem Standby-Verbrauch des EVG, der Dimmer, Sensoren, Spannungswächter für Notbeleuchtung etc., die durch die Tasterfunktion mit dem BUS-System verbunden sind. Insgesamt sind in den 4 Klassen 52 Leuchten (jeweils 3 Reihen á 4 x 54 W und 1 x 54 W für die Tafel) installiert. Dies bedeutet ca. 4 W/Leuchte Standby, ohne Berücksichtigung des  $\cos \Phi$ . Setzt man diesen mit 0,33 an, so verbleiben ca. 1,3 W Standby pro Leuchte.

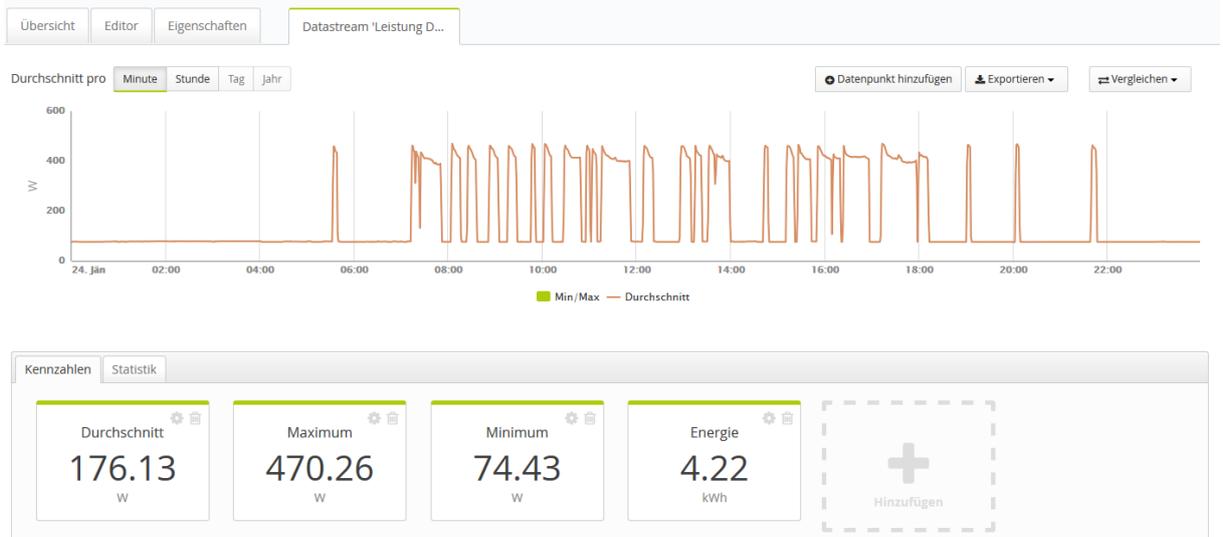
Die durchschnittliche Beleuchtungsdauer in den Klassen betrug ca. 850 Std.

### Beispiel 3: Garderobenbeleuchtung (Downlights mit ESL und Bewegungsmelder) mit hohem Standby-Verbrauch

#### Datastream 'Leistung Downlights Garderobe (W)'



#### Datastream 'Leistung Downlights Garderobe (W)'



Ohne Korrektur des  $\cos \Phi$  beträgt der Anteil des Standby ca. 55 % der Gesamtenergie. Das Thema Standby von Beleuchtungssystemen sollte daher in einem eigenen Projekt beleuchtet werden. Einerseits, um die Größenordnungen mit Korrektur des  $\cos \Phi$  zu bestimmen und andererseits, um Planer und Beleuchtungsfirmen, bei denen das Thema Standby-Vermeidung bei BUS-Systemen bisher so gut wie keine Berücksichtigung findet, für dieses spezielle Thema zu sensibilisieren.

**Einsparmöglichkeiten bei der Beleuchtung:** LED Beleuchtungen mit teils über 140 Lumen/Watt stellen die langfristig günstigste Variante der Beleuchtung dar. Die Einhaltung der empfohlenen Beleuchtungsstärken (keine Überdimensionierung) ist jedoch immer der Ausgangspunkt für sparsame Beleuchtungskonzepte. 500 Lux, statt der empfohlenen 300 Lux, bedeuten einen ca. 70 % höheren Strombedarf. Leuchten ohne Reflektorverlust vermindern die zu installierende Lichtleistung zusätzlich. Spiegelrasterleuchten sind daher bei Neuinvestitionen nicht mehr zu empfehlen. Einerseits unter dem Aspekt des Energieverbrauchs und andererseits wegen der Wartungs- bzw. Reinigungskosten. Die Nachrüstung von Spiegelrasterleuchten mit LED-Tubes ist nur bedingt möglich oder zu empfehlen, da aufgrund der gerichteten Strahlung der LED-Tubes die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung nicht mehr in derselben Weise gegeben ist wie bei einer Leuchtstoffröhre, die das Licht in alle Richtungen gleichmäßig abgibt. Der Tausch der Leuchtstoffröhren in Standardleuchten ohne Reflektor auf LED ist jedoch meist ohne Probleme möglich. Dennoch verliert die Leuchte genaugenommen ihre Zulassung. Zu beachten ist auf alle Fälle, welches Vorschaltgerät eingebaut ist. Bei konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) ist ein Wechsel sehr einfach und mit kostengünstigen LED-Tubes möglich (unter € 8,-- bei größeren Stückzahlen). Leuchten mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) müssen entweder neu verdrahtet oder mit speziellen, deutlich teureren LED-Tubes für EVG (ca. € 25,--) bestückt werden.

Infos zu LED Tubes siehe: <http://www.ltg.at/media/pdf/LED-Tubes-Infoblatt.pdf>

Tageslichtabhängige Bewegungsmelder bzw. eine Tageslichtsteuerung tragen zu einer weiteren Reduktion des Stromverbrauchs bei. Reine Bewegungsmelder bei den Verkehrsflächen haben sich in Bereichen mit natürlichem Tageslicht nicht bewährt, da in Schulen die Beleuchtung durch die Häufigkeit der Bewegungen am Tag auch bei ausreichender natürlicher Beleuchtung fast immer eingeschaltet ist. Bei BUS-gesteuerten Lichtsystemen (z.B. KNX/DALI) ist auf einen geringen Standby-Verbrauch der EVG, Dimmer, Bewegungs-/Lichtsensoren, Gateways etc. zu achten. Zudem sollte eine Standby-Abschaltung mit einem zusätzlichen Schalt-Aktor umgesetzt werden. Bei BUS-gesteuerten Beleuchtungssystemen ist auch zu beachten, dass es z.B. bei einem Defekt eines EVG, außer dem Elektriker, auch einen Techniker benötigt, der die Leuchte wieder in das BUS-System integriert.

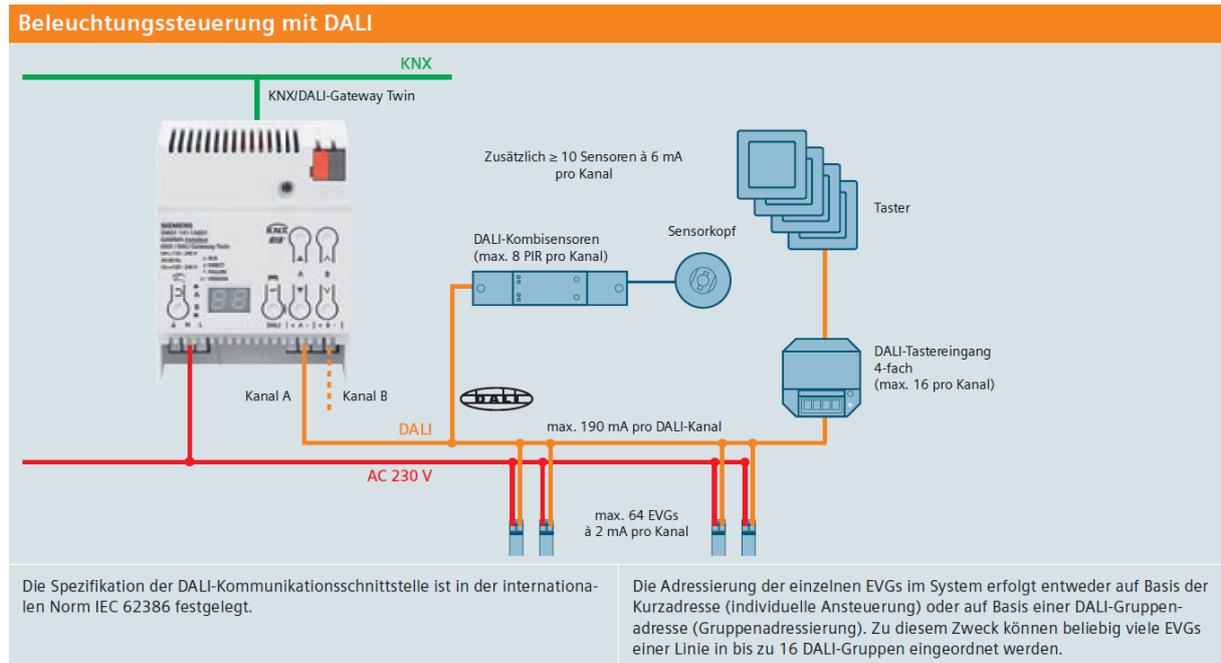


Abbildung 5.13: Beleuchtungssysteme mit KNX/DALI (Quelle: siemens.de/gamma)

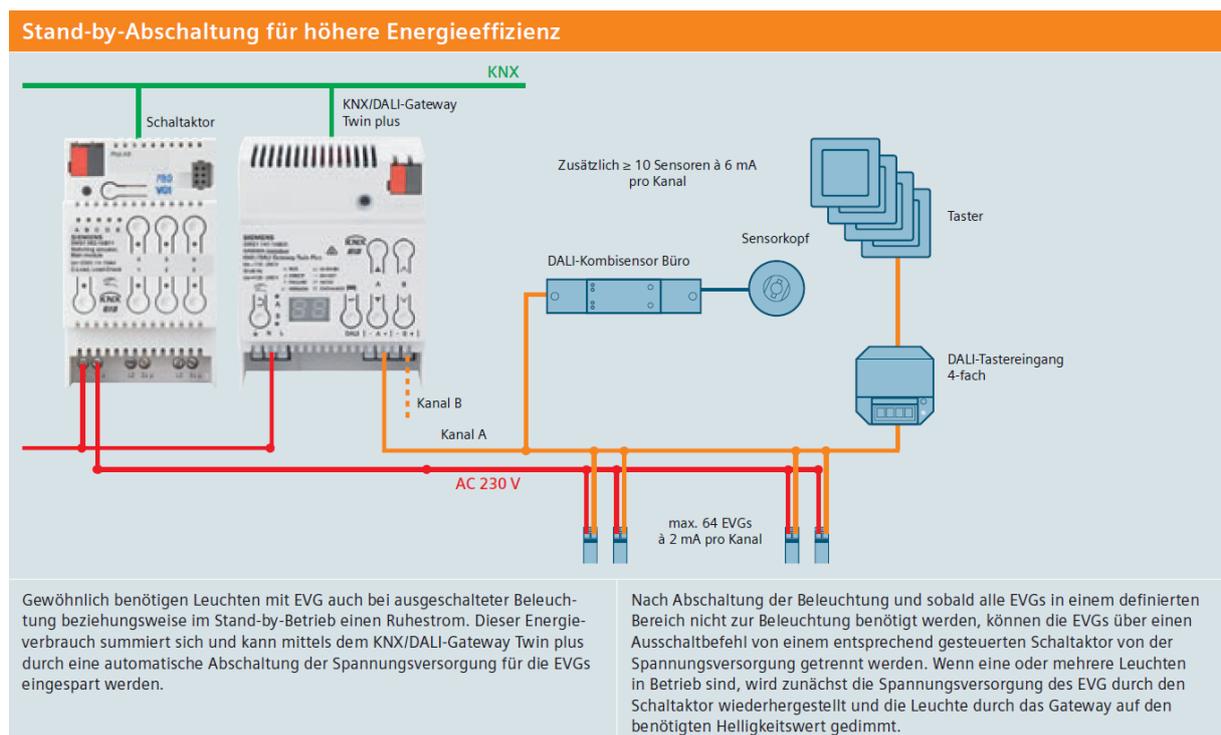


Abbildung 5.14: Stand-by-Abschaltung bei BUS-Systemen (Quelle: siemens.de/gamma)

Grundsätzlich muss man bei der Beleuchtung in Klassenräumen jedoch umfassender ansetzen und durch eine optimale Tageslichtplanung und einen hochwertigen Blend- bzw. Sonnenschutz Situationen verhindern, in denen zwar genügend Tageslicht vorhanden ist, aber gleichzeitig durch die Verdunkelung des Klassenzimmers das Licht eingeschaltet werden muss.

Infos zur Planung und Vergabe von (Außen)-Beleuchtungen können zum Teil auch für die Innbeleuchtung angewendet werden:  
[http://ausenbeleuchtung.ltg.at/media/Akob\\_downloads/vergabe.pdf](http://ausenbeleuchtung.ltg.at/media/Akob_downloads/vergabe.pdf)

### 5.5.11.2 Notbeleuchtung

Unter Notbeleuchtung versteht man einerseits die Sicherheitsbeleuchtung (Fluchtweganzei- gen) und andererseits die Ersatzbeleuchtung.

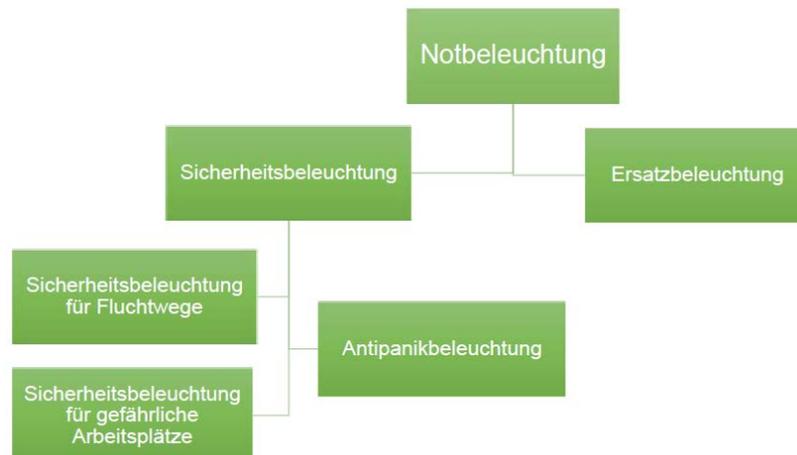


Abbildung 5.15: Notbeleuchtung Darstellung aus Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 5. Auflage, Berlin,2015, S. 361.

Bei Notbeleuchtungssystemen (Sicherheitsbeleuchtung und Ersatzbeleuchtung) besteht von der Verbrauchsseite vor allem ein Unterschied zwischen konventionellen Lösungen mit Leuchtstoffröhren und LED Systemen bzw. zentralen (gruppenweisen) und dezentralen Systemen. Dezentrale Systeme (Einzelleuchten) werden in Schulen aufgrund der hohen Kosten bzw. geringen Effizienz normalerweise nicht eingesetzt. Die folgende Betrachtung bezieht sich daher nur auf zentrale bzw. gruppenweise Systeme.

Es werden für die drei Kategorien jeweils folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

1. Zentrale oder gruppenweise Notbeleuchtung mit LED Technik 1,2 W/Lichtpunkt für Sicherheitsbeleuchtung und 3,6 W/Lichtpunkt für Ersatzbeleuchtung
2. Zentrale oder gruppenweise Notbeleuchtung mit LED Technik 3,6 W/Lichtpunkt
3. Zentrale oder gruppenweise Notbeleuchtung mit Leuchtstoffröhren 8 W/Lichtpunkt

Für die theoretische Hochrechnung wurde pro 30 m<sup>2</sup> ein Lichtpunkt angesetzt. Hochgerechnet mit der Leistung pro Leuchte von 8 W für Leuchtstoffröhren, 3,6 W für LED-Standardssysteme und für optimierte LED Systeme 1 - 3 W (Sicherheitsbeleuchtung 1 W, Ersatzbeleuchtung 3 W) ergibt sich folgende Einteilung.

Notbeleuchtung Klassentrakt (Gesamt)	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spezifische Beleuchtungsleistung	0,06	0,10	0,26

Aus den Berechnungen der gesperrten Diplomarbeit „Differenzierte Betrachtung des LENI-Beleuchtungsenergiebedarfs mit dem Ziel der Bewertbarkeit von Notbeleuchtungssystemen, Mittweida, 2016 von Ing. David Canaval, (Sperrung wurde dankenswerterweise von der Fa. DIN Notbeleuchtung speziell für dieses Forschungsprojekt aufgehoben) lassen sich folgende Benchmarks ableiten. Verbrauchswerte inkl. Vorschaltgeräten, Kommunikationsmodulen und Erhaltungsladung der Batterien.

Notbeleuchtung – Klassentrakt (Gesamt)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Notbeleuchtung	0,3	1,0	2,5

Insgesamt verursacht die Notbeleuchtung einen überraschend hohen Stromverbrauch pro m<sup>2</sup> BGF. Eine schlechte Notbeleuchtung in einer Schule kann theoretisch sogar einen höheren Stromverbrauch pro m<sup>2</sup> bedeuten als eine effiziente LED Beleuchtung für den Tag ohne Standby-Verluste. Die Bandbreite der Notbeleuchtungen in den vermessenen Schulen (alle mit LED Technik) lag zwischen 0,3 und 0,6 kWh/m<sup>2</sup> BGF.

**Einsparmöglichkeiten bei der Notbeleuchtung:** Zentrale bzw. gruppenweise LED Systeme stellen die sparsamsten Lösungen dar, sodass sich der höhere Verkabelungsaufwand gegenüber Einzelleuchten auf alle Fälle lohnt. Zudem ist auch der Wartungsaufwand zentraler Systeme deutlich geringer. Systeme mit 24 Volt haben den Vorteil des Entfalls eines Vorschaltgerätes bei den Leuchten, können aber meist nur Teile eines Gebäudes versorgen (z.B. einzelne Stockwerke bzw. eine Sporthalle).

Die Batteriesysteme sollten so ausgewählt werden, dass keine mechanische Belüftung notwendig ist.

Die Nutzungsdauer der Notbeleuchtung lässt sich in Schulen unter Einhaltung der Norm verkürzen, da nicht alle Leuchten immer in Betrieb sein müssen. Es gibt auch normgerechte Möglichkeiten Leuchten nur bei Dämmerung bzw. in den Nutzungszeiten einzuschalten.

### 5.5.11.3 Außenbeleuchtung

Die Außenbeleuchtung beschränkt sich bei den meisten Schulen auf den Eingangsbereich bzw. temporäre Beleuchtungen (Weihnachtszeit).

Es werden für die drei Kategorien jeweils folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

1. Minimale Außenbeleuchtung mit Bewegungsmelder und Tageslichtsensor
2. Durchschnittliche Außenbeleuchtung nur teilweise mit Bewegungsmelder und Tageslichtsensor
3. Großzügige Außenbeleuchtung mit fixen Einschaltzeiten

Außenbeleuchtung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Außenbeleuchtung	0,03	0,3	0,8

Die Unterschiede der Außenbeleuchtung pro m<sup>2</sup> BGF sind in der Praxis sehr groß, da sich hinter ähnlichen Eingangssituationen teils sehr unterschiedlich große Gebäude befinden, bzw. der Stromverbrauch des Eingangsbereiches nur bedingt etwas mit der Größe des Gebäudes zu tun hat.

#### Beispiel 1: Hoher Verbrauch durch Außenbeleuchtung für Parkplatz

Beim Parkplatz unter der Sporthalle wurden vom Design her zwar schöne, von der Energieeffizienz aber bescheidene Beleuchtungspunkte mit fixer Zeitsteuerung installiert. 18 Leuchten á 150 Watt bedeuten eine Leistung von 2.700 kW. Mit 10 Std. Brenndauer pro Tag benötigen sie 27 kWh bzw. 9.855 kWh/a. Dies entspricht dem Stromverbrauch von mehr als 2 großen Haushalten (ca. 4.500 kWh/4-Personen Haushalt). Umgerechnet auf die Gesamtfläche der Schule bedeutet dies 1,1 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. 5 % des Gesamtstromverbrauchs.

Sporthalle inkl. Haustechnik Gesamtkomplex: Samstag 10. 11. 2016



Sporthalle inkl. Haustechnik Gesamtkomplex: Samstag 6. 8. 2016



Aus den beiden Tagesverläufen ist die Außenbeleuchtung von 16:00 bis 6:00 Uhr bzw. im Sommer von 18:00 bis 6:00 Uhr ersichtlich.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Durch die Umstellung der Zeitprogrammierung und Herausnahme der Nachtzeiten von 23:30 bis 7:00 Uhr reduziert sich der Verbrauch auf ca. 2.700 kWh/a

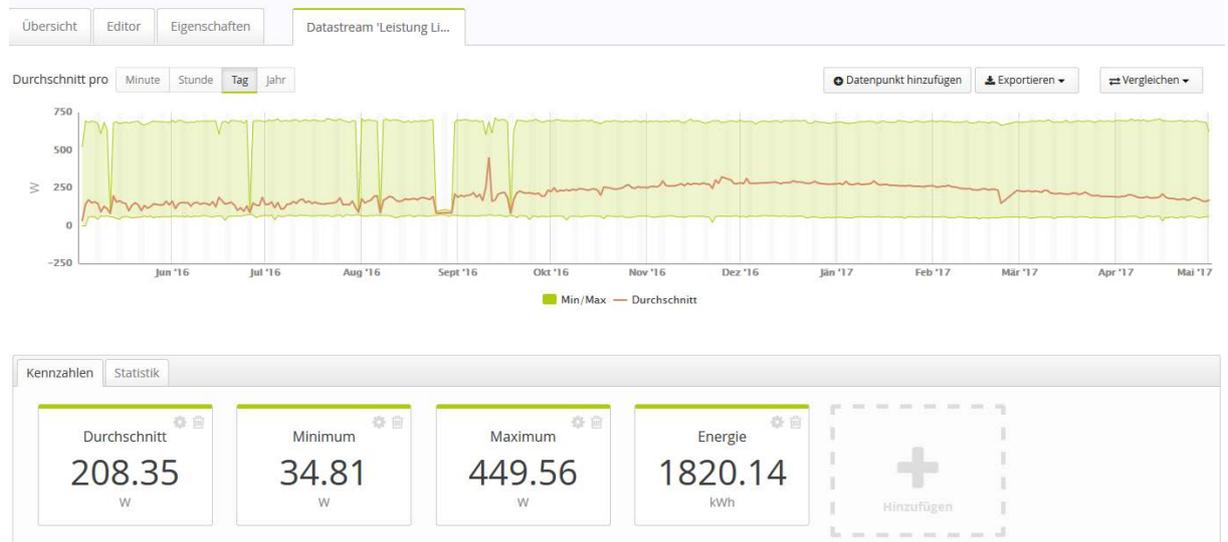
### Datastream 'Leistung Beleuchtung Parkplatz'



**Beispiel 2:** Durchschnittlicher Verbrauch durch Downlights mit Zeitsteuerung, die für Sommer- und Winterhalbjahr angepasst wird.

Jahresverlauf: 2. 5. 2016 bis 1. 5. 2017

### Datastream 'Leistung Licht Haupteingang F4 (W)'



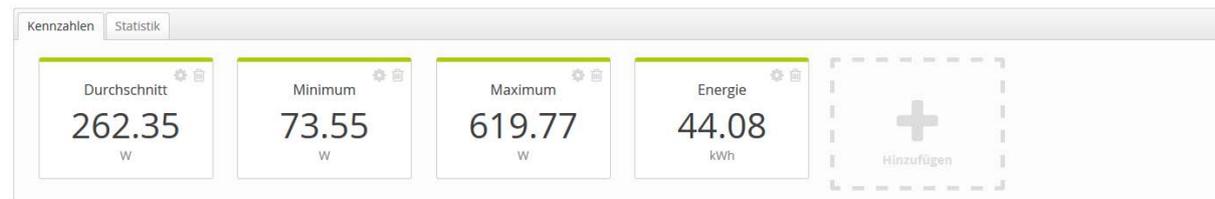
Bezogen auf den Gesamtkomplex der Schule mit ca. 8.400 m<sup>2</sup> entspricht dies 0,2 kWh/m<sup>2</sup>. Bei einer typischen Gebäudegröße von ca. 5.000 m<sup>2</sup> für eine NMS entspricht dies 0,36 kWh/m<sup>2</sup>BGF.

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Wochenverlauf Winter: 23. bis 29. 1. 2017

Datastream 'Leistung Licht Haupteingang F4 (W)'

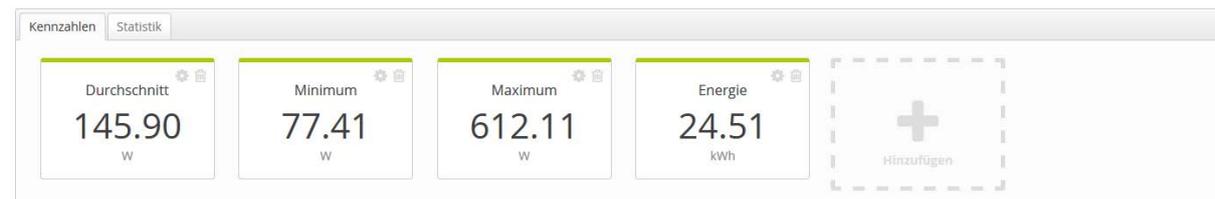
★ zu Fa



Wochenverlauf Sommer: 13. bis 19. 6. 2016

Datastream 'Leistung Licht Haupteingang F4 (W)'

★ zu Fa

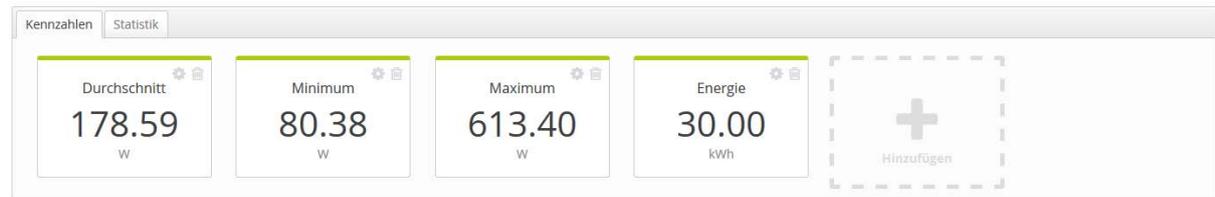


# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Wochenverlauf Sommerferien: 15. bis 21. 8. 2016

Datastream 'Leistung Licht Haupteingang F4 (W)'

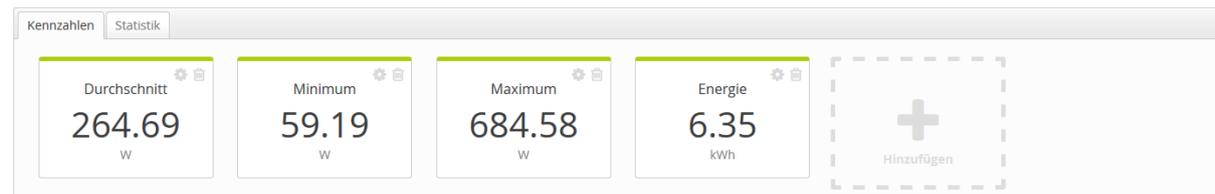
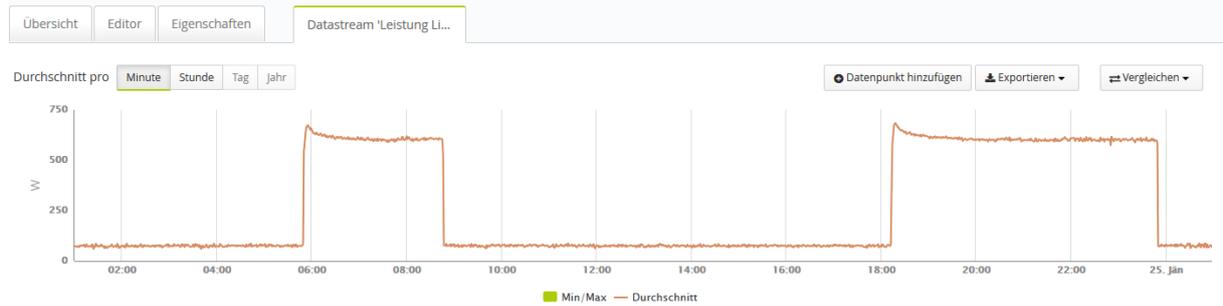
★ zu Fa



Tagesverlauf Winter: 24. 1. 2017

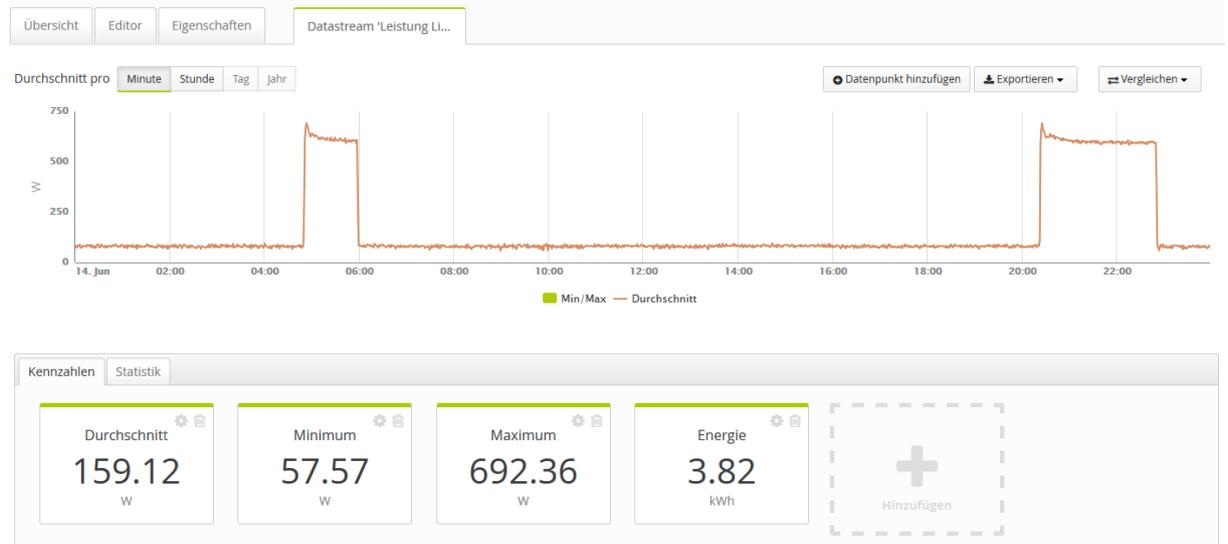
Datastream 'Leistung Licht Haupteingang F4 (W)'

★ zu Fa



Tagesverlauf Sommer: Dienstag 14. 6. 2016

Datastream 'Leistung Licht Haupteingang F4 (W)'



Tagesverlauf Sommerferien: Dienstag 16. 8. 2016

Datastream 'Leistung Licht Haupteingang F4 (W)'



### Beispiel 3: Höhere Kosten durch eigenen Tarifizähler für Außenbeleuchtung

Der durchschnittliche Strompreis für Schulen beträgt ca. 15 Cent pro kWh inkl. USt. In einer Schule wurde für die Außenbeleuchtung ein eigener Zählpunkt bzw. Tarifizähler gewählt. Der Strompreis für die eigens abgerechnete Außenbeleuchtung beträgt aufgrund des Grundpreises 24 Cent pro kWh.

**Einsparmöglichkeiten bei der Außenbeleuchtung:** Vermeiden ist bei der Außenbeleuchtung immer der erste Ansatz. Außer den Eingangsbereichen ist meist keine Außenbeleuchtung notwendig. Ist diese mit LED realisiert und zusätzlich mit einem Bewegungsmelder bzw. Tageslichtsensor gekoppelt, fällt der Stromverbrauch bei einem Schulgebäude nicht ins Gewicht.

### 5.5.12 EDV, Drucker, Scanner, Server etc.

Typischerweise befinden sich in den meisten Schulen neben den EDV Räumen auch in jedem Klassenzimmer ein PC am Lehrerpult für die Multivisionstafeln. Teilweise sind die Klassenräume auch noch mit ein bis zwei PCs für SchülerInnen ausgestattet bzw. sind kleine EDV Inseln im Flurbereich vorhanden. In den PC-Räumen sind neben den Computern meist zwei Drucker, ein Scanner und eine Musikanlage vorhanden. Jede Schule verfügt zumindest auch über einen Serverschrank. Weitere Computer finden sich oft in der Bibliothek, den Lehreräumen, der Direktion und im Hausmeisterbereich.

#### 5.5.12.1 EDV, Drucker, Scanner etc.

Die durchschnittliche PC-Anzahl im gesamten Schulgebäude bezogen auf die Schülerzahlen liegt zwischen 0,2 und 0,4 Computer/SchülerIn. Bei durchschnittlich 20 m<sup>2</sup> BGF pro SchülerIn bezogen auf den Klassentrakt ergibt dies 0,01 bis 0,02 Computer mit Bildschirm pro m<sup>2</sup>.

Die Abschätzung der Verbräuche pro m<sup>2</sup> BGF wurde aufgrund der sehr stark streuenden Werte für die Leistung bzw. die Nutzungsdauer und die Standby-Verbräuche über 2 Wege vorgenommen.

1. Über den durchschnittl. gemessenen Jahresverbrauch der Computer (inkl. Standby)
2. Über die Leistungen und die Stunden für Betrieb und Standby

Weg 1: Über gemessenen durchschnittlichen Jahresverbrauch der Computer:

EDV - Gesamt	Stk./m <sup>2</sup> BGF	Stk./m <sup>2</sup> BGF	Stk./m <sup>2</sup> BGF
Anzahl an Computern	0,01	0,015	0,02

Der Verbrauch pro Computer inkl. Bildschirm wird folgendermaßen den drei Kategorien zugeordnet.

1. Computer und Bildschirme mit geringem Stromverbrauch (inkl. Standby)
2. Computer und Bildschirme mit durchschnittlichem Stromverbrauch (inkl. Standby)
3. Computer und Bildschirme mit hohem Stromverbrauch (inkl. Standby)

EDV - Nutzung	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Jahresverbrauch pro PC	50	100	200

EDV - Nutzung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
PCs inkl. Bildschirm und Nebengeräte	0,5	1,5	4

Diese Gesamtbetrachtung wurde in den Benchmarkbaukasten aufgenommen.

Weg 2: Über gemessene Leistungen für Betrieb und Standby und deren Nutzungsdauer

EDV	Stk./m <sup>2</sup> BGF	Stk./m <sup>2</sup> BGF	Stk./m <sup>2</sup> BGF
Anzahl an Computern	0,01	0,015	0,02

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Die Leistung pro Computer inkl. Bildschirm wird folgendermaßen den drei Kategorien zugeordnet.

1. Laptops
2. Computer und Bildschirme mit durchschnittlichem Stromverbrauch
3. Computer und Bildschirme mit hohem Stromverbrauch

EDV - Nutzung	W/Stk.	W/Stk.	W/Stk.
Leistung pro PC mit Bildschirm, inkl. Nebengeräte	50	150	200

EDV - Nutzung	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
PCs inkl. Bildschirm und Nebengeräte	0,5	2,2	4

Die gemessene Auslastung der Computer in den EDV Räumen bzw. in den Klassen ist sehr unterschiedlich und liegt im Schnitt zwischen 2 und 6 Stunden pro Schultag. Da bei einem höheren Ausstattungsgrad an Computern pro m<sup>2</sup> bzw. pro Schüler die durchschnittliche Nutzungszeit geringer wird, die Standby-Verbräuche jedoch steigen, werden diese einheitlich mit 4 Std. pro Tag und 40 Wochen Schulzeit angesetzt.

Volllaststunden	600	700	800
-----------------	-----	-----	-----

EDV Nutzung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
PCs inkl. Bildschirm und Nebengeräte	0,3	1,3	3,2

Die Standby-Leistung pro Computer inkl. Bildschirm wurde folgendermaßen den drei Kategorien zugeordnet.

1. Computer und Bildschirme mit niedrigem Standby
2. Computer und Bildschirme mit durchschnittlichem Standby
3. Computer und Bildschirme mit hohem Standby

EDV Standby	W/Stk.	W/Stk.	W/Stk.
Leistung pro PC mit Bildschirm, inkl. Nebengeräte	1	6	10

EDV Standby	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
PCs inkl. Bildschirm und Nebengeräte	0,01	0,07	0,2

Bei der Standby-Zeit wurde folgender Ansatz für die drei Klassen gemacht:

1. Zentralschalter bzw. schaltbare Steckerleisten (nur angeschaltet für Updates)
2. Computer werden in den Ferien bzw. teilweise übers Wochenende ausgesteckt
3. Keine Standby-Vermeidung

Stunden Standby	1000	5000	8000
-----------------	------	------	------

EDV Standby	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
PCs inkl. Bildschirm und Nebengeräte	0,01	0,35	1,6

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Betrachtet man den Stromverbrauch der PCs in Bezug auf die Schüler, ergibt sich folgendes Bild. Die Schüler haben meist 2 Unterrichtseinheiten EDV pro Woche. Mit der zusätzlichen Nutzung der PCs, die teilweise im Klassenverband bzw. in den Sonderräumen (Bibliothek) aufgestellt sind, ergibt sich eine Nutzung für die Schüler von 2 bis 4 Stunden pro Woche. Bei 40 Unterrichtswochen und 150 Watt Leistung entspricht dies 12 bis 24 kWh/SchülerIn und Jahr. Mit ca. 20 m<sup>2</sup> pro SchülerIn ergibt dies ca. 0,6 bis 1,2 kWh/m<sup>2</sup> BGF ohne Standby bzw. ohne die Computer für Smartboards, Lehrerzimmer, Direktion und Hausbetreuung.

**Beispiel 1:** Messung der EDV Geräte mit Steckermessgeräten und Hochrechnung für den Jahresverbrauch

Anzahl Schultage: 200				Stand By:	Betrieb:	gemessen		berechnet		
Nr.	Bezeichnung Gerät:	Type:	Standort(e):	Anzahl	Wirkleistung W	Wirkleistung W	kWh pro Schultag	kWh pro freien Tag	Schultage kWh	freie Tage kWh
2	Sekretariat Arbeitsplatz	1PC 2Bildschirme 2Switch	Sekretariat	2	12	100	0,62	0,14	248	46
3	Drucker	Epson LP4130	EDV 3N	8	0	48	0,06	0,03	96	40
4	PC	Laptop Fujitsu	Physikraum	17	0	30	0,02	0,00	68	0
5	PC Fujitsu	Esprimo P510	EDV 3N	50	25	230	1,20	0,64	12 000	5 280
7	Bildschirm	Fujitsu P510	Klasse 3b	14	0	19	0,37	0,00	1 036	0
8	PC	PC Fujitsu	Klasse 3b	14	0	200	1,00	0,00	2 800	0
						Summe:	<b>3,27</b>	<b>0,81</b>	<b>16 248</b>	<b>5 366</b>
									Gesamt:	<b>21 614</b>

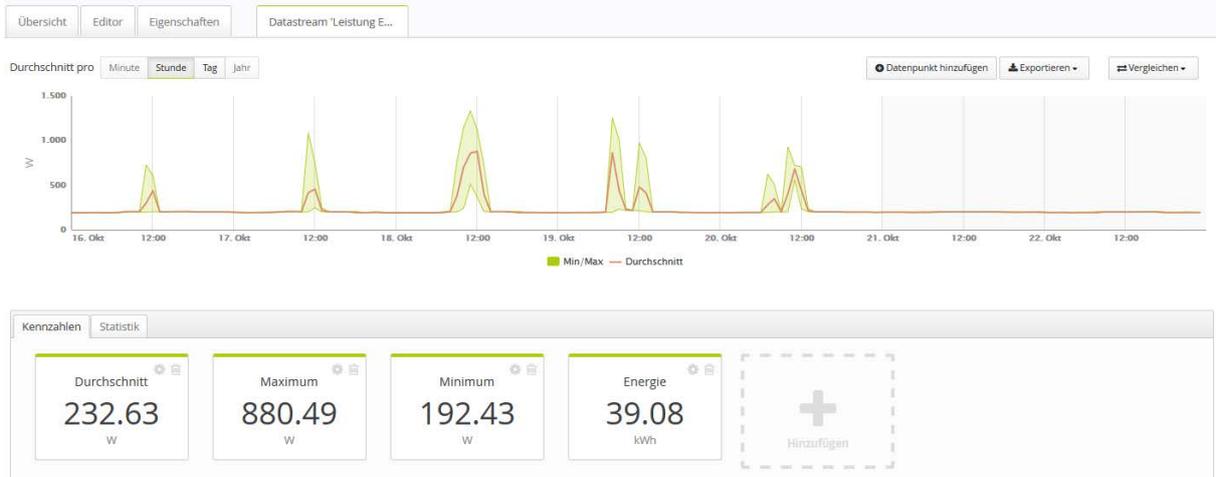
Bezogen auf die Fläche von 7.800 m<sup>2</sup> der NMS ergibt dies für den Bereich PCs 2,7 kWh/m<sup>2</sup> BGF.

Anzahl Schultage: 200				Stand By:	Betrieb:	gemessen		berechnet		
Bezeichnung Gerät:	Type:	Standort(e):	Anzahl	Wirkleistung W	Wirkleistung W	kWh pro Schultag	kWh pro freien Tag	Schultage kWh	freie Tage kWh	
Kopierer	Bizhub 430	Kopiererraum	1	40	250	0,70	0,00	140	0	
Sekretariat Arbeitsplatz	1PC 2Bildschirme 2Switch	Sekretariat	2	12	100	0,62	0,14	248	46	
Drucker	Epson LP4130	EDV 3N	8	0	48	0,06	0,03	96	40	
PC	Laptop Fujitsu	Physikraum	17	0	30	0,02	0,00	68	0	
PC Fujitsu	Esprimo P510	EDV 3N	50	25	230	1,20	0,64	12 000	5 280	
EDV Schrank E1Ost	Diverses		1	71	71	1,73	1,73	346	285	
Lüftung Serverschrank		Serverraum	1	139	139	3,26	3,26	652	538	
Server und Serverschrank		Serverraum	1	320	320	7,41	7,41	1 482	1 223	
Bildschirm	Fujitsu P510	Klasse 3b	14	0	19	0,37	0,00	1 036	0	
PC	PC Fujitsu	Klasse 3b	14	0	200	1,00	0,00	2 800	0	
						Summe:	<b>16,37</b>	<b>13,21</b>	<b>18 868</b>	<b>7 412</b>
									Gesamt:	<b>26 280</b>

Für die gesamte EDV-Ausstattung inkl. Server, Drucker, Scanner und Kopierer ergibt sich ein Verbrauch von 3,36 kWh/m<sup>2</sup> BGF.

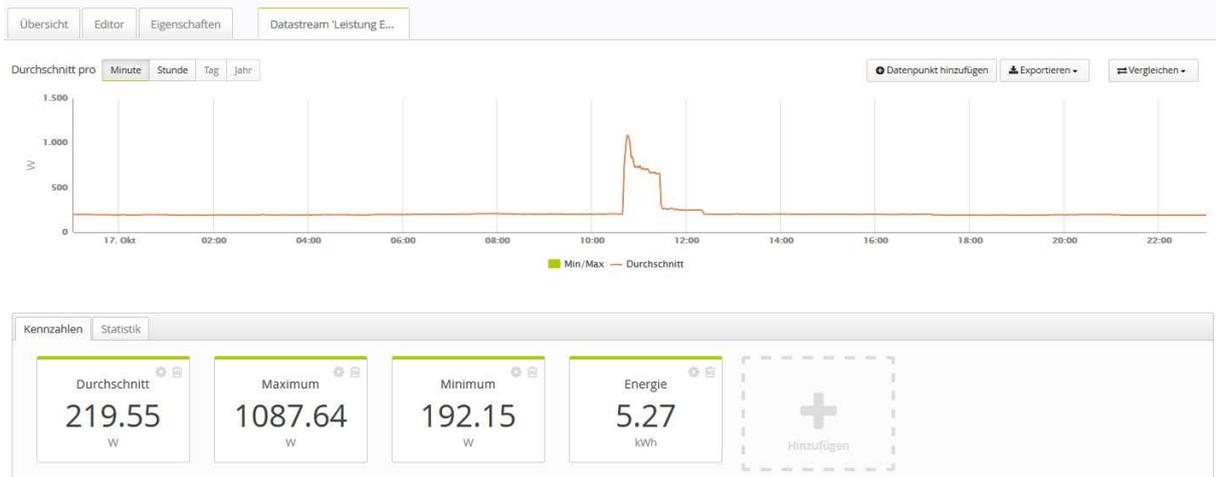
## Beispiel 2: EDV Raum mit 25 PCs: Schulwoche 16. bis 22. 10. 2017

### Datastream 'Leistung EDV 1 im 2. Stock (W)'



### Wochentag mit geringer Nutzung: Dienstag, 17. 10. 2017

### Datastream 'Leistung EDV 1 im 2. Stock (W)'



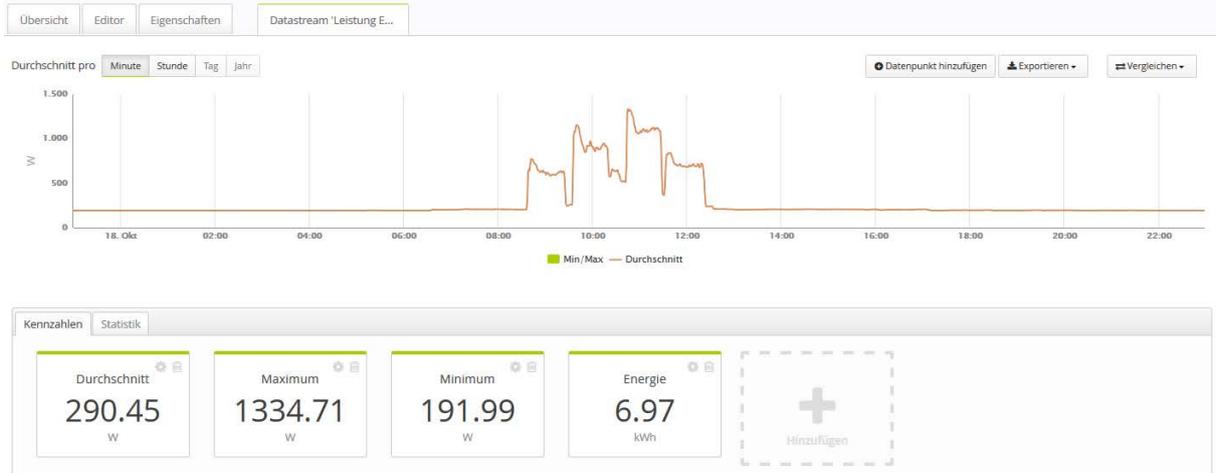
### Wochentag mit typischer Nutzung: Donnerstag, 19. 10. 2017

### Datastream 'Leistung EDV 1 im 2. Stock (W)'



Wochentag mit hoher Nutzung: Mittwoch, 18. 10. 2017

Datastream 'Leistung EDV 1 im 2. Stock (W)'



Typischer Sonntag ohne Nutzung: Sonntag, 22. 10. 2017

Datastream 'Leistung EDV 1 im 2. Stock (W)'



Aus dem Vergleich von Sonntag und Mittwoch ist ersichtlich, dass aufgrund der relativ geringen Nutzung ein beträchtlicher Teil des Stroms für den Standby-Betrieb benötigt wird. Die 4,7 kWh Standby-Verbrauch sind, wie in Kapitel 1 schon angesprochen, nur bedingt aussagekräftig, da bei der Messung mit Klappwandlern der  $\cos \Phi$  der Geräte vernachlässigt wird und dieser bei Computern im Standby zwischen 0,03 und 0,25 liegt. Wenn man die 4,7 kWh Standby (Sonntag) mit einem  $\cos \Phi$  korrigiert, würde das deutlich weniger als 1 kWh Wirkstrom bedeuten.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Beispiele für gemessene Leistungen und cos Phi von Computern, Bildschirmen und Druckern:

Gerät	Watt	VA	CosPhi
Laptop Bestand (Ausgeschaltet)	0,5	21,0	0,02
Laptop Bestand in Betrieb (Mittelwert)	21,0	32,0	0,66
Computer Neu (ausgeschaltet)	0,6	10,0	0,07
Computer Neu im Betrieb (Mittelwert)	80,0	85,6	0,93
Computer älterer Bestand (ausgeschaltet)	3,8	7,1	0,54
Computer älterer Bestand im Betrieb (Mittelwert)	150,0	187,0	0,80
Flachbildschirm 20" Neu (ausgeschaltet)	0,2	8,3	0,03
Flachbildschirm 20" Neu (Mittelwert)	16,0	27,0	0,59
Flachbildschirm 17" älterer Bestand (ausgeschaltet)	2,1	8,9	0,24
Flachbildschirm 17" älterer Bestand in Betrieb	21,0	39,0	0,54
Tintenstrahldrucker (ausgeschaltet)	2,2	8,8	0,25
Tintenstrahldrucker in Betrieb	8,9	21,9	0,41

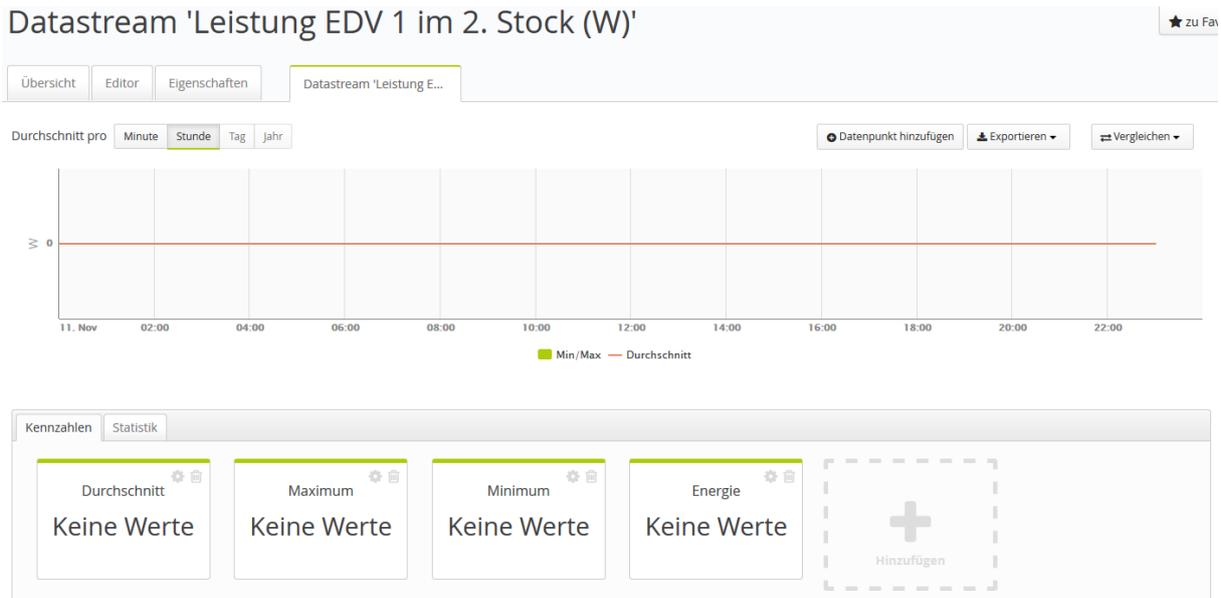
Freitag, 10. 11. 2017 mit der Aktion „Standby vermeiden“

DataStream 'Leistung EDV 1 im 2. Stock (W)'



Man sieht, wie sich die Leistung von zuerst 200 Watt auf 0 Watt reduziert.

Samstag, 11. Nov., 2017 mit der Aktion „Standby vermeiden“



Der Versuch zeigt, dass die 200 Watt Standby, die korrigiert mit dem Cos Phi einer Wirkleistung von ca. 25 Watt entsprechen, mit einem Zentralschalter bzw. schaltbaren Steckerleisten vermeidbar wären. Für die Updates per wake-on-LAN in der Nacht müssten die Computer jedoch zumindest in diesen Zeiten am Netz gehalten werden. Bei ca. 800 Std. Standby ergibt dies für diesen EDV Raum ca. 140 kWh/a vermeidbaren Verbrauch im Standby-Modus. Da aufgrund der EU Effizienzrichtlinien die Standby-Verbräuche von neuen Geräten sehr gering sind und sich in Zukunft noch verringern werden, ist das Thema Standby eines mit zeitlichem Ablaufdatum.

### 5.5.12.2 Server

In Schulen sind meist 1 bis 3 Serverschränke in Betrieb.

Für den/die Server ergibt sich aus den gemessenen Werten folgender Ansatz:

EDV	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Server inkl. Serverschrank	0,04	0,06	0,08

Mit 8.760 Volllaststunden (in keiner der Schulen wird der Server über die Ferien heruntergefahren) ergeben sich folgende Werte pro m<sup>2</sup> BGF:

EDV	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Server inkl. Serverschrank (ohne Kühlung)	0,35	0,5	0,7

In ca. 30 % der untersuchten Schulen war für den Server eine eigene Kühlung (Splitgerät) vorhanden. Der Stromverbrauch der Kühlung für den Serverraum ist abhängig von der Qualität des Splitgerätes bzw. von den Raumverhältnissen.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Für die drei Kategorien „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ wurden folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

1. Effiziente aktive Kühlung
2. Durchschnittliche aktive Kühlung
3. Ineffiziente aktive Kühlung

EDV	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Kühlung für Server (Splitgerät inkl. Standby)	0,1	0,2	0,35

Beispiel Serverkühlung:



Bezogen auf das ganze Jahr bzw. die Fläche der NMS betrug der Stromverbrauch 0,13 kWh/m<sup>2</sup> BGF.

**Einsparmöglichkeiten bei der EDV:** Bei der EDV kommt es vor allem auf eine Berücksichtigung des Stromverbrauchs für Betrieb, Standby und „Aus“ im Zuge der Investitionsentscheidung an. Aufgrund der EU Verordnungen liegen neue Geräte aber im „Aus“ Zustand mittlerweile unter 1 Watt Leistung. Ein Zentralschalter bzw. schaltbare Steckerleisten zur Vermeidung von unnötigem Standby-Verbrauch sind daher vor allem bei älteren Geräten, die auch bei ausgeschaltetem Computer noch zwischen 3 und 15 W benötigen, sinnvoll.

Wake-on-LAN für Updates (Computer erwacht auch aus dem ausgeschalteten Zustand per externem Steuerbefehl) ist auf hohe Energieeffizienz (S3 bis S5) bzw. eine automatische Abschaltung bei längerem Standby in den Energieoptionen zu konfigurieren.

Beschreibung S0 bis S5 durch Microsoft:

Sleep State	Description
S0	The computer is on and fully functional.
S1	The computer appears to be off with the CPU stopped. RAM is refreshed, and the computer is running in a low power mode.
S2	The computer appears to be off with the CPU stopped. RAM is refreshed, and the computer is running in a lower power mode than S1.
S3 (Standby)	The computer appears to be off with no power to the CPU. RAM is in slow refresh.
S4 (Hibernate)	The computer appears to be off with no power to the hardware. System memory has been saved as a temporary file on the hard disk.
S5 (Off)	The computer is off with no power to the hardware, and the operating system has been shut down without saving system memory to disk.

<https://technet.microsoft.com/en-us/library/bb693821.aspx>

Bei Servern ist darauf zu achten, dass sie in Aufstellungsbereichen untergebracht sind, in denen keine aktive Kühlung benötigt wird (z.B. Kellerräume). Eigens einen ungedämmten Kellerbereich, der die Wärme vermehrt über das Erdreich abführen kann, vorzusehen, ist aufgrund der gesamten Serverleistung von ca. 300 - 500 W durchaus möglich.

### 5.5.13 Multimediatafeln, Beamer

Die Nutzung der Multimediatafeln ist in den einzelnen Klassen ebenfalls sehr unterschiedlich und hängt stark von den einzelnen Lehrern ab. Meist haben die Beamer bzw. Multifunktions- tafeln zwischen 200 bis 300 Watt Leistung. Die Standby-Verbräuche liegen zwischen 0,1 und 5 W. Ausgehend von ca. 175 m<sup>2</sup> Gesamtfläche pro Klasse (inkl. aller Nebenräume) ergeben sich folgende spezifische installierte Leistungen.

Für die drei Kategorien „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ wurden folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

1. 50 % der Klassen mit 200 Watt
2. 75 % der Klassen mit 250 Watt oder 100 % mit 200 Watt
3. 100 % aller Klassen mit 300 Watt

Multimedia, Beamer	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Installierte Leistung	0,6	1,1	1,7

Mit ca. 3 bis 5 Stunden Nutzung pro Schultag und 40 Schulwochen ergeben sich folgende Volllaststunden.

Volllaststunden (inkl. Standby)	600	900	1200
---------------------------------	-----	-----	------

Multimedia Beamer	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Verbrauch	0,36	0,9	1,7

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

## Multimedia für 8 Klassen: 1. 1. 2017 bis 1. 10. 2017

### Datastream 'Leistung Klassen 1-8 Jalousien, Beamer, Tafel, Direktion +..'



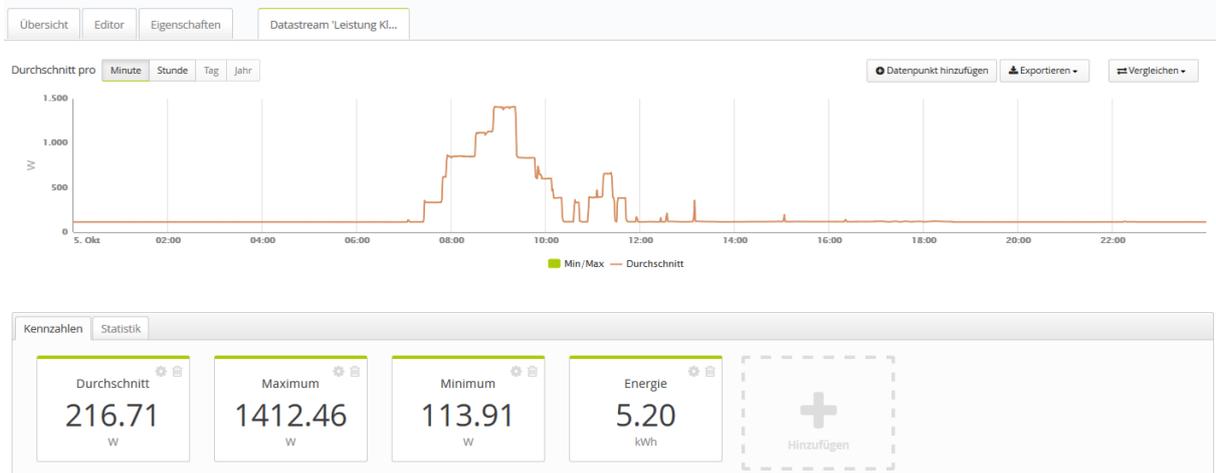
## Multimedia für 8 Klassen: 2. bis 8. 10. 2017

### Datastream 'Leistung Klassen 1-8 Jalousien, Beamer, Tafel, Direktion +..'



## Multimedia für 8 Klassen: Donnerstag, 5. 10. 2017

### Datastream 'Leistung Klassen 1-8 Jalousien, Beamer, Tafel, Direktion +..'



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

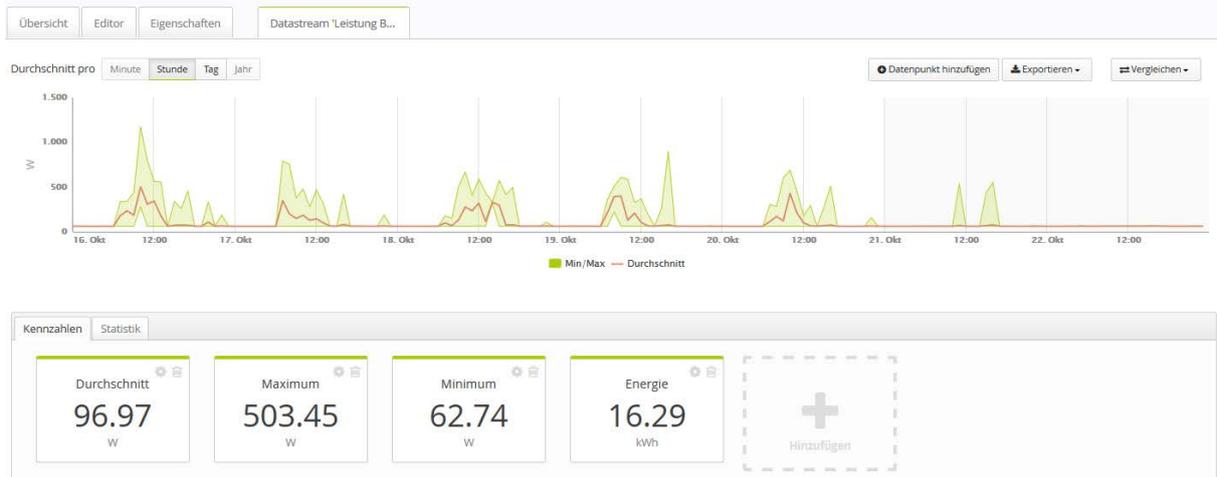
## Multimedia für 8 Klassen: Sonntag, 8. 10. 2017

### Datastream 'Leistung Klassen 1-8 Jalousien, Beamer, Tafel, Direktion +..'



## 8 Klassen mit Multimediafeln: Schulwoche 16. bis 22. 10. 2017

### Datastream 'Leistung Beamer, Tafeln, Jalousien 1. OG'



## 8 Klassen mit Multimediafeln: Wochentag mit typischer Nutzung: Donnerstag, 19. 10. 2017

### Datastream 'Leistung Beamer, Tafeln, Jalousien 1. OG'



8 Klassen mit Multimediatafeln: Sonntag ohne Nutzung: 22. 10. 2017



Aus dem Vergleich von Sonntag und einem Wochentag ist auch bei diesem Leistungsverlauf ersichtlich, dass nur 1,1 kWh/Tag tatsächliche Nutzung vorliegen. Der Standby beträgt ohne Korrektur des Cos Phi 1,4 kWh. Mit einem geschätzten cos Phi von 0,2 beträgt der Standby Verbrauch ca. 0,3 kWh/Tag.

**Einsparmöglichkeiten bei Smartboards bzw. Beamern:** Auch bei Smartboards und Beamern wird mit der Investitionsentscheidung der spätere Energieverbrauch festgelegt. Die richtige Einstellung für automatisches Ausschalten der Beamerlampe bei Nichtbetrieb ist eine wichtige Maßnahme, um den Gesamtverbrauch zu reduzieren. Moderne Beamer weisen Leistungen im Standby zwischen 0,1 und 1 W auf.

### 5.5.14 Kochen und Werken

Die Bereiche Kochen und Werken haben nur einen relativ geringen Anteil am Stromverbrauch. Beim Werken fällt der größte Teil des Strombedarfes auf die Beleuchtung. Der Stromanteil der eingesetzten Maschinen beim Werken (Bohrmaschine, Kreissäge, Bandsäge, Nähmaschinen etc.) ist aufgrund der äußerst geringen Nutzungszeit meist zu vernachlässigen. Die folgenden Werte gelten ohne die jeweilige Beleuchtung für diese Bereiche, welche bei der Beleuchtung subsummiert ist.

Werken - Kochen	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Kochen	0,2	0,4	0,6
Werken	0,05	0,1	0,15
<b>Gesamt</b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,75</b>

Die Bandbreite der vermessenen Schulküchen lag zwischen 2.500 und 3.500 kWh/Jahr, wobei hier die Beleuchtung schon enthalten ist. Man kann diese daher in etwa mit einem Haushalt vergleichen.

Die Aufzeichnungen über ein Jahr ergeben für diese Bereiche folgende Werte: Es ist jedoch zu beachten, dass hier jeweils auch das Licht für diese Räume enthalten ist, welches im Benchmarkbaukasten jedoch unter den Punkt Beleuchtung fällt.

## Beispiel 1: Kochen

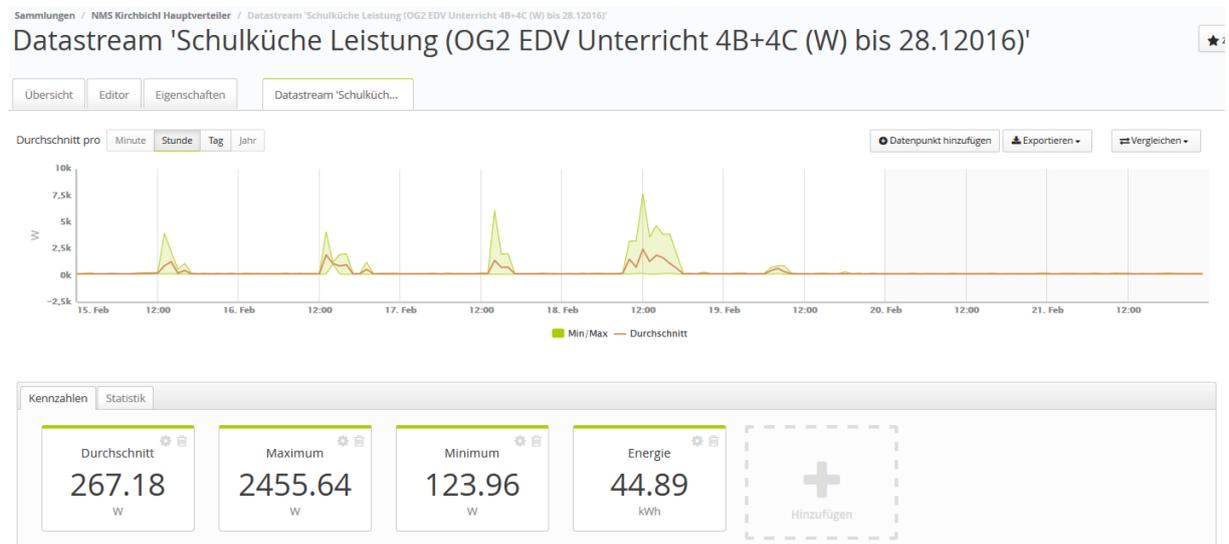
### Jahresverlauf

Datastream 'Schulküche Leistung (OG2 EDV Unterricht 4B+4C (W) bis 28.12.2016)'



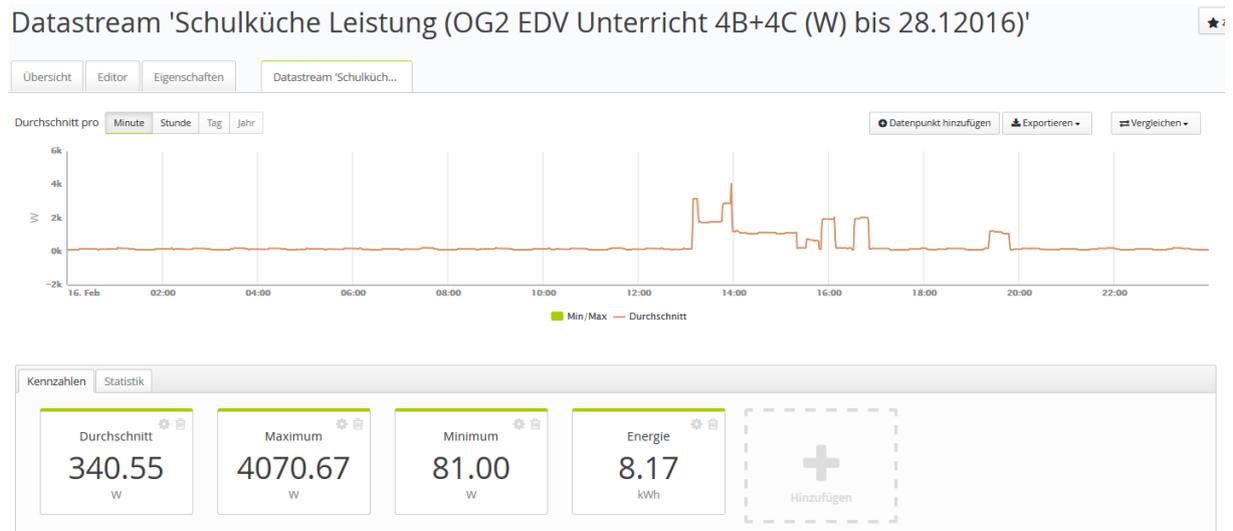
In den Werten der Schulküche ist der Stromverbrauch für die Lüftung noch nicht enthalten. Diese hat eine Gesamtleistung von 1,8 kW. Das bedeutet bei 100 Betriebsstunden nochmals ca. 1.800 kWh/a.

### Wochenverlauf: 13. bis 20. 6. 2016 (Sommer – Schulbetrieb)

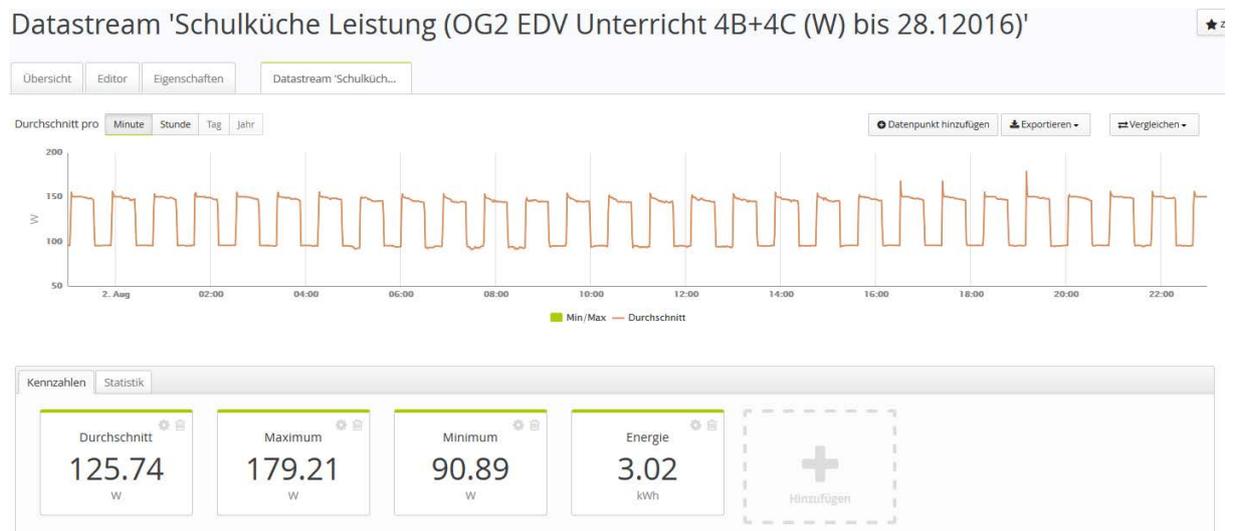


# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Wochenverlauf: 13. bis 20. 6. 2016 (Sommer – Schulbetrieb)



Tagesverlauf: Dienstag, 2. 8. 2016 (Sommer - Ferien)

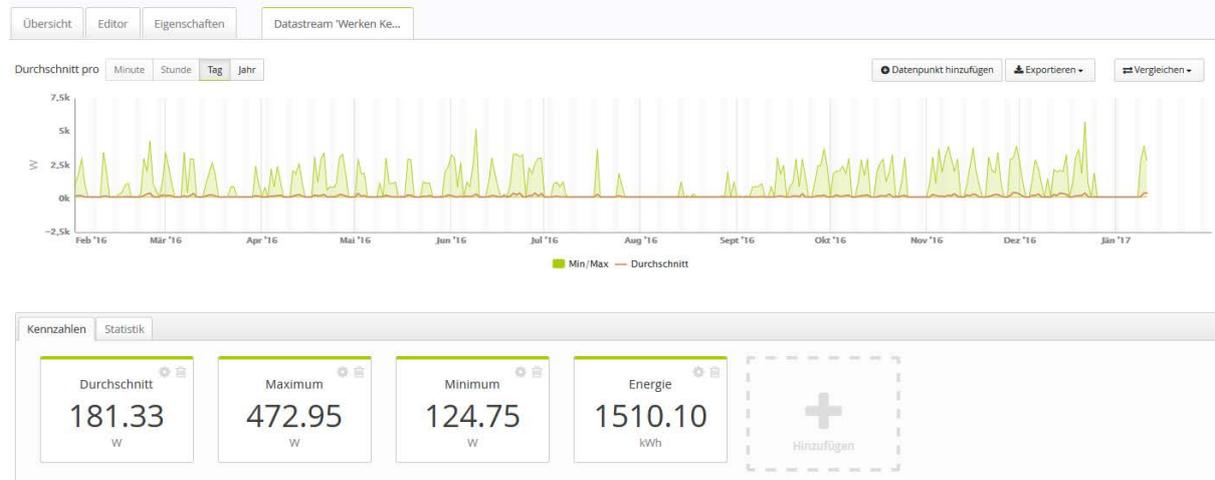


Sichtbar ist der Betrieb eines Kühlschranks und die hohe Standby-Leistung von 90 Watt. Hinter dieser Standby Leistung werden vor allem die Aktoren des BUS-Systems bzw. der EVG sowie die Spannungsüberwachungen der Notbeleuchtung vermutet.

### 5.5.14.1 Werken Keramik

#### Jahresverlauf

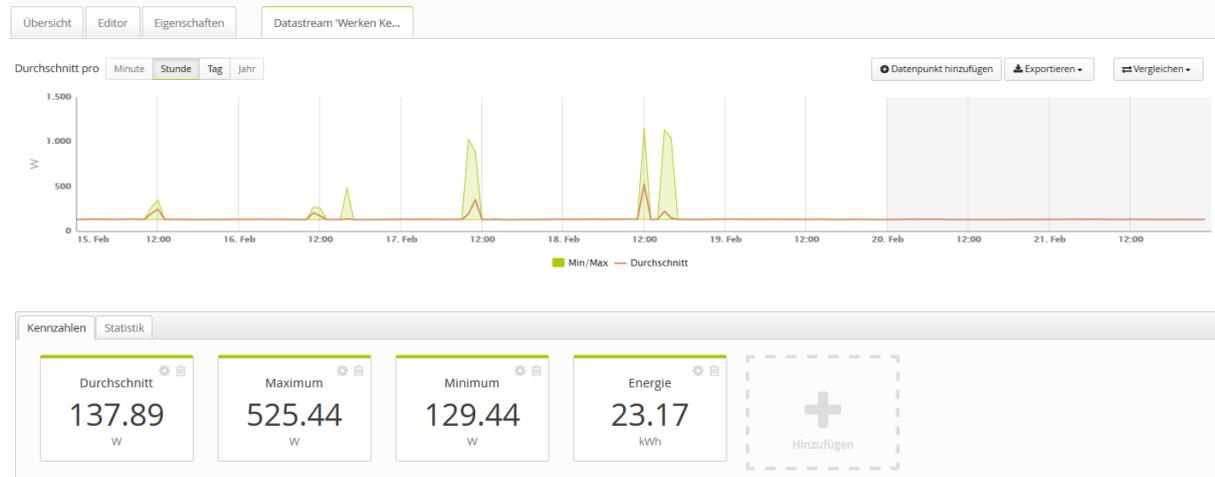
Datastream 'Werken Keramik Leistung (OG2 EDV Gruppenraum 3A+3B (W) bis 28.1.2016)'



Der Brennofen ist in diesem Stromverbrauch nicht enthalten.

Wochenverlauf: 13. bis 20. 6. 2016 (Sommer – Schulbetrieb)

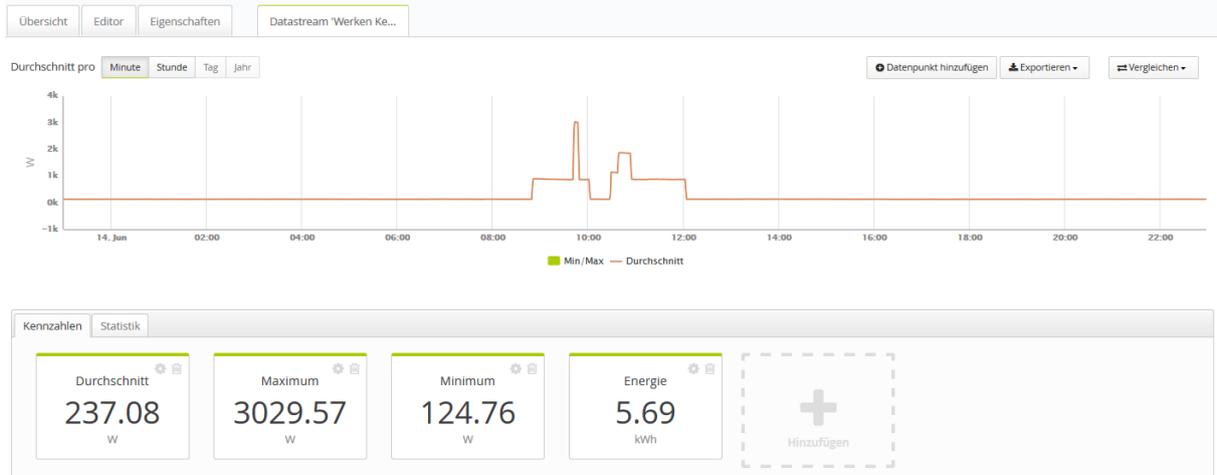
Datastream 'Werken Keramik Leistung (OG2 EDV Gruppenraum 3A+3B (W) bis 28.1.2016)'



## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Tagesverlauf: Dienstag, 14. 6. 2016 (Sommer - Schulbetrieb)

Datastream 'Werken Keramik Leistung (OG2 EDV Gruppenraum 3A+3B (W) bis 28.1.2016)'



Tagesverlauf: Dienstag, 2. 8. 2016 (Sommer - Ferien)

Datastream 'Werken Keramik Leistung (OG2 EDV Gruppenraum 3A+3B (W) bis 28.1.2016)'

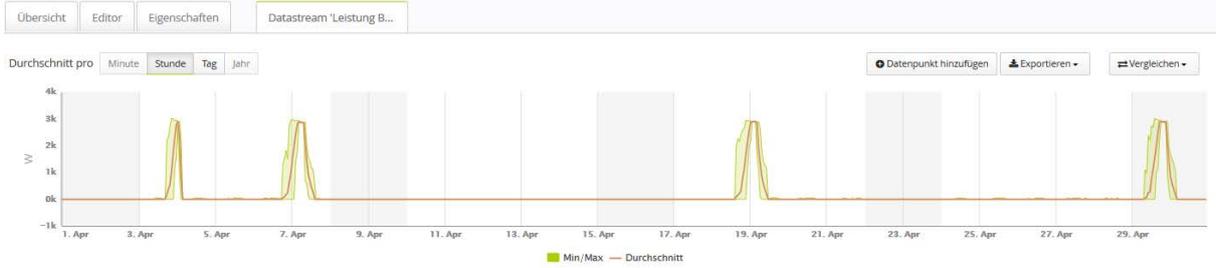


Auch hier zeigt sich der hohe Standby-Verbrauch.

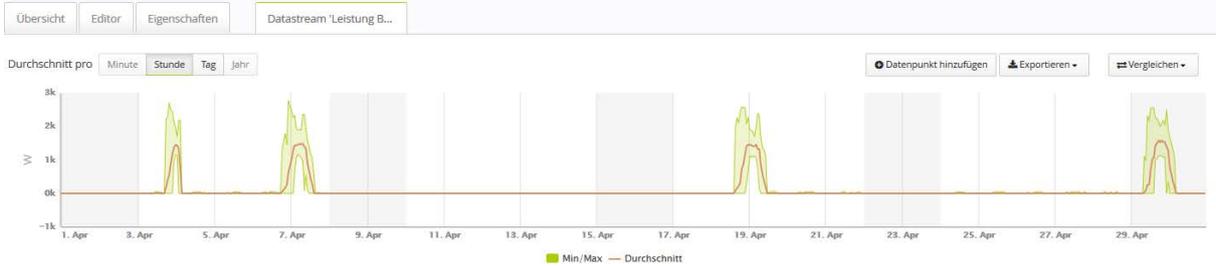
**Brennofen:** Im Brennofen finden nur sehr unregelmäßig Brennvorgänge statt. Im April 2016 gab es einmalig mehrere Brennvorgänge.

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

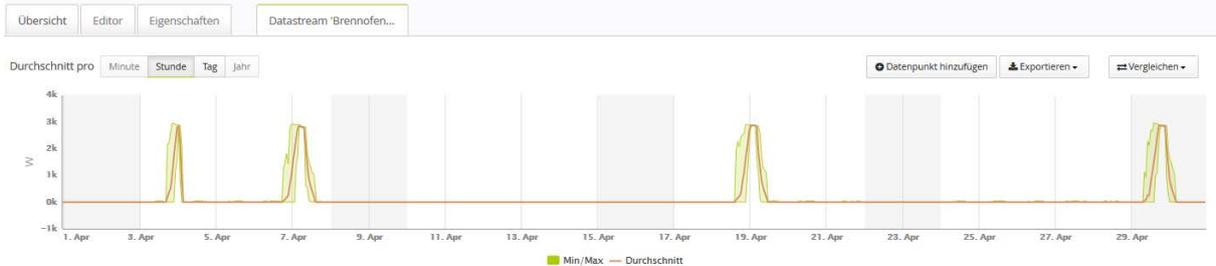
## Datastream 'Leistung Brennofen P2'



## Datastream 'Leistung Brennofen P3 (ab 10.2.2017)'



## Datastream 'Brennofen Phase 1'



Für 4 Brennvorgänge im April ergibt sich ein Gesamtstromverbrauch von ca. 265 kWh.

Betrachtet man einen einzelnen Brennvorgang, sieht man sehr gut die langsame Aufheizung und Abkühlphase.

## Brennvorgang am 7. 4. 2016

### Datastream 'Brennofen Phase 1'



### Datastream 'Leistung Brennofen P2'



### Datastream 'Leistung Brennofen P3 (ab 10.2.2017)'



Der Brennvorgang am 7. April 2017 benötigte 74 kWh.

### 5.5.14.2 Werken Textil

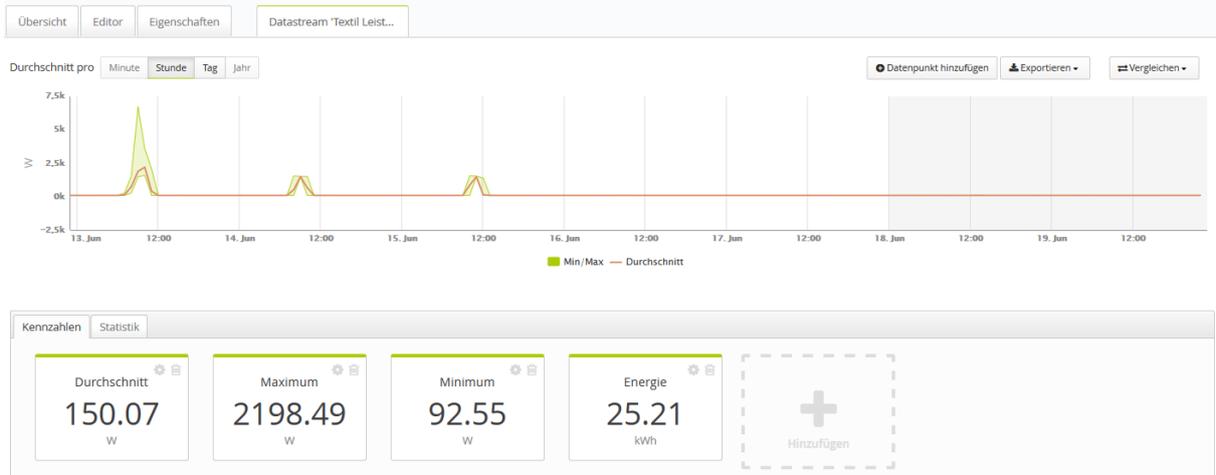
#### Jahresverlauf

Datastream 'Textil Leistung (OG1 EDV Gruppenraum 1A+1B (W) bis 28.1.2016)'



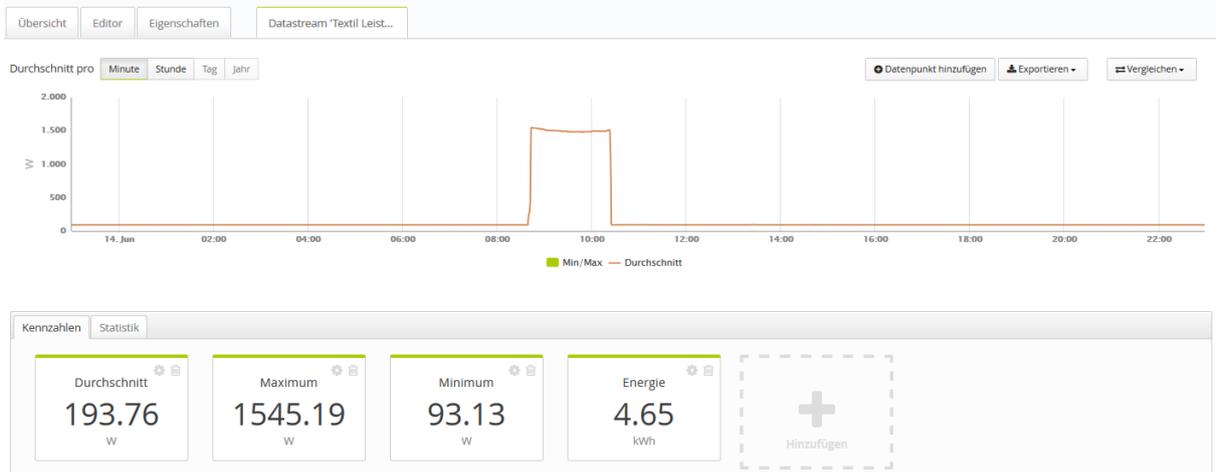
#### Wochenverlauf: 13. bis 20. 6. 2016 (Sommer – Schulbetrieb)

Datastream 'Textil Leistung (OG1 EDV Gruppenraum 1A+1B (W) bis 28.1.2016)'



#### Tagesverlauf: Montag, 13. 6. 2016 (Sommer - Schulbetrieb)

Datastream 'Textil Leistung (OG1 EDV Gruppenraum 1A+1B (W) bis 28.1.2016)'



## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Tagesverlauf: Dienstag, 2. 8. 2016 (Sommer - Ferien)

Datastream 'Textil Leistung (OG1 EDV Gruppenraum 1A+1B (W) bis 28.1.2016)'

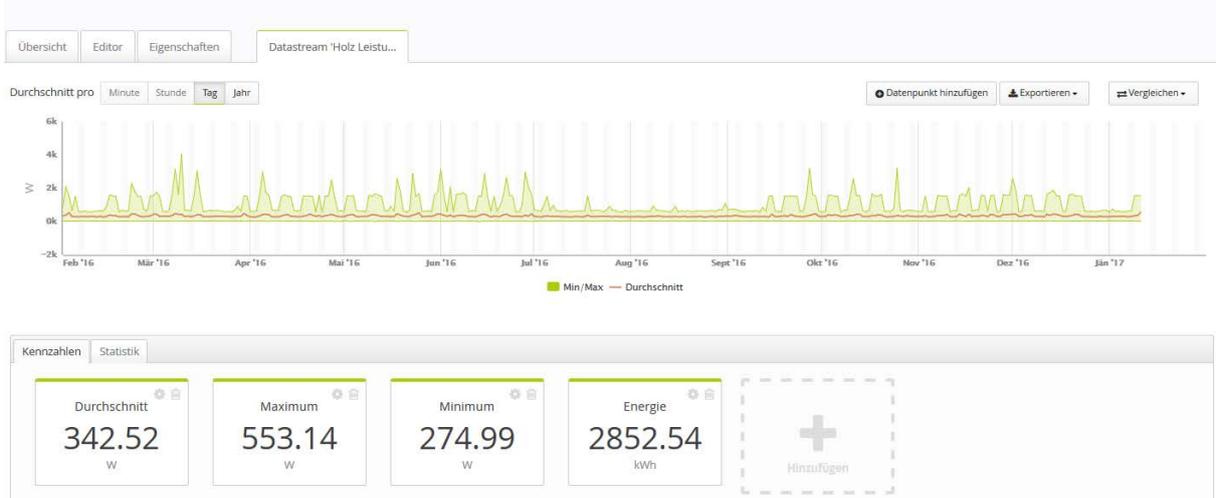


Auch hier zeigt sich der hohe Standby-Verbrauch.

### 5.5.14.3 Werken Holz

Jahresverlauf

Datastream 'Holz Leistung (OG1 EDV Unterricht 2B + 2C (W) (Werte bis 7.12. falsch) richtig bis :



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

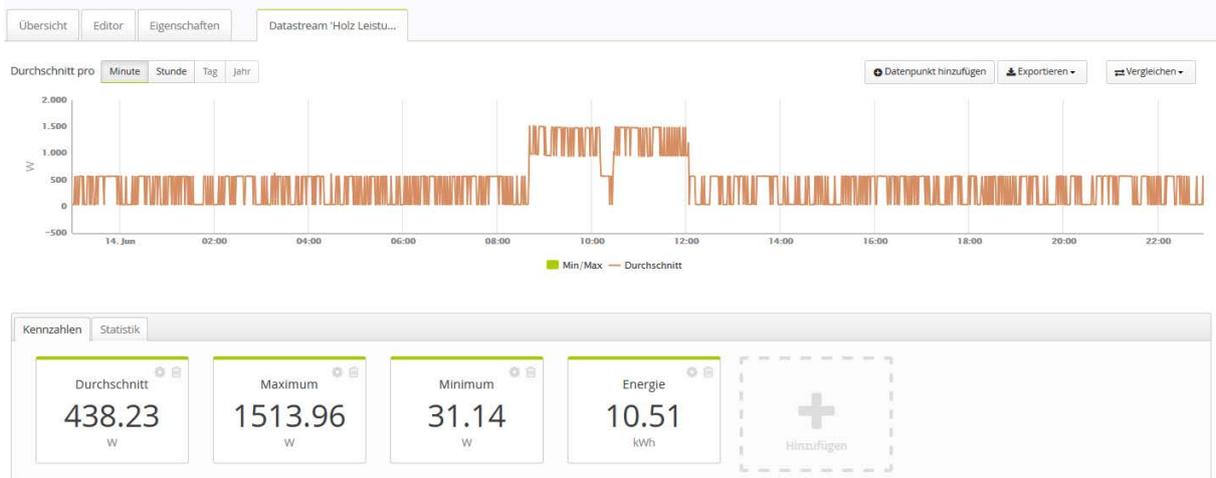
Wochenverlauf: 13. bis 20. 6. 2016 (Sommer – Schulbetrieb)

Datastream 'Holz Leistung (OG1 EDV Unterricht 2B + 2C (W) (Werte bis 7.12. falsch) richtig bis :



Tagesverlauf: Dienstag, 14. 6. 2016 (Sommer - Schulbetrieb)

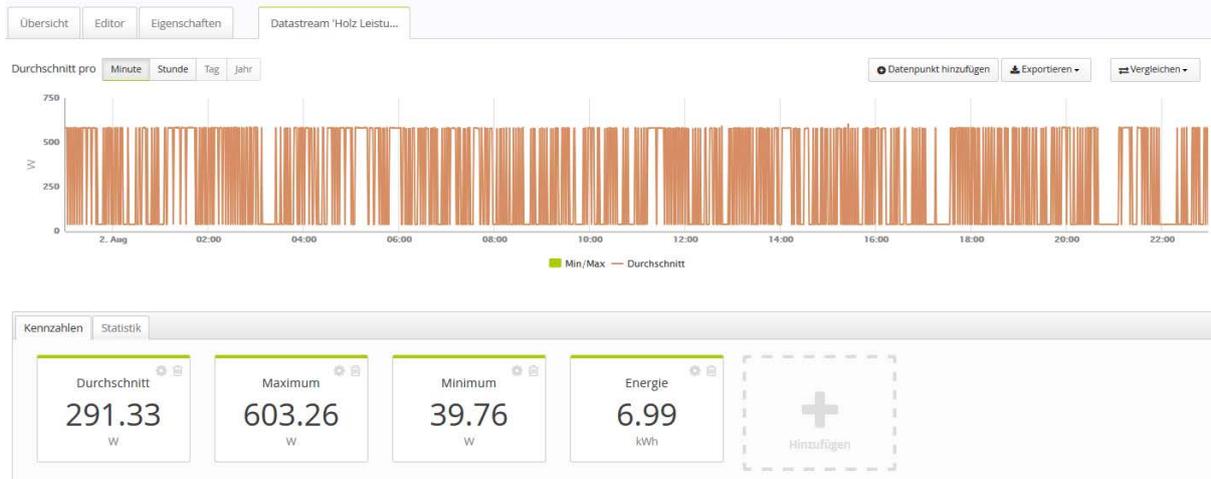
Datastream 'Holz Leistung (OG1 EDV Unterricht 2B + 2C (W) (Werte bis 7.12. falsch) richtig bis :



Erst beim Tagesverlauf (Minutenwert) erkennt man, dass hinter dem Verbrauch auch ein Druckluftkompressor steckt.

Tagesverlauf: Dienstag, 2. 8. 2016 (Sommer - Ferien)

Datastream 'Holz Leistung (OG1 EDV Unterricht 2B + 2C (W) (Werte bis 7.12. falsch) richtig bis :



Der Druckluftkompressor läuft auch über die Sommermonate durch. Pro Tag benötigt dieser bereinigt um die Grundlast 6 kWh. Über 365 Tage gerechnet sind dies 2.200 kWh.

**Einsparmöglichkeiten bei Kochen und Werken:** Nennenswerte Sparpotenziale gibt es in diesem Bereich nur durch das konsequente Ausschalten nicht benötigter Geräte (Druckluftkompressor bzw. Kühlschrank) zumindest in den Ferienzeiten. Im Küchenbereich ist natürlich bei der Beschaffung auf die Energieeffizienz der Geräte zu achten.

Auffallend sind auch in diesen Räumen die hohen Grundlasten, die, wie im Bereich Standby gezeigt wird, vor allem auf die Aktoren des BUS-Systems bzw. die Standby-Verluste der EVG der Beleuchtung sowie auf die Spannungswächter der Notbeleuchtung zurückzuführen sind.

### 5.5.15 Direktion, Verwaltung, Lehrerbereich

Die Bereiche Direktion und Lehrerbereich liegen örtlich meist eng nebeneinander. Die Direktion und die Verwaltung (nur in größeren Schulen) haben eine typische Büroausstattung. An den Lehrerarbeitsplätzen sind nur vereinzelt Computer vorhanden. Meist sind nur einzelne getrennte PC-Arbeitsplätze verfügbar. Weiters sind meist ein oder zwei Kopierer sowie eine kleine Teeküche für den Lehrerbereich vorhanden.

Im Benchmarkbaukasten ist im Lehrerbereich nur der Verbrauch für die Teeküche enthalten, da das Licht bzw. die Computer bereits als Gesamtes in den Klassentrakt eingeflossen sind und die Kopierer im Bereich Fax, Telefon, Kopierer, Switch, W-LAN etc. enthalten sind.

Lehrer, Direktion, Verwaltung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Teeküche	0,3	0,5	0,7

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Die folgende Strommessung über 4 Wochen betrifft eine Schule mit ca. 30 Lehrpersonen

Monatsverlauf: 24. 4. bis 23. 5. 2017

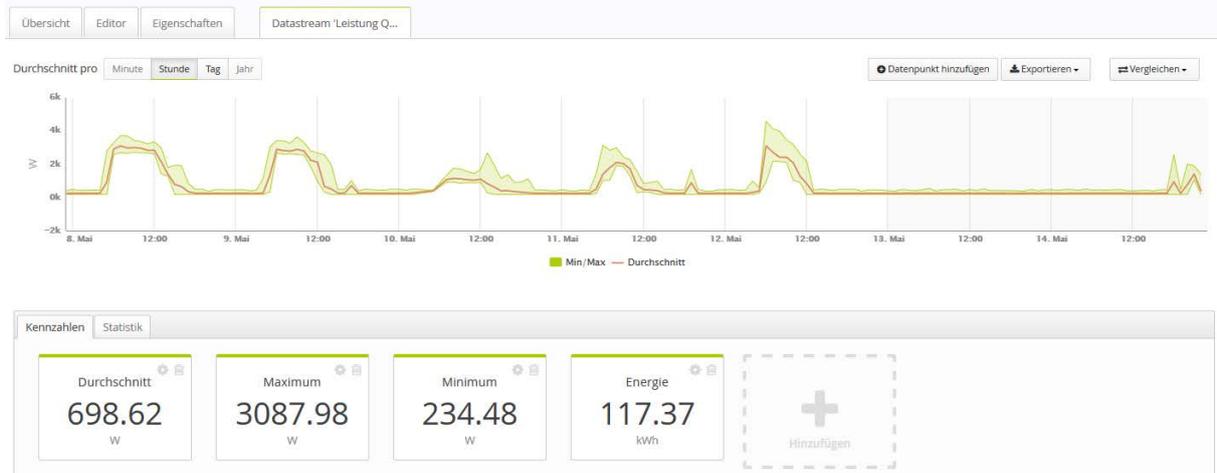
Datastream 'Leistung Q23 EG Direktion/Lehrerräume (W)'



Wie erwartet, zeigt sich grundsätzlich das gleiche Nutzungsprofil wie in den Klassen.

Wochenverlauf: 8. bis 14. 5. 2017

Datastream 'Leistung Q23 EG Direktion/Lehrerräume (W)'



Bezogen auf den Jahresverbrauch von ca. 5.000 kWh, entspricht dies ca. 160 kWh pro LehrerIn für deren Arbeits- bzw. Aufenthaltsbereich. Bezogen auf den Flächenanteil der Lehrerräume bzw. Direktion ergibt dies einen Wert von 14 kWh/m<sup>2</sup> BGF und liegt damit etwa gleich, wie der sonstige Klassentraktbereich.

### 5.5.16 Gebäudebetreuung und Reinigung

Der Stromverbrauch für die Gebäudebetreuung wird unterteilt in den Bereich Hausmeister inkl. Jausenverkauf sowie die Reinigung.

#### 5.5.16.1 Hausmeisterbereich

Die Hausmeisterbereiche in Schulen sind hinsichtlich Fläche und Ausstattung sehr unterschiedlich. Je nachdem, ob diese auch einen Bereich für den Verkauf einer (warmen) Jause haben, oder nicht bzw., welche Art von Jause (frische oder Aufbackbrötchen) angeboten wird.

Minimalvariante ohne Jausenverkauf: Kleiner Raum für HausmeisterIn und Reinigungspersonal mit Kaffeemaschine, einem Tisch und den wichtigsten Utensilien bzw. Ersatzteilen (Leuchten). Jeweils noch zusätzliche kleine Räume in den Stockwerken für die Reinigungsgeräte.

Gemessene Minimalvariante: Monatsverlauf: 24. 4. bis 23. 5. 2017



Über das ganze Jahr gesehen, entspricht dies ca. 600 kWh.

Maximalvariante mit Jausenverkauf: Teeküche für die HausmeisterIn zum Jausenverkauf. Für tiefgekühlte Aufbackbrötchen stehen 3 Tiefkühlschränke und 2 Backrohre zur Verfügung. Getränkeautomat für die SchülerInnen. Großzügige Werkstätte mit eigener Belüftung. Eigener, meist durchlaufender PC zur Steuerung der Haustechnik. Es konnte kein ausgedehnter Hausmeisterbereich als Ganzes vermessen werden. Der Stromverbrauch ergibt hochgerechnet aber nicht mehr als 6.000 kWh/a bzw. 1 kWh/m<sup>2</sup> BGF. Die Bandbreite wird daher mit 0,15 bis 1,0 kWh/m<sup>2</sup> abgeschätzt.

Gebäudebetreuung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Hausmeisterbereich	0,15	0,5	1,0

**Einsparmöglichkeiten im Bereich Gebäudebetreuung:** Der Einsatz von tiefgekühlten Aufbackbrötchen und Getränkeautomaten ist von der Stromseite her kritisch zu hinterfragen, da die Kosten für den Stromverbrauch stillschweigend der Gemeinde aufgebürdet werden. Im Bereich der Teeküche gelten die allgemeinen Anforderungen an einen energieeffizienten Haushalt. Die Computer im Bereich der Gebäudebetreuung sind meist ältere Geräte, die für den Schulbetrieb nicht mehr geeignet sind und eigentlich ausrangiert gehören. Da diese PCs aber oft durchlaufen, sollte hier vermehrt auf die Stromeffizienz der Geräte geachtet werden.

### 5.5.16.2 Reinigung

Die Reinigung erfolgt einerseits mit Staubsaugern und andererseits mit Akku-Wischmaschinen. Zudem sind in allen Schulen auch zumindest eine Waschmaschine und ein Trockner vorhanden, um die Putztücher zu waschen. Erfolgt die WW-Bereitung für die Reinigung in Kleinspeichern, so sind diese meist die dominierenden Stromverbraucher in diesem Bereich. Der WW-Verbrauch wurde jedoch bereits bei der WW-Bereitung berücksichtigt und wird hier nicht weiter behandelt bzw. eingerechnet. Die Hochrechnung einer Schule mit mittlerer Ausstattungsqualität an Geräten für ca. 200 Schüler ergibt folgende Werte:

6 Std. Staubsauger	6 kWh/Tag
2x Wischmaschine (Akkuladung in der Nacht)	1 kWh/Tag
1x Wäsche	2 kWh/Tag
2x Trockner	4 kWh/Tag
<b>Gesamt:</b>	<b>13 kWh/Tag</b>

Hochgerechnet auf ca. 230 Reinigungstage ergibt dies ca. 3.000 kWh/a bzw. 0,5 kWh/m<sup>2</sup>. Die Bandbreite des Stromverbrauchs für den Reinigungsbereich ohne WW wird daher zwischen 0,3 und 0,7 kWh/m<sup>2</sup> eingeschätzt.

Gebäudebetreuung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Reinigung	0,3	0,5	0,7

**Einsparmöglichkeiten bei der Reinigung:** Die Art der Warmwasserbereitung ist der entscheidende Faktor bei der Reinigung. Hier sollten, wie schon im Bereich WW erläutert, Durchlauferhitzer statt Kleinspeicher eingesetzt werden. Bei der Ausstattung von Waschmaschine und Trockner bzw. Staubsauger und Akku-Wischmaschinen sollte natürlich ebenfalls die Stromeffizienz der Geräte berücksichtigt werden.

### 5.5.17 Mittagstisch

Nur bei zwei der ausgewählten Schulen wird ein „Mittagstisch“ angeboten. In beiden Schulen werden jedoch keine Speisen gekocht, sondern nur warmgehalten. Da in Zukunft sicher mehr Schulen ähnliche Angebote offerieren werden, müssen sie auch den zusätzlichen Strombedarf einkalkulieren. Dieser ist aber, solange keine Kühlgeräte vorhanden sind und nicht wirklich gekocht wird, fast zu vernachlässigen.

Mittagstisch	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Mittagstisch ohne Kochvorgänge	0,05	0,07	0,1

## Beispiel 1: Mittagstisch mit minimaler Ausstattung (Toaster, Mikrowelle, Backrohr etc.)

Monatsverlauf: 22. 10. bis 21. 11. 2017

### Datastream 'Leistung F12 Mittagstisch UV 0.6'



Tagesverlauf: 9. 11. 2017

### Datastream 'Leistung F12 Mittagstisch UV 0.6'



**Kaffee und Getränkeautomaten:** In den Schulen sind zum Teil Kaffee- und Getränkeautomaten aufgestellt. Der Stromverbrauch liegt bei ca.:

- Kaffeeautomaten - Tischgeräte: 1 bis 2 kWh/Tag
- Kaffeeautomaten - Standgeräte: 3 bis 4 kWh/Tag
- Kaltgetränkeautomat: 9 bis 12 kWh/Tag
- Automat mit Lebensmittelkühlung: ca. 15 kWh/Tag

Die Getränkeautomaten werden meist nur in den Ferien abgeschaltet. D.h. es ist mit ca. 300 Betriebstagen zu rechnen. Die Kaffeemaschinen werden meist auch über das Wochenende ausgeschaltet. Das ergibt ca. 225 Betriebstage.

Der Jahresverbrauch ergibt somit folgende Werte:

- Kaffeeautomaten - Tischgeräte: 225 bis 450 kWh/Jahr
- Kaffeeautomaten - Standgeräte: 775 bis 900 kWh/Jahr
- Kaltgetränkeautomat: 2700 bis 3.600 kWh/Jahr
- Automat mit Lebensmittelkühlung: ca. 4.500 kWh/Jahr

Diese Verbräuche sind nicht zu vernachlässigen, da sie, insbesondere in kleinen Schulen, auch pro m<sup>2</sup> BGF ins Gewicht fallen.

Beispiel: Ein Kaffeeautomat für die Lehrer und ein Kaltgetränkeautomat für die Schüler mit insgesamt 3.500 kWh/a bedeuten bei einer sehr kleinen Schule (1.500 m<sup>2</sup>) 2,3 kWh/m<sup>2</sup>a. Für eine große Schule (10.000 m<sup>2</sup>) ergibt es immerhin auch noch 0,35 kWh/m<sup>2</sup>a.

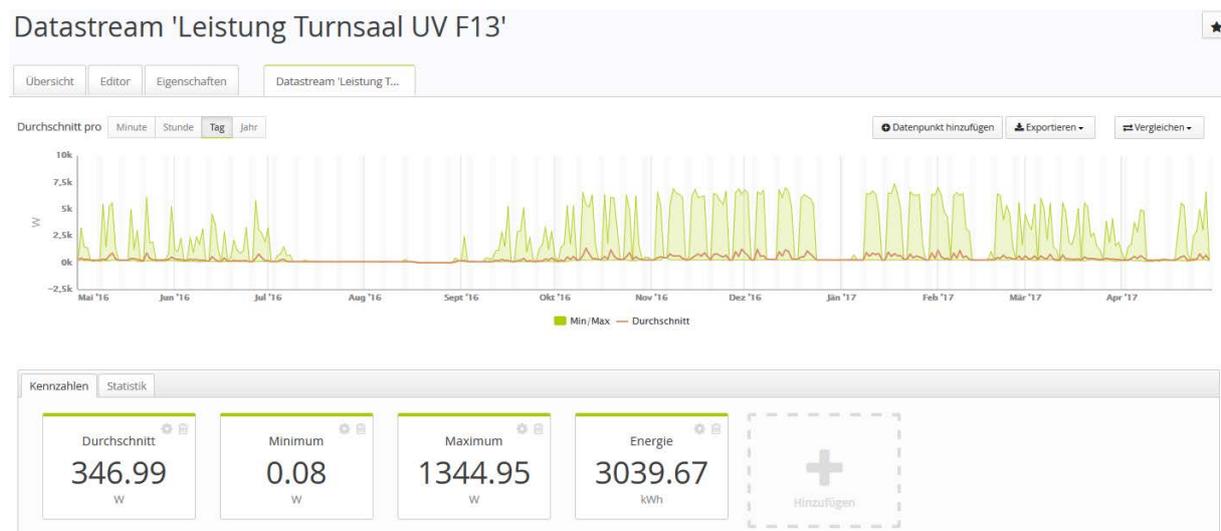
### 5.5.18 Stromverbrauch der Sporthallen

Ist das Benchmark bei Schulen aufgrund der unterschiedlichen Ausstattungen schon äußerst schwierig, so kommt bei den Sporthallen noch die sehr unterschiedliche Nutzung hinzu. Sie reicht von ausschließlicher Nutzung durch die eigenen Schüler bis hin zu einer täglichen externen Nutzung. Zudem führen die unterschiedlichen Ausführungen der Sporthallen, je nachdem, ob mit oder ohne ausgedehnten Publikumsbereich - der bei getrennter Beleuchtung so gut wie keinen Strombedarf hat - dazu, dass die gesamte Bruttogrundfläche des Sporthallentraktes (inkl. Umkleiden, Publikumsbereich etc.) äußerst unterschiedlich gegenüber der Nettofläche der reinen Sporthalle ist. Die vermessenen Sporthallen waren immer Teil einer Schule und mit einer gemeinsamen Haustechnik für Heizung und WW ausgestattet. Die mechanische Lüftung war, wenn vorhanden, bis auf eine Ausnahme, immer nur für die Sporthalle allein.

Die Unterschiedlichkeit der Sporthallen wird anhand von drei Beispielen aufgezeigt.

**Beispiel 1:** Sporthalle 500 m<sup>2</sup> - keine externe Nutzung, kein Publikumsbereich, keine mechanische Lüftung

Jahresverlauf: 1. 5. 2016 bis 30. 4. 2017

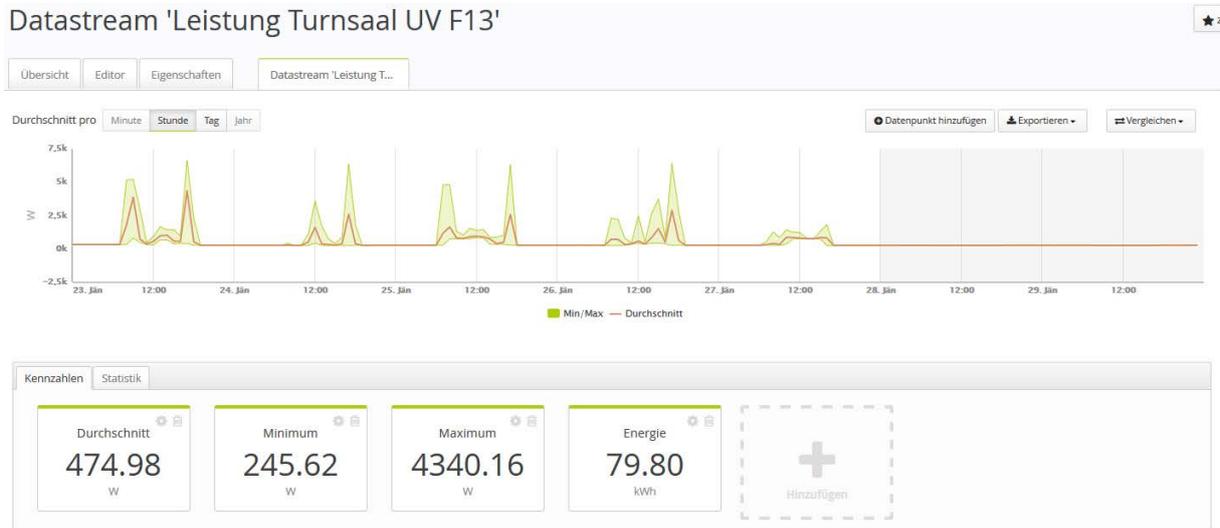


Den einzigen wesentlichen Verbraucher stellt die Beleuchtung dar. Aus dem Jahresverlauf ist gut ersichtlich, dass der Stromverbrauch in den Sommermonaten erwartungsgemäß sinkt. Einerseits durch die bessere natürliche Belichtung und andererseits durch die Verlegung der Aktivitäten ins Freie. Ersichtlich ist auch, dass in den Ferien für den gesamten Bereich die

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

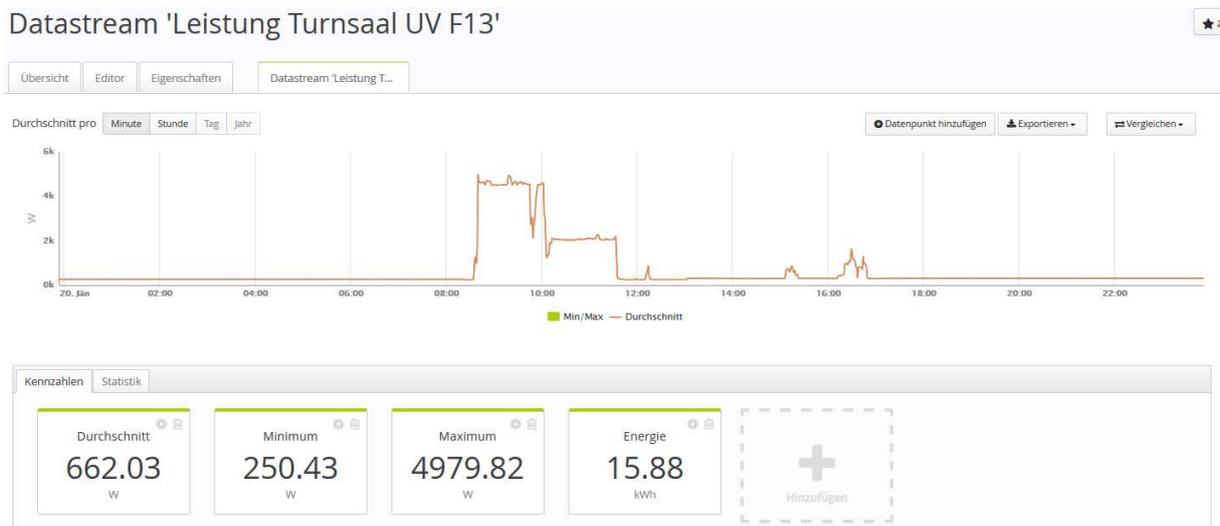
Leistung bis auf 0 W zurückging. Bezogen auf die Fläche von 500 m<sup>2</sup> (ohne Nebenräume) entspricht dies 6 kWh/m<sup>2</sup> BGF/a.

Wochenverlauf Winter: 23. bis 29. 1. 2017



In einer typischen Winterwoche lag die typische Standby-Leistung bei 250 Watt.

Tagesverlauf Winter: Dienstag, 19. 1. 2017



Die mittlere Nutzung der Beleuchtung pro Tag beträgt nur ca. 2 Std. Die Grundlast von 250 W bedeutet 6 kWh pro Tag bzw. 37 % des Stromverbrauchs (ohne Bewertung des cos Phi).

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

**Beispiel 2:** Sporthalle 420 m<sup>2</sup> – mit intensiver interner und externer Nutzung durch VS und NMS sowie Vereine; kein Publikumsbereich, keine mechanische Lüftung

Wochenverlauf Winternutzung: 6. bis 12. 11. 2017

### Datastream 'Leistung Turnhalle (W)'



Tagesverlauf Winternutzung: Dienstag, 7. 11. 2017

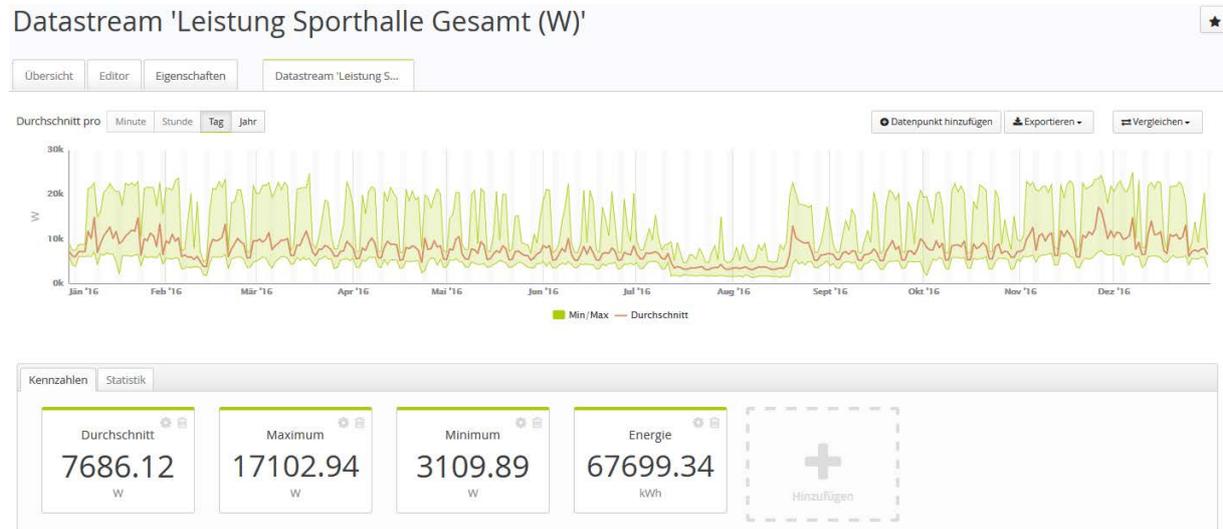
### Datastream 'Leistung Turnhalle (W)'



Bedingt durch die hohe Auslastung von ca. 1.600 Std. und die veraltete bzw. ineffiziente Beleuchtungstechnik (T8 bzw. Downlights, 400 Lux) beträgt der Verbrauch ca. 35 kWh/m<sup>2</sup>a.

**Beispiel 3:** 3fach Sporthalle (gesamter Trakt 3.900 m<sup>2</sup>, Halle alleine 1.231 m<sup>2</sup>) – mit externer Nutzung durch Vereine, mit mechanischer Lüftung für die Sporthalle und die Nebenräume, Beleuchtung mit DALI (T5, 400 Lux)

Jahresverlauf: 1. 1. 2015 bis 31. 12. 2015



Die gesamte Sporthalle, inkl. der Heizung mit Pumpengruppen etc. für den Schultrakt, benötigt 17,3 kWh/m<sup>2</sup> BGF.a. In dieser Fläche ist jedoch auch ein relativ großer Bereich für Garderoben und Publikum inkludiert. Bezogen auf die reine Fläche der 3-fach Sporthalle von ca. 1.200 m<sup>2</sup> beträgt der Stromverbrauch 56 kWh/m<sup>2</sup>a.

Diese drei Beispiele zeigen auf, wie schwierig es ist eine vernünftige Benchmarkzahl für eine Sporthalle zu generieren. Dennoch wird versucht die Bandbreite des Verbrauchs abzuschätzen und in den Benchmarkbaukasten zu integrieren.

### 5.5.18.1 Beleuchtung der Sporthalle

Die Beleuchtung ist bei Sporthallen ohne Lüftung eindeutig der größte Stromverbraucher und für über 90 % des Energieverbrauchs zuständig. Für die Beleuchtung der Nebenräume und Verkehrsflächen gelten die gleichen Verhältnisse wie im Schulbereich. Die Beleuchtung der Sporthalle ist aber meist der größte Einzelverbraucher einer Schule. Die Leistung für große Sporthallen betrug bis zu 16 kW (3fach-Sporthalle).

Die Stromverbräuche für die Standby-Verluste bei BUS-Systemen von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) werden gesondert behandelt.

Die Empfehlung für die Beleuchtungsstärke für Sporthallen des ÖISS beträgt zwischen 200 und 500 Lux.

Turnsaal	<b>200 Lux (500 Lux für Wettkampfsport)</b>
----------	---

Dementsprechend bilden diese Werte die Ausgangsbasis für die Berechnung.

Beleuchtung – Sporthalle	Lux	Lux	Lux
Belichtungsstärke (Durchschnitt)	200	350	500

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Aufgrund der gleichmäßig gewünschten Ausleuchtung für alle Bereiche entspricht dies, mit Einrechnung der Streuverluste (Wände, Überschneidungen) bzw. des Wartungsfaktors (Verschmutzung) von ca. 20 %, einem notwendigen gerichteten Lichtstrom von:

Beleuchtung – Sporthalle	Lumen	Lumen	Lumen
Lichtstrom (Durchschnitt)	240	420	600

Für die gerichtete Lichtausbeute zur Bodenfläche (inkl. Reflektorverlusten) wurden folgende Durchschnittswerte angesetzt:

1. LED 100 Lumen/Watt
2. Leuchtstoffröhren T5 50 Lumen/Watt
3. Leuchtstoffröhren T8 bzw. T5 mit 80 W pro Röhre

Beleuchtung Sporthalle	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spez. Beleuchtungsleistung	2,4	8,4	15

Inklusive ca. 5 – 10 % Stromverbrauch für das elektronische Vorschaltgerät (EVG), 10 % für das verlustarme Vorschaltgerät (VVG) und 10 - 20 % beim konventionellen Vorschaltgerät (KVG) bedeutet dies eine Gesamtleistung von:

1. Sparsames EVG 5 %
2. Standard EVG oder VVG 10 %
3. KVG 15 %

Beleuchtung Sporthalle	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spez. Beleuchtungsleistung inkl. VS	2,5	9,2	17,3

Die Volllaststunden sind abhängig von den natürlichen Belichtungsverhältnissen und der Auslastung.

1. Geringe Nutzung bzw. hohe Tageslichtnutzung mit Tageslichtregelung
2. Mittlere Nutzung bzw. mittlere Tageslichtnutzung
3. Hohe Nutzung bzw. nur Ein/Aus

Die erhobenen Beleuchtungsstunden der Sporthallen in den untersuchten Schulen lagen zwischen 540 und 1.460 Stunden.

Volllaststunden	500	1000	1500
-----------------	-----	------	------

Zu beachten ist, dass die zusätzlichen Stromverbräuche durch Bewegungsmelder und Standby von EVG bei BUS-Systemen in den Volllaststunden nicht enthalten sind.

Beleuchtung – Sporthalle	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Stromverbrauch ohne Standby	1,2	9,2	26

Standby-Verbräuche bei der Beleuchtung entstehen, weil bei BUS-Systemen (z.B. KNX/DALI) die Leuchten normalerweise nicht stromlos geschaltet sind. Die Standby-Leistungen der EVG liegen meist zwischen 0,5 und 1,5 für nicht dimmbare EVG und erhöhen

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

sich bei dimmbaren EVG teils bis 5 W (Schnitt ca. 3 W). Es gibt jedoch auch BUS-Schaltungen, welche diesen Standby-Verbrauch vermeiden können.

Für die drei Kategorien „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ wurden folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

1. BUS-System mit Standby-Vermeidung oder nicht dimmbare Leuchten
2. BUS-System mit Standby-Vermeidung und dimmbaren Leuchten
3. BUS-System ohne Standby-Vermeidung mit dimmbaren EVG

Beleuchtung Sporthalle	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spez. Standby Leistung	0,1	0,25	0,5

Die Standby-Stunden wurden bei allen Systemen vereinfacht mit 8.760 Stunden, abzüglich der Volllaststunden, gerechnet. Dies stimmt bei gedimmten Systemen jedoch genaugenommen nicht mehr.

Standby-Stunden	8260	7.760	7.260
-----------------	------	-------	-------

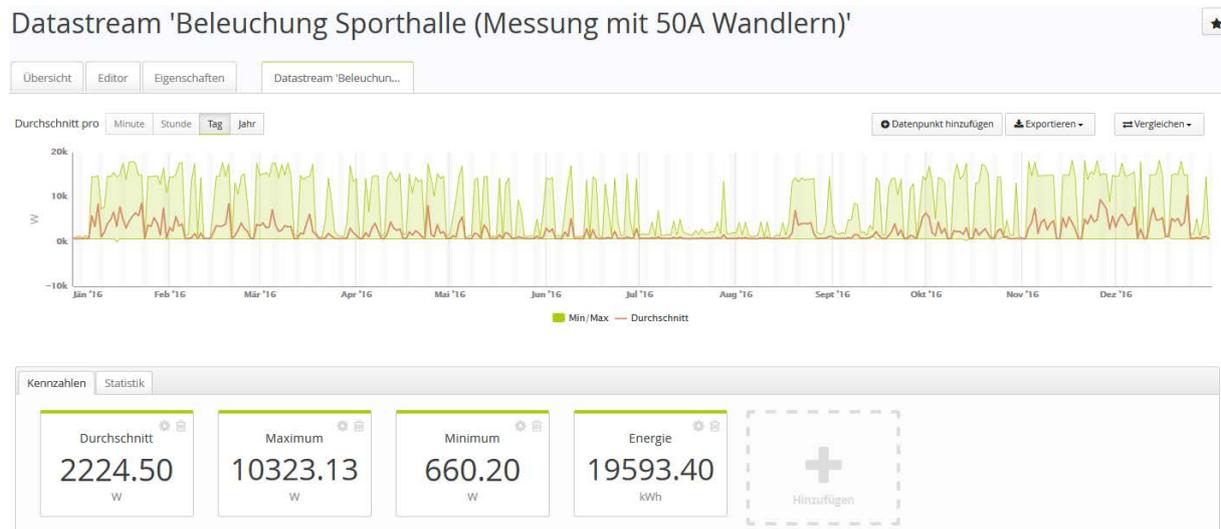
Zu beachten ist, dass sich die Standby-Verbräuche entgegengesetzt den Stromverbräuchen für die Nutzungszeit verhalten. D.h., einfache, manuelle Schalter haben keine Standby-Verbräuche und dimmbare BUS-Systeme die höchsten.

Beleuchtung – Sporthalle (Gesamt)	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Standby EVG, Dimmer, Bewegungsmelder,..	1	2	4

Aus den Bandbreiten des Gesamtstromverbrauchs für die Belichtung von Sporthallen ist ersichtlich, wie schwierig es ist, diesen Bereich in ein Benchmarksystem zu integrieren.

**Beispiel 1:** 3fach Sporthalle mit mittlerer externer Nutzung; installierte Beleuchtungsleistung ca. 18 kW (56 Rasterleuchten mit je vier T5 Röhren á 80W), Sporthallenkomplex BGF 3.900 m<sup>2</sup>, Sporthalle allein: 1.231 m<sup>2</sup> NF.

Jahresverlauf: 1. 1. bis 31. 1. 2015



## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Bezogen auf den gesamten Sporthallenrakt verursacht die Beleuchtung (nur Sporthalle) ca. 5 kWh/m<sup>2</sup>. Bezogen auf die reine Nutzfläche der Sporthalle selbst sind dies 16 kWh/m<sup>2</sup> NF. Die Grundlast der Beleuchtung von 665 W ist bedingt durch das DALI System.

Hinweis: Die maximale Leistung mit 10,3 kW bezieht sich auf den ganzen Tag. D.h., aus den Stundenwerten ergibt sich eine maximale Leistung von 17,5 kW. Dies bedeutet, der maximale Nutzungstag war 14 Stunden Vollast. Insgesamt betragen die Volllaststunden der Beleuchtung in dieser Halle 1.120 Stunden. Unter Einrechnung der Dauerleistung von 660 W, welche einen Stromverbrauch von 5.800 bedeuten, ergeben sich bereinigte 860 Volllaststunden.

Wochenverlauf: 15. bis 21. 2. 2016 (Winter – Schulbetrieb)



Tagesverlauf: Dienstag, 16. 2. 2016 (Winter - Schulbetrieb)

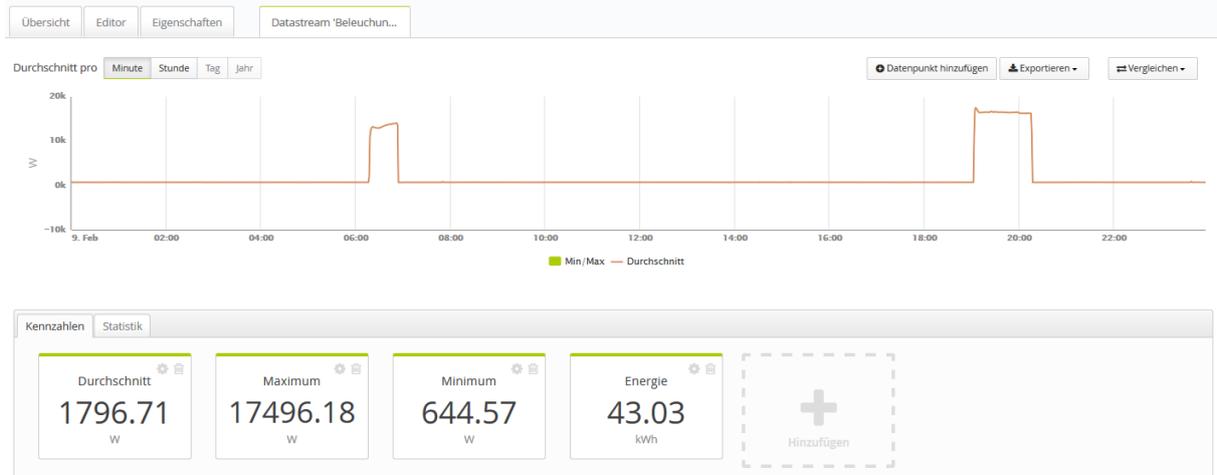


Ersichtlich ist seitens der Beleuchtung nur eine Teilbenutzung ab 16 Uhr.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Tagesverlauf: Dienstag, 9. 2. 2016

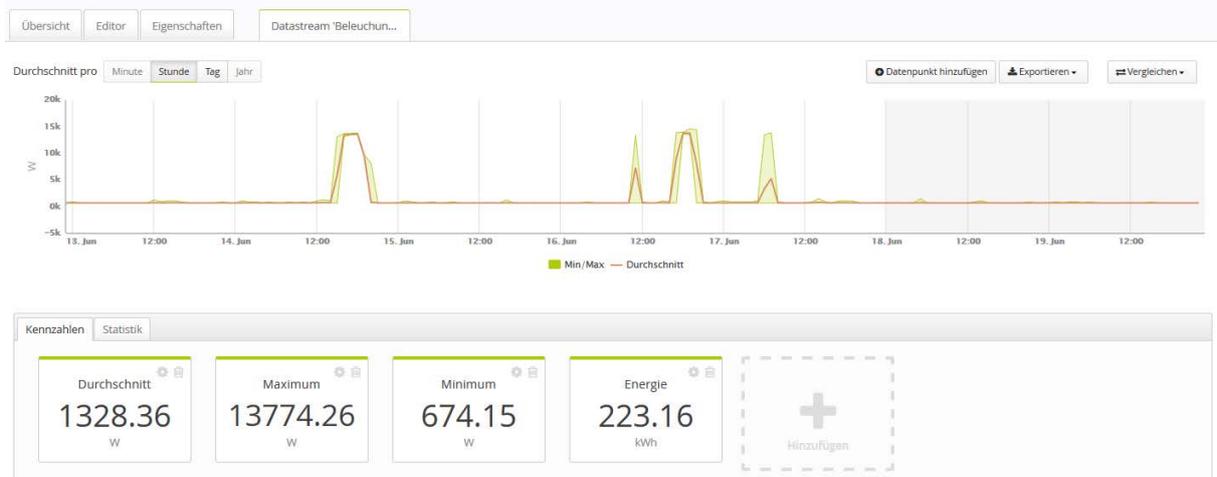
Datastream 'Beleuchtung Sporthalle (Messung mit 50A Wandlern)'



Hier wurde die gesamte Beleuchtung mit insgesamt 17,5 kW genutzt.

Wochenverlauf: 13. bis 19. 6. 2016 (Sommer – Schulbetrieb)

Datastream 'Beleuchtung Sporthalle (Messung mit 50A Wandlern)'



Die Nutzung bzw. Einschaltzeit der Beleuchtung im Sommer ist deutlich geringer.

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

**Beispiel 2:** Turnsaal 500 m<sup>2</sup> ohne Publikumsbereich, ohne externer Nutzung; installierte Beleuchtungsleistung ca. 6 kW bzw. 12 W/m<sup>2</sup>, Datastream enthält auch die Beleuchtung der Umkleiden bzw. der Kleinverbraucher (Musik etc.)

Jahresverlauf: 1. 5. 2016 bis 30. 4. 2017

Datastream 'Leistung Turnsaal UV F13'



Bezogen auf die installierte Leistung für die Beleuchtung von 6 kW ergeben sich, ohne Einbeziehung der restlichen Verbraucher bzw. der Grundlast, 500 Volllaststunden. Wenn man die restlichen Verbraucher bzw. die Grundlast einrechnet, ergeben sich nicht einmal ganz 400 Std. für die Beleuchtung.

Winterwoche mit Schulbetrieb: 23. bis 29. 1. 2016

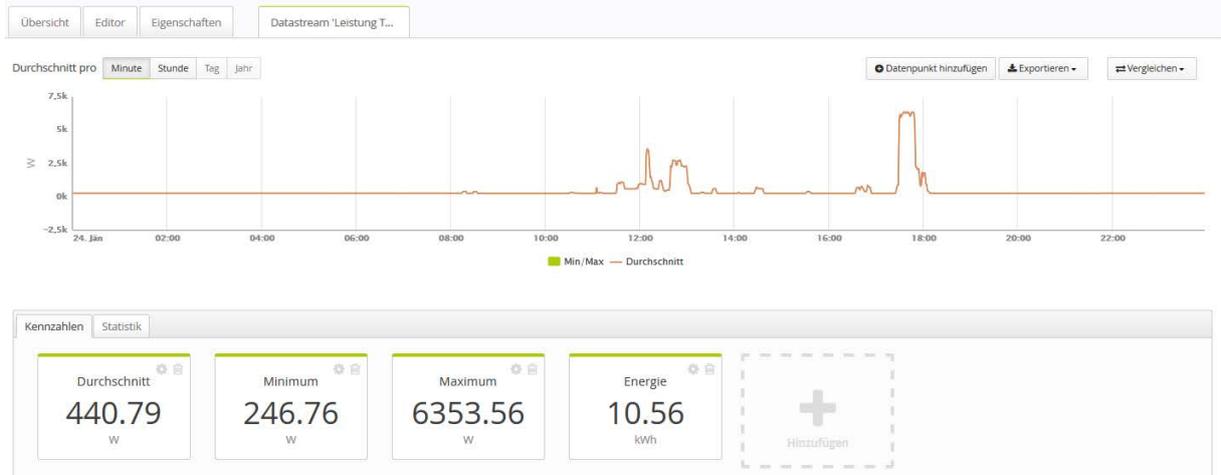
Datastream 'Leistung Turnsaal UV F13'



# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Wintertag mit Schulbetrieb: Dienstag, 24. 1. 2016

## Datastream 'Leistung Turnsaal UV F13'



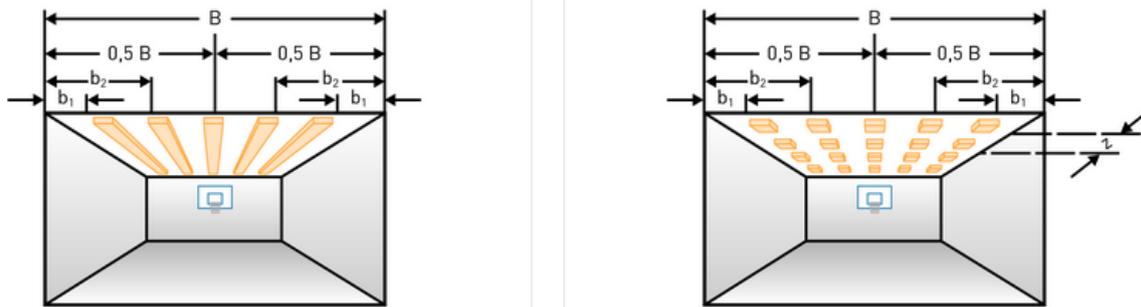
Ersichtlich ist die ca. 6 kW installierte Beleuchtungsleistung.

Sommerbetrieb: 9. bis 16. 5. 2016

## Datastream 'Leistung Turnsaal UV F13'



**Beispiel 3:** Vergleich zwischen verschiedenen Beleuchtungen für eine Sporthalle (1.215 m<sup>2</sup>):



Leuchten-Typ		750 lx	500 lx	300 lx
<b>LED</b> 9.300 lm	Anzahl		7 x 12 = 84	6 x 9 = 54
	$P_{ges}^*$		<b>6.888 W</b>	<b>4.428 W</b>
	$\bar{E}_m^*$		513 lx	321 lx
	Abst.**		$b_1=2,3m \ b_2=6,0m \ z=3,75m$	$b_1=2,3m \ b_2=6,8m \ z=5,0m$
14.000 lm	Anzahl	7 x 12 = 84	10 x 6 = 60	6 x 6 = 36
	$P_{ges}^*$	<b>10.332 W</b>	<b>7.380 W</b>	<b>4.428 W</b>
	$\bar{E}_m^*$	759 lx	537 lx	324 lx
	Abst.**	$b_1=2,3m \ b_2=6,0m \ z=3,75m$	$b_1=2,3m \ b_2=4,8m \ z=7,5m$	$b_1=2,3m \ b_2=6,8m \ z=7,5m$
<b>T8 VVG</b> 2-58W	Anzahl		5 x 24 = 120	4 x 21 = 84
	$P_{ges}^*$		<b>15.840 W</b>	<b>11.088 W</b>
	$\bar{E}_m^*$		510 lx	338 lx
	Abst.**		$b_1=2,3m \ b_2=7,9m \ z=1,87m$	$b_1=2,3m \ b_2=9,5m \ z=2,15m$
3-58W	Anzahl	5 x 24 = 120	4 x 21 = 84	4 x 15 = 60
	$P_{ges}^*$	<b>23.760 W</b>	<b>16.632 W</b>	<b>11.880 W</b>
	$\bar{E}_m^*$	766 lx	508 lx	362 lx
	Abst.**	$b_1=2,3m \ b_2=7,9m \ z=1,87m$	$b_1=2,3m \ b_2=9,5m \ z=2,15m$	$b_1=2,3m \ b_2=9,5m \ z=3,0m$
<b>T5 EVG</b> 2-80W	Anzahl		4 x 27 = 108	4 x 15 = 60
	$P_{ges}^*$		<b>19.008 W</b>	<b>10.560 W</b>
	$\bar{E}_m^*$		524 lx	301 lx
	Abst.**		$b_1=2,3m \ b_2=9,5m \ z=1,6m$	$b_1=2,3m \ b_2=9,5m \ z=3,0m$
3-80W	Anzahl	5 x 21 = 105	4 x 18 = 72	4 x 12 = 48
	$P_{ges}^*$	<b>27.720 W</b>	<b>19.008 W</b>	<b>12.672 W</b>
	$\bar{E}_m^*$	806 lx	528 lx	352 lx
	Abst.**	$b_1=2,3m \ b_2=7,9m \ z=2,15m$	$b_1=2,3m \ b_2=9,5m \ z=2,5m$	$b_1=2,3m \ b_2=9,5m \ z=3,75m$

Quelle: [TRILUX](#)

Die Berechnung zeigt einerseits die klaren Vorteile der LED Beleuchtung und dass T5 Leuchten mit 80 HO (High Output) Leuchten nicht besser sind als eine T8 Beleuchtung mit 58W HE (High Efficiency)

Die spezifischen installierenden Leistungen der Vergleichsrechnung betragen (200 Lux wurde aus 300 Lux proportional umgerechnet):

Beleuchtung Sporthalle	200 Lux	300 Lux	500 Lux	750 Lux	Einheit
LED (14.000 lm)	2,4	3,6	6,1	8,5	W/m <sup>2</sup>
T8 58 W HE mit VVG	6,1	9,1	13,6	19,6	W/m <sup>2</sup>
T5 80 W HO mit EVG	7,0	10,4	15,6	22,8	W/m <sup>2</sup>

**Einsparmöglichkeiten bei der Sporthallenbeleuchtung:** Siehe Klassentraktbeleuchtung

### 5.5.18.2 Lüftung Sporthalle

Die Abschätzung des Stromverbrauchs für die Lüftung im Sporthallenbereich ist, wie bei der Beleuchtung, mit deutlich höheren Unsicherheiten als beim Klassentrakt verbunden. Ausgehend von einem 4 - 6fachen Luftwechsel lt. DIN 1946 für die einzelnen Benchmarkklassen ergeben sich bei einer Mindestraumhöhe von 7 m folgende Luftmengen pro m<sup>2</sup> NF.

Lüftung Sporthalle	1/h	1/h	1/h
Luftwechsel	4	5	6
Lüftung Sporthalle	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> NF	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> NF	(m <sup>3</sup> /h)/NF
Luftmenge pro m <sup>2</sup> NF	28	35	42

Mit dem Umrechnungsfaktor 0,9 von Brutto auf Nettofläche ergibt sich pro m<sup>2</sup> BGF eine Luftmenge von:

Lüftung Sporthalle	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> BGF	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> BGF	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> BGF
Luftmenge pro m <sup>2</sup> BGF	25	32	38

Für die drei Kategorien der spezifischen Ventilatorleistung wurden folgende Ausstattungsmerkmale hinterlegt:

1. Optimierte Anlage (max. 200 Pa ext. DV, Luftqualitätssensor, variable Druckregelung)
2. Standardanlage mit Konstantdruckregelung und Luftqualitätsfühler
3. Anlage mit fixer Luftmenge und Zeitregelung

Lüftung Sporthalle	W/(m <sup>3</sup> /h)	W/(m <sup>3</sup> /h)	W/(m <sup>3</sup> /h)
Spezifische Ventilatorleistung	0,30	0,45	0,6

Lüftung Sporthalle	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spezifische Leistung pro m <sup>2</sup> BGF	7,6	14,2	22,7

Lüftung Sporthalle	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Inkl. Zuschlag für Filterverschmutzung Fühler, V-Regler etc. (ca. 10 %)	0,8	1,4	2,3

Ergibt gesamt:

Lüftung Sporthalle	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF	W/m <sup>2</sup> BGF
Spezifische Leistung pro m <sup>2</sup> BGF	8,3	15,6	24,9

Die Volllaststunden sind abhängig von der Art der Luftmengenanpassung (fixe Luftmenge oder abhängig von Luftqualität) und der Art der Regelung (variable oder konstante Druckregelung bei zentralen Anlagen) und der Anpassung an den Bedarf (manuell, Zeitsteuerung, Luftqualität)

Volllaststunden	500	1000	1500
-----------------	-----	------	------

<b>Sporthallenlüftung</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>
---------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Stromverbrauch pro m <sup>2</sup> BGF	4,2	15,6	37,4
---------------------------------------	-----	------	------

Nachtkühlung über die Lüftungsanlage (abhängig von Einstellungen)

Volllaststunden Nachtkühlung	300	500	700
------------------------------	-----	-----	-----

<b>Nachtlüftung mit Sporthallenlüftung</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>
--	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Stromverbrauch pro m <sup>2</sup> BGF	2,9	8,3	17
---------------------------------------	-----	-----	----

Man sieht die doch enorme Streuung, die aber andererseits auch das hohe Einsparpotenzial im Bereich der Sporthallenbelüftung verdeutlicht.

## 6 Einsparpotenziale

Die Einsparpotenziale sind in technische Einsparpotenziale und Einsparpotenziale durch das Nutzerverhalten unterteilt.

### 6.1 Technisches Einsparpotenzial

Die technischen Einsparpotenziale sind bei der Analyse der einzelnen Verbrauchsbereiche schon enthalten und werden nicht nochmals angeführt. Nicht explizit angeführt wurden jedoch unnötige Standby-Verbräuche, die sich bei der Beschaffung vermeiden lassen. Grundsätzlich gehen die Standby-Leistungen von allen Consumer Produkten aufgrund verschiedener EU Verordnungen deutlich zurück und stellen daher ein Problem dar, das sich mit der Zeit von alleine lösen wird. Noch zu wenig Aufmerksamkeit wird bisher den Standby-Verbräuchen von Fühlern und Regelungen bei der Haustechnik geschenkt. Auch bei BUS-Systemen ist das Thema Standby bisher zu wenig beachtet worden (siehe z.B. Beleuchtung Klassentrakt). Beim technischen Einsparpotenzial auf der Stromseite ist vor allem darauf zu drängen, dass der Stromverbrauch auch in die Planung eingeht. Wie im Bereich der Raumwärme sollen von den Auftraggebern konkrete Planungsziele vorgegeben bzw. klare Anforderungen gestellt werden.

### 6.2 Einsparpotenzial durch Nutzerverhalten

In Bezug auf das Nutzerverhalten sind in Schulen vor allem folgende die drei Personengruppen zu unterscheiden:

- SchülerInnen
- LehrerInnen
- HausmeisterIn

Von den Vorgenannten haben die HausmeisterInnen mit dem bedarfsgerechten Betrieb von Heizung, Lüftung und Warmwassersystemen das größte Potenzial zur Beeinflussung.

#### 6.2.1 LehrerInnen und SchülerInnen

Typische stromsparende Verhaltensweisen von LehrerInnen und SchülerInnen wie z.B.:

- Einschalten von Geräten und Beleuchtung nur im Bedarfsfall (z.B. Untertischboiler)
- Ausschalten nicht benötigter Systeme (Licht, Smart-Board, Beamer, Computer, Drucker, ..)
- Energiesparende Einstellungen am Computer

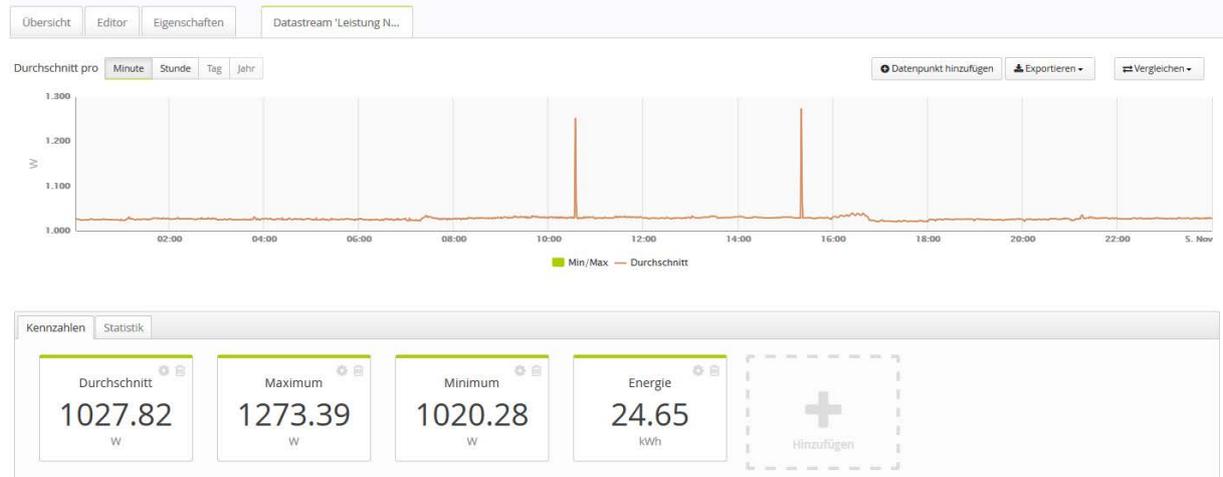
Diese sollten durch jährliche Aktionen, welche diesen Aspekt in den Mittelpunkt rücken, immer wieder ins Bewusstsein gerufen werden. In Kombination mit einem Online Messsystem wie es bei diesem Projekt verwendet wurde, könnte man den Erfolg für alle Beteiligten auch optisch gut darstellen.

Im folgenden Versuch wurden alle Standby-Verbraucher, die nicht unbedingt benötigt wurden, in einem Stockwerk einer NMS von den Lehrern bewusst ausgeschaltet bzw. vom Netz getrennt. In diesem Stockwerk sind auch zwei EDV-Räume enthalten.

# Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Typisches Wochenende vor der Aktion: 5. 11. 2017

Datastream 'Leistung NMS 2. Stock Gesamt (W)'

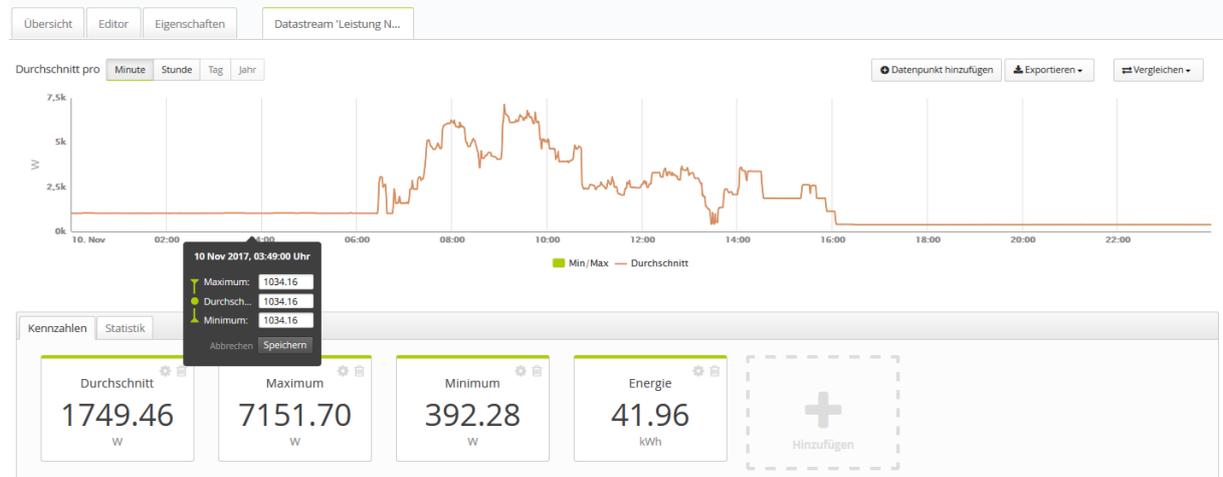


Sonntag nach der Aktion „Standby vermeiden“: 12. 11. 2017

Datastream 'Leistung NMS 2. Stock Gesamt (W)'



Datastream 'Leistung NMS 2. Stock Gesamt (W)'



Die Einsparung von über 600 W (über 0,45 W/m<sup>2</sup> BGF) ist jedoch durch die Vernachlässigung des cos Phi zu relativieren. Es zeigt aber, dass das Thema Standby in Schulen aufgrund der bestehenden Geräteausstattung noch nicht ganz ad acta gelegt werden kann. Die restlichen 400 Watt (0,3 W/m<sup>2</sup>) fallen auf Anlagen (Bewegungsmelder, Brandschutz etc.), die nicht abgeschaltet werden können bzw. nicht identifiziert werden konnten.

Die Einsparung von über 0,45 W/m<sup>2</sup> BGF, umgerechnet auf 6.760 Std. (2.000 Stunden als Nutzungszeit gerechnet), würde ohne cos Phi eine Einsparung von 3 kWh/m<sup>2</sup>a bedeuten.

### 6.2.2 HausmeisterInnen

HausmeisterInnen haben durch eine optimale Betriebsweise der haustechnischen Anlagen deutlich mehr Einflussmöglichkeiten als LehrerInnen und SchülerInnen.

#### 6.2.2.1 Einfach umzuschaltendes Heizungssystem zw. Sommer und Winter

Die Aufzeichnung bei einer Anlage mit Warmwasserbereitung im Sommer mit Strom und im Winter mit der Heizung zeigt, welchen Mehrverbrauch an Strom es bedeutet, wenn Anlagenteile nicht einfach abgeschaltet werden können.

Monat September: WW-Bereitung mit Strom sowie einzelne Tage mit Heizbetrieb:



In der Zeit vom 18. bis 21. September wurde die Heizung eingeschaltet (Durchschnittsleistung 1.870 Watt). Vor der Inbetriebnahme der Heizung betrug die minimale Leistung 180 Watt. Nach dem 21. September betrug die minimale Leistung dann 540 Watt, da einzelne Pumpen bzw. Regelungen kompliziert über die Sicherung extra ausgeschaltet werden müssen.

Hinweis: Die 97 Watt Anfang September resultieren aus einer nicht normgerechten, gesamthaften Abschaltung der WW-Bereitung inkl. ausgeschalteter Zirkulationspumpe.

Da die Werte aus dem Monatsdiagramm nicht erkennbar sind, hier die einzelnen Tageswerte:

## Stromverbrauch und Stromeffizienz in Schulen

Mittwoch, 12. 9. 2017: Reiner Sommerbetrieb (Heizung über Hauptschalter bzw. Pumpen und Regelungen über Sicherungen deaktiviert)



Minimum 180 Watt (Minutenwert)

Mittwoch, 27. 9. 2017: Sommerbetrieb mit teilweise aktiviertem Heizungssystem (einzelne Bereiche können nur kompliziert über die jeweilige Sicherungen abgeschaltet werden)



Minimum 540 Watt

Resümee: Die Minimumleistung im Oktober ist gegenüber Juni bzw. August von 180 W auf 540 W gestiegen. Dieser Unterschied resultiert daraus, dass der Hausmeister für die Abschaltung der gesamten Heizung mehrere Sicherungen betätigen muss, was er nur für längere Abschaltperioden durchführt. Obwohl die Heizung nicht läuft, benötigt sie inkl. der nicht ausgeschalteten Pumpen 360 W bzw., wenn man diese als Durchschnittsdifferenz ansieht 8,6 kWh pro Tag.

**Hilfestellung für Gebäudebetreuung:** Einfache Umschaltmöglichkeit von Sommer- auf Winterbetrieb, die alle Nebenverbraucher (Pumpen, Regelungen, Stellglieder etc.) einschließt. Dies ist bei der Verkabelung der Heizzentrale von vornherein einzuplanen.

### 6.2.2.2 Sporthalle- Ausschalten aller Verbraucher in den Ferienzeiten

Die Aufzeichnung des Stromverbrauchs einer Sporthalle ergab für den Stromverbrauch in den Sommerferien folgende Ergebnisse:

Monatsverlauf im Juli 2016



Tagesverlauf Sonntag, 14. 8. 2017



Obwohl die Sporthalle über die Ferien nicht genutzt wurde, sieht man doch deutliche Stand-by-Verbräuche von minimal 786 Watt bzw. 18 kWh/Tag. Für die beiden Monate in den Sommerferien sind dies immerhin über 1.100 kWh.

Hinweis: Die zusätzliche Leistung von 196 Watt in der Nacht resultiert aus der Außenbeleuchtung.

**Hilfestellung für Gebäudebetreuung:** Einfache Umschaltmöglichkeit von Schul- auf Ferienbetrieb, bei dem einzelne Verbraucher, die nicht ausgeschaltet werden dürfen ausgenommen sind.

### 6.2.2.3 Lüftung komplett ausschalten

Beim Abschalten der Lüftungen ausschließlich über die Leittechnik kommt es ebenfalls zu einem Standby-Verbrauch in den Sommerferien.

Lüftung in den Sommerferien: August 2016



**Hilfestellung für Gebäudebetreuung:** Einfache Umschaltmöglichkeit von Schul- auf Ferienbetrieb (Hauptschalter) auch für die Lüftung, um auch dort alle Nebenverbraucher (z.B. Regelung, CO<sub>2</sub>-Fühler etc.) auszuschalten.

## 7 Leitfaden Stromeffizienz in Schulen für Sanierungen und Neubauten

Der Leitfaden unterteilt sich in 12 Grundsätze:

1. Planungsziele für den Stromverbrauch festlegen
2. Systematische Verbrauchserfassung – Energiebuchhaltung
3. Kühlung vermeiden bzw. minimieren
4. Stromsparende Heizung bzw. Wärmeverteilung mit Hocheffizienzpumpen
5. Warmwasser möglichst mit Durchlauferhitzern
6. Effiziente mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung
7. Stromeffiziente „sonstige“ Haustechnik
8. LED-Beleuchtung mit Anwesenheits- bzw. Tageslichtsteuerung
9. LED Notbeleuchtung mit Optimierung der Einsatzzeiten
10. Stromeffiziente EDV-Ausstattung
11. Schulküche, Lehrerküche etc. mit effizienten Geräten
12. Nutzerverhalten beachten bzw. sensibilisieren

### 7.1 Planungsziele für den Stromverbrauch festlegen

Bisher gibt es beim Neubau bzw. der Sanierung meist nur Planungsziele für den Wärmeverbrauch, der über den Energieausweis oder über Gebäudestandards (klimaaktiv, Passivhaus,...) abgedeckt wird. Um jedoch auch stromeffiziente Schulen zu bekommen, muss der elektrische Energieverbrauch ebenfalls bereits im Planungsstadium berücksichtigt, bzw. seitens der Auftraggeber mit Planungszielen für einzelne Bereiche (Beleuchtung, Lüftung,...) versehen werden. Der im Projekt „Stromeffizienz in Schulen“ geschaffene Benchmarkbaukasten bzw. die dort vorgenommene Abschätzung des Verbrauches der einzelnen Bereiche kann dabei als Basis verwendet werden.

Beispiel Beleuchtung:

	sehr gut	mittel	sehr schlecht
Beleuchtung	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF	kWh/m <sup>2</sup> BGF
Beleuchtung Klassentrakt	1,9	6,3	12
Standby bei Beleuchtung Klassentrakt (nur bei Bussystemen)	0,7	1,6	3,3
Notbeleuchtung	0,3	1	2,5
Außenbeleuchtung	0,03	0,3	0,8
<b>Gesamt</b> (individuell zusammenzählen)	<b>2,93</b>	<b>9,2</b>	<b>15,3</b>

## 7.2 Systematische Verbrauchserfassung - Energiebuchhaltung

Für eine systematische Analyse des Stromverbrauchs, die effiziente Durchführung von Stromsparprojekten und die Evaluierung von Maßnahmen ist eine minimale Zählerstruktur bzw. Energiebuchhaltung notwendig.

### 7.2.1 Subzählerstruktur

Bei neuen Gebäuden lässt sich die vorgeschlagene Systematik leicht verwirklichen. Bei Bestandsgebäuden mit ihrer vorgegebenen Verdrahtung muss meist ein individuelles Stromzählerkonzept erstellt werden.

Die Stromzähler sollten entweder Modbuszähler oder zumindest Zähler mit einem Impulsausgang sein, damit man bei Bedarf auch einfach ein Online Monitoring aufbauen kann. Die Subzähler sollten möglichst ohne Wandler eingesetzt werden, um falsche Einstellungen zu vermeiden.

Für neue Gebäude wird vorgeschlagen die Versorgungsstruktur so zu wählen, dass ein Benchmark für folgende Bereiche leicht möglich ist.

- Haustechnik (Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung)
- Schulbereich (Klassen, Direktion, EDV-Räume etc.)
- Sporthalle
- Sportplatz (zumindest, wenn mit Flutlicht ausgestattet bzw. über eigenen Umkleibereich verfügt)
- Sondernutzungsbereiche (Hausmeisterwohnung, Mittagstisch, Kegelbahnen, Vereinslokale etc.)

Im Bereich Haustechnik sollte es dann zumindest folgende weitere Aufteilungsmöglichkeiten nach der Stromanwendung geben:

- Wärmeerzeugung inkl. Wärmeverteilung (bei Wärmeerzeugung mit einer Wärmepumpe: eigener Subzähler für die WP inkl. Grundwasser- bzw. Solepumpe)
- Kühlung
- Warmwasser (wenn mit Strom)
- Lüftung
- Elektrische Sonderheizungen (z.B. Dachrinnen-, Gullyheizungen etc.)

Im Bereich Schule sollte eine Aufteilung des Stromverbrauchs in folgende Bereiche möglich sein:

- Beleuchtung (inkl. Notbeleuchtung)
- EDV (inkl. ev. vorhandener Kühleinrichtungen für Serverschränke etc.)
- Zusammengefasster Stromverbrauch in Sonderbereichen (Kochen, Werken, Direktion, HausmeisterIn etc.)

Die folgenden Verbraucher sind meist von untergeordneter Bedeutung und rechtfertigen normalerweise keine Subzählung.

- Steckdosen in den Klassen bzw. Räumen
- Lift
- Brandschutzanlage
- Sonstiges (Jalousien, etc.)

### **7.2.2 PV-Anlage mit Eigenstromnutzung**

Eine Photovoltaikanlage mit Eigenstromnutzung verhindert, dass der Tarifzähler den korrekten Gesamtverbrauch anzeigt. Zudem ist eine Auswertung des Lastganges des Tarifzählers dann durch die Photovoltaikanlage verzerrt. Um eine einfache Erfassung des Gesamtstromverbrauchs zu ermöglichen, sollte die PV Einspeisung zwischen dem Tarifzähler und einem zusätzlichen Gesamtstromzähler erfolgen. Wenn aus dem Wechselrichter die 15 Minuten Erträge ausgelesen werden können, ist auch eine Korrektur des Tarifzählers möglich und der Lastgang ohne PV Einfluss könnte unverzerrt ausgewertet werden. Alternativ kann ein Subzähler für den Gesamtverbrauch (PV und Energieversorger) eingebaut werden.

### **7.2.3 Energiebuchhaltung**

Die Auswertung und Analyse der Zähler sollte idealerweise monatsweise, zumindest jedoch auf Jahresbasis erfolgen. Wenn eine Gebäudeleittechnik (GLT) vorhanden ist, sollten die Stromzähler in das GLT-System bzw. in die aufgezeichneten bzw. auszuwertenden Parameter integriert werden.

Die Erweiterung der Inventarliste von elektrischen Geräten (Computer, Drucker, Kopierer, Telefonanlage, Schließsystemen usw.) um die Aspekte maximale Leistung, Standby und hochgerechneter Jahresstromverbrauch ist eine wesentliche Hilfe bei der Investitionsentscheidung bzw. bei der Verbrauchskontrolle. Wenn dies zu aufwändig erscheint, sollte zumindest ein System installiert werden, das bei jeder Neuanschaffung den Stromverbrauch der Geräte in den Beschaffungsvorgang einfließen lässt.

### 7.3 Kühlung vermeiden bzw. minimieren

Die Kühlung von Schulen wird vielfach als „Luxus“ bezeichnet. Temperaturen über 25° C vermindern die Leistungsfähigkeit von LehrerInnen und SchülerInnen jedoch deutlich. Eine stromeffiziente Kühlung ist daher nicht von vornherein abzulehnen, wenn die Gebäudehülle keine weitere Reduktion der Kühllast ermöglicht. Insbesondere, wenn ohnehin ein Grundwasser- oder Solekreis für die Wärmepumpenheizung vorhanden ist und die Kühllast so gering ist, dass sie über die normalen Heizflächen (z.B. Fußbodenheizung) eingebracht werden kann (max. 25 Watt/m<sup>2</sup>). Zumindest in einzelnen Räumen (EDV-Räumen) lässt sich auch bei einer optimierten Gebäudehülle eine Überwärmung manchmal nicht vermeiden. Hier sind auch Einzellösungen mit Splitgeräten eine akzeptable Lösung, insbesondere in Kombination mit einer PV-Anlage. Die passive Nachtkühlung über Fenster/Klappen ist nur bei entsprechender Berücksichtigung in der grundsätzlichen Gebäudeplanung umsetzbar. Bei einer aktiven Nachtlüftung mit der Klassenzimmerlüftung liegen die Stromverbräuche deutlich über einer Kühllösung mit Grundwasser oder Sole und einer Fußbodenheizung zur Wärmeverteilung. Eine Nachtkühlung mit der Klassenzimmerlüftung sollte daher nur bei sehr geringen Kühllasten eingesetzt werden, da dies die ineffizienteste Kühlmöglichkeit darstellt. Ein Kühlregister in der Lüftungsanlage ist bei einem vorhanden Sole- oder Grundwasserkreis immer vorteilhaft, da hier die Kühlenergie mit der ohnehin hygienisch notwendigen Luftmenge eingebracht werden kann. Eine Kühlung bzw. Entfeuchtung in der Lüftungsanlage erfordert aufgrund des Kondensatausfalls aber eine erhöhte Aufmerksamkeit bezüglich der Hygiene. Die Lüftungsanlage sollte immer nach dem hygienischen Lüftungsbedarf und nicht nach dem Kühlbedarf betrieben werden. In Kombination mit einer PV-Anlage ist auch eine Kältemaschine bzw. eine reversibel arbeitende Luft-Wärmepumpe eine ökologisch akzeptable Kühlvariante, wenn Grundwasser bzw. Sole nicht zur Verfügung stehen. Bei einer Kühlung über die Wärmeabgabeflächen (z.B. Fußbodenheizung) ist jedoch zu beachten, dass es zu keiner Kondensation an den Oberflächen bzw. im Bauteilinneren kommt. Zu beachten ist auch, dass durch eine Flächenkühlung die Bildung eines feuchtschwülen Raumklimas gefördert wird. Um dies gesichert zu verhindern, müsste die Frischluft auch entfeuchtet werden, was durch das Kühlregister in der Lüftungsanlage möglich ist. Dies bedeutet letztendlich eine Vollklimatisierung des Schulgebäudes, welche aus Lernaspekten zwar wünschenswert wäre, aber derzeit meist den Rahmen der Investitions- und der Betriebskosten sprengt. Langfristig wird man sich diesem Thema aber nicht ganz verschließen können. Besonders, wenn durch den Klimawandel während der Schulzeit vermehrt längere Hitzeperioden auftreten.

Hinweis: Eine gute Grundwasserkühlung benötigt ca. 0,55 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>·a (0,3 kWh für Grundwasserpumpe und 0,24 kWh/m<sup>2</sup> für die Kälteverteilung über FBH)

### 7.3.1 Grundsätze Kühlung

1. Die notwendige Kühlung ist durch die Optimierung der Gebäudehülle und eine effiziente Beleuchtung und effiziente elektrische Geräte zu minimieren. Die bisher oft einseitige Optimierung der Gebäudehülle hinsichtlich des Heizwärmebedarfs muss um die Kühlenergie bzw. Sommertauglichkeit erweitert werden.
2. Ideale Unterrichtsräume haben aus Gründen der blendfreien, natürlichen Belichtung und der Überwärmung die Fensterfronten möglichst nach Norden.
3. Bei nach Süden ausgerichteten Fensterfronten sind statische Verschattungen zu bevorzugen. Ost- und westseitige Fensterfronten für Klassen sind aus Überwärmungssicht möglichst zu vermeiden und benötigen immer eine mechanische, automatisch gesteuerte Verschattung.
4. Die mit der Kühlung zu erreichende Temperatur in den Klassenräumen sollte max. 25° C betragen, da darüber mit deutlichen Einbußen bei der Leistungsfähigkeit gerechnet werden muss. Unter 24° C sollte man die Räume aber aus Effizienzgründen nicht abkühlen.
5. Die Kühllast sollte zumindest so weit reduziert werden, dass die Kühlenergie mittels der Fußbodenheizung und der Lüftung (nur hygienischer Luftwechsel) eingebracht werden kann (max. 25 W/m<sup>2</sup>) und keine eigenen Kühlflächen notwendig sind.
6. Grundwasser stellt die effizienteste Bereitstellung von Kühlenergie dar (falls vorhanden bzw. zugänglich)
7. Elektrische Kältemaschinen (reversible Wärmepumpen) sollten möglichst mit einer PV-Anlage gekoppelt werden.
8. Beim Erreichen der Solltemperatur sollten, wie im Heizbetrieb, möglichst auch die Pumpen der Kälteverteilung abgeschaltet werden.
9. Ein Betrieb in den Ferienzeiten sollte vermieden werden.
10. An Samstagen und Sonntagen ist aufgrund der beschränkten Kühlleistung der Abgabeflächen ein Durchlaufen der Kühlung teils notwendig bzw. sinnvoll, um am Montagmorgen die Solltemperaturen zu erreichen.
11. Eine Optimierung aller Pumpen ist, insbesondere wenn sie sowohl für die Wärmebereitstellung als auch die Kühlung verwendet werden, aufgrund der hohen gemeinsamen Laufzeiten für den Sommer- und Winterbetrieb, besonders wichtig.

## 7.4 Stromsparende Heizung und Wärmeverteilung mit Hocheffizienzpumpen

Die Wärmeverteilung ist vom Stromverbrauch her in Schulen meist deutlich höher als die Hilfsenergie der Wärmeerzeugung mit Fernwärme bzw. einem Öl-, Gas- oder Pelletskessel. Die Wärmeverteilung mit alten Pumpen kann deutlich über 3 kWh/m<sup>2</sup> BGF benötigen.

### 7.4.1 Grundsätze Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung

1. Stromsparende Heizkessel (z.B. Auswahl über GET Datenbank – [www.produktdatenbank-get.at](http://www.produktdatenbank-get.at))
2. Auslegung der Heizkreise mit niedriger Strömungsgeschwindigkeit (ca. 0,3 bis 0,5 m/s)
3. Korrekte Einregulierung der Heizkreise für optimierte Wassermengen bzw. Druckverluste
4. Korrekt eingestellte, stromsparende, selbstadaptierende Pumpen
5. Stromsparende Regelungsstrategien, bei der die Pumpen z.B. nur bei Wärmeanforderung laufen
6. Stromsparende Regelungsgeräte
7. Zeitliche Einschränkung der Wärmeerzeugung und Pumpenlaufzeiten
  - a. In den meisten gut gedämmten Schulgebäuden ist es, auch bei sehr tiefen Außentemperaturen, ohne Probleme möglich die komplette Heizung inkl. aller Pumpen in der Nacht über mehrere Stunden (z.B. 22.00 bis 4:00 Uhr) still zu legen.
  - b. An Wochenenden kann dieser Zeitraum teilweise noch erweitert werden. D.h. bei sehr gut gedämmten Gebäuden sollte ein automatisches Abschalten der Wärmeverteilung von Freitag nach Schulschluss bis Sonntag am Abend, ohne Unterschreitung der Solltemperatur am Montag, möglich sein.
  - c. Ob auch ein Abschalten des Heizkessels möglich ist, hängt von der Art der Warmwasserbereitung ab. Erfolgt die WW-Bereitung mit dem Heizkessel, so kann dieser normalerweise nicht abgeschaltet werden. Sonst kann die Hygienesrichtlinie B 5019 nicht eingehalten werden, da der Speicher bzw. die Zirkulation zu viel Wärme verlieren und die geforderten Systemtemperaturen nicht mehr eingehalten werden. Näheres dazu im Kapitel Warmwasser.
  - d. Ein längeres Stromlosschalten der Heizungspumpen (über die Sommerferien) ist nur bei einer entsprechenden Wasserqualität im Wärmeverteilungs-system möglich. Andernfalls kommt es durch Ablagerungen zum Blockieren der Pumpen.

## **7.5 Warmwasser möglichst mit Durchlauferhitzern**

Warmwasser sollte nur in jenen Bereichen zur Verfügung gestellt werden, in denen es unbedingt benötigt wird. In Klassenräumen ist im Normalfall heute kein Warmwasser mehr notwendig. Auch in WCs ist meist kein Warmwasser erforderlich. Zentrale Warmwassersysteme mit Zirkulationsleitungen sollten in Schulen auf alle Fälle vermieden werden. Sie weisen meist Nutzungsgrade von nur 3 – 10 % auf. Bei Kleinspeichern sind es meist noch über 70 % Verluste. Einzelne Bereiche, bei denen Warmwasser benötigt wird (z.B. Reinigung, Werkstätten, Lehrerküchen, einzelne Waschbecken usw.), werden am besten mit elektrischen Durchlauferhitzern versorgt. Diese haben zwar eine höhere elektrische Anschlussleistung als Kleinspeicher bzw. Untertischboiler, sind in Summe aber, insbesondere bei geringer Nutzung, wesentlich effizienter. Der Warmwasserspeicher (Hygienespeicher) des Sportbereiches sollte so in lokaler Nähe der Nassräume angeordnet werden, dass auch hier auf eine Zirkulationsleitung verzichtet werden kann. D.h. bei einer Warmwasserbereitung für den Sportbereich mit der Heizung sollte der WW-Speicher nicht im Heizraum, sondern in der Nähe der Nassräume angebracht werden und möglichst nur einmal am Tag beladen werden. Im Sommer sollte das Warmwasser aus ökologischen Gründen mit Hilfe der Sonne bzw. Strom erwärmt werden (Ziel: keine Heizung läuft im Sommer). Im Idealfall mit einer PV-Anlage und einer WW-Wärmepumpe. Bei einer el. WW-Bereitung (Strom direkt oder WP) lässt sich die Eigenstromnutzung der PV Anlage deutlich erhöhen.

### **7.5.1 Grundsätze Warmwasserbereitung**

1. Kein WW in den Klassen und in den WC's
2. Wasserspararmaturen
3. Alle Kleinverbraucher mit Durchlauferhitzern (Reinigung, Bastelräume, Lehrerküche,...)
4. Großverbraucher (Duschen Sporthalle) mit einem eigenem Hygienespeicher (z.B. Pufferspeicher mit Frischwassermodul oder interner WW-Bereitung) direkt bei den Nassräumen – möglichst ohne Zirkulation
5. WW-Bereitung Sporthalle mit der Heizung: Speicherladung nur nach Bedarf (1-2 x pro Tag)
6. WW-Bereitung Sporthalle mit Strom: möglichst mit Wärmepumpe
7. Energieeffizienzklasse Speicher zumindest Klasse „B“ nach ErP Richtlinie

## 7.6 Effiziente Lüftung

Eine Klassenzimmerlüftung mit Wärmerückgewinnung stellt zwar einen zusätzlichen Stromverbraucher in einer Schule dar, aus Gesundheits- bzw. Leistungssteigerungsgründen sollte aber bei keinem Neubau bzw. keiner Sanierung auf eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung verzichtet werden. Unter Einrechnung der Leistungssteigerung bei LehrerInnen und SchülerInnen zahlt sich diese auch wirtschaftlich aus (siehe [www.komfortlueftung.at](http://www.komfortlueftung.at)). Von der Stromseite ist keine Unterscheidung in zentrale und dezentrale Systeme notwendig, da sie in etwa gleiche spezifische Stromverbräuche aufweisen. Dezentrale Systeme haben zwar geringere Druckverluste, jedoch schlechtere Ventilatoren bzw. einen höheren Strombedarf für den elektrischen Frostschutz bzw. die Nacherwärmung. Geräte mit Feuchterückgewinnung (Empfehlung: Rotationswärmetauscher bei zentralen Anlagen und Folien-Plattenwärmetauscher bei dezentralen Geräten) verbessern die Feuchteverhältnisse und reduzieren den Energiebedarf für den Frostschutz. Zudem kann meist der Kondensatanschluss entfallen.

### 7.6.1 Grundsätze Klassenzimmerlüftung

1. Auslegung auf max. 1.000 ppm CO<sub>2</sub> (Empfehlung der „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“ des Lebensministeriums (Fassung:2017))
2. Möglichst zentrale Systeme (Kosten, Wartung, Filterwechsel etc.)
3. Möglichst Dachzentralen (Entfall der Außenluft und Fortluftleitung, geringere Druckverluste etc.)
4. Optimierte Lüftungskaskade (inkl. Garderoben, WC's u.a.)
5. Lüftungsgeräte mit Feuchtrückgewinnung (Empfehlung: zentrale Geräte: Rotationswärmetauscher, dezentrale Geräte – Folien-Plattenwärmetauscher)
6. Stromeffiziente Auslegung – Ventilator und Gesamtdruckverlust (spez. Leistung max. 0,45 W/(m<sup>3</sup>/h), Ziel 0,30 W/(m<sup>3</sup>/h))
7. Klassenweise Luftmengenregelung durch Luftqualitätssensor (CO<sub>2</sub>, oder VOC)
8. Zentrale Anlagen: Variable Druckregelung, möglichst kein elektrischer Frostschutz
9. Dezentrale Anlagen: Leistungsgeregelter elektrischer Frostschutz
10. Gesicherter Filterwechsel (stromeffiziente Filter, z.B. A+ nach Eurovent)
11. Gesicherte Abschaltung in den Ferienzeiten
12. Nachtlüftung möglichst vermeiden
13. Beachtung der [61 Qualitätskriterien](#) für Klassenzimmerlüftungen von [komfortlueftung.at](http://komfortlueftung.at)

## 7.7 Effiziente sonstige Haustechnik

Unter sonstiger Haustechnik sind Lifte, Brandschutzeinrichtungen, Verschattungsanlagen, Schließsysteme, Hebeeinrichtungen für Abwässer, Dachrinnen- und Gullyheizungen zusammengefasst. Den größten variablen Anteil daran haben natürlich Dachrinnen- und Gullyheizungen. Diese sollten bei neuen bzw. sanierten Gebäuden eigentlich nicht mehr notwendig sein.

### 7.7.1 Grundsätze Sonstige Haustechnik

1. Völlige Vermeidung von Gully- bzw. Dachrinnenheizungen
2. Falls sich Gully bzw. Dachrinnenheizungen nicht vermeiden lassen, sollten diese nicht nur nach der Temperatur, sondern auch über die Feuchte gesteuert werden.
3. Einbeziehung der WCs in die zentrale Klassenzimmerlüftung (Kaskade) – möglichst keine eigen Lüftung
4. Vermeidung von Hebeanlagen für Abwässer
5. Beachtung des Stromverbrauchs (Betrieb und Standby) bei allen Ausstattungen (Lift, Brandschutz, BUS-Systeme, Schließsysteme etc.)
6. Einfache Abschaltmöglichkeiten einzelner Systeme
7. Tiefgaragen mit natürlicher Belüftung
8. Vermeidung von Parkraumbewirtschaftung (Ticketautomaten usw.)

## 7.8 LED-Beleuchtung mit Anwesenheits- bzw. Tageslichtsteuerung

Die Beleuchtung ist meist der größte Stromverbraucher in Schulen und primär abhängig von der installierten Leuchtentechnologie sowie dem Nutzerverhalten bzw. der automatischen Bedarfsanpassung (tageslichtabhängig, Bewegungsmelder etc.)

### 7.8.1 Grundsätze Beleuchtung

1. Optimierte Tageslichtplanung
2. Optimierter Blend- und Sonnenschutz (verhindert heruntergelassene Verschattung und Kunstlicht trotz ausreichendem Tageslicht)
3. Beleuchtungsstärke entsprechend der ÖISS Empfehlung
4. LED Leuchten ohne Reflektor (Direktstrahler)\*
5. Klassen: Bewegungsmelder und Tageslichtsteuerung der einzelnen Lichtbänder
6. Verkehrsbereiche: Bewegungsmelder mit Tageslichterkennung
7. Außenbeleuchtung: Bewegungsmelder bzw. Zeitsteuerung jeweils mit Tageslichtsensor
8. Bei Beleuchtungssystemen mit BUS-Technik (z.B. KNX/DALI) ist unbedingt eine Schaltung zur Vermeidung von Standby vorzusehen, da bei konventionellen Systemen die elektronischen Vorschaltgeräte nicht spannungslos sind und 0,15 bis 1,5 W pro Leuchte benötigen. Bei dimmbaren Leuchten sogar bis 3,5 W.

\*LED Leuchten ohne Reflektor haben höhere Wirkungsgrade bzw. wesentlich geringere Reinigungskosten (Wartungsfaktoren) als Leuchten mit Reflektor.

Hinweis: Bei Beleuchtungssystemen mit Bustechnik benötigt es bei einem Tausch der Leuchte bzw. des Vorschaltgerätes einen Elektriker und einen Bustechniker.

## **7.9 LED Notbeleuchtung mit Optimierung der Einsatzzeiten**

Unter Notbeleuchtung versteht man einerseits die Sicherheitsbeleuchtung (Fluchtweganzei- gen) und andererseits die Ersatzbeleuchtung im Falle eines Stromausfalles.

### **7.9.1 Grundsätze Notbeleuchtung**

1. Zentrale Systeme bzw. Gruppenlösungen
2. LED-Sicherheitsbeleuchtung mit max. 1,2 W/Leuchtpunkt (inkl. ESV)
3. LED Ersatzbeleuchtung mit max. 3,6 W/Leuchtpunkt (inkl. ESV)
4. Batteriesysteme ohne Zwangsbelüftung
5. Nutzung der Möglichkeit Sicherheitsleuchten nur bei Dämmerung bzw. in den Nutzungszeiten einzuschalten

## **7.10 Stromeffiziente EDV-Ausstattung**

Typischerweise befinden sich in den meisten Schulen neben den EDV Räumen auch in jedem Klassenzimmer ein PC am Lehrerpult für die Multivisionstafeln. Teilweise sind die Klassenräume auch noch mit ein bis vier PCs für SchülerInnen ausgestattet bzw. sind kleine EDV Inseln im Flurbereich vorhanden. In den PC-Räumen sind neben den Computern meist zwei Drucker, ein Scanner und eine Musikanlage vorhanden. Jede Schule verfügt zumindest auch über einen Serverschrank. Weitere Computer finden sich oft in der Bibliothek, den Lehrer- räumen, der Direktion und im Hausmeisterbereich.

### **7.10.1 Grundsätze EDV-Ausstattung**

6. Berücksichtigung des Stromverbrauches bei den Investitionsentscheidungen
7. Zentralschalter bzw. Steckerleisten zur Standby-Vermeidung (vor allem bei älterer EDV Ausstattung)
8. Wake-on-LAN (Einschalten über Fernbefehle per LAN) für Updates ist auf Energieeffizienz hin zu konfigurieren (S3 bis S5) bzw. ist in den Energieeinstellungen ein auto- matisches Herunterfahren nach einer bestimmten Zeit ohne Nutzung zu empfehlen.
9. Bei den Servern ist darauf zu achten, dass sie in Aufstellungsbereichen unterge- bracht sind, in denen keine aktive Kühlung benötigt wird (z.B. ungedämmte Keller- räume).
10. Automatische Abschaltung von Beamer, SmartBoard etc. bei längerer Nichtnutzung

## **7.11 Schulküche, Lehrerküche etc. mit effizienten Gerä- ten**

Die Bereiche Kochen und Werken haben nur einen relativ geringen Anteil am Stromver- brauch. Beim Werken fällt der größte Teil des Strombedarfes auf die Beleuchtung. Der Stro- manteil der eingesetzten Maschinen beim Werken (Bohrmaschine, Kreissäge, Bandsäge, Nähmaschinen etc.) ist aufgrund der äußerst geringen Nutzungszeit meist zu vernachlässi- gen.

### **7.11.1 Grundsätze Schulküche, Lehrerküche,..**

1. Der Einsatz von Geräten mit der höchsten Energieeffizienz laut ErP-Label sollte an sich selbstverständlich sein.

2. Ein Hauptschalter, z.B. im Küchenbereich, erleichtert das gesicherte Ausschalten aller Geräte (außer Kühlgeräte).

## 7.12 Nutzerverhalten sensibilisieren

In Bezug auf das Nutzerverhalten sind in Schulen vor allem folgende die drei Personengruppen zu unterscheiden:

- SchülerInnen
- LehrerInnen
- HausmeisterIn

Von den Vorgenannten haben die HausmeisterInnen mit dem bedarfsgerechten Betrieb von Heizung, Lüftung und Warmwassersystemen das größte Potenzial zur Beeinflussung.

Typische stromsparende Verhaltensweisen von LehrerInnen und SchülerInnen wie z.B.:

- Einschalten von Geräten und Beleuchtung nur im Bedarfsfall (z.B. Untertischboiler)
- Ausschalten nicht benötigter Systeme (Licht, Smart-Board, Beamer, Computer, Drucker, ..)
- Energiesparende Einstellungen am Computer (Administrator)

Diese sollten durch jährliche Aktionen, welche diesen Aspekt in den Mittelpunkt rücken, immer wieder ins Bewusstsein gerufen werden. In Kombination mit einem Online Messsystem wie es beim Projekt „Stromeffizienz in Schulen“ in Tirol verwendet wurde, könnte man den Erfolg für alle Beteiligten auch optisch gut darstellen.

## 7.13 Beispiel einer idealen Schule für den elektrischen Strombedarf

Mit dem nachfolgenden Beispiel wird aufgezeigt, wie sich der Stromverbrauch in einer idealen Schule trotz haustechnischer Vollausrüstung (inkl. Klassenzimmerlüftung) mit ca. 50 % des Stromverbrauchs einer durchschnittlichen Schule verwirklichen lässt. Eine ideale Schule kann mit ca. 8 - 10 kWh/m<sup>2</sup> BGF, statt dem bisher üblichen Durchschnittswert von ca. 15 - 20 kWh/m<sup>2</sup> BGF Strom auskommen. Grün = ideale Schule.

Stromeffizienz in Schulen - Benchmarkbaukasten - Maxi (kWh/m <sup>2</sup> a)				
Fläche Klassentrakt:		m <sup>2</sup> BGF		
Fläche Sporthalle:		m <sup>2</sup> BGF	Schule:	
Gesamt:		m <sup>2</sup> BGF		kWh/a Strom (ohne WP, E-Heizung bzw. Kühlung)
Benchmark Strom (ohne Strom für Wärmepumpe, Kühlung bzw. Elektrodirektheizung):			kWh/m <sup>2</sup> BGF	für das Jahr:
Klassentrakt inkl. Haustechnik (ohne Strom für WP, Kühlung bzw. Elektrodirektheizung)				
Wärmeerzeugung mit Fernwärme	0	0	0	
Wärmeerzeugung mit Gaskessel (nicht modulierend)	0,02	0,05	0,1	
Wärmeerzeugung mit Gaskessel (modulierend)	0,02	0,09	0,3	
Wärmeerzeugung mit Öl	0,02	0,05	0,1	
Wärmeerzeugung mit Biomasse (Pellet, Hackschnitzel)	0,02	0,15	0,4	
Wärmeverteilung Heizung	0,4	1,4	3	
Warmwasser - Zentral, ganzjährig mit Strom direkt	1,6	3,2	6,3	Stark abhängig von Nutzung, Bei WW-WP JAZ 2,5
Warmwasser - Zentral, nur Sommer mit Strom direkt	0,7	1,3	2,6	Stark abhängig von Nutzung, Bei WW-WP JaZ 2,5
Warmwasser - Zentral ganzes Jahr mit der Heizung	0,002	0,015	0,06	vereinfacht gleich für alle Wärmeerzeuger, FW = "0"
Warmwasser - Zentral nur in der HP mit der Heizung	0,001	0,007	0,03	vereinfacht gleich für alle Wärmeerzeuger, FW = "0"
Warmwasser - Dezentral (Kleinspeicher, Unterschichtboiler)	0,3	0,5	0,7	Stark abhängig von Nutzung, Bei WW-WP JaZ 2,5
Warmwasser - Dezentral (El. Durchlauferhitzer)	0,1	0,15	0,25	Stark abhängig von Nutzung
Klassenzimmerlüftung	0,6	1,2	2,9	Abhängig von Auslegung und Regelung
Nachtlüftung mit Klassenzimmerlüftung	0,15	0,4	1	Abhängig von Regelung
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	<b>1,72</b>	<b>3,99</b>	<b>8,8</b>	
<b>2 Sonstige Haustechnik</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Dachrinnenheizung, Gullyheizung	0	0,75	1,5	Sollten neue bzw. sanierte Gebäude nicht benötigen
Lifte	0,1	0,2	0,4	
Hebeeinrichtungen	0	0	0	Für einzelne WC's in Keller vernachlässigbar
Brandschutz, Verschattung, Schliesssystem, Bus,...	0,1	0,2	0,3	
Sonstiges (Parkplatzschranken, Parkautomat,...)	0,1	0,2	0,3	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>2,1</b>	
<b>3 Beleuchtung</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Beleuchtung Klassentrakt	1,9	6,3	12	
Standby bei Beleuchtung Klassentrakt (nur bei Bussystemen)	0,7	2	3	normal Gegenläufig zur Beleuchtung bzw. 0
Notbeleuchtung	0,3	1	2,5	
Außenbeleuchtung	0,03	0,3	1	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	<b>2,93</b>	<b>9,6</b>	<b>15,5</b>	
<b>4 EDV, Multimedia, Kopierer</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Tafelssysteme bzw. Beamer	0	1,2	2,4	Abhängig von Ausstattung (0%, 50%, 100%)
Computer für Schüler, Lehrer, Direktion, HM	0,4	1,5	3	
Server	0,35	0,5	0,7	
Kühlung Server	0	0,2	0,35	
Kopierer, Fax, EDV-Netzwerk, Sat, Antennenverstärker	0,05	0,1	0,15	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	<b>2</b>	<b>3,3</b>	<b>6,6</b>	
<b>5 Werken, Kochen,... (ohne Beleuchtung)</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Schulküche für Schüler	0,2	0,4	0,6	inkl. Dunstabzug bzw. Lüftung
Werkräume (Holz, Metall, Textiles Werken,...)	0,01	0,05	0,1	meist zu vernachlässigen
Brennofen Keramik	0,05	0,1	0,15	sehr individuell von Nutzung
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	<b>0,26</b>	<b>0,55</b>	<b>0,85</b>	
<b>6 Sonstiges Schulbetrieb</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Teeküche für Direktion, Lehrer und Verwaltung	0,3	0,5	0,7	ohne Beleuchtung, ohne Computer, ohne Kopierer, ...
Hausmeisterbereich (inkl. Jausenverkauf, Getränkeautomaten)	0,15	0,5	1	
Reinigung (ohne benötigtes WW)	0,3	0,5	1	
<b>Gesamt (individuell zusammenzählen)</b>	<b>0,75</b>	<b>1,5</b>	<b>2,7</b>	
<b>7 Sonstiges Zusatzbetrieb</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Mittagstisch				sehr individuell
<b>8 Gesamt Klassentrakt</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup> BGF</b>	<b>Anmerkungen:</b>
Gesamter Klassentrakt	<b>7,9</b>	<b>19,1</b>	<b>36,6</b>	jeweils inkl. Klassenzimmerlüftung

## 8 Empfehlungen für das Land Tirol

Ein geringer Stromverbrauch in Schulen ist ein nicht zu unterschätzender Beitrag zu den Zielen von „TIROL 2050 energieautonom“. Rechnet man das durchschnittliche Stromsparerpotenzial pro SchülerIn von ca. 150 kWh mit den Schülerzahlen der Pflichtschulen aus dem Schuljahr 2015/2016 hoch, ergeben sich bei insgesamt 50 % Stromersparnis (bis 2050) folgende Zahlenwerte:

- |                      |        |           |
|----------------------|--------|-----------|
| • Volksschulen       | 28.258 | 3,4 MWh/a |
| • Neue Mittelschulen | 20.498 | 3,0 MWh/a |

Sonderschulen und polytechnische Schulen wurden in diesem Projekt nicht untersucht, die Verhältnisse dürften aber ähnlich sein, da deren Stromverbräuche auf Tarifebene in der gleichen Größenordnung wie bei Volks- und Neuen Mittelschulen liegen.

- |                          |       |            |
|--------------------------|-------|------------|
| • Sonderschulen          | 1.104 | 0,16 MWh/a |
| • Polytechnische Schulen | 1.648 | 0,25 MWh/a |

Insgesamt ergibt dies ein Einsparpotenzial von ca. 6,8 MWh, was dem Stromverbrauch von ca. 2.000 Haushalten mit 3.500 kWh/a entspricht.

Um dem Stromsparen in den landes- bzw. gemeindeeigenen Schulen einen höheren Stellenwert zuzumessen bzw. konkrete Einsparmaßnahmen auszulösen und den Beitrag der Schulen für die Ziele von „TIROL 2050 energieautonom“ im Strombereich zu erreichen, werden daher folgende Maßnahmen vorgeschlagen.

- Vertiefung des e5 Benchmarktools und Zugänglichkeit für alle Gemeinden
- Aktion Subzähler für Tiroler Schulen
- Aktion Lastganganalyse für Schulen (gemeinsam mit Energieversorgern)
- Best Practice „Stromeffizienz in Schulen“
- Vorgaben für Neubau und Sanierung bei einer finanzieller Unterstützung durch das Land Tirol (z.B. Bedarfszuweisung)

Die Betreuer der Volks- und Neuen Mittelschulen und auch die Gemeinden verfügen derzeit meist nicht über die Möglichkeit, die Stromeffizienz zu beurteilen und die Einsparpotenziale ihrer Gebäude abzuschätzen. Die Möglichkeit eines Benchmarks besteht derzeit nur für e5-Gemeinden, wobei jenes Benchmark derzeit nur auf Ebene der Tarifzähler, ohne besondere Berücksichtigung der Ausstattung möglich ist. Es wird daher empfohlen, das e5-Benchmark um die Berücksichtigung des Ausstattungsgrades zu vertiefen und über eine Online-Plattform allen Schulen in Tirol (bzw. auch über das Bundesland hinaus) bereit zu stellen. Damit könnte auch der in diesem Projekt entwickelte Benchmarkbaukasten validiert werden.

Das vorliegende Projekt zeigt, dass konkrete Einsparpotenziale nur bei konkreten Verbrauchsdaten für einzelne Verbrauchergruppen (z.B. Heizung mit Wärmeverteilung) abgeschätzt werden können. Die Schulen sollten daher dabei unterstützt werden Subzähler einzubauen, bzw. ihren Stromverbrauch vertieft zu erfassen. Dies könnte entweder durch den Einbau fixer Zähler, oder durch die Unterstützung einer temporären Messung einzelner Großverbraucher bzw. Verbrauchergruppen mit mobilen Datenloggern (ähnlich wie in diesem Projekt verwendet) erfolgen.

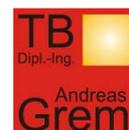
Im jetzigen Projekt wurden grundsätzliche Einsparmöglichkeiten bzw. Einsparpotenziale aufgezeigt. Um konkrete Beispiele für gelungene Stromsparmaßnahmen zu erhalten, sollte Schulen in einem Folgeprojekt angeboten werden Stromsparprojekte bzw. Stromsparmaßnahmen konkret zu begleiten. D.h., der Stromverbrauch für konkrete Bereiche wird vor der Maßnahme analysiert, die Stromsparmaßnahme begleitet und anschließend werden die

Verbrauchsreduktion bzw. die finanziellen Einsparungen bewertet. Mit diesen dokumentierten Best Practice Beispielen „Stromeffizienz in Schulen“ (z.B. Beleuchtungstausch, Notlichtanlage, Pumpentausch, Optimierung Lüftung etc.) könnten dann andere Gemeinden und Schulen animiert werden, ähnliche Projekte durchzuführen. Durch die Beispielwirkung bzw. den Wegfall der Unsicherheit, ob die einzelnen Maßnahmen auch den gewünschten Spareffekt bringen, ist mit einer erhöhten Durchführungsrate durch die Schulen bzw. Gemeinden zu rechnen.

Bei Schulen, die mit einer finanziellen Unterstützung durch das Land Tirol errichtet oder saniert werden, sollten sowohl auf der Wärme-, als auch auf der Stromseite konkrete Vorgaben gemacht werden. Bei der Wärmeseite bietet sich an, dass die Gebäude den klimaaktiv Kriterien für Bildungsgebäude (Gold, Silber oder Bronze) entsprechen müssen bzw. könnte die Förderhöhe von der Zielerreichung (Gold, Silber oder Bronze) abhängig gemacht werden. Auf der Stromseite soll die Beachtung des „Leitfadens zur Stromeffizienz in Schulen“ eingefordert werden.

### Das Projektteam:

- Energie Tirol
- DI Andreas Greml – TB Andreas Greml



## 9 Abkürzungsverzeichnis

BGF	Beheizte Bruttogrundfläche
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxyd
DV	Druckverlust
GLT	Gebäudeleittechnik
HO	High Output (bei Leuchtstoffröhren)
HE	High Efficiency (bei Leuchtstoffröhren)
ISO	International Standard Organisation
Lm	Lumen
NMS	Neue Mittelschule
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ppm	part per million
SFP	Spezifischer Strombedarf des Ventilators (Specific Fan Power)
TVOC	Gesamt VOC (Total Volatile Organic Compounds)
VOC	Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe
VS	Volksschule
WW	Warmwasser

## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Datenübertragungsbox und Klappwandler (Quelle: LineMetrics) .....	17
Abbildung 1.2: Datenübertragungsbox und Klappwandler in einem gut zugänglichen Unterverteiler in einem absperrbaren Raum.....	18
Abbildung 1.3: Konfiguration der Eingänge (Quelle: Onlineplattform LineMetrics).....	18
Abbildung 1.4: Konfiguration der Eingänge (Quelle: Onlineplattform LineMetrics).....	19
Abbildung 1.5: Konfiguration der Eingänge (Quelle: Onlineplattform LineMetrics).....	19
Abbildung 1.6: Definition der Anzeigewerte (Quelle: Onlineplattform LineMetrics) .....	20
Abbildung 1.7: Definition der Auswertungen (Quelle: Onlineplattform LineMetrics) .....	20
Abbildung 1.8: Hardwareübersicht (Quelle: Onlineplattform LineMetrics) .....	21
Abbildung 1.9: Sammlungsübersicht (Quelle: Onlineplattform LineMetrics).....	21
Abbildung 1.10: Übersicht der Datenströme in einer Sammlung (Quelle: Onlineplattform LineMetrics) .....	22
Abbildung 1.11: Einzelner Datenstrom (Quelle: Onlineplattform LineMetrics).....	22
Abbildung 1.12: Aufzeichnungssystem von List Engineering.....	23
Abbildung 1.13: Wandlermessung mit Bildstromerfassung (Quelle: Fa. netconnect).....	24
Abbildung 1.14: geeichter 1 bzw. 3 Phasenzähler jeweils mit Impulsausgang (Quelle: Eltako).....	24
Abbildung 1.15: Steckermessgerät (Quelle: Conrad Electronic).....	25
Abbildung 2.1: Spannung und Strom phasengleich (Quelle: www.janitza.de).....	26
Abbildung 2.2: Spannung und Strom nicht phasengleich (Quelle: www.janitza.de) .....	27
Abbildung 2.3: Blindleistung (Quelle: www.janitza.de).....	27
Abbildung 2.4: Scheinleistung (Quelle: www.janitza.de).....	27
Abbildung 5.6: Darstellung aus Datenblatt DIN-Sicherheitstechnik: Notlicht Drei-Phasenüberwachungsrelais, Stand 03/2015.....	28
Abbildung 3.1: Eingabemaske Benchmark Schulen (PV-Schule) <a href="http://www.pv-schule.at/strom-sparen/schul-check/">http://www.pv-schule.at/strom-sparen/schul-check/</a> .....	29
Abbildung 3.2: Einordnung Stromverbrauch von Schulen.....	30
Abbildung 3.3: Auszug Stromkennzahlen OÖ.....	30
Abbildung 3.4: Benchmark Schulen mit Sporthalle (Quelle: ESV e5).....	31
Abbildung 3.5: Benchmark Schulen ohne Sporthalle (Quelle: ESV e5).....	31
Abbildung 3.6: Benchmark Sporthallen (Quelle: ESV e5).....	32
Abbildung 3.7: Benchmark Volksschulen und Gebäudegröße (Datenquelle: Stadt Salzburg) .....	33
Abbildung 3.8: Benchmark Neue Mittelschulen und Gebäudegröße (Datenquelle: Stadt Salzburg)....	33
Abbildung 3.9: Strom Benchmark (Quelle: Der Facility Manager) .....	34
Abbildung 3.10: Strom Benchmark (Quelle: Fraunhofer Institut Stuttgart).....	34
Abbildung 3.11: Strom Benchmark Schulen (Quelle: Umweltschulen) .....	35
Abbildung 3.12: Strom Benchmark Schulen (Quelle: Hansestadt Hamburg) .....	36
Abbildung 3.13: Klasseneinteilung Strom (Quelle: Deutscher Städtebund – Arbeitskreis Energiemanagement Ausgabe 2.2. 2016) – Achtung Einordnung nach Nettogrundfläche .....	37
Abbildung 3.14: Benchmarkfragebogen Schulen.....	39
Abbildung 3.15: spezifischer Stromverbrauch pro SchülerIn .....	40
Abbildung 3.16: spezifischer Stromverbrauch pro m <sup>2</sup> BGF.....	41

Abbildung 3.17: Erhobener RV4000 (Quelle: Endbericht Smart City Salzburg – Stromeffizienz bei öffentlichen Gebäuden) .....	42
Abbildung 3.18: Veranschaulichung der Definition des Grundlastbereiches bzw. RV 4000 (Quelle: Endbericht Smart City Salzburg – Stromeffizienz bei öffentlichen Gebäuden).....	43
Abbildung 3.19: Erhobener spez. Grundlast (Quelle: Endbericht Smart City Salzburg – Stromeffizienz bei öffentlichen Gebäuden) .....	43
Abbildung 3.20: Infobroschüre “Strom sparen in der Schule“ .....	47
Abbildung 4.1: Fragebogen zur Ausstattung der Schulen für den Benchmarkbaukasten .....	49
Abbildung 5.1: Monatsverlauf mit Verbräuchen die im Juli/August fast gleich hoch sind wie im April. ....	68
Abbildung 5.2: Monatsverlauf nur gering niedrigeren Verbräuchen in den Ferienmonaten Juli und August.....	70
Abbildung 5.3: Monatsverlauf mit deutlichen geringeren Verbräuchen in Ferienmonaten Juli und August.....	71
Abbildung 5.4: Beispiel für Gasheizung mit gemischter Pumpenstruktur .....	111
Abbildung 5.5: Kaskadenprinzip in Schulen bzw. Kindergärten (Quelle: basierend auf Heinrich Huber, Minergie CH) .....	136
Abbildung 5.6: Kaskadenprinzip Beispiel Luftmengeneinsparung .....	137
Abbildung 5.7: Auszug aus dem Bericht „BIGMODERN Subprojekt 5: Machbarkeitsanalysen innovativer technischer Lösungen“.....	138
Abbildung 5.8 Konstante Druckregelung (Quelle: Belimo).....	139
Abbildung 5.9 Druckverlusteinsparung bei Konstant- bzw. variabler Druckregelung .....	139
Abbildung 5.10 Variable Druckregelung (Quelle: Belimo).....	140
Abbildung 5.6: Temperaturverlauf Quelle: www.meteoblue.com (Abgerufen für den Schulstandort am 21. März 2018) .....	146
Abbildung 5.6: LENI Berechnung Quelle: Ing. David Canaval Diplomarbeit Differenzierte Betrachtung .....	156
Abbildung 5.6: Beleuchtungssysteme mit KNX/DALI (Quelle: siemens.de/gamma) .....	164
Abbildung 5.6: Standby-Abschaltung bei BUS-Systemen (Quelle: siemens.de/gamma) .....	164
Abbildung 5.6: Notbeleuchtung Darstellung aus Ris H. R.: Beleuchtungstechnik für Praktiker, 5. Auflage, Berlin,2015, S. 361.....	165

## 12 Angesprochene Normen und Richtlinien

BMLFUW: „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung), aktuelle Ausgabe  
[www.umwelt.lebensministerium.at/article/archieve](http://www.umwelt.lebensministerium.at/article/archieve) (2006)

ÖISS: Schulbaurichtlinie (Sammelmappe) [http://www.oeiss.org/shared/detail.php?p\\_id=17](http://www.oeiss.org/shared/detail.php?p_id=17)

ÖNORM B 5019: 2017 02 15 Hygienerrelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen  
[https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/594838/OENORM\\_B\\_5019\\_2017\\_02\\_15](https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/594838/OENORM_B_5019_2017_02_15)

Qualitätskriterien Klassenzimmerlüftung: [www.komfortlüftung.at](http://www.komfortlüftung.at)

### Das Projektteam:

- Energie Tirol
- DI Andreas Greml –TB Andreas Greml

### Projekthomepage:

- [www.komfortlüftung.at](http://www.komfortlüftung.at) bzw. [www.komfortlueftung.at](http://www.komfortlueftung.at)

