



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Gebäude- und Solartechnik
Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch
Mühlenpfordtstraße 23
D-38106 Braunschweig
www.igs.bau.tu-bs.de



Monitoring und Betriebsoptimierung des Willibald-Gluck-Gymnasiums in Neumarkt (i.d.OPf.)

Vorstellung Architektur, Energiekonzept, Monitoring und Betriebsoptimierung
M.Sc. Christian Kley

EnOB: Monitoring und Betriebsoptimierung des Willibald-Gluck-Gymnasiums in Neumarkt (i.d.Opf.)



Zielsetzung und Motivation

- Umsetzung der Schule und Turnhalle als **EnergiePLUS-Schule**
ganzheitliches innovatives Energiekonzept
- Nutzung **regenerativer Low-Ex Wärmequellen**
- Aufbau eines **Energie-Labors** für die Transparenz der Energieperformance und Einbindung in den Unterricht
- Einsatz und Evaluierung **optimierter Betriebsstrategien** mit dem Ziel: hoher Energieeffizienz und **hohem Eigenstromnutzungsanteil**
- **Verbreitung** der Erfahrung und Ergebnisse aus Planung, Bau und Betrieb



Architektur Schule und Turnhalle



Willibald-Gluck Gymnasium mit
Turnhalle, Neumarkt i.d.OPf.

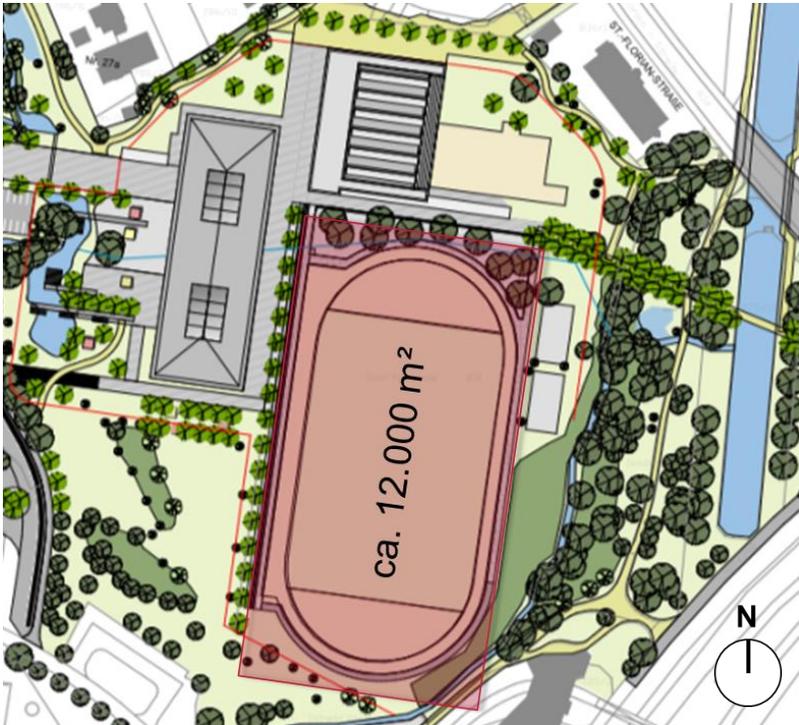
Bauherr: Landkreis Neumarkt

4-stöckiges Schulgebäude
(DG Technik)

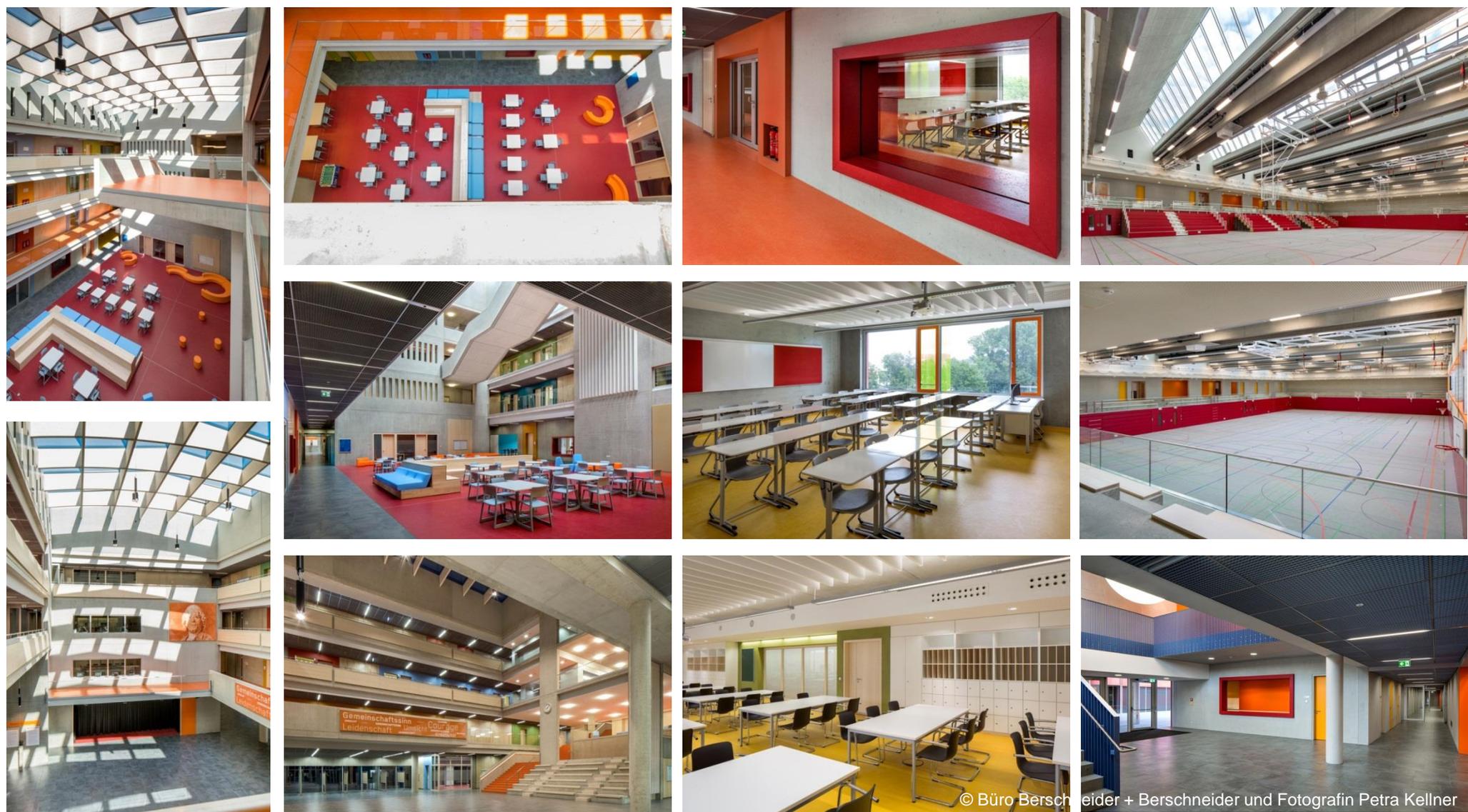
rund 1.400 Schüler
NGF rund 11.500 m²
zwei innenliegende Atrien

Dreifeld-Turnhalle im Nordwesten
NGF rund 2.900 m²

Bezug Winterschuljahr 2015/2016



Architektur Schule und Turnhalle



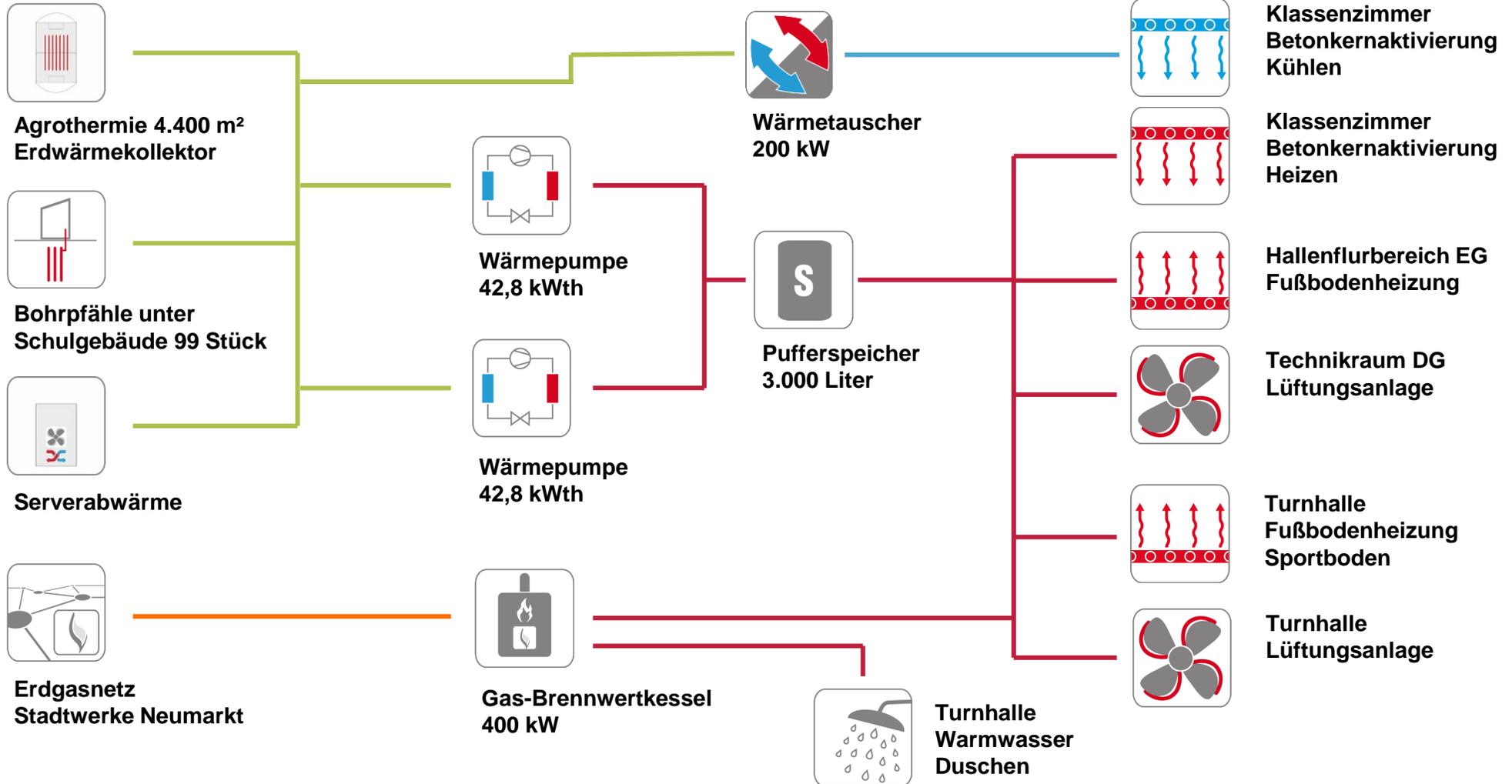
© Büro Berschneider + Berschneider und Fotografin Petra Kellner

Energiekonzept Wärme- und Kältekonzept

WÄRME- UND KÄLTEQUELLEN

WÄRME- UND KÄLTEERZEUGUNG

WÄRME- UND KÄLTEÜBERGABE



Wärmequelle Bohrpfähle unter Schulgebäude

Bohrpfähle unter dem Schulgebäude als Wärmequelle für die Wärmepumpen

- Bohrpfähle notwendig zur Lastenabtragung des Schulneubaus
- Ausstattung der Bohrpfähle mit Erdkollektorrohren
- Entziehung der Wärme des Untergrundes für die Wärmepumpe zur Heizung
- Im Sommer frei Kühlung der Klassenräume, Einbringung der Wärme aus den Klassenzimmern in den Untergrund Regeneration des Erdreichs
- Aktivierter Bohrpfähle 99 Stück a 8 bis 12 m Tiefe

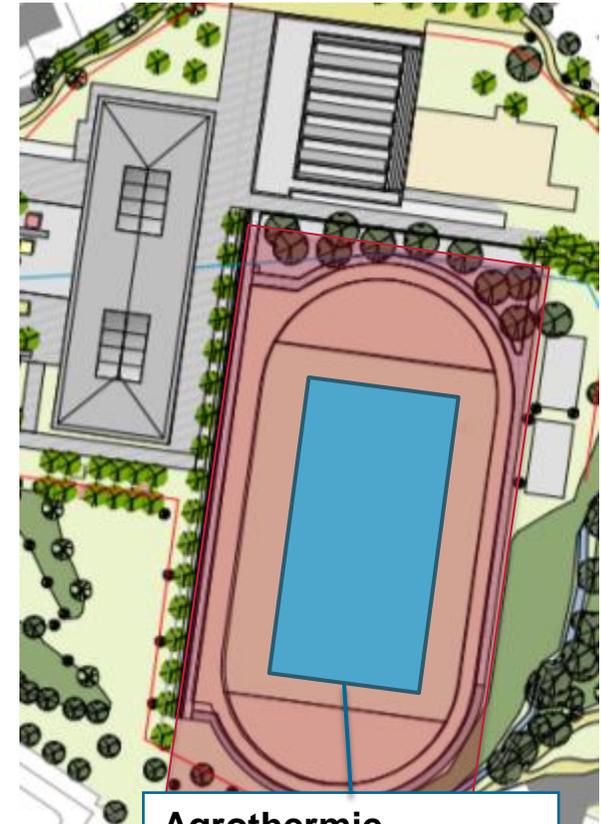


Wärmequelle Agrothermie - Flächenkollektor

Nutzung des Sportplatzes als Wärmequelle für die Wärmepumpen

- Flacher Erdwärmetauscher im Bereich Sportfeld
- Entziehung der Wärme des Untergrundes für die Wärmepumpe zur Heizung
- Im Sommer frei Kühlung der Klassenräume, Einbringung der Wärme aus den Klassenzimmern in den Untergrund
Regeneration des Erdreichs

Anzahl Stränge:	47 Stück à 93,5 m
Dimension Rohre:	Da 40 x 3,7
Einbringtiefe:	ca. 2,26 m (Einpflügen)
Kollektorfläche :	ca. 4.400 m ²



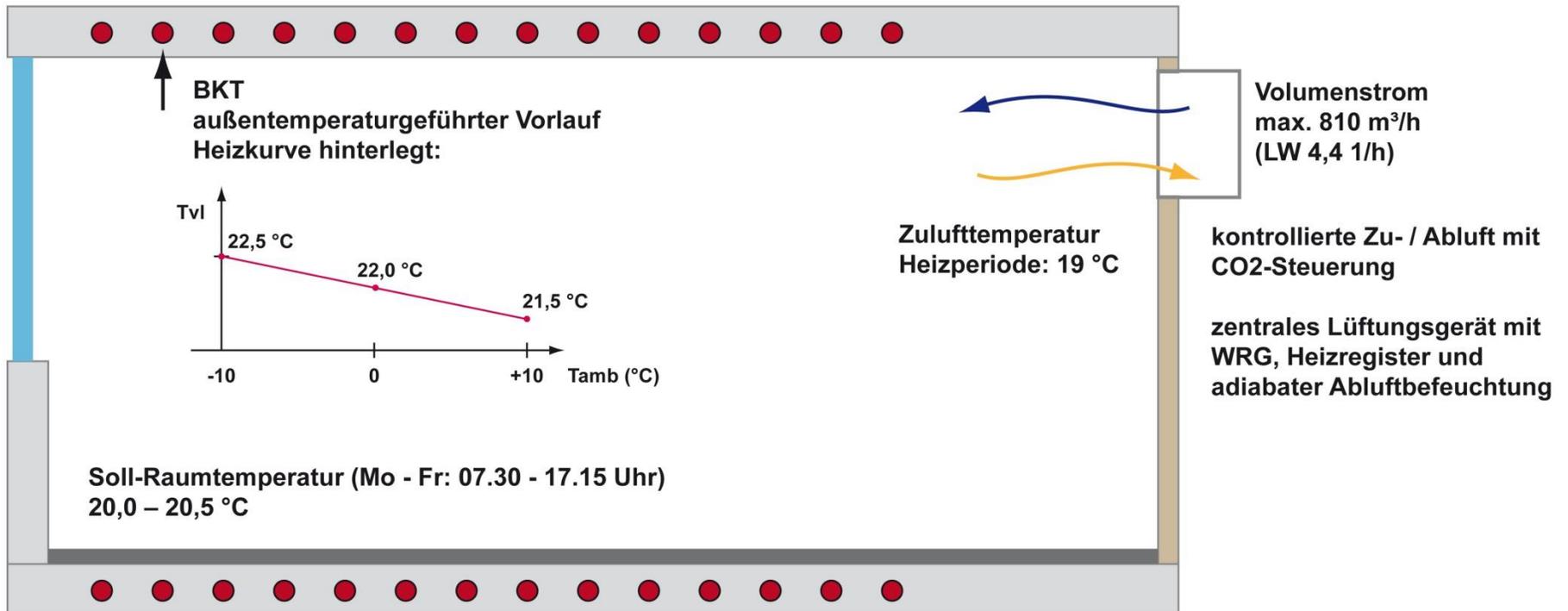
**Agrothermie
auf dem Sportfeld**
4.400 m²
90 kW

Wärmequelle Erstellung Agrothermiefeld



HEIZPERIODE

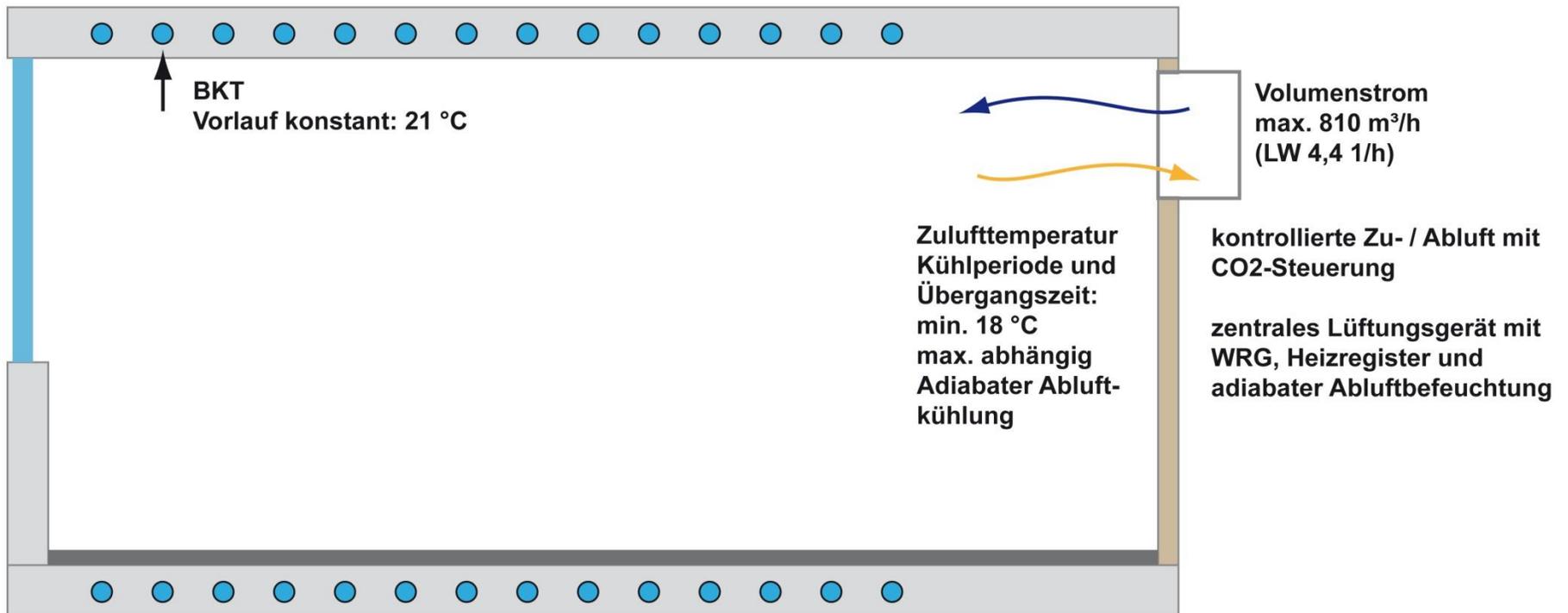
Betonkerntemperaturung (BKT) zum Heizen
Massivdeckenfläche zu 70 % mit BKT ausgerüstet



Energiekonzept Regelung – Klassenzimmer - Kühlperiode

KÜHLPERIODE

Betonkerntemperatur (BKT) zum Kühlen
Massivdeckenfläche zu 70 % mit BKT ausgerüstet



STROMERZEUGUNG



PV-Anlage 216 kWp
Schuldach



PV-Anlage 75 kWp
Turnhallendach

VERTEILUNG UND SPEICHERUNG



Wechselrichter



Wechselrichter

**Batterie-
Management**

Beladen ↓ ↑ **Entladen**



**Batterie-
Wechselrichter**



**VRF-Batterie
130 kWh**

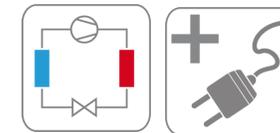
ELEKTRISCHE VERBRAUCHER



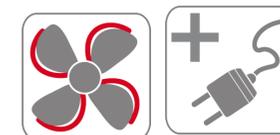
Beleuchtung
Schule und Turnhalle



Nutzerstrom
Schule und Turnhalle



**Wärmepumpen,
Umwälzpumpen und
Regelung**



**Lüftungsanlagen
und Regelung**

PV-Einspeisung ←

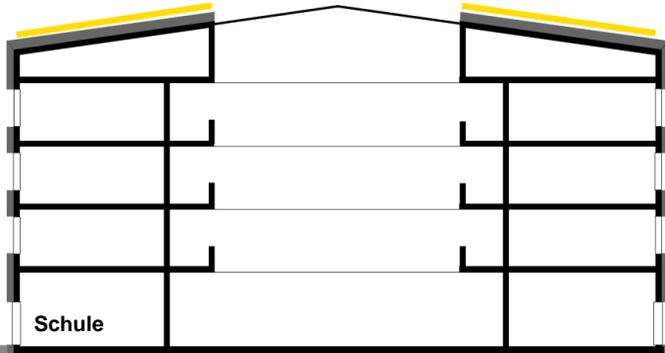
→ **Netz-Strombezug**



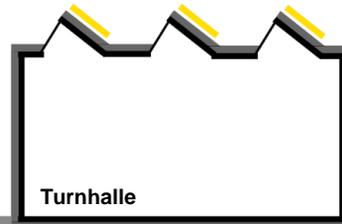
Öffentliches Stromnetz
Stadtwerke Neumarkt

PV-Anlage für Schule und Turnhalle

216 kW_p



75 kW_p



Solarer Strompreis

PV Dach Schule+Turnhalle | 291 kW_p



1.100 €/kW_p

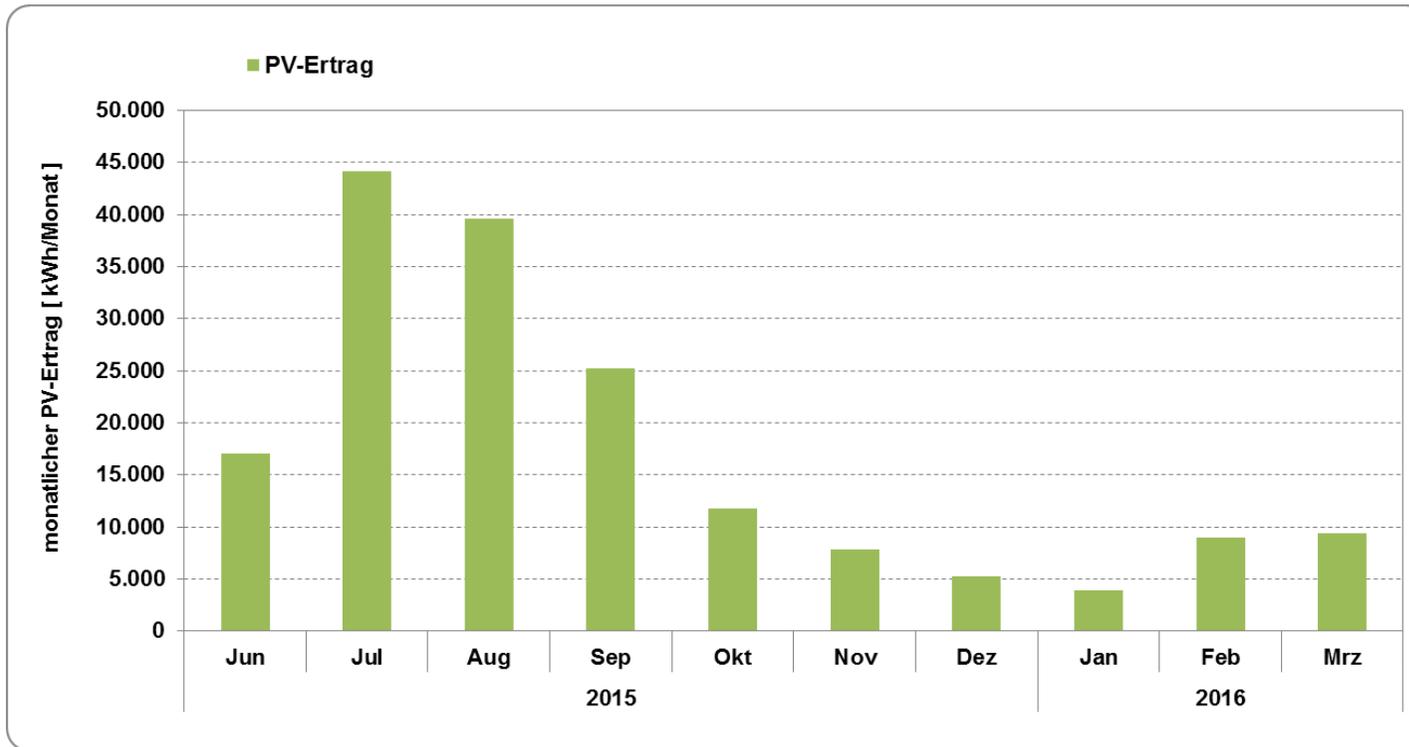
Solarer Strompreis
ca. 10 ct/kWh



PV-Anlage

PV-Ertrag und Eigennutzungsanteil

monatlicher PV-Ertrag vom Zeitraum 17.06.15 bis 18.03.16



PV-Ertrag: 173.130 kWh (= 595 kWh/kWp)

PV-Eigennutzung: 117.997 kWh

PV-Eigennutzungsanteil: 68 %

Strombatterie am WGG Vanadium Redox Flow-Batterie

Spezifikationen CellCube FB 30-130:

Elektr. Speicherkapazität: 130 kWh

Nutzbare Kapazität: 100 %

max. Ladeleistung: 30 kWp

max. Entladeleistung: 30 kWp

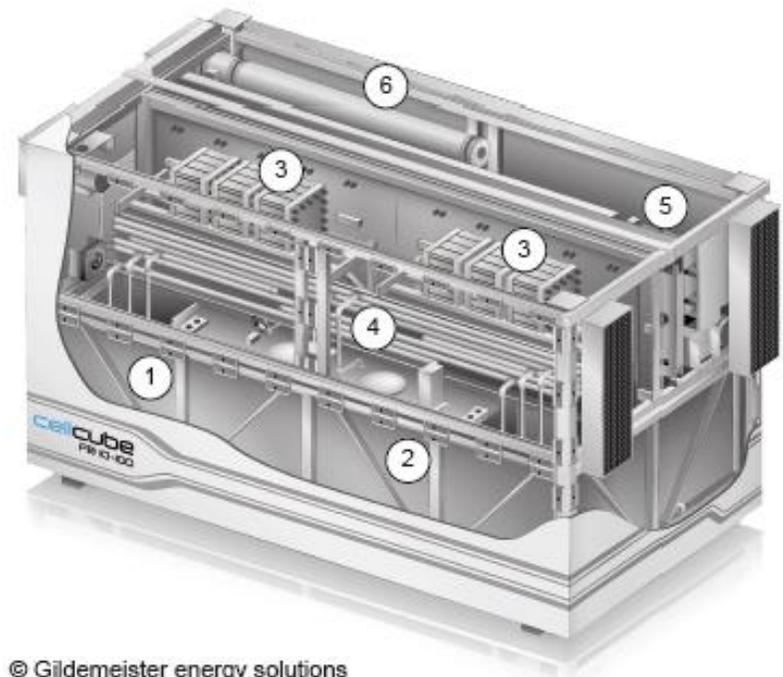
Gewicht gefülltes System: 14.000 kg

Inbetriebnahme CellCube: Oktober 2015

volle Ladekapazität nach rund 5 h bei 26 kWp

Deckung des durchschnittlichen Tagesbedarf

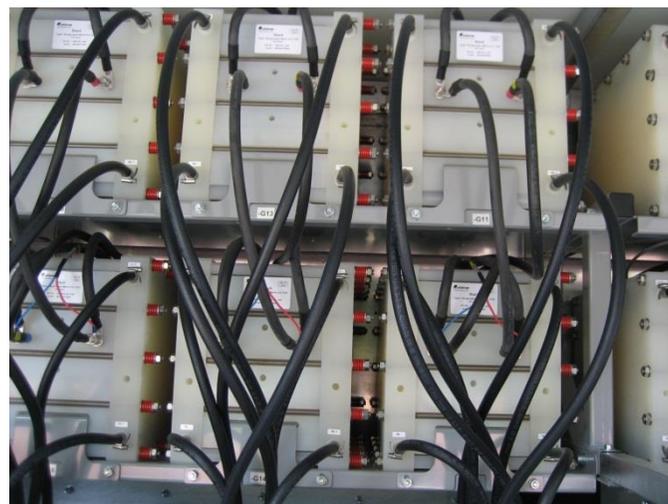
von 12 Einfamilienhäusern



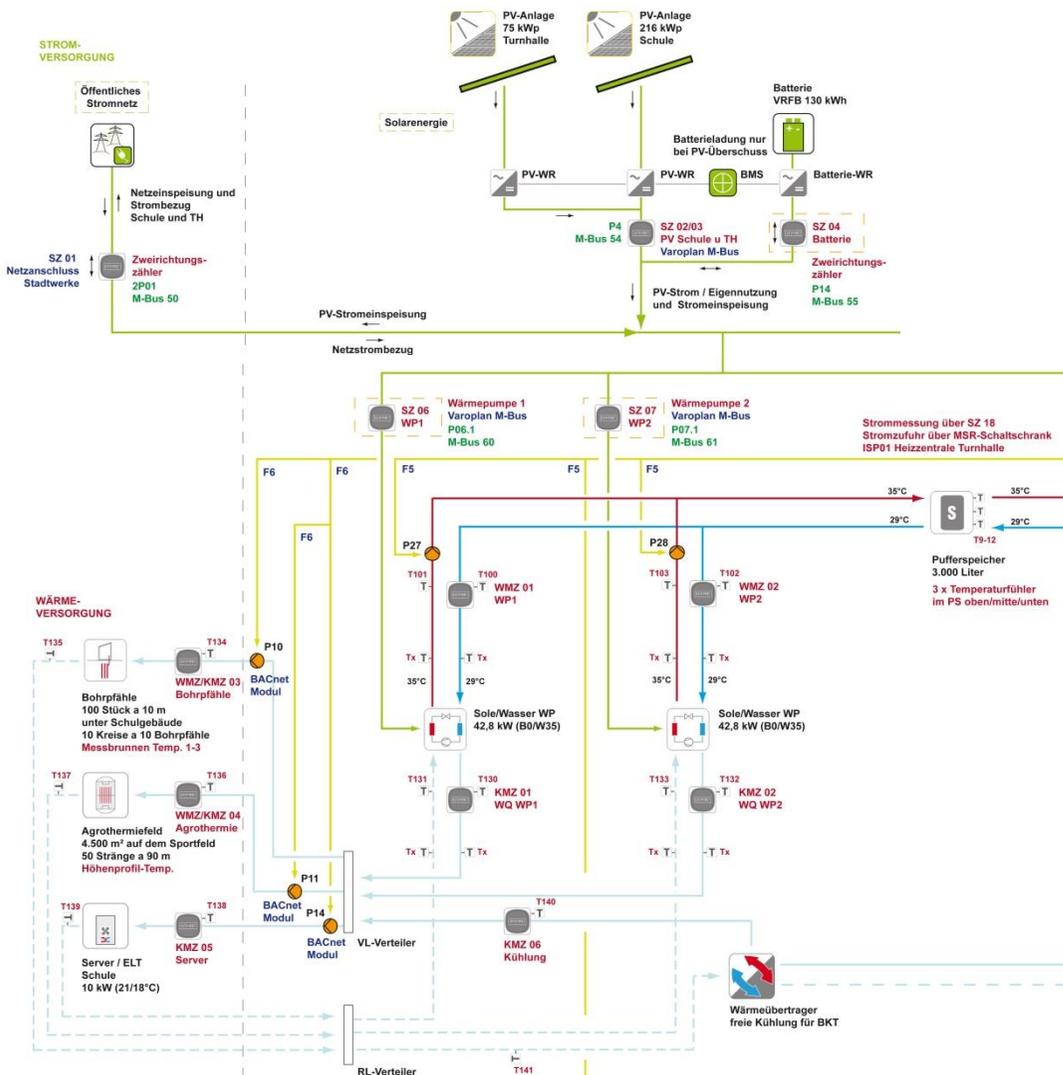
© Gildemeister energy solutions

- | | | | |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| 1 | negativer Speicher-Tank | 4 | Flüssigkeitspumpe |
| 2 | positiver Speicher-Tank | 5 | Wechselrichter |
| 3 | Elektro-chemische Zellen | 6 | Batteriemanagementsystem |

Vanadium Redox Flow-Batterie Lieferung und Inbetriebnahme



Mess- und Monitoringkonzept Zählerschema



850 Datenpunkte aus der GLT
Sensoren und Fühler

12 x Stromzähler
(2 x Zweirichtungszähler)

3 x BACnet Modul
(Pumpe Agrothermie, Bohrpfähle
und Server)

15 x Wärmemengenzähler
8 x Kältemengenzähler
(2 x Kombi-Zähler)

1 x Wasserzähler

1 x Gaszähler (Stadtwerke)

1 x Netzanschluss (Stadtwerke)
Netzbezug und -einspeisung

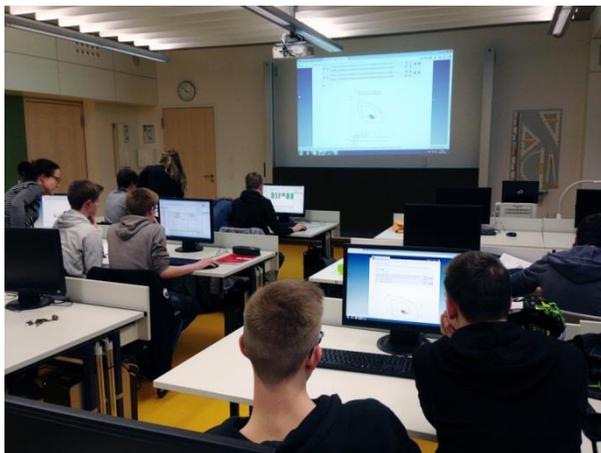
Mess- und Monitoringkonzept Probleme und „Hürden“ bei der Umsetzung

- Verzug der vollständigen Inbetriebnahme der Anlagentechnik um mehr als 6 Monate (Inbetriebnahme Wärmepumpe seit Februar 2016)
- Beengte Einbausituation der Zähler im Heizungsraum, teilweise sehr schwer einsehbare Zählerwerke
- „lückenhafte“ Funktionsbeschreibung und Hydraulikschemas
- „lückenhafte“ Zählerliste der eingebauten Stromzähler mit Angabe der Zählerhierarchie, des Zählertyp und der jeweiligen Seriennummern
- aufgetretene Mängel bei den Zählern:
 - Zähler falsch positioniert
 - falscher Zählertyp (Einrichtungs- anstatt Zweirichtungszähler verbaut)
 - Zähler falsch angeklemt (negative Werte)
 - Datenverbindungen fehlten
 - fehlende Zähler und Strom-/Datenleitungen
 - doppelte Zählerbezeichnungen
 - internes M-Bus Modul defekt
 - Temperaturfühler Vorlauf- / Rücklauf vertauscht angeschlossen

- **vollständige Inbetriebnahme Monitoring**
 - Auswertung Energieperformance, Thermische Behaglichkeit und Eigenstromnutzung
- **Entwicklung von Betriebsstrategien**
 - Simulationen einzelner Betriebsstrategien zur Optimierung der Energieeffizienz z.B. effiziente Nutzung der regenerativen Low-Ex Wärmequellen
 - Parameterstudie zur Steigerung des Eigenstromanteils
- **Aktive Funktionsbeschreibung**
 - webbasierte Plattform zur Spezifikation und Fehlererkennung im Betrieb
 - Validierung verschiedener Betriebs- und Regelstrategien (Energienavigator)
 - Umsetzung und Prüfung der erarbeiteten Betriebsstrategien
 - stetiger virtueller Prüfstand der Gebäudeperformance -> Betriebsgüte

Einbindung Schüler und Lehrer

- **Transparenz und Akzeptanz der Gebäudeperformance**
 - Ziel: Visualisierung der aufgezeichneten Betriebsdaten, der Energieperformance und des Innenraumkomforts im Schulgebäude – für Schüler, Lehrer, Betreiber und Bauherr
 - Lernplattform / Energielabor (Energienavigator) für Schulunterricht
 - Schulseminare für Oberstufen
 - Visualisierung Monitoring für Schüler und Lehrer





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit