

Projekt ‹SensoLight›
Messbericht Schulhaus ‹Sennweid, Baar›



Stefan Gasser, 1. Juni 2023
sg@elicht.ch, gasser@slg.ch

Inhalt

1	Einleitung und Zusammenfassung	3
2	Grundlagen	4
2.1	Objektbeschreibung	4
2.2	Grundrisspläne und Messbereiche.....	5
3	Installierte Beleuchtung.....	6
3.1	Alter Zustand	6
3.2	Neuer Zustand.....	7
4	Messkonzept.....	8
4.1	Eingesetzte Messgeräte	8
4.2	Umfang der Messung	8
5	Messungen.....	9
5.1	Tägliche Energieverbräuche (15.6. bis 15.9.2022).....	9
5.2	Ausgewählte Tagesgänge der alten und neuen Beleuchtung im Parallelbetrieb	10
5.3	Messwerte über alle Messperioden (32 Schultage mit übereinstimmender Belegung).....	12
5.4	Typischer Tagesgang an Tagen mit übereinstimmender Belegung.....	13
5.5	Hochrechnung des Energieverbrauchs Beleuchtung auf das ganze Jahr	13
6	Energiebilanz nach SIA 387/4	14

1 Einleitung und Zusammenfassung

Basierend auf der «Lichtvereinbarung von Davos» im September 2018 hat die SLG zusammen mit zahlreichen Partnern das Umsetzungsprogramm «energylight» lanciert. Im Rahmen von «energylight» werden Projekte realisiert, die einen Beitrag zur Ausschöpfung des grossen Energiesparpotentials bei der Beleuchtung (3.5 TWh/a) leisten (siehe www.energylight.ch).

Das Schulhaus «Sennweid, Baar» ist eine von 6 Fallstudien im Rahmen des energylight-Projektes «SensoLight». Ziel ist es, das effektive Energiesparpotential von intelligenten Beleuchtungsanlagen gegenüber konventionellen Beleuchtungen mit Standard-Sensorik aufzuzeigen und dies messtechnisch zu belegen.

Im Projekt «SensoLight» sollen Fallstudien aus verschiedenen Anwendungen, welche für intelligente Beleuchtungen von besonderem Interesse sind, durchgeführt werden. Dazu gehören Parkgaragen, Verkehrsflächen in Wohnhäusern und Pflegeeinrichtungen, Schulzimmern, Industriehallen. Die Resultate der Fallstudien werden in einem Bericht und Leitfaden für Planende zusammengefasst und als Grundlage für Infoveranstaltungen und Schulungen verwendet. Partner des Projektes «SensoLight» ist die Vereinigung der Sensor-Hersteller (www.sensnorm.ch). Die Mitarbeiter der Hersteller von Sensnorm evaluierten die sinnvollen Fallstudien für das Projekt und ermöglichten die praktische Durchführung der Messungen vor Ort. Das Industrieprojekt hat die Firma Zumtobel beigesteuert.

Das 3-stöckige Oberstufenschulhaus in Baar hat eine Grundfläche von rund 2000 m² und bietet Platz für ca. 350 Schülerinnen und Schüler. Das im Jahre 2002 vom Architekturbüro Müller + Staub erbaute Haus hat für seine spezielle Fassade einen Designpreis erhalten. Das Gebäude steht in einer lockeren Überbauung mit weiteren Schulhäusern und hat gegen Osten einen weitgehend freien Blick, so dass viel Tageslicht genutzt werden kann. Seit dem Jahr 2021 wird die bisherige Beleuchtung in den Klassenzimmern schrittweise auf LED-Leuchten mit intelligenter Lichtsteuerung umgerüstet.

Die durchgeführten Messungen beziehen sich auf zwei Klassenzimmer mit alter und zwei Klassenzimmer mit neuer Beleuchtung. Aufgrund des starken Einflusses des Tageslichtes und der variablen Nutzung der einzelnen Zimmer mussten für eine genaue Aussage zu den Energieeinsparungen sehr umfassende Messungen gemacht werden. Insgesamt wurden an 137 Tagen Lastgang- und Energiemessungen durchgeführt; d.h. es wurden rund 200'000 Messwerte im 1-minuten-Takt erfasst und ausgewertet.

Die Bilanz zeigt eine Energieeinsparung von 58% von alter zu neuer Beleuchtung, wobei 2/3 der Einsparung auf das Konto der neuen, intelligenten Lichtsteuerung geht. Die neue Beleuchtung erreicht den SIA-Zielwert. Bereits die alte Beleuchtung aus dem Jahre 2002 war für damalige Ansprüche gut und erreichte die Anforderungen von Minergie. Auf diesem Hintergrund ist 58%-ige Energieeinsparung in den Schulzimmern der Fallstudie «Sennweid, Baar» eine sehr gute Quote. Gegenüber dem SIA-Referenzwert liegt die Einsparung bei 78%.

Die Energieeinsparung inkludiert auch, dass die mittlere Beleuchtungsstärke um 20% auf 600 Lux angehoben und die Gleichmässigkeit verbessert wurde, so dass in den neuen Schulzimmern überall eine gute Beleuchtungsstärke erreicht wird.

2 Grundlagen

2.1 Objektbeschreibung

Adresse	Deinikerstrasse 9, 6340 Baar
Gebäudekategorie	Schulhaus
Beschreibung	Oberstufenschulhaus, 3-stöckig, unterkellert 7 Real- und 8 Sekundar-Schulklassen
Beleuchtete Fläche	Ca. 8'000 m ²
Baujahr	2002, Erneuerung der Beleuchtung 2021 bis 2023
Energiestandard	keiner
Bauherrschaft	Einwohnergemeinde Baar, 6340 Baar www.schulen-baar.ch/schulhaeuser/863
Architektur	Archetage, Lättichstrasse 8, 6340 Baar (ehem. Müller + Staub) www.archetage.ch/projekte/oberstufenschule-sennweid-baar
Neue Beleuchtung der Schulzimmer	nevalux AG, Uster (Planung, Inbetriebnahme und Optimierung)
Messungen Beleuchtung	Matthias Käser, nevalux AG, Uster Stefan Gasser, eLight GmbH, Zürich (im Auftrag der SLG)



Abbildung 1: Oberstufenschulhaus Sennweid (rote Fläche)

2.2 Grundrisspläne und Messbereiche

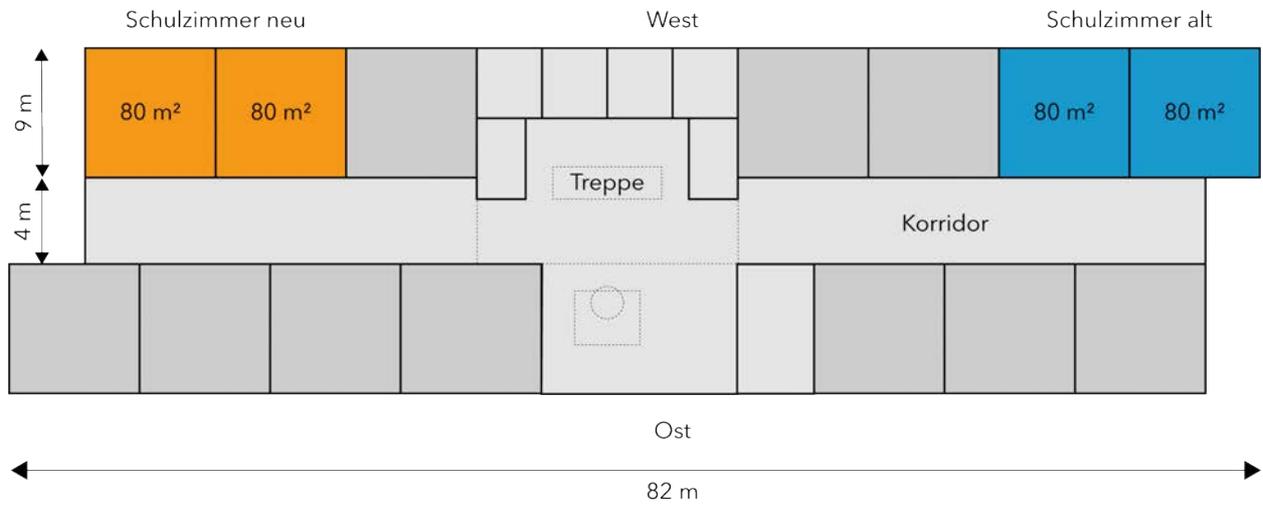


Abbildung 2: Grundriss Schulhaus 2. Obergeschoss (orange: neue Beleuchtung, blau: alte Beleuchtung)

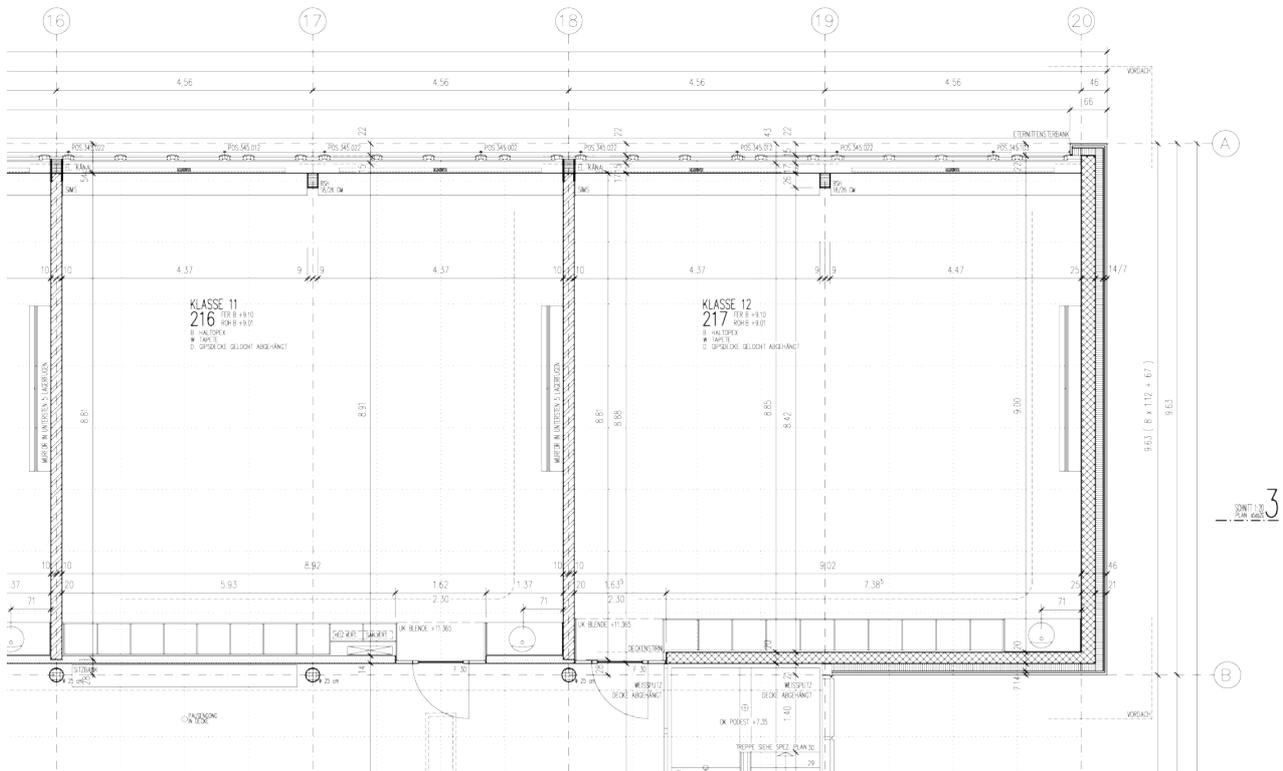


Abbildung 3: Grundriss Schulzimmer

3 Installierte Beleuchtung

3.1 Alter Zustand

Die alte Beleuchtung in den Schulzimmern ist mit 9 direktstrahlenden Pendelleuchten (Typ Ribag Spina 80 Watt T5 mit Parabolspiegel Reflektor) bestückt. Die Steuerung erfolgt durch Präsenzmelder und Tageslichtregelung (Luxmate). Zusätzlich sind zwei Leuchten (24 Watt) zur Wandtafelbeleuchtung installiert.



Abbildung 4: Ansicht Schulzimmer mit alter Beleuchtung

Installation

Fläche pro Schulzimmer	79.8 m ²		
Grundbeleuchtung	9 Leuchten à	80 W	720 W
Betriebsgeräte	8 Geräte à	8 W	72 W
Wandtafel	2 Leuchten à	24 W	48 W
Betriebsgeräte	8 Geräte à	4 W	8 W
Standby total (gemessen)			9 W
Installierte Leistung			857 W
Spez. Betriebsleistung			10.7 W/m ²
Beleuchtungsstärke	Minimal		240 Lux
	Maximal		630 Lux
	Mittelwert		490 Lux
spezifische Beleuchtungsstärke			2.2 W/m ² 100lx

Tabelle 1: Installation und gemessene Beleuchtungsstärken im alten Zustand

3.2 Neuer Zustand

Die neue Beleuchtung in den Schulzimmern ist mit 6 direkt-indirekt strahlenden Pendelleuchten (Typ Nevalux Elani) bestückt. Die intelligente Lichtregelung ist in jeder Leuchte integriert, inkl. CO2 Sensor zur Messung der Luftqualität. Zusätzlich sind zwei Leuchten (38 Watt) zur Wandtafelbeleuchtung installiert.



Abbildung 5: Ansicht Schulzimmer mit neuer Beleuchtung

Installation

Fläche pro Schulzimmer	79.8 m ²		
Grundbeleuchtung	6 Leuchten à	97 W	582 W
Betriebsgeräte	inklusive		
Wandtafel	2 Leuchten à	38 W	76 W
Betriebsgeräte	inklusive		
Standby total gemessen			8 W
Installierte Leistung			666 W
Maximale Betriebsleistung	geregelt		294 W
Spez. Betriebsleistung			3.7 W/m ²
Beleuchtungsstärke	Minimal		480 Lux
	Maximal		760 Lux
	Mittelwert		590 Lux
spezifische Beleuchtungsstärke			1.0 W/m ² 100lx

Tabelle 2: Installation und gemessene Beleuchtungsstärken im neuen Zustand

4 Messkonzept

4.1 Eingesetzte Messgeräte

In der Elektroverteilung wurde je für die alte und die neue Beleuchtung mobile Leistungs- und Energiemessgeräte mit integriertem Datenlogger installiert. Die 2 x 2 Elektroabgänge der Beleuchtung (2 Zimmer mit alter Beleuchtung und 2 Zimmer mit neue Beleuchtung) wurden separat erfasst. Das Abtastintervall des Messgerätes ist einstellbar; gewählt wurde 1 Minute.

- Leistungs- und Energiemessgerät
- Fabrikat: Optec ECS M3PRO 80 MID
- Wirkenergie Genauigkeitsklasse B (+/- 1%)
- MID-Konformitätskennzeichen
- Messabgänge: 3 (je 2 verwendet)
- Messintervall: wählbar 0.5 bis 60 Minuten
- Datenspeicher: CD-Card Datalogger



Parallel zur Lastgang-Aufzeichnung wurden Beleuchtungsstärke-Sensoren installiert um die Ein- und Ausschaltungen der Leuchten festzustellen. In diesem Projekt dienten diese Logger der Firma Hobo lediglich zu Zwecken der Redundanz.

- Datenlogger für Beleuchtungsstärke
- Fabrikat: Hobo Onset UA-002-64
- Messbereich 0 bis 320'000 Lux
- Genauigkeit: nur relative Messungen
- Messintervall: wählbar ab 1 Sekunde
- Datenspeicher intern: 40 Tage mit 1 Min Intervall
- Stromversorgung: interne Batterie CR2032



4.2 Umfang der Messung

Es wurden Lastgang-Messungen in 3 Perioden durchgeführt. Messintervall: 1 Minute

- Alte Beleuchtung: 24. April bis 19. Mai 2021 (Schulzimmer 218 und 219)
- Neue Beleuchtung: 12. Oktober bis 2. November 2021 (Schulzimmer 218 und 219)
- Alte (204 + 206) und neue Beleuchtung (218 + 219) parallel: 15.6. bis 15.9.2022

Total knapp 200'000 erfasste Messwerte

Eine Wintermessung der alten Beleuchtung wurde nicht durchgeführt; die Energieverbrauchs-werte der alten Beleuchtung wurden aus den übrigen Messungen extrapoliert.

5 Messungen

5.1 Tägliche Energieverbräuche (15.6. bis 15.9.2022)

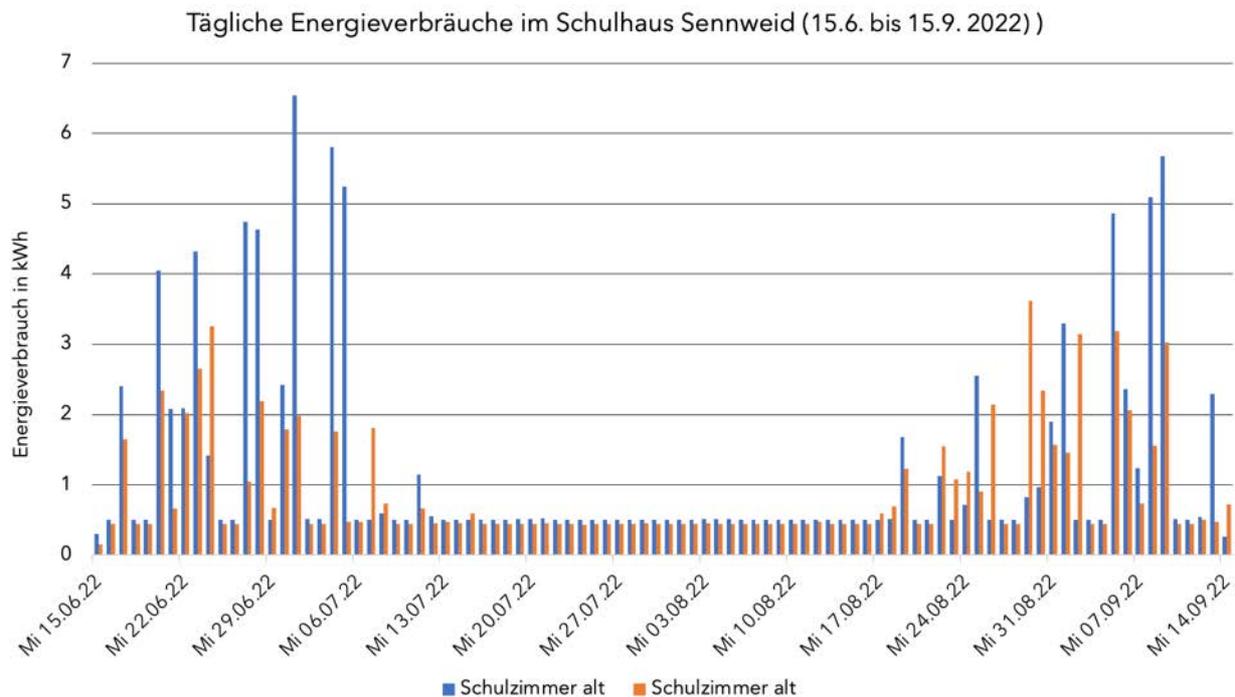


Abbildung 6: tägliche Energieverbräuche der alten und neuen Beleuchtung

Tage mit übereinstimmender Belegung in den zwei alten und den zwei neuen Schulzimmern

	alte Beleuchtung	neue Beleuchtung	Einsparung	Sonnenstunden
Mo 20.06.22	4.1 kWh	2.3 kWh	-42.1%	11.5
Di 21.06.22	2.1 kWh	0.7 kWh	-68.1%	11.7
Do 23.06.22	4.3 kWh	2.7 kWh	-38.4%	10.9
Mo 27.06.22	4.7 kWh	1.1 kWh	-77.8%	4.3
Di 28.06.22	4.6 kWh	2.2 kWh	-52.6%	5.9
Fr 01.07.22	6.5 kWh	2.0 kWh	-69.7%	7.7
Mo 04.07.22	5.8 kWh	1.8 kWh	-69.6%	8.5
Di 05.07.22	5.2 kWh	0.5 kWh	-90.9%	11.4
Do 25.08.22	2.6 kWh	0.9 kWh	-64.7%	13.5
Do 01.09.22	3.3 kWh	1.5 kWh	-55.8%	9.1
Mo 05.09.22	4.9 kWh	3.2 kWh	-34.5%	9.1
Do 08.09.22	5.1 kWh	1.6 kWh	-69.4%	6.4
Fr 09.09.22	5.7 kWh	3.0 kWh	-46.6%	7.6
Di 13.09.22	2.3 kWh	0.5 kWh	-79.4%	8.9
Gesamtergebnis	61.2 kWh	23.7 kWh	-61.4%	126.6

Tabelle 3: gemessene Energieverbräuche an Tagen mit übereinstimmender Nutzung sowie Sonnenstunden

Die Sonnenstunden haben keinen erkennbaren Einfluss auf die Energieeinsparung zwischen alter und neuer Beleuchtung.

5.2 Ausgewählte Tagesgänge der alten und neuen Beleuchtung im Parallelbetrieb

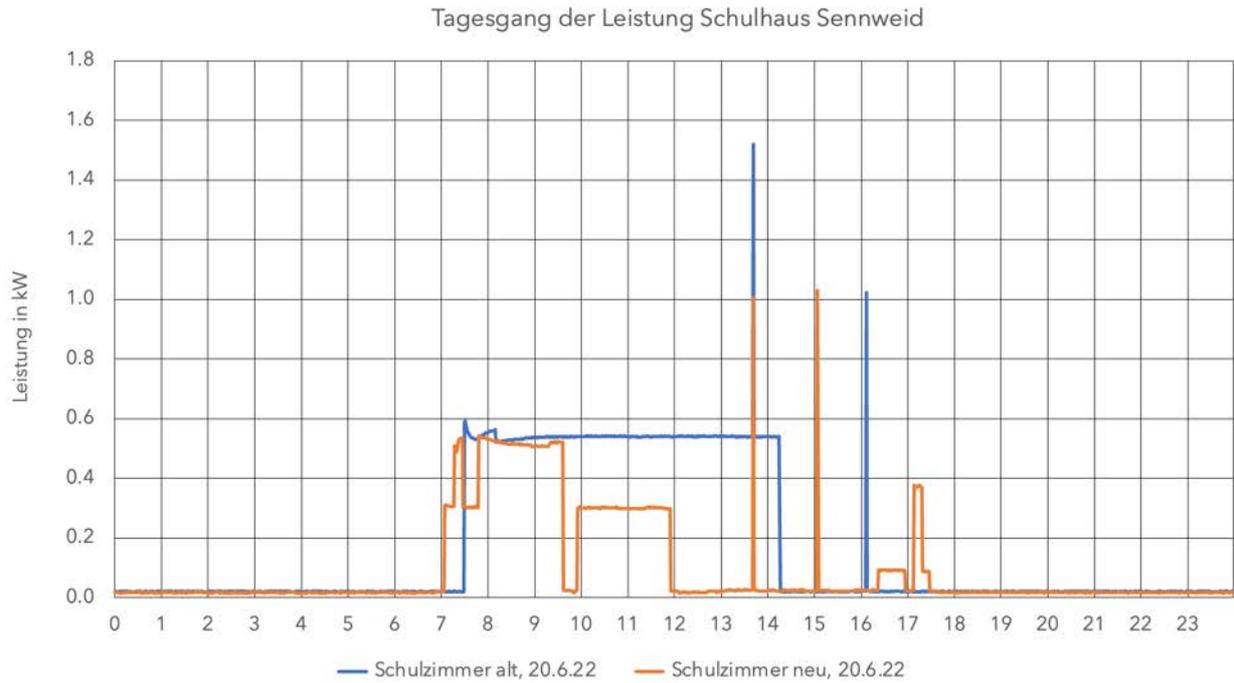


Abbildung 7: typischer Tagesgang der Leistung Juni 2022, je 2 Schulzimmer mit alter und neuer Beleuchtung

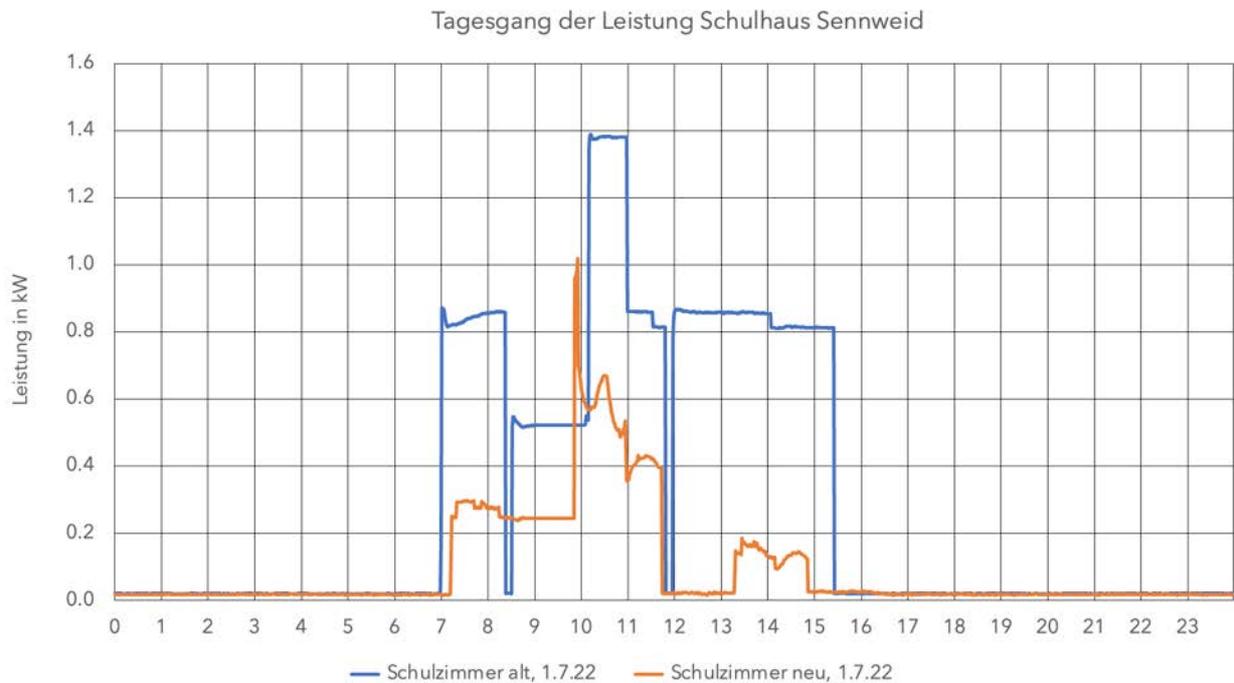


Abbildung 8: typischer Tagesgang der Leistung Juli 2022, je 2 Schulzimmer mit alter und neuer Beleuchtung

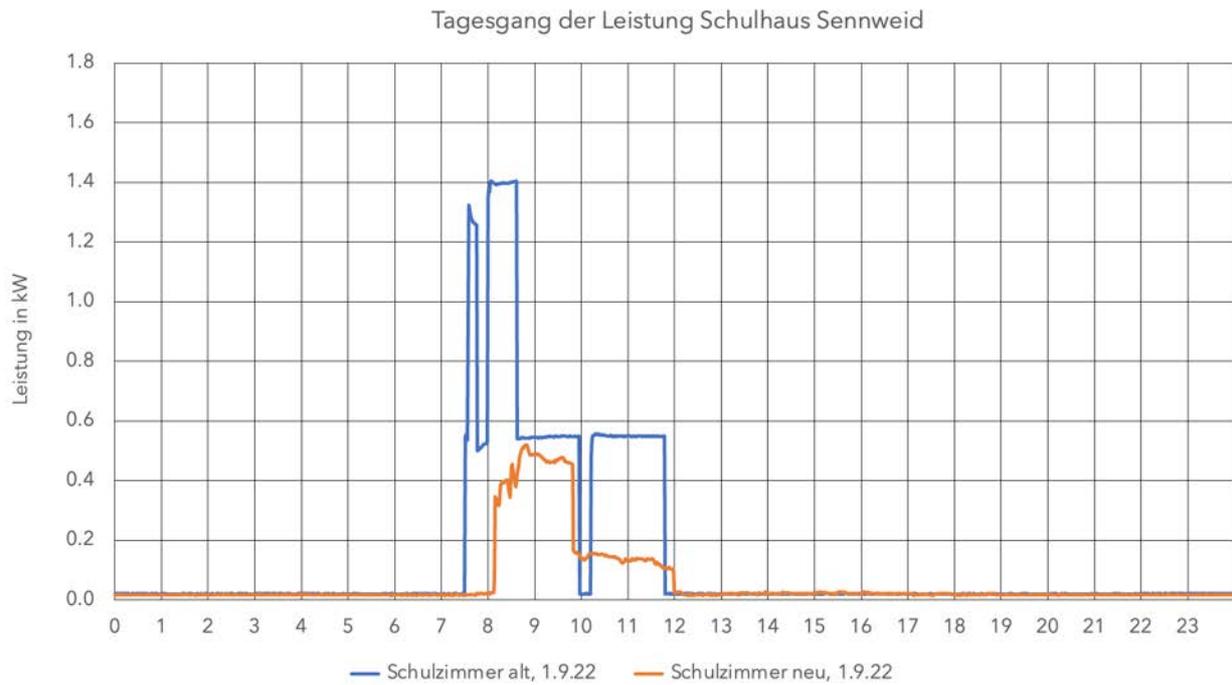


Abbildung 9: typischer Tagesgang der Leistung September 2022, je 2 Schulzimmer mit alter und neuer Beleuchtung

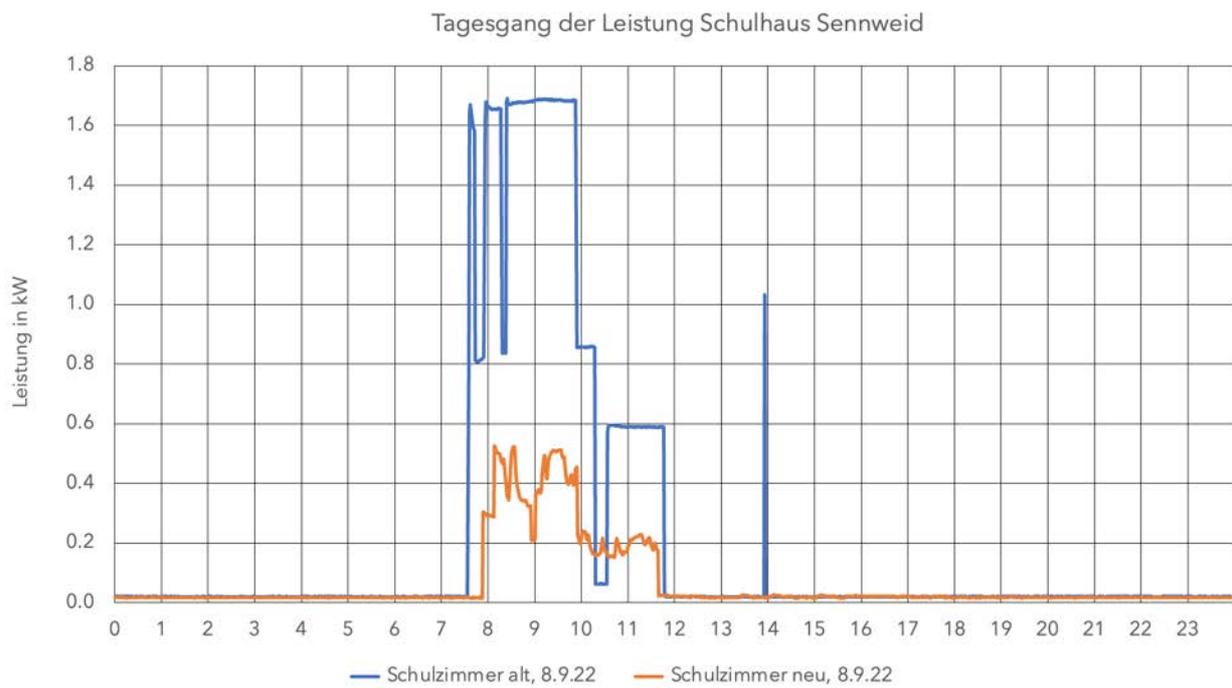


Abbildung 10: typischer Tagesgang der Leistung September 2022, je 2 Schulzimmer mit alter und neuer Beleuchtung

5.3 Messwerte über alle Messperioden (32 Schultage mit übereinstimmender Belegung)

	Schulzimmer alt	Schulzimmer neu	Einsparung
Mo 26.04.21	4.8 kWh	1.8 kWh	-61.4%
Mo 03.05.21	7.1 kWh	2.8 kWh	-61.4%
Mi 05.05.21	6.6 kWh	2.5 kWh	-61.4%
Do 06.05.21	6.1 kWh	2.3 kWh	-61.4%
Fr 07.05.21	6.4 kWh	2.5 kWh	-61.4%
Mo 10.05.21	4.2 kWh	1.6 kWh	-61.4%
Mi 12.05.21	7.3 kWh	2.8 kWh	-61.4%
Mo 17.05.21	8.1 kWh	3.1 kWh	-61.4%
Mi 19.05.21	6.0 kWh	2.3 kWh	-61.4%
Mo 20.06.22	4.1 kWh	2.3 kWh	-42.1%
Di 21.06.22	2.1 kWh	0.7 kWh	-68.1%
Do 23.06.22	4.3 kWh	2.7 kWh	-38.4%
Mo 27.06.22	4.7 kWh	1.1 kWh	-77.8%
Di 28.06.22	4.6 kWh	2.2 kWh	-52.6%
Fr 01.07.22	6.5 kWh	2.0 kWh	-69.7%
Mo 04.07.22	5.8 kWh	1.8 kWh	-69.6%
Di 05.07.22	5.2 kWh	0.5 kWh	-90.9%
Do 25.08.22	2.6 kWh	0.9 kWh	-64.7%
Do 01.09.22	3.3 kWh	1.5 kWh	-55.8%
Mo 05.09.22	4.9 kWh	3.2 kWh	-34.5%
Do 08.09.22	5.1 kWh	1.6 kWh	-69.4%
Fr 09.09.22	5.7 kWh	3.0 kWh	-46.6%
Di 13.09.22	2.3 kWh	0.5 kWh	-79.4%
Mo 18.10.21	6.6 kWh	2.6 kWh	-61.4%
Di 19.10.21	5.4 kWh	2.1 kWh	-61.4%
Mi 20.10.21	7.0 kWh	2.7 kWh	-61.4%
Do 21.10.21	8.8 kWh	3.4 kWh	-61.4%
Mo 25.10.21	6.6 kWh	2.6 kWh	-61.4%
Di 26.10.21	12.3 kWh	4.8 kWh	-61.4%
Mi 27.10.21	6.3 kWh	2.4 kWh	-61.4%
Do 28.10.21	9.4 kWh	3.6 kWh	-61.4%
Di 02.11.21	6.0 kWh	2.3 kWh	-61.4%
Gesamtergebnis	186.0 kWh	71.9 kWh	-61.4%

Farben	Hochrechnung	Messung	
--------	--------------	---------	--

Tabelle 4: gemessene Energieverbräuche an Tagen mit übereinstimmender Nutzung sowie Sonnenstunden

5.4 Typischer Tagesgang an Tagen mit übereinstimmender Belegung



Abbildung 11: typischer Tagesgang der Leistung an Tagen mit ganztägiger, übereinstimmender Belegung

5.5 Hochrechnung des Energieverbrauchs Beleuchtung auf das ganze Jahr

	Schulzimmer alt	Schulzimmer neu
Typischer Schultag im Sommer	4.4 kWh/d	1.7 kWh/d
Typischer Schultag im Winter	7.6 kWh/d	2.9 kWh/d
195 Schultage	1'166 kWh/a	451 kWh/a
170 Schulfreie Tage	73 kWh/a	65 kWh/a
Jährlicher Energieverbrauch	1'243 kWh/a	523 kWh/a
Beleuchtete Fläche	159.6 m ²	159.6 m ²
spez. Energieverbrauch	7.8 kWh/m ²	3.2 kWh/m ²
Energieeinsparung*		-58.4%

Tabelle 5: Hochrechnung Energieverbrauch und Einsparung auf das ganze Jahr

*) Die Energieeinsparung ist in Tabelle 5 etwas geringer als in Tabelle 4, da die Tage ohne Beleuchtung (aber mit Standby-Verbrauch) mit einberechnet werden.

6 Energiebilanz nach SIA 387/4

	Einheit	SIA Grenzwert	SIA Zielwert	Projektwert alt	Projektwert neu
Leistung	kW	1.8	1.1	0.86	0.67
	W/m ²	11.0	7.2	10.7	8.3
Volllaststunden	h/a	1'318	458	723	388
Energiebedarf	kWh/a	2'314	527	1'240	516
	kWh/m ²	14.5	3.3	7.8	3.2
Einsparung					-58.4%

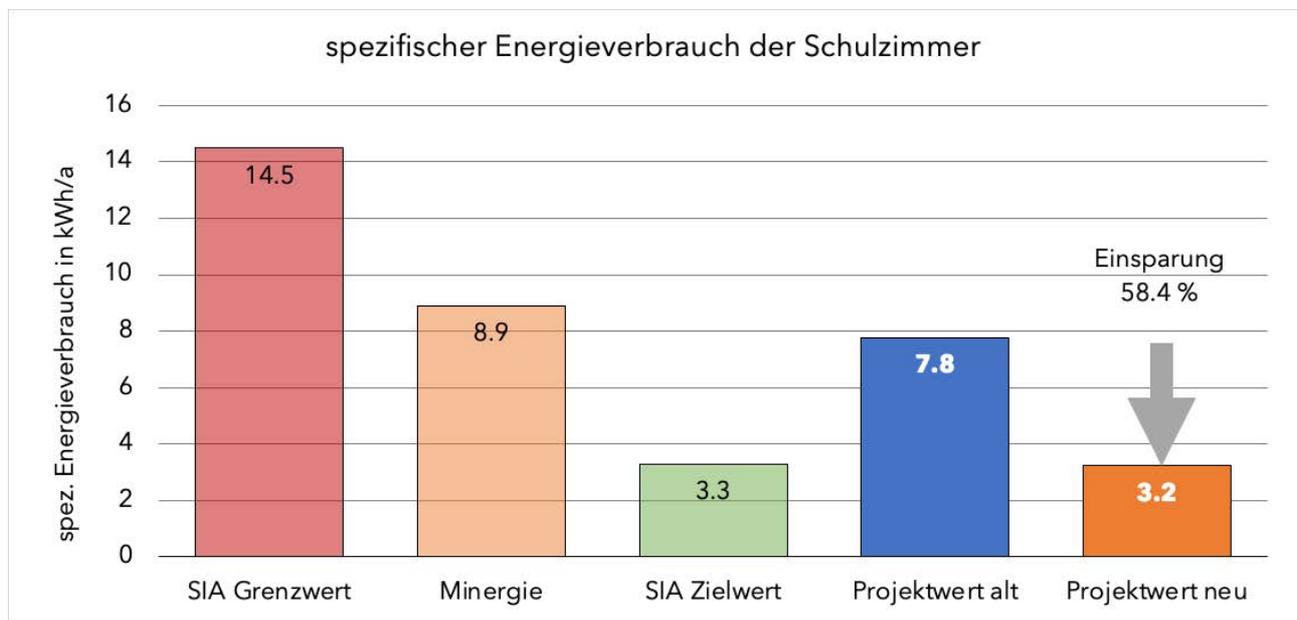


Abbildung 12: Vergleich Energieverbrauch der alten und neuen Beleuchtung mit SIA Grenz- und Zielwert, Minergie

Die neue Beleuchtung erfüllt den Zielwert der aktuellen SIA-Norm 387/4, elektrische Energie in Gebäuden für Beleuchtung. Bereits die alte Beleuchtung war entsprechend dem Stand von 2002 gut und erfüllt den Minergiestandard. Die Einsparung von alt zu neu beträgt rund 58 %, wobei 1/3 der Einsparung auf das Konto der Leistungsreduktion und 2/3 auf die Lichtregelung zurückzuführen ist.