

**Bremer Energiekonsens**

# **Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten**

**Hochschule Magdeburg-Stendal  
Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow**

**Bremen, Februar 2019**



Bild: Seinblock Architekten

# **Eckdaten**

**Bauherr, Nutzung, Flächen, Kosten**

# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

## St. Franziskus Grundschule Halle/Saale



Bilder: HS Magdeburg/Stendal



unter dem Förderkennzeichen  
FKZ 03274300  
gefördert durch das:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Überblick Projektdaten

### Bauherrin

Edith-Stein-Schulstiftung  
des Bistums Magdeburg

### Projekttablauf

2011	Monitoringkonzept
2012	Baubeginn
2014	Eröffnung
2015-18	Datenerfassung

### Projektlaufzeit Monitoring

01.04.2013 – 31.03.2018

### Kosten

KG	Kosten brutto [€]
100	0
200	180.961
300	4.075.856
400	1.356.480
500	644.574
600	474.944
700	1.468.446
	<b>8.201.263</b>

davon 12,4 % gefördert

## **Überblick Projektdaten**

Förderung eingebettet in das Programm EnEff:Schule des BMWi

### **Begleitforschung**

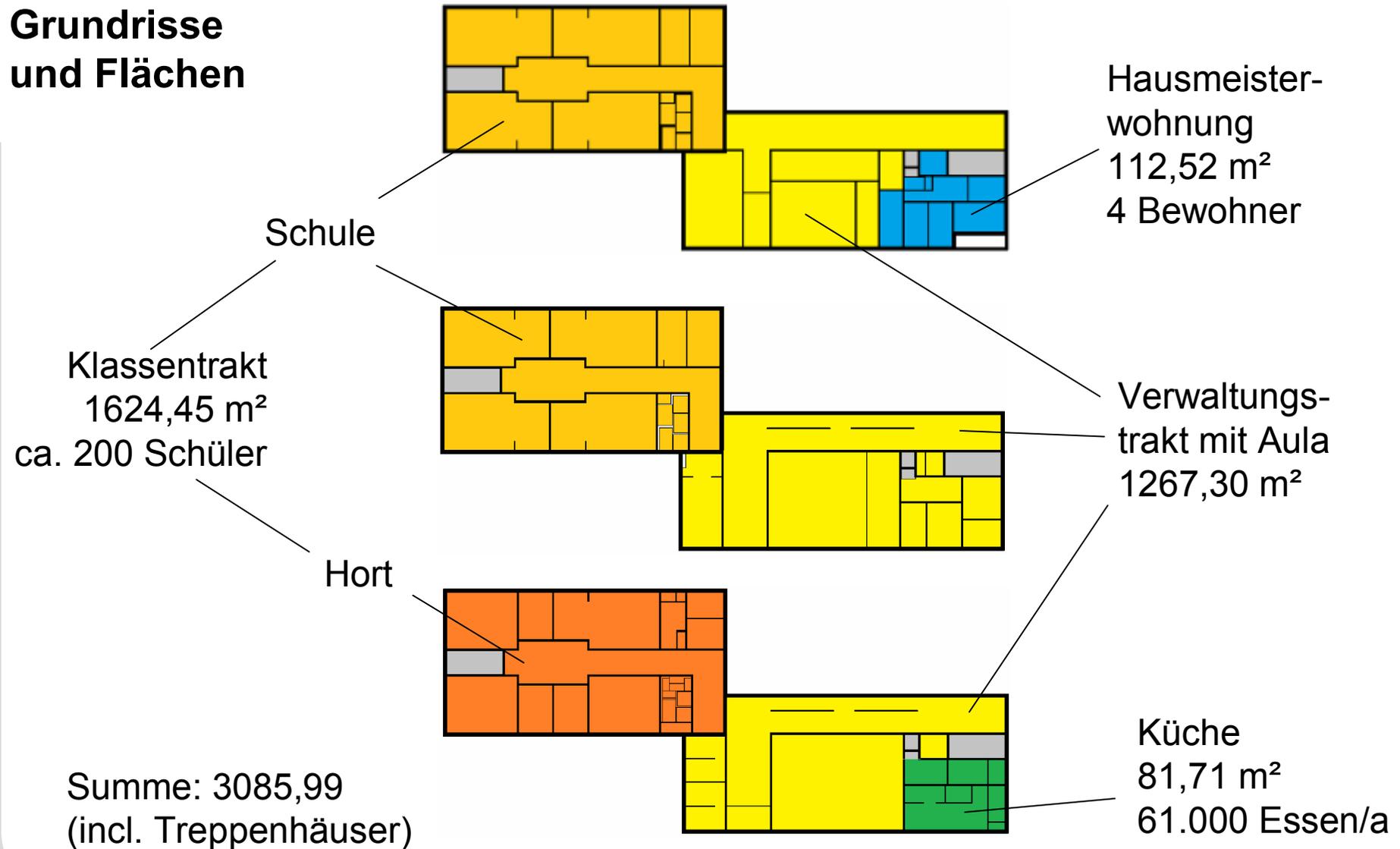
- IREES (Sozialforschung)
- Hochschule München, Uni Wuppertal (Bauforschung)
- Fraunhofer Bauphysik IPB Stuttgart (Gesamtkoordination)

### **Team**

- im Rahmen des Monitorings knapp 200 Beteiligte (Bauherr, Nutzer/Betreiber, Planer/Fachplaner, Förderer, Begleitforschung, Bauamt, Energieversorger, Fachfirmen, Hersteller und Studierende)
- 34 Abschlussarbeiten in den Studiengängen Bachelor „Bauingenieurwesen“, Master „Energieeffizientes Bauen“ und Master „Regenerative Gebäudeenergiesysteme“

# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

## Grundrisse und Flächen



## Nutzung

- Grundschule, 2-zügig
- ca. 180 bis max. 200 Schüler
- Personalstamm von 43 Lehrern, Hortpersonal und Mitarbeitern
- Schulunterricht: 7:30 Uhr bis 12:15 Uhr bzw. 13:45 Uhr
- Hort: 6:00 und 17:00 Uhr
- Schließzeit: 2 Wochen im Sommer, Weihnachten/Neujahr
- Essen: an Schul- und Horttagen

Jahr	gesamt	Schließ- -tage	Schul- -tage	Ferienhort		
				gesamt	große Ferien	kleine Ferien
Ø 2014-2018	365	127	188	51	13	38

# **Baukörper**

**Bauteile und Baustoffe,  
Luftdichtheit, Wärmebrücken,  
Konzept Kastenfenster**

## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bild: Seinblock Architekten

## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bild: Seinblock Architekten

## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bild: HS Magdeburg/Stendal

## Gebäudehülle als Holzkonstruktion

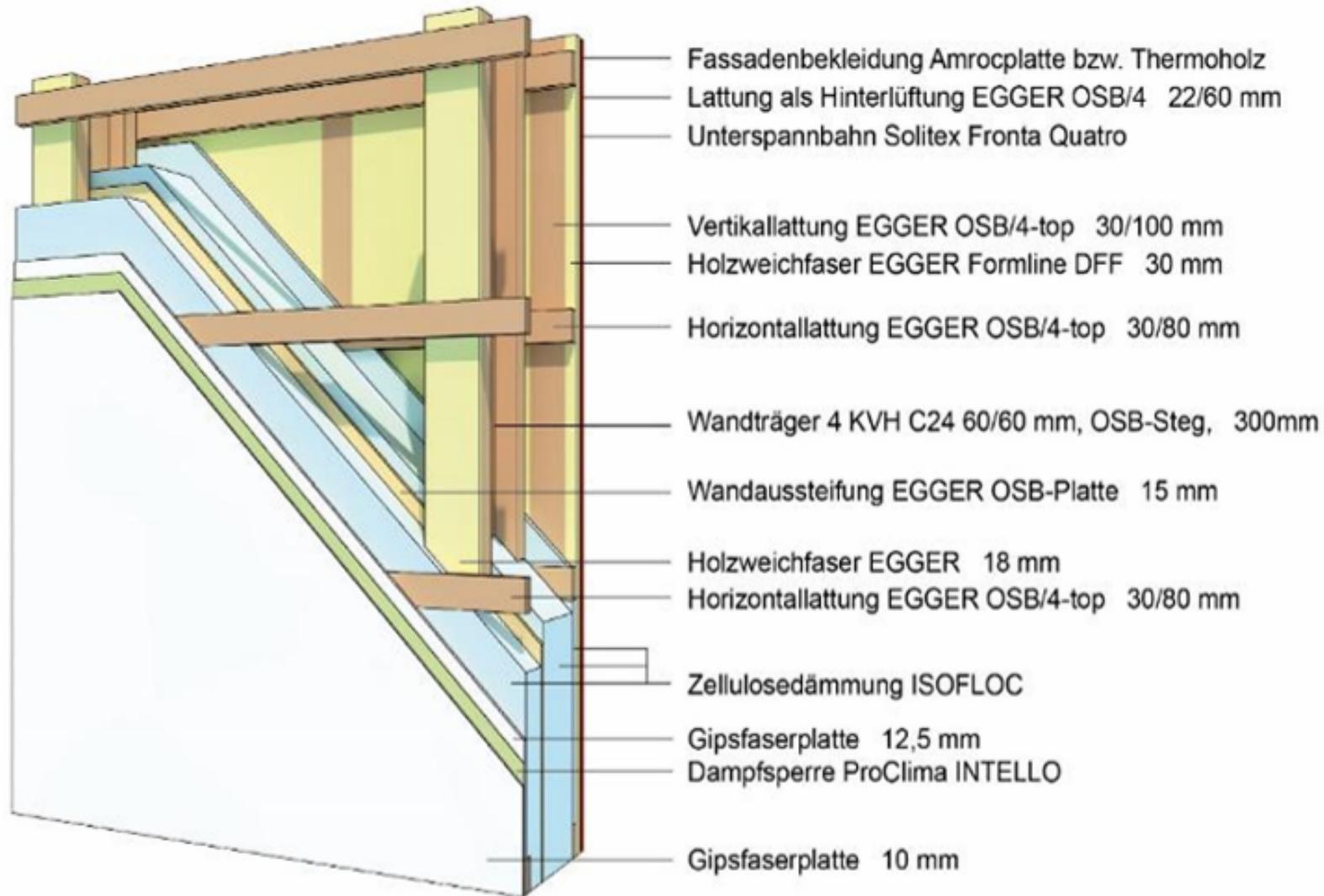


Bild: Uwe Gebhardt

Wärmedurchgangskoeffizienten

Bauteil	U St. Franziskus- Grundschule [W/m <sup>2</sup> K]	Vergleichswert (EnEV 2016) [W/m <sup>2</sup> K]	Vergleichswert (Passivhaus- Anforderung) [W/m <sup>2</sup> K]
Bodenplatte	0,092	0,35	0,15
Bodenplatte Treppenhaus	0,125	0,35	0,15
Außenwand Standard	0,117	0,28	0,15
Außenwand Brandwand	0,110	0,28	0,15
Außenwand in Verlängerung der Brandwand	0,103	0,28	0,15
Außenwand als Solarwand	0,161	0,28	0,15
Dach (2 % Gefälle)	0,104	0,20	0,15
Dach an Balkon	0,135	0,20	0,15
Fenster	0,60	1,30	0,80

Wärmebrücken (berechnet für 60 Details):  $\Delta U_{WB} = -0,001 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

## Betriebsergebnisse Feuchteschutz Wand

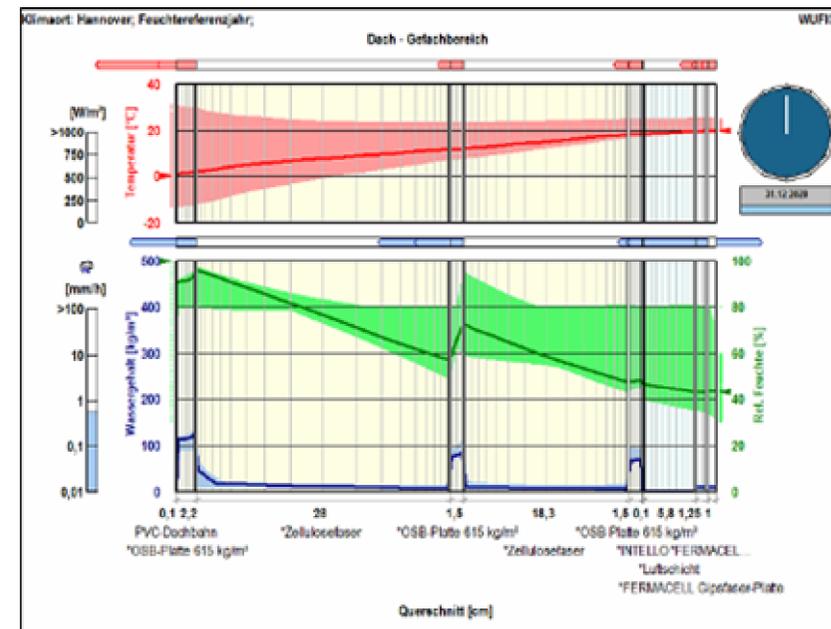
- messtechnisch keine Auffälligkeiten, jedoch ab 2017 keine Messwerte mehr (unklares Problem)
- Außenwand: Dampfbremse zwischen den beiden Gipsfaserplatten raumseitig der Installationsebene (Beschädigung vorprogrammiert)  
→ nicht nachahmen
- allerdings ergibt die Berechnung der Wand, dass die OSB-Platten für den Feuchteschutz gereicht hätten  
→ kostengünstiger ohne Dampfbremse



Bauteil mit Modifikationen  
empfehlenswert

## Betriebsergebnisse Feuchteschutz Dach

- messtechnisch keine Auffälligkeiten, jedoch ab 2017 keine Messwerte mehr (unklares Problem)
- Simulation zeigt grenzwertige Wassergehalte im Bereich der oberen OSB-Lage (Einbaufeuchte unklar)
- kritisch: Bekiesung und PV-Anlage (Verschattung) oberseitig
- günstig: wasserdampfvariable Dampfbremse raumseitig, luftdicht

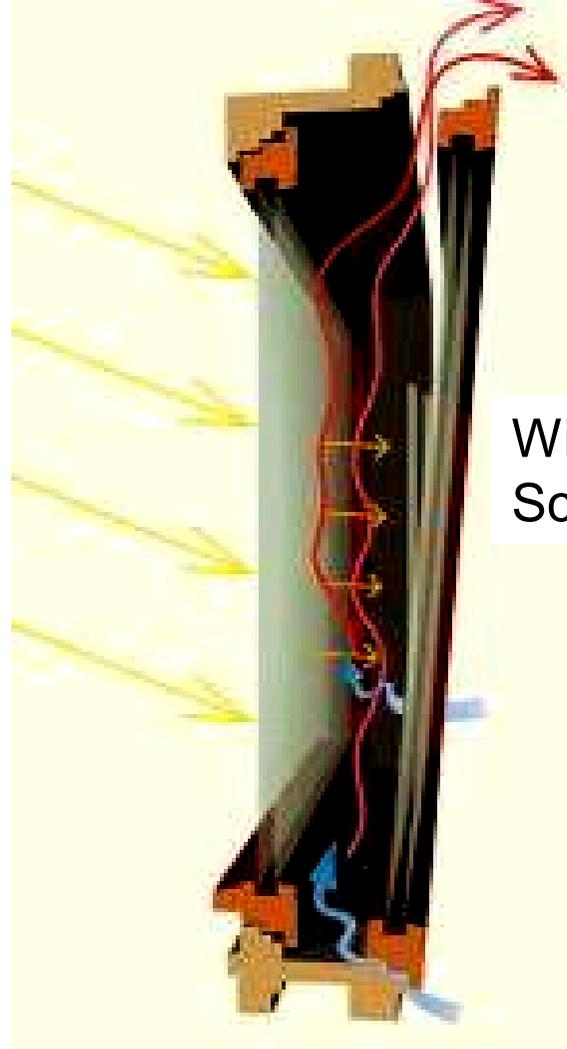


Bauteil weiter  
beobachten

## Kastenfenster mit innenliegender Jalousie - Funktionsprinzip



Sommer: außen offen,  
Silberseite außen



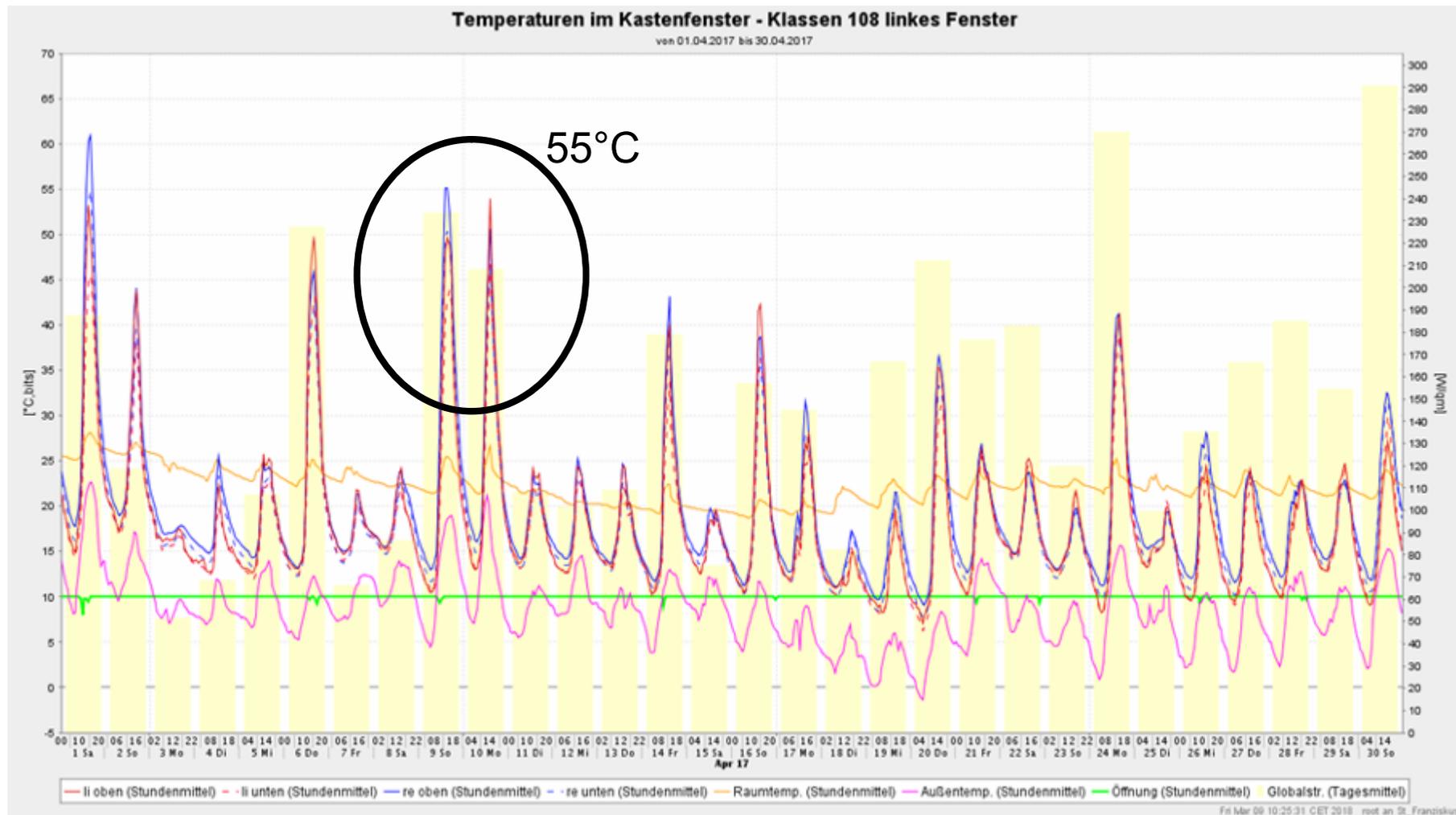
Winter: innen offen,  
Schwarze Seite außen

Bilder: Naumann & Stahr

## Betriebsergebnisse Kastenfenster

- winterliche Wärmepufferung des Fensterkastens ist messtechnisch nachweisbar (für die Südräume)
- Kritisch ist der Sommerfall: wird das äußere Fenster nicht rechtzeitig geöffnet, steigt die Temperatur im Kasten auf so hohe Werte ( $> 60\text{ °C}$ ), dass die Fenstergriffe des äußeren Flügels nicht mehr gefahrlos angefasst werden können
- den Lehrern wird ein ständiges Öffnen und Schließen nach Wetterlage nicht zugemutet, insbesondere die 6 Außenflügel je Klassenraum lassen sich nur bedienen, wenn die 6 Innenflügel offen sind (und die Fensterbank dafür beräumt...)
- Realbetrieb: Hausmeister leitet mit dem pauschalen Öffnen der Außenflügel im Frühjahr den Sommer ein und im Herbst den Winter (unabhängig vom wirklichen Bedarf)

## Temperaturen im Kasten bei Sonneneinstrahlung



## Betriebsergebnisse Kastenfenster

- allgemein: mit 1,25 m Flügelbreite Verletzungsgefahr im Innenraum  
→ schmaler Öffnungsflügel günstiger
- guter Schutz der Jalousie vor Witterung und Vandalismus
- schlechterer sommerlicher Wärmeschutz (Stauwärme) als bei Außenjalousie
- bei einigen Fenstern: das Schließen des Innenflügels führt auch zu einem Zudrücken des Außenflügels (lichter Abstand zu gering)



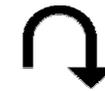
Bild: HS Magdeburg/Stendal



ambivalent  
diskutiert, im Schulbau eher  
nicht nachahmenswert

## Betriebsergebnisse Luftdichtheit

- Messung am 28.01.2014:  $n_{50} = 0,24$  1/h (Baufertigstellung)
- Messung am 06.01.2017:  $n_{50} = 0,26$  1/h (Nachmessung Monitoring)



sehr gut gelungen,  
voraussichtlich  
auch langfristig

Bilder: Philipp Weingart

## Betriebsergebnisse Schallschutz

- Messung der schallentkoppelten Innenwand zwischen 2 Klassenräumen:

→  $R'_w = 54$  dB (Ziel > 47 dB)

- Messung der schallentkoppelten Decke zwischen 2 Klassenräumen:

→  $R'_w = 63 \dots 65$  dB (Ziel > 55 dB) Luftschalldämmmaß

→  $L'_{n,w} = 52$  dB (Ziel 53 dB) Trittschall



Bild: HS Magdeburg/Stendal

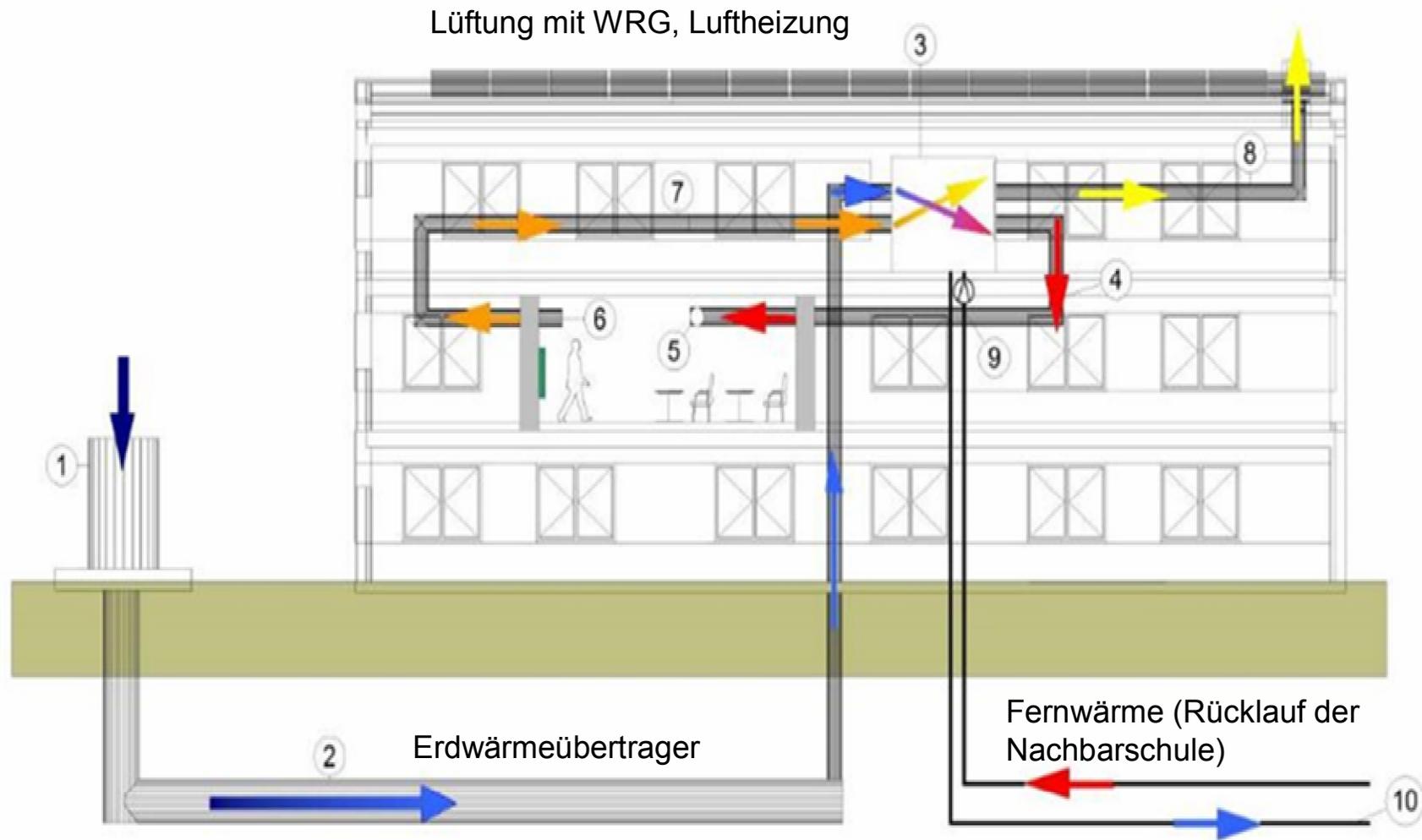


sehr gut gelungen,  
nachahmenswert

# **Heizung und Lüftung**

## **Lüftungsanlagen, Heizungskonzept**

## Konzept



## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bild: Seiblock Architekten

## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bilder: HS Magdeburg/Stendal

## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bilder: HS Magdeburg/Stendal

# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



## 7 Lüftungsanlagen für 5 Lüftungszonen

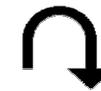
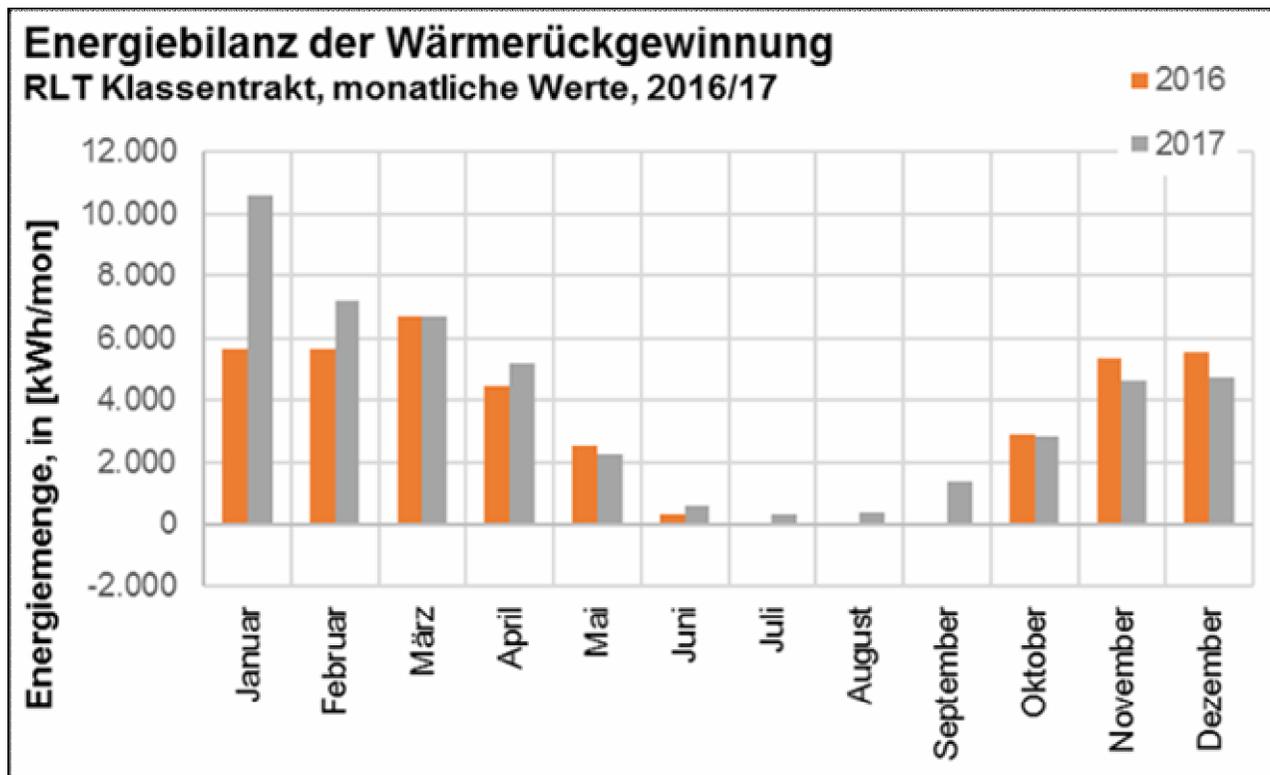


Fernwärmeheizregister  
in den Lüftungsanlagen ( $\Sigma$  100 kW)  
Hausmeisterwohnung mit  
Elektrolufterhitzern ( $\Sigma$  1,6 kW )

## Ergebnisse Wärmerückgewinnung mit Umschalt Speicher

Wärmeübertragung (2 Hauptlüftungsanlagen): 105,3 MWh/a  
zum Vergleich: 25,6 MWh/a für Fernwärme

max. 82 % Wirkungsgrad (Prognose: 92 %)

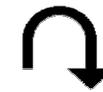
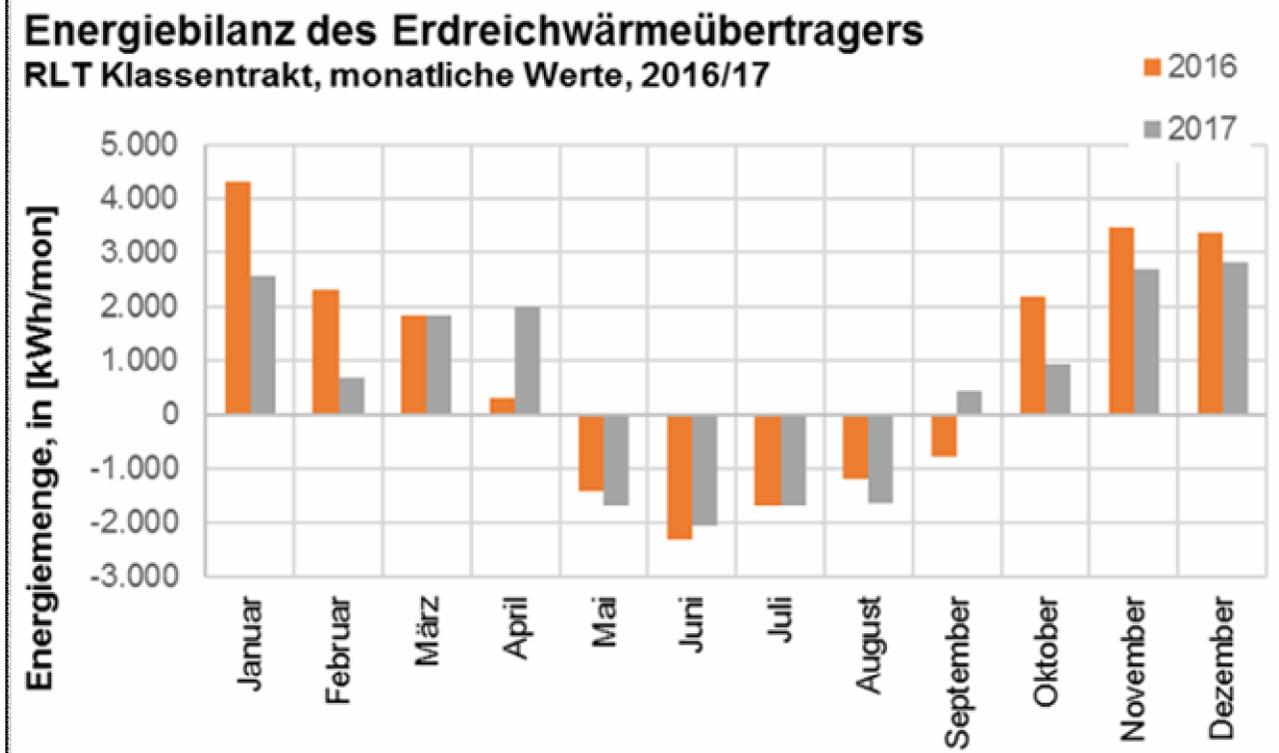


technisch und  
wirtschaftlich  
sinnvoll

## Ergebnisse Erdreichwärmeübertrager

Winter Luftvorwärmung:  
27,9 MWh/a (Prognose: 29,6 MWh/a)  
Sommer Vorkühlung:  
18,0 MWh/a (Prognose: 1,2 MWh/a)

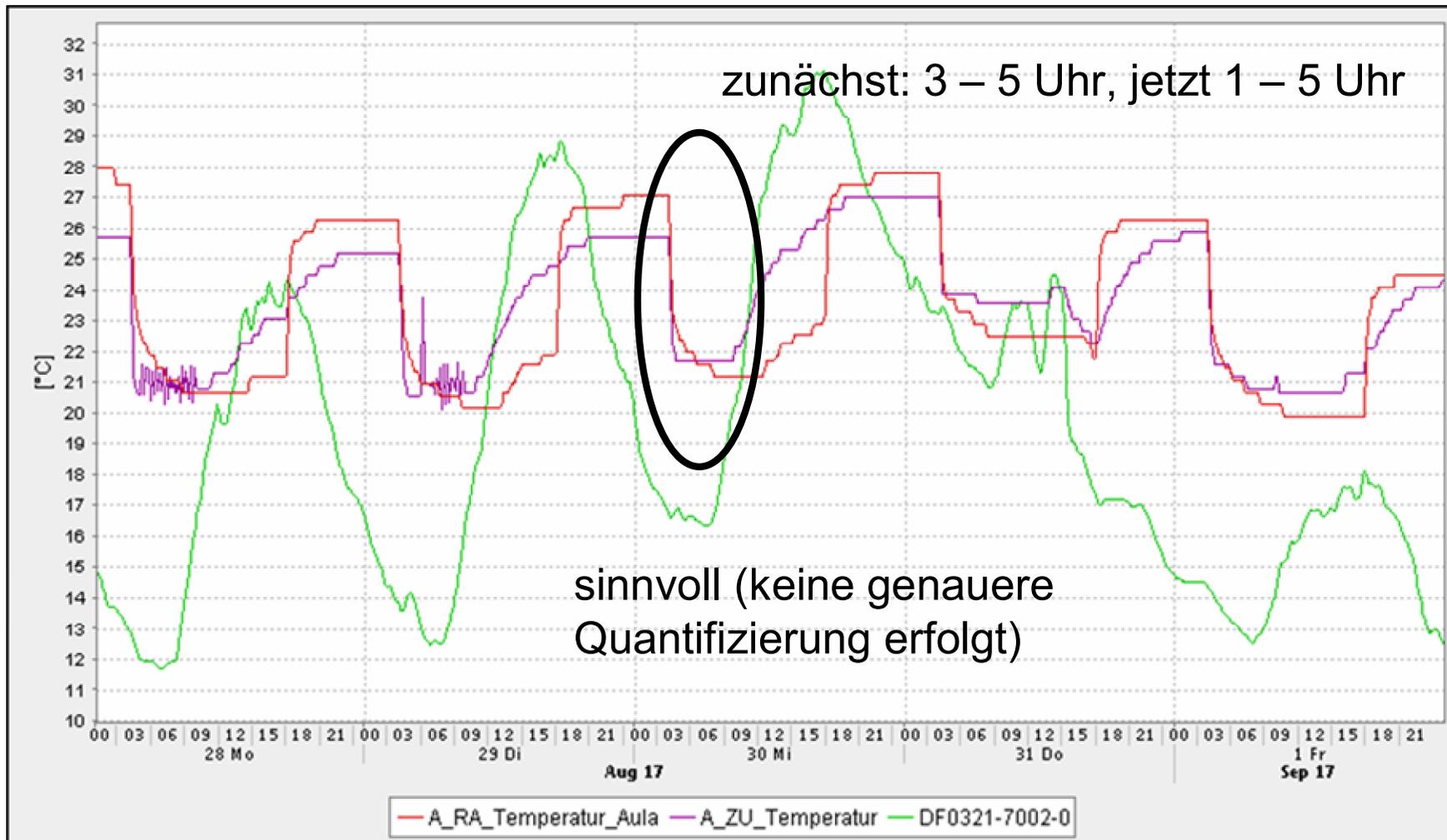
Investitionskosten  
incl. Baunebenkosten: 196.000 €  
Schadensfall vor  
Inbetriebnahme : +221.000 €



technisch  
bedenklich,

wirtschaftlich  
nicht sinnvoll

## Ergebnisse der sommerlichen Nachtkühlung/-lüftung



## Ergebnisse Ventilatoren

- RLT Klassentrakt: 16,3 MWh/a, Klasse SFP3, 1128 bzw. 1163 W/(m<sup>3</sup>/s)
- RLT Verwaltung: 19,7 MWh/a, Klasse SFP3, 1256 bzw. 814 W/(m<sup>3</sup>/s)
- Wohnungslüftung: 0,95 MWh/a
- Küchengrundlüftung: 1,3 MWh/a
- Koch- und Spülhaube: 2,2 MWh/a



technisch in Ordnung,  
aber Verbesserungspotential  
(bei Leistung und Laufzeit)

## Ergebnisse Fernwärme-Rücklaufauskühlung

- Rücklaufwärmennutzung der Nachbarschule (Reihenschaltung der Anschlüsse)
- Umschaltbarkeit auf Vorlauf möglich (Parallelschaltung)



funktioniert  
technisch, aber...  
(siehe Solarthermie)



Bild: HS Magdeburg/Stendal

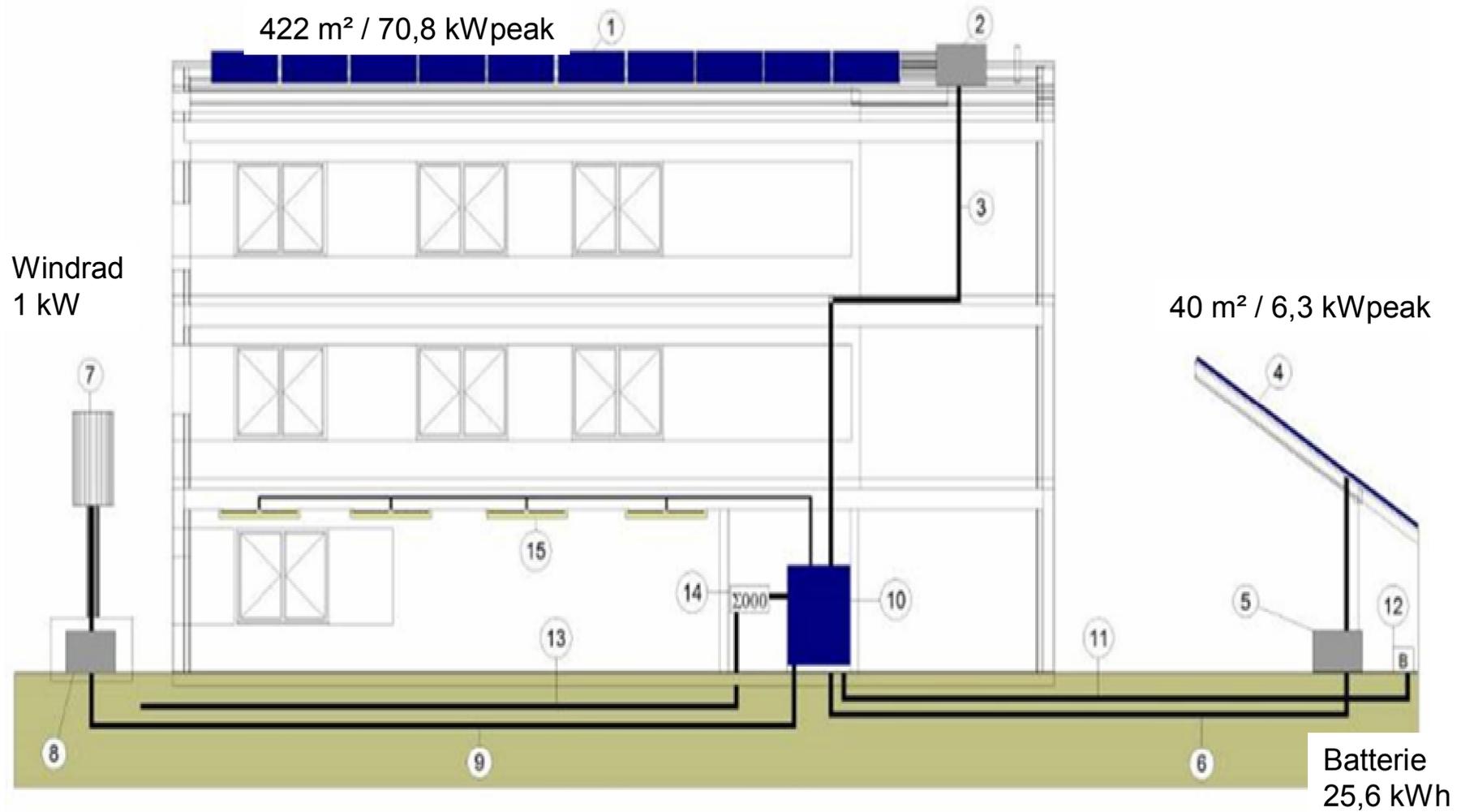
## sonstige Erkenntnisse, Probleme, Optimierungspotentiale

- Aula: minimale Volumenströme zu hoch (ca. 60 % ·  $V_{\max}$ )  
→ zu hoher Ventilatorstromaufwand
- VSR der Räume: keine Voreinstellung der Planwerte (min, max)  
seitens des Herstellers (wäre aber möglich gewesen)  
→ Verschulden von Planer und/oder Ausführendem
- reine Präsenzsteuerung der VSR ausreichend für die Luftgüte,  
aber Entkopplung von Heizung und Lüftung würde deutlich  
Ventilatorstrom sparen
- Auslegung mit 18 ... 19 m<sup>3</sup>/h in den Klassenräumen  
ausreichend für die Luftgüte

# **Stromversorgung**

**Bauteile, Konzept,  
Photovoltaik, Mikrowindkraft**

## Konzept



## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bilder: HS Magdeburg/Stendal

# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

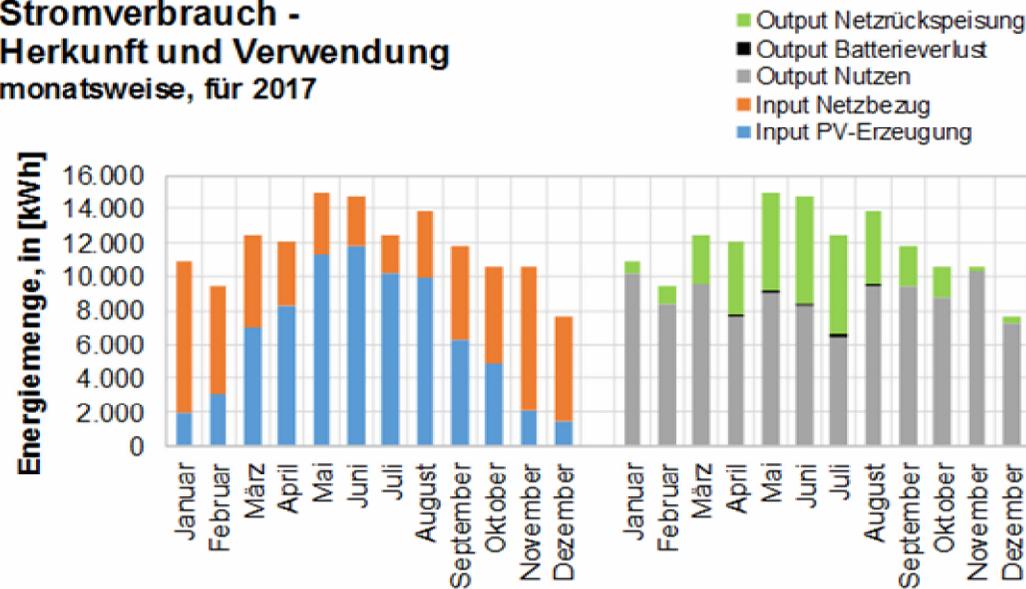


Bilder: HS Magdeburg/Stendal

## Ergebnisse Photovoltaik

- Bedarfsdeckung: Netz 60 ... 64 % & PV 40 ... 36 %
- Produktion: Rückspeisung 43 ... 50 % & Selbstnutzung 57 ... 50 %
- Kosten: 174.000 € (brutto, ohne Planungskosten)
- jährliche Erträge: 11.600 €/a (vermiedene Stromkosten)  
 sowie 4.600 €/a (Einspeisevergütung, 12 Cent/kWh)

**Stromverbrauch -  
 Herkunft und Verwendung  
 monatsweise, für 2017**



technisch  
 problemlos,  
 wirtschaftlich  
 empfehlenswert

## Ergebnisse Mikrowindkraft

- Rotor 3 Meter hoch, Durchmesser 1 Meter, Turbinenfläche 3 m<sup>2</sup>
- ein Ertrag der Anlage ist messtechnisch kaum feststellbar (ca. 25 kWh/a)
- Standbyverbrauch der Wechselrichter und Sicherheitstechnik (von 135 W!) führt dazu, dass der Bedarf des Gerätes (ca. 850 kWh/a) den Ertrag übersteigt
- während der technischen Lösung des Problems: Totalausfall, auf Reparatur wurde verzichtet



technisches Konzept  
bedenklich,  
unwirtschaftlich

## Ergebnisse Batterieanlage

- Erstinstallation 2015: Lithium-Eisenphosphat-Batterie (Sinopoly), nach Fernupdate der Steuerung (SMA) nicht mehr geladen
- 2017: Austausch gegen eine Bleibatterie, Messwerte April – August 2017, dann erneuter Defekt (bis Monitoringende)
- gemessener Gesamtnutzungsgrad (incl. aller Umrichter): 67 %
- Gesamtkosten: 44.000 €



technisches Konzept  
bedenklich,  
Einzeleffizienz schlecht,  
unwirtschaftlich

## Abgleich mit der Simulation

- Simulation: 77,2 MWh/a
- realer Ertrag der beiden Anlagen als Mittelwert der Jahre 2016 und 2017 liegt bei 79,9 MWh/a
- Wirkungsgrad: gemessen 14,7 % (theoretisch 15,1 %)
- Im EnEV-Nachweis mit Bilanzierung nach DIN V 18599 müssen Standardwirkungsgrade verwendet werden; das führt zu einer deutlichen Unterschätzung des Ertrags mit nur 52 MWh/a.

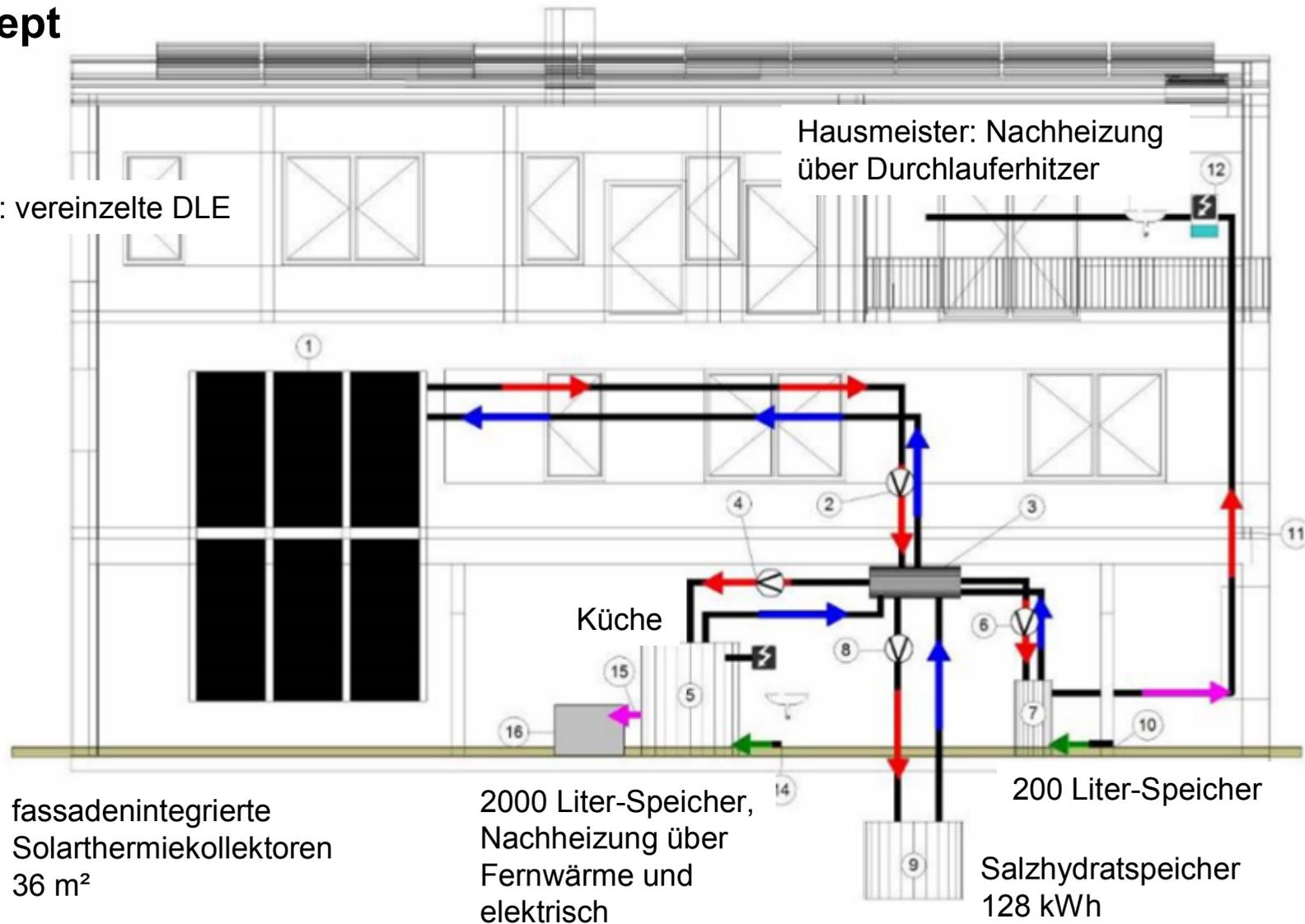
# **Trinkwassererwärmung**

**Bauteile, Konzept,  
Betriebsergebnisse**

# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

## Konzept

Rest: vereinzelte DLE



# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bilder: HS Magdeburg/Stendal

# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bilder: HS Magdeburg/Stendal

## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

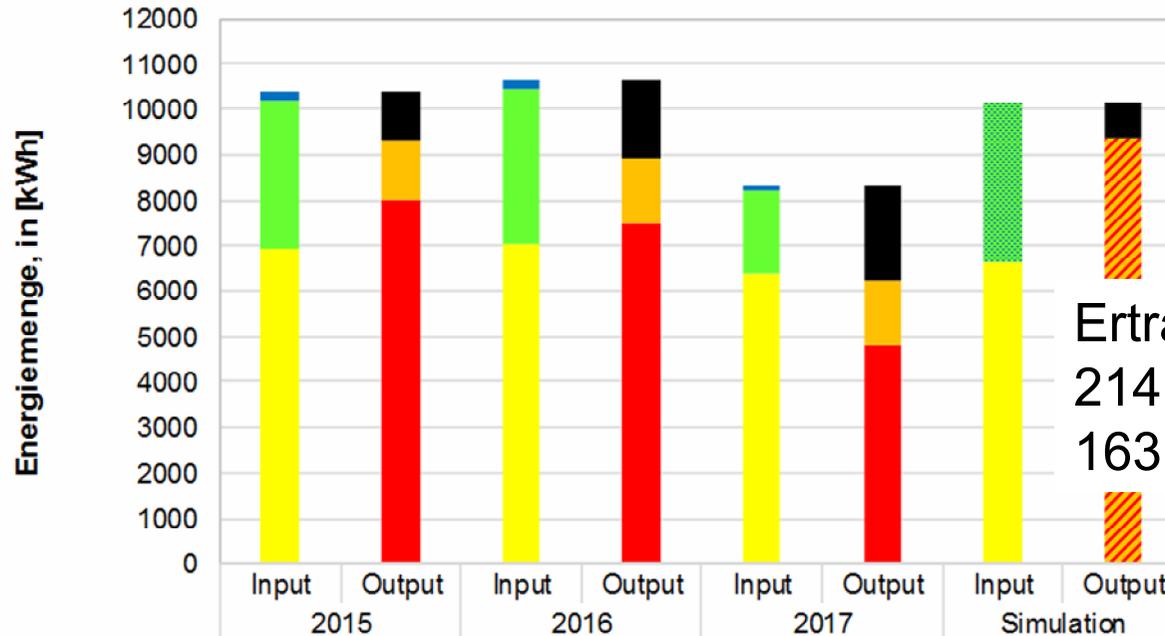


Bilder: HS Magdeburg/Stendal

## Ergebnisse Solarthermie

Warmwasserenergiebilanzen - Messwerte und Simulation

jährlich



Ertrag je Kollektorfläche:  
 214 kWh/(m<sup>2</sup>a) Apertur  
 163 kWh/(m<sup>2</sup>a) Brutto

	Input 2015	Output 2015	Input 2016	Output 2016	Input 2017	Output 2017	Input Simulation	Output Simulation
■ Verluste		1099		1755		2090		768
▨ Nutzwärme								9380
▨ Nutzwärme Hausmeister		1305		1436		1425		
■ Nutzwärme Küche		7996		7473		4804		
■ Elektronachheizung							3494	
■ E-Heizung Hausmeister	193		213		123			
■ E-Heizung Küche	3269		3391		1809			
■ Solarertrag	6938		7059		6387		6654	

Solarertrag:  
 ~ 7000 kWh/a

## Ergebnisse Solarthermie

- Salzhydratspeicher: nicht untersucht, weil nicht in Betrieb (keine solaren Überschüsse vorhanden) – derzeit 500 kWh/a Standby, Inbetriebnahme mit Turnhallenneubau empfohlen
- Nachheizung ausschließlich mit Strom, Umschaltung auf Fernwärme (Hochtemperatur, Parallelschaltung) war geplant, ist gebaut, aber nicht regelungstechnisch eingebunden, daher nur 45°C Fernwärme (Rücklaufauskühlung, Reihenschaltung) verfügbar
- Kosten Solarsystems incl. Speicher und Kollektorfeld (jedoch ohne Salzhydratspeicher) belaufen sich auf 87.500 € (ca. 70 Cent/kWh)

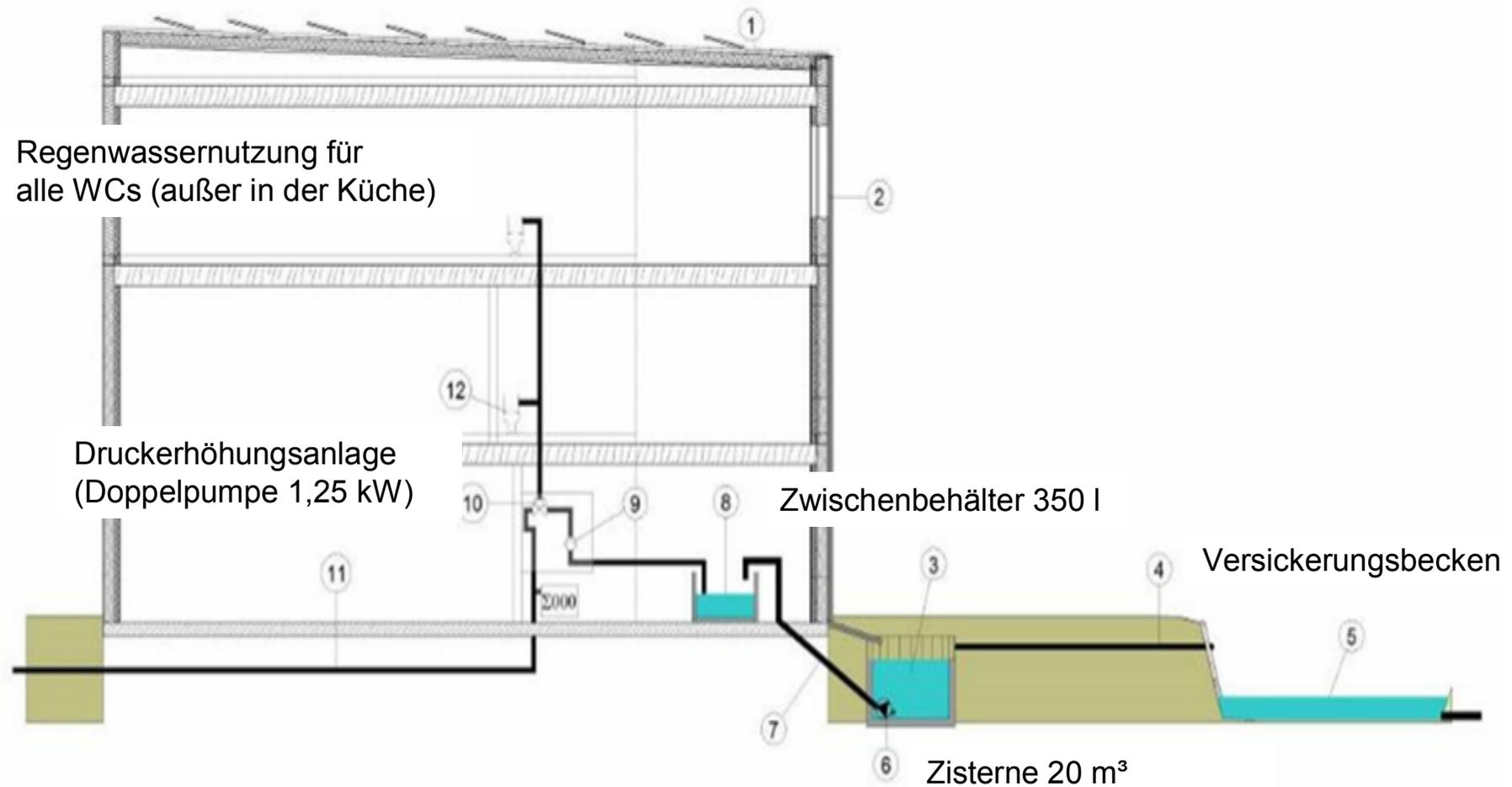


technisch Verbesserungspotential (Regelung)  
vorhanden, mit Fördermitteln machbar,  
sonst deutlich unwirtschaftlich

# **Wasserversorgung**

**Bauteile, Betriebserfahrung**

## Konzept



# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bilder: HS Magdeburg/Stendal

## Passivhauschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bilder: HS Magdeburg/Stendal

## Betriebsergebnisse Regenwassernutzung

- passende Dimensionierung (Dachfläche, Zisterne, Verbrauch)
- 66 % Regenwasseranteil für die WC-Spülung bzw. 30 % des Gesamtwassereinsatzes
- Investitionskosten: 15.700 €
- vermiedener Frischwasserpreis: 1,39 €/m<sup>3</sup>
- Strompreis für Druckerhöhungsanlage: 0,27 €/kWh (Netzstrom) bzw. 0,12 €/kWh (Mischkalkulation incl. PV-Strom)



technisch in Ordnung,  
aber unwirtschaftlich  
(selbst mit 100 % Förderung!)

# **Raumklima**

**Temperaturen, Feuchten,  
CO<sub>2</sub>-Konzentration**

# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



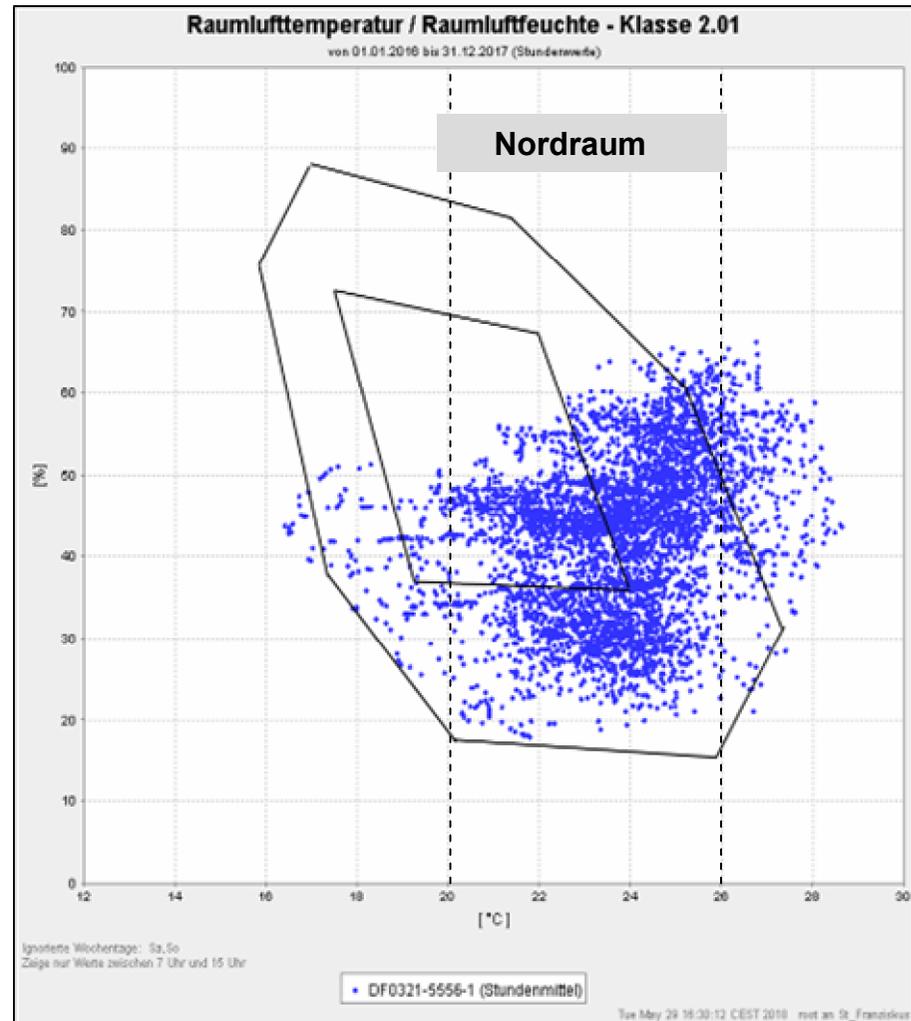
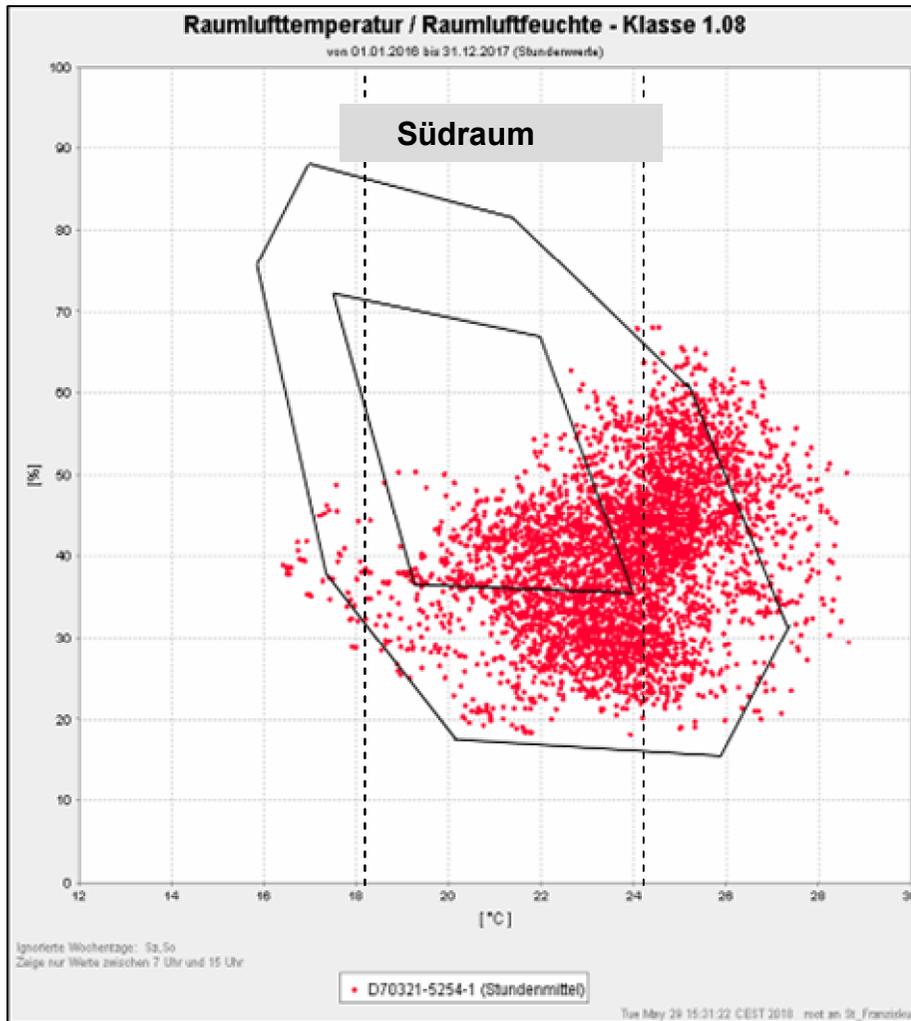
Bilder: HS Magdeburg/Stendal

## Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten



Bilder: HS Magdeburg/Stendal

## Betriebsergebnisse Behaglichkeitsfeld für 2 Referenzklassenzimmer



## Betriebsergebnisse Über- und Untertemperaturen

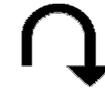
	Jahr 2016				Jahr 2017			
	> 27°C [Kh]	> 26°C [h]	> 25°C [h]	< 20°C [h]	> 27°C [Kh]	> 26°C [h]	> 25°C [h]	< 20°C [h]
<b>Raum 1.08 (Süd)</b> <i>Nutzungszeit 7-15 Uhr</i>	56	169	399	5	22	110	346	38
		9,9%	23,5%	0,3%		6,3%	19,8%	2,2%
<b>Raum 2.01 (Nord)</b> <i>Nutzungszeit 7-15 Uhr</i>	0,1	35	208	166	Datenlücken			
		2,1%	12,2%	9,8%				
<b>Hort 0.01 (Nord)</b> <i>Nutzungszeit 6-17 Uhr</i>	0	0	51	393	0	0	22	322
			1,8%	13,6%		0,0%	0,8%	11,3%

- Temperaturen im Winter häufiger zu niedrig (v. a. im Nordraum)
- im Sommer hin und wieder zu hoch (v. a. im Südraum)

## sonstige Erkenntnisse, Probleme, Optimierungspotentiale

- es gibt nur eine Zulufttemperatur für alle Zuluft Räume einer Lüftungszone, egal welche Himmelsrichtung der Raum hat
- bis 2018: Konstant-Zulufttemperaturregelung mit Sollwertvorgabe durch den Hausmeister → seitdem Kaskadenregelung nach Außentemperatur
- Nachtlüftung im Klassentrakt zwischenzeitlich versehentlich deaktiviert (Sommer 2017 keine Funktion)
- bis 2015 alle Klassenräume der falschen Himmelsrichtung zugeordnet, danach bis 2018 alle Horträume (während der morgendlichen Aufheizung), daher unpassende Aufheizung
- Referenzraumfühler "Nord" nicht frei im Raum, sondern im Sicherungskasten

## Empfehlung zur Lüftung und Heizung



- eine Entkopplung von Heizung und Lüftung ist empfehlenswerter als das untersuchte Luftheizungskonzept
- alle Räume der Hauptnutzung könnten dann konsequent mit VSR ausgestattet werden, so dass kein unnötiger Volumenstrom bei Nutzerabwesenheit entsteht
- alle Flure und Nebenräume würden dauerhaft durchlüftet, aber auf sehr viel geringerem Niveau als derzeit, weil der Volumenstrom sich nicht nach dem Heizbedarf richten müsste
- eine Übersteuerung für die Zeit einer gebäudeweiten Vorspülung kurz vor Eintreffen der Nutzer könnte erfolgen – anhand der Volumenstromregler auch zeitlich gestaffelt für Hort, Büro und Klassenräume
- mit raumweise notwendigen Heizflächen (Heizkörpern) ließe sich in jedem Raum eine Einzelraumregelung realisieren

## Betriebsergebnisse Raumluftqualität

	Jahr 2016		Jahr 2017		01.01.-31.08.2018	
	> 1000 ppm [h]	> 1500 ppm [h]	> 1000 ppm [h]	> 1500 ppm [h]	> 1000 ppm [h]	> 1500 ppm [h]
<b>Raum 1.08</b> (Klasse Süd)	307	3	515	67	332	60
	18,0%	0,2%	29,5%	3,8%	30,2%	5,5%
<b>Raum 2.01</b> (Klasse Nord)	125	0	Datenlücken		445	89
	7,3%	0,0%			41%	8%
<b>Aula 0.26</b>	14	0	1	0	2	0
	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%

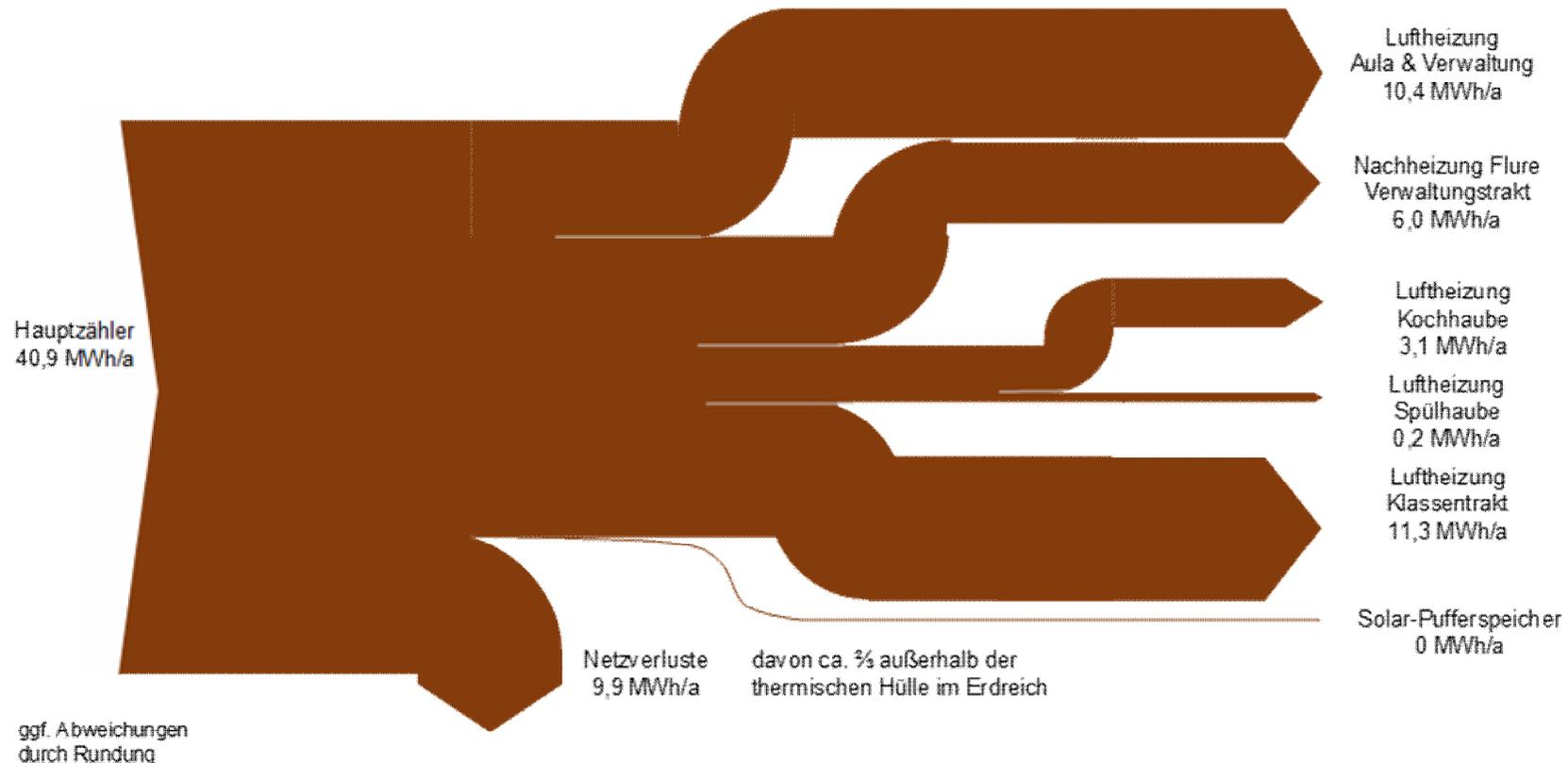
in beiden gemessenen Klassenräumen und der Aula:  
 gute ... sehr gute Luftqualität (Zeit 7 – 15 Uhr)

# **Energiebilanzen**

**Messwerte des Verbrauchs,  
Bedarf nach EnEV und PHPP**

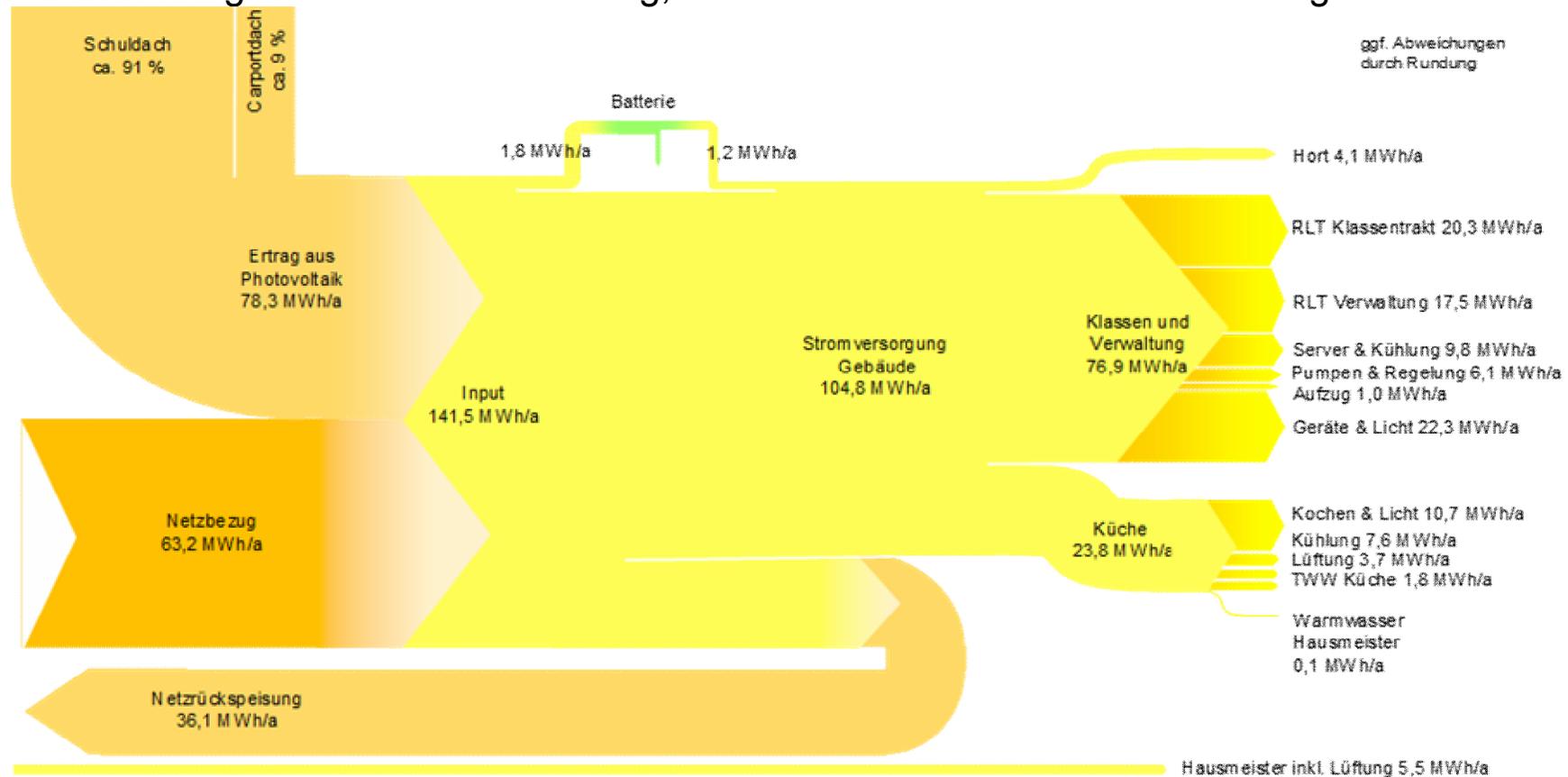
## Sankeydiagramm Fernwärme 2017, witterungskorrigiert

- bezogen auf die Gesamtfläche (3085,99 m<sup>2</sup>): 11,3 kWh/(m<sup>2</sup>a), Mittelwert 2015 bis 2017
- Vergleichskennwert für Schulen nach VDI 3807: 120 kWh/(m<sup>2</sup>a))



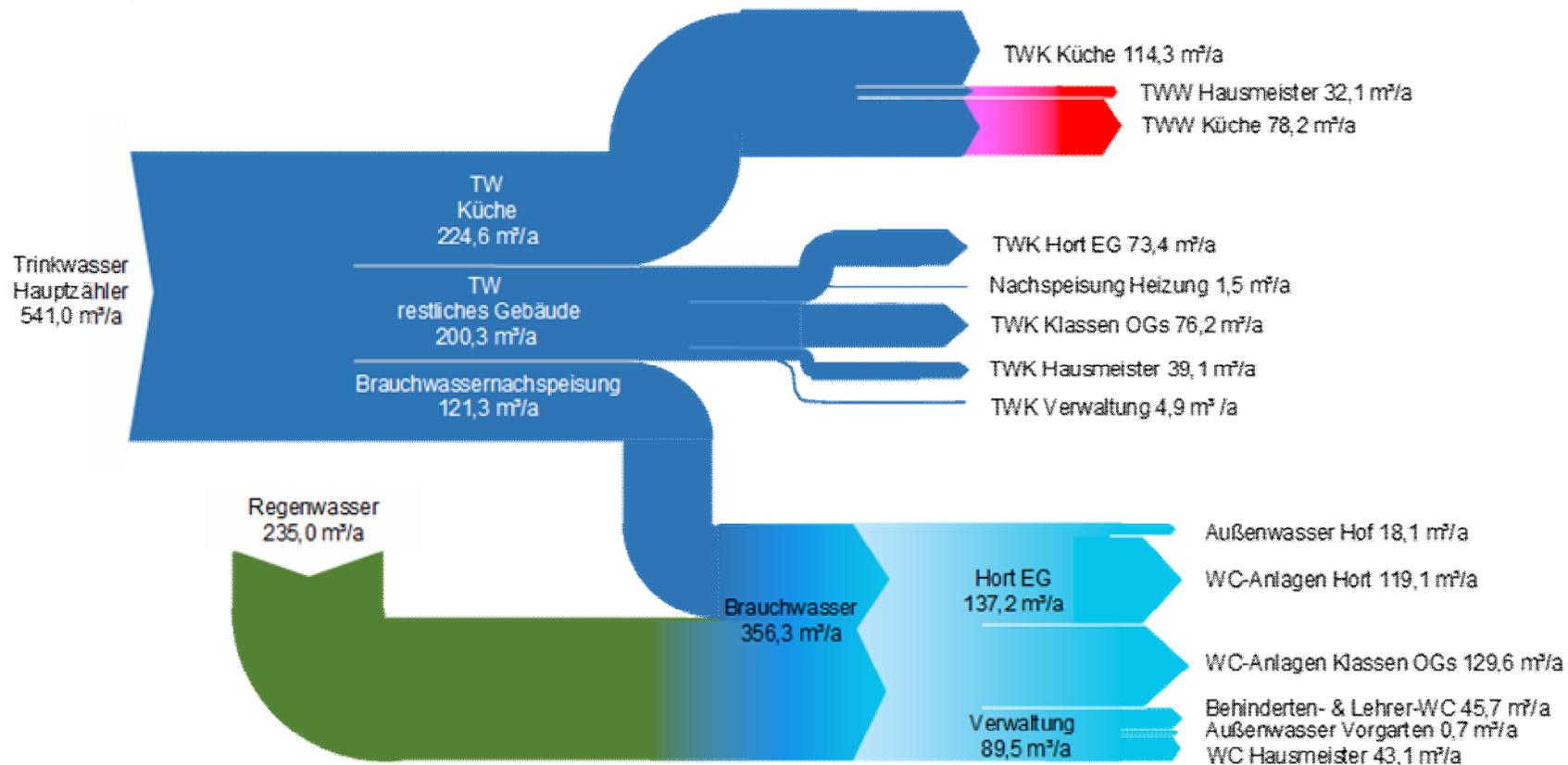
## Sankeydiagramm Strom 2017

- bezogen auf die Gesamtfläche (3085,99 m<sup>2</sup>): 36,3 kWh/(m<sup>2</sup>a), Mittelwert 2015 bis 2017
- nach Abzug der Eigenproduktion bezogen auf die Gesamtfläche: 10,8 kWh/(m<sup>2</sup>a)
- Vergleichskennwert für Schulen nach VDI 3807: 10 kWh/(m<sup>2</sup>a), allerdings im Bundesvergleich meist ohne Lüftung, ohne Küche und mit kürzeren Öffnungszeiten

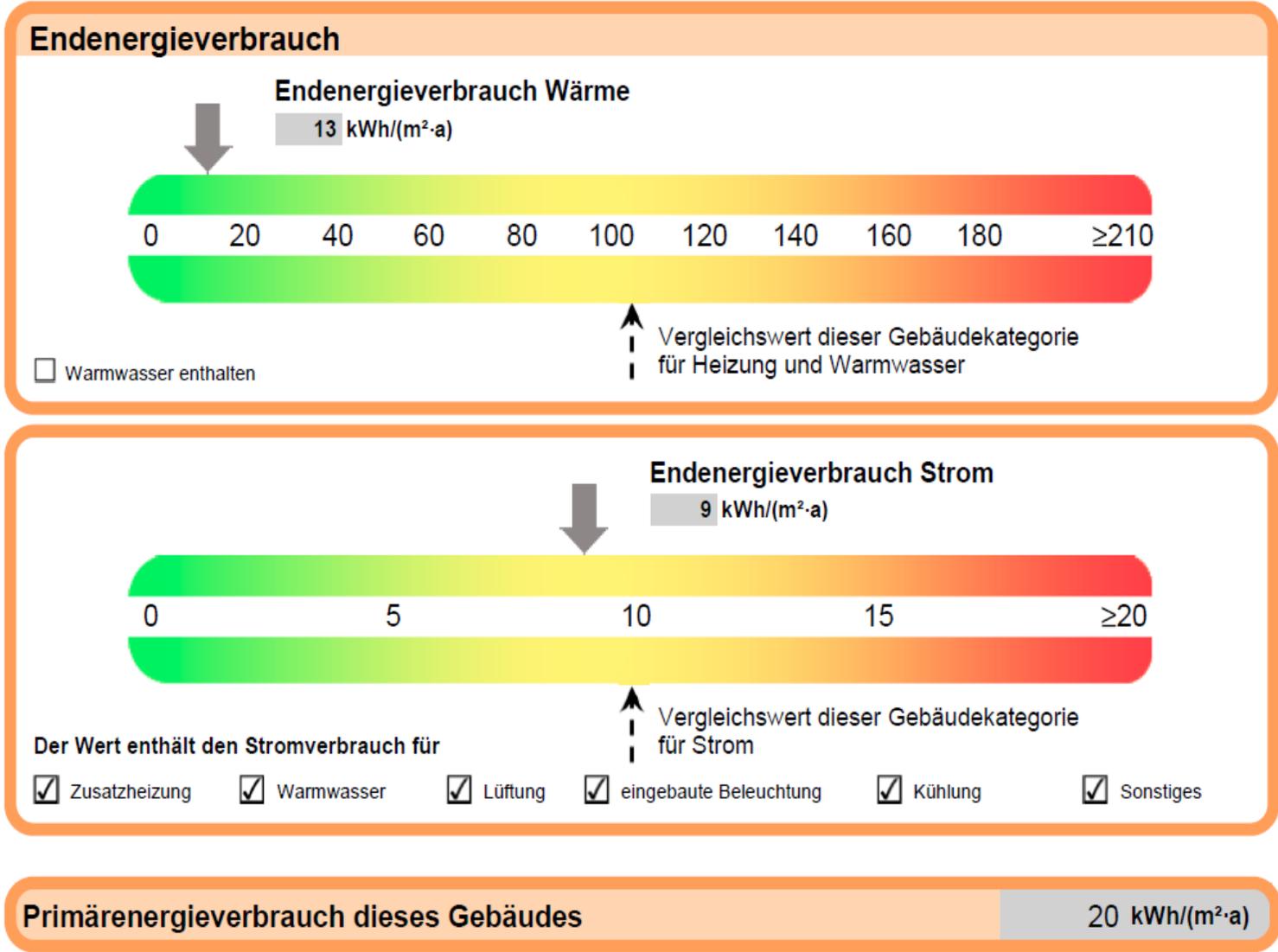


## Sankeydiagramm Wasser 2017

- bezogen auf die Gesamtfläche (3085,99 m<sup>2</sup>): 265 l/(m<sup>2</sup>a), Mittelwert 2015 bis 2017
- ohne Regenwasser, bezogen auf die Gesamtfläche: 197 l/(m<sup>2</sup>a)
- ohne Küche und Hausmeisterwohnung: 158 l/(m<sup>2</sup>a)
- Vergleichskennwert für Schulen nach VDI 3807: 140 l/(m<sup>2</sup>a)

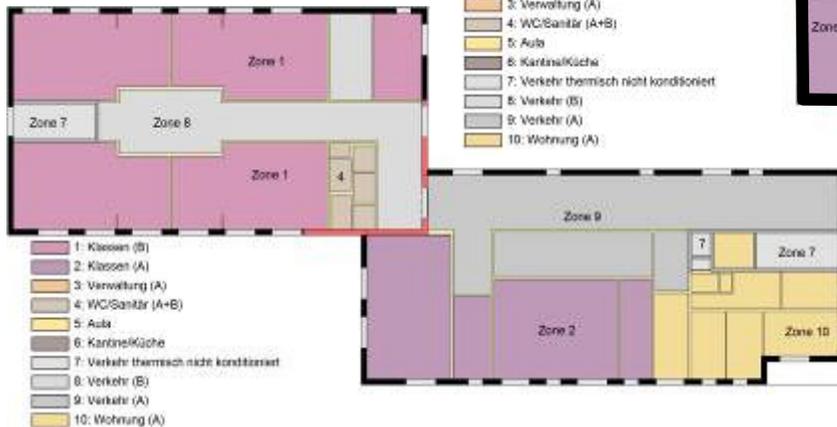
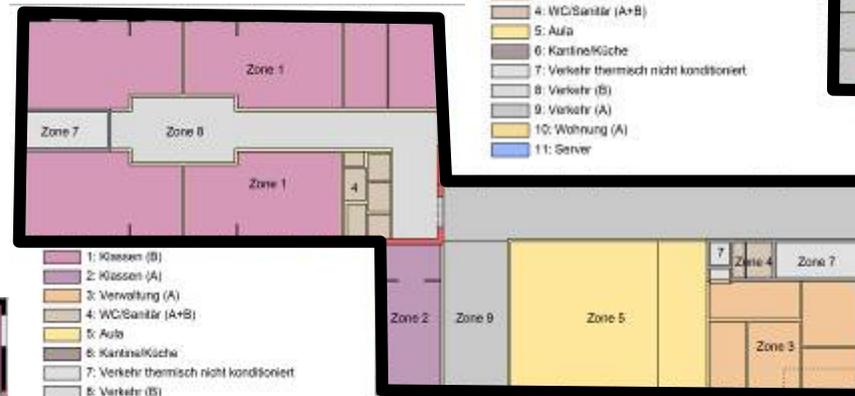
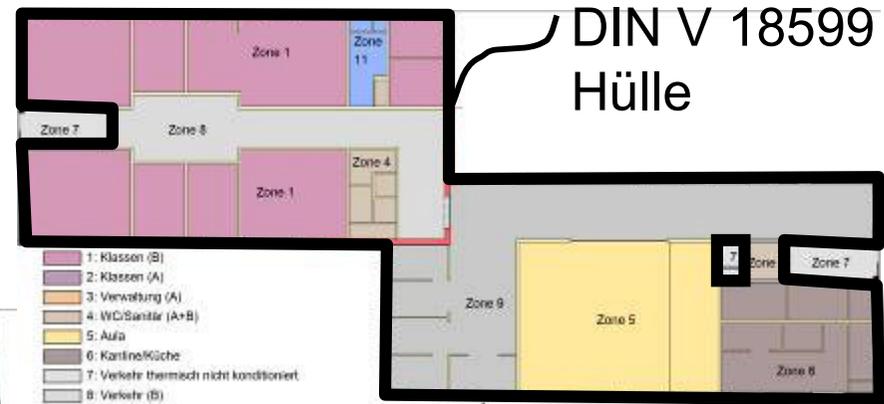


Energieausweis Verbrauch (gemessen)



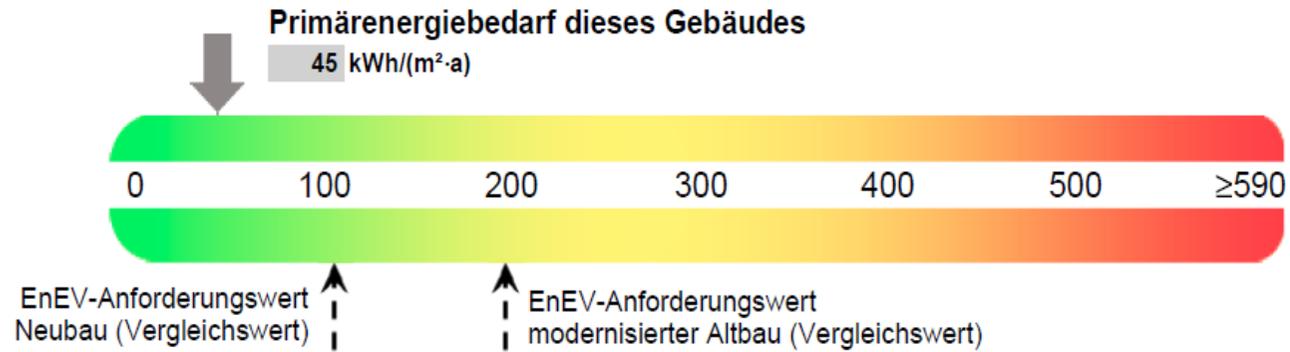
# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

## Berechnung nach DIN V 18599 in 11 Zonen (7 Nutzungsprofile) unkonditionierte Treppenhäuser ausgespart

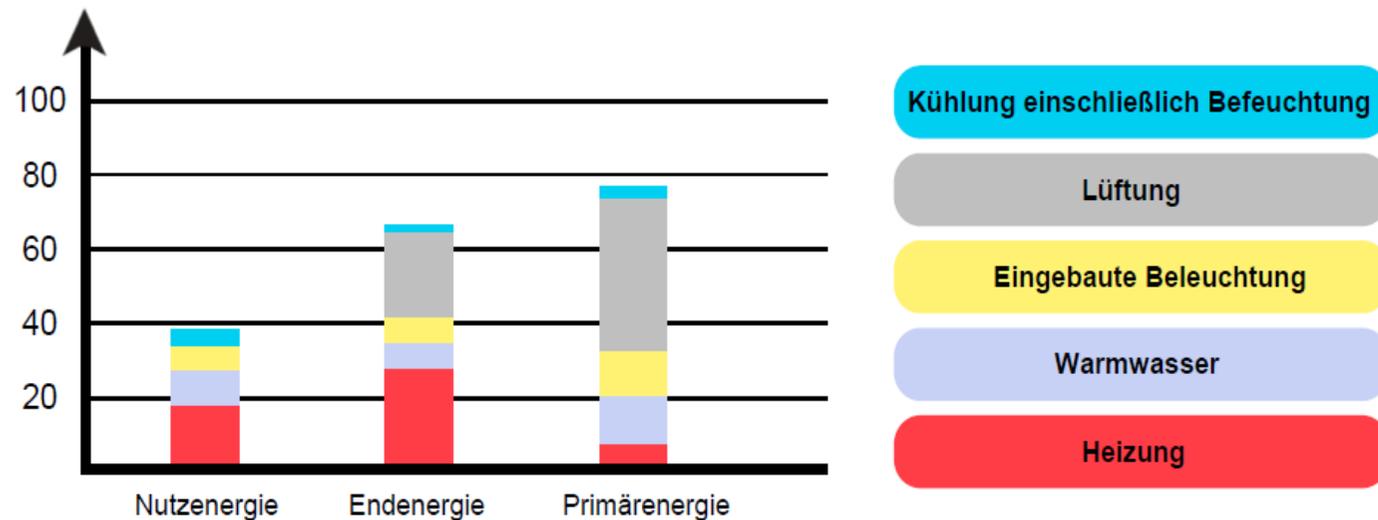


**Berechnung nach  
PHPP als Einzoner  
(Treppenhäuser übermessen)**

**Primärenergiebedarf**



**Aufteilung Energiebedarf**



# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

## Bedarf nach PHPP

Baujahr:	2014	Innentemperatur:	20,0 °C
Zahl WE:	1	Interne Wärmequellen:	3,5 W/m <sup>2</sup>
Umbautes Vol. V <sub>e</sub> :	13307,6 m <sup>3</sup>	mittlere Geschosshöhe:	3,56 m
Personenzahl:	234,0		

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr		verwendet: Monatsverfahren	
	Energiebezugsfläche	2615,1 m <sup>2</sup>	
Heizen	Heizwärmebedarf	7,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Heizlast	9,6 W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>
Kühlen	Kühlbedarf gesamt	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
	Kühllast	W/m <sup>2</sup>	-
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)	0,0 %	-
Primärenergie	Heizen, Kühlen, Entfeuchten, WW, Hilfs- und Haushaltsstrom	113 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	WW, Heizung und Hilfsstrom	48 kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
	PE-Einsparung durch solar erzeugten Strom	58 kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n <sub>50</sub>	0,26 1/h	0,6 1/h

Anforderungen	Erfüllt?*
15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	ja
10 W/m <sup>2</sup>	ja
-	-
-	-
-	-
120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	ja
-	-
-	-
0,6 1/h	ja

\* leeres Feld: Daten fehlen; "-": keine Anforderung

Passivhaus?	ja
-------------	----

## Abgleich Bedarf und Verbrauch

### DIN V 18599

- Bedarf Fernwärme: Faktor ca. 2,0 über Verbrauch  
(nennenswerte Fehler: Luftwechsel, insbesondere Luftwechsel in der Küche und in den Verkehrsflächen)
- Bedarf Strom: Faktor ca. 1,7 über Verbrauch  
(nur relevante Verbraucher verglichen)

### PHPP

- Bedarf Fernwärme: 70 % des Verbrauchs  
(nennenswerter Fehler: Innentemperatur, bei 23°C gute Übereinstimmung)
- Bedarf Strom: entspricht Verbrauch  
(aber: alle Bilanzranddaten entsprechend modifiziert und alle Verbraucher eingegeben – auch nicht regulär vorgesehene)

### Nullenergiehaus

- wird knapp erreicht, wenn allein der TGA-Strom bilanziert wird  
sowie auf Primärenergieebene (Fernwärme Halle  $f_p = 0,21$ )

# **Monitoring**

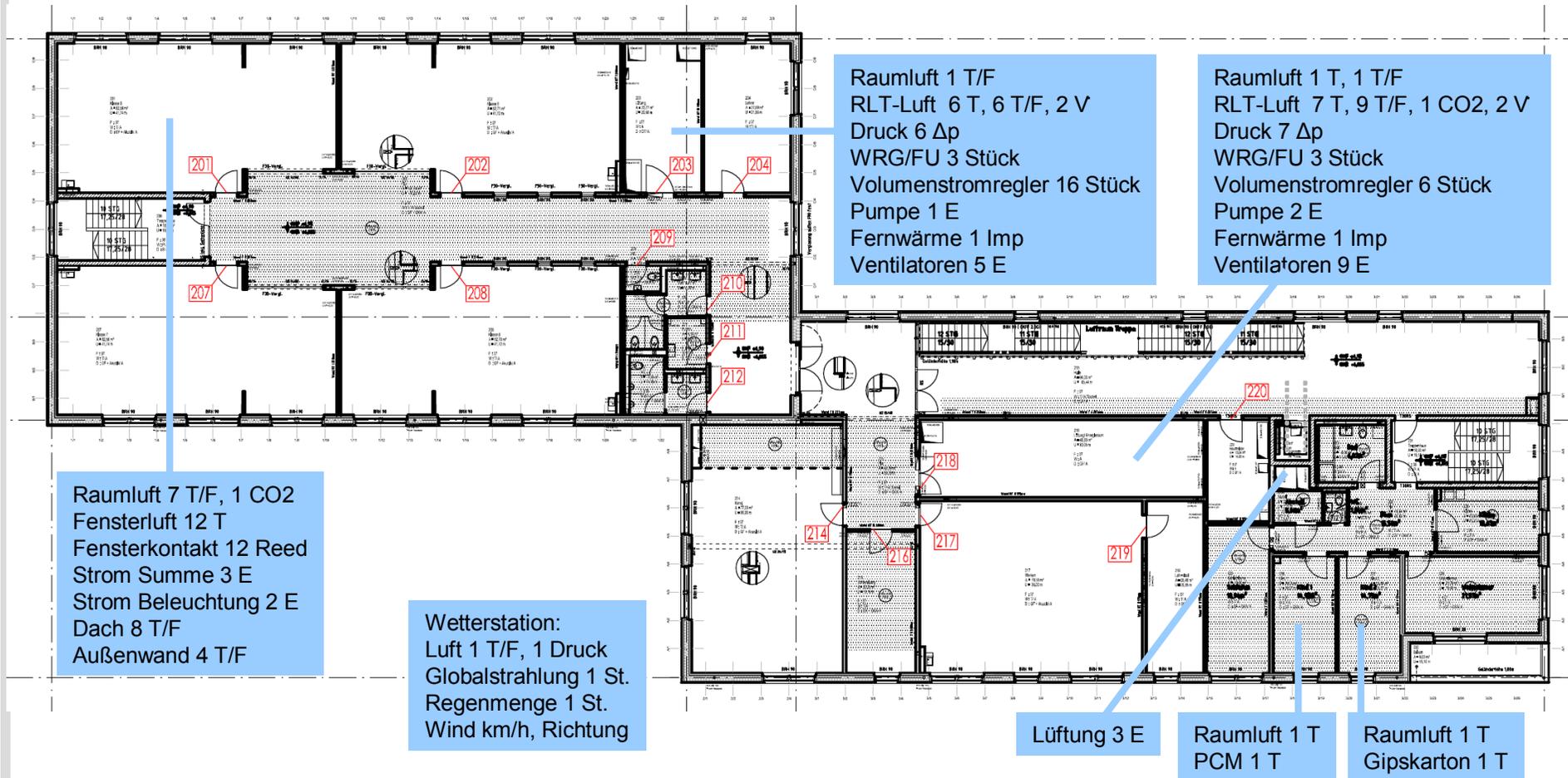
**reale Ausführung, Kosten,  
Empfehlungen zur Nachahmung**

## Überblick Monitoring

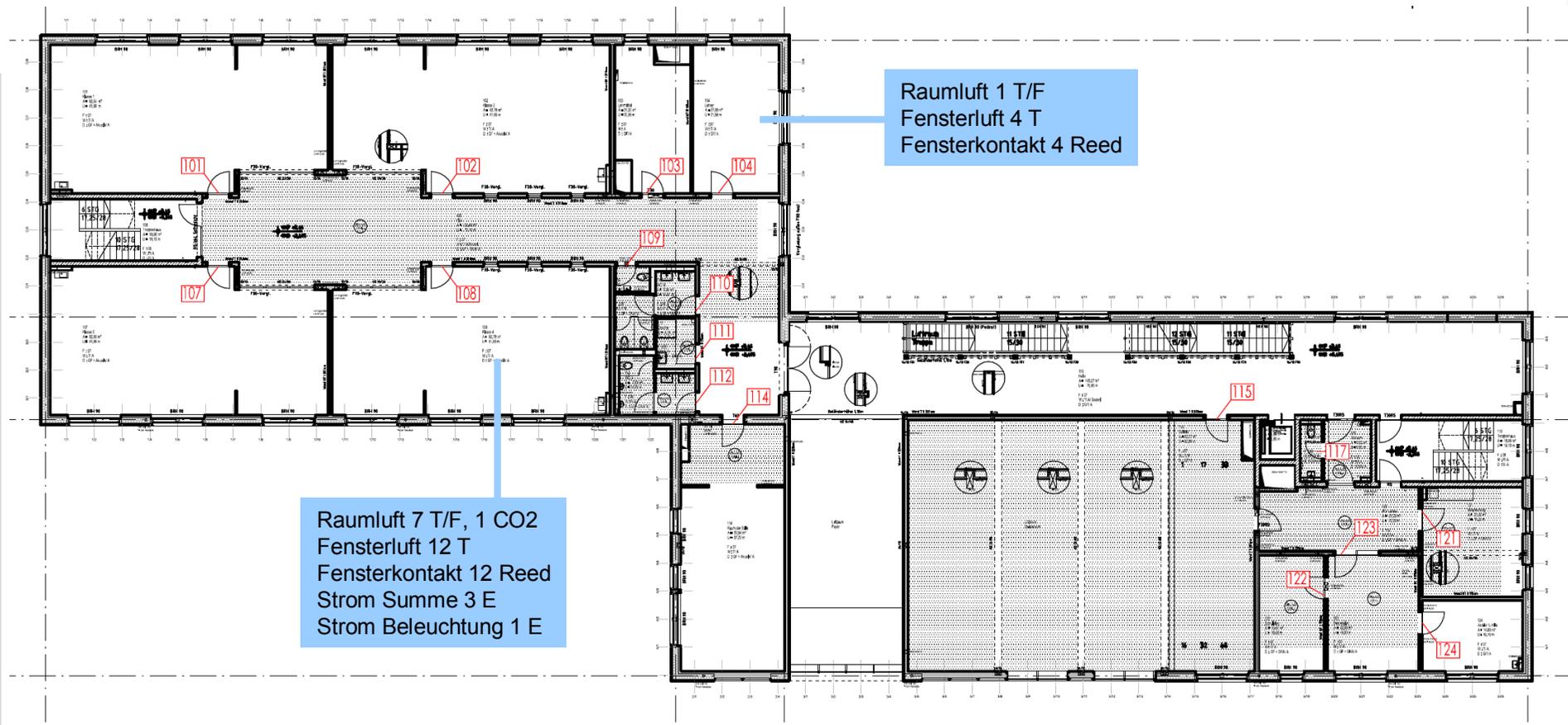
- Hardwarekosten: knapp 78.000 € (brutto)
  - 39 % für Sensoren
  - 35 % für Übertragungstechnik
  - 33 % für Montage
  - 11 % für Datenhaltung und Servernutzung
- Auswertung: 107.550 € (brutto) für Personal an der Hochschule
  - zzgl. sämtliche studentische Arbeiten (bis auf Reisekosten gratis!)
- 5 Datenquellen (davon 4 ohnehin vorhanden)
  - zentraler Monitoringserver (extra installierte 405 Datenpunkte)
  - Speichereinheiten zentrale Lüftungsanlagen (232 Messpunkte)
  - Speichereinheiten Solarthermie (32 Messpunkte)
  - Speichereinheiten Photovoltaik (7 Messpunkte)
  - Stromzählerdaten der Stadtwerke Halle (3 Datenpunkte)

# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

## Messpunkte Übersicht 2. OG

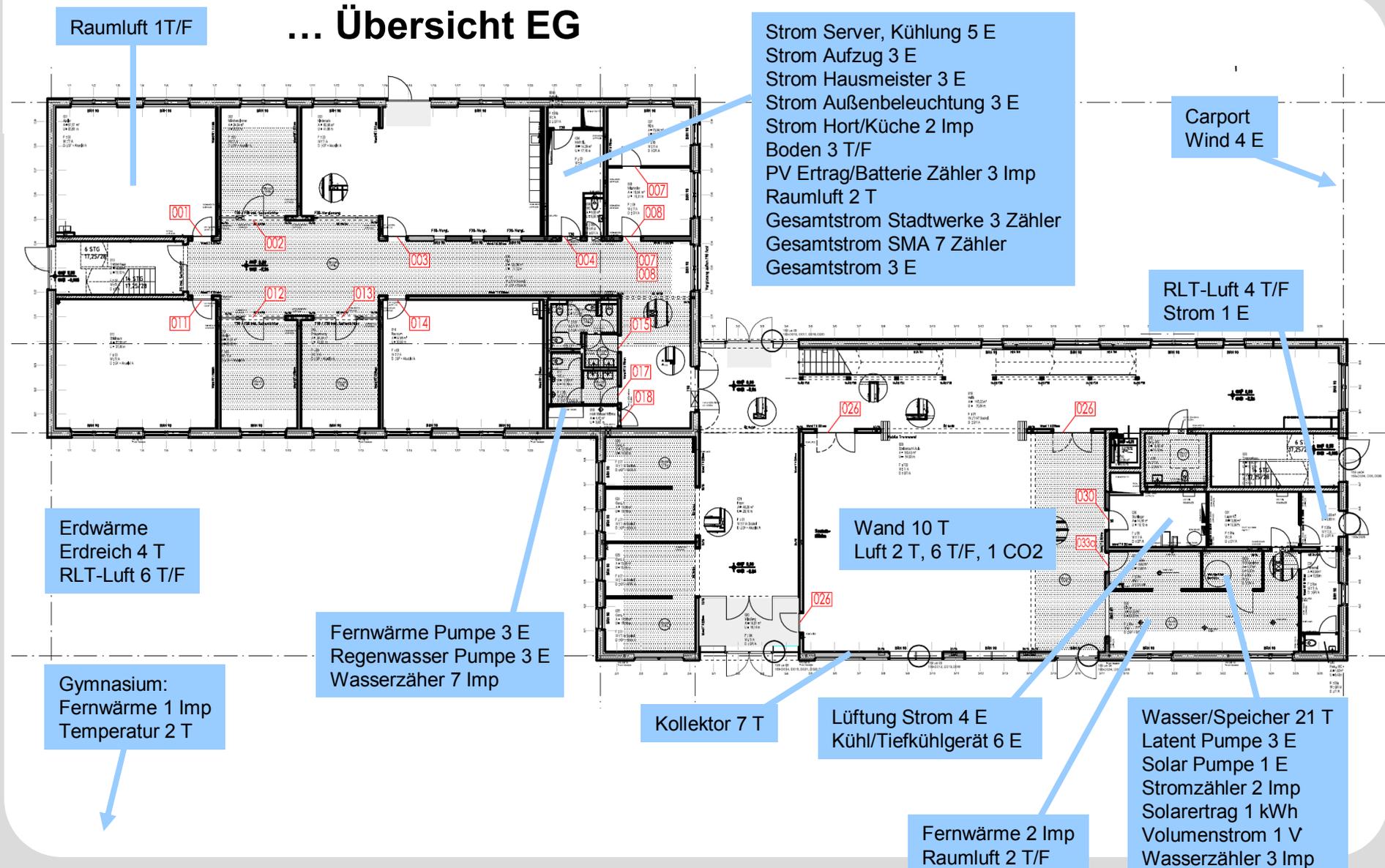


## Messpunkte Übersicht 1. OG



# Passivhausschule im Praxistest - Monitoringergebnisse als Gratwanderung zwischen den Projektbeteiligten

## ... Übersicht EG



## Erfassungsraten und Auswertegeschwindigkeit

- Monitoringserver: 10 Minuten
- Lüftung, Solarthermie: 1 Minute
- Stadtwerke: 15 Minuten, 1 Tag
- Photovoltaik: 1 Tag
  
- alle physischen Zähler wurden bei 20 Vor-Ort-Terminen jeweils abgelesen
- Auslesen aller Speicherwärmemengenzähler lieferte weitere 48 Daten  
→ zur Bestimmung von Umrechnungsfaktoren, bei Datenverlust
  
- Auswertung mit MONISOFT und EXCEL
- mind. 1 Monat Verzögerung bis zur Auswertung, meist erst themenbezogene Auswertung nach 1 Jahr  
→ projektbezogenes Monitoring im Rahmen der Forschung darf nicht mit einem professionellen Betriebsmonitoring verwechselt werden.



## Empfehlungen

- Nutzung aller bauseits vorhandenen Datenspeichertechnik
- Langzeitmessung: Wärme, Strom, Wasser für Haupt- und wichtige Unterverbraucher mit physischen Zählern (i. A. reichen Tages- oder Monatswerte)
- Kurzzeitmessungen z.B. für Server, Küchengeräte, Aufzug, Kühlung usw. mit höherer Auflösung (1 oder 10 Minuten) mit Strommesszange und Datenlogger
- 1 Tag: Bauteiltemperaturen
- 1 Stunde: Erdwärmeübertrager, Solarthermie, Wind, Fernwärme, Außenbeleuchtung, Pumpen, Ventilatoren, Server, Aufzug, Wasserverbrauch, Außenklima ohne Strahlung
- 10 Minuten: Kastenfenster, Raumtemperatur/-feuchte, CO<sub>2</sub>, zentrale Lüftung, Globalstrahlung, Photovoltaik, Innenbeleuchtung

## Kontakt

Hochschule Magdeburg-Stendal  
Fachbereich Bauwesen  
Breitscheidstraße 2  
39114 Magdeburg

Projektleitung:  
Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow  
kati.jagnow@hs-magdeburg.de

Bearbeitung:  
M. Eng. Katharina Gebhardt  
katharina.gebhardt@hs-magdeburg.de



Endbericht  
in 12 Themenbereichen

[www.Delta-Q.de](http://www.Delta-Q.de)

Rubrik: BMWi Schule