



Stadt Chur

Hochbaudienste
Fachstelle Energie und Nachhaltigkeit

Hochbaudienste, Stadthaus, Masanserstrasse 2, Postfach 64, 7002 Chur

Schlussbericht Musterschulzimmer Giacometti





Gliederung dieses Schlussberichtes:

- 1. Ausgangslage**
- 2. Anforderungen an ein heutiges Schulzimmer**
- 3. Die umgesetzten baulichen Massnahmen**
 - 3.1 Glasersatz
 - 3.2 Oberflächen
 - 3.3 Lichtlenker, Sonnenstoren
 - 3.4 Speicherung und Akustik
 - 3.5 Luftqualität
 - 3.6 Kunstlicht
 - 3.7 Leitsystem und Datenerfassung
- 4. Kostenübersicht**
- 5. Komfortsteigerung**
 - 5.1 Luftqualität
 - 5.2 Akustik- / Temperaturschwankungen
 - 5.3 Tageslicht- / Kunstlichtnutzung
 - 5.4 Nutzerrückmeldungen
- 6. Betriebseinsparung**
 - 6.1 Wärmeeinsparung
 - 6.2 Stromeinsparung
- 7. Anforderungen an Schulhausbauten und –sanierungen**
 - 7.1 Luftqualität
 - 7.2 Akustik- / Temperaturschwankungen
 - 7.3 Tageslicht- / Kunstlichtnutzung
 - 7.4 Sonnenschutz
 - 7.5 Blendschutz
 - 7.6 Fenster
 - 7.7 Fassade
 - 7.8 Bestandesaufnahmen bei Sanierungen



1. Ausgangslage

Verschiedene Schulhäuser weisen im Bereich Schulzimmer einen Investitionsbedarf zur Instandsetzung/Werterhaltung auf (Insbesondere SH Rheinau (Bj.1971), SH Giacometti (Bj.1980); SH Barblan (Bj.1962/90), SH Montalin (Bj. 1963/96), SH Türligarten (Bj.1977/97).

Dies betrifft die Themen:

- Tageslicht
- Kunstlicht
- Akustik
- Luftqualität
- Fenster
- Sonnenschutz
- Komfort
- Behaglichkeit
- Oberflächenerneuerung
- Energieverbrauch.

Das Pilotprojekt Musterschulzimmer zeigt nun mit einem integralen Ansatz, dass trotz der Erfüllung von höheren Anforderungen massiv Energie gespart werden kann. Die erarbeitete Strategie nutzt in erster Linie die solaren Direktgewinne und Schülerwärmen optimal. Da in den nächsten 10 Jahren gegen 100 Schulzimmer saniert werden müssen, rechtfertigt sich dieser Testbetrieb.

Das Energiekonzept 2020 der Stadt Chur sieht vor, 25% vom Wärmeenergieverbrauch der städtischen Liegenschaften bis 2020 einzusparen. Das Ziel ist mit Haustechnikoptimierung alleine nicht erreichbar. Eine systematische Analyse verschiedener Liegenschaften hat ergeben, dass die effizientesten Investitionen, bei gleichzeitigem Werterhalt und Komfortsteigerung, in den Schulhäusern möglich sind.

2. Anforderungen an ein heutiges Schulzimmer

Die heutigen Anforderungen an ein gesundes und produktives Schulzimmerklima werden bei den meisten bestehenden Schulbetrieben teilweise bei weitem nicht erfüllt. Konzentration, Aufmerksamkeit und nicht zuletzt Freude am Unterricht können so erheblich gesteigert werden.

Bei der Betrachtung stehen 3 Themen im Fokus: Verbesserung bzw. Optimierung von Akustik, Beleuchtung und Raumluft.

Thema	heutige Situation	Ziel
Akustik	0.8 – 0.9 sec	0.6 sec
Beleuchtung	500 – 800 lux Sehr hoher Stromverbrauch	mind. 500 lux bei niedrigerem Stromverbrauch
Raumluft	über 1400 ppm bei Vollbelegung nach einer ½ std.	unter 1400 ppm bei Vollbelegung nach einer ½ std.



3. Die umgesetzten baulichen Massnahmen

3.1. Glasersatz

Im SH Giacometti ist die Gebäudehülle noch in einem sehr guten Zustand. Bei den Fenstern müssen nur die Gläser ausgetauscht werden, da sie am Ende der Nutzungszeit angelangt sind (einzelne blind). In die bestehenden Holzmetallrahmen wurden Dreifach-Solargläser der neusten Generation eingesetzt, die trotz sehr guter Wärmedämmung eine hohe Sonnenwärmenutzung ermöglichen (g-Werte bei 66%).

Kosten Glasersatz: 4'075.-

3.2 Oberflächen

Der alte Akustikputz wurde abgeschlagen, die Betondecke bekam einen Glattstrich und wie die Wände einen neuen weissen Anstrich.

Kosten Oberflächen: 11'766.-

3.3 Lichtlenker, Sonnenstoren

Um keine Blendung durch das eindringende Sonnenlicht zu erhalten, wird das Licht an die weiss gestrichene Decke umgeleitet. Die fünf stabilen, gebogenen, parallel aufgehängten Lamellen lassen sich einfach von Hand bewegen und dem Einstrahlungswinkel der Sonne anpassen. Ein Unterricht mit weniger Kunstlicht wird möglich. Zur Verdunklung können sie geschlossen werden. Im Sommer lässt sich mittels Umlenkung und nicht ganz nach oben platzierten neuen Sonnenschutzstoren ebenso mit höherem Tageslichtanteil unterrichten.

Kosten Lichtlenker: 9'488.-

Kosten Sonnenstoren: 6'068.-

3.4 Speicherung und Akustik

Da die zur Verfügung stehenden, speichernden Oberflächen im Schulzimmer zu klein sind, wurde sie in Form von schmalen, dicht aufgereihten Föhrenholzbalkchen massiv erhöht. Gleichzeitig verbessert sich die Raumakustik und das Feuchte- und Geruchsverhalten. Über den Fenstern wurden zusätzliche Akustikelemente montiert.

Kosten Speicherbalkchen: 7'683.-

Kosten Akustikpaneele: 3'469.-

3.5 Luftqualität

Mittlerweile ist auch bekannt, dass in Schulzimmern ohne viertelstündliche Stosslüftung viel zu hohe CO₂-Werte erreicht werden. Dies führt, wie eine schlechte Akustik, zu Konzentrationsproblemen etc.. Auch aus energetischer Sicht ist eine Komfortlüftung unumgänglich. Als willkommener Nebeneffekt, kann mit diesem Gerät, im Zusammenspiel mit der erhöhten Masse, im Sommer eine automatische Nachtauskühlung erfolgen.

Kosten Lüftungsgerät komplett: 11'233.- plus Gerät (Gerät wird zur Verfügung gestellt).



3.6 Kunstlicht

Eine neue, hocheffiziente LED-Beleuchtung mit Lichtregelung wurde zur Erprobung eingebaut.

Kosten Steuerung: 1'740.-

Kosten Leuchten: 4718.-

3.7 Leitsystem und Datenerfassung

Ein aufwändiges Messkonzept ermöglicht eine detaillierte Auswertung der Massnahmen. Je links und rechts vom Musterzimmer wird ein unsaniertes Schulzimmer mit erfasst. Es stehen folgende Informationen zur Verfügung:

Es werden Raumlufttemperatur auf 1m Höhe neben der Tafel, ebenso Luftfeuchtigkeit und CO₂-Gehalt gemessen. Ausserdem wird die über die Radiatoren abgegebene Wärme, der Lichtstromverbrauch und die Präsenz erfasst.

Das Zimmer rechts ist von der Lage her weitgehend vergleichbar, das Zimmer links hat eine zusätzliche schlecht gedämmte Seitenwand gegen Aussenklima und benötigt deshalb mehr Heizwärme.

Im Musterzimmer selber können weitere Daten angezeigt werden: Betriebszustand Lüftung, Status Storen, Lichtsteuerung.

Kosten Leitsystem, Datenerfassung und Elektroinstallation: 38'503.-

4. Kostenübersicht

Kostenübersicht Ist-Zustand Musterzimmer:

Material	Preis	Aufwand für zusätzliche Elektroinstallationen
Glasersatz	CHF 4'100.-	
Oberflächen	CHF 11'800.-	
Lichtlenker bzw. Blendschutz	CHF 9'500.-	
Sonnenstoren mit Steuerung	CHF 6'100.-	CHF 2'100.-
Speichelbalken	CHF 7'700.-	
Akustikpaneele	CHF 3'500.-	
Lüftungsgerät, dezentral	CHF 19'000.-	
Beleuchtung mit Lichtregelung	CHF 7'500.-	CHF 2'800.-
Total pro Zimmer	CHF 74'100.-	

Die Kostenübersicht gilt nur für Schulzimmer mit dem Fassadenanteil von Südost über Süden nach Südwest. Für Schulzimmer mit Fassadenanteil von Nordost über Norden nach Nordwest betragen die Kosten pro Zimmer **CHF 59'800.-**, da es keine Lichtlenker bzw. keinen Blendschutz braucht. Es braucht keine Steuerung sondern einfach motorisierte Sonnenstoren und demzufolge wird auch weniger Speichermasse benötigt, da die solaren Erträge hier eine geringe Rolle spielen.



In der folgenden Tabelle sind die Kosten berechnet mit den Einsparungen aus den Erkenntnissen aus 2 Jahren Messübersicht in Bezug auf Stromeinsparung, Tageslichtnutzung, Luftqualität und Einsparung Heizkosten ohne Einbussen von solaren Erträgen, der Luftqualität, der Behaglichkeit und der Ausrichtung der Beleuchtung. Eine weitere beträchtliche Kosteneinsparung ist, dass man den alten Akustikputz an der Decke nicht abbrechen muss.

Kostenübersicht für zukünftige Sanierung pro Zimmer im Schulhaus Giacometti:

Material	Preis	Aufwand für zusätzliche Elektroinstallationen
Glasersatz	CHF 4'100.-	
Oberflächen	CHF 4'700.-	
Blendschutz innen (vereinfachte Variante)	CHF 5'200.-	
Sonnenstoren mit Steuerung	CHF 6'100.-	
Akustikdecke mit Speichermasse	CHF 7'200.-	
Lüftungsgerät, semizentral	CHF 9'000.-	
Beleuchtung ohne Lichtregelung	CHF 4'800.-	
Total pro Zimmer	CHF 41'100.-	

Die Kostenübersicht gilt nur für Schulzimmer mit dem Fassadenanteil von Südost über Süden nach Südwest. Für Schulzimmer mit Fassadenanteil von Nordost über Norden nach Nordwest betragen die Kosten pro Zimmer CHF 33'800.-, da es keine Lichtlenker bzw. keinen Blendschutz braucht und es braucht auch keine Storensteuerung, weil die solaren Erträge hier eine geringe Rolle spielen.



5. Komfortsteigerung

5.1 Luftqualität



A 21, grün: Bestehendes Zimmer links A22, blau: Musterzimmer A23, rot: Bestehendes Zimmer rechts

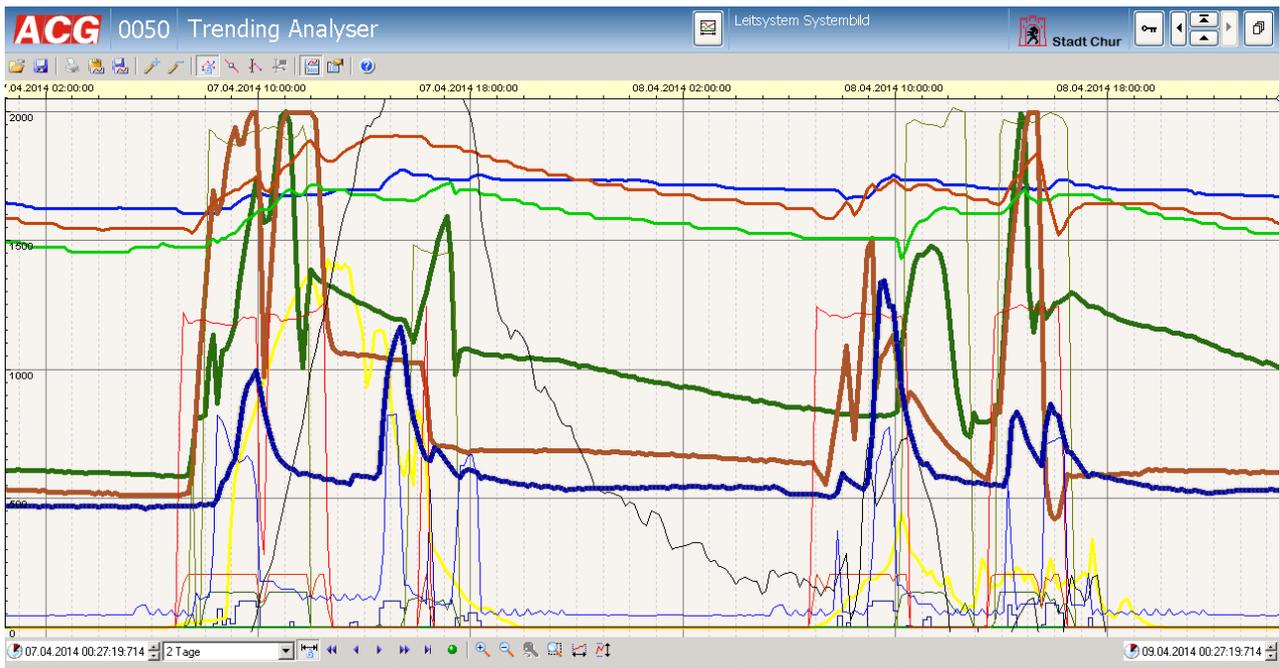
Hier ein typisches Bild für die Wintertage: Blau ist immer das Musterzimmer, rot das Zimmer rechts und grün ist das Zimmer links (mit zusätzlicher Aussenwand) des Musterzimmers. Die Bildskala zeigt den ppm-Wert des CO₂-Gehalts der Innenluft.

Am unteren Bildrand sieht man die Anwesenheitszeiten. Am Morgen sind alle Zimmer gut besetzt, am Nachmittag das Musterzimmer, die andern nur sporadisch.

Am Morgen sind alle Zimmer bei etwa 500 ppm CO₂. Nach einer halben Stunde Betriebszeit sind die Normalzimmer bereits über dem kritischen Wert von 1400 ppm. Die Werte steigen dann sehr schnell weiter bis über 2000 ppm (der Messbereich der Sensoren ist leider begrenzt), ein Wert der Symptome wie Konzentrationsprobleme und Müdigkeit erzeugt. Danach sieht man die Wirkung der Pausenlüftung. Die Radikallüftung im grünen Zimmer sorgt dann nur für die erste halbe Stunde des Unterrichts für gute Luftqualität, später muss die Luftqualität mit schlecht bis sehr schlecht bezeichnet werden. Mit dem Lehrer des grünen Zimmers wurden dann Versuche mit viertelstündlicher Stosslüftung durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass dies bei der heute üblichen Minimalbeheizung auf 20-21°C zu grossen Komfortproblemen führte. Die Versuche mussten abgebrochen werden, die geforderten 1400 ppm konnten damit nicht erreicht werden.

Fazit: Entweder baut man in jedes Schulzimmer eine Lüftung ein, mit den oben ersichtlichen guten Resultaten, oder man überheizt die Schulzimmer wieder massiv, um viertelstündliche Lüftungsaktionen oder gekippte Fenster bei dann mässigen Komfortproblemen zu ermöglichen. So gesehen spart also die Lüftung enorme Energiemengen bei sehr gutem Komfort!

Im Sommer, bei hohen Aussentemperaturen sind offene Fenster ebenso ein Komfortproblem, das mit der Lüftung wegen der eingebauten Wärmerückgewinnung oder hier besser „Kälterückgewinnung“ hervorragend gelöst ist.



A 21, grün: Bestehendes Zimmer links A22, blau: Musterzimmer A23, rot: Bestehendes Zimmer rechts

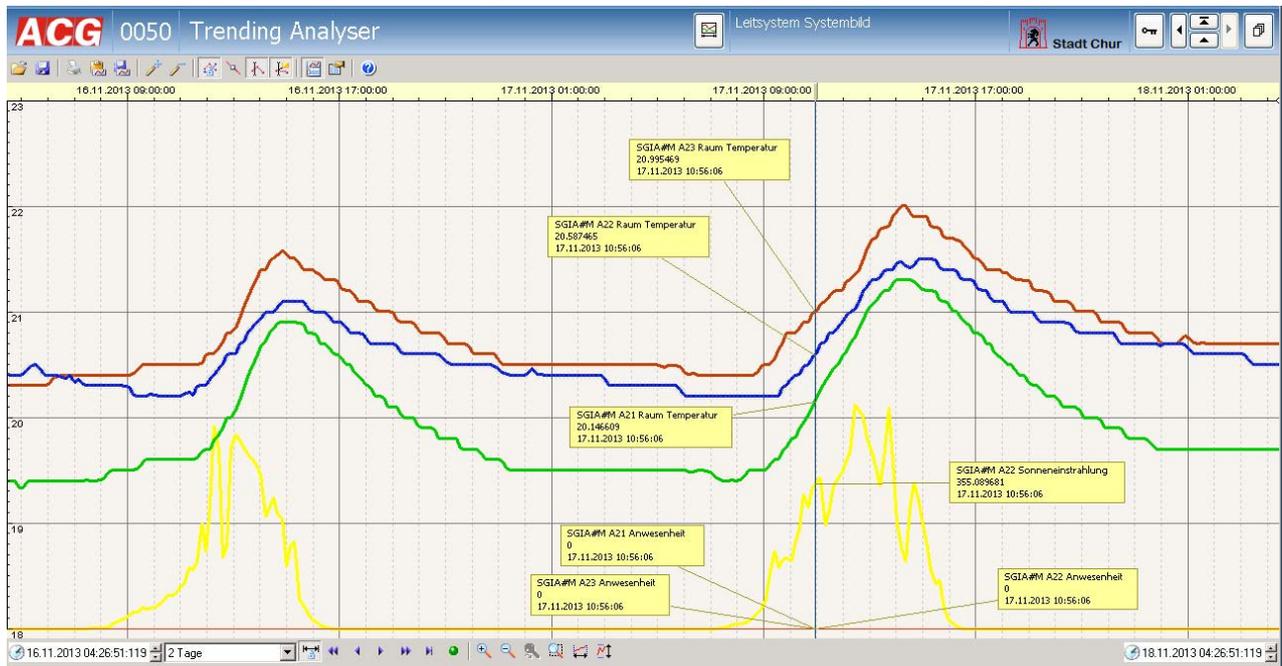
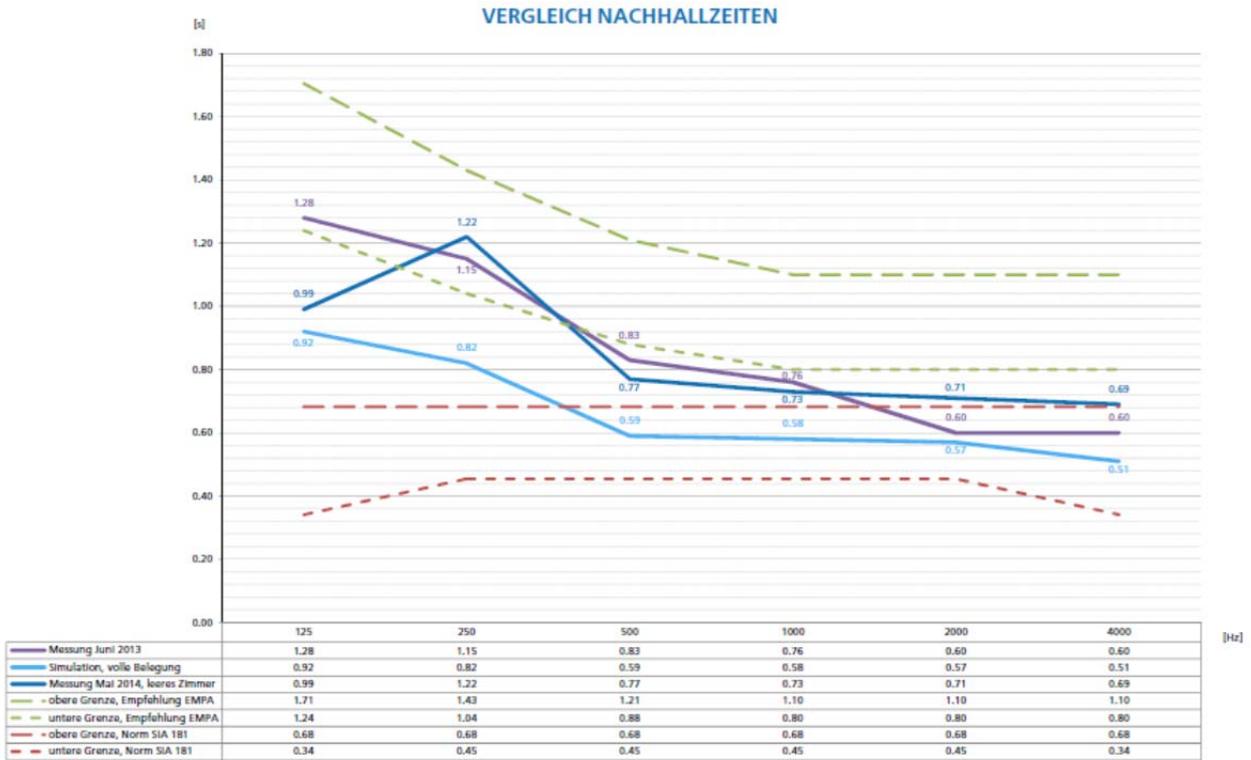
Einzig in der Übergangszeit sind die CO₂-Werte zwischendurch gut, weil die Fenster geöffnet werden können.



5.2 Akustik- / Temperaturschwankungen

Die Akustikverbesserungen mittels der Speichermassenerhöhungslamellen und den Akustikplatten über den Fenstern haben die gewünschten Anforderungen erfüllt:

PROJEKT Musterschulzimmer, Giacometti Schulhaus, Chur
AUFTRAGSNUMMER C.3033.
ORT, DATUM Chur, 15. Mai 2014
SACHBEARBEITER Thomas Kuster

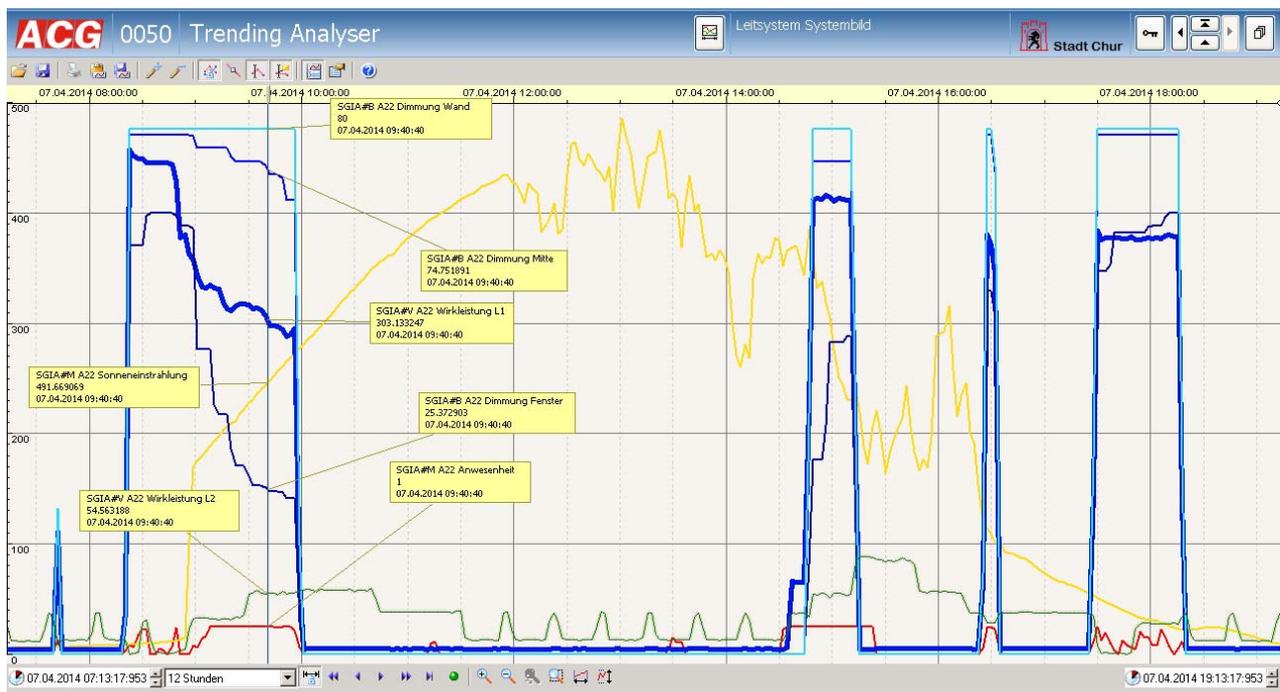


A 21, grün: Bestehendes Zimmer links A22, blau: Musterzimmer A23, rot: Bestehendes Zimmer rechts



Die Wirkung der Massenerhöhung im Musterzimmer (blau) kann hier sehr gut aufgezeigt werden. Wir haben zwei recht schöne Tage am Wochenende, Mitte November, alle Sonnenstoren sind offen, die Zimmer sind unbesetzt. Die Zimmertüre des „roten Zimmers“ steht zum Gang hin offen! Der direkte Vergleich mit dem „grünen Zimmer“ zeigt am zweiten Tag, dass die Innentemperatur bei gleicher Sonnenstrahlungseinwirkung um etwa 2 Grad ansteigt, während im Musterzimmer gerade gut ein Grad Unterschied entsteht. Sogar das „rote Zimmer“ bei offener Türe schwingt höher aus! Die eingespeicherte Wärme lässt das Zimmer dann auch weniger schnell auskühlen, es muss weniger geheizt werden. Diese schwächere Amplitudenschwankung und höhere Absorptionsleistung lässt bei gutem Komfort die volle Nutzung der Sonnenstrahlung zu – das Geheimnis des solaren Direktgewinns!

5.3 Tageslicht- / Kunstlichtnutzung

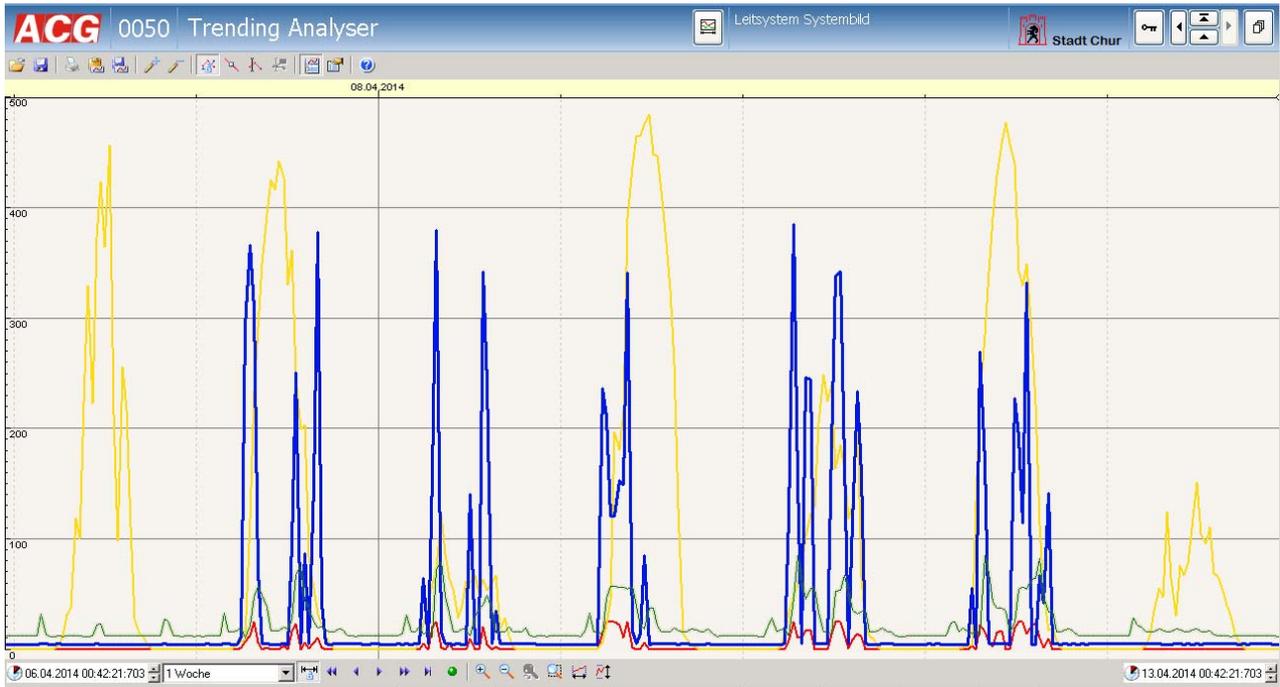


Die Lichtumlenkung zeigt bei einfacher Bedienung grosse Wirkung. Bei der grossen Raumtiefe ist die Wirkung aber auf die fensterseitige Hälfte beschränkt. Obiges Bild zeigt einen sonnenreichen Tag Anfang April. Wie so oft, stimmt hier die Benutzungszeit nur teilweise mit dem Sonnenlichtangebot überein.

Die fette, blaue Linie zeigt den Leistungsbezug in Watt der Gesamtbeleuchtung an. Die dünneren dunkelblau bis hellblau gefärbten Linien visualisieren die Dimmstufe in % der drei Lichtbänder. Es zeigt sich, dass die Leuchtengruppe an der Innenwand immer voll brennt. Die mittlere Leuchtengruppe wird relativ wenig gedimmt und die Gruppe beim Fenster sehr stark, sobald die Sonne scheint.

Ich denke hier darf die Frage gestellt werden, ob man auf die teure Lichtregelung mit Neuinstallation verzichten könnte und die Gruppe beim Fenster einfach ablöscht, sobald die Sonne kommt.

Die grüne Linie zeigt den vergleichsweise geringen Elektroleistungsbezug der Lüftung, die Ventilatorstufen sind gut ersichtlich.



div. blau: Leistungen Strom Musterzimmer grün : Leistung Strom Lüftung rot: Anwesenheit gelb: Sonnenstrahlung



div. blau: Leistungen Strom Musterzimmer grün : Leistung Strom Lüftung rot: Anwesenheit gelb: Sonnenstrahlung

Obige Diagramme zeigen die Wechselwirkung von Sonnenstrahlung (gelb) und dem Leistungsbezug (dunkelblau) der Beleuchtung schön auf, oben in der Übergangszeit, unten im Winter.

Benutzungs- und Sonnenstrahlungszeit stimmen selten überein, einfache lichtumlenkende, innere Blendschutz-Einrichtungen in Schulzimmern mit Ausrichtung Südost über Süd bis Südwest sind ausreichend.



Von Südost über Süd bis Südwest sollen die Storen in der Übergangszeit und im Sommer geregelt werden. Die unten stehenden Regulationsanforderungen haben sich gut bewährt. Die Einstellungen, siehe Parametereingabe rechts, wurde im Betrieb angepasst. Dies ist die aktuelle Einstellung. Das Zimmer hat zwei Storengruppen. Die später schliessenden Storen sind diejenigen vor den Lichtumlenkern.

Die Erfahrung zeigt, dass grössere Spreizungen bei den Strahlungswerten nötig sind, um häufige Auf-und Runterbewegungen zu vermeiden, denn diese stören den Unterricht.

Pilotprojekt Musterschulzimmer: Regulationsanforderungen für den Storenbetrieb

Neue Definition für Frühling und Herbst, 11.04.14

	von ... bis	Storen runter: Strahlung in W/m2	Innentemperatur in °C	Innentemperatur in °C	Storen rauf Strahlung in W/m2	Innentemperatur in °C
Winterbetrieb	1.11 - 31.3.	gesperrt	immer	
Frühling	31.3 - 1.6.	>400	25.2°	26.7° Storengruppe 1 aussen Storengruppe 2 vor Lichtlenker	<300	24.1° Gr. 1+2
Sommer	1.6. - 15.9.	>250			<150	
Herbst	15.9. - 1.11	>400	25.2°	26.7° Storengruppe 1 aussen Storengruppe 2 vor Lichtlenker	<300	24.1° Gr. 1+2

Die farbigen Zahlen sind variabel.

Neu: Temperaturen mit Zehntelgraden, zusätzlich Frühling und Herbst hat gewählte "Storen rauf" -Strahlung Priorität vor der Innentemperatur.

Storen Schulzimmer A22

Steuerung Parameter

Jahreszeit

- 103 Startdatum Frühling
- 106 Startdatum Sommer
- 110 Startdatum Herbst
- 1011 Startdatum Winter

Storen Gruppe 1

- 22.0 °C Temperatur Storen auf
- 23.3 °C Temperatur Storen zu
- 70 W/m² Einstrahlung Frühling/Herbst auf
- 350 W/m² Einstrahlung Frühling/Herbst zu
- 75 W/m² Einstrahlung Sommer auf
- 200 W/m² Einstrahlung Sommer zu

Storen Gruppe 2

- 22.0 °C Temperatur Storen auf
- 24.0 °C Temperatur Storen zu
- 200 W/m² Einstrahlung Frühling/Herbst auf
- 550 W/m² Einstrahlung Frühling/Herbst zu
- 170 W/m² Einstrahlung Sommer auf
- 450 W/m² Einstrahlung Sommer zu

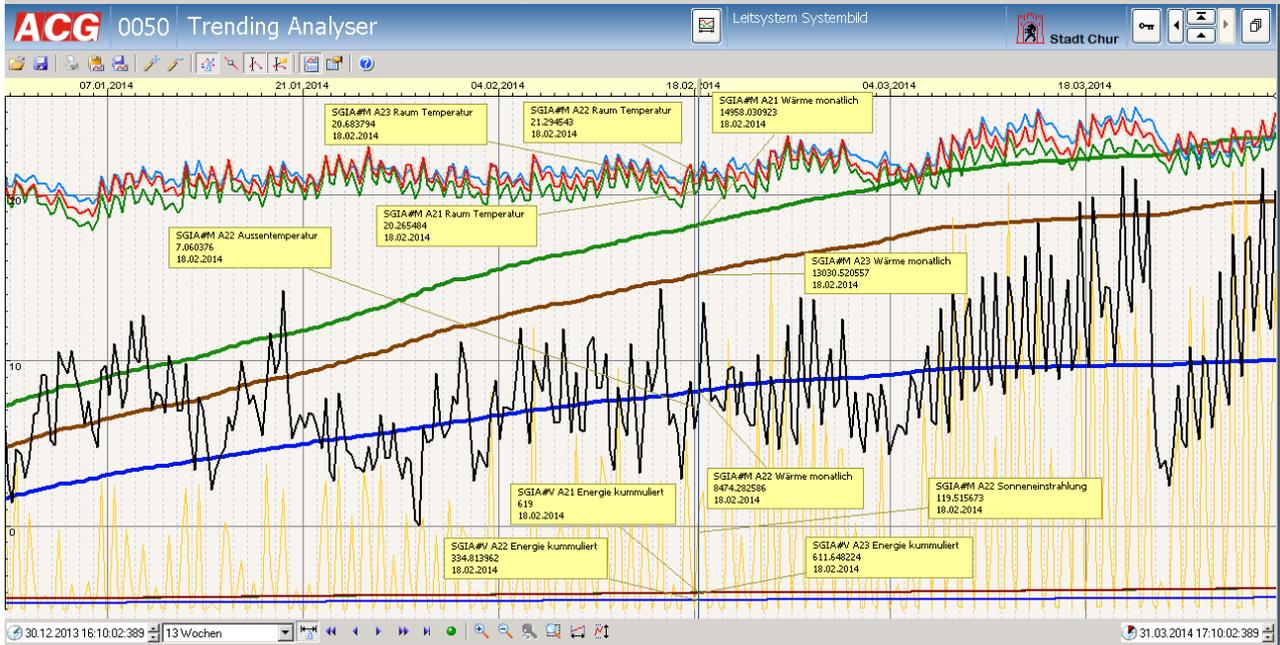
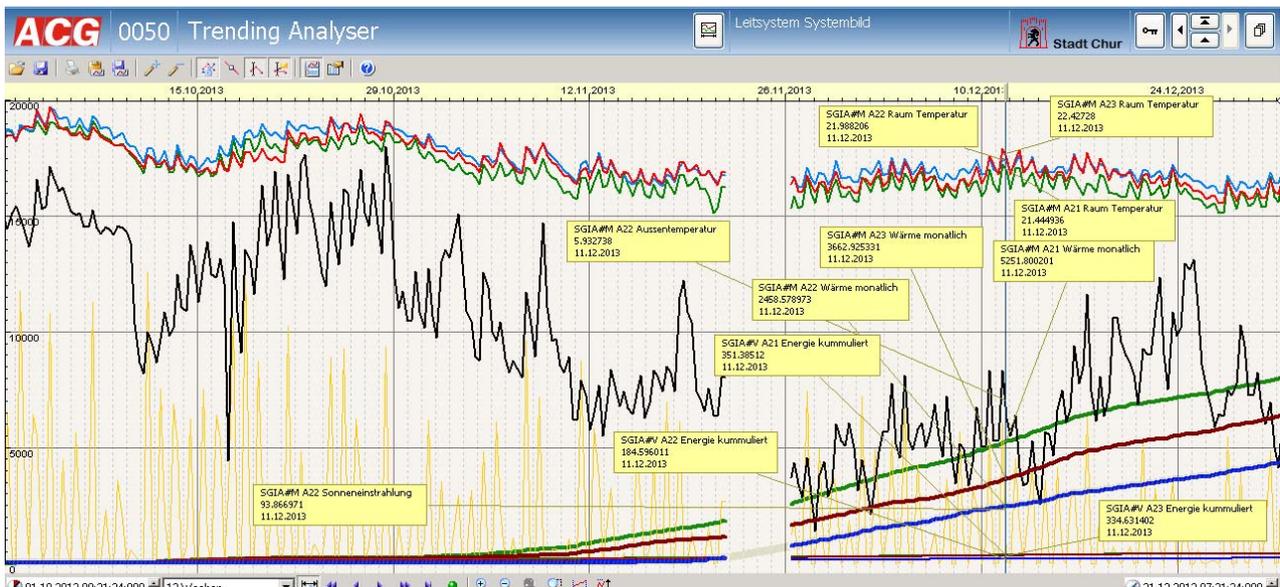
? Schliessen



Übersicht

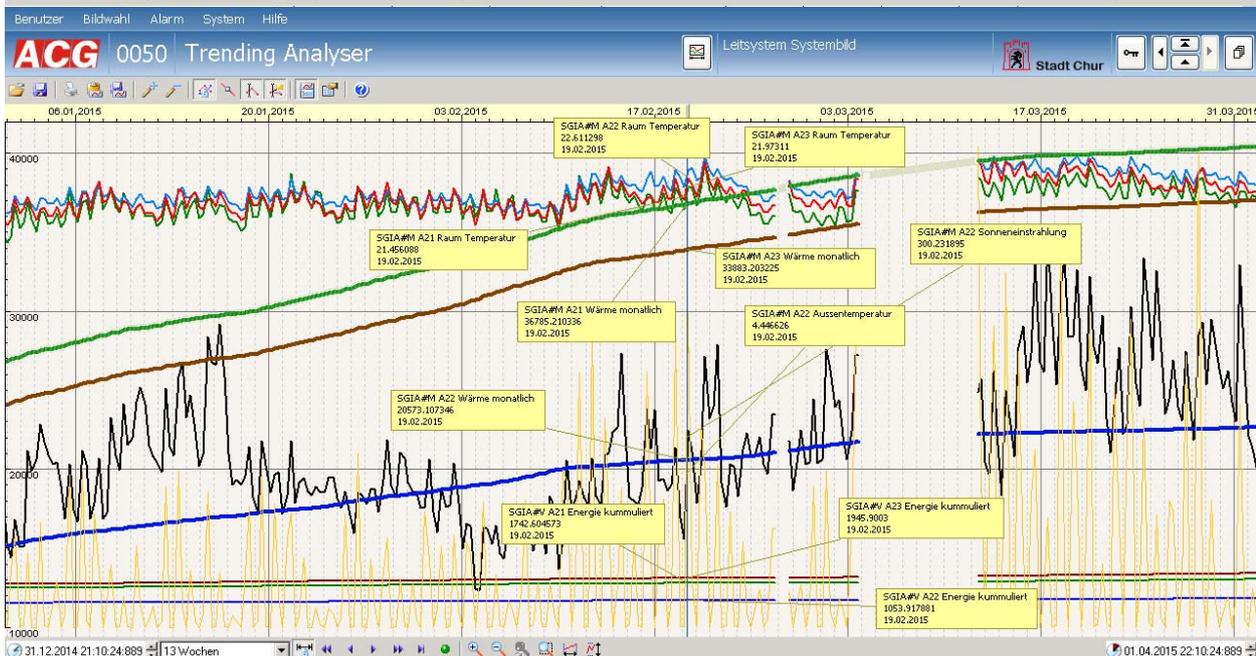
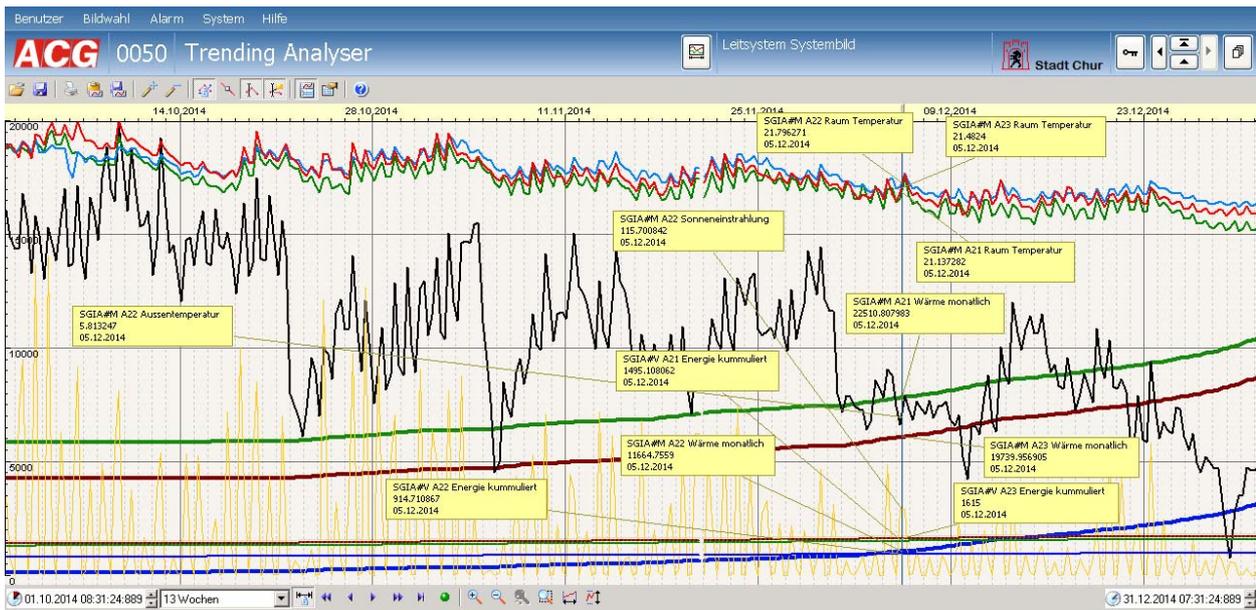
Die nachfolgende Winterhalbjahresübersicht zeigt verschiedene Aspekte:
5 Wochen kürzere Heizsaison im Musterzimmer.

Temperaturen Musterzimmer fast immer leicht höher, Bilanz wäre also noch besser als gemessen.
Merklich tiefere Wärmebezüge des Musterzimmers ab Februar (höheres Strahlungsangebot).
Betrachtet man nur Kilowattstunden, erscheint der Elektroverbrauch als sehr gering, obwohl im Musterzimmer nicht nur das Licht wie in den Vergleichszimmern gemessen wird, sondern auch noch die Lüftung und der Beamer/Computer.



A 21, grün: Bestehendes Zimmer links A22, blau: Musterzimmer A23, rot: Bestehendes Zimmer rechts

Bestätigung: Im zweiten Winter zeigt sich ein vergleichbares Bild.
Auch hier, das Musterzimmer (blaue Linie) ist fast immer wärmer und ausgeglichener als die anderen.



A 21, grün: Bestehendes Zimmer links A22, blau: Musterzimmer A23, rot: Bestehendes Zimmer rechts



5.4 Nutzerrückmeldungen

Innerer Blendschutz; Lichtumlenkung:

- + leichte Handhabung, gute Lichtwirkung, gute Verdunkelung
- Platzbedarf, die Fenstersimsen können nicht mehr voll genutzt werden.

Innerer Blendschutz; Rollos:

- + einfache, manuelle Handhabung
- zu schwache Verdunkelung bei der Projektionswand für den Beamer, wurde durch lichtdichteren Rollos ersetzt (äussere Fläche mittlere Dunkelheit ist schwierig zu bekommen).

Akustik und zusätzliche Speichermasse:

- + Verbesserung von Akustik und weniger Temperaturschwankungen werden geschätzt.
- Optik gefällt nicht allen, weil ungewohnt.

Storenautomatik:

- + spürbar weniger Überhitzung
- Senkrechtstoffstoren vermitteln ein Gefühl von Eingeschlossenheit (Lösung: Verwendung von Lamellenstoren oder Ausstellstoren vorgeben)
- mehrmalige Auf- und Runterbewegungen stören den Unterricht (Lösung: Bei den Luxeinstellungen grössere Spreizung eingeben).

Luftqualität:

- + wird als sehr gut erlebt, keine Störung durch Luftzirkulationsgeräusche.

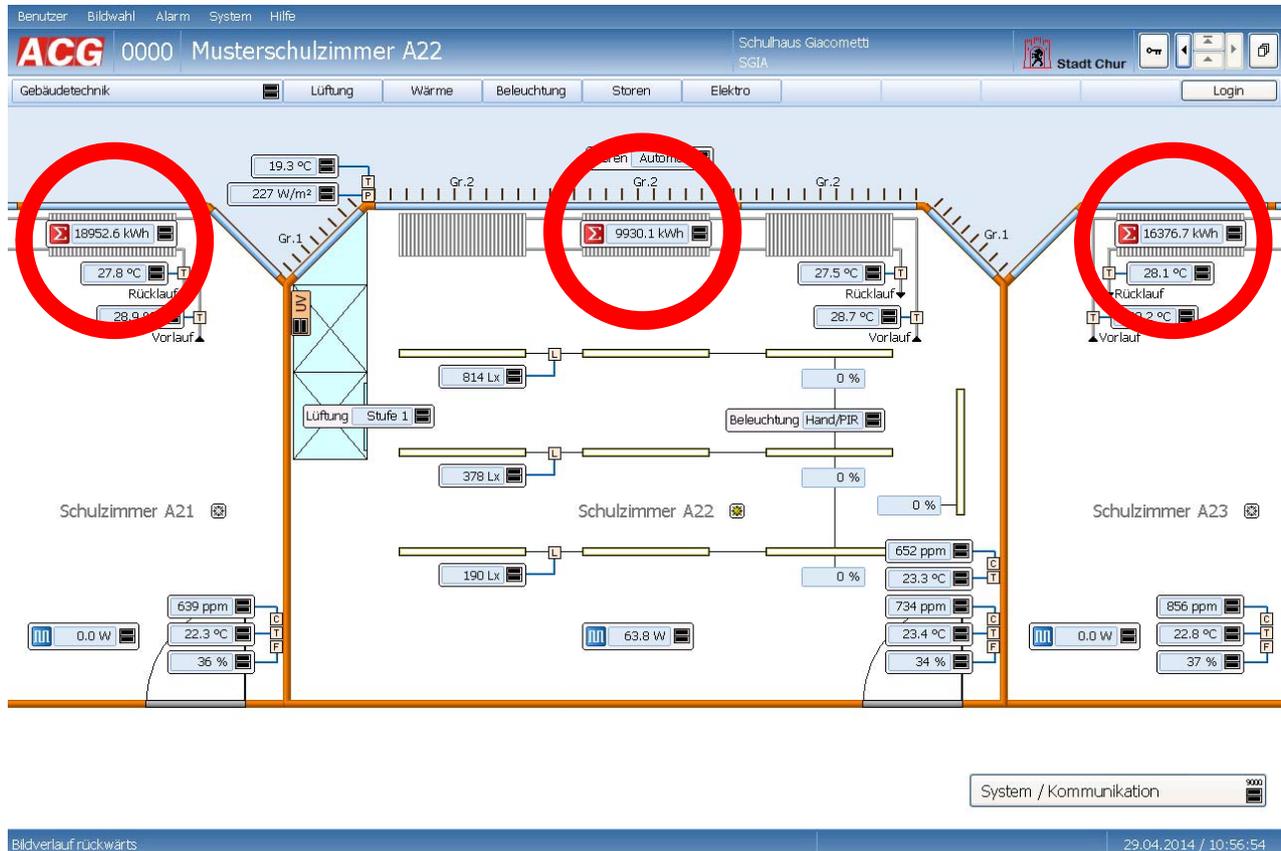
LED-Licht:

- + wird als angenehm erlebt.



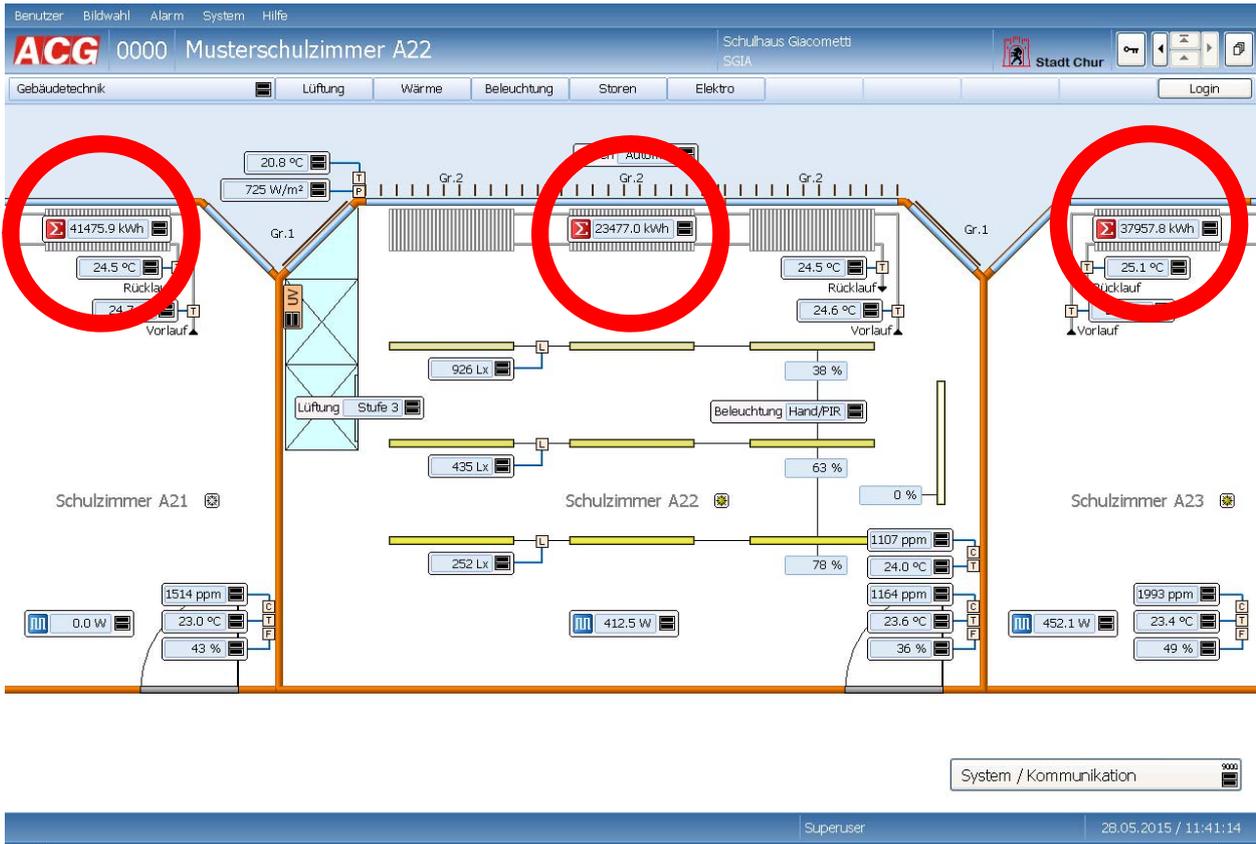
6. Betriebsenergieeinsparung

6.1 Wärmeeinsparung



Wie oben ersichtlich, ist seit Herbst 13 eine erhebliche Wärmeverbrauchseinsparung von 6'450 kWh oder 39% erfolgt (zu Zimmer A21; 52%), dies entspricht rund 650 Liter Heizöl.

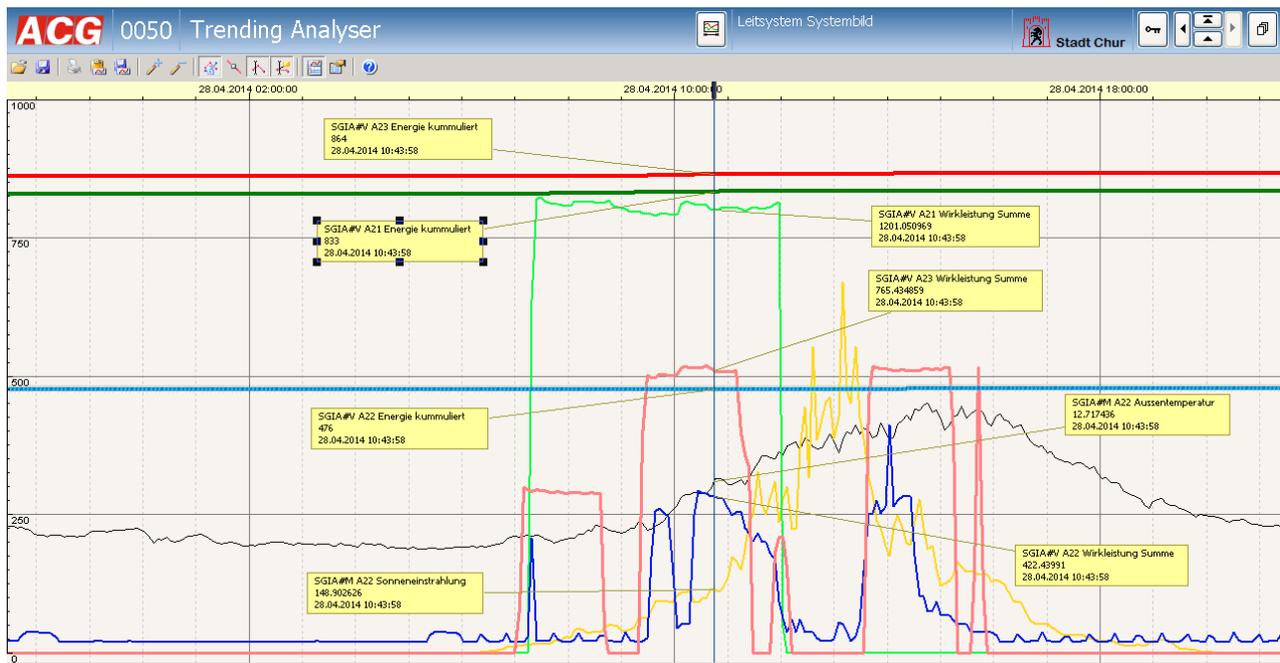
Fazit: Die Wärmeenergieeinsparung von 6'450 kWh pro Jahr und Schulzimmer ist gegen Fr. 1000.- pro Jahr wert, würde also Energieeffizienz-Investitionen für einen Lebenszyklus von z.B. 30 Jahren in der Höhe von Fr. 20'000.- rechtfertigen (Amortisation, Zins und Unterhalt eingerechnet).



Bestätigung ein Jahr später: Die Wärmeeinsparung ist fast gleich geblieben (38%).



6.2 Stromeinsparung



A 21, grün: Bestehendes Zimmer links A22, blau: Musterzimmer A23, rot: Bestehendes Zimmer rechts

Oben sieht man einerseits die bis jetzt aufsummierte Elektroenergie pro Zimmer (Wirkleistung Summe) und andererseits typische Leistungsbezüge der einzelnen Zimmer.

Der Elektroenergiebezug des Musterzimmers liegt bei rund 475 kWh gegenüber durchschnittlich 850 kWh in den anderen Zimmern. **Es wurde also rund 45% Elektroenergie eingespart (über beide Jahre sind es 43%)**. Gemessen wird der Strombedarf der Beleuchtung in den Vergleichszimmern. Im Musterzimmer ist es die Beleuchtung, aber auch noch die Lüftung und der Beamer, also eine sehr bemerkenswerte Einsparung.

Oben sieht man, dass die LED-Beleuchtung mit Lüftung etwa 425 Watt (blaue Linie) bezieht. Die alte Leuchtstoffröhren-Beleuchtung in Zimmer A 21 bezieht derweil 1'200 Watt (grüne Linie).

Dieses gute Resultat erreichen wir einerseits durch die bessere Effizienz der neuen LED-Leuchten, aber auch durch die mittels Lichtumlenkung, Lichtregelung und Storensteuerung verbesserte Tageslichtnutzung.

Bemerkung: Gegenüber dem hohen Wärmeenergieverbrauch erscheint der Stromverbrauch mit rund 5% (unsaniert oder saniert) relativ klein.

Fazit: Die Elektroenergieeinsparung von 1000 kWh pro Jahr und Schulzimmer ist gegen Fr. 200.- pro Jahr wert, würde also Energieeffizienz-Investitionen für einen Lebenszyklus von z.B. 30 Jahren in der Höhe von Fr. 4'000.- rechtfertigen (Amortisation, Zins und Unterhalt eingerechnet).



7. Anforderungen an Schulhausneubauten und -sanierungen

7.1 Luftqualität

Jedes neu zu erstellende oder zu sanierende Schulzimmer braucht eine CO₂-gesteuerte mechanische Belüftung mit Wärmerückgewinnung (min. 600 m³/h Frischluft für 20 Personen; das heisst 30 m³/h,Person), denn von November bis März, sowie Juni bis September können die heute geforderten CO₂-Limiten von 1400 ppm in einem Schulzimmer mittels Fensterlüftung, auch bei optimalem Nutzerverhalten, nicht eingehalten werden.

Die Lüftungsanlage soll im Sommer auch zum Nachtauskühlen benutzt werden können.

Raumbegrenzende Materialien sollen baubiologische Kriterien erfüllen (zum Beispiel: diffusionsfähig und/oder geruchsneutralisierend).

Die neuen Brandschutzrichtlinien ermöglichen einfachere Lüftungslösungen. Im Schulhaus Giacometti zeichnet sich der Einbau einer semizentralen Lüftung als die wirtschaftlichste Lösung ab. Bei Sanierungen können aber auch Einzelgeräte, wie im Musterzimmer eine gute Lösung ergeben.

7.2 Akustik- / Temperaturschwankungen

Bei Neubau und Sanierung von Schulzimmern sollen die Akustikmassnahmen in Kombination mit zusätzlicher Wärmespeichermasse realisiert werden, so kann die Abwärme von Personen und Elektro sowie das Sonnenlicht durch die Fenster besser genutzt werden. Dies kann mit einer massespeichernden Akustikdecke erreicht werden.

Bei Schulzimmern mit 200 – 250 m³ Raumvolumen und Vollbelegung ist eine Nachhallzeit von ca. 0.6 s anzustreben.

Schulzimmer mit einer Ausrichtung Südost über Süden nach Südwest brauchen mehr Speichermasse als andere Orientierungen (rechnerischer Nachweis erforderlich).

7.3 Tageslicht- / Kunstlichtnutzung

Ein Normschulzimmer ist meistens dreiseitig geschlossen und hat nur über eine Seite Tageslicht bzw. Fensterfläche. Aufgrund der vorhandenen Raumtiefen und der geforderten Belichtungsstärke von 550 Lux auf den Tischflächen ist ein reiner Tageslichtbetrieb nicht möglich. Energieeffiziente dimmbare Beleuchtungslösungen für optimales und konzentriertes Arbeiten sind nötig. Eine Lichtsteuerung ist nicht nötig. Die einzelnen Beleuchtungsreihen im Raum sollen einzeln, jedoch manuell steuerbar bedient werden können (Dimmfunktion wünschenswert). Die Beleuchtungsreihen sollen parallel zur Hauptfensterfläche verlaufen. Zusätzlich muss eine separate Wandtafelbeleuchtung geplant werden.

7.4 Sonnenschutz

Schulzimmer brauchen einen möglichst windfesten Sonnenschutz, der auch über Wochenende funktionsfähig bleibt, ein Sonnenschutz sollte einen g-Wert unter 0.1 aufweisen und trotzdem einen Durchblick nach aussen erlauben. Ein robuster Lamellenstoren erfüllt diese Bedingungen. Die Modelle, die oben und unten verschiedene Anstellwinkel der Lamellen



zulassen verbessern auch noch die Tageslichtnutzung im Sommer. Denkbar sind auch robuste Ausstellstoren mit opakem, starkem Stoff. Eine Storensteuerung braucht es nur beim Sonnenschutz der Südost über Süden nach Südwest ausgerichtet ist. Zum einen sollen die solaren Gewinne durch die Fenster optimal genutzt werden können. Zum anderen müssen zu tiefe oder zu hohe Innentemperaturen im Raum automatisch geregelt werden können. Der Sonnenschutz kann in den Zimmern von Nordwest über Nord bis Nordost immer als Verdunkelung eingesetzt werden, da dort die solaren Direktgewinne keine Rolle spielen.

7.5 Blendschutz

Jedes Schulzimmer mit Südost- bis Südwestausrichtung braucht einen inneren Blendschutz. Dieser muss einerseits das eindringende Sonnenlicht an die Decke umleiten können zur besseren Tageslichtnutzung und in der Heizperiode zum Aufladen der Speicher-masse in der Akustikdecke. Ebenso muss er als Verdunkelung einsetzbar sein, da in der Wintermonaten der äussere Sonnenschutz gesperrt ist (siehe Kapitel 6.4). In der Verdunkelungsstellung sollte die Aussenseite zum Glas eine mindestens mittlere Dunkelheit aufweisen (gemeint ist die Farbe, zum Beispiel mittleres grau), damit die Sonnenstrahlung nicht nach aussen reflektiert wird. Oben und unten muss eine genügend breite Öffnung offen bleiben, dass die sich bildende Warmluft zirkulieren kann.

7.6 Fenster

Ein Fensterersatz sollte immer wenn möglich zusammen mit einer Fassadensanierung angestrebt werden. Für die optimalsten solaren Direktgewinne sollte ein Fenster im Neubau und auch bei einer Sanierung soweit wie möglich aussen angeschlagen werden. Dies um Verschattungen durch tiefe Leibungen und damit solare Einbussen vermeiden zu können. Bei Ausrichtungen der Fensterflächen von Südost über Süden nach Südwest ist ein g-Wert von mind. 0.65 und ein U-Wert von max. $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ anzustreben. Bei Ausrichtungen der Fensterflächen von Südwest über Nord nach Südost ist der g-Wert nicht so wichtig und es genügt wenn er mind. 0.45 ist. Hingegen spielt der U-Wert eine wichtige Rolle. Der sollte in dem Fall max. $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ betragen.

7.7 Fassade

Ein diffusionsoffene kompakte oder hinterlüftete Lösung mit einem U-Wert von höchstens $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist anzustreben.

7.8 Bestandesaufnahmen bei Sanierungen

Im Falle einer Sanierung ist immer abzuwägen, ob es sich lohnt ein Bauteil zu ersetzen. Der Standpunkt ist: keinen Wert zu vernichten. Energetische Optimierungen mit direkten solaren Gewinnen können auch ohne einer kompletten Fassadensanierung erreicht werden.

Die nachfolgende Aufstellung zeigt eine Untersuchung der relevanten Bauteile die eventuell ersetzt werden müssen und jener die noch investiert werden müssen am Beispiel vom Schulhaus Giacometti (Trakte A und B) in Chur. Verglichen werden konventionelle Sanierungs-massnahmen mit energieoptimierten Massnahmen.



Bauteil	Bewertung Zustand	Inst. jetzt	Inst. später	Sanierung [CHF]	Sanierung energie- optimiert [CHF]	Kosten [%]	Kosten energie- optim. [%]	Ziel
---------	----------------------	----------------	-----------------	--------------------	---	---------------	-------------------------------------	------

Fenster

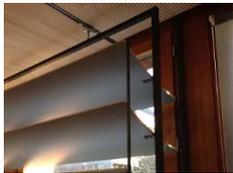
A = sehr gut	ja			124'170	124'170	14.11%	10.34%	■ Einsparung Heizkosten
B = gut	(nur							■ direkter Energiegewinn
C = mittel	Glas)							■ Steigerung Behaglichkeit
D = schlecht								■ Ersatz Rahmen später
E = sehr schlecht								

Fassade

A = sehr gut	nein	ja		0	0			■ Einsparung Heizkosten
B = gut								(nicht gerechnet)
C = mittel								
D = schlecht								
E = sehr schlecht								

Schattierung, aussen

A = sehr gut	ja	nein		191'840	191'840	21.80%	15.97%	■ Einsparung Heizkosten
B = gut								■ Steigerung Behaglichkeit
C = mittel								
D = schlecht								
E = sehr schlecht								

Schattierung, innen

(neu, noch nicht vorhanden)	ja	nein		0	93'000		7.74%	■ Tageslichtführung als Ein- sparung Stromkosten
								■ Optimierung direkte solare Gewinne

Beleuchtung, Elektro

A = sehr gut	ja	nein		147'200	147'200	16.72%	12.25%	■ verbesserte Tageslichtnut- zung
B = gut								■ Optimierung Beleuchtung am
C = mittel								Arbeitsplatz
D = schlecht								■ Diverse Anpassungen Elektro
E = sehr schlecht								

Lüftung, semizentral geführt

(neu, noch nicht vorhanden)	ja	nein			288'000		23.97%	■ Verbesserung Raumluft- qualität
								■ Steigerung Behaglichkeit



Bauteil	Bewertung Zustand	Inst. jetzt	Inst. später	Sanierung [CHF]	Sanierung energie- optimiert [CHF]	Kosten [%]	Kosten energie- optim. [%]	Ziel
---------	----------------------	----------------	-----------------	--------------------	---	---------------	-------------------------------------	------

Boden

A = sehr gut
B = gut
 C = mittel
 D = schlecht
 E = sehr schlecht

nein ja 0 0

- Instandhaltung laufend
(nicht gerechnet)
- Ersatz in 20 Jahren
(nicht gerechnet)

Akustikdecke

A = sehr gut
 B = gut
C = mittel
 D = schlecht
 E = sehr schlecht

ja nein 282'534 222'718 32.10% 18.54%

- verbesserte Akustik
- Erhöhung Speichermasse
bei energieoptimierter
Lösung

Wände

A = sehr gut
B = gut
 C = mittel
 D = schlecht
 E = sehr schlecht

ja nein 134'400 134'400 15.27% 11.19%

- Instandhaltung

880'145 1'201'329 100.00% 100.00%

Fazit: Die Mehrkosten mit einer energieoptimierten bzw. integralen Lösung sind ca. 1/3 höher. Damit wird aber nicht nur eine Energieoptimierung erreicht sondern, was auch sehr wichtig ist für ein gutes Schulklima, der Komfort wird mit dem Einbau der Lüftung enorm gesteigert. Betrachtet man nun die dadurch erzielten Energieeinsparungen in Bezug auf Strom und Heizkosten neutralisieren sich diese Kosten bei einer Amortisation von 20 Jahren.