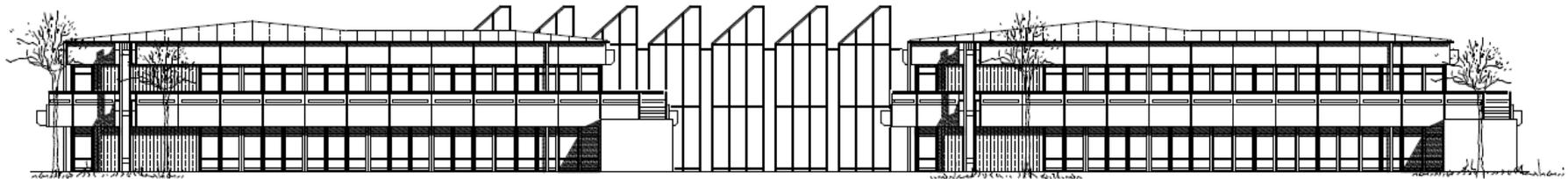




Technische
Universität
Braunschweig

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



IGS773 | BBS-Technik Cloppenburg

Machbarkeitsstudie zur möglichen Sanierung der Gebäudeteile A und G

Dipl. Ing. Architekt Thomas Wilken | Esther Wiglenda M.Sc. | Dipl. Ing. Mathias Schlosser

Stand: 20.12.2017

Aufgabenstellung

Der Landkreis Cloppenburg beabsichtigt aufgrund veränderter Anforderungen an die Berufsbildenden Schulen Technik in Cloppenburg die Bauteile A und G des Schulgebäudes zu sanieren / alternativ abzurechen und /oder neu zu bauen bzw. zu erweitern. Die Gebäude sind Anfang der 70er Jahre errichtet worden und weisen die übliche baualtersbedingte Belastung mit Schadstoffen auf. Nicht zuletzt auch wegen der Verpflichtung zur Energieeinsparung, zur inklusiven Beschulung und der geänderten Raumanforderungsbedingungen für eine moderne Schule muss eine Anpassung des Gebäudebestandes auch in der Grundrissgestaltung erfolgen.

Zweck der energetischen Machbarkeitsstudie ist es, Lösungsvorschläge zu erhalten, die den unterschiedlichen Anforderungen, insbesondere der Gestaltung, Wirtschaftlichkeit, Funktionalität und Umwelt in gleicher Weise in Bezug auf die Fassadengestaltung gerecht werden. Eine Bewertung soll darstellen, ob eine Sanierung oder ein Mischkonzept aus Teilsanierung und Teilneuerrichtung angestrebt werden muss und gegenüber einem Komplettneubau der Trakte A und G noch wirtschaftlich erscheinen kann.

1.	Vorgehensweise	4
2.	Darstellung Gebäudebestand	5
I.	Gebäudebeschreibung / Allgemeine Daten	8
II.	Flächenstatistik	21
III.	Energieverbrauch	25
IV.	Gebäudekonstruktion	31
V.	Gebäudehülle	36
VI.	Anlagentechnik	59
VII.	Nutzungsqualitäten	66
3.	Sanierungsvarianten	86
4.	Ökobilanzierung	93
5.	Wirtschaftlichkeit	97
6.	Zusammenfassung und Empfehlung	99

1. Vorgehensweise

1. Bestandsbewertung und Bestimmung des Status Quo
2. Machbarkeitsstudie ganzheitliche Gebäudebetrachtung

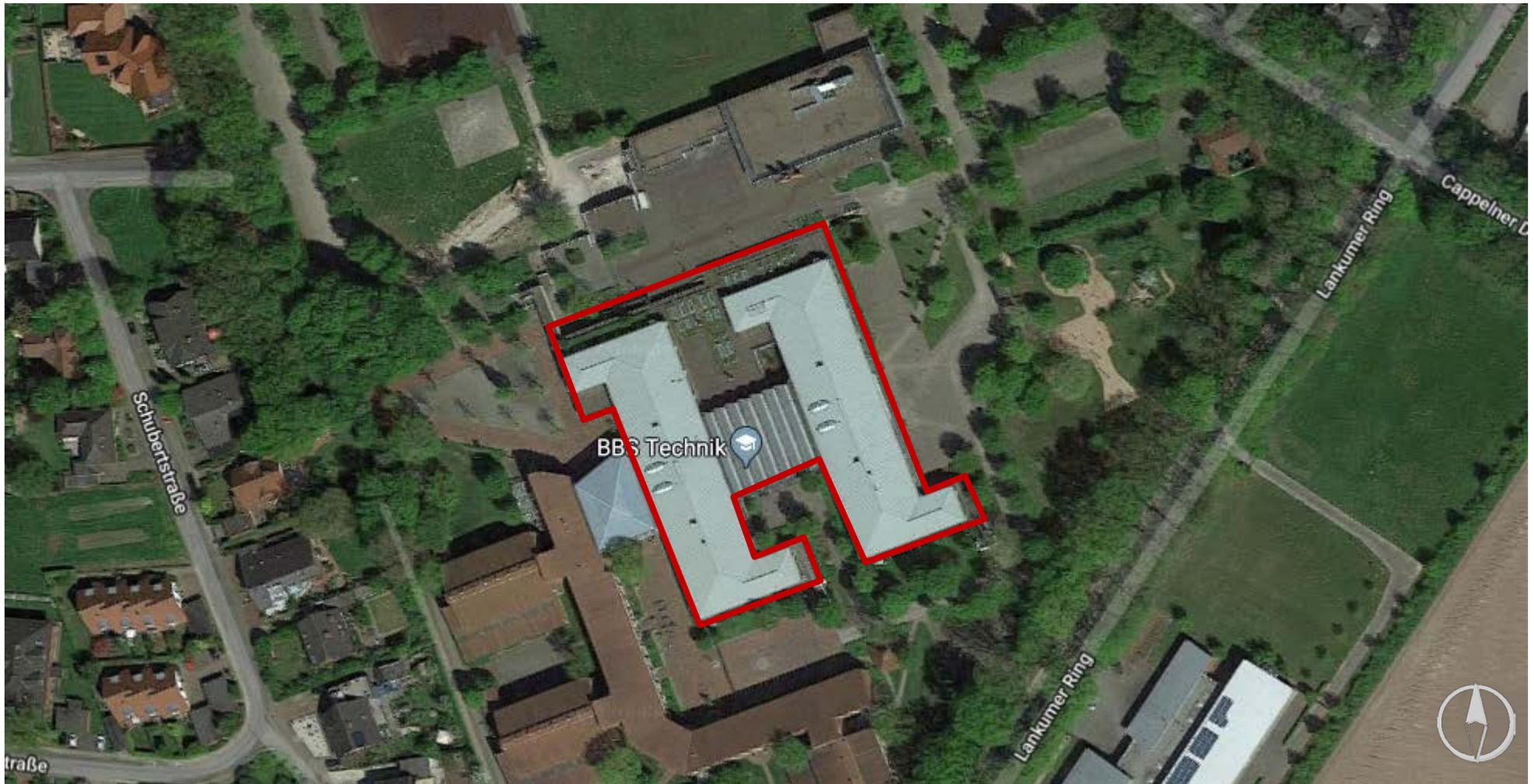
Variante A | Sanierung

Variante B | Sanierung und Umstrukturierung

Variante C | Abbruch Neubau

3. Ökobilanzierung
4. Wirtschaftlichkeit
5. Thermische Raumsimulation

2. Darstellung Gebäudebestand Bauteile A und G





Haupteingang (Ost)



Aula



Klassenraum (G1.08)



Lehrerzimmer (A2.01)



Werkstatt (G2.20)



Klassenraum (G2.08)



Fachraum Physik (A1.14/14a)



Fachraum Chemie (A1.19/18)



Fachraum Chemie (A1.20)



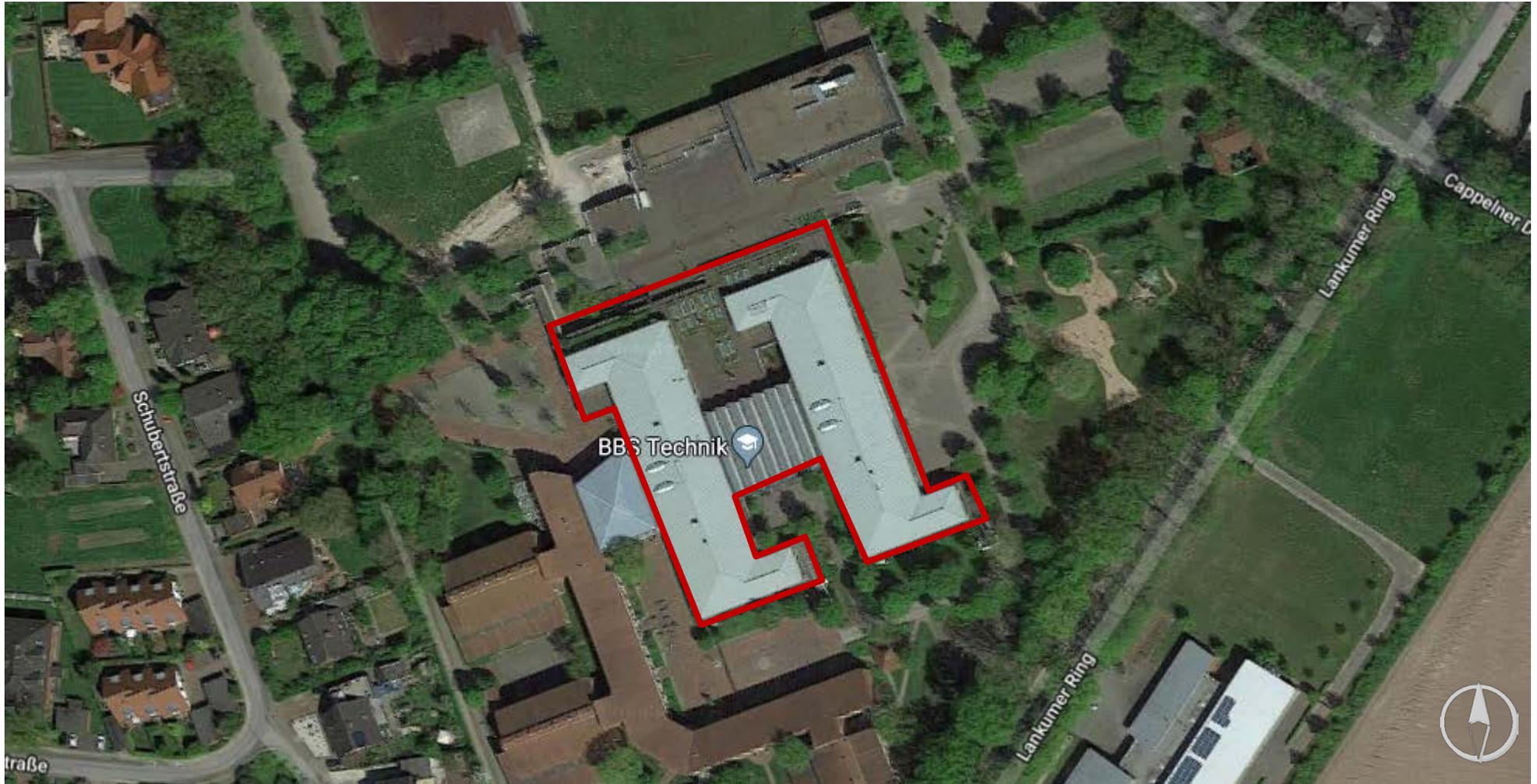
Fachraum Steuerungstechnik(A1.21)



„Mogelpalast“ (G1.11/12)

I. Gebäudebeschreibung

Allgemeine Daten



I. Gebäudebeschreibung

Allgemeine Daten der Liegenschaft

Allgemeine Daten

Gebäudekenndaten

BBS-Technik Cloppenburg

Baujahre

1972 bis 2007

BGF

ca. 24.015 m²

beheizt

21.511 m²

unbeheizt

2.504 m²

Belegung

Lehrkräfte

135

Schüler BBS Technik

ca. 2.800

Trakt A und G

ca. 1.300

Auftraggeber

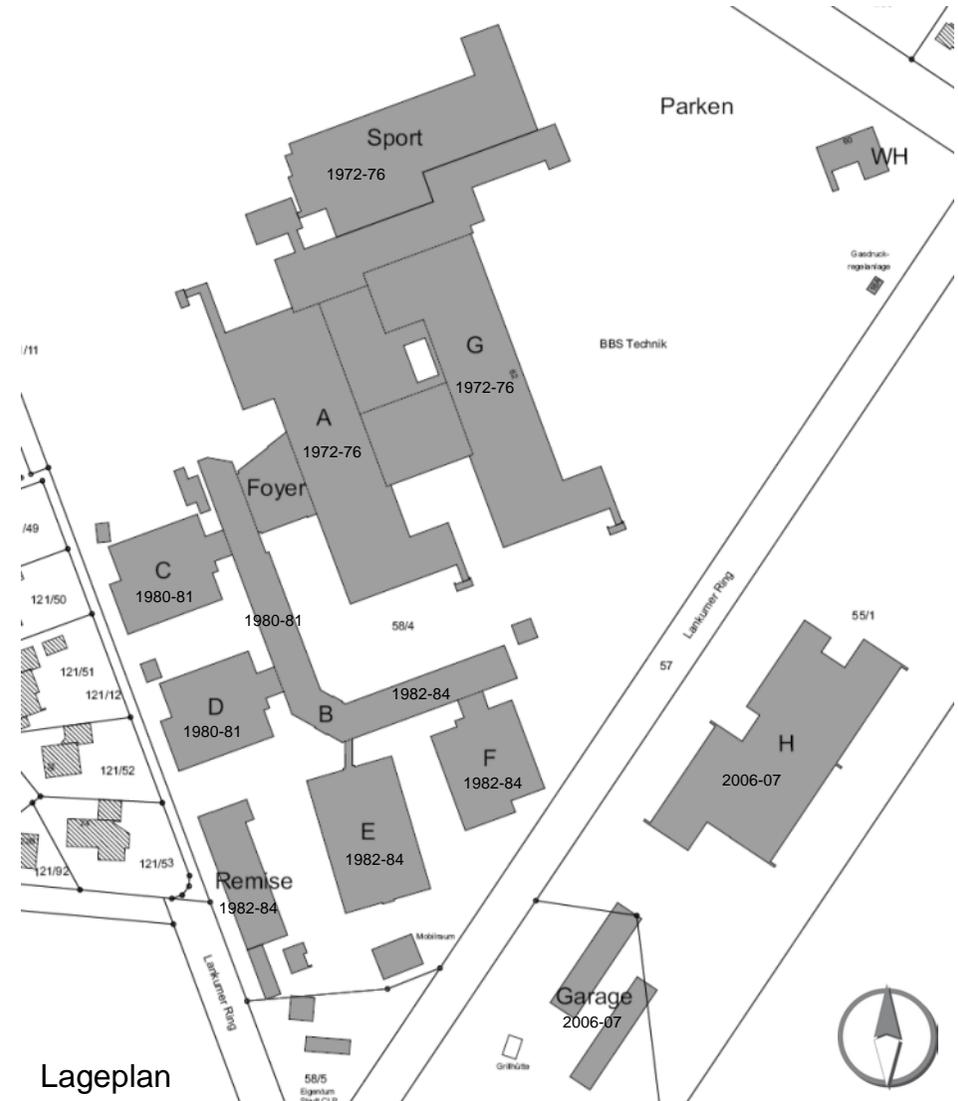
Landkreis Cloppenburg

Der Landrat

40 – Schul- und Kulturamt

40.5 Hochbau

Eschstr. 29 | 49661 Cloppenburg



Lageplan

I. Gebäudebeschreibung

Allgemeine Daten von Gebäude A und G

Allgemeine Daten

Gebäudekenndaten

BBS-Technik Cloppenburg
 Baujahr
 BGF
 NGF
 Hüllfläche A
 Beheiztes Gebäudevolumen V_e
 A/V_e - Verhältnis
 Vergleichswerte
 Schule Rimbach, Hessen/ $7.800 \text{ m}^2_{\text{NGF}}$
 Schule Neugraben, Hamburg/ $7.460 \text{ m}^2_{\text{NGF}}$

Gebäude A und G
 1972 - 76
 ca. 10.135 m^2
 ca. 8.645 m^2
 ca. 15.136 m^2
 ca. 37.711 m^3
 $0,40 \text{ m}^{-1}$
 $0,32 \text{ m}^{-1}$
 $0,26 \text{ m}^{-1}$

Belegung

Lehrkräfte ca. 135
 Schüler BBS gesamt ca. 2.800
 Schüler Gebäude A und G ca. 1.280
 – Schüler Gebäude A ca. 498
 – Schüler Gebäude G ca. 781



Lageplan

Allgemeine Daten Gebäude A und G

Konstruktion

- Stahlbeton-Skelettbauweise mit auskragenden Unterzügen (ohne thermische Trennung)
- opake Fassade mit vorgehängten Sichtbetonelementen
keine Veränderung gegenüber der Bauzeit
- transparente Fassade mit Holz-Isolierglas-Fassaden mit gedämmtem Brüstungsbereich
überwiegend keine Veränderung gegenüber der Bauzeit
- Stahlglasfassade im Zentralbereich (Aula/ Kunsträume mit Sheddach-Konstruktion)
auf der Südseite mit Einscheibenverglasung und Glaslamellenfenstern zum Lüften
- Flachdach
nachträglicher Ergänzung einer Kaltdachkonstruktion als flachgeneigte Ebene mit Metall-Eindeckung

Stahlbeton-
Skelettbauweise
(Bestand)



Holz-Isolierglas-Fassade
(überwiegend Bestand)



Nordseite (erneuert)



Südseite (Bestand)



Südseite (Bestand)

Außenentwässerung
schematisch (rot)



I. Gebäudebeschreibung

Allgemeine Daten von Gebäude A und G

Allgemeine Daten Gebäude A und G

Dokumentation der baulichen Veränderungen

0. Gebäudeerrichtung

1972 - 76



1. Gebäude G:

teilw. Erneuerung von Gläsern/ Scheiben
(Austausch gegen 2-fach Wärmeschutzverglasung)

diverse Jahre



Glasaustausch
(im Bestandsrahmen)

Erneuerung der nordseitigen Glasfassade und
Sheddach-Konstruktion
(Einbau von thermisch getrennten Profilen und
Sonnenschutzverglasung)

ca. 2010

Fassade Aula Südseite
(erneuert)



2. Dachsanierung

- Flachgeneigtes Walmdach mit Metall-Eindeckung
- 20 cm Wärmedämmung auf der obersten Geschossdecke
- Erneuerung der Regenwasser-Entwässerung
- Ergänzung von Regenrinnen mit neuem außenliegendem Verlauf

2002

Grundriss Erdgeschoss

BGF ca. 5.705 m²



Grundriss Obergeschoss

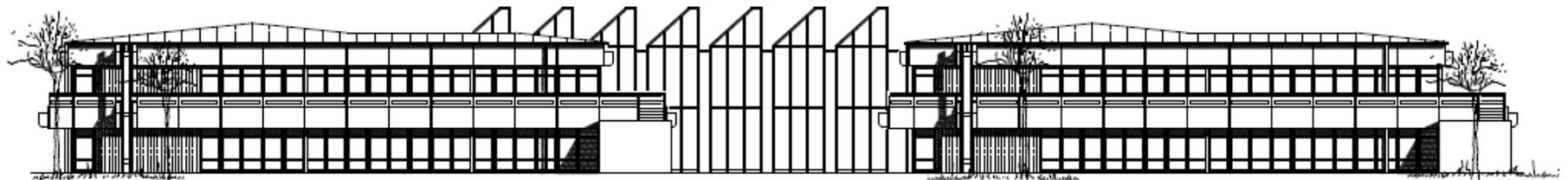
BGF ca. 4.430 m²



Ansichten Ost und Süd

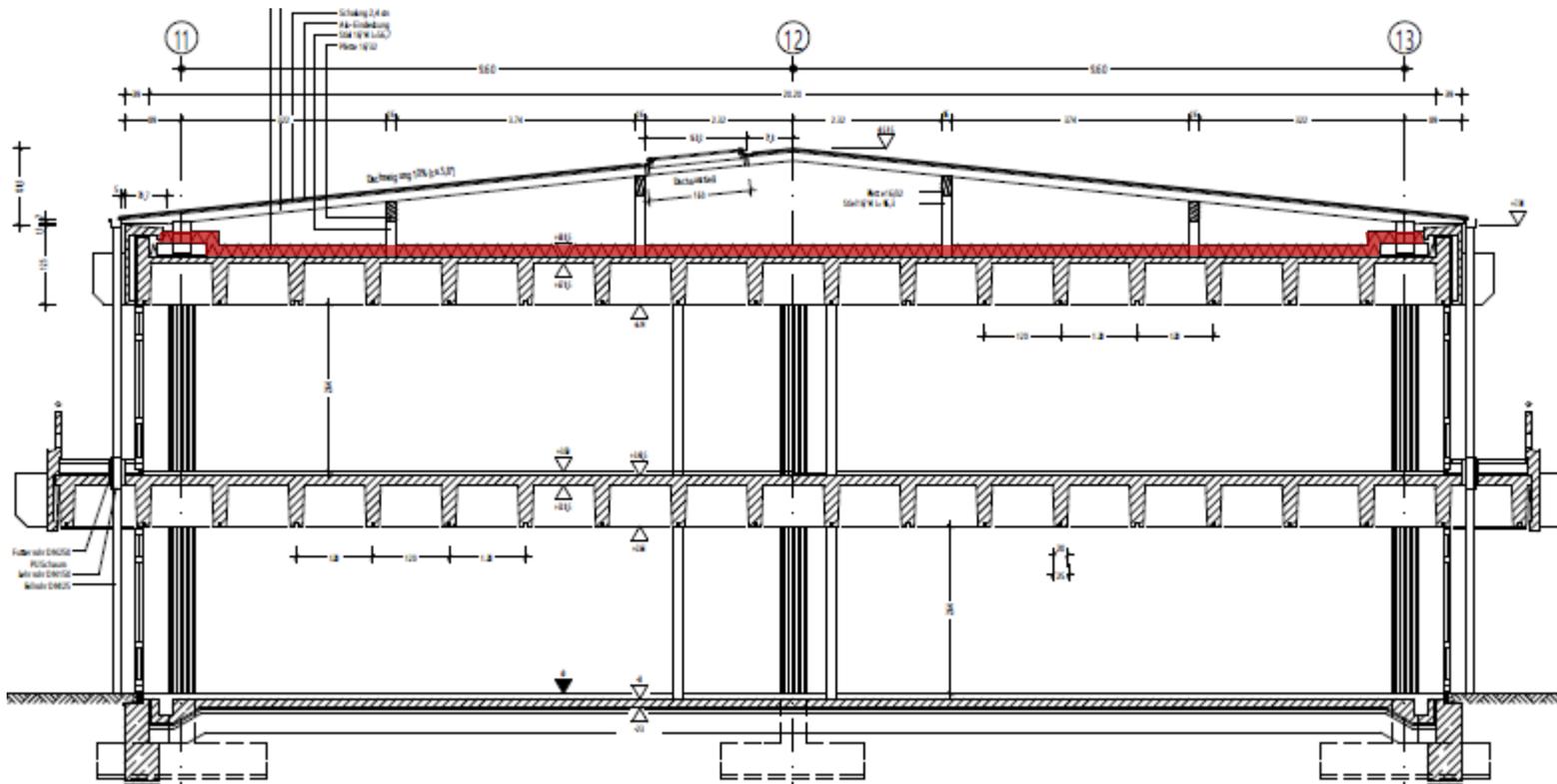


Ansicht von Osten



Ansicht von Süden

Querschnitt



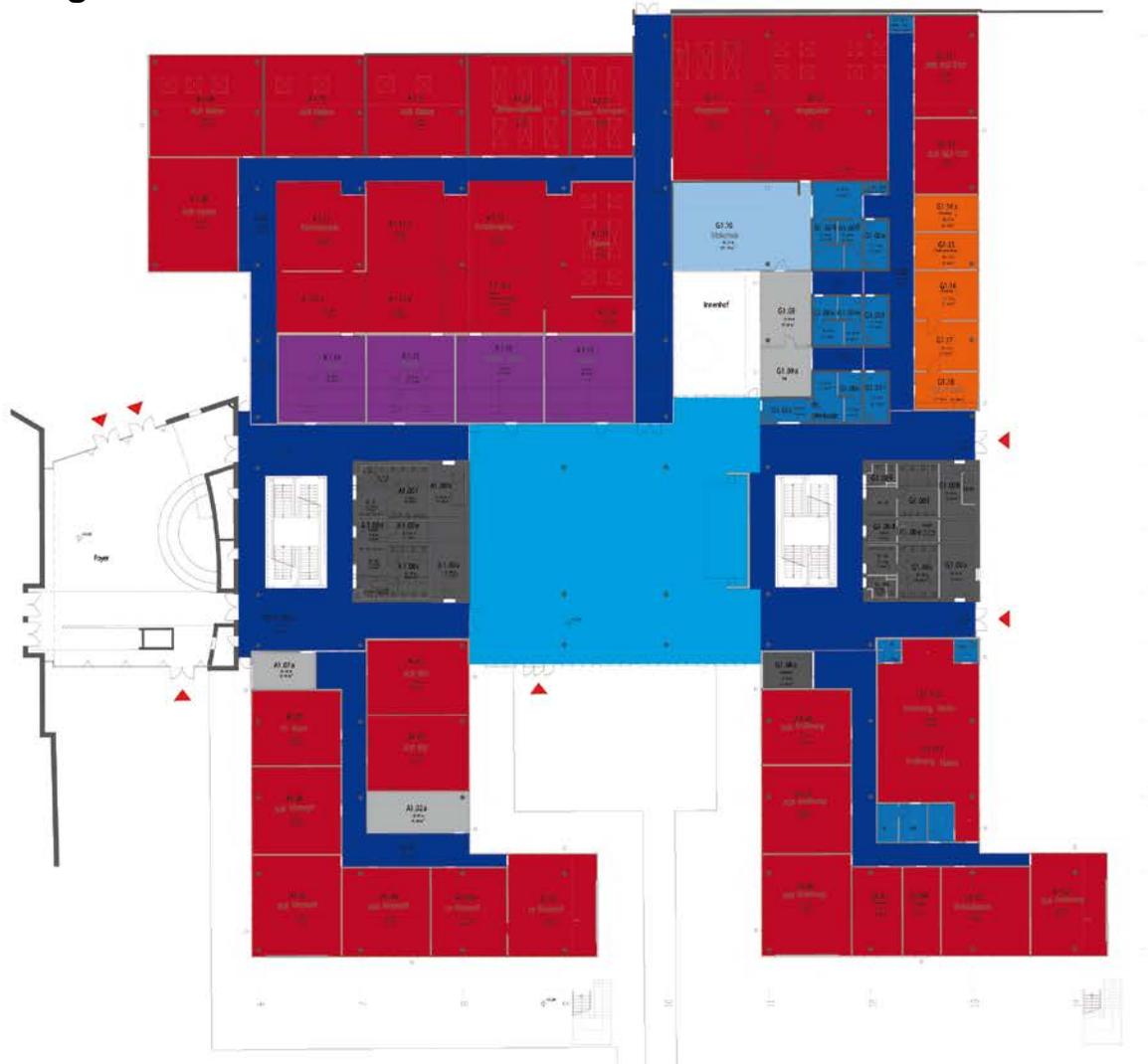
Nachträglich
ergänzt
Dach

Dämmung der obersten
Geschossdecke
(20cm Mineralwolle)

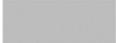
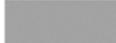
Gebäude G

I. Gebäudebeschreibung Gebäudezonierung nach Nutzung

Erdgeschoss



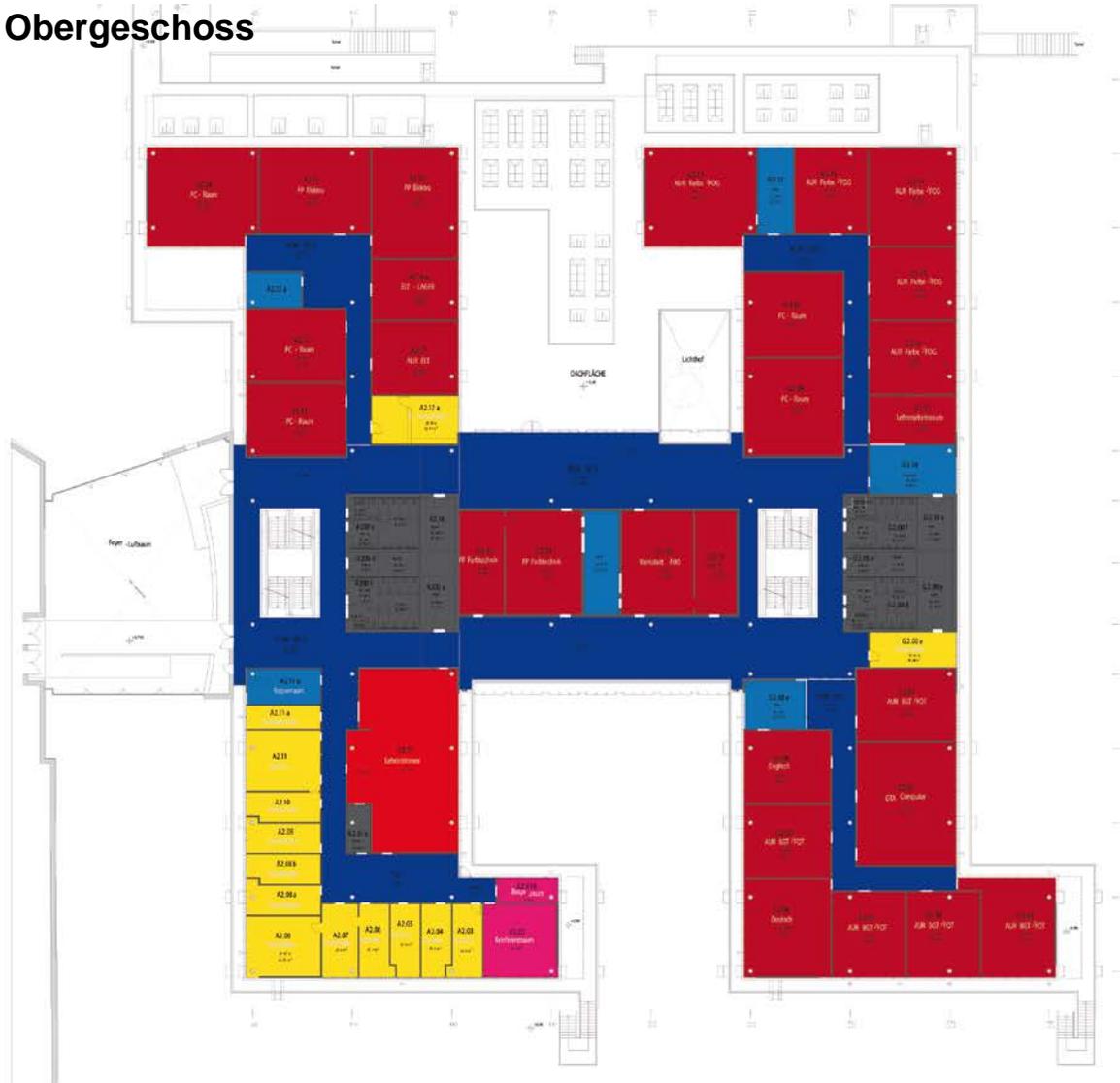
Legende

-  1_Einzelbüro
-  2_Gruppenbüro (zwei bis sechs)
-  3_Großraumbüro (ab sieben)
-  4_Besprechung
-  8_Klassenzimmer (Schule)
-  9_Hörsaal, Auditorium
-  16_WC und Sanitärräume
-  18_Nebenflächen
-  19_Verkehrsflächen
-  20_Lager, Technik
-  24_Foyer
-  28_Bibliothek



I. Gebäudebeschreibung Gebäudezonierung nach Nutzung

Obergeschoss



Legende

-  1_Einzelbüro
-  2_Gruppenbüro (zwei bis sechs)
-  3_Großraumbüro (ab sieben)
-  4_Besprechung
-  8_Klassenzimmer (Schule)
-  9_Hörsaal, Auditorium
-  16_WC und Sanitärräume
-  18_Nebenflächen
-  19_Verkehrsflächen
-  20_Lager, Technik
-  24_Foyer
-  28_Bibliothek



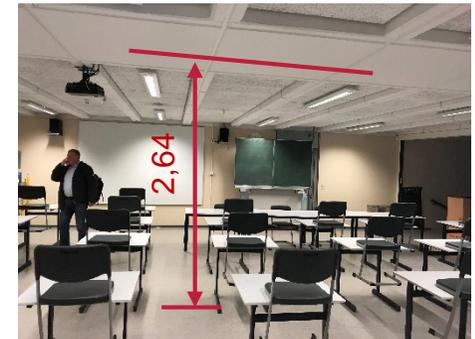
I. Gebäudebeschreibung Flächendifferenzierung lichte Raumhöhe

Erdgeschoss



Anforderungen an die lichte
Raumhöhe von Unterrichtsräumen:
➤ mind. 3 m

Quelle:
Bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen,
Ministerium für Bildung



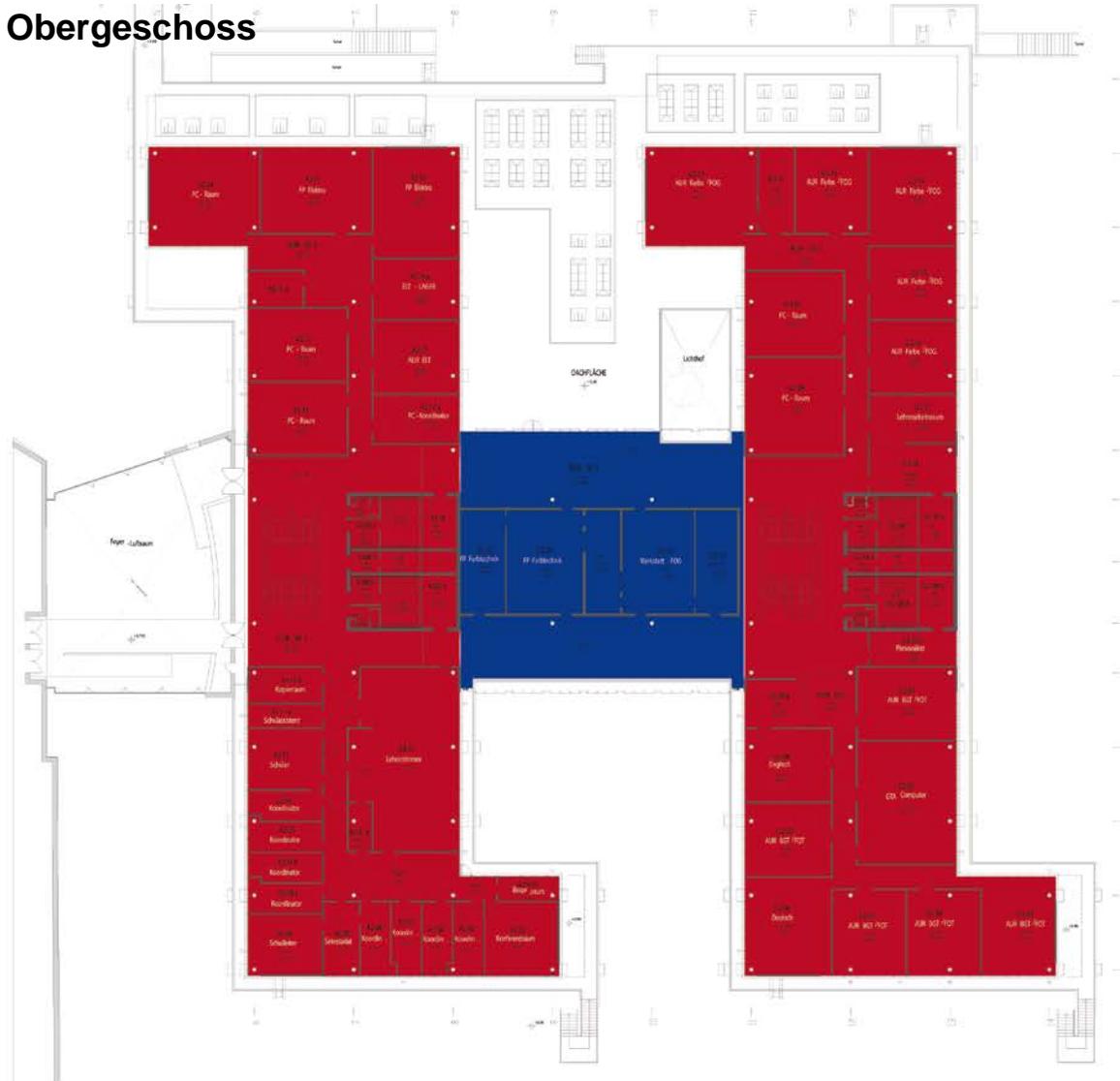
Lichte Raumhöhe
bis Unterkante
Betonrippendecke

Legende



I. Gebäudebeschreibung Flächendifferenzierung lichte Raumhöhe

Obergeschoss



Anforderungen an die lichte
Raumhöhe von Unterrichtsräumen:
➤ mind. 3 m

Quelle:
Bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen,
Ministerium für Bildung



Lichte Raumhöhe
bis Unterkante
Betonrippendecke

Legende





Qualität der Raumnutzung (Flexibilität)

Lichte Raumhöhe für Schulen

Empfehlung u.a. durch

- UBA (Umweltbundesamt)
- DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)
- Bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen
- Empfehlungen für einen zeitgemäßen Schulhausbau in Baden-Württemberg (BW)

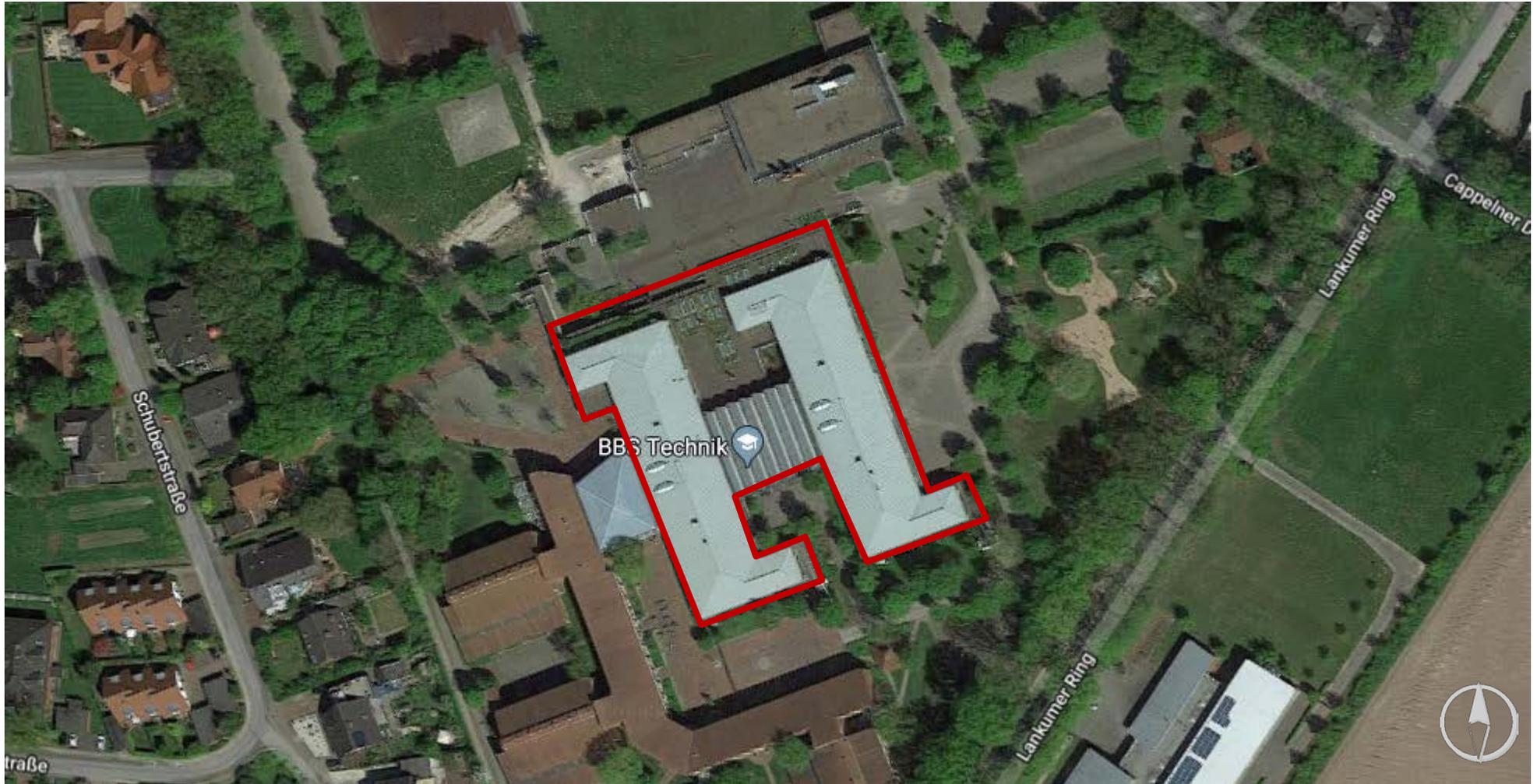
Anforderungen an die lichte Raumhöhe in Schulen	$\geq 3,00$ m
bei natürlicher Lüftung empfiehlt BW	$> 3,20$ m

Bezogen auf die Unterkante des Unterzugs der Deckenkonstruktion ist die vorhandene Raumhöhe auf ca. 78 % der Fläche (EG/ OG) geringer als 3,00 m.

Die kritische lichte Raumhöhe im EG beträgt 2,64 m	$< 3,00$ m
Die kritische lichte Raumhöhe im OG beträgt 2,52 m	$< 3,00$ m

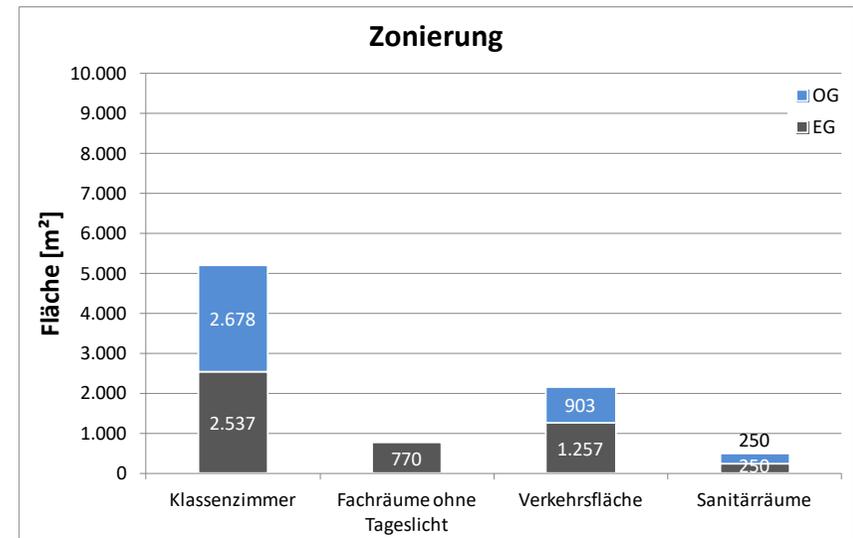
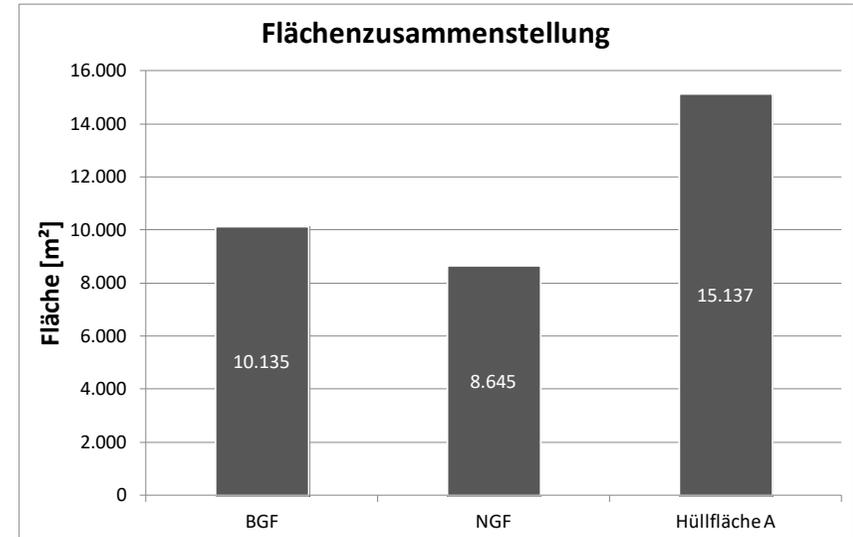
Durch eine Sanierung kann die lichte Raumhöhe nicht verändert werden.

II. Flächenstatistik



Grund- und Nutzflächen/ Flächeneffizienz

- Flächenzusammenstellung (aus Bestandsplänen ermittelt)	Fläche	Anteil
Bruttogeschossfläche	10.135 m ² _{BGF}	100 %
Nettogeschossfläche	8.645 m ² _{NGF}	
- Aufteilung in vier Zonen:		
Zone 1: Klassenzimmer gesamt	5.215 m ² _{NGF}	60 %
Klassenzimmer EG	2.537 m ² _{NGF}	
Klassenzimmer OG	2.678 m ² _{NGF}	
Zone 2: Fachräume ohne Tageslicht	770 m ² _{NGF}	9%
Zone 3: Verkehrsfläche gesamt	2.160 m ² _{NGF}	25%
Verkehrsfläche	1.257 m ² _{NGF}	
Verkehrsfläche OG	903 m ² _{NGF}	
Zone 4: Sanitärräume	500 m ² _{NGF}	6%
- Flächeneffizienz		
Verhältnis Nutzfläche zu BGF (NF/ BGF)		ca. 0,59 [-]
Flächeneffiziente Gebäude nach DGNB erreichen Werte von		> 0,75 [-]
- Flächenverbrauch		
Verhältnis BGF pro Schüler		ca. 7,9 m ² /Schüler
Verhältnis NGF pro Schüler		ca. 6,7 m ² /Schüler



Gebäudehülle

Gebäudehüllfläche 15.137 m²

Fassaden- und Fassadenfläche 2.804 m^{2*}

*Fensterflächen inkl. Brüstungspaneele, ohne Oberlichter / Sheddach

Beheiztes Bruttovolumen V_e 37.711 m³

Fensterflächenanteil Gesamtgebäude 11%

Vergleichswerte

Schule Rimbach, Hessen/ 7.800 m²_{NGF} 21 %

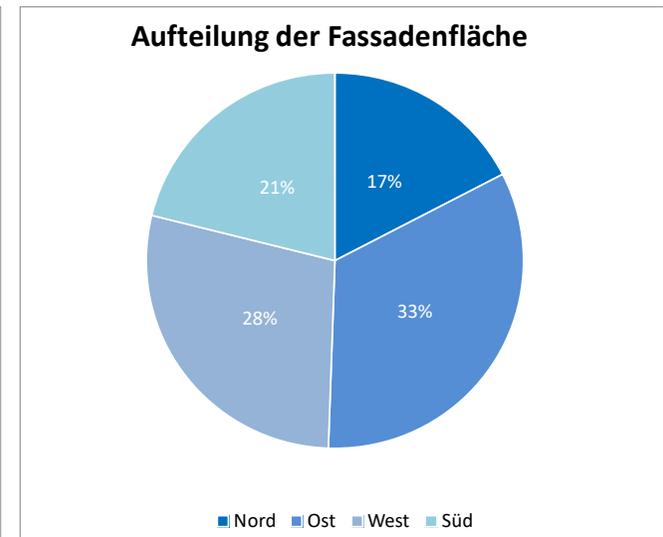
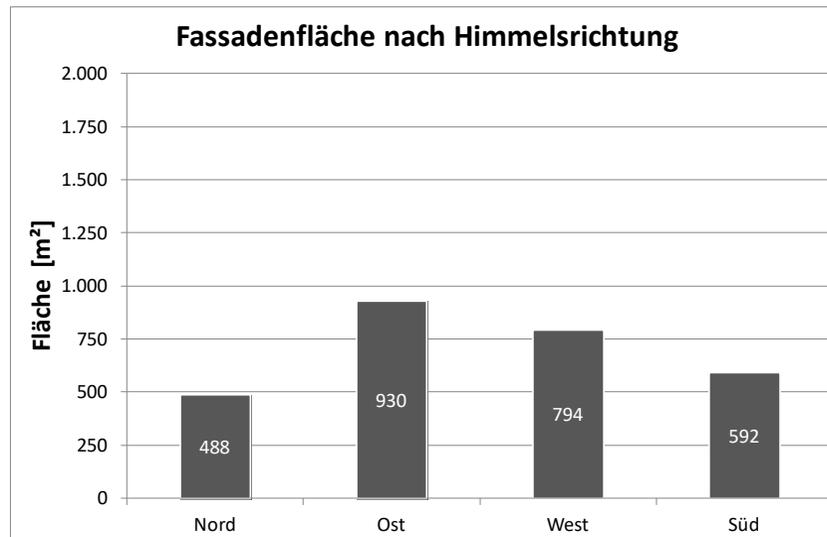
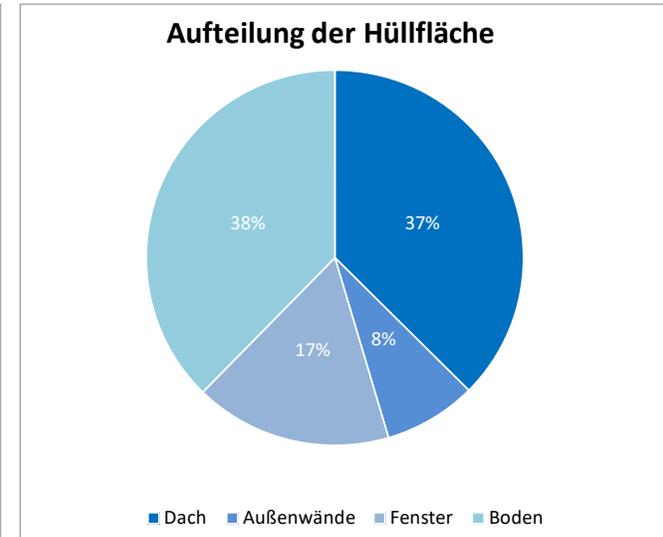
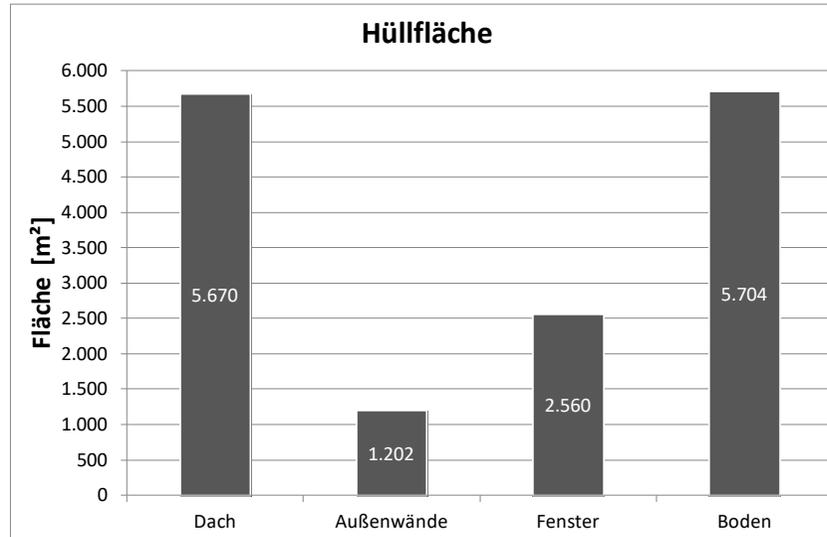
Schule Neugraben, Hamburg/ 7.460m²_{NGF} 25 %

Maß der Kompaktheit A/V_e Verhältnis 0,40 m⁻¹

Vergleichswerte

Schule Rimbach, Hessen/ 7.800 m²_{NGF} 0,32 m⁻¹

Schule Neugraben, Hamburg/ 7.460m²_{NGF} 0,26 m⁻¹





Kompaktheit

Die Gebäudeteile A und G weisen mit einem Verhältnis von $0,40 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ eine geringe Kompaktheit (Verhältnis Gebäudehülle zu Gebäudevolumen) auf. Der Wert kann durch eine Sanierung nicht beeinflusst werden. Die Kosten für die Fassadensanierung sind dadurch im Verhältnis zum Gebäudevolumen hoch.



Fensterflächenanteil

Der Fensterflächenanteil liegt bei vergleichsweise geringen 11 %.

Durch eine Sanierung kann der Anteil bedingt erhöht werden. Die Tageslichtversorgung lässt sich dadurch jedoch nur bedingt verbessern.



Flächeneffizienz

Der wenig kompakte Baukörper hat einen hohen Anteil an Verkehrs- und Nebenflächen. Mit einem Verhältnis von $0,59 \text{ [-]}$ von Nutzfläche zu Bruttogrundfläche ist die Flächeneffizienz gering. Die Flächeneffizienz lässt sich nur durch umfangreiche Eingriffe in die Grundrisse erhöhen (siehe Bewertung Flächenverbrauch). Der Aufwand wird als hoch bewertet.



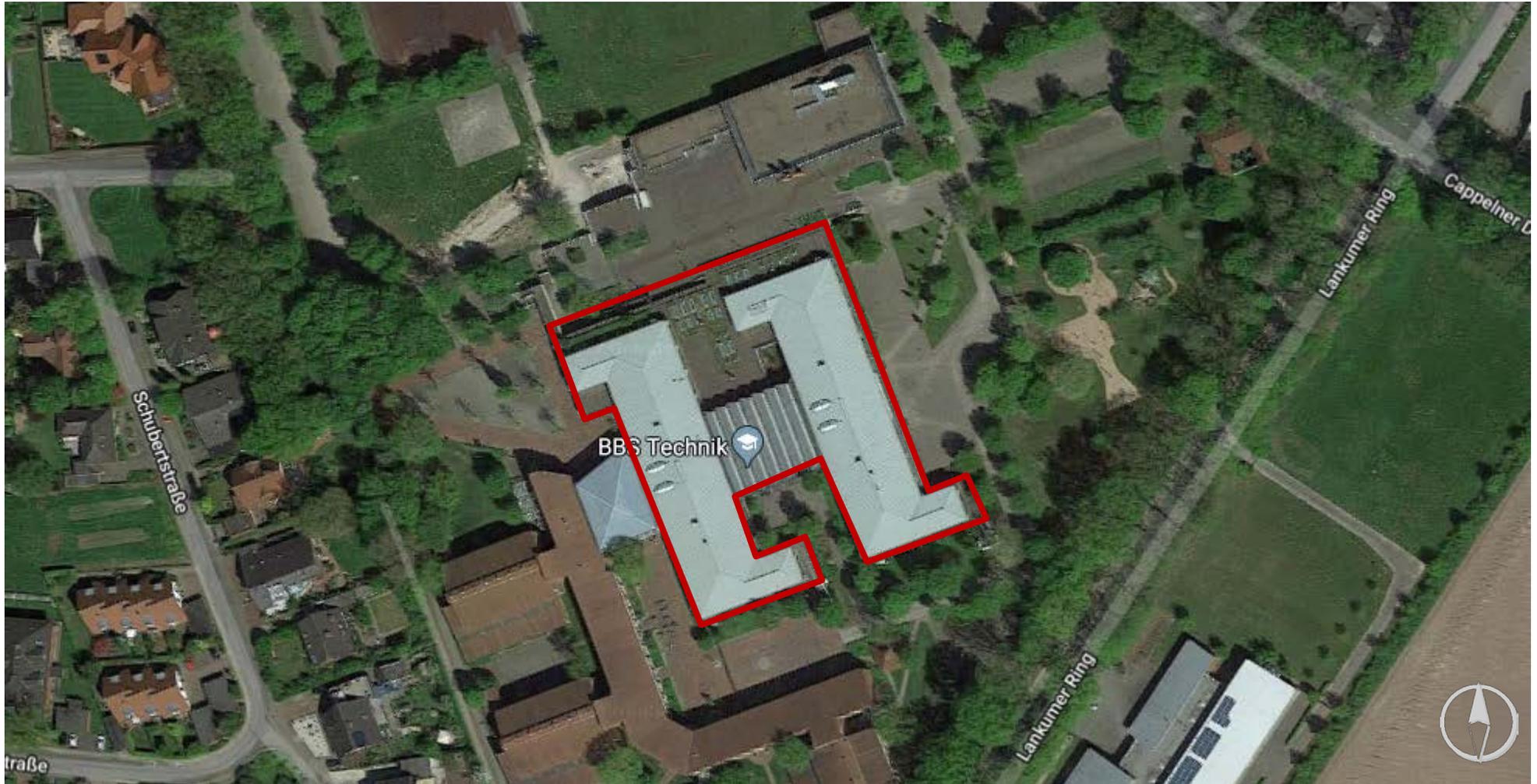
Flächenverbrauch

Der Flächenverbrauch pro Schüler liegt bei $6,7 \text{ m}^2_{\text{NGF}}$ bzw. $7,9 \text{ m}^2_{\text{BGF}}$.

Im Durchschnitt liegt der Flächenverbrauch in Deutschland pro Schüler bei $4,5 - 5,5 \text{ m}^2_{\text{NGF}}$.

Der Wert kann durch eine Sanierung nicht erheblich verbessert werden. Durch eine intelligente Umplanung ließen sich ggf. Flächen für Lerngruppen/ integrierte Nutzungsmodelle/ Rückzug/ Aufenthalt schaffen. Die Bauakustik wäre zu beachten.

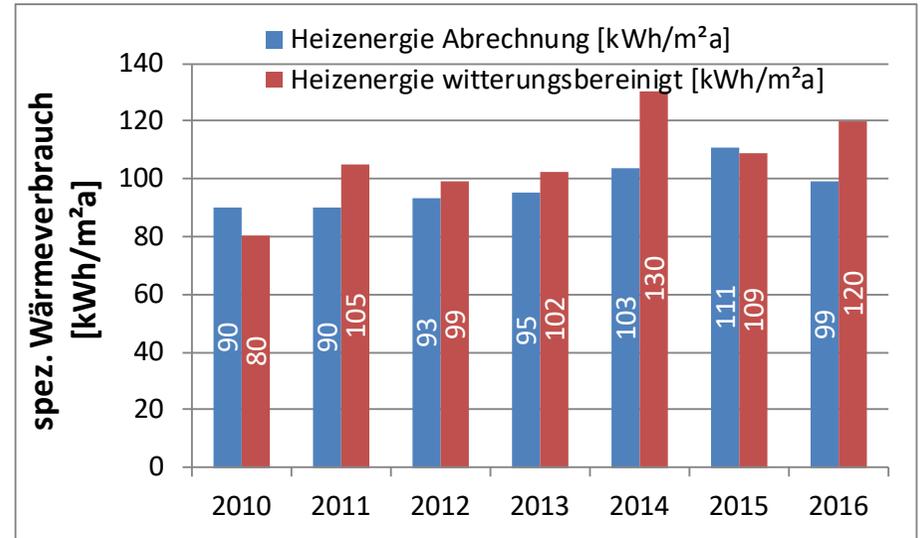
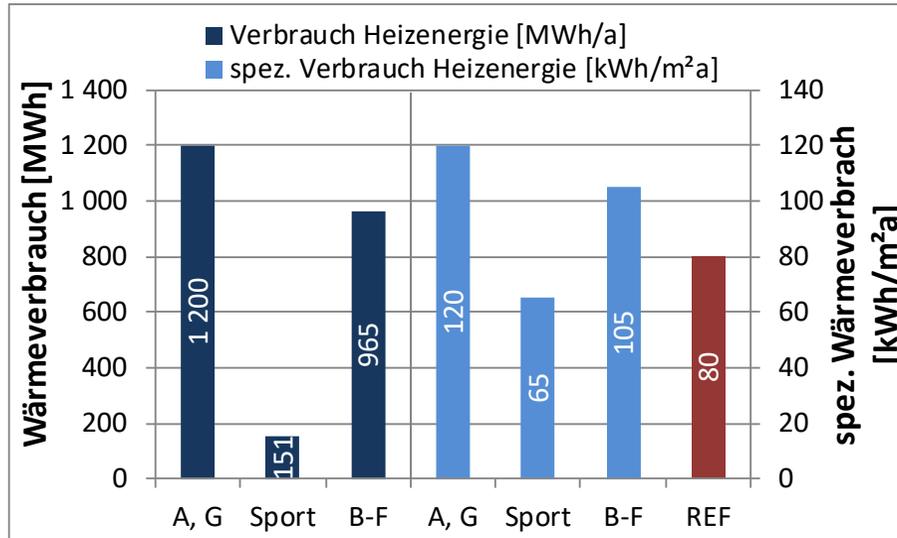
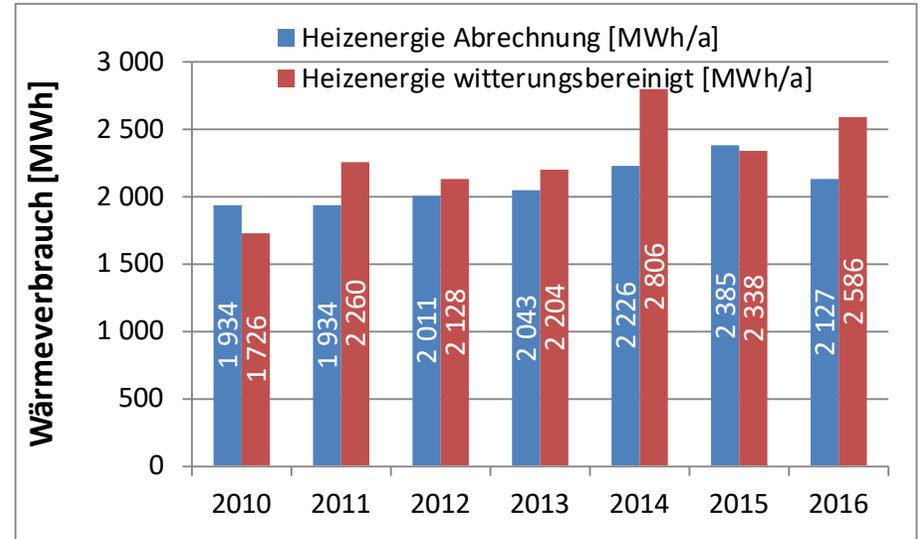
III. Energieverbrauch Liegenschaft und Differenzierung Gebäude A und G



III. Energieverbrauch Wärme Liegenschaft mit Differenzierung der Bestandsgebäude

Wärmeverbrauch | Bestand

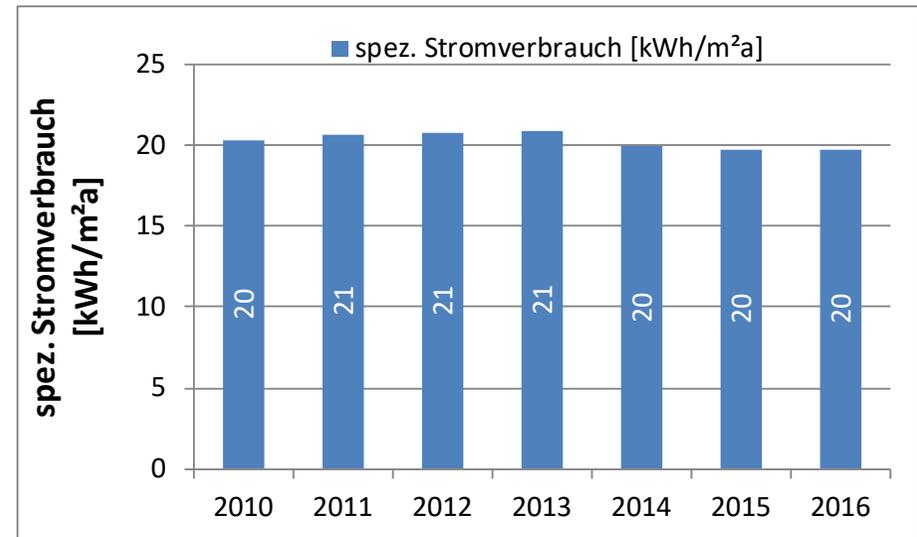
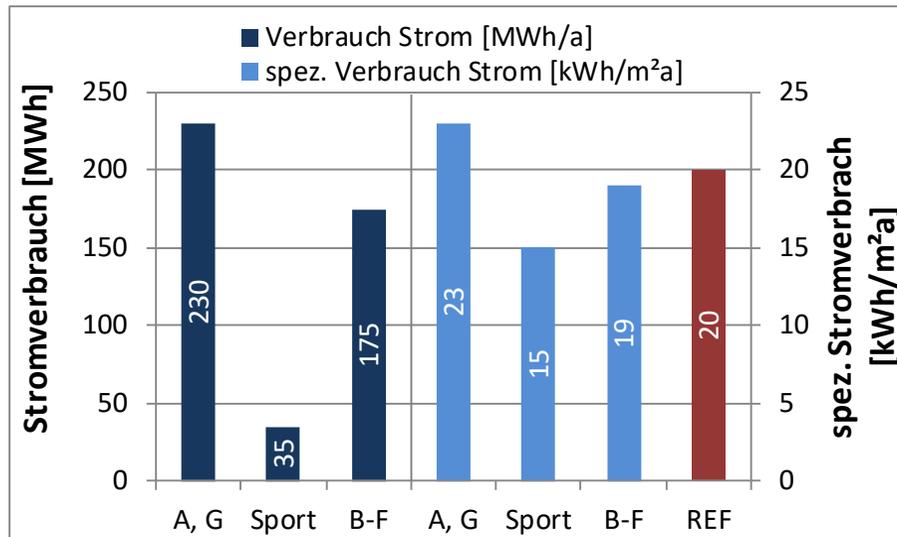
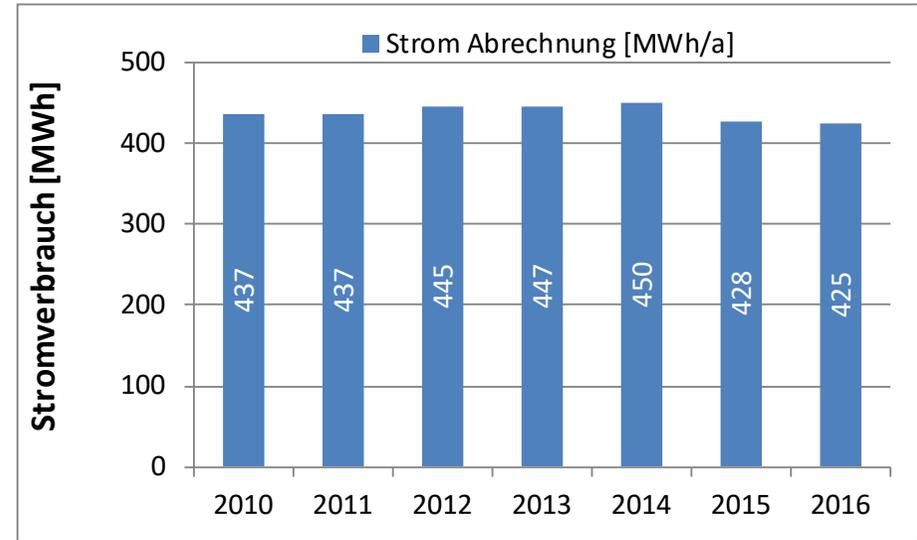
- Verbrauchserfassung Wärme für die gesamte Liegenschaft
- Differenzierung nach Flächenanteile, Baualtersklassen und Sanierungsgrad
- Legende: A, G ... Gebäude A und G
Sport ... Sporthalle
B-F ... Gebäude B bis F
REF ... Referenzwert nach BBSR 2015



III. Energieverbrauch Strom Liegenschaft mit Differenzierung der Bestandsgebäude

Stromverbrauch | Bestand

- Verbrauchserfassung Strom für die gesamte Liegenschaft
- Differenzierung nach Flächenanteile, Baualtersklassen und Sanierungsgrad
- Legende: A, G ... Gebäude A und G
Sport ... Sporthalle
B-F ... Gebäude B bis F
REF ... Referenzwert nach BBSR 2015

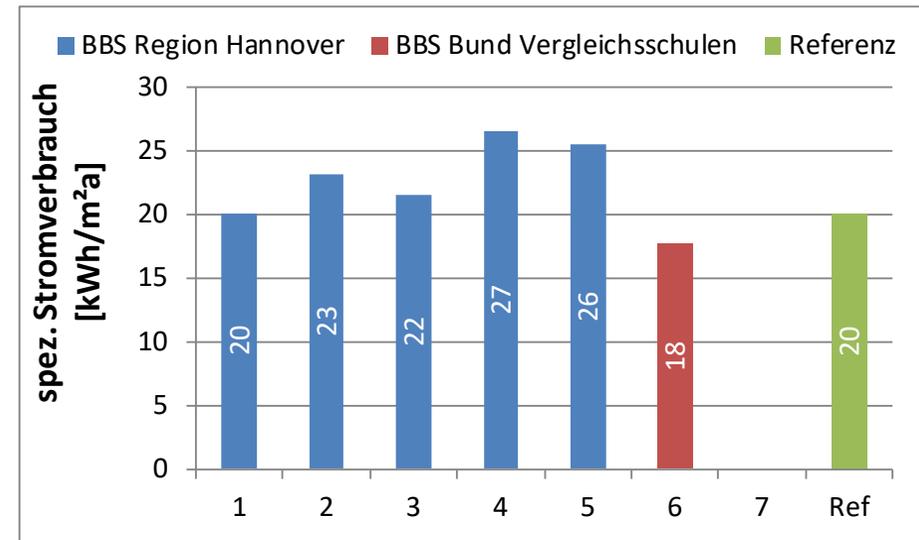
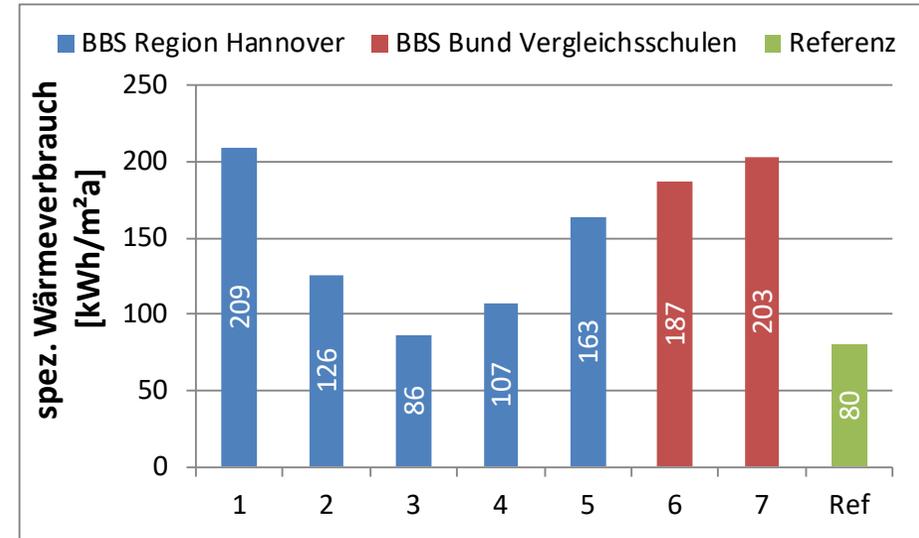


III. Referenzierung Energieverbrauchswerte Wärme und Strom Vergleichswerte anderer Berufsschulen

Wärme- und Stromverbrauch anderer BBS

- Vergleich mit den Wärme- und Stromverbrauchskennwerten der Region Hannover sowie dem jeweiligen Referenzwert nach BBSR 2015

Ziffer nach BWZK ⁹	Gebäudekategorie	Gebäudegröße (Netto-grundfläche) [m ²]	Schreibweise für die Angabe „Gebäudenutzung“ im Energieausweis	Vergleichswerte	
				Wärme ¹⁰	Strom
				[kWh/(m ² NGF·a)]	
1	2	3	4	5	6
3000	Gebäude des Gesundheitswesens (ohne BWZK Nummer 3200)	beliebig	Gesundheitswesen	135	50
3200	Krankenhäuser und Unikliniken für Akutkranke	beliebig	Krankenhaus	250	125
4100	Allgemeinbildende Schulen	≤ 3 500	Schule bis 3 500 m ²	105	10
		> 3 500	Schule über 3 500 m ²	90	10
4200	Berufsbildende Schulen	beliebig	Berufsbildende Schule	80	20
4300	Sonderschulen	beliebig	Sonderschule	105	15
4400	Kindertagesstätten	beliebig	Kindertagesstätte	110	20
4500	Weiterbildungseinrichtungen	beliebig	Weiterbildungseinrichtung	90	20
5000	Sportbauten (ohne BWZK Nummer 5100, 5200 und 5300) und Sondersportanlagen (Kegelbahnen, Schießanlagen, Reithallen, Eissport-hallen, Tennishallen)	beliebig	Sportbau allgemein	120	30





Energetische Qualitäten

Der Wärmeverbrauch der Bestandsgebäude A und G ist der Baualtersklasse angemessen und liegt bei ca. 120 kWh/m²a.

Der Stromverbrauch liegt aufgrund der geringen Tageslichtnutzung und der mechanischen Lüftung von innenliegenden Räumen leicht über dem überdurchschnittlichen Stromverbrauch.



Bewertung der Verbesserungspotentiale

Der Wärmeverbrauch kann durch eine Sanierung um 30-40% gesenkt werden. Die erreichbare Einsparung ist abhängig von den Betriebs- und Nutzungszeiten. Der Aufwand für die Reduzierung der Wärmebrückenverluste ist dabei hoch, siehe Abschnitt Wärmebrücken.

Der Stromverbrauch kann durch eine Sanierung nicht signifikant gesenkt werden, da -

- die Tageslichtnutzung nur bedingt verbessert werden kann
- die mechanische Lüftungsanlage weiterhin große Gebäudeteile versorgen muss
- die Beleuchtungsstärke des Kunstlichts erhöht werden muss



Empfehlung

Eine signifikante Reduzierung der Stromverbrauchskosten und der CO₂-Emissionen kann durch die Integration einer Photovoltaik-Anlage erzielt werden. Solarertrag und Strombedarf treten überwiegend zur gleichen Zeit auf, sodass eine ökologische Verbesserung durch Eigenstromnutzung erreicht werden kann.

III. Energieverbrauch | Nomogramm zur Orientierung von Eigenstromverbrauch und solarer Deckung | **informativ**

Nomogramm zur Bewertung der Eigenstromdeckung bzw. Direktstromnutzung Profil: Berufsschulen

Annahmen – technische Daten

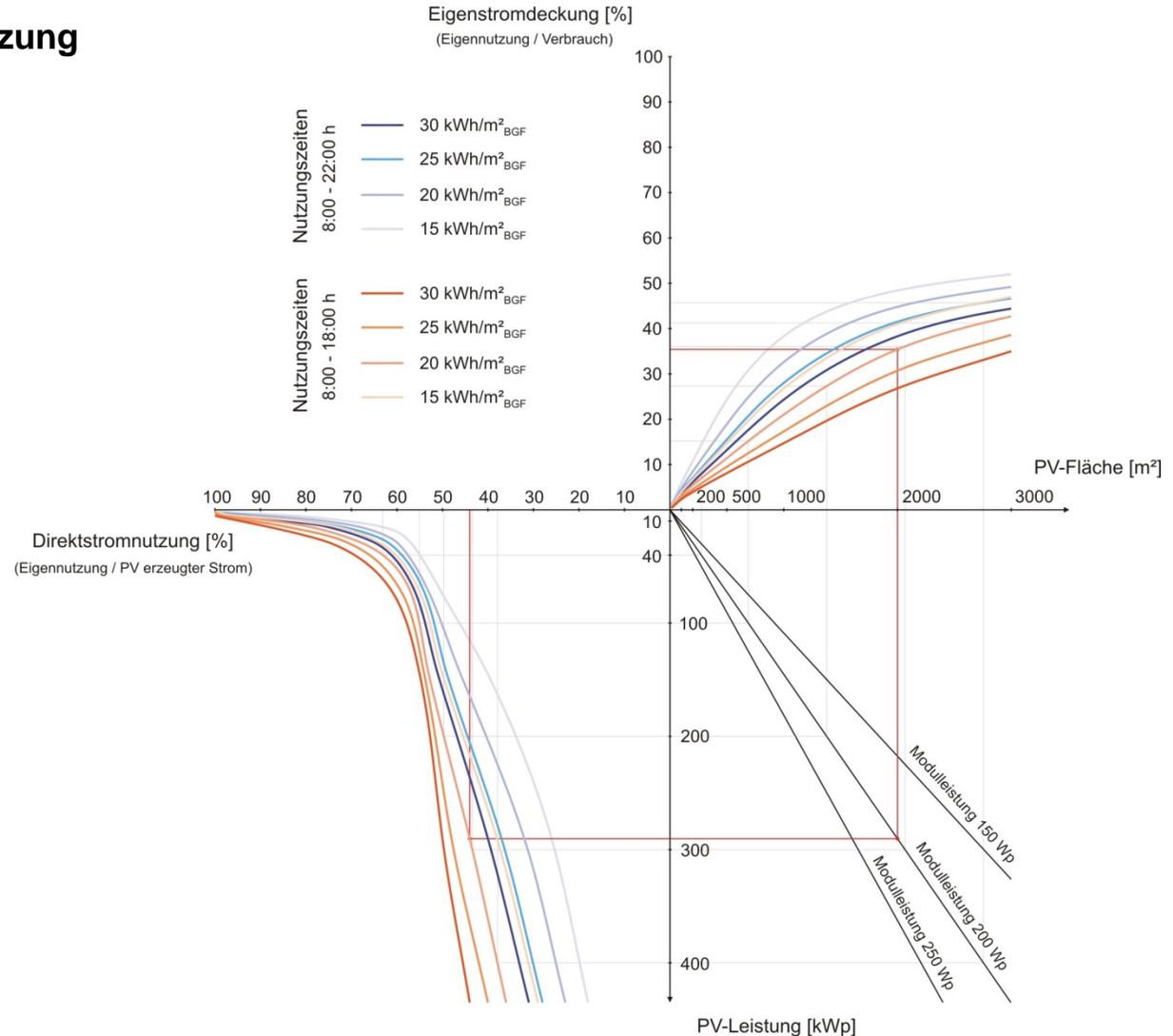
Aufstellung und PV Anlage:

- hinterlüftet/ feste Aufstellung
- Azimut: 0° Neigung: 10°
- unverschattete Installation

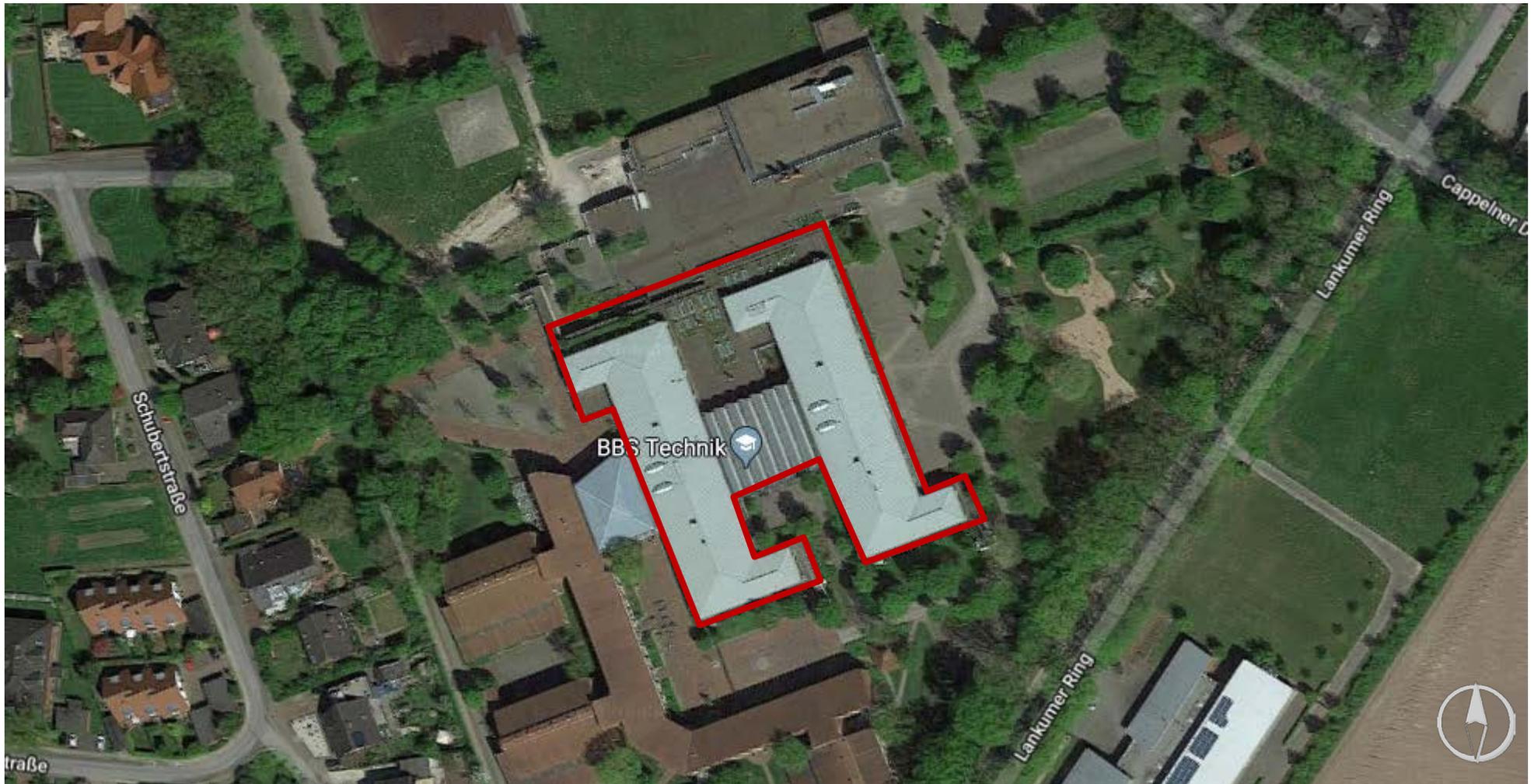
- monokristalline Module
- Modulleistung: 250 W_p
- ca. 6m² PV-Fläche / kW_p

Datengrundlage – Lastprofil:

- spez. Verbrauch: 25 kWh/m²_{NGF}
- NGF: 8.645 m²

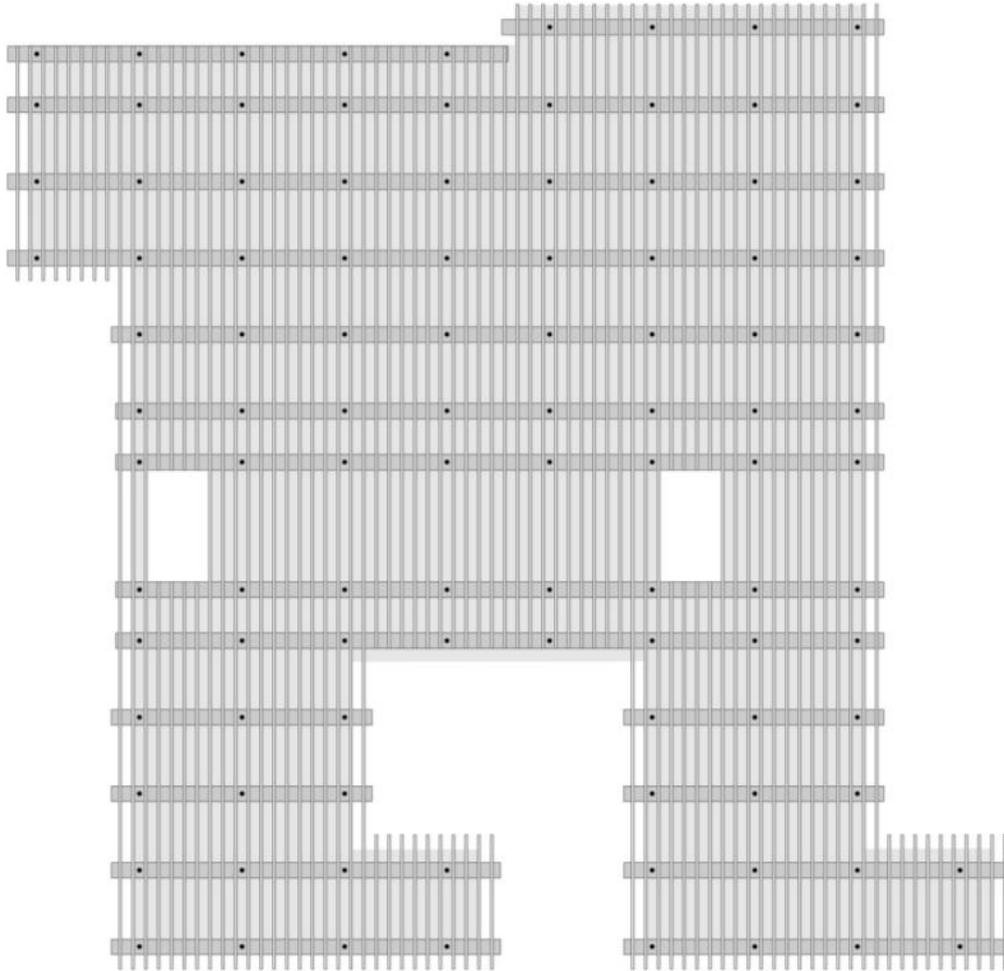


IV. Gebäudekonstruktion



IV. Gebäudekonstruktion statisches System Erdgeschossdecke

Decke über Erdgeschoss



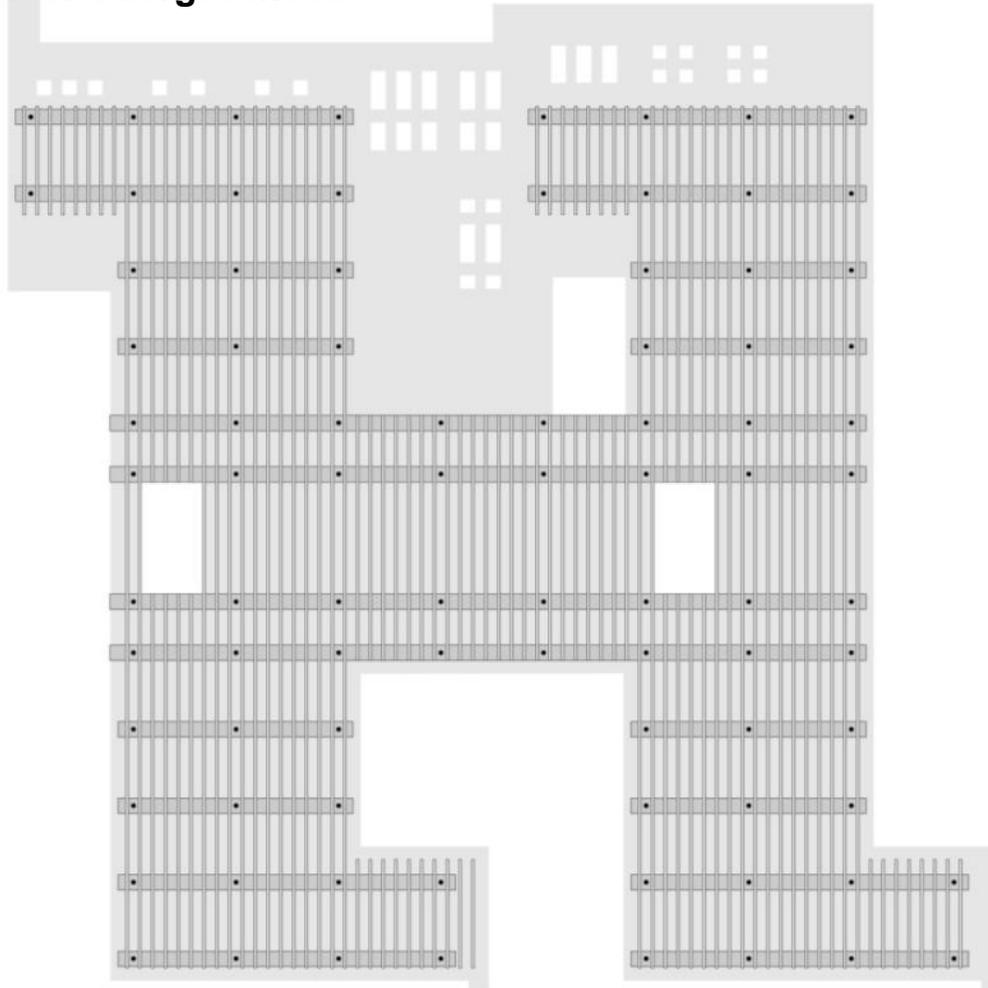
Legende

- Stützen
- Unterzüge
- Rippen
- Bodenplatte



IV. Gebäudekonstruktion statisches System Obergeschossdecke

Decke über Obergeschoss

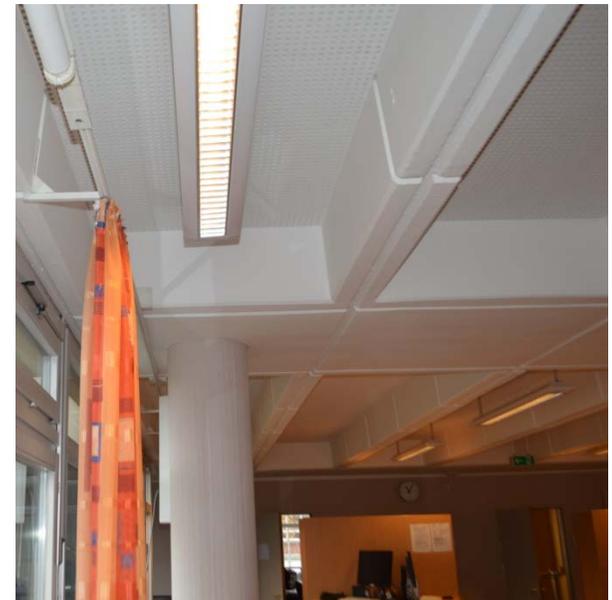
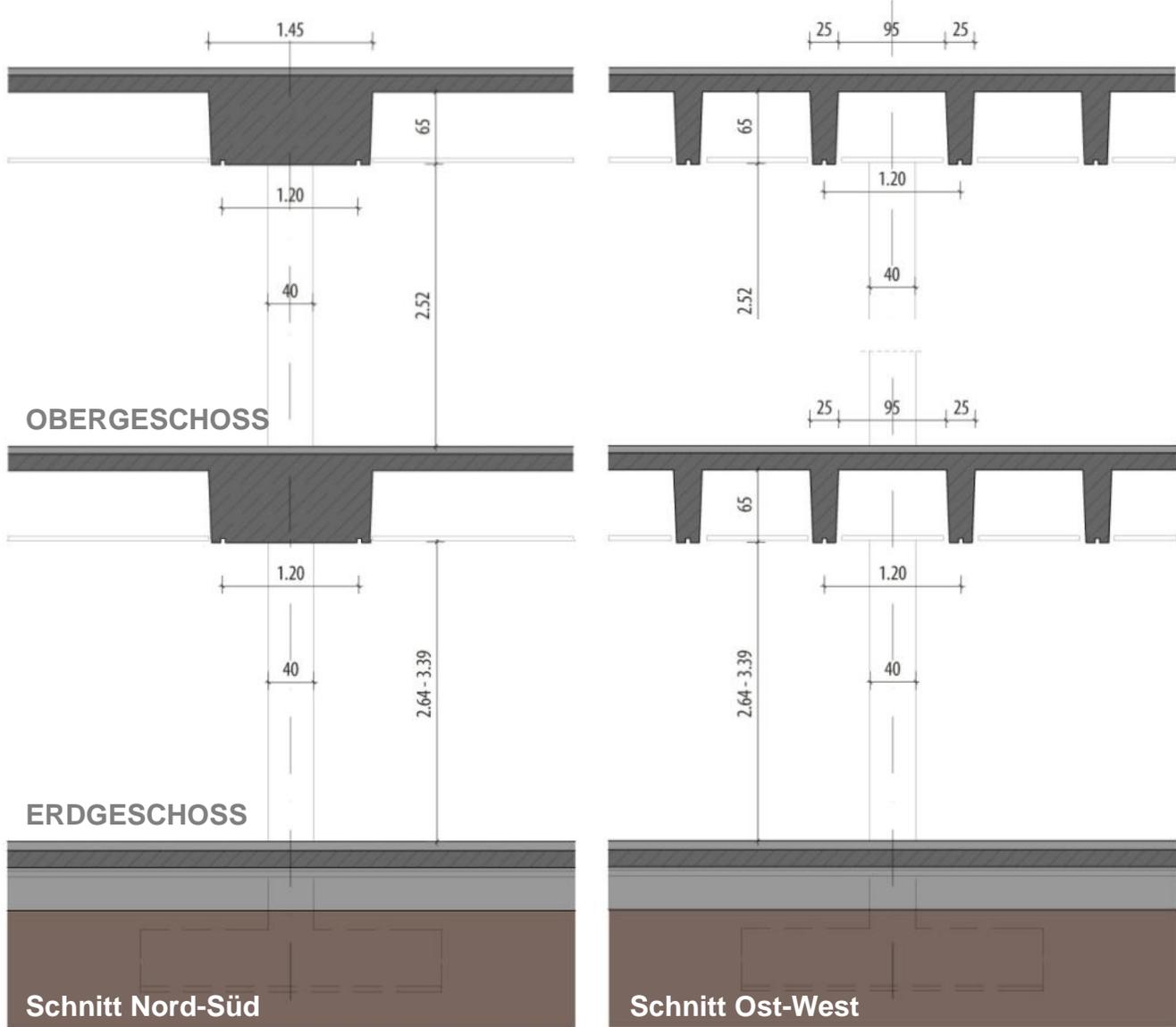


Legende

- Stützen
- Unterzüge
- Rippen
- Decke zwischen EG und OG



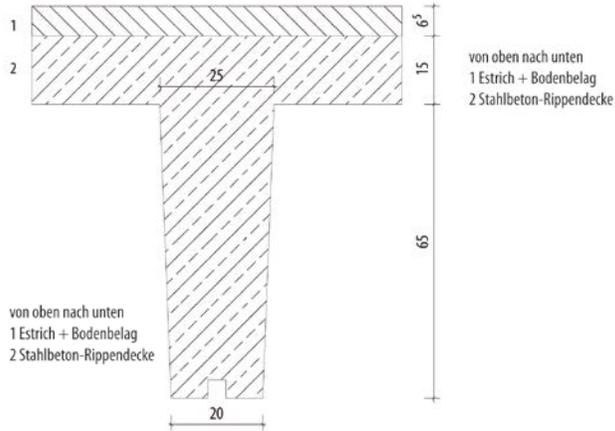
IV. Gebäudekonstruktion Stahlbetonkonstruktion



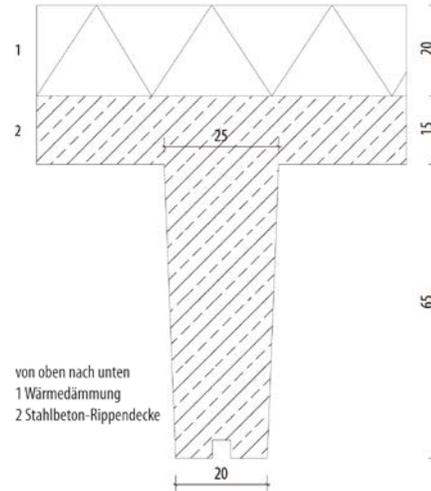
Beispielfotos

IV. Gebäudekonstruktion Stahlbetonkonstruktion

Rippendecke zwischen EG und OG



Oberste Geschossdecke



Beispielfoto



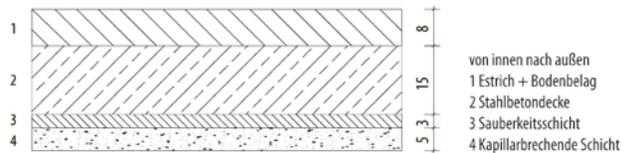
Geschossdecke
mit Tektalan zur
Schallabsorption

Stahlbeton-
unterzüge
Höhe ca. 65 cm

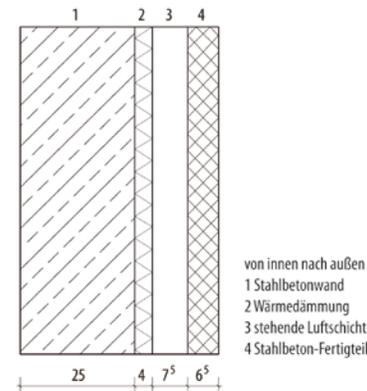
Boden an Keller (unbeheizt)



Boden an Erdreich



Außenwand opak



Beispielfoto

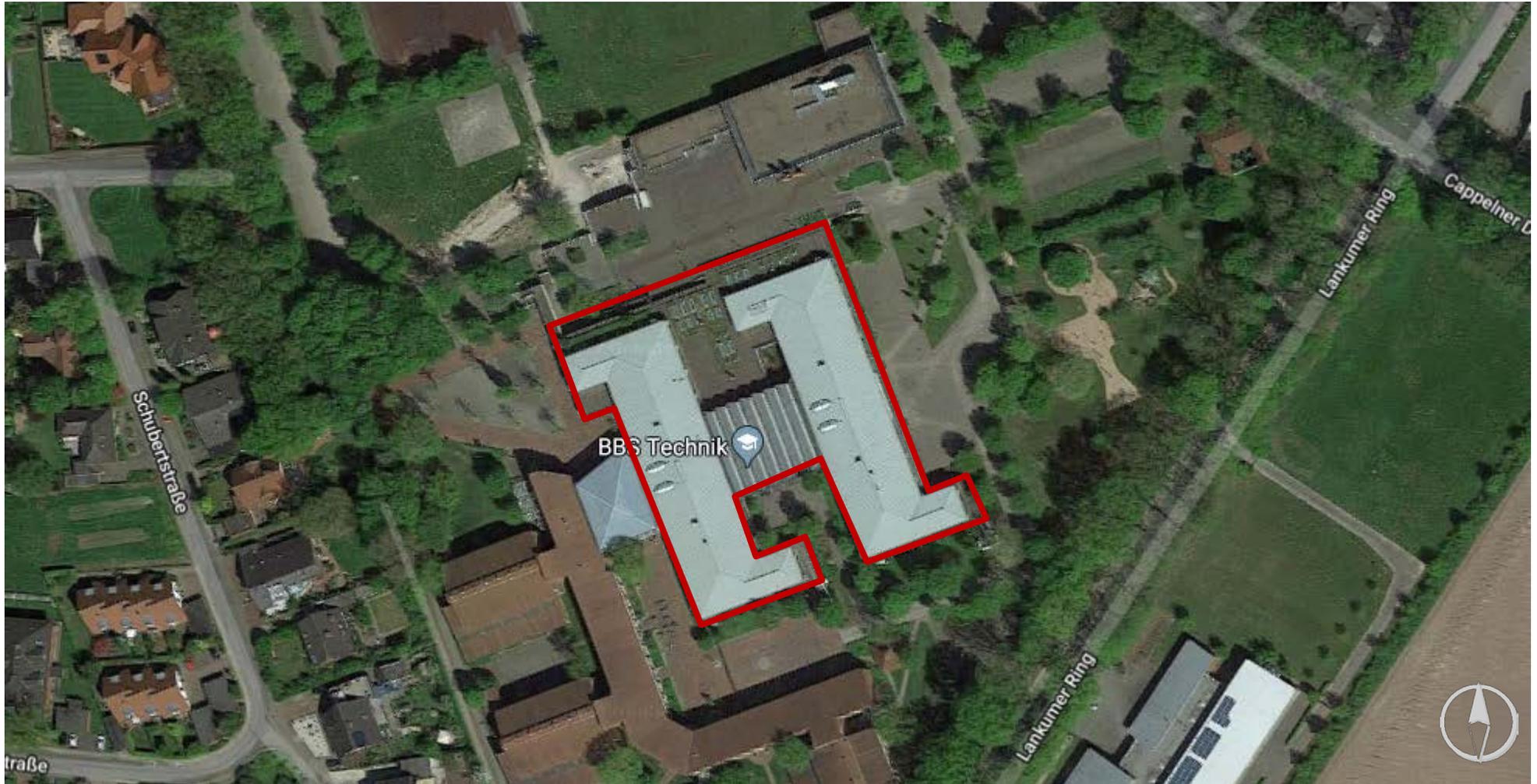


Stahlbeton-
brüstungen

und

Stahlbeton-
fertigteile als
Außenwand

V. Gebäudehülle

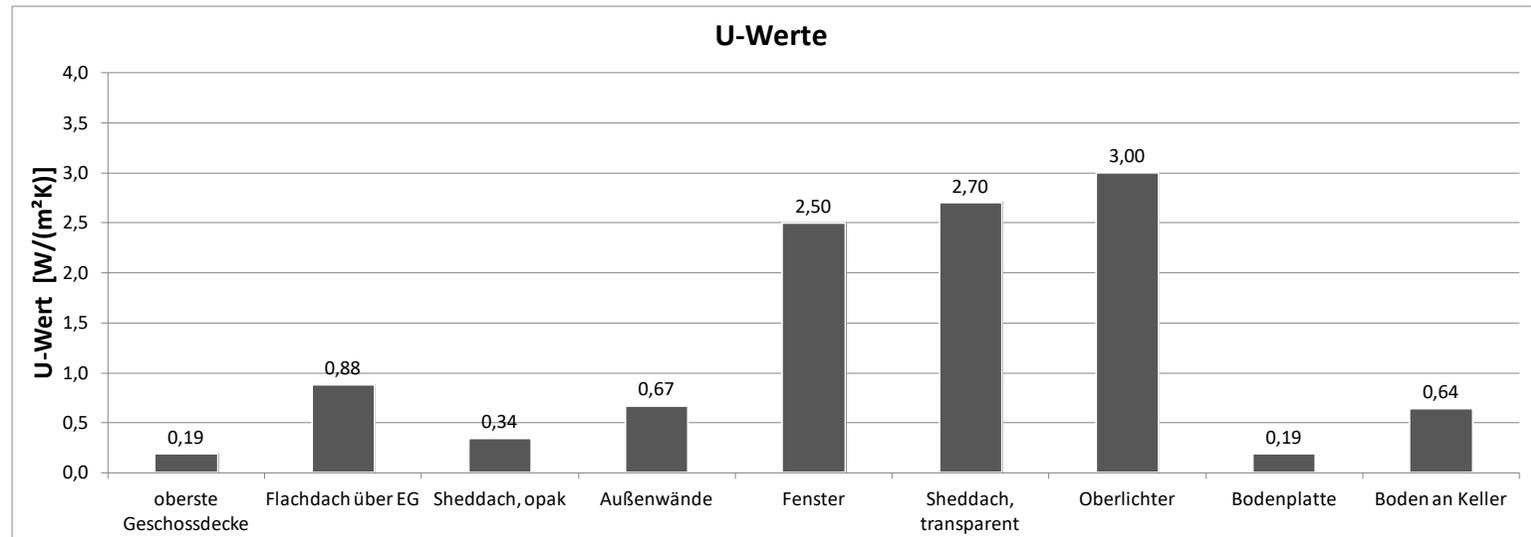
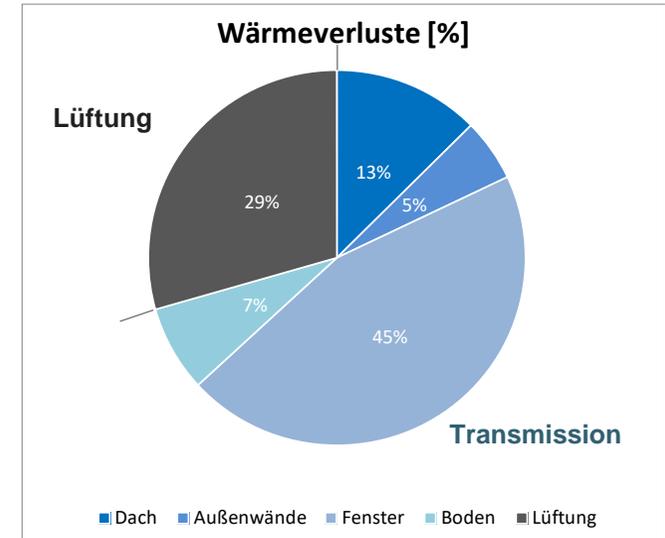


Verlustanteile Ist-Situation

Lüftung	29%
Transmission	71%
darin enthaltener Wärmebrückenanteil	6,5%

Mittlere U-Werte

Opake Außenbauteile	0,31 W/(m ² K)
Transparente Außenbauteile	2,64 W/(m ² K)
Oberlichter	3,00 W/(m ² K)
Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB}	0,15 W/(m ² K)



*Berechnung des U-Wertes für die Bodenplatte nach DIN EN ISO 13370

V. Gebäudehülle

Referenzwerte für den Gebäudebestand nach BBSR

Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) nach Baualterklassen

- Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten nicht nachträglich gedämmter opaker Bauteile im Urzustand

Bauteil	Konstruktion	Baualterklasse ¹							
		bis 1918	1919 bis 1948	1949 bis 1957	1958 bis 1968	1969 bis 1978	1979 bis 1983	1984 bis 1994	ab 1995
		Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten in W/(m ² ·K)							
Dach (auch Wände zwischen beheiztem und unbeheiztem Dachgeschoss)	massive Konstruktion (insbes. Flachdächer)	2,1	2,1	2,1	2,1	0,6	0,5	0,4	0,3
	Holzkonstruktion (insbes. Steildächer)	2,6	1,4	1,4	1,4	0,8	0,5	0,4	0,3
oberste Geschossdecke (auch Fußboden gegen außen, z.B. über Durchfahrten)	massive Decke	2,1	2,1	2,1	2,1	0,6	0,5	0,4	0,3
	Holzbalkendecke	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3
Außenwand (auch Wände zum Erdreich oder zu unbeheizten (Keller-) Räumen)	massive Konstruktion (Mauerwerk, Beton oder ähnlich)	1,7	1,7	1,4	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5
	Holzkonstruktion (Fachwerk, Fertighaus oder ähnlich)	2,0	2,0	1,4	1,4	0,6	0,5	0,4	0,4
sonstige Bauteile gegen Erdreich oder zu unbeheizten (Keller-) Räumen	massive Bauteile	1,2	1,2	1,5	1,0	1,0	0,8	0,6	0,6
	Holzbalkendecke	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4
Rollladenkasten	neu, gedämmt	1,8							
	alt, ungedämmt	3,0							
Türen		3,5							

Ist-Situation (Bestand)

Mittlere U-Werte

Opake Außenbauteile

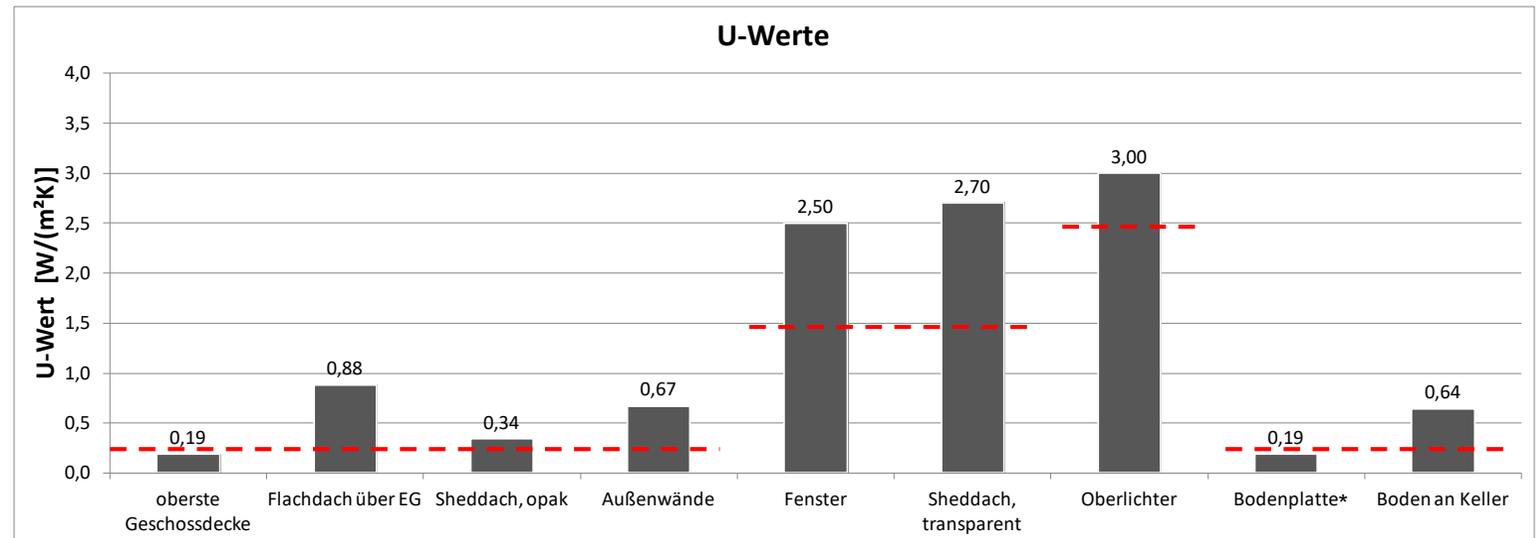
Vorhandener Durchschnittswert = $0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) = \text{EnEV-Neubau}$

Transparente Außenbauteile

Vorhandener Durchschnittswert = $2,64 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > 1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) = \text{EnEV-Neubau}$

Oberlichter

Vorhandener Durchschnittswert = $3,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > 2,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) = \text{EnEV-Neubau}$



*Berechnung des U-Wertes für die Bodenplatte nach DIN EN ISO 13370 als thermischer Leitwert (äquivalenter U-Wert unter Berücksichtigung der Gebäudegeometrie)

V. Gebäudehülle

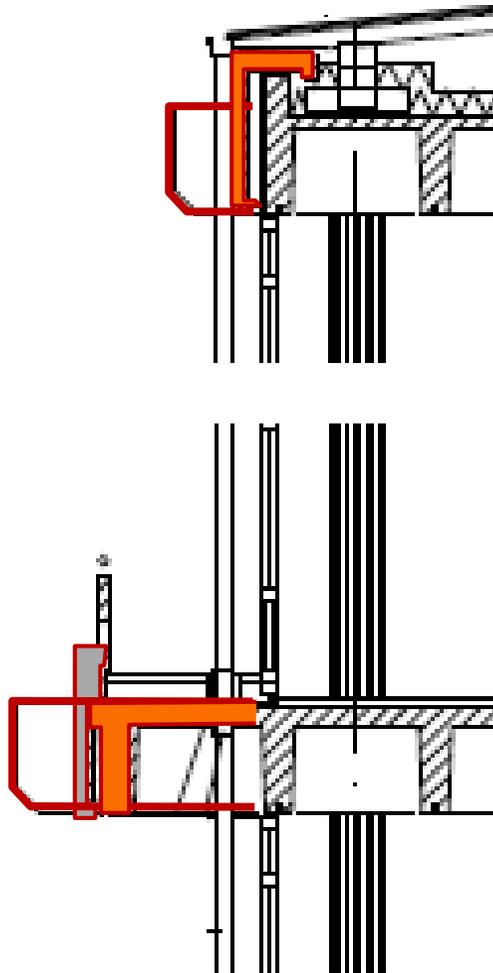
Wärmebrücken aufgrund entwurfsbedingter Details

Wärmebrücken im Bestand (Attika)

Verluste aufgrund durchstoßender, ungedämmter Bauteile

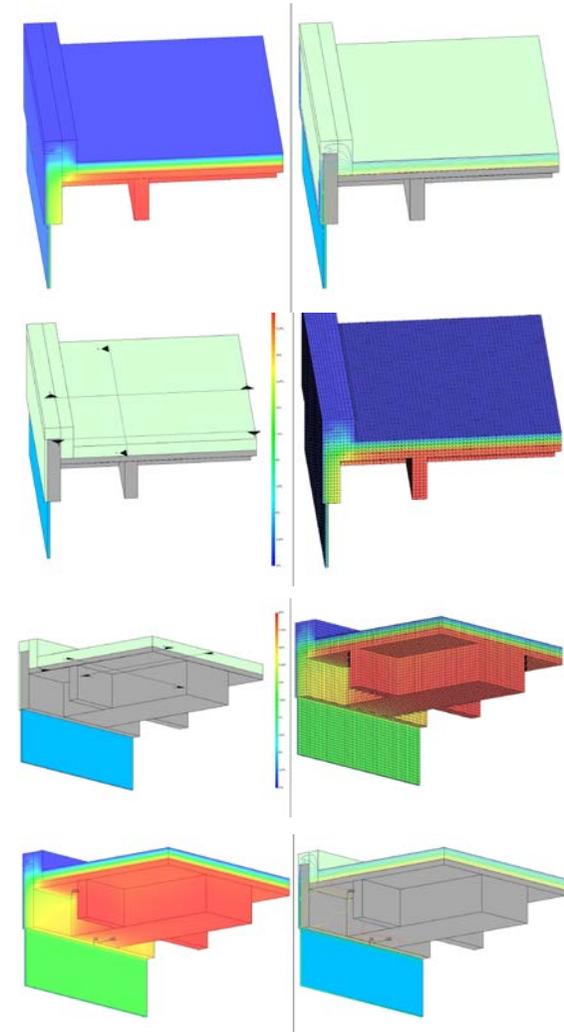
Dreidimensionale Wärmebrückenberechnung (psi-Therm)

Verlustleistung pro Meter 87 W/m



Wärmebrücke durch
StB Träger

Wärmebrücke durch
StB Träger
und
nicht thermisch
getrennte Decke

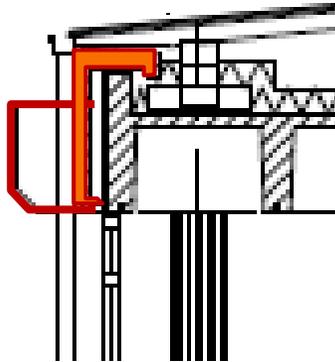


V. Gebäudehülle

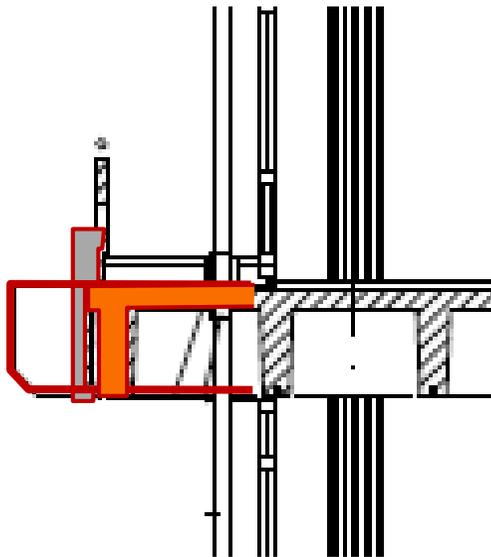
Wärmebrücken aufgrund entwurfsbedingter Details

Wärmebrücken im Bestand (Geschossdecke über EG)

Verluste aufgrund durchstoßender, ungedämmter Bauteile



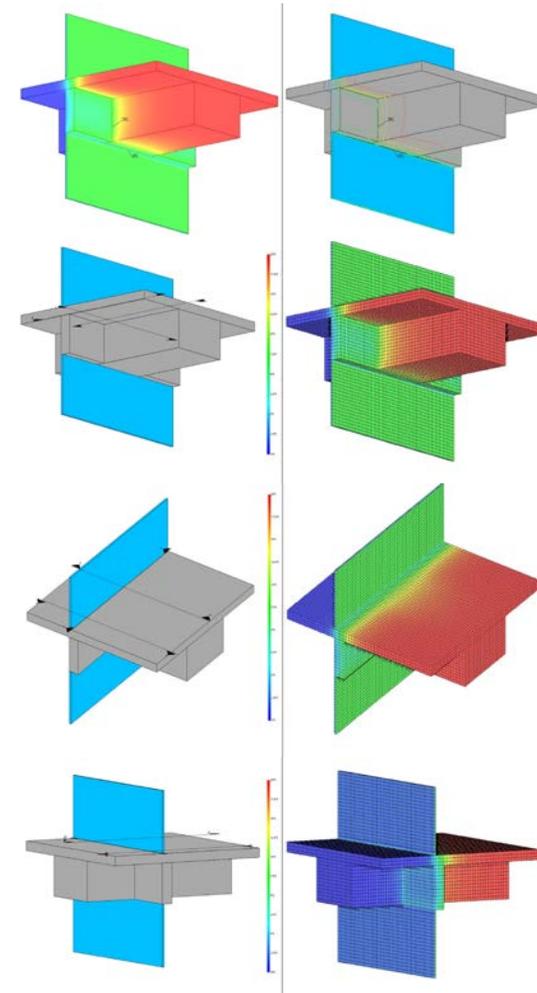
Wärmebrücke durch
StB Träger



Wärmebrücke durch
StB Träger
und
nicht thermisch
getrennte Decke

Dreidimensionale Wärmebrückenberechnung (psi-Therm)

Verlustleistung pro Meter 170 W/m



V. Gebäudehülle

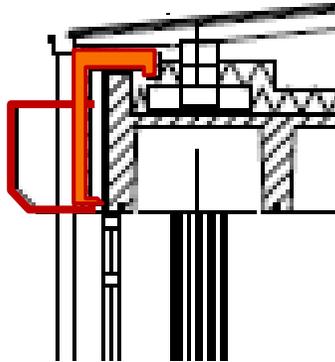
Wärmebrücken aufgrund entwurfsbedingter Details

Wärmebrücken im Bestand

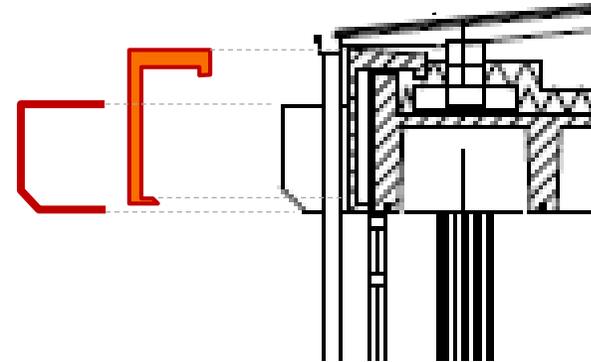
Verluste aufgrund durchstoßender, ungedämmter Bauteile

Reduzierung der Verluste durch Wärmebrücken

Variante 1



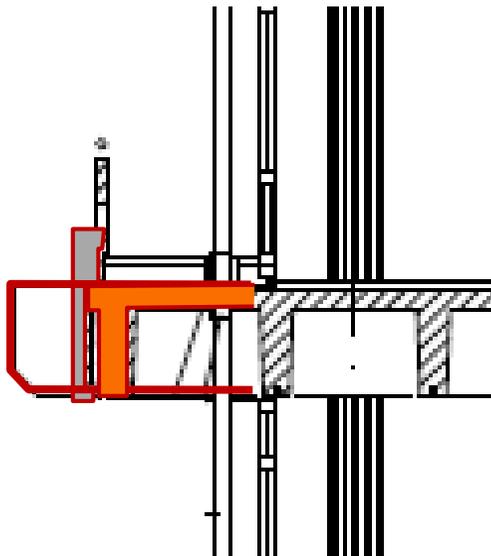
Wärmebrücke durch
StB Träger



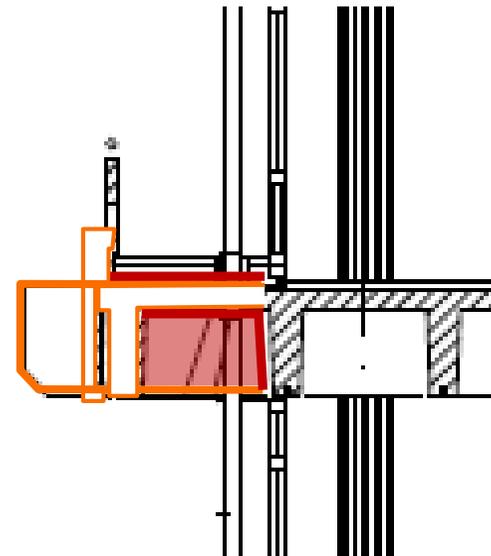
Rückbau der Auskragung
Rückbau der Attikaverblendung

→ gute Reduzierung der
Verluste möglich

Rückbau Dachanschluss und
Entwässerung (Regenrinne/
Regenfallrohr) erforderlich



Wärmebrücke durch
StB Träger
und
nicht thermisch
getrennte Decke



Dämmung der Balkone
von oben und unten
Dämmung der Stirnseite
Dämmung der StB Träger

→ Mögliche Reduzierung der
Verluste um max. 50%

→ Rückbau Belag Balkone
und
Rückbau Unterdecken
Auskragung erforderlich

V. Gebäudehülle

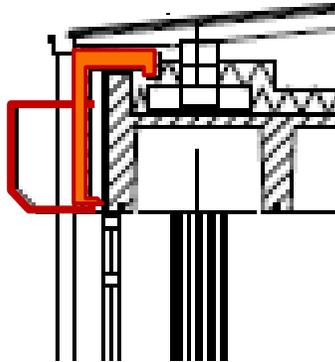
Wärmebrücken aufgrund entwurfsbedingter Details

Wärmebrücken im Bestand

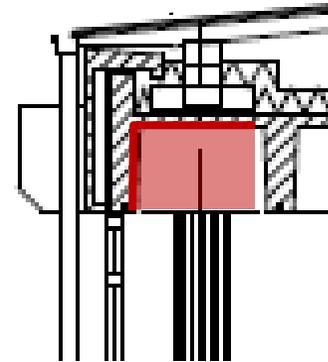
Verluste aufgrund durchstoßender, ungedämmter Bauteile

Reduzierung der Verluste durch Wärmebrücken

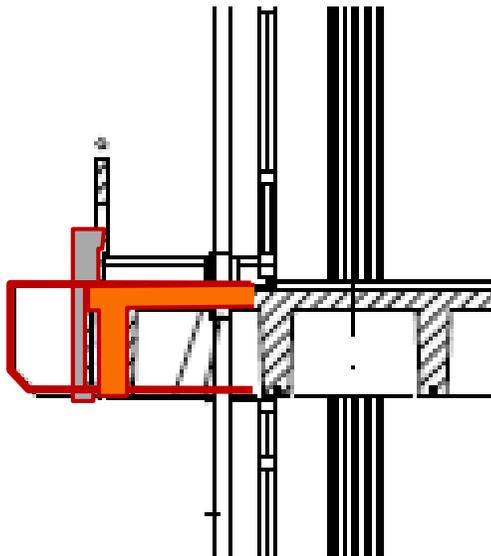
Variante 2



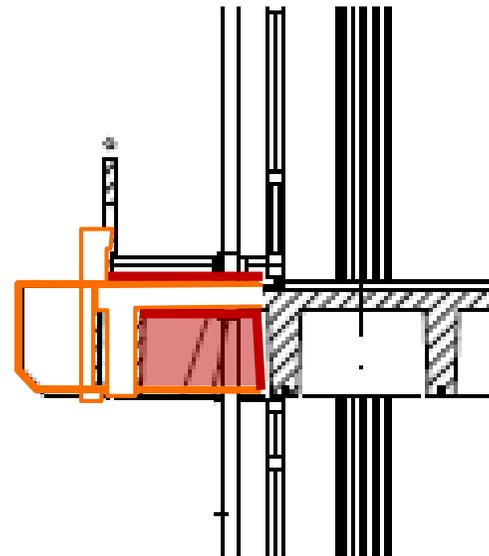
Wärmebrücke durch
StB Träger



Innendämmung
der Außenwände
Inkl. Flankendämmung



Wärmebrücke durch
StB Träger
und
nicht thermisch
getrennte Decke



Dämmung der Balkone
von oben und unten
Dämmung der Stirnseite
Dämmung der StB Träger

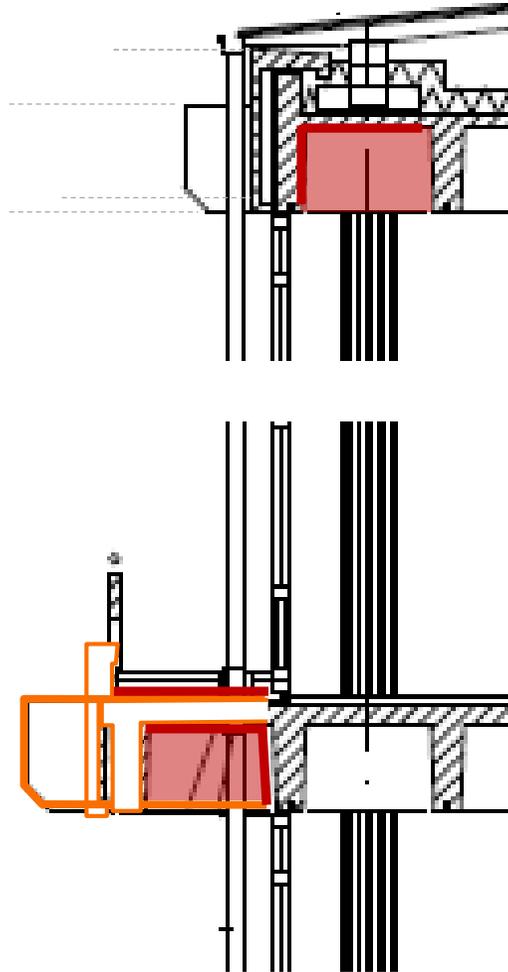
→ Mögliche Reduzierung der
Verluste um max. 50%

→ Rückbau Belag Balkone
und
Rückbau Unterdecken
Auskragung erforderlich

V. Gebäudehülle

Wärmebrücken Decke über EG mit Flankendämmung außen

Reduzierung der Verluste durch Wärmebrücken



Dämmung der Balkone
von oben und unten
Dämmung der Stirnseite
Dämmung der StB Träger

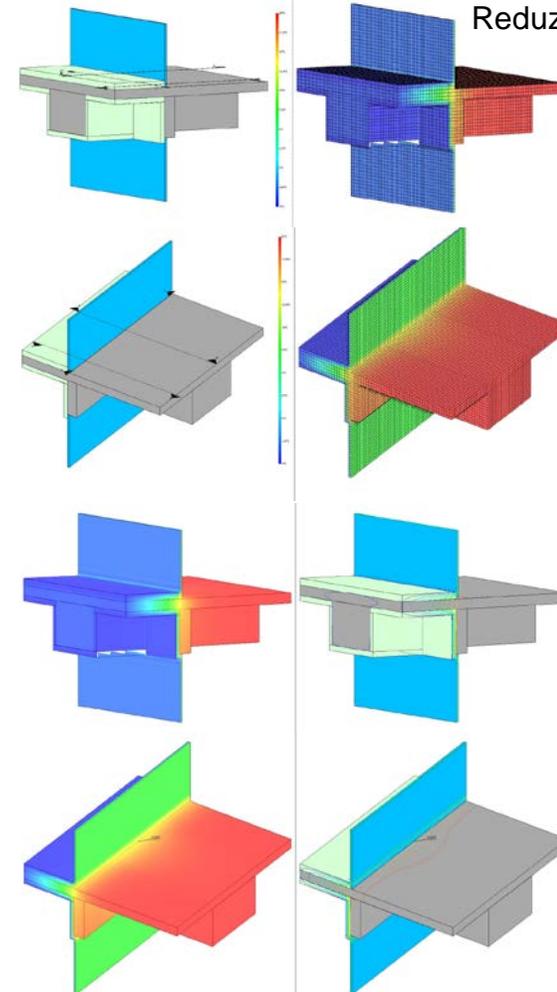
→ Mögliche Reduzierung der
Verluste um max. 50%

→ Rückbau Belag Balkone
und
Rückbau Unterdecken
Auskragung erforderlich

Dreidimensionale Wärmebrückenberechnung (psi-Therm)

Verlustleistung pro Meter 105 W/m

Reduzierung der Verluste
um ca. 38%

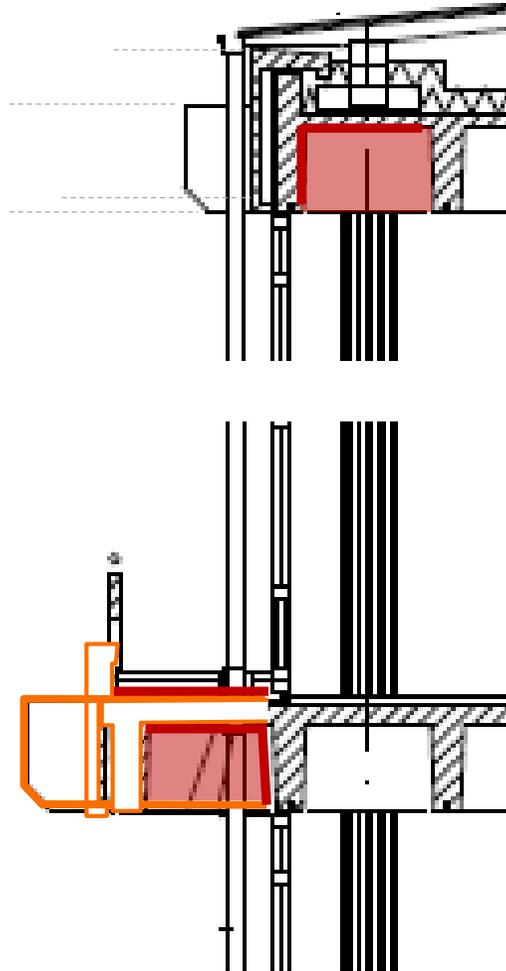


V. Gebäudehülle

Wärmebrücken Decke über EG mit Flankendämmung innen

Reduzierung der Verluste durch Wärmebrücken

Variante 2



Rückbau der Auskragung
Rückbau der Attikaverblendung

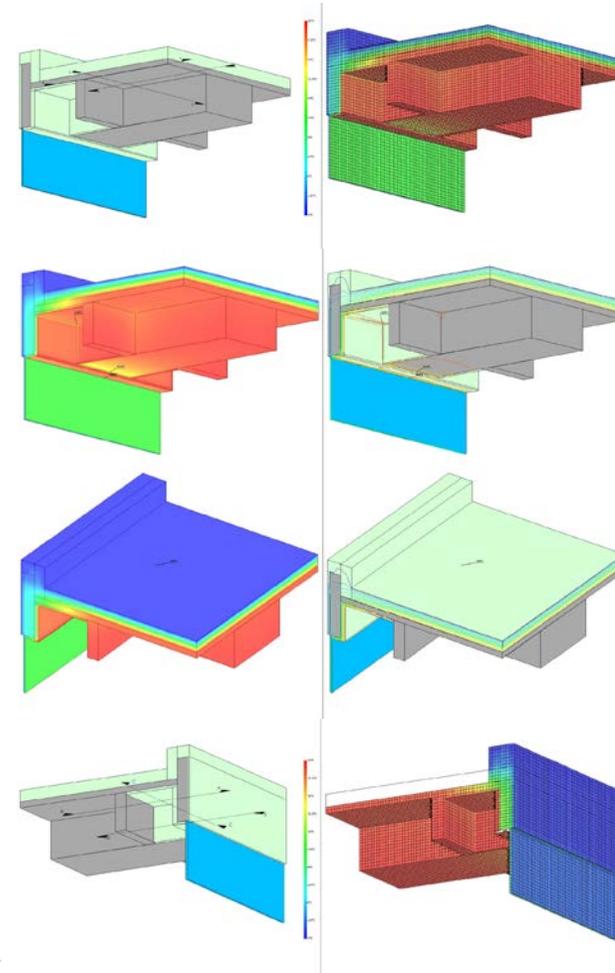
→ gute Reduzierung der
Verluste möglich

Rückbau Dachanschluss und
Entwässerung (Regenrinne/
Regenfallrohr) erforderlich

Dreidimensionale Wärmebrückenberechnung (psi-Therm)

Verlustleistung pro Meter 59 W/m

Reduzierung der Verluste um ca. 31%



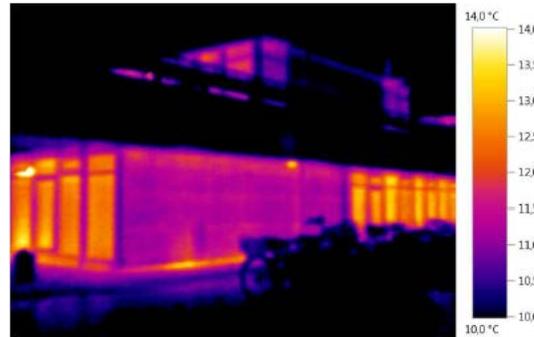
Thermografie | Wärmebrücken

Wärmebrücken im Sockelbereich und
Temperaturunterschiede an der Fassade

Datum: 10.11.2017
 Tageszeit: 09:00-10:00 Uhr
 Wetter: bewölkt
 Außen-Temp. [°C]: ~ 10 °C
 Emissionsgrad: 0,93
 Refl. Temp. [°C]: 14



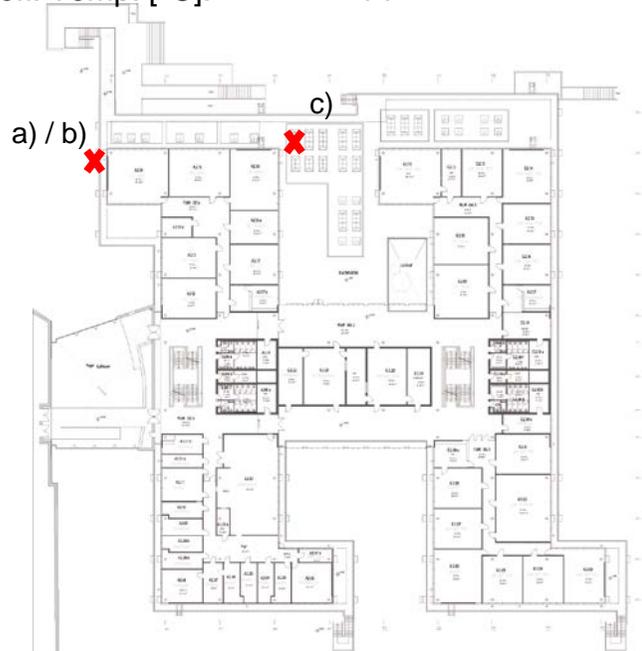
a)



b)



c)



Thermografie | Wärmebrücken

Wärmebrücken an Bauteilübergängen

Datum: 10.11.2017
 Tageszeit: 09:00-10:00 Uhr
 Wetter: bewölkt
 Außen-Temp. [°C]: ~ 8 °C
 Emissionsgrad: 0,93
 Refl. Temp. [°C]: 14

verschiedene Skalenbereiche!!!



a)



b)



c)

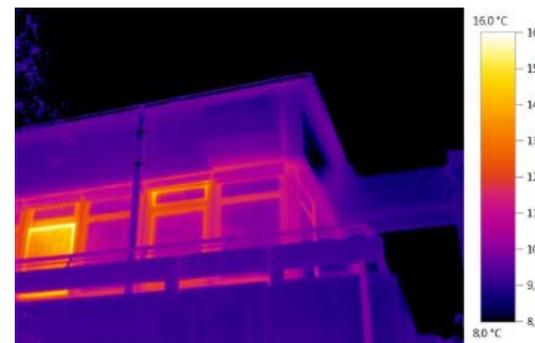


Thermografie | Wärmebrücken

Wärmebrücken an Auskragungen

Datum: 10.11.2017
 Tageszeit: 09:00-10:00 Uhr
 Wetter: bewölkt
 Außen-Temp. [°C]: ~ 8 °C
 Emissionsgrad: 0,93
 Refl. Temp. [°C]: 14

verschiedene Skalenbereiche!!!



a)



b)



c)

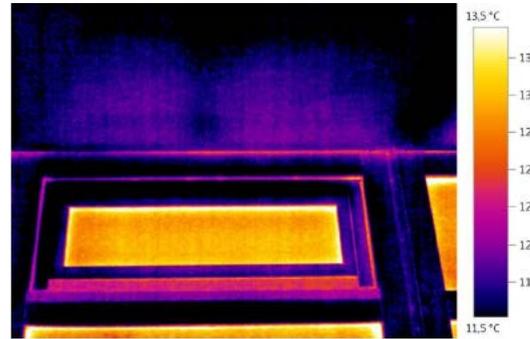


Thermografie | Wärmebrücken

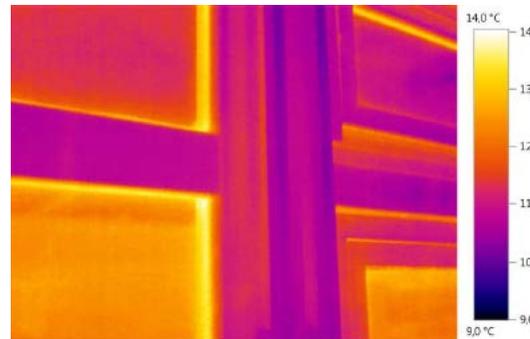
Stoffbedingte Wärmebrücken

Datum: 10.11.2017
 Tageszeit: 09:00-10:00 Uhr
 Wetter: bewölkt
 Außen-Temp. [°C]: ~ 8 °C
 Emissionsgrad: 0,93
 Refl. Temp. [°C]: 14

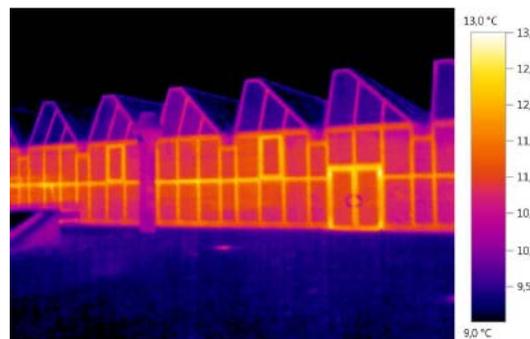
verschiedene Skalenbereiche!!!



a)



b)



c)

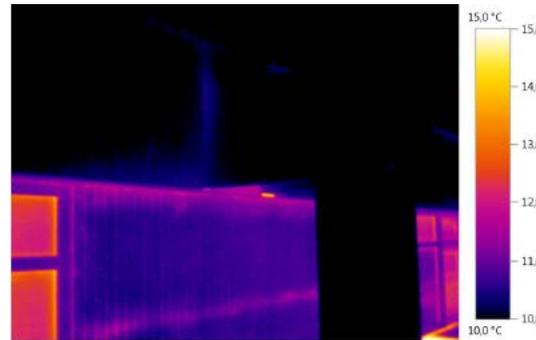


Thermografie | Wärmebrücken

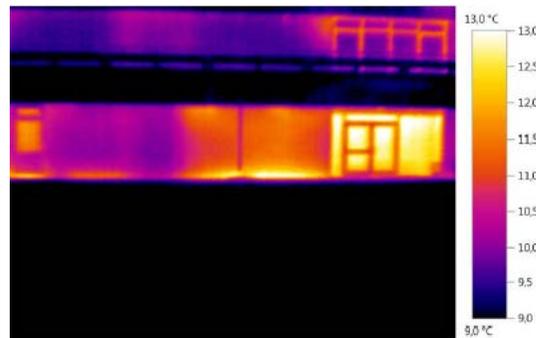
Wärmebrücken verschiedener Fassadenbereiche

Datum: 10.11.2017
 Tageszeit: 09:00-10:00 Uhr
 Wetter: bewölkt
 Außen-Temp. [°C]: ~ 8 °C
 Emissionsgrad: 0,93
 Refl. Temp. [°C]: 14

verschiedene Skalenbereiche!!!



a)



b)



c)



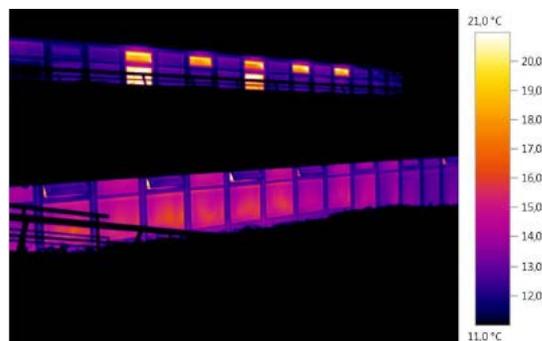
Thermografie | Wärmebrücken

geöffnete Fenster

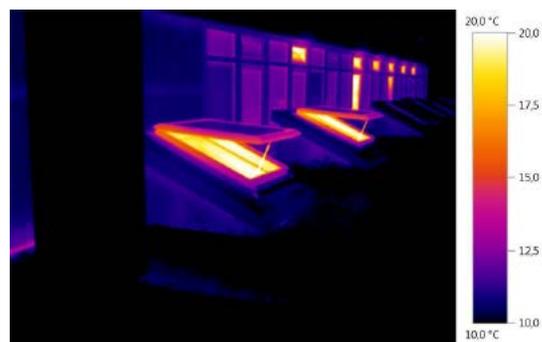
Datum: 10.11.2017
 Tageszeit: 09:00-10:00 Uhr
 Wetter: bewölkt
 Außen-Temp. [°C]: ~ 8 °C
 Emissionsgrad: 0,93
 Refl. Temp. [°C]: 14



a)



b)



c)

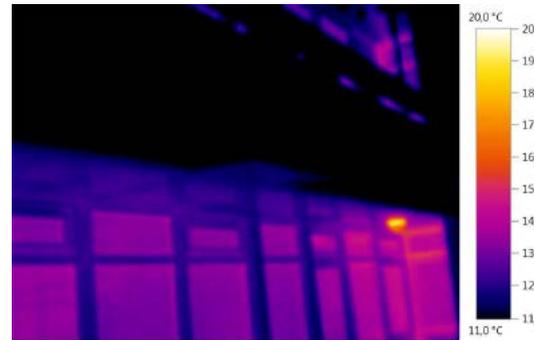


Thermografie | Wärmebrücken

Datum: 10.11.2017
 Tageszeit: 09:00-10:00 Uhr
 Wetter: bewölkt
 Außen-Temp. [°C]: ~ 8°C
 Emissionsgrad: 0,93
 Refl. Temp. [°C]: 14

verschiedene Skalenbereiche!!!

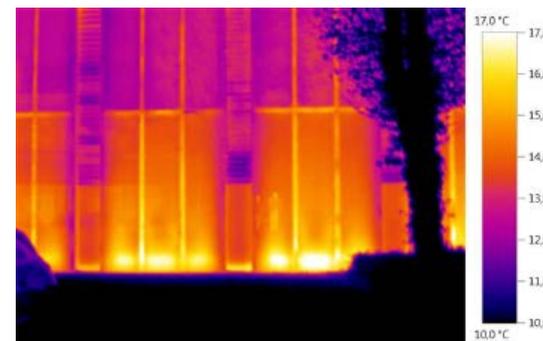
Sonstiges: Abstrahlung Außenbeleuchtung (a),
Lüftung (b), Heizkörper an Fassade (c)



a)



b)



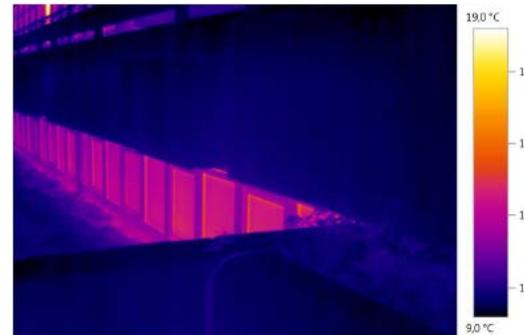
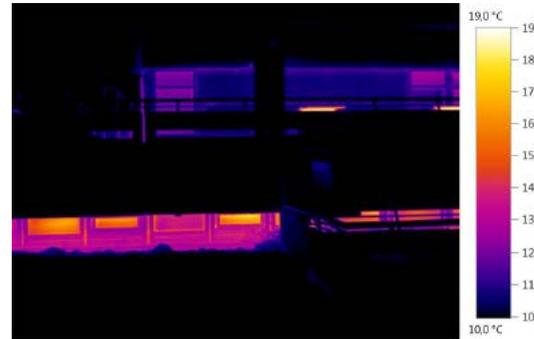
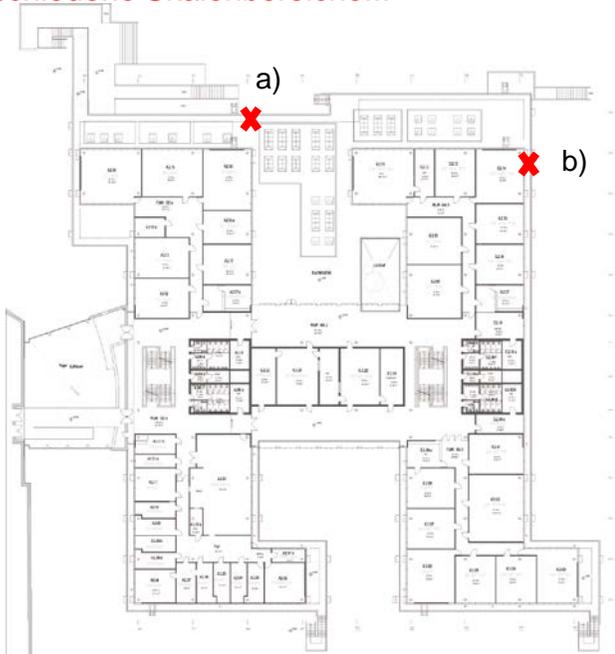
c)



Thermografie | Wärmebrücken

Datum: 10.11.2017
 Tageszeit: 09:00-10:00 Uhr
 Wetter: bewölkt
 Außen-Temp. [°C]: ~ 8 °C
 Emissionsgrad: 0,93
 Refl. Temp. [°C]: 14

verschiedene Skalenbereiche!!!



a)



b)





Thermische Qualitäten Gebäudehülle | Wärmebrücken

Die massive Stahlbetonkonstruktion durchstößt die thermische Gebäudehülle entwurfsbedingt mit Trägern und Deckenelementen. Diese Wärmebrücken führen zur Wärmeverlusten in folgenden Bereichen

- Geschossdecke über EG
- Geschossdecke über OG/ Attika

Die durchstoßenden Bauteile führen nicht zu bauphysikalischen Schäden, jedoch zu Wärmeverlusten und Unbehaglichkeit auf der Raumseite, bedingt durch niedrige Oberflächentemperaturen.

Die Wärmebrücken der Decke über EG können thermisch reduziert werden.

Folgende Maßnahmen sind erforderlich

- Dämmung auf den Balkonen
- Dämmung unterhalb der Geschossdecke
- Dämmung der Stirnseite außen

Beläge und Abhängungen müssen dazu entfernt und wieder montiert werden.

Die Wärmebrücken der Decke über OG/ Attika können thermisch nur bedingt reduziert werden ohne das äußere Erscheinungsbild massiv zu verändern. Daher wird Variante 2 mit Innendämmung gerechnet.

Folgende Maßnahmen sind erforderlich

- Montage Innendämmung an Trägern, Decken und Flanken
- Oberflächenbehandlung mit finish



Energetische und wirtschaftliche Bewertung

Aufwand		hoch
Nutzen	mäßig (Verringerung der Wärmeverluste um < 7%)	
Kosten		hoch

Ein wirtschaftlicher Nutzen der Reduzierung der Wärmebrücken kann nur bedingt unterstellt werden.



Bauphysikalische Qualität

Thermographie

Die Gebäudehülle wurde am 10.11.2017 mittels Thermographie-Kamera untersucht. Die Randbedingungen waren nicht optimal, da die Außentemperatur bei 8 °C lag.

Dennoch zeigen die Bilder, dass die Relevanz der Wärmebrücken im Verhältnis zum Aufwand einer Sanierung gesehen werden muss. Eine wirtschaftliche Betrachtung im Detail ist zwingend erforderlich, siehe Abschnitt Wärmebrücken.



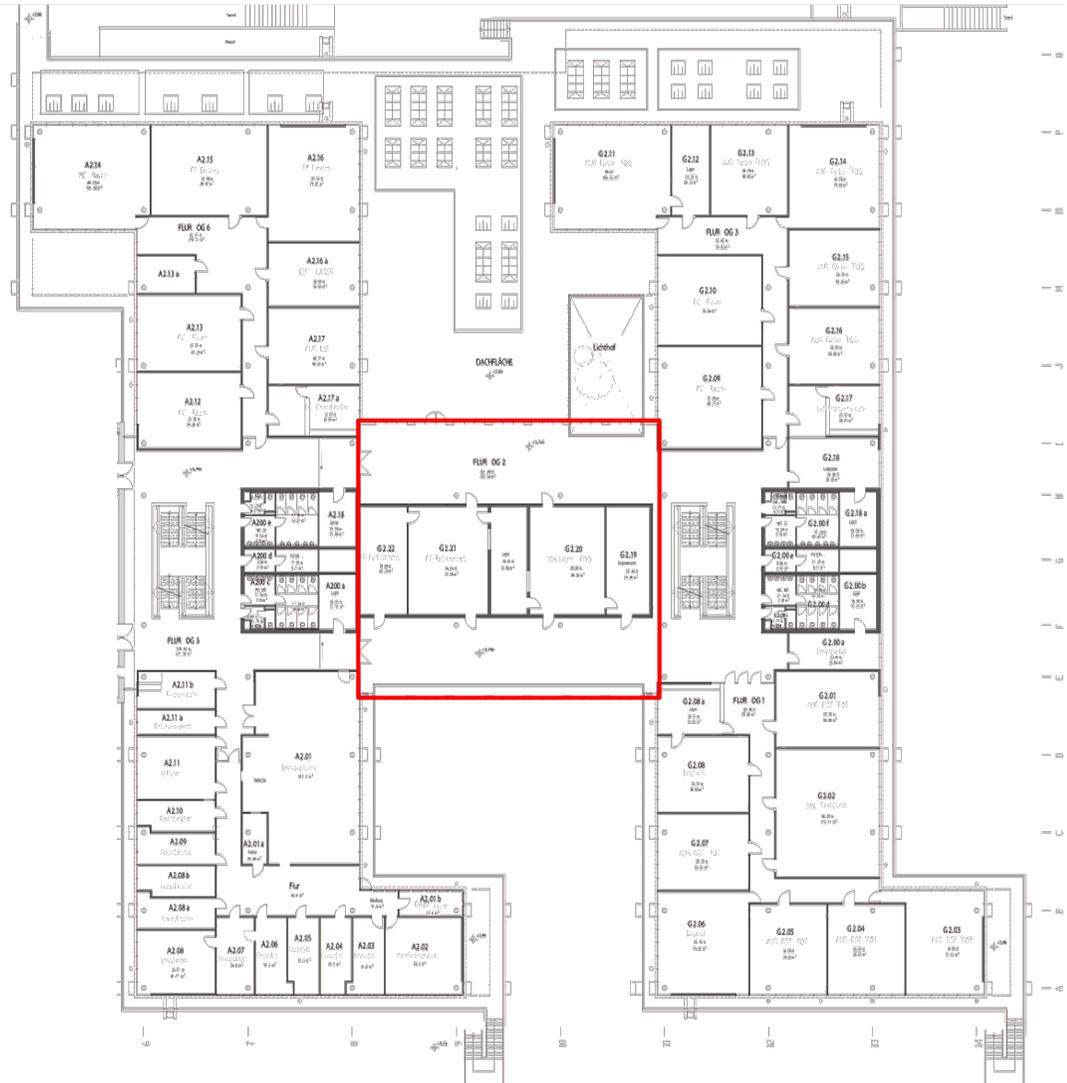
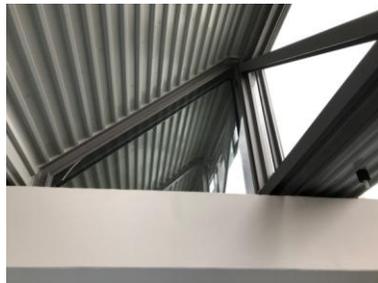
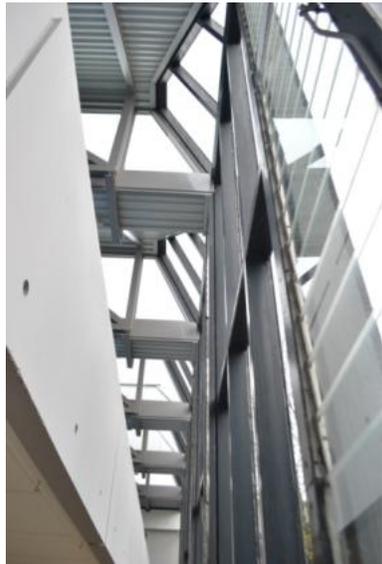
Die Anschlusspunkte der Oberschosswände an die Decke über EG weisen dagegen erheblich höhere Wärmeverluste auf.

Eine Reduzierung der Verluste ist bei umfassender Sanierung möglich, aber aufwendig.

Die Wärmeverluste über die Einscheibenverglasung im Verbindungsbau sind deutlich. Eine Ertüchtigung der Fassade kann die Wärmeverluste erheblich verringern.

Die Kosten für die Sanierung sind hoch, ebenso aber auch der Nutzen.

Sheddach-Konstruktion als Verbindungsbau Obergeschoss



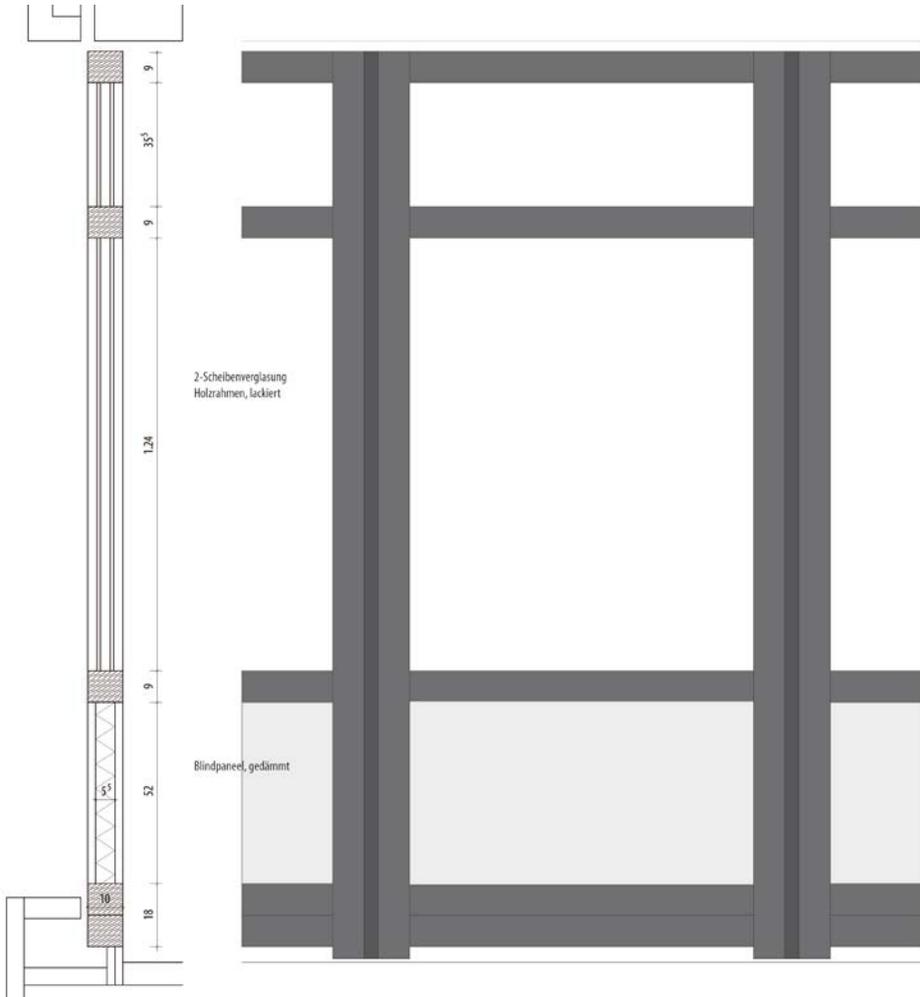


Fachräume



Treppenträume





Schnitt

Ansicht



Beispielfoto

Kipp-
Oberlichter

Dreh-Kipp
Flügel

Brüstungs-
paneele
davor
statische
Heizkörper



Bauphysikalische Qualitäten

Die thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle entsprechen der Baualtersklasse. Erhöht werden die Transmissionswärmeverluste durch die Wärmebrücken der entwurfsbedingt durchstoßenden Bauteile.

Der Verlustanteil liegt bei $< 7\%$.

Das Dach ist bereits gedämmt und entspricht in der Qualität dem Neubauniveau. Die Bodenplatte ist ungedämmt. Die Balkone / Decke über EG an Außenluft sind entsprechend dem Mindestwärmeschutz zur Bauzeit gedämmt. Die Fenster/ Fassadenelemente sind im Wesentlichen mit einer Zweischeiben-Isolierverglasung ausgestattet. Die Rahmen der Fenster sind aus Holz bzw. am Verbindungsbau aus Alu/ Stahl. Die Glasfassade im Verbindungsbau ist auf der Nordseite sowie im Dachbereich erneuert werden. Die thermischen Eigenschaften liegen knapp unter dem Neubauniveau.

Folgende Maßnahmen sind möglich/ sinnvoll:

- Austausch der Fenster/ Fassaden mit Herstellung einer Luftdichten Ebene
- Dämmung der opaken Außenwände
- Dämmung der Balkone / Decke über EG an Außenluft



Bewertung der Verbesserungspotentiale

Der Austausch der Fenster/ Fassaden steht baualtersbedingt an. Der Aufwand ist gering, da Abschnittsweise gearbeitet werden. Die Herstellung einer luftdichten Ebene ist bei einem Rückbau des außenseitigen Belags einfach zu realisieren.

Die Dämmung der Außenwände wird die Anschlussdetails verändern, ist aber mit geringem bis mäßigem Aufwand zu realisieren.*

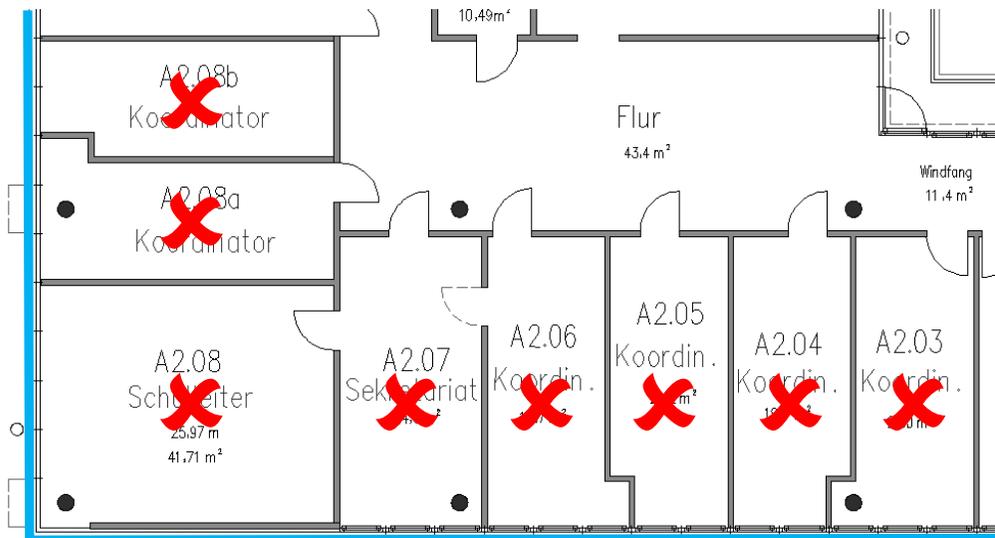
* Die Bewertung erfolgt ohne Berücksichtigung eines Aufwands zur Schadstoffsanierung

Außenliegender Sonnenschutz | Obergeschoss



Rechnerische Überprüfung zur Einhaltung des Sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-Teil 2 (2013)

X Der Nachweis wird für die dargestellten Räume
im Obergeschoss nicht eingehalten.



außenliegender Sonnenschutz (Raffstore)



Grundriss Obergeschoss



Sommerlicher Wärmeschutz

nach DIN 4108-Teil 2 (2013)

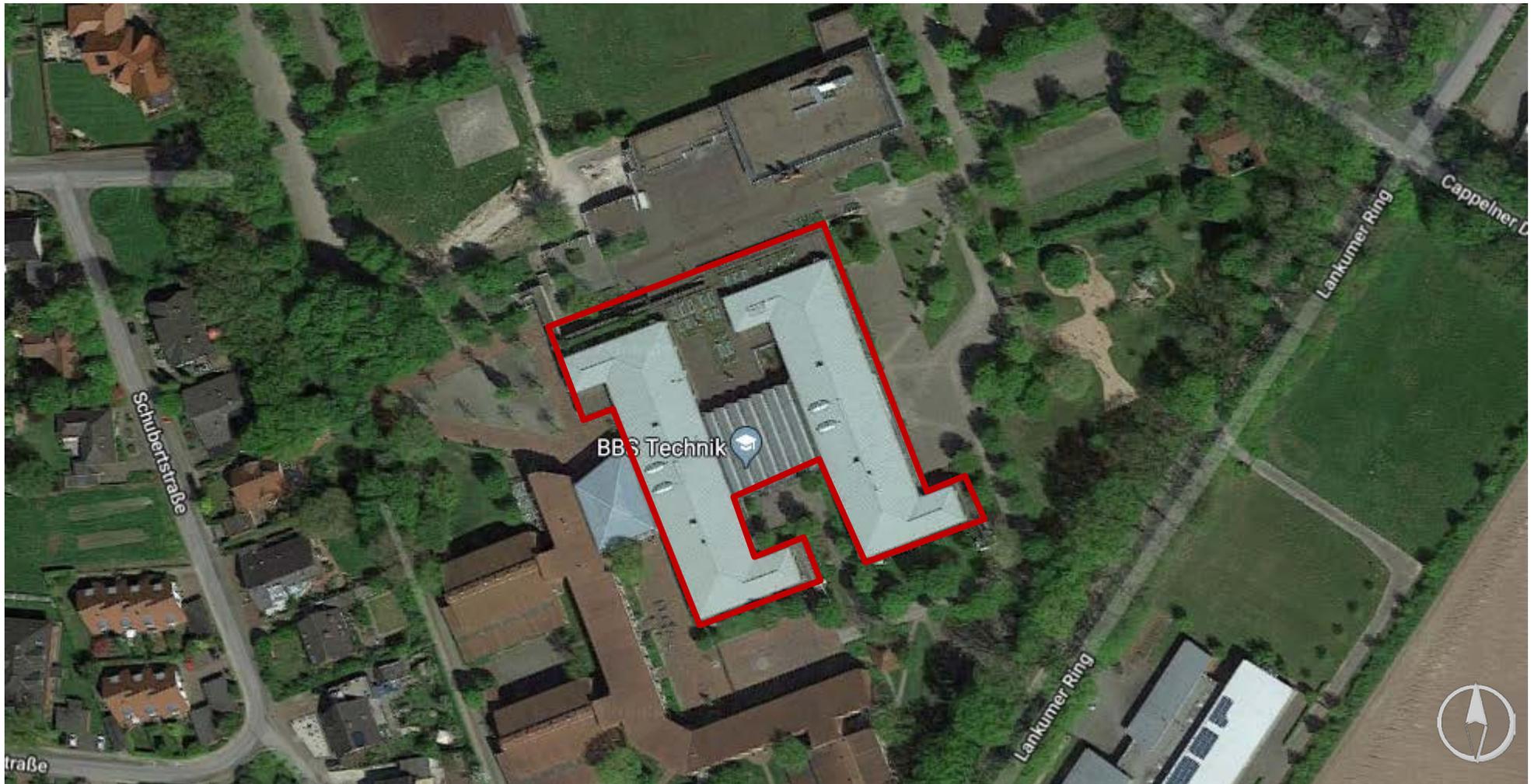
Der Sommerliche Wärmeschutz wird im Bestand in Teilbereichen nicht eingehalten.



Bewertung der Verbesserungspotentiale

Der sommerliche Wärmeschutz kann im Zuge einer Sanierung durch folgende Maßnahmen verbessert werden:

- Einbau einer Sonnenschutzverglasung ($g\text{-Wert} \leq 0,40$)
- Ertüchtigung des außenliegenden Sonnenschutzes
- Empfehlung: Raffstore mit verstellbaren Lamellen und Tageslichtlenkung
- Schaffung von witterungsunabhängiger Nachtlüftungsmöglichkeit unter Berücksichtigung des Einbruchschutzes



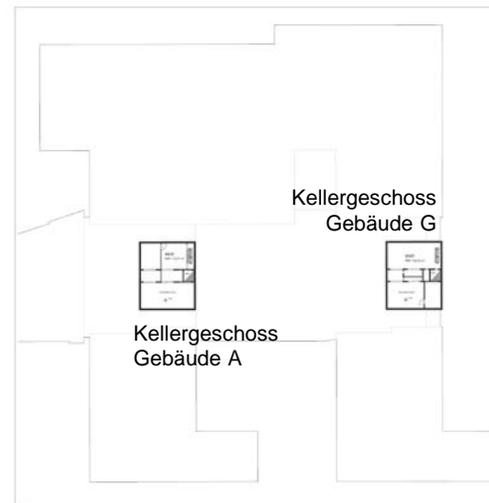
Gebäudekonditionierung

- Wärmeerzeugung (nicht Gegenstand der Studie)
Nahwärme aus Heizwerk (fossil), Versorgung der Liegenschaft aus dem Bereich der Sporthalle
- Heizung
Beheizung über statische Heizflächen in den Räumen
Stahlradiatoren/ unverändert gegenüber der Bauzeit
Anordnung vor den Fenstern
In Teilen Austausch gegen Konvektoren
- Be- und Entlüftung
RLT Anlagen für innenliegenden Fachräume und Sanitärbere
RLT Anlagen ohne Wärmerückgewinnung
Standort Kellergeschoss Trakt A und Trakt G
- Warmwasser und Gebäudekühlung
keine Konditionierung in Gebäude A und G

Heizzentrale
Liegenschaft



Statische Heizkörper (im Wesentl. Bestand)

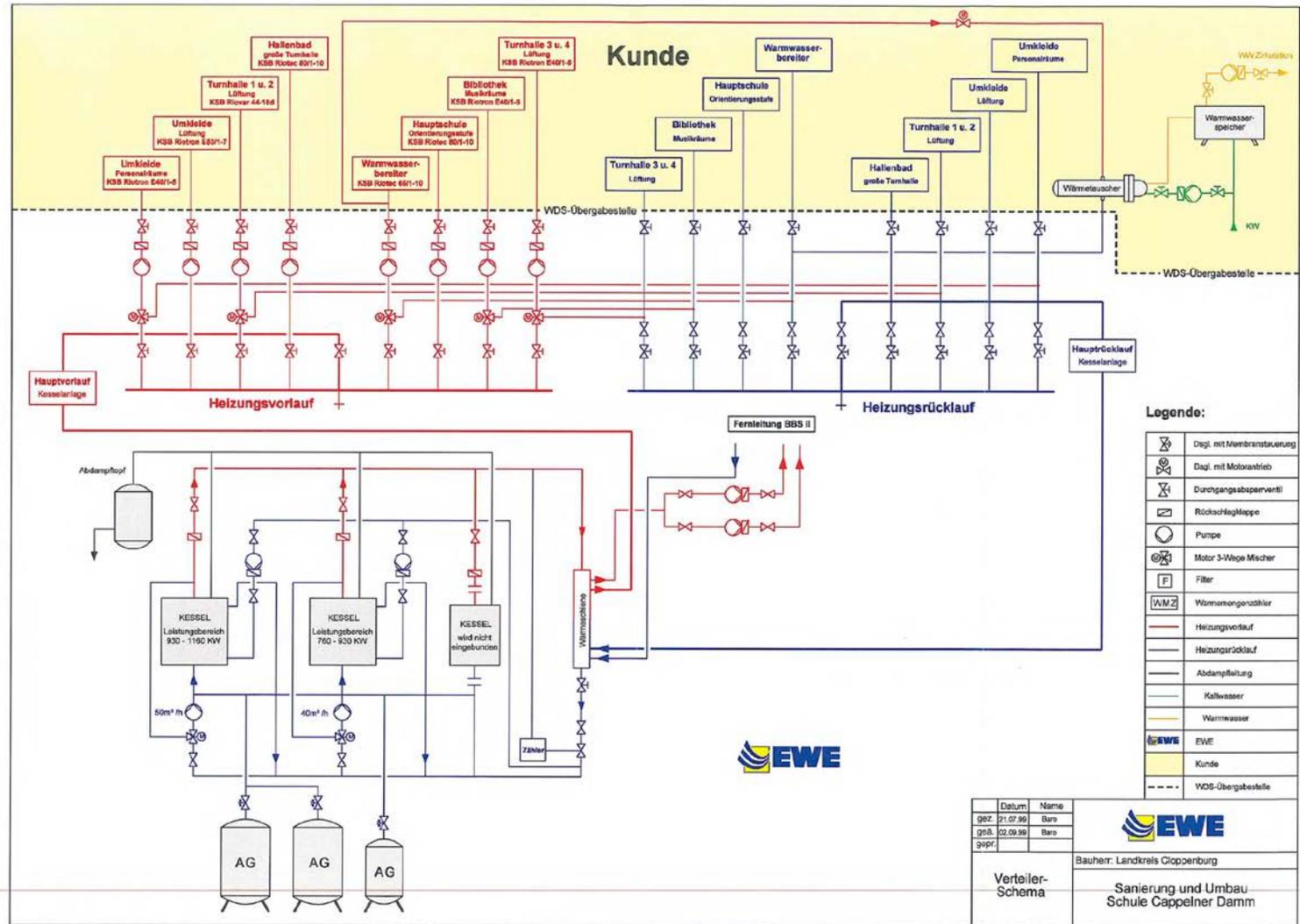


Leitungsführung Lüftung (Bestand)



Versorgungsschema Heizung für die gesamte Liegenschaft

- Versorgungsschema Heizung
der Liegenschaft nur informativ



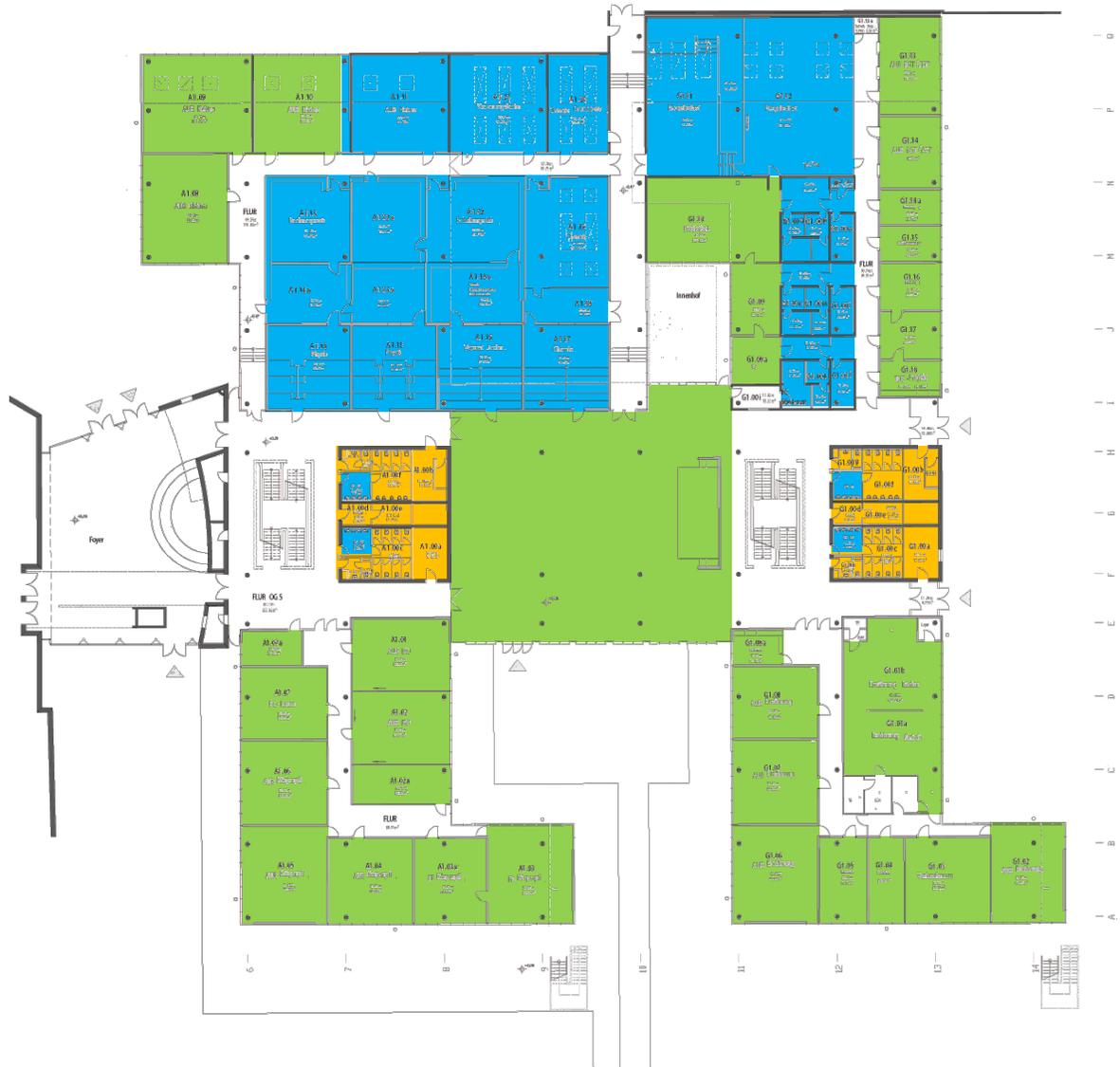
Erdgeschoss

Kontrollierte Lüftung für innenliegende Räume

- mechanisch versorgter Bereich
Zu- und Abluft
- mechanisch versorgter Bereich
überwiegend Abluft
- Räume mit ausschließlich Fensterlüftung



Zuluftauslässe



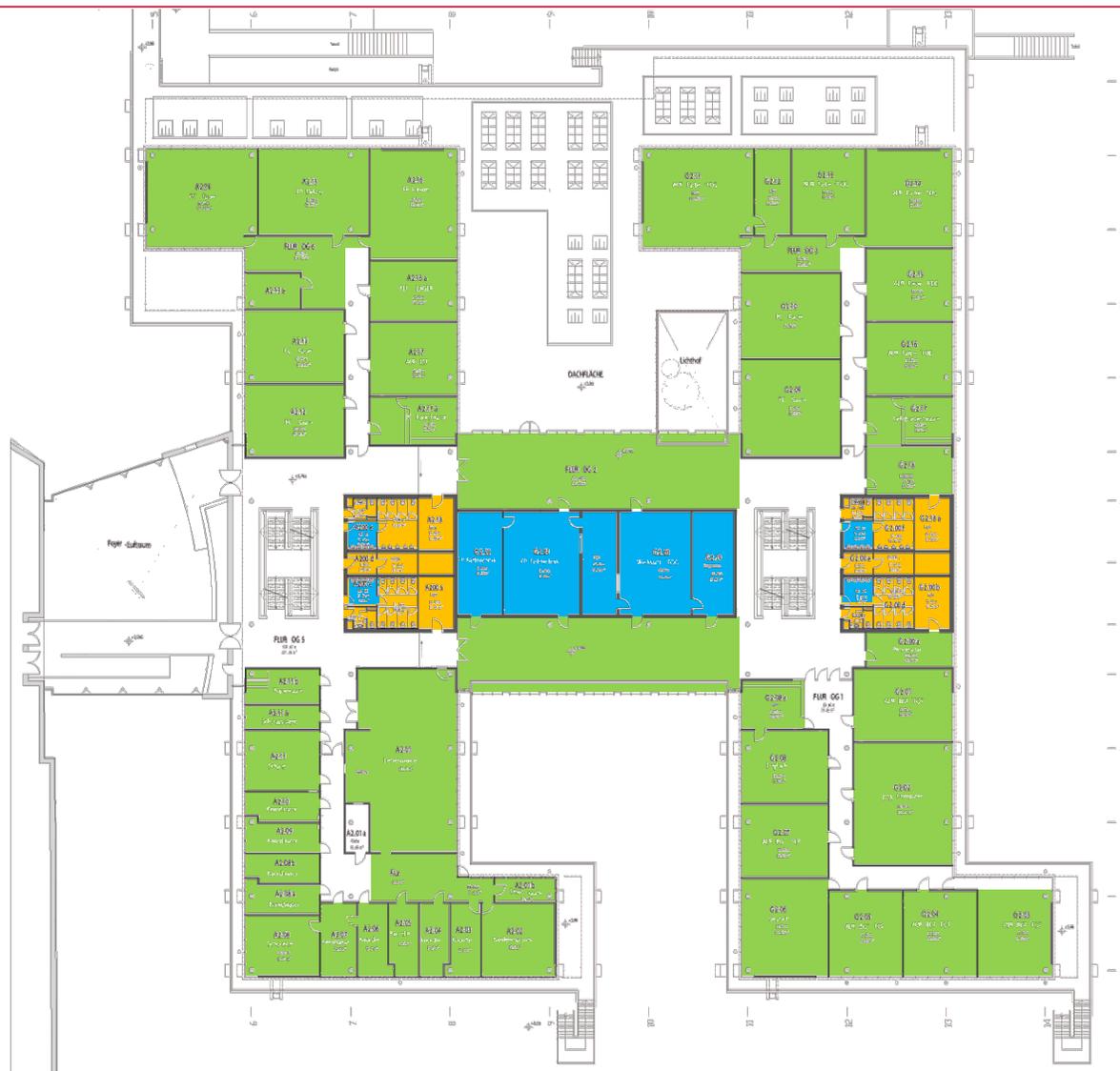
Obergeschoss

Kontrollierte Lüftung für innenliegende Räume

- mechanisch versorgter Bereich
Zu- und Abluft
- mechanisch versorgter Bereich
überwiegend Abluft
- Räume mit ausschließlich Fensterlüftung



Installation Lüftungsleitungen



Ausstattung Elektro und Informations- und Kommunikationstechnik

Klassenzimmer

- Whiteboards
- Beamer
- Computer



Fachräume

- PC-Pools
- Fachräume wie z.B. Chemie, Elektrotechnik, Physik



Aula

- Soundanlage



WLAN (nicht flächendeckend, da Empfangsstörungen durch Betonkonstruktionen)

Beleuchtung



Einbaudownlights

- Kompaktleuchtstofflampe



Kugelleuchte

- Pendelleuchte



Langfeldleuchten

- Anbauleuchte / Pendelleuchte
- Leuchtstoffröhre
- Spiegelraster
- KVG





Lüftung

Die Klassenräume werden im Wesentlichen über die Fenster gelüftet. Werte zur CO₂ Konzentration der Raumluft liegen nicht vor. Eigene Untersuchungen des IGS lassen aber darauf schließen, dass der empfohlene Richtwert, wie in vergleichbaren Schule auch, häufig überschritten wird. Die lichte Raumhöhe in Verbindung mit 8m Raumtiefe machen ein effizientes Lüften schwierig.

Die innenliegenden Räume werden mechanisch be- und entlüftet. Die Anlagen werden ohne Wärmerückgewinnung betrieben und müssen ausgetauscht werden.

Beheizung

Die Anlagentechnik ist seit der Bauzeit unverändert. Nur wenige Heizkörper wurden verändert. Im Zuge einer Sanierung würden das gesamte Rohrleitungsnetz und die Wärmeübertragungsflächen erneuert werden. Als Bestandteil einer Gesamtmaßnahme wäre die Umsetzung gut zu integrieren.

Künstliche Beleuchtung

Die Beleuchtungsanlagen erfüllen nicht die Anforderungen an gute Arbeitsplatzbedingungen. Im Zuge einer Sanierung sollten alle Leuchten ausgetauscht werden und LED Technik verbaut werden.

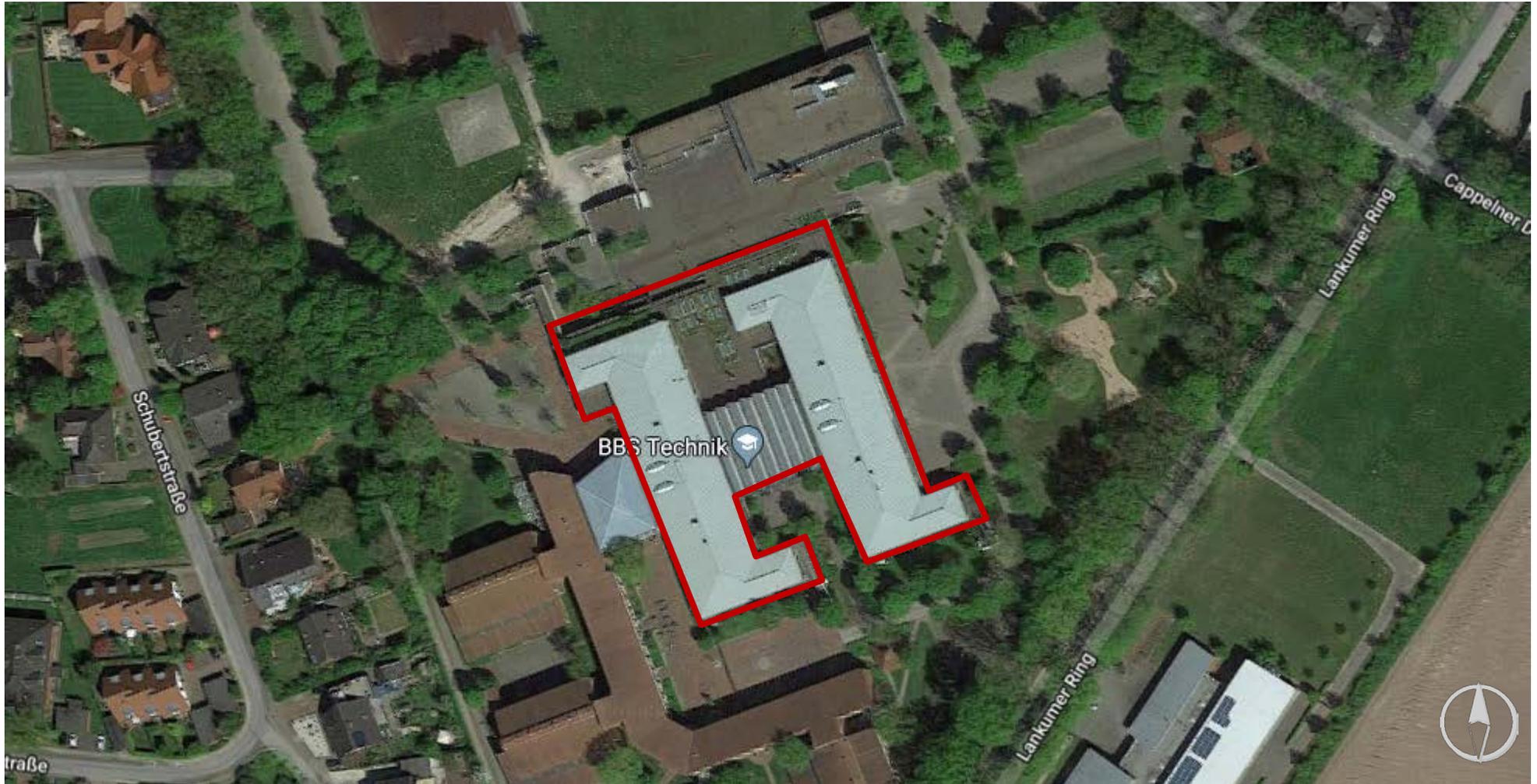


Medienausstattung

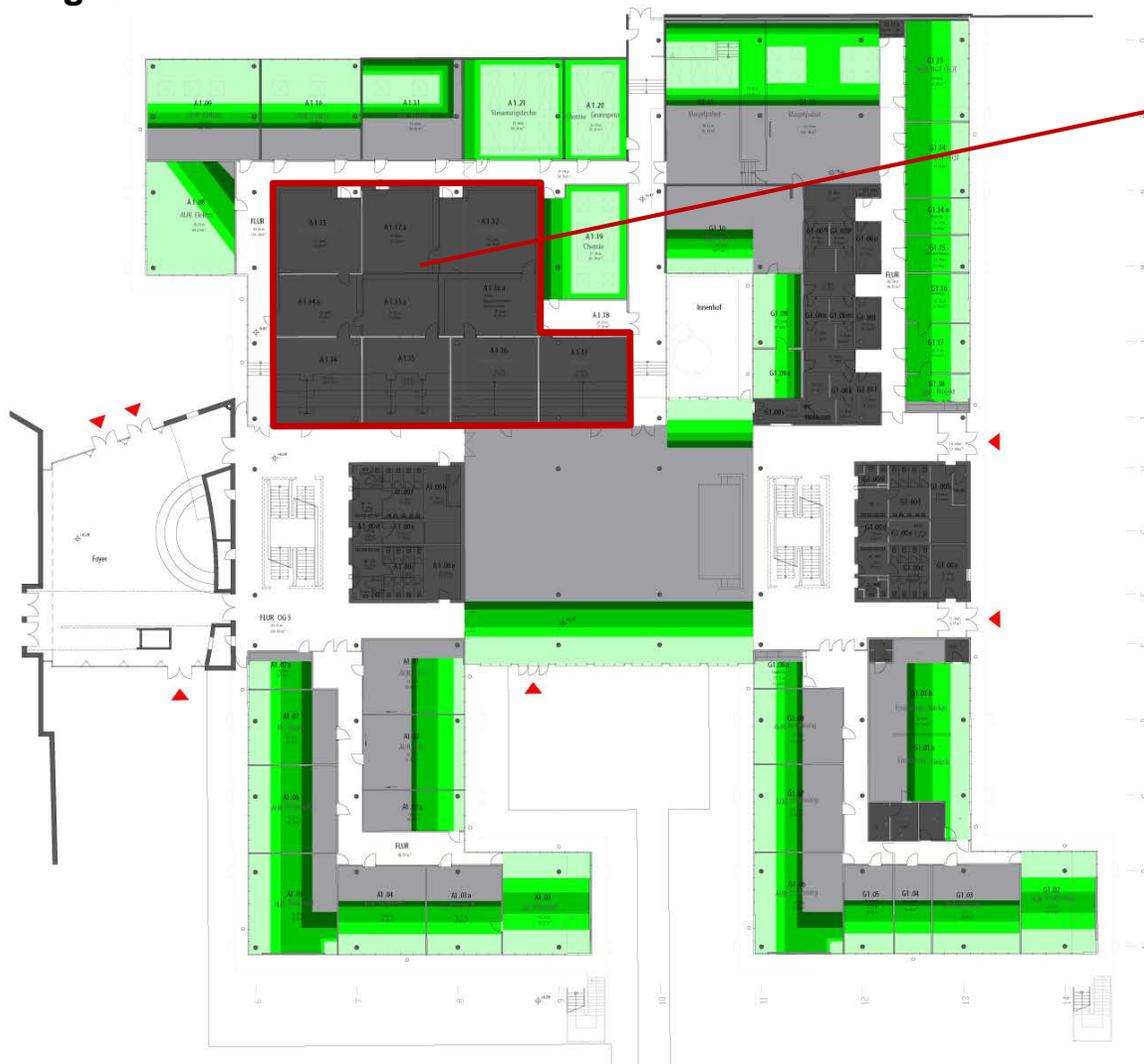
Die Klassenräume sind mit Whiteboards und Beamern ausgestattet. Die lichte Raumhöhe von < 2,60m erschwert die Nutzung.

Eine flächige Abdeckung der Schule mit WLAN ist nur bedingt möglich, da die Betonkonstruktionen zu Empfangsstörungen führt. Eine Lösung im Zuge einer Sanierung ist nur bedingt möglich.

VII. Nutzungsqualitäten



Erdgeschoss



„Aufenthaltsräume sollen ausreichend Tageslicht erhalten und eine Sichtverbindung nach außen haben.“
 Quelle: DIN 5034-1
 Die markierten Räume haben keinen Tageslichtbezug.

Simulationsparameter

Reflexionsgrade der Oberflächen	
Boden	30 %
Decke	40 %
Wände	75 %

2-Scheibenverglasung, $\tau = 81\%$

Legende

23 %	Räume ohne Tageslicht
21 %	< 0,75 %
8 %	0,75 - 1,0 %
14 %	1,0 - 2,0 %
16 %	2,0 - 4,0 %
18 %	> 4,0 %



VII. Nutzungsqualitäten Tageslichtquotient

Obergeschoss



Simulationsparameter

Reflexionsgrade der Oberflächen	
Boden	30 %
Decke	40 %
Wände	75 %

2-Scheibenverglasung, $\tau = 81 \%$

Legende

7 %	Räume ohne Tageslicht
20 %	< 0,75 %
9 %	0,75 - 1,0 %
18 %	1,0 - 2,0 %
20 %	2,0 - 4,0 %
24 %	> 4,0 %



Fenstergrößen

Beurteilung nach DIN 5034-1

Fenster in Arbeitsräumen am Beispiel Raum A1.02a

1. Anforderung

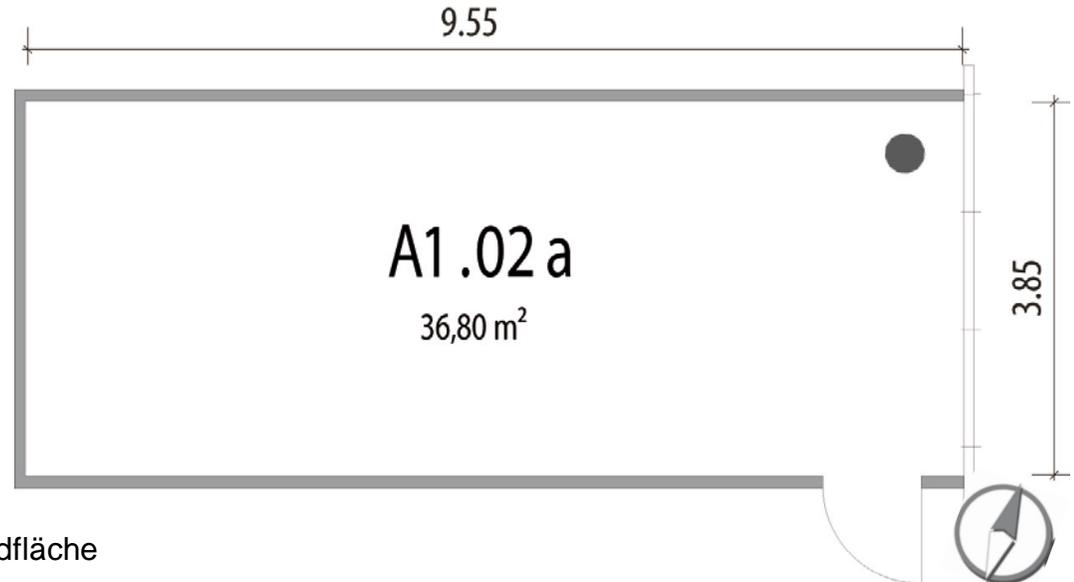
- Raumtiefe $> 5\text{ m}$ → Fensterfläche mind. $1,5\text{ m}^2$
- vorh. Fensterfläche: $6\text{ m}^2 > 1,5\text{ m}^2$ ✓

2. Anforderung

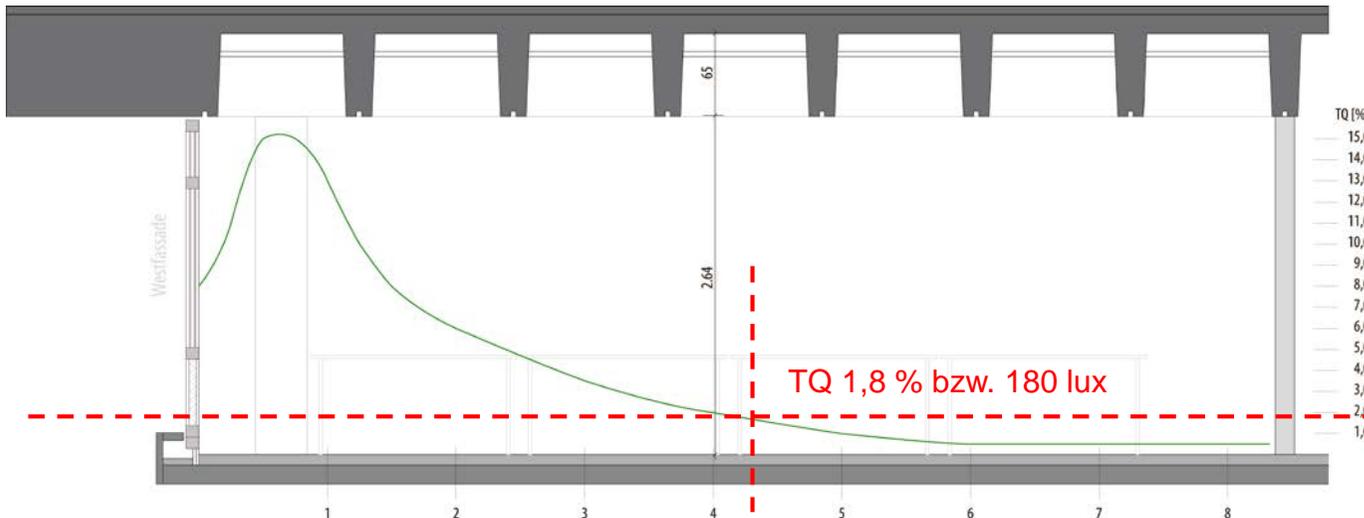
- Grundfläche Raum $< 600\text{ m}^2$ → Fensterfläche = $0,1 \times$ Grundfläche
- $0,1 \times 36,80\text{ m}^2 = 3,68\text{ m}^2$
- vorh. Fensterfläche: $6\text{ m}^2 > 3,68\text{ m}^2$ ✓

3. Anforderung

- Raumhöhe $< 3,50\text{ m}$ → Fensterfläche $> 0,3 \times$ Raumbreite \times Raumhöhe
- $0,3 \times 3,85\text{ m} \times 2,52\text{ m} = 2,91\text{ m}^2$
- vorh. Fensterfläche: $6\text{ m}^2 > 2,91\text{ m}^2$ ✓



Tageslichtversorgung | Klassenraum



Anforderungen an die Raumtiefe

➤ max. 2-3-fache der Raumhöhe

➤ max. 5 – 7,9 m
Quelle: UBA-Leitfaden

Anforderung an die

Beleuchtungsstärke mit Tageslicht

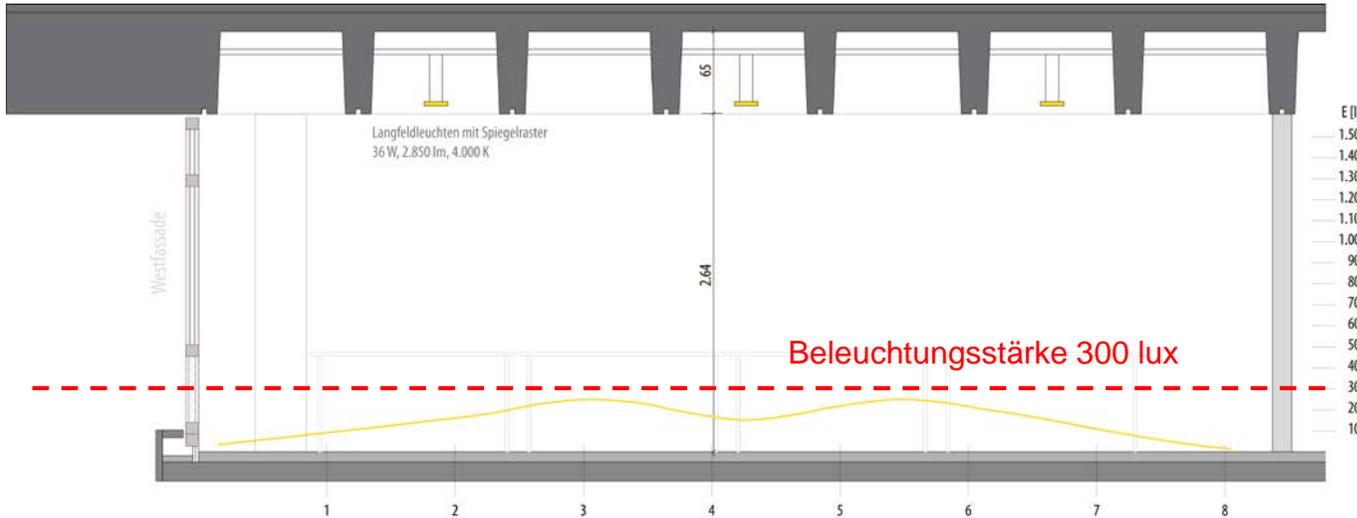
➤ 0,6-fache der Anforderung an die künstl. Beleuchtung

➤ 60 % von 300 lux = 180 lux

Quelle: DIN 5034



Künstliche Beleuchtung | Klassenraum



- Anforderungen an die Beleuchtung von Unterrichtsräumen:
- mind. 300 lux (Tafel: 500 lux)
 - Lichtfarbe mind. 4.000 K (neutralweiß)
 - Anordnung Leuchten parallel zum Fenster
 - Bei Raumtiefe von 8m = 3 Leuchtenreihen

Quelle: DIN EN 12464; Goethe-Institut

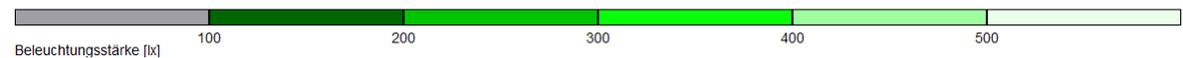
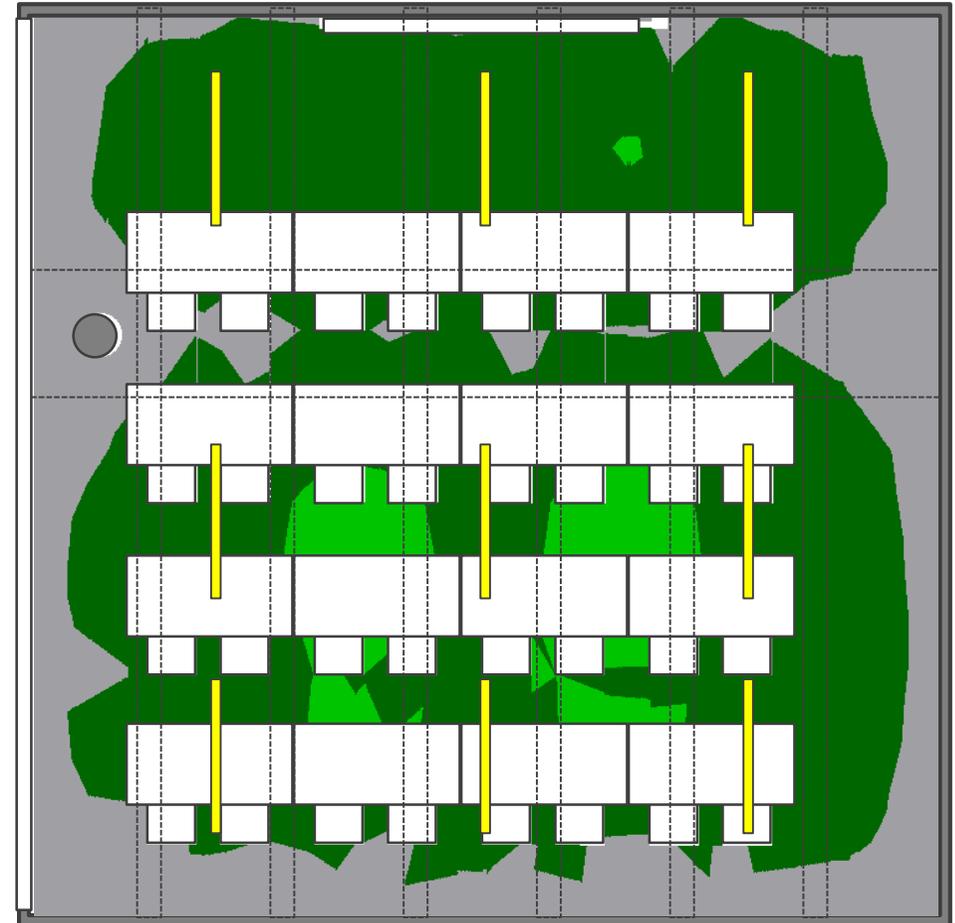


Künstliche Beleuchtung (Bestand)

Anordnung der Leuchten
3 Reihen parallel zum Fenster
0,55 m Pendellänge (UK Rohdecke)
0,75 m Nutzebene

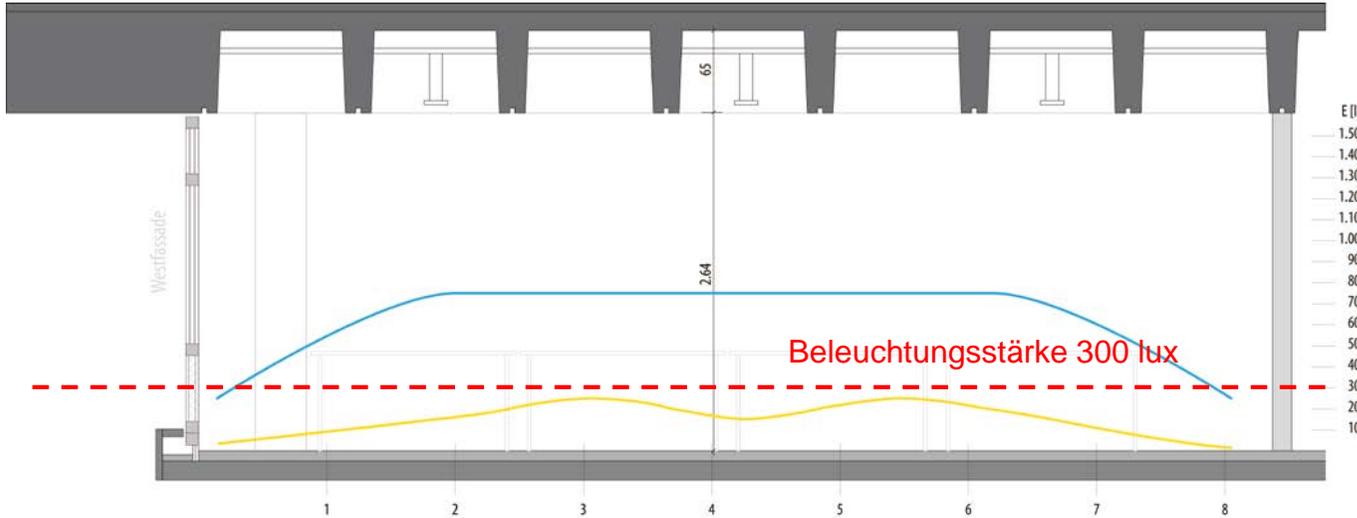
Beleuchtungsanlage
Langfeldleuchten
T5-Leuchtstoffröhre
36 W, 39 W Anschlussleistung
2.850 lm, 4.000 K

Installierte Leistung
bei 39 W Anschlussleistung: 5 W/m²



Klassenraum, West | Grundriss und Deckenuntersicht

Künstliche Beleuchtung | Klassenraum



- Anforderungen an die Beleuchtung von Unterrichtsräumen:
- mind. 300 lux (Tafel: 500 lux)
 - Lichtfarbe mind. 4.000 K (neutralweiß)
 - Anordnung Leuchten parallel zum Fenster
 - Bei Raumtiefe von 8 m = 3 Leuchtenreihen
- Quelle: DIN EN 12464; Goethe-Institut



Künstliche Beleuchtung | Bestand (Simulation)

Bestand —

9 Langfeld-Leuchten,
3 Reihen
T5-Leuchtstoffröhren
39 W, 2.850 lm
4.000 K

5,0 W/m²

Neuplanung —

9 Langfeld-Leuchten,
3 Reihen
LED
44 W, 6.300 lm
4.000 K

5,7 W/m²

ca. 400 €/Stück
+ Erhöhung der Reflexionsgrade



Künstliche Beleuchtung | Neuplanung (Simulation)

Künstliche Beleuchtung (Neuplanung)

Anordnung der Leuchten
3 Reihen parallel zum Fenster
0,55 m Pendellänge (UK Rohdecke)
0,75 m Nutzebene

Beleuchtungsanlage

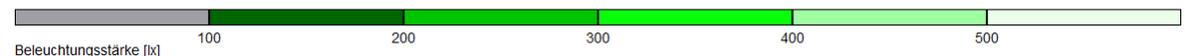
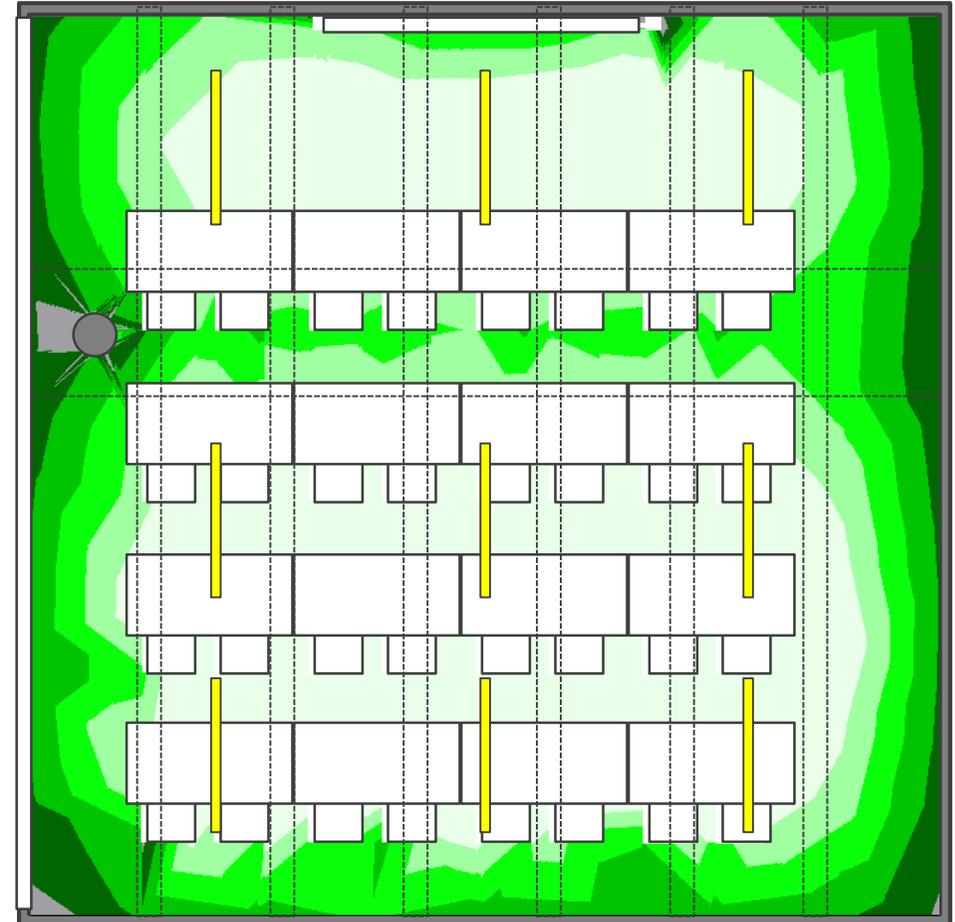
Langfeldleuchten
LED
44 W Anschlussleistung
6.300 lm, 4.000 K

Installierte Leistung

bei 44 W Anschlussleistung: 5,7 W/m²

Investitionskosten

ca. 400 €/Stück
+ Erhöhung der Reflexionsgrade



Klassenraum, West | Grundriss und Deckenuntersicht

Visuelle Qualitäten



Tageslichtversorgung

Im Erdgeschoss des Gebäudes befinden sich Unterrichtsräume (Fachräume) ohne Tageslicht mit einem Anteil von ca. 15 % der Nutzfläche.

Weitere Räume auf der Nordseite des Gebäudes werden ausschließlich durch Oberlichter mit Tageslicht versorgt, sodass keine Sichtbeziehung nach außen gegeben ist.

Die Klassenräume haben einen Außenbezug mit Fenstern entlang der Fassade. Sonderräume wie die Aula haben Tageslichtbezug, sind aber unzureichend versorgt und haben damit keine Aufenthaltsqualität.

Der Flächenanteil mit geringer bis mäßiger Tageslichtversorgung liegt im Erdgeschoss bei ca. 52 % und im Obergeschoss bei ca. 36 %.



Tageslichtberechnung

In den Grundrissflächen ist die potentielle Tageslichtversorgung dargestellt. Unter Berücksichtigung der Raumgeometrien wird nur die Hälfte der Klassenraumfläche ausreichend mit Tageslicht versorgt. In der Konsequenz ist der Einsatz der künstlichen Beleuchtung dauerhaft erforderlich.



Potentiale nach Sanierung

Die Tageslichtversorgung der Klassenräume kann nur bedingt verbessert werden. Die geringe Sturzhöhe, begrenzt durch die Unterkante der Unterzüge, erreicht max. 2,60 m. Räume mit einer Tiefe von ca. 8,0 m können nicht ausreichend versorgt werden. Bei intelligenter Sanierungsplanung kann die Situation bedingt verbessert werden. Im OG können Dachoberlichter die Versorgung mit Tageslicht verbessern.

Eine Verbesserung ist nur mit einer umfangreichen Umplanung der Grundrisse möglich. Bauakustischen Belange wären zusätzlich zu berücksichtigen.

Visuelle Qualitäten



Künstliche Beleuchtung

Die Klassenräume sind gemäß Empfehlung mit einer ausreichenden Anzahl an Leuchtenreihen ausgestattet. Die Deckengeometrie und der geringe Abstand der Unterkante der Leuchten zum Raum lassen keine homogene Ausleuchtung zu. Die erforderliche Beleuchtungsstärke von 300 lx wird nur an wenigen Stellen im Raum erreicht. Die notwendige Ausleuchtung der Tafel mit 500 lx ist nicht gegeben.



Potentiale nach Sanierung

Durch eine Sanierung kann die Versorgung mit Kunstlicht entscheidend verbessert werden. Durch den Einsatz von hocheffizienten LED-Leuchten kann die Beleuchtungsstärke erhöht werden bei annähernd gleicher Anschlussleistung. Die Leuchten sollten einen geringen Anteil indirekt an die Decke leuchten um den Raumeindruck insgesamt heller zu gestalten. Zusätzlich sollten alle Wand- und Deckenflächen weiß gestrichen werden, um die Reflexion zu erhöhen. Es wird empfohlen im Bereich eine Tafel eine zusätzliche Leuchte außerhalb der Leuchten-Reihen zu installieren um eine gezielte, gleichmäßige, vertikale Ausleuchtung sicherzustellen. Der Stromverbrauch wird trotz LED-Technik nicht signifikant zurückgehen können.

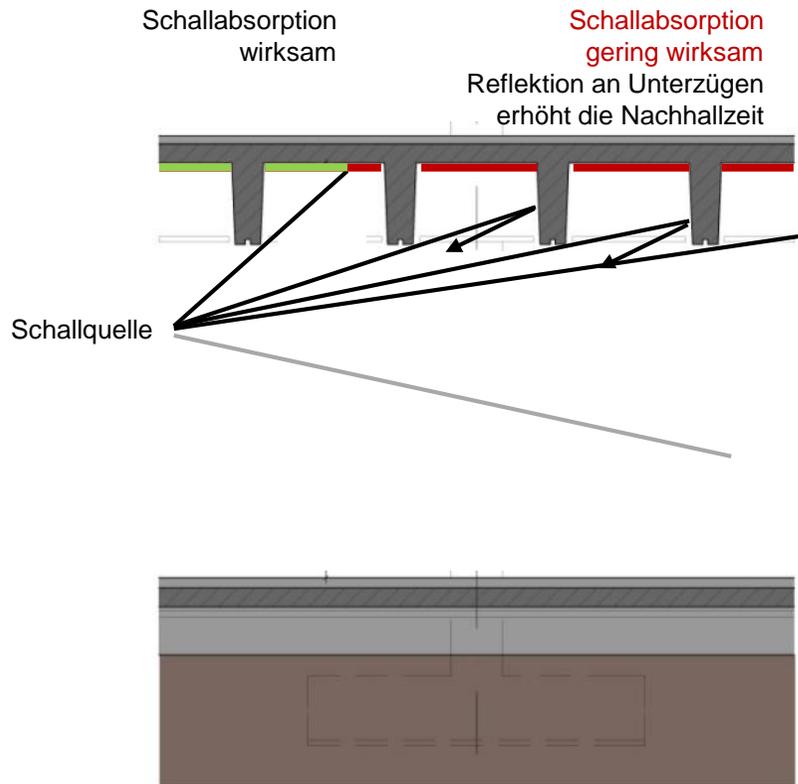
Um das Defizit im Bereich der Tageslichtversorgung auszugleichen sollten die Leuchtenreihen undabhängig voneinander schaltbar und dimmbar sein. Die künstliche Beleuchtung kann auf diese Weise das Tageslicht sinnvoll ergänzen um eine gleichmäßige Beleuchtung im Raum sicherzustellen.

VII. Nutzungsqualitäten Raumakustik der üblichen Klassenräume

Raumakustische Qualitäten

Erwartete Nachhallzeit 0,9 bis 1,0 sec. gemäß Abschätzung

Die empfohlene Nachhallzeit für Klassenräume 0.5 bis 0,6 sec. kann nicht erreicht werden.



Beispielfoto



Geschossdecke
mit Tektalan zur
Schallabsorption

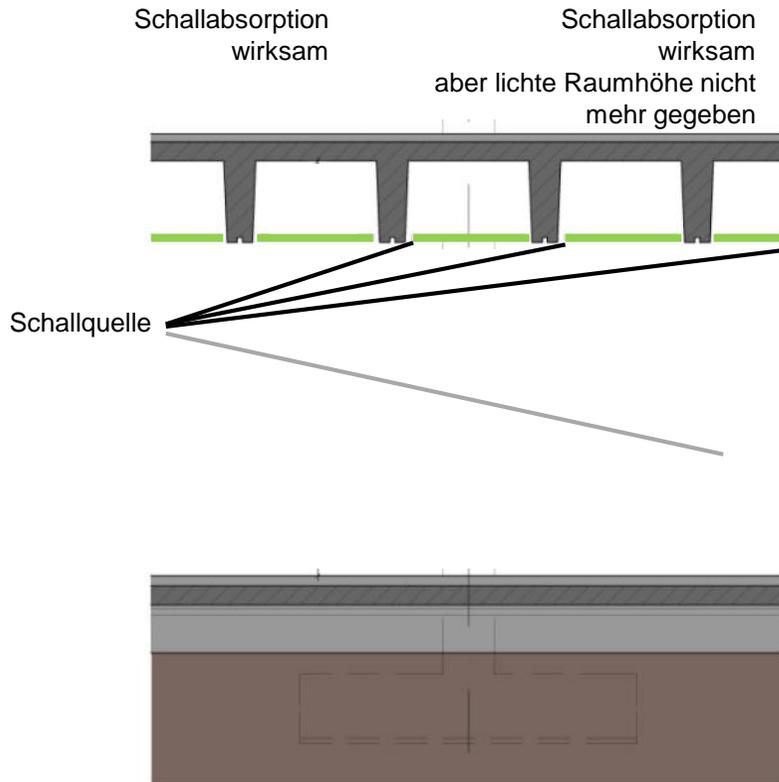
Stahlbeton-
unterzüge
Höhe ca. 65 cm

Raumakustische Qualitäten

Erwartete Nachhallzeit 0,6 bis 0,7 sec. gemäß Abschätzung

Die empfohlene Nachhallzeit für Klassenräume 0.5 bis 0,6 sec. kann erreicht werden.

Nachteilig ist die geringe Deckenhöhe.



Beispielfoto



Bau- und Raumakustik

Beurteilung nach DIN 4109

Trittschall (Bewerteter Normtrittschallpegel $L'_{n,w,R}$)

1. Anforderung: Mindestanforderung nach DIN 4109

- Decke zwischen EG und OG 44,8 dB < 53 dB ✓
- Regelgeschoss (horizontal) 50,8 dB < 53 dB ✓
- Regegeschoss (vertikal/diagonal) 55,8 dB > 53 dB ✗

2. Anforderung: laute Räume nach DIN 4109

- Decke zwischen EG und OG 44,8 dB < 46 dB ✓
- Regelgeschoss (horizontal) 50,8 dB > 46 dB ✗
- Regegeschoss (vertikal/diagonal) 55,8 dB > 46 dB ✗

Luftschall (bewertetes Schalldämmmaß $R'_{w,R}$)

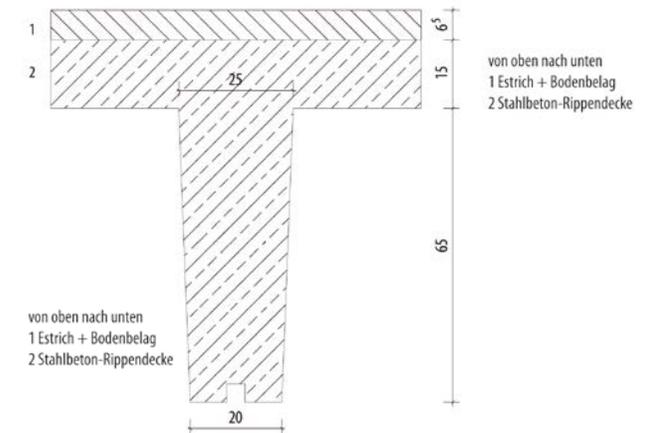
1. Anforderung: Mindestanforderung nach DIN 4109

- Regelgeschoss 54,6 dB = 55 dB ✗

2. Anforderung: laute Räume nach DIN 4109

- Regelgeschoss 54,6 dB = 55 dB ✗

Rippendecke zwischen EG und OG



Akustische Qualitäten



Trittschalldämmung nach DIN 4109

- Die Anforderungen an den bewerteten Normtrittschallpegel nach DIN 4109 werden nur z.T. eingehalten.
- Eine Verbesserung der Trittschalldämmung durch eine Sanierung ist nur durch eine federnde Auflage z.B. Teppich möglich.



Luftschall nach DIN 4109

- Die Mindestanforderungen an den Luftschall (bewertetes Schalldämmmaß) werden knapp verfehlt.
- Eine Verbesserung durch Sanierung ist nur bedingt möglich.
- Der gemäß UBA Richtlinie empfohlene erhöhte Schallschutz kann nicht erreicht werden.



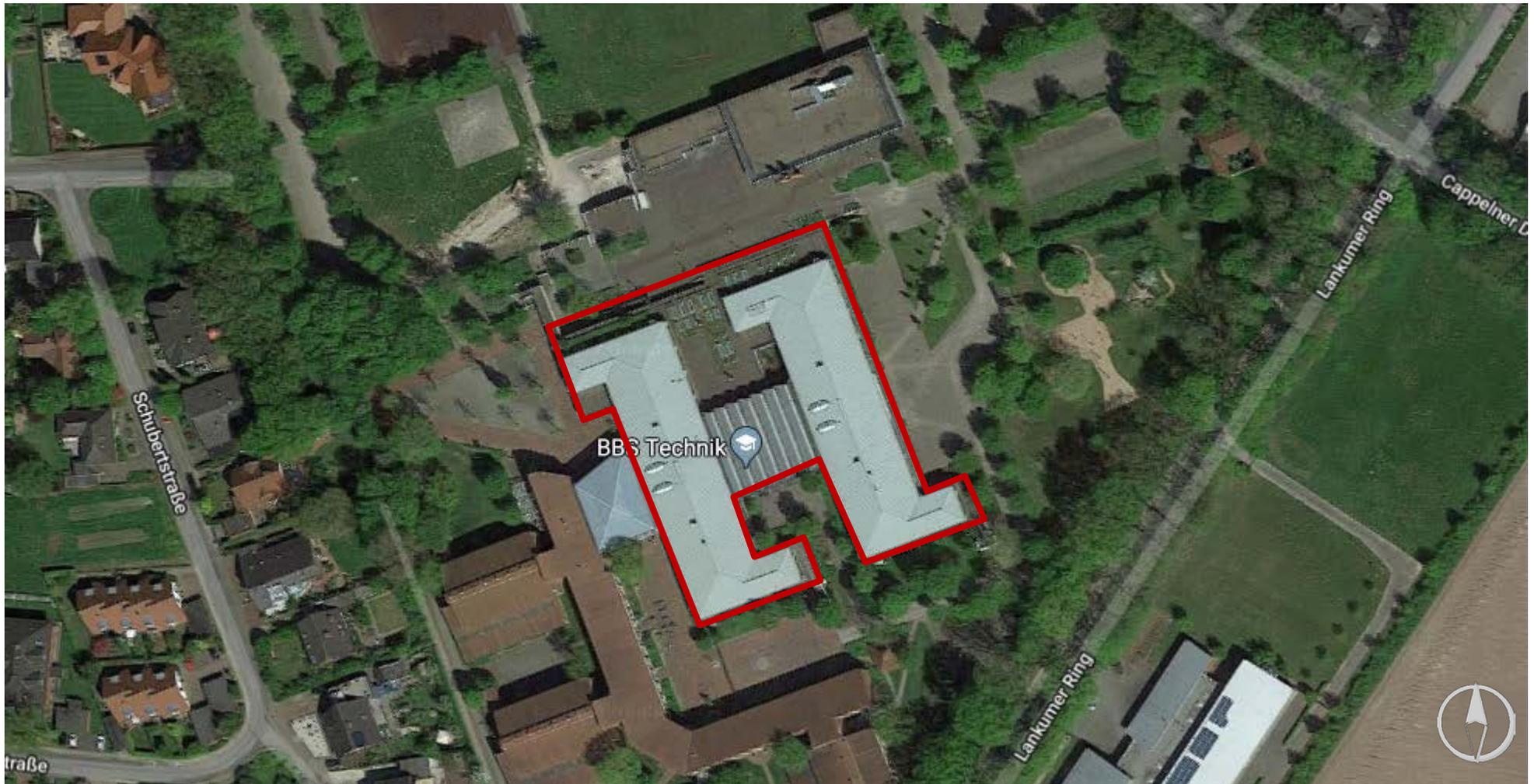
Raumakustik nach DIN 4109

Die raumakustischen Qualitäten entsprechen rechnerisch nicht den Anforderungen an Schulgebäude. Die Sprachverständlichkeit ist eingeschränkt.

Bedingt durch die Deckenkonstruktion ist eine Verbesserung nicht oder nur sehr bedingt möglich.

Eine akustisch wirksame Abhangdecke auf Höhe Unterkante Unterzug würde die lichte Raumhöhe auf 2,64 (EG) bzw. 2,52m (OG) verringern.

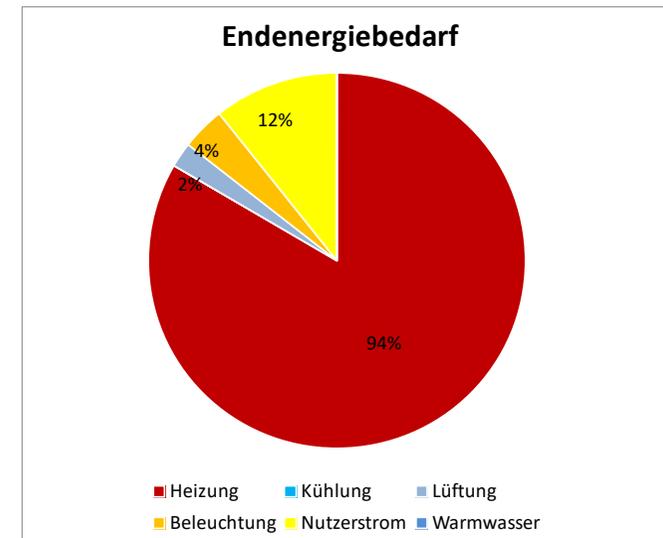
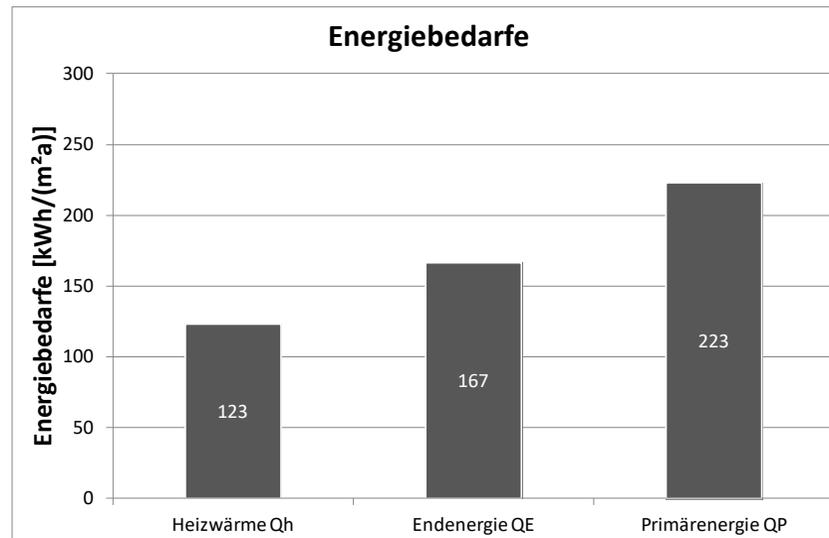
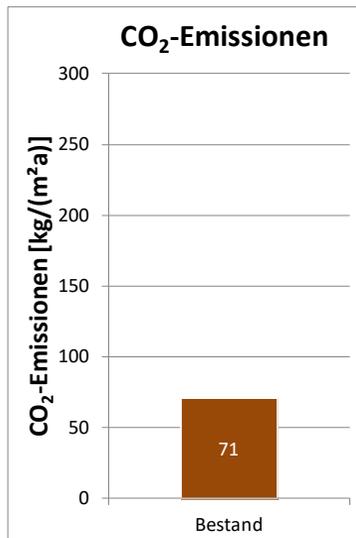
3. Sanierungsvarianten



Energiebedarf nach DIN V 18599 | Bestand

Randbedingungen

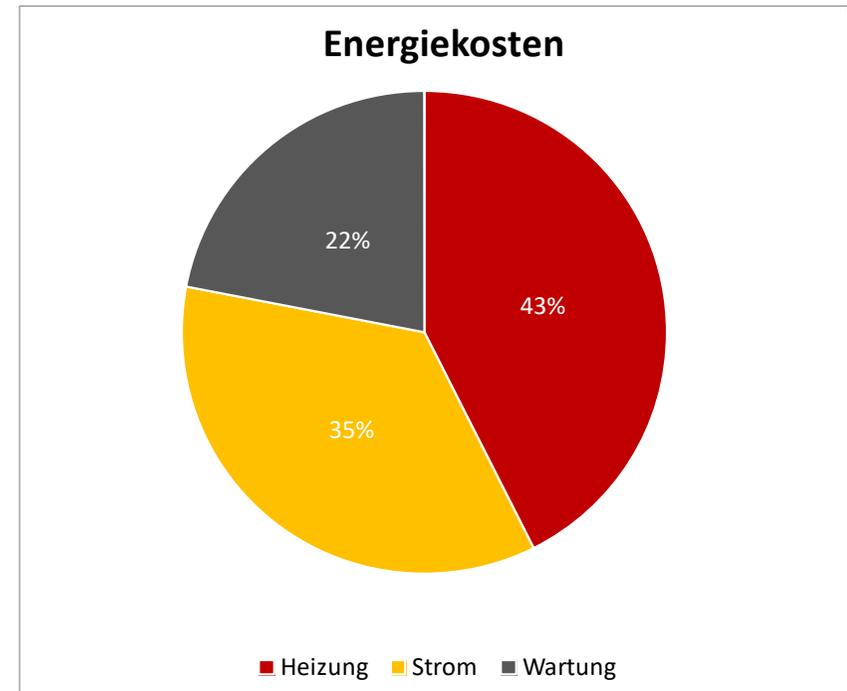
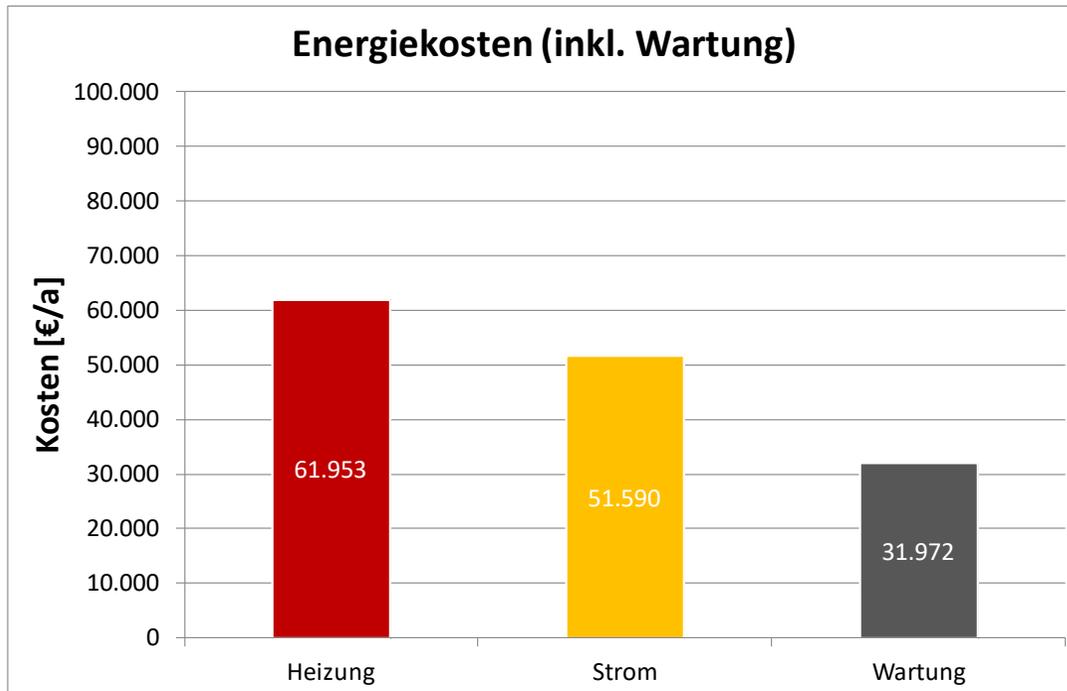
- Nahwärme aus Heizwerk (fossil), Primärenergiefaktor $f_p = 1,30$
- Keine Warmwasserbereitung/ keine Gebäudekühlung
- Eingabe im Programm Energieberater von Hottgenroth nach DIN V 18599
- Nutzung: Schulgebäude, Annahme Nutzerstrom: 20 kWh/(m²a)
- Lüftungsanlage ohne WRG für innenliegende Räume, Betriebszeit Lüftungsanlage 13 h
- Nutzungszeit Klassenräume 200 h, Nutzungsdauer 7 h/Tag (Standardrandbedingung)
- Nutzungszeit übrige Räume 250 h, Nutzungsdauer 11 h/Tag (Standardrandbedingung)
- Flächenbezug Nettogeschossfläche (NGF) mit 8.645 m²



Energiekosten | Bestand

Randbedingungen

- spez. Energiekosten aus Energiebericht 2015:
 - Heizung 4,6 Cent/kWh
 - Strom 19,3 Cent/kWh
- absolute Werte aus Energiebedarfsberechnung



Sanierungsvarianten

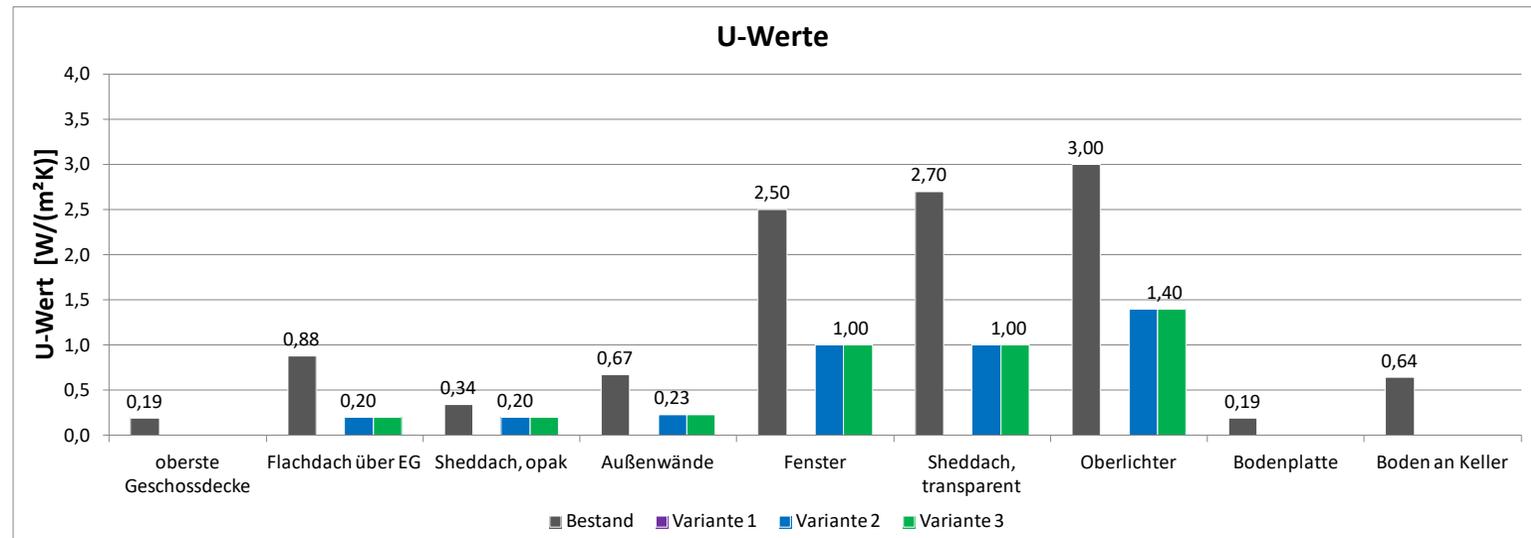
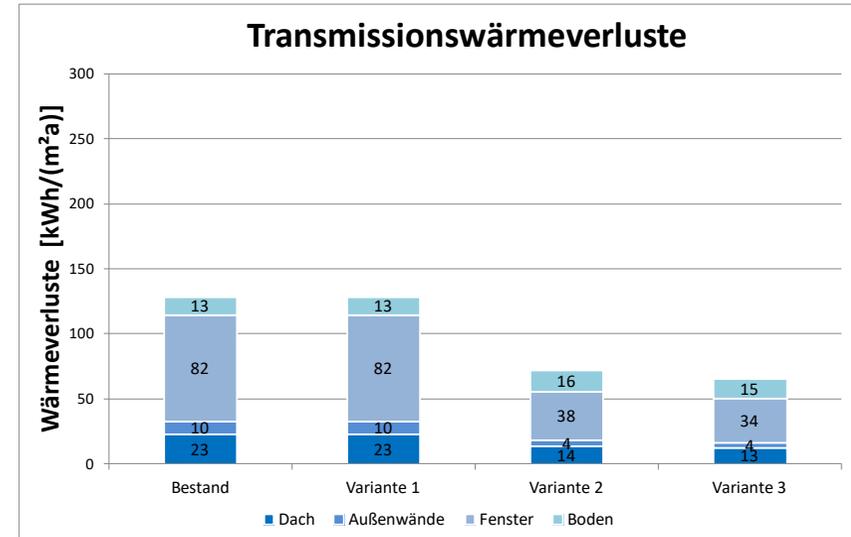
	Erneuerung der Raumlufotechnischen Anlagen (Zu- und Abluft mit WRG)	Austausch der Fenster/ Fassaden (inkl. Brüstungspaneel) ($U_{CW} < 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)	Dämmung der Decke über EG (Balkone/ Rettungswege) (10 cm, WLG 032)	Dämmung der Außenwände (14 cm, WLG 032)	Reduzierung der Wärmebrücken ($U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)
Variante A.1	x				
Variante A.2	x	x	x	x	
Variante A.3	x	x	x	x	x

3. Sanierungsvarianten Qualität der Gebäudehülle

Varianten | Gebäudehülle

- Variante 1 Erneuerung der Lüftungsanlage (mit WRG)
- Variante 2 + Austausch der Fenster/ Fassade, Dämmung der Außenbauteile
- Variante 3 + Reduzierung der Wärmebrücken

→ Reduzierung der Transmissionswärmeverluste um knapp 40 % möglich!

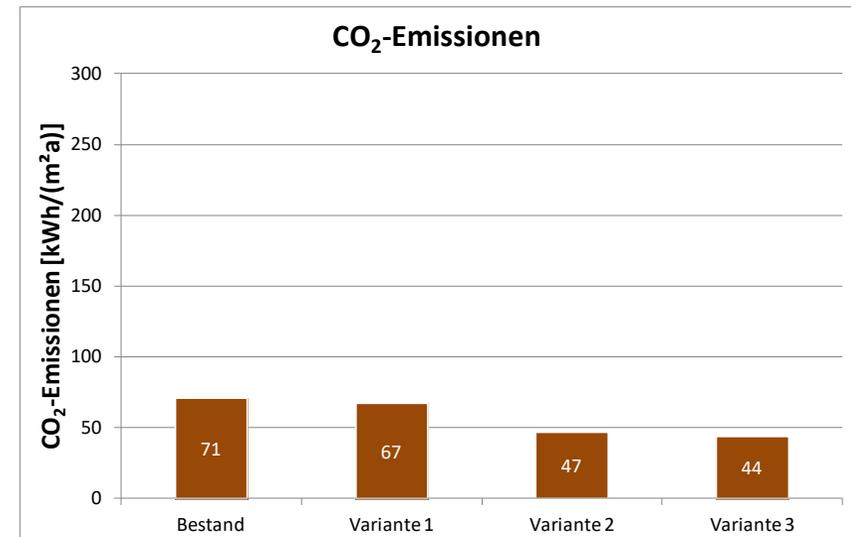
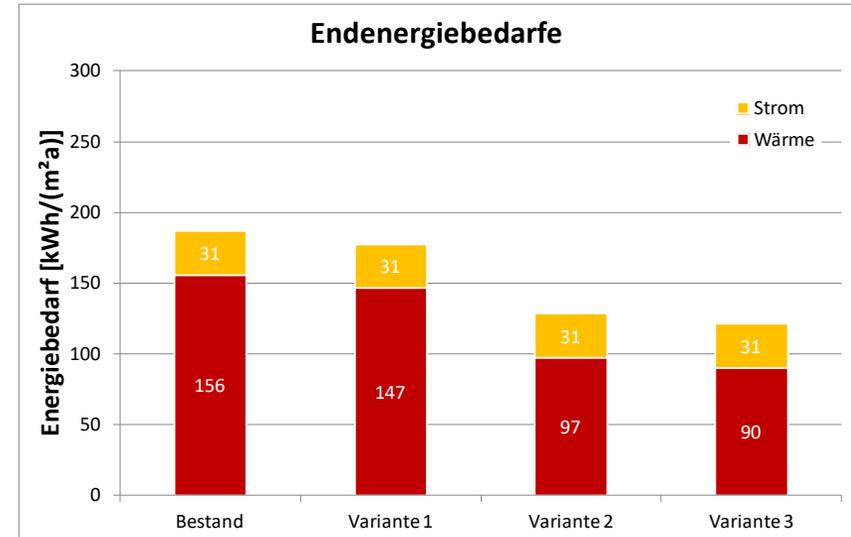


3. Sanierungsvarianten Endenergiebedarf und CO₂-Emissionen

Varianten | Bedarfe

- Variante 1 Erneuerung der Lüftungsanlage (mit WRG)
- Variante 2 + Austausch der Fenster, Dämmung der Außenbauteile
- Variante 3 + Reduzierung der Wärmebrücken

→ Reduzierung des Endenergiebedarfs um knapp 40 % möglich!



Verbrauchskennwerte Endenergie für die gesamte Schule

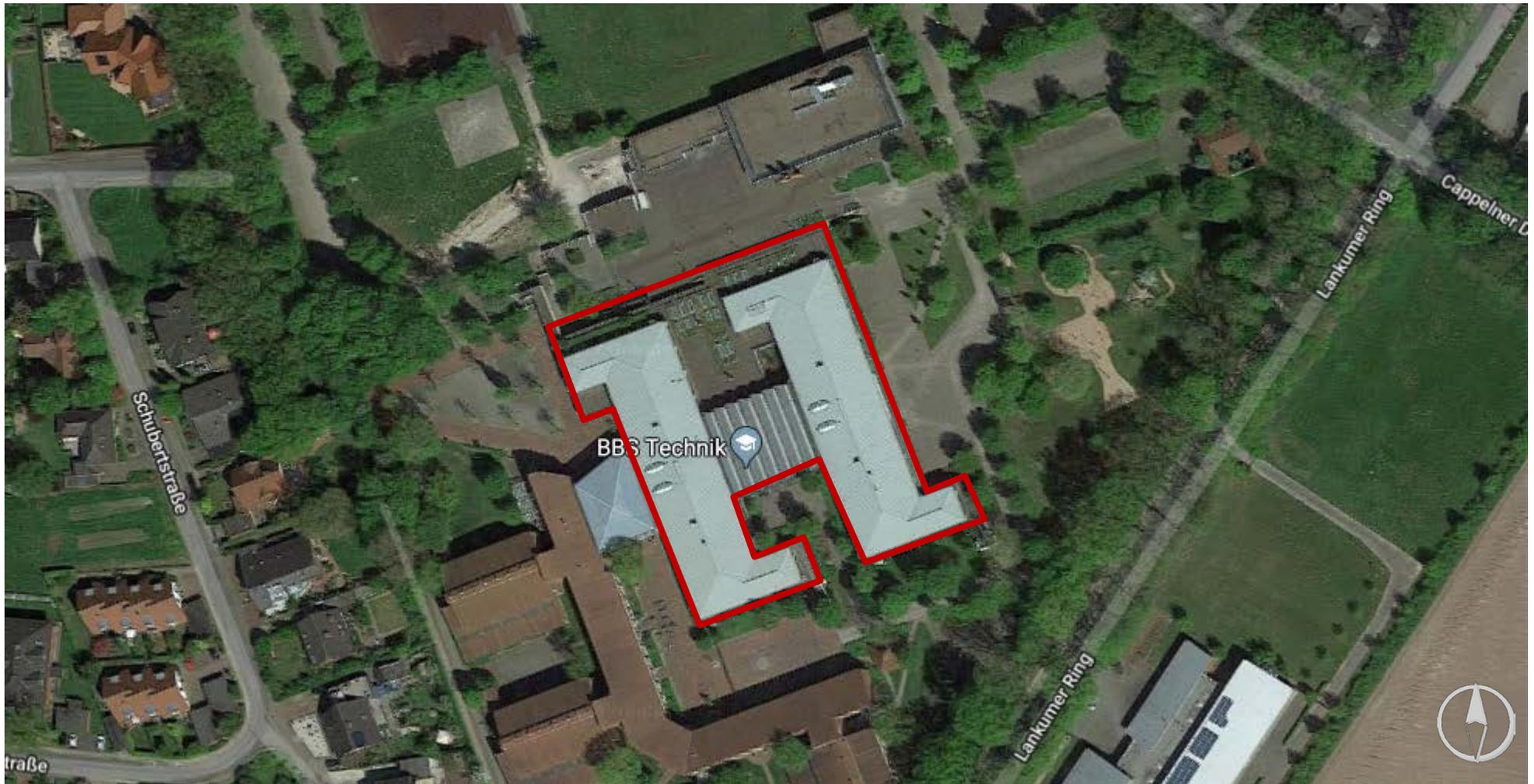
(Quelle: EWE Energiebericht 2015, Stand März 2017)

Jahr	Kennwert Heizenergieverbrauch [kWh/m ² NGF · a]	Kennwert Stromverbrauch [kWh/m ² NGF · a]
2014	109	20
2015	97	19
2016	107	19

Vergleichskennwerte Endenergie

Quelle	Anmerkung	Vergleichskennwert Heizenergieverbrauch [kWh/m ² NGF · a]	Vergleichskennwert Stromverbrauch [kWh/m ² NGF · a]
EWE Energiebericht (2017)	Berufsbildende Schulen BWKZ 4200, berechnet nach EnEV	83	20
VDI 3807-2 (2014)	Mittelwerte für Berufsschulen in Deutschland, Datenbasis 2003-2005	94	11
BMWi und BMUB (2015) – Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand	Berufsbildende Schulen BWKZ 4200	80	20
GASS-Ganzheitliche Sanierung von Schulen (2009)	Grundschule Wolfsburg, Bj. 1974-1996	143	15,5
	Gymnasium Hildesheim, Bj. 1950-1970	152,1	16,5
	Grundschule Hamburg, Bj. 1960-1962	177,3	7,3
IWU Institut für Wohnen und Umwelt (2012)	Berufsschule Frankfurt am Main, Bj. 1976-1981, Datenbasis 2006-2009	193	82

4. Ökobilanzierung



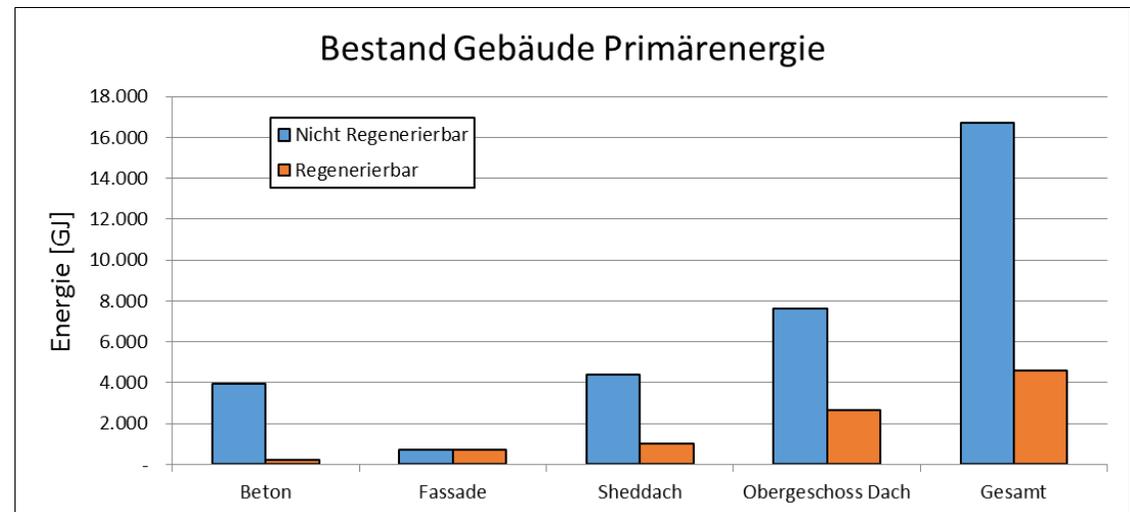
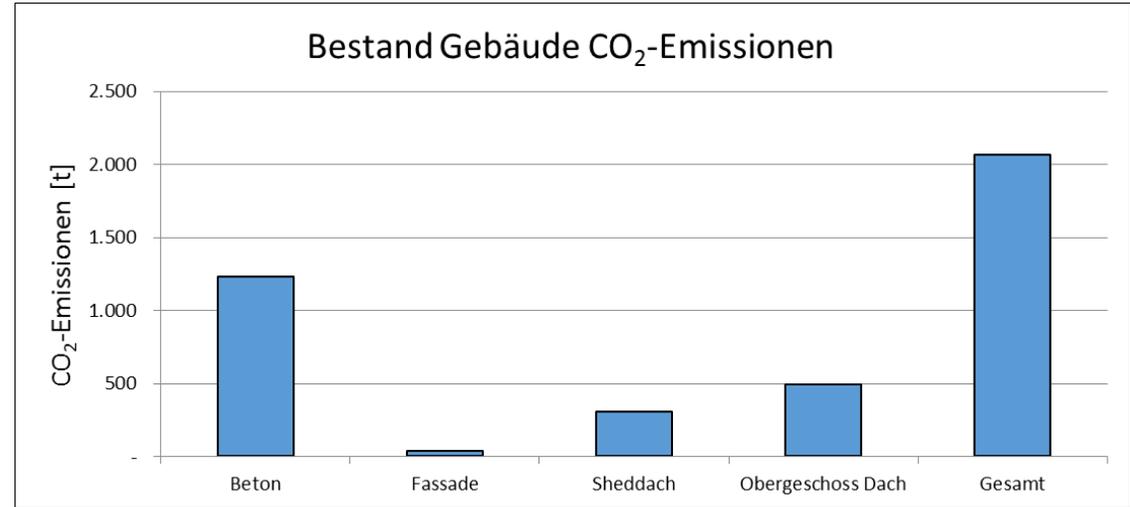
Bewertung der grauen Energie im Lebenszyklus

Dargestellt ist die im Bestand gebundene Primärenergie und die aus der Herstellung resultierende CO₂ Emissionen.
Grundlage der Daten: ÖKO-Baudat

In der Berechnung werden ausschließlich die massiven Bauteil (Decken und Wände) und die Fassaden berücksichtigt.

Varianten

- I. Bestand
- II. Rückbau und Sanierung
- III. Abbruch und Neubau



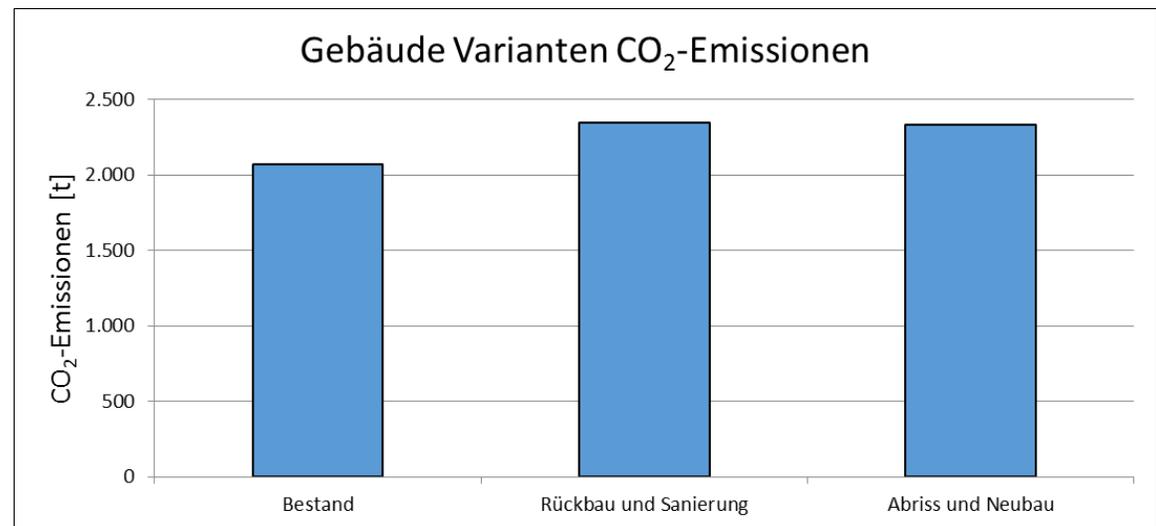
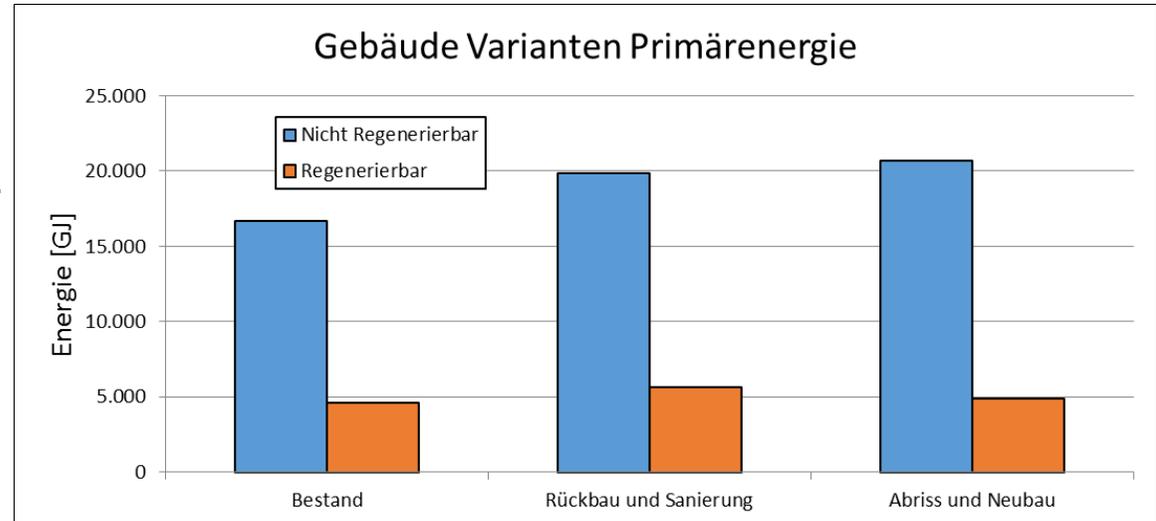
Bewertung der grauen Energie im Lebenszyklus

Die Grafik zeigt die im Bestand gebundene Primärenergie und die durch die Sanierung bzw. den Ersatzneubau resultierenden Emissionen. Für den Neubauvergleich konnte die selbst erstellte Ökobilanz einer Referenzschule mit 7.800 m² (Baujahr 2015) genutzt werden. Das Referenzgebäude unterschreitet die Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2009 um 20%. Das Gebäude ist nach DGNB Silber zertifiziert.

Varianten

- I. Bestand
- II. Rückbau und Sanierung
- III. Abbruch und Neubau

Hinweis: Die Neubaufäche ist um 20% geringer als die Fläche des Bestand. Die Verringerung unterstellt eine höhere Flächeneffizienz eines Neubaus.



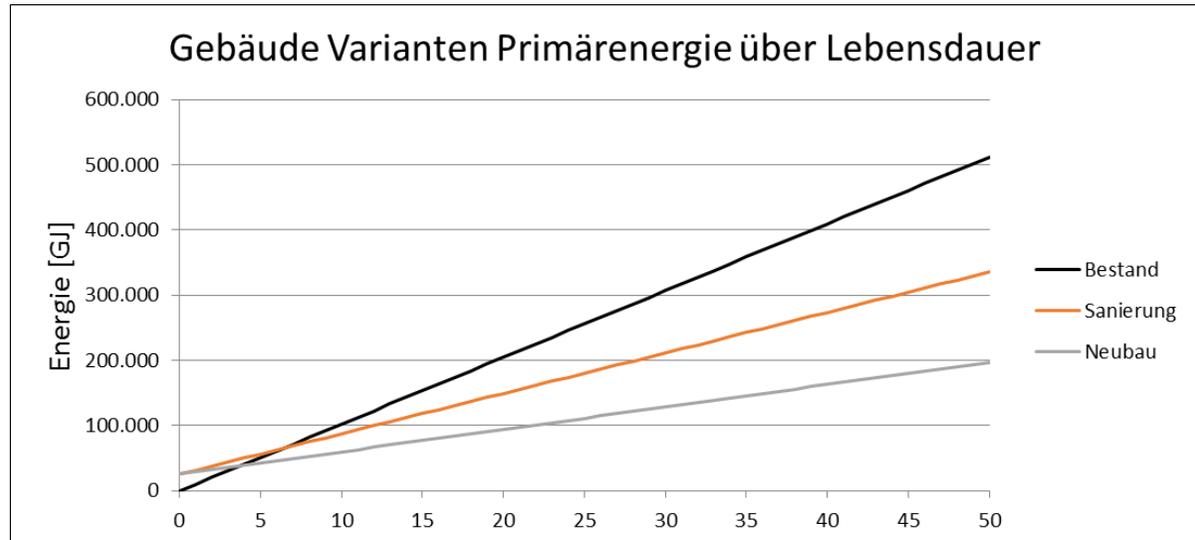
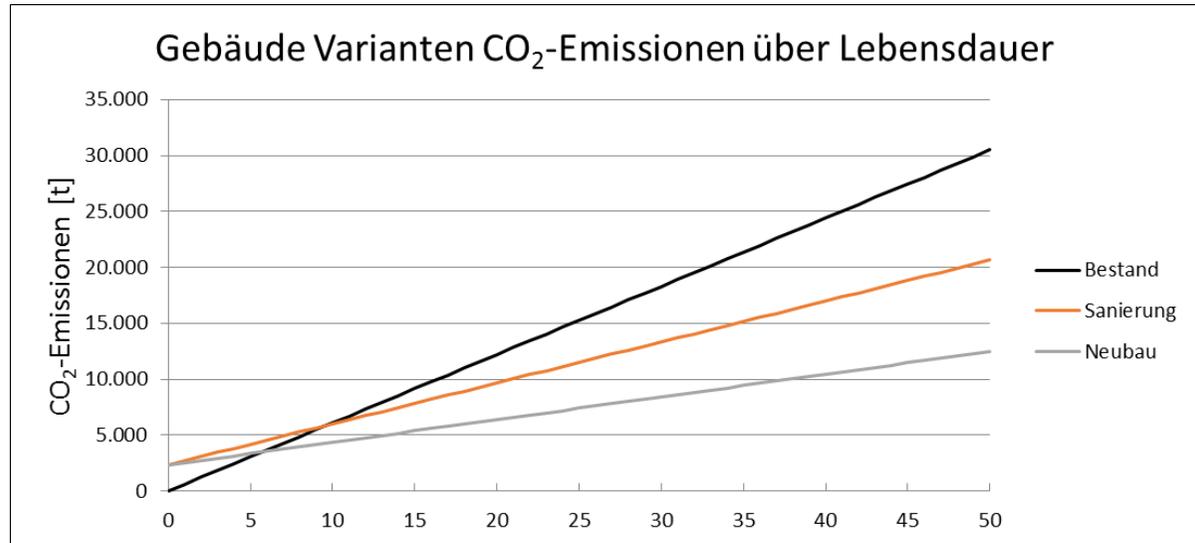
Bewertung der grauen Energie im Lebenszyklus

Die Darstellung im Lebenszyklus zeigt, dass sich die Aufwendungen für einen Neubau nach wenigen Jahren amortisieren. Das Ergebnis wird rechnerisch positiv durch den massiven Einsatz von Beton im Bestandsgebäude beeinflusst. Die Vergleichsrechnung im Referenzgebäude geht von einer nachhaltig gewählten Konstruktion und einem effizienten Ressourceneinsatz aus.

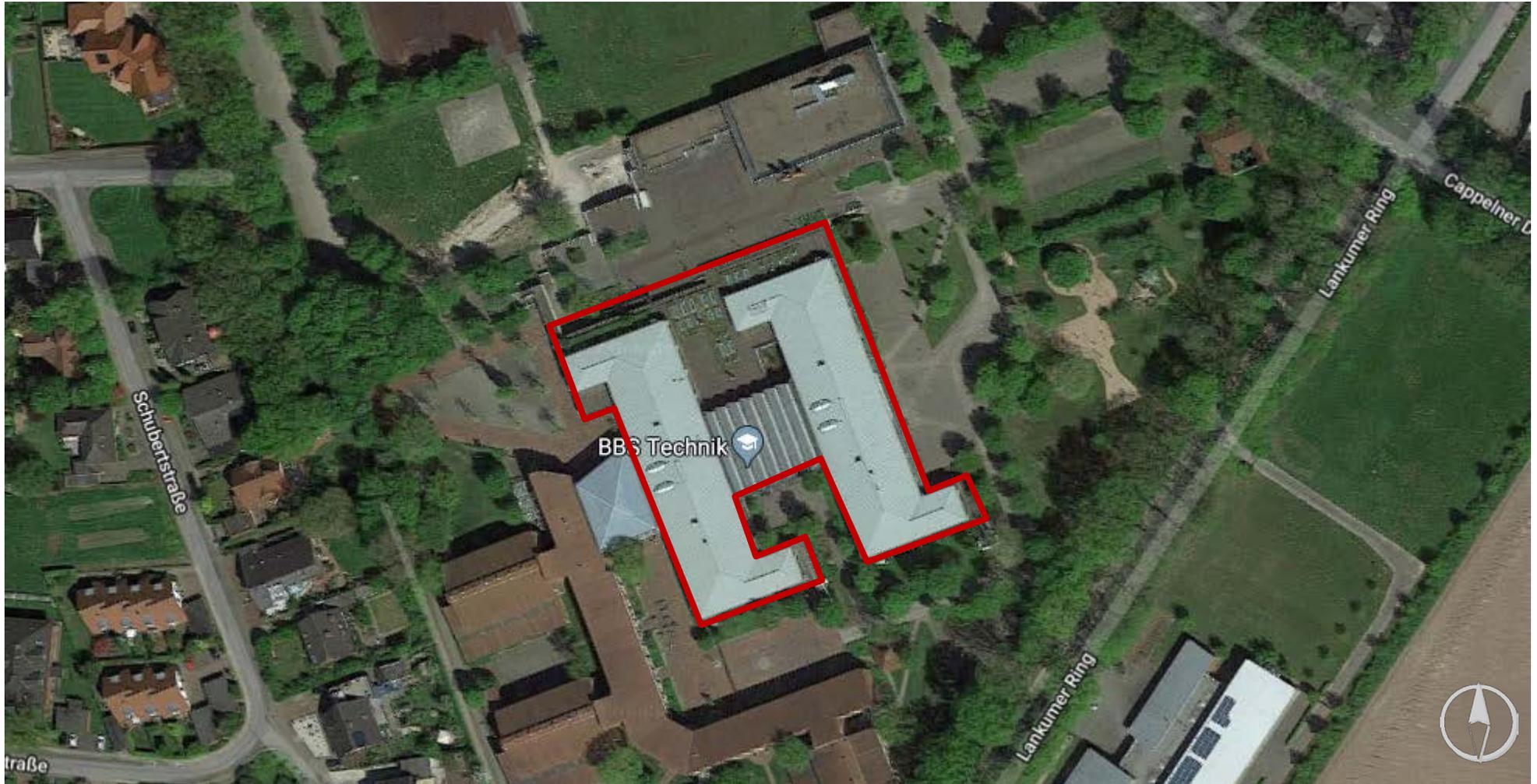
Varianten

- I. Bestand
- II. Rückbau und Sanierung
- III. Abbruch und Neubau

Hinweis: Die Neubaufäche ist um 20% geringer als die Fläche des Bestand. Die Verringerung unterstellt eine höhere Flächeneffizienz eines Neubaus.



5. Wirtschaftlichkeit



5. Wirtschaftlichkeit Energiekosten über den Betrachtungszeitraum von 50a

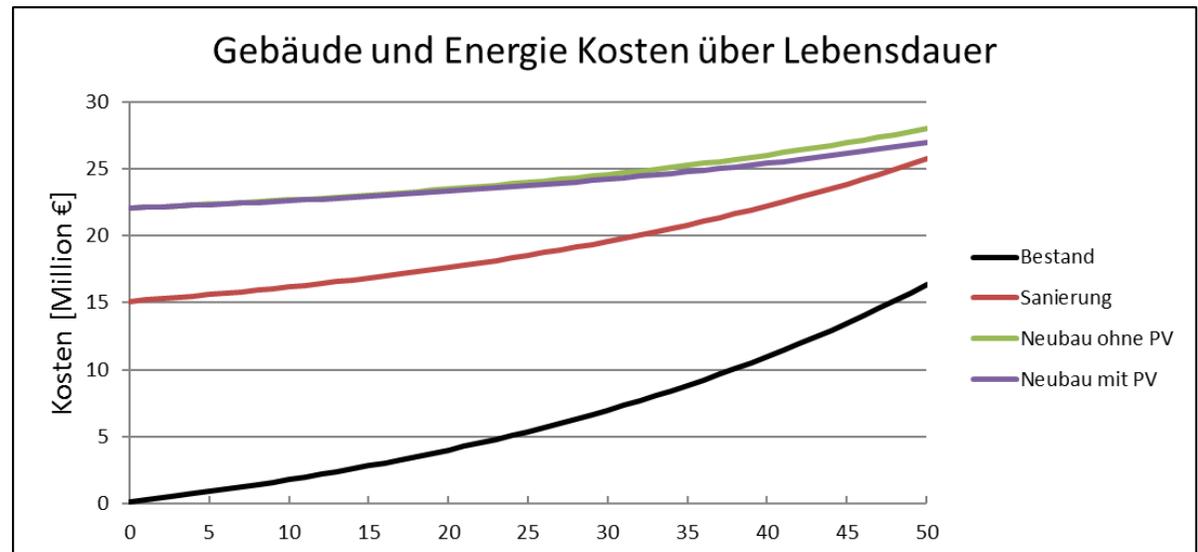
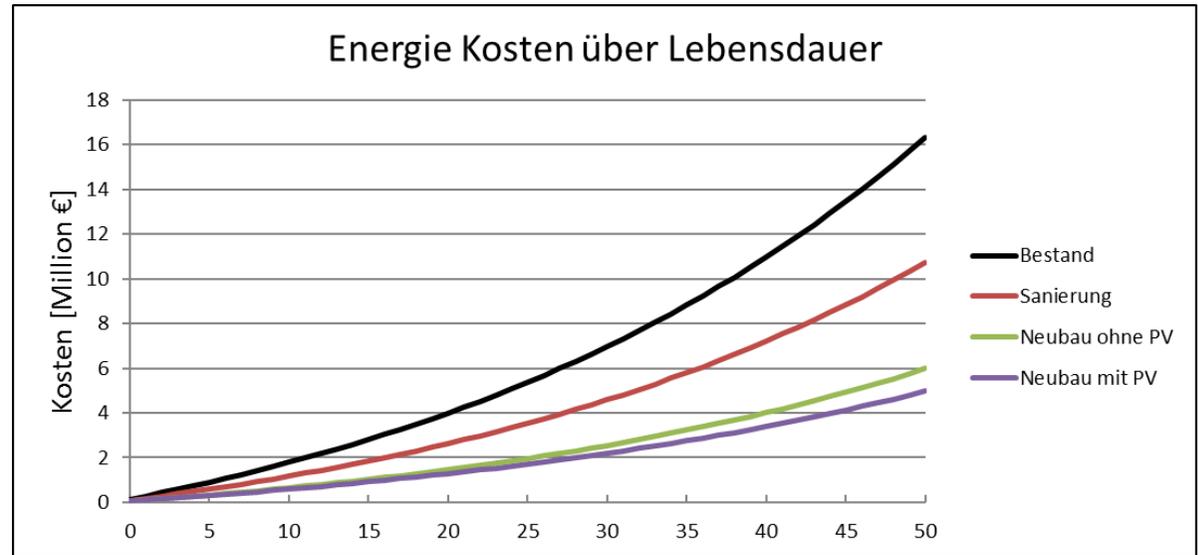
Energiekosten für folgende Varianten

- I. Bestand
- II. Rückbau und Sanierung
- III. Abbruch und Neubau ohne PV
- IV. Abbruch und Neubau mit PV

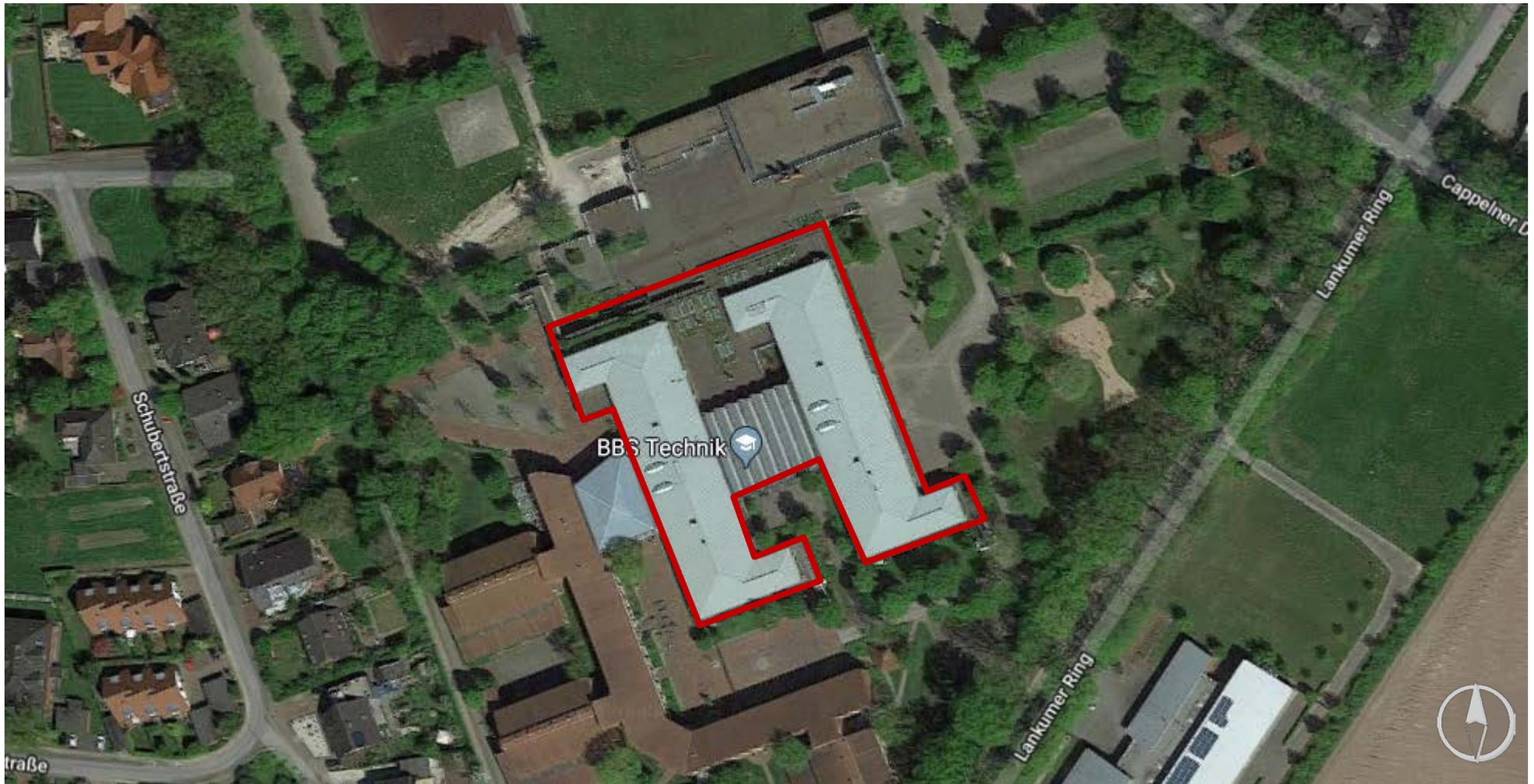
Die Grafik zeigt dass nach 50a unter Berücksichtigung einer Energiepreissteigerung von 3% pro Jahr zwischen Bestandssanierung und Ersatzneubau knapp 5 Mio. € mehr an Energiekosten aufgewendet werden müssen. Die Differenz würde sich durch die Integration von Photovoltaik mit Eigenstromnutzung noch erhöhen.

Allein aufgrund der Energiekostenersparnis ist der Neubau nicht günstiger als die Sanierung.

Hinweis: Die Neubaufläche ist um 20% geringer als die Fläche des Bestand. Die Verringerung unterstellt eine höhere Flächeneffizienz eines Neubaus.



6. Zusammenfassung und Empfehlung



6. Zusammenfassung und Empfehlung Matrix zur Gesamtbewertung

	Ist-Zustand	Sanierungspotential	Sanierungsaufwand
Energiebedarf	Yellow	Green	→↓ Green
Flächeneffizienz/ Kompaktheit	Red	-	-
Flexibilität / lichte Raumhöhe	Red	Red	↑↑ Red
Wärmeverluste	Yellow	Green	nicht wirt- schaftl. Yellow
Wärmebrücken	Yellow	Yellow	↑↑ Red
Sommerlicher Wärmeschutz	Red	Green	Green
Ökobilanz und Lebenszyklus		Green	hohe Kosten Yellow
Tageslichtversorgung	Yellow	Red	Yellow
Künstliche Beleuchtung	Red	Green	Green
Raum- und Bauakustik	Red	Yellow	Yellow
Kosten	-	Yellow	Red

Ein Sanierungspotential ist vorhanden. Allerdings kann eine verbesserte Aufenthalts- sowie Lehr- und Lernqualität nur mit massiven Eingriffen (Herausnehmen von Deckenfeldern/ Lichthöfe/ neue Grundrissgeometrie) erreicht werden. Es besteht ein Risiken hinsichtlich der Schadstoffbefunde und der notwendigen -sanierung. Das Gebäude muss in den Rohbauzustand versetzt und alle technischen Anlagen müssen erneuert werden. Der Aufwand wird insgesamt als hocheingestuft.

7. Zusammenfassung und Empfehlung

Zusammenfassende Bewertung

- Eine Sanierung der Schule ist mit erheblichem Umbauaufwand möglich. Durch eine Erweiterung könnten Räume mit uneingeschränkter Nutzung entstehen. Die statischen Voraussetzungen werden unterstellt.
- Die Verbesserung der geringen Flächeneffizienz ist nur eingeschränkt möglich, da der Anteil der Verkehrsflächen hoch bleiben wird. Durch die Schaffung von Lufträumen kann im Zusammenhang mit einer grundlegenden grundrisstechnischen Neustrukturierung eine größere Flexibilität erreicht werden. Die geschossübergreifende Durchlässigkeit könnte erhöht werden.
Mögliches Konzept: Gruppenräume im Bereich niedriger Raumhöhen, Klassenräume in der Erweiterung
- Klassenräume ohne Außenbezug entsprechen nicht dem aktuellen Bild von einem kreativen und motivierenden Lehr- und Lernumfeld, weder für Schüler noch für Lehrer. Nutzungsanpassungen wären bei Sanierung erforderlich.
- Das Risiko der Schadstoffbelastung wird latent bleiben. Die Kosten sind nur schwer kalkulierbar, was den Planungsprozess dauerhaft und während des gesamten Prozesses einer Sanierung belasten wird.
- Eine Verbesserung der soziokulturellen Qualitäten (Thermischer Komfort/ Luftqualität/ Tageslicht/ Akustik/ Raumnutzung etc.) ist nur sehr eingeschränkt möglich. Grundlegende Einschnitte in die Strukturen sowie Geschossdecken und Dächer wären erforderlich.
- Die energetische Sanierung wird zur Verringerung des Energieverbrauchs führen.
Das Potential liegt bei ca. 35-40%.
- Die Verbesserung der Energieeffizienz ist verbunden mit einem Totalaustausch der Anlagentechnik (Heizung/ Lüftung/ Sanitär/ Elektro).
- Die Sanierung setzt die Erneuerung der Fassaden und nur gemäß Mindestwärmeschutz gedämmten Bauteile voraus.
- Eine Reduzierung der Wärmebrücken ist möglich. Bezogen auf die Gesamtbewertung des Gebäudes liegen die Defizite primär im Bereich einer mangelnden Aufenthaltsqualität und nicht im Bereich des Energieverbrauchs.

Empfehlung

Das Potential zur Sanierung wird gesehen, erfordert aber einen sehr erheblichen Eingriff in den Bestand und die Struktur des Gebäudes. Ohne grundsätzliche Erweiterung und Umbau der Schule werden viele Kompromisse dazu führen, dass im Ergebnis die an eine moderne Schule gestellten Anforderungen nur schwer werden erreicht werden können. U.a. aufgrund des massiven Problems einer nicht akzeptablen Raumhöhe und der unbefriedigenden Tageslichtversorgung wird empfohlen das Schulgebäude durch einen flächeneffizienten Neubau zu ersetzen. Selbst bei einer Berücksichtigung der Grauen Energie überwiegen die Vorteile für einen modernen Neubau.

Die Ansprüche an moderne Bildungsstätten haben sich in den letzten Jahren massiv geändert. Neue Unterrichtsformate und der Bedarf an hochwertig ausgebildetem Handwerker sollten im Ausdruck des Schulgebäudes und seiner Ausstattung eine Entsprechung finden, die in einem auf der Basis umfangreicher Bedarfsanalysen, definiert werden.