EU FP7 School of the Future –

Auf dem Weg zur Null-Emission mit hochwertigem Raumklima

Heike Erhorn-Kluttig, Hans Erhorn, Simone Steiger, Simon Wössner
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

© Fraunhofer IBP

4. IBP-Kongress Zukunftsraum Schule, Stuttgart, 18.11.2015

School of the Future

SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME

Fraunhofer IBP

Das School of the Future Projekt

- Demonstrationsprojekt im 7. Rahmenprogramm der EU
- Ziel: Entwerfen, demonstrieren, evaluieren und kommunizieren von leuchtenden Beispielen für die hocheffiziente Gebäudesanierung
- Warum Schulgebäude?
  - Mehrfacher Einfluss auf Schulen und den Wohnungsbausektor
  - Schüler agieren als Kommunikator zu den Familien
- Die Demonstrationsprojekte werden nicht Nullemission erreichen
  - Begrenzte Förderung (Scale of Unit Costs -> 100 €/m² anrechenbar, 50 €/m² EU-Förderung)
  - Trotzdem: weit niedrigerer Energiebedarf als normale Sanierungen
  - Erfahrungen aus nationalen Projekten führen zu Leitfäden bis hin zu Maßnahmenpaketen für Plusenergieschulen
- Forschung, Training und Disseminierung
- Partner aus Stadtverwaltungen, Forschung und Industrie

© Fraunhofer IBP

Das Konsortium

Partner		Land	Typ
1	Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Koordinator)	Deutschland	Forschung
2	ENEA	Italien	Forschung
3	Cenergia Energy Consultants	Dänemark	Planer, KMU
4	SBi - Danish Building Research Institute, Aalborg University	Dänemark	Forschung
5	Stiftelsen SINTEF	Norwegen	Forschung
6	Landeshauptstadt Stuttgart	Deutschland	Öffentl. Hand
7	Cesena Kommune	Italien	Öffentl. Hand
8	Ballerup Kommune	Dänemark	Öffentl. Hand
9	Drammen Eiendom	Norwegen	Öffentl. Hand
10	ALDES spa	Italien	Industrie
11	Saint-Gobain Isover a/s	Dänemark	Industrie
12	Glass og Fasadeforeningen – Glas und Fassadenverband	Norwegen	Industrie
13	Schneider Electric Buildings Denmark A/S	Dänemark	Industrie

© Fraunhofer IBP

Demonstration: 4 unterschiedliche Schulgebäude – ein Ziel

- Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs (Summe aus Endenergie-verbrauch Heizung und Strom) > Faktor 3, verifiziert durch Messungen
- Reduzierung des Heizenergieverbrauchs > 75 %, verifiziert durch Messungen
- Verbesserung des Raumklimas (Luft, Tageslicht, Akustik, thermische Behaglichkeit) mit Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Schüler, analysiert durch Kurzzeitmessungen und Fragebögen

© Fraunhofer IBP

Demonstration: 4 unterschiedliche Schulgebäude – ein Ziel

© Fraunhofer IBP

Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D

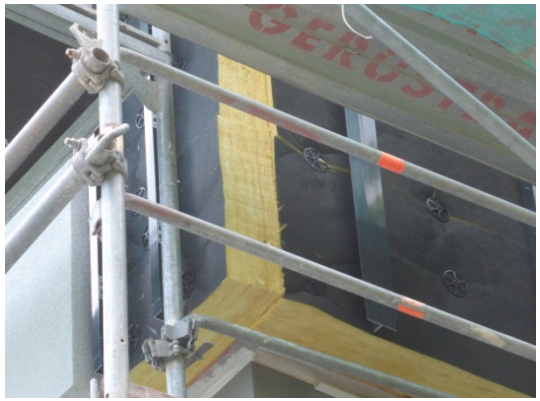
School of the Future

SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME

Fraunhofer IBP

Schule	Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	8924 m²	
Baujahr	60er – 90er	
Schüler	710	
Wände	Sichtbeton, teilw. 8 cm Dämung	WDVS/vorgeh. Fass. 14-18 cm Dämmung
Fenster	2-fach Verglasung, einige 1-fachvergl.	3-fach Verglasung, einige 2-fach vergl.
Dach	nicht ausr. gedämmt	14-22 cm Dämmung
Heizung	2 Gaskessel (2004), Radiatoren	BHKW + best. Gas-kessel, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	mech. keine WRG	mechanisch mit WRG/hybrid
Beleuchtung	T8, red. Lampen	Farbe, T5, EVG
Heizenergie	213 kWh/m²a	53 kWh/m²a
Strom	12 kWh/m²a	5 kWh/m²a

Schule	Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	8924 m²	
Baujahr	60er – 90er	
Schüler	710	
Wände	Sichtbeton, teilw. 8 cm Dämung	WDVS/vorgeh. Fass. 14-18 cm Dämmung
Fenster	2-fach Verglasung, einige 1-fachvergl.	3-fach Verglasung, einige 2-fach vergl.
Dach	nicht ausr. gedämmt	14-22 cm Dämmung
Heizung	2 Gaskessel (2004), Radiatoren	BHKW + best. Gas-kessel, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	mech. keine WRG	mechanisch mit WRG/hybrid
Beleuchtung	T8, red. Lampen	Farbe, T5, EVG
Heizenergie	213 kWh/m²a	53 kWh/m²a
Strom	12 kWh/m²a	5 kWh/m²a



Schule	Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	8924 m²	
Baujahr	60er – 90er	
Schüler	710	
Wände	Sichtbeton, teilw. 8 cm Dämung	WDVS/vorgeh. Fass. 14-18 cm Dämmung
Fenster	2-fach Verglasung, einige 1-fachvergl.	3-fach Verglasung, einige 2-fach vergl.
Dach	nicht ausr. gedämmt	14-22 cm Dämmung
Heizung	2 Gaskessel (2004), Radiatoren	BHKW + best. Gas-kessel, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	mech. keine WRG	mechanisch mit WRG/hybrid
Beleuchtung	T8, red. Lampen	Farbe, T5, EVG
Heizenergie	213 kWh/m²a	53 kWh/m²a
Strom	12 kWh/m²a	5 kWh/m²a

Schule	Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	8924 m²	
Baujahr	60er – 90er	
Schüler	710	
Wände	Sichtbeton, teilw. 8 cm Dämung	WDVS/vorgeh. Fass. 14-18 cm Dämmung
Fenster	2-fach Verglasung, einige 1-fachvergl.	3-fach Verglasung, einige 2-fach vergl.
Dach	nicht ausr. gedämmt	14-22 cm Dämmung
Heizung	2 Gaskessel (2004), Radiatoren	BHKW + best. Gas-kessel, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	mech. keine WRG	mechanisch mit WRG/hybrid
Beleuchtung	T8, red. Lampen	Farbe, T5, EVG
Heizenergie	213 kWh/m²a	53 kWh/m²a
Strom	12 kWh/m²a	5 kWh/m²a

Schule	Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	8924 m²	
Baujahr	60er – 90er	
Schüler	710	
Wände	Sichtbeton, teilw. 8 cm Dämung	WDVS/vorgeh. Fass. 14-18 cm Dämmung
Fenster	2-fach Verglasung, einige 1-fachvergl.	3-fach Verglasung, einige 2-fach vergl.
Dach	nicht ausr. gedämmt	14-22 cm Dämmung
Heizung	2 Gaskessel (2004), Radiatoren	BHKW + best. Gas-kessel, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	mech. keine WRG	mechanisch mit WRG/hybrid
Beleuchtung	T8, red. Lampen	Farbe, T5, EVG
Heizenergie	213 kWh/m²a	53 kWh/m²a
Strom	12 kWh/m²a	5 kWh/m²a

19 kW_{el} / 34 kW_{th}

Schule	Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	8924 m²	
Baujahr	60er – 90er	
Schüler	710	
Wände	Sichtbeton, teilw. 8 cm Dämung	WDVS/vorgeh. Fass. 14-18 cm Dämmung
Fenster	2-fach Verglasung, einige 1-fachvergl.	3-fach Verglasung, einige 2-fach vergl.
Dach	nicht ausr. gedämmt	14-22 cm Dämmung
Heizung	2 Gaskessel (2004), Radiatoren	BHKW + best. Gas-kessel, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	mech. keine WRG	mechanisch mit WRG/hybrid
Beleuchtung	T8, red. Lampen	Farbe, T5, EVG
Heizenergie	213 kWh/m²a	53 kWh/m²a
Strom	12 kWh/m²a	5 kWh/m²a

Schule	Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	8924 m²	
Baujahr	60er – 90er	
Schüler	710	
Wände	Sichtbeton, teilw. 8 cm Dämung	WDVS/vorgeh. Fass. 14-18 cm Dämmung
Fenster	2-fach Verglasung, einige 1-fachvergl.	3-fach Verglasung, einige 2-fach vergl.
Dach	nicht ausr. gedämmt	14-22 cm Dämmung
Heizung	2 Gaskessel (2004), Radiatoren	BHKW + best. Gas-kessel, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	mech. keine WRG	mechanisch mit WRG/hybrid
Beleuchtung	T8, red. Lampen	Farbe, T5, EVG
Heizenergie	213 kWh/m²a	53 kWh/m²a
Strom	12 kWh/m²a	5 kWh/m²a

Schule	Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	8924 m²	
Baujahr	60er – 90er	
Schüler	710	
Wände	Sichtbeton, teilw. 8 cm Dämung	WDVS/vorgeh. Fass. 14-18 cm Dämmung
Fenster	2-fach Verglasung, einige 1-fachvergl.	3-fach Verglasung, einige 2-fach vergl.
Dach	nicht ausr. gedämmt	14-22 cm Dämmung
Heizung	2 Gaskessel (2004), Radiatoren	BHKW + best. Gas-kessel, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	mech. keine WRG	mechanisch mit WRG/hybrid
Beleuchtung	T8, red. Lampen	Farbe, T5, EVG
Heizenergie	213 kWh/m²a	53 kWh/m²a
Strom	12 kWh/m²a	5 kWh/m²a

Solitude-Gymnasium, Stuttgart, D

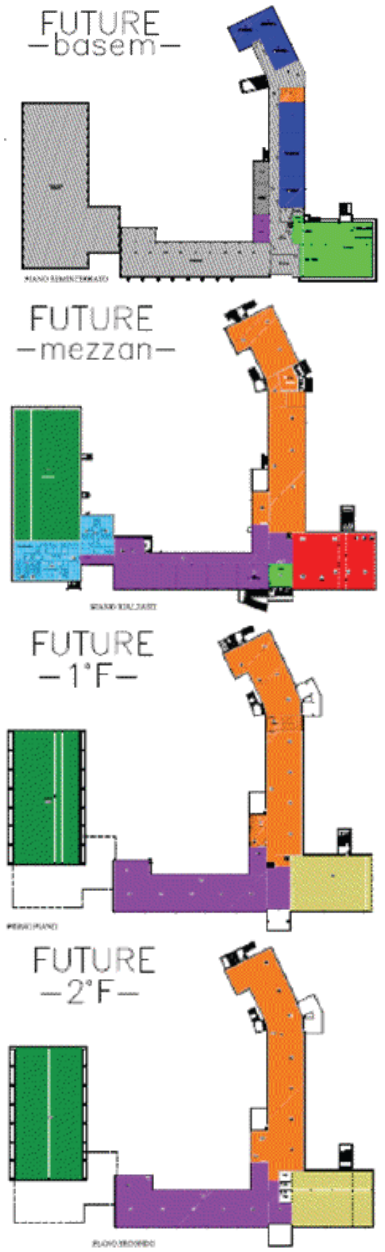
© Fraunhofer IBP

Tito Maccio Plauto Schule, Cesena, I

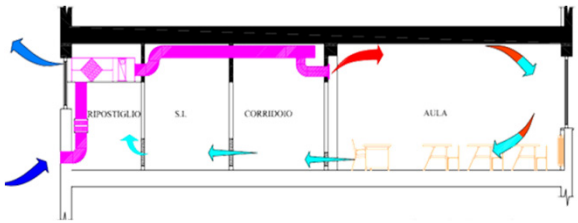
© Fraunhofer IBP

Schule	Tito Maccio Plauto Schule, Cesena, I	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	6420 m²	
Baujahr	60er	
Schüler	380 - 400	
Wände	Sichtbeton, Ziegel, keine Dämmung	WDVS mit 10/12 cm Dämmung
Fenster	1-fach vergl., Eisenrahmen	2-fach Verglasung, PVC-Rahmen, g/τ
Dach	ungedämmt	20 cm Mineralwolle
Heizung	2 Gaskessel (1972), Radiatoren	Gasbrennwert-kessel, Zonierung
WW-Bereitung	Kessel und Speicher	Kessel + Speicher
Lüftung	Fensterlüftung	5 mech. Lüftung 80% WRG
Beleuchtung	T8	T8
Heizenergie	132 kWh/m²a	25 kWh/m²a
Strom	11 kWh/m²a	0 kWh/m²a

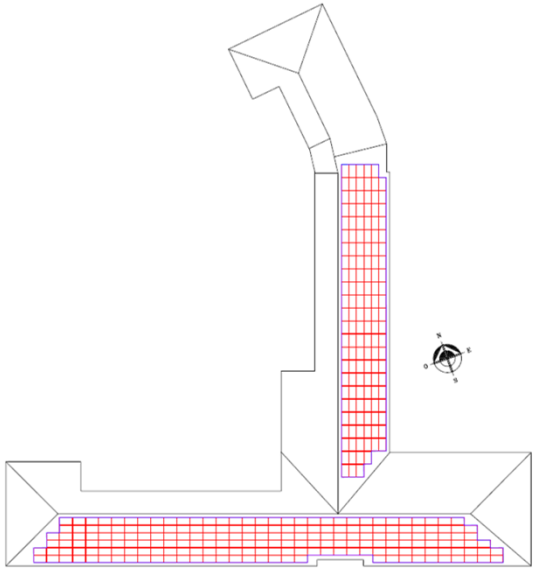
Schule	Tito Maccio Plauto Schule, Cesena, I	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	6420 m²	
Baujahr	60er	
Schüler	380 - 400	
Wände	Sichtbeton, Ziegel, keine Dämmung	WDVS mit 10/12 cm Dämmung
Fenster	1-fach vergl., Eisenrahmen	2-fach Verglasung, PVC-Rahmen, g/τ
Dach	ungedämmt	20 cm Mineralwolle
Heizung	2 Gaskessel (1972), Radiatoren	Gasbrennwert-kessel, Zonierung
WW-Bereitung	Kessel und Speicher	Kessel + Speicher
Lüftung	Fensterlüftung	5 mech. Lüftung 80% WRG
Beleuchtung	T8	T8
Heizenergie	132 kWh/m²a	25 kWh/m²a
Strom	11 kWh/m²a	0 kWh/m²a



Schule	Tito Maccio Plauto Schule, Cesena, I	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	6420 m²	
Baujahr	60er	
Schüler	380 - 400	
Wände	Sichtbeton, Ziegel, keine Dämmung	WDVS mit 10/12 cm Dämmung
Fenster	1-fach vergl., Eisenrahmen	2-fach Verglasung, PVC-Rahmen, g/τ
Dach	ungedämmt	20 cm Mineralwolle
Heizung	2 Gaskessel (1972), Radiatoren	Gasbrennwert-kessel, Zonierung
WW-Bereitung	Kessel und Speicher	Kessel + Speicher
Lüftung	Fensterlüftung	5 mech. Lüftung 80% WRG
Beleuchtung	T8	T8
Heizenergie	132 kWh/m²a	25 kWh/m²a
Strom	11 kWh/m²a	0 kWh/m²a



Schule	Tito Maccio Plauto Schule, Cesena, I	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	6420 m²	
Baujahr	60er	
Schüler	380 - 400	
Wände	Sichtbeton, Ziegel, keine Dämmung	WDVS mit 10/12 cm Dämmung
Fenster	1-fach vergl., Eisenrahmen	2-fach Verglasung, PVC-Rahmen, g/τ
Dach	ungedämmt	20 cm Mineralwolle
Heizung	2 Gaskessel (1972), Radiatoren	Gasbrennwert-kessel, Zonierung
WW-Bereitung	Kessel und Speicher	Kessel + Speicher
Lüftung	Fensterlüftung	5 mech. Lüftung 80% WRG
Beleuchtung	T8	T8
Heizenergie	132 kWh/m²a	25 kWh/m²a
Strom	11 kWh/m²a	0 kWh/m²a



250 m² / 65 kWp /
100 % Stromdeckung

School of the Future

SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME

Fraunhofer IBP

Hedegaard Schule, Ballerup, DK

© Fraunhofer IBP

Schule	Hedegaard Schule, Ballerup, DK	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	3850 m²	
Baujahr	1972	
Schüler	360	
Wände	Ziegel+7 cm Däm., Wärmebrücken	33 cm Mineralwolle
Fenster	2-fach Verglasung, undicht	3-fach Verglasung
Dach	nicht wasserdicht	25 cm -> Σ 45 cm
Heizung	Fernwärme, Radiatoren	Fernwärme, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	hybrid: natürl./mech.	mechanische Lüftung mit WRG
Beleuchtung	T8, Anwesenheitss.	T8, Test von LEDs
Heizenergie	192 kWh/m²a	46 kWh/m²a
Strom	16 kWh/m²a	12 kWh/m²a

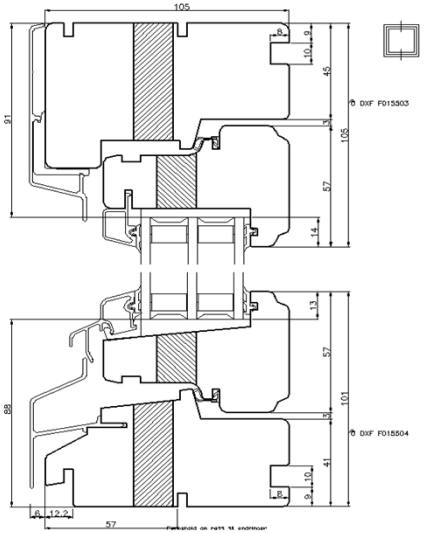
Schule	Hedegaard Schule, Ballerup, DK	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	3850 m²	
Baujahr	1972	
Schüler	360	
Wände	Ziegel+7 cm Däm., Wärmebrücken	33 cm Mineralwolle
Fenster	2-fach Verglasung, undicht	3-fach Verglasung
Dach	nicht wasserdicht	25 cm -> Σ 45 cm
Heizung	Fernwärme, Radiatoren	Fernwärme, Radiatoren
WW-Bereitung	Frischwasserstation	Frischwasserstation
Lüftung	hybrid: natürl./mech.	mechanische Lüftung mit WRG
Beleuchtung	T8, Anwesenheitss.	T8, Test von LEDs
Heizenergie	192 kWh/m²a	46 kWh/m²a
Strom	16 kWh/m²a	12 kWh/m²a

Brandengen Schule, Drammen, N

© Fraunhofer IBP

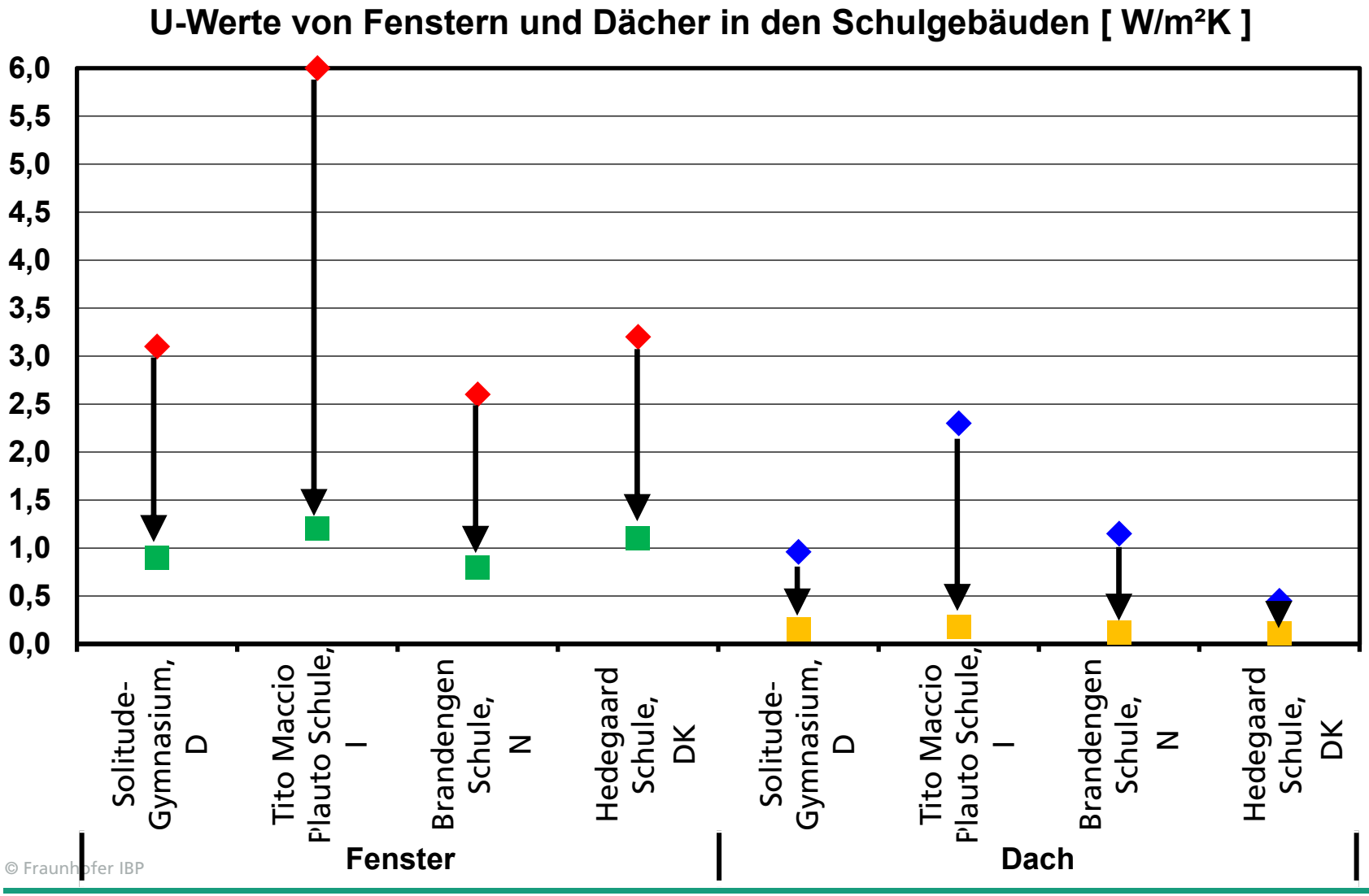
Schule	Brandengen Schule, Drammen, DK	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	7079 m²	
Baujahr	1914 (historisches Gebäude)	
Schüler	370	
Wände	2-schal. Ziegelm. keine Dämmung	innen 2 cm Vakuumdämmung
Fenster	ersetzt ~ 1965, 2-fach Verglasung	Passivhausfenster, 3-fach verglast
Dach	Mansarde unged.	Attikadämm. 30 cm
Heizung	Ölkessel, Radiatoren	Erdreichwärme-pumpe
WW-Bereitung	Ölkessel/elektrisch	Wärmepumpe + el.
Lüftung	3 mech. Lüftung (VVS) mit WRG	3 mech. Lüftung (VVS) mit WRG
Beleuchtung	T5, Anwesenheitss.	T5, Anwesenheitss.
Heizenergie	181 kWh/m²a	42 kWh/m²a
Strom	27 kWh/m²a	26 kWh/m²a

Schule	Brandengen Schule, Drammen, DK	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	7079 m²	
Baujahr	1914 (historisches Gebäude)	
Schüler	370	
Wände	2-schal. Ziegelm. keine Dämmung	innen 2 cm Vakuumdämmung
Fenster	ersetzt ~ 1965, 2-fach Verglasung	Passivhausfenster, 3-fach verglast
Dach	Mansarde unged.	Attikadämm. 30 cm
Heizung	Ölkessel, Radiatoren	Erdreichwärme-pumpe
WW-Bereitung	Ölkessel/elektrisch	Wärmepumpe + el.
Lüftung	3 mech. Lüftung (VVS) mit WRG	3 mech. Lüftung (VVS) mit WRG
Beleuchtung	T5, Anwesenheitss.	T5, Anwesenheitss.
Heizenergie	181 kWh/m²a	42 kWh/m²a
Strom	27 kWh/m²a	26 kWh/m²a



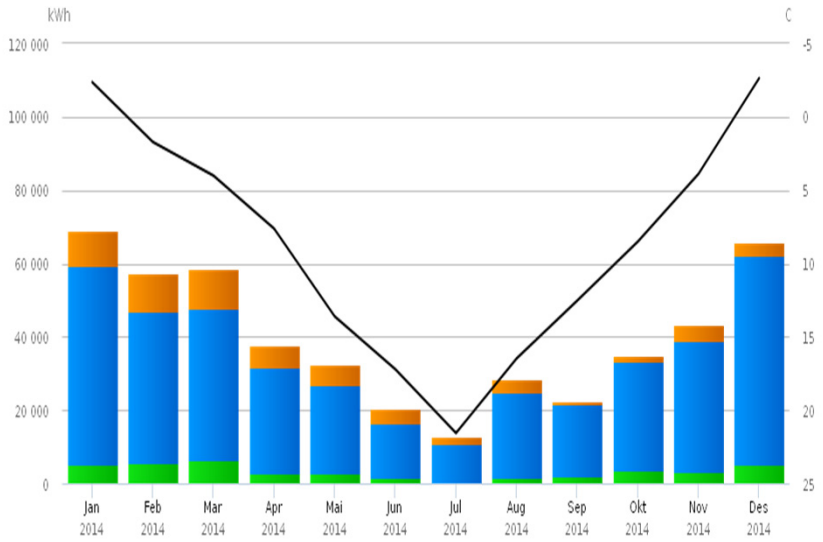
Schule	Brandengen Schule, Drammen, DK	
	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
Nutzfläche	7079 m²	
Baujahr	1914 (historisches Gebäude)	
Schüler	370	
Wände	2-schal. Ziegelm. keine Dämmung	innen 2 cm Vakuumdämmung
Fenster	ersetzt ~ 1965, 2-fach Verglasung	Passivhausfenster, 3-fach verglast
Dach	Mansarde unged.	Attikadämm. 30 cm
Heizung	Ölkessel, Radiatoren	Erdreichwärme-pumpe
WW-Bereitung	Ölkessel/elektrisch	Wärmepumpe + el.
Lüftung	3 mech. Lüftung (VVS) mit WRG	3 mech. Lüftung (VVS) mit WRG
Beleuchtung	T5, Anwesenheitss.	T5, Anwesenheitss.
Heizenergie	181 kWh/m²a	42 kWh/m²a
Strom	27 kWh/m²a	26 kWh/m²a

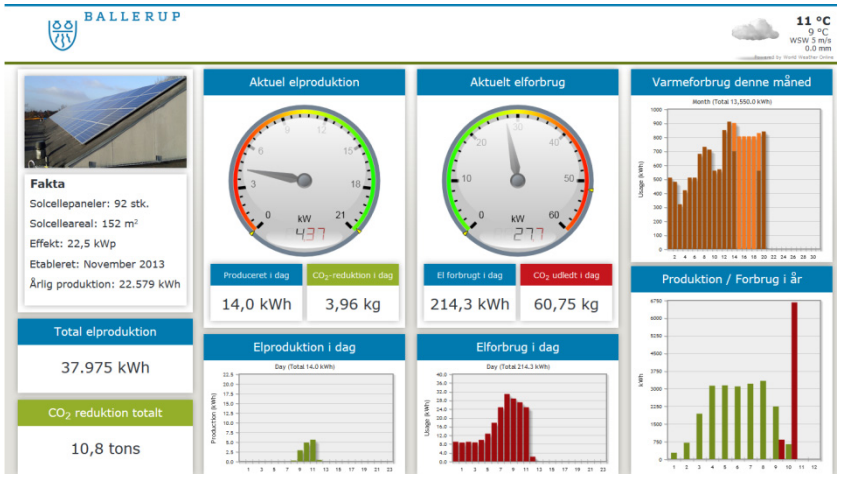
Bauliche Sanierung



© Fraunhofer IBP

Monitoring





© Fraunhofer IBP

Monitoring

Schule		Solitude Gymnasium, Stuttgart, D			Tito Maccio Plauto Schule, Cesena, I		
Endenergie [kWh/m²a]		Heizung + WW	Strom	Summe	Heizung + WW	Strom	Summe
Berech-nung	Vor Sanierung	213	12	225	132	11	143
	Nach Sanierung	53	5	58	25	0	25
	Einsparung	75 %	(62 %)	74 %	81 %	(100 %)	83 %
Messung	Vor Sanierung	153	24	177	159	11	170
	Nach Sanierung	(98)	(17)	(115)	34	0	34
	Einsparung	(36 %)	(29 %)	(35 %)	78 %	(100 %)	80 %
Zieleinsparung		75 %	-	67 %	75 %	-	67 %

© Fraunhofer IBP

Monitoring

Schule		Hedegaard Schule, Ballerup, DK			Brandengen Schule, Drammen, N		
Endenergie [kWh/m²a]		Heizung + WW	Strom	Summe	Heizung + WW	Strom	Summe
Berech-nung	Vor Sanierung	192	16	208	181	27	208
	Nach Sanierung	46	12	58	42	26	68
	Einsparung	76 %	(25 %)	72 %	77 %	(3 %)	67 %
Messung	Vor Sanierung	192	16	208	-	-	-
	Nach Sanierung	60	10	70	39	32	71
	Einsparung	69 %	(38 %)	66 %	78 %	(-19 %)	66 %
Zieleinsparung		75 %	-	67 %	75 %	-	67 %

© Fraunhofer IBP

Lessons Learned

Solitude-Gymnasium	• Bestandsgebäude und Bestandssysteme können nicht immer wie angedacht energetisch verbessert werden
	  • Photovoltaik auf dem Dach
	  • Lüftungsanlage der Sporthalle
	• Lüftungsanlagen müssen korrekt einreguliert werden
	• Fenster sollten auch bei vorhandenen Lüftungsanlagen öffenbar sein

Hedegaard Schule	• Schrittweise Sanierung (jeweils 2 Klassenzimmer) hat gut funktioniert • Blei und PCB in den alten Fenstern erhöhten die Kosten und verzögerten den Ablauf • Zielwerte der Energieeinsparungen eingehalten
Tito Maccio Plauto Schule	• Neues Sanierungslevel für die Schulen in Cesena • Zielwerte der Energieeinsparungen eingehalten
Brandengen Schule	• 3-fach-Verglasung in Passivhausrahmen geht auch in historischen Gebäuden

- Innenraumkomfort wurde verbessert in allen Schulen
- Die Sanierungen kosteten mehr als 100 €/m²

© Fraunhofer IBP

Weitere Projektergebnisse

www.school-of-the-future.eu

- Berichte:
  - Dokumentation der Planungsphase
  - Bewertung des Raumklimas: Fragebögen und Messleitfaden
  - Ausgewählte Veröffentlichungen und Projekte zu Energieeffizienz und Raumklima -> Datenbank und Links
  - Ergebnisse des Technologie-Screenings
  - Dokumentation der Demonstrationsgebäude inkl. Messergebnisse
- Bautagebuch
- Schulsanierungsleitfäden:
  - Innenraumkomfort / Baukonstruktion / Technische Gebäude-ausrüstung / Lösungsansätze für Nullenergieschulen
- Informationstool
- Nutzertrainingsmaterial: Schüler, Lehrer und Hausmeister
- „School of the Future“ Plattform auf EU BUILD UP: www.buildup.eu/communities/schoolfuture

© Fraunhofer IBP