Energieeffizienz in kirchlichen Liegenschaften

Passivhausschule im Praxistest: der Neubau der Sankt Franziskus Grundschule in Halle

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

Münster, 18.05.2017

Projektdaten

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

FKZ 0327 430 O

Bauherr

Edith-Stein-Schulstiftung des Bistums Magdeburg

Flächen

Schule/Hort	2895 m²
Küche	82 m²
Hausmeister	113 m²

Ablauf

2011	Monitoringkonzept
2012	Baubeginn
2014	Eröffnung
2015+	Datenerfassung

Projektlaufzeit Monitoring

01.04.2013 - 31.07.2017

Gebäude

- wichtige Bauteile
- Konzept Fenster

U-Werte

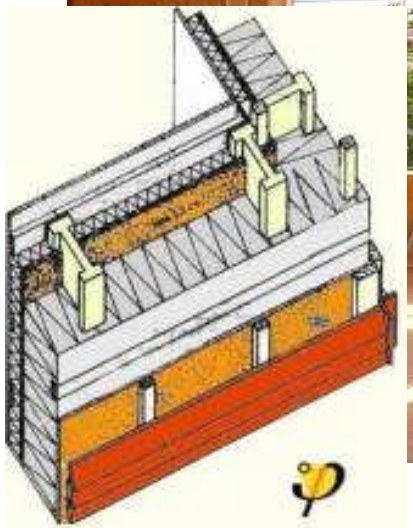
Element	Wärmedurchgangskoeffizient U [W/m²K]	
	St. Franziskus	heutiger Referenzwert für einen Neubau nach der Energieeinsparverordnung (EnEV)
Außenwand	**0,11**	0,28
Solarwand	**0,16**	0,28
Fenster	**0,60**	1,30
Flachdach	**0,10**	0,20
Bodenplatte	**0,13**	0,35

n_{50} = 0,24 h^{-1} (2014) bzw. n_{50} = 0,26 h^{-1} (2017)

Bodenplatte

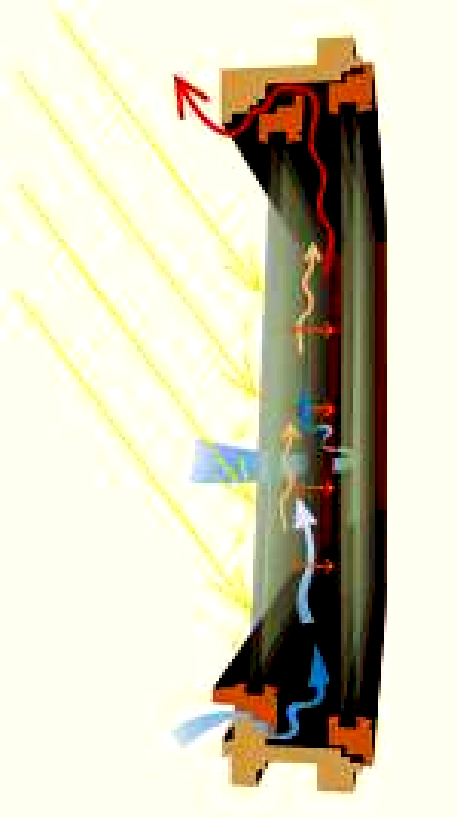
Außenwand

Doppelstegträger mit Steg aus OSB, Flansche aus Vollholz
Zellulosedämmung

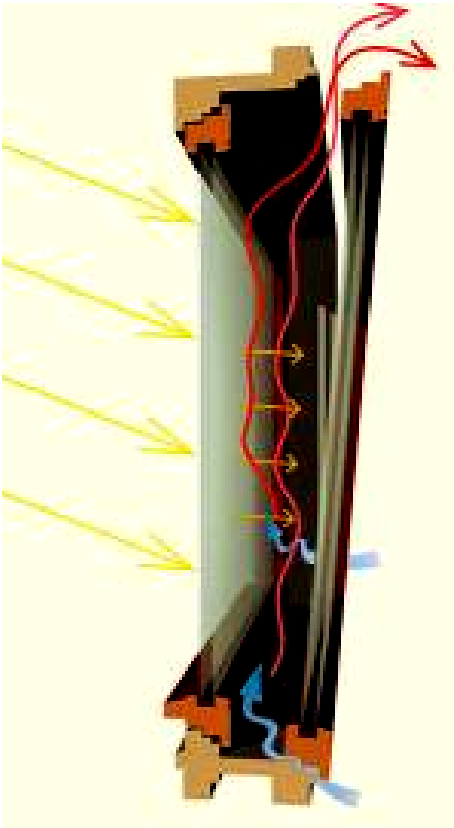


Kastenfenster mit innenliegender Jalousie

Sommer: außen offen,
Silberseite außen



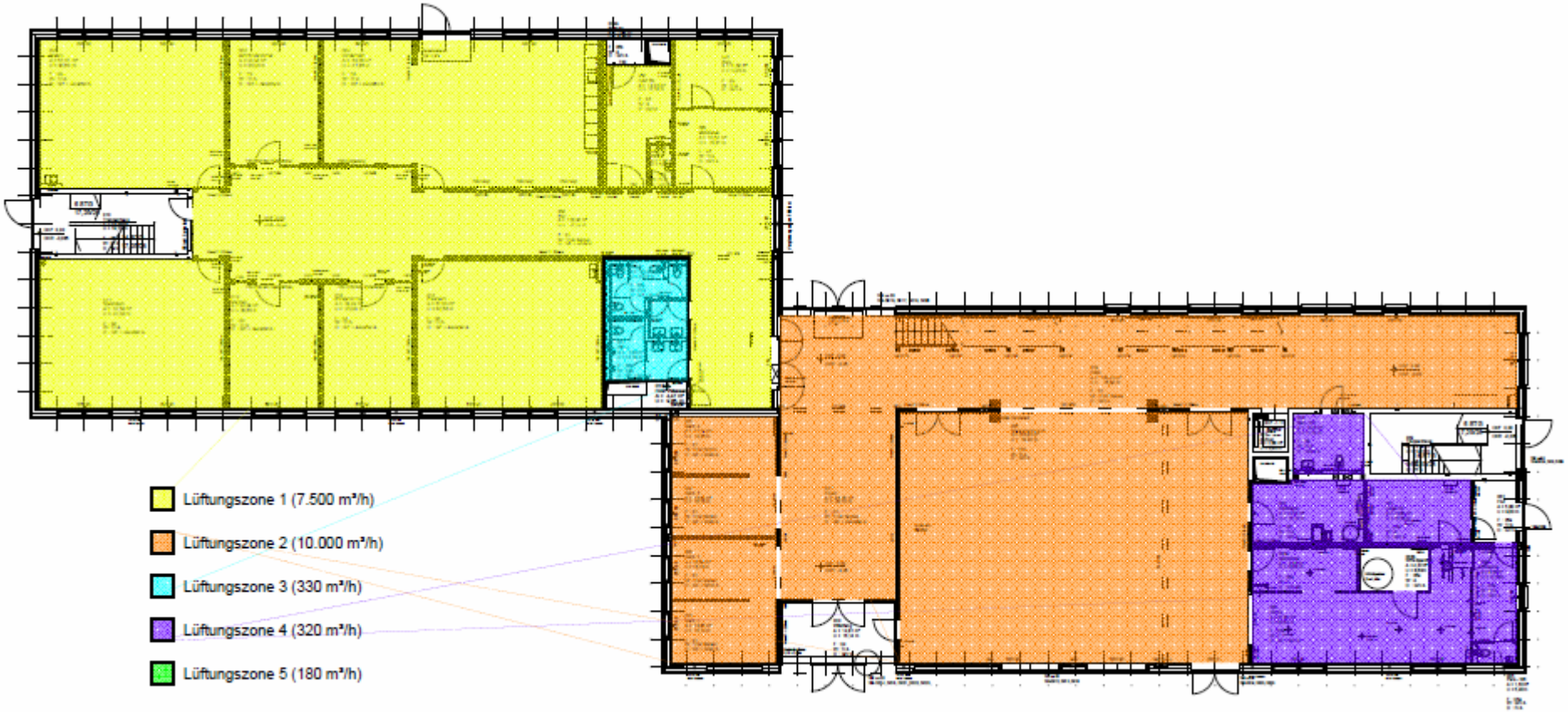
Winter: innen offen,
Schwarze Seite außen



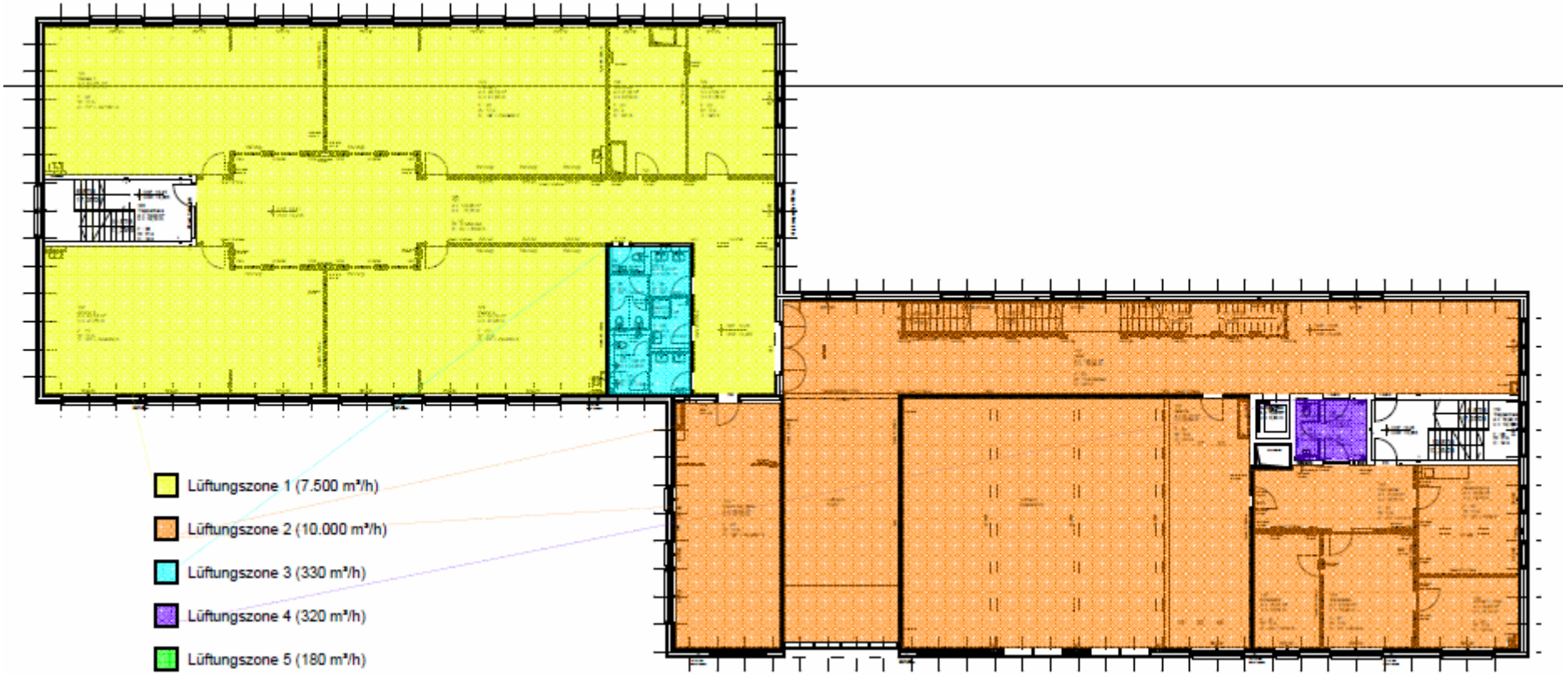
Nutzung

- Grundrisse
- Luftqualität
- Raumklima

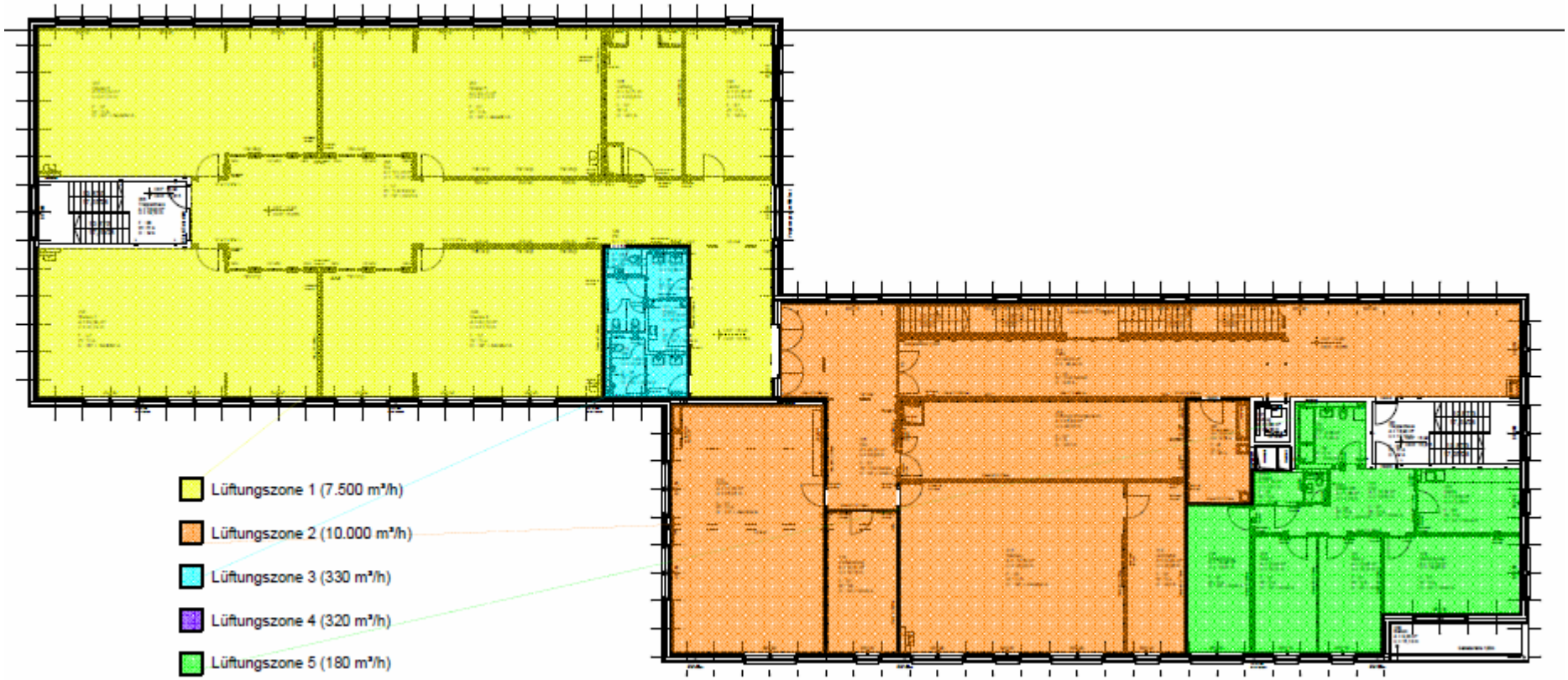
Erdgeschoss: Hort, Aula, Küche



1. Obergeschoss: Klassen, WC, Verwaltung

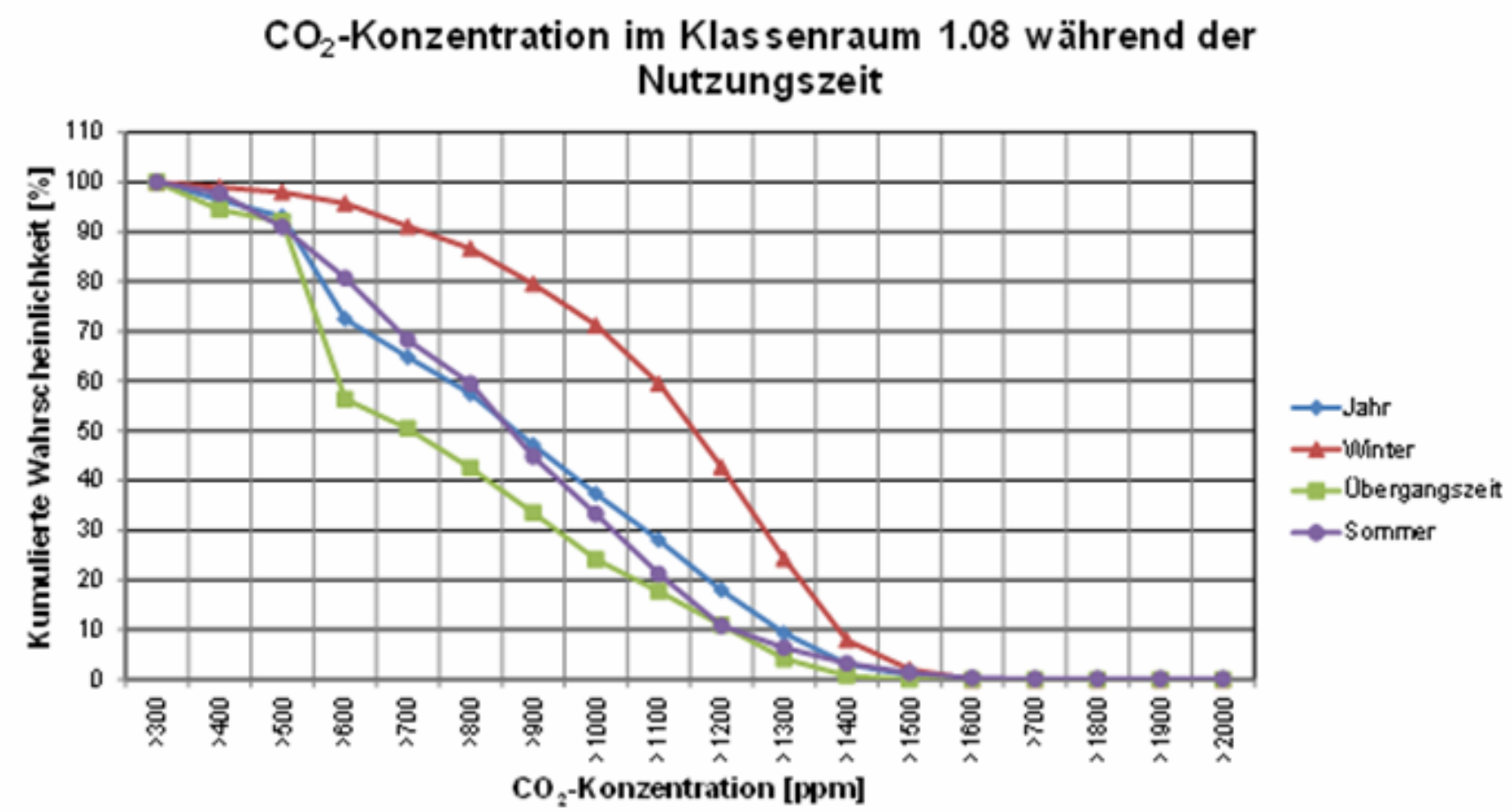


2. Obergeschoss: Klassen, Technik, Hausmeister

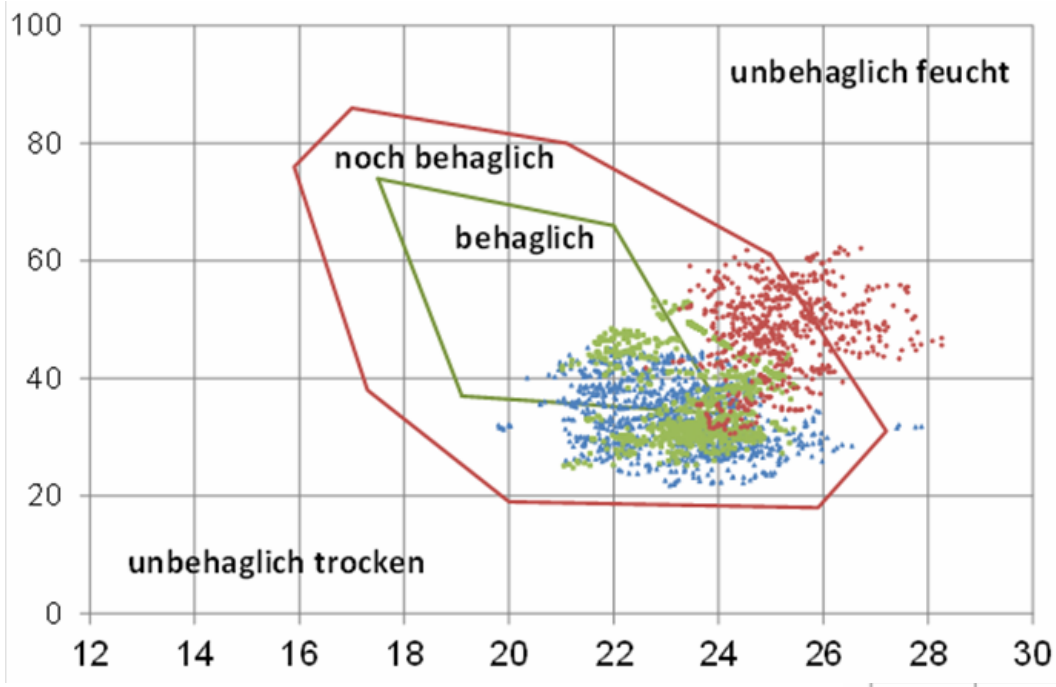


St.-Franziskus-Grundschule in Halle (Saale): Monitoring eines Neubaus in Passivhausbauweise

Raumluftqualität

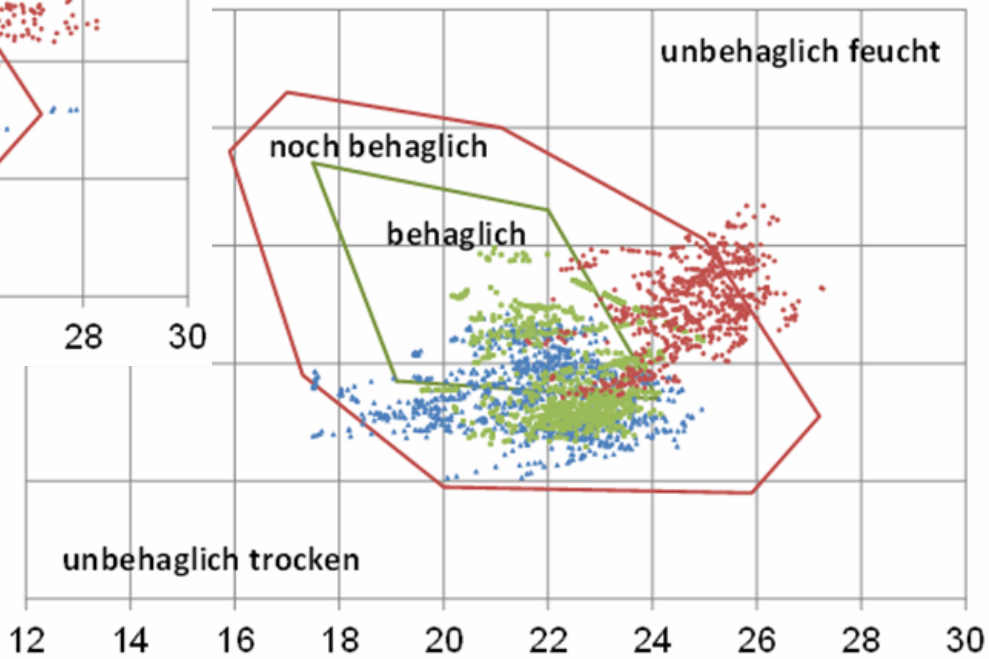


Behaglichkeit



Südraum 1.08

Nordraum 2.01



Wärmeverbrauch

- Kurzbeschreibung des Konzepts
- Messwerte & Energieflussbild
- aktuelle Problemstellungen & Ausblick

Konzept der Lüftung und Heizung

- keine statischen Heizflächen

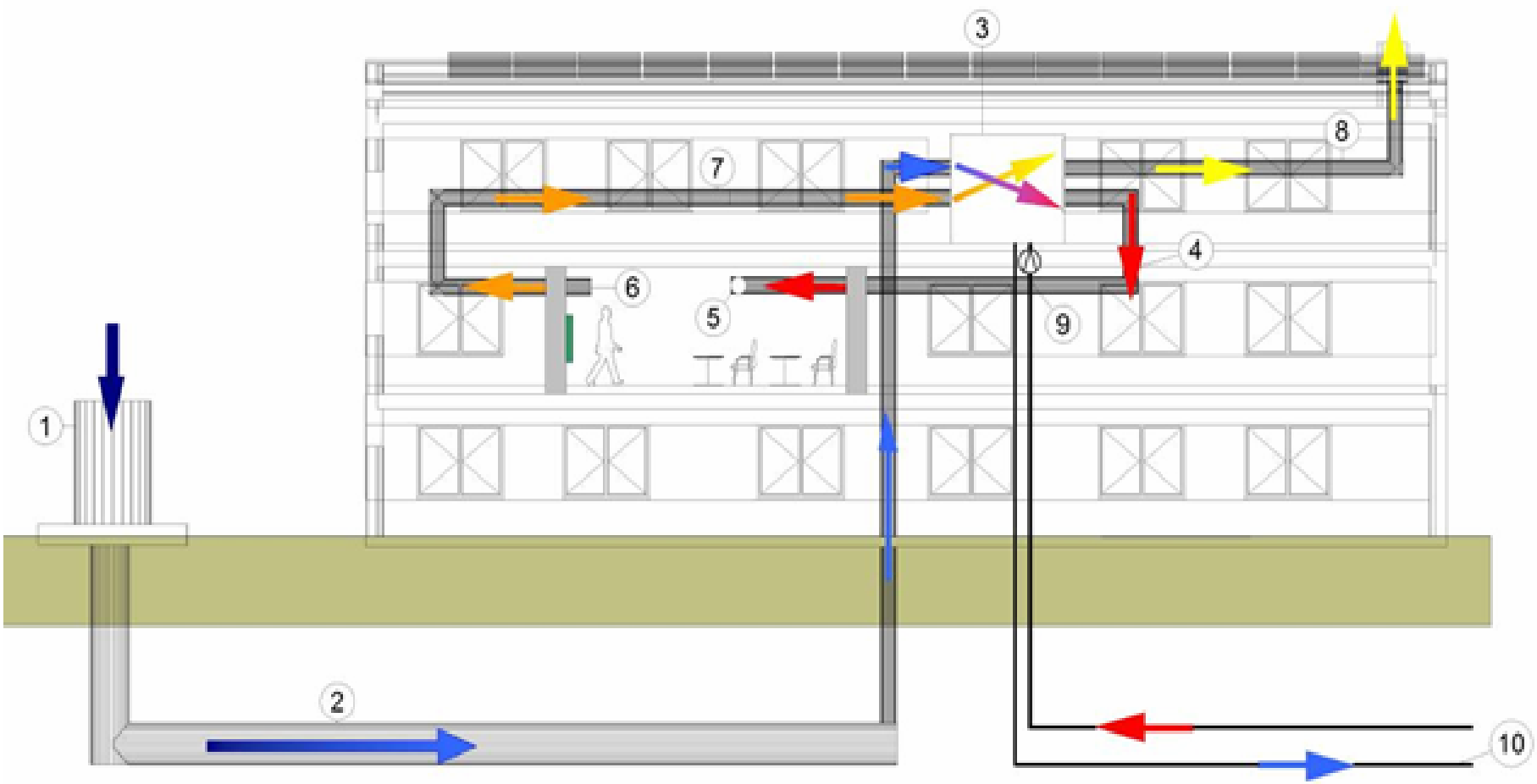
- i. A. Fernwärme (Rücklaufwärmenutzung der Nachbarschule)
- Fernwärmeheizregister
  in den Lüftungsanlagen (Σ 100 kW)
- Ausnahme Hausmeisterwohnung:
  Elektrolufterhitzer (nur, Σ 1,6 kW)

- 5 Lüftungsanlagen (Klassen/Hort, Verwaltung und Aula, Küchengrundluft, Hausmeisterwohnung) mit EWT und Wärme-/ tw. Feuchterückgewinnung

- 2 Zu- und Ablufthauben für die Spülküche und die Kochküche

Quelle: Hochschule Magdeburg/Stendal

Heizung und Lüftung: schematisch



Über die Luftansaugtürme (1) wird Außenluft angesaugt. Sie strömt durch den Erdwärmetauscher (2), der eine Gesamtlänge von 650 m aufweist. Dort wird sie im Winter und Sommer vortemperiert. Die Temperaturänderung beträgt jedoch nur wenige Grad. Anschließend wird die Außenluft in eines von mehreren Lüftungszentralgeräten (3) geleitet. Herzstück ist die Wärme- und Feuchterückgewinnung. Mit Wärme und Feuchte aus der Abluft erfolgt die eigentliche Temperatur- und Feuchteerhöhung der Luft, die danach als Zuluft (4) im Gebäude über das Zuluftnetz verteilt wird.

Die Zuluft strömt aus Zuluftöffnungen in die Räume, jedoch nur bei Anwesenheit der Nutzer. Über Bewegungsmelder werden Volumenstromregler (5) angesprochen. Ist jemand im Klassenraum, wird Luft eingelassen. Mit einer Nachlaufzeit werden die Volumenstromregler nach dem Verlassen der Räume wieder geschlossen. Bei den Räumen mit Büronutzung sind statt Bewegungsmeldern Zeitschaltprogramme vorgegeben. In den Räumen gibt es immer nur zwei Zustände: Luft strömt oder nicht (Volumenstromregler auf oder zu). Der einzige Raum, in dem dies nicht so ist, ist die Aula. Dort kann der Volumenstrom geregelt werden abhängig von der CO2-Belastung, welche gemessen wird.

Durch das zweite Kanalnetz mit Abluftöffnungen (6) – ebenfalls mit Volumenstromreglern versehen – wird die verbrauchte Luft wieder aus den Räumen abgezogen. Sie strömt über das Abluftnetz (7) zurück zum Zentralgerät (3). Dort wird ihr in der Wärme- und Feuchterückgewinnung entsprechend die Wärme und Feuchte entzogen. Schließlich gelangt sie als Fortluft (8) über Durchlässe in der Dachhaut zurück in die Umgebung.

Falls die Wärme aus der Abluft nicht ausreicht, um im Winter das Gebäude auf Temperatur zu halten, wird über zentrale Heizregister (9) die Luft mit Fernwärme nachgeheizt. Nur dann kann sie eine Temperatur oberhalb der Raumtemperatur erreichen. Dazu hat jedes Lüftungszentralgerät einen einzelnen Fernwärmeanschluss (10) mit Rohrleitungen und einer Pumpe.

Die Luftförderung erfolgt in jeder Lüftungsanlage mit 2 Ventilatoren – einer für die Zuluft, der andere für die Abluft. Sie sind im Zentralgerät (3) angeordnet Die Ventilatoren fahren in ihrer Leistung herunter, wenn einzelne Räume nicht belüftet werden müssen. Sie registrieren, wenn die Volumenstromregler in den Räumen geschlossen sind. Die maximalen Volumenströme der beiden großen Anlagen betragen 7500 m³/h (für Klassen/Hort, in Raum 203) und 10.000 m³/h (für Aula/Verwaltung, in Raum 218). Zum Vergleich: der Hausmeister hat in seiner Wohnung ein Lüftungsgerät mit einem maximalen Volumenstrom von etwa 210 m³/h.

Die Wärme- und Feuchterückgewinnung kann ebenfalls geregelt werden. Werden die Räume zu warm, dann wird zuerst das Fernwärmeheizregister abgeschaltet, danach die Wärmerückgewinnung von ihrem Maximalwert (ca. 92 % Rückgewinnung) bis auf 0 % heruntergefahren. Im Zustand ohne Wärme- und Feuchterückgewinnung strömt die Luft mit der Temperatur in die Räume, mit der sie aus dem Erdwärmetauscher kommt. Dieses Lüftungsprinzip ist in allen Lüftungsanlagen (Klassentrakt, Aulatrakt, Küchenlüftung, Hausmeisterwohnung) gleich. Jedoch hat der Hausmeister keine zentrale Erhitzung der Luft mit Fernwärme, sondern in jedem Raum eine Luftheizung mit Strom.

Im Winter wird die Zeit am frühen Morgen (ab ca. 5 Uhr) vor jedem Schultag genutzt, um das Gebäude wiederaufzuheizen. In der Nacht wird ansonsten auf Heizung verzichtet. Die Volumenstromregler in den Räumen sind in dieser Aufheizphase vollständig geöffnet. Im Sommer wird die Zeit zwischen ca. 3 Uhr und 6 Uhr nachts genutzt, um das Gebäude mit kühler Außenluft abzukühlen. Es werden dann ebenfalls alle Volumenstromregler in den Räumen geöffnet. Eine aktive Kühlung tagsüber gibt es nicht.

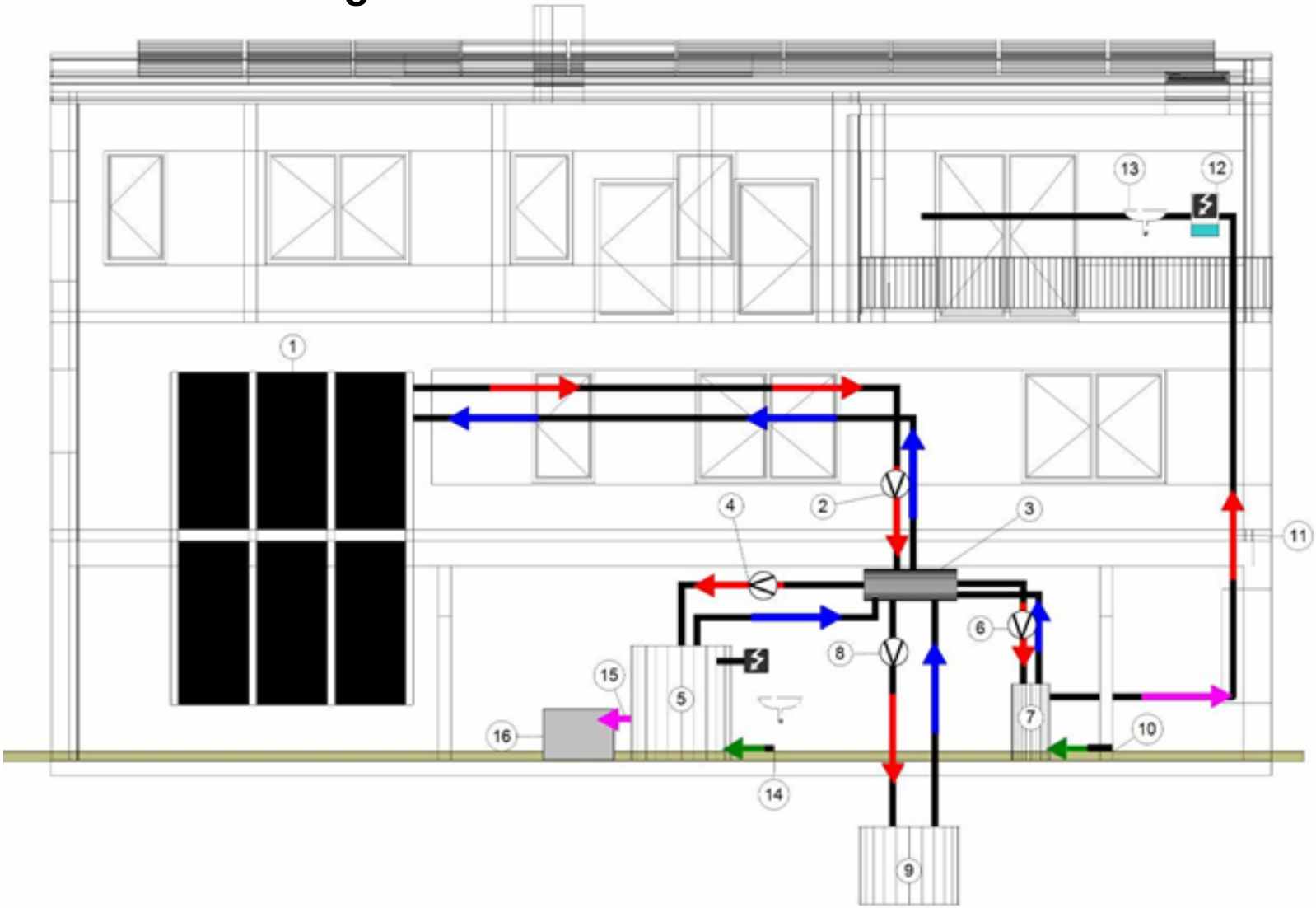
Die Fernwärme (10) wird dem Rücklauf des Elisabethgymnasiums entnommen, welches bereits Wärme bei hohen Temperaturen genutzt hat. Für die Passivhausschule reichen die geringeren Temperaturen aus dem Rücklauf aus. Diese Maßnahme macht das Heizen preiswerter, weil kein eigener Anschluss für St. Franziskus bei den Stadtwerken bezahlt werden muss.

Konzept der Trinkwarmwasserversorgung

- Schulbetrieb: DLE dezentral
- Schulküche: zentral (Solar, Fernwärme, elektrisch, 2000 Liter-Speicher)
- Hausmeister: Mischform (Solar zentral, 200 Liter-Speicher, Nachheizung DLE dezentral)
- fassadenintegriertes Kollektorfeld 36 m²
- Latentwärmespeicher 128 kWh

Quelle: Hochschule Magdeburg/Stendal

Trinkwassererwärmung für Küche/Hausmeister: schematisch



In der Fassade des Gebäudes sind senkrecht 36 m² Solarthermiekollektoren in der Fassade angeordnet (1). Sie befinden sich auf der Südseite und grenzen rückseitig an die Garderoben bzw. den Raum der Stille (links vom Eingang) bzw. die Aula (rechts vom Eingang). Die senkrechte Anordnung ist eher unüblich, aber hier durchaus sinnvoll. Im Sommer hat die Schulküche deutlich weniger Warmwasserbedarf (Ferien, Hort), so dass die steil auf das Kollektorfeld stehende Sonne von Vorteil ist. Im Frühjahr und Herbst sind große Ausbeuten zu verzeichnen, weil die Sonne flacher steht und damit den Kollektor fast senkrecht trifft.

In dem Kollektorfeld strömt eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel als Solarfluid. Es wird von einer Pumpe (2) zu einem zentralen Verteiler und Sammler (3) gepumpt. Diese Pumpe wird nur eingeschaltet, wenn ein Temperaturfühler registriert, dass das Kollektorfeld warm ist. Im zentralen Verteiler und Sammler (der Fa. Zortström, daher Zortströmverteiler) wird entschieden, in welche Richtung das Solarfluid geleitet wird. Es sind 3 Abnehmerkreise angeschlossen. Der Verteiler sowie die Speicher und Regelung befinden sich in Raum 033a in der Küche.

Der größte Abnehmer ist der Küchenspeicher (5). Soll das Solarfluid diesen erwärmen, wird die Pumpe (4) geschaltet. Der Küchenspeicher ist ein Pufferspeicher, d.h. er ist mit dem Solarfluid gefüllt. Wird warmes Trinkwasser benötigt, strömt es durch Heizschlangen im Pufferspeicher und erwärmt sich am Solarfluid (welches abkühlt). Der Speicher hat 2000 l Fassungsvermögen.

Der zweite Abnehmer ist der Hausmeisterspeicher (7). Soll dieser erwärmt werden, wird der Strömungsweg mit Pumpe (6) verwendet. Dieser Speicher hat 200 l Volumen und ist ein Trinkwasserspeicher. Das Solarfluid erwärmt beim Durchströmen durch eine Heizschlange direkt das Trinkwasser, welches dann bevorratet wird.

Der letzte Abnehmer ist ein Latentwärmespeicher (9) – hier ein Salzhydratspeicher, in dem weitere Wärme eingelagert werden kann. Er hat eine Wärmespeicherkapazität von 128 kWh. Das entspricht etwa dem Küchenspeicher. Soll er geladen werden, wird Pumpe (8) benutzt. Das Speichermedium ist ein Salzhydrat, welches zwischen zwei Aggregatzuständen wechselt: flüssig und fest. Dieser Phasenübergang benötigt Energie (Verfestigen) oder gibt sie wieder frei (Verflüssigen).

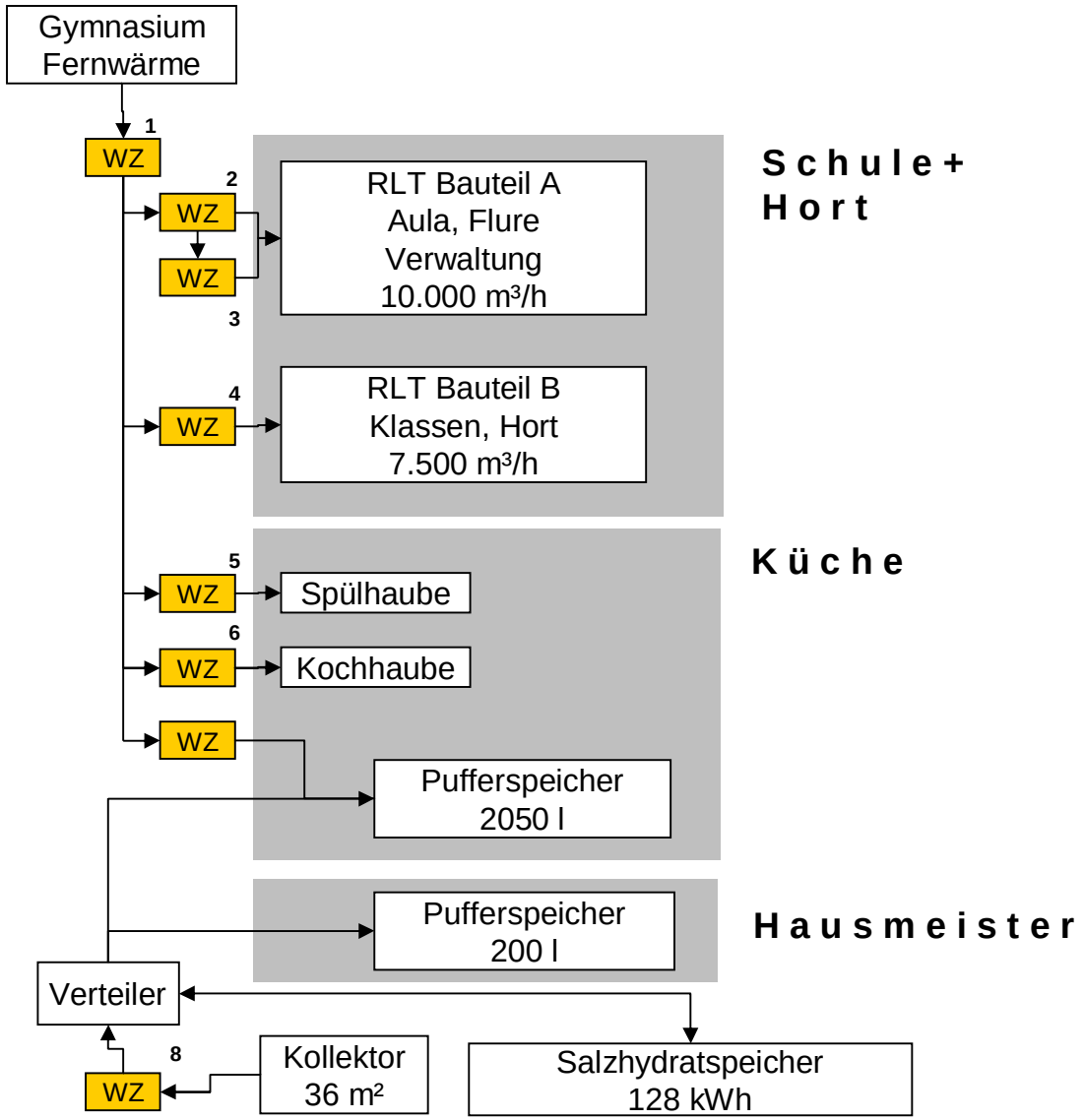
Die drei Kreise sind so geschaltet, dass bei Anfall von Solarwärme die Küche Vorrang hat, dann der Hausmeisterspeicher geladen wird und nur bei Überschuss der Latentwärmespeicher benutzt wird.

Das vorgewärmte Trinkwasser aus dem Hausmeisterspeicher (7) fließt, sobald in der Wohnung ein Wasserhahn geöffnet wird, durch ein Leitungsnetz (11) vom Erdgeschoss (wo der Speicher steht) in die Wohnung. Sollte es nicht warm genug sein, heizt ein Durchlauferhitzer (12) mit Strom nach. An der Zapfstelle (13) kommt in jedem Fall 60°C heißes Wasser aus der warmen Leitung, egal wie hoch die Solarthermieanlage das Wasser vorwärmen konnte. Dies dient dem Schutz vor Trinkwasserkeimen (Legionellen). Aus diesem Grund hat der Hausmeisterspeicher (7) auch eine elektrische Nachheizung. Sie springt einmal die Woche an, falls die Solarwärme den Speicher in dieser Woche nicht auf 60°C erwärmen konnte.

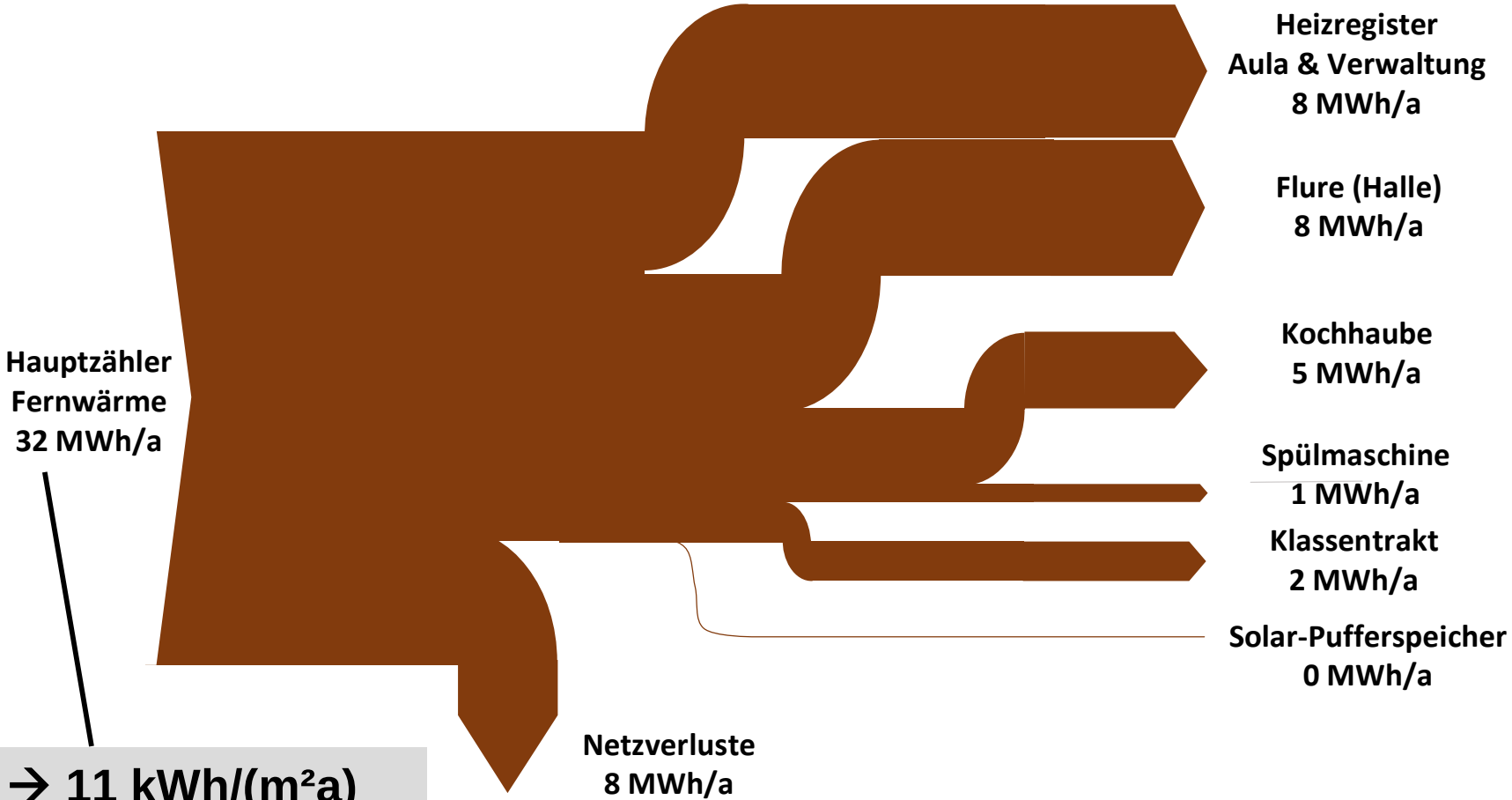
Wenn in der Hausmeisterwohnung Wasser aus der warmen Leitung gezapft wird, strömt kaltes Wasser (10) in den Speicher nach. Die gemischte zentral/dezentrale Versorgung für den Hausmeister ist eine Besonderheit des Systems, die nur selten angewendet wird. Sie hat den Vorteil, dass die Wärmeverluste des Speichers hauptsächlich aus der Solaranlage gedeckt werden und der bezahlte Energieträger (hier Strom) ganz nah am Endverbraucher eingesetzt wird.

Für den Küchenpufferspeicher (5) ist das Prinzip ähnlich. Wird Warmwasser benötigt, strömt Kaltwasser (14) in den Puffer ein. Es fließt durch die innenliegende Heizschlage und verlässt als Warmwasser mit 60°C (15) den Behälter. Es wird in der Spülmaschine (16) oder an den Waschbecken in der Küche gebraucht. Sollte die Solarthermieanlage keine Erwärmung auf 60°C möglich machen, erfolgt eine Nachheizung mit Fernwärme oder Strom.

Zählerkonzept



Energiefluss Messperiode Okt. 2014 – Okt. 2015



→ 11 kWh/(m²a)

aktuelle Problemstellungen & Ausblick

- Ladung des zentralen Solarküchenspeichers: fehlende Umschaltung auf Fernwärmevorlauf, Nachladung nur elektrisch
- zu hoher Wärmeverbrauch in der Lüftungsanlage BtA (Aula, Flure, Verwaltung), da minimaler Luftwechsel zu hoch
- sommerliche Nachtkühlung für Klassen/Aulatrakt hat zu geringen Effekt (Abwägen zwischen Luftqualität und Raumtemperatur)
- Regelung der Grundlüftungsanlage in der Küche

Stromverbrauch

- Kurzbeschreibung des Konzepts
- Messwerte & Energieflussbild
- aktuelle Problemstellungen & Ausblick

Konzept der Stromversorgung

- neben 2 Hausanschlüssen (Schule, Hausmeister)…

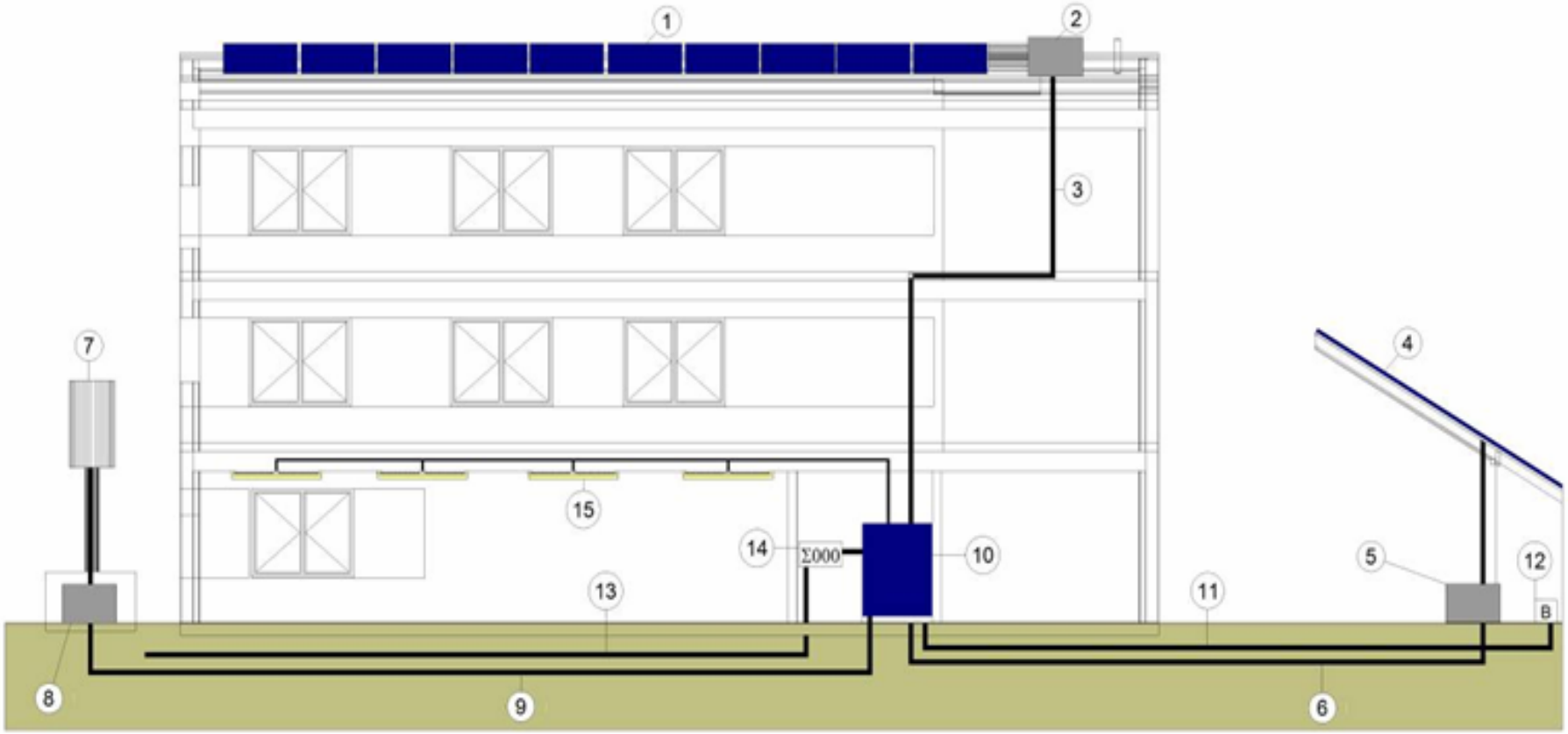
- 441 m² (73,99 kW Peak) Photovoltaik auf Dach (Süd, 15°)
- 40 m² (6,75 kW Peak) Photovoltaik auf Carport (Süd, 20°)

- Mikrowindrad 1 kW
  (aus pädagogischen Zwecken)

- Batteriespeicher 16 kWh

Quelle: Hochschule Magdeburg/Stendal

Stromerzeugung: schematisch



Für die Stromversorgung der Schule gibt es drei Anlagen zur Selbsterzeugung sowie einen Hausanschluss von den Stadtwerken. Komplettiert wird das Versorgungssystem durch eine elektrochemische Batterie.

Wichtigstes Element des Konzeptes sind die 441 m² Photovoltaik-Paneele (1) auf dem Schuldach. Sie sind nach Süden ausgerichtet und liegen flach (15° Neigung) auf dem Kiesbett des Flachdaches. Bei maximaler Sonneneinstrahlung produzieren sie eine Leistung von 74,48 kW (Peak), ansonsten je nach Strahlungsangebot. Es handelt sich um 302 Module aus polykristallinem Silizium.

Der produzierte Gleichstrom wird in fünf Wechselrichtern (2) in Wechselstrom mit 50 Hertz Frequenz umgeformt. So ist er kompatibel zum üblichen Netzstrom in Deutschland. Er wird in einem Kabel (3) vom Dach zu einer zentralen Steuereinheit (10) in der Elektrozentrale (Raum 0.04) im Erdgeschoss der Schule geleitet.

Das zweite Photovoltaikfeld (4) mit 45 Modulen bzw. 40 m² Fläche und einer Peakleistung von 6,3 kW befindet sich auf dem Carport. Es ist ebenfalls nach Süden ausgerichtet, jedoch mit 20° Neigung aufgestellt. Auch dieses Feld besitzt zwei Wechselrichter (5) und ist mit der Elektrozentrale verbunden. Es wird ein Erdkabel (6) dazu benutzt.

Der letzte Produzent ist eine Mikro-Windkraft-Anlage (7). Sie hat bei höchst zulässiger Windgeschwindigkeit (bevor die interne Bremse einsetzt) eine Leistung von 1 kW. Der Generator liefert prinzipiell bereits Wechselstrom, jedoch besitzt auch diese Anlage einen Wechselrichter (8), der die richtige Frequenz (50 Hz) herstellt. Über ein Erdkabel (9) ist auch das Windrad mit dem restlichen Netz verbunden.

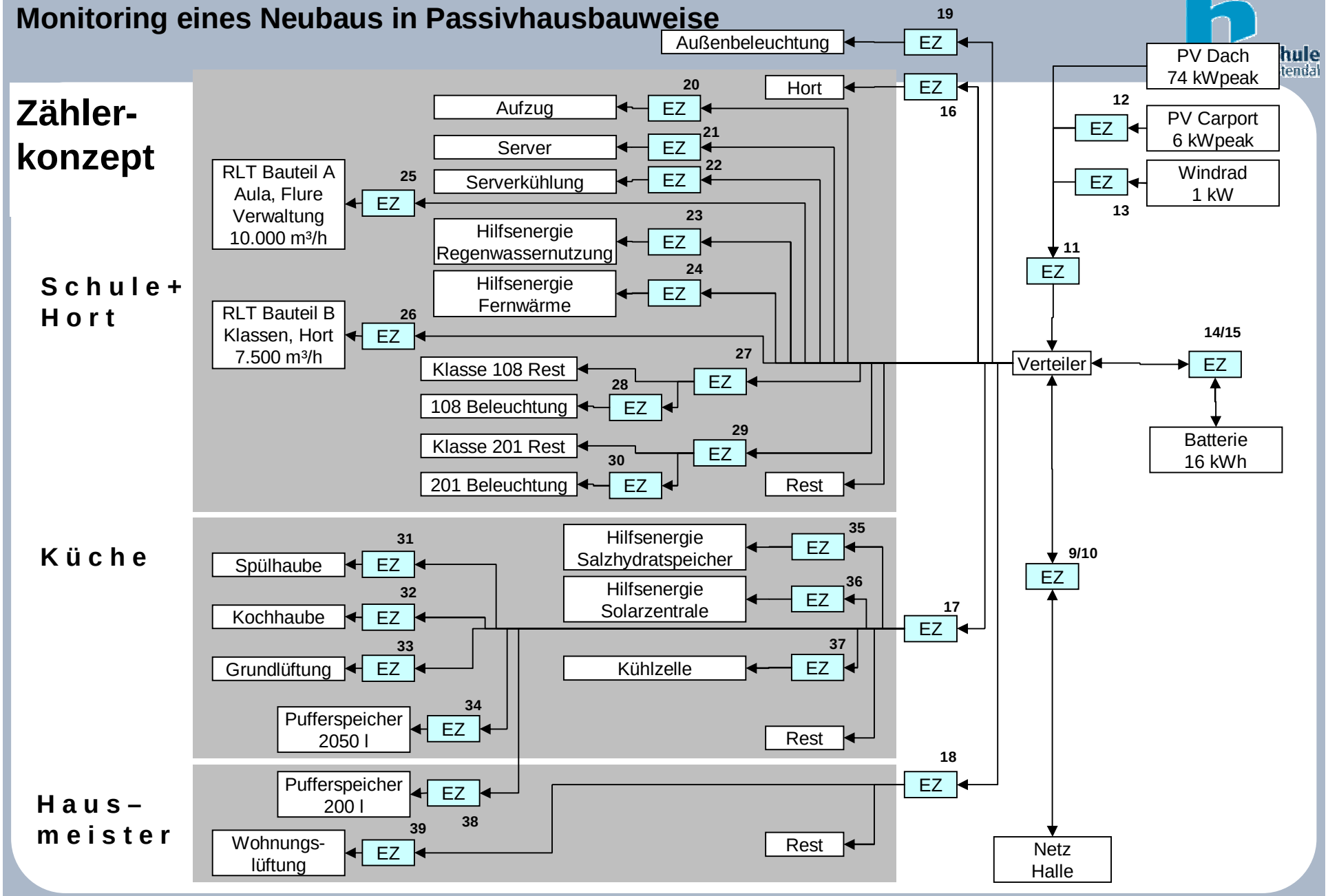
Das Herzstück der Anlage, also die Steuereinheit (10), registriert den produzierten Strom aus allen 3 Erzeugern sowie die Abnahme der Verbraucher (15). Übersteigt die Produktion den Stromverbrauch, wird eine Batterie (12) geladen. Ist diese voll, wird der Strom über einen Zähler (14) ins Netz des Versorgers eingespeist. Übersteigt der Verbrauch die Produktion, wird zuerst die Batterie geleert und danach aus dem Versorgernetz (13) Strom entnommen und gezählt (Zwei-Wege-Zähler).

Die Batterieanlage steht im Carport und ist mit einer eigenen Erdleitung (11) zur Be- und Entladung mit der Zentrale verbunden. Sie hat 16 Module mit einer Gesamtspeicherkapazität von 25,6 kWh. Diese Menge reicht zur Versorgung einer vierköpfigen Familie für zwei Tage. Für eine Schule ist die Nutzung einer Batterieanlage selten. Sie wird im Forschungsvorhaben daher untersucht.

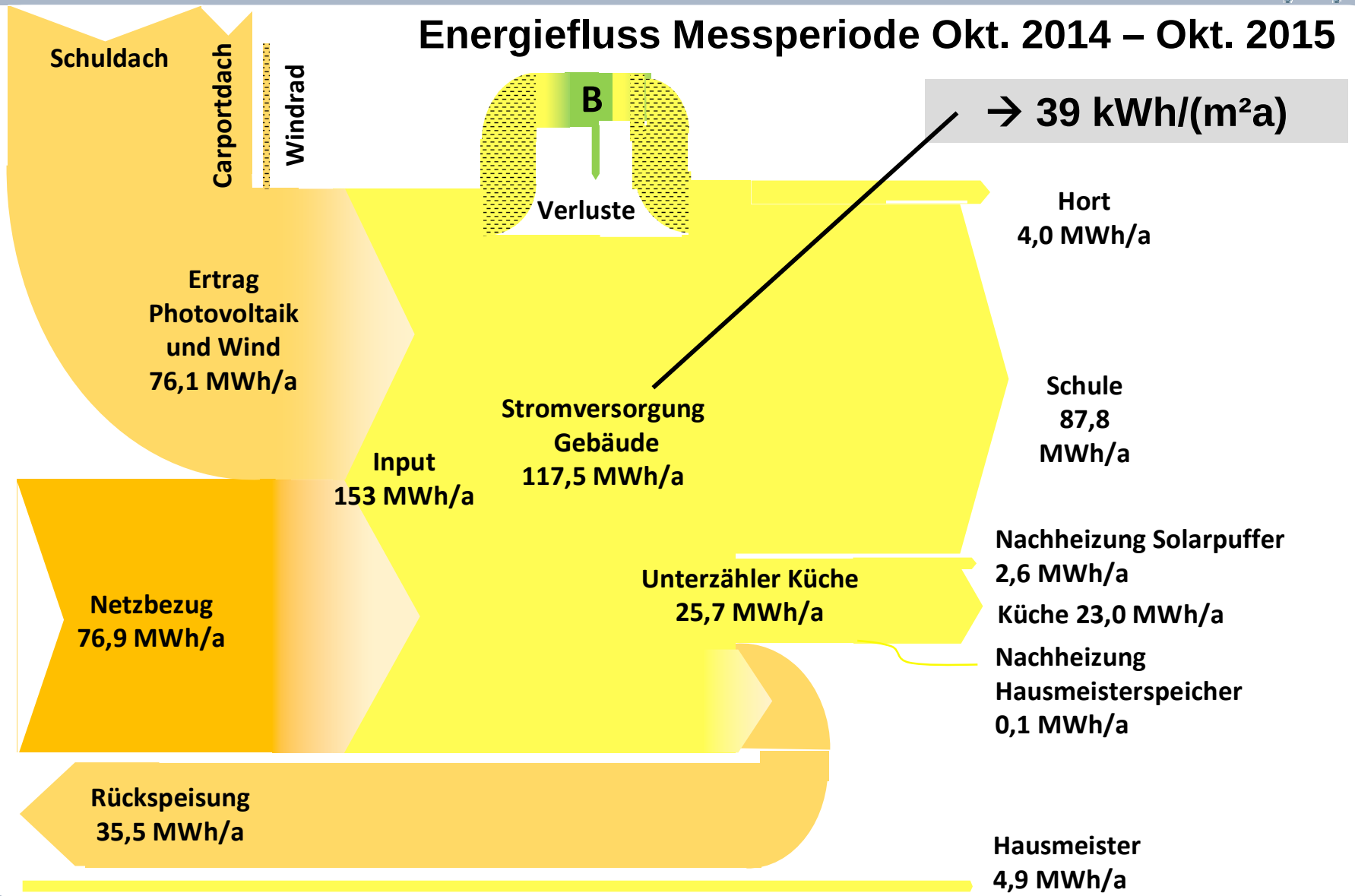
Der Hausmeister hat – wie jeder andere Einzelnutzer – einen eigenen Stromanschluss mit Zähler beim Versorger seiner Wahl. Seine Wohnung ist nicht mit der Photovoltaik verbunden.

St.-Franziskus-Grundschule in Halle (Saale): Monitoring eines Neubaus in Passivhausbauweise

Zähler-konzept



Energiefluss Messperiode Okt. 2014 – Okt. 2015



aktuelle Problemstellungen & Ausblick

- Optimierung Stromverbraucher: Lüftungsventilatoren für die Anlage BtA (Aula, Flure, Verwaltung), Aufzug (Standby)
- Zeitoptimierung Stromverbraucher: Kühlzelle (kein Nachtstrom)
- Ladung des zentralen Solarküchenspeichers: fehlende Umschaltung auf Fernwärmevorlauf, Nachladung nur elektrisch
- fehlende Batterieeinbindung (Softwareupdate SMA verhindert Nutzung)
- Verbrauch des Windrades während Stillstandszeiten (übersteigt Produktion!)

Wasserverbrauch

- Kurzbeschreibung des Konzepts
- Messwerte & Energieflussbild
- aktuelle Problemstellungen & Ausblick

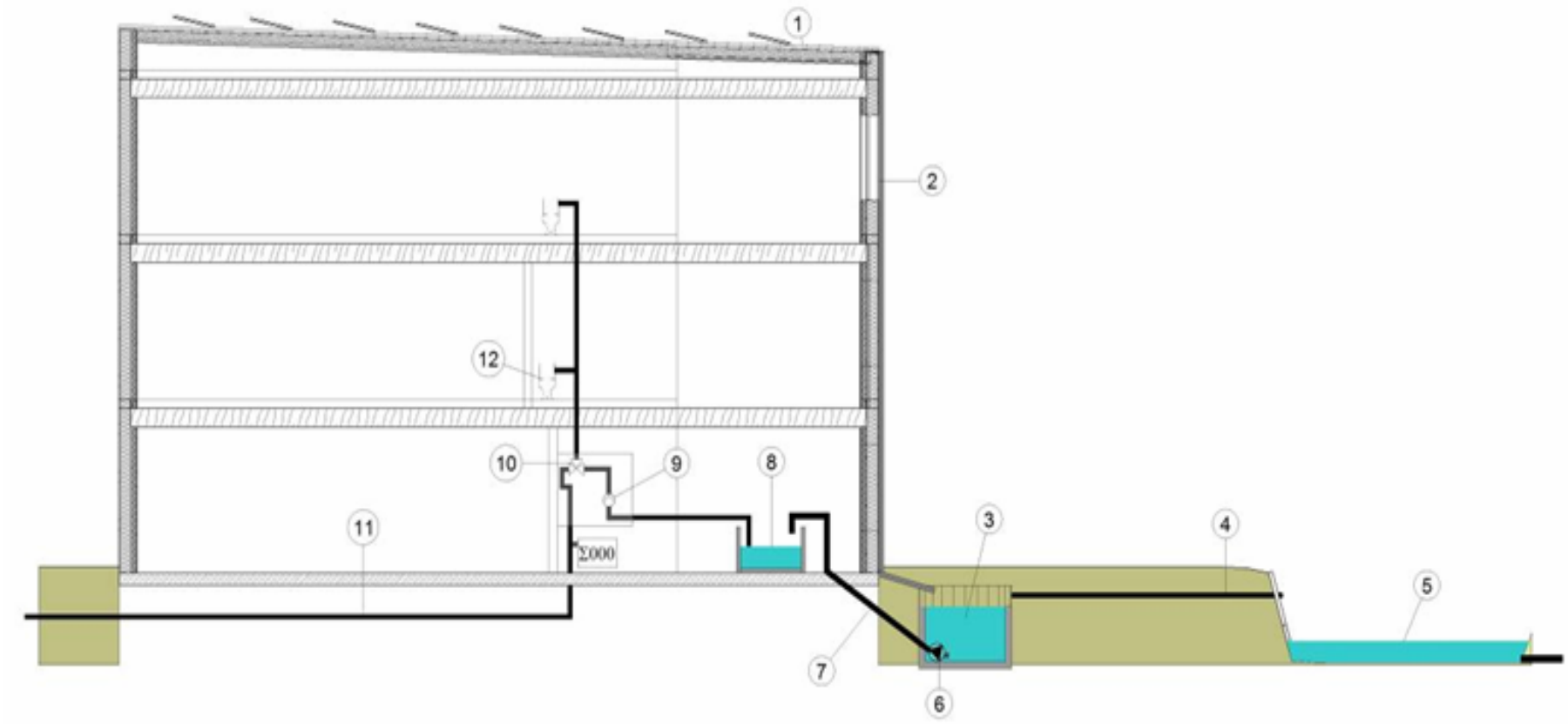
Konzept der Wasserversorgung

- neben einem Hauptwasseranschluss…
- Regenwasserzisterne 30 m³ mit Zwischenbehälter

- Regenwassernutzung für alle WCs (außer in der Küche)
- Warmwasser über Solarthermie und DLE (siehe vorn)

Quelle: Hochschule Magdeburg/Stendal

Wasser- und Regenwassernutzung: schematisch



Das Regenwasser wird auf der 1250 m² großen Dachfläche (1) gesammelt und durch Regenrinnen (2) hinter der äußeren Gebäudeverkleidung nach unten geleitet. Dort strömt es in eine Regenwasserzisterne (3) mit 30 m³ Fassungsvolumen. Die Zisterne ist auf der südlichen Gebäudeseite zwischen Haus und Überlaufteich im Erdreich eingebaut.

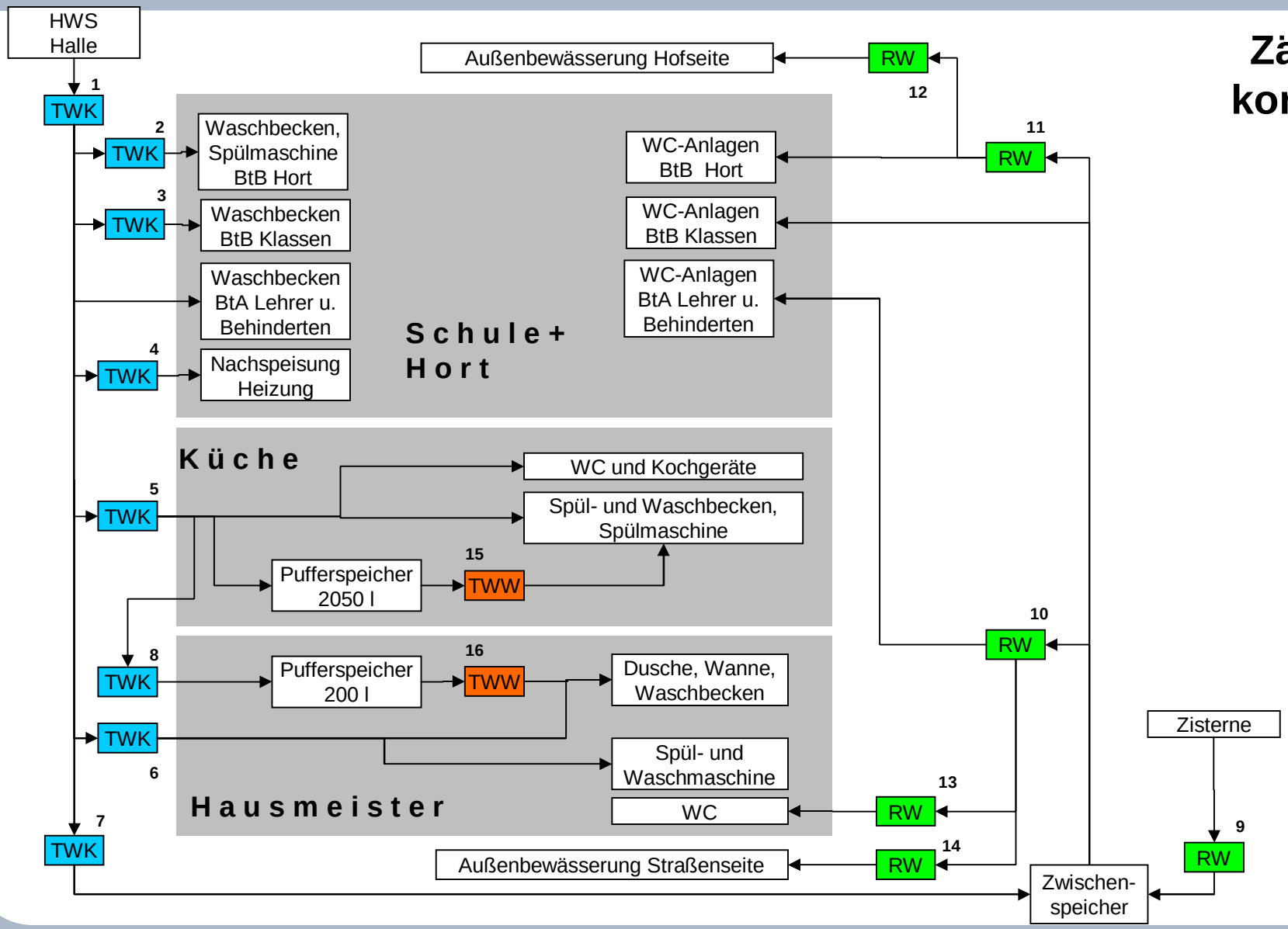
Ist die Zisterne gefüllt, wird das überschüssige Regenwasser über eine unterirdische Leitung (4) in den Überlaufteich (5) geleitet. Dort kann es versickern oder verdunsten.

Für die Nutzung im Gebäude ist die Zisterne der Ausgangspunkt. Mit einer Tauchpumpe (6) wird Regenwasser über eine Leitung (7) in einen Zwischenbehälter (8) gepumpt. Er hat ca. 150 Liter Fassungsvermögen und steht im Raum 0.18.

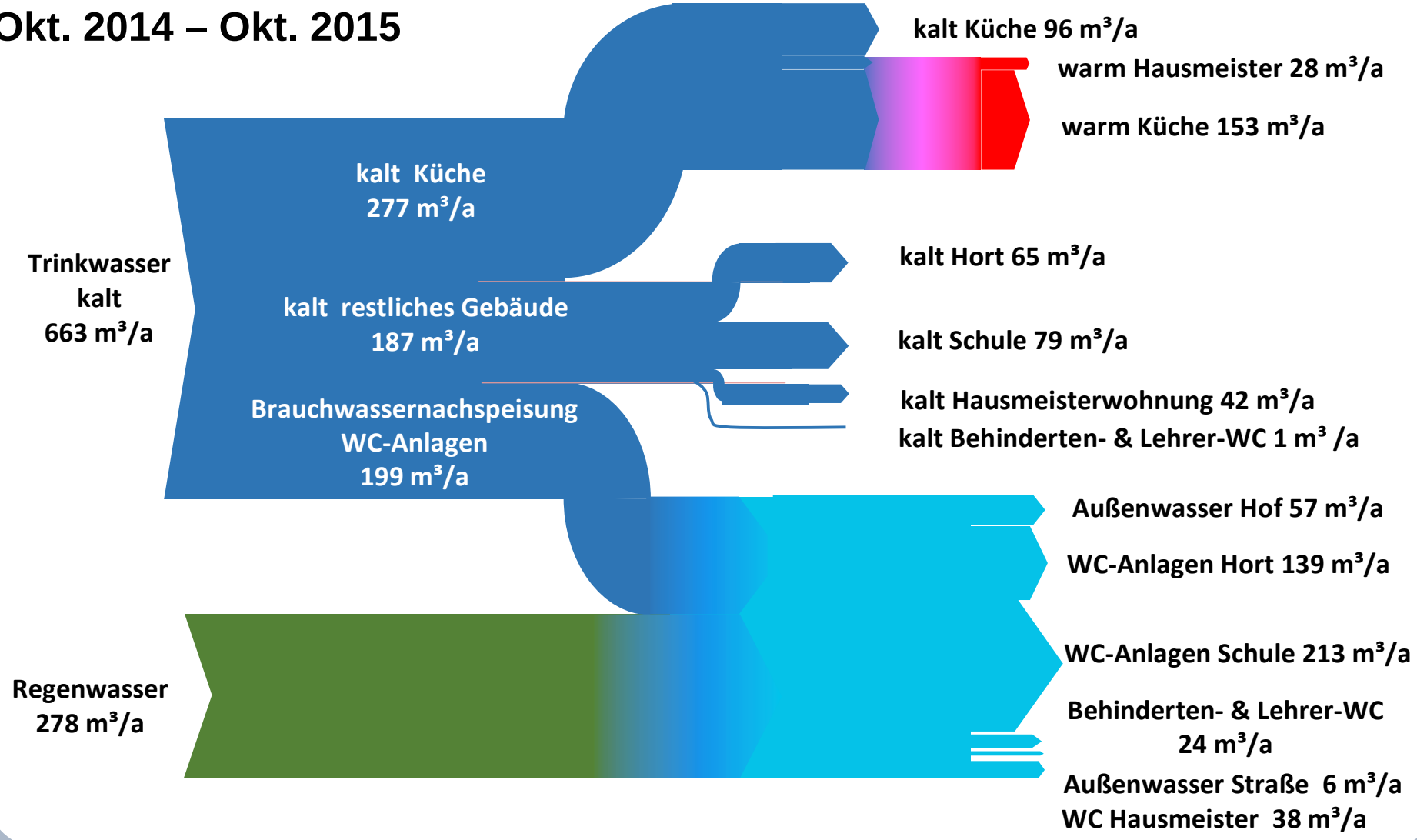
Eine zentrale Steuerungseinheit (10) registriert die Wasserzapfung der Verbraucher (12). Solange Wasser im Zwischenbehälter ist, wird dieses mit einer Pumpe (9) gefördert und kann zum Spülen der WCs verwendet werden. Ist der Zwischenbehälter leer, weil auch die Zisterne leer ist, kommt das Toilettenspülwasser vom Versorger (11). Dann wird es gezählt und es fallen die Frischwasserkosten an.

St.-Franziskus-Grundschule in Halle (Saale): Monitoring eines Neubaus in Passivhausbauweise

Zähler-konzept



Medienfluss Messperiode Okt. 2014 – Okt. 2015



Fazit

Gesamtfazit

- die Schule
  - erreicht beim Wärmeverbrauch mit 11 kWh/(m²a) den Passivhausstandard
  - erreicht bilanziell einen Stromverbrauch von 13 kWh/(m²a) bei einem realen Verbrauch von 39 kWh/(m²a)
  - erreicht einen Pro-Kopf-Wasserverbrauch von ca. 19 l/(P · d) bei ca. 250 Nutzungstagen und 200 Nutzern, wovon ca. 30 % aus Regenwasser stammen

- derzeit laufen:
  - die Auswertungen der Messstellen in der Konstruktion, Vorbereitung der nachträglichen Gebäudedichtheitsmessung mit Thermographie
  - Auswertungen zur Raumklimamessung mit Einschätzung der Behaglichkeit
  - Optimierungen der Lüftungsregelung, Solar-/Fernwärmeregelung, Stromselbstnutzung
  - Energiebilanzen

Kontakt

Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich Bauwesen
Breitscheidstraße 2
39114 Magdeburg

Quelle: Hochschule Magdeburg/Stendal

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

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