GYMNASIUM BAESWEILER

Monitoring
der energetischen Sanierung
(Passivhausstandard)

Auftraggeber:
Stadt Baesweiler
Mariastr. 2, 52499 Baesweiler

„Gymnasium Baesweiler – Monitoring der energetischen Sanierung (Passivhausstandard)“

AZ 26650/02+03-25

Bearbeitet von:

INCO GmbH
Dipl.-Ing. Martin Klima
Dipl.-Ing. Regina Bähr

RONGEN ARCHITEKTEN GmbH
Prof. Dipl.-Ing. Ludwig Rongen
Dipl.-Ing. Reiner Wirtz

Gefördert durch:

gefördert durch
DBU
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
www.dbu.de

Aachen/Wassenberg im November 2015

06/02

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	Referat	Fördersumme
26650/02 **26650/03**	**25**	**149.296**

Antragstitel **Gymnasium Baesweiler – Monitoring der energetischen Sanierung**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
(36) 15 Monate	**Mai 2010**	**Juni 2015**	**Schlussbericht**
Zwischenberichte	10.2012 10.2013	10.2014	

Bewilligungsempfänger Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

Tel 02401/800-0
Fax 02401/800-117

Projektleitung
Herr Ralf Peters

Bearbeiter
Herr Ralf Peters

Kooperationspartner RONGEN Architekten GmbH, Propsteigasse 2, 41849 Wassenberg
Prof. Dipl.-Ing. Ludwig Rongen, Architekt + Stadtplaner BDA,
zertifizierter Passivhausplaner

Inco GmbH, Alexanderstr. 69-71, 52062 Aachen

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Das in den 1970er errichtete Gymnasium Baesweiler wurde in den Jahren 2008-14 energetisch auf den Passivhausstandard für Neubauten saniert. Die Auswirkungen der energetischen Sanierung sollten mittels eines umfangreichen Monitorings sowohl wichtiger energetischer Parameter als auch subjektiv empfundener auf ihre Effizienz hin untersucht werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Von erhöhtem Interesse – und somit Untersuchungsgegenstand des Monitorings - waren insbesondere:
- Vergleich der Energieeffizienz mit den Planungswerten nach Passivhausstandard
- Erfassen der Behaglichkeit (Temperatur, Feuchte, Überhitzungen, CO_2- Konzentrationen)
- Effizienz der sommerlichen Kühlung über Nutzung von Erdkälte über eine Sondenanlage
- Effizienz der Wärmepumpenanlage in Verbindung mit Erdwärmenutzung über ein Sondenfeld zur regenerativen Energieerzeugung
- Auswertung des Betriebsverhaltens großer Lüftungsanlagen, insbesondere zur elektrischen Effizienz
- Trinkwarmwasserbereitung in Turnhallen

Das Monitoring wurde wissenschaftlich begleitet durch Prof. Wagner von der TU Karlsruhe. Die Auswertungen der Messungen erfolgten mit dem Programm „monisoft“, das an dessen Lehrstuhl entwickelt wurde.

In allen Schultrakten wurden in ausgesuchten Klassenräumen Raumfühler für die Behaglichkeitsmessung auf die Gebäudeleittechnik aufgeschaltet und die Messwerte aufgezeichnet und überprüft. Im April 2014 wurde das Ingenieurbüro Inco GmbH mit dem Monitoring beauftragt. Sie stellten die erforderliche Datenverbindung her, um die Daten der GLT zum Programm „monisoft“ zur Aufzeichnung und Auswertung zu leiten. Die einzelnen Messpunkte wurden den Untersuchungsschwerpunkten zugeordnet und benötigte Strom, Kälte, und Temperaturfühler spezifiziert. Bei einer stichprobenhaften Plausibilitäts- und Funktionsprüfung wurden festgestellte Defizite bei den Messstellen behoben.
Nutzerbefragungen vor und nach der Sanierung sollten die subjektiv empfundenen Veränderungen dokumentieren.

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertungen des nur einjährigen Monitorings zeigen, dass die gemessenen Verbrauchswerte (Wärme und Strom) oft von den im PHPP ermittelten Werten abweichen. Es wurde ein Mehrverbrauch im Bereich Lüftung, Beleuchtung und Grundlast festgestellt.

Ursächlich für den Mehrverbrauch auszumachen sind neben tatsächlich längeren Betriebszeiten als ursprünglich angenommen und höheren spez. Leistungsaufnahmen der Lüftungsgeräte vor allem auch Defizite im hydraulischen und regelungstechnischen Konzept der Wärmeerzeugungs- und Verteilungsanlage, verursacht durch den Einsatz hydraulischer Weichen. Eine bessere Abstimmung der Wärmeübertragungssysteme von Lüftung und stat. Heizung führt zu besseren Ergebnissen.
Die *Lüftungsanlage* der Turnhalle lag aufgrund einer falschen Volumenstromkalibrierung und Leckagen im Lüftungsgerät mit 1 Wh/m³ spez. Leistung deutlich über dem angestrebten Wert, der durch Nachbesserungen bereits auf 0,67 Wh/m³ reduziert werden konnte. Hier besteht weiterer Handlungsbedarf.
Ohne ein Monitoring wären die erhöhten Werte nicht aufgefallen und hätten anhaltend zu erhöhtem Stromverbrauch geführt.
Bei der *Warmwasserbereitung* in der Turnhalle führte ein ursprünglich zu hoch eingeschätzter WW-Bedarf zu einer falschen Auswahl des Warmwasserbereitungssystems. Bei dem real niedrigen Warmwasserbedarf von 190 l/Tag wäre ein dezentrales System mit Elektrodurchlauferhitzern die wirtschaftlichere und ökologischere (CO_2-Ausstoß und Primärenergieaufwand) Variante gewesen.
Eine festgestellte *Grundlast* von 1W/m², die wahrscheinlich von Allgemeinverbrauchern wie Brandmelde-, Ela-, Notstrom- Telefonanlage verursacht wird, führt zu hohem Stromverbrauch - ein grundsätzliches Phänomen an Schulen. Dieser Verbrauch wird oft unterschätzt. Weitergehende Untersuchungen zur genaueren Differenzierung der Grundlast sind sinnvoll.
Die *Behaglichkeit* konnte durch die Senkung der CO_2-Werte auf weitgehend unter 1.500 ppm verbessert werden. Eine optimierte Steuerung des Sonnenschutzes würde die nur wenigen *Überhitzungsstunden* beseitigen, so dass keine aktive Maßnahme zur Kühlung notwendig wird. Das Anlagenkonzept sieht ursprünglich zwei Maßnahmen zur Kühlung vor, zum einen über die Zuluft der Lüftungsgeräte, zum anderen über das Erdsondenfeld. Das Monitoring zeigte auf, dass beide Kühlmaßnahmen aufgrund der Untersuchungsergebnisse nicht notwendig sind. Das Gebäude regeneriert über Nacht über die Gebäudemasse.

Insgesamt konnte durch die Sanierung eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs um bislang 85% erreicht werden. Erste Auswertungen der Stadt Frankfurt (Linder, 2014) zeigen hinsichtlich von in Passivhaus-Neubauqualität gebauter Schulen, dass die spez. Heizenergieverbräuche zwischen 21 und 41kWh/m²a liegen. Das Gymnasium Baesweiler liegt mit derzeit 25 kWh/m² gut im Rahmen dieser Studie.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Im Laufe der Bauzeit wurde das inzwischen vom PHI Darmstadt in allen vier Trakten zertifizierte Projekt vielfach der Öffentlichkeit in zahlreichen Berichten in der Tages- und Fachpresse sowie in Funk- und Fernsehen präsentiert. Die Baufortschritte sowie das Monitoring selber wurden in diversen nationalen und internationalen (Fach-)Vorträgen erläutert. Die Sanierung wurde oft als nachahmenswertes Beispiel für energieeffiziente Altbausanierung publiziert. Die Stadt Baesweiler erhielt für die Sanierung des Gymnasiums 2010 den Umweltpreis „Kommunaler Klimaschutz“, 2013 das „good practice Energieeffizienzlabel“ der dena sowie den „Best of Awards 2013“ von Isover St. Gobain.

Fazit

Aufgrund des Monitorings konnten diverse Defizite bei der *Inbetriebnahme der Gebäudetechnik* aufgedeckt werden, ein wichtiger und zu oft vernachlässigter Punkt in der Haustechnik. Hohe Fehlerquoten liegen im Thema „Hydraulik und Regelung“ in komplexen Wärmeerzeugungs- und -bereitstellungssystemen. Dieser Themenbereich sollte in der Fort- und Weiterbildung von Ingenieuren mehr Aufmerksamkeit erhalten.
Die elektrische *Grundlast* in Schulen stellt einen, oft vernachlässigten, weil nicht bewusst wahrgenommenen, erheblichen Stromverbrauch dar. Tiefergehende Untersuchungen zu dieser Thematik wären sinnvoll und auf eine Vielzahl von Gebäuden zu übertragen.
Durch das Monitoring konnten viele Fehler aufgedeckt und bereits in der laufenden Monitoringphase behoben werden. Es bleibt Nachbesserungsbedarf, der von der Stadt zeitnah umgesetzt und weiter beobachtet wird, ob die Maßnahmen den gewünschten Erfolg erzielen.
Abschließend bleibt zu sagen, dass eine Monitoringphase während und nach der Bauphase für eine Bauaufgabe dieser Größenordnung fast ein unverzichtbares Instrument der Qualitätskontrolle ist und sich in jedem Fall für die Nutzer- wie die Betreiberseite positiv auswirkt auf die Behaglichkeits- und Effizienzsteigerung und somit auch einen wichtigen Beitrag leistet für den Klimawandel.

Inhalt

Projektkennblatt
Inhaltsverzeichnis
Abbildungsverzeichnis
Verzeichnis von Begriffen, Definitionen und Abkürzungen
Zusammenfassung

1 Ausgangssituation – Vorgehen – Zielsetzung 13
2 Kurzdokumentation Altbestand 15
2.1 Analyse des unsanierten Bestandes 15
2.1.1 Bauteilaufbauten Altbestand 16
2.1.2 Wärmebrückenproblematik sichtbar gemacht 20
2.1.3 Nutzerbefragung vor Baubeginn 21
2.2 Sanierung zum Passivhausstandard 23
2.2.1 Fassadensanierung und Luftdichtheit 23
2.2.2 Haustechnik 28
2.2.3 Regeldetails und Wärmebrücken 28
2.2.4 Nutzerbefragung nach der Sanierung im Vergleich 37
3 Wirtschaftlichkeitsberechnung 39
3.1 Parameter dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung 39
3.2 Variantenvergleich 40
4 Monitoring 59
4.1 Vergleich Energieeffizienz mit den Planungswerten nach PHPP 60
4.1.1 Strom 60
4.1.2 Wärme 70
4.2 Auswertung Behaglichkeit 75
4.2.1 CO_2 75
4.2.2 Temperatur- und Feuchte 77
4.2.3 Überhitzungsstunden 79
4.2.4 weitere Handlungsschritte 81
4.3 Effizienz sommerlicher Wärmeschutz und sommerliche Kühlung 82
4.3.1 Außenliegender Sonnenschutz 82
4.3.2 Nachtkühlung Lüftungsgeräte 82

4.3.3 Vorkühlung der Zuluft über das Erdsondenfeld 83
4.3.4 Weitere Handlungsschritte 84
4.4 Effizienz Wärmepumpe 85
4.4.1 Arbeitszahlen 85
4.4.2 Wärmebereitstellung Wärmepumpe/ Gasbrennwertkessel 87
4.4.3 Hydraulische und Regelungstechnische Einbindung der Wärmepumpen 88
4.4.4 weitere Handlungsschritte 93
4.5 Auswertung Betriebsverhalten großer Lüftungsanlagen 93
4.5.1 Elektroeffizienz 94
4.5.2 Wärmerückgewinnungsgrad 95
4.5.3 Weitere Handlungsschritte 98
4.6 Trinkwasserbereitung Turnhalle 99
4.6.1 Weitere Handlungsschritte 104
5 Zusammenfassung 105
6 Ausblick 108
7 Literaturverzeichnis 109
8 Anhang 109

Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abb. 1: Übersichtsplan 14
Abb. 2: Trakt- und Bauabschnittübersicht 15
Abb. 3: Attika Altbestand , Trakt 1 mit vorhandener Dämmung (links) und Trakt 2 ungedämmt (rechts) 16
Abb. 4: Brüstung Altbestand Trakt III und IV 17
Abb. 5: Fensterdetail Altbestand mit Oberlicht 17
Abb. 6: Altbestand Trakt 1 mit Pausenhalle und durchgängiger Stützenreihe 18
Abb. 7: tragende Stütze im Bereich der Außenwand Altbestand 18
Abb. 8: Kellerdecke mit Unterzug und Außenwandanschluss 19
Abb. 9: ‚Kölner Lüftung' 20
Abb. 10: Thermografiebeispiel der verglasten Nordfassade Treppenhaus in Trakt 1 20
Abb. 11: Thermografiebeispiel Sockelbereich, Trakt 2 - Ostfassade 21
Abb. 12: Thermografiebeispiele der Südfassade Trakt 2, Bj. 1993 21
Abb. 13a)-13e): Auswertung der Fragebögen bezogen auf die Situation vor Sanierungsstart 22
Abb. 14: Attikadetail Trakt 1 24
Abb. 15: Fassadensystem – Vertikalschnitt 25
Abb. 16: Bauteiluntersuchung Fassade Trakt 4 25
Abb. 17: Fassadensystem - Horizontalschnitt 26
Abb. 18: vorbereitende Arbeiten zur Befestigung der Vorhangfassade 26
Abb. 19: Luftdichtkonzept Fassadenbefestigung 27
Abb. 20: Luftdichtkonzept Fassade: Abklebung Bauteil- und Plattenstöße 27
Abb. 21: Luftdichtkonzept Fassade: „Rotstiftregel" 27
Abb. 22: Alternativen zum Wärmebrückenzuschlag der Fassadenverankerung 29
Abb. 23: Fassadenbefestigungssystem mit thermischer Trennung 30
Abb. 24: Thermografie überdachte Pausenhalle Trakt 1 mit Glasfassade (Trennung Innen- und Außenbereich) 31
Abb. 25: Thermografie der Südfassade Trakt 1 31
Abb. 26: Prinzip Kellerdeckendämmung 33
Abb. 27: Prinzip Sockeldämmung im nicht unterkellerten Bereich 33
Abb. 28: Wärmebrückenberechnungen Fassadenabschlüsse 34
Abb. 29: Wärmebrückenuntersuchung Stützendurchdringung 34
Abb. 30: Thermografie Stütze Pausenhalle Trakt 1 35
Abb. 31: Durchdringungsprinzip der neuen Dämmschale im Dachbereich 36
Abb. 32: Dämmprinzip Turnhallendach 36
Abb. 33: Veränderung Raumklima
Abb. 34: Beurteilung der Raumtemperatur vorher - nachher 37
Abb. 35: Beurteilung der Raumluftqualität
Abb. 36: Beurteilung der Geruchsbelästigung 38
Abb. 37: Auftreten von Zugluft
Abb. 38: Beurteilung der Helligkeit 38
Abb. 39: Messkonzept Strom 60
Abb. 40: Lastverlauf—Juli 2014_ ab 4-7.2014 Sommerferien 61
Abb. 41: Lastverlauf – März 2014 62
Abb. 42: Aufteilung Grundlast auf die einzelnen Trakte 63
Abb. 43: Mögliche Verursacher der Grundlast in den einzelnen Trakten 63
Abb. 44: Gegenüberstellung: Zusammensetzung Stromverbrauch PHPP– Gesamtstromverbrauch gemessen - Zusammensetzung Stromverbrauch gemessen 64
Abb. 45: Gegenüberstellung: Zusammensetzung Stromverbrauch PHPP– Gesamtstromverbrauch gemessen- Zusammensetzung Stromverbrauch gemessen 65
Abb. 46: Gegenüberstellung: Zusammensetzung Stromverbrauch PHPP– Gesamtstromverbrauch gemessen- Zusammensetzung Stromverbrauch gemessen 67

Abb. 47: Gegenüberstellung Zusammensetzung Stromverbrauch PHPP– Gesamtstromverbrauch gemessen_ Zusammensetzung Stromverbrauch gemessen 68
Abb. 48: Messkonzept Wärme 70
Abb. 49: Gegenüberstellung Ergebnisse PHPP ursprünglich PHPP angepasst-Verbrauch real (2014/2015)klimabereinigt 71
Abb. 50: Grafik Verteilung über die Monate – später Heizbeginn 72
Abb. 51: Traktweise Gegenüberstellung Wärmeverbrauch real klimabereinigt- PHPP-Ursprung-PHPP-angepasst .. 74
Abb. 52: Abbildung $C0_2$-Werte bei Fensterlüftung 75
Abb. 53: prozentuale Überschreitung des CO2-Wertes von 1500 ppm 77
Abb. 54: Behaglichkeitsdiagramm Raum 4.008 für die Heizperiode 2014/2015 78
Abb. 55: Behaglichkeitsdiagramm Raum 2.002 für die Heizperiode 2014/2015 78
Abb. 56: Behaglichkeitsdiagramm Raum 2.101 für die Heizperiode 2014/2015 79
Abb. 57: absolute und prozentuale Überhitzungsstunden für den Zeitraum vom 20.8.2014-30.6.2015 80
Abb. 58: Überhitzungsstunden in Abhängigkeit von der Außentemperatur Raum 1.206 81
Abb. 59: Überhitzungsstunden in Abhängigkeit von der Außentemperatur Raum 2.205 81
Abb. 60: Auswertung Erdsondentemperaturen 83
Abb. 61: Plan Erdsondenfeld 85
Abb. 62: Arbeitszahl AZ0 und AZ1 für den Heizbetrieb Nov14-Mai15 86
Abb. 63: bereitgestellte Heizenergie durch Wärmepumpe und Kessel 87
Abb. 64: Anlagenschema 88
Abb. 65: Temperaturen und Leistungsauswertungen Wärmeerzeugung 89
Abb. 66: Auszug Regelkonzept 90
Abb. 67: vor und Rücklauftemperaturen am Hauptverteiler 91
Abb. 68: vor und Rücklauftemperaturen an der hydraulischen Weiche Trakt 2 91
Abb. 69: vor und Rücklauftemperaturen an der hydraulischen Weiche Trakt ¾ 92
Abb. 70: Vor- und Rücklauftemperaturen des Solekreislaufes 92
Abb. 71: spezifische Leistungsaufnahme der Lüftungsgeräte 94
Abb. 72: Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad Anlage Trakt 1_ menerga_Gerätetyp 640701 95
Abb. 73: Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad Anlage Trakt 3/4_ menerga-Gerätetyp 641201 96
Abb. 74: Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad Anlage Trakt 3/4_ menerga_Gerätetyp 541601 96
Abb. 75: Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad Anlage Turnhalle_ menerga_761601 97
Abb. 76 Anlagenschema Heizzentrale Turnhalle 99
Abb. 77: Gegenüberstellung realer Wärmeverbrauch Warmwasserbereitung PHPP Ursprung und PHPP angepasst 100
Abb. 78: Gegenüberstellung Wärmebereitstellung Warmwasserbereitung real und PHPP angepasst 101
Abb. 79: Temperaturverhältnisse Warmwasserbereitung 101
Abb. 80: Temperaturverhältnis Warmwasser 102
Abb. 81: Temperaturverhältnisse Warmwasserbereitung nach Optimierungsmaßnahmen 103
Abb. 82: Temperaturverhältn. Warmwasserbereit. nach Optimierungsmaßnahmen;_Beispiel Warmwasseranforderung 103
Abb. 83: Kostenvergleich Energiekosten zentraler zu dezentraler Wasserbereitung 104

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

a	Jahr (annum)
BA	Bauabschnitt
BDT	Blower-Door-Test
Bj.	Baujahr
°C	Grad Celsius
CO_2	Kohlendioxid
COP	Wirkungsgrad einer mechanischen Wärmepumpe (Coefficient of performance)
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnOB	Forschung für energieoptimiertes Bauen *(vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert Forschungsprojekte)*
EVG	elektronisches Vorschaltgerät
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GLT	Gebäudeleittechnik
HWB	Heizwärmebedarf
i.d.R.	in der Regel
JAZ	Jahresarbeitszahl (Wärmepumpe)
K	Kelvin
KD	Kerndämmung
Kg	Kilogramm
KG	Kostengruppe
KWL	kontrollierte Wohnraumlüftung
LA	Lüftungsanlage
MJ	Megajoule (100 MJ entsprechen einem Heizwert von 2,8 l Öl)
PE	Primärenergie
PEI	Primärenergieinhalt
PHPP	Passivhausprojektierungspaket
PH	Passivhaus
PHI	Passivhausinstitut Darmstadt
PHK	Passivhauskomponenten
t	Tonne
TRH	Treppenhaus
VHF	Vorhangfassade
w	Wasseraufnahmekoeffizient
W	Watt
WRG	Wärmerückgewinnung
WDVS	Wärmedämm-Verbundsystem
Ψ	Zweidimensionaler Wärmebrücken-Verlust-Koeffizient
$X_{[GT]}$	punktförmiger Wärmebrücken-Verlust-Koeffizient [Glasträger]

1 Ausgangssituation – Vorgehen – Zielsetzung

Das Gymnasium Baesweiler ist im Ursprung ein typischer Schulbau der 70er Jahre, der zwischenzeitlich in die Jahre gekommen und energetisch nicht mehr tragbar war. Im Rahmen einer vorangegangenen DBU-Studie zur „Energetischen Optimierung kommunaler Bestandsgebäude der Stadt Baesweiler" (AZ 26650-25) wurde dieser Gebäudekomplex von den Entscheidungsträgern in der Prioritätenliste der zu sanierenden Gebäude ganz oben angestellt.

Nachdem Ende 2008 Fördergelder des Landes Nordrhein-Westfalen im Rahmen des „Kommunalen Investitionspakt II" bewilligt wurden, begannen nach einer kurzen Planungsphase von nur einem halben Jahr denn auch bereits im Juni 2009 die Arbeiten an Trakt 1 (Verwaltung) zur energetischen Sanierung des Gymnasium Baesweilers. Der Gebäudekomplex sollte ursprünglich innerhalb von vier Jahren in vier Bauabschnitten auf Passivhausstandard (Neubau) gebracht werden. Ein schwieriges und bis dato einmaliges Unterfangen, stellen doch in der Altbausanierung die konstruktiv bedingten Wärmebrücken ein großes Hindernis dar.

Zur Qualitätssicherung sollte ein betriebsbegleitendes Monitoring durchgeführt werden, währenddessen ausgesuchte Parameter gemessen, überprüft und ggfls. optimiert werden sollten.

Ziel der Untersuchung ist, zu klären, inwieweit die Sanierungsziele erreicht wurden. Im Bedarfsfall soll gezielt im wirtschaftlichen Rahmen nachgebessert werden.

Bereits während der laufenden Baumaßnahme wurden in den einzelnen Trakten Messstellen angelegt, die ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördertes Monitoring des Schulkomplexes gestatten. Erst mit der Ende 2013/Anfang 2014 erfolgten verzögerten Fertigstellung des letzten Bauabschnittes, der auch die Erneuerung der Heizzentrale einschloss, ergab sich jedoch die Möglichkeit, tatsächlich alle relevanten Daten umfassend zu erfassen und miteinander in Beziehung zu setzen sowie schrittweise eine Funktionsoptimierung der haustechnischen Anlagen anzugehen.

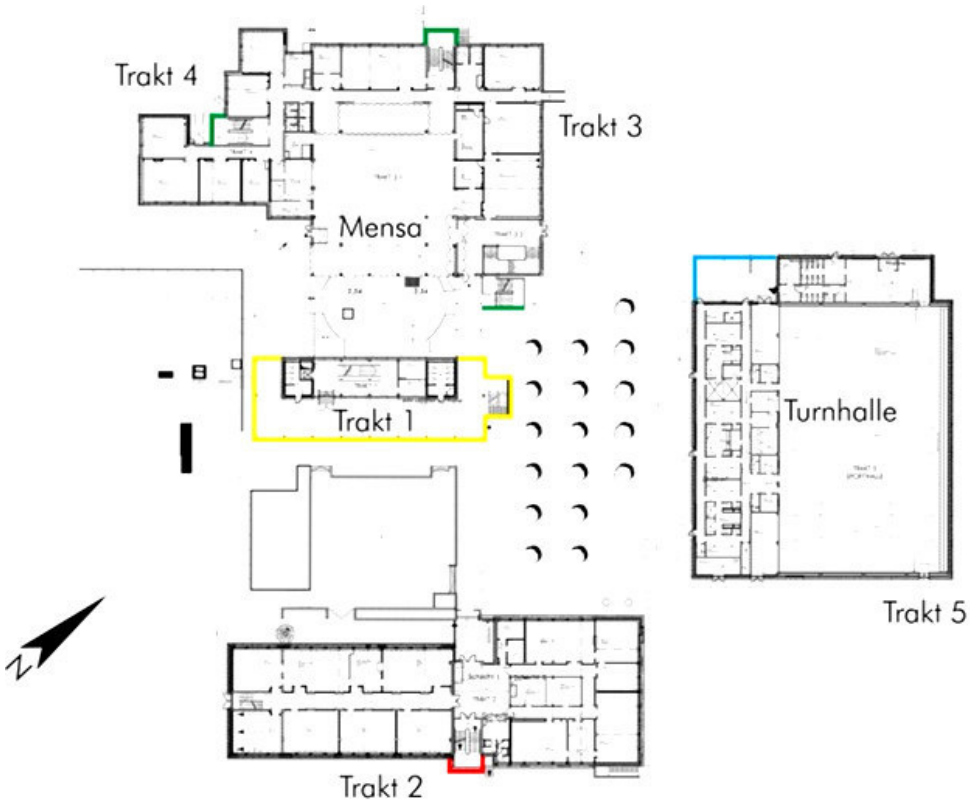


Abb. 1: Übersichtsplan

Erst im Juli 2014 konnte daher, nach Beendigung der Bauarbeiten, mit der Auswertung von Daten begonnen werden, so dass diesem Bericht die Datenbasis von nur einem Betriebsjahr (Juli 2014 - Juni 2015) zu Grunde liegt.

Schwerpunkte des Monitorings waren, neben der reinen Betriebsoptimierung, insbesondere folgende:

Vergleich der Energieeffizienz mit den Planungswerten nach Passivhausstandard

Erfassen der sommerlichen und winterlichen Behaglichkeit (Temperatur, Feuchte, Überhitzungen, CO_2- Konzentrationen)

Effizienz der sommerlichen Kühlung über Nutzung von Erdkälte über eine Sondenanlage

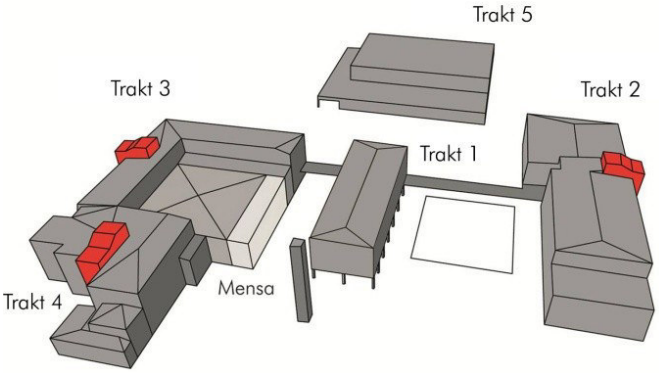
Effizienz der Wärmepumpenanlage in Verbindung mit Erdwärmenutzung über ein Sondenfeld zur regenerativen Energieerzeugung

Auswertung des Betriebsverhaltens großer Lüftungsanlagen, insbesondere der Überprüfung der elektrischen Effizienz im eingebauten Zustand im Vergleich zu den Planungswerten

Trinkwarmwasserbereitung in Turnhallen

2 Kurzdokumentation Altbestand

Die Baukörper des Gebäudekomplexes wurden nach und nach in den Jahren 1969-77 errichtet, eine Erweiterung erfolgte später in Trakt 2 Ende der 1990er Jahre, als die überdachte Pausenhalle zu Fachräumen ausgebaut wurde. Die Trakte umfassen eine Nettogrundfläche von ca. 11.200 m² und werden von ca. 1.000 SchülerInnen genutzt.



1. BA	Trakt 1	Verwaltung und Arbeitsräume
2. BA	Trakt 3 + 4	Klassenräume und Mensa/Aula
3. BA	Trakt 2	Naturwissenschaften und Oberstufe
4. BA	Trakt 5 und Heizzentrale	Turnhalle und Heizzentrale in Trakt 1

Abb. 2: Trakt- und Bauabschnittübersicht

2.1 Analyse des unsanierten Bestandes

Die Tragstruktur jedes einzelnen Baukörpers beim Gymnasium Baesweiler besteht aus einem Stahlbetonskelettbau. Riegel und Unterzüge liegen auf lastabtragenden Stützen. Deckenplatten und Beton-Sandwichelement-Fassadenplatten, einmal konstruiert für die ungestörte Wand, einmal als Sonderelemente für die Brüstungs- und Attikaelement, sind in die Tragkonstruktion eingehängt. Die Verbindungen wurden vergossen.

Fenster- und Türelemente waren in der Regel isolierverglaste Alu-Rahmen. Im ältesten Trakt, in der sich vor allem Verwaltung und Lehrerzimmer befinden (Trakt 1), waren sogar noch Holzfenster mit Einfachverglasung zu finden.

Auf die alten, immer wieder schadhaften Flachdächer wurden im Laufe der Zeit satteldachförmige Binderkonstruktionen aufgesetzt, die mit Metallscharen eingedeckt wurden. Die Dachräume sind im Allgemeinen zu Inspektionszwecken begehbar.

Der Verwaltungs- und der Klassentrakt sind voll unterkellert, Trakt 4 allerdings nur in Form eines Kriechkellers. In Trakt 1 überdeckt eine aufgeständerte Erdgeschossdecke den darunter liegenden offenen Pausenbereich. Trakt 2 ist teilunterkellert. Der ehemals offene Pausenbereich entfiel 1998 zugunsten einer Schulerweiterung. Dieser Bereich ist nicht unterkellert.

Das statische Gerüst der **Turnhalle** besteht aus einer Binderkonstruktion, bei der die gelenkig gelagerten Stahlbeton-Dachbinder auf den eingespannten Fertigteilstützen aufliegen. Die Verkleidung erfolgte wieder mit Stahlbetonfertigteilen in Sandwichbauweise. Der niedere Anbau wurde in

Großtafelbauweise errichtet. Die Dächer sind anders als in den Schultrakten als Trapezdächer ausgebildet und abgedichtet, wurden aber ebenfalls später zusätzlich mit Metallscharen eingedeckt. Der Trakt ist nicht unterkellert. Der Turnhallenboden wurde bereits im Jahr 2007 saniert und bei dieser Gelegenheit mit 100 mm Mineralwolle (λ = 0,035 W/(m*K) gedämmt. Eine stärkere Dämmung war unter Einhaltung eines niveaugleichen Übergangs nicht möglich.

2.1.1 Bauteilaufbauten Altbestand

Die ursprünglich als **Kriechdächer** konzipierten Flachdächer blieben bei der damaligen Eindeckung mit Metallscharen (Kalzip) weitgehend erhalten, nur der Kies war weggeräumt worden. Die Betondecke im Trakt 1 wurde 2008 - kurz vor Maßnahmenbeginn - bereits mit einer 24 cm starken Mineralwollschicht belegt. Auch der erst 2003 eingedeckte niedere Teil der Turnhalle war schon mit 30 cm Mineralwolle bedeckt (bereits eine Übererfüllung der EnEV, die den zukunftsweisenden Weg der Stadt Baesweiler hin zur Sanierung in Einzelmaßnahmen mit Passivhauskomponenten demonstriert).

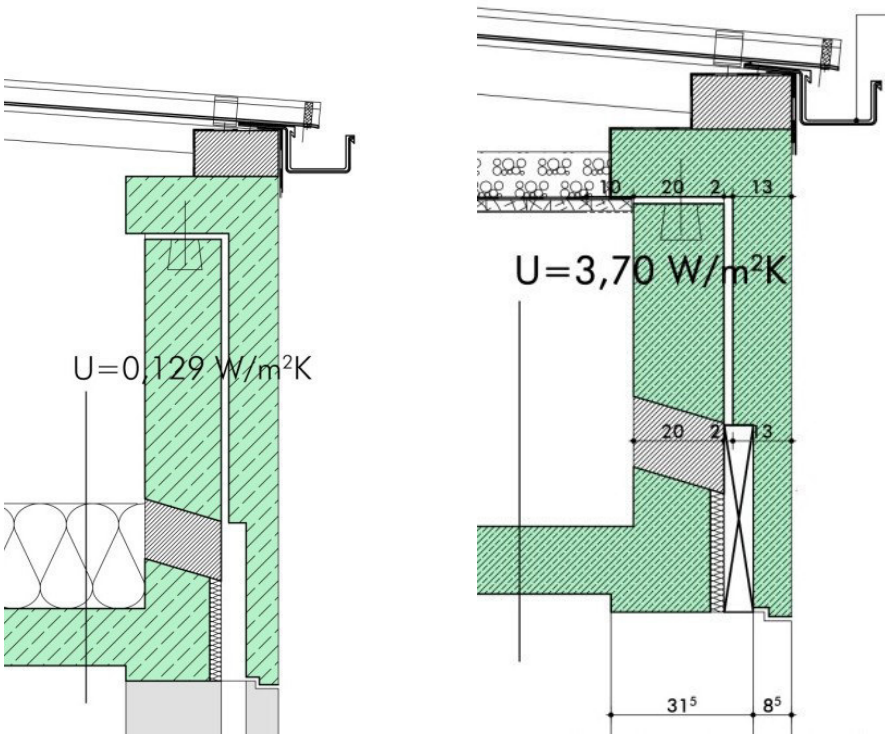


Abb. 3: Attika Altbestand , Trakt 1 mit vorhandener Dämmung (links) und Trakt 2 ungedämmt (rechts)

Das Detail 3 zeigt die ehemalige Attika des belüfteten (Kriech-)Daches der Trakte 1 - 4 mit der aktuellen Kalzip-Eindeckung und der vorgehängten Rinne. Das Dach hat in den ungedämmten Bereichen einen U-Wert von 3,70 W/[m²K], im Verwaltungsgebäude wurde es durch die hochwertige Dämmlage schon auf passivhaustaugliche 0,129 W/[m²K] reduziert.

Die Außenwandverkleidung ist rhythmisiert durch einen Wechsel von Brüstungs- und Fensterbänder. Die Fenster liegen zwischen den Stützen. Die Brüstungselemente überdecken das Deckenpaket.

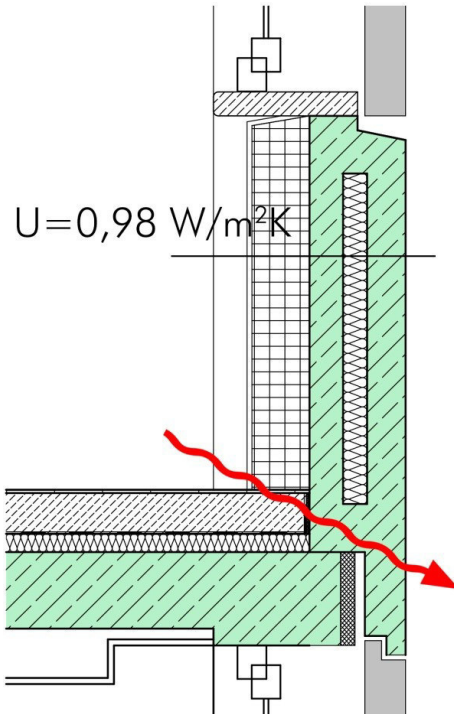


Abb. 4: Brüstung Altbestand Trakt III und IV

Im Bereich der Brüstungen liegen die Sandwichpaneele auf der Decke auf. Sie sind seitlich in die Tragstützen eingehängt. Im Trakt 3+4 verstärken verputzte Bimsbetonplatten den Wandaufbau zum Innenraum und verbessern den U-Wert leicht von 1,39 auf 0,98 W/[m²K], in den anderen Trakten fehlt diese innere Schale.

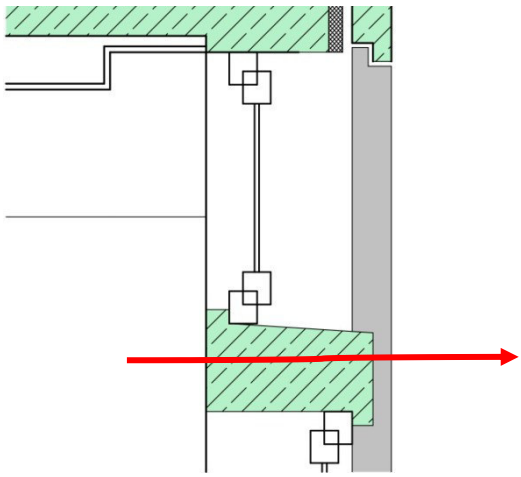


Abb. 5: Fensterdetail Altbestand mit Oberlicht

Ein durchgehender Betonbalken trennt das Oberlicht vom darunterliegenden Fensterband. Das Fenster steht auf der Kunststein-Fensterbank auf. Dieses konstruktive Element steckt voller Undichtigkeiten und Wärmebrücken, exemplarisch markiert in Abb. 4 und Abb. 5.

Abb. 6: Altbestand Trakt 1 mit Pausenhalle und durchgängiger Stützenreihe

Das obige Foto zeigt den Altbestand der Verwaltung Trakt 1 mit den durchgängigen Stahlbetonstützen, die von der Unterkante der Erdgeschossrohdecke zur darunter liegenden Kellergeschossdecke spannen. Ebenso sind die auskragenden Balkone auf der Südseite zu sehen, die im Zuge der Sanierung abgeschnitten wurden, da sie ohnehin nicht benutzt wurden.

Sehr gut sind die alten Betontafeln der Seitenwand zu erkennen mit dem typischen Fugenbild, das die Geschossigkeit nachbildet.

In diesen ungestörten Wandbereichen waren die Fassadenschalen in Teilbereichen mit Verblendmauerwerk oder Betonplatten hinterfüttert (s. Abb. 7), und dienten in manchen Bereichen als aussteifende Wandscheibe. Der U-Wert der Außenwände liegt im Bestand bei 0,098 – 1,39 W/(m²K).

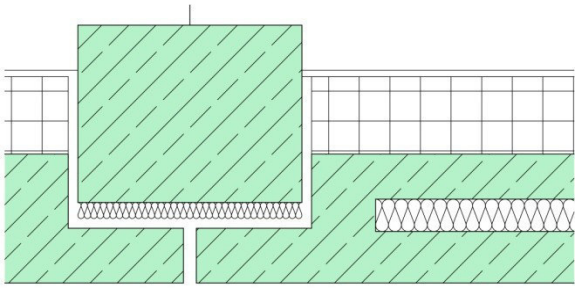


Abb. 7: tragende Stütze im Bereich der Außenwand Altbestand

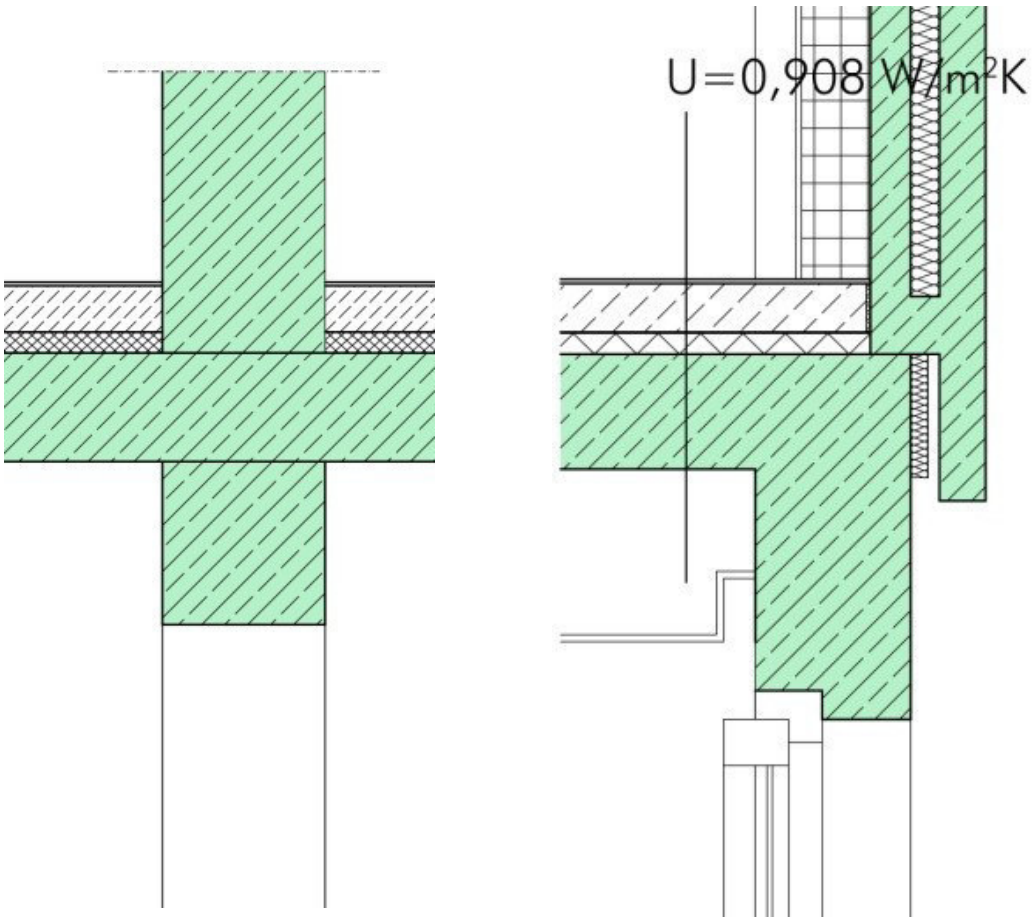


Abb. 8: Kellerdecke mit Unterzug und Außenwandanschluss

Zurzeit reicht die beheizte Hülle bis in den Keller, der aber nur in einzelnen Räumen Aufenthaltsqualität bietet. Der Großteil der Kellerflächen wird als Lager und Technikraum genutzt. Gelegentlich findet sich ein Werkstattraum und in Trakt III ein gut belichteter und beheizter Musikraum. Die Kellerdecke ist gestört durch eine Vielzahl von Unterzügen. Die Kelleraußenwand selber besteht aus einschaligen, 40 cm starken Stahlbetonwänden. Die Sandwich-Fassadenschalen enden in Deckenhöhe Kellergeschoss (s. Abb. 8).

2.1.2 Wärmebrückenproblematik sichtbar gemacht

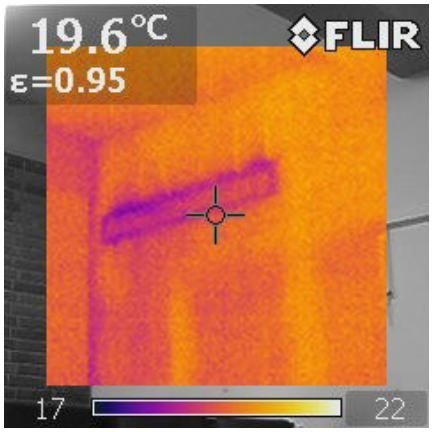


Abb. 9: ‚Kölner Lüftung'

Um die Luftdichtigkeit der Baukörper abschätzen zu können, wurden im Vorfeld stichprobenhaft Blower-Door-Messungen durchgeführt, die sich aber nur auf einzelne Räume erstrecken konnten. Die vorhandene Konstruktion und das Kölner Lüftungssystem (s.Abb. 9) ließen große Undichtigkeiten erwarten. Schadhafte, nicht mehr dicht schließende Fensteranlagen machten eine Messung des Öfteren unmöglich. So ergaben sich denn auch Messwerte von bestenfalls n50 = 6,90 1/h.

Gravierende Wärmebrücken waren erwartungsgemäß im Fensterbereich zu finden, da hier gut wärmeleitende Bauteile die Konstruktion von innen nach außen durchdrangen, wie schon in den Abb. 4 und 5 dargestellt. Schwachstellen waren ebenso die Plattenfugen, zumal die Randbereiche der Sandwichpaneele aus konstruktiven Gründen nicht gedämmt waren. Dies trifft sowohl auf die Vorhang-Platten der Alttrakte als auch auf die Sandwichkonstruktion des Traktes 2 im Bereich der Erweiterung aus dem Jahr 1993 zu.

Mit Hilfe der Thermografie wurden die energetischen Schwachstellen der Baukörper sichtbar gemacht. Die Abbildungen 10-12 sind symptomatisch für den Gebäudekomplex.

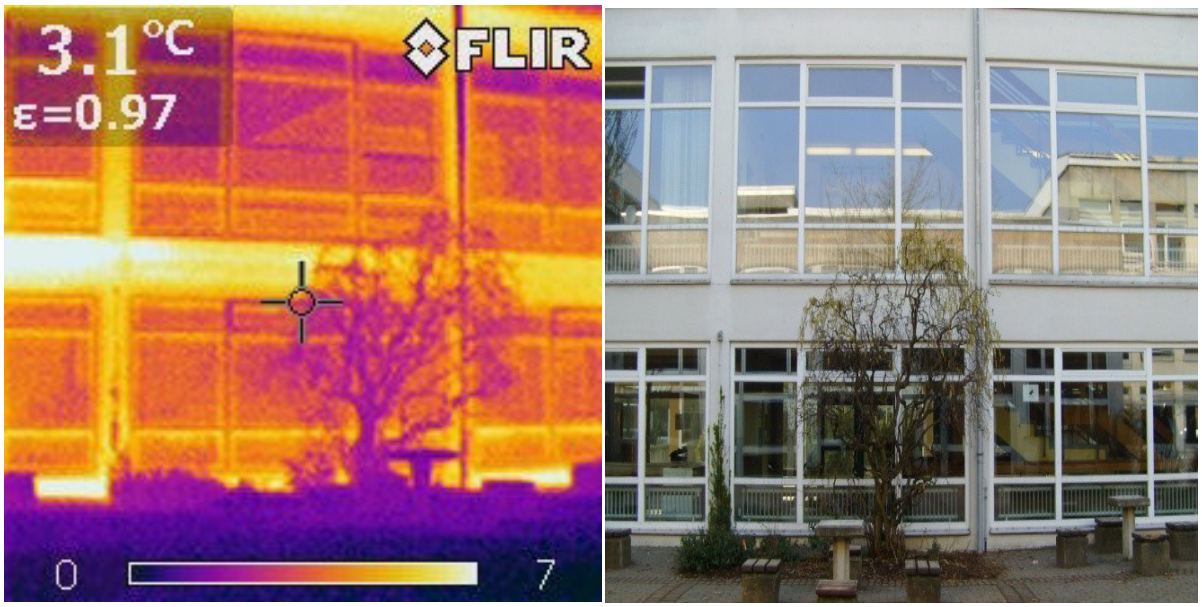


Abb. 10: Thermografiebeispiel der verglasten Nordfassade Treppenhaus in Trakt 1

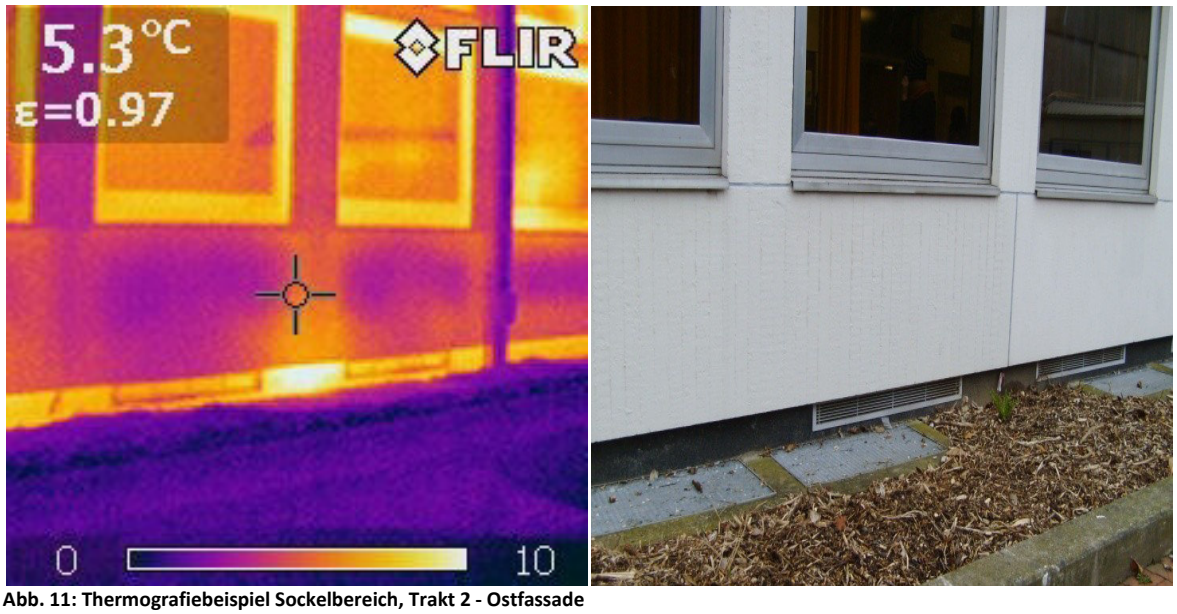


Abb. 11: Thermografiebeispiel Sockelbereich, Trakt 2 - Ostfassade

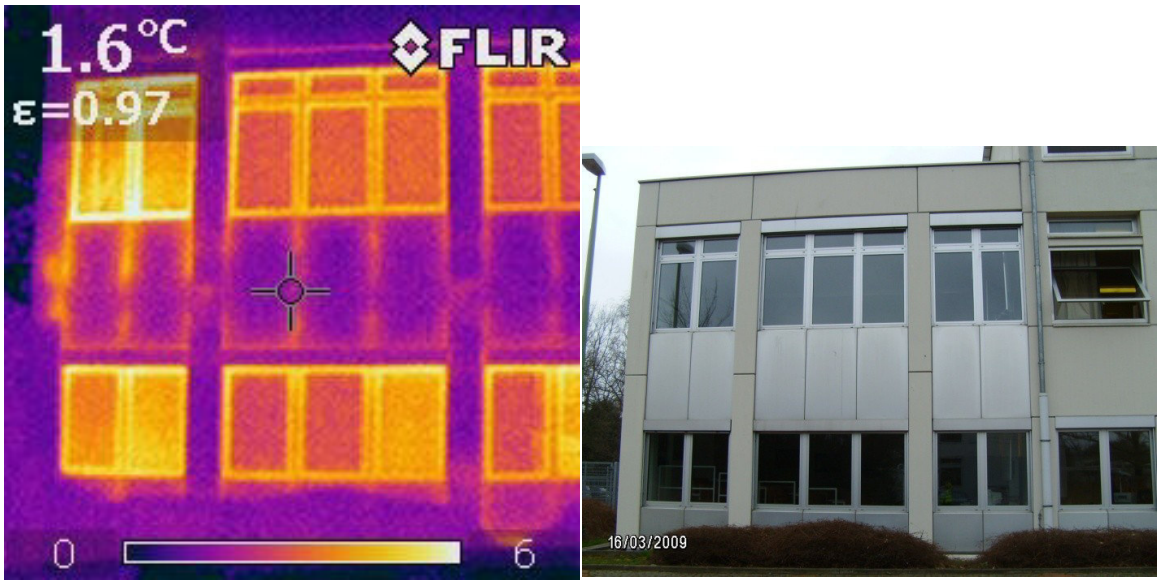


Abb. 12: Thermografiebeispiele der Südfassade Trakt 2, Bj. 1993

2.1.3 Nutzerbefragung vor Baubeginn

Die Bestandsaufnahme wurde abgerundet mit einer Nutzerbefragung. Diese sollte wichtige Befindlichkeitsfragen klären zur Beurteilung der vorhandenen Raumtemperatur und Raumluftqualität sowie der vorhandenen Lichtverhältnisse; auch u.a. zur Feststellung einer eventuell vorhandenen Geruchsbelästigung oder Beurteilung der Akustik. Schließlich sollten bekannte Mängel aufgelistet werden. Diese Befragungsbögen wurden aufgestellt für Lehrer, Schüler und das technische Personal der Schule. Der Rücklauf der Bögen lag knapp unter 50%.

Abb. 13a)-13e): Auswertung der Fragebögen bezogen auf die Situation vor Sanierungsstart

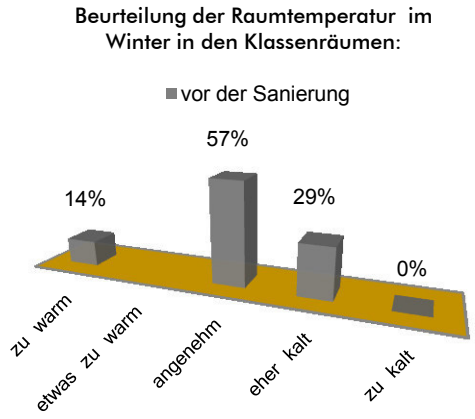


Abb.13a

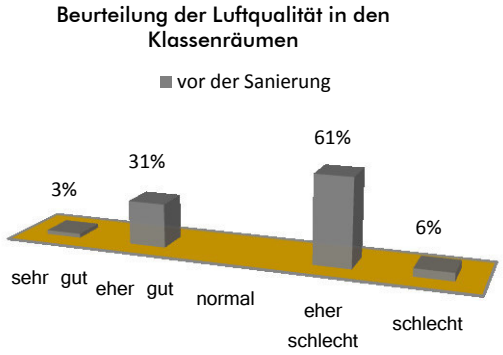


Abb.13b

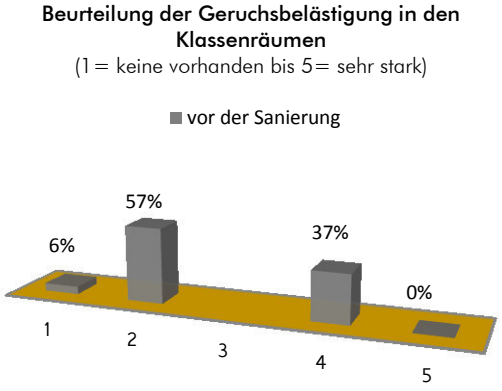


Abb.13c

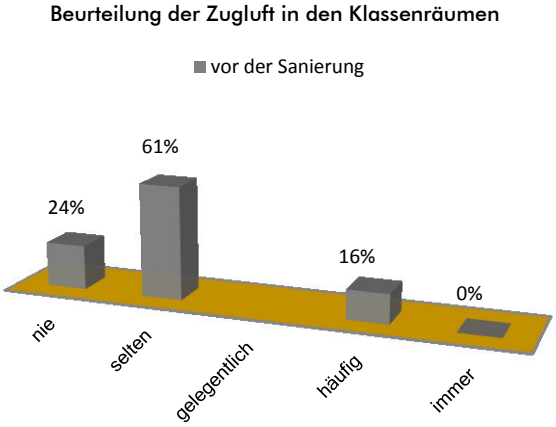


Abb.13d

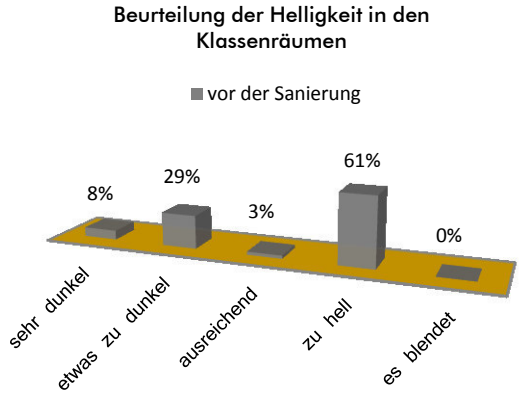


Abb.13e

Obwohl die Raumtemperatur (im Winter) im Bestand vor Sanierungsbeginn als angenehm empfunden wurde, wurde die Raumluftqualität als „schlecht" bewertet. Eine Geruchsbelästigung konnte kaum festgestellt werden, nur 1/3 nahm eine Belästigung wahr oder empfand die wahrgenommene Gerüche als Belästigung. Trotz der offensichtlichen Undichtigkeiten in den Gebäuden klagte kaum jemand über Zugluft. Die Lichtverhältnisse in den Klassenräumen wurden vor Sanierungsbeginn nicht als optimal empfunden, über 60% der Befragten befanden, es sei zu hell, 1/3 empfand es als zu dunkel bis sehr dunkel. Hier ist wahrscheinlich davon auszugehen, dass die Beleuchtung nicht optimal arbeitete oder genutzt wurde.

Die Befragung wurde nach der Sanierung wiederholt und im später folgenden Abschnitt 2.2.4 mit den oben dargestellten Ergebnissen verglichen.

2.2 Sanierung zum Passivhausstandard

Das Gymnasium wies im Bestand einen Energiekennwert (Heizenergieverbrauch) von i.M. ca. 166 kWh/(m²*a) auf. Dieser Wert sollte im Zuge einer Passivhaus-Sanierung auf rund 1/10 des Heizenergieverbrauchs reduziert werden, d.h. < 15 kWh/(m²*a).
Geplant wurde die umfassende Verbesserung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile unter Verwendung von Passivhauskomponenten zur Reduzierung des HT-Wertes.

Eine neue Außenhülle mit einem U-Wert < 0,15 W/(m²*K) in Kombination mit hochwärmegedämmten Passivhausfenster mit einem Uw-Wert < 0,80 W/(m²*K), sowie eine Kellerdecken- und Dachdämmung sorgen für eine warme Hülle.
Im Fall des Gymnasiums liegen die Fensteranteile über 30%. Es wurde also besonderes Augenmerk auf einen hohen g-Wert der Verglasung gelegt um die solare Energie als passive Energiequelle zu nutzen.
Des Weiteren sorgen eine luftdichte Gebäudehülle und kontrollierte Lüftungsanlagen mit hocheffizienten Wärmetauschern für ein behagliches Klima.

Die energetische Gesamtbilanzierung wurde nach dem vom Passivhausinstitut Darmstadt entwickelten Passivhausprojektierungspaket (PHPP) ermittelt. Ziel war es, unter Wahrung einer wirtschaftlich vernünftigen Gesamtinvestition den Passivhausstandard zu realisieren.
Gegenüber dem Zustand des Gebäudekomplexes bei Sanierungsstart sollte so Reduzierungen der Energieaufwendungen insbesondere im Heizungsbereich um den Faktor 10 erreicht und die CO2-Emissionen stark gesenkt werden. Dieser Effekt sollte durch die Bereitstellung von regenerativen Energien noch verstärkt werden.

2.2.1 Fassadensanierung und Luftdichtheit

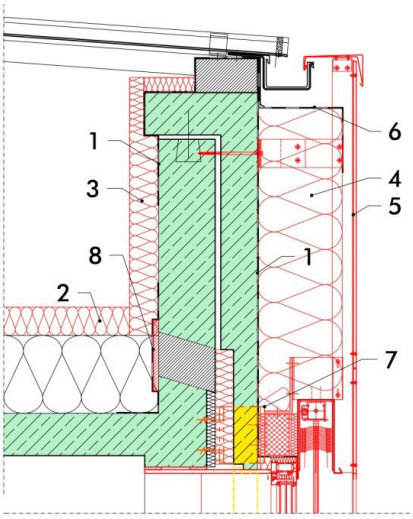
Bei der vorhandenen mehrschaligen Betonskelettstruktur des Gymnasium Baesweiler stand vor der Frage nach der Realisierung des Dämmstandards die Frage nach der Lage und Herstellung der luftdichten Ebene. Die übliche Herangehensweise – innen luft- und dampfdicht, außen winddicht - war hier nicht ohne weiteres übertragbar. Die vorhandene Skelettstruktur mit den eingehängten Decken- und Fassadenelementen sowie den anschließenden Innenwänden aus Sichtmauerwerk

erlaubte keine sichere Prognose einer Abdichtung von innen, zumal dies auf eine komplette Innensanierung hinausgelaufen wäre. Die luftdichte Ebene wurde daher nach außen verlegt.

Hierzu boten sich spezielle, 15 cm breite Klebebänder an, die dauerhaft auf dem Beton haften, aufgetragen mit einem Primer. Sie überbrücken die z.T. offenen Stoßfugen. Die dauerelastischen Versiegelungen sind nach nunmehr über 40 Jahren nicht mehr zuverlässig dicht, zumal in Trakt 1 die Versiegelungen aufgrund einer Schadstoffbelastung ohnehin entfernt werden mussten. Schwierig wurde die luftdichte Abklebung im Attikabereich. Der Dachrand musste aufgrund der aufliegenden Attikaschale von innen abgeklebt werden, was aufgrund der nachträglich eingebrachten Binderdächer stellenweise kaum zu bewerkstelligen war.

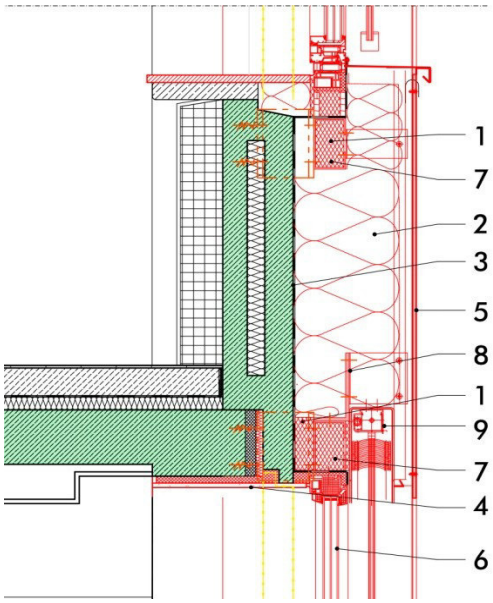
Bei der Dämmhülle zum Gymnasium Baesweiler fiel - auch unter dem Aspekt der Langlebigkeit und Pflegeleichtigkeit in der Wartung – die Entscheidung für eine hinterlüftete Vorhangfassade aus HPL-Platten. Gedämmt wurde mit einer gerade auf den Markt gekommenen Mineralwolle, werkseitig mit einer Fassadenbahn kaschiert. Sie sparte mit einem Wärmedämmwert von 0,032 W/(m²*K) wertvolle cm im Aufbau, was für die Dübeltraglast wichtig war.

Bei den Fenstern wurde auf hochwertig gedämmte, Passivhaus-zertifizierte Kunststoff-Fenster mit äußerer Alu-Deckschale zurückgegriffen, die in der neuen Dämmebene sitzen; die hochwertige 3-fach Verglasung hat einen Ug-Wert von 0,6 W/(m²*K) bei einem g-Wert von 0,50 in Trakt 1 und Trakt 3+4 sowie einem g-Wert von 0,57 in Trakt 2 und 5, der Turnhalle. Die Alu-Deckschale ist verkürzt, sodass eine Überdämmung der Kunststoff-Rahmen möglich ist. Die Scheibengrößen sind auf ein Maximalmaß begrenzt, das keine gesonderte Statik erfordert. Insbesondere wurde auf eine spätere Austauschbarkeit im Schadensfall geachtet. Die Scheiben müssen im Ernstfall an den Tragstützen und Sturzbalken vorbei ersetzt werden können.



1 Wandfugen und Bauteilstöße luftdicht abkleben
2 Mineralwolle 0,032 W/(m²K), in Trakt 1 Bestandsdämmung auf 360 mm verstärken
3 Attikadämmung 100 mm, 0,032 W/(m²K)
4 Fassadendämmung Isover, vlieskaschiert, 0,032 W/m²K, 2-lagig verlegt
5 HPL-Fassadenplatten nach Rasterplan, sichtbare Befestigung
6 Dämmung an offenen Seiten mit Dampfbremse winddicht abschließen
7 Z-Profil Edelstahl zur Befestigung der Tragkonstruktion auf belastbaren Untergrund, thermisch getrennt, Konstruktionsöffnung Sandwichpaneel luftdicht abschließen
8 Vorhandene Belüftungsöffnungen mit OSB-Platten und SiGa-Band o. glw. luftdicht verschließen

Abb. 14: Attikadetail Trakt 1



1 Z-Profil Edelstahl zur Befestigung der Tragkonstruktion auf belastbaren Untergrund, thermisch getrennt, Konstruktionsöffnung Sandwichpaneel luftdicht abschließen
2 Fassadendämmung Isover, vlieskaschiert, 0,032 W/m²K, 2-lagig verlegt
3 Wandfugen und Bauteilstöße luftdicht abkleben
4 Abkastung mit Trockenbauplatten zum Ausgleich Fensteranschluss.
5 HPL-Fassadenplatten nach Rasterplan, sichtbare Befestigung
6 Passivhausfenster Kunststoff mit verkürzter Alu-Deckschale
7 C-Profil, verzinkter Stahl,
8 Winkelstahl, verzinkt, 100x200x10 mm
9 Raffrolladenkasten mit Schienenführung

Abb. 15: Fassadensystem – Vertikalschnitt

Abb. 16: Bauteiluntersuchung Fassade Trakt 4

Die Fassaden wurden an ausgesuchten Stellen geöffnet, um die Aussagen der Bestandspläne im günstigen Fall zu verifizieren, die Wandaufbauten näher zu untersuchen und insbesondere die Tragfähigkeit des Untergrundes zu testen (s.**Abb. 16**). Oft genug fanden sich die Schalenbefestigungen nicht an den vorgesehenen und erforderlichen Stellen, sodass bei zwei Trakten vorab eine Schalensicherung durchgeführt wurde. Die Befestigung der neuen Passivhaushülle musste denn auch durch die alte Vorhangschale hindurch in der tragenden Skeletttragschicht erfolgen. In Verwaltungsbau Trakt 1, dem ältesten Bau, reichten hierzu noch Gewindestangen aus, um die Distanz der C-Profile zum tragenden Untergrund zu überbrücken. In den anderen Trakten waren starke Z-Profile notwendig, für die jeweils Kopflöcher durch die Vorhangschale bis auf den tragenden Untergrund geschnitten werden mussten. Diese wurden im Anschluss luftdicht verklebt.

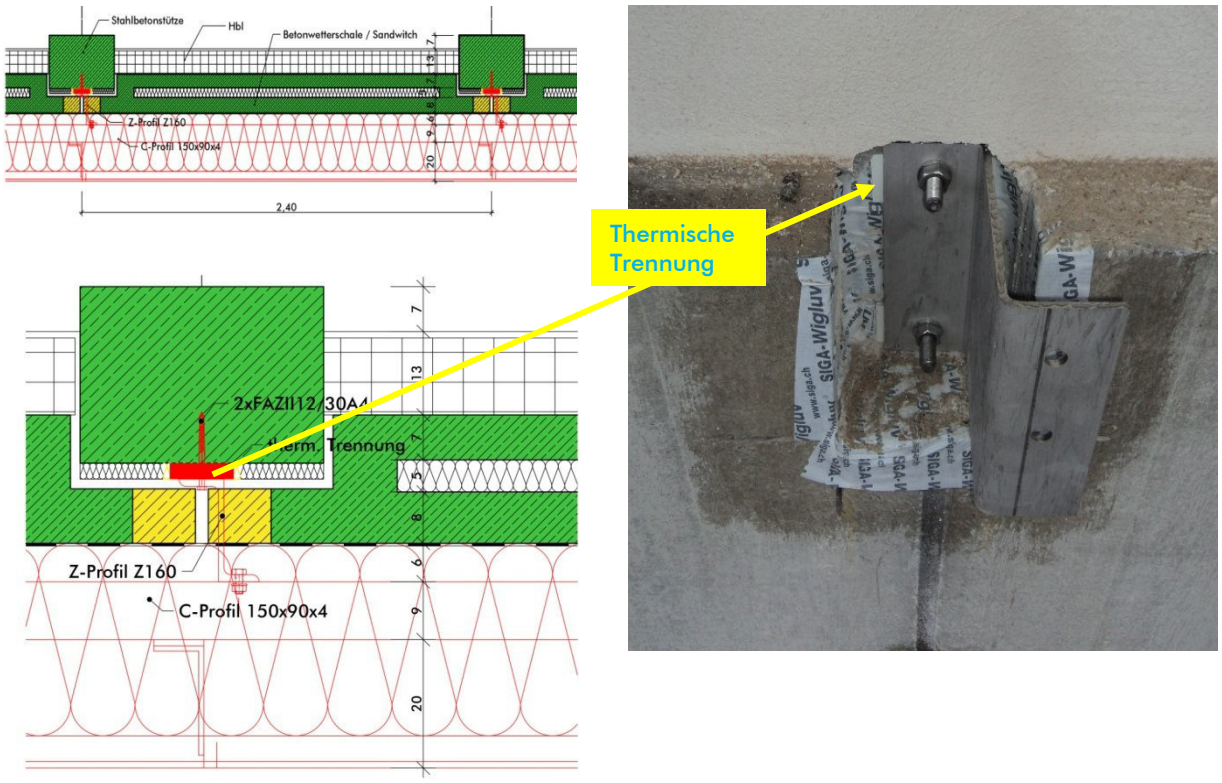


Abb. 17: Fassadensystem - Horizontalschnitt

Abb. 18: vorbereitende Arbeiten zur Befestigung der Vorhangfassade

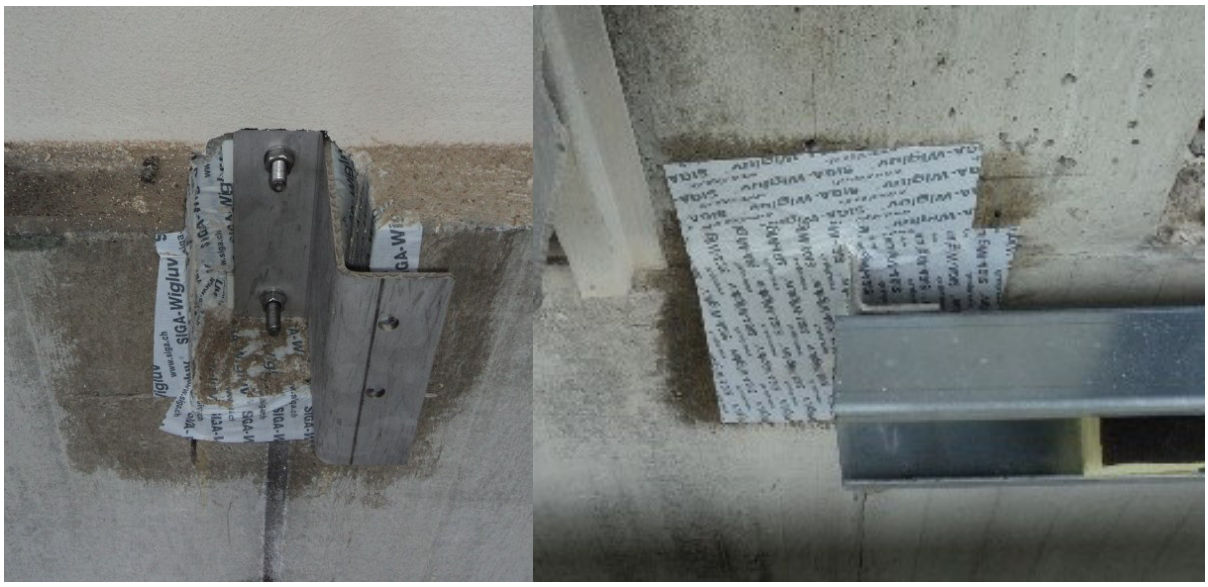


Abb. 19: Luftdichtkonzept Fassadenbefestigung

Alle Trakte bestanden – wenn auch nicht immer im ersten Anlauf - den Blower-Door-Test, der vom TÜV Rheinland nach DIN EN 13829 (A) durchgeführt wurde, womit bewiesen war, dass es richtig war, die Luftdichtheitsebene außen anzusetzen.

Abb. 20: Luftdichtkonzept Fassade: Abklebung Bauteil- und Plattenstöße

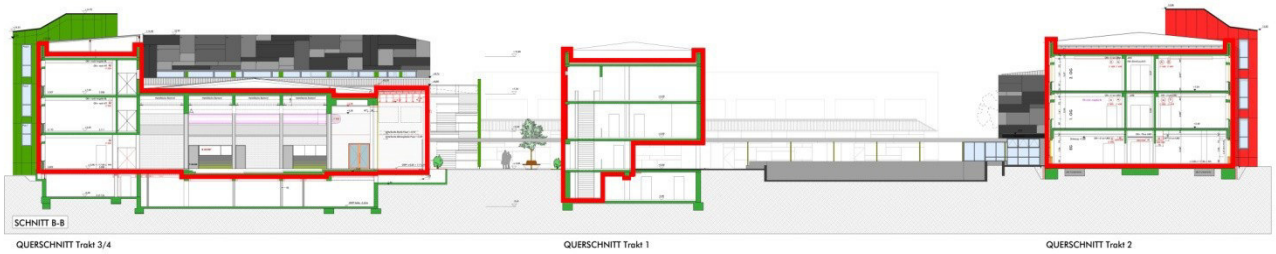


Abb. 21: Luftdichtkonzept Fassade: „Rotstiftregel“

2.2.2 Haustechnik

Nachdem dem Gymnasium planerisch ein dichter, wärmender „Mantel" umgelegt wurde, der die Heizlast drastisch reduzierte, galt es, die nun noch benötigte Energie möglichst effektiv, wirtschaftlich und umweltfreundlich zur Verfügung zu stellen. Die erforderliche Heizleistung konnte durch die Dämmmaßnahmen von 1600 kW auf 245 kW reduziert werden.

Die bestehende Heizzentrale wurde im letzten Bauabschnitt saniert. Eine Erdsondenanlage mit einer Sondenlänge von insgesamt ca. 1800 m verteilt auf 13 Sonden dient jetzt in Verbindung mit einer Wärmepumpenanlage der Beheizung des Komplexes, kann aber auch zur Kühlung herangezogen werden (natural cooling). Die Lastspitze deckt ein mit Erdgas betriebener Gasbrennwertkessel ab. Alle hydraulischen Armaturen und Pumpen wurden im Zuge der Sanierung optimiert oder erneuert.

Des Weiteren sorgt in jedem Gebäudeteil nach der luftdichten Abdichtung der Gebäudehülle eine kontrollierte Lüftungsanlage mit hocheffizientem Wärmetauscher für vorgewärmte Luft bei guter Luftqualität. In betroffenen Bereichen verhindert eine zentral gesteuerte Sonnenschutzvorrichtung bei den Fenstern eine Überhitzung der Klassenräume, diese kann auch manuell „übersprungen" werden, um bei Bedarf eine individuelle Steuerung zu ermöglichen. Die Mensa bekam zusätzlich zum Sonnenschutz eine Verdunklung, die bei Veranstaltungen eingesetzt werden kann.

Die bestehende Beleuchtung wurde durch energiesparende Langfeldleuchten mit EVG ersetzt. Präsenzmelder in wenig genutzten Teilbereichen und tageslichtsensitive Sensoren in den intensiv frequentierten Bereichen unterstützen die Effektivität der Beleuchtung und erhöhen die Energieeinsparung.

In der Turnhalle unterstützen 68 m^2 fassadenintegrierte Solarthermie-Paneele bei der Beheizung des Duschwassers.

2.2.3 Regeldetails und Wärmebrücken

Anhand ausgesuchter Beispiele werden die typischen Lösungsansätze zur energetischen Sanierung vorgestellt. Dies sind im besonderen die einen Fassadenschnitt betreffenden Punkte wie Übergang Dach/Wand, Wanddetail mit Übergang Fenster oder Tür, ein Sockeldetail bzw. die Erdgeschoss-Decke zur Außenluft.

2.2.3.1 Fassadenabschluss zur Außenluft

Neben den schon vorhandenen konstruktiven Wärmebrücken, die es zu beseitigen oder mindestens zu reduzieren galt, lag das Grundproblem in der Befestigung der Fassade. Beim Vorhangsystem gibt es bekanntermaßen eine Vielzahl von Haltepunkten, die die Dämmebene durchstoßen. Diese stellen viele kleine Wärmebrücken dar, die den U-Wert der Fassade negativ beeinflussen. Es gab noch kein passivhauszertifiziertes, wärmebrückenfreies System. Zudem ergab eine intensive Tragfestigkeitsprüfung des Untergrundes, dass eigentlich nur die Stützen- und Deckenstreifen genügend Tragkraft besaßen. Selbst in den aussteifenden, kurzen Seitenflächen gab es immer wieder statische Störungen durch Materialwechsel im Untergrund.

Alternative U-Werte mit Verankerung (5 Stück/m²)					
Alu (λ = 160 W/(m*K)					
Länge in m	Anzahl	Ψ	Fläche in m²	U-Wert 1-D	
0,15	5	0,546			0,410
			1	0,103	0,103
		U-Wert mit Verankerung:			**0,513 W/(m²*K)**
Stahl (λ = 50 W/(m*K)					
Länge in m	Anzahl	Ψ	Fläche in m²	U-Wert 1-D	
0,15	5	0,287			0,215
			1	0,103	0,103
		U-Wert mit Verankerung:			**0,318 W/(m²*K)**
Edelstahl (λ = 17 W/(m*K)					
Länge in m	Anzahl	Ψ	Fläche in m²	U-Wert 1-D	
0,15	5	0,130			0,098
			1	0,103	0,103
		U-Wert mit Verankerung:			**0,201 W/(m²*K)**

Alternative U-Werte mit Verankerung (2 Stück/m²)					
Alu (λ = 160 W/(m*K)					
Länge in m	Anzahl	Ψ	Fläche in m²	U-Wert 1-D	
0,15	2	0,546			0,164
			1	0,103	0,103
		U-Wert mit Verankerung:			**0,267 W/(m²*K)**
Stahl (λ = 50 W/(m*K)					
Länge in m	Anzahl	Ψ	Fläche in m²	U-Wert 1-D	
0,15	2	0,287			0,086
			1	0,103	0,103
		U-Wert mit Verankerung:			**0,189 W/(m²*K)**
Edelstahl (λ = 17 W/(m*K)					
Länge in m	Anzahl	Ψ	Fläche in m²	U-Wert 1-D	
0,15	2	0,130			0,039
			1	0,103	0,103
Gewählt:		**U-Wert mit Verankerung:**			**0,142 W/(m²*K)**

Abb. 22: Alternativen zum Wärmebrückenzuschlag der Fassadenverankerung
(Berechnung Fa. Höhne-Schmidt, Fassadenbau Trakt 1)

Es wurde daher ein Tragsystem vor die Fassade von Decke zu Decke und von Stütze zu Stütze gespannt, an der die Fassadentafeln mit einem Abstand von 34 cm aufgehängt wurden (s. Abb. 23). Hierzu wurden von der ersten ausführenden Fassadenbaufirma verschiedene Varianten hinsichtlich ihrer Wärmebrückenwirkung berechnet, siehe nebenstehende Tabellen. Die Profile, welche die Dämmebene durchstoßen, sind demnach aus Edelstahl, da das Material einen relativ geringen λ-Wert unter den Metallen aufweist. Die Verbindungen sind dabei untereinander thermisch getrennt, natürlich auch vom tragenden Befestigungsuntergrund. Auf diese Weise konnte der Wärmebrückenzuschlag Ψ auf einen Wert von 0,039 W/(m²*K) reduziert werden, sodass sich ein Gesamt-U-Wert für die Außenwand von 0,142 W/(m²*K) bei 32 cm starker Dämmlage ergab.

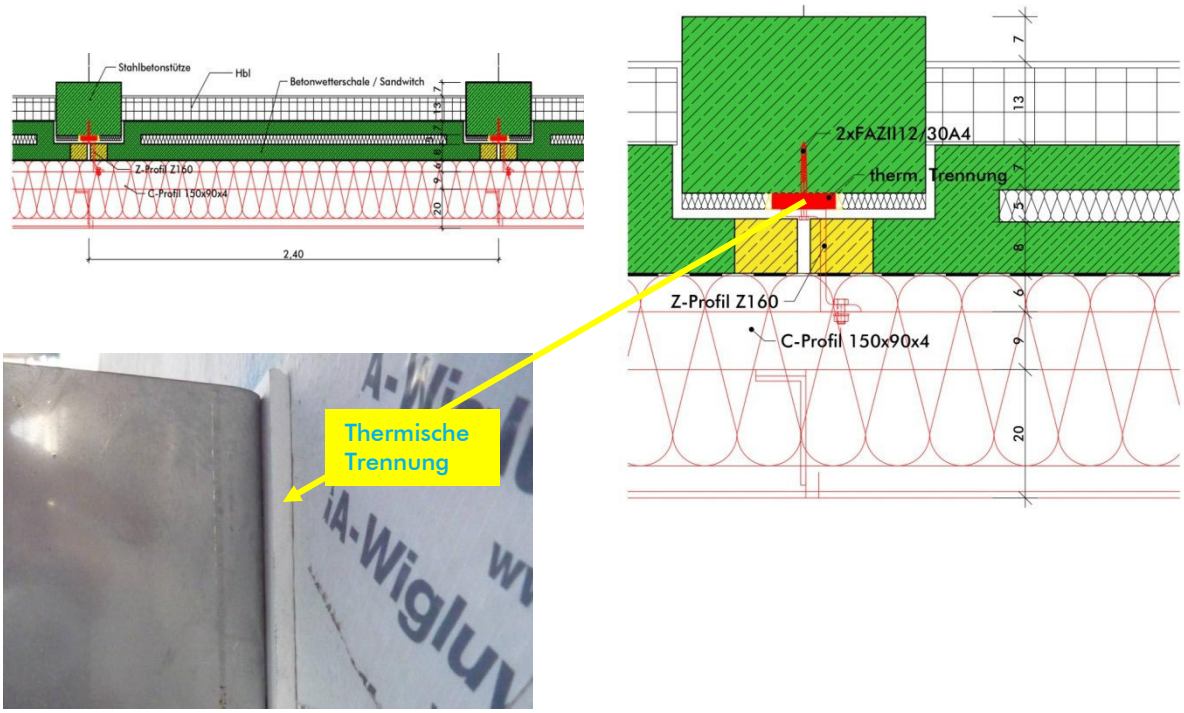


Abb. 23: Fassadenbefestigungssystem mit thermischer Trennung

Im Laufe der Zeit wurden Unterkonstruktionen für Vorhangfassaden entwickelt, die wärmebrückenfrei sind und deshalb in der energetischen Bilanzierung nicht berücksichtigt werden müssen. Auch zum damaligen Zeitpunkt wurde mit u.a. GFK-Profilen experimentiert, es konnte aber unter den Lastvoraussetzungen und zudem in einem wirtschaftlichen und zeitlichen Rahmen keine befriedigende Lösung gefunden werden.

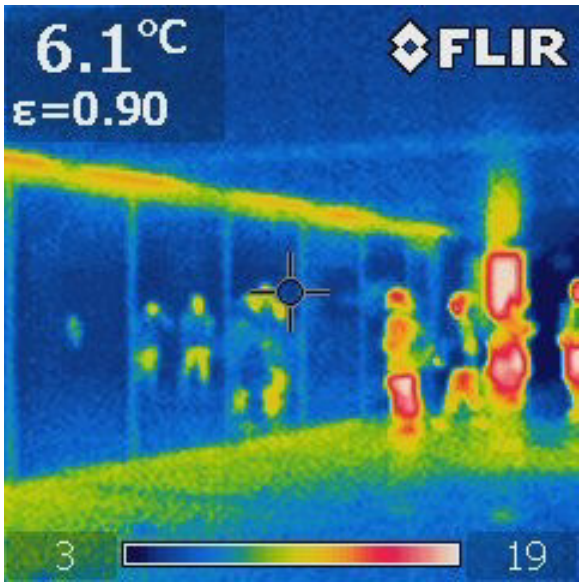


Abb. 24: Thermografie überdachte Pausenhalle Trakt 1 mit Glasfassade (Trennung Innen- und Außenbereich)
(Noch Wärmeverluste über den zum Zeitpunkt der Thermografie nicht fertig gestellten Anschluss der gedämmten Unterdecke)

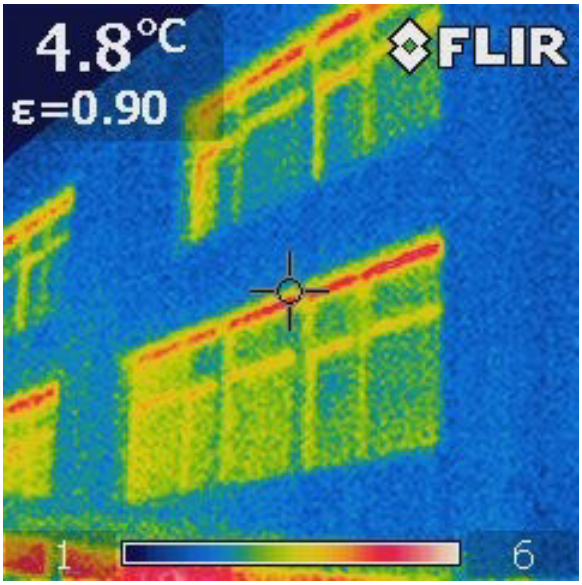


Abb. 25: Thermografie der Südfassade Trakt 1

Nach Beendigung des ersten Bauabschnittes wurden die Bauarbeiten an der Fassade auch durch Thermografieaufnahmen überprüft. Schwachstellen waren in den noch nicht fertig gestellten Anschlüssen der Unterdecke der Pausenüberdachung festzustellen (Abb. 24). Weiterhin treten konstruktionsbedingt geringe Wärmeverluste im Bereich des Sonnenschutzes auf (s.

Abb. 25) - hier ist die Dämmung durch das Raffstore-Paket reduziert.

Fenster

Bauphysikalische Untersuchungen des PHI (Kaufmann, John, Feist, 2008) haben gezeigt, dass beim außen wandbündigen Einbau des Fensters höhere Wärmebrückenverluste vorhanden sind,

als beim Einbau des Fensters in der Dämmebene, wie in Abb. 15. Die Oberflächentemperaturen an den Bauteilübergängen liegen bei der ausgeführten Variante um fast 2°C höher.

Es wurden C-Profile von Stütze zu Stütze gespannt, so dass diese die Traglast auch der Fenster aufnehmen konnten. Die Fensterbänder wurden gegenüber dem Bestandsraster immer wieder verschoben, um die dahinterliegende Tragstruktur zu zeigen. Sie wurde farblich betont und gibt dem jeweiligen Baukörper die Kennfarbe. Der seitliche Anschluss an die Fassade wurde im Trockenbau ausgeführt. Das verringerte durch den stärkeren Dämmeinsatz an den Bauteilübergängen Fenster/Wand nochmal den Wärmebrückenverlust, sodass der Phi-Wert an manchen Stellen sogar negativ ausfiel und zu einer positiven Wärmebrückenbilanz beitrug.

In den Bereichen, wo zusätzlich Sonnenschutz untergebracht werden musste, verbleibt – wie bereits erwähnt - konstruktiv bedingt noch eine lineare Wärmebrücke (s.

Abb. 25). Das Sonnenschutzpaket verringert zum einen die Dämmstärke und zum anderen die Überdämmung des Sturzprofils der Fensterrahmen. Der Wärmebrücken-Verlust-Koeffizient liegt im Einbaubereich des Sturzes mit Sonnenschutz bei 0,19 W/(m*K), ohne Sonnenschutz bei 0,04 W/(m*K), im seitlichen Anschlag sogar nur bei 0,015 W/(m*K).

2.2.3.2 Fassadenabschluss nach unten zur Außenluft oder zum Erdreich

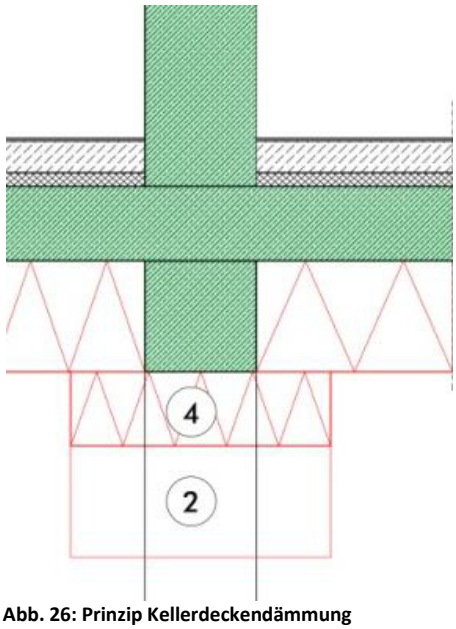
Für den Passivhausabschluss nach unten gibt es mehrere Szenarien. Es gibt in allen Trakten die Kellerdecke mit Ausnahme der Turnhalle, in Trakt 1 zusätzlich den Deckenabschuss nach unten gegen Außenluft. Die Turnhalle und ein Flügel des Traktes 2 sind nicht unterkellert.

Die Kellerebene wurde grundsätzlich aus der beheizten Hülle herausgenommen, bis auf die Treppenhäuser. Diese reichen bis in den Keller und werden bis zur Unterkante der Bodenplatte gedämmt, da es nicht sinnvoll und nicht in allen Bereichen machbar ist, den Raum im Erdgeschoss abzutrennen. Die Treppenhäuser haben keine große Grundfläche. Deswegen wurde jeweils der Fußboden auf der untersten Ebene entfernt und bis zur Oberkante der ersten Stufe neu aufgebaut und gedämmt. Die vorhandenen Raumhöhen ließen dies zu.

Die Deckendämmung stellt die leicht lösbare Variante dar. Hier wurden 14 cm starke Dämmplatten (WLG 025) mit einer nicht brennbaren Beschichtung unter die Decke, bzw. im Außenbereich 40 cm Mineralwolle in einer abgehängten Decke verbaut.

Im Trakt 3+4, der allein schon aufgrund seiner komplexen Struktur eine wesentliche höhere Wärmebrückenproblematik aufweist, wurden 30 cm starke Polystyrol-Hartschaum-Sichtplatten (Neopor) unter der Kellerdecke befestigt, jeweils mit begleitender Dämmschürze in den ersten 50 cm unter der Rohdecke.

Der vorhandene Kriechkeller in Trakt 4 wurde mit Zellulosedämmung vollgeblasen und geht als zugänglicher Installationsraum verloren. Bereiche, die nicht unterkellert sind, wurden zum Ausgleich mit einer außen liegenden Dämmschürze umspannt (s.27).



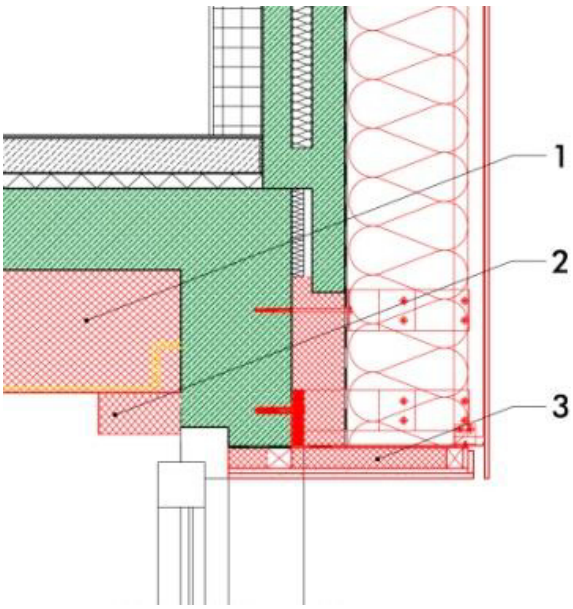


Abb. 26: Prinzip Kellerdeckendämmung

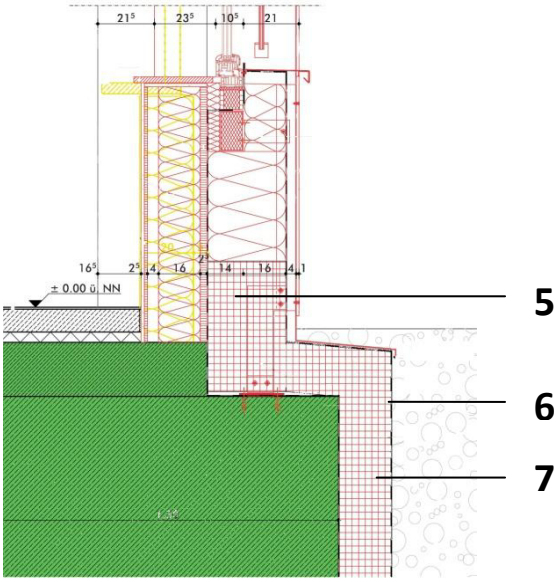
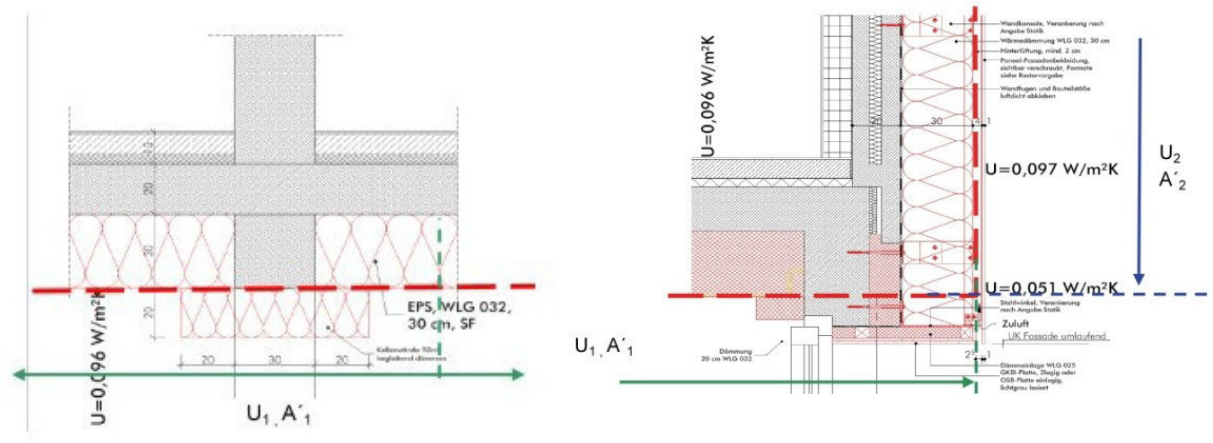


Abb. 27: Prinzip Sockeldämmung im nicht unterkellerten Bereich

1. **Trakt 3+4**: 30 cm Dämmung Neopor, λ = 0,032 W/(m²*K), geklebt und gedübelt
   Trakt 1 und 2: PIR-Dämmplatten silikatbeschichtet, λ = 0,025 W/(m²*K), 14 cm
2. Begleitdämmung an den Wänden bis 50 cm unter UK Rohdecke
3. Fassadenabschluss außen mit Leibungsblech
4. **Trakt 3+4**: Dämmung Unterzug 20 cm Neopor, λ = 0,032 W/(m²*K), geklebt und gedübelt
   Trakt 1 und 2: VIP, λ = 0,007 W/(m²*K), 2 cm
5. Perimeterdämmung im Sockelbereich
6. Vertikalabdichtung bis 30 cm über OK Gelände
7. Perimeter- oder Blähgranulat-Dämmschürze im Fundamentbereich

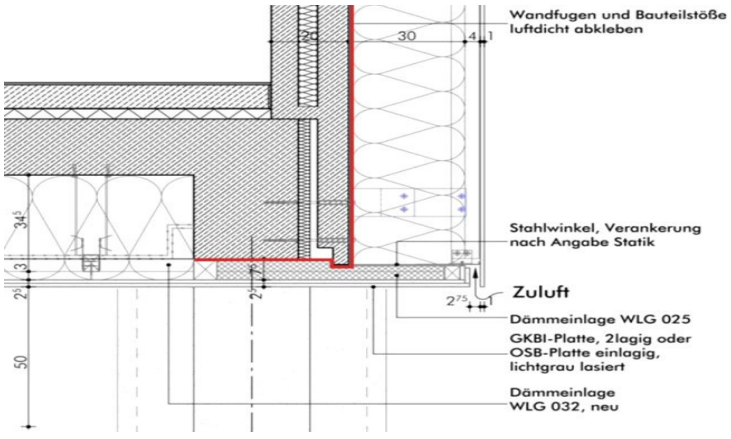


Die vielen konstruktiven Wärmebrücken, wie durch- und aufgehende Wände, Unterzüge etc. flossen in die Wärmebrückenberechnung mit ein.

a) Unterzug mit aufgehender Wand — Ψ = 0,028 W/(m*K)
b) Kellerdecke mit durchlaufender Wand — Ψ =0,275 W/(m*K)
c) Fassadenabschluss zum Keller mit Fenster — Ψ = 0,126 W/(m*K)
d) Fassadenabschluss zum Keller ohne Fenster — Ψ =0,312 W/(m*K)

Abb. 28: Wärmebrückenberechnungen Fassadenabschlüsse

Im Bereich der überdachten Pausenhalle (Trakt 1) gibt es viele Stützen, die die gedämmte Hülle durchdringen. Um den Einfluss der Wärmebrücken zu reduzieren wurden im Vorfeld folgende Varianten bauphysikalisch untersucht:



a) Stütze voll gedämmt — Ψ = 0,392 W/(m*K)
b) Stützenkranz gedämmt über 70 cm — Ψ = 0,488 W/(m*K)
c) Stütze ohne Zusatzdämmung — Ψ = 0,741 W/(m*K)

Abb. 29: Wärmebrückenuntersuchung Stützendurchdringung

An dieser Stelle wurde aus gestalterischen Gründen auf eine Zusatzdämmung verzichtet und der hohe Wärmebrückenverlust in Kauf genommen (s. Abb. 30). Zu sehen sind neben den erhöhten Wärmeverlusten über den Stützenrand auch noch deutlich die Wärmeverluste über den zum Zeitpunkt der Thermografie noch nicht fertig gestellten Anschluss der gedämmten Unterdecke.

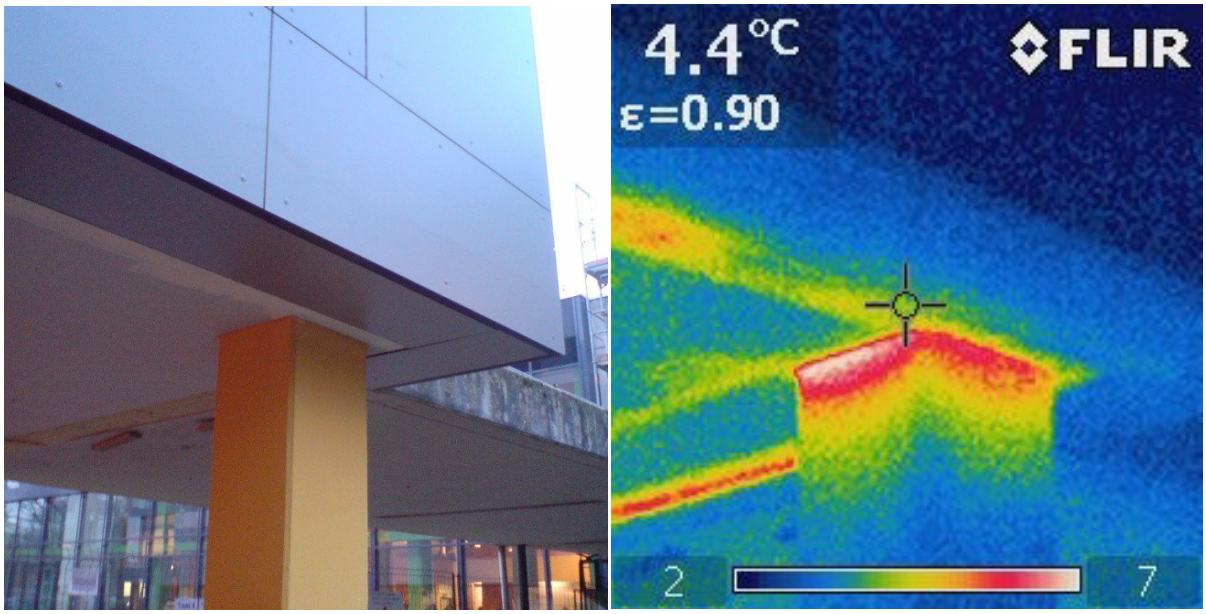


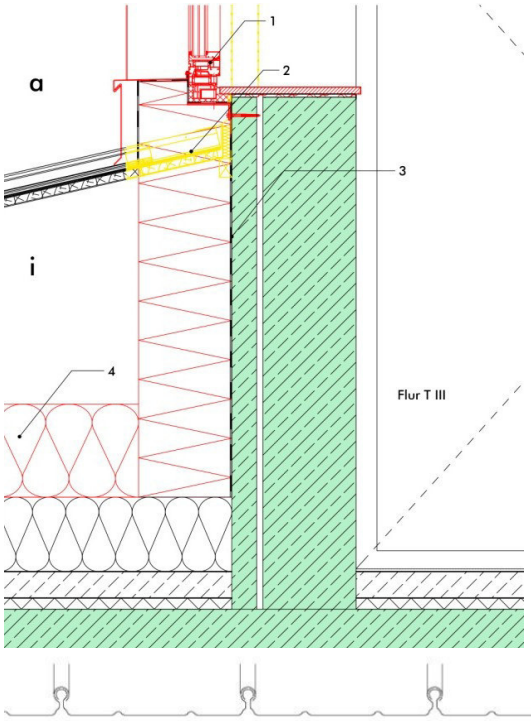
Abb. 30: Thermografie Stütze Pausenhalle Trakt 1

2.2.3.3 Fassadenabschluss nach oben zur Außenluft

Die Dächer waren alle zugänglich und wurden – neu oder ergänzend - mit Mineralwolle belegt, teils bis zu 50 cm stark. In einigen Bereichen – insofern es auch brandschutztechnisch zulässig war - wurde allerdings auf die Möglichkeit der Einblasdämmung zurück gegriffen, da die noch intakte Schaldecke des alten Flachdaches eine Belegung mit Mineralwolle nur unter widrigsten Umständen erlaubt hätte.

Bei der Turnhalle gab es unter wirtschaftlichen Aspekten keine andere Möglichkeit als die Einblasdämmung. Das ursprüngliche Dach bestand aus einem Trapezblech, das schon im Zuge der 1998 erfolgten Neueindeckung mit einer Styroporlage gedämmt wurde. Das Kalzip-Dach hätte über die ganze Fläche abgenommen und erneuert werden müssen. Auch hier konnte in Absprache mit dem Statiker und den Brandschutzbehörden auf die günstige Zellulosedämmung zurückgegriffen werden (s.Abb. 32).

Abb. 31: Durchdringungsprinzip der neuen Dämmschale im Dachbereich



In Bereichen der aufgehenden Wände wurden jeweils die Metallscharen der Dacheindeckung gekürzt, um die Dämmung lückenlos anbringen zu können (s. Abb. 31). Die Verblechung und Abdichtung der Ränder wurde im Anschluss erneuert. An den Traufseiten decken Bleche die neue Fassadenverkleidung ab und leiten das Wasser in die vorhandenen Rinnen. Fallrohre wurden nach vorne gezogen, um sie aus der Dämmebene zu nehmen.

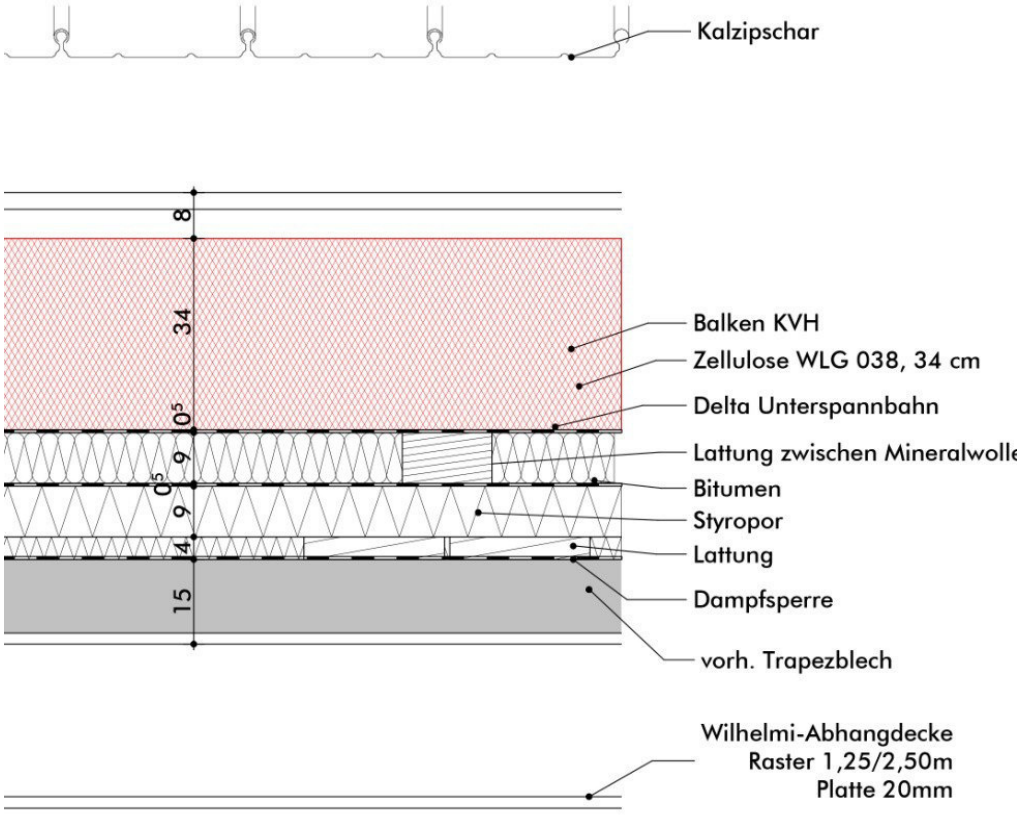


Abb. 32: Dämmprinzip Turnhallendach

2.2.4 Nutzerbefragung nach der Sanierung im Vergleich

Vor Beginn der ersten Sanierungsmaßnahme wurde – wie bereits zuvor beschrieben - eine Befragung der Lehrerinnen und Lehrer bezüglich der subjektiven Bewertung gebäudebezogener Aspekte des Schullalltags (z.B. Luftqualität, Temperaturempfinden, Zugerscheinungen etc.) durchgeführt. Diese wurde im Frühjahr 2013 – unter Zuhilfenahme verbesserter Befragungstechniken (online-Befragung) - wiederholt, diesmal nur mit LehrerInnen und SchülerInnen als Zielgruppe. Es zeigt sich, dass die Meinungsäußerungen ein hohes Maß an Differenzierung haben und sich daher keine einfache Zuordnung ‚Vorher alles schlecht – Nachher alles besser' ergibt.

Die Frage-Antwort-Systematik wurde im zweiten Durchlauf etwas umgestellt, *weil die Formulierungen aus der Nutzerbefragung vor Sanierungsstart zu unklare Rückäußerungen ergeben hatten. Dies* hat sich jedoch im Nachhinein als wenig sinnvoll herausgestellt, da die direkte Vergleichbarkeit der Aussagen *vorher* und *nachher* nicht mehr gegeben ist. Besser wäre es gewesen, die ersten Fragestellungen zu belassen und durch einen erweiterten Fragekatalog zu ergänzen.

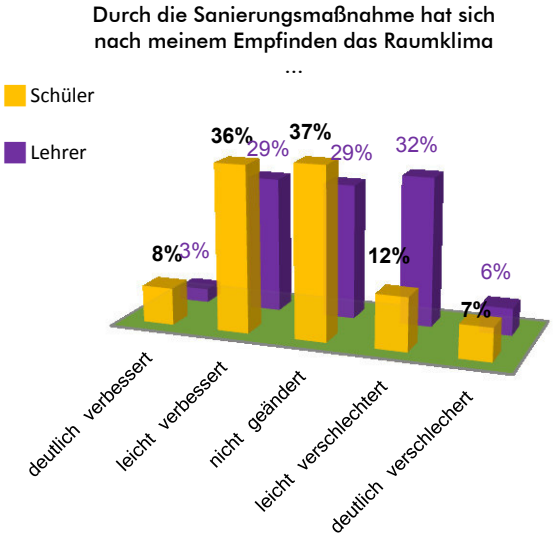


Abb. 33: Veränderung Raumklima

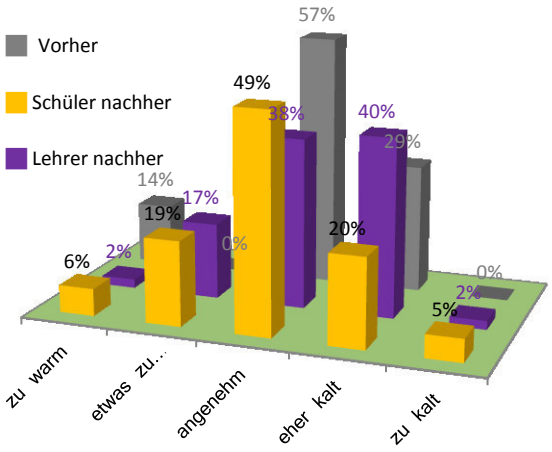


Abb. 34: Beurteilung der Raumtemperatur vorher - nachher

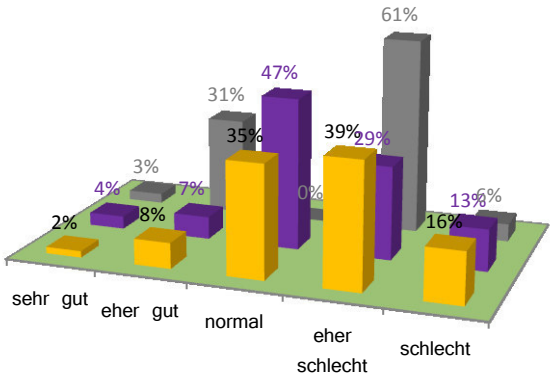


Abb. 35: Beurteilung der Raumluftqualität

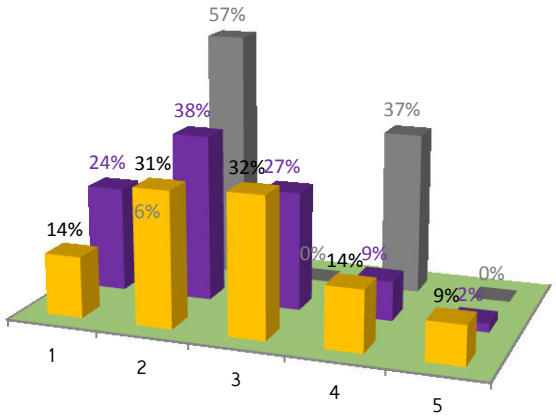


Abb. 36: Beurteilung der Geruchsbelästigung
(1 = keine vorhanden bis 5 = sehr stark)

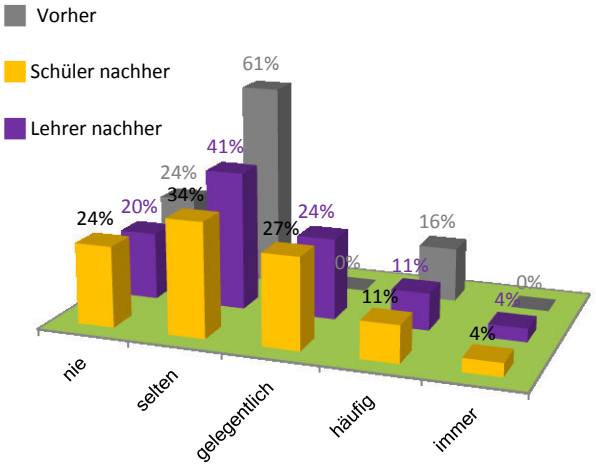


Abb. 37: Auftreten von Zugluft

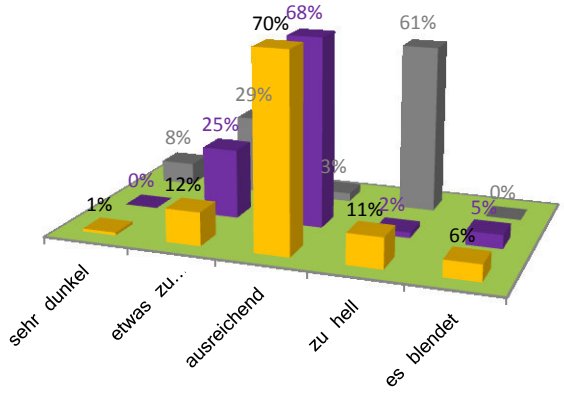


Abb. 38: Beurteilung der Helligkeit

Sicherlich war eine Vergleichbarkeit „vorher – nachher" nach 4 Jahren Bauzeit für den ein oder anderen nicht immer gegeben und schwer zu beurteilen. Es gibt aber schon Tendenzen, die darauf hinweisen, dass die Technik noch nicht optimal arbeitet.
Während es beim Raumklima und bei der Raumtemperatur stark unterschiedliche Empfindungen gibt, die noch detaillierter hinterfragt werden müssten (z.B. ist es den Lehrern eher zu kalt, während es die Schüler zum großen Teil als angenehm empfinden), gibt es im Allgemeinen doch Hinweise, dass die Raumluftqualität subjektiv als zu schlecht empfunden wird.
Die Helligkeit hat sich verbessert. Während vorher das Licht als zu hell und blendend empfunden wurde, wird die Situation jetzt als ausreichend bezeichnet – weder zu hell noch zu dunkel.
Geruchsbelästigungen und Zugerscheinungen treten selten auf, und seltener als vor der Sanierung.

Aufgabe des Monitoring ist es, diesen empfundenen Mängeln durch Messungen und Untersuchungen auf den Grund zu gehen und diese wenn möglich zu beheben.

3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeit der Sanierung zum Passivhausstand (Neubau) wurde bereits in einer der Planung vorangestellten DBU-Studie (Rongen Architekten GmbH, Vika GmbH, 2009) untersucht. Zum damaligen Zeitpunkt basierte die Berechnung auf einer Kostenschätzung. Die Sanierungsergebnisse der energetischen Maßnahmen mit den tatsächlich angefallenen Kosten – nach Kostenfeststellung - wurden nochmal mithilfe eines Wirtschaftlichkeitstools vergleichend gegenübergestellt und überprüft. Es handelt sich dabei um ein Excel-Tabellenwerk, erstellt vom Hochbauamt der Stadt Frankfurt (Frankfurt, 2015). Es ist für jeden kostenfrei herunterzuladen unter *www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de*

Gebäude verursachen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg Kosten. Dies bezieht sich auf die Errichtung, den Betrieb bzw. Unterhalt und den Abriss des Gebäudes. Im Sinne eines wirtschaftlichen Umgangs mit Ressourcen besteht bei der Konzeption eines Gebäudes – auch im Sanierungsfall – die Zielvorgabe, die gebäudebezogenen Kosten während des Lebenszyklus zu minimieren.
Das verwendete Berechnungswerkzeug der Stadt Frankfurt dient dazu, unter Einbeziehung möglichst umfassender Faktoren die *„jährlichen Gesamtkosten (Summe aus Kapitalkosten, Betriebskosten und Umweltfolgekosten) über den gesamten Betrachtungszeitraum (Planung, Bau, Betrieb, Abriss und Entsorgung) zu minimieren. Für einen kompletten Sanierungszyklus werden in der Regel 50 Jahre angesetzt"*.

Im Folgenden werden das Gesamtkostenblatt vorgestellt und die Ergebnisse erläutert.

3.1 Parameter dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung

Im Blatt ‚Gesamtkosten' werden alle Ergebnisdaten gesammelt, die sich aus den Eingaben der nachfolgenden Tabellen der Blätter 2-7 (Bau-, Heiz-, Strom- und Wasserkosten) errechnen, und übersichtlich nebeneinandergestellt. Unter „A. Allgemeine Daten" werden die Randbedingungen festgelegt, die der späteren Rechnung zugrunde liegen.
Der Betrachtungszeitraum wurde auf 25 Jahre festgelegt, in etwa orientiert an der mittleren Lebensdauer der verwendeten Bauteile und der Kreditlaufzeit.
Bei der ökonomischen und ökologischen Bewertung über den Lebenszyklus des Gebäudes ist es erforderlich, die Lebensdauer der Bauteile in die Bewertung einzubeziehen. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Lebenserwartungen beziehen sich auf den bisherigen Erfahrungszeitraum mit diesen Gewerken.
Die tatsächliche Lebensdauer der Bauteile wird vor allem von den Bauteileigenschaften, der Ausführungsqualität, der konkreten Beanspruchung und der Wartung / Instandhaltung beeinflusst. Die Lebenserwartung wird deshalb mit von-/bis- Werten angegeben. Für die Bewertung wird die mittlere Lebenserwartung angesetzt. Die tatsächliche Lebenserwartung weicht ggf. von den angegebenen Werten ab. Die Kosten für Inspektion und Wartung, Reinigung sowie der werterhaltende Bauunterhalt werden mit einbezogen. (Bundesinstitut für Bau-, 2011).

Der Kapitalzins auf dem freien Markt entspricht dem Zins der letzten fünf Jahre, zum Zeitpunkt der Studie liegt er auf einem historischen Tief.

Methode: Annuitätenmethode
Betrachtungszeitraum: 25 Jahre
Kapitalzins: 2% freie Finanzierung, durchschnittlicher Zins der letzten fünf Jahre auf dem freien Markt,
Preissteigerung Energie: 4% (für alle Energieträger gemittelt über die letzten 10 Jahre)
Preissteigerung Sonstiges: 2% (gemittelt über die letzten 10 Jahre
Instandhaltungskosten sind %-ual berücksichtigt

Gerechnet wurde nach der Annuitätenmethode, die Annuitätsfaktoren errechnen sich aus diesen Daten. Bei der Annuitätenmethode werden die Kosten gleichmäßig auf die Nutzungsdauer verteilt, so dass die Zahlungsfolge aus Aufwendungen (*Investition, Instandhaltung, Wartung, Energiekosten) und Einsparungen in die sog. Annuität umgewandelt wird. Es werden die Kosten pro Jahr angegeben. Die Variante mit den höchsten Einsparungen über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren ist die wirtschaftlich sinnvollste. Aus dem Differenzbetrag der Annuitätskosten zweier Varianten lassen sich die jährlichen Einsparungen direkt ablesen.*
Durch die Angabe der Amortisationszeit wird eine Aussage darüber getroffen, in welchem Zeitraum die anfänglichen Aufwendungen durch die eingesparten (Energie-)Kosten unter Beachtung der kalkulatorischen Zinsen gedeckt sind.

3.2 Variantenvergleich

Es wurden folgende Sanierungs-Varianten nebeneinander gestellt:

Enev 2009
Passivhausstandard (Neubau) ohne Berücksichtigung von Fördermitteln
Passivhausstandard (Neubau) mit Berücksichtigung der Zuschussförderung des Landes Nordrhein-Westfalen (*Investitionspakt zur energetischen Erneuerung der sozialen Infrastruktur in den Kommunen*)

Die Gesamteinsparsummen der Varianten beziehen sich dabei auf den Vergleich zur EnEV2009-Variante.

In allen Varianten wurden die gleichen Maßnahmen durchgeführt. Bei der EnEV-Variante wurden die Bauteilkomponenten wie folgt eingesetzt:

Boden gegen Keller/Erde mit 0,50 W/m²K
Außenwand gegen Außenluft mit 0,20 W/m²K
Außenwand gegen Erdreich mit 0,20 W/m²K
Dach gegen außen/oberste Geschossdecke mit 0,24 W/m²K
Fenster Uw = 1,30 W/m²K

Die Haustechnik blieb in den Komponenten gleich, jedoch wurde keine Wärmepumpentechnik eingesetzt und die Effizienz der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen herabgesetzt. Die Beleuchtung liegt in der EnEV-Variante mit 2,5W/m² geringfügig schlechter im Vergleich zur Passivhausvariante. Der Einfachheit halber sind die anderen Stromverbraucher mit gleicher Effizienz angesetzt.

Die Kosten wurden, wo keine direkten Vergleichspreise vorlagen, mit einem Faktor reduziert.

Aufgrund dieser Annahmen ergeben sich im **Gesamtkostenblatt** die untenstehenden Vergleichswerte. Die EnEV2009-Variante ist mit 7,2 Mio. Euro in den Baukosten um 23% günstiger, die laufenden Heizkosten sind jedoch 5x so hoch wie nach einer Passivhaus-Sanierung. Dennoch rechnet sich der Passivhausstandard (Neubau) zunächst nicht, da die aufzubringenden Kapitalkosten mit jährlich 130.000 Euro mehr – also einem Plus von 23% gegenüber der EnEV-Variante - nicht mit Hilfe der reduzierten Betriebskosten gegengerechnet werden können. Diese liegen im Fall des Gymnasium Baesweilers nur ca. 5% unter den Betriebskosten, die eine EnEV-Sanierung nach sich zieht. *Zu Planungsbeginn lag die Energiepreissteigerung noch bei Ø 6%. Unter der Prämisse würde sich selbst eine energetische Sanierung auf den Passivhausstandard nach 40 Jahren rechnen. Zurzeit sinken aber die Preise, auch aufgrund der positiven Entwicklung auf dem regenerativen Energiemarkt.*
Im Fall des Gymnasium Baesweilers stand eine große Fördersumme des Landes NRW zur Verfügung, da die Sanierung des Altbestandes nach Passivhauskriterien wegweisend für andere kommunale Betreiber sein sollte. Unter der Prämisse rechnet sich natürlich die Sanierung vom ersten Jahr an.
Demnach ist nach wie vor die Passivhaussanierung auf Neubaustandard unter Zuhilfenahme der Förderung die wirtschaftlichste, ökonomischste und somit zukunftweisende Lösung

1. Gesamtkosten

(wird gewöhnlich von der Projektleitung ausgefüllt)

A.	Allgemeine Daten	Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau				Version 13.5 07.10.2015
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**				
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**	*nur energetische Sanierung*			
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**				
A4	Betrachtungszeitraum (Jahre)	25	A8	Währung	€	
A5	Kapitalzins*	2,0%	A9	Annuitätsfaktor	5,1%	
A6	Preissteigerung Heizenergie	4,0%	A10	Mittelwertfaktor Ener.	1,66	
A7	Preissteigerung sonstiges	2,0%	A11	Mittelwertfaktor sonst.	1,28	

B.	Varianten	**Bezeichnung** (Eingabe erforderlich!)
B1	**Variante 1**	**EnEV 2009**
B2	**Variante 2**	**Passivhaus ohne Fördermittel**
B3	**Variante 3**	**Passivhaus mit Fördermittel**
B4		
B5		

C.	Kenngrößen	Variante 1	Variante 2	Variante 3			
C1	beheizte Nettogrundfläche	9.250	9.250	9.250			m²
C2	Personenzahl	1.200	1.200	1.200			P
C3	spez. Heizwärmebedarf	37	14	14			kWh/m²a
C4	spez. Heizenergiebedarf	37	3	3			kWh/m²a
C5	spez. Strombezug	16	14	14			kWh/m²a
C6	spez. Primärenergiebedarf	67	46	46			kWh/m²a
C7	spez. CO_2-Emissionen	17	12	12			kg/m²a
C8	spez. Trinkwasserbezug	486	486	486			l/m²a

D.	Kapitalkosten	Variante 1	Variante 2	Variante 3			
D1	Baukosten (DIN 276)	7.295.474	8.984.442	8.984.442	0	0	€
D2	- Zuschüsse/Erlöse			5.138.000			€
D3	= Eigenkapitaleinsatz	7.295.474	8.984.442	3.846.442	0	0	€
D4	Kapitalkosten	**373.677**	**460.187**	**197.016**	**0**	**0**	€/a
D5	**spez. Kapitalkosten**	**40**	**50**	**21**			€/m²a

E.	mittl. Betriebskosten	Variante 1	Variante 2	Variante 3			
E1	Heizkosten	32.565	6.347	6.347	0	0	€/a
E2	Stromkosten	32.039	29.025	29.025	0	0	€/a
E3	Wasser-/Abwasserkosten	15.163	15.163	15.163	0	0	€/a
E4	Reinigungskosten	84.833	84.833	84.833			€/a
E5	Betriebsführungskosten	42.551	42.551	42.551			€/a
E6	Instandhaltungskosten	128.811	150.491	150.491			€/a
E6	Verwaltung+Versicherung	9.250	9.250	9.250			€/a
E7	**heutige Betriebskosten**	**345.212**	**337.660**	**337.660**	**0**	**0**	€/a
E8	**mittl. Betriebskosten**	**454.601**	**434.868**	**434.868**	**0**	**0**	€/a
E9	**spez. Betriebskosten**	**49**	**47**	**47**			€/m²a

F.	Umweltfolgekosten	Variante 1	Variante 2	Variante 3			
F1	CO_2-Emissionen (50 €/to)	7.906	5.538	5.538	0	0	€/a
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	4.494	4.494	4.494	0	0	€/a
F3	**Umweltfolgekosten**	**12.400**	**10.032**	**10.032**	**0**	**0**	€/a
F4	**spez. Umweltfolgekost.**	**1**	**1**	**1**			€/m²a

G.	Gesamtkosten	Variante 1	Variante 2	Variante 3			
G1	**Gesamtkosten**	**840.679**	**905.087**	**641.917**	**0**	**0**	€/a
G2	**spez. Gesamtkosten**	**91**	**98**	**69**			€/m²a
G3	**Einsparung in 25 Jahren zu Variante 1**		**-1.610.202**	**4.969.063**			€

(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)

* aktuelle Kreditzinsen unter: https://www.kfw-formularsammlung.de/KonditionenanzeigerINet/KonditionenAnzeiger

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

3.1 Bau- und Instandhaltungskosten 7.295.474 €

(wird gewöhnlich vom Architekturbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 1**	**EnEV 2009**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6	Personenzahl	1.200	P

				Baukosten	Invest./NGF	Instandhaltung*	
B.	**Kosten nach DIN276**						
	(alle Kosten netto)			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
100	**Grundstück**				0		
200	**Herrichten und Erschließen**			11.004	1		
300	**Bauwerk -**	**Menge**	**sp. Preis**	**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung***	
	Baukonstruktion	(m³)	(€/m³)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	0	0	0	0		
320	Gründung: Fundamente			0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Boden gegen Keller/Erde	6.090	30	179.726	19	0,5%	899
	Boden gegen außen	0	0	0	0	0,5%	0
330	Außenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Wand gegen außen	5.885	290	1.707.465	185	0,3%	4.269
	Wand gegen Keller/Erde	150	326	48.881	5	0,3%	122
	Außenfenster und -türen	1.975	395	780.422	84	1,5%	11.706
	Außentüren	17	1.466	25.361	3	1,5%	380
340	Innenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Innenwände			276.849	30	0,5%	1.384
	Innentüren und Fenster			42.288	5	0,5%	211
350	Decken	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	oberste Geschoßdecke	6.848	27	181.931	20	0,5%	910
	sonstige Geschoßdecken	0		0	0	0,5%	0
360	Dächer	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Dach gegen außen	0	0	0	0	0,8%	0
	Boden nicht energetisch			0	0	0,8%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion				0	0,5%	0
300	**Summe Baukonstruktion**			**3.242.923**	**351**	0,6%	**19.882**
400	**Bauwerk-**			**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung***	
	Technische Anlagen			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			1.422	0	2,0%	28
420	Wärmeversorgungsanlagen			429.841	46	5,1%	21.922
430	Lufttechnische Anlagen			862.244	93	6,0%	51.304
440	Starkstromanlagen			372.042	40	1,5%	5.581
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0
460	Förderanlagen			0	0	5,0%	0
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			191.103	21	2,5%	4.778
400	**Summe Technische Anlagen**			**1.856.652**	**201**	4,5%	**83.612**
500	**Außenanlagen**			158.372	17	3,0%	4.751
600	**Ausstattung und Kunstwerke**			0	0	1,5%	0
700	**Baunebenkosten**			861.699	93		
	Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes			0	0		
C.	**Summe Kosten**		netto	6.130.650	663	1,8%	**108.245**
C2	Mehrwertsteuer		19%	1.164.824	126		20.567
C3			**brutto**	**7.295.474**	**789**	1,8%	**128.811**

*incl. Ersatzinvestitionen im Betrachtungszeitraum

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

3.2 Bau- und Instandhaltungskosten 8.984.442 €

(wird gewöhnlich vom Architekturbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 2**	**Passivhaus ohne Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6	Personenzahl	1.200	P

				Baukosten	Invest./NGF	Instandhaltung*	
B.	**Kosten nach DIN276**						
	(alle Kosten netto)			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
100	**Grundstück**			0	0		
200	**Herrichten und Erschließen**			11.004	1		
300	**Bauwerk -**	**Menge**	**sp. Preis**	**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung***	
	Baukonstruktion	(m³)	(€/m³)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	0	0	0	0		
320	Gründung: Fundamente	0	0	0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Boden gegen Keller/Erde	6.090	51	310.020	34	0,5%	1.550
	Boden gegen außen	0	0	0	0	0,5%	0
330	Außenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Wand gegen außen	5.885	393	2.311.612	250	0,3%	5.779
	Wand gegen Keller/Erde	150	343	51.454	6	0,3%	129
	Außenfenster und -türen	1.975	473	934.914	101	1,5%	14.024
	Außentüren	17	2.094	36.230	4	1,5%	543
340	Innenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Innenwände	0	0	276.849	30	0,5%	1.384
	Innentüren und Fenster	0	0	42.288	5	0,5%	211
350	Decken	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	oberste Geschoßdecke	6.848	33	227.414	25	0,5%	1.137
	sonstige Geschoßdecken	0	0	0	0	0,5%	0
360	Dächer	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Dach gegen außen	0	0	0	0	0,8%	0
	Boden nicht energetisch	0	0	0	0	0,8%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion				0	0,5%	0
300	**Summe Baukonstruktion**			**4.190.781**	**453**	0,6%	**24.758**
400	**Bauwerk-**			**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung***	
	Technische Anlagen (energ. + begleitend)			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			1.422	0	2,0%	28
420	Wärmeversorgungsanlagen			505.695	55	5,1%	25.790
430	Lufttechnische Anlagen			1.014.405	110	6,0%	60.357
440	Starkstromanlagen			400.045	43	1,5%	6.001
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0
460	Förderanlagen			0	0	5,0%	0
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			191.103	21	2,5%	4.778
400	**Summe Technische Anlagen**			**2.112.670**	**228**	4,6%	**96.954**
500	**Außenanlagen**			158.372	17	3,0%	4.751
600	**Ausstattung und Kunstwerke**			0	0	1,5%	0
700	**Baunebenkosten**			1.077.124	116		
	Zur Aufrundung und für Un			0	0		
C.	**Summe Kosten**		netto	7.549.951	816	1,7%	**126.463**
C2	Mehrwertsteuer		19%	1.434.491	155		24.028
C3			**brutto**	**8.984.442**	**971**	1,7%	**150.491**

*incl. Ersatzinvestitionen im Betrachtungszeitraum

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

3.3 Bau- und Instandhaltungskosten 8.984.442 €

(wird gewöhnlich vom Architekturbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 3**	**Passivhaus mit Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6	Personenzahl	1.200	P

				Baukosten	Invest./NGF	Instandhaltung*	
B.	**Kosten nach DIN276**						
	(alle Kosten netto)			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
100	**Grundstück**			0	0		
200	**Herrichten und Erschließen**			11.004	1		
300	**Bauwerk -**	**Menge**	**sp. Preis**	**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung***	
	Baukonstruktion	(m³)	(€/m³)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	0	0	0	0		
320	Gründung: Fundamente	0	0	0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Boden gegen Keller/Erde	6.090	51	310.020	34	0,5%	1.550
	Boden gegen außen	0	0	0	0	0,5%	0
330	Außenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Wand gegen außen	5.885	393	2.311.612	250	0,3%	5.779
	Wand gegen Keller/Erde	150	343	51.454	6	0,3%	129
	Außenfenster und -türen	1.975	473	934.914	101	1,5%	14.024
	Außentüren	17	2.094	36.230	4	1,5%	543
340	Innenwände	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Innenwände	0	0	276.849	30	0,5%	1.384
	Innentüren und Fenster	0	0	42.288	5	0,5%	211
350	Decken	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	oberste Geschoßdecke	6.848	33	227.414	25	0,5%	1.137
	sonstige Geschoßdecken	0	0	0	0	0,5%	0
360	Dächer	(m²)	(€/m²)	(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
	Dach gegen außen	0	0	0	0	0,8%	0
	Boden nicht energetisch	0	0	0	0	0,8%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			0	0	0,5%	0
300	**Summe Baukonstruktion**			**4.190.781**	**453**	0,6%	**24.758**
400	**Bauwerk-**			**Baukosten**	**Invest./NGF**	**Instandhaltung***	
	Technische Anlagen			(€)	(€/m²)	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			1.422	0	2,0%	28
420	Wärmeversorgungsanlagen			505.695	55	5,1%	25.790
430	Lufttechnische Anlagen			1.014.405	110	6,0%	60.357
440	Starkstromanlagen			400.045	43	1,5%	6.001
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0
460	Förderanlagen			0	0	5,0%	0
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			191.103	21	2,5%	4.778
400	**Summe Technische Anlagen**			**2.112.670**	**228**	4,6%	**96.954**
500	**Außenanlagen**			158.372	17	3,0%	4.751
600	**Ausstattung und Kunstwerke**			0	0	1,5%	0
700	**Baunebenkosten**			1.077.124	116		
	Zur Aufrundung und für Un			0	0		
C.	**Summe Kosten**		netto	7.549.951	816	1,7%	**126.463**
C2	Mehrwertsteuer		19%	1.434.491	155		24.028
C3			**brutto**	**8.984.442**	**971**	1,7%	**150.491**

*incl. Ersatzinvestitionen im Betrachtungszeitraum

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

4.1 Heizwärmebedarf — 36,8 kWh/m²a

(wird gewöhnlich vom Ersteller des EnEV-Nachweises ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 1**	**EnEV 2009**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6 Raumtemperatur		19,2	°C
A7	Länge der Heizperiode	180	d/a	A8 Gradtagszahl		2.873	Kd/a
B.	**Transmission**	Fläche x (m²)	U-Wert x (W/m²K)	AL-Faktor x (-)	GTZx0,024 (kKh/a*)	= Verlust (kWh/a*)	**sp. Verlust (kWh/m²a*)**
B1	Boden gegen Keller/Erde	6.090	0,50	0,4	69,0	80.207	**8,7**
B2	Boden gegen außen	0		1,0	69,0	0	**0,0**
B3	Wand gegen außen	5.885	0,20	1,0	69,0	81.151	**8,8**
B4	Wand gegen Keller/Erde	150	0,20	0,4	69,0	789	**0,1**
B5	oberste Geschoßdecke	6.848	0,24	0,8	69,0	90.661	**9,8**
B6	Dach gegen außen	0		1,0	69,0	0	**0,0**
B7	Fenster horizontal	26	2,40	1,0	69,0	4.319	**0,5**
B8	Fenster Süd	634	1,30	1,0	69,0	56.798	**6,1**
B9	Fenster Ost	466	1,30	1,0	69,0	41.781	**4,5**
B10	Fenster West	255	1,30	1,0	69,0	22.847	**2,5**
B11	Fenster Nord	594	1,30	1,0	69,0	53.272	**5,8**
B12	Wärmebrückenzuschlag	**5.091**	0,14	1,0	69,0	47.740	**5,2**
B12	**Summe Transmission**					**479.565**	**51,8**
C.	**Lüftung**	mittl. Luftw. x (1/h)	(1 - Wärmebereitstell.grad) (%)		+ Infiltration (1/h)	= energ. Luftw. (1/h)	
C1	energetischer Luftwechsel	0,60	x (1 -	75%	0,12	0,27	
		Volumen x (m³)	energ. Luftw. (1/h)	x sp. Wärme (Wh/m³K)	GTZx0,024 (kKh/a*)	= Verlust (kWh/a*)	**sp. Verlust (kWh/m²a*)**
C2	**Lüftungsverlust**	27.751	0,27	0,33	69,0	170.491	**18,4**
C3	**Bruttonutzheizwärmebedarf = Summe Transmission + Lüftung**				**QV=**	**650.056**	**70,3**
C4	**mittlerer Wärmebedarf nach DIN 4701**		302	**kW**			
D.	**Freie Wärme**	Fläche (m²)	Stromv. x (kWh/m²a)	Faktor fe x (-)	HT/365 (a/a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D1	Abwärme Elektrizität	9.250	15,9	0,7	0,5	50.921	**5,5**
		Personen x (P)	Wärmea. x (W/P)	Aufenthalt x (h/d)	HTx0,001 (d/a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D2	Abwärme Personen	1.200	70	8	0,180	120.960	**13,1**
	Solare Einstrahlung	Fläche x (m²)	g-Wert x (-)	fr x fb x (-)	Globalstrahl. (kWh/m²a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D3	durch horiz. Fenster	26	0,62	0,50	331	2.678	**0,3**
D4	durch Süd-Fenster	634	0,62	0,50	353	69.339	**7,5**
D5	durch Ost-Fenster	466	0,62	0,50	212	30.633	**3,3**
D6	durch West-Fenster	255	0,62	0,50	217	17.146	**1,9**
D7	durch Nord-Fenster	594	0,62	0,50	121	22.292	**2,4**
D8	**Summe Fenster**	**1.975**	m²			**142.088**	**15,4**
D9	**Freie Wärme = Abwärme Elektrizität + Personen + solare Strahlung**				**QF=**	**313.969**	**33,9**
D10	Gewinnfaktor	(1-(QF/QV)5)/(1-(QF/QV)6) =			0,99		
	Wärmegewinn	29.752		Freie W. x	Gewinnfak. =	Gewinn	**sp. Gewinn**
D11	Wärmegewinn			313.969	0,99	309.648	**33,5**
E.	**Heizwärmebedarf**			Brutton.-	Wärmegew.=	Bedarf	**sp. Bedarf**
E1	**Heizwärmebedarf**			650.056	309.648	340.408	**36,8**
E2	Grenzwert Passivhaus						15,5
E3	Passivhausstandard erreicht?						**nein**

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

4.2 Heizwärmebedarf — 13,8 kWh/m²a

(wird gewöhnlich vom Ersteller des EnEV-Nachweises ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 2**	**Passivhaus ohne Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6 Raumtemperatur		19,2	°C
A7	Länge der Heizperiode	120	d/a	A8 Gradtagszahl		2.579	Kd/a
B.	**Transmission**	Fläche x (m²)	U-Wert x (W/m²K)	AL-Faktor x (-)	GTZx0,024 (kKh/a*)	= Verlust (kWh/a*)	**sp. Verlust (kWh/m²a*)**
B1	Boden gegen Keller/Erde	6.090	0,31	0,4	61,9	45.071	**4,9**
B2	Boden gegen außen	0		1,0	61,9	0	**0,0**
B3	Wand gegen außen	5.885	0,12	1,0	61,9	43.708	**4,7**
B4	Wand gegen Keller/Erde	150	0,13	0,4	61,9	464	**0,1**
B5	oberste Geschoßdecke	6.848	0,10	0,8	61,9	35.266	**3,8**
B6	Dach gegen außen	0		1,0	61,9	0	**0,0**
B7	Fenster horizontal	26	1,79	1,0	61,9	2.892	**0,3**
B8	Fenster Süd	634	0,84	1,0	61,9	32.890	**3,6**
B9	Fenster Ost	466	0,79	1,0	61,9	22.682	**2,5**
B10	Fenster West	255	0,79	1,0	61,9	12.476	**1,3**
B11	Fenster Nord	594	0,80	1,0	61,9	29.374	**3,2**
B12	Wärmebrückenzuschlag	**5.091**	0,14	0,8	61,9	32.988	**3,6**
B12	**Summe Transmission**					**257.811**	**27,9**
C.	**Lüftung**	mittl. Luftw. x (1/h)	(1 - Wärmebereitstell.grad) (%)		+ Infiltration (1/h)	= energ. Luftw. (1/h)	
C1	energetischer Luftwechsel	0,60	x (1 -	86%	0,08	0,16	
		Volumen x (m³)	energ. Luftw. (1/h)	x sp. Wärme (Wh/m³K)	GTZx0,024 (kKh/a*)	= Verlust (kWh/a*)	**sp. Verlust (kWh/m²a*)**
C2	**Lüftungsverlust**	27.751	0,16	0,33	61,9	92.960	**10,0**
C3	**Bruttonutzheizwärmebedarf = Summe Transmission + Lüftung**				**QV=**	**350.771**	**37,9**
C4	**mittlerer Wärmebedarf nach DIN 4701**		181	**kW**			
D.	**Freie Wärme**	Fläche (m²)	Stromv. x (kWh/m²a)	Faktor fe x (-)	HT/365 (a/a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D1	Abwärme Elektrizität	9.250	14,4	0,7	0,3	30.754	**3,3**
		Personen x (P)	Wärmea. x (W/P)	Aufenthalt x (h/d)	HTx0,001 (d/a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D2	Abwärme Personen	1.200	70	8	0,120	80.640	**8,7**
	Solare Einstrahlung	Fläche x (m²)	g-Wert x (-)	fr x fb x (-)	Globalstrahl. (kWh/m²a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D3	durch horiz. Fenster	26	0,54	0,50	331	2.333	**0,3**
D4	durch Süd-Fenster	634	0,54	0,50	353	60.392	**6,5**
D5	durch Ost-Fenster	466	0,52	0,50	212	25.692	**2,8**
D6	durch West-Fenster	255	0,56	0,50	217	15.487	**1,7**
D7	durch Nord-Fenster	594	0,55	0,50	121	19.775	**2,1**
D8	**Summe Fenster**	**1.975**	m²			**123.679**	**13,4**
D9	**Freie Wärme = Abwärme Elektrizität + Personen + solare Strahlung**				**QF=**	**235.073**	**25,4**
D10	Gewinnfaktor	(1-(QF/QV)5)/(1-(QF/QV)6) =			0,95		
	Wärmegewinn	29.752		Freie W. x	Gewinnfak. =	Gewinn	**sp. Gewinn**
D11	Wärmegewinn			235.073	0,95	223.548	**24,2**
E.	**Heizwärmebedarf**			Brutton.-	Wärmegew.=	Bedarf	**sp. Bedarf**
E1	**Heizwärmebedarf**			350.771	223.548	127.223	**13,8**
E2	Grenzwert Passivhaus						15,5
E3	Passivhausstandard erreicht?						**ja**

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

4.3 Heizwärmebedarf — 13,8 kWh/m²a

(wird gewöhnlich vom Ersteller des EnEV-Nachweises ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 3**	**Passivhaus mit Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6 Raumtemperatur		19,2	°C
A7	Länge der Heizperiode	120	d/a	A8 Gradtagszahl		2.579	Kd/a
B.	**Transmission**	Fläche x (m²)	U-Wert x (W/m²K)	AL-Faktor x (-)	GTZx0,024 (kKh/a*)	= Verlust (kWh/a*)	**sp. Verlust (kWh/m²a*)**
B1	Boden gegen Keller/Erde	6.090	0,31	0,4	61,9	45.071	**4,9**
B2	Boden gegen außen	0		1,0	61,9	0	**0,0**
B3	Wand gegen außen	5.885	0,12	1,0	61,9	43.708	**4,7**
B4	Wand gegen Keller/Erde	150	0,13	0,4	61,9	464	**0,1**
B5	oberste Geschoßdecke	6.848	0,10	0,8	61,9	35.266	**3,8**
B6	Dach gegen außen	0		1,0	61,9	0	**0,0**
B7	Fenster horizontal	26	1,79	1,0	61,9	2.892	**0,3**
B8	Fenster Süd	634	0,84	1,0	61,9	32.890	**3,6**
B9	Fenster Ost	466	0,79	1,0	61,9	22.682	**2,5**
B10	Fenster West	255	0,79	1,0	61,9	12.476	**1,3**
B11	Fenster Nord	594	0,80	1,0	61,9	29.374	**3,2**
B12	Wärmebrückenzuschlag	**5.091**	0,14	0,8	61,9	32.988	**3,6**
B12	**Summe Transmission**					**257.811**	**27,9**
C.	**Lüftung**	mittl. Luftw. x (1/h)	(1 - Wärmebereitstell.grad) (%)		+ Infiltration (1/h)	= energ. Luftw. (1/h)	
C1	energetischer Luftwechsel	0,60	x (1 -	86%	0,08	0,16	
		Volumen x (m³)	energ. Luftw. (1/h)	x sp. Wärme (Wh/m³K)	GTZx0,024 (kKh/a*)	= Verlust (kWh/a*)	**sp. Verlust (kWh/m²a*)**
C2	**Lüftungsverlust**	27.751	0,16	0,33	61,9	92.960	**10,0**
C3	**Bruttonutzheizwärmebedarf = Summe Transmission + Lüftung**				**QV=**	**350.771**	**37,9**
C4	**mittlerer Wärmebedarf nach DIN 4701**		181	**kW**			
D.	**Freie Wärme**	Fläche (m²)	Stromv. x (kWh/m²a)	Faktor fe x (-)	HT/365 (a/a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D1	Abwärme Elektrizität	9.250	14,4	0,7	0,3	30.754	**3,3**
		Personen x (P)	Wärmea. x (W/P)	Aufenthalt x (h/d)	HTx0,001 (d/a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D2	Abwärme Personen	1.200	70	8	0,120	80.640	**8,7**
	Solare Einstrahlung	Fläche x (m²)	g-Wert x (-)	fr x fb x (-)	Globalstrahl. (kWh/m²a*)	= Gewinn (kWh/a*)	**sp. Gewinn (kWh/m²a*)**
D3	durch horiz. Fenster	26	0,54	0,50	331	2.333	**0,3**
D4	durch Süd-Fenster	634	0,54	0,50	353	60.392	**6,5**
D5	durch Ost-Fenster	466	0,52	0,50	212	25.692	**2,8**
D6	durch West-Fenster	255	0,56	0,50	217	15.487	**1,7**
D7	durch Nord-Fenster	594	0,55	0,50	121	19.775	**2,1**
D8	**Summe Fenster**	**1.975**	m²			**123.679**	**13,4**
D9	**Freie Wärme = Abwärme Elektrizität + Personen + solare Strahlung**				**QF=**	**235.073**	**25,4**
D10	Gewinnfaktor	(1-(QF/QV)5)/(1-(QF/QV)6) =			0,95		
	Wärmegewinn	29.752		Freie W. x	Gewinnfak. =	Gewinn	**sp. Gewinn**
D11	Wärmegewinn			235.073	0,95	223.548	**24,2**
E.	**Heizwärmebedarf**			Brutton.-	Wärmegew.=	Bedarf	**sp. Bedarf**
E1	**Heizwärmebedarf**			350.771	223.548	127.223	**13,8**
E2	Grenzwert Passivhaus						15,5
E3	Passivhausstandard erreicht?						**ja**

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

5.1 Heizenergiebedarf und Heizkosten — 32.565 €/a

(wird gewöhnlich vom Heizungs-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 1**	**EnEV 2009**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6	Personenzahl	1.200	P
B.	**Nutzwärmebedarf**	Warmwasserbed. bei 40°C (l/P,d)		Leistung (kW)	Volllast (h/a)	Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
B1	Heizwärmebedarf					340.408	**36,8**
B2	Warmwasserbedarf	7			0	0	**0,0**
B3	Kochgasbedarf				20	0	**0,0**
B4	Beckenwassererwärmung					0	**0,0**
C.	**Verteilungsverluste**	Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	HTx0,024= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C1	Heizungsverteilverlust		0,20	45	5,26	0	**0,0**
	(nur im unbeheizten Bereich!)	Fläche x (m²)	U-Wert x (W/m²K)	delta T x (K)	1,5x8,76 = (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C2	Speicherverlust		0,45	40	13,14	0	**0,0**
		Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	bZx0,365= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C3	Zirkulationsverlust		0,20	20	4,38	0	**0,0**
C4	**Summe Wärmebedarf**	= Nutzwärmebedarf + Verteilungsverluste				340.408	**36,8**
D.	**Wärmeerzeuger**	Heizenergie-träger		Wärmeleist. x (kW)	Vollnutz. = (h/a)	Wärmeerz. (kWh/a)	**sp. Erzeug. (kWh/m²a)**
D1	Thermische Solaranlage	Sonne		6	850	5.100	**0,6**
D2	Wärmepumpe	Strom				0	**0,0**
D3	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		302	1.111	335.308	**36,2**
D4	Blockheizkraftwerk	Erdgas				0	**0,0**
D5	Heizkessel/Therme	Erdgas		0	0	0	**0,0**
D6	**Summe Wärmeerzeugung**			308		**340.408**	**36,8**
E.	**Heizenergiebedarf**	Heizenergie-träger	1 /	Jahres- x nutzungsgrad	Wärmeerz. = (kWh/a)	HE-Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
E1	Wärmepumpe	Strom		3,00	0	0	**0,0**
E2	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		0,98	335.308	342.151	**37,0**
E3	Blockheizkraftwerk	Erdgas		0,55	0	0	**0,0**
E4	Heizkessel/Therme	Erdgas		0,90	0	0	**0,0**
E5	**Summe Heizenergiebedarf**					**342.151**	**37,0**
F.	**Heizkosten (brutto)**	Leistung x (kW)	Leist.-preis + (€/kW,a)	HE-Bedarf x (kWh/a)	Arbeit.-preis= (€/kWh)	**Kosten (€/a)**	**sp. Kosten (€/m²a)**
	Energieträger: Tarif						
F1	Strom: Mainova Ausschreibung	0		0	0,2172	**0**	**0,0**
F2	Fernwärme: Mainova Basic H	308	23,76	342.151	0,0738	**32.565**	**3,5**
F3	Erdgas: Mainova Ausschreibung	0		0	0,0607	**0**	**0,0**
F4	**Summe Heizkosten**					**32.565**	**3,5**
G.	**Primärenergiebedarf**			Primär- x energiefaktor	HE-Bedarf (kWh/a)	PE-Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
G1	Strom			2,60	0	**0**	**0,0**
G2	Fernwärme	#WERT!		0,69	342.151	**236.084**	**25,5**
G3	Erdgas			1,10	0	**0**	**0,0**
G4	**Summe Primärenergie**					**236.084**	**25,5**
H.	**CO_2-Emissionen**			sp.Emiss. x (kg/kWh)	HE-Bedarf (kWh/a)	Emission (kg/a)	**sp. Emiss. (kg/m²a)**
H1	Strom			0,68	0	**0**	**0,0**
H2	Fernwärme			0,17	342.151	**57.824**	**6,3**
H3	Erdgas			0,25	0	**0**	**0,0**
H4	**Summe CO_2-Emissionen**					**57.824**	**6,3**

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

5.2 Heizenergiebedarf und Heizkosten — 6.347 €/a

(wird gewöhnlich vom Heizungs-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 2**	**Passivhaus ohne Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250 m²		A6	Personenzahl	1.200 P	
B.	**Nutzwärmebedarf**	Warmwasserbed. bei 40°C (l/P,d)		Leistung (kW)	Volllast (h/a)	Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
B1	Heizwärmebedarf					127.223	**13,8**
B2	Warmwasserbedarf	7		0	0	0	**0,0**
B3	Kochgasbedarf			0	20	0	**0,0**
B4	Beckenwassererwärmung			0		0	**0,0**
C.	**Verteilungsverluste**	Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	HTx0,024= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C1	Heizungsverteilverlust	0	0,20	45	5,26	0	**0,0**
	(nur im unbeheizten Bereich!)	Fläche x (m²)	U-Wert x (W/m²K)	delta T x (K)	1,5x8,76 = (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C2	Speicherverlust	0	0,45	40	13,14	0	**0,0**
		Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	bZx0,365= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**
C3	Zirkulationsverlust	0	0,20	20	4,38	0	**0,0**
C4	**Summe Wärmebedarf**	= Nutzwärmebedarf + Verteilungsverluste				127.223	**13,8**
D.	**Wärmeerzeuger**	Heizenergie-träger		Wärmeleist. x (kW)	Vollnutz. = (h/a)	Wärmeerz. (kWh/a)	**sp. Erzeug. (kWh/m²a)**
D1	Thermische Solaranlage	Sonne		6	850	5.100	**0,6**
D2	Wärmepumpe	Strom		181	645	117.023	**12,7**
D3	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		0	0	0	**0,0**
D4	Blockheizkraftwerk	Erdgas		0	0	0	**0,0**
D5	Heizkessel/Therme	Erdgas		0	0	0	**0,0**
D6	**Summe Wärmeerzeugung**			187		**122.123**	**13,2**
E.	**Heizenergiebedarf**	Heizenergie-träger	1 /	Jahres- x nutzungsgrad	Wärmeerz. = (kWh/a)	HE-Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
E1	Wärmepumpe	Strom		4,00	117.023	29.256	**3,2**
E2	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		0,98	0	0	**0,0**
E3	Blockheizkraftwerk	Erdgas		0,55	0	0	**0,0**
E4	Heizkessel/Therme	Erdgas		0,90	0	0	**0,0**
E5	**Summe Heizenergiebedarf**					**29.256**	**3,2**
F.	**Heizkosten (brutto)**	Leistung x (kW)	Leist.-preis + (€/kW,a)	HE-Bedarf x (kWh/a)	Arbeit.-preis= (€/kWh)	**Kosten (€/a)**	**sp. Kosten (€/m²a)**
	Energieträger: Tarif						
F1	Strom: Mainova Ausschreibung	45	0,00	29.256	0,2172	**6.354**	**0,7**
F2	Fernwärme: Mainova Basic H	0	23,76	0	0,0738	**-8**	**0,0**
F3	Erdgas: Mainova Ausschreibung	0	0,00	0	0,0607	**0**	**0,0**
F4	**Summe Heizkosten**					**6.347**	**0,7**
G.	**Primärenergiebedarf**			Primär- x energiefaktor	HE-Bedarf (kWh/a)	PE-Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
G1	Strom			2,60	29.256	**76.065**	**8,2**
G2	Fernwärme	#WERT!		0,69	0	**0**	**0,0**
G3	Erdgas			1,10	0	**0**	**0,0**
G4	**Summe Primärenergie**					**76.065**	**8,2**
H.	**CO_2-Emissionen**			sp.Emiss. x (kg/kWh)	HE-Bedarf (kWh/a)	Emission (kg/a)	**sp. Emiss. (kg/m²a)**
H1	Strom			0,68	29.256	**19.894**	**2,2**
H2	Fernwärme			0,17	0	**0**	**0,0**
H3	Erdgas			0,25	0	**0**	**0,0**
H4	**Summe CO_2-Emissionen**					**19.894**	**2,2**

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

5.3 Heizenergiebedarf und Heizkosten — 6.347 €/a

(wird gewöhnlich vom Heizungs-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**							
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**						
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**						
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**						
A4	**Variante 3**	**Passivhaus mit Fördermittel**						
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²		A6 Personenzahl	1.200	P	
B.	**Nutzwärmebedarf**	Warmwasserbed. bei 40°C (l/P,d)		Leistung (kW)	Volllast (h/a)	Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**	
B1	Heizwärmebedarf					127.223	**13,8**	
B2	Warmwasserbedarf	7		0	0	0	**0,0**	
B3	Kochgasbedarf			0	20	0	**0,0**	
B4	Beckenwassererwärmung			0		0	**0,0**	
C.	**Verteilungsverluste**	Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	HTx0,024= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**	
C1	Heizungsverteilverlust	0	0,20	45	5,26	0	**0,0**	
	(nur im unbeheizten Bereich!)	Fläche x (m²)	U-Wert x (W/m²K)	delta T x (K)	1,5x8,76 = (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**	
C2	Speicherverlust	0	0,45	40	13,14	0	**0,0**	
		Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	bZx0,365= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	**sp. Verlust (kWh/m²a)**	
C3	Zirkulationsverlust	0	0,20	20	4,38	0	**0,0**	
C4	**Summe Wärmebedarf**	= Nutzwärmebedarf + Verteilungsverluste				127.223	**13,8**	
D.	**Wärmeerzeuger**	Heizenergie-träger		Wärmeleist. x (kW)	Vollnutz. = (h/a)	Wärmeerz. (kWh/a)	**sp. Erzeug. (kWh/m²a)**	
D1	Thermische Solaranlage	Sonne		6	850	5.100	**0,6**	
D2	Wärmepumpe	Strom		181	645	117.023	**12,7**	
D3	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		0	0	0	**0,0**	
D4	Blockheizkraftwerk	Erdgas		0	0	0	**0,0**	
D5	Heizkessel/Therme	Erdgas		0	0	0	**0,0**	
D6	**Summe Wärmeerzeugung**			187		**122.123**	**13,2**	
E.	**Heizenergiebedarf**	Heizenergie-träger	1 /	Jahres- x nutzungsgrad	Wärmeerz. = (kWh/a)	HE-Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**	
E1	Wärmepumpe	Strom		4,00	117.023	29.256	**3,2**	
E2	Fernwärme/Nahwärme	Fernwärme		0,98	0	0	**0,0**	
E3	Blockheizkraftwerk	Erdgas		0,55	0	0	**0,0**	
E4	Heizkessel/Therme	Erdgas		0,90	0	0	**0,0**	
E5	**Summe Heizenergiebedarf**					**29.256**	**3,2**	
F.	**Heizkosten (brutto)**	Leistung x (kW)	Leist.-preis + (€/kW,a)	HE-Bedarf x (kWh/a)	Arbeit.-preis= (€/kWh)	**Kosten (€/a)**	**sp. Kosten (€/m²a)**	
	Energieträger: Tarif							
F1	Strom: Mainova Ausschreibung	45	0,00	29.256	0,2172	**6.354**	**0,7**	
F2	Fernwärme: Mainova Basic H	0	23,76	0	0,0738	**-8**	**0,0**	
F3	Erdgas: Mainova Ausschreibung	0	0,00	0	0,0607	**0**	**0,0**	
F4	**Summe Heizkosten**					**6.347**	**0,7**	
G.	**Primärenergiebedarf**			Primär- x energiefaktor	HE-Bedarf (kWh/a)	PE-Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**	
G1	Strom			2,60	29.256	**76.065**	**8,2**	
G2	Fernwärme	#WERT!		0,69	0	**0**	**0,0**	
G3	Erdgas			1,10	0	**0**	**0,0**	
G4	**Summe Primärenergie**					**76.065**	**8,2**	
H.	**CO_2-Emissionen**			sp.Emiss. x (kg/kWh)	HE-Bedarf (kWh/a)	Emission (kg/a)	**sp. Emiss. (kg/m²a)**	
H1	Strom			0,68	29.256	**19.894**	**2,2**	
H2	Fernwärme			0,17	0	**0**	**0,0**	
H3	Erdgas			0,25	0	**0**	**0,0**	
H4	**Summe CO_2-Emissionen**					**19.894**	**2,2**	

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

6.1 Strombedarf und Stromkosten 32.039 €/a

(wird gewöhnlich vom Elektro-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 1**	**EnEV 2009**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²		A6 Personenzahl	1.200	P
B.	**Beleuchtung**	(Mittelwerte für Gebäude)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp.Bedarf**
B1	mittlere Beleuchtungsstärke	300	lux	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
B2	Raumbeleuchtung	**3**	W/m²,100lux	69	1.000	69.377	**7,5**
B3	Außen- und Sicherheitsbeleuchtung				2.920	0	**0,0**
C.	**Lüftung**	**20**	m³/P,h	Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
C1	Luftvolumenstrom	24.000	m³/h	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
C2	Lüftung (Ventilatoren + Regel.)	**0,45**	Wh/m³	10,80	1.000	10.800	**1,2**
D.	**Klimatisierung**			Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
D1	Kälteleistung		kW(th)	(kWel)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
D2	Klimatisierung (Kompressor, Pumpen, Regelung)				500	0	**0,0**
D3	Summe Lüftung + Klima					10.800	**1,2**
E.	**Hilfsenergie Heizung**	(Brenner, Pumpen etc.)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
E1	Wärmebedarf	37	kWh/m²a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
E2	Hilfsenergie Heizung (Brenner, Pumpen, Regelung)			14,5	2.500	36.316	**3,9**
F.	**Diverse Haustechnik**	(Transport, Kommunikation)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
F1	Transportleistung		Personen	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
F2	Aufzüge				200	0	**0,0**
G.	**Arbeitshilfen**	(PCs, Kaffeemaschinen)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
G1	Anzahl PC-Arbeitsplätze	86	-	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
G2	PC-Arbeitsplätze	108	W/Arbeitspl.	9,3	1.600	14.861	**1,6**
G3	Kopierer, Beamer, Kaffeemasch	23,0		8,1	1.600	12.880	**1,4**
H.	**Zentrale Dienste**	(zentr. EDV, Waschm.)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
H1	Küche: Essen/Tag	150	E/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
H2	Küchen (Herde, Konvektomaten, Kühltheken, Spülm.)			5,0	600	3.000	**0,3**
H3	Server, USV, BMZ, TK, Stockwerksverteiler			0,1	2.750	275	**0,0**
H4	Werkstätten, Waschmaschinen …					0	**0,0**
I.	**Warmwasser (elektr.)**	Warmwasserbed. bei 40°C (l/P,d)		Leistung x (kW)	Volllast = (h/a)	Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
I2	Warmwasserbereitung el.	7			0	0	**0,0**
K.	**Summe Strombedarf**			Leistung		Bedarf	**sp. Bedarf**
K1	**Summe Strombedarf**			117		**147.509**	**15,9**
L.	**Eigenstromerzeugung**			Leistung x	Volllast =	Arbeit	**sp. Arbeit**
L1	Photovoltaik, Blockheizkraftwerk				850	0	**0,0**
L2	Stromeinspeisung in das Hausnetz					0	**0,0**
L3	Stromeinspeisung in das EVU-Netz					0	**0,0**
L4	**Strombezug aus dem EVU-Netz**			99,6		**147.509**	**15,9**
M.	**Stromkosten (brutto)**	Leistung x	Leist.-preis+	Arbeit x	Arb.preis	Kosten	**sp. Kosten**
M1	Mainova Stromausschreibung	(kW)	(€/kW,a)	(kWh/a)	(€/kWh)	(€/a)	**(€/m²a)**
M2	Leistungsbezugskosten	100	0,00			0	**0,0**
M3	Strombezugskosten Hochtarif			118.007	0,2172	25.631	**2,8**
M4	Strombezugskosten Niedertarif	#WERT!		29.502	0,2172	6.408	**0,7**
M5	Einspeisevergütung			0	0,1100	0	**0,0**
M6	**Stromkosten = Leistungskosten + Bezug HT + NT - Einspeisevergütung**					**32.039**	**3,5**
N.	**CO_2-Emissionen**		(Strombez.- (kWh/a)	Einspeis.)x (kWh/a)	sp.Emis. = (kg/kWh)	Emission (kg/a)	**sp. Emis. (kg/m²a)**
N1	**CO_2-Emissionen**		147.509	0	0,68	**100.306**	**10,8**

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

6.2 Strombedarf und Stromkosten 29.025 €/a

(wird gewöhnlich vom Elektro-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 2**	**Passivhaus ohne Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²		A6 Personenzahl	1.200	P
B.	**Beleuchtung**	(Mittelwerte für Gebäude)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp.Bedarf**
B1	mittlere Beleuchtungsstärke	300	lux	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
B2	Raumbeleuchtung	**2**	W/m²,100lux	56	1.000	55.502	**6,0**
B3	Außen- und Sicherheitsbeleuchtung			0	2.920	0	**0,0**
C.	**Lüftung**	**20**	m³/P,h	Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
C1	Luftvolumenstrom	24.000	m³/h	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
C2	Lüftung (Ventilatoren + Regel.)	**0,45**	Wh/m³	10,80	1.000	10.800	**1,2**
D.	**Klimatisierung**			Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
D1	Kälteleistung	0	kW(th)	(kWel)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
D2	Klimatisierung (Kompressor, Pumpen, Regelung)			0,0	500	0	**0,0**
D3	Summe Lüftung + Klima					10.800	**1,2**
E.	**Hilfsenergie Heizung**	(Brenner, Pumpen etc.)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
E1	Wärmebedarf	14	kWh/m²a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
E2	Hilfsenergie Heizung (Brenner, Pumpen, Regelung)			14,5	2.500	36.316	**3,9**
F.	**Diverse Haustechnik**	(Transport, Kommunikation)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
F1	Transportleistung	0	Personen	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
F2	Aufzüge			0,0	200	0	**0,0**
G.	**Arbeitshilfen**	(PCs, Kaffeemaschinen)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
G1	Anzahl PC-Arbeitsplätze	86	-	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
G2	PC-Arbeitsplätze	108	W/Arbeitspl.	9,3	1.600	14.861	**1,6**
G3	Kopierer, Beamer, Kaffeemaschinen …			8,1	1.600	12.880	**1,4**
H.	**Zentrale Dienste**	(zentr. EDV, Waschm.)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
H1	Küche: Essen/Tag	150	E/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
H2	Küchen (Herde, Konvektomaten, Kühltheken, Spülm.)			5,0	600	3.000	**0,3**
H3	Server, USV, BMZ, TK, Stockwerksverteiler			0,1	2.750	275	**0,0**
H4	Werkstätten, Waschmaschinen …			0,0	0	0	**0,0**
I.	**Warmwasser (elektr.)**	Warmwasserbed. bei 40°C (l/P,d)		Leistung x (kW)	Volllast = (h/a)	Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
I2	Warmwasserbereitung el.	7		0,0	0	0	**0,0**
K.	**Summe Strombedarf**			Leistung		Bedarf	**sp. Bedarf**
K1	**Summe Strombedarf**			103		**133.634**	**14,4**
L.	**Eigenstromerzeugung**			Leistung x	Volllast =	Arbeit	**sp. Arbeit**
L1	Photovoltaik, Blockheizkraftwerk			0,0	850	0	**0,0**
L2	Stromeinspeisung in das Hausnetz					0	**0,0**
L3	Stromeinspeisung in das EVU-Netz					0	**0,0**
L4	**Strombezug aus dem EVU-Netz**			87,8		**133.634**	**14,4**
M.	**Stromkosten (brutto)**	Leistung x (kW)	Leist.-preis+ (€/kW,a)	Arbeit x (kWh/a)	Arb.preis (€/kWh)	Kosten (€/a)	**sp. Kosten (€/m²a)**
M1	Mainova Stromausschreibung						
M2	Leistungsbezugskosten	88	0,00			0	**0,0**
M3	Strombezugskosten Hochtarif			106.907	0,217	23.220	**2,5**
M4	Strombezugskosten Niedertarif	#WERT!		26.727	0,217	5.805	**0,6**
M5	Einspeisevergütung			0	0,110	0	**0,0**
M6	**Stromkosten = Leistungskosten + Bezug HT + NT - Einspeisevergütung**					**29.025**	**3,1**
N.	**CO_2-Emissionen**		(Strombez.- (kWh/a)	Einspeis.)x (kWh/a)	sp.Emis. = (kg/kWh)	Emission (kg/a)	**sp. Emis. (kg/m²a)**
N1	**CO_2-Emissionen**		133.634	0	0,68	**90.871**	**9,8**

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

6.3 Strombedarf und Stromkosten 29.025 €/a

(wird gewöhnlich vom Elektro-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 3**	**Passivhaus mit Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6 Personenzahl		1.200	P
B.	**Beleuchtung**	(Mittelwerte für Gebäude)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp.Bedarf**
B1	mittlere Beleuchtungsstärke	300	lux	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
B2	Raumbeleuchtung	**2**	W/m²,100lux	56	1.000	55.502	**6,0**
B3	Außen- und Sicherheitsbeleuchtung			0	2.920	0	**0,0**
C.	**Lüftung**	**20**	m³/P,h	Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
C1	Luftvolumenstrom	24.000	m³/h	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
C2	Lüftung (Ventilatoren + Regel.)	**0,45**	Wh/m³	10,80	1.000	10.800	**1,2**
D.	**Klimatisierung**			Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
D1	Kälteleistung	0	kW(th)	(kWel)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
D2	Klimatisierung (Kompressor, Pumpen, Regelung)			0,0	500	0	**0,0**
D3	Summe Lüftung + Klima					10.800	**1,2**
E.	**Hilfsenergie Heizung**	(Brenner, Pumpen etc.)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
E1	Wärmebedarf	14	kWh/m²a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
E2	Hilfsenergie Heizung (Brenner, Pumpen, Regelung)			14,5	2.500	36.316	**3,9**
F.	**Diverse Haustechnik**	(Transport, Kommunikation)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
F1	Transportleistung	0	Personen	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
F2	Aufzüge			0,0	200	0	**0,0**
G.	**Arbeitshilfen**	(PCs, Kaffeemaschinen)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
G1	Anzahl PC-Arbeitsplätze	86	-	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
G2	PC-Arbeitsplätze	108	W/Arbeitspl.	9,3	1.600	14.861	**1,6**
G3	Kopierer, Beamer, Kaffeemaschinen …			8,1	1.600	12.880	**1,4**
H.	**Zentrale Dienste**	(zentr. EDV, Waschm.)		Leistung x	Volllast =	Bedarf	**sp. Bedarf**
H1	Küche: Essen/Tag	150	E/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	**(kWh/m²a)**
H2	Küchen (Herde, Konvektomaten, Kühltheken, Spülm.)			5,0	600	3.000	**0,3**
H3	Server, USV, BMZ, TK, Stockwerksverteiler			0,1	2.750	275	**0,0**
H4	Werkstätten, Waschmaschinen …			0,0	0	0	**0,0**
I.	**Warmwasser (elektr.)**	Warmwasserbed. bei 40°C (l/P,d)		Leistung x (kW)	Volllast = (h/a)	Bedarf (kWh/a)	**sp. Bedarf (kWh/m²a)**
I2	Warmwasserbereitung el.	7		0,0	0	0	**0,0**
K.	**Summe Strombedarf**			Leistung		Bedarf	**sp. Bedarf**
K1	**Summe Strombedarf**			103		**133.634**	**14,4**
L.	**Eigenstromerzeugung**			Leistung x	Volllast =	Arbeit	**sp. Arbeit**
L1	Photovoltaik, Blockheizkraftwerk			0,0	850	0	**0,0**
L2	Stromeinspeisung in das Hausnetz					0	**0,0**
L3	Stromeinspeisung in das EVU-Netz					0	**0,0**
L4	**Strombezug aus dem EVU-Netz**			87,8		**133.634**	**14,4**
M.	**Stromkosten (brutto)**	Leistung x (kW)	Leist.-preis+ (€/kW,a)	Arbeit x (kWh/a)	Arb.preis (€/kWh)	Kosten (€/a)	**sp. Kosten (€/m²a)**
M1	Mainova Stromausschreibung						
M2	Leistungsbezugskosten	88	0,00			0	**0,0**
M3	Strombezugskosten Hochtarif			106.907	0,217	23.220	**2,5**
M4	Strombezugskosten Niedertarif	#WERT!		26.727	0,217	5.805	**0,6**
M5	Einspeisevergütung			0	0,110	0	**0,0**
M6	**Stromkosten = Leistungskosten + Bezug HT + NT - Einspeisevergütung**					**29.025**	**3,1**
N.	**CO_2-Emissionen**		(Strombez.- (kWh/a)	Einspeis.)x (kWh/a)	sp.Emis. = (kg/kWh)	Emission (kg/a)	**sp. Emis. (kg/m²a)**
N1	**CO_2-Emissionen**		133.634	0	0,68	**90.871**	**9,8**

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

7.1 Wasserbedarf und Wasserkosten 15.163 €/a

(wird gewöhnlich vom Sanitär-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 1**	**EnEV 2009**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6	Personenzahl	1.200	P
B.	**Wasserbedarf**	Spülmeng. x (l/Spül.)	Spülhäuf. x (Spül./P,d)	Nutztage x (d/a)	Pers x 0,001 (Pm³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B1	Toiletten	4,5	2,00	200	1,2000	2.160	**233,5**
B2	Urinale	0,0	1,00	200	1,2000	0	**0,0**
		Durchfluß x (l/min)	Dauer x (min/P,d)	Nutztage x (d/a)	Pers x 0,001 (Pm³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B3	Handwaschbecken	5	1,5	200	1,2000	1.800	**194,6**
B4	Duschen	7	0,313	200	1,2000	525	**56,8**
		Menge x (l/Nutz)	Häufigkeit x (Nutz./d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B5	Waschmaschinen			200	0,001	0	**0,0**
B6	Spülmaschinen	15	3	200	0,001	9	**1,0**
	sonst. Dauerverbraucher	Durchfluß x (l/min)	Dauer x (min/d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B7				200	0,001	0	**0,0**
B8				200	0,001	0	**0,0**
	sonst. Einzelverbraucher	Menge x (l/Nutz.)	Häufigkeit x (Nutz./d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B9	Freiflächenbewässerung			0	0,001	0	**0,0**
B10				0	0,001	0	**0,0**
						Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B11	**Summe Wasserbedarf**					4.494	**485,8**
C.	**Wasserangebot**	Niederschlagsmenge x (m³/m²a)		Fläche x (m²)	Abflußbeiw. (-)	= Angebot (m³/a)	**sp.Angebot (l/m²a)**
	Regenwasserflächen						
C1	oberste Geschoßdecke	0,663		6.848	0,60	2.724	**294,5**
C2	Dach gegen außen	0,663		0	0,60	0	**0,0**
		Ertrag x (l/h)		Nutzzeit x (h/a)	0,001 (m³/l)	= Angebot (m³/a)	**sp.Angebot (l/m²a)**
	sonst. Quellen						
C3		0,0		8.760	0,001	0	**0,0**
						Menge (m³/a)	**sp. Menge (l/m²a)**
C4	**Summe Wasserangebot**					**2.724**	**294,5**
C5	davon genutzt durch					0	**0,0**
C6	**Trinkwasserbezug = Wasserbedarf - genutztes Angebot**					**4.494**	**485,8**
C7	davon nicht in Kanal eingeleitete Menge (sep. Wasseruhr)				-	0	**0,0**
C8	**Kanaleinleitung = Trinkwasserbezug - nicht eingeleitete Menge**				=	**4.494**	**485,8**
D.	**Wasserkosten (brutto)**	W.-Bezug x (m³/a)	W.-Preis + (€/m³)	Kan.-Einleit. x (m³/a)	Kan.-Gebühr (€/m³)	= Kosten (€/a)	**sp. Kosten (€/m²a)**
	Wasserversorger - Tarif						
D1	Mainova Aqua Classic	4.494	1,61	4.494	1,76	**15.163**	**1,6**
		#WERT!					

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

7.2 Wasserbedarf und Wasserkosten

15.163 €/a

(wird gewöhnlich vom Sanitär-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 2**	**Passivhaus ohne Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6	Personenzahl	1.200	P
B.	**Wasserbedarf**	Spülmeng. x (l/Spül.)	Spülhäuf. x (Spül./P,d)	Nutztage x (d/a)	Pers x 0,001 (Pm³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B1	Toiletten	4,5	2,00	200	1,2000	2.160	**233,5**
B2	Urinale	0,0	1,00	200	1,2000	0	**0,0**
		Durchfluß x (l/min)	Dauer x (min/P,d)	Nutztage x (d/a)	Pers x 0,001 (Pm³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B3	Handwaschbecken	5	1,5	200	1,2000	1.800	**194,6**
B4	Duschen	7	0,313	200	1,2000	525	**56,8**
		Menge x (l/Nutz)	Häufigkeit x (Nutz./d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B5	Waschmaschinen	0	0	200	0,001	0	**0,0**
B6	Spülmaschinen	15	3	200	0,001	9	**1,0**
	sonst. Dauerverbraucher	Durchfluß x (l/min)	Dauer x (min/d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B7		0	0	200	0,001	0	**0,0**
B8		0	0	200	0,001	0	**0,0**
	sonst. Einzelverbraucher	Menge x (l/Nutz.)	Häufigkeit x (Nutz./d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B9	Freiflächenbewässerung	0	0	0	0,001	0	**0,0**
B10		0	0	0	0,001	0	**0,0**
						Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B11	**Summe Wasserbedarf**					4.494	**485,8**
C.	**Wasserangebot**	Niederschlagsmenge x (m³/m²a)		Fläche x (m²)	Abflußbeiw. (-)	= Angebot (m³/a)	**sp.Angebot (l/m²a)**
	Regenwasserflächen						
C1	oberste Geschoßdecke	0,663		6.848	0,60	2.724	**294,5**
C2	Dach gegen außen	0,663		0	0,60	0	**0,0**
	sonst. Quellen	Ertrag x (l/h)		Nutzzeit x (h/a)	0,001 (m³/l)	= Angebot (m³/a)	**sp.Angebot (l/m²a)**
C3		0,0		8.760	0,001	0	**0,0**
						Menge (m³/a)	**sp. Menge (l/m²a)**
C4	**Summe Wasserangebot**					**2.724**	**294,5**
C5	davon genutzt durch					0	**0,0**
C6	**Trinkwasserbezug = Wasserbedarf - genutztes Angebot**					**4.494**	**485,8**
C7	davon nicht in Kanal eingeleitete Menge (sep. Wasseruhr)				-	0	**0,0**
C8	**Kanaleinleitung = Trinkwasserbezug - nicht eingeleitete Menge**				=	**4.494**	**485,8**
D.	**Wasserkosten (brutto)**	W.-Bezug x (m³/a)	W.-Preis + (€/m³)	Kan.-Einleit. x (m³/a)	Kan.-Gebühr (€/m³)	= Kosten (€/a)	**sp. Kosten (€/m²a)**
	Wasserversorger - Tarif						
D1	Mainova Aqua Classic	4.494	1,61	4.494	1,76	**15.163**	**1,6**

#WERT!

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

7.3 Wasserbedarf und Wasserkosten 15.163 €/a

(wird gewöhnlich vom Sanitär-Ingenieurbüro ausgefüllt)

A.	**Allgemeine Daten**						
A1	Liegenschaftsbezeichnung	**Gymnasium Baesweiler**					
A2	Gebäudebezeichnung	**Trakt 1-5**					
A3	Straße, Hausnummer	**Otto-Hahn-Str., 52499 Baesweiler**					
A4	**Variante 3**	**Passivhaus mit Fördermittel**					
A5	beheizte Nettogrundfläche	9.250	m²	A6	Personenzahl	1.200	P
B.	**Wasserbedarf**	Spülmeng. x (l/Spül.)	Spülhäuf. x (Spül./P,d)	Nutztage x (d/a)	Pers x 0,001 (Pm³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B1	Toiletten	4,5	2,00	200	1,2000	2.160	**233,5**
B2	Urinale	0,0	1,00	200	1,2000	0	**0,0**
		Durchfluß x (l/min)	Dauer x (min/P,d)	Nutztage x (d/a)	Pers x 0,001 (Pm³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B3	Handwaschbecken	5	1,5	200	1,2000	1.800	**194,6**
B4	Duschen	7	0,313	200	1,2000	525	**56,8**
		Menge x (l/Nutz)	Häufigkeit x (Nutz./d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B5	Waschmaschinen	0	0	200	0,001	0	**0,0**
B6	Spülmaschinen	15	3	200	0,001	9	**1,0**
	sonst. Dauerverbraucher	Durchfluß x (l/min)	Dauer x (min/d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B7		0	0	200	0,001	0	**0,0**
B8		0	0	200	0,001	0	**0,0**
	sonst. Einzelverbraucher	Menge x (l/Nutz.)	Häufigkeit x (Nutz./d)	Nutztage x (d/a)	0,001 (m³/l)	= Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B9	Freiflächenbewässerung	0	0	0	0,001	0	**0,0**
B10		0	0	0	0,001	0	**0,0**
						Bedarf (m³/a)	**sp. Bedarf (l/m²a)**
B11	**Summe Wasserbedarf**					4.494	**485,8**
C.	**Wasserangebot**	Niederschlagsmenge x (m³/m²a)		Fläche x (m²)	Abflußbeiw. (-)	= Angebot (m³/a)	**sp.Angebot (l/m²a)**
	Regenwasserflächen						
C1	oberste Geschoßdecke	0,663		6.848	0,60	2.724	**294,5**
C2	Dach gegen außen	0,663		0	0,60	0	**0,0**
		Ertrag x (l/h)		Nutzzeit x (h/a)	0,001 (m³/l)	= Angebot (m³/a)	**sp.Angebot (l/m²a)**
	sonst. Quellen						
C3		0,0		8.760	0,001	0	**0,0**
						Menge (m³/a)	**sp. Menge (l/m²a)**
C4	**Summe Wasserangebot**					**2.724**	**294,5**
C5	davon genutzt durch					0	**0,0**
C6	**Trinkwasserbezug = Wasserbedarf - genutztes Angebot**					**4.494**	**485,8**
C7	davon nicht in Kanal eingeleitete Menge (sep. Wasseruhr)				-	0	**0,0**
C8	**Kanaleinleitung = Trinkwasserbezug - nicht eingeleitete Menge**				=	**4.494**	**485,8**
D.	**Wasserkosten (brutto)**	W.-Bezug x (m³/a)	W.-Preis + (€/m³)	Kan.-Einleit. x (m³/a)	Kan.-Gebühr (€/m³)	= Kosten (€/a)	**sp. Kosten (€/m²a)**
	Wasserversorger - Tarif						
D1	Mainova Aqua Classic	4.494	1,61	4.494	1,76	**15.163**	**1,6**

#WERT!

Quelle: www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

GYMNASIUM BAESWEILER **ENERGETISCHE MASZNAHMEN** Stand: 08.09.2014

KOSTENFESTSTELLUNG

Kosten-gruppe nach DIN 276	Gewerk		Trakt 1	Trakt 2	Trakt 3+4	Turnhalle	Heiz-zentrale	Mensa	GESAMT
									€
		EBF=							
100	Summe Grundstück								0,00
210	Abbruch Bestand		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
221	HA Abwasser		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
222	HA Wasser		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
223	HA Gas		0,00	0,00	0,00	0,00	13.095,00	0,00	13.095,00
225	HA Strom		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
226	HA Telefon		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
200	Summe Herrichten und Erschliessen		0,00	0,00	0,00	0,00	13.095,00	0,00	13.095,00
393	Nachbefestigung Bestandsfassade		17.763,75	25.846,75	34.078,61	0,00	0,00	0,00	77.689,11
394	PCB-Fugensanierung		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	Rohbauarbeiten		35.634,96	57.188,08	175.098,42	37.065,03	1.163,25	0,00	306.149,74
394	Abbrucharbeiten		25.583,21	56.990,54	68.615,95	21.331,35	0,00	0,00	172.521,05
394	Kernbohrungen		0,00	67.005,78	0,00	14.918,24	2.606,00	0,00	84.530,02
392	Gerüstbauarbeiten		46.770,79	61.010,62	72.295,99	33.938,10	0,00	0,00	214.015,50
300	Zimmerer		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	Dachdecker		0,00	20.388,75	41.617,48	137.193,70	0,00	0,00	199.199,93
334	Fenster Kunststoff		82.080,19	249.691,55	232.870,16	0,00	0,00	0,00	564.641,90
337	Pfosten-Riegel-Konstruktion		77.007,92	21.650,86	163.230,68	42.471,79	0,00	0,00	304.361,25
339	Trockenbau		60.196,21	134.285,09	252.435,39	65.886,05	0,00	0,00	512.802,74
336	Putzerarbeiten / WDVS		15.023,73	29.340,63	42.845,65	171.418,12	0,00	0,00	258.628,13
335	Fassadentafeln		280.989,66	805.733,29	617.538,38	93.076,23	0,00	0,00	1.797.337,56
324	Estrich		2.422,78	3.460,52	1.930,16	66.097,69	0,00	0,00	73.911,15
325	Fliesen		2.717,28	3.217,57	1.329,75	23.802,66	0,00	0,00	31.067,26
325	Werksteinarbeiten		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300	Schreiner		9.551,89	36.369,62	111.864,71	4.138,82	0,00	0,00	161.925,04
338	Sonnenschutz		14.651,86	24.551,41	42.416,16	0,00	0,00	0,00	81.619,43
331	Metallbau		29.028,49	18.383,81	2.910,61	43.114,29	0,00	0,00	93.437,20
337	Maler		8.637,71	10.927,04	9.901,81	1.960,61	0,00	0,00	31.427,17
325	Bodenbelag		3.399,86	1.379,78	2.764,71	0,00	0,00	0,00	7.544,35
390	Baufeinreinigung		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
399	Materiallieferung Wärmedämmung		3.019,76	0,00	8.900,00	2.301,16	0,00	0,00	14.220,92
300	Summe Bauwerk - Baukonstruktionen		714.480,05	1.627.421,69	1.882.644,62	758.713,84	3.769,25	0,00	4.987.029,45
410	Sanitär		0,00	0,00	0,00	0,00	1.692,44	0,00	1.692,44
420	Heizung		29.726,91	84.035,98	91.791,01	139.462,73	256.760,25	0,00	601.776,88
430	Lüftung		163.076,25	285.918,23	485.609,91	161.221,13	5.095,81	0,00	1.100.921,33
439	Isolierung		0,00	20.225,49	58.351,02	15.084,82	12.559,39	0,00	106.220,72
444	Elektro Wiertz		98.600,59	122.955,89	185.315,34	69.181,97	0,00	0,00	476.053,79
444	Elektro EMS etc.								
450	Fernmelde- und Informationstechnik		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
461	Aufzugsanlage		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
480	Gebäudeautomation		41.271,64	75.245,62	72.558,80	38.336,46	0,00	0,00	227.412,52
	SiLiGerät/prov. Umbau EDV-Netz Schule		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00
	prov. Umbau EDV-Netz Verwaltung		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400	Summe Bauwerk - Technische Anlagen		332.675,39	588.381,21	893.626,08	423.287,11	276.107,89	0,00	2.514.077,68
510	Geländeflächen		0,00	0,00	0,00	0,00	2.162,29	0,00	2.162,29
540	Technische Anlagen in Außenanlagen		0,00	0,00	0,00	0,00	186.300,12	0,00	186.300,12
500	Summe Aussenanlagen		0,00	0,00	0,00	0,00	188.462,41	0,00	188.462,41
600	Möbel		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600	Summe Ausstattung und Kunstwerke		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
731	Architekten / Ingenieure		99.318,42	145.840,83	212.725,65	91.645,07	14.375,43	0,00	563.905,40
731	Fachingenieur		37.197,67	106.496,63	161.820,61	86.964,42	52.015,06	0,00	444.494,39
731	Statik		6.151,65	11.972,12	19.750,57	16.461,98	0,00	0,00	54.336,32
731	Akustik		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
731	Bauphysik		2.380,00	0,00	5.831,00	1.071,00	0,00	0,00	9.282,00
731	Geophysik		1.542,14	2.602,37	6.071,13	1.666,65	0,00	0,00	11.882,29
742	SiGeKo		2.558,50	1.428,00	2.558,50	1.428,00	0,00	0,00	7.973,00
744	Lageplan		519,71	519,74	519,74	519,74	0,00	0,00	2.078,93
746	Brandschutzkonzept		0,00	3.979,36	1.409,91	0,00	0,00	0,00	5.389,27
771	Prüfstatik		3.298,92	3.737,50	5.780,19	1.571,87	0,00	0,00	14.388,48
771	Zertifizierung		3.701,38	6.246,07	9.716,11	3.470,04	0,00	0,00	23.133,60
771	Blower-Door-Test		476,00	1.428,00	2.856,00	952,00	0,00	0,00	5.712,00
771	Schadstoffunters.		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
771	Techn. Prüfungen BMA, RA		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
771	Techn. Prüfungen Aufzug		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
771	Techn. Prüfungen ELt = SiBel.		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
771	Techn. Prüfungen Lüftung		2.003,37	10.461,29	2.820,30	3.301,06	0,00	0,00	18.586,02
779	Sonstige		17.753,29	47.202,40	44.121,10	7.371,73	4.166,88	0,00	120.615,40
779	Bauschild		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
700	Summe Baunebenkosten		176.901,05	341.914,31	475.980,81	216.423,56	70.557,37	0,00	1.281.777,10
	Gesamtkosten (KG 100-700)		1.224.056,49	2.557.717,21	3.252.251,51	1.398.424,51	551.991,92	0,00	8.984.441,64
				4.940.494,59 2. BA		**3.956.141,72**			**Kosten:**
	Herstellungskosten (KG 200-700)								**8.984.441,64**

4 Monitoring

Die Sanierung des Gymnasiums Baesweiler wurde von einem umfangreichen Monitoring-Programm begleitet.

Schwerpunkte des Monitorings waren

- Vergleich der Energieeffizienz mit den Planungswerten nach Passivhausstandard
- Erfassen der sommerlichen und winterlichen Behaglichkeit (Temperatur, Feuchte, Überhitzungen, CO-Konzentrationen)
- Effizienz der sommerlichen Kühlung durch Nutzung von Erdkälte über eine Sondenanlage
- Effizienz der Wärmepumpenanlage in Verbindung mit Erdwärmenutzung über ein Sondenfeld zur regenerativen Energieerzeugung
- Auswertung des Betriebsverhaltens großer Lüftungsanlagen, insbesondere der Überprüfung der elektrischen Effizienz im eingebauten Zustand im Vergleich zu den Planungswerten

Aufgrund der Erkenntnisse bei der Datenauswertung wurde folgendes Themenfeld ergänzt:

- Trinkwarmwasserbereitung in Turnhallen

Darüber hinaus sollte das Monitoring der Betriebsoptimierung dienen.

Zur Bearbeitung der Themenfelder wurde das Gebäude mit einer Vielzahl von Messstellen ausgerüstet, die in weiten Teilen über die Gebäudeleittechnik (GLT) erfasst und gespeichert wurden. Gemessen wurden u.a. Wärme und Stromverbrauch von einzelnen Trakten und Verbrauchern, Temperatur, Feuchte und Co_2 Gehalt in verschiedenen Klassenräumen und Betriebszustände (Druck, Temperatur, Laufzeit etc.) von einzelnen Anlagenbereichen (Lüftung, Heizkreise, etc.). Die Anlagenschemata und Grundrisse mit den Positionen der Messstellen befinden sich im Anhang.

Im Frühjahr 2014 wurde das Ingenieurbüro Inco mit der Weiterführung des Monitorings beauftragt. Grundlage des weiteren Monitorings waren, die zu diesem Zeitpunkt installierten und in Betrieb genommenen Messstellen.

Die ursprüngliche Planung sah vor, das Monitoring parallel zu den einzelnen Bauabschnitten aufzubauen und in Betrieb zu nehmen, um somit über einen Zeitraum von drei Betriebsjahren (2010-2013) Messwerte auswerten zu können. Aufgrund von verschiedenen Begleitumständen (Konkurs der ausführenden Elektrofirmen, Konkurs des planenden und monitorenden Ingenieurbüros, verspätete Inbetriebnahme der Energiezentrale im Winter 2013/2014) konnte erst im Juli 2014 mit der Auswertung von Daten begonnen werden, so dass diesem Bericht nur die Datenbasis von einem Betriebsjahr (Juli 2014-Juni 2015) zu Grunde liegt.

Die Daten wurden in das Monitoringprogramm „monisoft“ übertragen, mit dem ein großer Teil der Auswertungen gemacht wurde. Bei monisoft handelt es sich um eine Software zur Messdatenvisualisierung und -verwaltung, die im Rahmen des EnOB-Förderprogramms des Ministeriums für Wirtschaft und Energie vom KIT, Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau entwickelt wurde.

4.1 Vergleich Energieeffizienz mit den Planungswerten nach PHPP

Im Vorfeld wurde vom Architekturbüro Rongen in Zusammenarbeit mit dem planenden Haustechnikbüro Vika für jeden Trakt eine Berechnung mit dem Passivhausprojektierungspaket (PHPP) durchgeführt. Im Rahmen des Monitorings sollen die im PHPP ermittelten Werte den realen Verbrauchswerten gegenübergestellt werden. Dies geschieht im Folgenden sowohl bzgl. des Strom- (3.1.1) als auch des Wärmeverbrauchs (3.1.2).

4.1.1 Strom

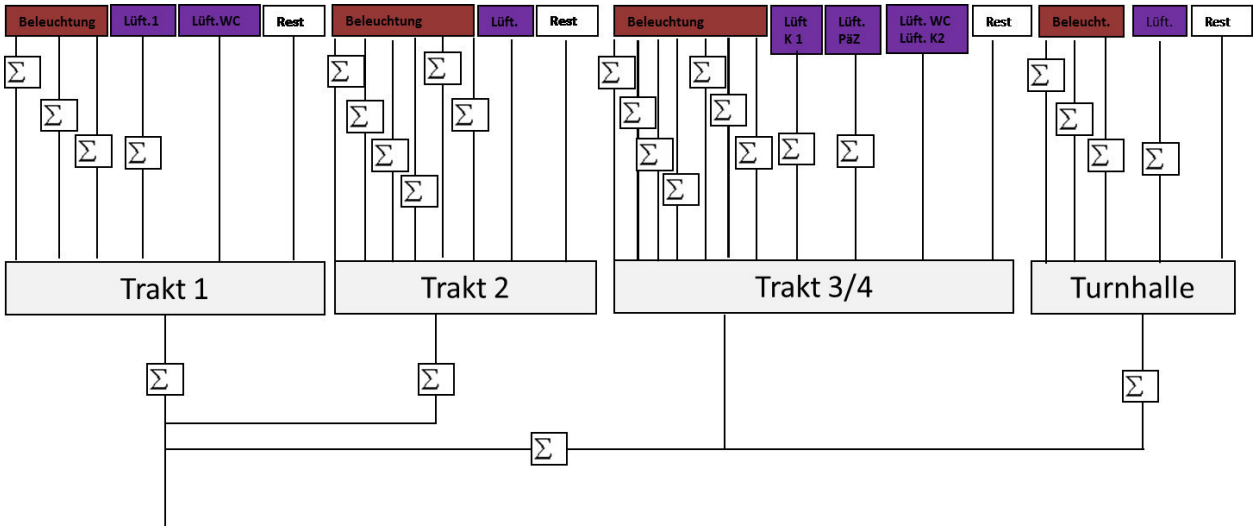


Abb. 39: Messkonzept Strom

In Abb. 39 sind die installierten Stromzähler dargestellt. Neben einer traktweisen Erfassung des Stromverbrauchs wurden Zähler zur separaten geschossweisen bzw. zonenweisen Erfassung des Beleuchtungsstromverbrauchs vorgesehen. Darüber hinaus sind vier der Lüftungsanlagen mit einer Strommessung ausgerüstet worden.

In der PHPP-Berechnung sind die zu erwartenden Stromverbräuche differenziert nach Warmwasserbereitung, Beleuchtung, Arbeitshilfen, Lüftung und Pumpen für die einzelnen Trakte ermittelt worden.

Die gemessenen Stromverbrauchswerte liegen für den Zeitraum Juli 2014- Juli 2015 vor, lediglich die Stromzähler an den Lüftungsanlagen gingen erst im September 2014 in Betrieb. Beim Fehlen einzelner Werte, z.B. aufgrund von Messausfällen, wurden diese entsprechend hochgerechnet.

Der Vergleich der realen Verbrauchswerte mit den in PHPP ermittelten Werten hat schon in den ersten Monaten des Monitorings im November 2014 ergeben, dass der reale Verbrauchswert für alle Trakte über dem mit dem PHPP prognostizierten Wert liegt. Die Suche nach den Ursachen ergab folgende zentralen Gründe für die Abweichung:

Grundlast

Neben den Stromzählern konnten Lastgangaufzeichnungen des Gesamtgebäudes, die vom Versorger EWV für den Zeitraum von September 2013 – August 2014 zur Verfügung gestellt worden waren, ausgewertet werden. Diese Lastgangaufzeichnungen ergaben für das Gesamtgebäude eine Grundlast von 10kW durchgehend (nachts und in den Ferien; Sommer wie Winter). In Abb. 40 ist der Lastverlauf dargestellt. In PHPP ist eine Grundlast in dieser Größenordnung nicht abgebildet.

Eine Grundlast von 1W/m², wie am Gymnasium Baesweiler vorzufinden, verursacht einen jährlichen Stromverbrauch von ca. 8,3 kWh/m²a - ein nicht zu vernachlässigender Anteil. Die spezifische Grundlast von 1W/m² liegt aber im Bereich dessen, was an vergleichbaren Schulen zu finden ist, wie wir im Rahmen einer Untersuchung an einer Vielzahl von Schulen feststellen konnten (Dipl. Phys. Rath & in Kooperation mit Ing. Büro Inco GmbH, 2012). Dabei lag der spezifische Grundlastwert von 13 ausgewerteten Gymnasien im Bereich von 0,7 – 2,2 W/m². Dies macht deutlich, dass hier ein grundsätzlicher Untersuchungs- und Handlungsbedarf an Schulen existiert.

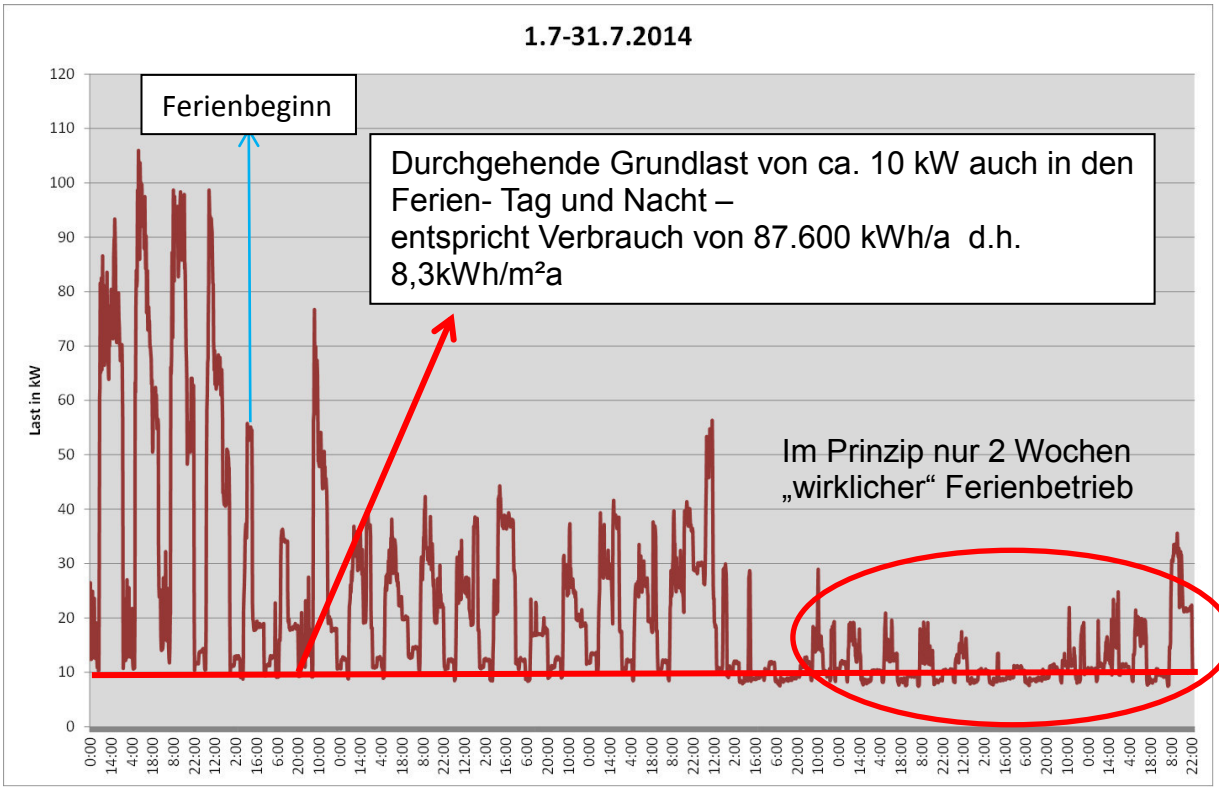


Abb. 40: Lastverlauf—Juli 2014_ ab 4-7.2014 Sommerferien

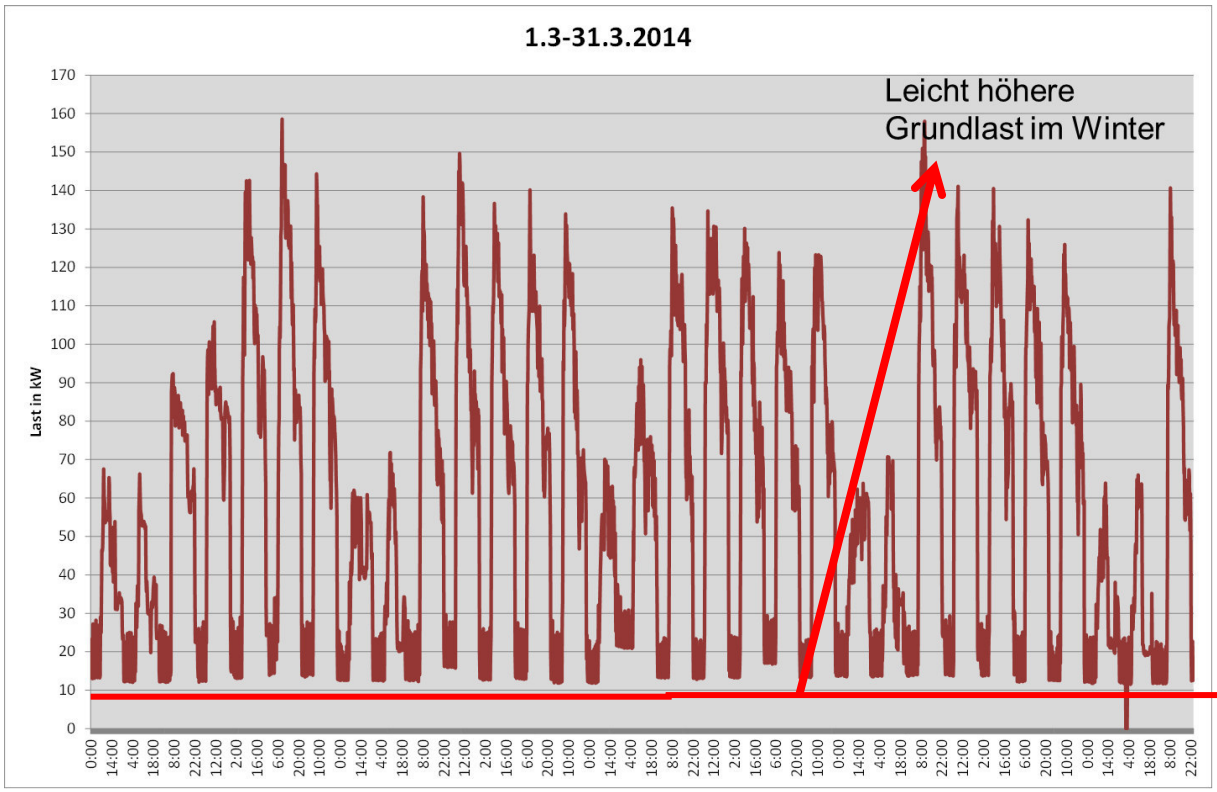


Abb. 41: Lastverlauf – März 2014

Aufbauend auf diesen Lastgangmessungen erfolgte am 22.12.2014 der Versuch, die Grundlast den einzelnen Trakten zuzuordnen und die Verursacher zu identifizieren. Dabei traten folgende Schwierigkeiten auf:

- trotz Ferien herrschte Betrieb im Gebäude (Reinigungskräfte, Umbauarbeiten), so dass es schwer war einen konstanten Grundlastbetrieb herzustellen
- Die Anschlüsse diverser Verbraucher (Telefonanlage, ELA-Anlage, Batterie) waren für Messung nicht frei zugänglich

Grob ließ sich durch unsere Messungen dabei die in Abb. 42 dargestellte Aufteilung ermitteln.

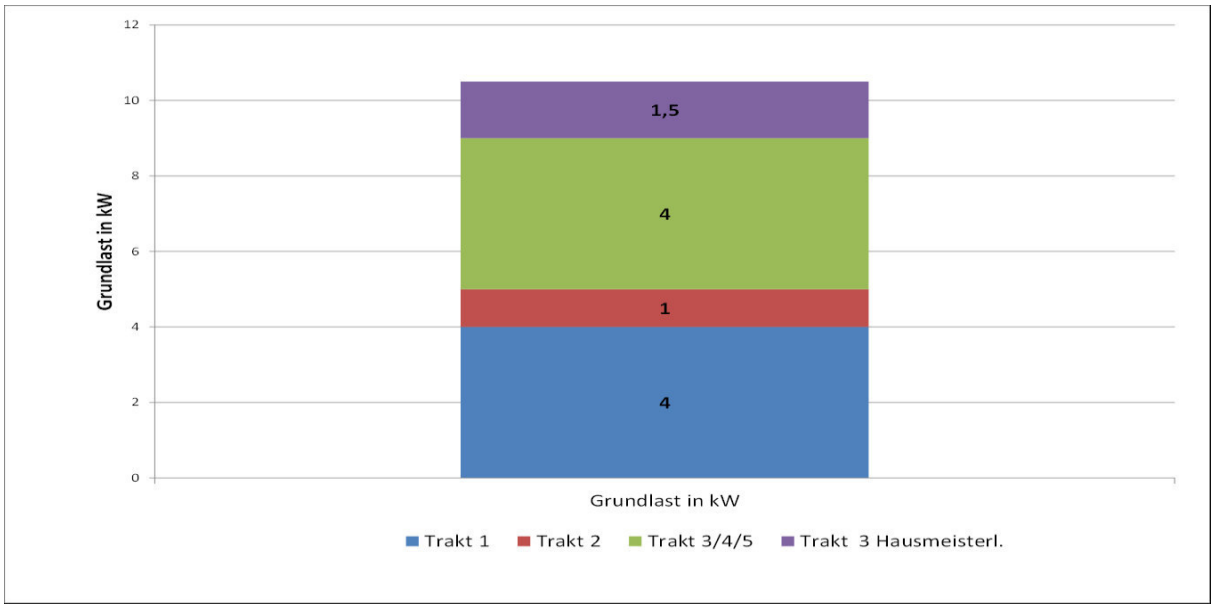
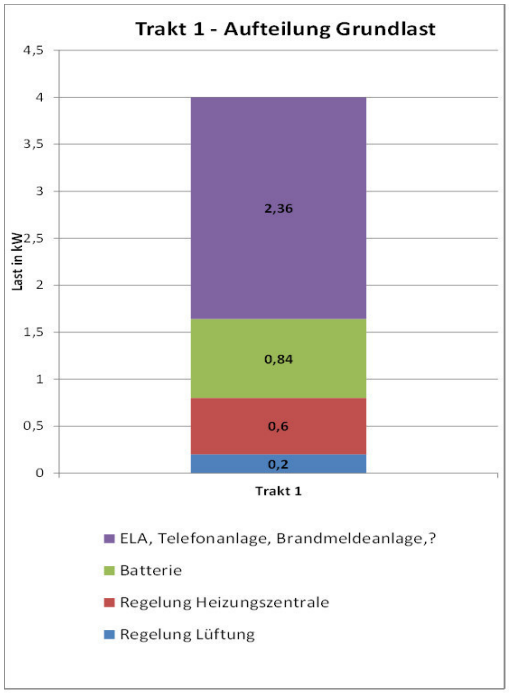


Abb. 42: Aufteilung Grundlast auf die einzelnen Trakte

Ca. die Hälfte der Grundlast ist in Trakt 1 festzustellen. Dies liegt daran, dass in diesem Gebäude zentrale Einrichtungen, wie Brandmelde-, Ela-, Telefonanlage, Notstromversorgung und Heizzentrale angeordnet sind.

Grundsätzlich ist es empfehlenswert, in einer wegen des Aufwands separat zu erarbeitenden Studie genauere Untersuchungen zu den Grundlastverursachern durchzuführen und wenn möglich eine Verringerung der Grundlast herbeizuführen. Diese Thematik ist von grundsätzlicher Bedeutung, da die möglichen Ergebnisse auf viele Schulen übertragen werden könnten.



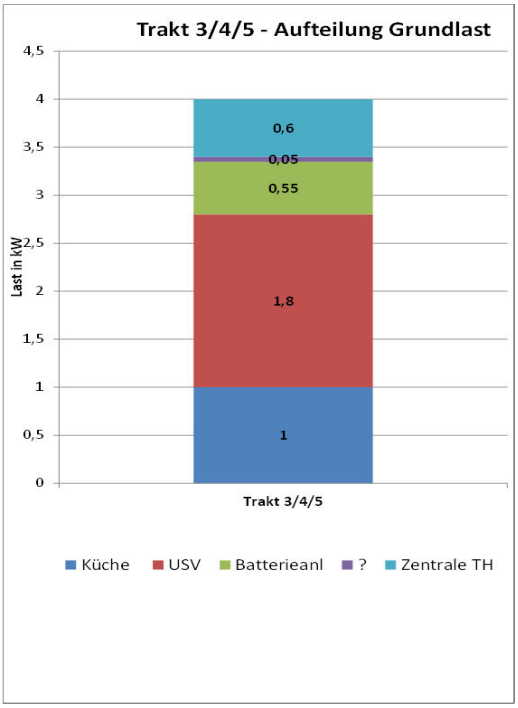


Abb. 43: Mögliche Verursacher der Grundlast in den einzelnen Trakten

4.1.1.1 Trakt 1

In Abb. 44 ist der nach PHPP berechnete Stromverbrauch (linke Säule) dem gemessenen realen Gesamtstromverbrauch (mittlere Säule) gegenübergestellt. In der rechten Säule wird versucht den gemessenen Gesamtstromverbrauch nach Verbrauchern zu differenzieren, um die Ursachen für den Mehrverbrauch zu analysieren. Hierzu werden gemessene Stromverbräuche einzelner Verbraucher (Beleuchtung, Lüftung), abgeschätzte Verbrauchswerte (Grundlast) und Werte aus dem PHPP (wenn keine anderen Werte vorliegen) herangezogen. Die gemessenen Werte sind schwarz umrahmt; die geschätzten gestrichelt und die aus dem PHPP übernommenen Werte sind gepunktet umrandet.

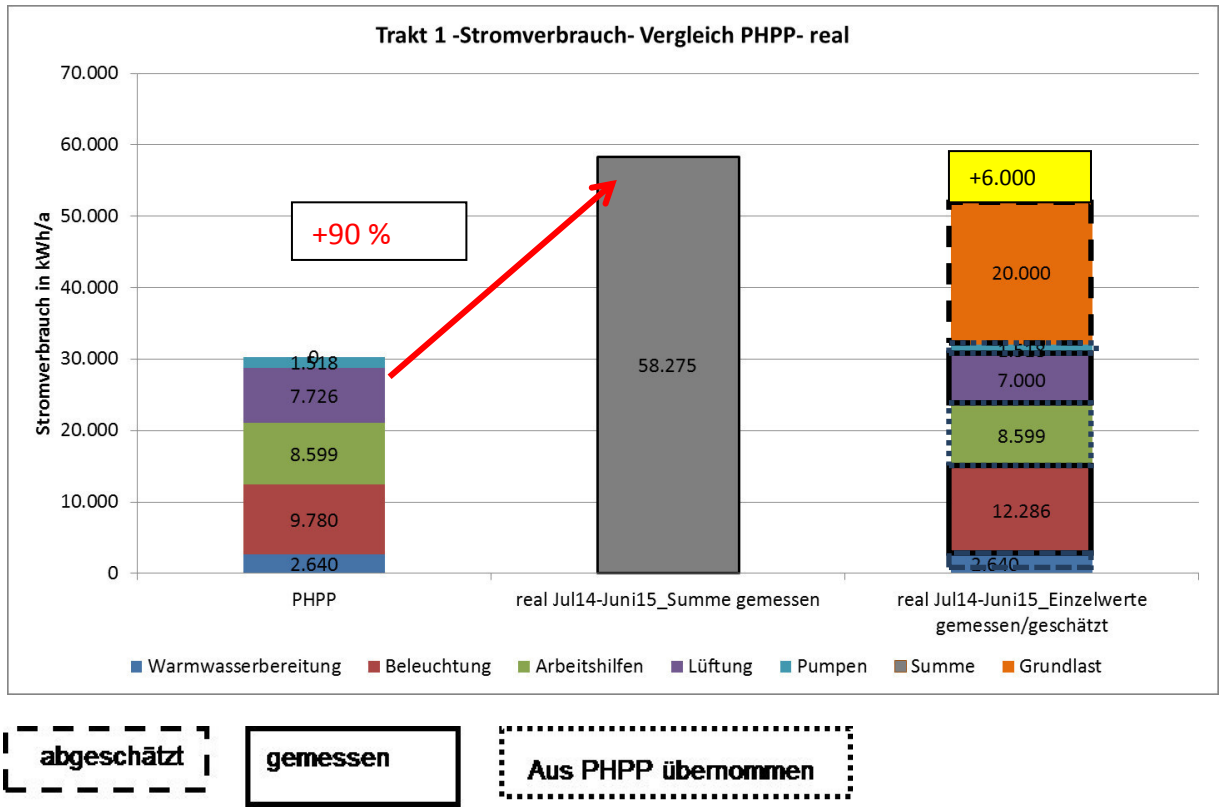


Abb. 44: Gegenüberstellung: Zusammensetzung Stromverbrauch PHPP– Gesamtstromverbrauch gemessen -Zusammensetzung Stromverbrauch gemessen

Die gezeigte Grafik macht deutlich, dass der reale Stromverbrauch ca. 90 % über dem ursprünglich berechneten Wert liegt.

Die Ursachen hierfür liegen in folgenden Bereichen:

Die Grundlast von 4kW verursacht in Trakt 1 einen Mehrverbrauch gegenüber der Berechnung von ca. 20.000kWh/a, was ca. 2/3 des Mehrverbrauches ausmacht. Hier scheint es – wie bereits erwähnt - sinnvoll, insbesondere wegen der generellen Bedeutung für Schulen, genauere Analysen anzustellen.

Der Beleuchtungsstromverbrauch (dunkelrot) liegt über dem im PHPP errechneten Wert. Im PHPP wird der Beleuchtungsstromverbrauch über die geplanten spezifischen Leistungen und angenommenen Volllaststunden ermittelt. Die Volllaststunden ergeben sich aus Annahmen zu der Steuerung der Beleuchtung (Präsenzmelder, Tageslichtabhängige Steuerung etc.). Um genaueren Aufschluss

über die mögliche Ursache für die Diskrepanz zwischen dem im PHPP ermittelten Wert und dem realen Verbrauchswert zu erhalten, sollte ein Abgleich der Leistungs- und Regelungsansätze in PHPP mit dem tatsächlichen Betrieb erfolgen.

Der Stromverbrauch für die Lüftung liegt im realen Betrieb leicht unter dem berechneten Wert. Hier heben sich zwei unterschiedliche Annahmen zwischen dem PHPP und der Realität gegeneinander auf. Die spezifische Leistungsaufnahme der Lüftungsgeräte wurde für Trakt 1 zu hoch angenommen, hingegen wurden die Betriebszeiten der Lüftungsanlage unterschätzt. Die Lüftungszeiten wurden während der Monitoring-Phase bereits optimiert und den Belegungszeiten genauer angepasst. Dies soll regelmäßig erfolgen.

4.1.1.2 Trakt 2

In der Abb. 45 ist, wie bereits in der Auswertung für Trakt 1 beschrieben, der nach PHPP berechnete Stromverbrauch (linke Säule) dem gemessenen realen Gesamtstromverbrauch (mittlerer Säule) gegenübergestellt. In der rechten Säule wird versucht den gemessenen Gesamtstromverbrauch nach Verbrauchern zu differenzieren, um die Ursachen für den Mehrverbrauch zu analysieren. Hierzu werden gemessene Stromverbräuche einzelner Verbraucher (Beleuchtung, Lüftung), abgeschätzte Verbrauchswerte (Grundlast) und Werte aus dem PHPP (wenn keine anderen Werte vorliegen) herangezogen.

Die gemessenen Werte sind schwarz umrahmt; die geschätzten gestrichelt und die aus PHPP übernommenen Werte sind nicht umrandet.

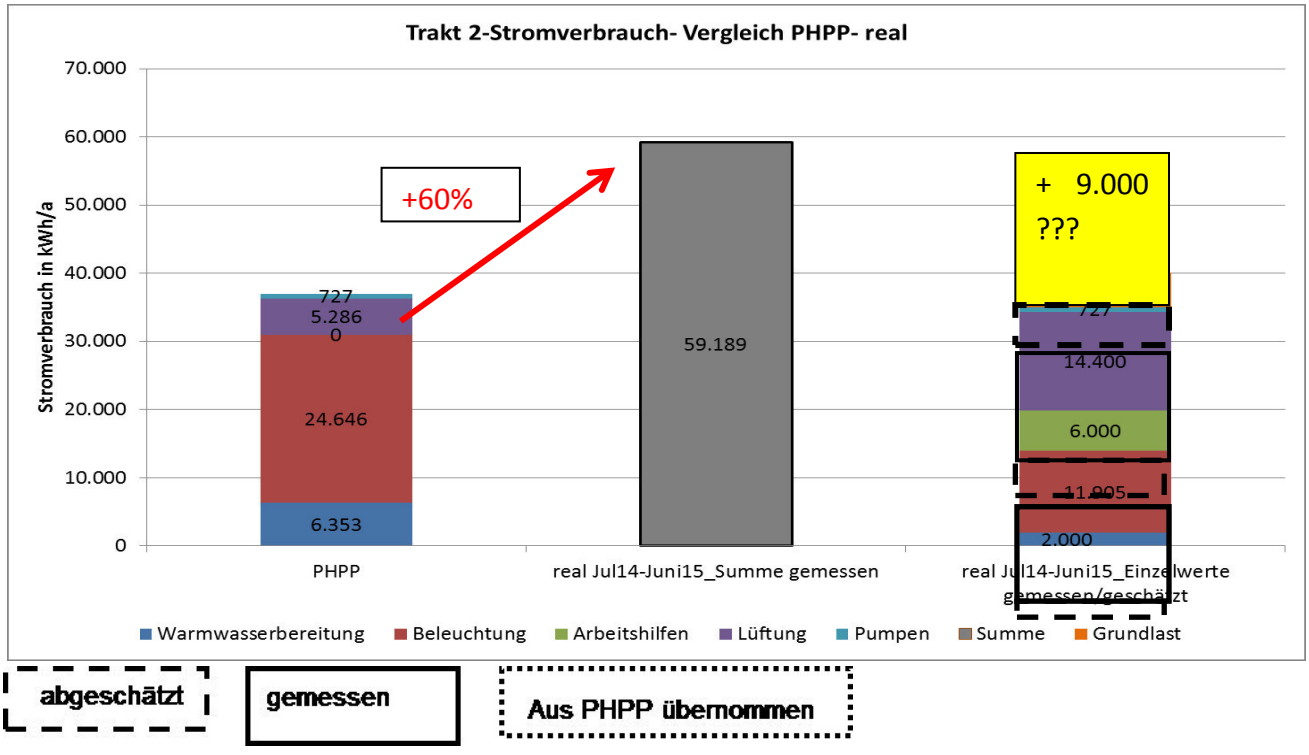


Abb. 45: Gegenüberstellung: Zusammensetzung Stromverbrauch PHPP– Gesamtstromverbrauch gemessen- Zusammensetzung Stromverbrauch gemessen

Die Grafik macht deutlich, dass der reale Stromverbrauch ca. 60 % über dem ursprünglich berechneten Wert liegt.

Die Ursachen hierfür liegen in folgenden Bereichen:

Die Grundlast von 1kW verursacht in Trakt 2 einen Mehrverbrauch gegenüber der Berechnung von ca. 5.000kWh/a, was ca. 1/4 des Mehrverbrauches ausmacht.

Der Beleuchtungsstromverbrauch (dunkelrot) liegt erheblich unter dem errechneten Wert. Hier wird aber vermutet, dass der gemessene Wert eventuell nicht alle Beleuchtungsbereiche umfasst. Hier wird eine Überprüfung der Stromverteilerpläne erfolgen. .

Im PHPP wird der Beleuchtungsstromverbrauch über die geplanten spezifischen Leistungen und angenommenen Volllaststunden ermittelt. Die Volllaststunden ergeben sich aus Annahmen zur Steuerung der Beleuchtung (Präsenzmelder, Tageslichtabhängige Steuerung etc.). Um genaueren Aufschluss über die mögliche Ursache für die Diskrepanz zwischen dem im PHPP ermittelten Wert und dem realen Verbrauchswert zu erhalten, sollte ein Abgleich der Leistungs- und Regelungsansätze im PHPP mit dem tatsächlichen Betrieb erfolgen.

Der Stromverbrauch für die Lüftung liegt im realen Betrieb knapp 10.000kWh über dem gerechneten Wert. Dies liegt daran, dass die Lüftungsanlage entgegen der Annahmen im Planungsstadium deutlich längere Betriebszeiten hat. Die Lüftungszeiten wurden während der Monitoring-Phase bereits optimiert und den Belegungszeiten genauer angepasst. Eine entsprechende Anpassung der Lüftungszeiten an die Belegungspläne sollte regelmäßig erfolgen.

Im PHPP wurden keine „Arbeitshilfen“ in Ansatz gebracht. Im Trakt 2 befinden sich aber diverse Geräte (Werkstattbereich). Der Verbrauch hierfür wurde von den Autoren für die Auswertung in einem ersten Ansatz grob abgeschätzt.

4.1.1.3 Trakt 3/4

In Abb. 46 ist, wie bereits in den Auswertungen zu den vorangehenden Trakten beschrieben, der nach PHPP berechnete Stromverbrauch (linke Säule) dem gemessenen realen Gesamtstromverbrauch (mittlere Säule) gegenübergestellt. In der rechten Säule wird versucht den gemessenen Gesamtstromverbrauch nach Verbrauchern zu differenzieren, um die Ursachen für den Mehrverbrauch zu analysieren. Hierzu werden gemessene Stromverbräuche einzelner Verbraucher (Beleuchtung, Lüftung), abgeschätzte Verbrauchswerte (Grundlast) und Werte aus dem PHPP (wenn keine anderen Werte vorliegen) herangezogen.

Die gemessenen Werte sind schwarz umrahmt; die geschätzten gestrichelt und die aus dem PHPP übernommenen Werte sind gepunktet umrandet.

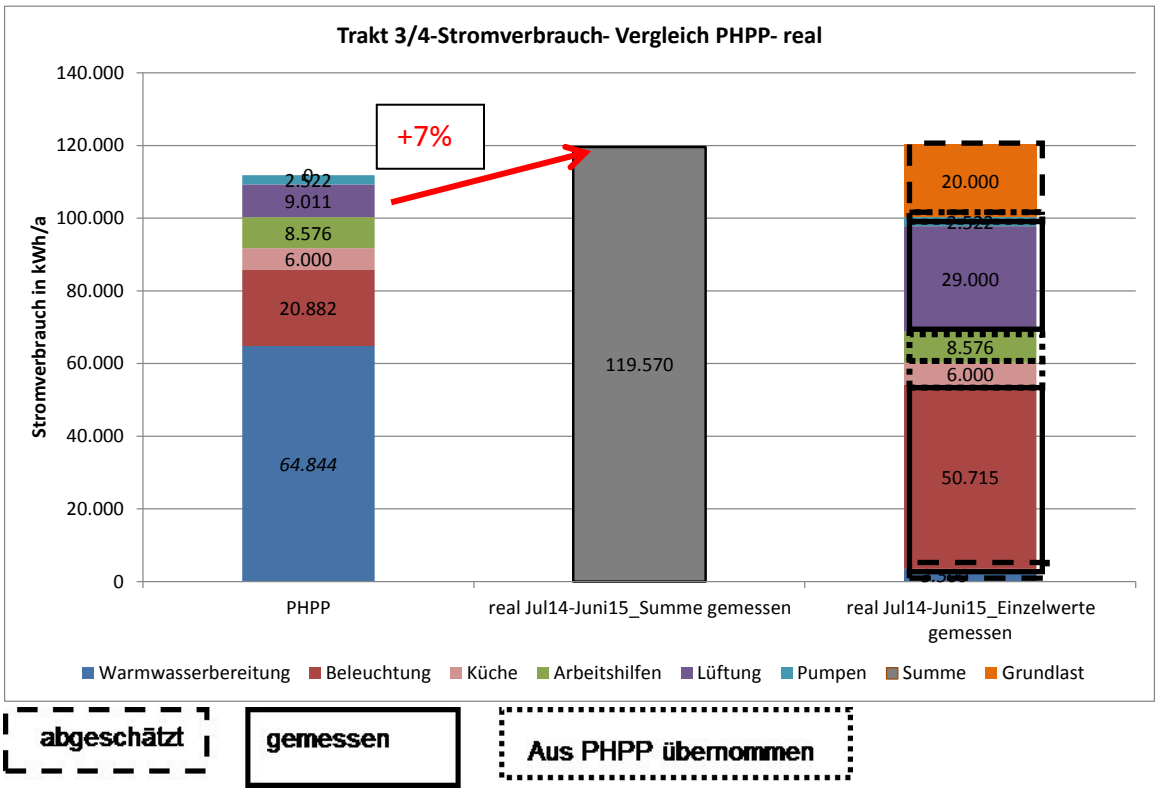


Abb. 46: Gegenüberstellung: Zusammensetzung Stromverbrauch PHPP– Gesamtstromverbrauch gemessen- Zusammensetzung Stromverbrauch gemessen

Die Grafik macht deutlich, dass der reale Stromverbrauch ca. 7% über dem ursprünglich berechneten Wert liegt. Hierbei muss aber berücksichtigt werden, dass der Strombedarf für die Warmwasserbereitung in der PHPP-Berechnung zu hoch angesetzt wurde. Dies liegt daran, dass zum Zeitpunkt der Planung von deutlich mehr warmen Essen pro Tag ausgegangen wurde. Der mit ca. 50.000 kWh angenommene Bedarf für Warmwasserbereitung wird durch einen Mehrverbrauch im Bereich Lüftung, Beleuchtung und Grundlast wieder kompensiert.

Die Grundlast von 4 kW verursacht in Trakt 3/4 einen Mehrverbrauch gegenüber der Berechnung von ca. 20.000 kWh/a. Weitere Untersuchungen zur Reduzierung der Grundlast sind für Schulen allgemein von Interesse.

Im Bereich Beleuchtung wurden im realen Betrieb 30.000 kWh mehr verbraucht als in der Berechnung abgeschätzt. Im PHPP wird der Beleuchtungsstromverbrauch über die geplanten spezifischen Leistungen und angenommenen Volllaststunden ermittelt. Die Volllaststunden ergeben sich aus Annahmen zur Steuerung der Beleuchtung (Präsenzmelder, Tageslichtabhängige Steuerung etc.). Um genaueren Aufschluss über die mögliche Ursache für die Diskrepanz zwischen dem im PHPP ermittelten Wert und dem realen Verbrauchswert zu erhalten, sollte ein Abgleich der Leistungs- und Regelungsansätze im PHPP mit dem tatsächlichen Betrieb erfolgen.

Im Bereich Lüftung wurden im realen Betrieb ca. 20.000 kWh mehr verbraucht als in der PHPP-Berechnung abgeschätzt. Dies liegt wie in den anderen Trakten auch daran, dass die Lüftungsanlage entgegen der Annahmen im Planungsstadium deutlich längere Betriebszeiten hat. Die Lüftungszeiten wurden während der Monitoring-Phase bereits optimiert und den Belegungszeiten ge-

nauer angepasst. Eine entsprechende Anpassung der Lüftungszeiten an die Belegungspläne soll regelmäßig erfolgen.

Eine Ursache für den Mehrverbrauch Beleuchtung und Lüftung im Trakt 3/ 4 liegt sicherlich an der im Planungsstadium so nicht abzusehenden intensiven Nutzung des pädagogischen Zentrums als Veranstaltungsort auch für außerschulische Veranstaltungen an den Wochenenden und Abendstunden.

4.1.1.4 Trakt 5

In Abb. 47 ist wieder der nach PHPP berechnete Stromverbrauch (linke Säule) dem gemessenen realen Gesamtstromverbrauch (mittlere Säule) gegenübergestellt. In der rechten Säule wird versucht den gemessenen Gesamtstromverbrauch nach Verbrauchern zu differenzieren, um die Ursachen für den Mehrverbrauch zu analysieren. Hierzu werden gemessene Stromverbräuche einzelner Verbraucher (Beleuchtung, Lüftung), abgeschätzte Verbrauchswerte (Grundlast) und Werte aus dem PHPP (wenn keine anderen Werte vorliegen) herangezogen. Die gemessenen Werte sind schwarz umrahmt; die geschätzten gestrichelt und die aus PHPP übernommenen Werte sind gepunktet umrandet.

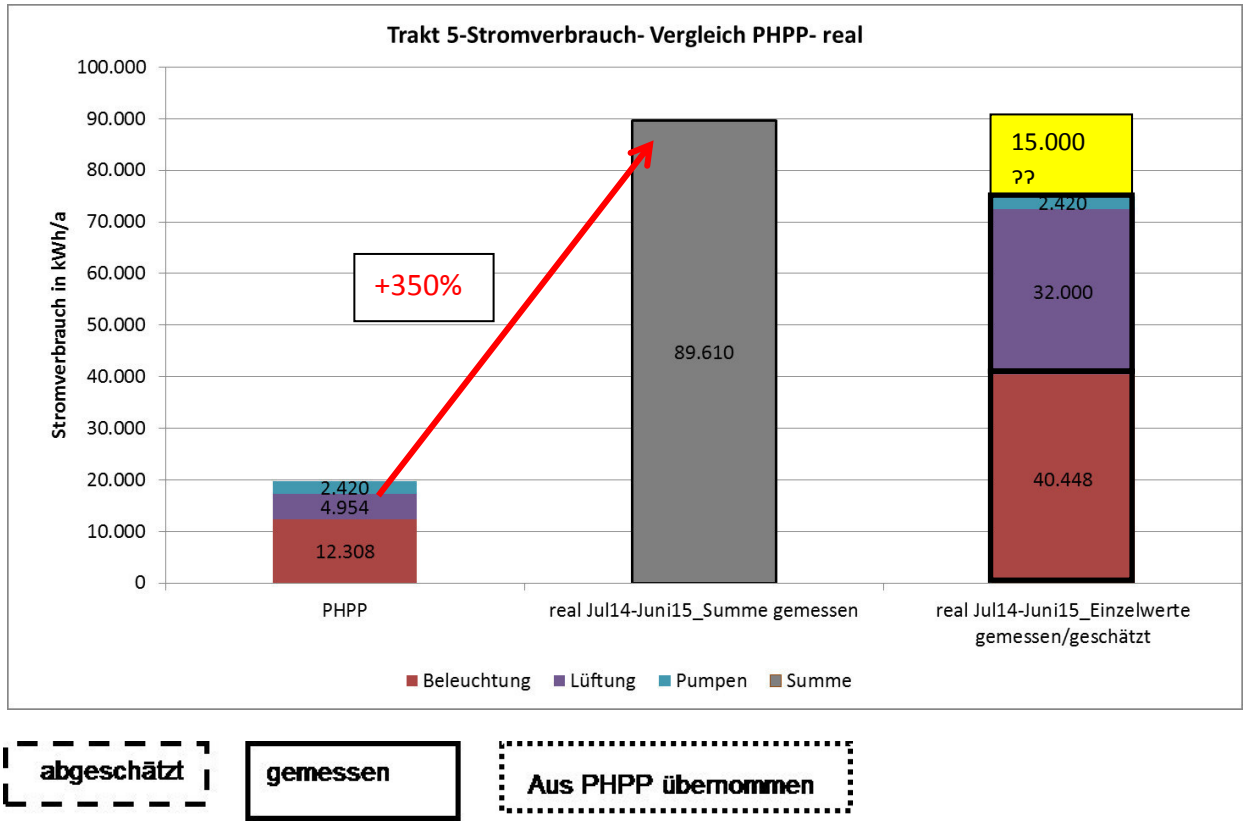


Abb. 47: Gegenüberstellung Zusammensetzung Stromverbrauch PHPP– Gesamtstromverbrauch gemessen_ Zusammensetzung Stromverbrauch gemessen

Es ist deutlich zu erkennen, dass der festgestellte Stromverbrauch ca. 350 % über dem ursprünglich berechneten Wert liegt. Die Ursachen hierfür liegen in folgenden Bereichen:

Der reale Beleuchtungsstromverbrauch liegt fast 30.000 kWh/a über dem errechneten Wert. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt wahrscheinlich in der Beleuchtungsschaltung der Turnhalle. Um für unterschiedliche Sportarten unterschiedliche Beleuchtungsstärken zu ermöglichen, wurden drei unterschiedliche Beleuchtungsstufen realisiert. Die Beleuchtung und die einzelnen Stufen werden durch einen Schlüsselschalter freigegeben. Die Handhabung der Schaltung ist sehr komplex, was dazu führt, dass standardmäßig die höchste Beleuchtungsstufe von den Nutzern geschaltet wird. Die Schaltung wird vereinfacht, damit diese Fehlnutzung vermieden wird.

Der reale Lüftungsstrom liegt 27.000 kWh/a über dem errechneten Wert. Die Ursache liegt in der Betriebsweise der Lüftungsanlage. Ausgelegt ist die Lüftungsanlage mit 8.000 m^3/h für den Betrieb der Turnhalle als Versammlungsstätte. Für den normalen Schulbetrieb ist dieser Volumenstrom nicht notwendig. Eine stufige Schaltung der Anlage ist aber nicht realisiert, so dass die Anlage derzeit immer mit maximalem Volumenstrom läuft.

Ein entsprechendes Konzept (Anhang) zur stufenweisen Schaltung der Anlage wurde im Rahmen des Monitorings erarbeitet und wird zeitnah umgesetzt.

Im Rahmen des Monitorings wurde auch deutlich, dass die spezifische Leistungsaufnahme der Anlage mit 1 Wh/m^3 schlechter als erwartet war, was auch zu dem erhöhten Lüftungsstromverbrauch beigetragen hat (siehe Kap.3.5.1). Die Ursachensuche und die Behebung der schlechten Elektroeffizienz des Lüftungsgerätes durch die Lüftungsfirma sind in Arbeit.

4.1.1.5 Weitere Handlungsschritte

Die differenzierten Stromverbrauchswerte werden weiter aufgezeichnet und ausgewertet, um sowohl weitere mögliche Ursachen für den Mehrverbrauch zu finden und zu beseitigen als auch den Erfolg umgesetzter Optimierungsmaßnahmen zu überprüfen.

Die Stromzähler bieten die Möglichkeit die aktuelle Leistung anzuzeigen. Dieser Wert wird auch auf die GLT aufgelegt und aufgezeichnet werden, um die anfallende Grundlast näher zu identifizieren.

Die Hauptursachen für den Mehrverbrauch in allen Trakten liegen in den Bereichen Beleuchtung, Lüftung und Grundlast.

Zur Reduzierung des Stromverbrauchs der Lüftungsanlagen werden die Betriebszeiten regelmäßig an die aktuellen Belegungspläne angepasst werden. Das Lüftungskonzept für die Turnhalle, das eine stufige Schaltung vorsieht wird umgesetzt.

Um die genaue Ursache des Mehrverbrauchs im Bereich Beleuchtung herauszufinden, werden die Leistungs- und Steuerungsansätze im PHPP mit dem realen Betrieb verglichen.

Ggf. kann durch eine besser eingestellte Beleuchtungssteuerung eine Reduzierung des Stromverbrauchs erreicht werden. Dies gilt insbesondere und dringend für die Turnhalle.

Die festgestellte Grundlast von 10kW stellt eine erhebliche Ursache für den Mehrverbrauch dar. Wie andere Untersuchungen zeigen (Dipl. Phys. Rath & in Kooperation mit Ing. Büro Inco GmbH, 2012) ist diese Problematik an vielen Schulen anzutreffen, so dass hier ein grundsätzlicher Untersuchungsbedarf besteht.

4.1.2 Wärme

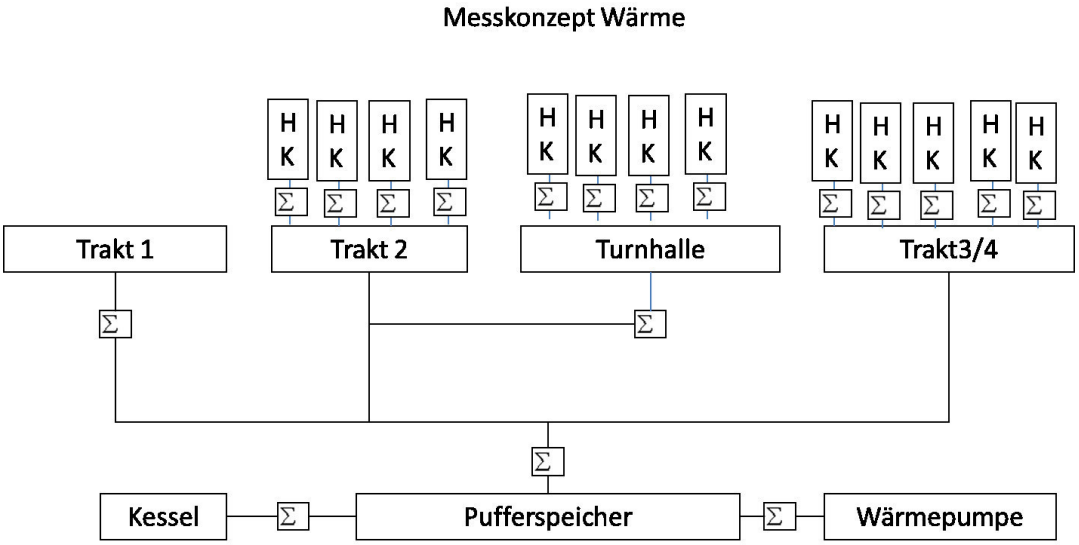


Abb. 48: Messkonzept Wärme

In Abb. 48 sind die installierten Wärmemengenzähler dargestellt. Diese wurden zur Bilanzierung der einzelnen Trakte und des Gesamtkomplexes herangezogen. Die Gegenüberstellung umfasst den Bilanzzeitraum Juli 2014- Juni 2015. Die Heizzentrale mit Wärmepumpe und Gaskessel ist im Januar 2014 in Betrieb gegangen. Über die Sommerferien 2014 wurde die Heizzentrale komplett abgeschaltet und ist im November 2014 mit Beginn der Heizperiode wieder angeschaltet worden.

4.1.2.1 Gesamtgebäude

Der Gesamtwärmeverbrauch des Gebäudekomplexes wird sowohl als Summe der Wärmemengenzähler Wärmepumpe und Kessel ermittelt als auch separat am Hauptverteiler zu den einzelnen Trakten.

Der Jahreswert der am Hauptverteiler gezählten Wärmemenge liegt 6% höher als die Summe aus von Wärmepumpe und Kessel gelieferter Wärme. Es konnte nicht abschließend geklärt werden, welcher Wärmemengenzähler die Abweichung verursacht. Im Weiteren wird bei der Beurteilung des Gesamtwärmeverbrauchs des Gebäudes mit dem klimabereinigten arithmetischen Mittel der beiden Werte gerechnet.

Für die einzelnen Trakte liegen PHPP-Berechnungen vor. Für die Gegenüberstellung zum gemessenen Gesamtwärmeverbrauch wurde die Summe der in den PHPP-Berechnungen als Heizwärmebedarf incl. Verteilung bezeichneten Werte herangezogen.

Im Rahmen des Monitoring fiel auf, dass die realen Betriebsbedingungen in einigen Punkten von den während der Planungsphase angenommenen Werten in PHPP abweichen. Insbesondere seien hier folgende Punkte genannt:

- Die realen Laufzeiten der Lüftungsanlagen sind aufgrund geänderter Nutzungszeiten länger als angenommen
- Der Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlagen ist niedriger als im PHPP angenommen, da zum Zeitpunkt der Planung noch keine PHPP-Zertifikatsangaben vorlagen und man sich nach Absprache zwischen Hersteller und dem PHI auf einen zu vertretenen Wert geeinigt hat
- Die tatsächlichen Raumtemperaturen sind höher als im PHPP angenommen, da vom Nutzer höhere Temperaturen als die vom PHI angesetzten gefordert werden.

Daraufhin wurden diese Kenndaten in den PHPP-Berechnungen der einzelnen Trakte dem realen Betrieb angepasst. Die so ermittelten Kenndaten werden im Folgenden mit PHPP- angepasst bezeichnet, die ursprünglichen Werte mit PHPP-Ursprung.

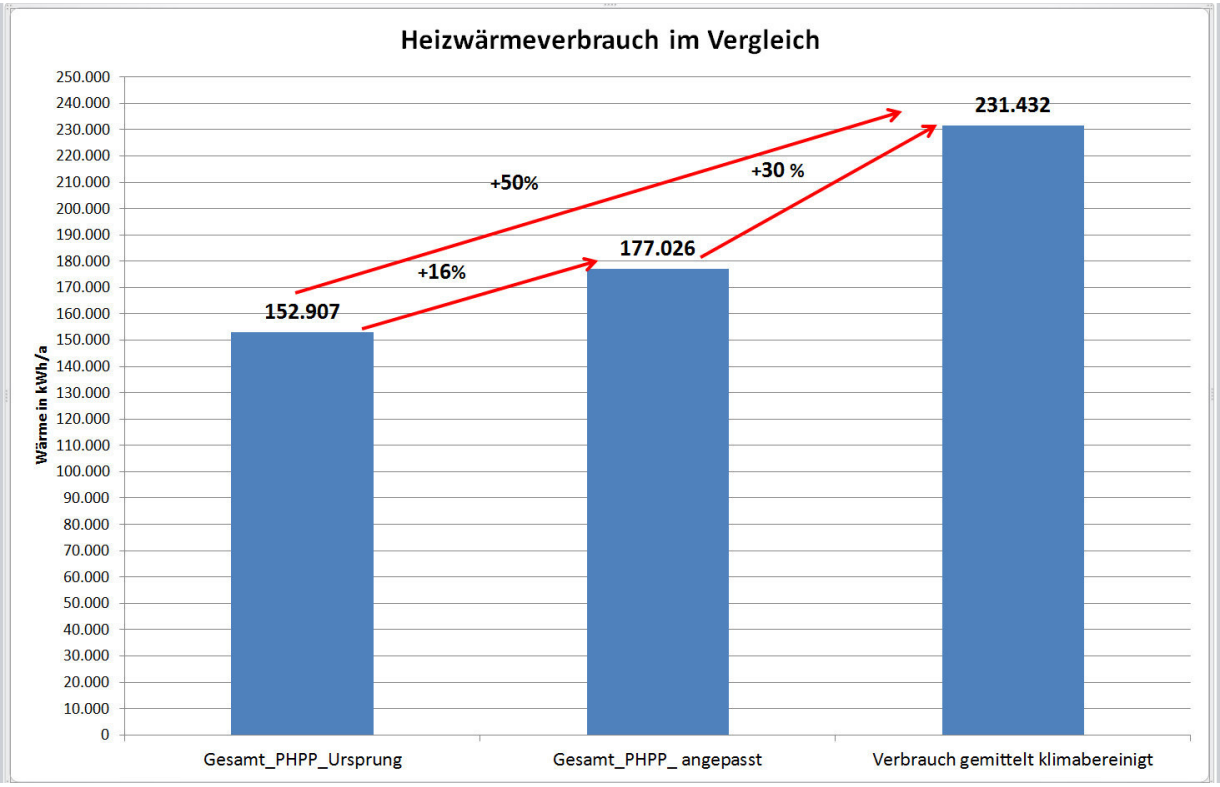


Abb. 49: Gegenüberstellung Ergebnisse PHPP ursprünglich PHPP angepasst-Verbrauch real (2014/2015)klimabereinigt

Der Gesamtwärmeverbrauch des Gebäudes liegt ca. 30 % über dem angepassten PHPP- Wert. Ein Drittel der Abweichung vom realen Verbrauchswert zum ursprünglichen PHPP Wert kann auf die oben beschriebenen Ursachen zurückgeführt werden.

Unabhängig von den Abweichungen des realen Verbrauchswerts von den im PHPP prognostizierten Verbrauchswerten konnte der Heizwärmeverbrauch von i.M. ca. 166 kWh/m² vor der Sanierung auf bislang 25 kWh/m²a nach der Sanierung reduziert werden. Schon dies ergibt eine Einsparung von ca. 85%.

Die Datenlage zu realen Verbrauchswerten von in Passivhausqualität gebauten Schulen ist noch relativ dünn. Erste Auswertungen der Stadt Frankfurt (Linder, 2014) zeigen aber, dass die spez. Heizenergieverbräuche hier zwischen 21 und 41kwh/m²a liegen. Aufgrund der unterschiedlichen Bilanzgrenzen (mit und ohne Warmwasserbereitung, mit und ohne Küche) ist ein direkter Vergleich von Werten schwierig. Grundsätzlich lässt sich aber feststellen, dass das Gymnasium Baesweiler mit ca. 25 kWh/m² im Rahmen bleibt.

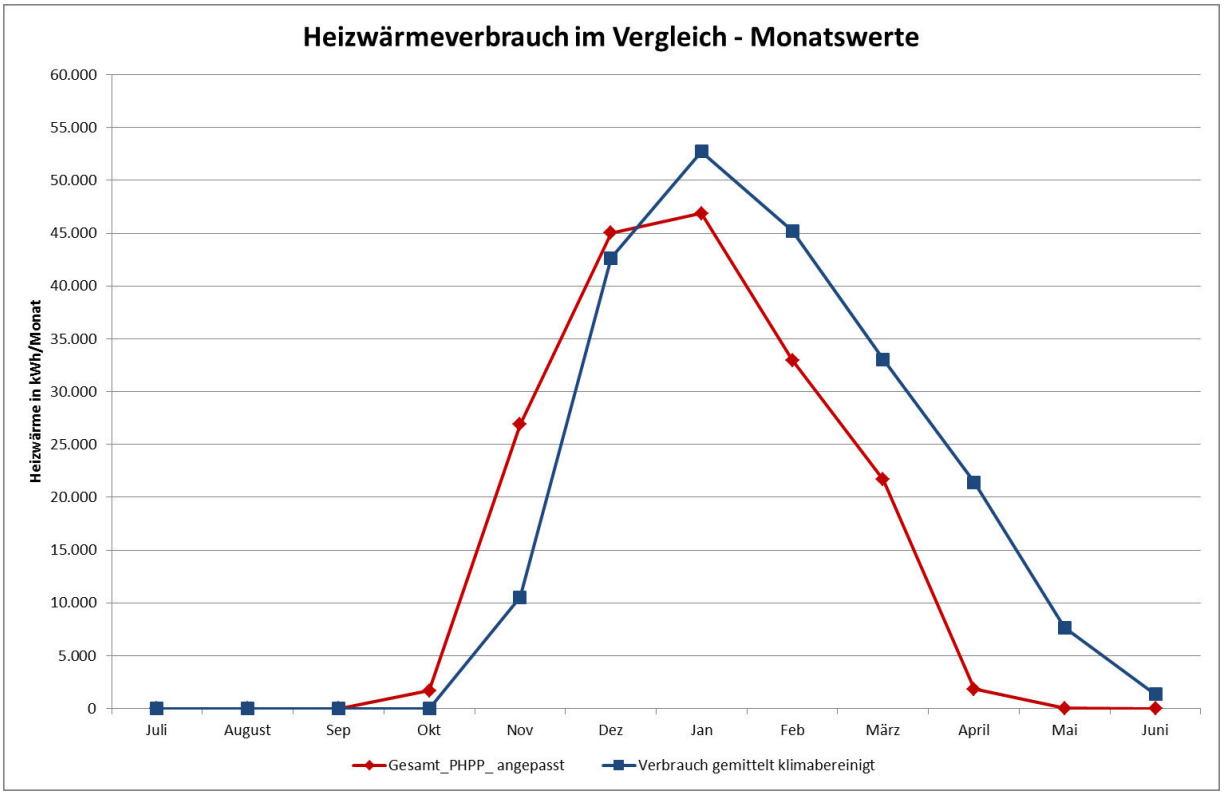


Abb. 50: Grafik Verteilung über die Monate – später Heizbeginn

In der jahreszeitlichen Auswertung wird deutlich, dass in der Heizperiode 2014/15 die Energiezentrale zwar spät in Betrieb gegangen ist (Mitte November), aber sehr lange in Betrieb war (bis Mitte Juni). Dies hat insbesondere im April und Mai zu über den im PHPP kalkulierten Verbräuchen geführt. Die Mehrverbräuche in diesen zwei Monaten machen mit ca. 27.000kWh etwa die Hälfte der ca. 54.000kWh Gesamtmehrverbrauch aus.

Möglicherweise führen hier nicht optimale Regeleinstellungen der Heizkreise zu erhöhten Wärmeverbräuchen. Es konnte z.B. teilweise beobachtet werden, dass die Lüftungsanlagen ihren Wärmerückgewinnungsgrad aufgrund hoher Ablufttemperaturen bereits runterregelten, während die statischen Heizkreise noch Wärme anforderten. Hier ist eine bessere Abstimmung der beiden Wärmeübertragungssysteme (Lüftung und stat. Heizkörper) aufeinander sinnvoll.

Das Problem, dass Heizkörperventile aufgrund einer ungünstigen Montage frühzeitig schlossen, konnte durch einen Umbau der Ventile bereits gelöst werden.

Nähere Untersuchungen zu der hydraulischen und regelungstechnischen Einbindung der Wärmeerzeuger haben ebenfalls Auffälligkeiten aufgezeigt, die teilweise zu einem Mehrverbrauch geführt haben können (siehe Kapitel 3.4.3). Eine hydraulische und regelungstechnische Überarbeitung der Zentrale ist in Vorbereitung.

Im PHPP wurden Verteilungsverluste (Nahwärmeleitungen und gebäudeinterne Leitungen) von ca. 16 % über die Annahme von Rohrlängen und entsprechenden Wärmedurchgangskoeffizienten bestimmt. Die Auswertung der realen Verbrauchswerte ergibt (Wärmeverbrauch am Hauptverteiler zu Wärmeverbrauch der einzelnen Trakte) Verteilungsverluste von ca. 12 % allein für die Nahwärmeleitungen, ohne die gebäudeinternen Leitungen, d.h. dass die Verteilungsverluste ggf. im PHPP zu niedrig abgeschätzt wurden.

4.1.2.2 Einzeltrakte

Gemäß der Abb. 48 wird der Wärmeverbrauch der Trakte 2, 3 und 4 jeweils aus der Summe der Wärmemengenzähler bzw. der einzelnen Heizkreise gebildet. Für Trakt 1 und die Turnhalle gibt es jeweils eine Gesamtmessung des Traktes. Für die Gegenüberstellung des realen Wärmeverbrauchs der einzelnen Trakte zum im PHPP ermittelten Wert wird das arithmetische Mittel aus den PHPP-Werten Heizwärmebedarf und Heizwärmebedarf incl. Verteilung herangezogen. Der reale Wärmeverbrauch wurde klimabereinigt. Einzelne Monatswerte (Trakt 1 Nov-Feb) mussten aufgrund von Datenausfällen auf Basis der anderen Werte abgeschätzt werden.

Der reale klimabereinigte Verbrauchswert weicht für Trakt 1 ca. 60 %, für Trakt 2 ca. 37%, für Trakt 3/4 ca. 31% und für die Turnhalle -22 % von dem PHPP-angepasst-Wert ab.

Hierbei ist zu beachten, dass die Verbrauchswerte von Trakt 1 in den Monaten November bis Februar auf Basis der anderen Trakte abgeschätzt wurden. Derzeit kann noch keine genaue Ursache für die unterschiedlichen Abweichungen im Vergleich benannt werden.

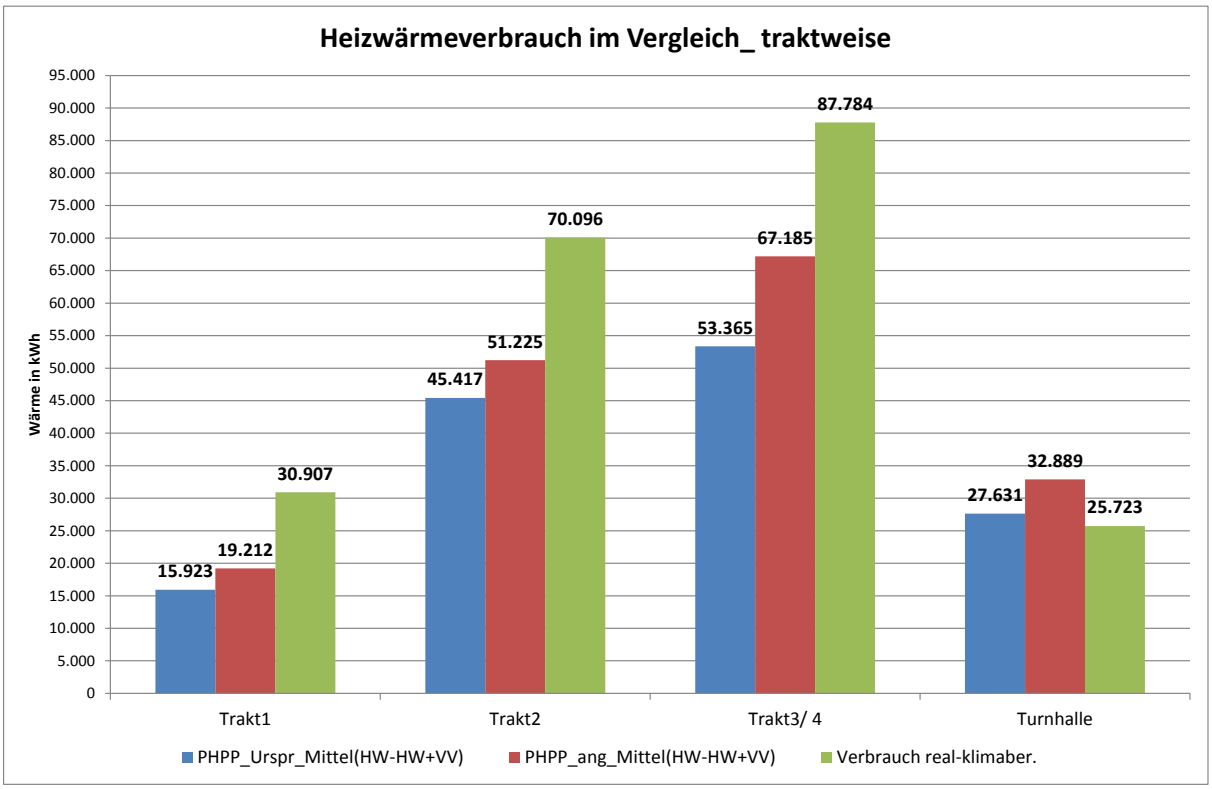


Abb. 51: Traktweise Gegenüberstellung Wärmeverbrauch real klimabereinigt- PHPP-Ursprung-PHPP-angepasst

4.1.2.3 Weitere Handlungsschritte

Für die weitere Ursachenforschung und -beseitigung bezüglich der Abweichungen der tatsächlichen Wärmeverbräuche von den berechneten Werten werden folgende Maßnahmen umgesetzt:

Die Verbrauchsaufzeichnungen werden weitergeführt.

Die Betriebszeiten der Lüftungsanlage werden dem tatsächlichen Betrieb, entsprechend den Belegungsplänen regelmäßig angepasst. Eine optimierte Betriebszeit spart Strom und Wärme.

Nähere Untersuchungen zu der hydraulischen und regelungstechnischen Einbindung der Wärmeerzeuger haben Auffälligkeiten (hohe Rücklauftemperaturen durch hydraulische Weichen) aufgezeigt, die teilweise zu einem Mehrverbrauch geführt haben könnten (siehe auch Kapitel 3.4.3). Eine hydraulische und regelungstechnische Überarbeitung der Zentrale ist in Planung.

Die beiden Wärmeübertragungssysteme (Lüftung und statische Heizkörper) werden besser aufeinander abgestimmt.

4.2 Auswertung Behaglichkeit

In 23 Räumen sind feste Temperaturfühler installiert. Darüber hinaus existieren acht mobile Messfühler (Feuchte-Temperatur-CO_2), die in dafür in diversen Räumen installierten Messdosen eingesetzt werden können. Im Anhang finden sich Grundrissübersichten, in denen die einzelnen Messstellen eingetragen sind.

Auf Basis der vorhandenen Messfühler wurden folgende Auswertungen durchgeführt

- CO_2-Konzentrationen in den einzelnen Räumen
- Feuchte- und Temperaturkombination in Bezug zum Behaglichkeitsfeld
- Überhitzungsstunden

4.2.1 CO_2

Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass in Schulen mit Fensterlüftung teilweise CO_2-Werte von über 3.000ppm erreicht werden. Messungen im Vorfeld der Sanierung ergaben auch für das Gymnasium Baesweiler entsprechende CO_2-Überschreitungen.

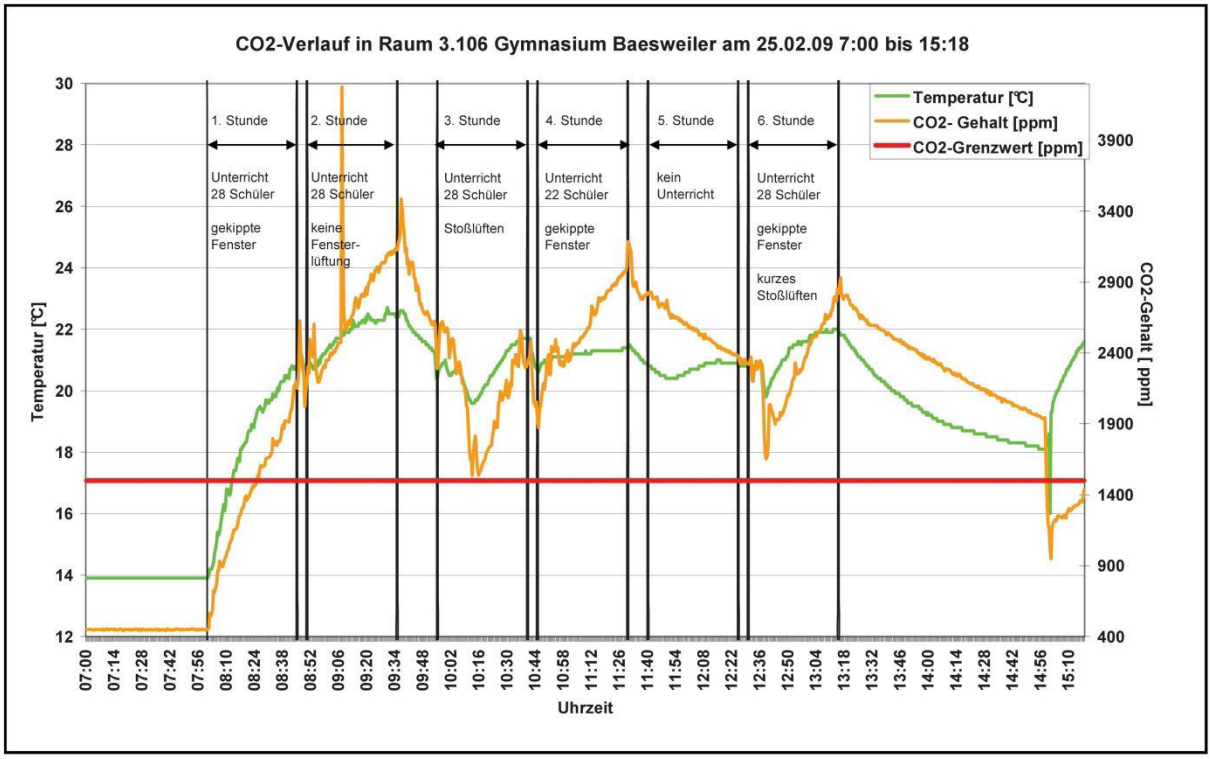


Abb. 52: Abbildung $C0_2$-Werte bei Fensterlüftung

Im Rahmen der Sanierung wurden die Klassenräume mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Die Klassenräume werden mit je 600 m³/h versorgt. Die Auslegung des Volumenstroms der Lüftungsanlage entspricht dabei mit 20 m³/h Person bei der Annahme einer Klassenstärke von 30 Personen den „Hinweisen zur Planung und Ausführung von raumlufttechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude“ (RLT-Anlagenbau 2011) des Arbeitskreises Maschinen– und

Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV). Die AMEV-Richtlinie geht davon aus, dass sich bei dieser Auslegung mit zusätzlicher Fensterlüftung in der Pause eine durchschnittliche Luftqualität von 1.050 ppm einstellt (AMEV, 2011). Im Folgenden ist der Ausschnitt aus der RLT-Anlagenbau 2011 zitiert. Die Ergänzungen in Klammern sind zusätzlich eingefügt um die Bezüge zur DIN EN 15251 zu konkretisieren:

Eine RLT Anlage ohne Kühlung ermöglicht eine dauerhafte Luftqualität mit geringer CO_2-Konzentration ohne Nutzerabhängigkeit und mit hoher Energieeffizienz.
Als Lüftungsrate werden mindestens 20 m³/h Person empfohlen.
Diese liegt im Bereich der DIN EN 15251 Tabelle B2 Kategorie III (1350 ppm, 520 m³/h, Annahmen: [Außenluftkonzentration 550 ppm, 30 Personen, Raum 30m²]) *bei schadstoffarmen Gebäuden.*
Unter Berücksichtigung, dass die Klassenräume während der Pause unbesetzt sind, die RLT- Anlage jedoch weiter betrieben wird und zusätzliche Fensterlüftung möglich ist, ist von einer durchschnittlichen Einstellung der Kategorie II (1050 ppm; Annahmen: Außenluftkonzentration 550 ppm, 30 Personen, Raum 30m²) *auszugehen. Die Kategorie II wird empfohlen.*

(AMEV, 2011)

Bis 2005 galt in Deutschland für Schulen mit technischen Lüftungseinrichtungen nach DIN 1946 Teil 2 ein CO_2-Wert von 1500ppm als hygienischer Richtwert. Seit 2005 bzw. 2007 sind an die Stelle der DIN 1946 Teil 2 die EN 13779 und die DIN EN 15251 getreten, die unterschiedliche Kategorien bzw. Qualitätsstufen für die Raumluftqualität von Nichtwohngebäuden definieren. Die AMEV bezieht sich in ihren Festlegungen auf diese Norm und strebt damit, wie oben aufgeführt, niedrigere CO_2-Werte an.

Das Passivhausinstitut empfiehlt für die Bemessung des Volumenstroms ebenfalls 20-30m³/h Person und nennt entsprechend die Einhaltung eines CO_2-Grenzwertes von 1500ppm als ausreichend.

Bemessung der Volumenströme nach der Personenanzahl

Auch bei Nicht-Wohngebäuden ist die Personenzahl eine wichtige Grundlage zur Bemessung der Volumenströme. 20 bis 30 m³/h/Person sind für eine gute Raumluftqualität völlig ausreichend. Höhere Außenluftmengen können im Winter zu trockener Innenluft führen. Die Luftvolumenströme sind über die Klassifizierung nach EN 13779 definiert. Die Klassifizierung muss mit dem Bauherrn vorab abgestimmt werden. IDA 3 ist für Bürogebäude ausreichend, IDA 4 hat sich für Schulgebäude bewährt, da in den Pausen durchgelüftet wird. Bei typischen CO2-Konzentrationen der Außenluft von ca. 400-500 ppm werden selbst so noch 1500 ppm eingehalten. Eine zeitweise Überschreitung ist zulässig.

(Passivhausinstitut, 2013)

In den weiteren Auswertungen wurde in Absprache mit dem Fördergeldgeber der ursprüngliche Wert von 1.500 ppm zu Grunde gelegt.

4.2.1.1 CO_2-Dauerlinien

Für die CO_2-Messwerte in den einzelnen Räumen wurden Dauerlinien erstellt. Auf Basis dieser Dauerlinien wurde die Anzahl der Stunden, in denen ein CO_2-Wert von 1.500 ppm überschritten wird, ermittelt.

Die tatsächlichen Belegungszeiten für die einzelnen Räume sind nur schwer und sehr aufwendig zu ermitteln. Daraufhin wurden zwei Wege zur Abschätzung der Belegungszeit zugrunde gelegt. Zum einen erfolgte eine rechnerische Abschätzung (6 Schulstunden à 45 min. pro Schultag, Ermittlung Anzahl der Schultage pro Monat unter Berücksichtigung von Ferien und Feiertagen). Zum anderen erfolgte eine Abschätzung der Belegungszeit über das Kriterium CO_2 > 600ppm.

In der folgenden Tabelle sind die prozentualen Überschreitungen des CO_2-Wertes von 1.500 ppm für die einzelnen Räume zusammengestellt.

Raum Nummer	Belegung (P=Personen)	Stunden mit Co2 Konzentration > 1500ppm	Belegungszeitabschätzung Var1	Belegungszeitabschätzung Var 2	prozenzuale zeitliche Überschreitung CO2 >1500ppm	
			Belegungszeit in h Abschätzung über Anzahl Schulstunden pro Tag	Belegungszeit in h Abschätzung über CO2 Konzentration >600ppm	mit Belegungszeitabsch. Var 1	mit Belegungszeitabsch. Var 2
2.002	Belegung variert - Fachsaal	60	833	2375	7%	2,5%
2.101	Belegung variert - Fachsaal	60	603	1550	10%	3,9%
2.203	Oberstufenraum	20	833	2750	2%	0,7%
4.010	Bücherei	31	603	2750	5%	1,1%
3.105	32P_8.Klasse	65	833	2375	8%	2,7%
3.205	26P_7.Klasse	18	603	1000	3%	1,8%
4.008	28P_5. Klasse	37	783	4000	5%	0,9%
4.108	29P_5.Klasse	80	702	2875	11%	2,8%

Abb. 53: prozentuale Überschreitung des CO2-Wertes von 1500 ppm

Die Werte machen deutlich, dass mit dem gewählten Volumenstrom von ca. 600 m^3/h pro Klassenraum CO_2-Werte von 1.500 ppm in mehr als 90 % der Belegungszeit eingehalten werden.

Eine Protokollierung des Lüftungsverhaltens in drei ausgewählten Klassenräumen über zwei Wochen (20.2.- 2.3.) zeigte, dass in den Klassen ein konsequentes Stoßlüften in den Pausen nicht praktiziert wird. Durch ein konsequentes Lüftungsverhalten könnte eine weitere Verbesserung der Luftqualität erreicht werden

Eine Erhöhung des Volumenstroms, um niedrigere CO_2-Werte zu erzielen, erscheint nicht sinnvoll, da dies im Winter zu unbehaglich niedrigen Raumfeuchten führen würde. Wie die Auswertungen im folgenden Kapitel belegen, liegen die derzeitigen Raumfeuchten im „noch behaglichen" Bereich.

4.2.2 Temperatur- und Feuchte

Neben dem CO_2-Wert ist die Kombination aus Feuchte und Temperatur für das Behaglichkeitsempfinden maßgeblich. Untersuchungen haben ergeben, welche Kombinationen von Feuchte und Temperatur als behaglich empfunden werden. Diese Ergebnisse finden sich in dem Behaglichkeitsdiagramm nach (Frank, 1975) wieder.

Der orange eingefärbte Bereich gilt als „noch behaglich“, der rot eingefärbte Bereich als „behaglich“.

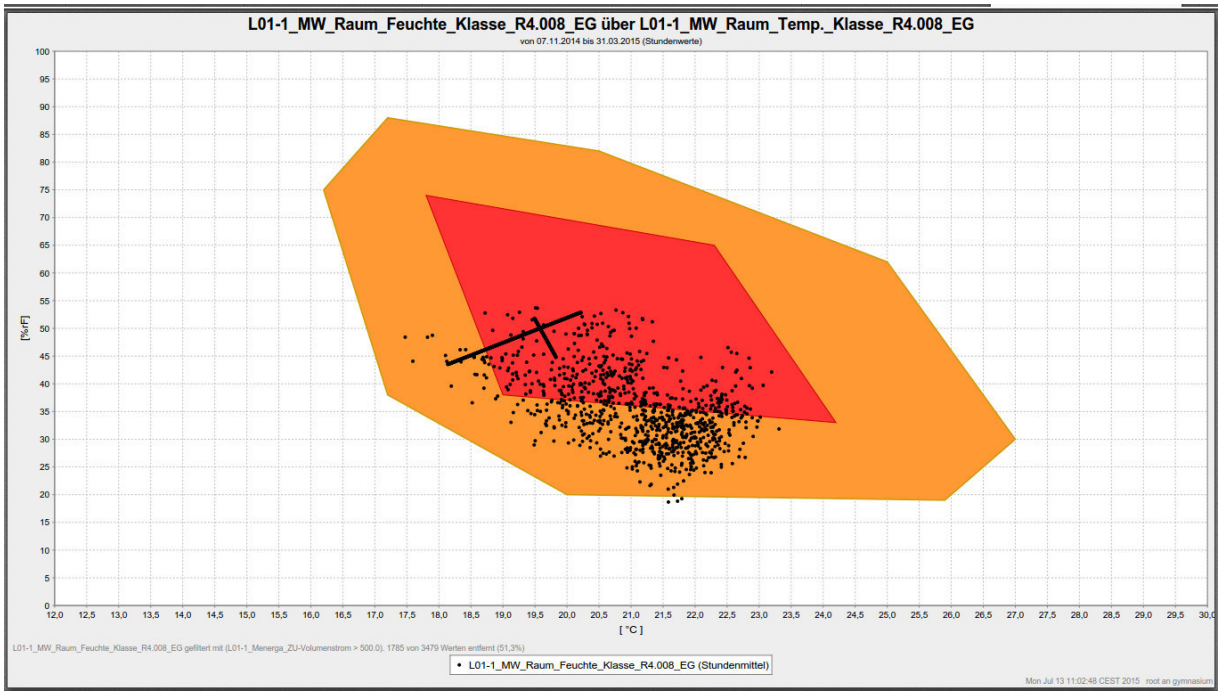


Abb. 54: Behaglichkeitsdiagramm Raum 4.008 für die Heizperiode 2014/2015

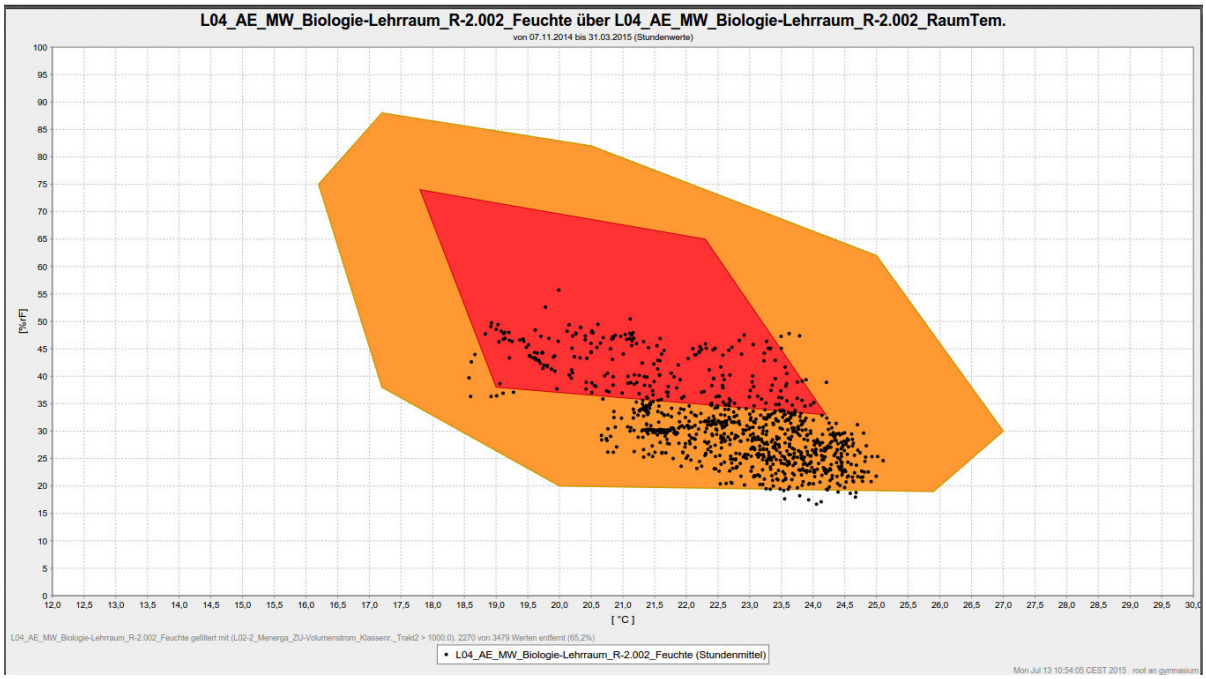


Abb. 55: Behaglichkeitsdiagramm Raum 2.002 für die Heizperiode 2014/2015

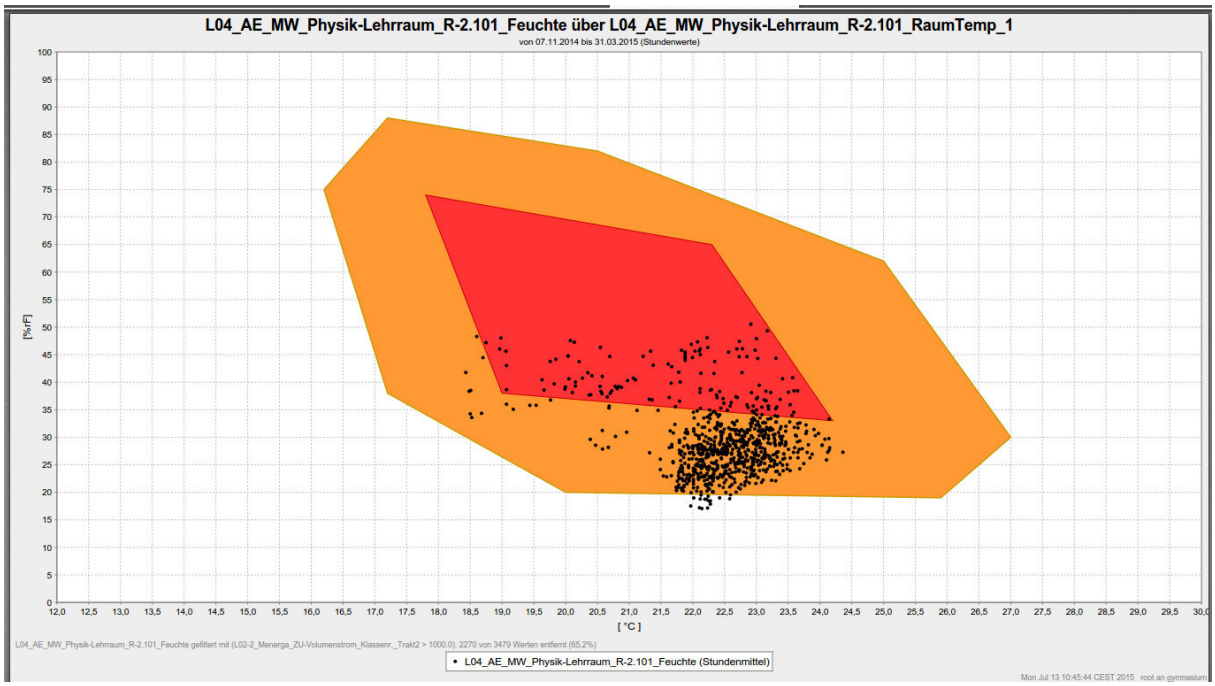


Abb. 56: Behaglichkeitsdiagramm Raum 2.101 für die Heizperiode 2014/2015

Die Diagramme zeigen, dass sich die Messwerte für die einzelnen Räume im noch behaglichen Bereich befinden. Die Raumluft ist eher „trocken". Eine Erhöhung des Volumenstroms, um ggf. die CO_2-Werte zu verbessern, würde diese Probleme verstärken und damit ohne andere weitere Maßnahmen eine Unbehaglichkeit in diesem Bereich mit sich bringen.

4.2.3 Überhitzungsstunden

Zur Ermittlung der Überhitzungsstunden wurden für 20 Räume die Stundenmittelwerte der Raumtemperatur über die Außentemperatur für den Zeitraum vom 20.8.2014 - 30.6.2015 ausgewertet. Dieser Zeitraum schließt bewusst keine Sommerferien mit ein, da zu dieser Zeit keine Nutzung stattfindet Außerdem wurden zur Ermittlung der Überhitzungsstunden nur die Stundenmittelwerte während der regulären Nutzungszeit, d.h. Filter Mo-Fr 8-17 Uhr, Lüftungsanlage in Betrieb, zu Grunde gelegt. Für das Jahr ergeben sich ca. 1.660 Nutzungsstunden.

In der folgenden Tabelle sind die absoluten und prozentualen Überhitzungsstunden für die einzelnen Räume aufgelistet.

Raum Nummer	Anzahl Stunden > 26°C während Betriebszeit	prozentualer Anteil Überhitzungsstunden an Betriebszeit	Ausrichtung
1.105	72	4,3%	SO-SW
1.206	240	14,5%	SO-SW-NW
2.013	0	0,0%	SO
2.016	0	0,0%	NW
2.106	83	5,0%	SO
2.114	143	8,6%	SO
2.117	0	0,0%	NW
2.205	343	20,7%	SO
2.206	0	0,0%	NW
3.207	0	0,0%	NW
4.007	0	0,0%	SO
4.008	0	0,0%	SO
4.009	0	0,0%	SW-NW
4.011	0	0,0%	SW-NW
4.105	0	0,0%	SO
4.107	0	0,0%	SO
4.109	0	0,0%	SW-NW
4.205	0	0,0%	-
4.206	21	1,3%	SO
4.209	2	0,1%	SW-NW

Abb. 57: absolute und prozentuale Überhitzungsstunden für den Zeitraum vom 20.8.2014-30.6.2015

In sieben der zwanzig ausgewerteten Räume wurden in diesem Zeitraum Temperaturen über 26°C festgestellt.

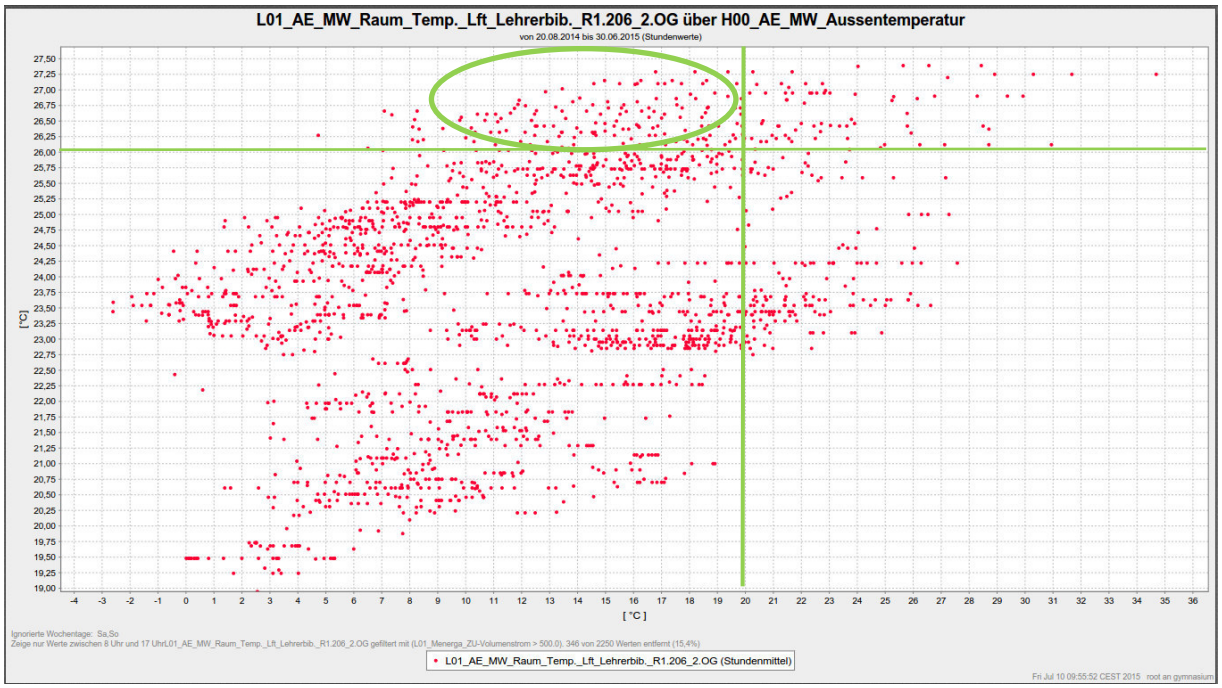
Dabei handelte es sich in sechs Räumen um Südost-orientierte Räume, die mit außenliegendem Sonnenschutz ausgestattet sind (siehe Kap. 2.3.1).

In fünf Räumen (Raum 1.105; Raum 2.106; Raum 2.114; Raum 4.206; Raum 4.209) liegt der prozentuale Anteil der Überhitzungsstunden unter dem vom Passivhaus Institut genannten Grenzwert von 10% und damit im tolerablen Bereich. In zwei Räumen (Raum 1.206; Raum 2.205) überschreitet der Prozentwert der Überhitzungsstunden die 10 %-Grenze.

Die folgenden Grafiken für die Räume 1.206 und 2.205 zeigen jedoch, dass ca. die Hälfte der Überhitzungsstunden bei Außentemperaturen unter 20°C auftreten. Daraus lässt sich schließen, dass durch eine gezielte Nutzung des Sonnenschutzes und ein angepasstes Fensterlüftungsverhalten die Zahl der Überhitzungsstunden noch deutlich reduziert werden kann.

Auch für die Räume mit einem prozentualen Überhitzungsstundenanteil von weniger als 10 % lässt sich eine ähnliche Tendenz feststellen.

Abb. 58: Überhitzungsstunden in Abhängigkeit von der Außentemperatur Raum 1.206



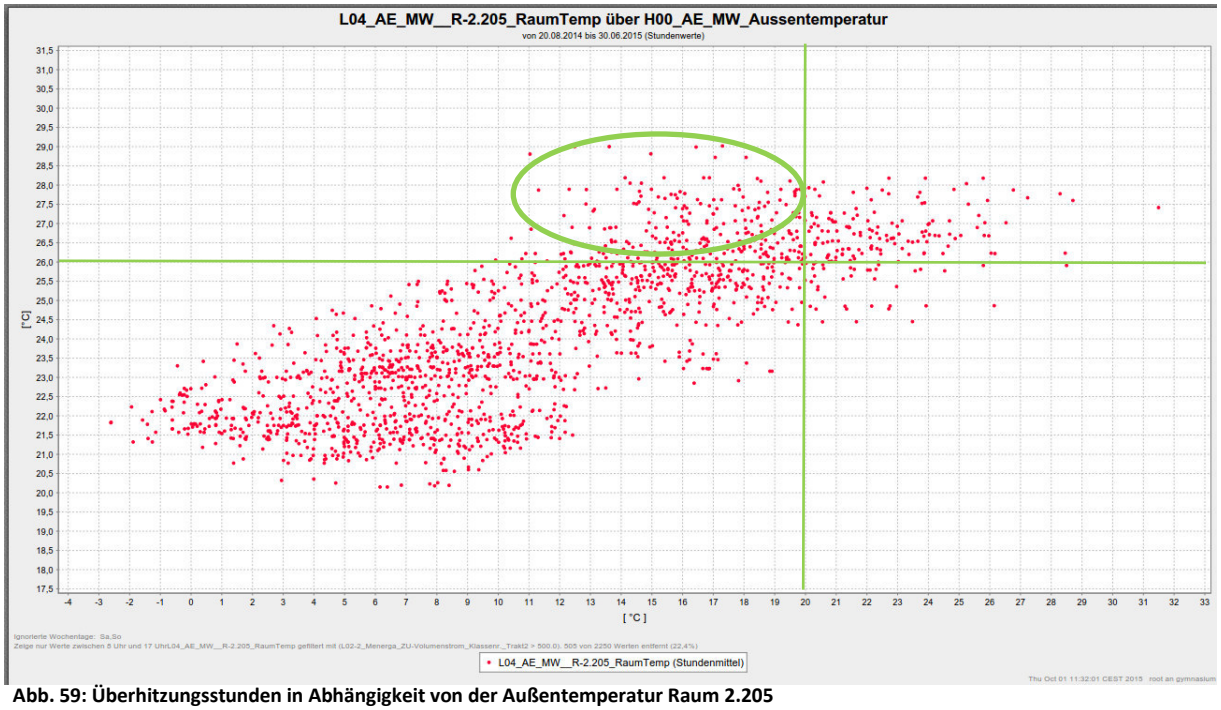


Abb. 59: Überhitzungsstunden in Abhängigkeit von der Außentemperatur Raum 2.205

4.2.4 weitere Handlungsschritte

Zur Verbesserung der CO_2-Werte und zur Verringerung der Überhitzungsstunden soll versucht werden, auf das Nutzerverhalten Einfluss zu nehmen und das Lüftungsverhalten zu optimieren (konsequentes Stoßlüften in den Pausen insbesondere bei hoher Belegung, Lüften bei Überhitzung in den Südost-orientierten Räumen).

Zur Reduzierung der Überhitzungsstunden wird die Regelung des außenliegenden Sonnenschutzes überprüft.

Durch die weitere Auswertung der Behaglichkeitskriterien CO_2, Feuchte/Temperatur und Überhitzungsstunden können die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen überprüft werden.

4.3 Effizienz sommerlicher Wärmeschutz und sommerliche Kühlung

Grundsätzlich sind in dem Gebäude zum sommerlichen Wärmeschutz bzw. zur Kühlung folgende Elemente vorgesehen:

- Außenliegender Sonnenschutz an der Südost-Fassade
- Nachtkühlung über Lüftungsgeräte
- Vorkühlung der Zuluft über das Erdsondenfeld

4.3.1 Außenliegender Sonnenschutz

An der Südost-Fassade ist ein außenliegender Sonnenschutz angebracht. Die ursprüngliche Planung sah eine manuelle Steuerung des Sonnenschutzes im Winter und eine automatische Steuerung des Sonnenschutzes im Sommer vor. Die Ergebnisse aus dem vorangehenden Kapitel zeigen, dass es in Räumen an der Südost-Fassade trotz außenliegendem Sonnenschutz vereinzelt zu Überhitzung kommt. Die Einstellung der Sonnenschutzsteuerung wird daher überprüft.

4.3.2 Nachtkühlung Lüftungsgeräte

Die interne Regelung der Lüftungsgeräte sieht die Möglichkeit einer Nachtkühlung vor. Hierzu wird das Gerät jahreszeitabhängig (Mai- Sep) zu einem gewählten Zeitintervall (z.B. 03:00 Uhr) in Betrieb genommen. Sind die Bedingungen für die freie Nachtkühlung (Standardeinstellung: Außentemperatur >12°C; Außentemperatur mindestens 3K über Sollwert Tagesbetrieb) erfüllt, läuft die Anlage weiter; wenn nicht, schaltet sie wieder ab.

Nach Auswertung der Daten stellte sich heraus, dass lediglich im Trakt 1 die Nachtkühlung in Betrieb war. Zur Betriebsoptimierung und um die intervallmäßige Anschaltung der Lüftungsanlage zu vermeiden, wurde vorgeschlagen, die externen Temperaturfühler zur Überprüfung der Einschaltbedingungen der Nachtkühlung zu nutzen. Die Höhe der Angebote der beteiligten Firmen führte dazu, dass aus Kostengründen auf diese Variante verzichtet wird. Auf Basis der Auswertung der Überhitzungsstunden sollte auf die Inbetriebnahme der Nachtkühlung zunächst verzichtet werden. Es wird davon ausgegangen, dass nach der Optimierung der Sonnenschutzregelung keine signifikante Anzahl von Überhitzungsstunden auftreten wird.

4.3.3 Vorkühlung der Zuluft über das Erdsondenfeld

Das Anlagenkonzept sieht vor, das Erdsondenfeld im Sommer zur Kühlung der Klassenräume über die Zuluft zu nutzen. Neben dem Kühleffekt für das Gebäude ist hiermit ein Regenerationseffekt für das Erdsondenfeld verbunden. Da die Verteilung der Kälte und Wärme über ein 1-Leitersystem realisiert ist, ist eine klare regelungstechnische Abgrenzung von Heiz- und Kühlbetrieb erforderlich. Das erste Planungsstadium sah einen außentemperaturabhängigen Dreibandbetrieb vor. Im Laufe des Planungs- und Bauverlaufs wurde das Regelungskonzept verändert. Aufgrund der aktuellen regelungstechnischen Einstellung (alle Lüftungsanlagen müssen Kühlbedarf melden, bevor die Kühlung in Betrieb geht), ist der Fall der sommerlichen Kühlung über das Erdsondenfeld bisher noch nicht eingetreten.

Im Rahmen des Monitorings wurde beschlossen, auf das ursprünglich vorgesehene außentemperaturabhängige Dreibandbetrieb-Regelungskonzept zurückzugreifen. Die hierfür notwendigen Maßnahmen wurden von der Regelungstechnikfirma angeboten und sollen in Kürze umgesetzt werden.

Die Auswertung der Erdsondentemperaturen ergab, dass eine Regeneration des Erdsondenfeldes derzeit noch nicht erforderlich ist. Nach den Messungen hat sich das Feld seit Inbetriebnahme im Januar 2014 im unteren Bereich um 1K abgekühlt. Grundsätzlich müssen die Erdsondentemperaturen weiter beobachtet werden.

Aufgrund des nicht zu vernachlässigenden Stromverbrauchs, der mit der Kühlung der Zuluft über das Erdsondenfeld verbunden ist (Erdsondenpumpe ~3kW), sollte diese auch ausschließlich für Regenerationszwecke und nicht für Behaglichkeitszwecke eingesetzt werden; insbesondere, da die Auswertung der Überhitzungsstunden keine Notwendigkeit der Kühlung aus Behaglichkeitsgründen ergibt.

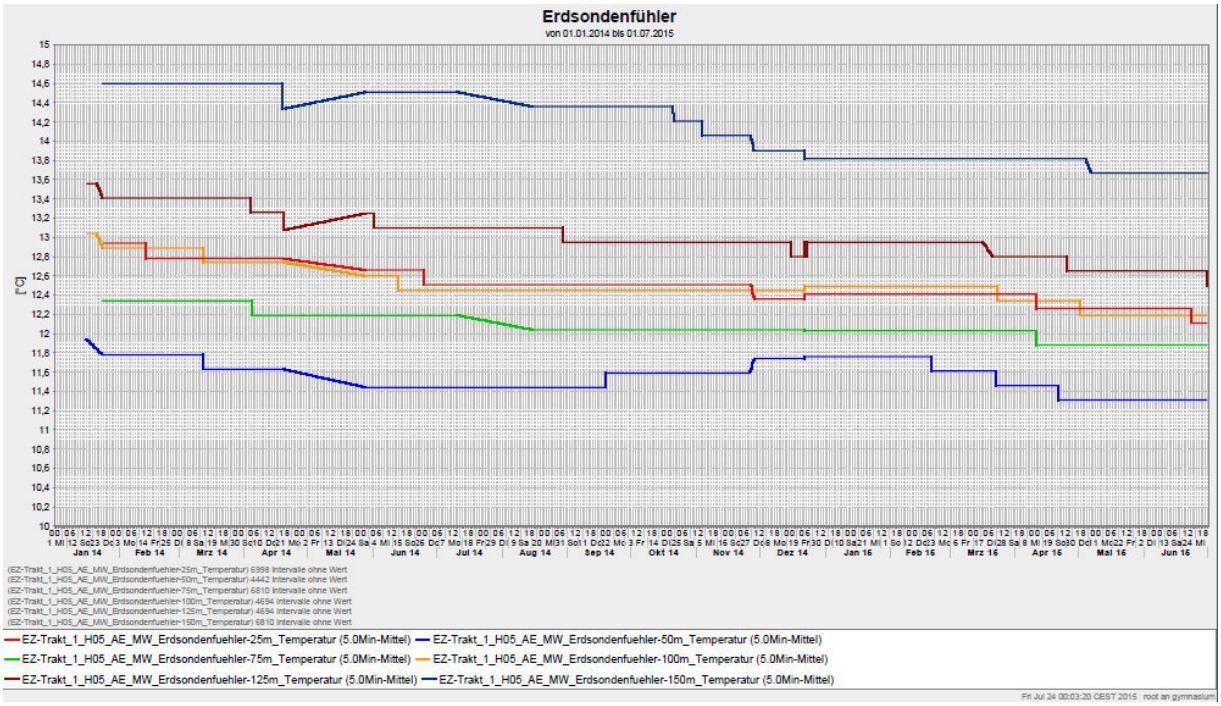


Abb. 60: Auswertung Erdsondentemperaturen

4.3.4 Weitere Handlungsschritte

Die Einstellung der Sonnenschutzsteuerung wird überprüft und optimiert.

Die Inbetriebnahme der freien Nachtkühlung sollte überdacht werden. Um unnötigen Stromverbrauch zu vermeiden, ist eine Inbetriebnahme bei der derzeitigen Überhitzungsstundensituation nicht zu empfehlen.

Das Regelkonzept für die Kühlung über das Erdsondenfeld wird auf das ursprünglich geplante Dreiband-Konzept zurückgeführt. Eine Inbetriebnahme soll in Abhängigkeit des Zustandes des Erdsondenfeldes erfolgen (jährliche Überprüfung). Um unnötigen Stromverbrauch zu vermeiden, ist eine Inbetriebnahme aus Behaglichkeitsgründen bei der derzeitigen Überhitzungssituation nicht zu empfehlen.

Die Dokumentation der Einstellungen der GLT weist Lücken auf. Dies betrifft sowohl das Gewerk Heizung als auch Lüftung. Im Rahmen der Optimierungsarbeiten werden die geänderten Regelungseinstellungen dokumentiert.

Im Verlauf der Gespräche zu möglichen Regelungsänderungen an den Lüftungsgeräten wurde deutlich, dass die Schnittstellen zwischen Gebäudeleittechnik und lüftungseigener Regelung im Vorfeld nicht eindeutig definiert waren. Dies sollte bei zukünftigen Projekten klarer definiert werden.

4.4 Effizienz Wärmepumpe

Zur Wärmeversorgung der Gebäude wurde eine Erdreichwärmepumpe der Firma Combitherm mit 136 kW Leistung und ein Gasbrennwertkessel mit 311 kW Leistung installiert. Das Erdsondenfeld besteht aus 13 Sonden à 140 m.

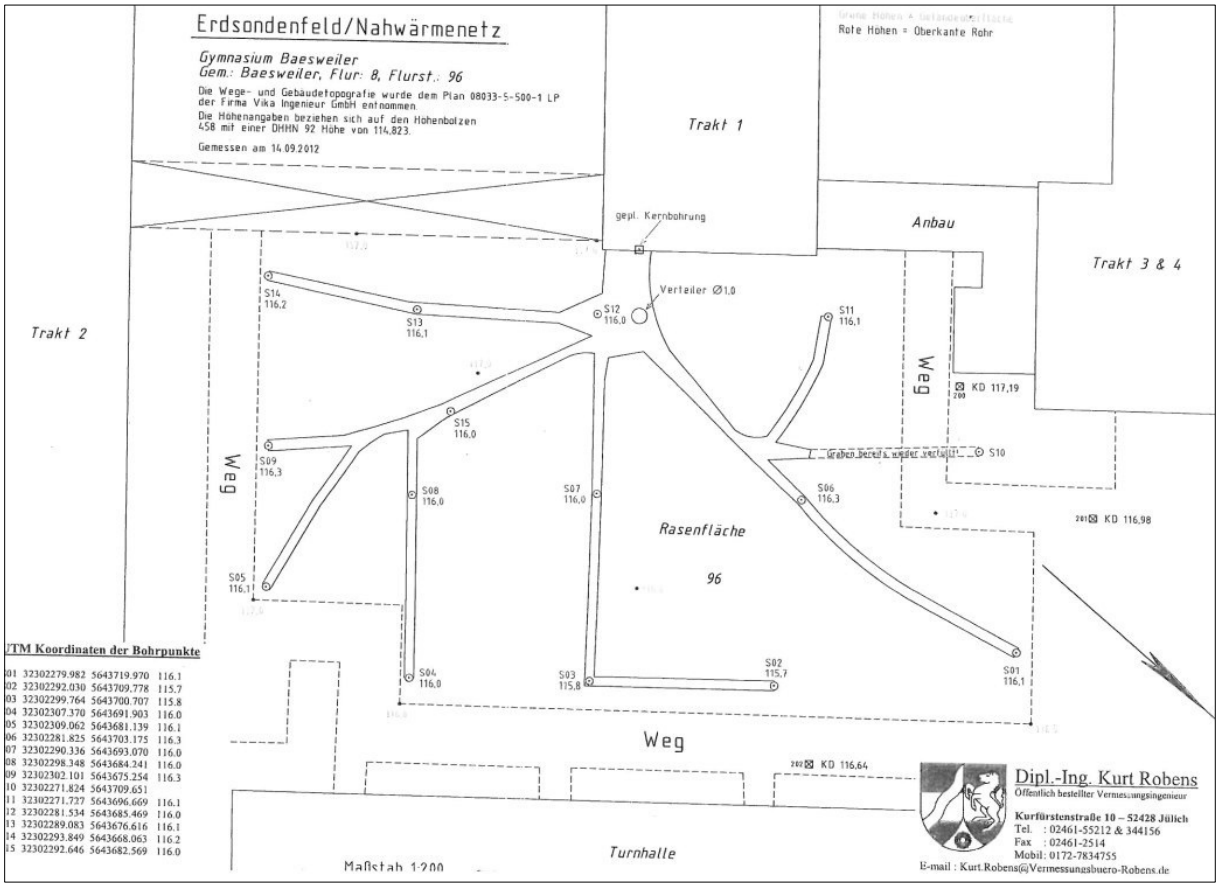


Abb. 61: Plan Erdsondenfeld

Im Rahmen des Monitorings wurden die Arbeitszahlen, gelieferte Wärmemengen und die hydraulische und regelungstechnische Einbindung der Wärmepumpe ausgewertet.

4.4.1 Arbeitszahlen

Die Ermittlung der Arbeitszahl der Wärmepumpe ist grundsätzlich für unterschiedliche Bilanzgrenzen möglich. Im Rahmen dieses Monitorings wurden folgende Arbeitszahlen ermittelt:

AZO= (Heizenergie von der Wärmepumpe)/ Elektroenergieverbrauch durch Verdichter und Steuerung

AZ1= Heizenergie von der Wärmepumpe/ Elektroenergieverbrauch von Verdichter, Steuerung und Solepumpe

Die Benennung in Abhängigkeit der Bilanzgrenzen erfolgte in Anlehnung an die Untersuchung des Fraunhofer-Institutes zu Wärmepumpen-Effizienz ISE (Fraunhofer Institut (ISE), 2010).

Die gelieferte Wärmemenge der Wärmepumpe wird über die GLT erfasst. Der Stromzähler der Wärmepumpe (Verdichter und Steuerung) ist nicht auf die GLT aufgelegt. Die Erfassung der Stromverbrauchswerte erfolgte über eine monatliche manuelle Ablesung. Der Stromverbrauch der Erdsondenpumpe wird über keinen gesonderten Zähler erfasst. Der Verbrauch wird zur Ermittlung der Arbeitszahl über die Leistung der Pumpe (~3kW) und die Betriebsstunden der Wärmepumpe (werden über die GLT erfasst) abgeschätzt. Auf Basis dieser Werte wurden monatliche Arbeitszahlen ermittelt.

	AZO	AZ1
November	4,08	3,57
Dezemebr	5,22	4,22
Januar	5,18	4,15
Februar	5,06	4,02
März	4,96	3,82
April	5,18	4,23
Mai	4,90	3,99
Mittelwert mit Nov	**4,94**	**4,00**
Mittelwert ohne Nov	5,08	4,07

Abb. 62: Arbeitszahl AZ0 und AZ1 für den Heizbetrieb Nov14-Mai15

Die Arbeitszahl AZO liegt über den Heizbetrieb (November-Mai) gemittelt bei 4,9. In der Untersuchung des Fraunhofer ISE (Fraunhofer Institut (ISE), 2010) lagen die Arbeitszahlen für Erdreich-Wärmepumpen bei 4,19. Bei der Untersuchung handelt es sich aber um Jahresarbeitszahlen, die auch den Sommerbetrieb zur Warmwasserbereitung mit berücksichtigen und damit vergleichsweise niedriger liegen. Die vorliegende Arbeitszahl von 4,9 ist als gut einzustufen.

Die Arbeitszahl AZ1 liegt über dem Heizbetrieb (November-Mai) gemittelt bei 4. In der Untersuchung des Fraunhofer ISE (Fraunhofer Institut (ISE), 2010) lagen die Arbeitszahlen für Erdreich-Wärmepumpen bei 3,94. Bei der Untersuchung handelt es sich aber wieder um Jahresarbeitszahlen, die auch den ungünstigeren Sommerbetrieb zur Warmwasserbereitung mit berücksichtigen und damit vergleichsweise niedriger liegen. Die vorliegende Arbeitszahl AZ1 von 4.0 weist damit auf einen vergleichsweise hohen Pumpenstromverbrauch hin. Dabei muss beachtet werden, dass der Pumpenstromverbrauch lediglich auf Basis der Pumpenkennlinie und der Betriebsstunden abgeschätzt wurde. Hier empfiehlt sich eine Leistungsmessung im Betrieb.

4.4.2 Wärmebereitstellung Wärmepumpe/ Gasbrennwertkessel

Die Wärmepumpe ist mit einer Leistung von 138 kW ausgelegt. Der Gasbrennwertkessel hat eine Leistung von 310 kW. Die Gesamtheizlast der Gebäude beträgt gemäß der Planungsunterlagen 245kW.

Die Wärmepumpe hat in der Heizperiode 2014/15 mit 168.500 kWh knapp 85% der Gesamtheizenergie von 199.400 kWh/a geliefert. Dies ist in Bezug auf das Leistungsverhältnis ein guter Arbeitsanteil. Relativiert wird dieses Ergebnis durch die Tatsache, dass es sich um einen vergleichsweise milden Winter handelte, und dass die regelungstechnischen Einstellungen zu einem zwanghaften Abschalten des Kessels trotz Unterversorgung führten (siehe folgendes Kapitel).

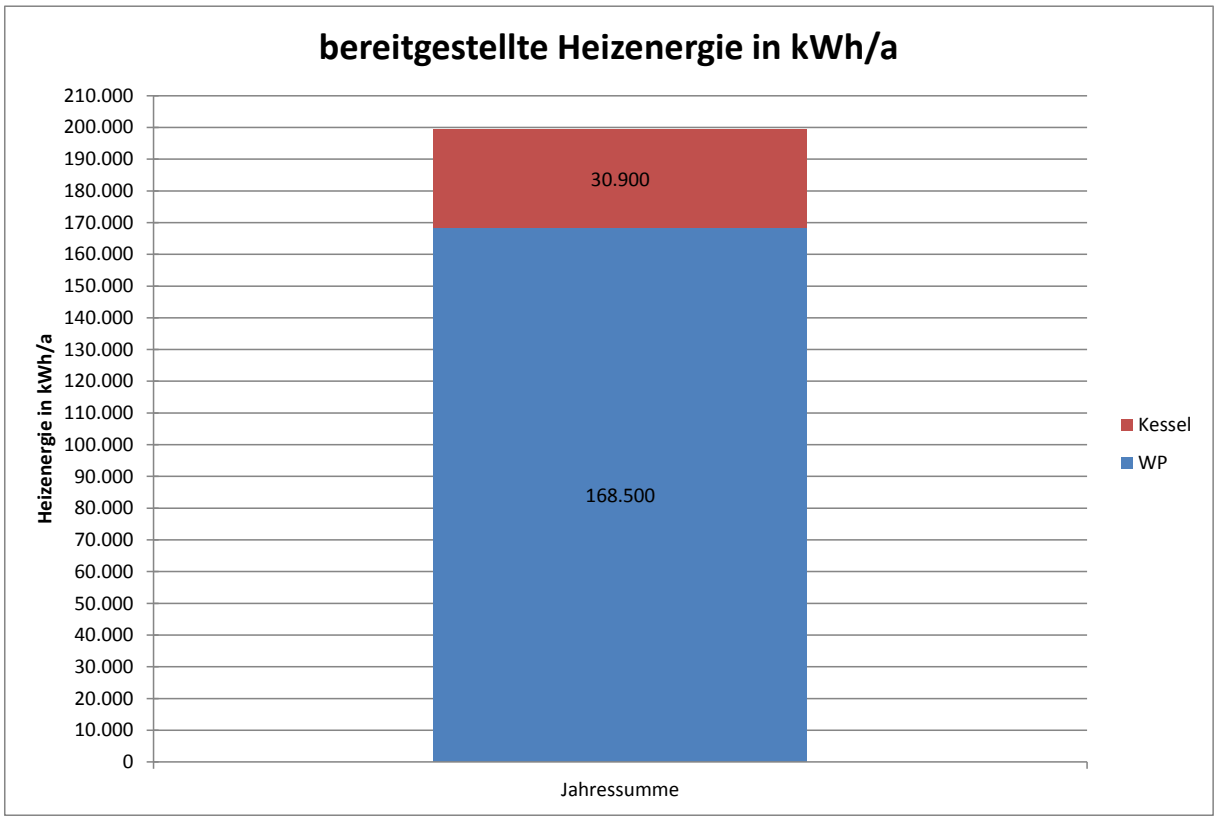


Abb. 63: bereitgestellte Heizenergie durch Wärmepumpe und Kessel

4.4.3 Hydraulische und Regelungstechnische Einbindung der Wärmepumpen

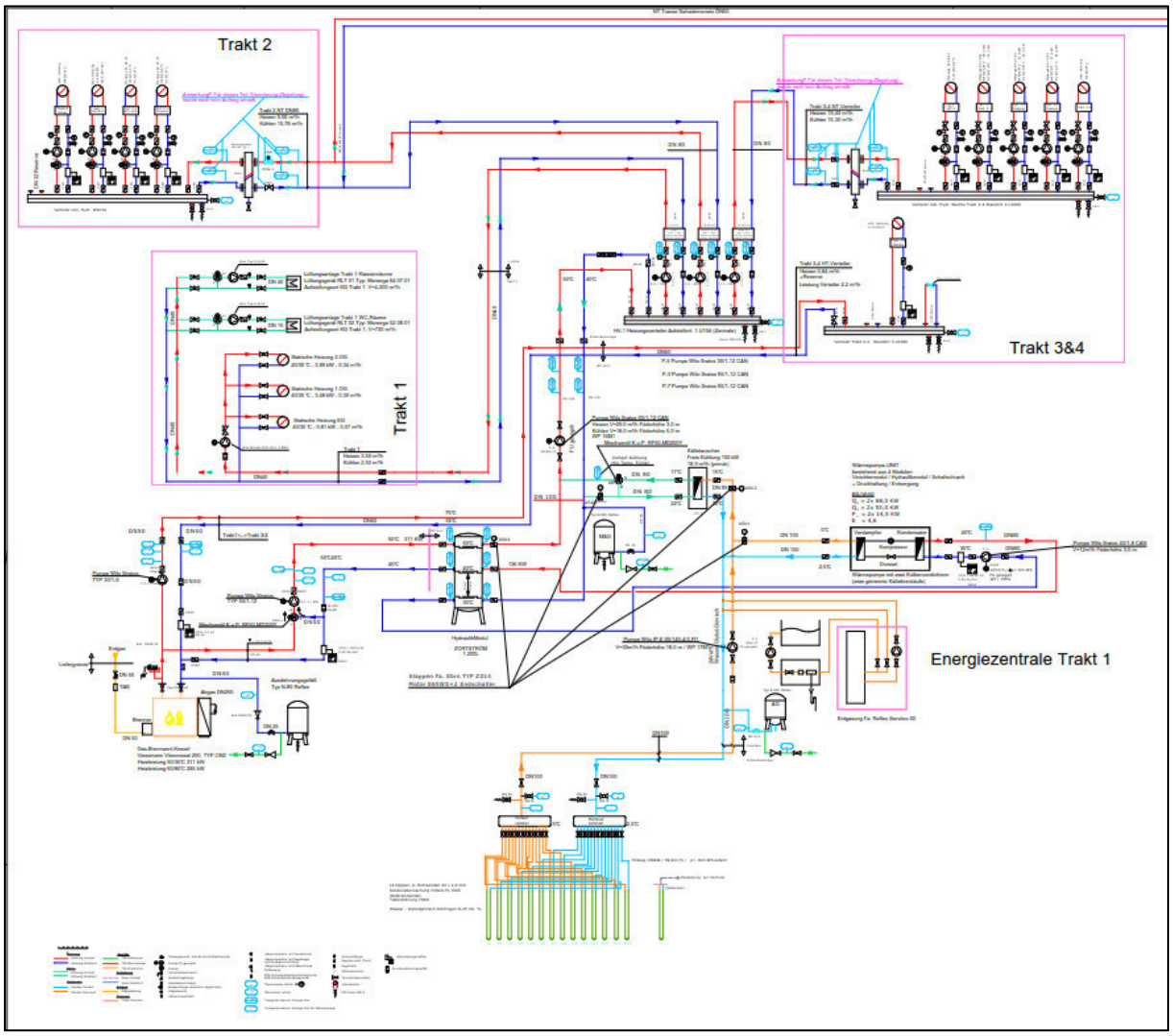


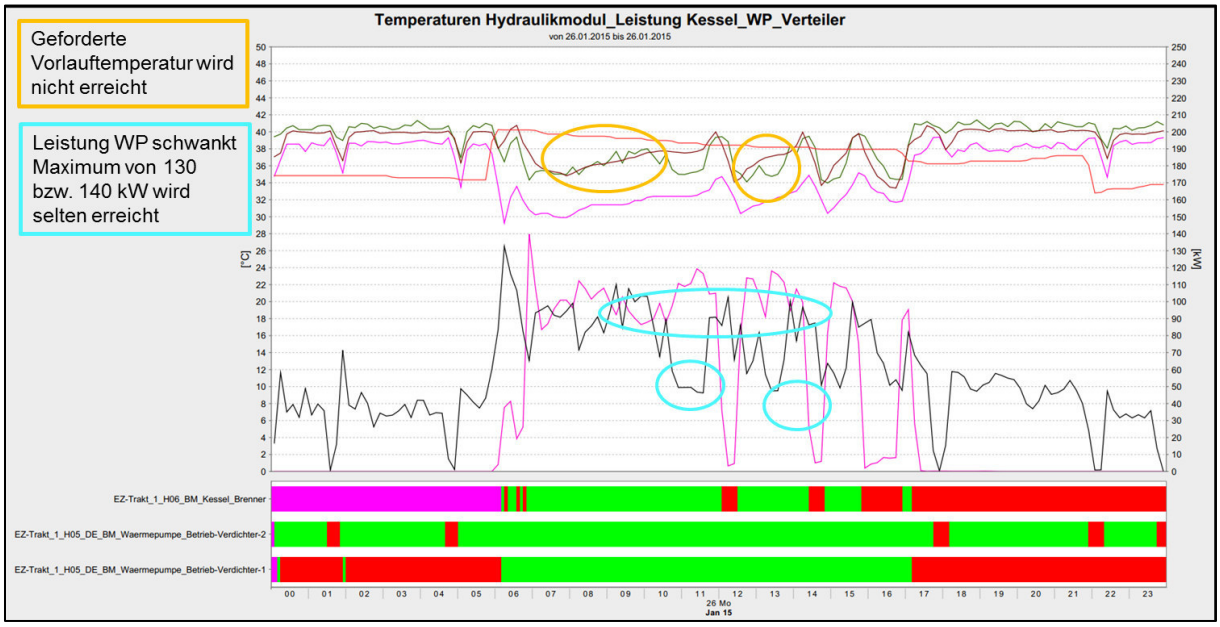
Abb. 64: Anlagenschema

Das Anlagenschema befindet sich ebenfalls im Anhang.

Aus Gesprächen mit dem Betriebspersonal waren bereits früh verschiedene Probleme im Betrieb der Anlage benannt worden

- an kalten Tagen Klagen über zu niedrige Raumtemperaturen
- Wärmepumpe steigt aufgrund zu hoher Rücklauftemperaturen aus

Diese Klagen wurden zum Anlass genommen, den Betrieb der Wärmeerzeuger genauer zu betrachten.



Linke Achse: Temperaturen
Rot: errechn. geford. VL- Temp Hydr.Modul
Dunkelgrün: Vorlauf WP
Pink: Rücklauf WP
Braun : Vorlauf zum Hauptverteiler

Rechte Achse Leistung in kW
Pink: Leistung Kessel
Schwarz: Leistung WP

Abb. 65: Temperaturen und Leistungsauswertungen Wärmeerzeugung

In der oben dargestellten Abbildung werden verschiedene Auffälligkeiten sichtbar:

1. die geforderte Vorlauftemperatur (rote Linie) wird häufig nicht erreicht (braun: Vorlauf Hauptverteiler)
2. die Leistung der Wärmepumpe schwankt (schwarze Linie), die maximale Leistung von 136 K wird selten erreicht, obwohl der Kessel parallel in Betrieb ist

Unterschreitung der geforderten Vorlauftemperatur

Die Ursache für die erste Auffälligkeit wurde im Regelkonzept gefunden. Der in Abb. 66 dargestellte Auszug aus dem Regelkonzept macht deutlich, dass eine Unterversorgung mit Wärme d.h. eine Unterschreitung der geforderten Vorlauftemperatur mit dem realisierten Regelkonzept in Kauf genommen wird. Es ist damit zu rechnen, dass diese einkalkulierte Unterversorgung in strengeren Wintern zu Problemen, d.h. zu niedrigen Raumtemperaturen führen kann. Eine entsprechende Überarbeitung des Regelkonzepts wird vorgenommen.

Auszug aus Regelkonzept

Wärmepumpe

Die Wärmepumpe wird witterungsgeführt nach der Außentemperatur geregelt.

Regelgröße ist die Verteilervorlauftemperatur. Entsprechend der eingestellten Heizkurve wird der Sollwert für die Vorlauftemperatur errechnet und mit dem erfassten Wert verglichen.

Im Winterbetrieb wird die Rücklauftemperatur auf max. 30°C übergeordnet geregelt, um einen maximalen Wirkungsgrad der Wärmepumpe zu gewährleisten. Diese Temperatur wird im Hydraulikmodul unten gemessen. Falls diese Temperatur nicht gehalten werden kann, wird der Kessel runtergeregelt oder ganz abgeschaltet, auch wenn dann die Vorlauftemperatur nicht gehalten werden kann.

Kessel

Wenn die mittlere Hydraulikmodultemperatur über einen Zeitraum von xx Minuten <40°C ist, unterstützt der Kessel die Wärmepumpe. Wenn die untere Hydraulikmodultemperatur über einen Zeitraum von xx Minuten > 32°C ist, wird der Kessel wieder abgeschaltet, damit der Rücklauf der Wärmepumpe nicht übertemperiert wird.

Abb. 66: Auszug Regelkonzept

Das realisierte Regelkonzept versucht dem Umstand entgegenzuwirken, dass die eingesetzten hydraulischen Weichen hohe Rücklauftemperaturen zur Folge haben, was wiederum den Betrieb der Wärmepumpe „gefährdet".

In den Abb. 67 - Abb. 70 ist die Problematik der durch die hydraulischen Weichen verursachten hohen Rücklauftemperaturen dargestellt.

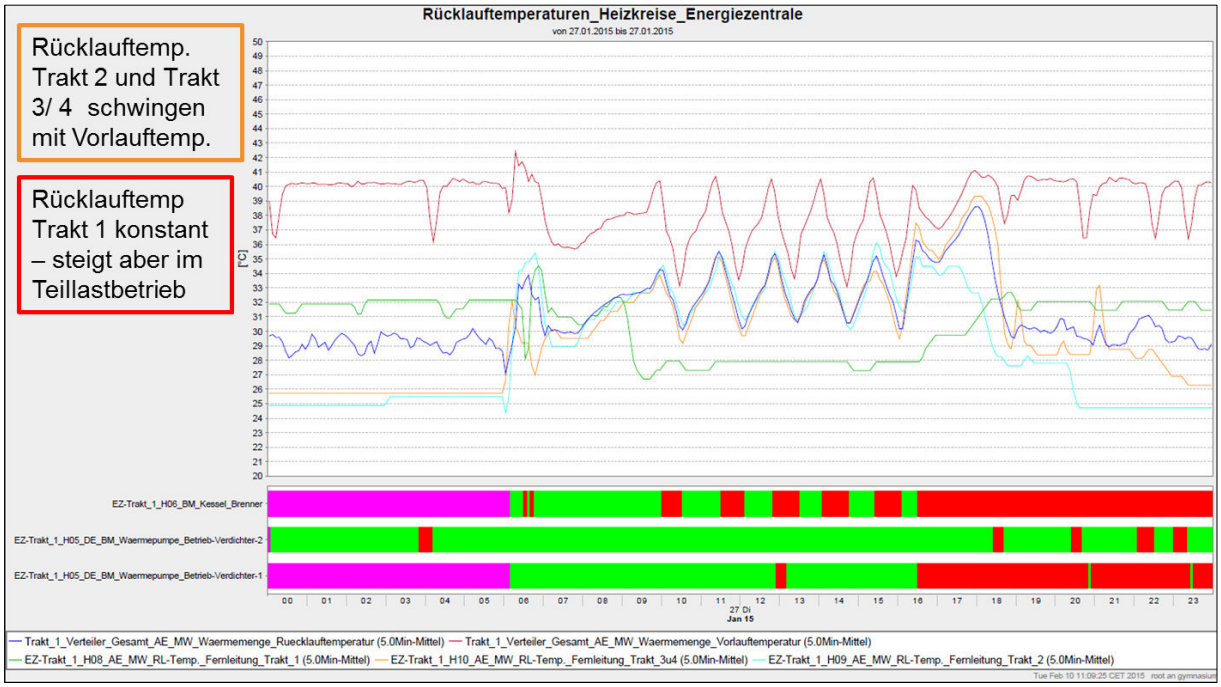


Abb. 67: vor und Rücklauftemperaturen am Hauptverteiler

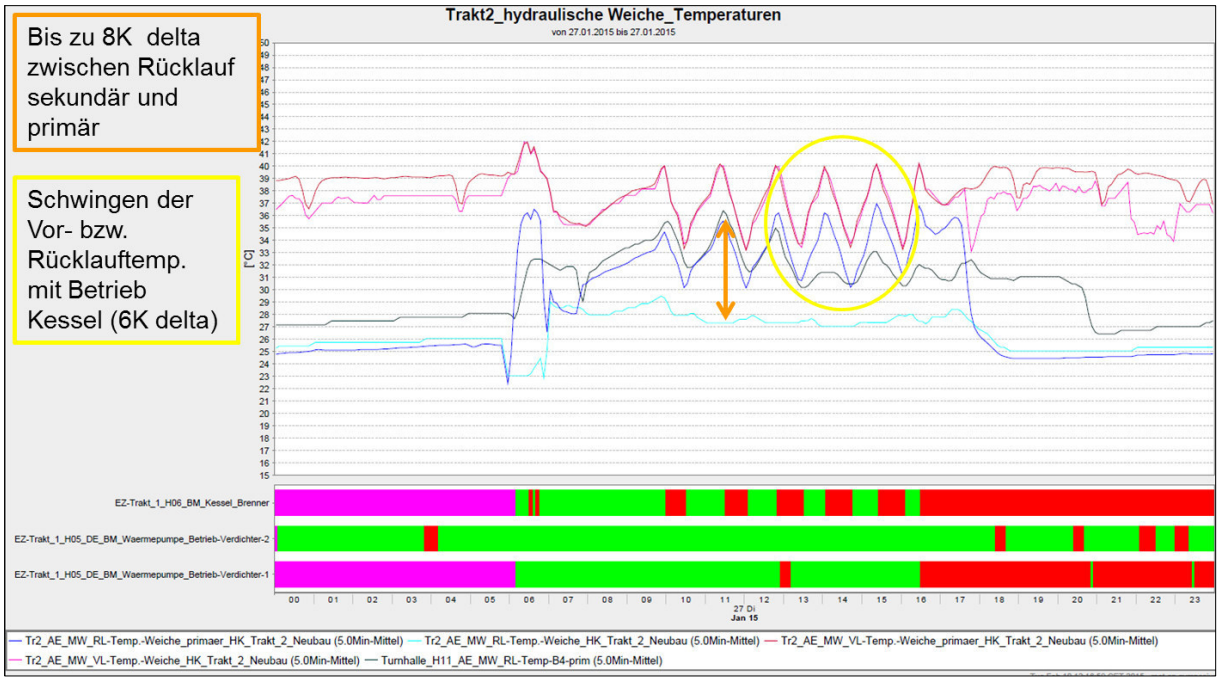


Abb. 68: vor und Rücklauftemperaturen an der hydraulischen Weiche Trakt 2

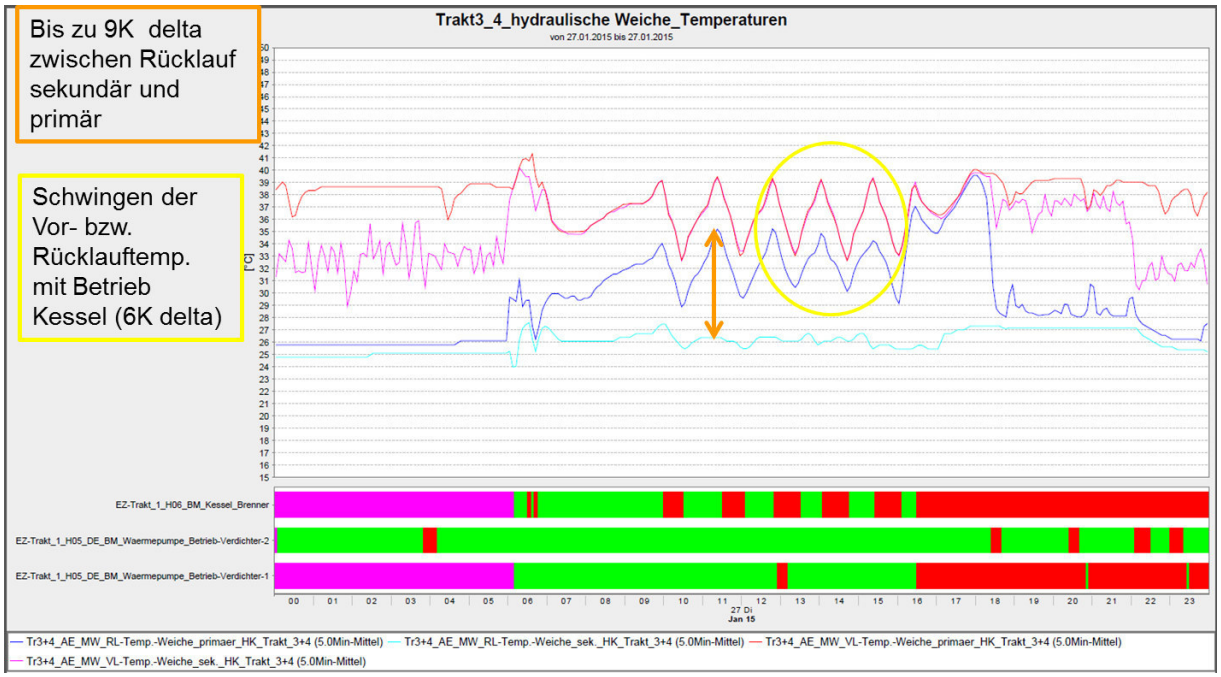


Abb. 69: vor und Rücklauftemperaturen an der hydraulischen Weiche Trakt ¾

Die Problematik wird durch eine hydraulische und regelungstechnische Überarbeitung der Energiezentrale gelöst. Wesentliche Änderung ist dabei ein Verzicht auf die hydraulischen Weichen.

Leistungseinschränkung der Wärmepumpe

Zur Analyse der Leistungseinschränkung der Wärmepumpe wurde die Sole-Vor- und Rücklauftemperatur analysiert.

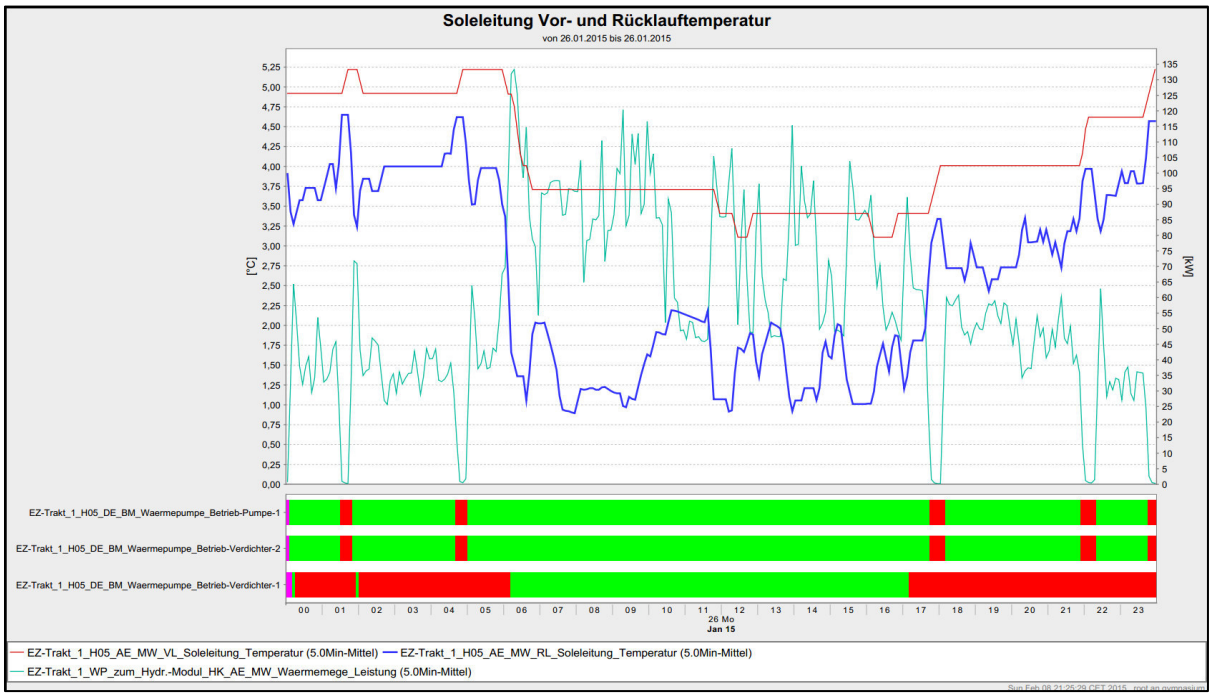


Abb. 70: Vor- und Rücklauftemperaturen des Solekreislaufes

Der Verlauf macht deutlich, dass die Wärmepumpe ihre Leistung reduziert, um eine Unterschreitung der Rücklauftemperatur von 1°C zu vermeiden. Dies führt zu der Vermutung, dass die Ursache der Leistungseinschränkung in dem Leistungsvermögen des Erdsondenfeldes zu suchen ist. Ein daraufhin durchgeführter hydraulischer Abgleich des Erdsondenfeldes deckte auf, dass der geförderte Volumenstrom ca. ¼ unter dem ausgelegten Volumenstrom liegt. Hieraus resultieren folgende weitere notwendige Handlungsschritte:

- Bestimmung des Betriebspunktes der Punkte im Kennlinienfeld der Pumpe unter Berücksichtigung des Glykolgemisches
- Einstellung Drehzahl Pumpe überprüfen
- Überprüfung, ob bei vorhandener Durchströmung der Sonden eine turbulente Strömung gewährleistet ist; bei zu niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten ist dies nicht mehr gegeben und damit verschlechtert sich der Wärmeübergang in den Erdsonden
- Prüfung Druckverlustberechnung des Erdsondenfeldes

4.4.4 weitere Handlungsschritte

Das Regelungs- und Hydraulikkonzept in der Wärmeerzeugungs- und -verteilungsanlage wird überprüft und angepasst, um die hohen Rücklauftemperaturen und die Unterversorgung zu verhindern.

Die Auslegung und Ausführung des Erdsondenfeldes wird weiter untersucht, um die Ursache für die Minderleistung der Wärmepumpe zu finden.

4.5 Auswertung Betriebsverhalten großer Lüftungsanlagen

Im Rahmen der Sanierung wurden Lüftungsanlagen mit Luftmengen von 6.000 – 15.000m³/h eingesetzt. Über das Monitoring sollen das Betriebsverhalten und die Energieeffizienz dieser Anlagen untersucht und mit den Planungswerten abgeglichen werden.

In dem Bauvorhaben wurden Lüftungsanlagen der Firma menerga eingesetzt. Für die Klassentrakte kamen Geräte des Typs Resolair 64 zum Einsatz. Dabei handelt es sich um Lüftungsanlagen mit regenerativen Wärmespeicherpaketen. Im Pädagogischen Zentrum kam ein Gerät des Typs 54 Dosolair mit Doppel-Plattenwärmeübertrager zum Einsatz. In der Turnhalle kam ein Gerät des Typs Adconair 76 mit Gegenstrom-Plattenwärmeübertrager zum Einsatz.

Das Gerät des Typs Resolair 64 gehörte mit zu den ersten Geräten in diesem Volumenstrombereich, die PHPP-zertifiziert wurden. *Zu Planungs- und Baubeginn lag dieses Zertifikat aber nicht vor.*

Für die weiteren Untersuchungen zu Elektroeffizienz und Wärmebereitstellungsgrad wurden folgende Lüftungsanlagen mit entsprechenden Stromzählern und Temperaturfühlern ausgerüstet:

Trakt 1:	Klassenräume und Verwaltung	Gerätetyp 640701
Trakt 3 / 4:	Klassenräume Trakt 4	Gerätetyp 641201
	Pädagogisches Zentrum Anlage	Gerätetyp 541601
Turnhalle:	Halle und Nebenräume	Gerätetyp 761601

4.5.1 Elektroeffizienz

Das Passivhausinstitut fordert im Rahmen seiner Zertifizierungsbedingungen für Lüftungsanlagen für Passivhäuser eine spez. Leistungsaufnahme von max. 0,45 Wh/m³. Für die Ermittlung der Elektroeffizienz wurden die oben aufgeführten Lüftungsanlagen mit Stromzählern ausgestattet. Die Stromzähler wurden im Rahmen der Übergabe des Monitorings nachgerüstet. Daher liegen für diese Zähler erst Werte ab Mitte September 2014 vor. Die Volumenströme der Anlage werden über die GLT erfasst.

Die Ermittlung der spezifischen Leistungsaufnahme ergab folgende Werte

Anlagenbezeichnung	Spez. Leistungsaufnahme Wh/m³	Bemerkungen
Trakt 1 – Anlage1_ Menerga_640701	0,44-0,46	
Trakt3/4_Klassenzimmer_ Menerga_641201	0,53-0,55 Ab Mitte November 0,61-0,63	Ursache für Anstieg bisher unbekannt
Trakt 3/4_Päd.Zentrum_Menerga_541601	0,33-0,35 Ab Mitte November 0,5	Ursache für Anstieg bisher unbekannt
Trakt 5_Turnhalle_menerga_761601 Menerga	1 nach Nachbesserungsarbeiten der Lüftungsfirma; ~0,67	Gleichzeitig Absenkung Kanaldruckverlust bei unverändertem Messwert Volumenstrom, daher Volumenstrommessung nochmal kalibrieren

Abb. 71: spezifische Leistungsaufnahme der Lüftungsgeräte

Da die Lüftungsanlage in der Turnhalle mit 1W/(m³/h) von dem Passivhausrichtwert (0,45W/(m³/h)) stark abwich, wurde genauere Untersuchungen durchgeführt. Bei einem Termin mit der Lüftungsfirma wurden Unstimmigkeiten bezüglich der Volumenstrommessung festgestellt. Es wurden Leckageströme in der Lüftungsanlage und/oder eine falsche Kalibrierung der Volumenstrommessung vermutet. Nach einem Wartungstermin der Lüftungsfirma konnte eine verbesserte spez. Leistungsaufnahme von ~0,67Wh/m³ festgestellt werden. Gleichzeitig war eine Verringerung des Kanaldruckverlustes bei gleichem Volumenstrom zu beobachten. Um den Wert für die Elektroeffizienz abzusichern, wird der Volumenstrom nochmal nachgemessen.

4.5.2 Wärmerückgewinnungsgrad

Die oben aufgeführten Lüftungsanlagen sind jeweils mit einem Außen-, Fortluft- und Ablufttemperaturfühler ausgerüstet worden. Damit lässt sich grundsätzlich ein Wärmerückgewinnungsgrad gemäß folgender Formel ermitteln:

$$\frac{TAbluft - TFortluft}{TAbluft - TAußenluft}$$

Es wird aber ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die so ermittelten Wärmerückgewinnungsgrade aufgrund der Qualität der Temperaturmessungen (Position der Fühler im Kanal) keine wissenschaftlichen Aussagen zur absoluten Höhe des Wärmerückgewinnungsgrades zulassen. Sie sind vielmehr als grober Anhaltswert zur näheren Untersuchung von Auffälligkeiten bei der Betriebsweise der Anlage zu verstehen.

In den folgenden Grafiken sind die Auswertungen zu den Wärmerückgewinnungsgraden der untersuchten Lüftungsanlagen dargestellt.

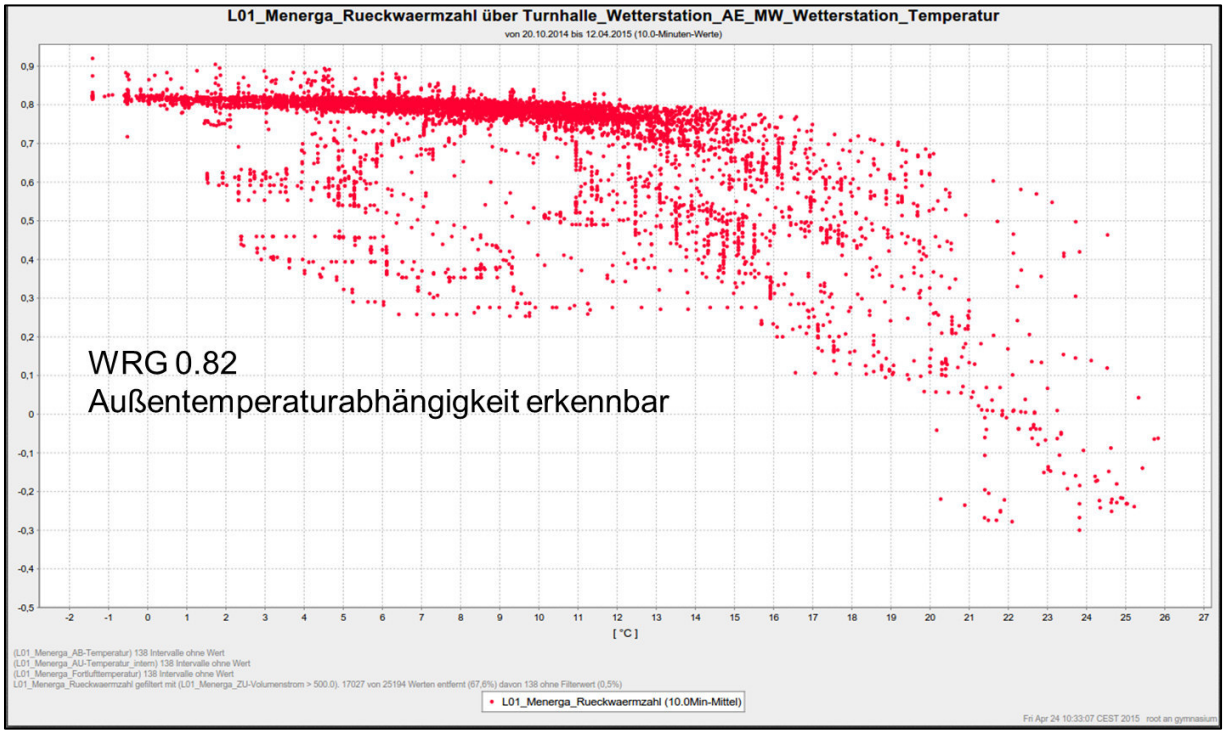


Abb. 72: Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad Anlage Trakt 1_ menerga_Gerätetyp 640701

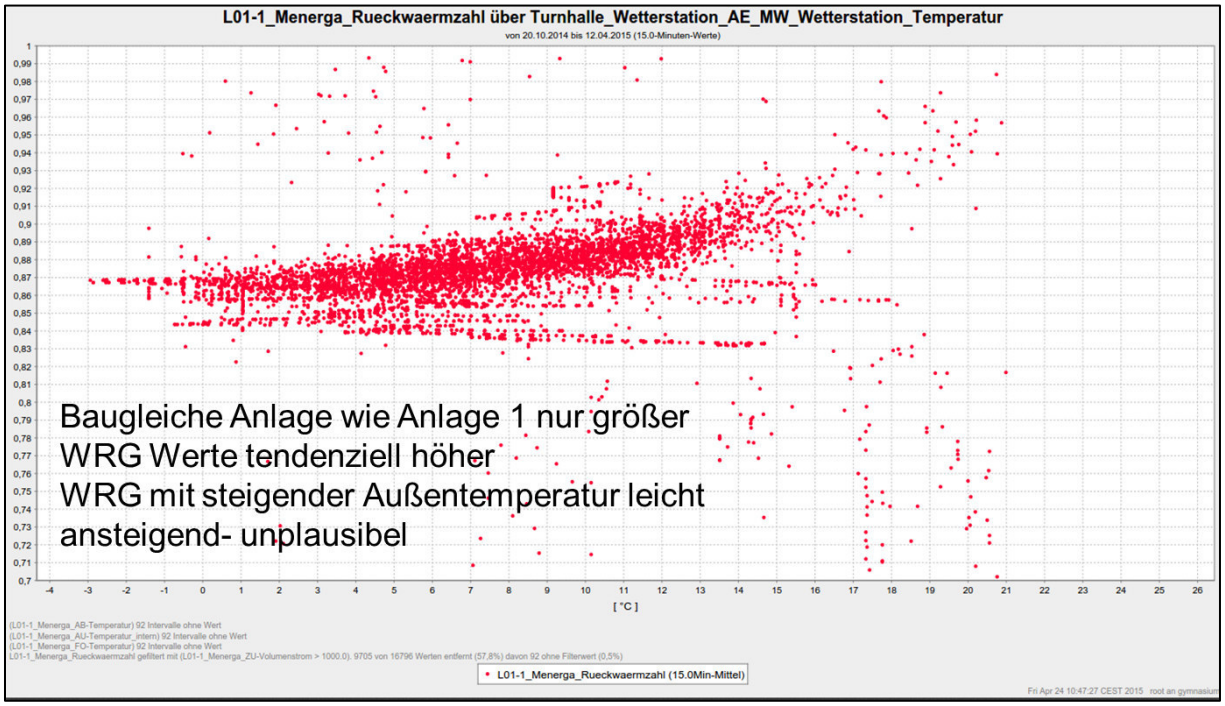


Abb. 73: Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad Anlage Trakt 3/4_ menerga-Gerätetyp 641201

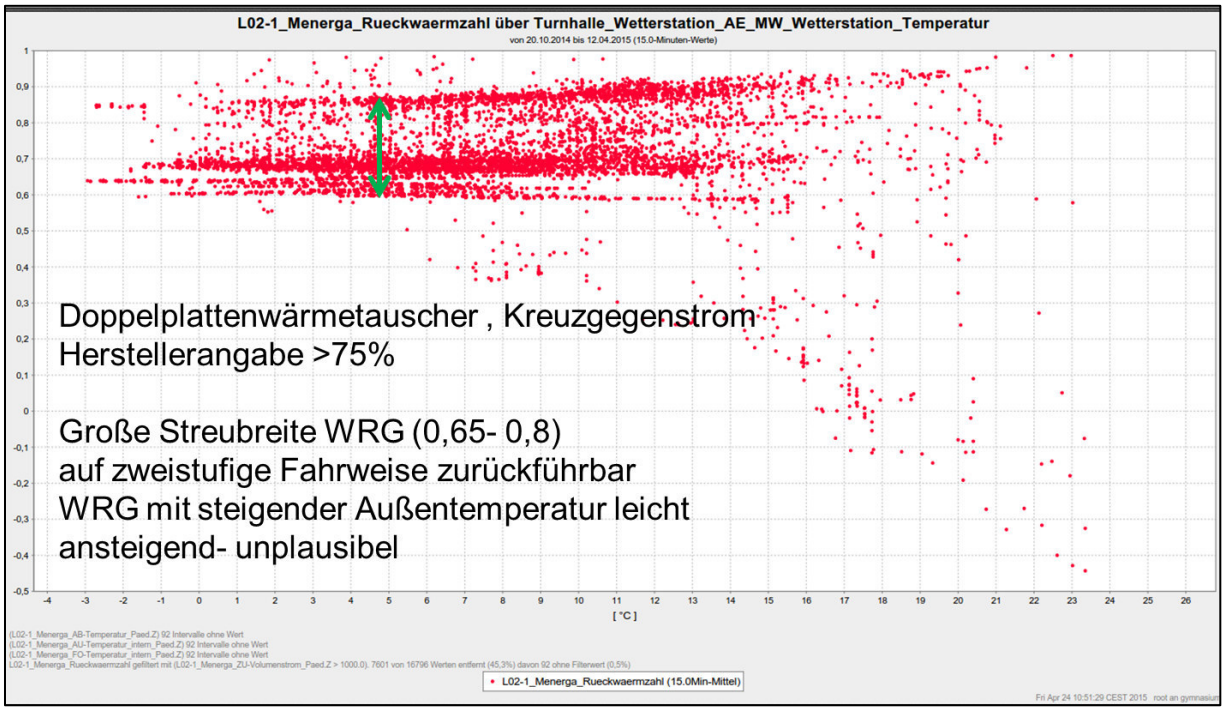


Abb. 74: Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad Anlage Trakt 3/4_ menerga_Gerätetyp 541601

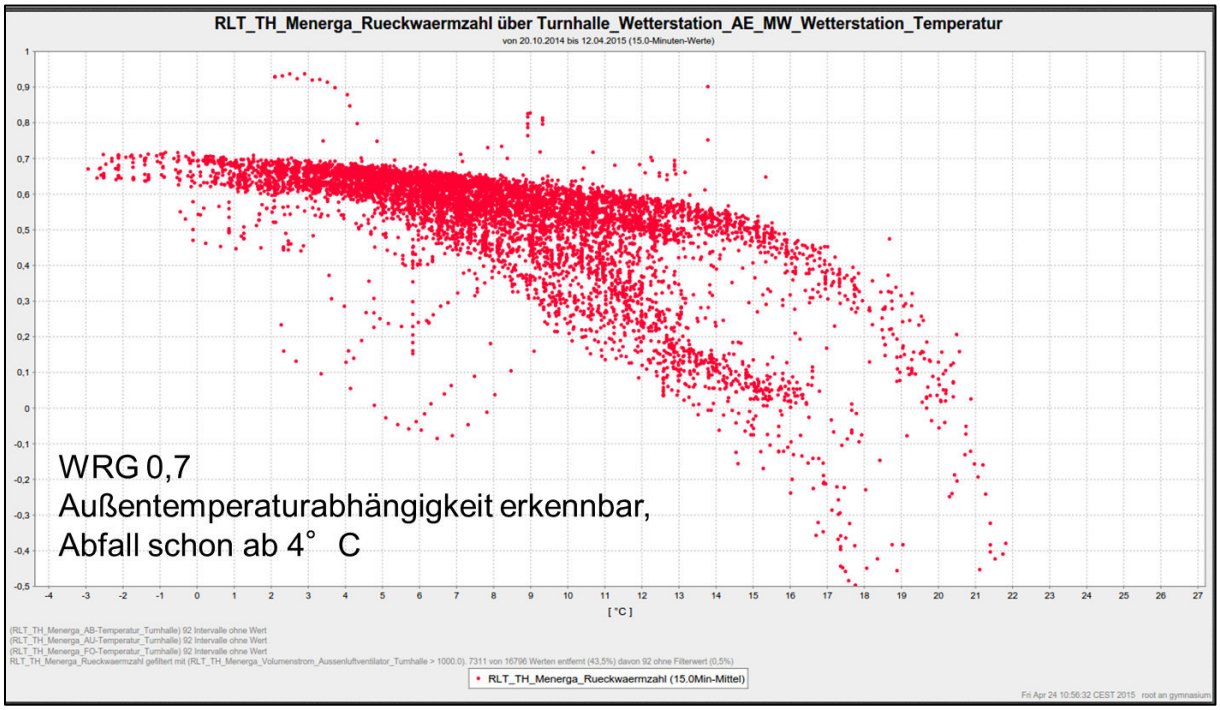


Abb. 75: Auswertung Wärmerückgewinnungsgrad Anlage Turnhalle_ menerga_761601

Aus den Abb. 72 - Abb. 75 lassen sich die folgenden Auffälligkeiten zusammenfassen:

Anlage Trakt 1 Gerätetyp 640701 (regenerativ-Energieaustauscher/ Klappensystem)

- WRG max. ~0,82
- Außentemperaturabhängigkeit feststellbar, Rückwärmezahl sinkt mit steigender Außentemperatur

Trakt 3/4 Gerätetyp 641201 (baugleich wie Anlage Trakt1, nur größer)

- WRG 0,87-0,92
- WRG mit steigender Außentemperatur leicht ansteigend - unplausibel

Trakt 3/4 Gerätetyp 541601 (Doppelplattenwärmetauscher, Kreuzgegenstrom)

- Große Streubreite WRG (0,65- 0,8)
- auf zweistufige Fahrweise zurückführbar
- WRG mit steigender Außentemperatur leicht ansteigend - unplausibel

Trakt 5 Gerätetyp 761601 (Plattenwärmetauscher;Kreuzgegenstrom)

- WRG max. ~0,7
- Außentemperaturabhängigkeit feststellbar, Rückwärmezahl sinkt mit steigender Außentemperatur; schon ab Außentemperatur 4°C

Zur Klärung der Fragen sind zeitnah noch Gespräche mit der Lüftungsfirma zu führen.

4.5.3 Weitere Handlungsschritte

Der Anstieg der spez. Leistungsaufnahme der Lüftungsanlage im Trakt 3/4 ab November 2014 sollte weiter untersucht und analysiert werden.

Der Volumenstrom in der Lüftungsanlage in der Turnhalle sollte zur Absicherung des Elektroeffizienzwertes nachgemessen werden. Die spez. Leistungsaufnahme ist auch nach den Nachbesserungsarbeiten nicht optimal.

Bezüglich der Auffälligkeiten bei den Wärmerückgewinnungsgraden wird nochmals versucht Rücksprache mit der Firma Menerga zu halten.

4.6 Trinkwasserbereitung Turnhalle

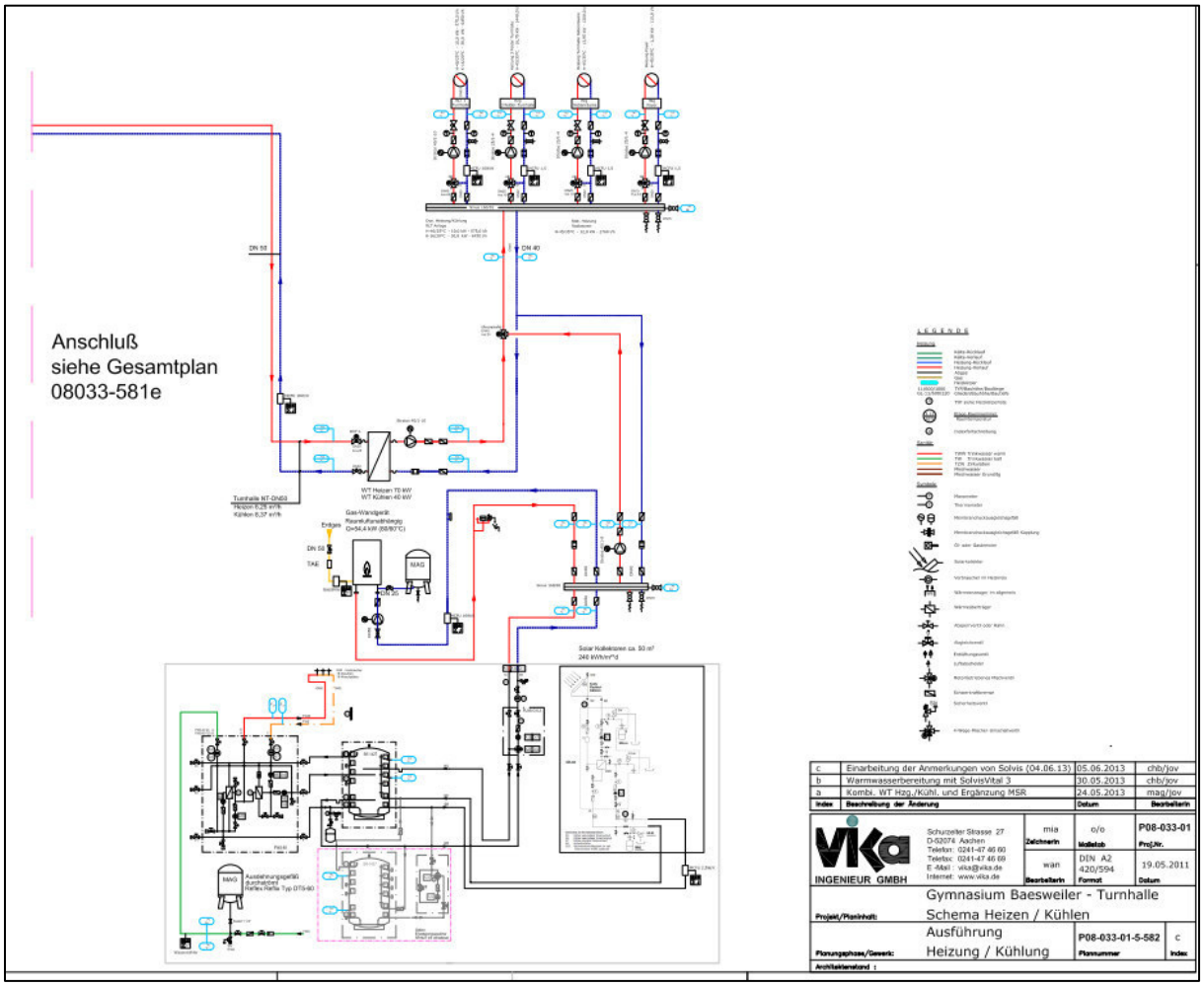


Abb. 76 Anlagenschema Heizzentrale Turnhalle

In Abb. 76 ist das Anlagenschema der Energiezentrale Turnhalle dargestellt. Das Anlagenschema findet sich zusätzlich vergrößert im Anhang.

Die Trinkwarmwasserbereitung in der Turnhalle erfolgt zentral über eine 46 m² große thermische Solaranlage, die an der Turnhallenfassade angebracht ist, und einen Gasbrennwertkessel. Zur Speicherung der Wärme steht ein Pufferspeichervolumen von 2x 1500l zur Verfügung. Die Erwärmung des Wassers erfolgt über eine zentrale Frischwasserstation.

Die Beheizung der Turnhalle erfolgt davon weitestgehend unabhängig über die Nahwärme aus der Energiezentrale in Trakt 1.

Die Anlage zur Trinkwassererwärmung ist an diversen Stellen mit Temperaturfühlern ausgestattet, die über die GLT erfasst werden. Die vom Kessel und der Solaranlage bereitgestellte Wärme wird ebenfalls über die GLT erfasst. Darüber hinaus werden Warmwasserverbrauch und Zirkulationsverluste über die Frischwasserstation erfasst und manuell monatlich abgelesen.

Bei der Berechnung für die Auswahl des Systems wurde ein Warmwasserbedarf von 2.700 l pro Tag (dies entspricht ca. 75 Personen pro Tag, die duschen) angenommen. Im Rahmen des Monitorings konnte festgestellt werden, dass der Warmwasserbedarf mit 189 l pro Tag deutlich geringer ist. Diese Abweichung vom angenommenen Warmwasserverbrauch führt zu starken Verschiebungen hinsichtlich der Wärmeströme. Für die Wahl des richtigen Warmwasserbereitungssystems lohnt es sich daher bei Bestandsbauten im Vorfeld in eine detaillierte Warmwasserverbrauchsmessung zu investieren.

Der reale Warmwasserverbrauch wurde in die PHPP-Berechnung eingesetzt und mit den realen Verbrauchswerten verglichen. In Abb. 77 sind die verschiedenen Werte gegenübergestellt. Insgesamt wurden von Solaranlage und Kessel ca. 25.000 kWh zur Warmwasserbereitung zur Verfügung gestellt. Hiervon entfällt weniger als ein 1/6 auf die für die Wassererwärmung notwendige Nutzenergie (knapp 4.000 kWh). Gut 16.000 kWh wurden als Zirkulationsverluste gemessen. Die verbleibenden gut 5.000 kWh sind Speicherverlusten etc. zuzuordnen.

Im Falle des ursprünglich angenommenen Warmwasserverbrauchs von 2.700 l/Tag ergeben sich logischerweise ganz andere Verhältnisse. Hier liegt der Zirkulations- und Speicherverlust bei lediglich 20%.

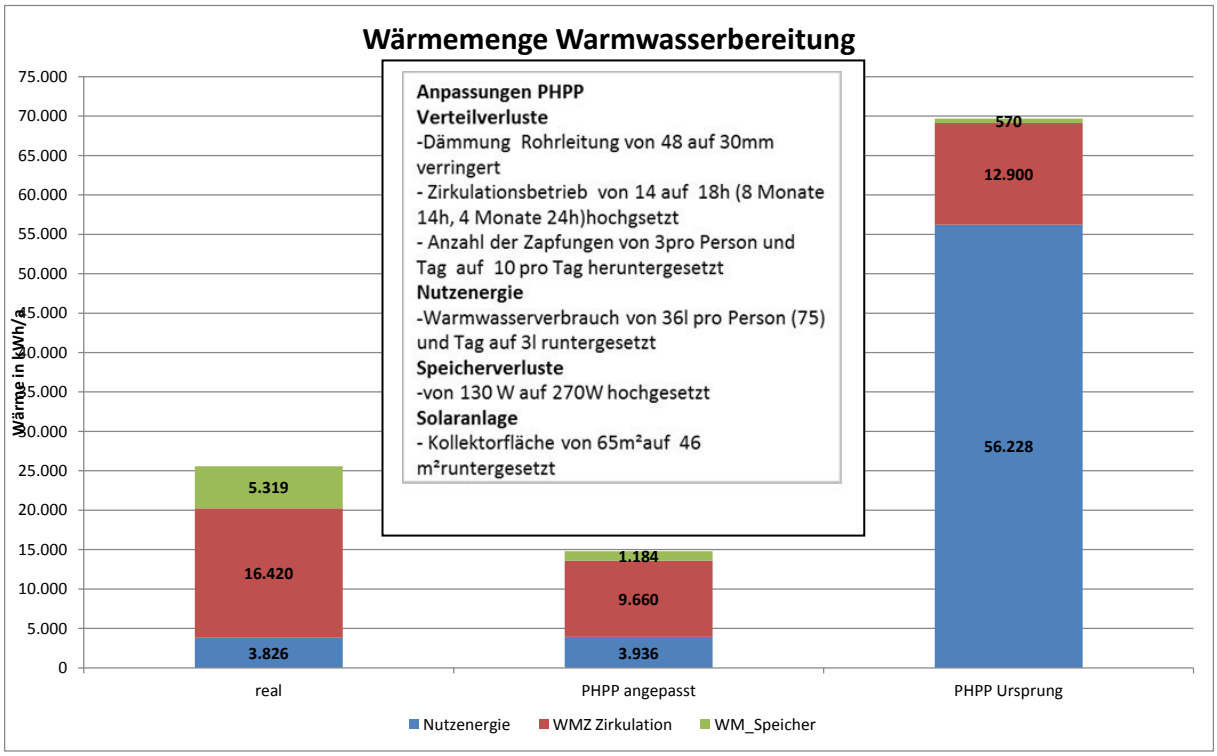


Abb. 77: Gegenüberstellung realer Wärmeverbrauch Warmwasserbereitung PHPP Ursprung und PHPP angepasst

In Abb. 78 ist dargestellt, welchen Anteil die Solaranlage und welchen Anteil der Kessel zur Warmwasserbereitung gemäß PHPP-Berechnung und im realen Betrieb beiträgt.

Es zeigt sich, dass die Solaranlage weit mehr als die prognostizierte Wärmemenge zur Verfügung stellen kann. Die Solaranlage an sich ist daher nicht unter ihren nach PHPP abgeschätzten Erträgen geblieben.

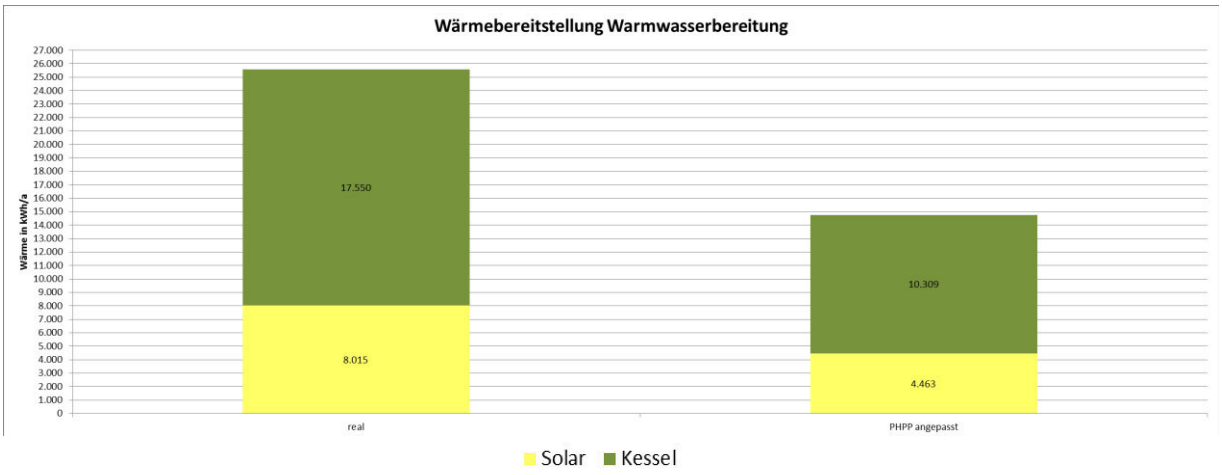


Abb. 78: Gegenüberstellung Wärmebereitstellung Warmwasserbereitung real und PHPP angepasst

Die Problematik der hohen Zirkulationsverluste lässt sich auch in der Auswertung der Temperaturverhältnisse beim Betrieb der Anlage erkennen.

Die in Abb. 79 und Abb. 80 dargestellten Temperaturverhältnisse bei der Warmwasserbereitung zeigen folgende Auffälligkeiten:

- Bei der Nacherhitzung sind die Rücklauftemperaturen zum Kessel mit fast 70°C zu hoch und schwingen mit (türkisfarbener Pfeil)
- Die Vorlauftemperaturen liegen mit 75°C ebenfalls sehr hoch (türkisfarbener Pfeil)
- Der Kessel springt stündlich an (schwarze Markierungsstriche), was auf hohe Zirkulationsverluste schließen lässt
- Das Temperaturniveau des Warmwassers ist mit 67°C sehr hoch

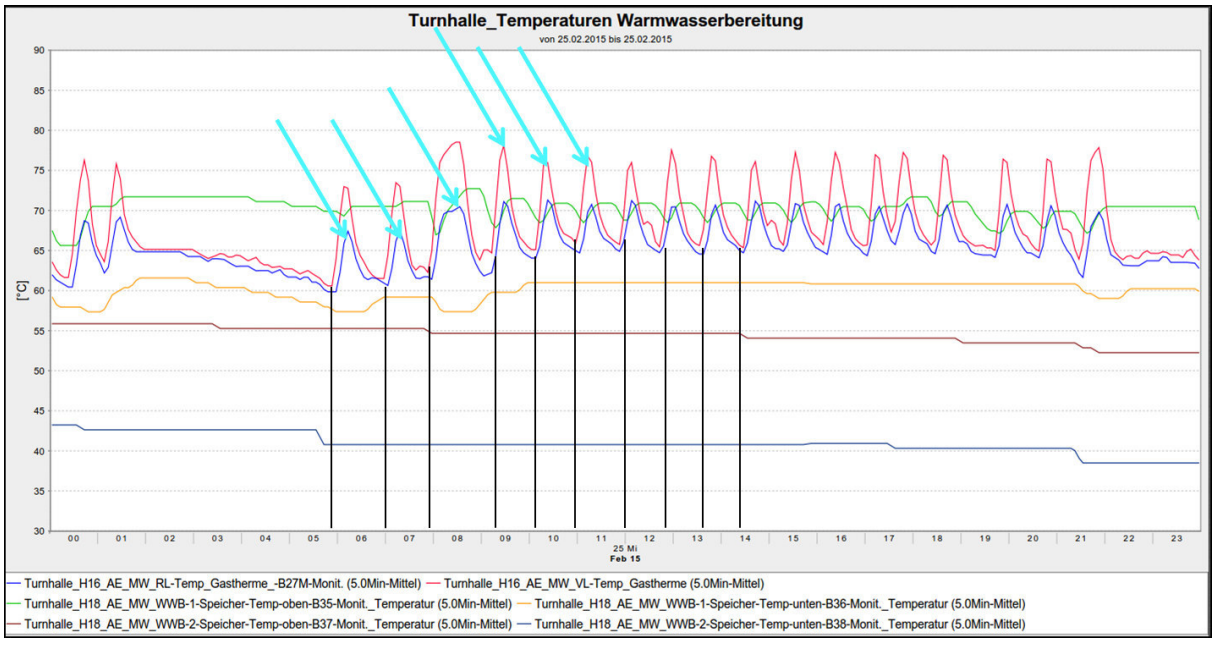


Abb. 79: Temperaturverhältnisse Warmwasserbereitung

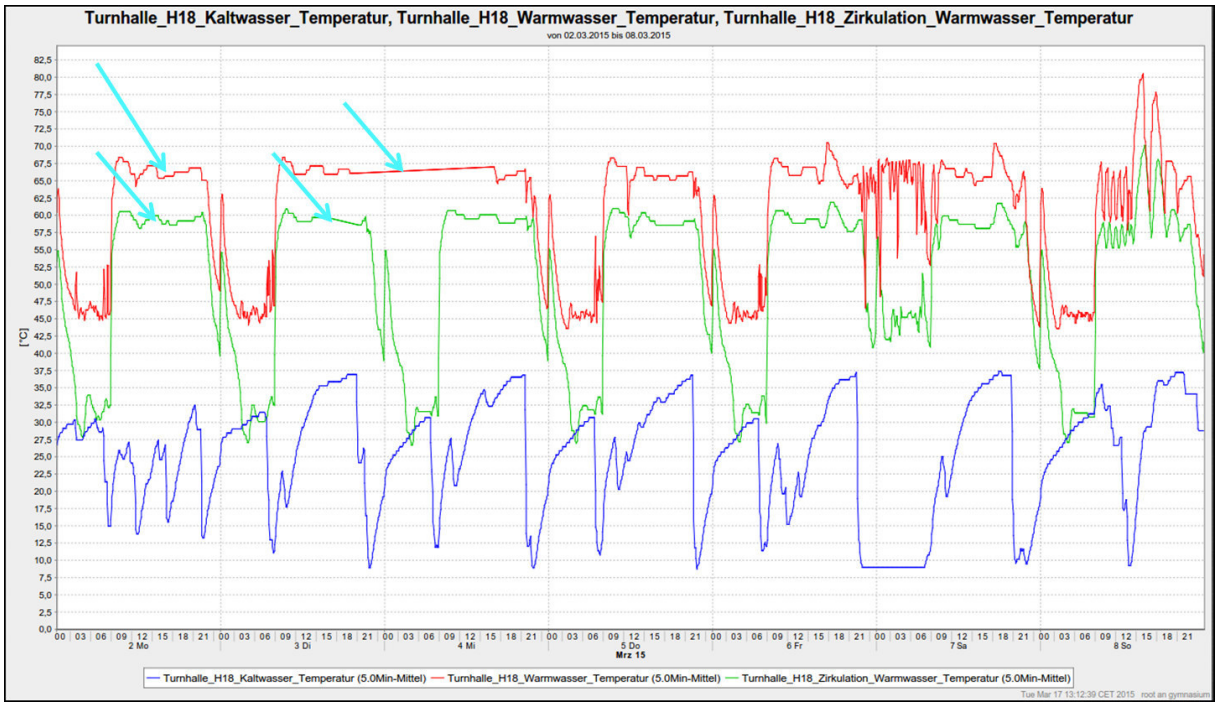


Abb. 80: Temperaturverhältnis Warmwasser

In einem gemeinsamen Termin mit der Herstellfirma solvis wurden folgende Optimierungsmaßnahmen durchgeführt bzw. Fehlfunktionen abgestellt:

- Es wurde eine Fehlfunktion des Mischers aufgedeckt, die zu den hohen Rücklauftemperaturen zum Kessel und dem Mitschwingen der Rücklauftemperatur geführt hatte. Die Fehlfunktion wurde behoben.
- Die Warmwassertemperatur wurde abgesenkt

Die Auswirkungen sind in
Abb. **81** und Abb. 82 auf der folgenden Seite dargestellt.

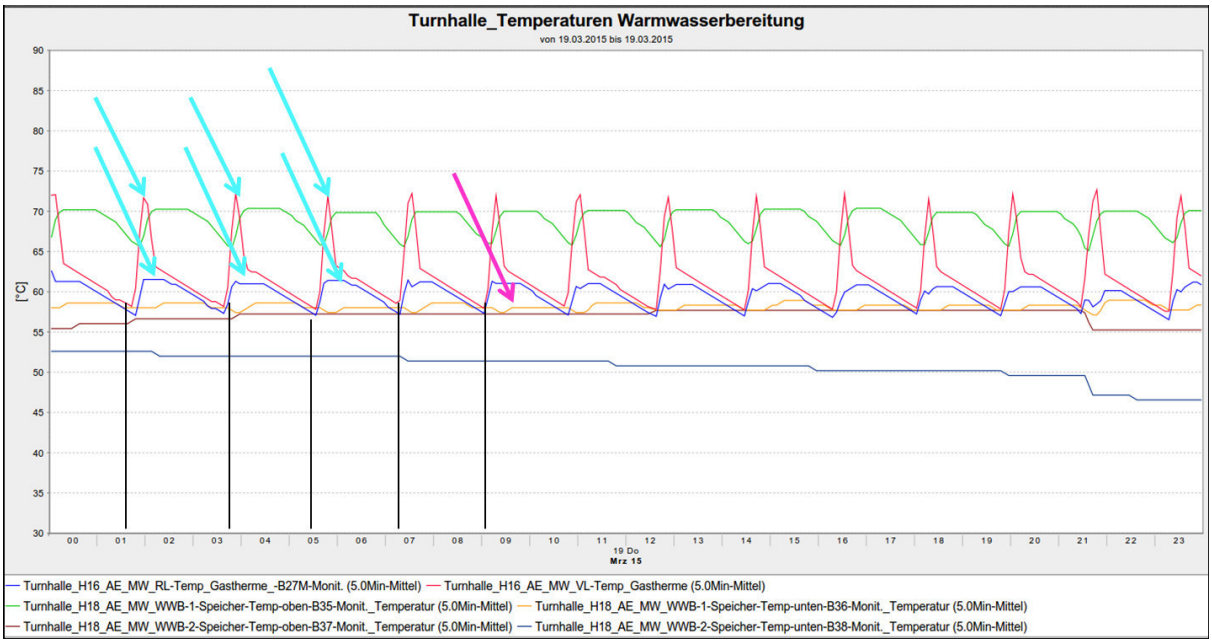


Abb. 81**: Temperaturverhältnisse Warmwasserbereitung nach Optimierungsmaßnahmen**

Deutlich bleibt weiterhin, dass der Kessel (jetzt nur noch) alle 2h (schwarze Markierungen) zur Deckung der Zirkulationsverluste anspringen muss. Die Temperatur im Pufferspeicher unten (beige Linie) sinkt selten deutlich ab. Eine längere Warmwasseranforderung, wie sie in Abb. 82 (türkisfarbene Kreismarkierung) auftritt, ist nur selten zu beobachten.

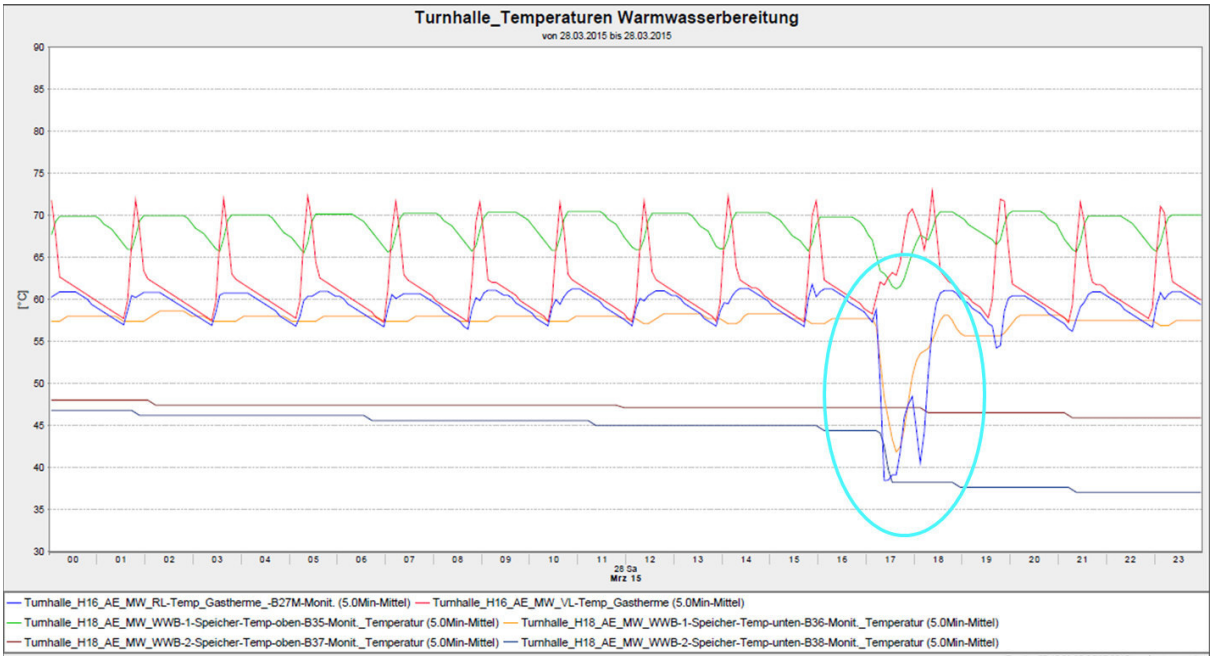


Abb. 82: Temperaturverhältn. Warmwasserbereit. nach Optimierungsmaßnahmen;_Beispiel Warmwasseranforderung

Aufgrund des taktenden Betriebs und der geringen Temperaturspreizung liegt der Wirkungsgrad des Kessels bei lediglich 62%.

Auf Basis der Erkenntnisse stellt sich die Frage, ob bei dieser geringen Warmwassermenge ein anderes System der Warmwasserbereitung mit dezentralen Wärmetauschern oder elektrischen Durchlauferhitzern sowohl ökonomisch als auch ökologisch die bessere Wahl gewesen wäre. In der folgenden Tabelle sind die Kennwerte einer statischen Wirtschaftlichkeitsberechnung, lediglich unter Berücksichtigung der Verbrauchskosten zusammengestellt, für das System ‚elektrischer Durchlauferhitzer' dargestellt.

Im realen Betrieb wurden zur Erwärmung von knapp 66 m^3 Wasser 28.000 kWh Gas verbraucht. Mit Elektrodurchlauferhitzern wäre mit einem Stromverbrauch von ca. 3.800 kWh zu rechnen gewesen. Dies führt bei der Gas-/Solar-Variante zu 2.215 €/a Jahresverbrauchskosten und einem Primärenergieeinsatz von 30.842 kWh/a (ohne Berücksichtigung des Zirkulations- und Solarpumpenstroms), für die Stromvariante ergeben sich 918 €/a an Verbrauchskosten und knapp 10.000 kWh Primärenergieeinsatz.

	Gas		**Strom**	
Verbrauch	28.038	kWH	3.826	kWh
spez. Kosten	0,079	€/kWh	0,24	€/kWh
Jahreskosten	2.215	€/a	918	€/a
Primärenergie	**30.842**	**kWh**	**9.947**	**kWh**

Abb. 83: Kostenvergleich Energiekosten zentraler zu dezentraler Wasserbereitung

4.6.1 Weitere Handlungsschritte

Für die vorhandene Anlage ist der Optimierungsspielraum aufgrund der Systemwahl (zentrale Warmwasserbereitung) nicht mehr groß. Um die Zirkulationsverluste so niedrig wie möglich zu halten, wird der notwendige Betrieb der Zirkulation mit dem Gesundheitsamt konkret abgestimmt (Temperaturabsenkung, Verzicht auf Nachtbetrieb).

Für die Planung von anderen Anlagen lohnt es sich, den erforderlichen Warmwasserverbrauch im Vorfeld genau abzustimmen. Im Falle von Bestandsanlagen empfiehlt es sich dringend, über einen repräsentativen Zeitraum die Verbrauchswerte möglichst detailliert zu messen und auf dieser Basis das zukünftige Verbrauchsprofil zwischen Planer und Bauherrn abzustimmen. Bei geringen Warmwassermengen ist grundsätzlich eine minimierte Anzahl von Duschen anzustreben.

Im Falle einer zentralen Warmwasserbereitung bieten sich ggf. Frischwasserstationen direkt an den Warmwasserentnahmestellen an.

Der Einsatz von Elektrodurchlauferhitzern sollte bei geringen Nutzungszeiten und Warmwassermengen auch mit in Betracht gezogen werden.

5 Zusammenfassung

Die Auswertungen im Rahmen des bislang einjährigen Monitorings zeigen, dass die gemessenen Verbrauchswerte (Wärme und Strom) von den im PHPP ermittelten Werten abweichen.

Beim Stromverbrauch wird ein Mehrverbrauch im Bereich Lüftung, Beleuchtung und Grundlast festgestellt.

Der *erhöhte Lüftungsstromverbrauch* ist auf längere Betriebszeiten und höhere spez. Leistungsaufnahmen der Lüftungsgeräte als ursprünglich angenommen zurückzuführen. Die Lüftungszeiten wurden im Rahmen des Monitorings bereits an die aktuellen Belegungspläne angepasst. Darüber hinaus wurde für die Turnhalle ein Lüftungskonzept entwickelt, das einen angepassten Betrieb für den Schulbetrieb und den Betrieb als Versammlungsstätte ermöglichen soll. Diese Maßnahmen werden zu Verbrauchsreduzierungen führen. Grundsätzlich stellt sich die - jeweils für den Einzelfall zu beantwortende - Frage, ob in Schulen bedarfsangepasste Lüftungsanlagen zur Minimierung des Stromverbrauchs Lüftungsanlagen mit Konstantvolumenstrom vorzuziehen sind.

Die Ursache für den *erhöhten Beleuchtungsstromverbrauch* soll weiter untersucht werden. In der Turnhalle scheint eine vom Nutzer nicht gut genutzte mehrstufige Beleuchtungssteuerung zu erhöhtem Verbrauch zu führen. Eine Anpassung des Nutzerverhaltens wird hier zu erheblichen Einsparungen führen können.

Im Gymnasium Baesweiler wird eine *Grundlast* von 10kW bzw. 1W/m² festgestellt, die wahrscheinlich weitestgehend von Allgemeinverbrauchern wie Brandmelde-, Ela-, Notstrom- Telefonanlage verursacht wird. Diese Grundlast verursacht einen nicht unerheblichen Verbrauch. Andere Untersuchungen zeigen (Dipl. Phys. Rath & in Kooperation mit Ing. Büro Inco GmbH, 2012), dass die spez. Grundlast in anderen Schulen auch in dieser Größenordnung liegt und es sich daher um ein grundsätzliches Phänomen an Schulen handelt. Der vermutlich zu niedrige Ansatz im PHPP zeigt, dass dieser Verbrauch unterschätzt bzw. ihm wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Weitergehende Untersuchungen zur genaueren Differenzierung der Grundlast und Optimierungspotential bei der Auswahl von Geräten sind daher unbedingt sinnvoll, im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch leider nicht leistbar.

Im Bereich der *Wärme* kann ein Teil des Mehrverbrauchs auf abweichende reale Betriebsbedingungen gegenüber den angenommenen Werten (Lüftungszeiten, Raumtemperaturen) und zu optimistischen Wärmerückgewinnungsgraden zurückgeführt werden. Darüber hinaus wurden durch das Monitoring Defizite in dem hydraulischen und regelungstechnischen Konzept der Wärmeerzeugungs- und Verteilungsanlage festgestellt, deren Hauptursache in dem Einsatz von hydraulischen Weichen zu sehen ist. Ein weiteres Optimierungspotential wird in der besseren Abstimmung der beiden Wärmeübertragungssysteme (Lüftung und stat. Heizung) gesehen.

Insgesamt konnte durch die Sanierung eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs von i.M. ca. 166kWh/m² auf 25 kWh/m² erreicht werden.

Die Datenlage zu realen Verbrauchswerten von in Passivhausqualität gebauten Schulen ist noch relativ dünn. Erste Auswertungen der Stadt Frankfurt (Linder, 2014) zeigen aber, dass die spez. Heizenergieverbräuche hier zwischen 21 und 41kWh/m²a liegen. Aufgrund der unterschiedlichen Bilanzgrenzen (mit und ohne Warmwasserbereitung, mit und ohne Küche) ist ein direkter Vergleich

von Werten schwierig. Grundsätzlich lässt sich aber feststellen, dass das Gymnasium Baesweiler mit ca. 25 kWh/m²a im Rahmen bleibt.

In Bezug auf die *Behaglichkeit* konnten im Rahmen des Monitorings gute Ergebnisse dokumentiert werden. Mit dem gewählten Volumenstrom von ca. 600 m³/h (d.h. 20 m³/h und Person) pro Klassenraum können CO_2-Werte von 1.500 ppm in mehr als 90% der Belegungszeit eingehalten werden. Durch ein konsequentes Lüftungsverhalten (Stoßlüften in den Pausen) könnte eine weitere Verbesserung der Luftqualität erreicht werden. Ein Erreichen der in der AMEV genannten Kategorie II (~1050 ppm) durch konsequentes Lüften erscheint aber unrealistisch. Grundsätzlich erscheinen die in der AMEV genannten CO_2-Werte mit den entsprechenden Volumenströmen nicht erreichbar. Eine weitere Erhöhung des Volumenstroms ist nicht empfehlenswert, da die Raumluft nach den derzeitigen Auswertungen in der Heizperiode bereits im „eher zu trockenen" Bereich liegt, was sich mit einer Erhöhung des Volumenstroms ggf. verschlechtern würde.

Auch die Anzahl der *Überhitzungsstunden* liegt im unkritischen Bereich. Lediglich in 2 der 21 gemessenen Räume wurden Überhitzungsstunden von über 10 % festgestellt. Da ein Großteil der Überhitzungsstunden aber bei Außentemperaturen < 20 °C auftrat, kann durch ein besseres Lüftungsverhalten die Anzahl der Überhitzungsstunden reduziert werden. Außerdem ist davon auszugehen, dass durch eine bessere Steuerung des Sonnenschutzes eine weitere Reduzierung der Überhitzungsstunden erreicht werden kann, so dass von aktiven Maßnahmen zur Kühlung Abstand genommen werden sollte.

Das Anlagenkonzept sieht zwei Maßnahmen zur Kühlung vor. Zum einen gibt es die Funktion *Nachtkühlung* über die Lüftungsgeräte, zum anderen sieht das Anlagenkonzept vor, das Erdsondenfeld im Sommer zur Kühlung der Klassenräume über die Zuluft zu nutzen. Neben dem Kühleffekt für das Gebäude ist hiermit ein Regenerationseffekt für das Erdsondenfeld verbunden. Das Monitoring zeigte auf, dass die beiden Funktionen nicht optimal in Betrieb genommen wurden. Es wurde ein neues Regelungskonzept für die Kühlung über das Erdsondenfeld erarbeitet. Grundsätzlich wird aber empfohlen, diese Funktion nur bei kritischen Erdsondentemperaturen in Betrieb zu nehmen. Ein Kühleffekt für das Gebäude ist, wie die Auswertung der Überhitzungsstunden zeigt, nicht notwendig.

Die ermittelten Arbeitszahlen der *Wärmepumpen* sind unauffällig. Durch das Monitoring wurde aber sichtbar, dass die Wärmepumpe nicht ihre maximale Leistung zur Verfügung stellt. Die Ursache hierfür liegt wahrscheinlich im Leistungsvermögen des Erdsondenfeldes. Beim daraufhin durchgeführten hydraulischen Abgleich des Erdsondenfeldes wurde festgestellt, dass der geförderte Volumenstrom ca. ¼ unter dem ausgelegten Volumenstrom liegt. Die Ursachen hierfür müssen weiter untersucht werden.

Darüber hinaus wurden regelungstechnische und hydraulische Defizite im Wärmeerzeugungs- und -verteilungssystem festgestellt, die maßgeblich auf den Einsatz von hydraulischen Weichen zurückzuführen sind. Eine Überarbeitung des Konzepts ist zur Beseitigung der Defizite notwendig.

Die eingesetzten *Lüftungsanlagen* mit Volumenströmen zwischen 4.000 und 15.000 m³/h wurden hinsichtlich ihrer spez. Leistungsaufnahme und ihres Wärmerückgewinnungsgrades untersucht. Als anzustrebender Kennwert für die spez. Leistungsaufnahme für Lüftungsanlagen im Passivhaus gilt 0,45 Wh/m³. Drei der vier untersuchten Lüftungsanlagen lagen zunächst im unkritischen Bereich von 0,35-0,55 Wh/m³. Die Lüftungsanlage der Turnhalle lag mit 1 Wh/m³ deutlich über dem an-

gestrebten Wert. Die Ursache hierfür lag in einer falschen Volumenstromkalibrierung und Leckagen im Lüftungsgerät. Nach Nachbesserungsarbeiten wurde ein Wert von 0,67 Wh/m³ festgestellt. Hier besteht weiterer Handlungsbedarf. Ohne ein Monitoring wären die erhöhten Werte nicht aufgefallen und hätten somit anhaltend zu erhöhtem Stromverbrauch geführt.

Die Untersuchung des Systems zur *Warmwasserbereitung* in der Turnhalle zeigt auf, dass die gewählten Rahmenbedingungen (hier: hoher angenommener Warmwasserbedarf) zu einer falschen Entscheidung bei der Auswahl des Warmwasserbereitungssystems führen. Das auf Basis zu hoch eingeschätzter Warmwasserverbräuche ausgewählte zentrale Warmwasserbereitungssystem mit Solaranlage und Gasspitzenkessel stellt sich bei dem real niedrigen Warmwasserbedarf von 190 l/Tag als unwirtschaftlich und unökologisch (CO_2-Ausstoß und Primärenergieaufwand) gegenüber einem dezentralen System mit Elektrodurchlauferhitzern dar.

Insgesamt wurde sichtbar, dass durch das Monitoring wichtige Erkenntnisse zur Betriebsoptimierung gewonnen werden konnten. Es wurde daher beschlossen, die Optimierungsmaßnahmen zeitnah umzusetzen. Im Anschluss daran soll das Monitoring ein weiteres Jahr durchgeführt werden, um die Auswirkungen der umgesetzten Maßnahmen zu dokumentieren.

6 Ausblick

Aus den Ergebnissen des Monitorings lassen sich, neben den Optimierungsmaßnahmen im Gymnasium Baesweiler, folgende generellen Arbeitsschwerpunkte für die Zukunft ableiten.

Im Rahmen des Monitorings des Gymnasiums Baesweiler konnten, wie in ähnlichen Monitoring-Projekten, diverse Defizite bei der Inbetriebnahme der Gebäudetechnik aufgedeckt werden. Daraus lässt sich ableiten, dass dem Thema ‚strukturierte Inbetriebnahme' in der Zukunft mehr Bedeutung zukommen sollte. Dies gilt insbesondere für das Gewerk Regelungs- und Steuerungstechnik.

Die Hydraulik und Regelung in komplexen Wärmeerzeugungs- und -bereitstellungssystemen ist häufig mit Fehlern behaftet. Insbesondere der Einsatz von hydraulischen Weichen führt oft zu einem ineffizienten Betrieb. Daher bietet es sich an, diesem Themenbereich in der Fort- und Weiterbildung von Ingenieuren mehr Aufmerksamkeit zu geben.

Mit 1 W/m² verursacht die elektrische Grundlast in Schulen einen erheblichen Stromverbrauch. Meistens sind sich die Nutzer der Höhe der Grundlast nicht bewusst. Die Verursacher dieser Grundlast sind bisher nicht eindeutig identifiziert. Weitergehende Untersuchungen zur genaueren Differenzierung der Grundlast in Nichtwohngebäuden und Optimierungspotential bei der Auswahl von Geräten sind sinnvoll und auf eine Vielzahl von Gebäuden zu übertragen.

Die Effizienz eines Systems zur Warmwasserbereitung hängt stark von den Nutzungsbedingungen (Nutzungszeiten und Warmwasserverbrauch) ab. Für eine gute Planung müssen die realen Nutzungsbedingungen bestmöglich abgeschätzt werden. In Turnhallen wird der Warmwasserverbrauch häufig überschätzt. In Bestandsgebäuden ist daher eine detaillierte Verbrauchserfassung im Vorfeld der Sanierung unerlässlich, um eine gesicherte Aussage über die tatsächliche Nutzung von Duschmöglichkeiten im Schul- und Vereinssport zu machen. Eine grundsätzliche Untersuchung zu Warmwasserverbrauchsmengen an Turnhallen könnte auch für Neubauten neue Planungsgrundlagen liefern.

7 Literaturverzeichnis

AMEV, A. M.-u. (2011). *Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumlufttechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude.* Berlin.

Bundesinstitut für Bau-, S. u. (03. November 2011). *Informationsportal Nachhaltiges Bauen.* Abgerufen am 2011 von http://www.nachhaltigesbauen.de

Dipl. Phys. Rath, U., & in Kooperation mit Ing. Büro Inco GmbH. (2012). *Analyse von Lastganglinien an Schulen.* Tübingen: im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, vertrten durch Frauenhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart.

Frank, W. (1975). *Berichte aus der Bauforschung-Raumklima und Thermische Behaglichkeit.* Berlin-München-Düsseldorf: Ernst und Sohn KG.

Frankfurt, H. d. (07. Oktober 2015). *Stadt Frankfurt a.M., Hochbauamt - Energiemanagement.* Abgerufen am 08. November 2015 von http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de

Fraunhofer Institut (ISE). (2010). *Wärmepumpen Effizienz.* Freiburg: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

Kaufmann, John, Feist. (2008). Optimierungsstrategien für das hochwärmegedämmte Fenster. *Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser - Phase IV: 2006-2008* (S. 89-138). Darmstadt: Dr. Wolfgang Feist, PHI Darmstadt.

Linder, M. (2014). 10 Jahre Erfahrungen der Stadt Frankfurt a.M. mit öffentlichen Gebäuden in Passivhaus Qualität. *Tagungsband, 18. Internationale Passivhaustagung* (S. 85-90). Aachen: Passivhaus Institut.

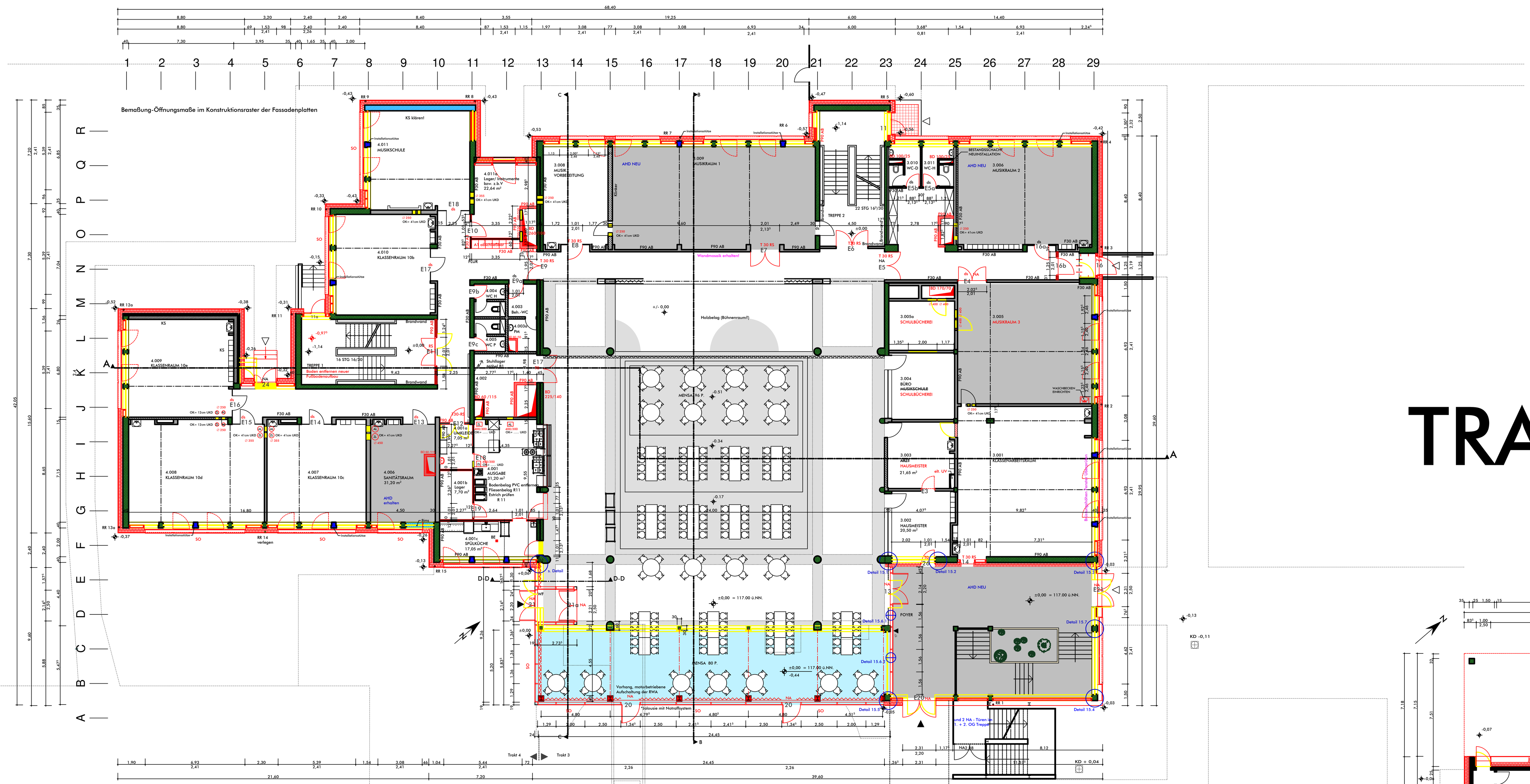
Passivhausinstitut. (2013). *Passivhausprojektierungspaket.* Darmstadt.

Rongen Architekten GmbH, Vika GmbH. (2009). *Energetische Optimierung kommunaler Bestandsgebäude der Stadt Baesweiler.* Baesweiler: Deutsche Stiftung Umwelt (DBU) und Stadt Baesweiler.

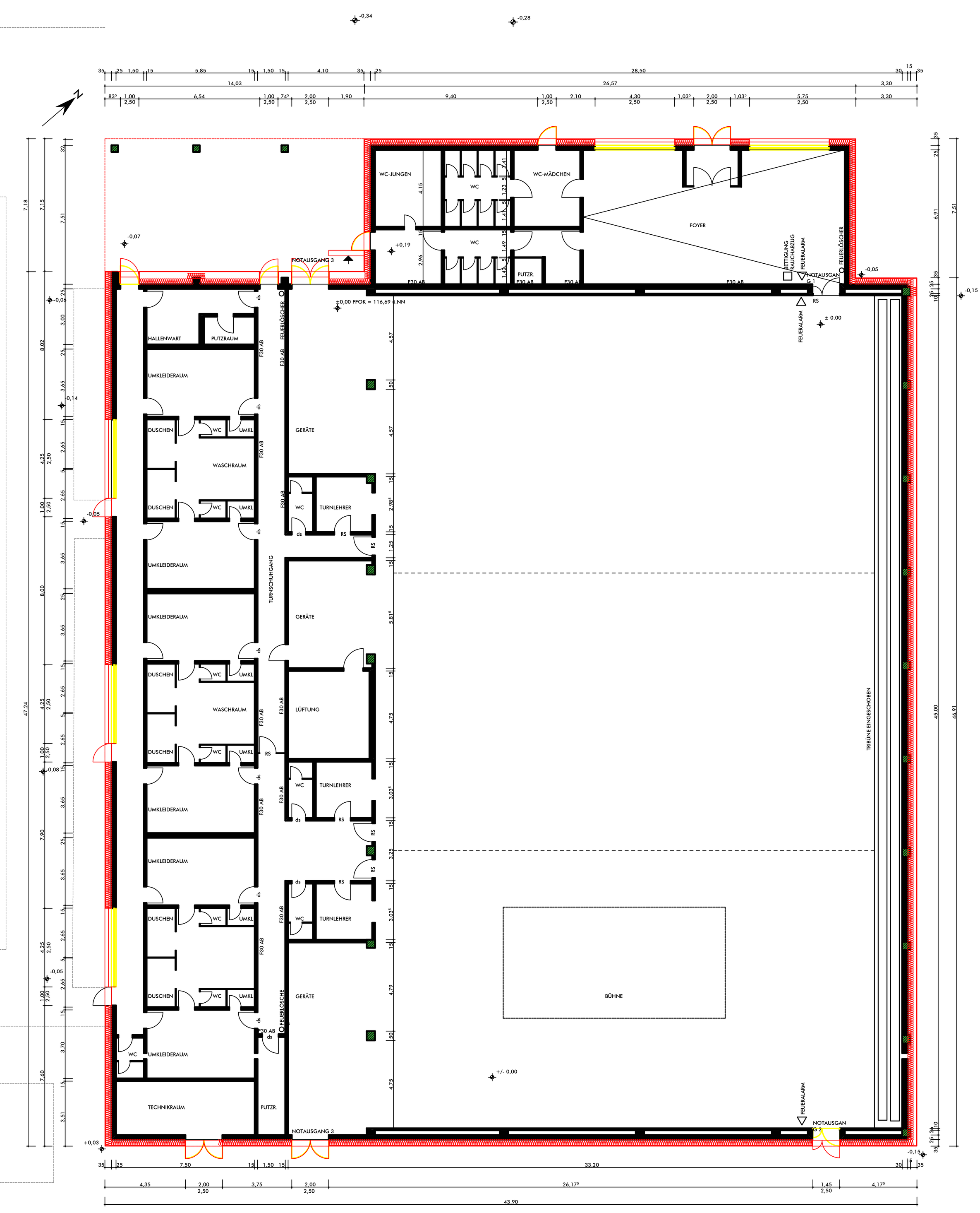
8 Anhang

Grundrisse, Schnitte und Ansichten Trakt 1-5
Details zur energetischen Sanierung Trakt 3-4
Anlagenschema Heizzentrale Trakt 1
Anlagenschema Heizzentrale Turnhalle
Grundrisse mit Messtechnik
Lüftungskonzept Turnhalle

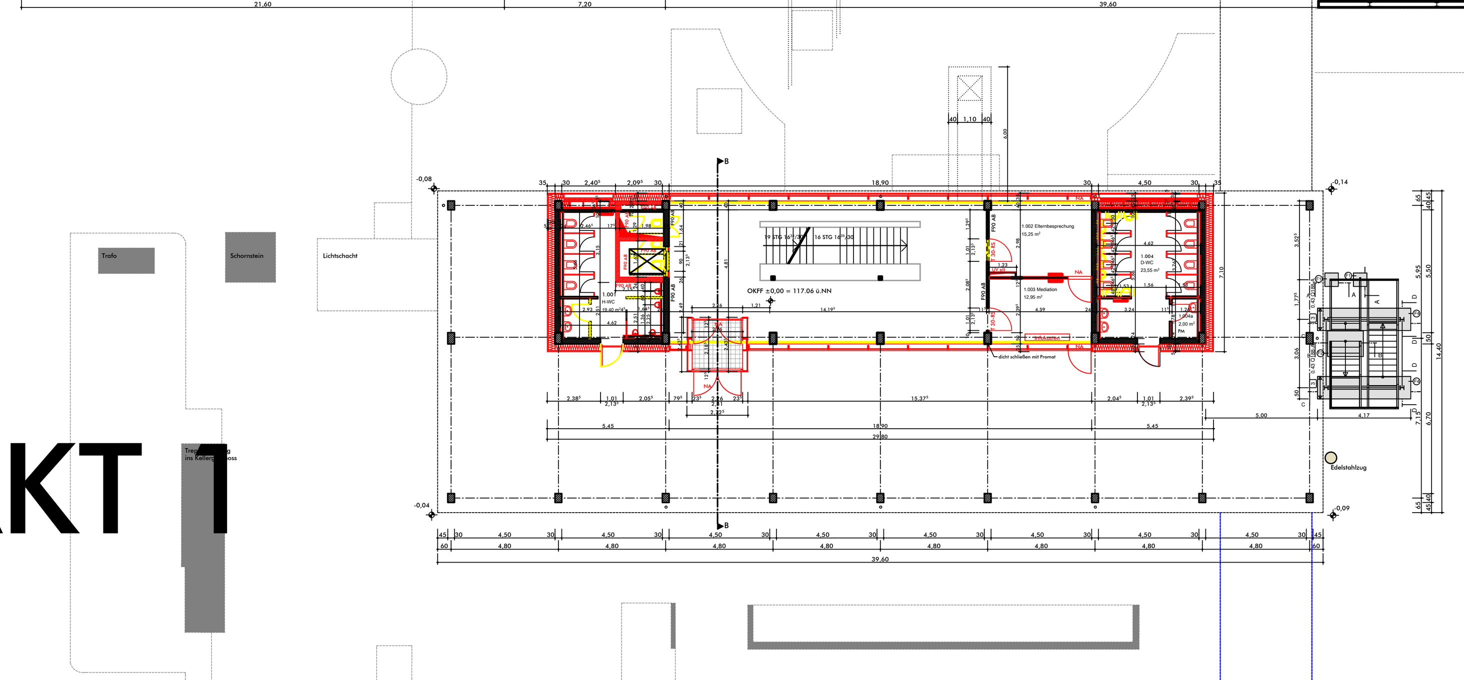
TRAKT 3+4



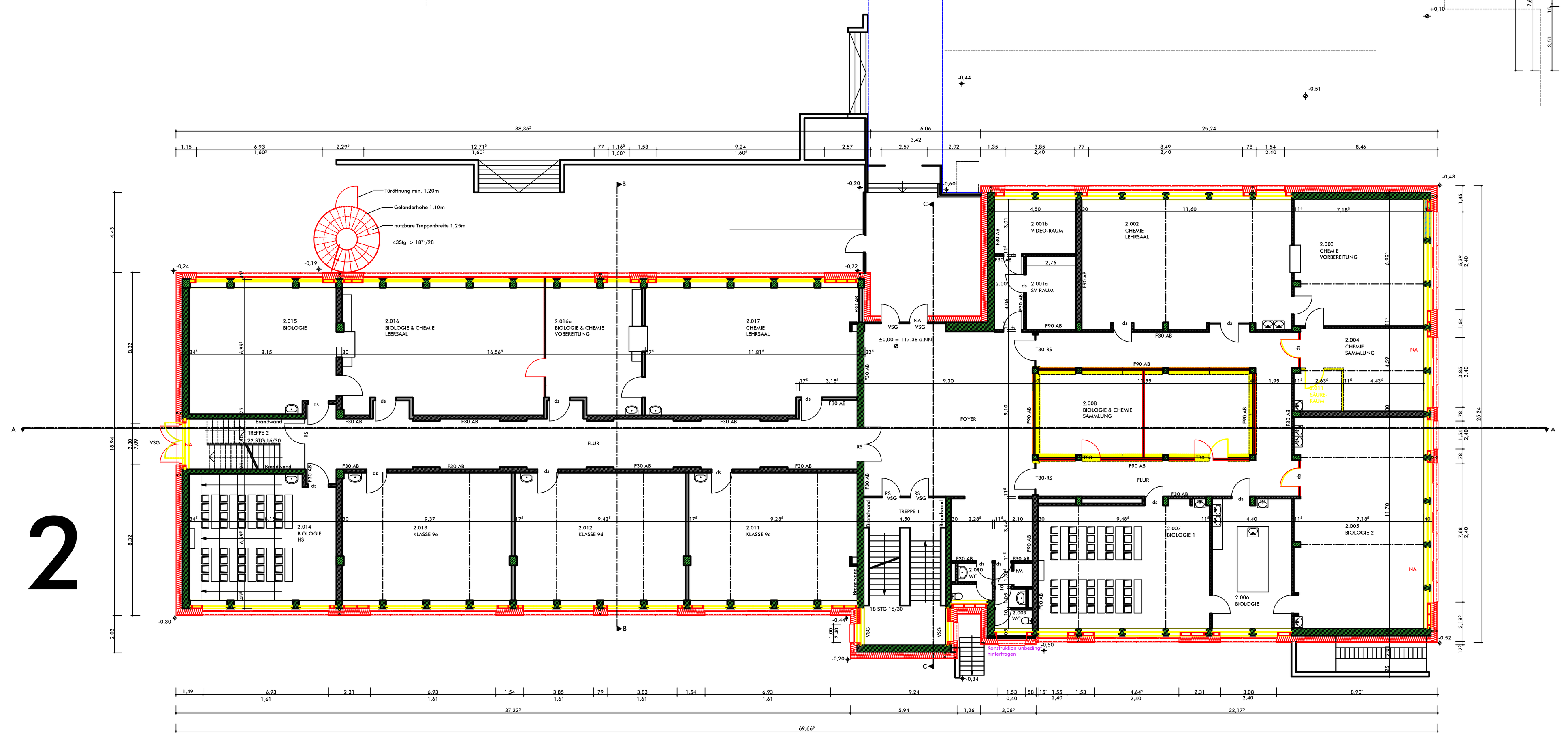
TRAKT 5 Turnhalle



TRAKT 1



TRAKT 2



LEGENDE

	MAUERWERK BESTAND
	StBETON BESTAND
	StBETON NEU
	MAUERWERK NEU - KS 12
	MINERALWOLLE WLG 032
	LEICHTBAUWÄNDE
	ABBRUCH
	ABBRUCH, SPÄTER SCHLIEßUNG
	INSTALLATIONSSTÜTZEN
	PORENBETON
	ANBAU MENSA
	DURCHBRÜCHE
	DURCHBRÜCHE ELEKTRO
T	KLASSENTAFEL
RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SO	SONNENSCHUTZ
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
OKFB	OK Fertigfussboden
OKRB	OK Rohfussboden

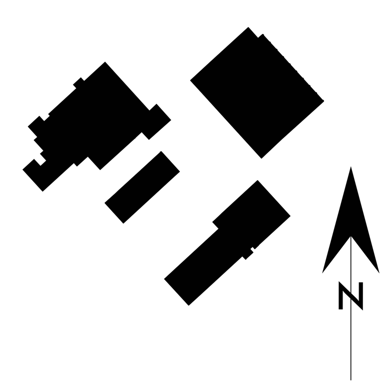
ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

Bemaßung-Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME



ARCHITEKT

Druck 22.03.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

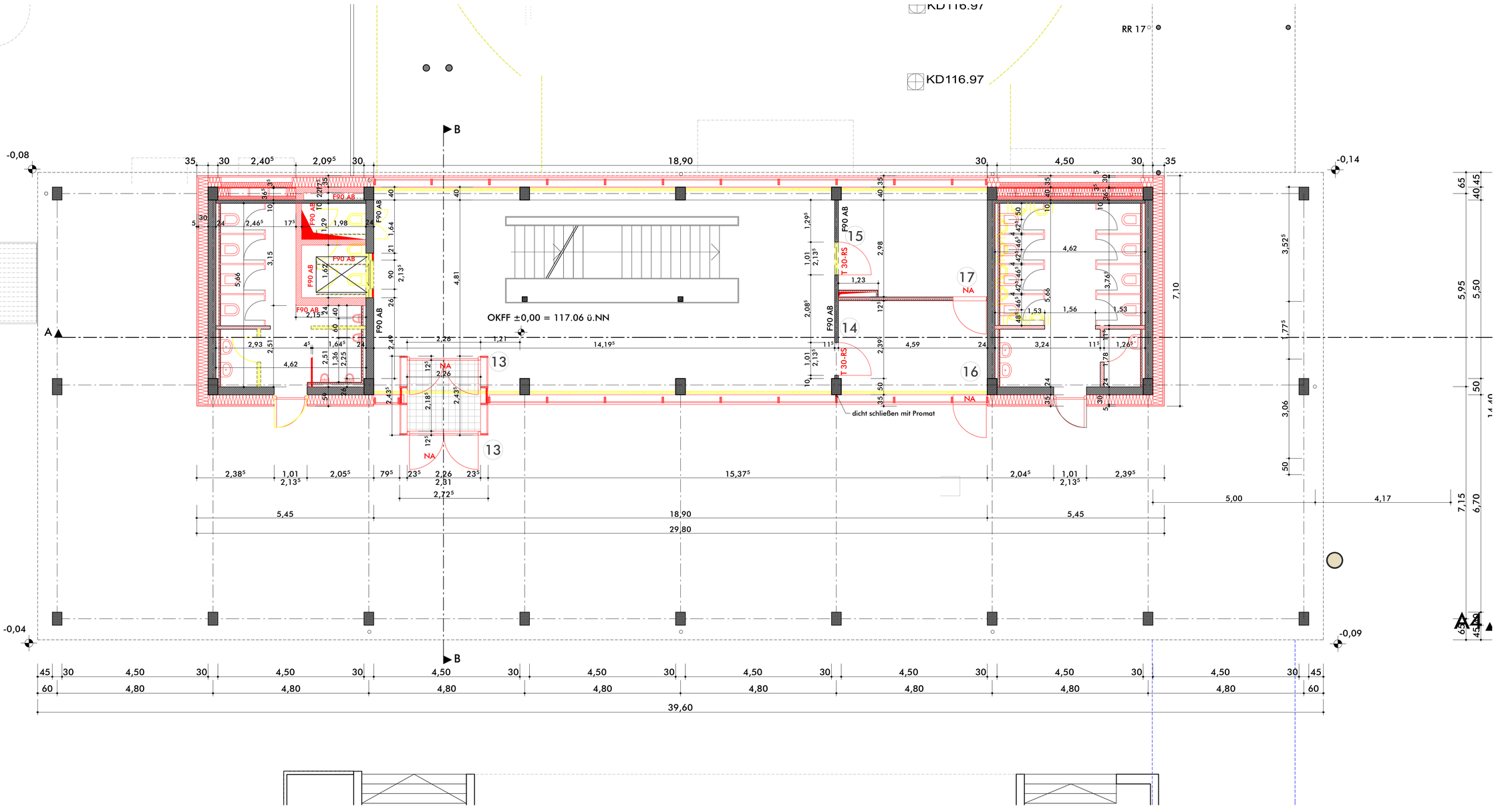
GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4
ÜBERSICHTSPLAN

BAUHERR

Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.C0.23
DATUM	VORABZUG
GEZ.	AH/TL
MASSTAB	1 / 200



LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- SIBETON BESTAND
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH
- ABBRUCH, SPÄTER SCHLIESSUNG
- Installationsnischen
- ABBRUCH

RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SO	SONNENSCHUTZ
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
OKFB / OKRB	OK Fertigfussboden / OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME
Diverse Anderungen Windfang	C	01.02.10	MS
Anderung Aufteilung H-WC	B	26.10.09	MS
Anderung Dämmung Bereich WC	A	13.07.09	MS

ARCHITEKT

Druck 16.03.2012

RONGEN ARCHITEKTEN GmbH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL 02432/3094

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

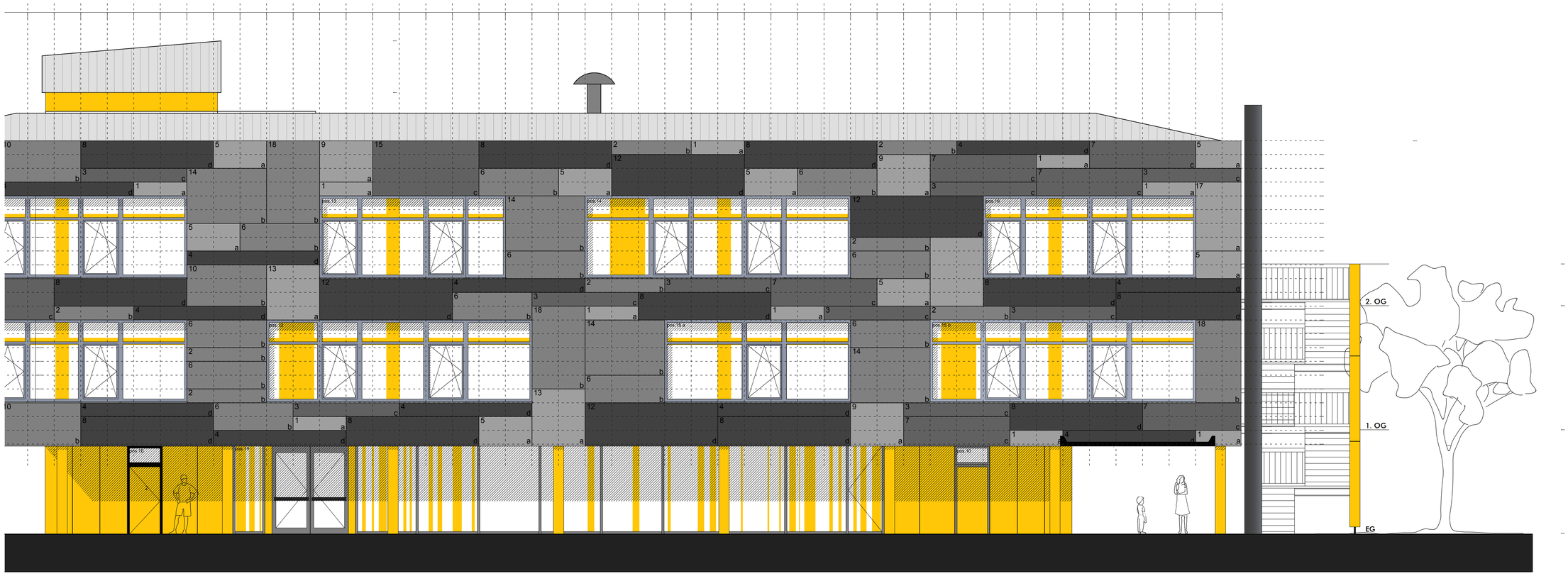
TRAKT 1

ERDGESCHOSS

BAUHERR

Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	B11.C1.02 C
DATUM	01.07.2009
GEZ.	MS
MASSTAB	1 / 50



LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- STBETON BESTAND
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH

RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
OKFB / OKRB	OK Fertigfussboden / OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

ÄNDERUNG/VERTEILUNG | INDEX | DATUM | NAME

ARCHITEKT

Druck

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 1

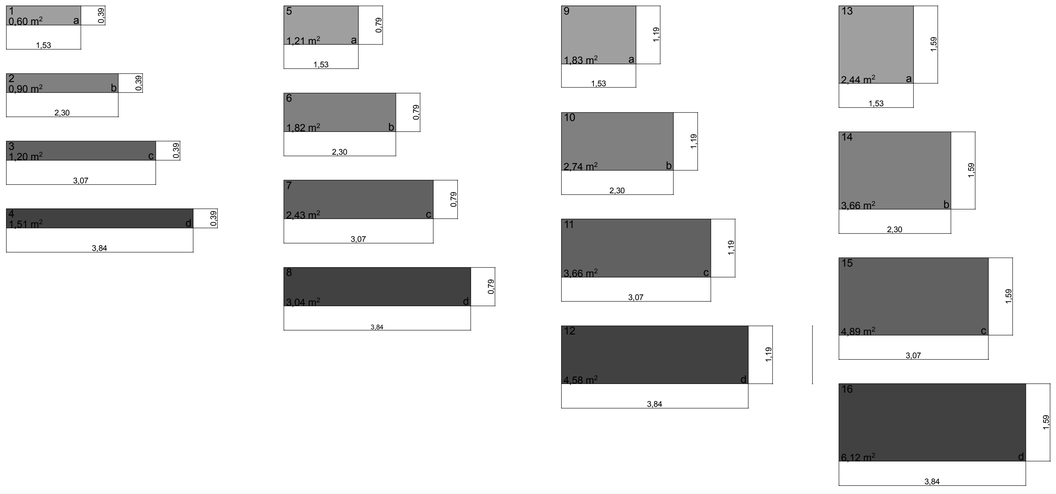
ANSICHT SÜD-OST

BAUHERR

Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.C1.05
DATUM	06.08.2009
GEZ.	MS
MASSTAB	1 / 50

LEGENDE TAFELGRÖSSE



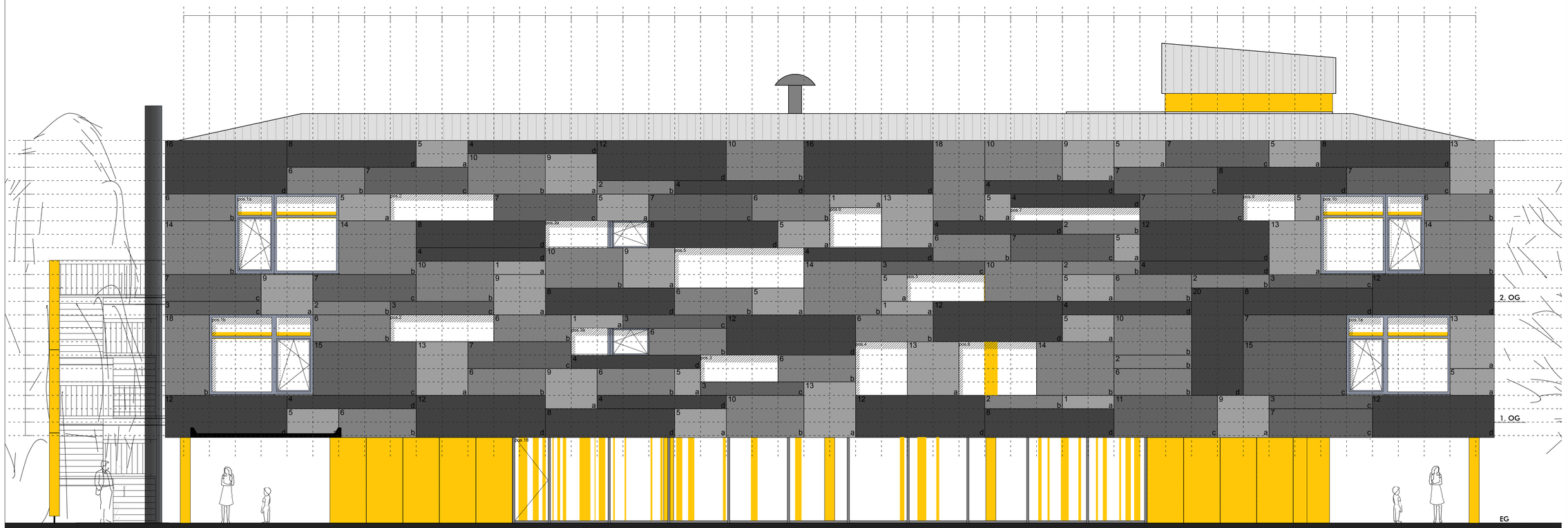
LEGENDE FARBE

a FUNDERMAX 0746 SANITÄRGRAU

b FUNDERMAX 0747 MITTELGRAU

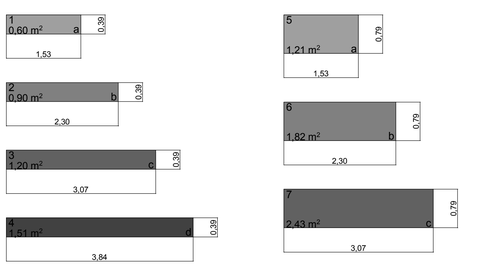
c FUNDERMAX 0075 DUNKELGRAU

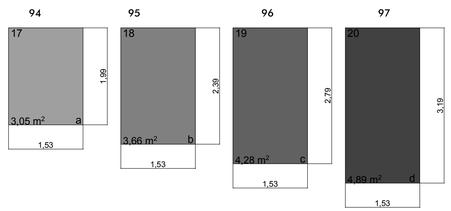
d RAL 7005



Nord-West Ansicht

LEGENDE TAFELGRÖSSE





LEGENDE FARBE

a FUNDERMAX 0746 SANITÄRGRAU

b FUNDERMAX 0747 MITTELGRAU

c FUNDERMAX 0075 DUNKELGRAU

d RAL 7005

LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- SIBETON BESTAND
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH

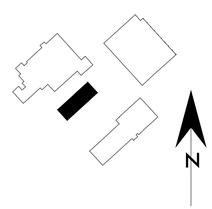
RW REGENWASSER
SW SCHMUTZWASSER
RR REGENROHR
BD BODENDURCHBRUCH
DD DECKENDURCHBRUCH
BRH BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD WANDDURCHBRUCH
WS WANDSCHLITZ
OKFB OK Fertigflussboden
OKRB OK Rohflussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME
Fensterlagekorrektur	A	25.08.09	TL



ARCHITEKT

Druck

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL 02432/3094

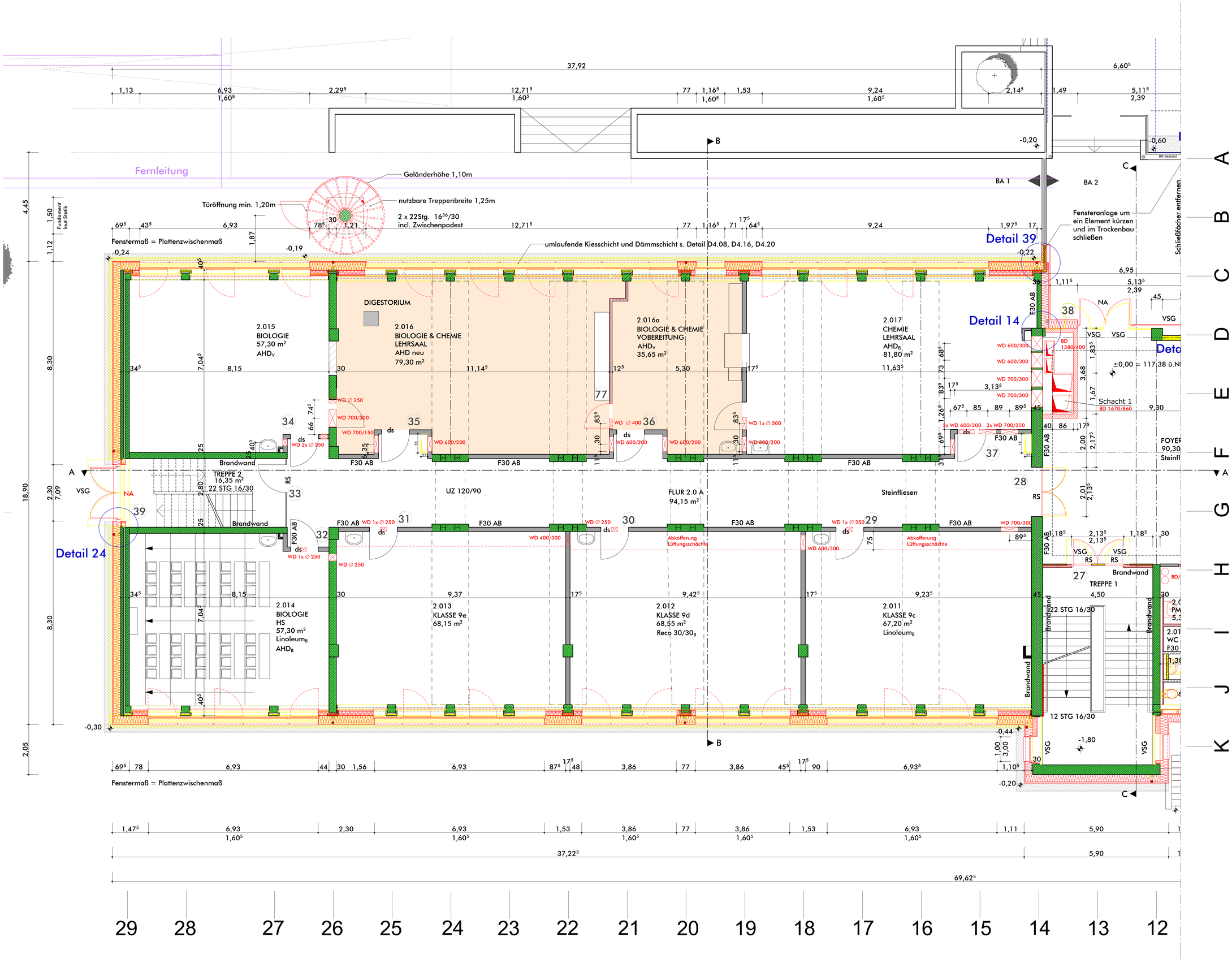
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 1

ANSICHT NORD-WEST

BAUHERR
Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.C1.06
DATUM	25.08.2009
GEZ.	MS
MASSTAB	1 / 50



LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- SIBETON BESTAND
- SIBETON NEU
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH
- ABBRUCH, SPÄTER SCHLIEßUNG
- INSTALLATIONSSTÜTZEN
- PORENBETON
- ANBAU MENSA
- DURCHBRÜCHE
- DURCHBRÜCHE ELEKTRO
- KIES

AHD_BR	ABHANGDECKE (BESTAND)
E. RH	RAUMHÖHE
WD	MAßE IN MM
DD/BD	MAßE IN CM
T	KLASSENTAFEL
RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SO	SONNENSCHUTZ
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
LK	LICHTKUPPEL
OKFB	OK Fertigfussboden
OKRB	OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen.Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

Die Durchbrüche sind in Abstimmung mit dem Fachfirmen und ggfls. mit dem Statiker zu setzen.

Bemaßung-Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten

ANDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME
Innenbezug Vermaßung Fenster	A	20.06.11	sr
FREIGABE	#	21.02.11	sr

ARCHITEKT

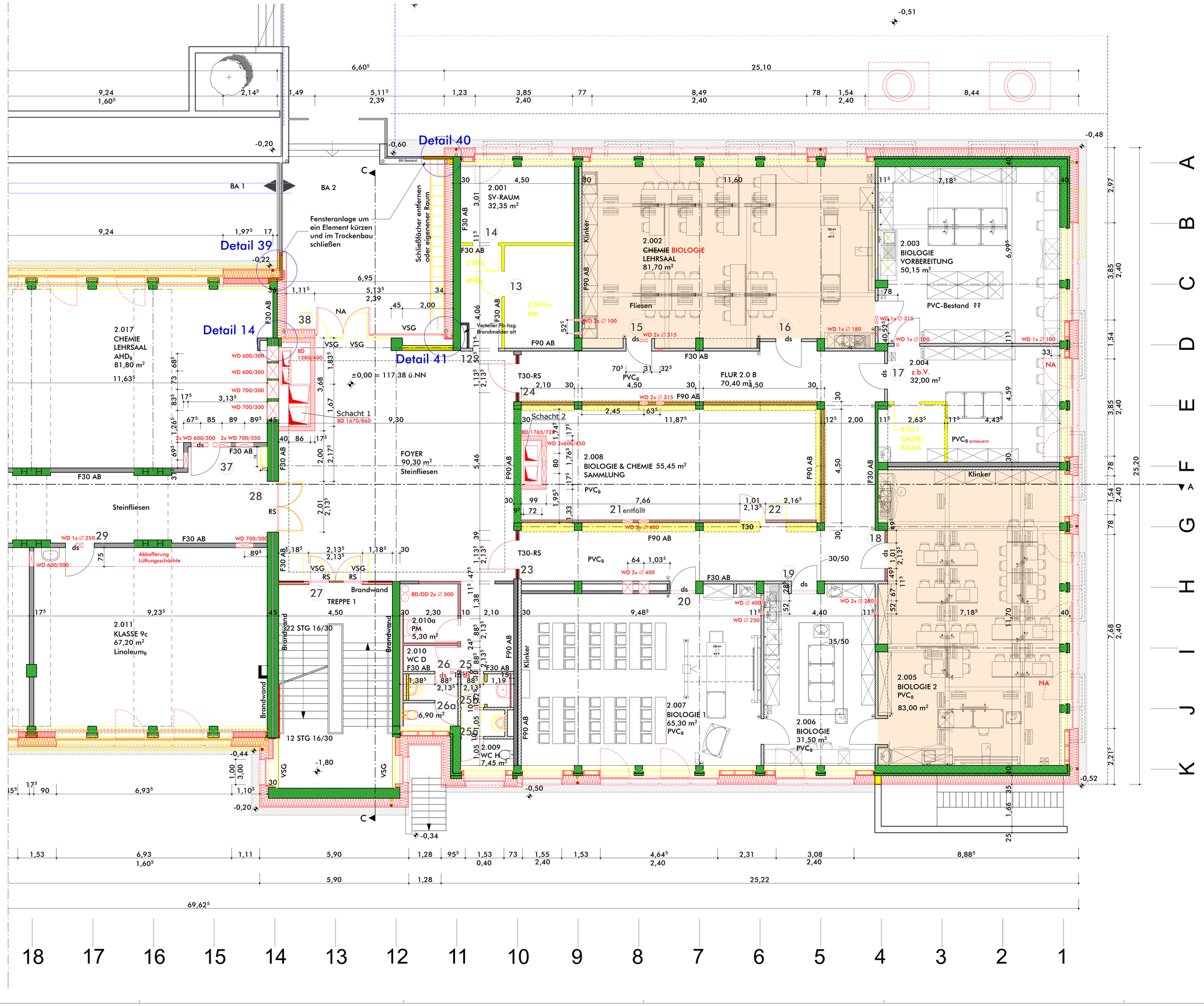
RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 2
ERDGESCHOSS 1.BA

BAUHERR
Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	B11.C.203 A
DRUCK	29.07.2011
GEZ.	AH/SR
MASSTAB	1 / 50



LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- SIBETON BESTAND
- SIBETON NEU
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH
- ABBRUCH, SPÄTER SCHLIEßUNG
- INSTALLATIONSSTÜTZEN
- PORENBETON
- ANBAU MENSA
- DURCHBRÜCHE
- DURCHBRÜCHE ELEKTRO
- KIES

AHD_{BK}	ABHANGDECKE (BESTAND)
lL RH	RAUMHÖHE
WD	MAßE IN MM
DD/BD	MAßE IN CM
T	KLASSENTAFEL
RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SO	SONNENSCHUTZ
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
LK	LICHTKUPPEL
OKFB	OK Fertigfussboden
OKRB	OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

Die Durchbrüche sind in Abstimmung mit dem Fachfirmen und ggfls. mit dem Statiker zu setzen.

Bemaßung-Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten

Zusammenlegung Sammlung 2.008	A	07.09.11	sr
FREIGABE	#	21.02.11	sr
ÄNDERUNG-VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME

ARCHITEKT

RONGEN ARCHITEKTEN GmbH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL 02432/3094

GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 2
ERDGESCHOSS 2.BA

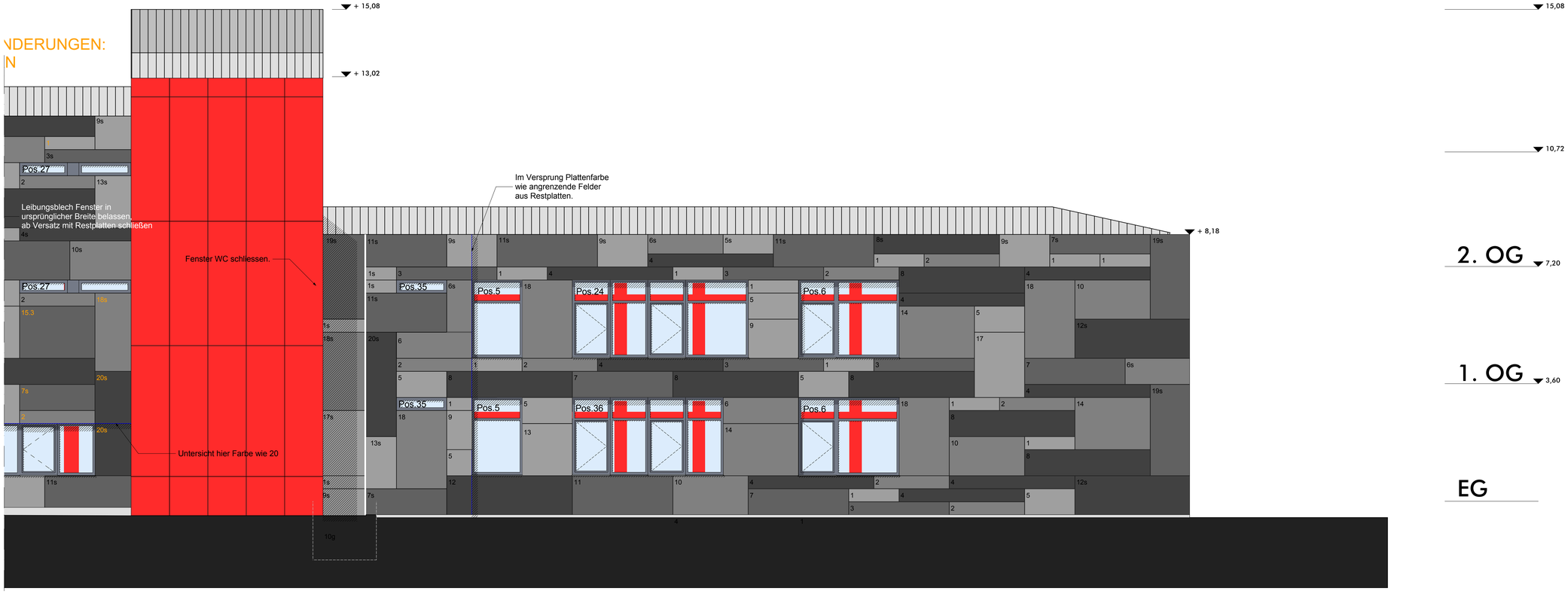
BAUHERR
Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	B11.C.204 A
DRUCK	07.09.2011
GEZ.	AM/SR
MASSTAB	1 / 50

ÜBERARBEITET, ÄNDERUNGEN:
FARBIGE NUMMERN

SÜD-OST-ANSICHT

29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10



6 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- StBETON BESTAND
- StBETON NEU
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH

'ZAHLEN' Zeilennummern PHPP

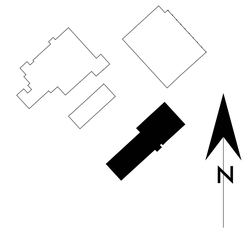
RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SK	SINKKASTEN
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
OKFB	OK Fertigfussboden
OKRB	OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME
Platte 15.1 gesplittet, Achse 14-17	D	01.06.11	sr
Änderung Achse 14-17	C	30.05.11	sr
Änderung Achse 14-17	B	27.05.11	sr
Ergänzung Bemaßung Platten	A	13.04.11	sr
Freigabe Plan	#	10.03.11	sr



ARCHITEKT

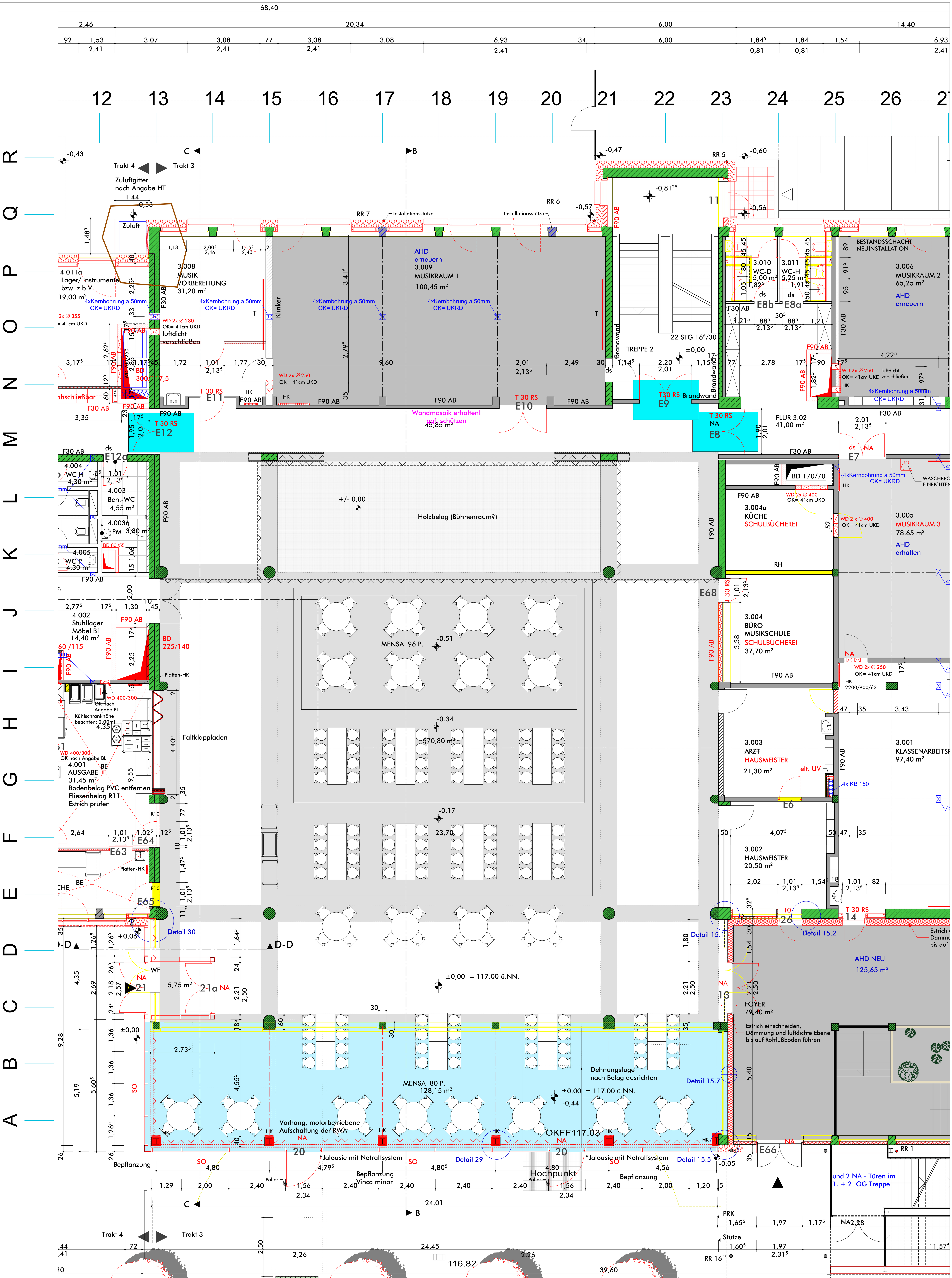
RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

Gymnasium Baesweiler

TRAKT 2
SO ANSICHT

BAUHERR
Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.C.212	D
DRUCK	01.06.2011	
GEZ.	AH	
MASSTAB	1 / 50	



LEGENDE

MAUERWERK BESTAND	LEICHTBAUWÄNDE	ANBAU MENSA
StBETON BESTAND	ABBRUCH	TESTFLÄCHE AKUSTIK
StBETON NEU	ABBRUCH, SPÄTER SCHLIEßUNG	
MAUERWERK NEU - KS 12	INSTALLATIONSSTÜTZEN	
MINERALWOLLE WLG 032	PORENBETON	

T	KLASSENTAFEL
RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SO	SONNENSCHUTZ
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
LK	LICHTKUPPEL

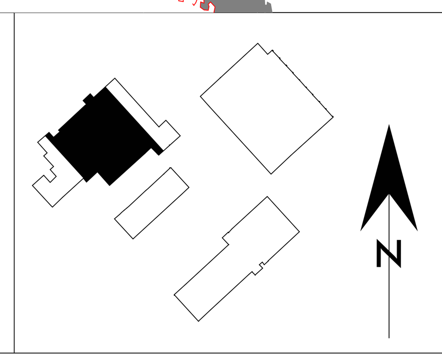
OKFB — OK Fertigfussboden
OKRB — OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

Bemaßung-Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten



ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME
Ergänzungen BS-Begehung	F	21.02.12	SR
WC-Bereiche 3.010, 3.011; Flur 3.02	E	10.02.11	AH
Brandwände	D	11.11.10	SR
Foyerwand zur Mensa	C	16.09.10	SR
Diverse Änderungen Mensaküche	B	04.08.10	AH
Lüftungsturm PQ 12-13	A	11.03.10	AH
FREIGABE	#	26.02.10	SR

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3.1 / 2. BA ERDGESCHOSS

BAUHERR
Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.C0.05 F
DRUCK	09.03.2012
GEZ.	SR/AH
MASSTAB	1 / 50

LEGENDE

MAUERWERK BESTAND	LEICHTBAUWÄNDE	ANBAU MENSA
SIBETON BESTAND	ABBRUCH	TESTFLÄCHE AKUSTIK
SIBETON NEU	ABBRUCH, SPÄTER SCHLIEßUNG	
MAUERWERK NEU - KS 12	INSTALLATIONSSTÜTZEN	
MINERALWOLLE WLG 032	PORENBETON	

T	KLASSENTAFEL
RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SO	SONNENSCHUTZ
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
LK	LICHTKUPPEL

OKFB OK Fertigfussboden
OKRB OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

Bemaßung-Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten

N

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME
Ergänzungen BS-Begehung	H	21.02.12	SR
Wand Mensa/3.004 Bibliothek	G	14.02.11	SR
WC-Bereiche 3.010, 3.011; Flur 3.02	F	10.02.11	AH
Abbruch Wand 3.004	E	28.01.11	AH
Fenster Foyer	D	10.01.11	AH
Brandwand	C	11.11.10	SR
Foyerwand zur Mensa	B	16.09.10	SR
Schacht Schulbücherei	A	04.08.10	AH
FREIGABE	#	26.02.10	SR

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3.2 / 3. BA ERDGESCHOSS

BAUHERR

Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.C0.06 H
DRUCK	09.03.2012
GEZ.	SR/AH
MASSTAB	1 / 50

Bemaßung-Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

R Q P O N M L K J A I H G F E D C B A

8,80 | 3,20 | 2,40 | 2,40 | 8,40 | 2,46

8,80 | 69 | 1,53 / 2,41 | 98 | 2,40 / 2,13⁵ | 2,40 | 8,40 | 92 | 1,53 / 2,41 | 3,07 | 3,08 / 2,41

7,20 | 2,41 | 5,39 | 2,41 | 85

7,30 | 96 | 92 | 5,39 | 2,41 | 99 | 1,56 | 5,39 | 2,41 | 2,40

42,04 | 15,60 | 8,65 | 2,40 | 2,40 | 2,50 | 9,60 | 9,60

4.011 MUSIKSCHULE 47,25 m²

SO | KS klären! | Installationsstütze | RR 9 | RR 8 | -0,43 | 40 | 6,90 | 5,89

4xKernbohrung a 50mm OK= UKRD

4.011a Lager/ Instrumente bzw. z.b.V. 19,00 m²

3,47 | 35 | 3,08 | F30 AB | 1,48⁵ | 2,25⁵ | 40

Trakt 4 ◀ ▶ Trakt 3 | Zuluftgitter nach Angabe HT | 1,44 | 0,53 | Zuluft | 1,13 | 2,00⁵ / 2,46

3.008 MUSIK VORBEREITUNG 31,20 m²

4xKernbohrung a 50mm OK= UKRD

C

-0,33 | -0,43 | RR 10 | 30 | 4xKernbohrung a 50mm OK= UKRD | HK | WD 2x ∅ 250 OK= 41cm UKD | WD 2x ∅ 355 OK= 41cm UKD | WD 2x ∅ 280 OK= 41cm UKD luftdicht verschließen

E21 ds | E13 ds | E11 | T 30 RS | F30 AB | F90 AB | BD 300/117,5 | A1 abschließbar | 15 | 2,25 | 12⁵ | 3,17⁵ | 17⁵ | 2,85 | 1,17⁵ | 45 | 1,72 | 1,01 / 2,13⁵ | 55⁵ | 53⁵ | 2,01 | 82⁵ | 60 | 2,62⁵ | 15 | 33 | 23 | 1,95 | 3,35

SO | -0,15 | Installationsstütze | 4.010 KLASSENRAUM 10b 47,15 m² | 7,00 | E20 ds | FLUR 4 75,55 m² | E12 T 30 RS | E12a ds | E12b | E12c | 4.004 WC H 4,30 m² | 4.003 Beh.-WC 4,55 m² | 4.003a PM 3,80 m² | 4.005 WC P 4,30 m² | BD 80/55 | 1,01 / 2,13⁵ | 1,06 | 15 | 10

-0,52 | RR 12a | -0,38 | KS | 4.009 KLASSENRAUM 10a 49,25 m² | 1,02 | 1,59⁵ | -0,26 | -0,32 | 40 | NA 24 | Detail | 6,27 | 35 | 57 | E19 ds

-0,31 | RR 11 | 11a | -0,97⁵ | -1,14 | 16 STG 16/30 | 4,53⁵ | TREPPE 1 | Boden entfernen neuer Fußbodenaufbau | 9,26 | 17 | 2 | 2,25 | Brandwand | F90 AB | 1,24⁵ | ±0,00 RS | 2,01 / 2,13⁵ | 1,58 | 1,96⁵

4.002 Stuhllager Möbel B1 14,40 m² | 2,77⁵ | 17⁵ | 1,30 | 45 | 2,00 | 10 | BD 60 /115 | BD 225/140 | T30-RS | Türblatt wiederverwenden | E16 ds | E15 | 4.001a UMKLEIDE 7,05 m² | WD 400/300 OK nach Angabe BL | Kühlschrankhöhe beachten: 2,00m! | 4,35 | Platten-HK | Faltklappladen | 4,40⁵ | 9,55 | 2,23

HK | WD 2x ∅ 250 OK= 12cm UKD ZL AL | E18 ds | E17 ds | F30 AB | WD 2x ∅ 355 OK= 41cm UKD | WD 2x ∅ 450 OK= 41cm UKD | 50 | 2,47 | 3,49

ABHANGFLÄCHE 49,85 m² | ABHANGFLÄCHE 34,80 m² | 4xKernbohrung a 50mm OK= UKRD

T | 4.008 KLASSENRAUM 10d 66,05 m² | 4.007 KLASSENRAUM 10c 47,85 m² | 4.006 SANITÄTSRAUM 30,20 m² | AHD erhalten | 7,15 | 16,80 | 4,50 | 30 | 40 | 35

4.001 AUSGABE 31,45 m² | BE | Bodenbelag PVC entfernen Fliesenbelag R11 Estrich prüfen | 4.001b Lager 7,70 m² | 2,26⁵ | 2,27⁵ | E62 | 2,64 | 1,01 / 2,13⁵ | 1,02⁵ | 12⁵ | E64 | E63 | R10 | 77 | 1,47⁵

RR 13a | -0,37 | Installationsstütze | SO | RR 14 verlegen | RR 15 | -0,26 | -0,13 | 1,67 / 2,46 | 4.001c SPÜLKÜCHE 16,65 m² | E65 | Detail 30 | +0,06

D-D ▲ | KD117.01 | 1,26⁵ | 26⁵ | 2,18 | 2,57 | 2,69 | 4,35 | 5,19 | 5,60⁵ | 1,36 | 1,26⁵ | 26 | WF | NA 21 | 5,75 m² | 21a NA | ±0,00 | 2,73⁵ | 9,28

Bepflanzung | SO | 4,80 | 1,29 | 2,00 | C | Trakt 4 ◀ ▶ Trakt 3 | 72

2,50 m²

1,90 | 6,93 / 2,41 | 2,30 | 5,39 / 2,41 | 1,47⁵ | 1,59 | 2,01⁵ / 2,41 | 1,04 | 5,44 / 2,41

21,60 | 7,20

LEGENDE

MAUERWERK BESTAND	LEICHTBAUWÄNDE	ANBAU MENSA
StBETON BESTAND	ABBRUCH	TESTFLÄCHE AKUSTIK
StBETON NEU	ABBRUCH, SPÄTER SCHLIEßUNG	
MAUERWERK NEU - KS 12	INSTALLATIONSSTÜTZEN	
MINERALWOLLE WLG 032	PORENBETON	

T	KLASSENTAFEL
RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SO	SONNENSCHUTZ
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
LK	LICHTKUPPEL

OKFB / OKRB — OK Fertigfussboden / OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

Bemaßung-Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten

N

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME
Ergänzungen BS-Begehung	D	21.02.12	SR
Diverse Änderungen Mensaküche	C	04.08.10	AH
Diverse Änderungen Fenster	B	07.07.10	AH
Lüftungsturm PQ 12-13	A	11.03.10	AH
FREIGABE	#	26.02.10	SR

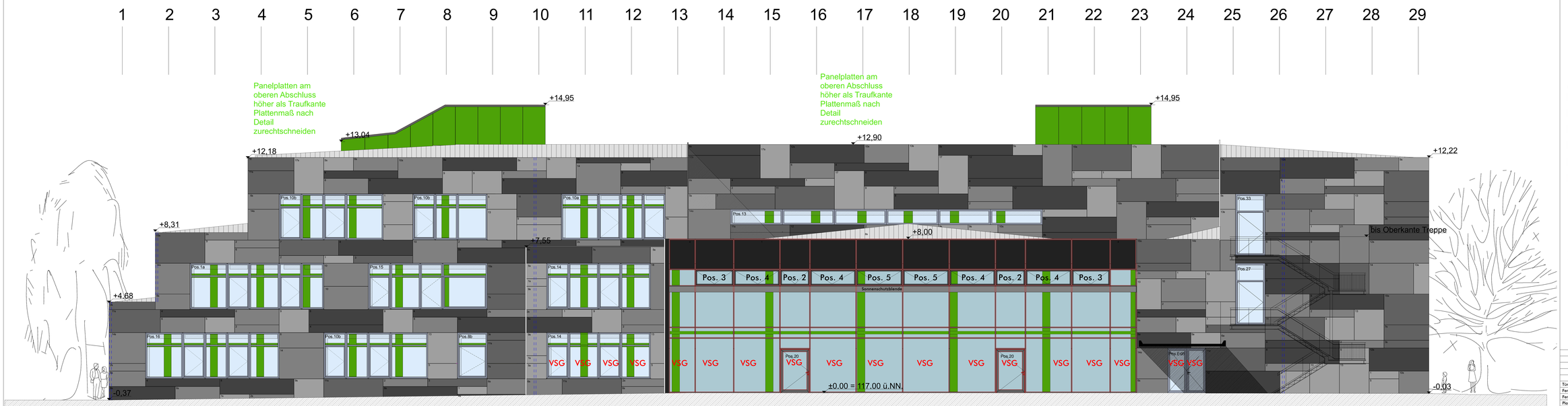
RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

GYMNASIUM BAESWEILER

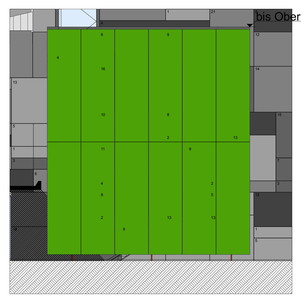
TRAKT 4 / 1. BA
ERDGESCHOSS

BAUHERR
Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.C0.04 D
DRUCK	09.03.2012
GEZ.	SR/AH
MASSTAB	1 / 50



Süd-Ost Ansicht



LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- SIBETON BESTAND
- SIBETON NEU
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH
- RW REGENWASSER
- SW SCHMUTZWASSER
- RR REGENROHR
- BD BODENDURCHBRUCH
- DD DECKENDURCHBRUCH
- BRH BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
- WD WANDDURCHBRUCH
- WS WANDSCHLITZ
- OKFB OK Fertigfussboden
- OKRB OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME
Tür E66 Foyer	I	16.02.11	AM
Fenster 3.107	H	26.01.11	AM
Fenstenummern	G	10.01.11	AM
Plattenummern - Teilung	F	15.12.10	AM
Plattennummern	E	14.12.10	AM
Diverse Änderungen Fenster	D	07.07.10	AM
Plosterriegelkonstruktion	C	26.05.10	AM
Änderungen Positionsnummern	B	18.03.10	AM
Lüftungsturm PO 12-13	A	11.03.10	AM

ARCHITEKT

Druck 14.03.2012

RONGEN ARCHITEKTEN GmbH
PROFITISGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL 02432/3094

Gymnasium Baesweiler

TRAKT 3/4
ANSICHT SÜD OST

BAUHERR	BLATT	B11 CDs.20 II
Stadt Baesweiler Der Bürgermeister Mariastr. 2 52499 Baesweiler	DATUM	26.02.2010
	GEZ.	TL/AM
	MASSTAB	1 / 50

BODENBELAG
BESTAND
R9 FLIESEN
R10/A FLIESEN
R10/B FLIESEN
ESTRICH GESTRICHEN
LINOLEUM
LEGENDE
MAUERWERK BESTAND
SIBETON BESTAND
SIBETON NEU
MAUERWERK NEU - KS 12
MINERALWOLLE WLG 032
LEICHTBAUWÄNDE
ABBRUCH
ABBRUCH, SPÄTER SCHLIEßUNG
INSTALLATIONSSTÜTZEN
PORENBETON
ANBAU MENSA
DURCHBRÜCHE
DURCHBRÜCHE ELEKTRO
KIES
ABHANGDECKE (BESTAND)
RAUMHÖHE
MAßE IN MM
MAßE IN CM
KLASSENTAFEL
REGENWASSER
SCHMUTZWASSER
SONNENSCHUTZ
REGENROHR
BODENDURCHBRUCH
DECKENDURCHBRUCH
BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WANDDURCHBRUCH
WANDSCHLITZ
LICHTKUPPEL
OK Fertigfussboden
OK Rohfussboden
ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB
Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen.Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.
Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.
Die Durchbrüche sind in Abstimmung mit dem Fachfirmen und ggfls. mit dem Statiker zu setzen.
Bemaßung-Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten
ARCHITEKT
RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094
GYMNASIUM BAESWEILER
TURNHALLE
Erdgeschoss TEIL A
BAUHERR
Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler
BLATT 811.C.501
DATUM 24.04.2013
GEZ. sr
MASSTAB 1 / 50
116.47
A
B
C
D
E
5.004
LAGER/TECH
NIK
14,65 m²
5.003a
WC - D
15,45 m²
5.003
Vorraum
WC - D
15,05 m²
AHD
erneuern ?
5.002a
WC - H
10,75 m²
5.002b
WC - H
10,20 m²
5.002
Vorraum
WC - H
7,80 m²
Wetterschutzgitter 400/330mm
UK +2,32 ü. OK Ffb
Pflanzen
Kies
REVISION
NOTAUSGANG 3
D 519
geschlossene Lichtkuppeln
im ganzen Gebäude
auf Luftdichtheit überprüfen
HK 1605/905/157
Typ 33
5.019
HALLENWART
12,70 m²
5.019a
PM
4,15 m²
±0,00 FFOK = 116,69 ü.NN
-0,13⁵ RFOK
JALOUSIE-
KLAPPE
Sockelbereich Prallwand
mit nichtbrennbarer Dämmung
ausblasen, 50 cm hoch
D 509
HK 3000/900/155
Typ 33, Profil kompakt
Anschluss wechselseitig
5.018
UMKLEIDERAUM 1
21,65 m²
HK 1405/905/157
Typ 30
D 507
5.017a
WASCHRAUM
21,65 m²
DUSCHEN
5.020
AR 1
8,85 m²
5.001a
GERÄTERAUM
46,60 m²
D 515
RWA
z.B. JET-TOP 90
PLUS
1,50 x 2,50m
A-Wert 1,99m²
5.005
WC
4,05 m²
5.006
UMKL. DAMEN
8,85 m²
HK 605/905/157
Typ 30
5.017
UMKLEIDERAUM 2
21,65 m²
+0,02⁵ FFOK
-0,06⁵ RFOK
STIEFELGANG
64,75 m²
TURNSCHUHGANG
5.001b
GERÄTERAUM
15,45 m²
Boden einschneiden
für Trennwand
Geräteraumtor
erneuern
(Eigenleistung Bauherr)
Unterdecke Wilhelmi o.ä., nach Ang. BL
in Montagebereichen (Teil-) Platten
austauschen und UK verstärken
Altdecke neu streichen
5.016
UMKLEIDERAUM 3
21,65 m²
HK 1205/905/157
Typ 30
Punktentwässerung weg,
nur Linienentwässerung.
Wand erst nach Einbringen
der Lüftungstechnik
setzen/schliessen
D 514
5.015a
WASCHRAUM 2
21,65 m²
5.021
TECHNIK
8,90 m²
5.001c
LÜFTUNG
31,60 m²
Lüfter
70/53
A5
5.015
UMKLEIDERAUM 4
21,65 m²
5.007
WC
4,00 m²
5.008
REGIE
8,95 m²
5.001
Halle
1.284,75 m²
5.014
UMKLEIDERAUM 5
21,65 m²
Beispielraum,
Decke fertig
RH bis AHD
2,48
81,55 m²
5.009
UMKL. HERREN
8,90 m²
5.010
WC
4,05 m²
5.013a
WASCHRAUM 3
21,65 m²
Feuchtraumdecke
5.022
AR 3
8,85 m²
5.001d
GERÄTERAUM
48,50 m²
5.013
UMKLEIDERAUM 6
21,65 m²
5.011
PM
3,50 m²
WC
3,20 m²
5.012
TECHNIKRAUM
26,20 m²
+0,02⁵ FFOK
-0,06⁵ RFOK = 116,63 ü.NN
BSK-K90
NW 160
auf Roh-Fb setzen
Gratsparren abfangen
HEB 120 bzw. nach Statik
K90-Überströmklappe (140 m³/h)
mit beidseitigem Anschlussgitter
201x201x375
NOTAUSGANG 3
D 517
43,87
DRUCK: 25.04.2013 BLATTGRÖSSE: 1500/841mm

BODENBELAG: BESTAND · RP FLIESEN · R10/A FLIESEN · R10/B FLIESEN · ESTRICH GESTRICHEN · LINOLEUM

LEGENDE: MAUERWERK BESTAND · SIBETON BESTAND · SIBETON NEU · MAUERWERK NEU - KS 12 · MINERALWOLLE WLG 032 · LEICHTBAUWÄNDE · ABBRUCH · ABBRUCH, SPÄTER SCHLIEßUNG · INSTALLATIONSSTÜTZEN · PORENBETON · ANBAU MENSA · DURCHBRÜCHE · DURCHBRÜCHE ELEKTRO · KIES

AHD_B Abhangdecke (Bestand) · IL RH Raumhöhe · WD Maße in mm · DD/BD Maße in cm · T Klassentafel · RW Regenwasser · SW Schmutzwasser · SO Sonnenschutz · RR Regenrohr · BD Bodendurchbruch · DD Deckendurchbruch · BRH Brüstungshöhe (ab OKFB) · WD Wanddurchbruch · WS Wandschutz · LK Lichtkuppel · OKFB Ok Fertigfussboden · OKRB Ok Rohfussboden · ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen.Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

Die Durchbrüche sind in Abstimmung mit dem Fachfirmen und gaffs. mit dem Statiker zu setzen.

Bemaßung:Öffnungsmaße im Konstruktionsraster der Fassadenplatten

N

ARCHITEKT

RONDEN ARCHITEKTEN GmbH
PROPSTEIGASSE 2 · 41840 WASSENBERG · TEL. 02432/5094

GYMNASIUM BAESWEILER

TURNHALLE
Erdgeschoss TEIL B

BAUHERR: Stadt Baesweiler, Der Bürgermeister, Marktstr. 2, 52499 Baesweiler

BLATT 811.C.502 · # · DATUM 24.04.2013 · GEZ. sr · MASSTAB 1 / 50

-0,34 · -0,28

C D E F G H K

26,60

1,50 15 4,64 6 28,50 57 20

1,00 2,50 · 1,35 · 2,20 2,20 · 84⁵ · 9,45 · 2,50 · 3,42 · 3,73 2,50 · 79 · 53⁵ · 2,01 2,50 · 53⁵ · 80 · 3,75 2,50 · 1,61 · 3,27

60 · 3,50 · 15 · 3,70 · 15 · 3,60 · 15 · 5,39 · 15 · 3,05 · 15 · 5,41 · 25 · 35 · 3,27

1,00⁵ 40 · +0,17 · RR 13 · Wetterschutzgitter 400/330mm · UK +2,32 ü. OK Ffb · Pflanzen · Kies

+0,14 · RR 12 · Pflanzen · Kies · 12 · 1 · B5 · Pflanzen · Kies · RR 11 · -0,05

5.004 LAGER/TECHNIK 14,65 m² · LK · 4,18 · 3,87⁵ · 30 · 15 · 30 · 50 · DD 40 /40 · Wasseroberkasten

5.003a WC - D 15,45 m² · 5.003 Vorraum WC - D 15,05 m² · 1,25 · 1,44 · 1,41

5.002a WC - H 10,75 m² · 1,46 · 5.002 Vorraum WC - H 7,80 m² · PM F30 AB 2,20 m² · 2,91 · 1,41

AHD erneuern ?

BSK · WD 22/22 WD 30/24 · WD 30/24 · DD 15 /15

5.002b WC - H 10,20 m² · +0,19 · F30 AB WD 47/37 WD 47/37 · RR 14 · 2 x BSK

9 · 11 · 10 · NOTAUSGANG 3 · 60/100 · WD 12/12 · RR 15 · BSK-K90 NW 100 · F · 3

±0,00 FFOK = 116,69 ü.NN · -0,13⁵ RFOK · JALOUSIE-KLAPPE

HK 3000/900/155 Typ 33, Profil kompakt Anschluss wechselseitig · WD 42/37

Sockelbereich Prallwand mit nichtbrennbarer Dämmung ausblasen, 50 cm hoch

D 509

1,99 · 1,01 · 2,13⁵ · 1,55⁵ 31 · 1,01 · 2,13⁵ · 1,65⁵

HK 630/1800/122 Typ HVN 22

150/200 Windfang 6,85 m² · FOYER 98,25 m² AHD teilerneuern · 2,40 · 2,26⁵ · BETÄTIGUNG RAUCHABZUG · FEUERALARM · FEUERLÖSCHER · +0,19 · -0,05 D 519 · -0,15

F30 AB · 52 RS · RR 10 · NOTAUSGANG 1 · FEUERALARM · 1,65 2,14 ± 0.00 · 3,25 · 14 · 16

20 · 4,77⁵ · 6,25 · 1,50 · 12,98⁵ · 1,50 · 6,26⁵

45 · 4,55 · 15 · 3,00 · 15 · 1,25 · 15 · 12⁵ · 10⁵ · 2,65⁵ · 23,18 · 2,66⁵

D 515 RWA z.B. JET-TOP 90 PLUS 1,50 x 2,50m A-Wert 1,99m² · 1,04⁵ · 2,50 · 1,04⁵ · RWA · TRIBÜNEN-TREPPE

14 · RSK-K90 450x500 · WD 47/37 · 5.001a GERÄTERAUM 46,60 m²

F30 AB · 5.005 WC 4,05 m² · 5.006 UMKL. DAMEN 8,85 m² · HK 605/905/157 Typ 30 · BSK-K90 NW 100 · WD 12/12 · 30 ds · 29 · Tür-D 0,88⁵ / 2,01 · WD 65/40 · RS · WD 42/37

±0,00 FFOK = 116,69 ü.NN · -0,06⁵ RFOK · RSK-K90 450x500 · 28 · Tür-D 1,01 / 2,01 · 27/27 RS · WD 27/27 WD 65/40

TURNSCHUHGANG · WD 37/37 WD 47/37 · 5.001b GERÄTERAUM 15,45 m² · BSK-K90 NW 315 · WD 47/37 · Boden einschneiden für Trennwand · 33 · 82⁵ · WD 50/35 WD 65/50 · WD 27/27

Geräteraumtor erneuern (Eigenleistung Bauherr) · HK 3000/900/155 Typ 33, Profil kompakt Anschluss wechselseitig

Unterdecke Wilhelmi o.ä., nach Ang. BL in Montagebereichen (Teil-) Platten austauschen und UK verstärken Altdecke neu streichen

F30 AB · T30 RS · DD 122 /80 · 25 · 88⁵ 2,01 · Wand erst nach Einbringen der Lüftungstechnik setzen/schliessen · D 514 · RR 16

Lüfter 70/53 · 5.001c LÜFTUNG 31,60 m² · DD 108 /92 · Tür-D 1,50 / 2,48 · WD 50/35 WD 70/50 · 31 RS · BSK-K90 NW 100 · WD 12/12 · BSK-K90 NW 200 · WD 22/22

5.007 WC 4,00 m² · 5.008 REGIE 8,95 m² · HK 605/905/157 Typ 30 · WD 50/35 WD 67/47 · ds 26 · 25 RS · 24 · BSK-K90 NW 315 · WD 27/27

RH bis AHD 2,48 · 81,55 m² · BSK-K90 NW 200 · 21 ds · WD 12/12 · HK 605/905/157 Typ 30 · 22 RS · WD 67/47 · 23 RS · WD 27/27

5.009 UMKL. HERREN 8,90 m² · 4,05 m² · WD 12/12 · 5.010 WC · WD 42/37 · RR 8

5.001 Halle · 1.284,75 m² · TRIBÜNE EINGESCHOBEN · 3,25 · 3,37⁵

5.001d GERÄTERAUM 48,50 m² · F · RSK-K90 500x350 · WD 54/54 · 30 AB ds 20

5.011 PM 3,50 m² · DD 19 /19 · BSK-K90 NW 160 · auf Roh-Fb setzen · Gratsparren abfangen HEB 120 bzw. nach Statik · K90-Überströmklappe (140 m³/h) mit beidseitigem Anschlussgitter 201x201x375 · 4,77⁵ · 32⁵

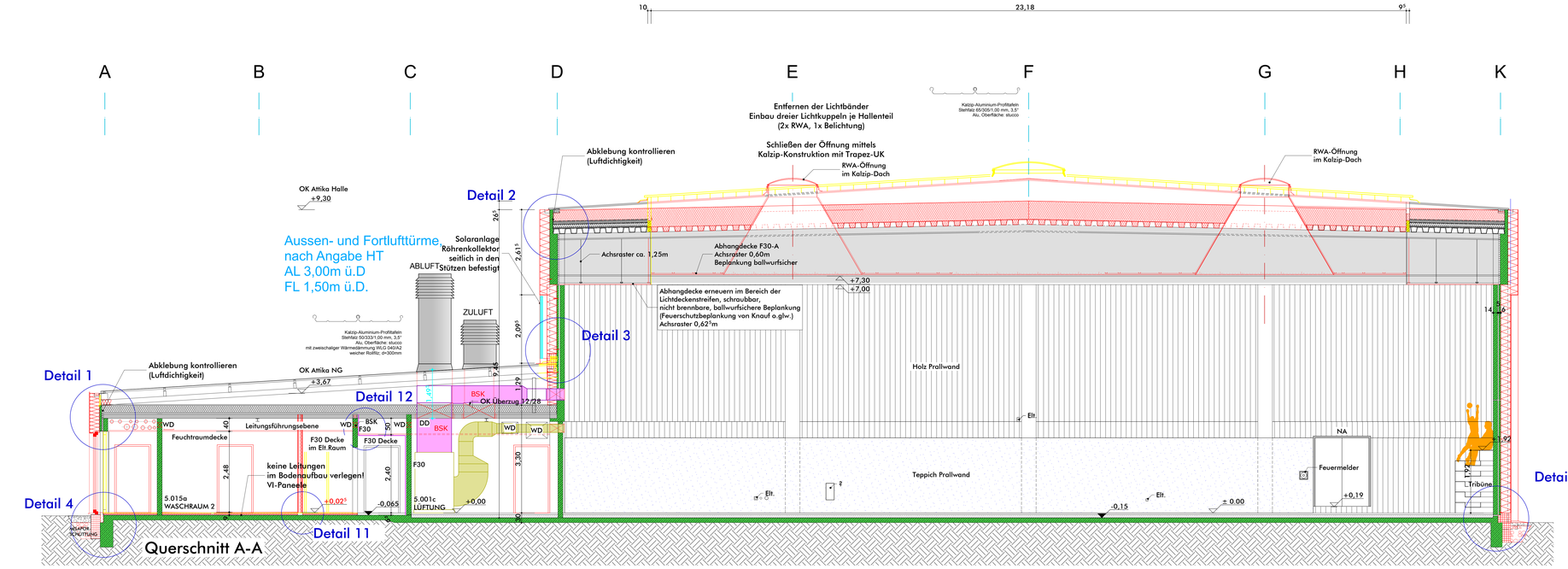
NOTAUSGANG 3 · RR 8 · 3 · D 517 · -0,19 · Sockelbereich Prallwand mit nichtbrennbarer Dämmung ausblasen, 50 cm hoch · FEUERALARM · NOTAUSGANG 2 · 4⁵ 1,50 2,07⁵ ± 0,00 · 4⁵ · 3,24 · RR 9 · 2 · D 508 · +0,20 · -0,15

1,50 15 · 33,20 · 45 32 · -0,02 · 2,01 2,30 2,25 · 1,89⁵ · 24,51⁵ · 1,45 · 4,08 · 43,87

35 25 6,93 7,53 7,53 1 · 35 15 32 10 1,24 2 · -0,15 · 4,13⁵ 3 · 1,09 3,91 3,91 4 · 1,09 3,91 3,91 5 · 1,09 3,91 3,91 6 · 1,09 3,91 3,91 7 · 1,09 3,91 3,91 8 · 1,09 3,91 3,91 9 · 1,09 3,91 3,91 10 · 1,09 4,13⁵ 11 · 32 15 39 6⁵ 1,25

44,98⁵ · 46,85 · A5

DRUCK: 25.04.2013 BLATTGRÖSSE: 1500/841mm



LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- SIBETON BESTAND
- SIBETON NEU
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH

Zeilennummern PHPP

RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
SK	SINKKASTEN
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
OKFB / OKRB	OK Fertigfussboden / OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME

ARCHITEKT

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

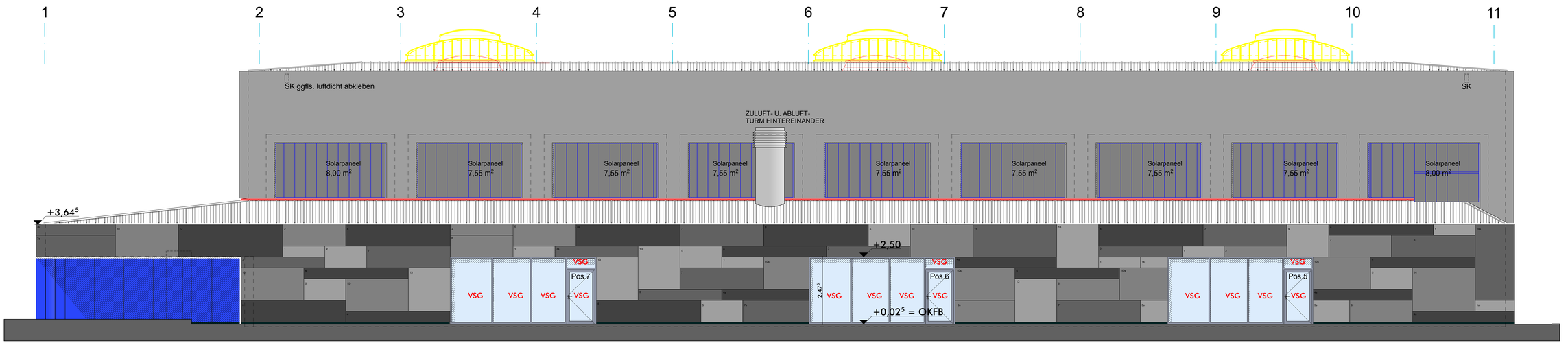
GYMNASIUM BAESWEILER

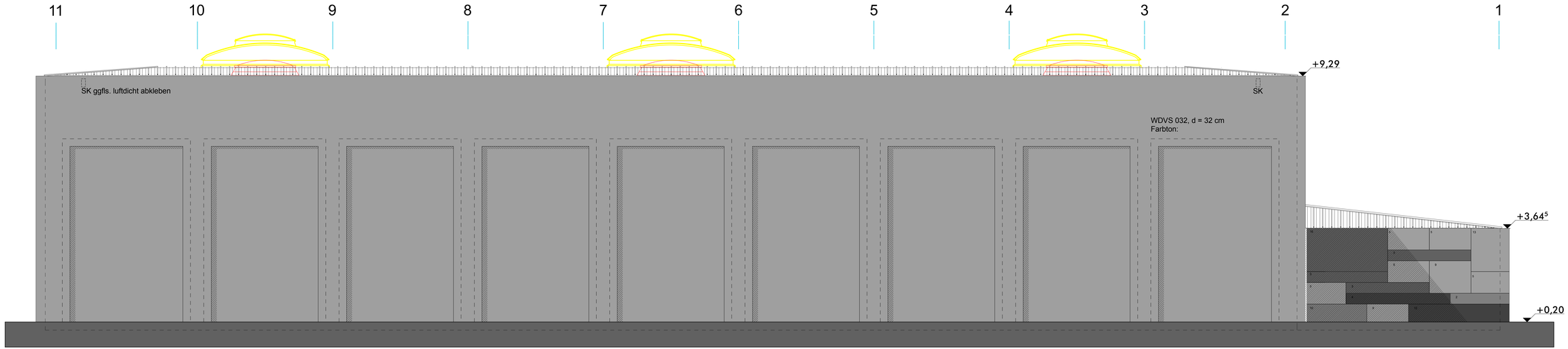
TRAKT 5 - TURNHALLE
SCHNITT A-A, B-B

BAUHERR

Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.C.505 #
DATUM	24.04.2013
GEZ.	SR
MAßSTAB	1/50





Nord-Ost Ansicht

LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- STBETON BESTAND
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH

RW	REGENWASSER
SW	SCHMUTZWASSER
RR	REGENROHR
BD	BODENDURCHBRUCH
DD	DECKENDURCHBRUCH
BRH	BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
WD	WANDDURCHBRUCH
WS	WANDSCHLITZ
OKFB	OK.Fertigfussboden
OKRB	OK.Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME

N

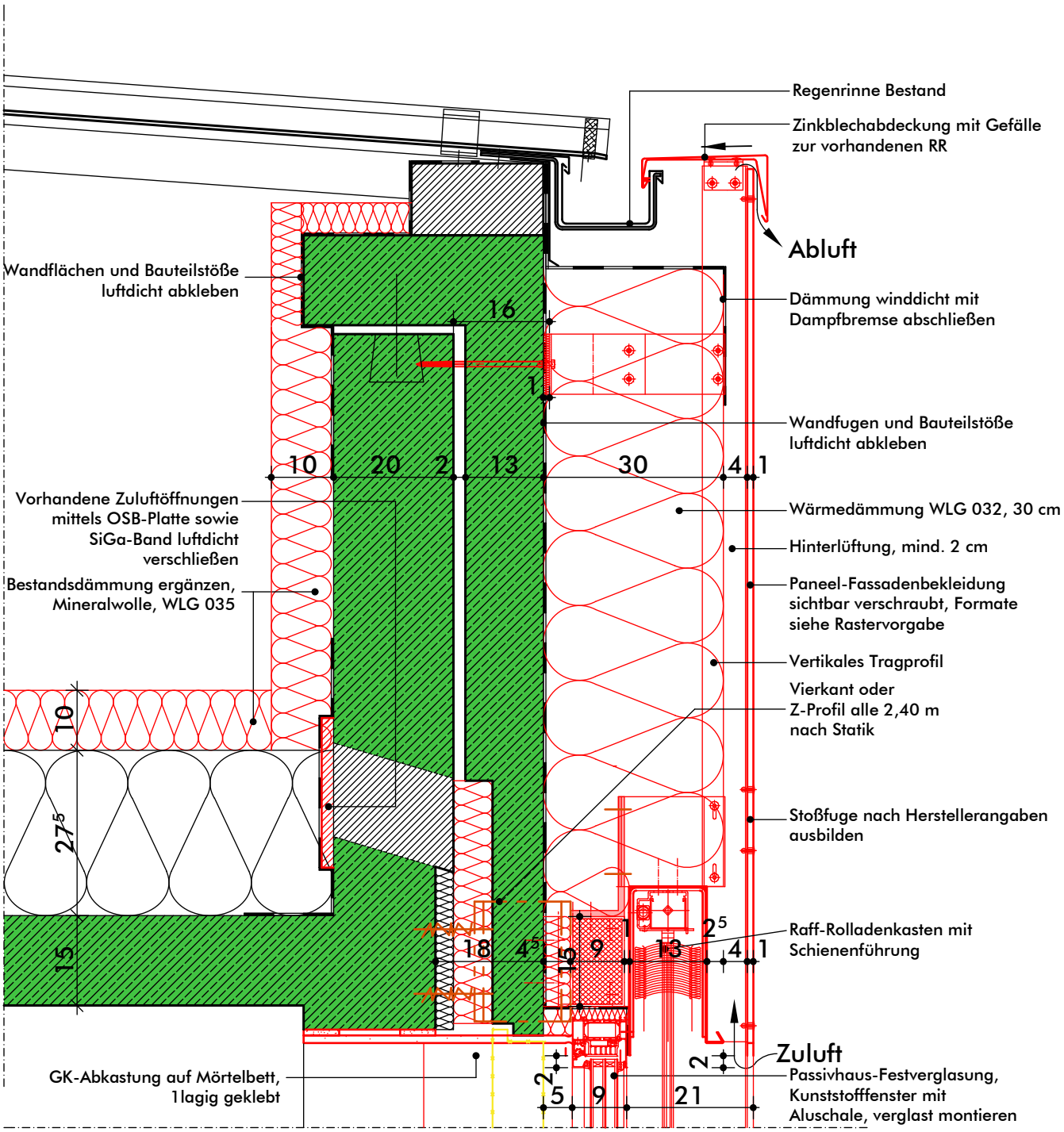
ARCHITEKT

KONGEN ARCHITEKTEN GmbH
PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL. 02432/3094

Gymnasium Baesweiler

TRAKT 5 - TURNHALLE
ANSICHTEN

BAUHERR	BLATT	811.C.507 / #
Stadt Baesweiler Der Bürgermeister Mariastr. 2 52499 Baesweiler	DATUM	24.04.2013
	GEZ.	SR
	MASSTAB	1 / 50



Druck 08.11.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

C-Profil	A	08.11.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

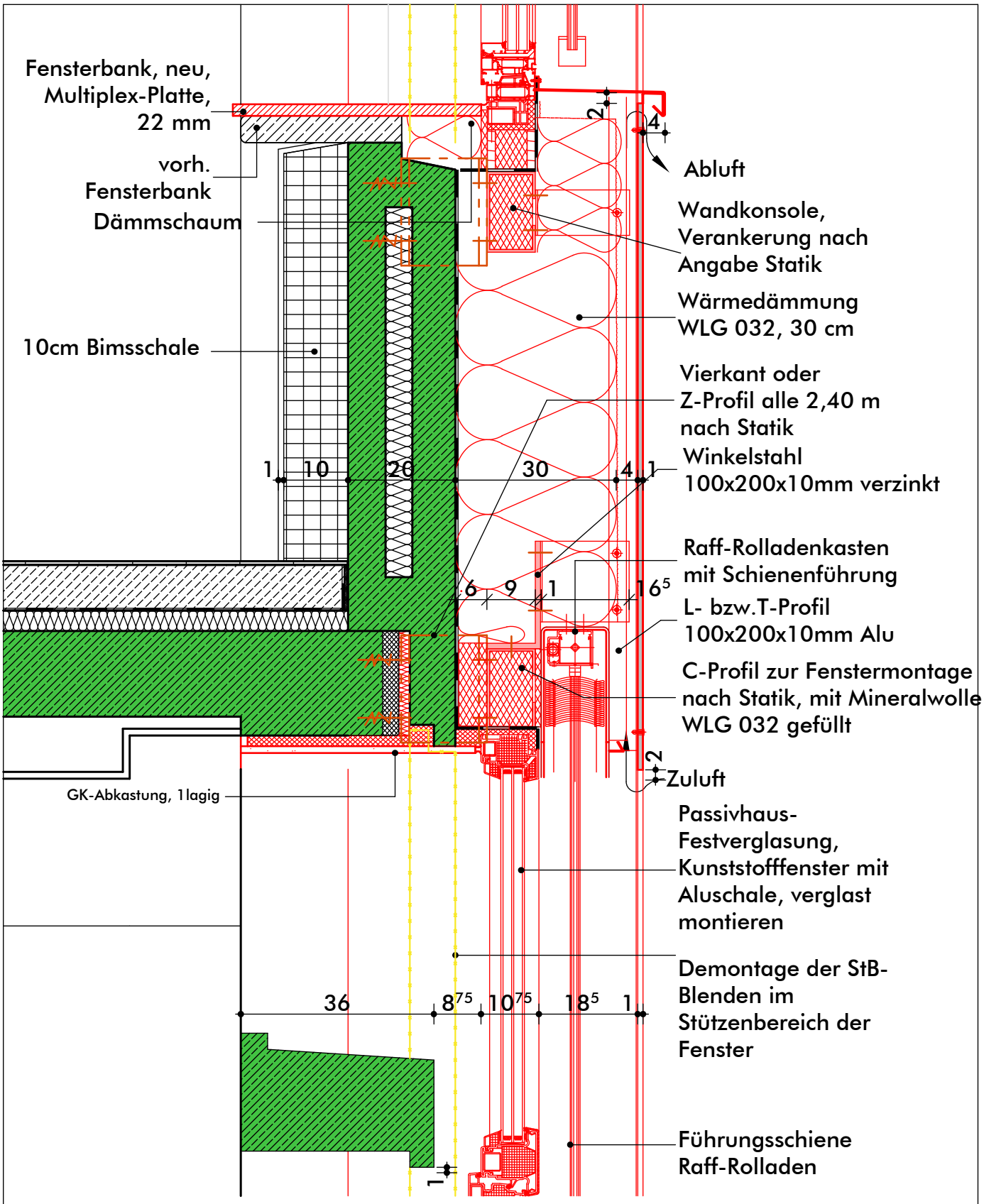
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4
ATTIKA-BEREICH

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.01	A
DATUM	15.04.2010	
GEZ.	AH/TL	
MASSTAB	1/10	



Druck 03.11.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME
C-Profil	A	03.11.2010	AH

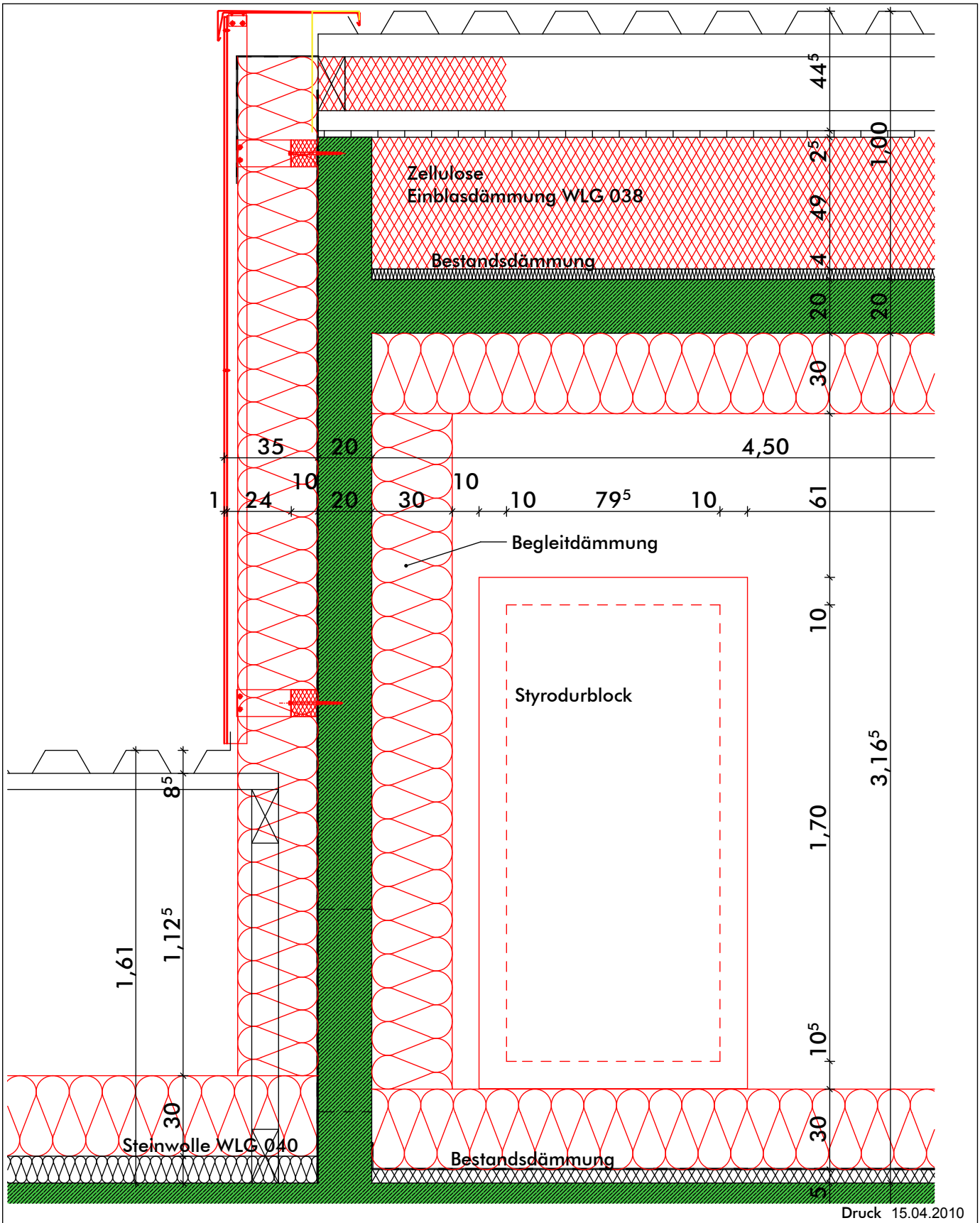
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4
Fassade

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.02	A
DATUM	15.04.2010	
GEZ.	AH	
MASSTAB	1/10	



Druck 15.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

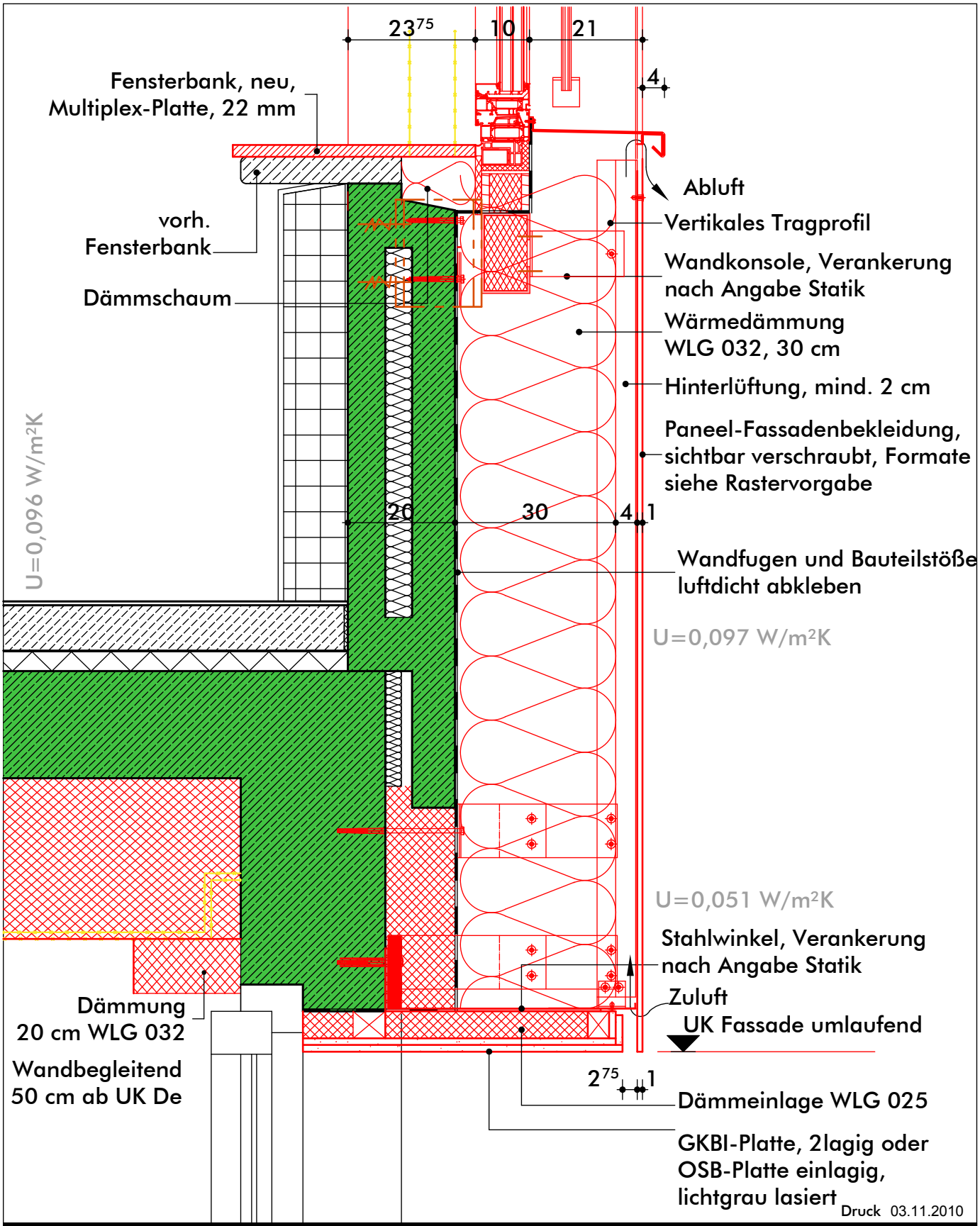
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3
Treppenhausschnitt T 2

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.03
DATUM	15.04.2010
GEZ.	AH
MASSTAB	1/20



Druck 03.11.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

C-Profile	A	03.11.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

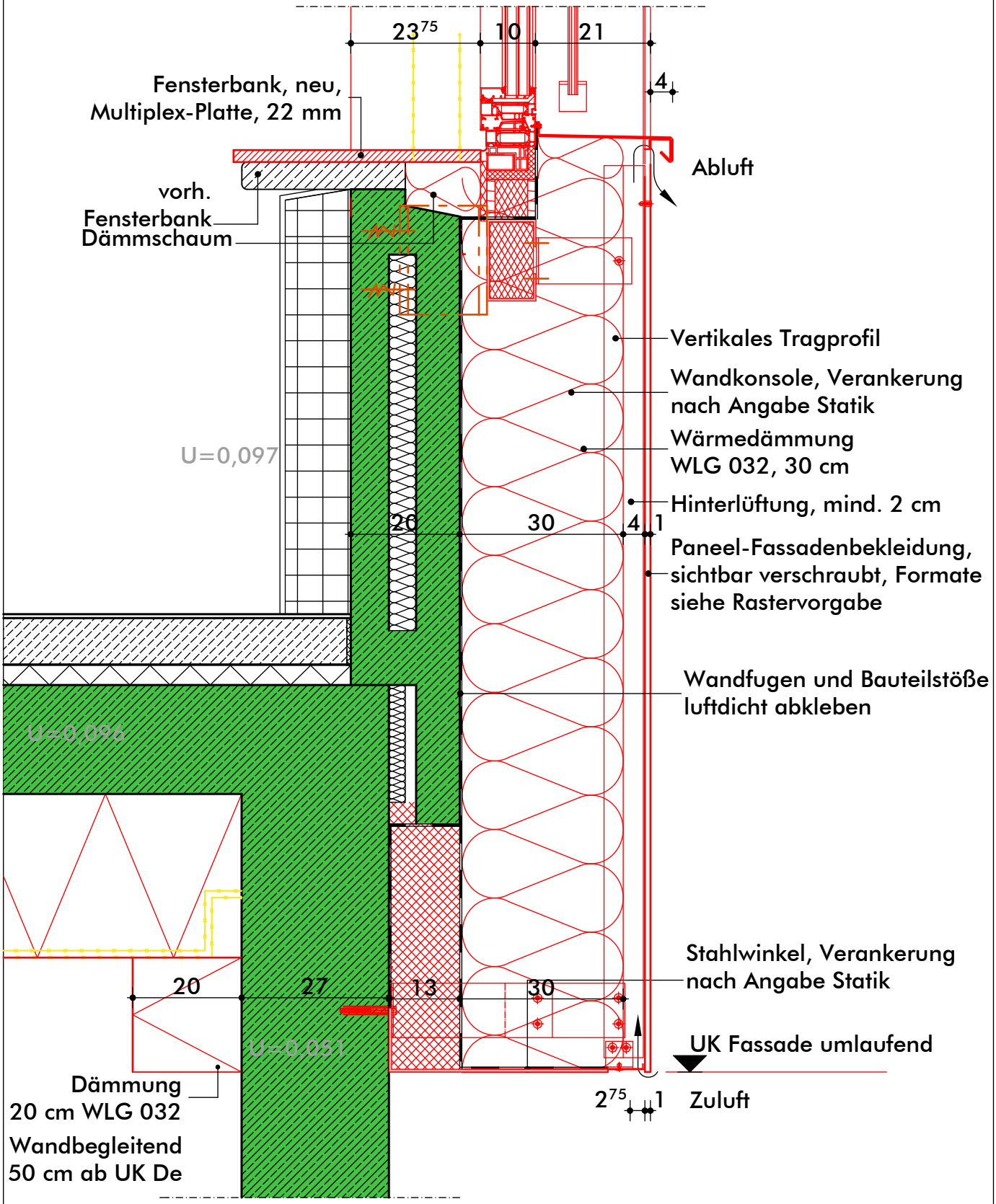
TRAKT 3/4 -NORD FASSADE

Fassadenabschluss Keller (Fenster)

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.4.1	A
DATUM	16.04.2010	
GEZ.	AH/TL	
MASSTAB	1/10	



Druck 03.11.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME
C-Profil	A	03.11.2010	AH

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

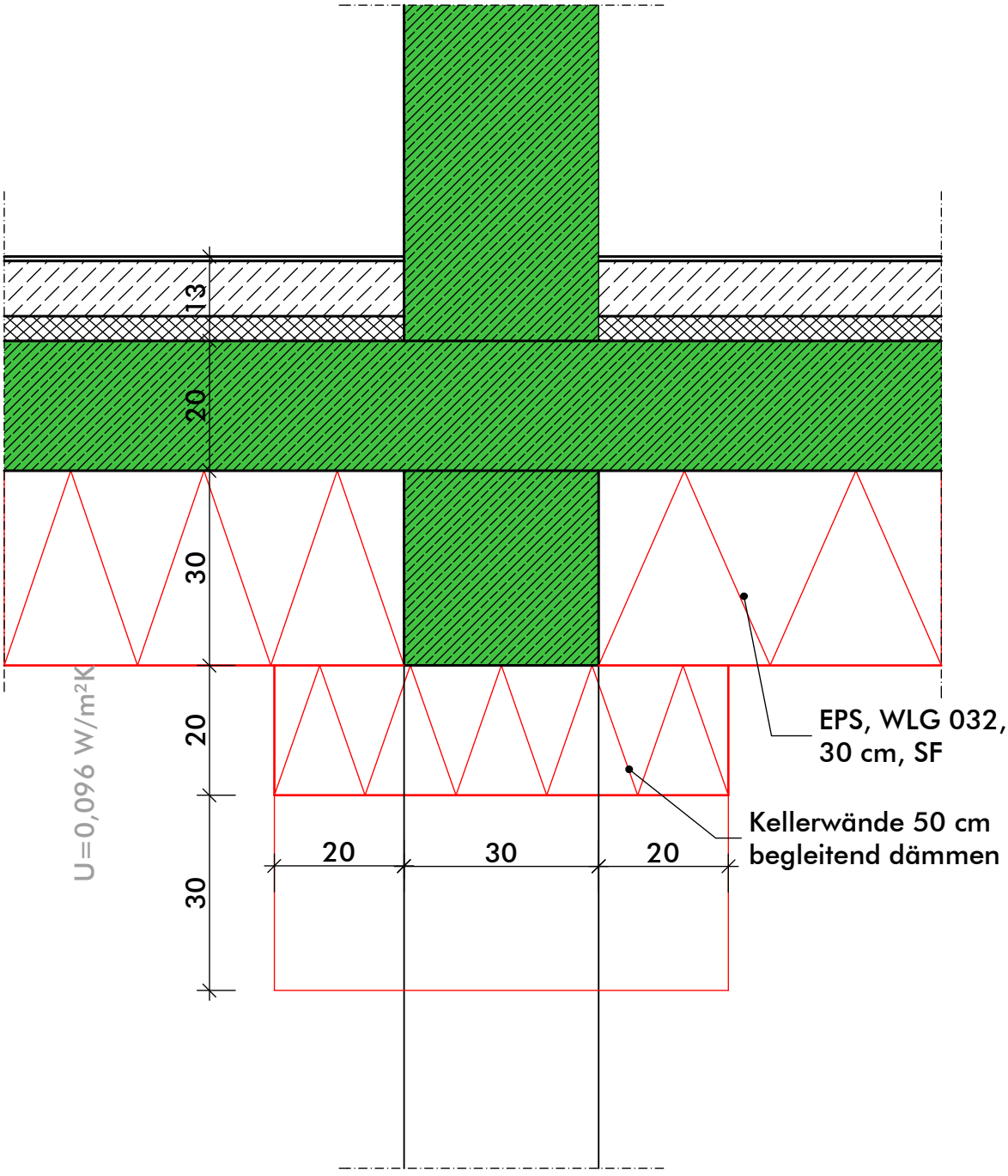
TRAKT 3/4 -NORD FASSADE

Fassadenabschluss Keller

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.4.2	A
DATUM	16.04.2010	
GEZ.	TL	
MASSTAB	1/10	



Druck 17.03.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

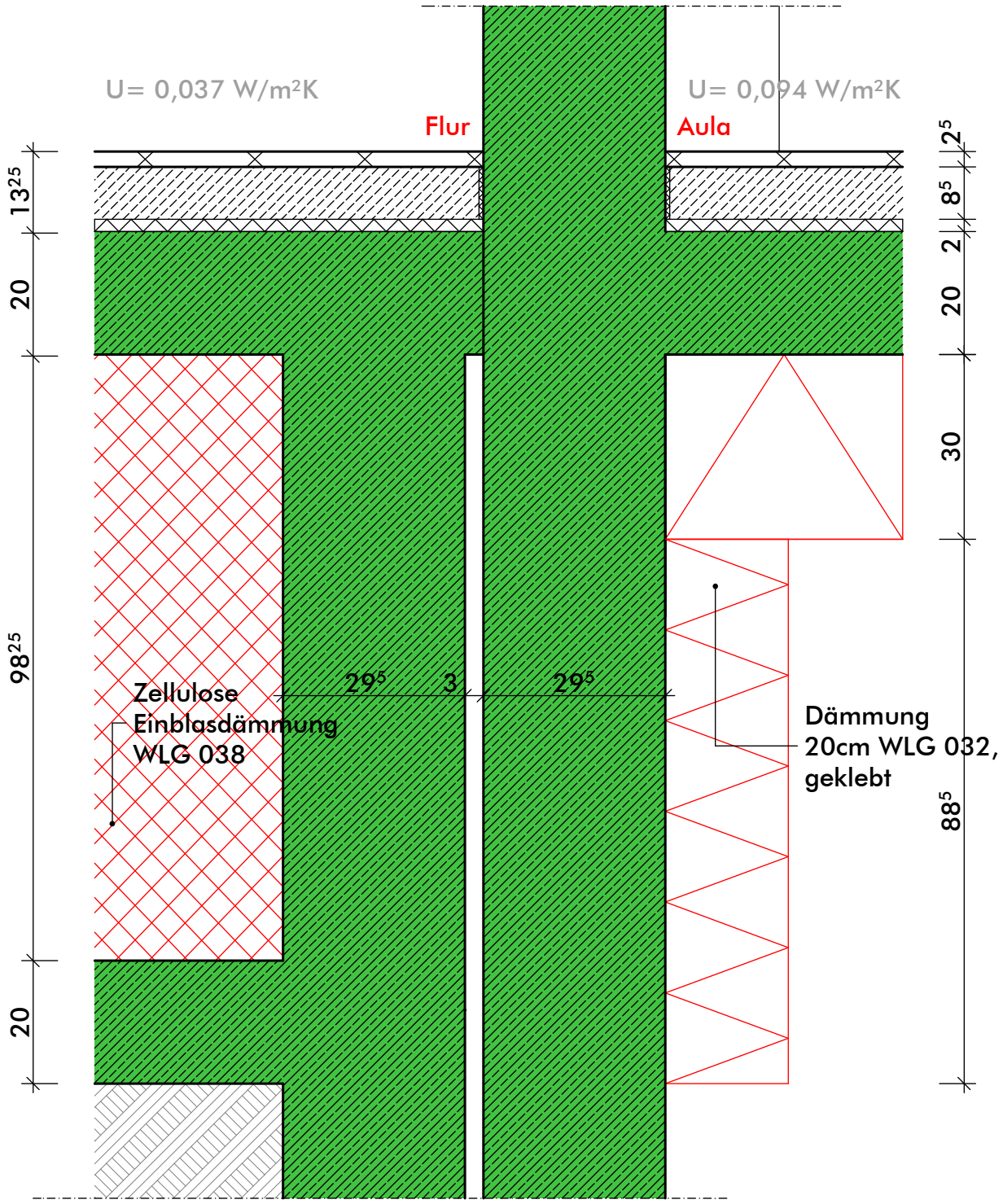
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4
KELLERDECKE

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.05
DATUM	VORABZUG
GEZ.	AH/TL
MASSTAB	1/10



Druck 14.09.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

Dämmung	A	14.09.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

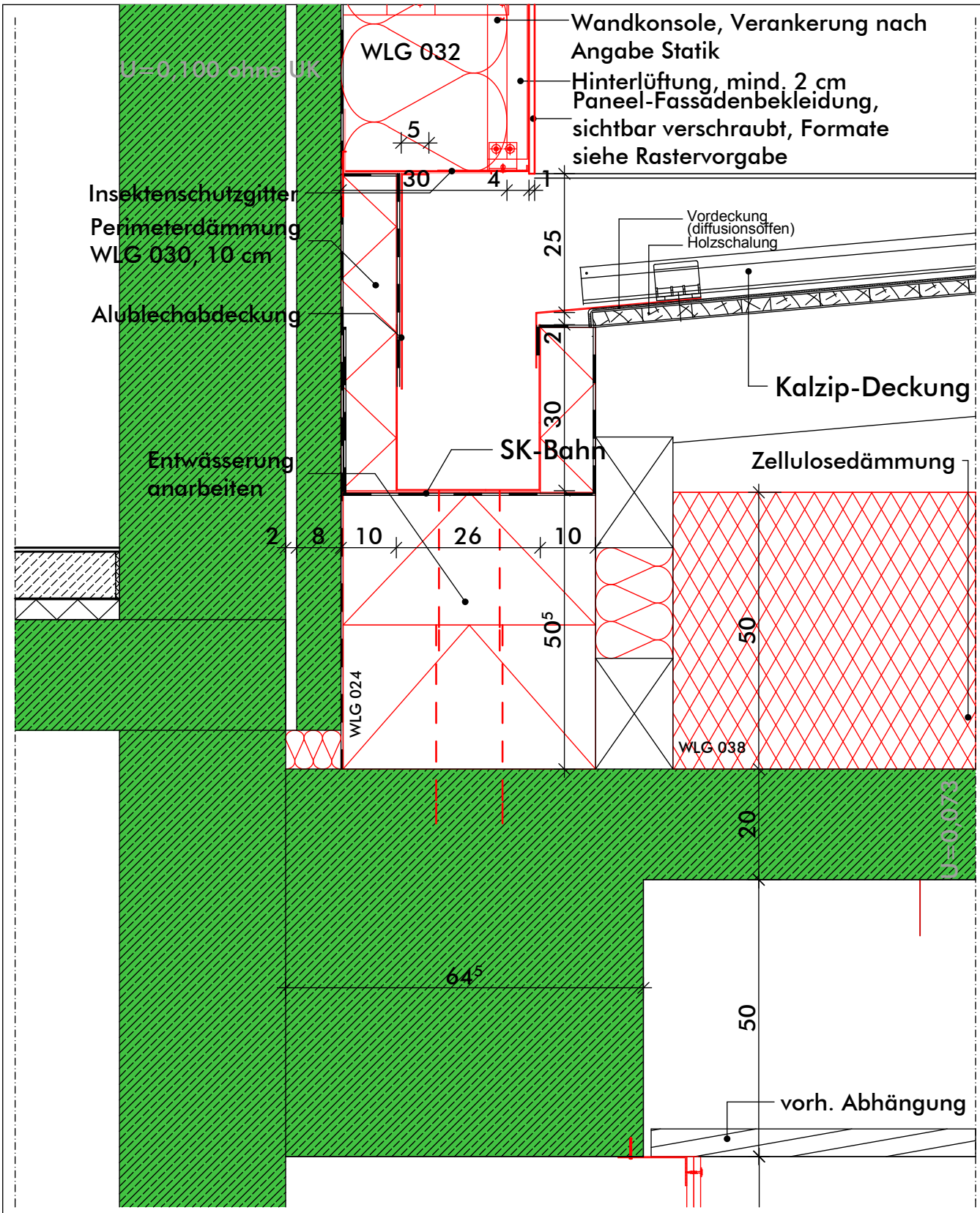
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST FASSADE
KELLERWECHSEL T3/4

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.06
DATUM	19.04.2010
GEZ.	AH/TL
MASSTAB	1/10



Druck 16.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

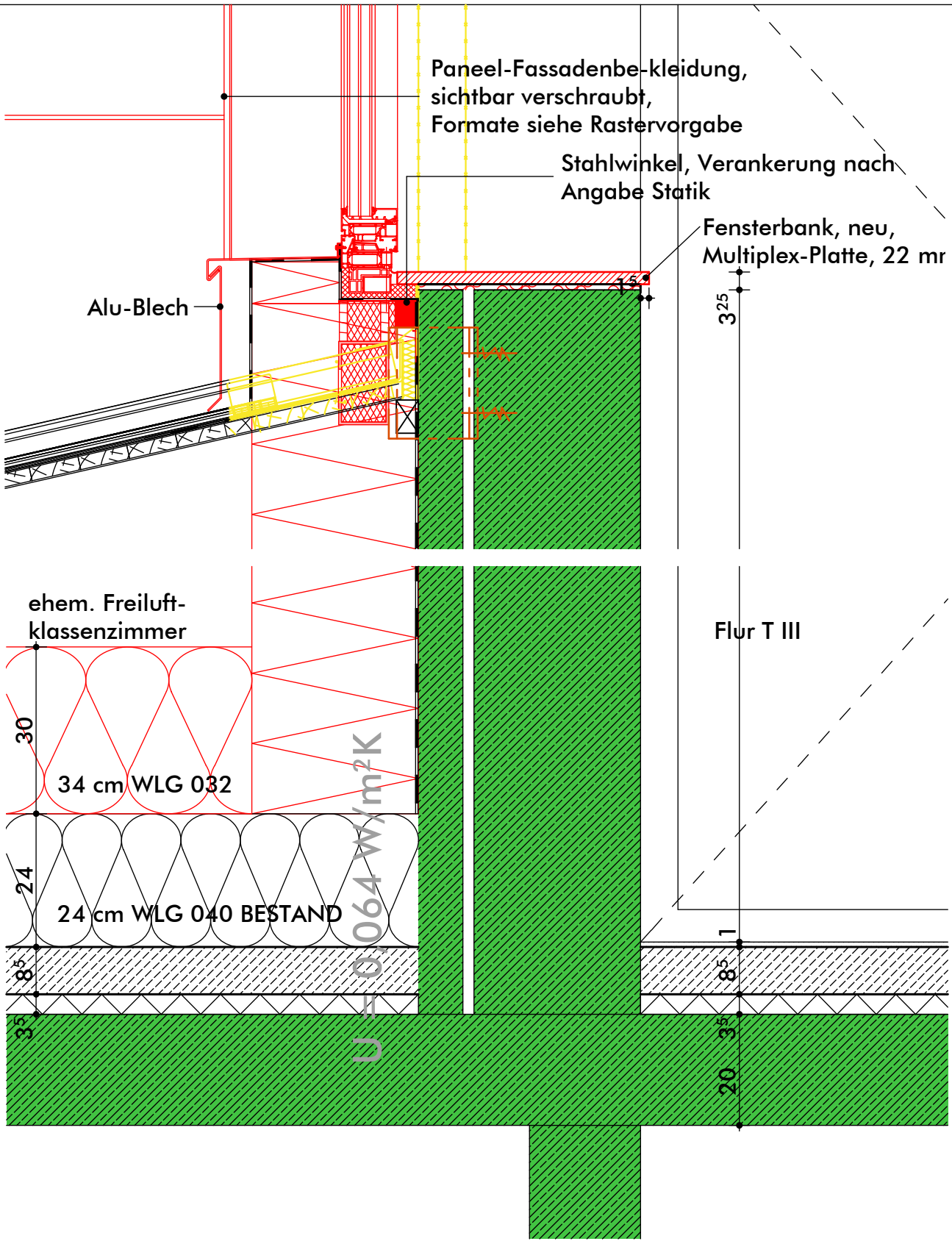
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST FASSADE
Anschlussbereich Auladach

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.07
DATUM	16.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/10



Druck 08.11.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

C-Profil	A	08.11.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

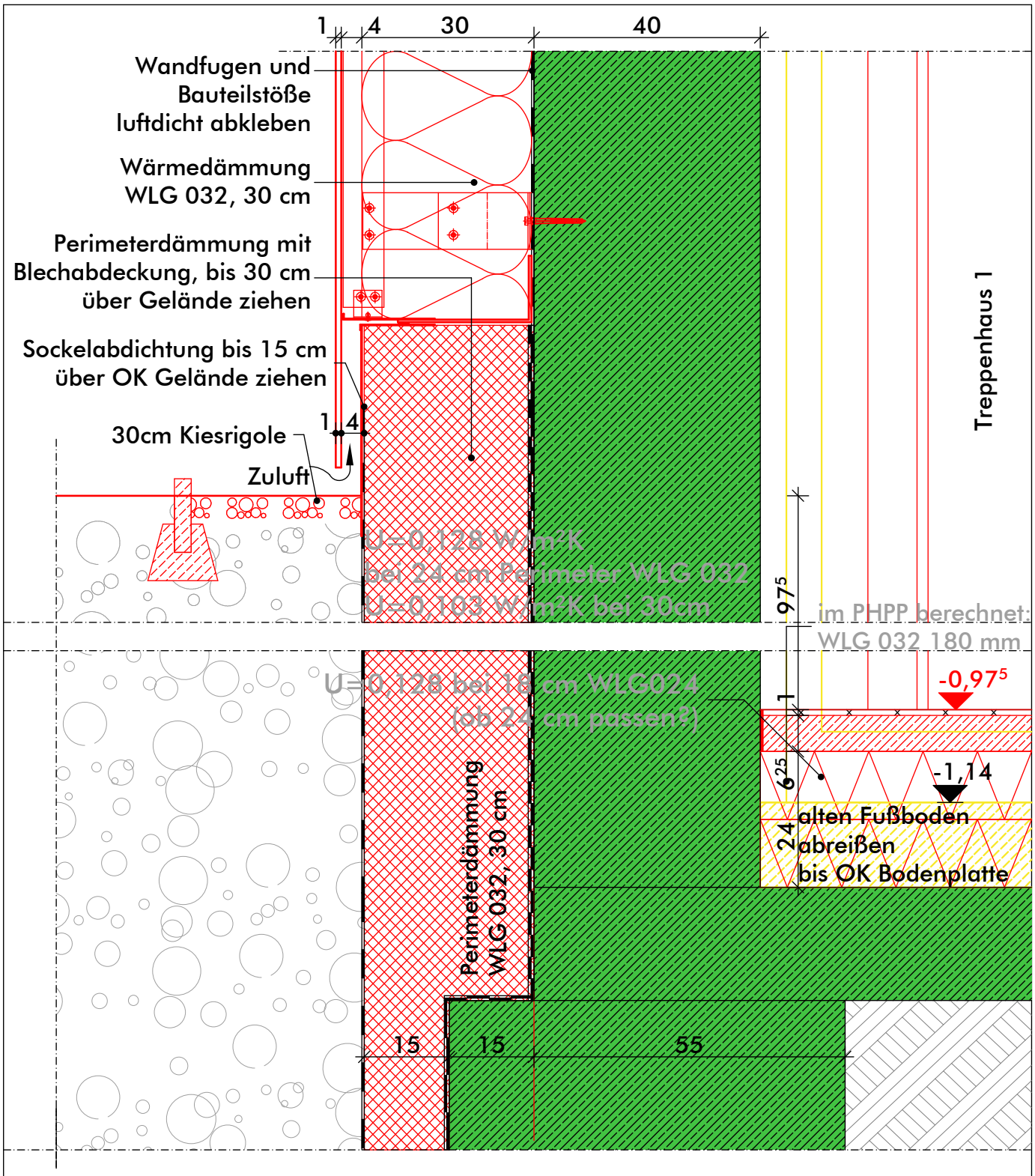
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST FASSADE
PULTDACHANSCHLUSS

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.07.1 | A
DATUM	16.04.2010
GEZ.	AH
MASSTAB	1/10



Druck 15.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

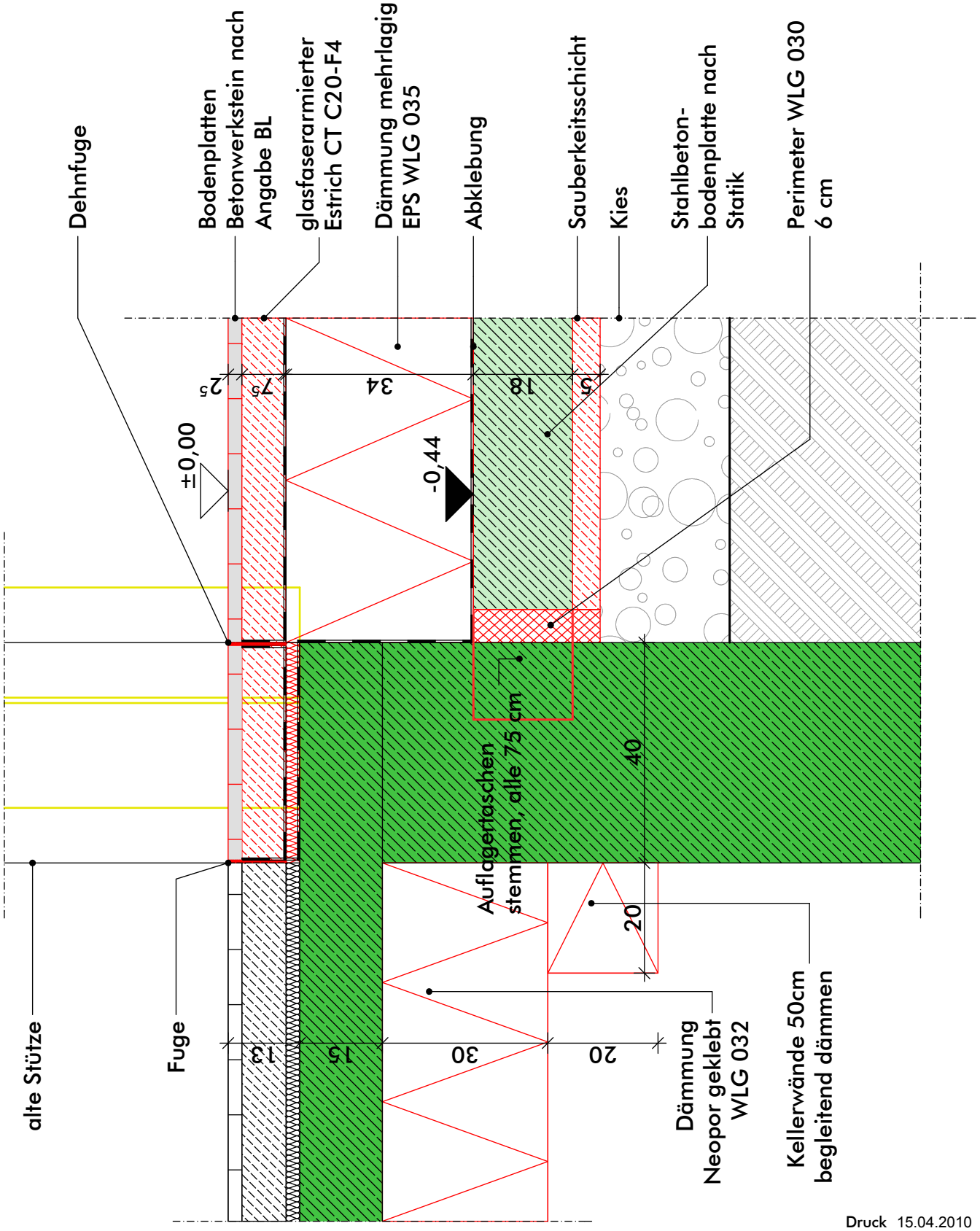
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -SÜD-WEST FASSADE
SOCKEL-BEREICH T1

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.09
DATUM	15.04.2010
GEZ.	TL/AH
MASSTAB	1/10



Druck 15.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

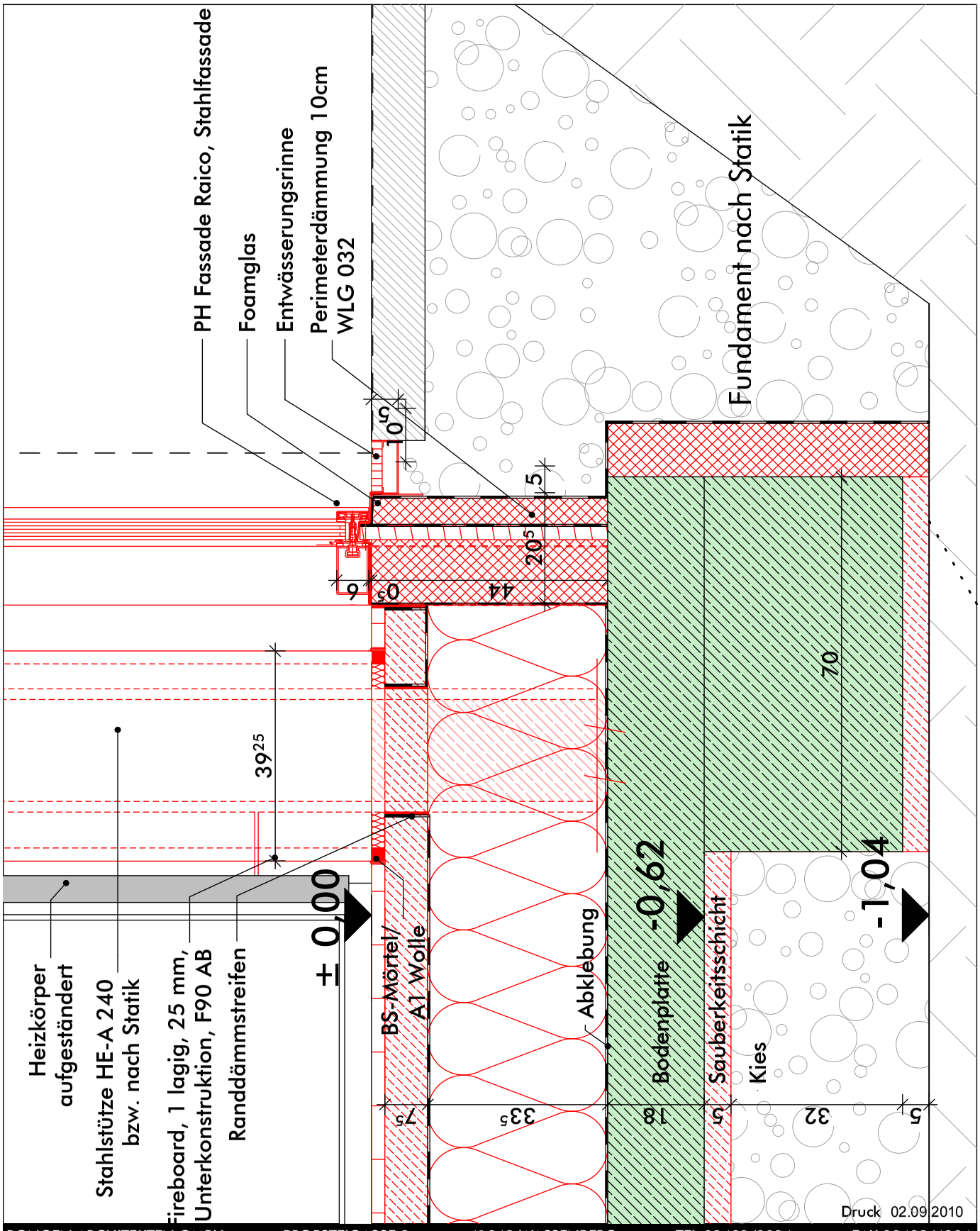
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -MENSAERWEITERUNG
KELLERDECKE

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.11
DATUM	15.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/10



Druck 02.09.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME
div. Änderungen	A	02.09.2010	AH

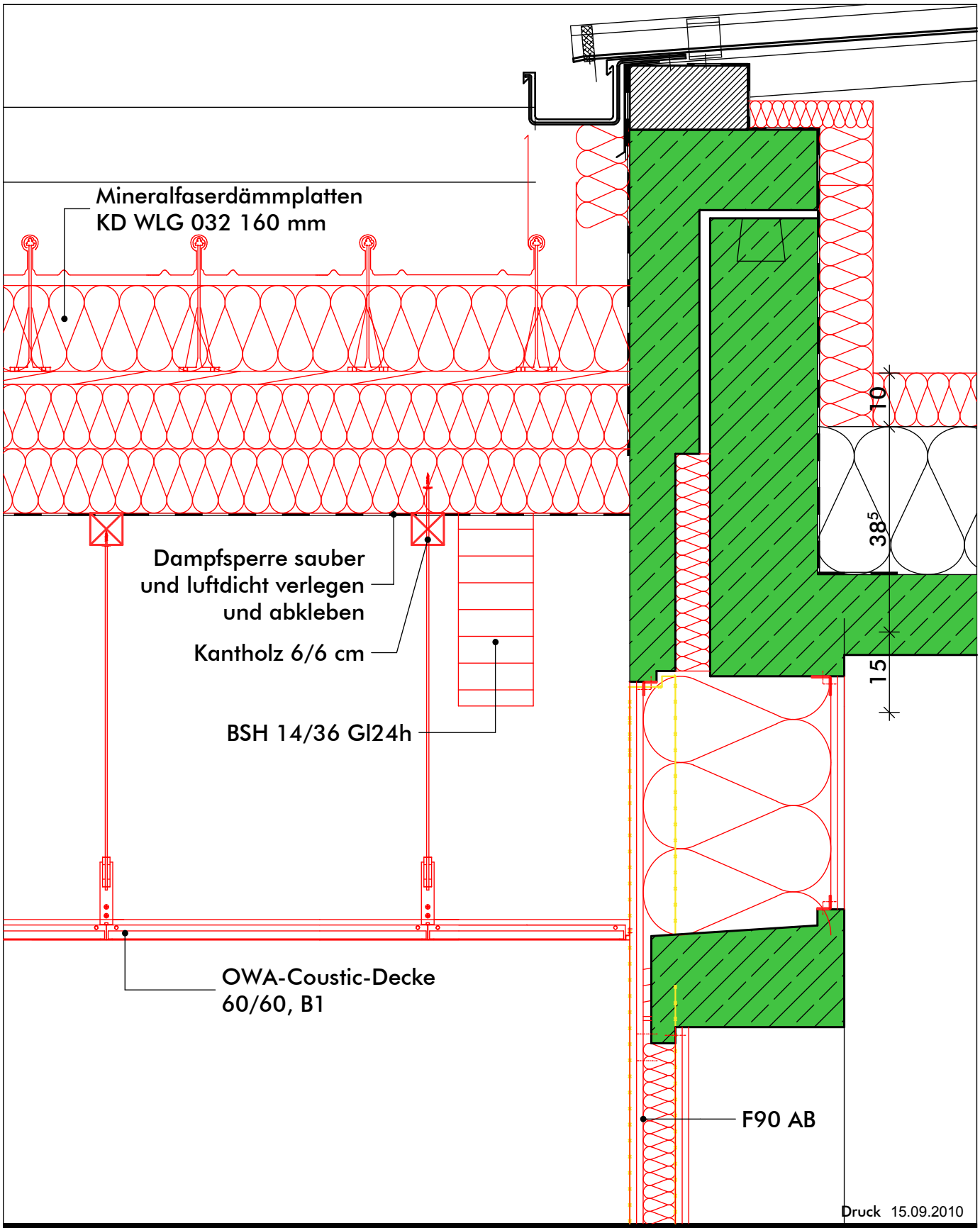
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -MENSAERWEITERUNG
Fundament

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.12	A
DATUM	16.04.2010	
GEZ.	TL	
MASSTAB	1/10	



Druck 15.09.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

Abhangdecke	A	15.09.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

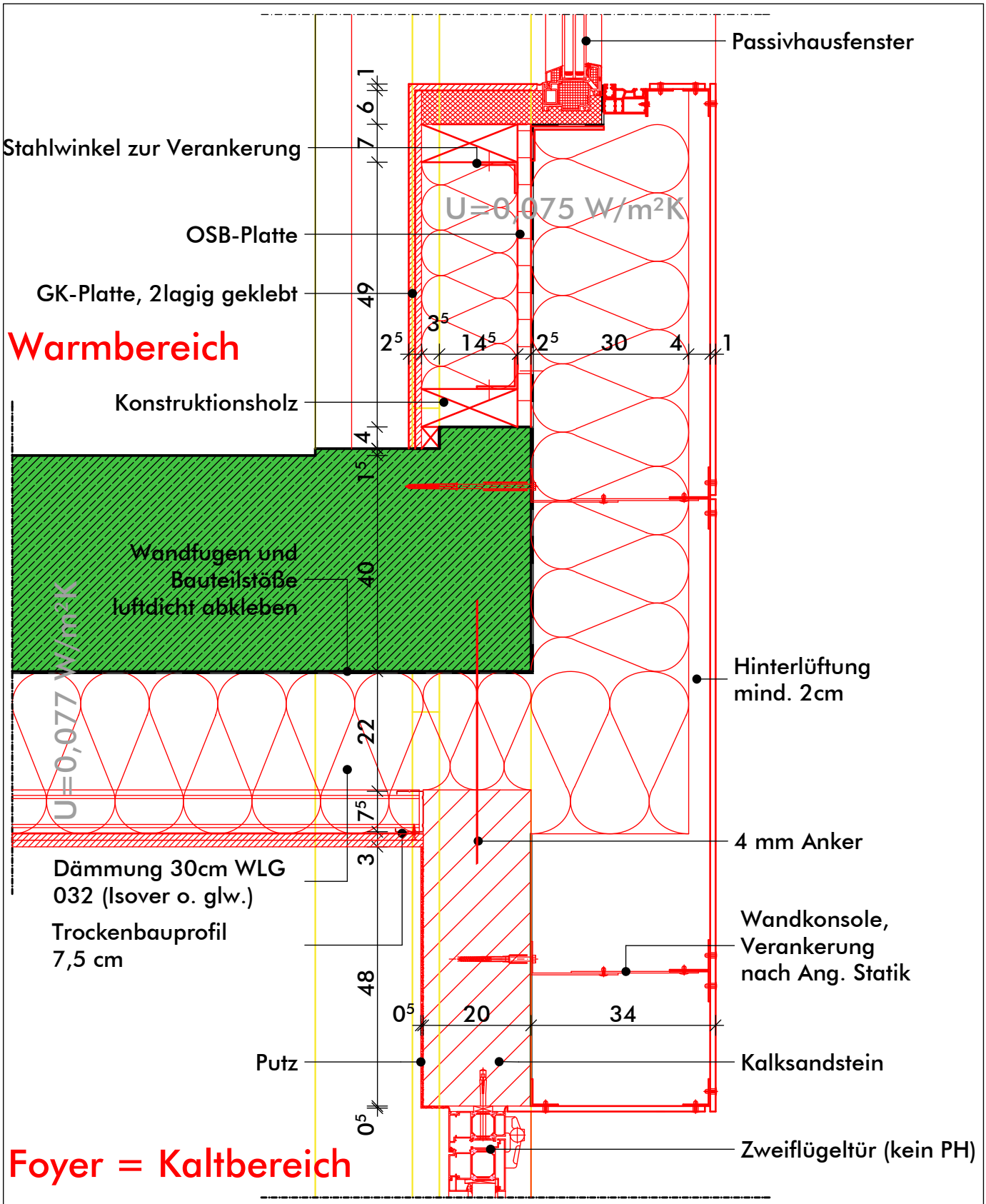
TRAKT 3/4 -MENSAERWEITERUNG

Anschluss Mensadach/aufgehende Wand

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.13	A
DATUM	15.04.2010	
GEZ.	AH	
MASSTAB	1/10	



Druck 15.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

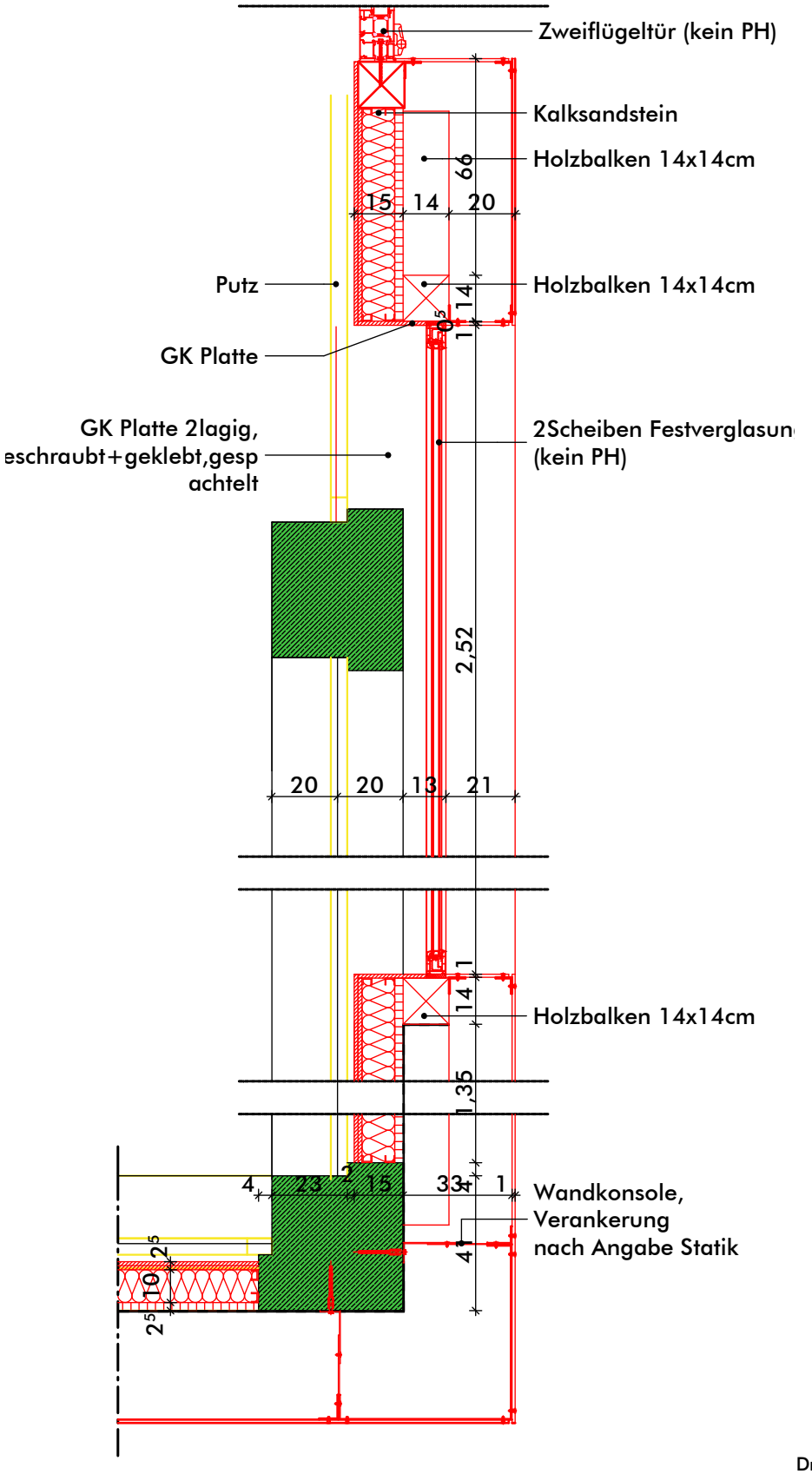
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST
FOYER-ANSCHLUSS WAND

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.15.3
DATUM	15.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/10



Druck 22.02.2011

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

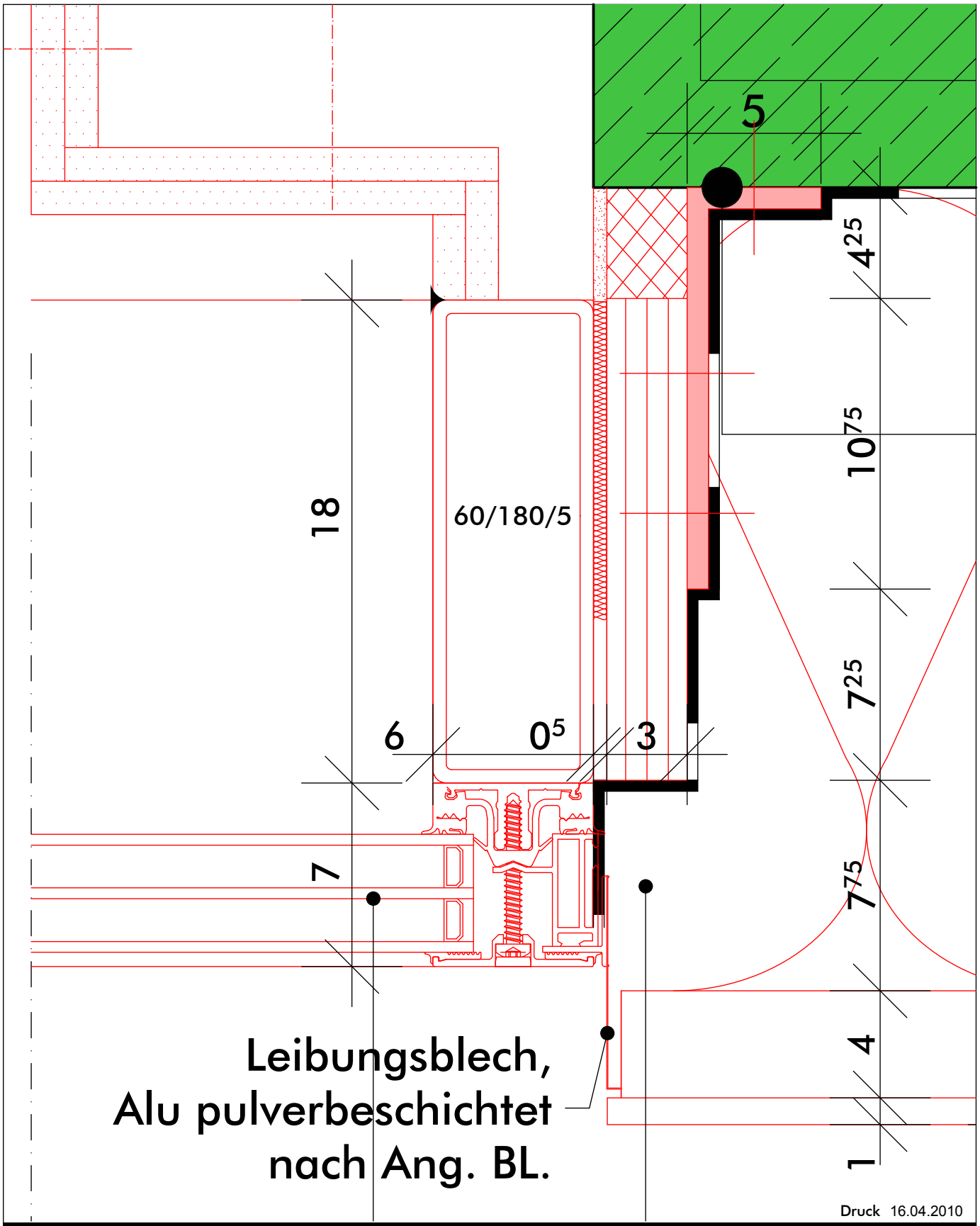
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST
FOYER-FENSTERANSCHLUSS

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.15.4/7
DATUM	15.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/20



Druck 16.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

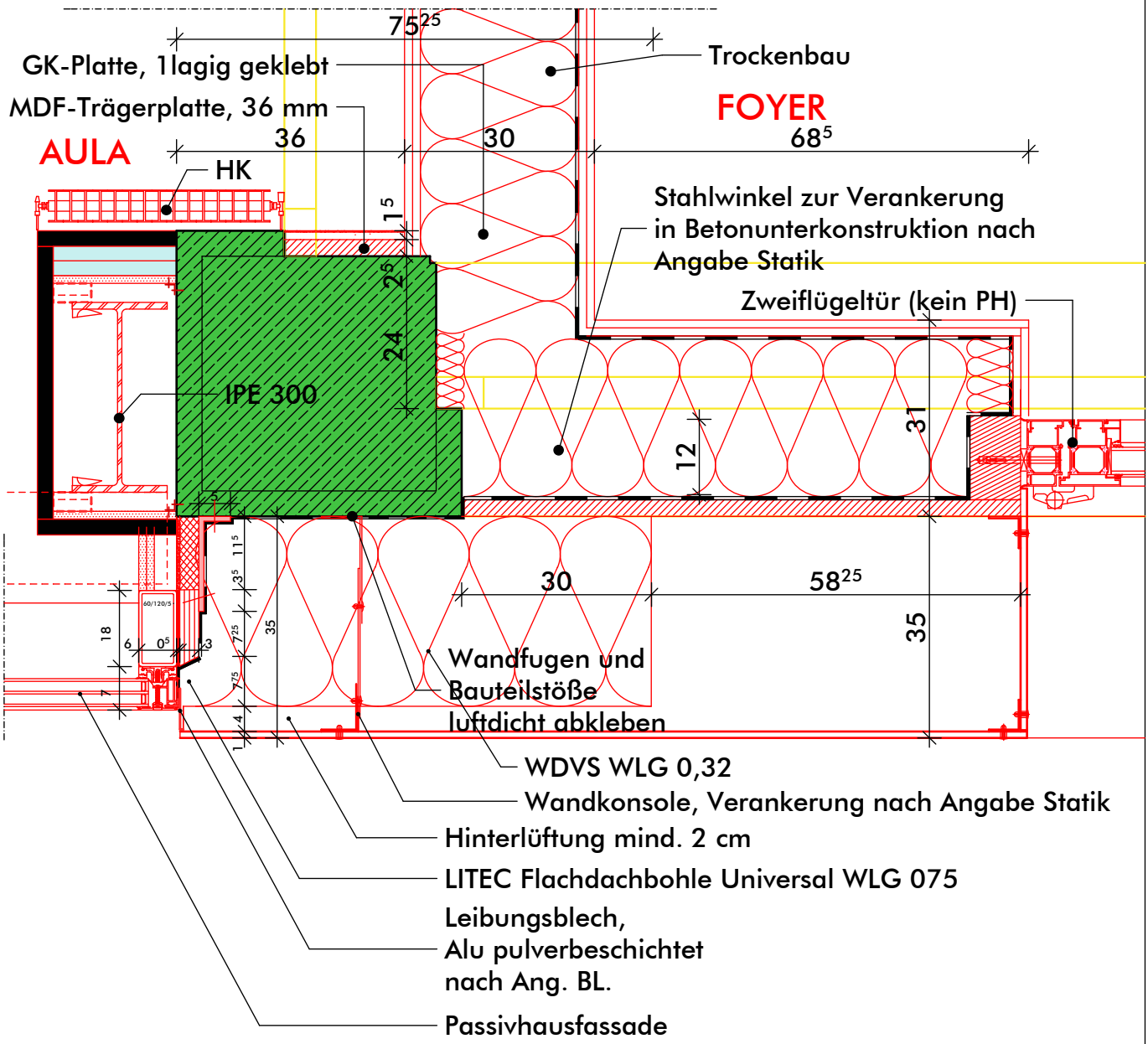
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4
FOYER-MENSA-ECKAUSBLIDUNG

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.15.5.1
DATUM	16.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/2



Druck 03.11.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME
Trockenbauwand	B	03.11.2010	AH
div. Änderungen	A	02.09.2010	AH

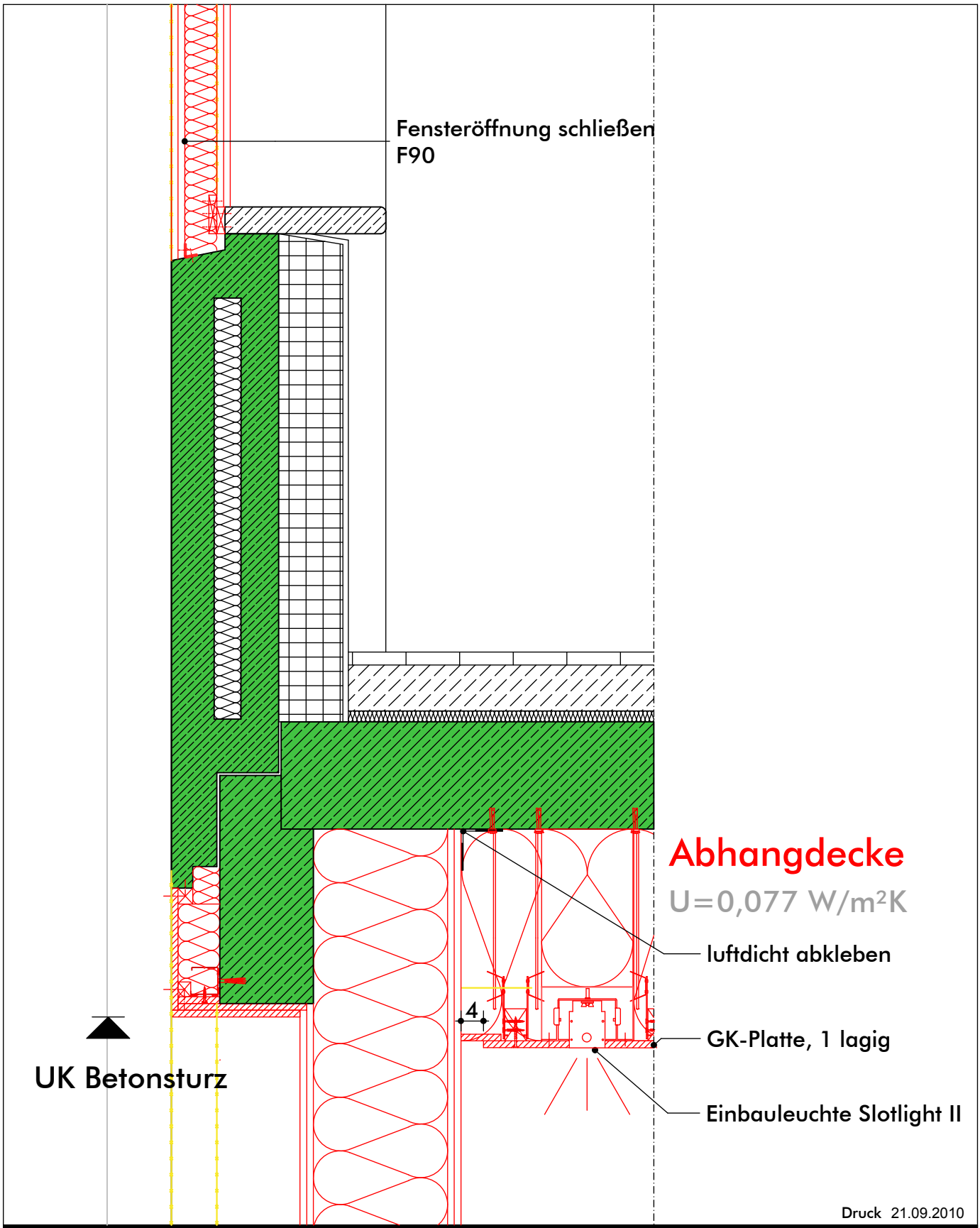
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST
FOYER-MENSA-ECKAUSBILDUNG

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.15.5.2 B
DATUM	03.11.2010
GEZ.	AH
MASSTAB	1/10



Druck 21.09.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

Trockenbauwand	A	21.09.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

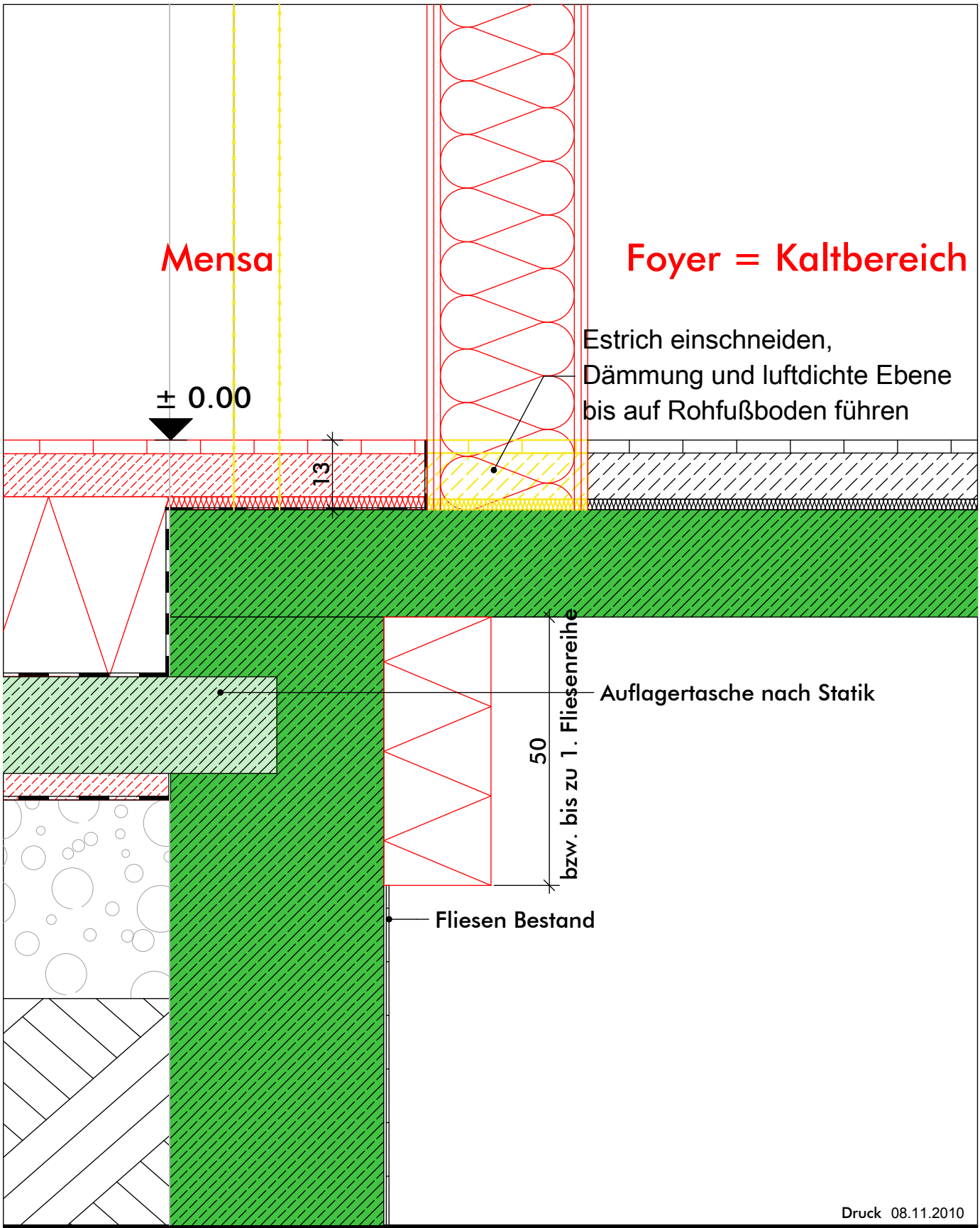
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST
FOYER-MENSA-FASSADENANSCHLUSS oben

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.15.6	A
DATUM	15.04.2010	
GEZ.	AH	
MASSTAB	1/10	



Druck 08.11.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

Trockenbauwand	A	08.11.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

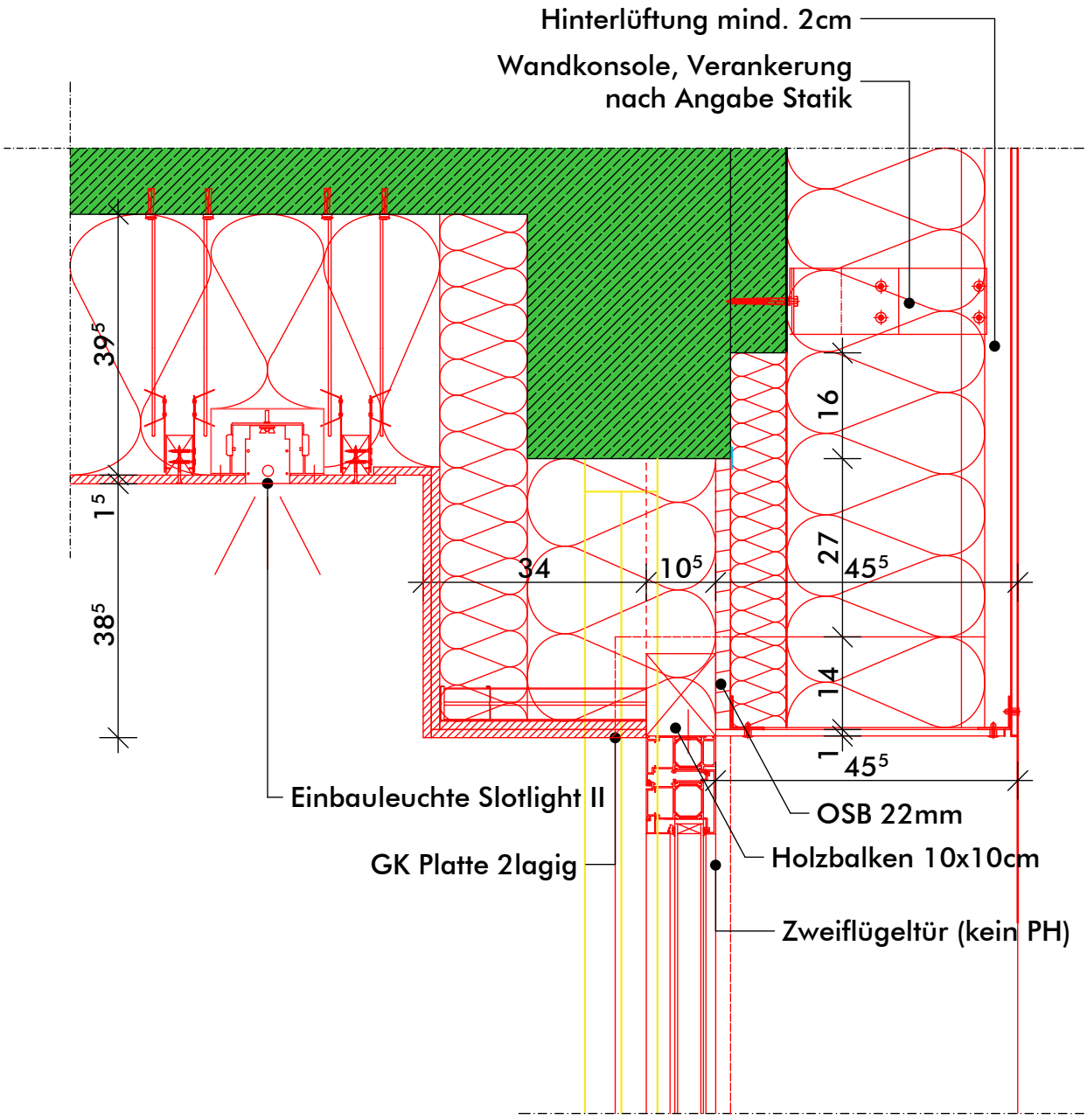
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST
FOYER-MENSA-FASSADENANSCHLUSS unten

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.15.7	A
DATUM	15.04.2010	
GEZ.	AH	
MASSTAB	1/10	



Druck 15.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

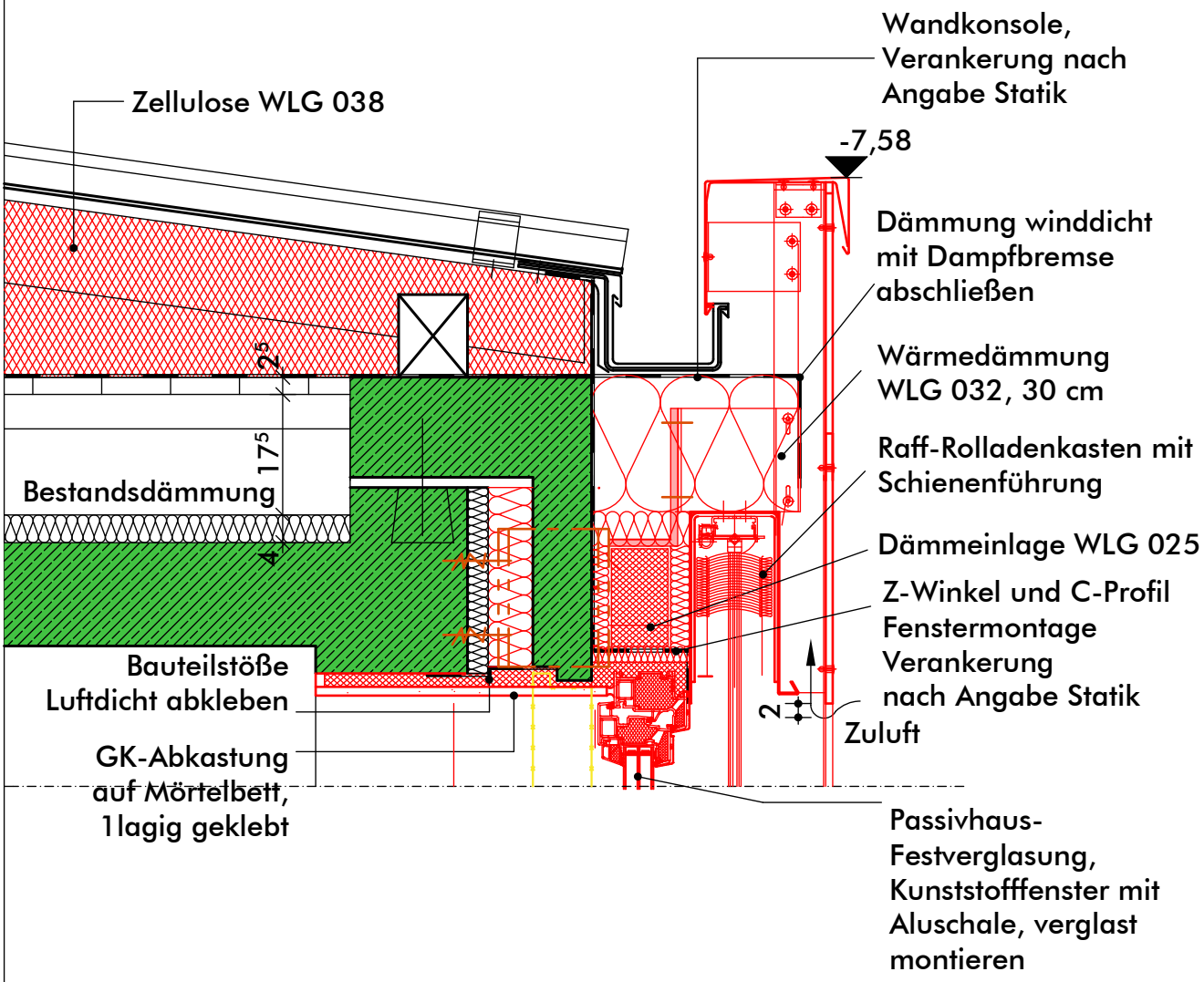
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 -NORD-OST
FOYER-Türanschluss

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.15.8
DATUM	15.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/10



Druck 04.11.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

C-Profil	A	04.11.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

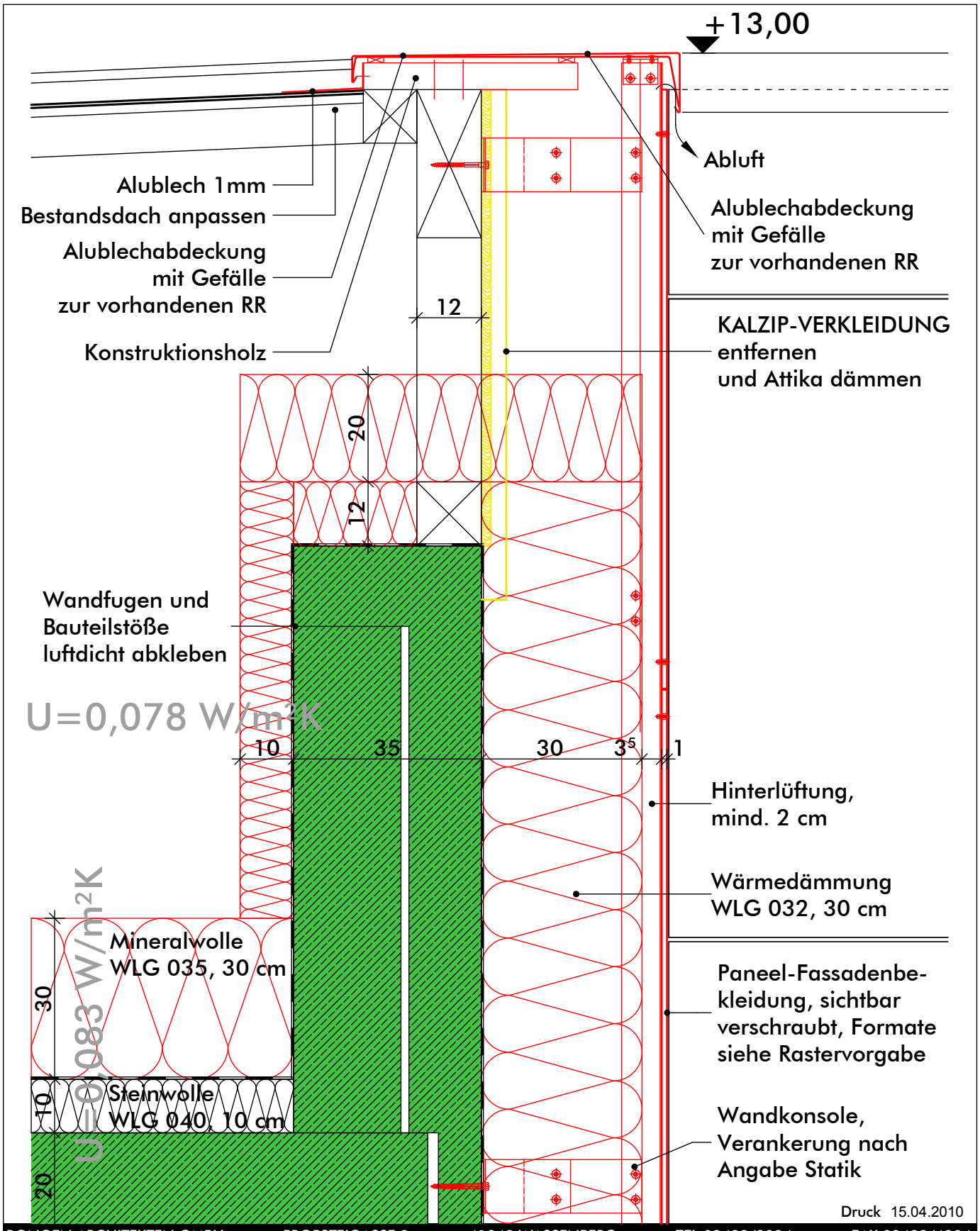
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 Schnitt Attika T4

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.18	A
DATUM	15.04.2010	
GEZ.	TL	
MASSTAB	1/10	



RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

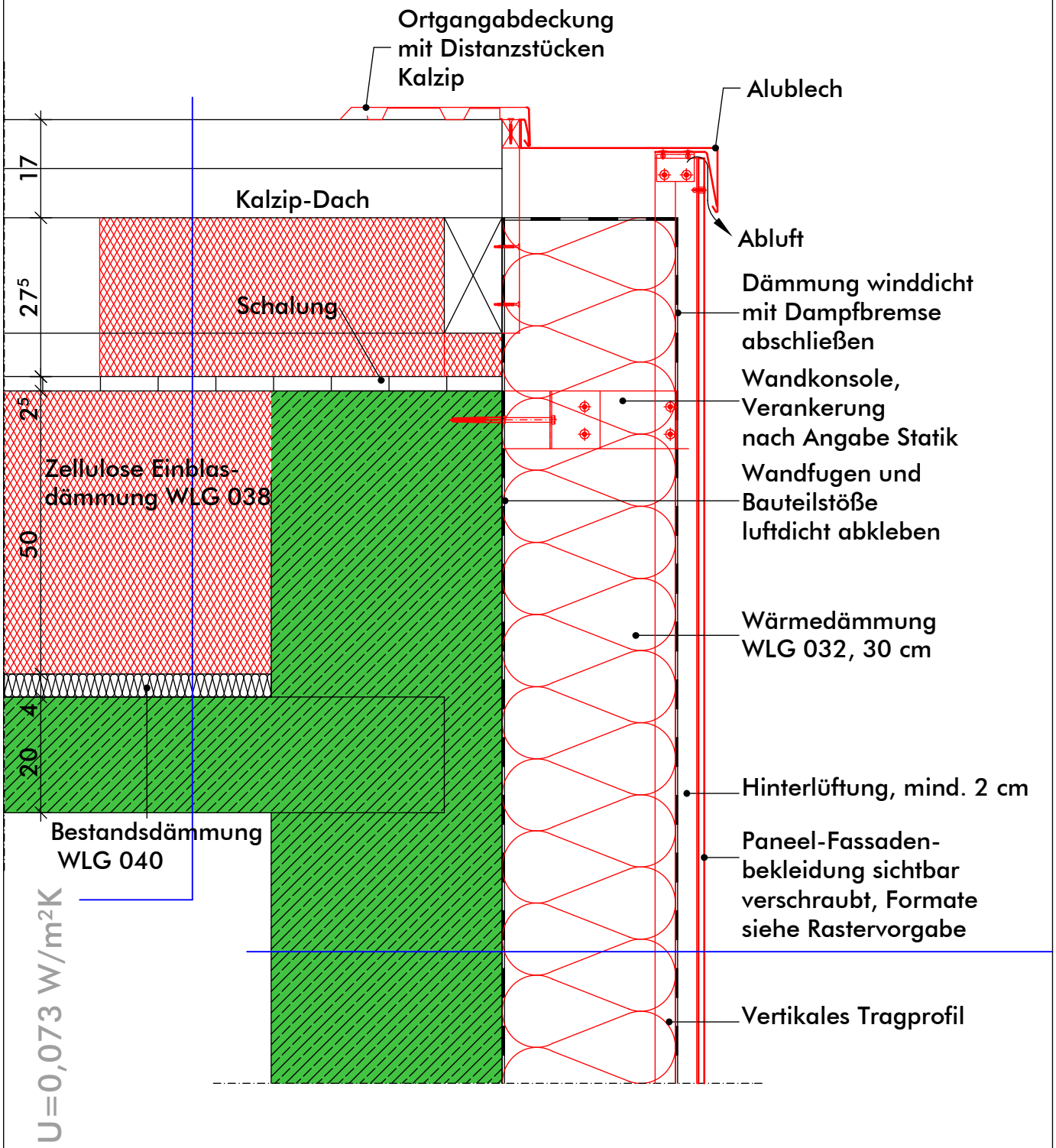
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4
Pultfirst

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.19
DATUM	15.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/10



Druck 15.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

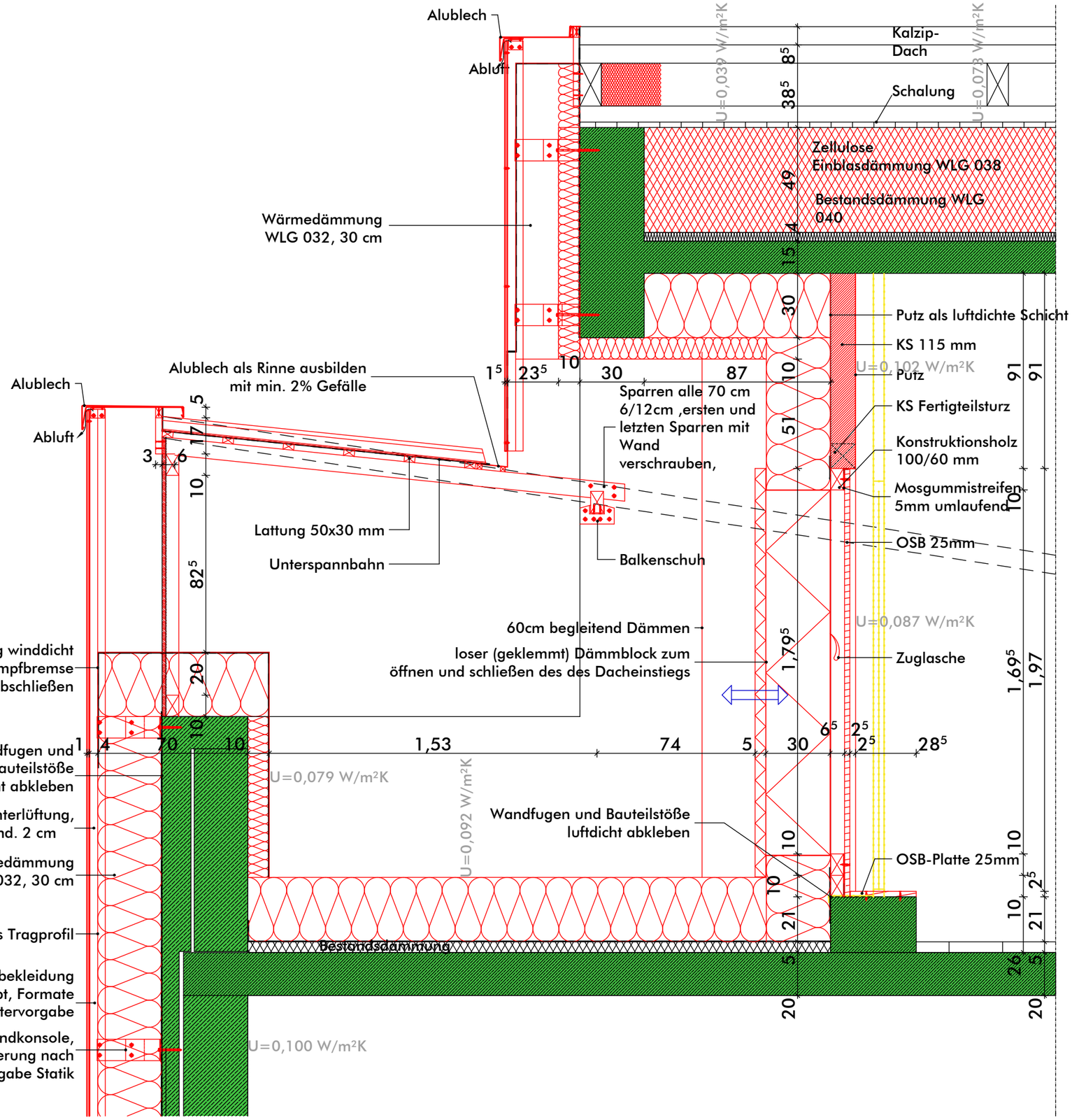
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 - Attika Treppenhaus

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.21
DATUM	15.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/10



LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- SIBETON BESTAND
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH
- ABBRUCH
- RW REGENWASSER
- SW SCHMUTZWASSER
- SO SONNENSCHUTZ
- RR REGENROHR
- BD BODENDURCHBRUCH
- DD DECKENDURCHBRUCH
- BRH BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
- WD WANDDURCHBRUCH
- WS WANDSCHLITZ
- OKFB / OKRB — OK Fertigfussboden / OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

ANDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME

ARCHITEKT

Druck 15.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GmbH 41849 WASSENBERG
PROPSTEIGASSE 2 TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3
Treppenhausschnitt T2

BAUHERR

Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.D4.22
DATUM	15.04.2010
GEZ.	TL
MASSTAB	1/20

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH | PROPSTEIGASSE 2 | 41849 WASSENBERG | TEL.02432/3094 | FAX 02432/4304

Druck 04.11.2010

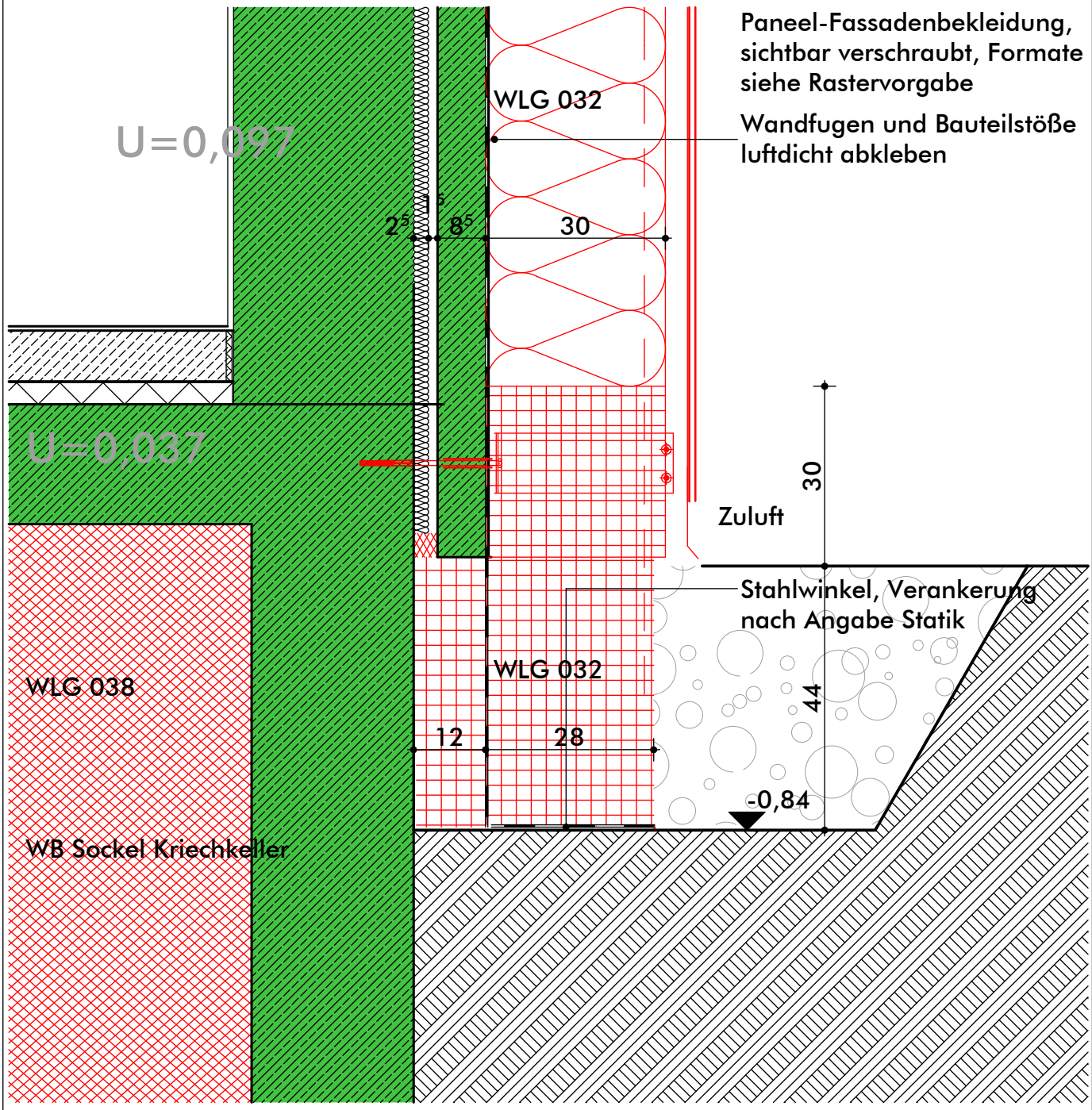
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 - Schließung NO Fassade

BAUHERR:
STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52 499 BAESWEILER

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME
C-Profile	A	04.11.2010	AH

BLATT	811.D4.23	A
DATUM	15.04.2010	
GEZ.		TL
MASSTAB		1/10



Druck 16.04.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4
Sockel Kriechkeller

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.26
DATUM	15.04.2010
GEZ.	SR
MASSTAB	1/10

8,10

innenliegende Kastenrinne, Zink,
seitl. Ablauf u. Anschluss Flansch

Kalzip

Kalzip E160 Verbund-Klipp

31^{25}

zu prüfen!

Mineralfaserdämmplatten KD WLG 032 180 mm

Vordeckung

N + F Schalung

WLG 024

33^{5} | 9^{75} | 23^{5} | 1 | 49^{25} | 15 | 59^{5} | 5

17 | 3 | 24 | 6 | 30 | 38^{25}

Sparren 6/24
a = 65 cm

nach Statikangabe

KVH 6/24, e=65 cm
Klemmfilz B1, WLG 032, 24 cm
Dampfsperre

Kantholz 6/6 cm

$6,54^{5}$

OWA-Coustic-Decke
60/60, B1

24^{5} | 30 | 8 | 30
62^{5} | 30

LEGENDE

- MAUERWERK BESTAND
- SIBETON BESTAND
- MAUERWERK NEU - KS 12
- MINERALWOLLE WLG 032
- LEICHTBAUWÄNDE
- ABBRUCH
- ABBRUCH
- RW REGENWASSER
- SW SCHMUTZWASSER
- SO SONNENSCHUTZ
- RR REGENROHR
- BD BODENDURCHBRUCH
- DD DECKENDURCHBRUCH
- BRH BRÜSTUNGSHÖHE (ab OKFB)
- WD WANDDURCHBRUCH
- WS WANDSCHLITZ
- OKFB / OKRB — OK Fertigfussboden / OK Rohfussboden

ANGABE DER TÜRHÖHEN ab OKFB

Die Pläne sind vor Ort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Unstimmigkeiten, insbesondere mit Plänen anderer Fachingenieure, sind der Bauleitung umgehend mitzuteilen.

Die Detailpläne sind den Werkplänen hinzuzuziehen.

SR/TL	A	15.09.2010	AH
ÄNDERUNG/VERTEILUNG	INDEX	DATUM	NAME

N

ARCHITEKT

Druck 15.09.2010

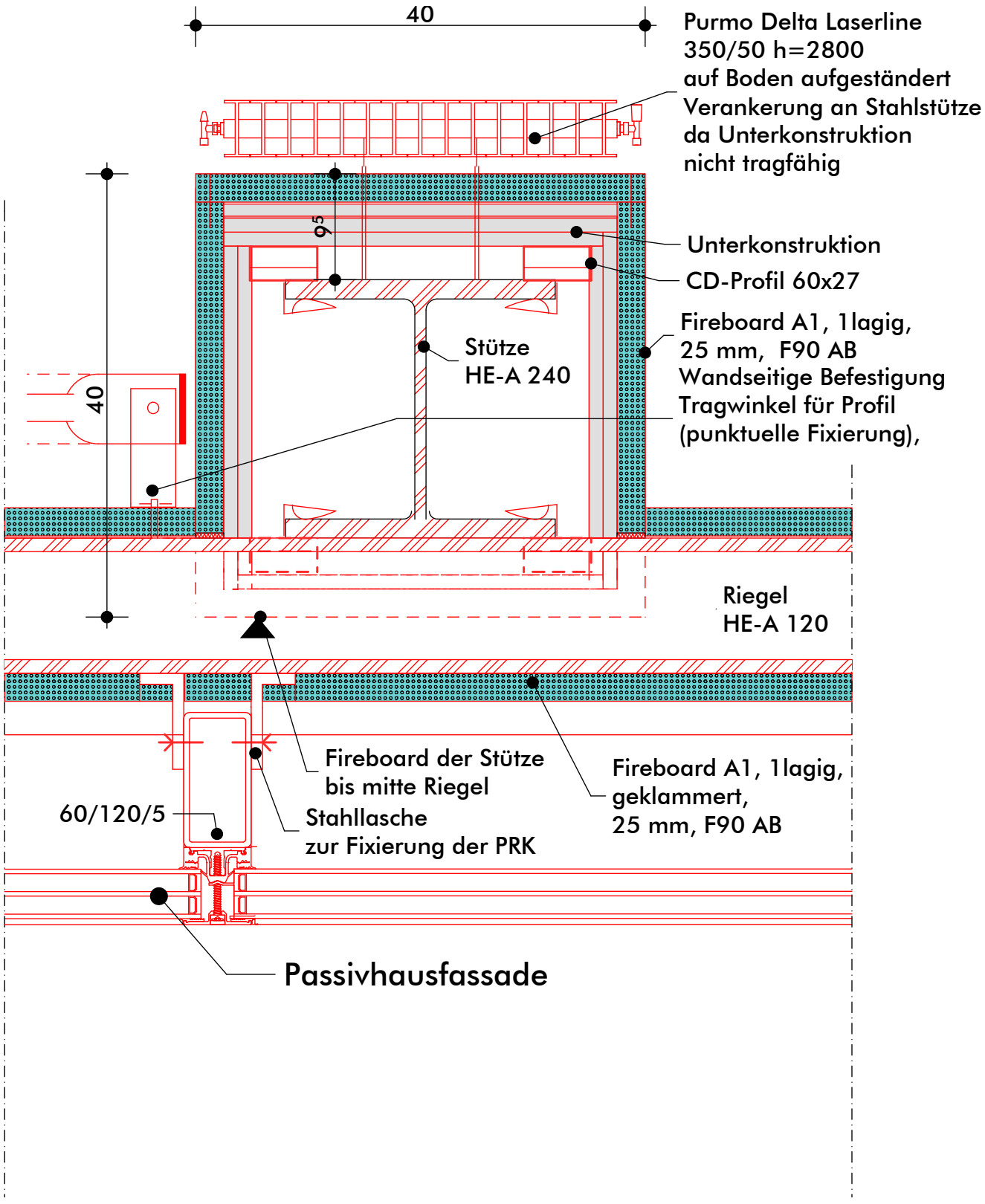
RONGEN ARCHITEKTEN GmbH 41849 WASSENBERG
PROPSTEIGASSE 2 TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

TRAKT 3/4 -MENSA
Entwässerung/Attika

BAUHERR

Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.D3.27
DATUM	15.04.2010
GEZ.	SR/TL
MASSTAB	1/10



Druck 02.09.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

Brandschutz	A	02.09.10	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

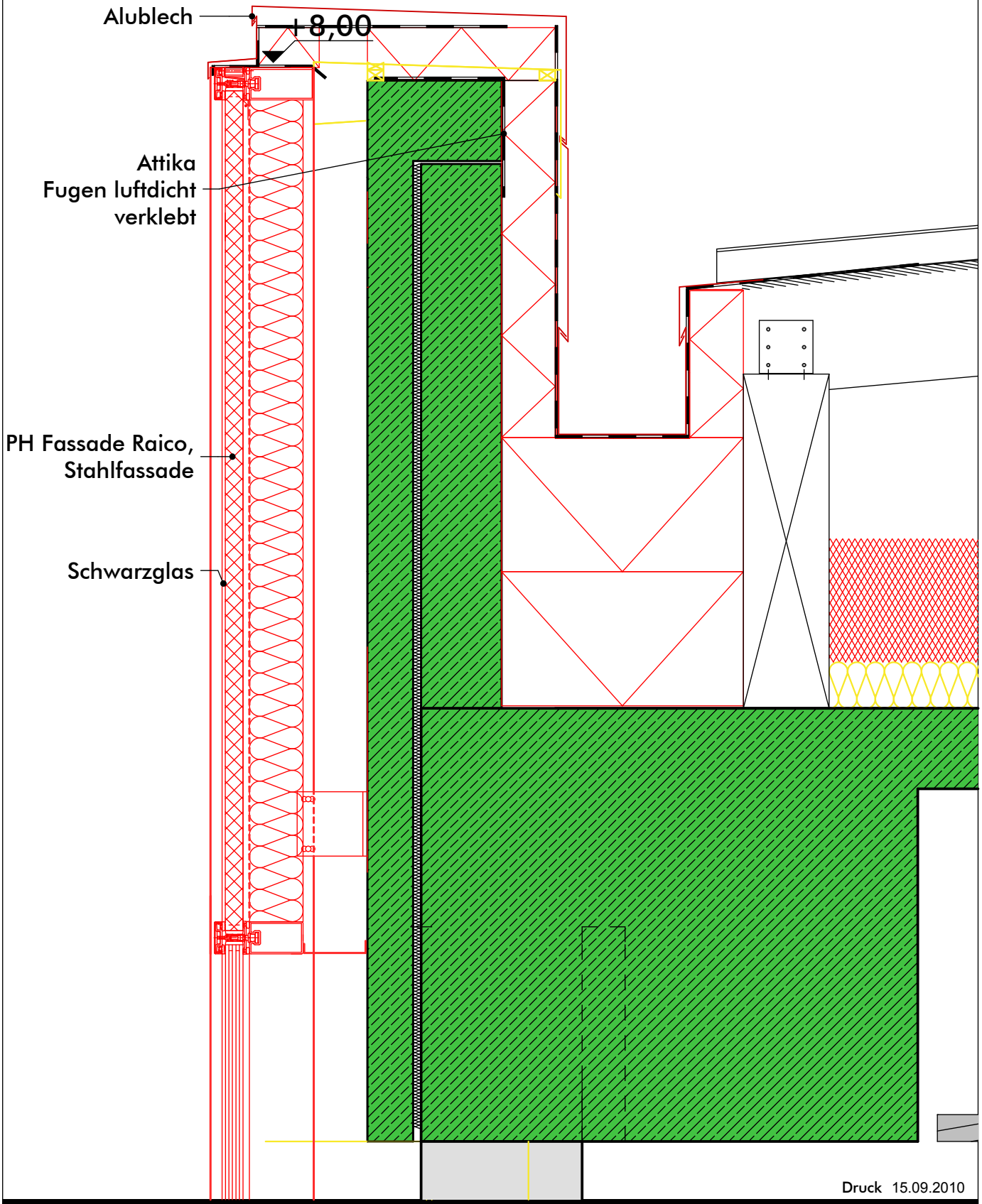
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

TRAKT 3/4 - Stütze Mensa

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.29	A
DATUM	16.04.2010	
GEZ.	AH/TL	
MASSTAB	1/5	



Druck 15.09.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

div. Änderungen	A	26.08.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

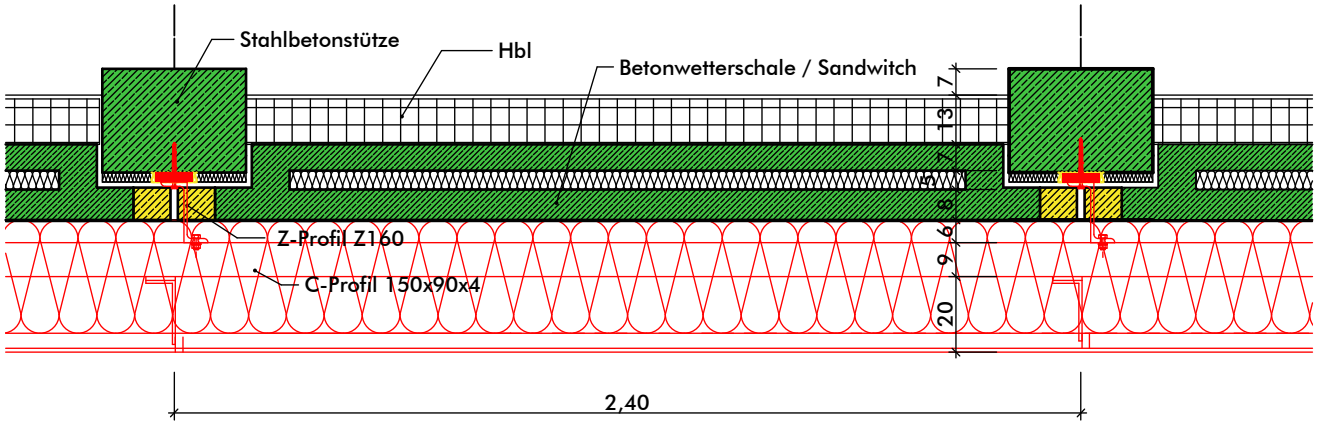
SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

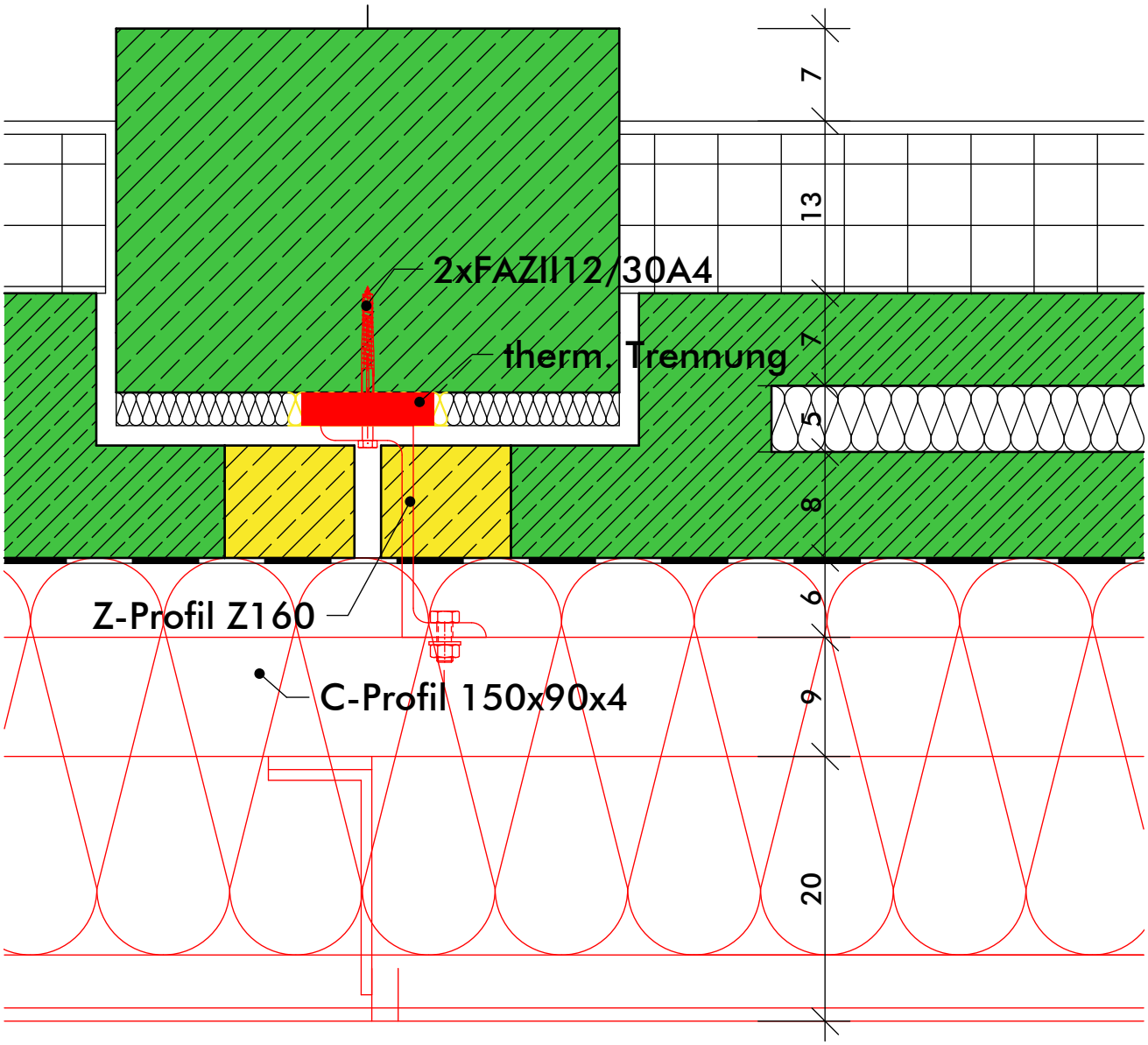
TRAKT 3/4 - Dachanschluss PRK Bestand

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.40	A
DATUM	16.04.2010	
GEZ.	AH/SR	
MASSTAB	1/10	





Druck 15.09.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH PROPSTEIGASSE 2 41849 WASSENBERG TEL.02432/3094 FAX 02432/4304

Z-Profil	A	15.09.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

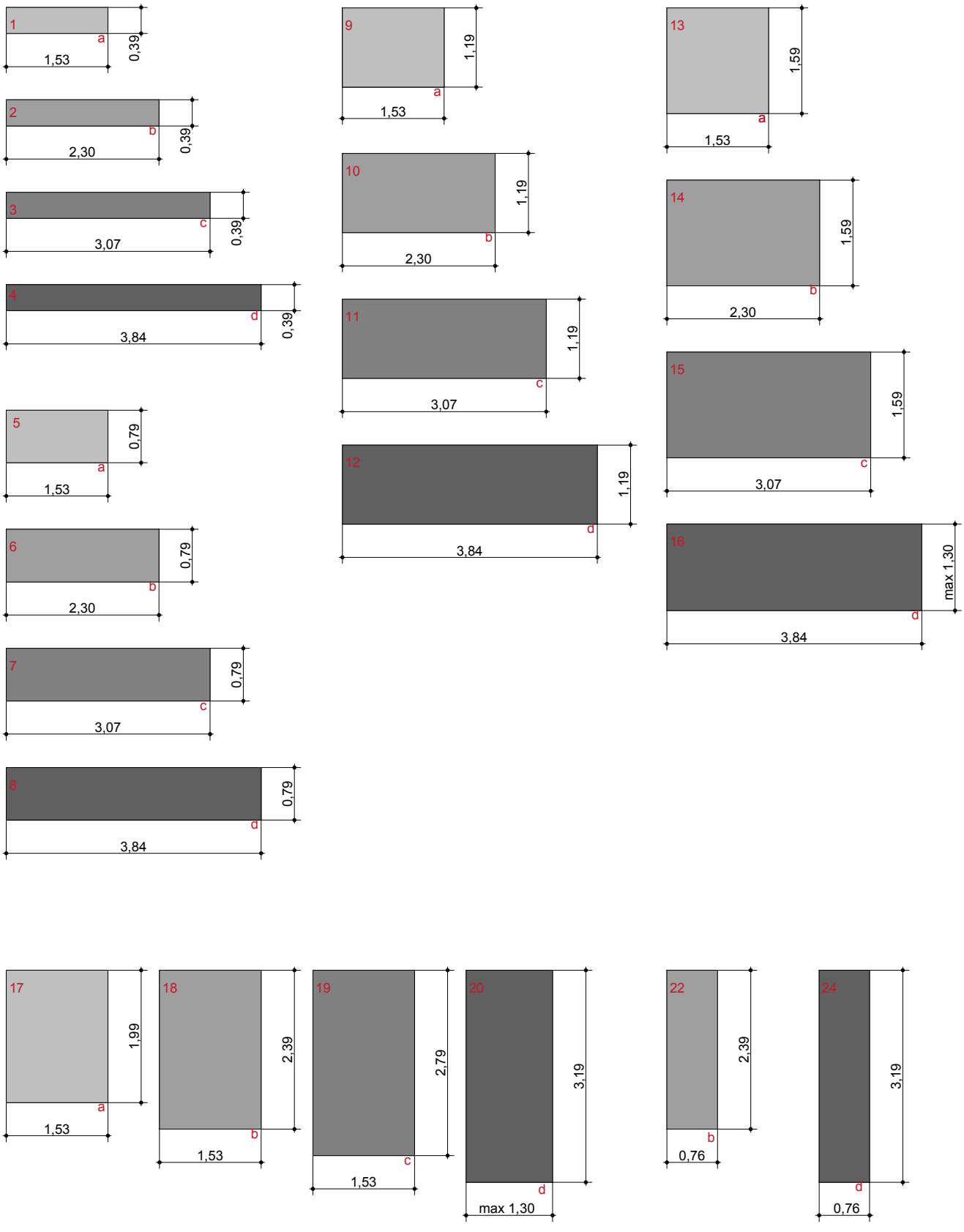
TRAKT 3/4 - Horizontalschnitt Brüstung

Verankerung in Stützen

BAUHERR:

STADT BAESWEILER
MARIASTRASSE 2
52499 BAESWEILER

BLATT	811.D4.42	A
DATUM	19.08.2010	
GEZ.	AH	
MASSTAB	1/5, 1/20	



Druck 15.12.2010

RONGEN ARCHITEKTEN GMBH | PROPSTEIGASSE 2 | 41849 WASSENBERG | TEL.02432/3094 | FAX 02432/4304

Plattenmaße	A	15.12.2010	AH
ÄNDERUNG	INDEX	DATUM	NAME

SANIERUNG PH-STANDARD GYMNASIUM BAESWEILER

Fassadenplatten Trakt 3/4

BAUHERR: Stadt Baesweiler
Der Bürgermeister
Mariastr. 2
52499 Baesweiler

BLATT	811.D4.44	A
DATUM	14.09.2010	
GEZ.	AH	
MASSTAB	-	

NT Trasse Nahwärmenetz DN50

Trakt 2

Anmerkung!! Für diesen Teil (Verrohrung+Regelung) wurde noch kein Auftrag erteilt.

Trakt 2 NT DN80
Heizen 9,06 m³/h
Kühlen 10,78 m³/h

Sinus Hydromaxx 200-120 Typ 1

DVN-1

DN 32 Reserve

Verteiler inkl. Hydr. Weiche

stat. Heizung H=40/30°C
Trakt 2 Altbau
stat. Heizung H=40/30°C 90=40,269 bar
Trakt 2 Neubau
Menerga 52.08.01 H=40/25,3°C K:16/20°C
RLT 2-2 WC+Lab.
Menerga 64.10.01 H=40/26,6°C K:16/20°C
RLT 2-1 Klassen

Trakt 1

Wilo Top-S-30/5
DN 40
Lüftungsanlage Trakt 1 Klassenräume
Lüftungsgerät RLT 01 Typ: Menerga 64.07.01
Aufstellungsort KG Trakt 1. V=4.200 m³/h

Wilo Top-S-25/5
DN 15
Lüftungsanlage Trakt 1 WC-Räume
Lüftungsgerät RLT 02 Typ: Menerga 52.08.01
Aufstellungsort KG Trakt 1. V=730 m³/h

Statische Heizung 2.OG
40/30 °C - 3,89 kW - 0,34 m³/h

Statische Heizung 1.OG
40/30 °C - 3,48 kW - 0,30 m³/h

Statische Heizung EG
40/30 °C - 0,81 kW - 0,07 m³/h

Wilo Stratos ECO-25-1-5 BMS

Trakt 1
Heizen 3,59 m³/h
Kühlen 2,50 m³/h

DN40

Trakt 3&4

Anmerkung!! Für diesen Teil (Verrohrung+Regelung) wurde noch kein Auftrag erteilt.

Trakt 3-4 NT-Verteiler
Heizen 19,49 m³/h
Kühlen 15,30 m³/h

Verteiler inkl. Hydr. Weiche Trakt 3-4 Standort 3.U106b

Menerga 52.08.01 H=16,8/30,4°C
Menerga 64.16.01 H=40/26,4°C K:16/22,4°C 24,3 kW
Menerga 64.07.01 H=40/26,4°C K:16/19,4°C 24,3 kW
Menerga 64.12.01 H=40/26,4°C K:16/22,1°C 24,3 kW
stat. Heizung H=40/30°C
RLT WC's
RLT 2 Päd. Z.
RLT 1-2 Klassen
RLT 1-1 Klassen
Trakt 3-4

Trakt 3-4 HT-Verteiler
Heizen 0,84 m³/h
+Reserve
Leistung Verteiler 2,2 m³/h

Verteiler Trakt 3-4 Standort 3.U106b

stat. Heizung H=75/55°C
Trakt 3-4 Mensa
Überströmventil

DN 80

HV-1 Heizungsverteiler Aufstellort: 1.U104 (Zentrale)

Trakt 1
Trakt 2 Turnh. stat. + dyn. Heizen 49,72%
Trakt 2 Neubau stat. + dyn. Heizen 49,72%
Trakt 3-4 stat. + dyn. Heizen 49,72%
3,6 m/s
15,84 m/s
15,45 m/s

RK44
P-5 / 7M2
P-3 / 6M2
P-7 / 7M2
Sinus 280/185

50°C
40°C

Erdsondenanlage
WP-Unit

DN50

P-5 Pumpe Wilo Stratos 30/1-12 CAN
P-3 Pumpe Wilo Stratos 65/1-12 CAN
P-7 Pumpe Wilo Stratos 65/1-12 CAN

DN 100

Pumpe Wilo Stratos 65/1-12 CAN
Heizen V=29,0 m³/h Förderhöhe 3,0 m
Kühlen V=18,0 m³/h Förderhöhe 5,0 m
WP 16M1

P-4 28,8m³/h
FU geregelt

Mischventil K.u.P. RF50-MD200Y
Vorlauf-Kühlung Min.Temp. Fühler

Kältetauscher
Freie Kühlung 100 kW
18,9 m³/h (primär)

17°C
15°C
22°C
20°C
KT-1

ASK2
ASK1
ASK3
ASK4

Typ N-500, Reflex
MAG

Wärmepumpe-UNIT
bestehend aus 4 Modulen
Verichtermodul / Hydraulikmodul / Schaltschrank
+ Druckhaltung / Entsorgung

B5/W40
Q_H = 2x 68,0 KW
Q_K = 2x 53,0 KW
P_{el} = 2x 14,5 KW
E = 4,6

Verdampfer
Kondensator
Kompressor
Drossel
Wärmepumpe mit zwei Kolbenverdichtern
(zwei getrennte Kältekreisläufe)

5°C
2,5°C
40°C
30°C

Pumpe Wilo Stratos 40/1-8 CAN
V=12m³/h Föderhöhe 3,0 m

DN80
12m³/h / Δp= 6m WS
FU geregelt
WP / 15M1

DN65

Trakt1<-->Trakt 3/4

75°C
55°C
50°C 311 KW
136 KW

Pumpe Wilo Stratos
TYP 30/1-6
P-1.2 / 6M1

Pumpe Wilo Stratos
TYP 50/1-12
P-1.1 / 6M1

Mischventil K.u.P. RF50-MD200Y
CFS1 3,5 m³ DN 25
V = 24,5 m³/h
CFS1 / MCFU 25 0,25-26,0m³

HydraulikModul
ZORTSTRÖM
1.200L

Klappen Fa. Ebro TYP Z014
Motor E65WS+2 Endschalter

Pumpe Wilo IP-E 65/140-4/2-R1
V=39m³/h Föderhöhe 18,0 m / WP 17M1

24Vol% Wasser/Glykol-Gemisch

P-1 39m³/h FU geregelt

Typ S-200, Reflex
AG

Entgasung Fa. Reflex Servitec 60

WP-Unit Interface

Erdsondenanlage

Erdgas
Liefergrenze
DN 50
TAE
Brenner
Abgas DN250
Ausdehnungsgefäß Typ N-80 Reflex
DN 25

Gas-Brennwert-Kessel
Viessmann Vitocrossal 200, TYP CM2
Heizleistung 50/30°C 311 kW
Heizleistung 60/80°C 285 kW

14 Doppel- U- Rohrsonden 32 x 2,9 mm
Sondenüberwachung mittels Pt-1000
(Referenzsonde)
Tiefenbohrung 150m

Wasser - Glykolgemisch Antifrogen N-25 Vol. %

Vorlauf verteiler
Rücklauf sammler
5°C
2,5°C

Entzug 106KW / 39,0m³/h / p= 16m WS extern

Messleitung zur Zentrale
Meßsonde!

S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8 S9 S10 S11 S12 S13 S14

Energiezentrale Trakt 1

LEGENDE

Heizung
- Heizung-Vorlauf
- Heizung-Rücklauf

Kälte
- Kühlung-Vorlauf
- Kühlung-Rücklauf

Solarkreis
- Sonden-Vorlauf
- Sonden-Rücklauf

Sanitär
- TW-Kaltwasser
- TW-Warmwasser
- TW-Zirkulation

Solarkreis
- Solar-Vorlauf
- Solar-Rücklauf

Erdgas
- Erdgasleitung

Grenzen
- Trakt-Grenzen

- Dreiwegeventil, Antrieb durch Elektromotor
- Pumpe FU-geregelt
- Pumpe
- Sicherheitsventil
- Rückschlagklappe
- Handabsperrklappe
- Absperrklappe motorisch angetrieben
- Kappenventil
- Absperrkugelhahn
- Absperrarmatur mit Handantrieb
- Absperrarmatur mit Regelkegel und Anzeigevorrichtung
- Absperrarmatur mit Federantrieb Entleerung
- STB-Sicherheitstemperaturbegrenzer SDB-Sicherheitsdruckbegrenzer
- Thermometer örtlich
- Manometer örtlich
- Temperatursensor Anzeige fern
- Temperatursensor Anzeige fern für Wärmepumpe
- Schmutzfänger
- Regulierventil (Taco)
- Kugelhahn
- Wärmetauscher
- Druckmindereinheit
- Verbraucher
- KFE-Hahn DN15
- Wärmemengenzähler
- Druckausdehnungsgefäß

BAUVORHABEN

Gymnasium Baesweiler

Energiezentrale Trakt 1
Otto-Hahn-Str. 4
52499 Baesweiler

MAMMA RUPP
RUPP GmbH
Marie-Bernays-Ring 7
41199 Mönchengladbach-Gödderath
Telefon: 02166 - 9677- 0
Fax: 02166 - 9677- 99
e-mail: info@ruppgmbh.de

BAUHERR

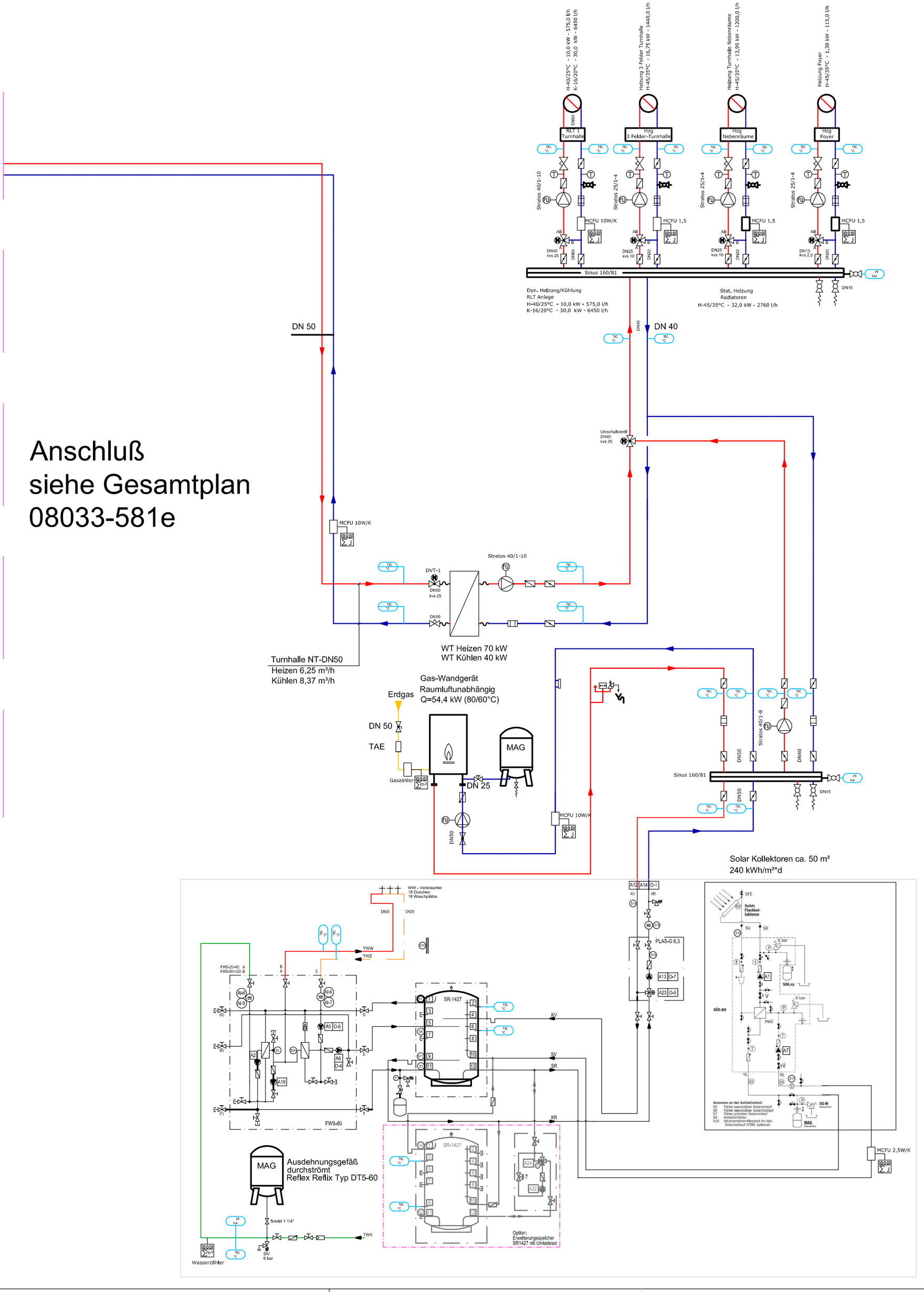
Stadt Baesweiler
Marienstr. 2
52499 Baesweiler

Zeichnungsinhalt

Gesamtschema Heizen Kühlen/ Energiezentrale Trakt 1

Projektnr.	Zeichnungsnr.	Index	Gepr.	Datum	Format
A12-0176	Schema-001	B	K.Rupp	07.03.2013	A0
CAD-Datei F:\CAD\A12-0176\Montagepläne\Schaltschema_Rupp_20130307.n4m			Gez. K.Rupp	Datum 07.03.2013	Maßstab 1:100

Anschluß
siehe Gesamtplan
08033-581e



L E G E N D E

Heizung

- Kälte-Rücklauf
- Kälte-Vorlauf
- Heizung-Rücklauf
- Heizung-Vorlauf
- Abgas
- Gas
- Heizkörper
- 11/600/1000 TYP/Bauhöhe/Baulänge
- GL-11/600/220 Glieder/Bauhöhe/Bautiefe
- (4) TYP siehe Heizkörperliste
- (3.11 / 20°C) Etage.Raumnummer / Raumtemperatur
- (3) Indexfortschreibung

Sanitär

- TWW Trinkwasser warm
- TW Trinkwasser kalt
- TZW Zirkulation
- Mischwasser
- Mischwasser Grundltg

Symbole

- Manometer
- Thermometer
- Membrandruckausgleichsgefäß
- Membrandruckausgleichsgefäß-Kupplung
- Öl- oder Gasbrenner
- Solarkollektor
- Verbraucher im Heizkreis
- Wärmeerzeuger im allgemeln
- Wärmeübertrager
- Absperrventil oder Hahn
- Abgleichventil
- Entlüftungsventil
- Luftabscheider
- Motorbetriebenes Mischventil
- Schwerkraftbremse
- Sicherheitsventil
- 4-Wege-Mischer-Umschaltventil

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterln
c	Einarbeitung der Anmerkungen von Solvis (04.06.13)	05.06.2013	chb/jov
b	Warmwasserbereitung mit SolvisVital 3	30.05.2013	chb/jov
a	Kombi. WT Hzg./Kühl. und Ergänzung MSR	24.05.2013	mag/jov

INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E -Mail : vika@vika.de
Internet: www.vika.de

mia (Zeichnerln)	o/o (Maßstab)	P08-033-01 (Proj.Nr.)	
wan (Bearbeiterln)	DIN A2 420/594 (Format)	19.05.2011 (Datum)	

Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler - Turnhalle
Schema Heizen / Kühlen

Planungsphase/Gewerk: Ausführung Heizung / Kühlung

P08-033-01-5-582 (Plannummer) | c (Index)

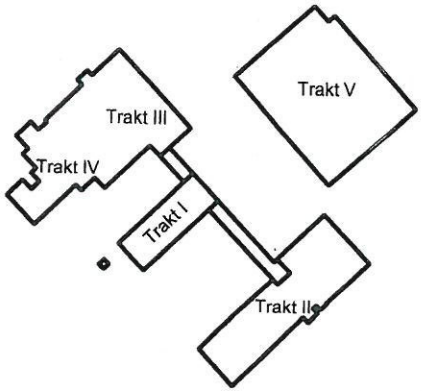
Architektenstand :

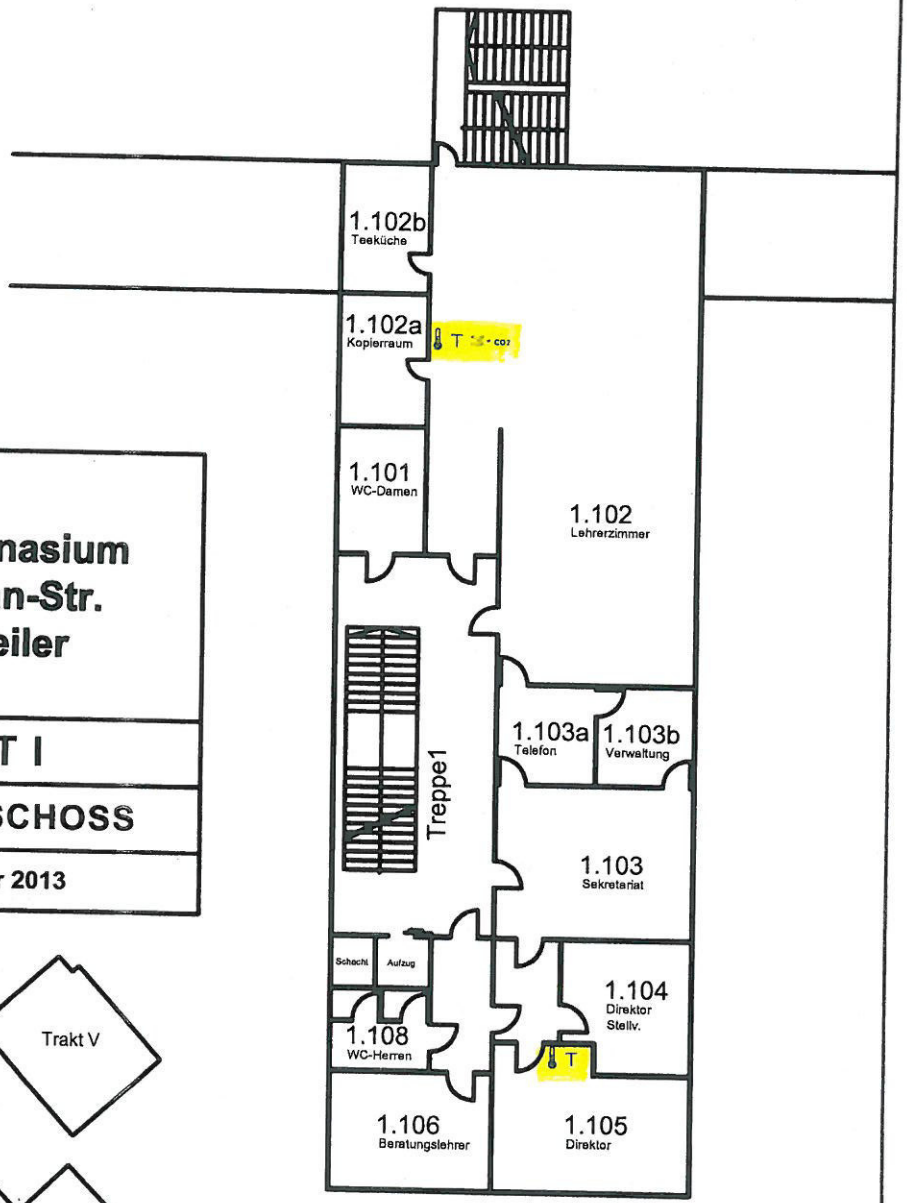
2301 Gymnasium Otto-Hahn-Str. Baesweiler

TRAKT I

1. OBERGESCHOSS

Stand: Januar 2013





MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO2 = CO2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler – 1. Obergeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung – Monitoring

Architektenstand :

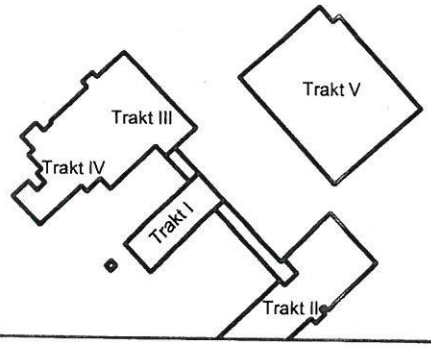
P10-017-5-230 (Plannummer) | . (Index)

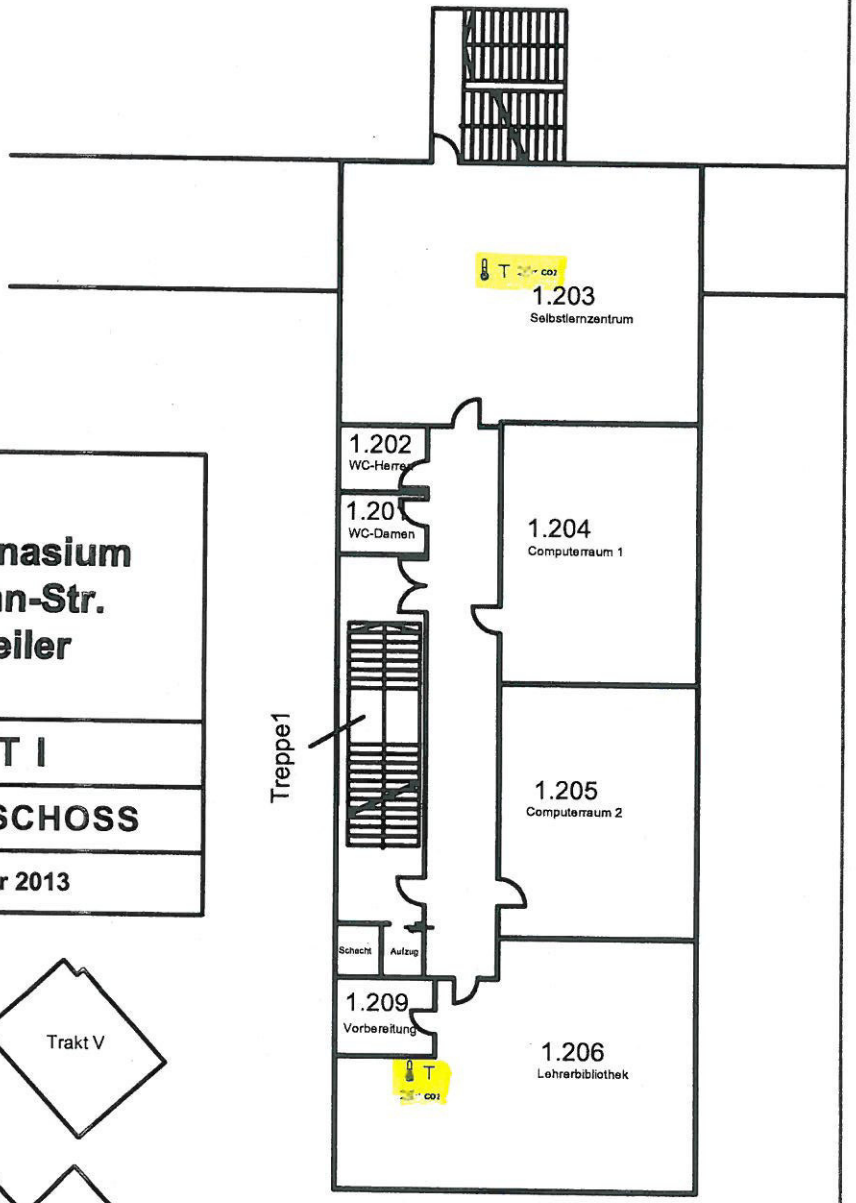
2301 Gymnasium Otto-Hahn-Str. Baesweiler

TRAKT I

2. OBERGESCHOSS

Stand: Januar 2013





MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO2 = CO2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

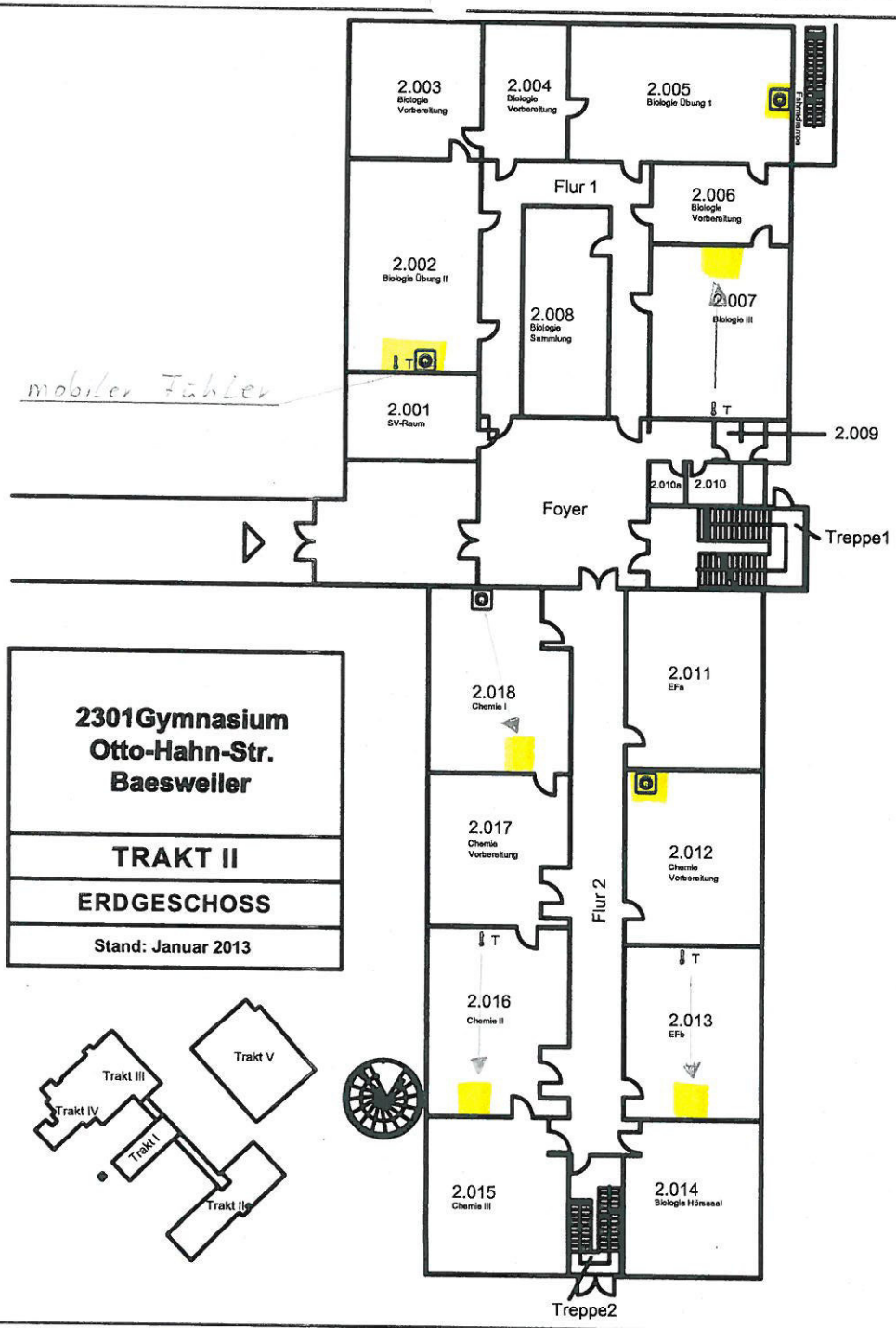
mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler
2. Obergeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung
Monitoring

Architektenstand :

P10-017-5-231 (Plannummer) | . (Index)



MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO2 = CO2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

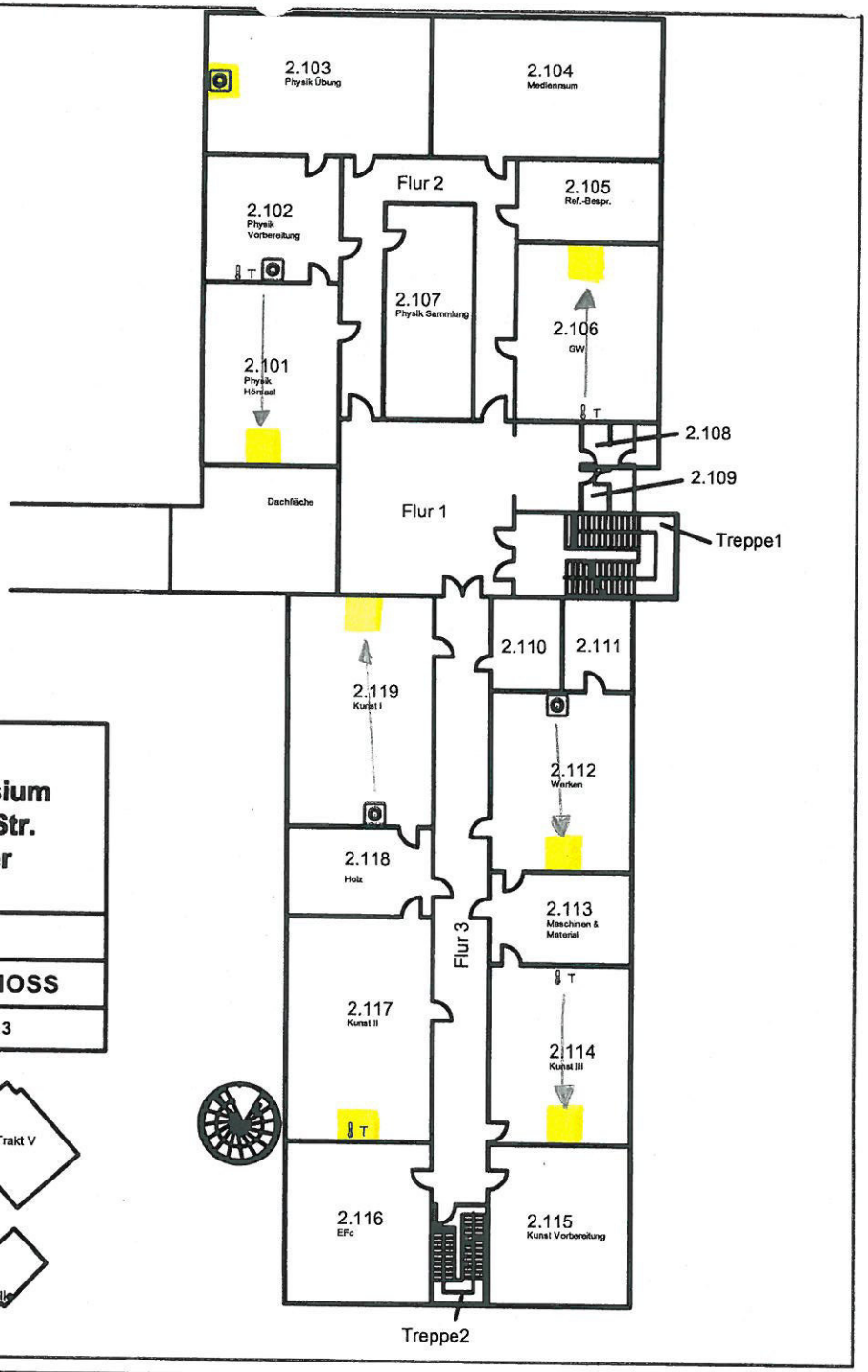
Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler Erdgeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung Monitoring

P10-017-5-230 (Plannummer)

. (Index)

Architektenstand :

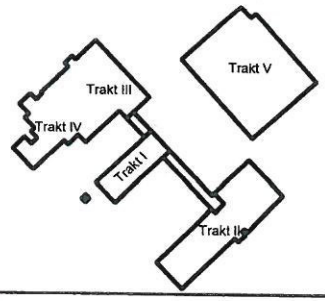


2301 Gymnasium
Otto-Hahn-Str.
Baesweiler

TRAKT II

1. OBERGESCHOSS

Stand: Januar 2013



MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO2 = CO2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

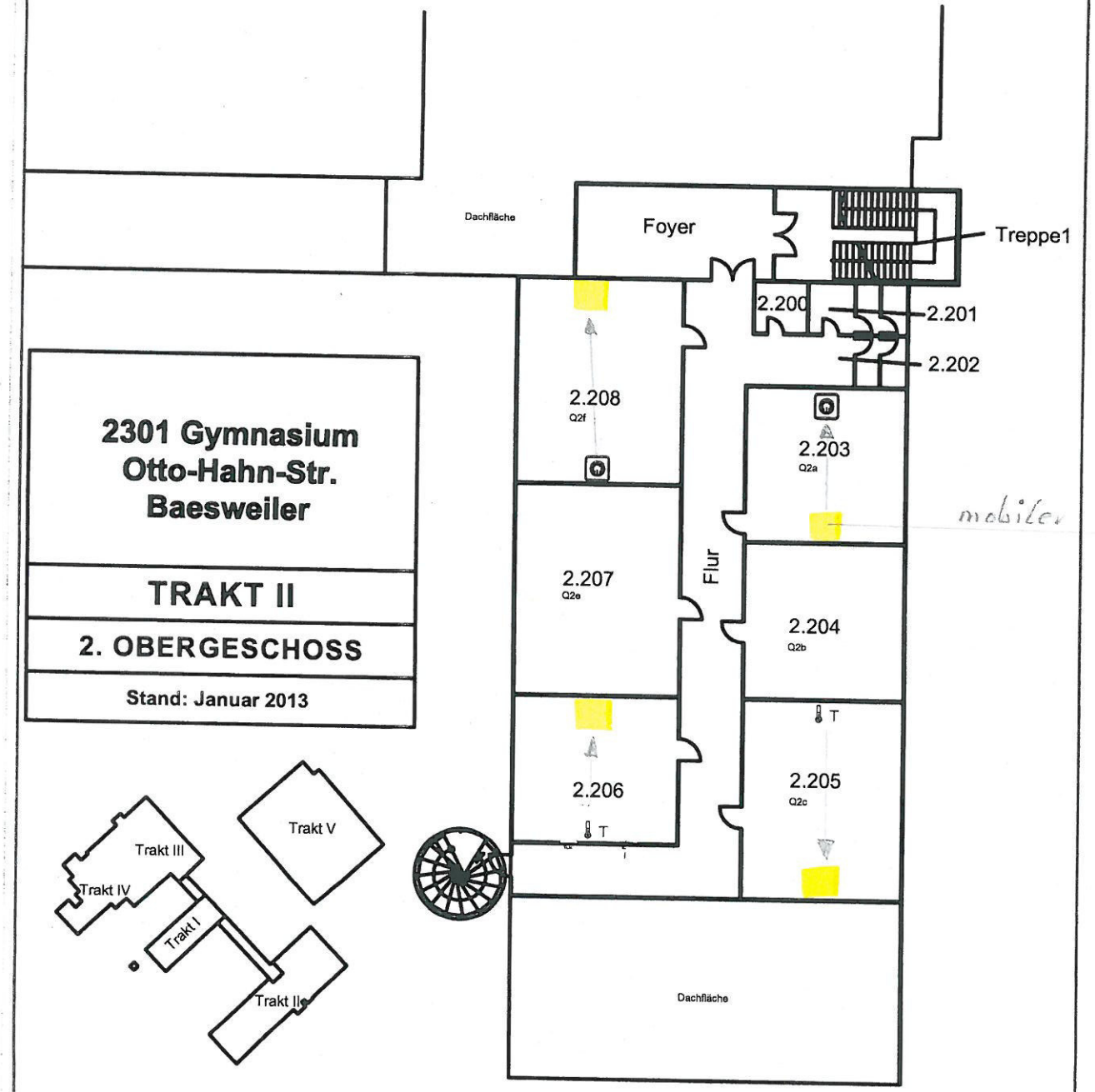
mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler
1. Obergeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung
Monitoring

Architektenstand :

P10-017-5-231 (Plannummer) | . (Index)



2301 Gymnasium
Otto-Hahn-Str.
Baesweiler

TRAKT II

2. OBERGESCHOSS

Stand: Januar 2013

MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO2 = CO2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

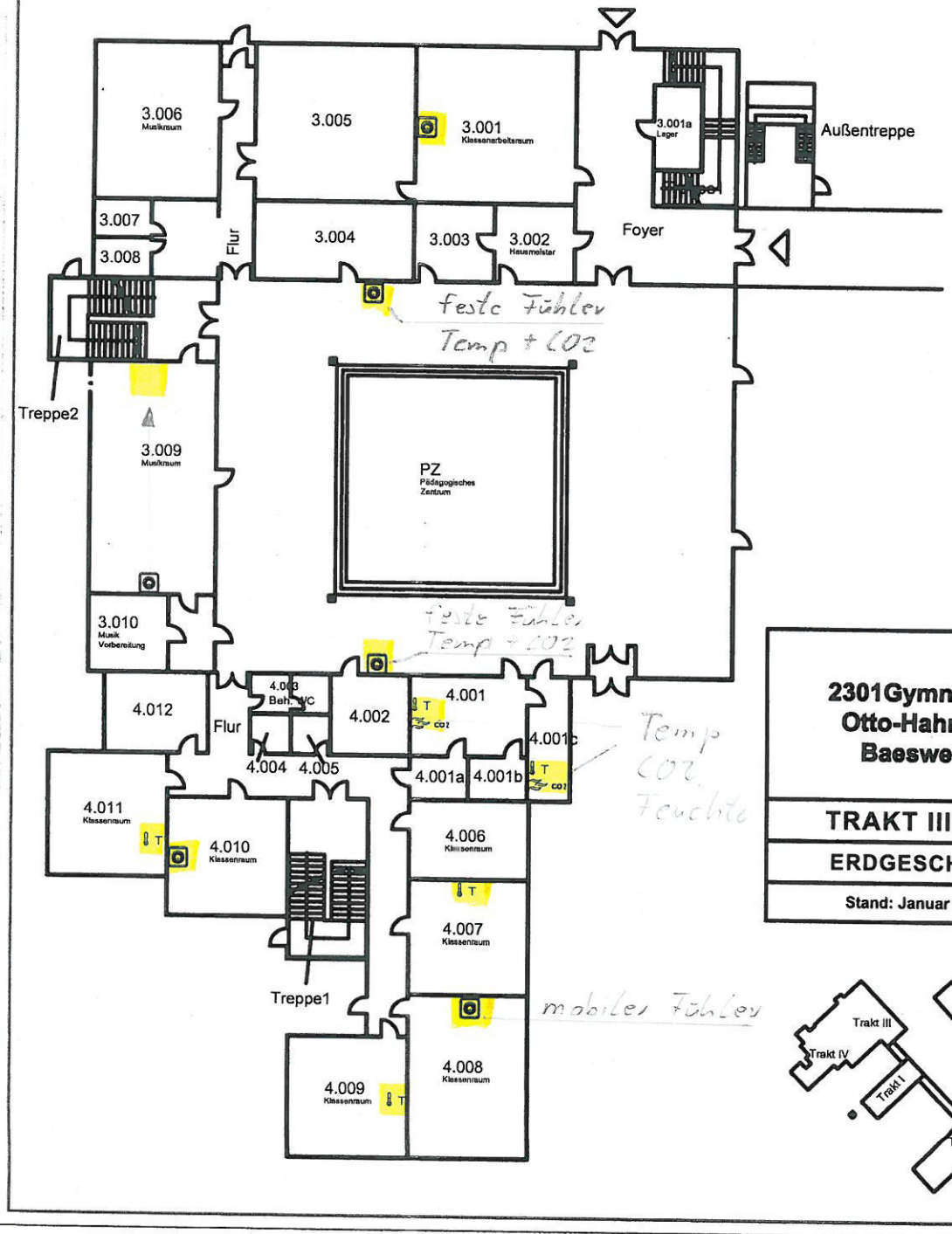
mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler
2. Obergeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung
Monitoring

Architektenstand :

P10-017-5-232 (Plannummer) | . (Index)

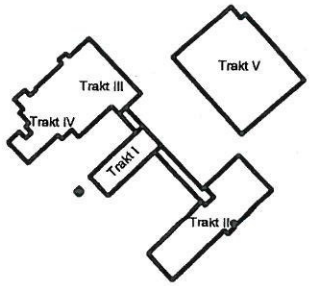


2301Gymnasium
Otto-Hahn-Str.
Baesweiler

TRAKT III & IV

ERDGESCHOSS

Stand: Januar 2013



MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO_2 = CO2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

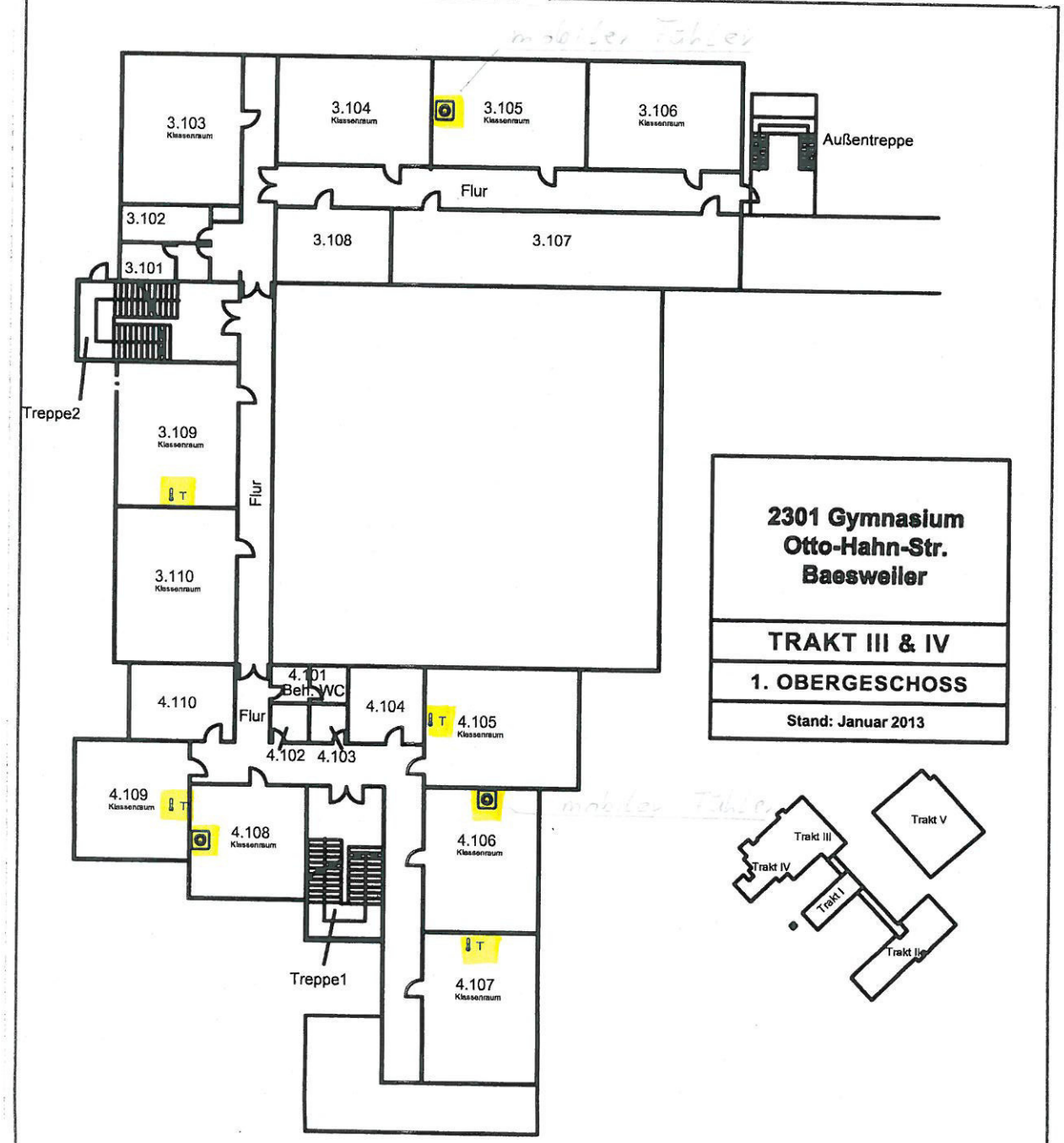
mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler Erdgeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung Monitoring

Architektenstand :

P10-017-5-230 (Plannummer) | . (Index)



2301 Gymnasium
Otto-Hahn-Str.
Baesweiler

TRAKT III & IV

1. OBERGESCHOSS

Stand: Januar 2013

MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO_2 = CO_2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzeiter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

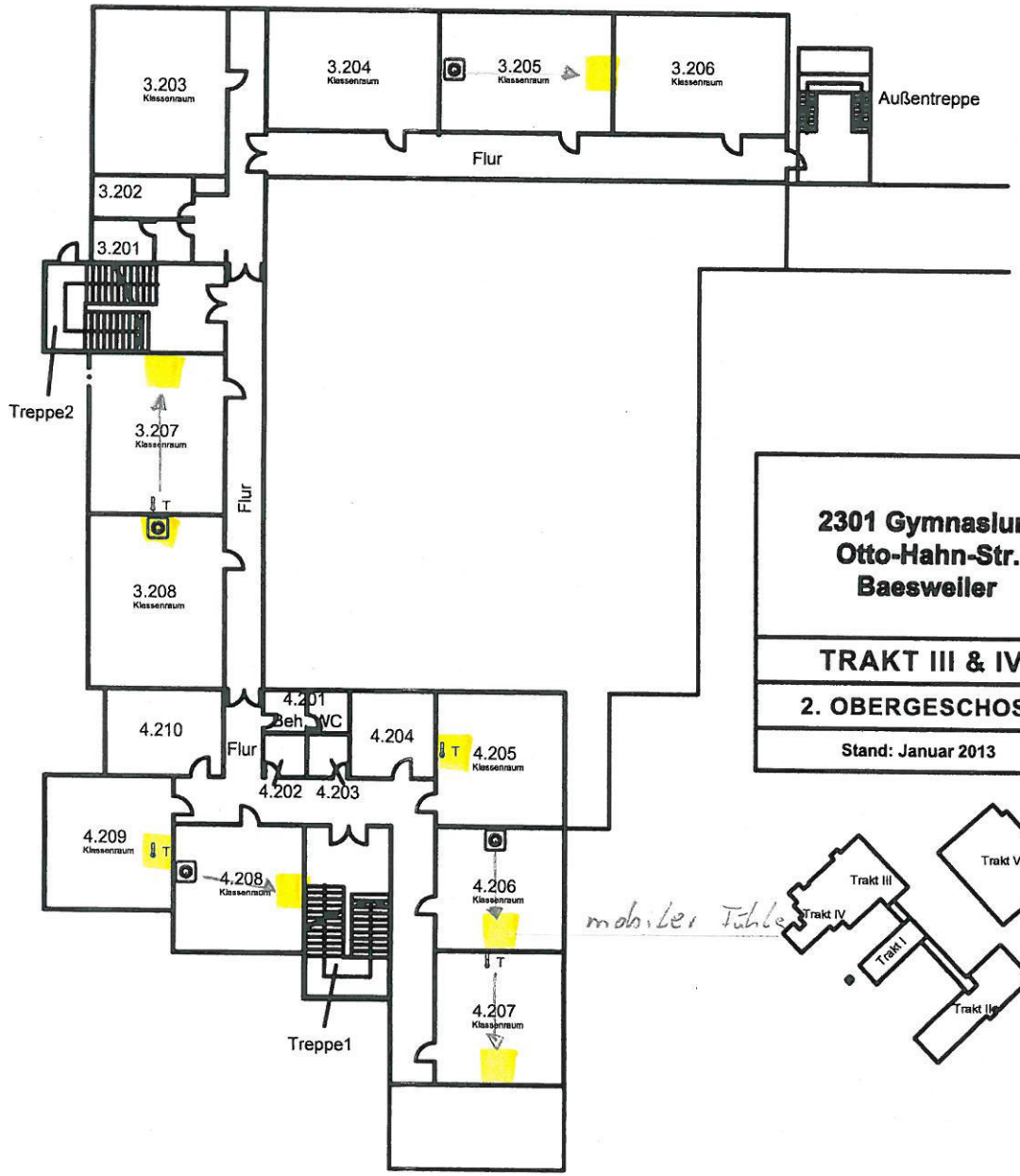
Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler
1. Obergeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung
Monitoring

Plannummer: P10-017-5-231

Index: .

Architektenstand :



2301 Gymnasium
Otto-Hahn-Str.
Baesweiler

TRAKT III & IV

2. OBERGESCHOSS

Stand: Januar 2013

MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO_2 = CO2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler
2. Obergeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung
Monitoring

P10-017-5-232 (Plannummer) | . (Index)

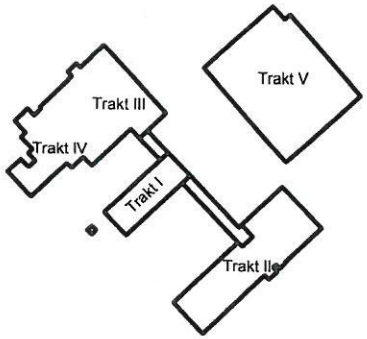
Architektenstand :

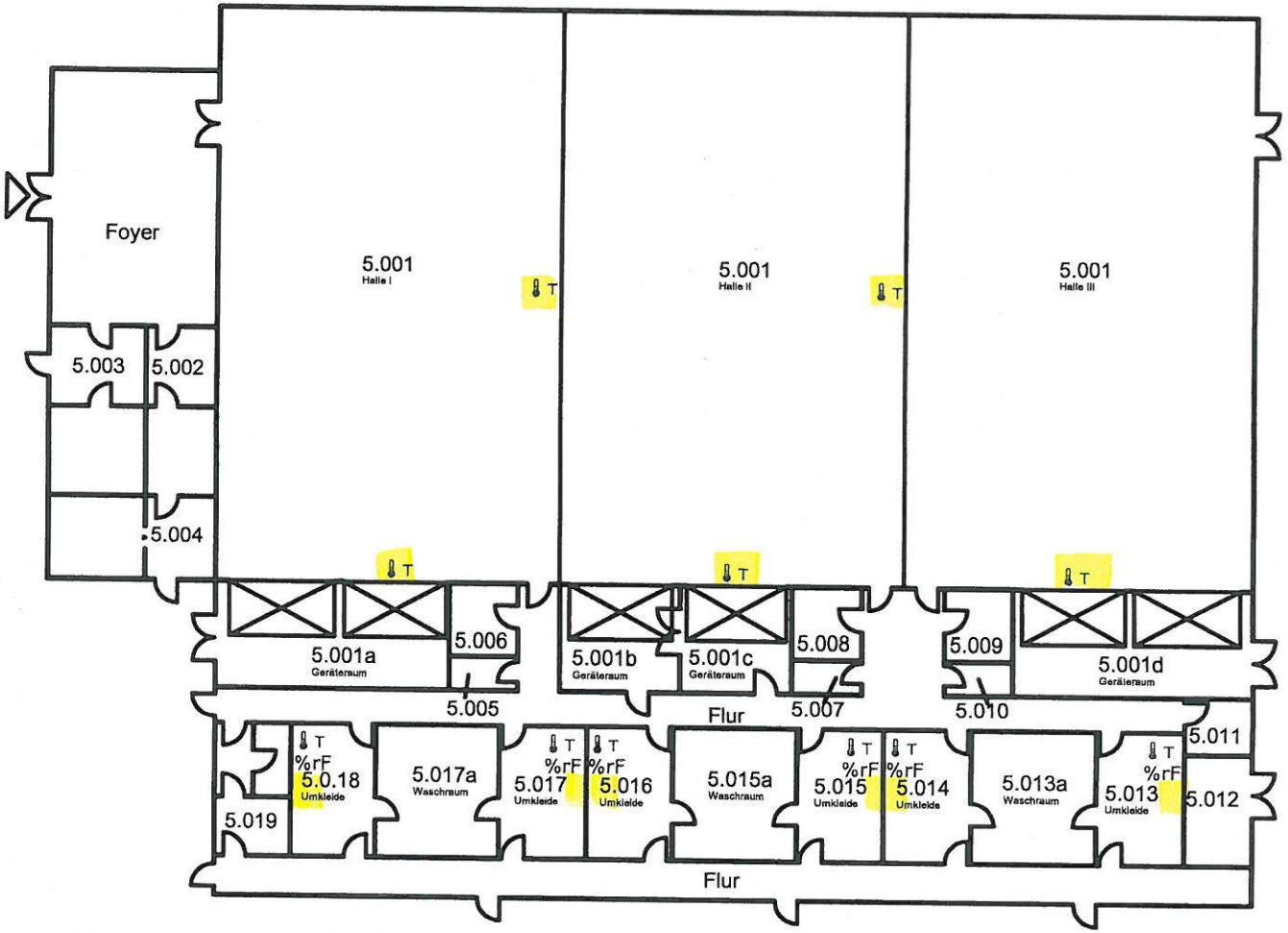
2302 Gymnasium
Otto-Hahn-Str.
Baesweiler

TRAKT V

Erdgeschoss

Stand: Dezember 2007





MONITORING:

- E = Enocean-Empfänger
- RB = Raumbedienungsgerät
- CO_2 = CO2 Sensor
- T = Temperaturfühler
- %rF = Feuchte Sensor
- = Anschlussdose für mobile Sensoren T, CO_2, %rF

Index	Beschreibung der Änderung	Datum	Bearbeiterin
.	.	.	.
.	.	.	.

VIKA INGENIEUR GMBH
Schurzelter Strasse 27
D-52074 Aachen
Telefon: 0241-47 46 60
Telefax: 0241-47 46 69
E-Mail: vika@vika.de
Internet: www.vika.de

mia (Zeichnerin)	o/o (Maßstab)	P10-017 (Proj.Nr.)	
ant (Bearbeiterin)	DIN A3 297/420 (Format)	04.03.2013 (Datum)	

Projekt/Planinhalt: Gymnasium Baesweiler Turnhalle Erdgeschoss

Planungsphase/Gewerk: Ausführung Monitoring

Plannummer: P10-017-5-230

Index: .

Architektenstand :

Bedarfsoptimierung der Regelungseinstellungen der Lüftungsanlage in der Turnhalle

I. Beschreibung

Die Lüftungsanlage in der Turnhalle wird nach einem Zeitprogramm gesteuert. Dabei wird der Volumenstrom nicht an den Bedarf angepasst sondern die Anlage wird unter Volllast betrieben. Hierdurch entsteht ein nicht unerhebliches Einsparpotential zur Reduzierung des Strom- und Wärmeverbrauchs.

In Abbildung 1 sind die belüfteten Teilbereiche als vereinfachtes Strangschema dargestellt. Im jetzigen Zustand werden alle drei Teilbereiche (Umkleiden, Halle, Foyer) mit den vorgesehenen Luftmengen durchströmt. Auch dann wenn sich dort keine Nutzer aufhalten.

Im Folgenden soll ein Konzept entwickelt werden um die Volllaststunden der Anlage soweit es geht zu reduzieren und dennoch für ausreichend Belüftung zu sorgen. Außerdem soll die Beheizung der Halle weiterhin sichergestellt sein.

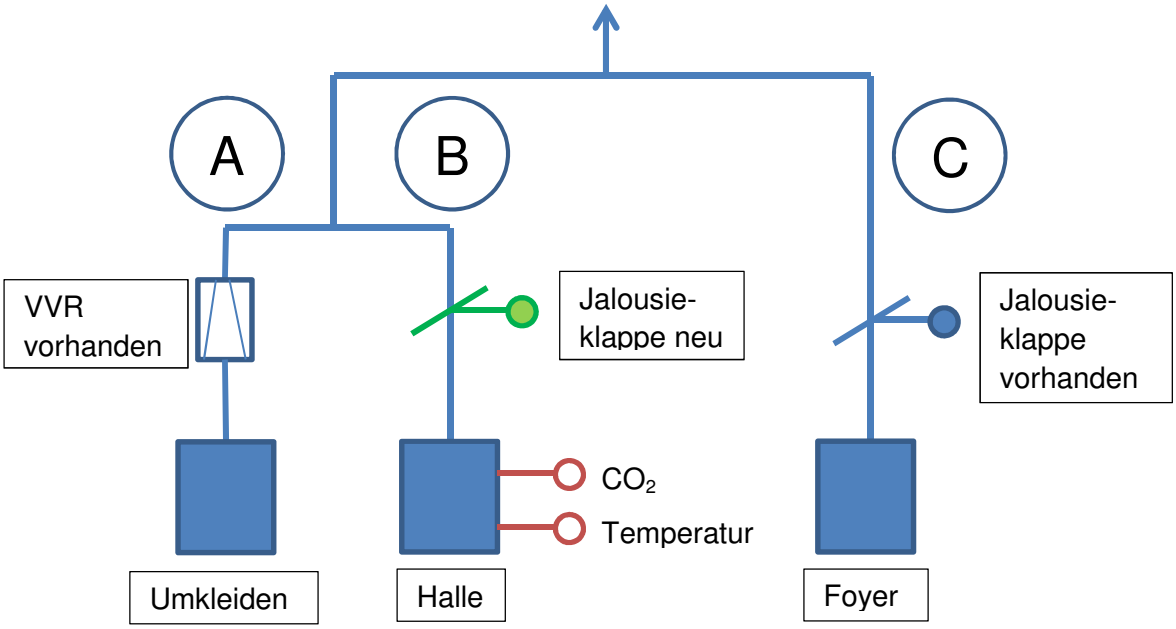


Abbildung 1: Abluftstrangschema Turnhalle

II. Optimierung

1. Grundvolumenstrom

Die Umkleiden werden mit einem Grundvolumenstrom durchströmt (z.B. 5-facher Luftwechsel der Duschen). Die 4 Jalousieklappen zur Halle werden geschlossen. Das Foyer wird taktend durchströmt (z.B. 5 Mal jede Stunde für ca. 3 Minuten).

- A: Grundvolumenstrom
- B: Klappen geschlossen
- C: taktender Betrieb

2. CO_2-Halle hoch

Die Umkleiden werden mit Sollvolumenstrom durchströmt, dadurch werden die Halle und die Umkleiden stärker belüftet (z.B. 10-facher Luftwechsel der Duschen). Die 4 Jalousieklappen zur Halle bleiben geschlossen. Das Foyer wird taktend durchströmt (siehe Punkt 1.).

- A: Sollvolumenstrom
- B: Klappen geschlossen
- C: taktender Betrieb

3. CO_2-Halle sehr hoch

Die Umkleiden werden mit Sollvolumenstrom durchströmt (z.B. 10-facher Luftwechsel der Duschen). Die 4 Jalousieklappen zur Halle werden geöffnet, dadurch strömt noch mehr Luft durch Halle und Umkleiden. Das Foyer wird taktend durchströmt (siehe Punkt 1.).

- A: Sollvolumenstrom
- B: Klappen geöffnet
- C: taktender Betrieb

4. Temperatur zu niedrig

a. Erste Stufe

Die Anlage wird wie unter Punkt 1. beschrieben betrieben, jedoch wird die Zulufttemperatur angehoben

- Zulufttemperatur hoch

b. Zweite Stufe

Zusätzlich zu a. wird Punkt 2. angewandt

- Zulufttemperatur hoch
- A: Sollvolumenstrom
- B: Klappen geschlossen
- C: taktender Betrieb

c. Dritte Stufe

Zusätzlich zu a. wird Punkt 3. angewandt

- Zulufttemperatur hoch
- A: Sollvolumenstrom
- B: Klappen geöffnet
- C: taktender Betrieb

5. Besucherbetrieb

Wenn in der Halle Veranstaltungen stattfinden und dabei auch das Foyer in Betrieb genommen wird, soll dies über einen Taster freigeschaltet werden. Dabei wird die Lüftung im Foyer von taktendem auf Dauerbetrieb gestellt (für eine voreinstellbare Zeit).

- C: Dauerbetrieb

III. Umbaumaßnahmen und Kosten

Um die vorgeschlagenen Maßnahmen in der GLT umsetzen zu können, müssen zunächst die Hardware Voraussetzungen geschaffen werden. Dies bedeutet den Einbau von zwei Raum-CO_2-Fühlern in der Turnhalle, sowie vier Jalousieklappen in den Abluft-Abgängen der Hallenteile.

Zur Installation der Hardware kommen noch Programmierarbeiten in der GLT hinzu.

Der finanzielle Aufwand wird mit ca. 5.000 bis 6.000 € (Brutto) abgeschätzt.

Je nach Belegung der Turnhalle ist mit entsprechenden Einsparungen im Bereich Wärme und Strom zu rechnen.