BERICHT

Projekt **Hans-Edelmann-Schule, integriertes Energiekonzept**

Kontakt Ebert-Ingenieure
Marienbergstraße 84
90411 Nürnberg
Markus Faigl/mf
Telefon +49 911 9522-168
Fax +49 911 9522-100
E-Mail m.faigl@eb-ing.com
Vorgang 257778

Titel **Integriertes Energiekonzept**

Auftraggeber Stadt Kulmbach
Herrn Ralf Baumann
Oberhacken 28
95326 Kulmbach

Projektnr. E324

Stand 02. Dezember 2009

FREIGABE

erstellt	i.A. Andreas Huber Andreas Huber
erstellt	i.A. Pamela Riller
erstellt	i.A. M. Faigl Markus Faigl
erstellt und geprüft	i.A. Uwe Seidel

INHALTSVERZEICHNIS

1 Ausgangssituation 5
2 Datengrundlage 5
3 Energetische Bewertung des Istzustandes 6
3.1 Allgemein 6
Auswertung der Energieverbrauchsdaten 8
3.1.1 Wärmeverbrauch 8
3.1.2 Stromverbrauch 9
3.1.3 Energetische Bewertung der Gebäude 10
3.2 Baulicher Zustand 16
3.2.1 Übersicht der Energetischen Qualität der Gebäudehülle Schulgebäude 16
3.2.2 Übersicht der Energetischen Qualität der Gebäudehülle Sporthalle 16
3.3 Bewertung Anlagentechnik 17
3.3.1 Schulgebäude 17
3.3.2 Turnhalle 20
3.3.3 Optimierungsmaßnahmen Anlagentechnik 22
3.4 Berechnung des energetischen Istzustandes gemäß EnEV 24
3.4.1 Energiebedarfsberechnung Schulgebäude 24
3.4.2 Nutzungszonen 28
3.5 Erläuterung Differenz Bedarfswert zu Verbrauchswerten 29
4 Variantenanalyse Gebäudehülle 30
4.1 EnEV 2009 30
4.2 EnEV 2009 minus 15 % 31
4.3 Fazit 32
5 Variantenanalyse Energieversorgungssysteme 33
5.1 Energieversorgungsvarianten 33
5.2 Zentrale Energieerzeugung zur Variantebetrachtung 34
5.3 Variante 1 – Gaskesselanlage mit Solar für Brauchwassererwärmung 35
5.4 Variante 2 – Wärmepumpentechnik 36
5.4.1 Geologische Ergiebigkeit des Standortes 37
5.4.2 Wärmepumpentechnik: 39
5.5 Variante 3 und 4 – Biomassefeuerung 41
6 Wirtschaftlichkeitsberechnung 44
6.1 Investitionen 45
6.2 Jährliche Kosten 45
6.2.1 Kapitalgebundene Kosten 45
6.2.2 Verbrauchsgebundene Kosten 46
6.2.3 Betriebsgebundene Kosten 46
6.2.4 Sonstige Kosten 47
6.3 Kosten - Erlösevergleich 47

6.4 Amortisationszeiten 47
6.4.1 Kapitalrückflussdauer 47

7 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 48
7.1 Investitionen 48
7.2 Jahreskosten der Varianten 49
7.3 Wärmegestehungspreis....50
7.4 Amortisation....51

8 Sensitivitätsanalyse 52
9 Umweltbilanz 55
9.1 CO_2-Emissionen der Energieversorgungsvarianten (Wärmeerzeugung) 55
9.2 Vergleich CO_2-Emissionen zum Bestand (Wärmeerzeugung)....56
9.3 Vergleich CO_2-Emissionen zum Bestand (Gesamt: Wärme + Strom) 58

10 Darstellung eines Controllingkonzeptes 60
11 Zusammenfassung 63
12 Anlage 63

1 Ausgangssituation

Die Stadt Kulmbach beabsichtigt die Hans-Edelmann-Volksschule aufgrund der sich permanent verschlechternden Klimaszenarien und die Preissteigerung durch Verknappung der fossilen Energieträger zu sanieren. Dazu soll ein integriertes Energiekonzept zur baulichen und anlagentechnischen Sanierung erstellt werden. Hierbei soll auf mehr Energieeffizienz und erhöhten Einsatz erneuerbarer Energieträger gesetzt werden. Im Rahmen dieses integrierten Energiekonzepts sind mehrere Varianten zu untersuchen. Eine Förderung dieser Studie wurde über das Bundesumweltministerium „Konzepterstellung für ein Modellprojekt im Gebäudebereich“ beantragt, ein Zuwendungsbescheid wurde bewilligt und liegt vor.

2 Datengrundlage

- Digitales Gebäudeaufmass (durchgeführt durch Fr. Pastuschek)
- Dateneinsicht Archiv Stadt Kulmbach (13.10.2009) durch Fr. Riller
- Diverse Objektbegehungen (Hr. Faigl und Hr. Seidel)
- Verbrauchsdaten erfasst durch die Energieagentur Oberfranken GmbH
- Auslobungsunterlagen der Stadt Kulmbach
- Schornsteinfegerprotokolle
- Energiepreise der Stadtwerke Kulmbach

3 Energetische Bewertung des Istzustandes

3.1 Allgemein

Im Rahmen des „Integrierte Energiekonzept“ für die Hans-Edelmann-Volksschule wurden mehrere Objektbegehungen durchgeführt. Das Objekt besteht aus einem Schulgebäude sowie einer Sporthalle mit integrierter Sportgaststätte die vom VfB Kulmbach genutzt wird. Die nachfolgende Abbildung zeigt anhand eines Luftbildes die Liegenschaft und stellt grafisch die betrachteten Gebäude dar.

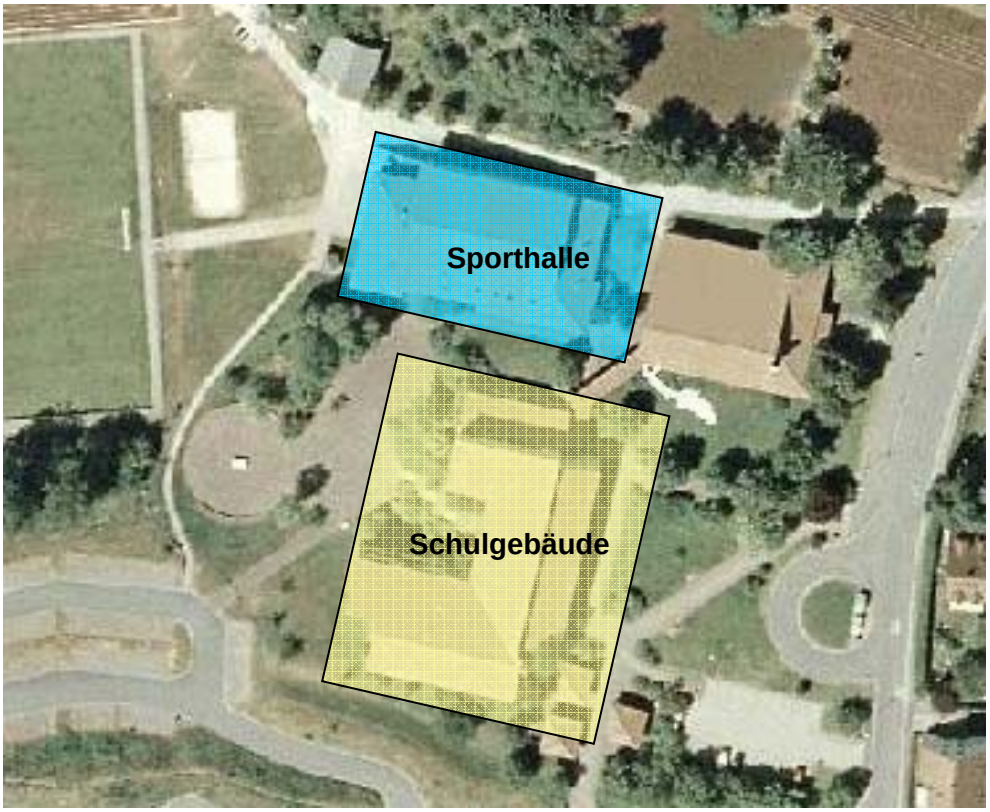


Abbildung 3-1: Luftbild der Liegenschaft (Quelle: Bayernviewer; Bayerische Staatsregierung)

Allgemeine Angaben zum Schulgebäude::		
Gebäudetyp:	Schulgebäude	
Baujahr:	1984	
Heizungsanlage	3 Gaskessel	
Nettogrundfläche[1]:	2782,33 m²	

Allgemeine Angaben zur Sporthalle:		
Gebäudetyp:	Sporthalle	
Baujahr:	1984	
Heizungsanlage	2 Gaskessel	
Nettogrundfläche[1]:	1104,4 m²	

[1] NGF gemäß EnEV, Datengrundlage Flächenaufmass gemäß vorliegender Pläne.

Auswertung der Energieverbrauchsdaten

Die Energieagentur Oberfranken GmbH erfasst im Rahmen des kommunalen Energiemanagements der Stadt Kulmbach den Energieverbrauch der Hans-Edelmann-Schule. Im Rahmen der Untersuchung wurden die Verbrauchsdaten des Jahresberichts 2000 - 2007 betrachtet.

3.1.1 Wärmeverbrauch

Die nachfolgende Grafik zeigt den für das jeweilige Jahr aufsummierten Wärmeverbrauch des Schulgebäudes sowie der Turnhalle der letzten 7 Jahre. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich seit Aufzeichnung der Verbrauchswerte der Wärmeverbrauch deutlich reduziert hat.

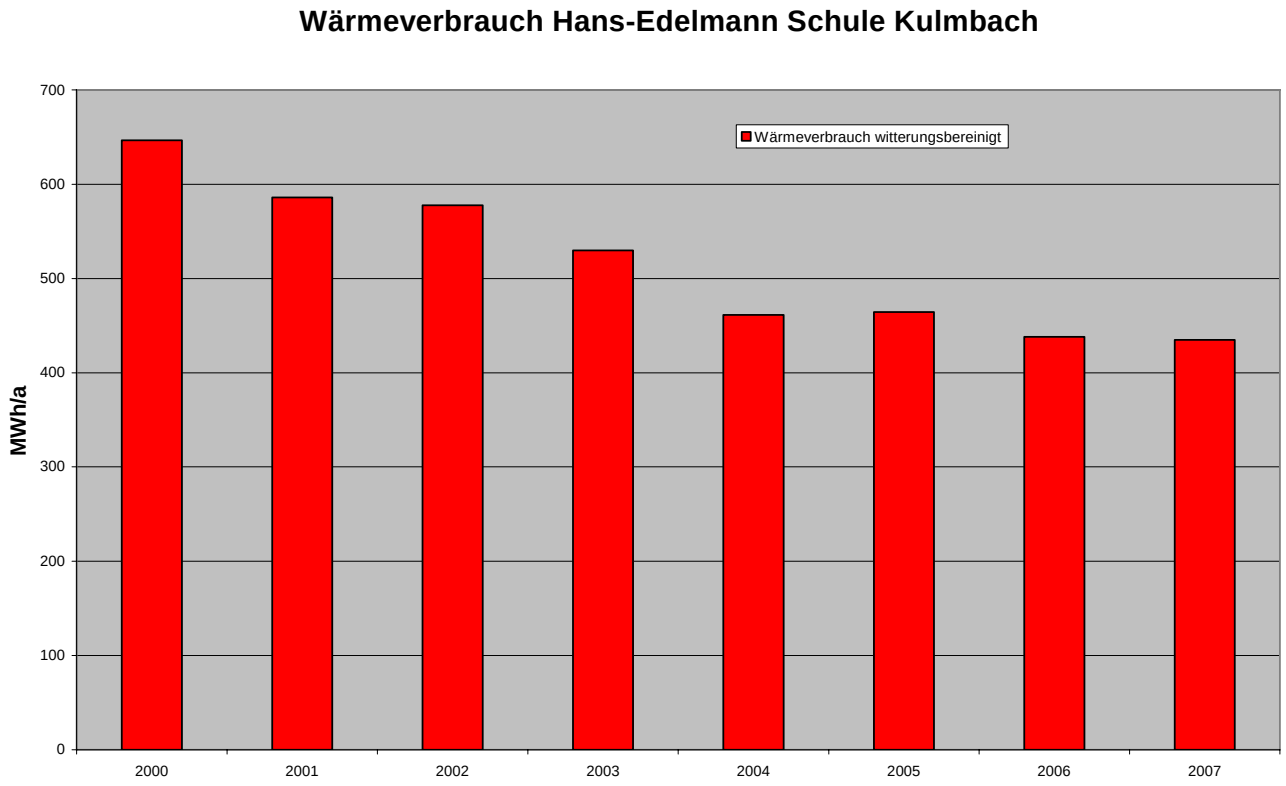


Abbildung 3-2: Darstellung des Wärmeverbrauchs der letzten Jahre (Schule + Turnhalle)

Anmerkung: Die aufgestellten Schulcontainer werden elektrisch beheizt und sind im Wärmeverbrauch nicht enthalten.

3.1.2 Stromverbrauch

Das nachfolgende Diagramm stellt den Gesamtstromverbrauch der Hans-Edelmann-Schule inklusive Turnhalle grafisch dar.

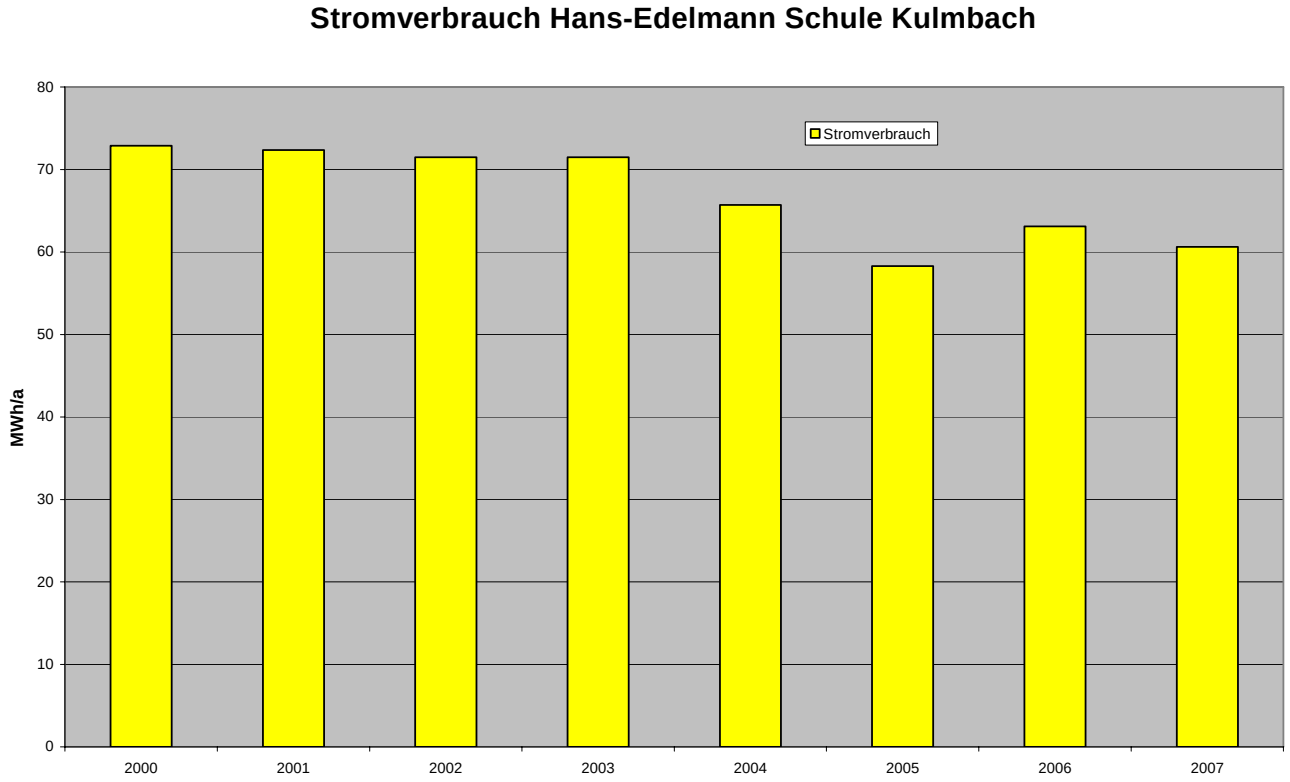


Abbildung 3-3: Darstellung des Stromverbrauchs der letzten Jahre (Schule + Turnhalle)

Auch beim Stromverbrauch lässt sich eine Reduzierung erkennen. Der leichte Anstieg in den letzten Jahren ist durch die elektrische Beheizung der mobilen Schulcontainer zu erklären.

3.1.3 Energetische Bewertung der Gebäude

Um eine energetische Bewertung und eine Vergleichbarkeit mit entsprechenden Referenzdaten zu ermöglichen, müssen die Daten einer Witterungsbereinigung unterzogen werden. Während der Warmwasserverbrauch von der Nutzung abhängt, wird der Raumwärmeverbrauch auch wesentlich vom lokalen Klima beeinflusst. Die Witterungsbereinigung erfolgte mit den vom Bundesministerium veröffentlichten Klimafaktoren für den Standort Hof, dem die Stadt Kulmbach zugeordnet ist. Jedes Gebäude wird nach Bauwerkszuordnungskatalog (BWZK) einer Gebäudekategorie zugewiesen. Als Vergleichswerte für Energieverbrauchskennwerte eines Nichtwohngebäudes sind die Werte einzutragen, die vom Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung, im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, für die jeweilige Gebäudekategorie im Bundesanzeiger festgelegt worden sind.

Ziffer nach BWZK	Gebäudekategorie	Gebäudegröße (Nettogrundfläche) [m²]	Vergleichswerte Heizung und Warmwasser [kWh/(m²$_{NGF}$ a)]	Vergleichswerte Strom [kWh/(m²$_{NGF}$ a)]
1	2	3	4	5
1100	Parlamentsgebäude	beliebig	100	55
1200	Gerichtsgebäude	≤ 3.500	125	25
1200	Gerichtsgebäude	> 3.500	100	35
1300	Verwaltungsgebäude	≤ 3.500	130	35
		> 3.500	115	45
1311	Ministerien	beliebig	95	50
1312	Ämtergebäude	≤ 3.500	130	30
		> 3.500	110	40
1313	Krankenkassengebäude, Rathäuser, Sozialämter	beliebig	150	40
1315	Finanzämter	≤ 3.500	120	30
		> 3.500	100	30
1320	Verwaltungsgebäude mit höherer techn. Ausstattung[1]	beliebig	130	65
1340	Polizeidienstgebäude	≤ 3.500	140	40
		> 3.500	125	40
1342	Polizeiinspektionen, Kommissariate, Kriminalämter, Reviere	≤ 3.500	145	45
		> 3.500	130	55
1345	Zollämter, -stationen, Grenzabfertigung	beliebig	100	25
1350	Rechenzentren	beliebig	125	220

Abbildung 3-4: Auszug Vergleichswerte für den Heizenergieverbrauchskennwert und den Stromverbrauchskennwert für Gebäude gemäß Bauwerkzuordnungskatalog

Witterungs- und Standortbereinigung

Der Heizenergieverbrauch ist wesentlich von den Außentemperaturen in der Heizperiode abhängig. Um Verbrauchsdaten unterschiedlicher Zeitperioden oder an verschiedenen Standorten untereinander und mit Referenzwerten vergleichbar zu machen, muss also eine Anpassung durchgeführt werden. Die Energieeinsparverordnung sieht zur Ermittlung der Energieverbrauchskennwerte eine Bereinigung des Energieverbrauchs für Heizung vor, bei dem der Einfluss der Witterung in den jeweiligen Zeiträumen durch unterschiedliche Witterungsbedingungen am Gebäudestandort und dem Referenzstandort „Würzburg“ berücksichtigt werden. Dies erfolgt über Klimafaktoren, die immer aktuell vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung bekannt gegeben werden.

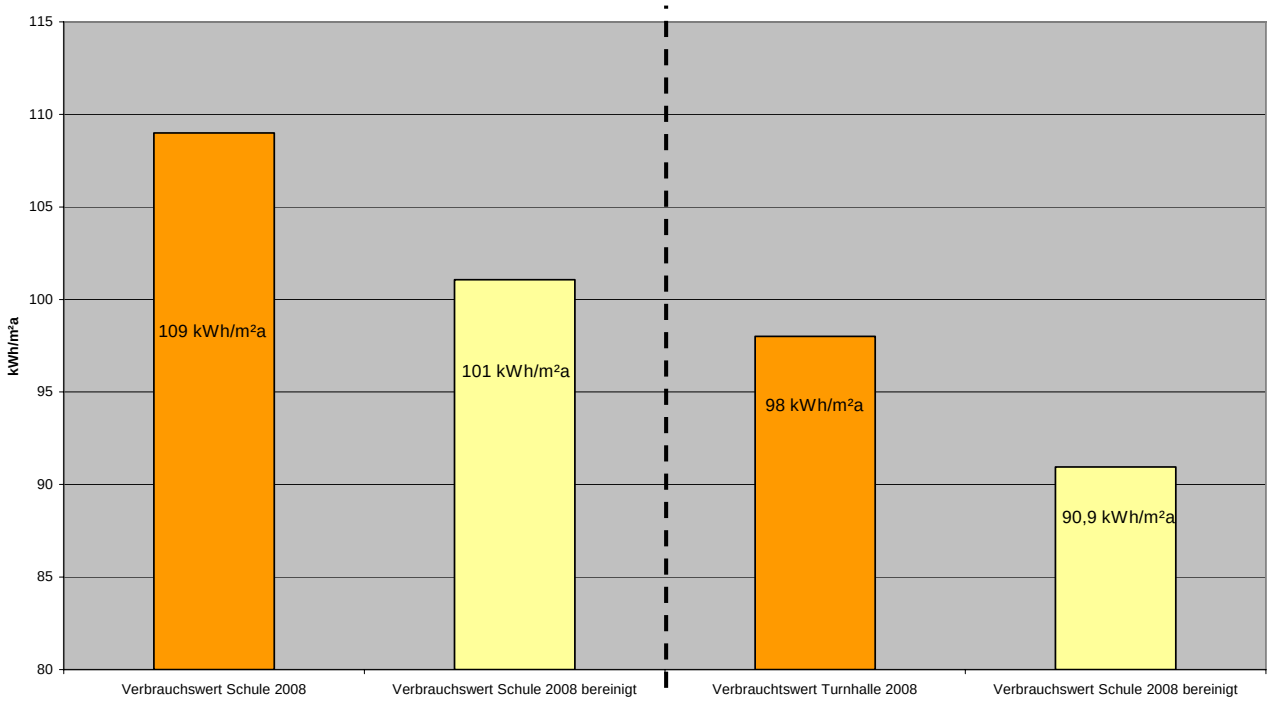


Abbildung 3-5: Standort- und Witterungsbereinigung des Wärmeverbrauchs

Die Witterungs- und Standortbereinigung erfolgte gemäß den in der EnEV definierten Klimafaktoren über die gesamte Wärmemenge. Eine differenzierte Betrachtung des Warmwasseranteils wurde nicht durchgeführt.

Aufgrund der gegebenen Zählerstruktur für den elektrischen Strom liegt für die Schule und der Turnhalle nur der Gesamtverbrauch vor. Eine detaillierte Aufteilung ist deshalb nicht möglich.

Da im Rahmen der Studie die Verbrauchswerte für den elektrischen Strom aus dem Jahre 2008 noch nicht vorlagen, wurden die Verbrauchswerte der Jahre 2006 und 2007 herangezogen.

Für Vergleich wurden die Vergleichswerte des Energieverbrauchs flächenmäßig gewichtet und mit dem spezifischen Gesamtstromverbrauch gewichtet.

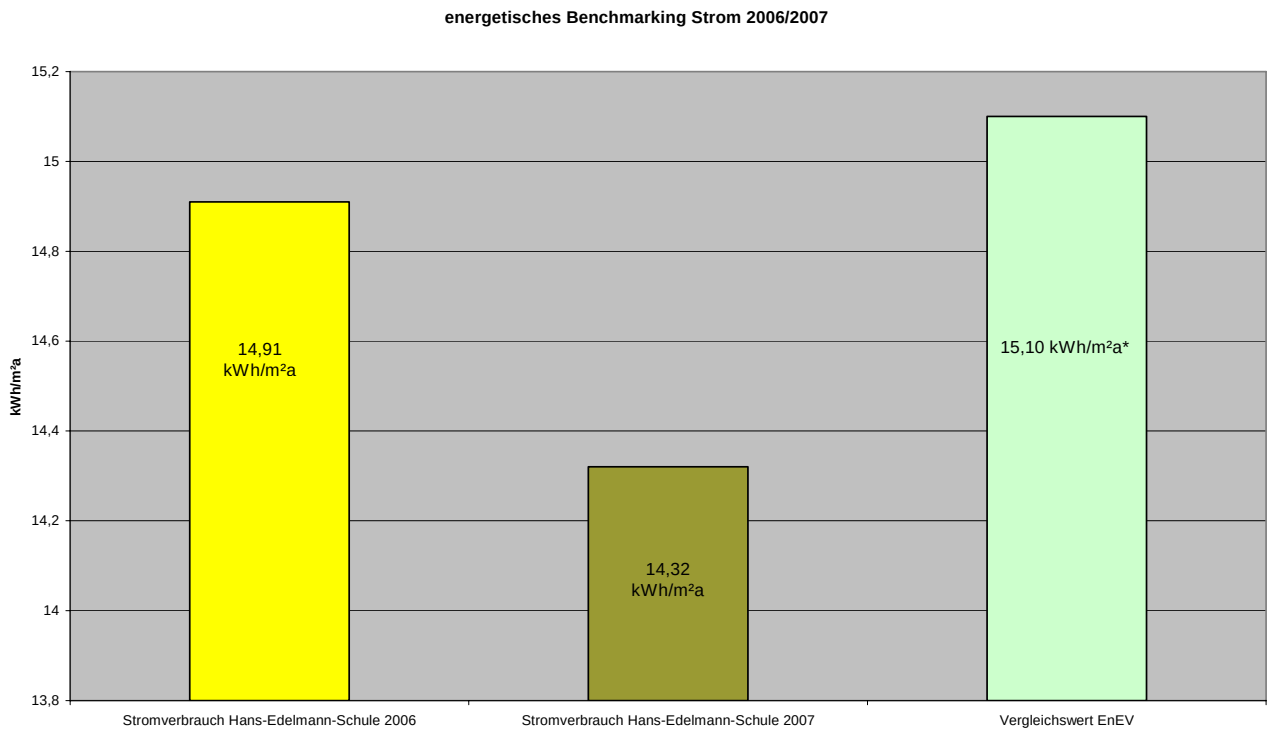


Abbildung 3-6: Energetisches Benchmarking Gesamtstromverbrauch für das Jahr 2006 und 2007

* gewichteter Wert aus Energieverbrauchs- / Vergleichswerte im Nichtwohngebäude EnEV 2009 für allgemein bildende Schulen und Hallen (ohne Schwimmhallen).

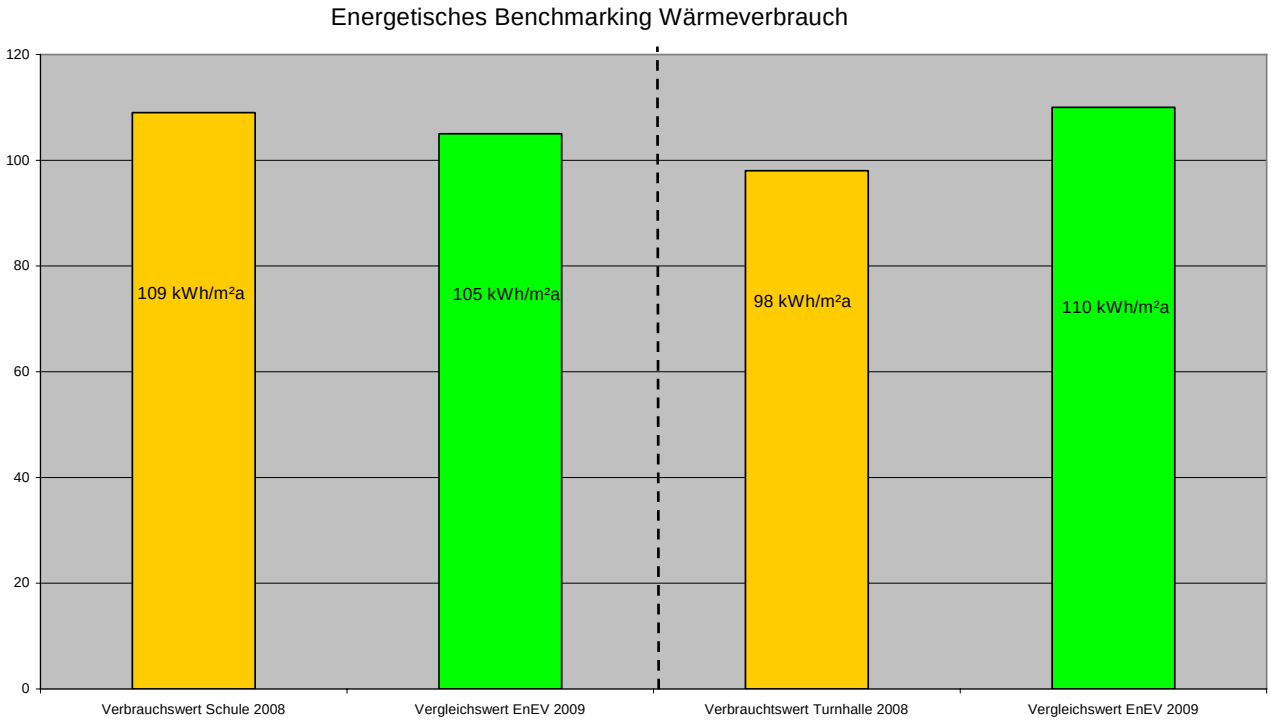


Abbildung 3-7: Energetisches Benchmarking Wärmeverbrauch für Schule und Turnhalle

Das energetische Benchmarking zeigt, dass der Wärmeverbrauch in den letzten Jahren deutlich reduziert wurde (siehe Abbildung 3-2). Im direkten Vergleich mit den Vergleichswerten des Bundesministeriums liegt der Verbrauch der Schule noch etwas oberhalb des Vergleichswertes, die Turnhalle liegt jedoch bereist unterhalb des Vergleichswerts.

Ermittlung der CO_2-Emissionen

Neben der Bewertung des Energieverbrauches sind die damit verbunden CO_2-Emissionen ein wesentliches Bewertungskriterium für die energetische Qualität bzw. Nachhaltigkeit. Zur Bewertung der Bestandssituation wurden die derzeitigen Energieverbräuche auf die tatsächlichen Emissionen umgerechnet. Als Datengrundlage dienten die CO_2-Emissionsfaktoren gemäß Gemis.

Verbrauch und äquivalente CO_2-Emission Hans-Edelmann-Schule 2006 und 2007

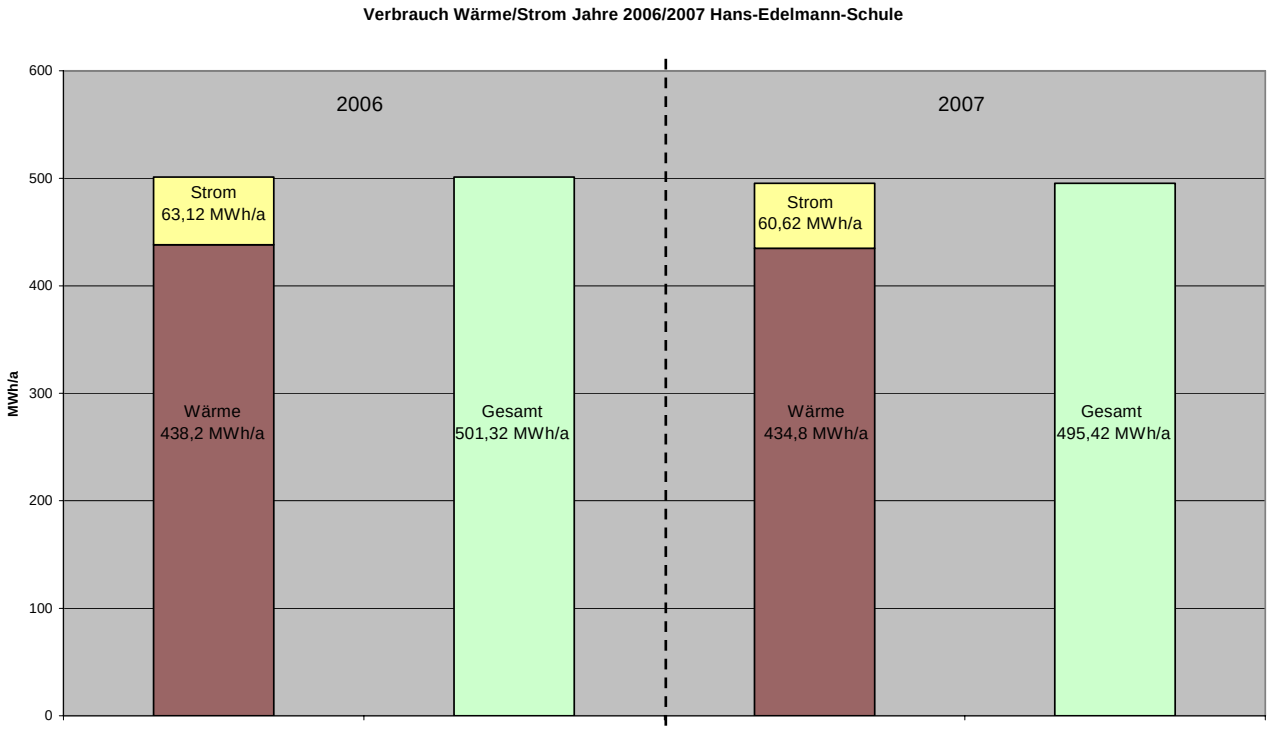


Abbildung 3-8: Darstellung Gesamtenergieverbrauch (Schule + Turnhalle) für das Jahr 2006 und 2007

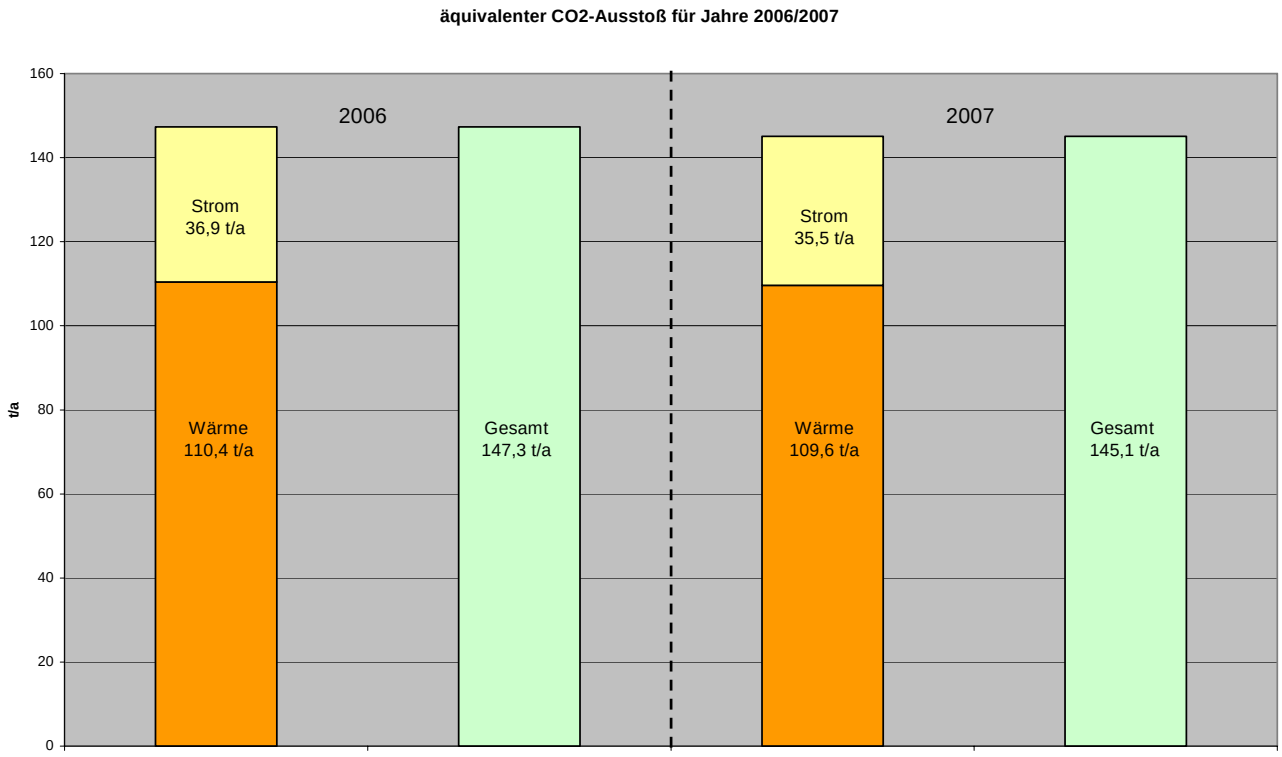


Abbildung 3-9: Darstellung CO_2- Ausstoß (Schule + Turnhalle) für das Jahr 2006 und 2007

3.2 Baulicher Zustand

3.2.1 Übersicht der Energetischen Qualität der Gebäudehülle Schulgebäude

Außenwand	U = 0,38 W/m²K
Fassadenelement (Paneel)	U = 0,43 W/m²K
Transparente Bauteile	U_w = 1,90 W/m²K
Dach	U = 0,39 W/m²K
Boden	U = 1,30 W/m²K

3.2.2 Übersicht der Energetischen Qualität der Gebäudehülle Sporthalle

Außenwand	U = 0,87 W/m²K
Transparente Bauteile	U_w = 1,90 W/m²K
Dach	U = 0,39 W/m²K
Boden	U = 1,30 W/m²K

Die angegebenen Werte wurden bei der Bestandsaufnahme im Archiv am 13.10.2009 den Leistungsverzeichnissen aus den Bestandsunterlagen entnommen. Im Anhang wurden die exakten Bauteilaufbauten beigefügt.

Die U-Werte der Gebäudehülle entsprechen der Baualtersklasse der jeweiligen Gebäude. Es sind keine Schadstellen zu erkennen. Eine Sanierung der Fassade wird in den nächsten Jahren nicht notwendig werden.

3.3 Bewertung Anlagentechnik

3.3.1 Schulgebäude

Wärmeerzeuger		
Hersteller:	Buderus	
Heizungssystem:	Gaskessel	
Anzahl:	3	
Leistung:	je Kessel 101,2 kW	
Leistung insgesamt	303,6 kW	
Baujahr Kessel:	1983	
Wirkungsgrad gemäß VDI 3811	Kessel 1: 0,910 Kessel 2: 0,891 Kessel 3: 0,904	
Jahresnutzungsgrad: **gemäß VDI 2067-2**	**0,821**	

Aus den gemessenen Daten des Bezirkskaminkehrermeisters (Abgasverluste, Sauerstoffanteil) konnte für das Jahr 2007, wie aus obiger Tabelle zu entnehmen, der Kesselwirkungsgrad nach VDI 3811 und der Jahresnutzungsgrad der Gesamtanlage nach VDI 2067 - 2 ermittelt werden.

Warmwasserbereiter		
Hersteller:	Buderus	
Heizungssystem:	Brauchwasser-wärmepumpe	
Anzahl:	1	
Bezeichnung	Elocal LW 177	
Baujahr Kessel:	---	

Ergänzt wurde die Kesselanlage durch eine Abluftwärmepumpe zur Brauchwassererwärmung. Als Wärmequelle diente die Abwärme im Heizraum. Bei einer Begehung konnte festgestellt werden, dass sich diese Anlage außer Betrieb befindet. Anzunehmen ist, dass die Anlage abgestellt wurde, da mit dieser Anlagentechnik kein effizienter Betrieb möglich ist.

Warmwasserbereiter		
Hersteller:	Buderus	
Heizungssystem:	Brauchwasserspeicher inkl. Elektroheizstab	
Anzahl:	1	
Bezeichnung	TBS- Isocal	
Baujahr Kessel:	1986	

3.3.2 Turnhalle

Wärmeerzeuger		
Hersteller:	Buderus	
Heizungssystem:	Gaskessel	
Anzahl:	2	
Leistung:	je Kessel 128 kW	
Leistung insgesamt	256 kW	
Baujahr Kessel:	1983	
Wirkungsgrad gemäß VDI 3811	Kessel 1: 0,925 Kessel 2: 0,939	
Jahresnutzungsgrad: **gemäß VDI 2067-2**	**0,802**	

Aus den gemessenen Daten des Bezirkskaminkehrermeisters (Abgasverluste, Sauerstoffanteil der Abluft) konnte für das Jahr 2007, wie aus obiger Tabelle zu entnehmen, der Kesselwirkungsgrad nach VDI 3811 und der Jahresnutzungsgrad der Gesamtanlage nach VDI 2067 - 2 ermittelt werden.

Warmwasserbereiter		
Brauchwasserspeicher		
Hersteller	Buderus	
Anzahl:	2	
Speichervolumen	jeweils ca. 850 l	

Raumlufttechnische Anlage	
Zu-/Abluft Turnhalle	
Hersteller:	Euroclima
Heizungssystem:	Lüftungsanlage
Anzahl:	1
Volumenstrom:	10.000 m³/h
Baujahr:	1986
Wärmerückgewinnung (WRG)	
WRG- System:	Kreislaufverbundsystem (KVS)

3.3.3 Optimierungsmaßnahmen Anlagentechnik

Erneuerung Wärmeerzeuger

Die in beiden Heizzentralen befindlichen Kessel (Baujahr 1983) haben ihre rechnerische Nutzungsdauer gemäß VDI 2067, Blatt 1 (20 Jahre) bereits erreicht bzw. überschritten. Dies ist jedoch kein Grund die Anlage sofort auszutauschen, jedoch sollte der Austausch in den nächsten Jahren in Betracht gezogen werden. Der im Rahmen der Untersuchung ermittelte Jahreswirkungsgrad (Kessel) lässt ein Optimierungspotenzial von bis zu 15 % erwarten. Bei der Erneuerung der Anlage ist auf eine bedarfsgerechte Auslegung der Kesselleistung zu achten. Derzeit stellt die Anlage eine starke Überdimensionierung dar.

Pumpenaustausch und Hydraulischer Abgleich

Im Rahmen einer Sanierung/Modernisierung der Wärmeverteilung bzw. beim Defekt einer Pumpe sind die bestehenden Umwälzpumpen (Schulgebäude) durch moderne Energieeffizientere zu erneuern. In den letzten Jahren hat sich in der Entwicklung von energieeffizienten Pumpen sehr viel getan. Besonders in der Antriebstechnologie wurden Vorschritte erzielt. Moderne Pumpenantriebs-

systeme mit ECM (Electronic Commutated Motor) sind mit kommutierteren Motoren mit Dauermagnet ausgestattet. Der bürstenlose, elektronische, kommutierte Synchronmotor besitzt einen Permanentmagnetrotor - er benötigt also für seine Magnetisierung keine Energie. Somit benötigen diese Pumpen (ECM) weniger Energie als herkömmliche Asyncronsysteme (AC). Zudem sollte darauf geachtet werden dass die Pumpen eine automatische Drehzahlregelung erhalten. Die bestehende Wärmeverteilung des Schulgebäudes sowie der Turnhalle sollte im Rahmen einer Sanierung der Heizzentrale erneuert werden und der hydraulische Abgleich durchgeführt werden. Durch diese Maßnahme lässt sich eine bessere Regelbarkeit der Heizkreise darstellen und trägt in Kombination mit dem Pumpenaustausch einen wesentlichen Teil zur Energieeinsparung bei.

Erneuerung RLT- Anlage bzw. Ventilatoraustausch

Eine weitere Optimierung liegt im Bereich der Raumlufttechnik. Die bestehende RLT-Anlage für die Be- und Entlüftung der Turnhalle hat die rechnerische Nutzungsdauer gemäß VDI 2067 bereits erreicht. Falls die Anlage in den nächsten Jahren ausgetauscht wird, sollte eine Anlage mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung eingesetzt werden. Ein Wärmerückgewinnungsgrad von ca. 75 % sollte angestrebt werden. Soll die Anlage in den nächsten Jahren nicht ausgetauscht werden empfehlen wir einen Austausch der Ventilatoren.

Einsatz von energiesparenden Leuchtmitteln

Bei der Objektbegehung wurde festgestellt, dass in einzelnen Nutzungsbereichen teilweise bereits Energiesparlampen installiert wurden. Beim Defekt von Leuchtmittel bzw. Austausch von Leuchten sollte darauf geachtet werden, dass in den nächsten Jahren die gesamte Beleuchtungstechnik auf Energiesparlampen bzw. Leuchtstoffröhren mit Elektronisches Vorschaltgerät (EVG) umgerüstet wird.

3.4 Berechnung des energetischen Istzustandes gemäß EnEV

3.4.1 Energiebedarfsberechnung Schulgebäude

Als Berechnungsgrundlage für die energetische Bilanzierung diente die DIN V 18599

Die umfangreichen Bilanzierungen der DIN V 18599 sind wie folgt unterteilt:

- Gesamtenergiebilanz
- Bilanzierung Wärme und Kälte
- Bilanzierung Lüftung
- Bilanzierung Beleuchtung
- Bilanzierung Heizung
- Bilanzierung Trinkwasser
- Bilanzierung Raumlufttechnische Anlagen und Kühlung
- Bilanzierung Kälteerzeugung

Die Berechnung erfolgte mit dem Softwareprogramm EnEV Plus Version 3.0.6.2404 der Firma ennovatis, die den vom Fraunhofer Institut entwickelten Rechenkern zur DIN V 18599 verwendet.

Die Ermittlung des Energiebedarfs erfolgt mit Hilfe eines Energiebilanzmodells (3D- Gebäudemodell).

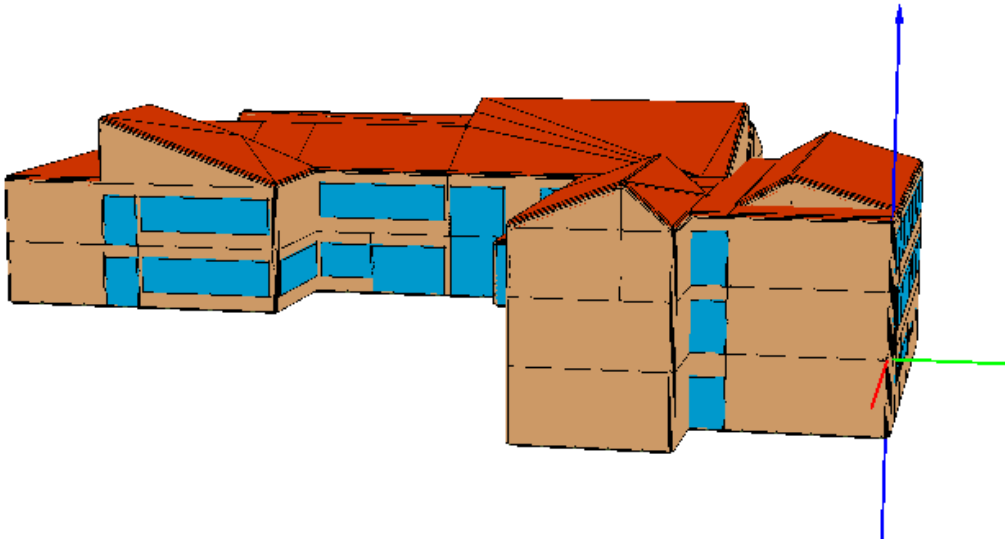


Abbildung 3-10: 3D-Energiebilanzmodell Schulgebäude

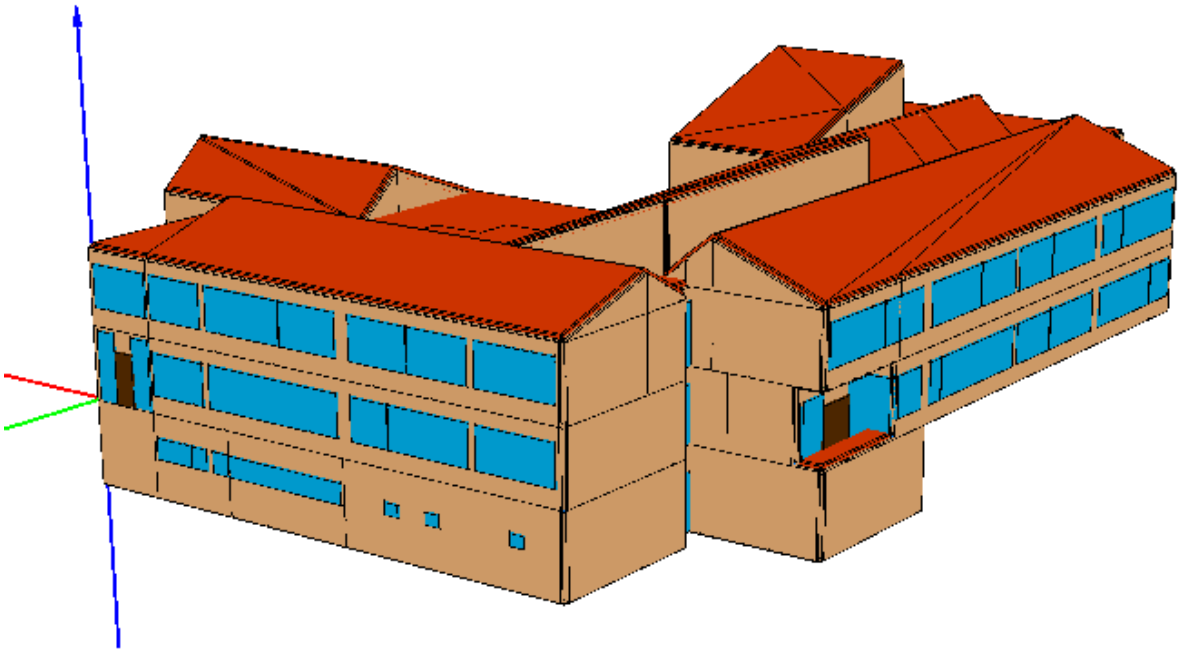


Abbildung 3-11: 3D-Energiebilanzmodell Schulgebäude

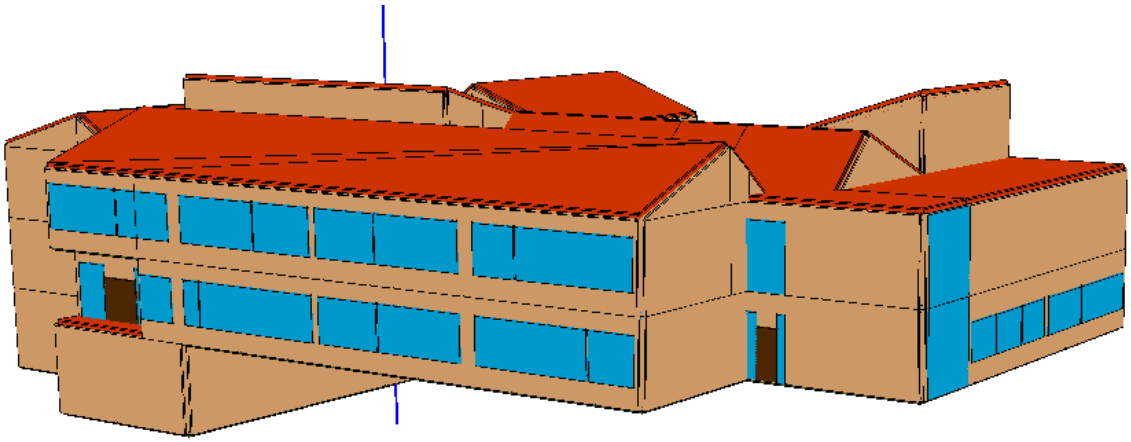


Abbildung 3-12: 3D-Energiebilanzmodell Schulgebäude

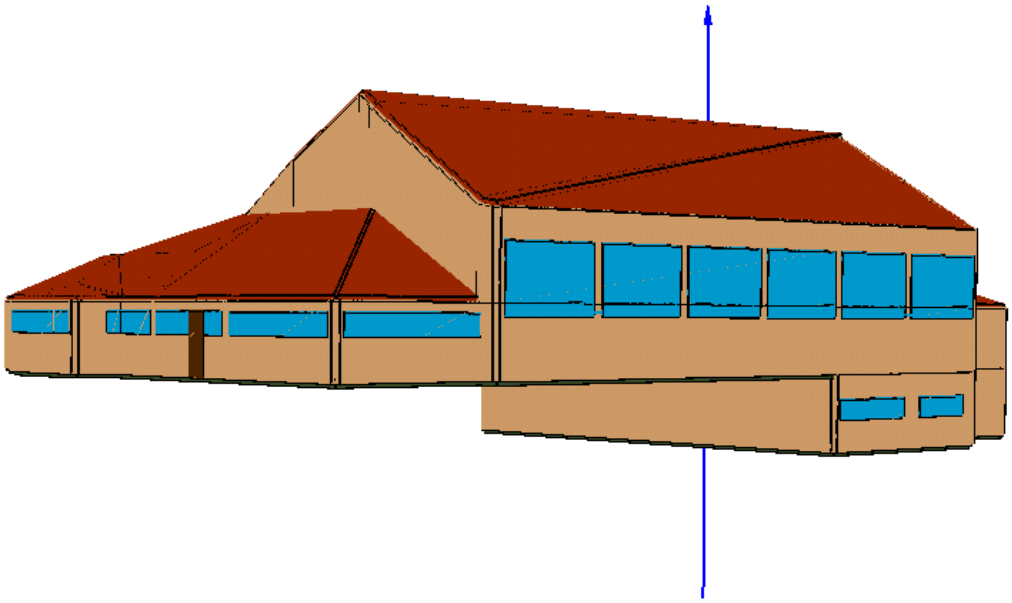


Abbildung 3-13: 3D-Energiebilanzmodell Sporthalle mit Sportheim

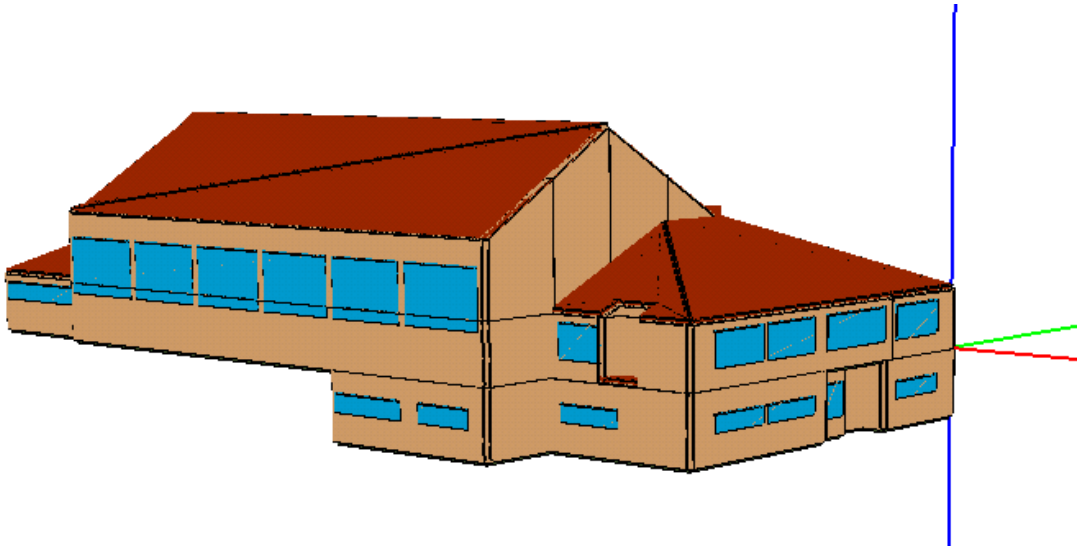


Abbildung 3-14: 3D-Energiebilanzmodell Sporthalle mit Sportheim

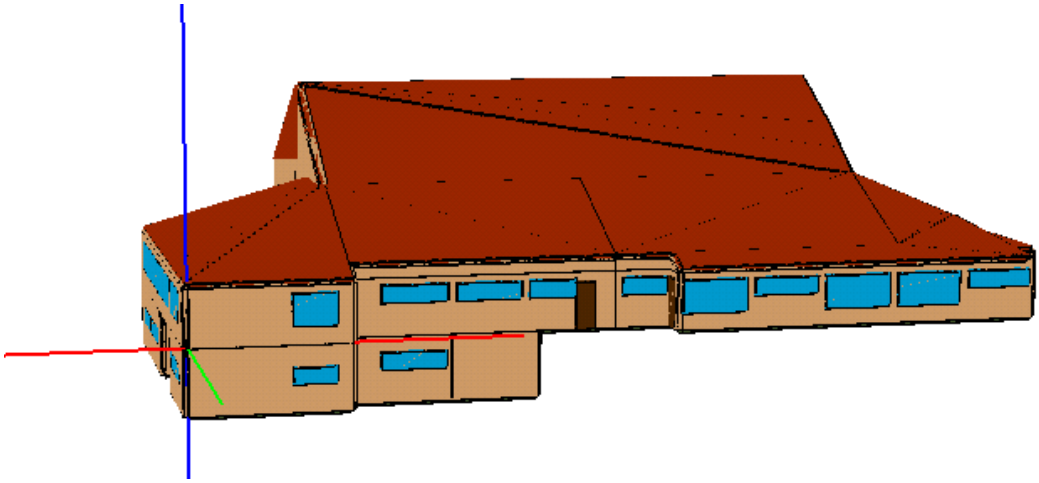


Abbildung 3-15: 3D-Energiebilanzmodell Sporthalle mit Sportheim

3.4.2 Nutzungszonen

Gemäß der Nutzungen und der Konditionierung ergeben sich gemäß DIN V 18599 bei den vorliegenden Gebäuden folgende Nutzungszonen:

Schule	Nutzung	Nutzungsprofil nach Tabelle 4 [DIN V 18599 Teil 10]
Zone 1	Aufenthalt	17
Zone 2	Büro	1
Zone 3	Flur	19
Zone 4	Lager	20
Zone 5	Unterricht	8
Zone 6	Sanitär	16
Zone 7	Windfang	19
Zone 8	Keller	20

Tabelle 3-1 Nutzungszonen nach DIN V 18599 Teil 10 für das Schulgebäude

Sporthalle	Nutzung	Nutzungsprofil nach Tabelle 4 [DIN V 18599 Teil 10]
Zone 1	Büro	1
Zone 2	Sport	31
Zone 3	Sanitär	16
Zone 4	Technik	20
Zone 5	Verkehr	19
Zone 6	Sportheim	17

Tabelle 3-2 Nutzungszonen nach DIN V 18599 Teil 10 für die Sporthalle

Die Zonierungspläne sind als Anlage beigefügt.

Energiebedarf Schulgebäude	spezifisch [kWh/m²a]	absolut [kWh/a]
Nutzenergie	187,4	539.876
Endenergie	227,2	654.650
Primärenergie	239,6	690.363

Energiebedarf Sporthalle	spezifisch [kWh/m²a]	absolut [kWh/a]
Nutzenergie	313,27	391.148
Endenergie	508,97	635.487
Primärenergie	545,88	681.586

Energiebedarf Schule + Halle	spezifisch [kWh/m²a]	absolut [kWh/a]
Nutzenergie	234,6	931.024
Endenergie	325,1	1.290.137
Primärenergie	345,7	1.371.949

3.5 Erläuterung Differenz Bedarfswert zu Verbrauchswerten

Beim Vergleich der Verbrauchswerte und der Bedarfswerte (Endenergie) sind Differenzen zu erkennen. Hierzu ist folgendes anzumerken:

Beim (Energieausweis-) Bedarfsausweis wird der Energiebedarf des Gebäudes gemäß dem Rechenalgorithmus der DIN V 18599 (Grundlage der Energieeinsparverordnung) unter genau definierten Nutzungsrandbedingungen für den Standort Würzburg berechnet. Das Nutzungsverhalten der Bewohner hat somit keinen direkten Einfluss auf den berechneten Energiebedarf. Dies hat den Hintergrund, dass alle Gebäude in der Bundesrepublik Deutschland standortunabhängig verglichen werden können.

Der tatsächliche gemessene Energieverbrauch des Gebäudes wird jedoch durch das tatsächliche Nutzerverhalten im Gebäude sowie den standortabhängigen Witterungsverhältnissen beeinflusst. Die Erfahrung aus anderen Projekten zeigt, dass der berechnete Energiebedarf i.d.R. höher liegt als der Energieverbrauch des Gebäudes. Dies liegt vielmals an reduzierten Nutzungszeiten, geringen Luftwechselraten, sowie höheren internen Wärmelasten im Gebäude.

4 Variantenanalyse Gebäudehülle

Nachfolgende Variantenanalyse soll die Verbesserung der Gebäudehülle im Vergleich zur derzeitigen Qualität der Gebäudehülle darstellen. Es werden sowohl die Investitionskosten sowie die Energiekosteneinsparung für jede Variante ermittelt.

4.1 EnEV 2009

Bauteil	**U-Wert Bestand**	**U-Wert Referenzgebäude EnEV 2009**
Außenwand Schule	0,38 W/m²K	0,28 W/m²K
Außenwand Halle	0,87 W/m²K	
Fassadenelement (Paneel)	0,43 W/m²K	0,28 W/m²K
Transparente Bauteile	1,90 W/m²K	1,30 W/m²K
Dach	0,39 W/m²K	0,20 W/m²K

Investitionskosten*:

Außenwand Schule (1.535 m²)	89.030,00 €
Außenwand Halle (683 m²)	39.614,00 €
Paneel (158 m²)	15.800,00 €
Transparente Bauteile (789 m²)	749.550,00 €
Dach (2.249 m²)	183.563,00 €
Summe (Netto)	1.077.557,00 €
Incl. MwSt.	**1.282.292,83 €**

* Die ermittelten Investitionskosten stellen eine Grobkostenschätzung anhand von aktuellen Vergleichsprojekten dar.

Energiekosteneinsparung:

Einsparung Endenergie Strom: .....1,326 MWh/a
Mischpreis Strom:.....171,00 €/MWh
Kosteneinsparung Strom:..... 226,70 €/a

Einsparung Endenergie Gas: .....145,477 MWh/a
Arbeitspreis Gas:.....49,50 €/MWh
Kosteneinsparung Gas:..... 7.201,11 €/a

Summe (Netto) **7.427,81 €/a**

Statische Amortisation: ca. 145 Jahre

4.2 EnEV 2009 minus 15 %

Bauteil	**U-Wert Bestand**	**U-Wert Referenzgebäude EnEV 2009**
Außenwand Schule	0,38 W/m²K	0,24 W/m²K
Außenwand Halle	0,87 W/m²K	
Fassadenelement (Paneel)	0,43 W/m²K	0,24 W/m²K
Transparente Bauteile	1,90 W/m²K	1,10 W/m²K
Dach	0,39 W/m²K	0,17 W/m²K

Investitionskosten*:

Außenwand Schule (1.535 m²)	104.380,00 €
Außenwand Halle (683 m²)	46.444,00 €
Paneel (158 m²)	18.960,00 €
Transparente Bauteile (789 m²)	946.800,00 €
Dach (2.249 m²)	191.830,32 €
Summe (Netto)	1.308.414,32 €
Incl. MwSt.	**1.557.013,04 €**

* Die ermittelten Investitionskosten stellen eine Grobkostenschätzung anhand von aktuellen Vergleichsprojekten dar.

Energiekosteneinsparung:

Einsparung Endenergie Strom: .....1,613 MWh/a

Mischpreis Strom:.....171,00 €/MWh

Kosteneinsparung Strom:..... 275,82 €/a

Einsparung Endenergie Gas: .....175,219 MWh/a

Arbeitspreis Gas:.....49,50 €/MWh

Kosteneinsparung Gas:..... 8.673,34 €/a

Summe (Netto) **8.949,16 €/a**

Statische Amortisation: ca. 146 Jahre

4.3 Fazit

Wie die beiden Variantenbetrachtungen zeigen, ist die Sanierung der Gebäudehülle über die daraus resultierende Energieeinsparung nicht wirtschaftlich darstellbar. Dies begründet sich unter Anderem daraus, dass die bestehende Gebäudehülle keine Schäden aufweist, und somit keine Sowieso - Maßnahmen durchzuführen sind. Weiterhin entspricht die Qualität der Außenbauteile der Baualters-klasse des Gebäudes und stellt somit eine noch akzeptable Qualität dar.

5 Variantenanalyse Energieversorgungssysteme

5.1 Energieversorgungsvarianten

Im Rahmen der Untersuchung werden verschiedene Energieversorgungsvarianten näher betrachtet und auf Machbarkeit untersucht. Folgende Varianten werden im nachfolgenden Kapitel detailliert betrachtet:

- Gas-Brennwertanlage mit Solarthermie
- Wärmepumpentechnik (Sole/Wasser und Wasser/Wasser) als Grundlast
- Biomassenutzung (Pellets oder Holzhackschnitzel) als Grundlast

Die bauphysikalische Untersuchung hat gezeigt, dass sich derzeit keine Optimierungsmaßnahmen sich in einem sinnvollen Kosten-Nutzenverhältnis darstellen lassen. Für die weitere Betrachtung wird der derzeitige Nutzenergiebedarf der Gebäude als Basis für die Erstellung der Energieversorgungs-varianten angesetzt. Diesen gilt es mit den zu untersuchenden Varianten möglichst effizient sowie kostengünstig zu decken.

Technische Parameter:

Gesamtheizleistung [2] :	ca. 450 kW
Nutzenergiebedarf [3] :	ca. 369 MWh/a
Maximale Vorlauftemperatur:	ca. 80 °C

[2] Unter Berücksichtigung der aus dem Verbrauch ermittelten Vollbenutzungsstunden der Kesselanlage ergibt sich eine notwendige Gesamtheizleistung von ca. 450 kW. Eine exakte Ermittlung muss über eine detaillierte Heizlastberechnung durchgeführt werden.

[3] Als Berechnungsgrundlage diente der Nutzenergieverbrauch aus dem Jahre 2008, welche über den Jahresnutzungsgrad der bestehenden Anlagen ermittelt wurde.

5.2 Zentrale Energieerzeugung zur Variantenbetrachtung

Aufgrund der geringen Heizleistung der Turnhalle und der Schule sowie der räumlichen Nähe sieht das integrierte Energiekonzept eine zentrale Energieerzeugung vor. Für die Studie wird davon ausgegangen, dass die bestehende Heizzentrale im Untergeschoss des Schulgebäudes für die Aufstellung der Wärmeerzeuger verwendet wird. Die Anbindung der Turnhalle erfolgt über eine hoch wärmegedämmte Nahwärmeleitung.

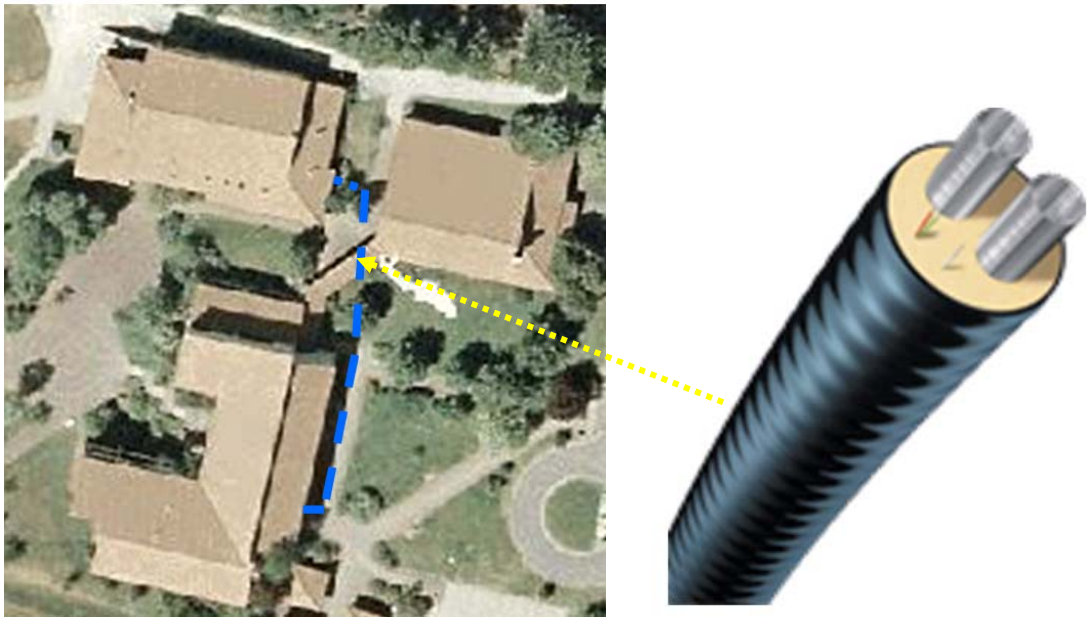


Abbildung 5-1: Anbindung der Turnhalle über die Nahwärmeleitung

Je nach Energieversorgungskonzept und notwendiger Aufstellfläche könnte es auch sinnvoll sein, die bestehende Heizzentrale der Turnhalle oder der Schule zu verwenden. Durch die Zusammenlegung der Wärmeerzeuger können die Investitionskosten sowie die Betriebskosten der Energieerzeugung reduziert werden.

5.3 Variante 1 – Gaskesselanlage mit Solar für Brauchwassererwärmung

Die Wärmeversorgung der Liegenschaft wird bei dieser Variante mit zwei Erdgasbrennwertkesseln sichergestellt. Dabei soll ein Gaskessel zur Deckung der Grundlast und ein zweiter Gaskessel zur Spitzenlast Deckung vorgesehen werden. Eine Solarthermische Anlage auf dem Dach der Sporthalle dient zur Brauchwarmwasserbereitung für die Duschen. Eine Nachheizung der Warmwasserbereiter erfolgt im Bedarfsfall durch die Kesselanlage (Lage der Heizzentrale: Turnhalle).

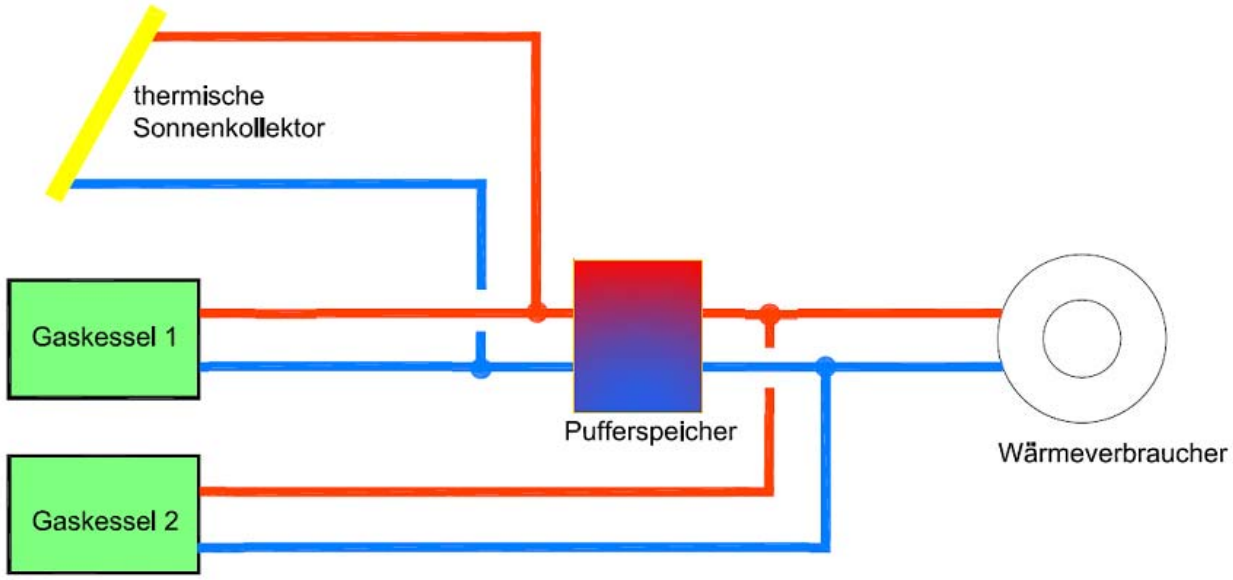


Abbildung 5-2: schematische Darstellung Energieversorgungsvariante

Gaskessel 1 (Führungskessel):	225kW	
Gaskessel 2 (Spitzenlastkessel):	225kW	
Solarthermische Anlage:	Flachkollektoranlage	ca. 50 m² (Kollektorfläche)

Die beiden Kessel werden mit modulierenden Brennern ausgestattet, die sich dem tatsächlichen Leistungsbedarf der Liegenschaft anpassen. Die Dimensionierung der solarthermischen Anlage erfolgte nach dem tatsächlichen Warmwasserbedarf der Sporthalle.

5.4 Variante 2 – Wärmepumpentechnik

Eine weitere Energieversorgungsvariante, welche im Integrierten Energiekonzept gemäß den Auslobungsunterlagen untersucht werden soll, ist die Sole/Wasser Wärmepumpe bzw. die Wasser/Wasser Wärmepumpe. Die mittlere Temperatur des oberflächennahen Erdreichs sowie des Grundwasser in Bayern beträgt ca. 7 bis 13°C. Das Temperaturniveau im oberflächennahen Bereich ist daher relativ niedrig. Dieses niedrige Temperaturniveau ist für Heizzwecke in der Regel nur mit Hilfe von Wärmepumpen zu nutzen. Hierbei würde die Wärmepumpe die Grundlast übernehmen und bei Bedarf durch einen Gasspitzenlastkessel ergänzt werden. Nachfolgende Grafik stellt die Variante schematisch dar.

Abbildung 5-3: schematische Darstellung Energieversorgungsvariante

Wärmepumpe:	200kW
Gaskessel:	250kW

Die verschiedenen Arten der Geothermienutzung werden in dem nachfolgenden Kapitel detailliert untersucht.

5.4.1 Geologische Ergiebigkeit des Standortes

Für die Erstellung des Integrierten Energiekonzeptes wurde eine Standortanalyse durchgeführt. Diese soll einen ersten Aufschluss über die Geothermische Ergiebigkeit des Untergrundes liefern. Hierzu wurden die Geothermiekarten (oberflächennahe Geothermie) des Bayrischen Staatsministeriums für Umwelt bzw. Wirtschaft herangezogen und ausgewertet.

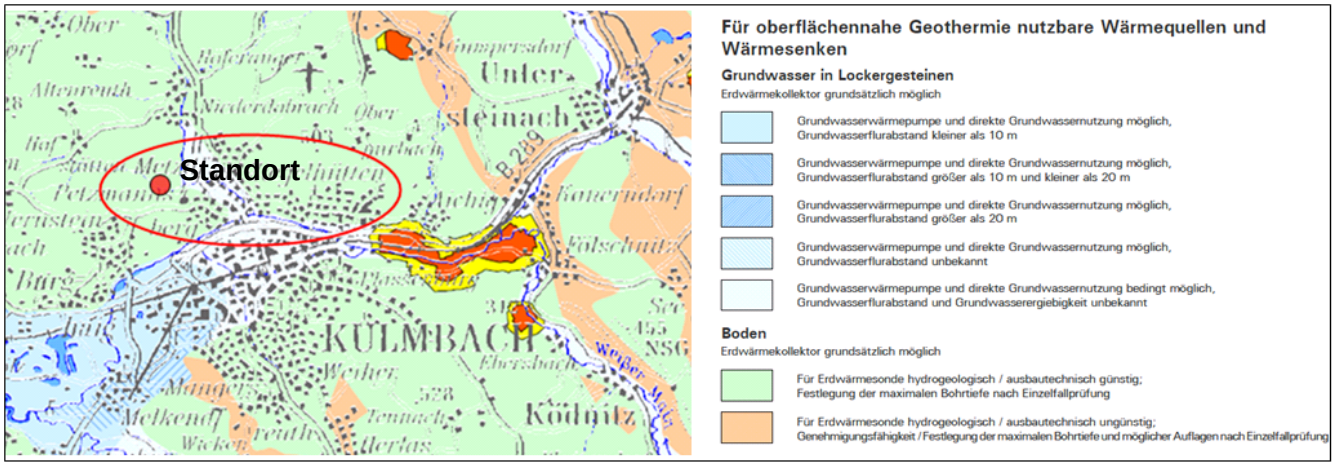


Abbildung 5-4: Geothermiekarte Bayern mit entsprechender Legende

Die Analyse des Kartenmaterials hat ergeben, dass sich der Standort für die Geothermienutzung grundsätzlich eignet. Die Geothermienutzung über eine Erdwärmesondenanlage ist aus hydrologischer und ausbautechnischer Sicht günstig. Für das Energiekonzept sowie die Wirtschaftlichkeitsberechnung gehen wir von einer mittleren spezifischen Entzugsleistung (Sonde) aus dem Untergrund von ca. 50 W/m (Standardwert) aus. Um belastbare Aussagen über die exakten Bodenbeschaffenheiten des Standortes zu erhalten, ist die Einbindung eines Geologen zwingend notwendig. Der Geologe erstellt ein geologisches Gutachten zur thermischen Nutzung für den Baugrund, welches Daten zur Mächtigkeit des Grundwasserleiters sowie die Strömungsrichtung und -geschwindigkeit liefert. Zudem wird im Rahmen dieser Untersuchung ein Thermal Response Test (falls Erdwärmesonde) bzw. Pumpversuche (bei Grundwassernutzung) durchgeführt, um verlässliche Angaben zum Untergrund zu erhalten. Anhand der Kenntnis der Eigenschaften und Kenngrößen des Baugrundes lassen sich das geothermische Potenzial, das thermische Reaktionsvermögen und die Möglichkeit und Grenze der thermischen Erschließung sowie die Auswirkung der Baudurchführung und des Betriebs der geothermischen Anlage auf die Umgebung des Standortes beurteilen. Detaillierte Informationen über die Mächtigkeit bzw. Tiefen von Grundwasser konnten nicht ermittelt werden. Für die Studie wird daher von einer Geothermienutzung über Erdwärmesonden ausgegangen.

Erdwärmesonden sind vertikal in das Erdreich über Bohrungen eingebrachte Wärmetauscher. Die Leistung kann aus mehreren Sonden kumuliert werden. Insbesondere bei größeren Leistungen werden mehrere Sonden zusammengefasst werden.

Erdwärmesonden werden in vertikalen Bohrungen von bis zu 99 m Tiefe, in Ausnahmefällen auch tiefer, installiert.Die Erdwärme wird über eine Wärmepumpe dem Gebäude mit dem für Flächensysteme erforderlichen Temperaturniveau zur Verfügung gestellt.

System TERRAZENT EWS 2-U

Das in nachfolgender Grafik dargestellte Sondenfeld stellt beispielhaft mögliche Anordnung der Sonden im Bereich der Schule und Turnhalle dar. Bei einem Raster von ca. 10 x 10 m würde dies unter Berücksichtigung der geologischen Randbedingung ca. 50 Sonden ergeben, welche ca. 50 % der Heizleistung für Schule und Turnhalle zur Verfügung stellen könnten.

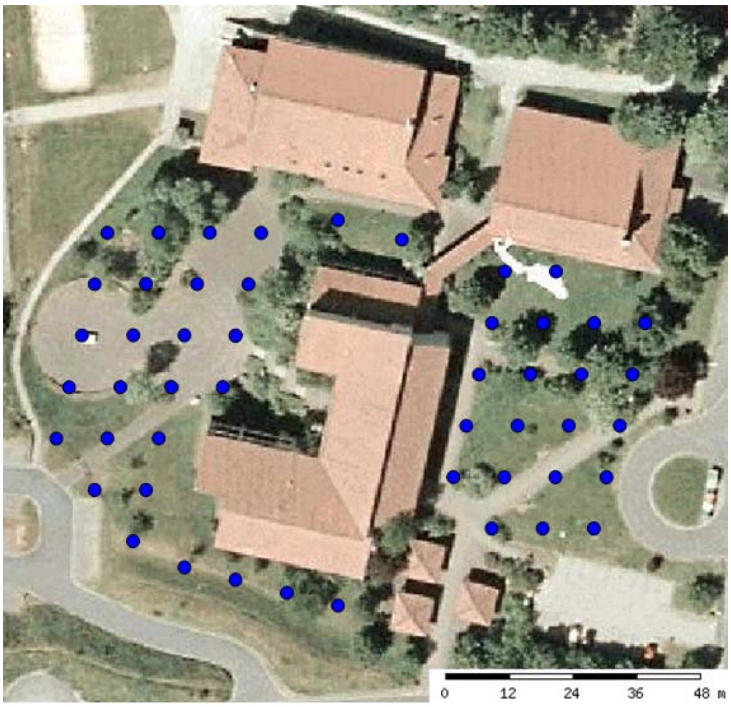


Abbildung 5-5: beispielhaft dargestelltes Sondenfeld

5.4.2 Wärmepumpentechnik:

Bei einer Wärmepumpe wird in einem Kreislaufprozess ein Arbeitsmedium auf ein höheres (nutzbares) Temperaturniveau gebracht. Für die Wärmeerzeugung wird dem Erdreich auf niedrigem Temperaturniveau Wärme entzogen und ein bei niedriger Temperatur siedendes Arbeitsmittel (klimaverträgliches Arbeitsmittel wie R407 C) verdampft. Das zuvor flüssige Arbeitsmittel verlässt den Verdampfer gasförmig. Das Gas wird in einem Verdichter komprimiert und damit erwärmt. Das erwärmte Gas gibt die Wärme im Kondensator an das Heizungswasser zur Gebäudebeheizung ab und verflüssigt sich dabei wieder. Zuletzt wird das noch unter Druck stehende Arbeitsmittel in einem Expansionsventil entspannt und der Kreislauf beginnt von vorne. Die Effizienz der Anlage bzw. des thermodynamischen Prozesses ist stark von der Quellentemperatur (Erdreich) sowie der Vorlauftemperatur im Heizsystem abhängig. Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Quellentemperatur und Vorlauftemperatur ist, desto höher ist die Effizienz bzw. der COP (Coefficient of Performance) der Wärmepumpe bzw. der Anlage.

Um eine Aussage über die Effizienz der Anlage zu erhalten, wurde hierzu die Verbraucherseite der Hans-Edelmann-Schule (Sporthalle und Schule) detailliert betrachtet. Die Wärmeabnehmer sind überwiegend statische Heizflächen in Form von Heizkörpern. Gemäß den Auslegungsunterlagen ergeben sich Vorlauftemperaturen von bis zu 80°C (Auslegungsfall). Festzuhalten bleibt, dass sowohl im Schulgebäude als auch in der Sporthalle in den wesentlichen Nutzungsbereichen keine Flächenheizsysteme mit niedrigen Vorlauftemperaturen (T_{VL} < 35°C) installiert sind. Dies bedeutet, dass die Wärmepumpe einen maximalen Temperaturhub (T_E = 10°C auf T_{VL} = 80°C) von ca. 70 Kelvin im Auslegungsfall sicherstellen muss. Um den Temperaturhub zu reduzieren, wäre ein Anlagenkonzept mit einer geothermischen Vorwärmung und einer Nacherhitzung über den Spitzenlastkessel möglich.

Wie bereits schon dargestellt, hängt die Effizienz von der Quellentemperatur T_E (Erdreich) sowie der Vorlauftemperatur T_{VL} im Heizsystem ab. Je geringer die Temperaturdifferenz von T_E und T_{VL} (bzw. Tm_{VL+TRL}), desto höher die Effizienz der Anlage. Um dies zu veranschaulichen wurde mit Hilfe einer Simulation die Leistungszahl (COP_{gesamt}) in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur der Wärmepumpe beispielhaft simuliert.

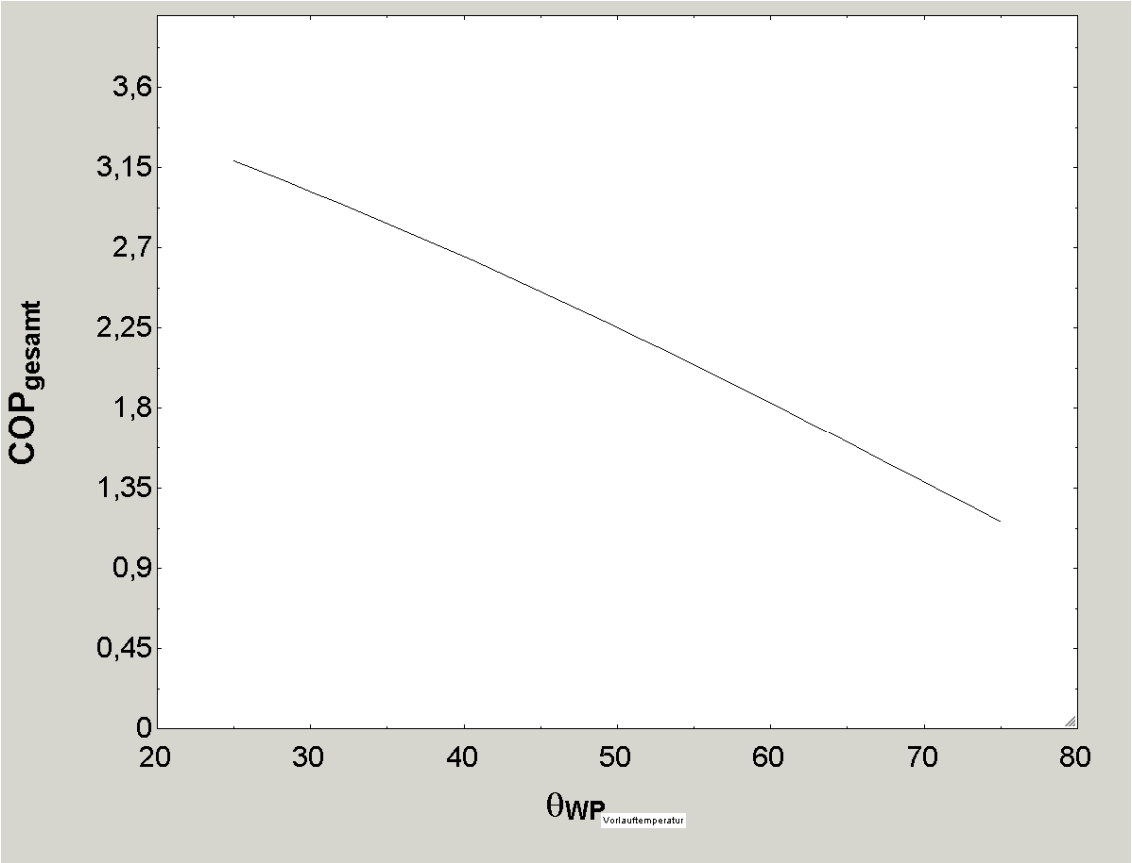


Abbildung 5-6: Wärmepumpen COP gesamt (inkl. Hilfsaggregate) in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur
[Quelle: Forschungsprojekt Geothermie 2005: BIBERACH UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES; Markus Faigl]

Das Diagramm zeigt deutlich, wie die Effizienz der Wärmepumpe mit zunehmender Vorlauftemperatur abnimmt. Bei einer Vorlauftemperatur von 80°C der Wärmepumpe würde die Effizienz der WP-Anlage der Effizienz einer Stromdirektheizung gleichkommen.

5.5 Variante 3 und 4 – Biomassefeuerung

Die Wärmeversorgung wird bei dieser Variante über einen modulierenden Biomassekessel (Pelletkessel bzw. Holzhackschnitzelkessel) sowie einen Gasspitzenlastkessel sichergestellt. Um ein Takten des Biomassekessels zu verhindern, sowie zur Erreichung eines optimalen Jahresnutzungsgrad des Kessel, wird ein Pufferspeicher hydraulisch zwischen Erzeuger und Verbraucher eingebunden. Nachfolgende Grafik stellt die hydraulische Einbindung der Wärmeerzeuger dar.

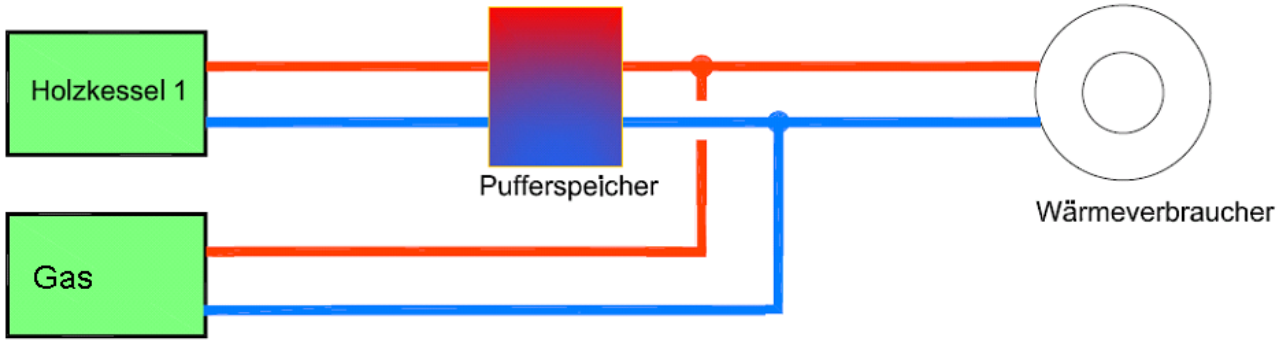


Abbildung 5-7: schematische Darstellung Energieversorgungsvariante

Biomassekessel 1:	Typ: Pyrot KRT 220	220kW
Gaskessel 2:	Typ: Logano plus	230kW

Da der Biomassekessel nicht mit leitungsgebundenen Energieträgern versorgt wird, muss ein Brennstofflager vorgehalten werden. Im Rahmen des Energiekonzeptes wurden mögliche Standort näher betrachtet. Nachfolgende Grafik zeigt zwei mögliche Varianten auf.

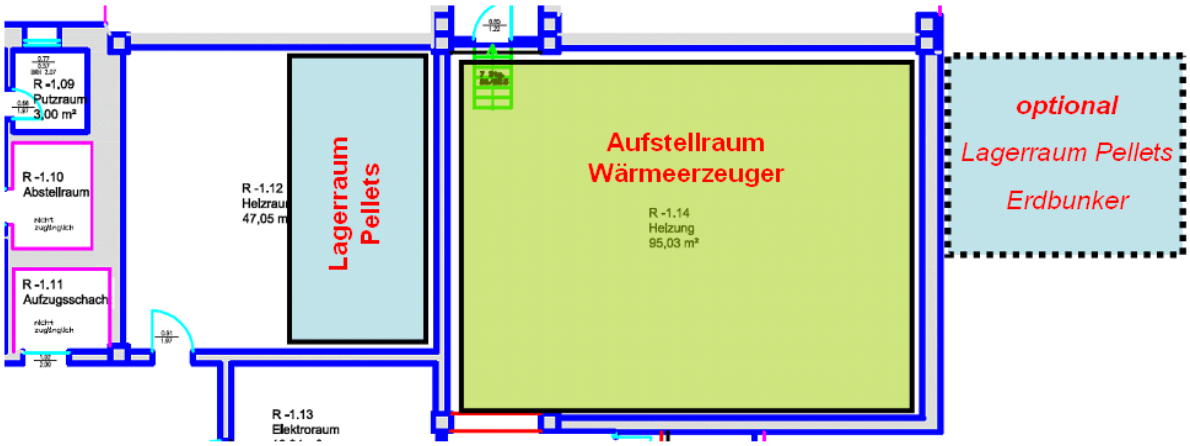


Abbildung 5-8: Auszug Grundrissplan Heizzentrale Schulgebäude mit möglichen Standorten für Brennstofflager

Aufgrund des geringen Platzbedarfs sowie der Investitionskosten wurde im ersten Schritt von einer minimalen Brennstoffbevorratung ausgegangen. Für die Auslegung der minimalen Brennstoffbevorratung vor Ort sollte von einer Brennstoffversorgung von circa ein bis zwei Wochen ausgegangen werden. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Variante wurde von einer Brennstofflagerung im Gebäude ausgegangen. Sollte die Variante umgesetzt werden, so sollte unter dem Hintergrund der Brennstofflieferung sowie des Platzbedarfs die Erstellung eines Erdbunkers zur Brennstofflagerung untersucht werden.

Anlagenkonzept mit Holzpellets als Energieträger

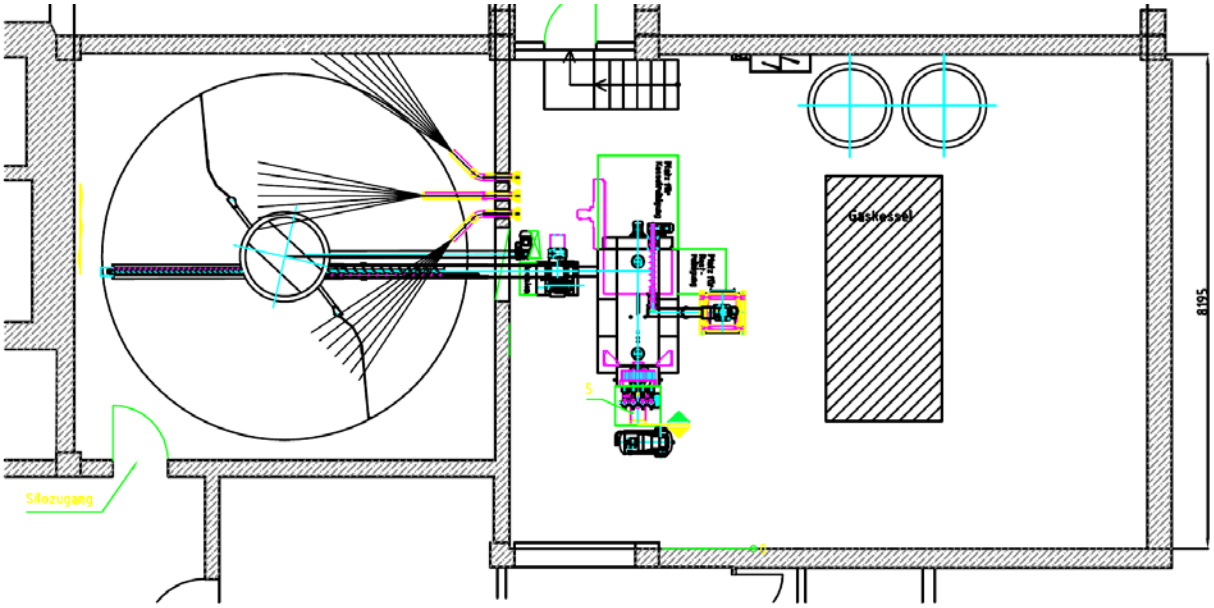


Abbildung 5-9: Grundriss Heizzentrale in Schulgebäude mit Pelletslagerraum im Gebäude

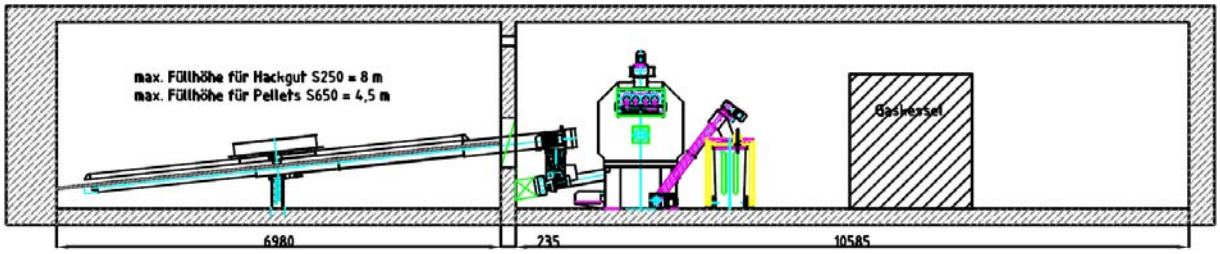


Abbildung 5-10: Schnitt Heizzentrale in Schulgebäude mit Pelletslagerraum im Gebäude

Anlagenkonzept mit Holzhackschnitzel als Energieträger

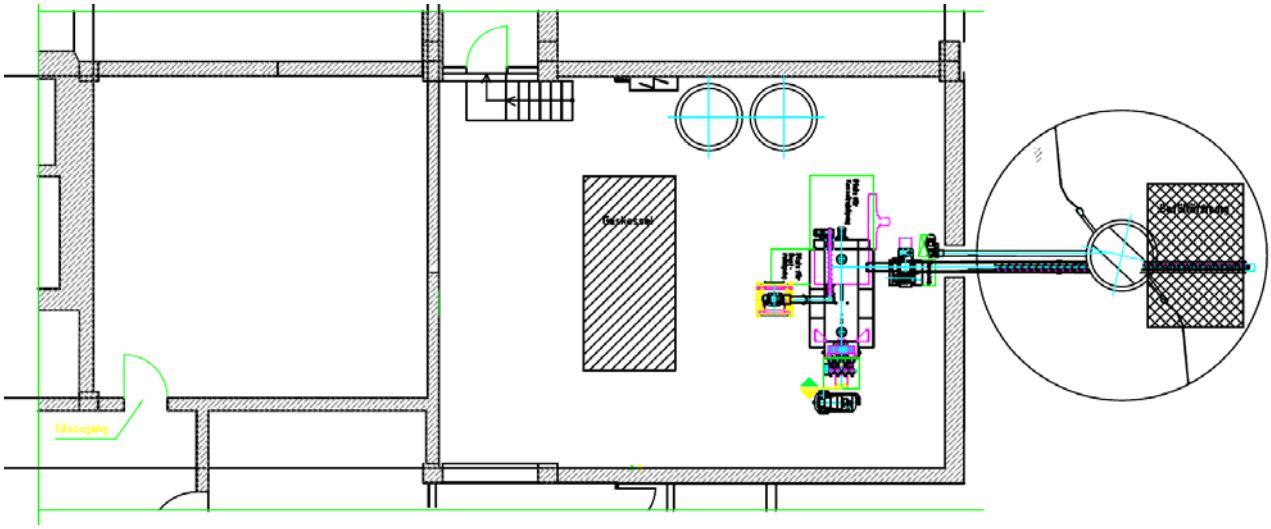


Abbildung 5-11: Grundriss Heizzentrale in Schulgebäude mit Holzhackschnitzelbunker (Erdbunker)

Abbildung 5-12: Holzhackschnitzelbunker (Fertigteil Fa. Mall) für Erdeinbau mit Befüllöffnung

6 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für Wirtschaftlichkeitsvergleiche bestehen in der Energiewirtschaft verschiedene Rechenverfahren. Die in der vorliegenden Untersuchung verwendete Vorgehensweise entspricht der Annuitätenmethode, die vorwiegend in der Praxis zum Einsatz kommt. Dabei wird zunächst ein Vergleich durchgeführt, d.h. die für das erste Betriebsjahr ermittelten Ergebnisse werden als repräsentativ für den gesamten Nutzungszeitraum angesehen.

Hierfür werden die gesamten jährlichen Kosten der verschiedenen Versorgungsvarianten - untergliedert in kapitalgebundene, neben-, verbrauchs, betriebsgebundene und sonstige Kosten - in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067-1, "Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen" ermittelt. Hieraus ergibt sich ein jährlicher Überschuss bzw. ein jährliches Defizit, mit dem die statische Kapitalrückflussdauer berechnet wird.

Wegen der fehlenden Berücksichtigung von Preissteigerungen kann die statische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung jedoch, besonders bei so langfristigen und kostenintensiven Investitionsvorhaben, wie der Errichtung von Energieerzeugungsanlagen, leicht zu Fehlaussagen führen. Deshalb wird anschließend die dynamische Amortisationsdauer bestimmt, die sowohl Zinsen, als auch Preissteigerungen bei den Betriebs- und Energiekosten miteinbezieht.

Sämtliche in dieser Studie enthaltenen Investitionen und Preise verstehen sich als Netto-Preise, d.h. die derzeit gültige Mehrwertsteuer ist hinzuzurechnen.

6.1 Investitionen

Zur Ermittlung der Investitionen der einzelnen Anlagenkomponenten werden Erfahrungswerte aus vergleichbaren Anlagen angesetzt, die z.T. auf Kostenangeboten direkt von Hersteller- bzw. Ausführungsfirmen basieren oder auf Submissionsergebnissen vergleichbarer Anlagen. Bei den Investitionskosten wurden nur die reinen Mehrkosten bzw. anlagenspezifische Komponenten der Systeme eingerechnet. Die sogenannten „Sowieso-Kosten“, die für alle Varianten anfallen (Wärmeverteilung, Verrohrung, Armaturen, Pumpen etc.), wurden nicht berücksichtigt. Kosten für Planung, Genehmigung und Gutachten wurden nicht miteinbezogen.

6.2 Jährliche Kosten

Die Ermittlung der jährlichen Kosten erfolgte in Anlehnung an die VDI 2067, aufgeteilt auf die Kostenarten:

- Kapitalgebundene Kosten
- Betriebsgebundene Kosten
- Verbrauchsgebundene Kosten
- Sonstige Kosten

6.2.1 Kapitalgebundene Kosten

Zur Ermittlung der jährlichen kapitalgebundenen Kosten werden die Investitionen der verschiedenen Komponenten mit dem Annuitätsfaktor in jährlich konstante Zahlungen bezogen auf die Nutzungsdauer umgerechnet.

Der Annuitätsfaktor errechnet sich mit der Formel:

$$a = \frac{q^T (q-1)}{q^T - 1}$$

mit :	a	Annuitätsfaktor
	T	Betrachtungszeitraum (i.A. Nutzungsdauer)
	q	Zinsfaktor q = 1+p/100
	p	Kalkulationszinsfuß
	T	Betrachtungszeitraum

Die kapitalgebundenen Kosten lassen sich nach folgender Formel ermitteln:

Kapitalgebundene Kosten =	*Investitionen*	*x*	*Annuitätsfaktor*
[€/a]	[€]		[1/a]

Der Kalkulationszinsfuß wurde mit 5 % (Laufzeit 20 Jahre) angesetzt.

Bei den Kapitalgebundenen Kosten kommen die Kosten für Instandsetzung und Erneuerung in jährlichen %-Sätzen der Investitionskosten zum Ansatz.

6.2.2 Verbrauchsgebundene Kosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten umfassen die

- jährlichen Brennstoffkosten,
- jährlichen Stromkosten.

Die Berechnung der verbrauchsgebundenen Kosten ist im Anhang dargestellt.

6.2.3 Betriebsgebundene Kosten

Unter den betriebsgebundenen Kosten sind die Personalkosten sowie die Kosten für Wartung und Instandhaltung zu verstehen. Hinsichtlich der Instandhaltungskosten wird eine differenzierte Ermittlung entsprechend der wesentlichen Anlagenkomponenten vorgenommen. Die Kosten in € pro Jahr erhält man durch Multiplikation der Investitionssumme der einzelnen Anlagenteile mit einem %-Satz pro Jahr. Dieser ist nach Anlageteilen differenziert der VDI 2067 entnommen.

Betriebsgebundene Kosten =	*Investitionssumme x*	*Prozent pro Jahr*
[€/a]	[€]	[%/a]

6.2.4 Sonstige Kosten

Gemäß VDI 2067 sind unter sonstigen Kosten Steuern sowie Versicherungs- und Verwaltungskosten zu verstehen. Sie werden mit 1 % der Investitionssumme angesetzt.

6.3 Kosten - Erlösevergleich

Die Summe der Jahreskosten errechnet sich wie folgt:

+ Kapitalgebundene Kosten
+ Verbrauchsgebundene Kosten
+ Betriebsgebundene Kosten
+ Sonstige Kosten

⇒ Gesamtkosten

Diese Gesamtjahreskosten werden für die Varianten ermittelt und der Basisvariante gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung der Gesamtjahreskosten der einzelnen Varianten gegenüber der Basisvariante ergibt dann die Überschüsse oder Defizite, mit denen dann die Kapitalrückflussdauern und Amortisationszeiten berechnet werden.

6.4 Amortisationszeiten

6.4.1 Kapitalrückflussdauer

Die Kapitalrückflussdauer ist das Verhältnis von Mehrinvestition zu Ersparnis (Nutzen):

$$n_R = \frac{I}{e}$$

mit: n_R Kapitalrückflussdauer

I Mehrinvestition

e Ersparnis (jährlicher Überschuss ohne Kapitalkosten)

Dieses statische Verfahren berücksichtigt weder die Verzinsung des Kapitals, noch steigende Preise.

7 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Ergebnisse aus den vorstehend theoretisch beschriebenen Sachverhalten werden nachfolgend dargestellt und erläutert.

7.1 Investitionen

Die Investitionen für jede Variante setzen sich wie in der nachfolgenden Grafik dargestellt zusammen.

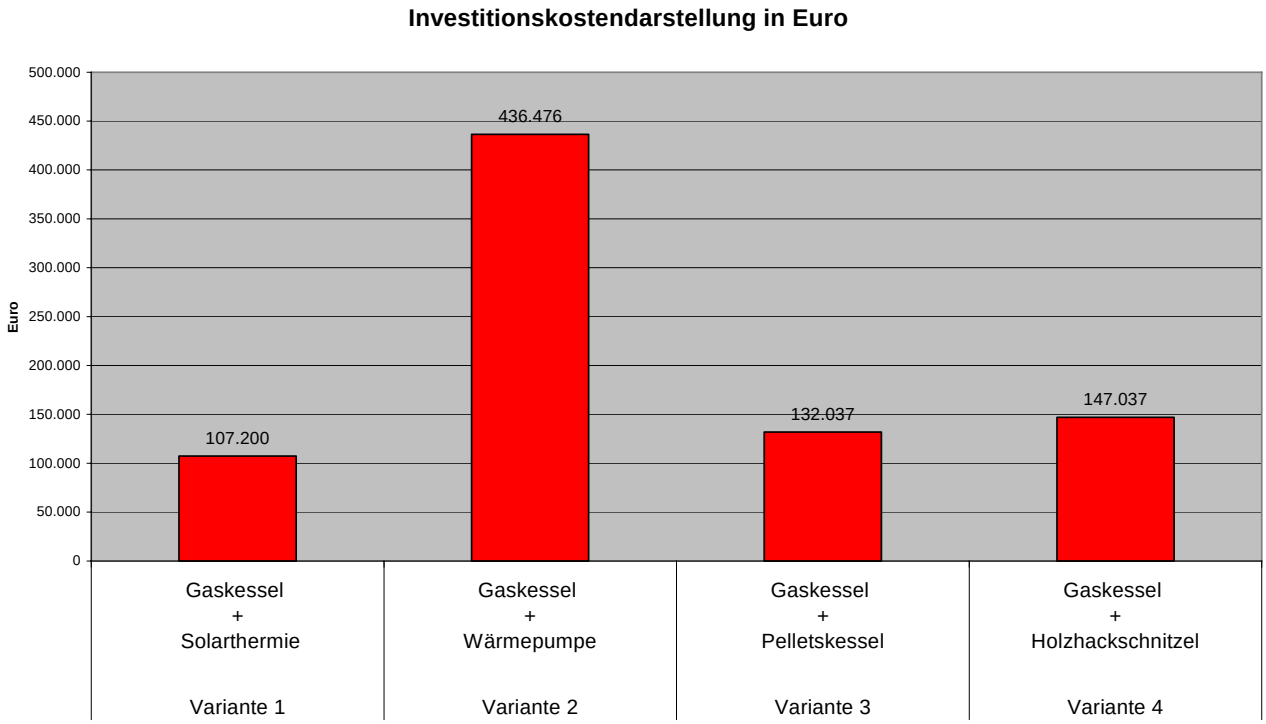


Abbildung 13: Investitionen der Varianten

Die Investitionskosten für die Wärmepumpenvariante ist mit Abstand am höchsten. Dies liegt vor allem an den notwendigen Erdwärmesonden sowie der Wärmepumpe.

7.2 Jahreskosten der Varianten

In der nachfolgenden Abbildung sind die errechneten Jahreskosten der einzelnen Varianten dargestellt.

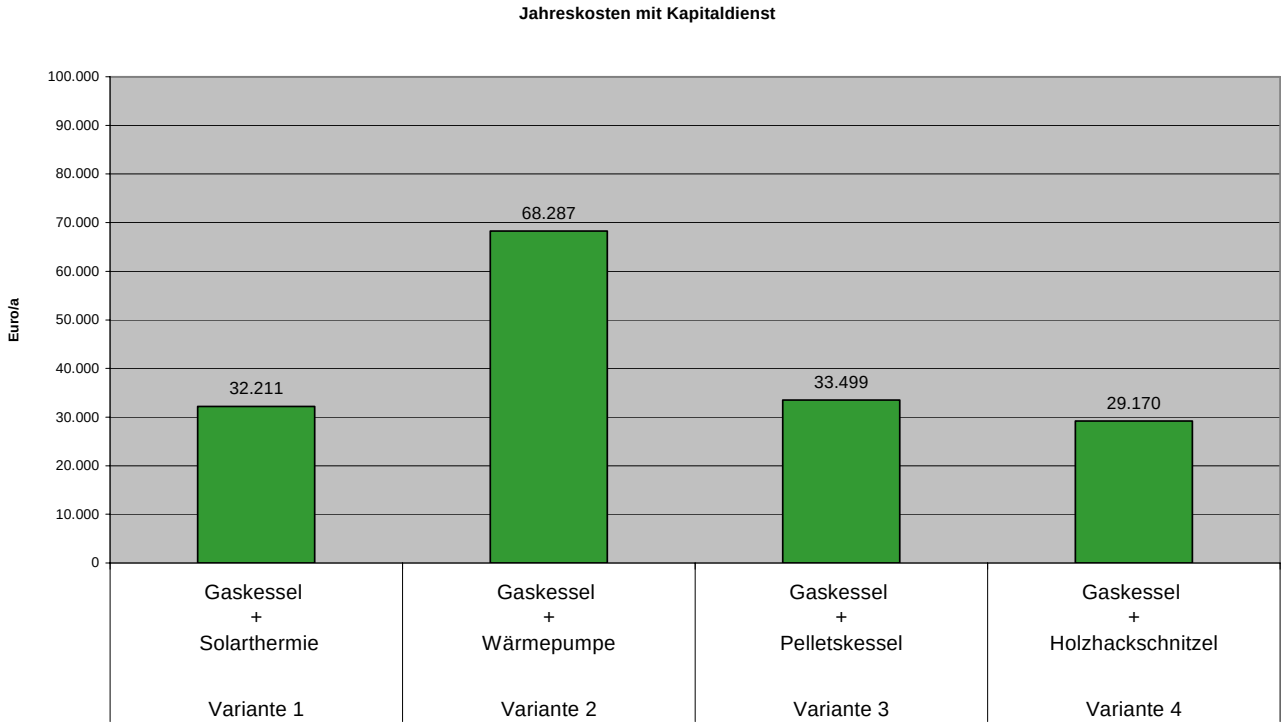


Abbildung 14: Jahreskosten der Varianten

Die Ergebnisse der Jahreskostenberechnung sind für die Entscheidungsfindung ausschlaggebend.

7.3 Wärmegestehungspreis

Bei der Berechnung der Wärmegestehungspreise sind alle im Jahr anfallenden Kosten auf die benötigte Nutzwärme bezogen.

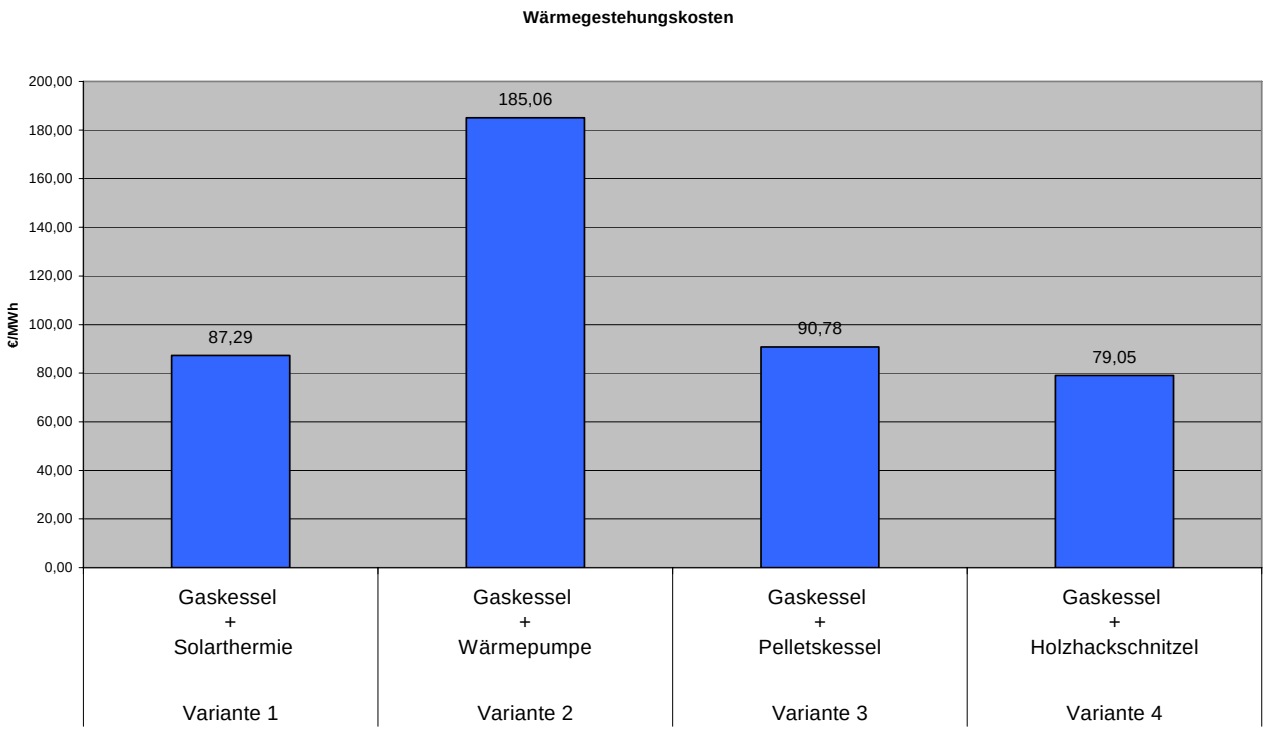


Abbildung 15: Wärmegestehungspreise in den Varianten

Der Wärmegestehungspreis für die Variante Holzhackschnitzelkessel ist unter den gegebenen Randbedingungen am günstigsten.

7.4 Amortisation

Für die in jeder Variante ermittelten Investitionen ist die Amortisationszeit errechnet worden. Dabei wird von einem kalkulatorischen Zinssatz von 4,60 % ausgegangen.

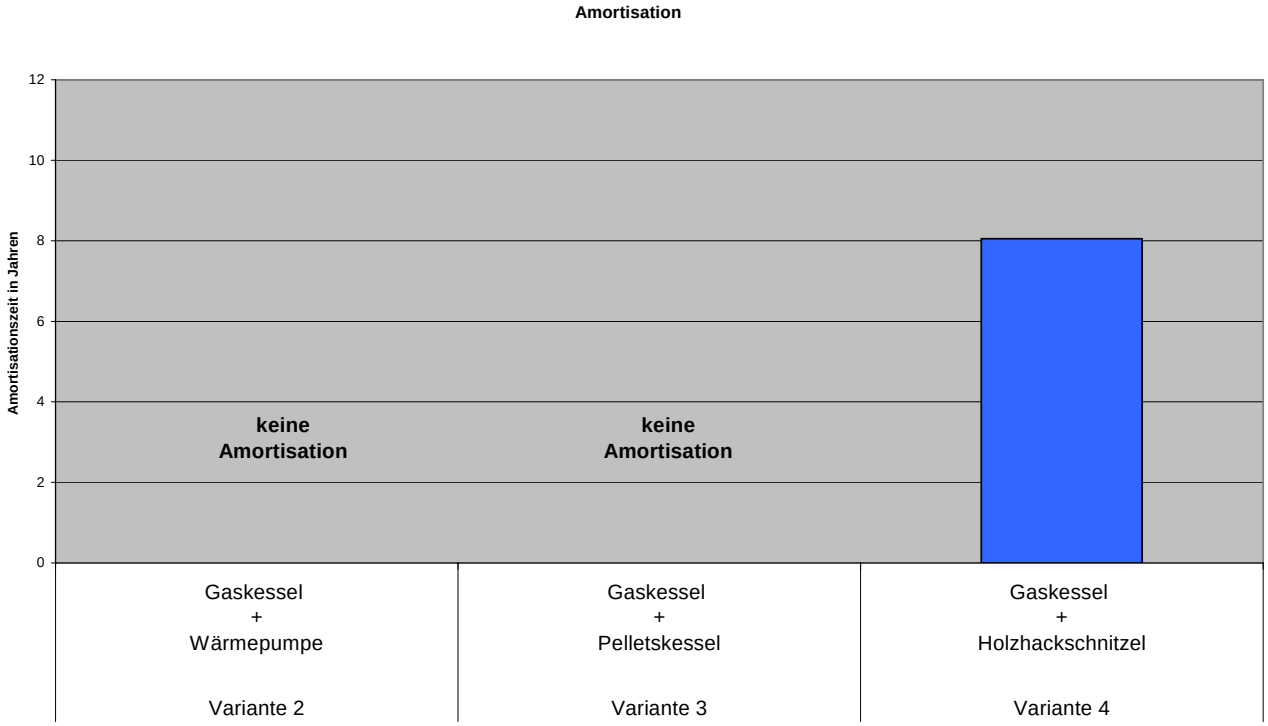


Abbildung 16: Amortisationszeiten der Varianten

Die Holzhackschnitzelvariante amortisiert sich noch während der VDI Nutzungsdauer (20 Jahre) und ist demnach wirtschaftlich. Die Energieversorgungssysteme (der Variante 2 + 3) amortisieren sich bei den gegebenen Energiepreisen nicht.

8 Sensitivitätsanalyse

Wie bereits erwähnt wird die Auswirkung der sich ständig ändernden Energiepreise auf die Wirtschaftlichkeitsergebnisse der durchgeführten Berechnungen in einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Hierbei wurden die Preisentwicklungen auf dem Energiemarkt in den letzten Jahren beobachtet. Die Variante mit Holzhackschnitzel ist durch die Nutzung der Biomasse (Holzhackschnitzel) als nachhaltig zu bezeichnen und wird mit Steigerung der Erdöl- bzw. Erdgaspreise an Wirtschaftlichkeit gewinnen. In der nachfolgenden Sensitivitätsanalyse wird dies detailliert untersucht. Die Preisentwicklung für die Holzhackschnitzel und Pellets war im letzten Jahr relativ stabil. Dies ist in den nachfolgenden Grafiken dargestellt.

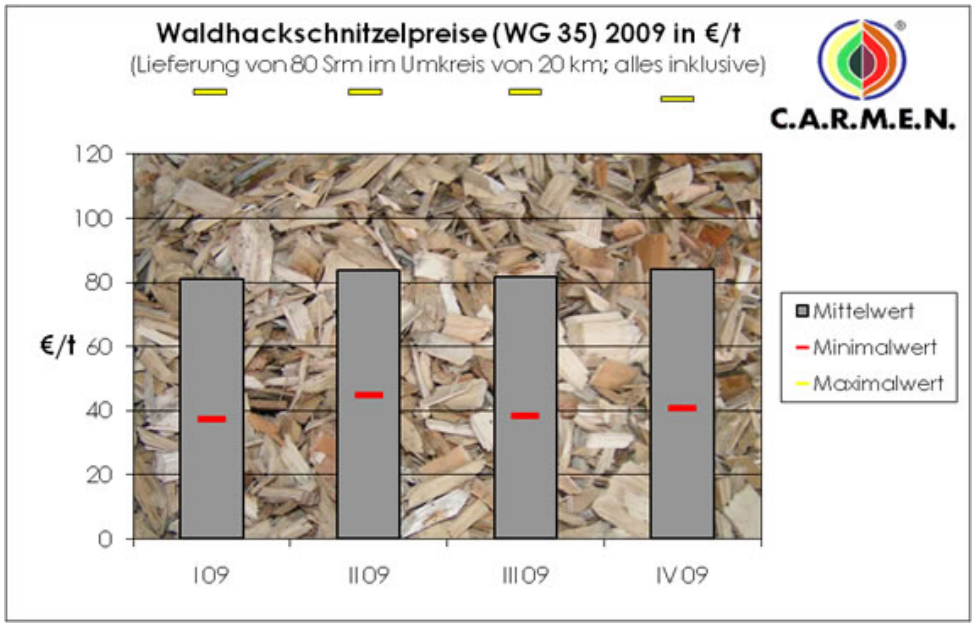


Abbildung 17: Verlauf der Waldhackschnitzelpreise 2009 [Quelle: Carmen]

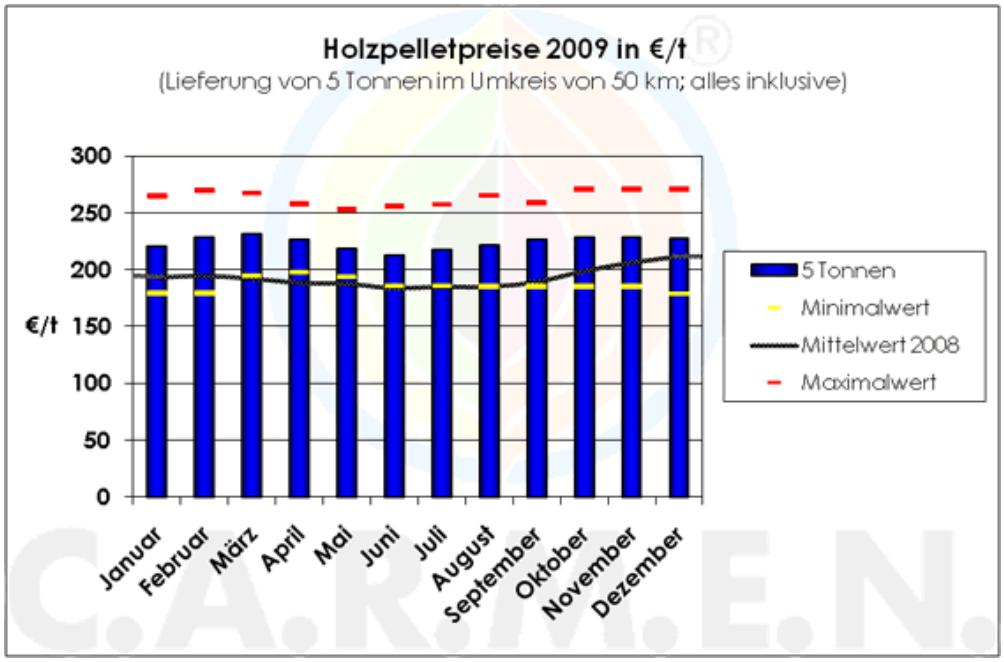


Abbildung 18: Verlauf der Holzpelletspreise 2009 [Quelle: Carmen]

Folgende Preisänderungsstufen wurden für die Sensitivitätsanalyse angesetzt:

Stufen:	Erdgas	Strom	Pellets	HHS
1	0	0	0	0
2	12%	11%	2%	2%
3	24%	22%	6%	6%
4	36%	33%	10%	10%

Abbildung 19: Festgelegte Preissteigerungsstufen

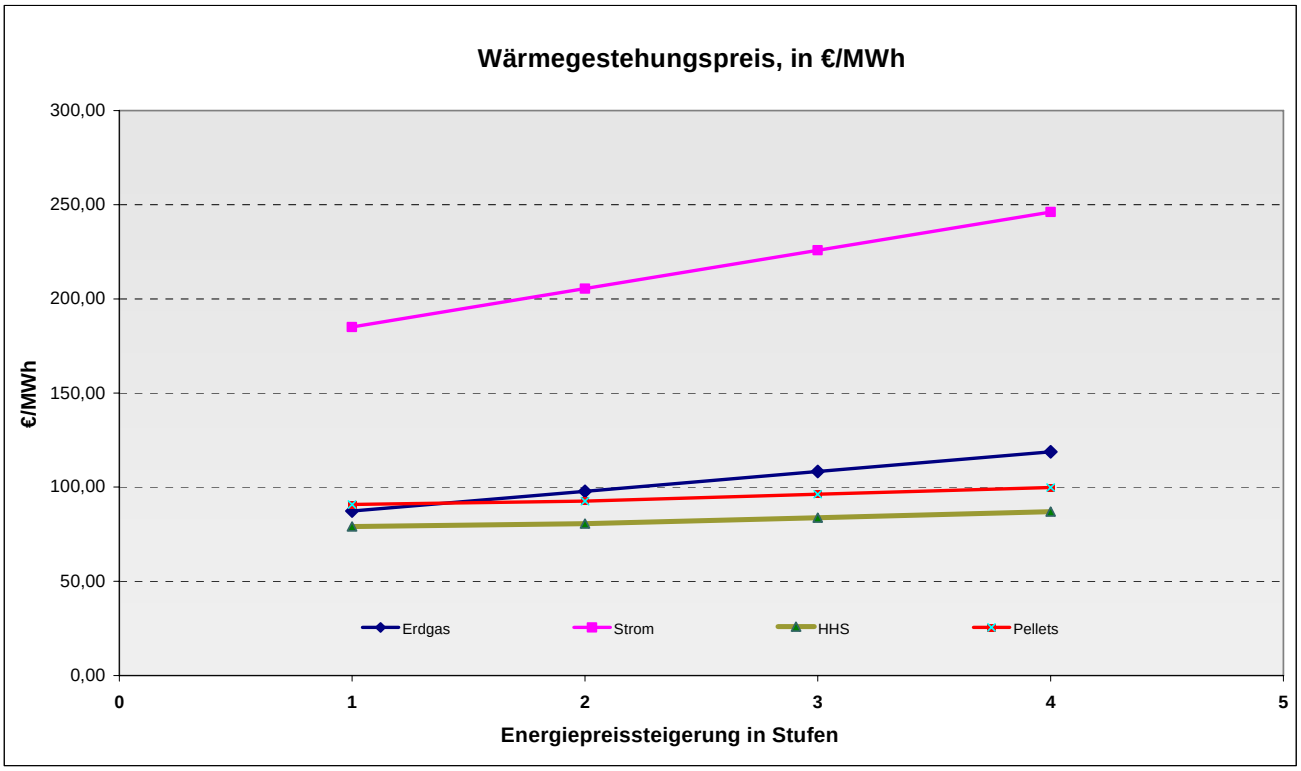


Abbildung 20: Änderung des Wärmegestehungspreises bei Energiepreissteigerung

Die Holzhackschnitzelvariante bleibt bei der durchgeführten Sensitivitätsanalyse die wirtschaftlichste Wärmeversorgung für die Hans-Edelmann-Schule. Durch die zu erwartende Energiepreissteigerungen (besonders der fossilen Energien) wird sich die Wirtschaftlichkeit der Holzhackschnitzelvariante noch weiter verbessern.

9 Umweltbilanz

9.1 CO_2-Emissionen der Energieversorgungsvarianten (Wärmeerzeugung)

Für die jeweilige Variante wurden die CO_2-Emissionen[4] berechnet. Die Ergebnisse sind in nachfolgendem Diagramm dargstellt.

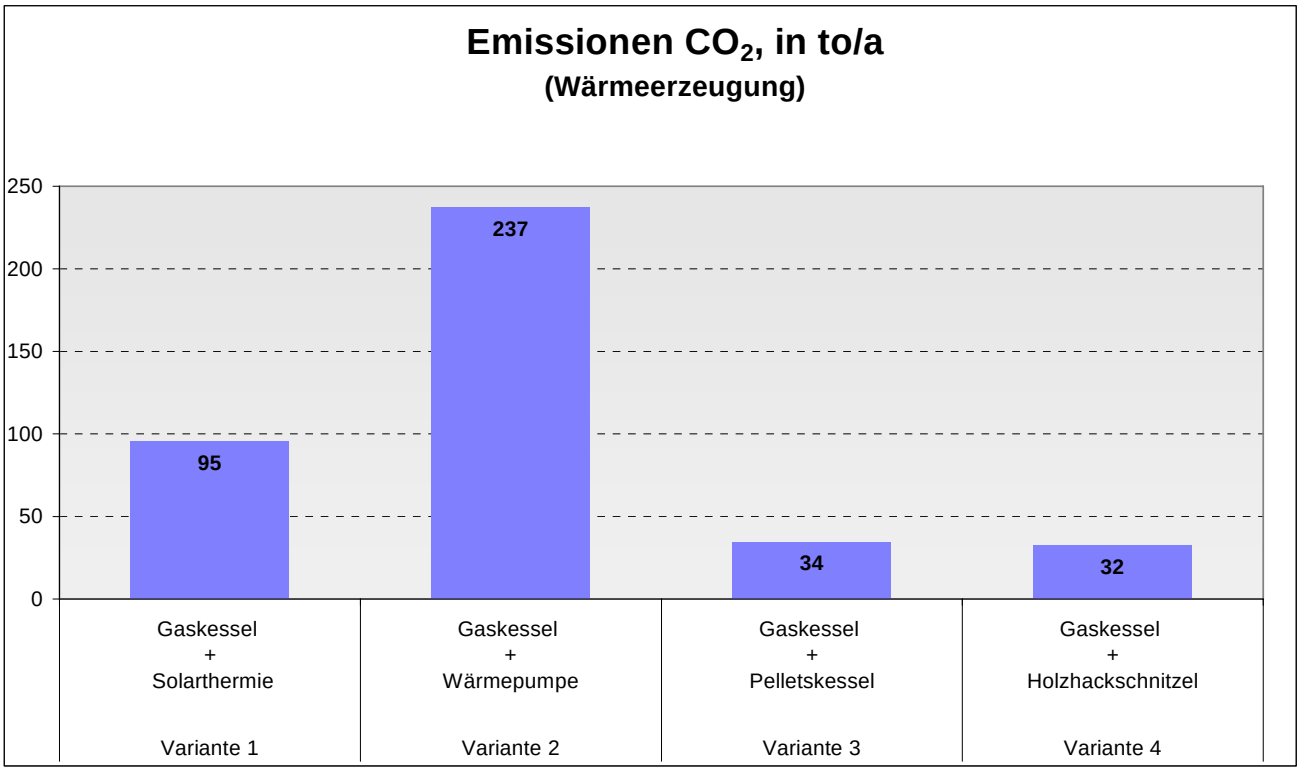


Abbildung 21: CO_2-Emissionen der Varianten

Die Biomassevarianten 3 und 4 erzeugen mit Abstand die geringsten CO_2-Emissionen.

[4] CO_2-Emissionen für Holzhackschnitzel, Pellets wurden mit Hilfe von GEMIS Version 4.5 berechnet (Kumulierter Energieaufwand und CO2-Emissionsfaktoren gemäß IWU 14.01.2009); Berechnungsansatz spezifische CO_2-Emissionen für Gaskessel 252 kg/MWh und 585 kg/MWh als BRD Mix für Strom.

9.2 Vergleich CO_2-Emissionen zum Bestand (Wärmeerzeugung)

Nachfolgende Grafik vergleicht die absoluten CO_2-Emissionen (Wärmeerzeugung) der untersuchten Varianten mit dem Istzustand (Datengrundlage Jahr 2007).

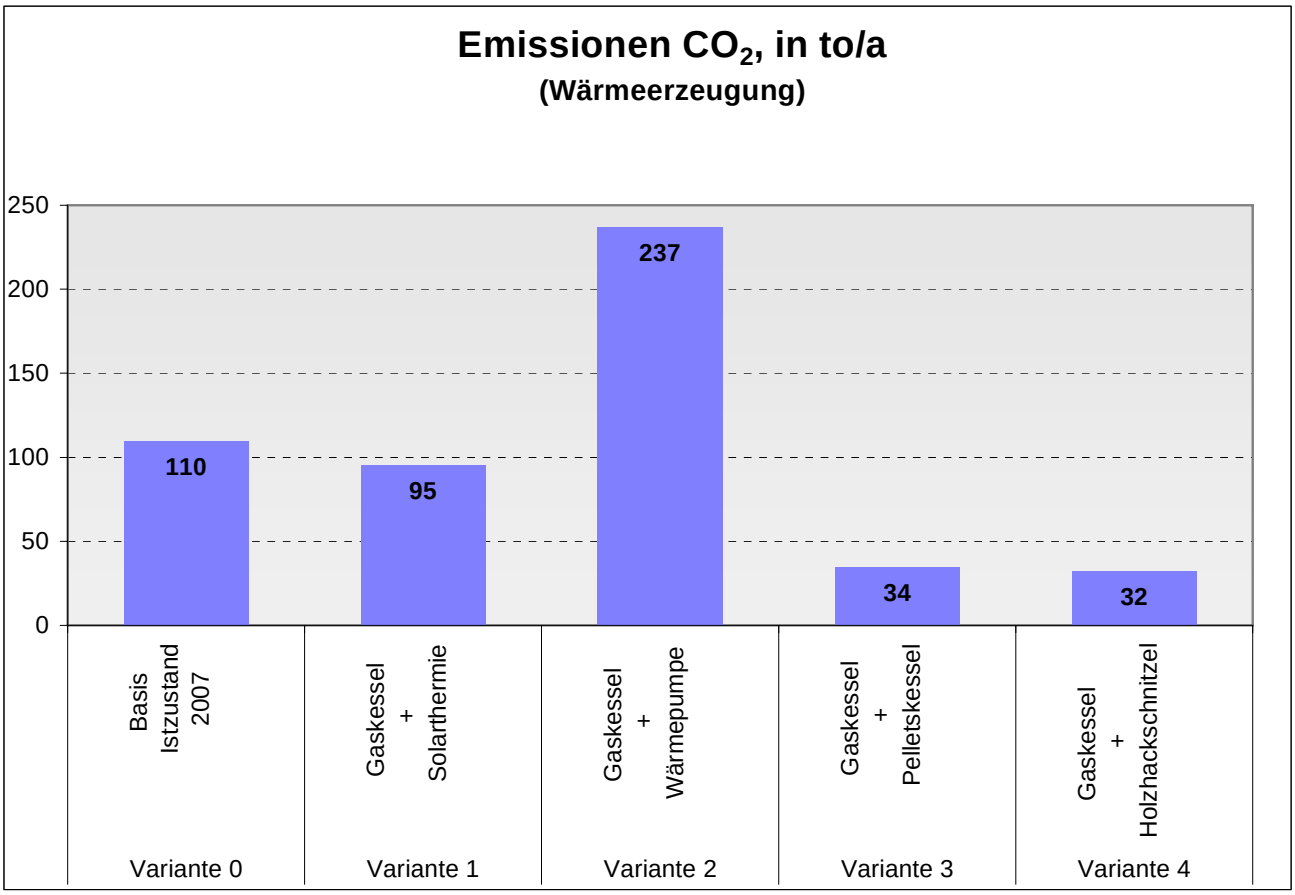


Abbildung 22: CO_2-Emissionen der Varianten

Die Darstellung der prozentualen Einsparung an CO_2-Emissionen (Wärme) zeigt, dass bei der Variante mit den Holzhackschnitzeln ca. 70 % an CO_2 im Vergleich zum Bestand eingespart werden.

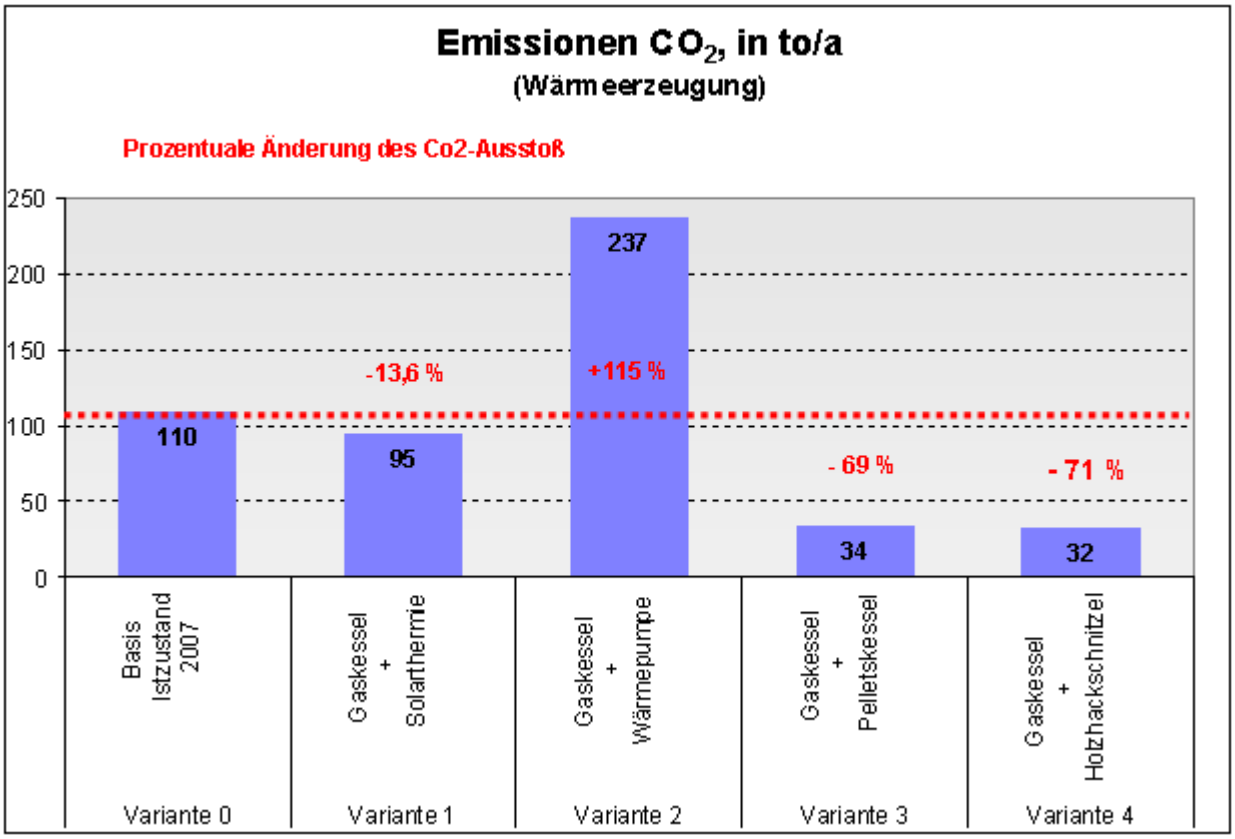


Abbildung 23: CO_2-Emissionen der Varianten

Der Mehrverbrauch für die Variante 2 ist vor allem durch den schlechten COP der Wärmepumpenanlage (hohe Vorlauftemperaturen) und der damit verbundenen hohen Stromaufnahme. Zudem besitzt Strom einen höheren spezifischen CO_2-Ausstoß als die Vergleichsenergieträger Erdgas und Biomasse.

9.3 Vergleich CO_2-Emissionen zum Bestand (Gesamt: Wärme + Strom)

Nachfolgende Grafik vergleicht die absoluten CO_2-Emissionen gesamt (Wärme + Strom) der untersuchten Varianten mit dem Istzustand (Datengrundlage Jahr 2007). Der Anteil für den Strom wurde aufgrund der Vergleichbarkeit[5] als konstant angesetzt.

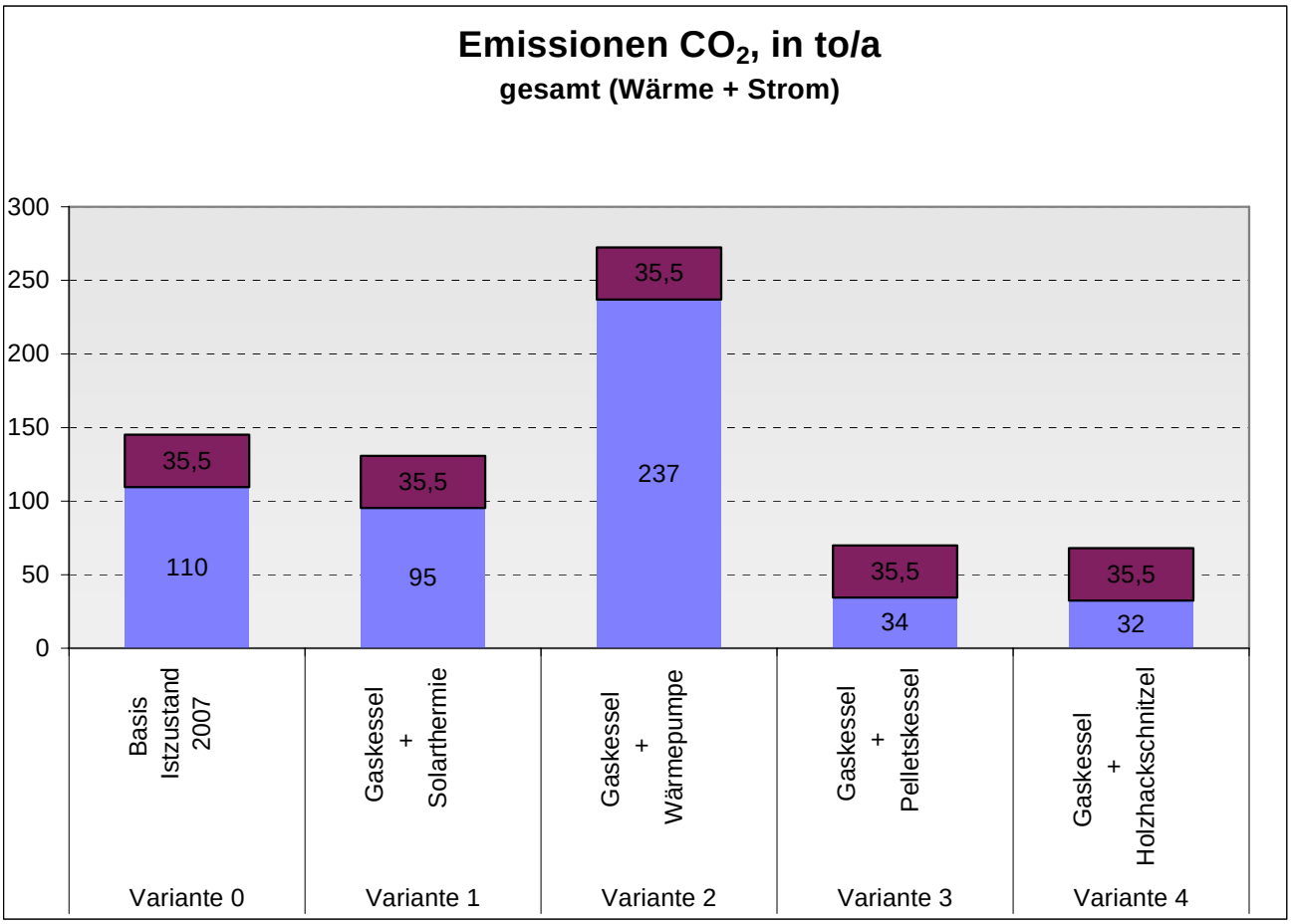


Abbildung 24: CO_2-Emissionen der Varianten

[5] Sollten die vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen (Ventilatoraustausch, Pumpenaustausch, Umrüstung Beleuchtung umgesetzt werden reduziert sich der CO_2-Ausstoß dementsprechend. Dieser ist dann für alle Varianten analog anzusetzen.

Die Darstellung der prozentualen Einsparung an CO_2-Emissionen gesamt zeigt, dass bei der Variante mit den Holzhackschnitzeln ca. 54 % an CO_2 im Vergleich zum Bestand eingespart werden.

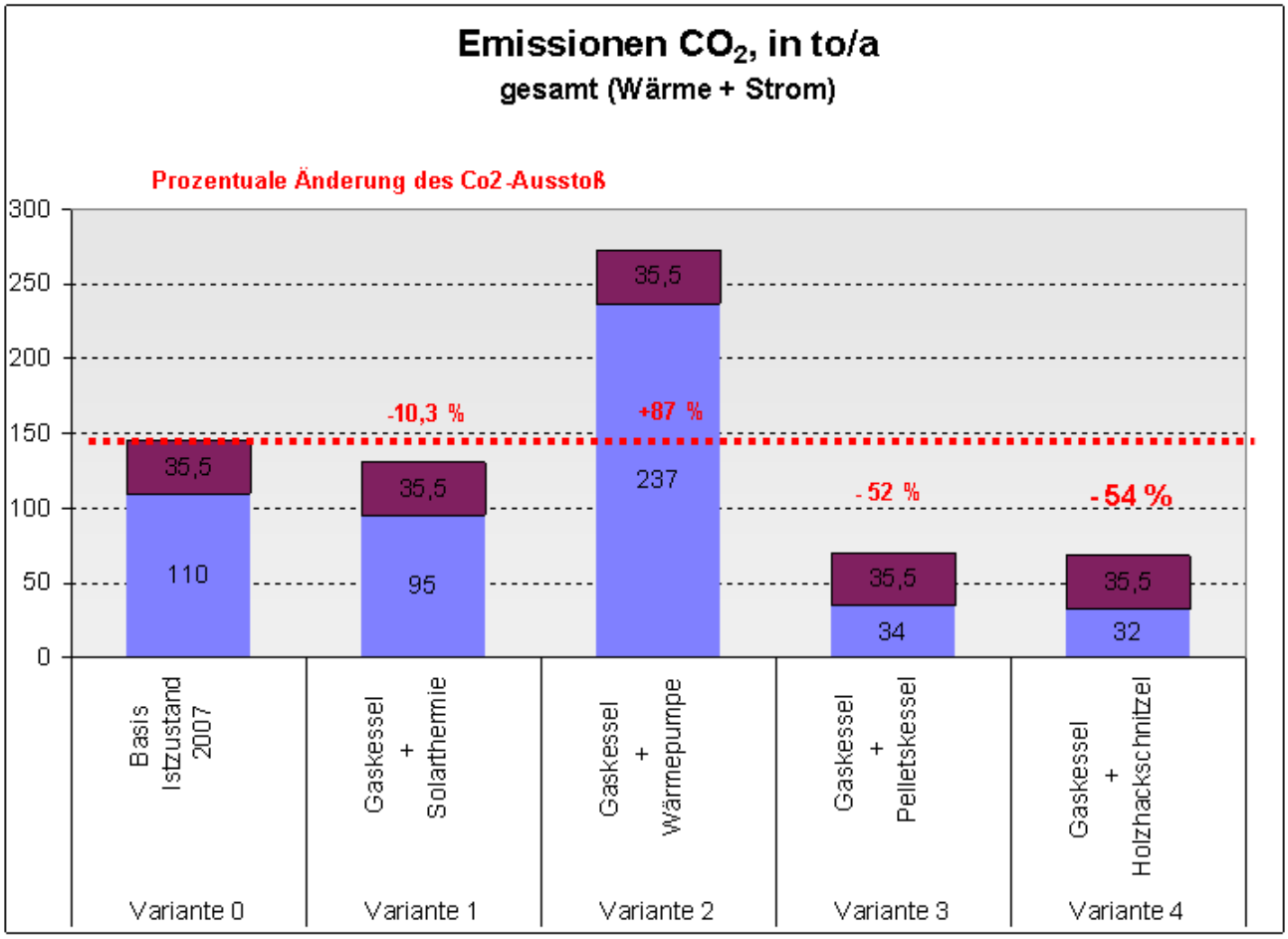


Abbildung 25: CO_2-Emissionen der Varianten

10 Darstellung eines Controllingkonzeptes

Im Rahmen des integrierten Energiekonzeptes wurde ein Controllingkonzept erarbeitet, mit dem es möglich ist, den Energieverbrauch der Gebäude bzw. der einzelnen Verbraucher zu erfassen. Spezielle Zähl- und Messeinrichtungen in den Gebäuden erfassen kontinuierlich die Verbrauchsmengen für Strom, Wärme, Wasser sowie die Temperaturen. In den Gebäuden (Schule + Turnhalle) installierte „Controllingboxen“ rufen alle Werte in regelmäßigen Intervallen ab und speichern sie. Dieses System ermöglicht es, ein hocheffizientes Gebäudeenergiemanagement vollautomatisiert, autark und rund um die Uhr zu betreiben und alle relevanten Parameter zum Energieverbrauch zu erfassen. Die automatisch und permanent erfassten Daten können direkt oder per Ferndatenauslesung gespeichert werden. Sind alle Daten für einen Monat bzw. ein Jahr komplett, so werden automatisch die entsprechenden Monats- bzw. Jahresberichte erstellt.

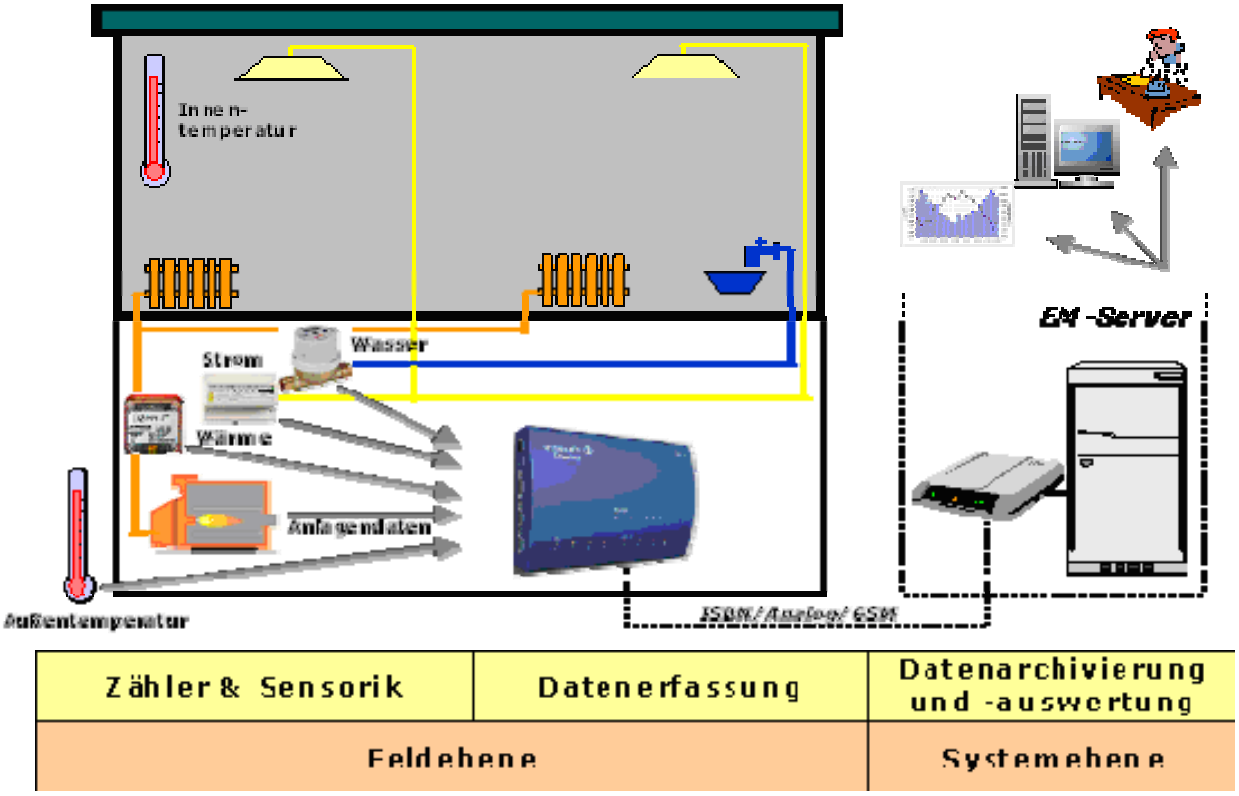


Abbildung 26: schematische Darstellung Controllingkonzept [Quelle: ennovatis]

Darstellung mögliches Zählerkonzept (Wärmeerzeugerebene)

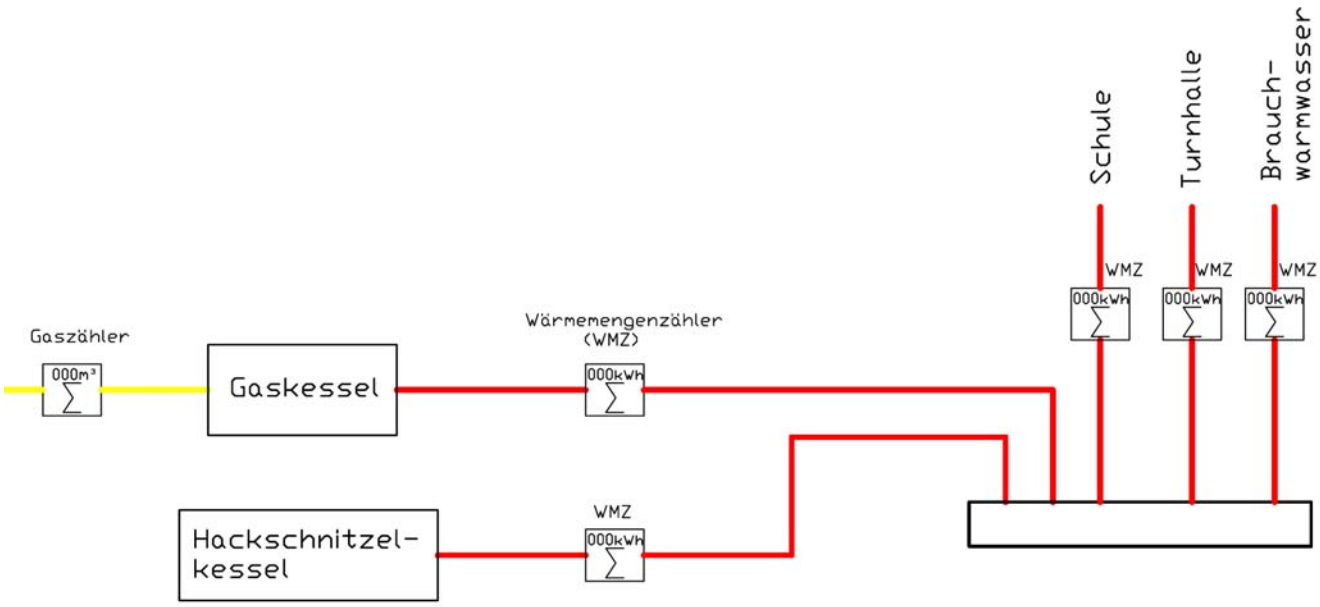


Abbildung 27: schematische Darstellung übergeordnetes Zählerkonzept Wärme

Folgende Werte sollten mindestens erfasst und dokumentiert werden:

- Brennstoffverbrauch input (Gas, Hackschnitzel)
- Wärmeabgabe aller Energieerzeuger (output)
- Wärmeverbrauch aller Heizkreise
- Warmwasserverbrauch
- Außentemperatur
- Vor- und Rücklauftemperaturen
- Stromverbrauch (aller wesentlichen Verbraucher z.B. Lüftungsanlagen, Beleuchtung)
- Wasserverbrauch

Nachfolgende Grafiken zeigen beispielhaft den Heizenergieverbrauch, Stromverbrauch sowie den Wasserverbrauch eines Schulgebäudes in der Monatsauswertung:

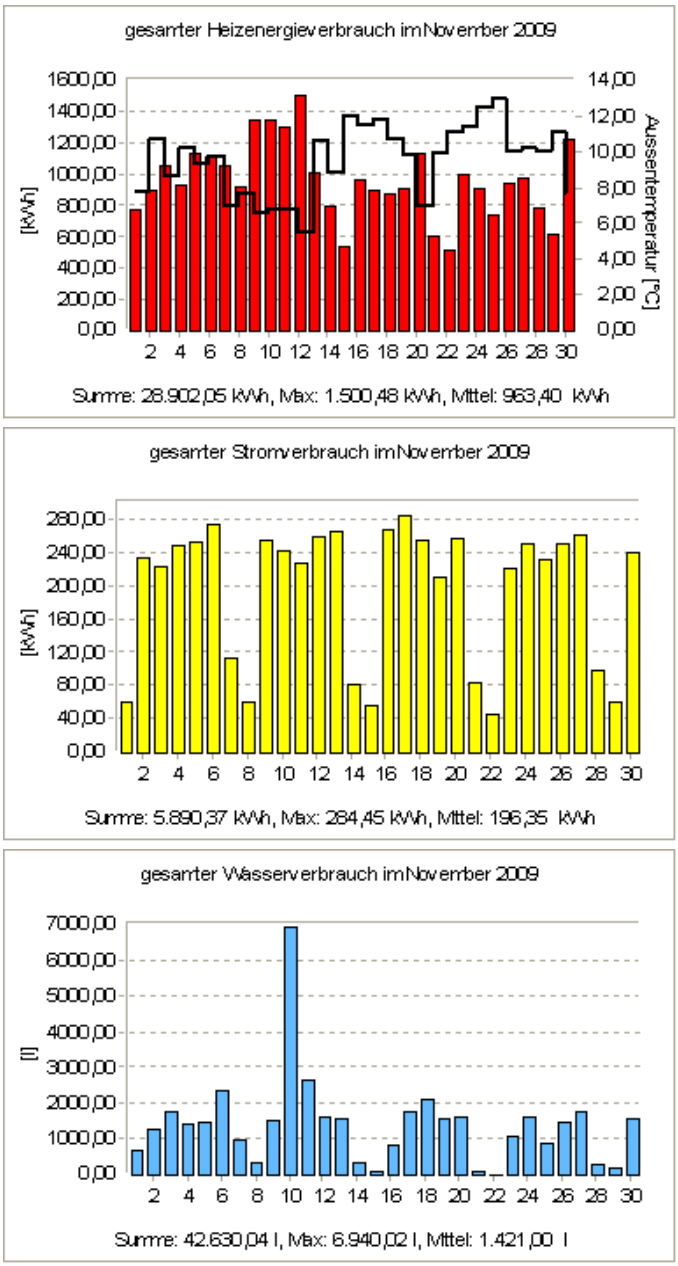


Abbildung 28: beispielhafte Monatsauswertung Heiz-, Strom- und Wasserverbrauch einer Schule [Quelle: ennovatis]

Je nach Detaillierungsgrad können auch Stunden oder Tageswerte ausgewertet werden. Dies stellt vor allem bei Optimierungsmaßnahmen einen großen Vorteil dar, da hohe Verbräuche zeitlich eindeutig zugeordnet werden können.

11 Zusammenfassung

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass sich derzeit keine Optimierungsmaßnahmen für die Gebäudehülle in einem sich in einem sinnvollen Kosten-Nutzenverhältnis darstellen lassen.

Im Bereich der Anlagentechnik ergibt sich aufgrund des Alters der Wärmeerzeuger sowie der ermittelten Jahresnutzungsgrade Optimierungsbedarf. Im Rahmen dieser Studie wurden die gemeinsam mit dem Auftraggeber definierten Energieversorgungsvarianten auf Machbarkeit untersucht und einer Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen.

Die in Anlehnung an die VDI 2067–1 berechnete dynamische Amortisationsdauer der Holzhackschnitzelanlage liegt unterhalb der rechnerischen Nutzungsdauer nach VDI 2067. Somit stellt sich der Einsatz einer Holzhackschnitzelanlage bei den gegebenen Randbedingungen (Wärmebedarf, Energiepreise, etc.) wirtschaftlich dar.

Der Einsatz einer Holzhackschnitzelheizanlage ist grundsätzlich mit höheren Investitionen und höheren Wartungskosten verbunden. Zudem entstehen aufgrund Brennstofflagerung höhere Kosten gegenüber einer allgemein üblichen Heizzentrale. Diese hohen Kosten können nur durch geringere Brennstoffkosten refinanziert werden.

Die Auswirkung der ständig steigenden Energiepreise auf die Wirtschaftlichkeitsergebnisse wurden in einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Hierbei sind die Preisentwicklungen auf dem Energiemarkt in den letzten Jahren mit eingeflossen. Die Variante mit Holzhackschnitzel ist durch die Nutzung der Biomasse als nachhaltig zu bezeichnen und wird mit Steigerung der Erdöl- bzw. Erdgaspreise an Wirtschaftlichkeit gewinnen.

Durch den Einsatz einer Holzhackschnitzelanlage können die CO_2-Emissionen im Bereich der Wärmezerzeugung um ca. 70 % reduziert werden. Für den Gesamtenergiebedarf unter Berücksichtigung des Strombedarfs ergibt sich dann eine Reduktion von ca. 54 %.

12 Anlage

- Tabellen Wirtschaftlichkeitsberechnung
- Bauteildatenblätter
- Zonierungspläne

Projekt: Integriertes Energiekonzept Hans- Edelmann- Schule Kulmbach

Bearbeiter: Faigl 20.11.2009

Energiekostenvergleich nach VDI 2067

alle Preisangaben sind **Nettopreise**

			Ausführung:	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4			
			Anteile:	Gaskessel + **Solarthermie**	Gaskessel + **Wärmepumpe**	Gaskessel + **Pelletskessel**	Gaskessel + **Holzhackschnitzel**			Bemerkungen
0. Wirtschaftlichkeitsbasisdaten										
1. KAPITALGEBUNDENE KOSTEN										
1.1 Investitionskosten										
	Nutzungsdauer VDI 2067									
	20 a									
Gaskessel mit Neben- und Hilfsaggregaten und Zubehör	**20 a**		€	31.500	17.500	16.100	16.100			
Brenner (modulierend), inkl. Montage	**12 a**		€	11.700	6.500	5.980	5.980			
Schaltanlage, Regelung, Anlagenabsicherung (Gaskessel)	**12 a**		€	7.200	4.000	3.680	3.680			
Kaminanlage Gaskessel	**20 a**		€	19.800	11.000	10.120	10.120			
Solarthermische Anlage	**20 a**		€	37.000	0	0	0			
Biomassekessel inkl. Nebenaggregate und Pufferspeicher	**20 a**		€	0	0	41.360	41.360			
Brennstoffaustragung und Beschickungsanlage	**20 a**		€	0	0	18.260	18.260			
Entaschung	**20 a**		€	0	0	11.440	11.440			
Schaltanlage, Regelung (HHS), E-Verkabelung	**12 a**		€	0	0	6.237	6.237			
Kaminanlage Hackschnitzelanlage	**20 a**		€	0	0	13.860	13.860			
Bunker	**20 a**		€	0	0	5.000	20.000			
Wärmepumpe	**12 a**		€	0	83.476	0	0			
Zubehör	**12 a**		€	0	34.000	0	0			
Erdsondenanlage	**40 a**		€	0	280.000	0	0			
Summe Investitionskosten			**€**	**107.200**	**436.476**	**132.037**	**147.037**			

Projekt: Integriertes Energiekonzept Hans- Edelmann- Schule Kulmbach

Bearbeiter: Faigl 20.11.2009

Energiekostenvergleich nach VDI 2067

alle Preisangaben sind **Nettopreise**

			Ausführung:	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4			
			Anteile:	Gaskessel + Solarthermie	Gaskessel + Wärmepumpe	Gaskessel + Pelletskessel	Gaskessel + Holzhackschnitzel			Bemerkungen
1.2 Kapitaldienst										
kalkulatorischer Zins:	4,60%									
	VDI 2067									
	Annuität 1									
Gaskessel mit Neben- und Hilfsaggregaten und Zubehör	7,75%		€/a	2.443	1.357	1.248	1.248			
Brenner (modulierend), inkl. Montage	11,03%		€/a	1.290	717	660	660			
Schaltanlage, Regelung, Anlagenabsicherung (Gaskessel)	11,03%		€/a	794	441	406	406			
Kaminanlage Gaskessel	7,75%		€/a	1.535	853	785	785			
Solarthermische Anlage	7,75%		€/a	2.869	0	0	0			
Biomassekessel inkl. Nebenaggregate und Pufferspeicher	7,75%		€/a	0	0	3.207	3.207			
Brennstoffaustragung und Beschickungsanlage	7,75%		€/a	0	0	1.416	1.416			
Entaschung	7,75%		€/a	0	0	887	887			
Schaltanlage, Regelung (HHS), E-Verkabelung	11,03%		€/a	0	0	688	688			
Kaminanlage Hackschnitzelanlage	7,75%		€/a	0	0	1.075	1.075			
Bunker	7,75%		€/a	0	0	388	1.551			
Wärmepumpe	11,03%		€/a	0	9.207	0	0			
Zubehör	11,03%		€/a	0	3.750	0	0			
Erdsondenanlage	5,51%		€/a	0	15.434	0	0			
Summe Kapitaldienst				**8.932**	**31.759**	**10.759**	**11.922**			
1.3 Instandsetzung und Erneuerung										
Gaskessel mit Neben- und Hilfsaggregaten und Zubehör		1,0%	€/a	315	175	161	161			
Brenner (modulierend), inkl. Montage		2,0%	€/a	234	130	120	120			
Schaltanlage, Regelung, Anlagenabsicherung (Gaskessel)		1,0%	€/a	72	40	37	37			
Kaminanlage Gaskessel		1,0%	€/a	198	110	101	101			
Solarthermische Anlage		2,0%	€/a	740	0	0	0			
Biomassekessel inkl. Nebenaggregate und Pufferspeicher		2,0%	€/a	0	0	827	827			
Brennstoffaustragung und Beschickungsanlage		2,0%	€/a	0	0	365	365			
Entaschung		2,0%	€/a	0	0	229	229			
Schaltanlage, Regelung (HHS), E-Verkabelung		1,0%	€/a	0	0	62	62			
Kaminanlage Hackschnitzelanlage		1,0%	€/a	0	0	139	139			
Bunker		1,0%	€/a	0	0	50	200			
Wärmepumpe		2,0%	€/a	0	1.670	0	0			
Zubehör		1,5%	€/a	0	510	0	0			
Erdsondenanlage		0,0%	€/a	0	0	0	0			
Summe Instandsetzung und Erneuerung			**€/a**	**1.559**	**2.635**	**2.091**	**2.241**			
Summe kapitalgebundene Kosten			**€/a**	**10.491**	**34.393**	**12.850**	**14.163**			

Projekt: Integriertes Energiekonzept Hans- Edelmann- Schule Kulmbach

Bearbeiter: Faigl 20.11.2009

Energiekostenvergleich nach VDI 2067

alle Preisangaben sind **Nettopreise**

	Ausführung:	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4			
	Anteile:	Gaskessel + Solarthermie	Gaskessel + Wärmepumpe	Gaskessel + Pelletskessel	Gaskessel + Holzhackschnitzel			Bemerkungen
2. VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN								
2.1 Jahresenergieverbrauch								
2.1.1 Relevante Anschlußdaten								
Wärmeleistungsbedarf gesamt (output)	kW_{th}	450	450	450	450			
Wärmeleistung Gaskesselanlage	kW_{th}	450	250	230	230			
Wärmeleistung Biomasseanlage	kW_{th}	0	0	220	220			
Wärmeleistung Wärmepumpe	kW_{th}	0	200	0	0			
2.1.2 Eigenenergieerzeugung								
Jahresnutzwärmebedarf gesamt	MWh/a	369	369	369	369			
Nutzenergiebereitstellung über Solarthermie	MWh/a	21	0	0	0			
Nutzenergiebereitstellung über Biomassekessel	MWh/a	0	0	295	295			
Nutzenergiebereitstellung über Erdgaskessel	MWh/a	348	74	74	74			
Nutzenergiebereitstellung über Wärmepumpe	MWh/a	0	295	0	0			
Jahresnutzungsgrad Gaskesselanlage	[%]	0,92	0,92	0,92	0,92			
Jahresnutzungsgrad Biomassekessel	[%]	0,85	0,85	0,85	0,85			
JAZ _ COP Wärmepumpe (EWS)	[-]	2,20	2,20	2,20	2,20			
2.1.3 Energieverbräuche								
Endenergiebedarf elektrischer Strom	MWh/a	0	134	0	0			
Endenergiebedarf Erdgas	MWh/a	378	80	80	80			
Endenergiebedarf Biomasse	MWh/a	0	0	347	347			
2.2 Jahreskosten								
Mischpreis Strom	€/MWh	171,00	171,00	171,00	171,00			Mischpreis (AP+LP) ermittelt über verivox. Vergleich mehrerer Anbieter III Quartal 2009
Arbeitspreis Erdgas inkl. Erdgassteuer	€/MWh	49,50	49,50	49,50	49,50			Gewerbe Tarif ab 01.01.2009 Stadtwerke Kulmbach
Grundpreis Erdgas	€/psch	861,00	431	431	431			Grundpreis+ Messpreis gemäß Tarifblatt
Brennstoffpreis Biomasse	€/MWh	39,18	39,18	39,18	22,07			Brennstoffpreis III Quartal 2009 (Carmen) inkl. Lieferung
Jahreskosten für Wärme aus Gaskessel	€/a	19.576,30	4.401,26	4.401,26	4.401,26			
Jahreskosten für Wärme aus WP	€/a	0,00	22.945,09	0,00	0,00			
Jahreskosten für Wärme aus Holzhackschnitzel	€/a	0,00	0,00	13.606,98	7.664,78			
Summe verbrauchsgebundene Koster	**€/a**	**19.576**	**27.346**	**18.008**	**12.066**			

Projekt: Integriertes Energiekonzept Hans- Edelmann- Schule Kulmbach

Bearbeiter: Faigl 20.11.2009

Energiekostenvergleich nach VDI 2067

alle Preisangaben sind **Nettopreise**

	Ausführung:	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4			
	Anteile:	Gaskessel + Solarthermie	Gaskessel + Wärmepumpe	Gaskessel + Pelletskessel	Gaskessel + Holzhackschnitzel			Bemerkungen
3. BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN								
Höhe bez. auf Investitionen	%	1,00	0,50	1,00	1,00			
Sonstiges	€/a	1.072	2.182	1.320	1.470			
Summe betriebsgebundene Kosten	**€/a**	**1.072**	**2.182**	**1.320**	**1.470**			
4. SONSTIGE KOSTEN								
Versicherungen, Steuern etc. (bez. auf Investitionen)	%	1,00	1,00	1,00	1,00			
Summe sonstige Kosten	**€/a**	**1.072**	**4.365**	**1.320**	**1.470**			
ERGEBNISSE								
Summe Jahreskosten	**€/a**	**32.211**	**68.287**	**33.499**	**29.170**			
Summe Jahreskosten (ohne Kapitaldienst)	**€/a**	**23.279**	**36.528**	**22.740**	**17.248**			
Einsparung gegenüber Basisvariante	**€/a**		**-36.076**	**-1.288**	**3.041**			
Einsparung gegenüber Basisvariante (o. Kapitaldienst	**€/a**		**-13.249**	**540**	**6.032**			
Mehrinvestition gegenüber Basisvariante (Variante 1	**€**		**329.276**	**24.837**	**39.837**			
Amortisationsdauer gegenüber Basisvariante	**a**		**-**	**-**	**8**			
rechnersiche Nutzungdauer nach VDI 2067 für Wärmeerzeuge	**a**	**20**	**20**	**20**	**20**			

Projekt: Integriertes Energiekonzept Hans- Edelmann- Schule Kulmbach

Bearbeiter: Faigl 20.11.2009

Energiekostenvergleich nach VDI 2067

alle Preisangaben sind **Nettopreise**

	Ausführung:	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4			
	Anteile:	Gaskessel + **Solarthermie**	Gaskessel + **Wärmepumpe**	Gaskessel + **Pelletskessel**	Gaskessel + **Holzhackschnitzel**			Bemerkungen
Ermittlung der Wärmegestehungskoster								
Kapitalgebundene Kosten für Wärmeerzeugung	€/a	10.491	34.393	12.850	14.163			
Verbrauchsgebundene Kosten für Wärmeerzeugung	€/a	19.576	27.346	18.008	12.066			
Betriebsgebundene Kosten für Wärmeerzeugung	€/a	1.072	2.182	1.320	1.470			
Sonstige Kosten für Wärmeerzeugung	€/a	1.072	4.365	1.320	1.470			
Summe Jahreskosten für Wärmeerzeugung	**€/a**	**32.211**	**68.287**	**33.499**	**29.170**			
Erzeugte Jahreswärmemenge	MWh/a	369	369	369	369			
Wärmegestehungskosten	**€/MWh**	**87,29**	**185,06**	**90,78**	**79,05**			

Hans-Edelmann-Schule, integriertes Energiekonzept
Bauteildatenblätter

INHALT

1 Bauteile Schule 2

1.1 Bauteil: Außenwand 2

1.2 Bauteil: Bodenplatte 3

1.3 Bauteil: Dach 4

1.4 Bauteil: Fenster 5

1.5 Bauteil: Paneel 6

2 Bauteile Sporthalle 7

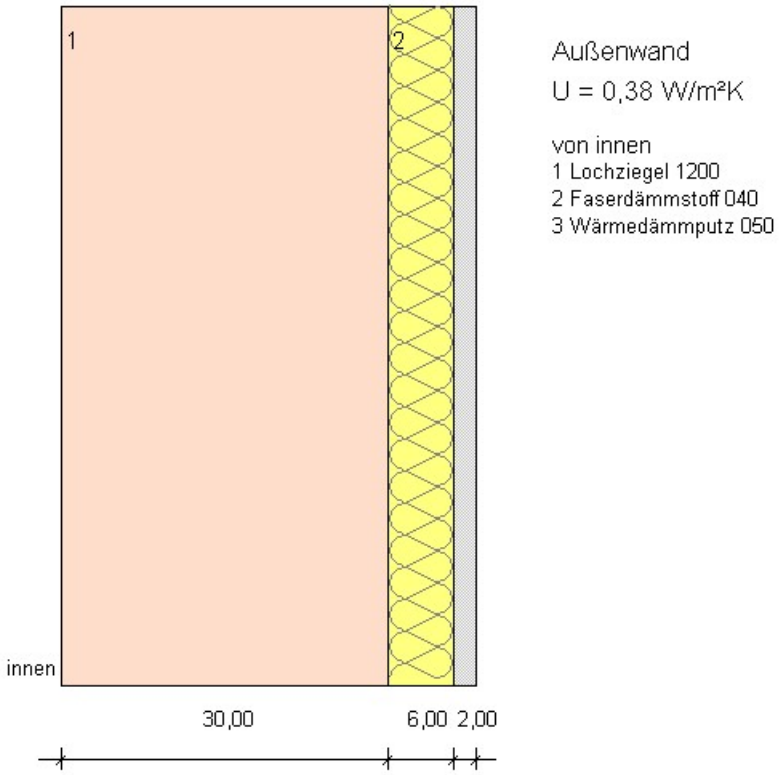
2.1 Bauteil: Außenwand 7

2.2 Bauteil: Dach 8

2.3 Bauteil: Fenster 9

1 Bauteile Schule

1.1 Bauteil: Außenwand



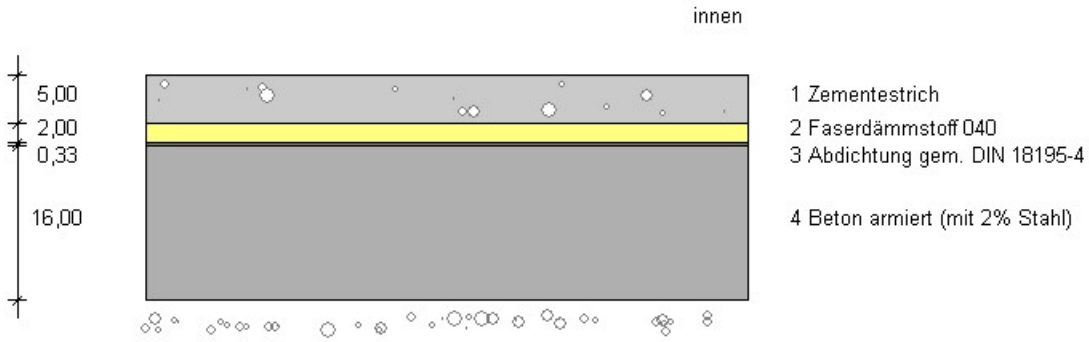
Bauteiltyp "Außenwand"
mit den Wärmeübergangswiderständen R_{si} = 0,13 und R_{se} = 0,04 m²K/W

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m³]	[kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
R_{si}					0,130
01 Lochziegel 1200	30,00	1200	360,0	0,520	0,577
02 Faserdämmstoff 040	6,00	20	1,2	0,040	1,500
03 Wärmedämmputz 050	2,00	200	4,0	0,050	0,400
R_{se}					0,040
	d = 38,00	G =	365,2		R_T = 2,65

Wärmedurchgangskoeffizient U = **0,378 W/m²K** (ohne Korrekturen)

1.2 Bauteil: Bodenplatte



Bodenplatte
U = 1,30 W/m²K

Bauteiltyp "Fußboden gegen Erdreich"
mit den Wärmeübergangswiderständen R_{si} = 0,17 und R_{se} = 0,00 m²K/W

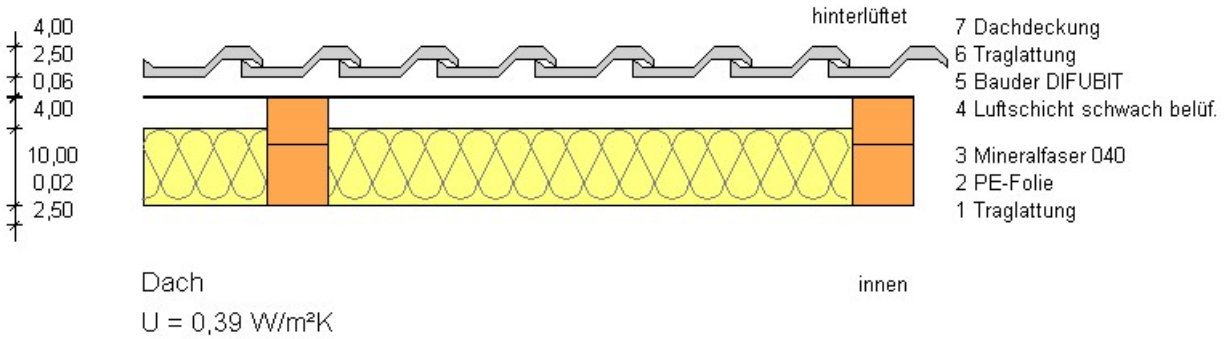
.....

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m³]	[kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
R_{si}					0,170
01 Zementestrich	5,00	2000	100,0	1,400	0,036
02 Faserdämmstoff 040	2,00	20	0,4	0,040	0,500
03 Abdichtung gem. DIN 18195-4	0,33	-	0,4	-	-
04 Beton armiert (mit 2% Stahl)	16,00	2400	384,0	2,500	0,064
R_{se}					0,000
d =	23,33	G =	484,8	R_T =	0,77

Wärmedurchgangskoeffizient U = **1,299 W/m²K** (ohne Korrekturen)

1.3 Bauteil: Dach



Wärmedurchlasswiderstand nicht belüfteter Lufträume (EN ISO 6946 Anhang B)

Luftraum	b	d	Konvektion h_a	ε_1	ε_2	Strahlung h_{ro}
vertikal	40,0	2,5 cm	1,25 W/m²K	0,9	0,9	18,7°C 5,6 W/m²K

$R_g = 1/(h_a+0.5/(1/\varepsilon_1+1/\varepsilon_2-1)*h_{ro}*(1+\sqrt{(1+d^2/b^2)}-d/b)) = 0{,}18$ m²K/W.

Bauteiltyp "Dachdecke hinterlüftet"
mit den Wärmeübergangswiderständen R_{si} = 0,10 und R_{se} = 0,10 m²K/W

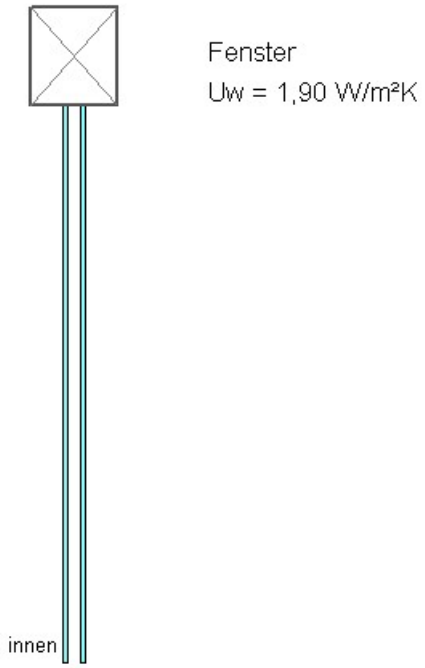
.....
.....

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m³]	[kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
R_{si}					0,100
01 Traglattung	2,50	-	2,0	-	0,180
02 PE-Folie	0,02	1000	0,2	-	-
03 Mineralfaser 040	10,00	20	2,0	0,040	2,500
04 Luftschicht schwach belüf.	4,00	1	0,0	-	0,080
05 Bauder DIFUBIT	0,06	1000	0,6	-	-
06 Traglattung	2,50	-	2,0	-	-
07 Dachdeckung	4,00	-	40,0	-	-
R_{se}					0,100
	d = 23,08	G =	46,8		R_T = 2,96

U = 0,387 W/m²K (EN ISO 6946, Nr.7)

1.4 Bauteil: Fenster



Bauteiltyp "Fenster"
mit den Wärmeübergangswiderständen R_{si} = 0,13 und R_{se} = 0,04 m²K/W

Verglasung + Rahmen

Isolierverglasung 4-15-4, Luftfüllung, beschichtet, ε <=0.05, Utg1.5
Metallrahmen, thermisch getrennt, Metallschalenabstand 16 mm (EN ISO 10077-1 D.4), Uf 2.95

Fenster DIN V 4108-4:2004 Tab.8 VORNORM

Tabellenwert U_w = 2,10 W/m²K $U_{w,BW}$ = 2,10 W/m²K g = 60 %

U-Wert des Fensters mit Zweischeiben-Isolierverglasung nach Tab.8, DIN V 4108-4:2004
mit U_f = 2,95 W/m²K, $U_{f,BW}$ = 3,00 W/m²K (Tab.9) und U_g = 1,50 W/m²K
Indizes: $U_W = U_{Fenster}$ $U_f = U_{Rahmen}$ $U_g = U_{Verglasung}$ BW = Bemessungswert

Einzelnachweis für die Verglasung $U_{g,BW} = U_g$ = 1,50 W/m²K
Bemessungswert der Verglasung im Fall von Ersatz und Erneuerung, DIN V 4108-4:2004, 5.3

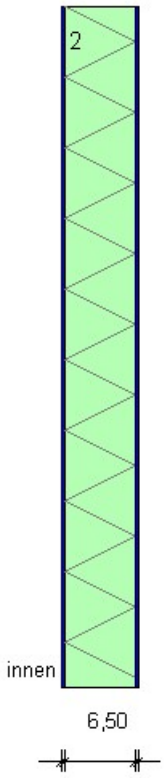
Wärmedurchgangskoeffizient nach EN ISO 10077-1:2000

Einfachfenster, Tabellenwert UtW= 1,90 (1,9) W/m²K

U-Wert des Fensters mit Zweischeiben-Isolierverglasung und 20% Rahmenanteil nach Tab. F.2
mit U_g = 1,50 und U_f = 2,95 W/m²K

U_W = **1,90** W/m²K wird für die weiteren Berechnungen angenommen

1.5 Bauteil: Paneel



Paneel

U = 0,43 W/m²K

von innen
1 Aluminium
2 Polyurethan (PUR) - Hartschaum
3 Aluminium

Bauteiltyp "Außenwand"
mit den Wärmeübergangswiderständen R_{si} = 0,13 und R_{se} = 0,04 m²K/W

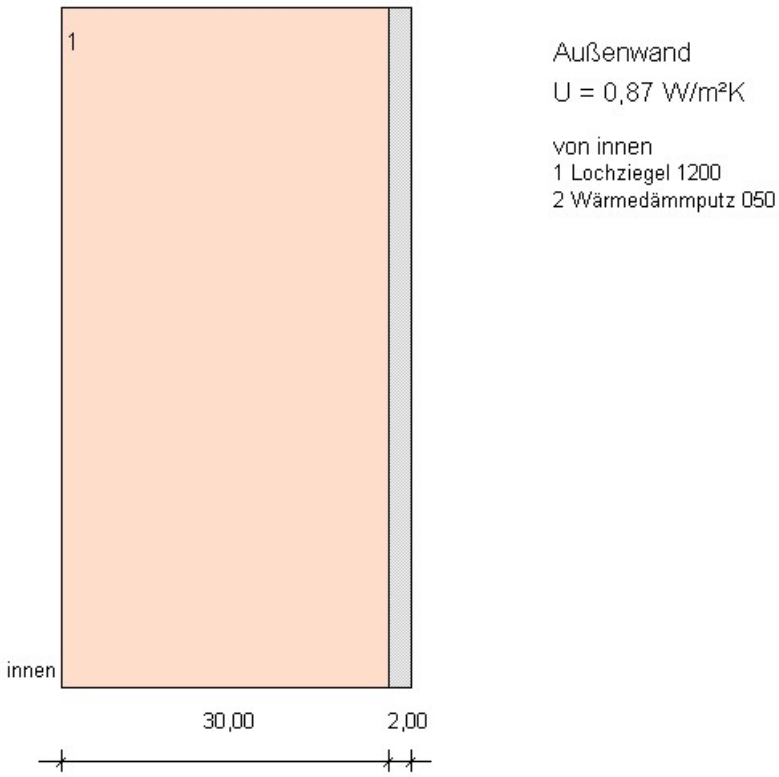
Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m³]	[kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
R_{si}					0,130
01 Aluminium	0,30	2700	8,1	200,000	0,000
02 Polyurethan (PUR) - Hartschaum	6,50	30	1,9	0,030	2,167
03 Aluminium	0,30	2700	8,1	200,000	0,000
R_{se}					0,040
d =	7,10	G =	18,1	R_T =	2,34

Wärmedurchgangskoeffizient U = **0,428 W/m²K** (ohne Korrekturen)

2 Bauteile Sporthalle

2.1 Bauteil: Außenwand



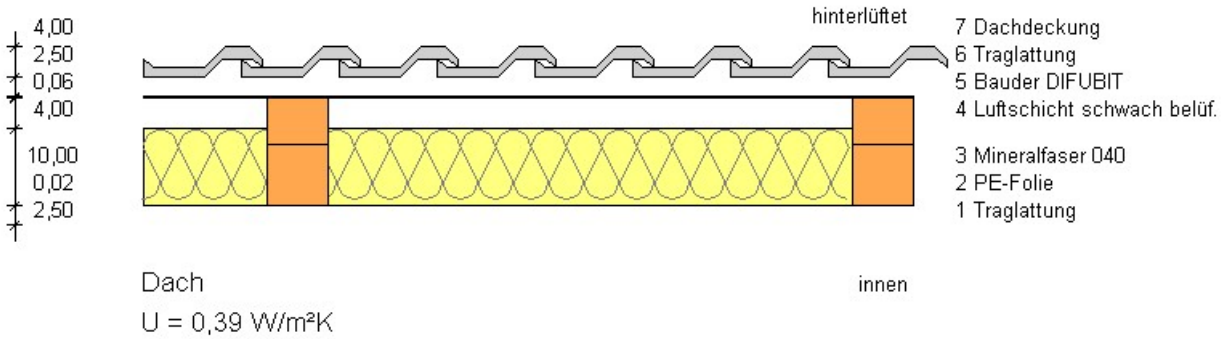
Bauteiltyp "Außenwand"
mit den Wärmeübergangswiderständen R_{si} = 0,13 und R_{se} = 0,04 m²K/W

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m³]	[kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
R_{si}					0,130
01 Lochziegel 1200	30,00	1200	360,0	0,520	0,577
02 Wärmedämmputz 050	2,00	200	4,0	0,050	0,400
R_{se}					0,040
d =	32,00	G =	364,0	R_T =	1,15

Wärmedurchgangskoeffizient U = **0,872 W/m²K** (ohne Korrekturen)

2.2 Bauteil: Dach



Wärmedurchlasswiderstand nicht belüfteter Lufträume (EN ISO 6946 Anhang B)

Luftraum	b	d	Konvektion h_a	ε_1	ε_2	Strahlung h_{ro}
vertikal	40,0	2,5 cm	1,25 W/m²K	0,9	0,9	18,7°C 5,6 W/m²K

$R_g = 1/(h_a+0.5/(1/\varepsilon_1+1/\varepsilon_2-1)*h_{ro}*(1+\sqrt{(1+d^2/b^2)}-d/b)) = 0{,}18$ m²K/W.

Bauteiltyp "Dachdecke hinterlüftet"
mit den Wärmeübergangswiderständen R_{si} = 0,10 und R_{se} = 0,10 m²K/W

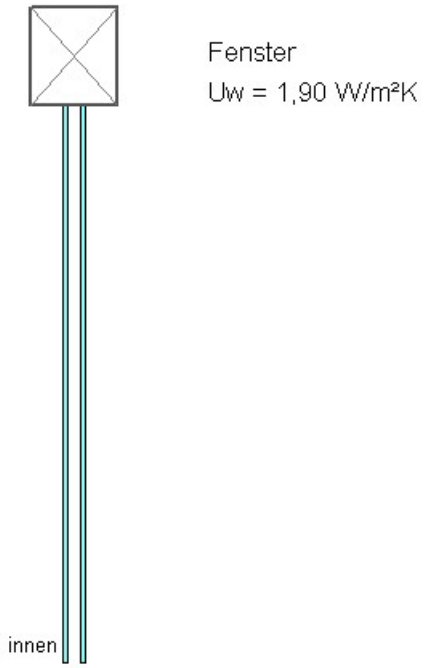
.....
.....

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m³]	[kg/m²]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
R_{si}					0,100
01 Traglattung	2,50	-	2,0	-	0,180
02 PE-Folie	0,02	1000	0,2	-	-
03 Mineralfaser 040	10,00	20	2,0	0,040	2,500
04 Luftschicht schwach belüf.	4,00	1	0,0	-	0,080
05 Bauder DIFUBIT	0,06	1000	0,6	-	-
06 Traglattung	2,50	-	2,0	-	-
07 Dachdeckung	4,00	-	40,0	-	-
R_{se}					0,100
	d = 23,08	G =	46,8		R_T = 2,96

U = 0,387 W/m²K (EN ISO 6946, Nr.7)

2.3 Bauteil: Fenster



Bauteiltyp "Fenster"
mit den Wärmeübergangswiderständen R_{si} = 0,13 und R_{se} = 0,04 m²K/W

Verglasung + Rahmen

Isolierverglasung 4-15-4, Luftfüllung, beschichtet, ε <=0.05, Utg1.5
Metallrahmen, thermisch getrennt, Metallschalenabstand 16 mm (EN ISO 10077-1 D.4), Uf 2.95

Fenster DIN V 4108-4:2004 Tab.8 VORNORM

Tabellenwert U_w = 2,10 W/m²K $U_{w,BW}$ = 2,10 W/m²K g = 60 %

U-Wert des Fensters mit Zweischeiben-Isolierverglasung nach Tab.8, DIN V 4108-4:2004
mit U_f = 2,95 W/m²K, $U_{f,BW}$ = 3,00 W/m²K (Tab.9) und U_g = 1,50 W/m²K
Indizes: $U_W = U_{Fenster}$ $U_f = U_{Rahmen}$ $U_g = U_{Verglasung}$ BW = Bemessungswert

Einzelnachweis für die Verglasung $U_{g,BW} = U_g$ = 1,50 W/m²K
Bemessungswert der Verglasung im Fall von Ersatz und Erneuerung, DIN V 4108-4:2004, 5.3

Wärmedurchgangskoeffizient nach EN ISO 10077-1:2000

Einfachfenster, Tabellenwert UtW= 1,90 (1,9) W/m²K

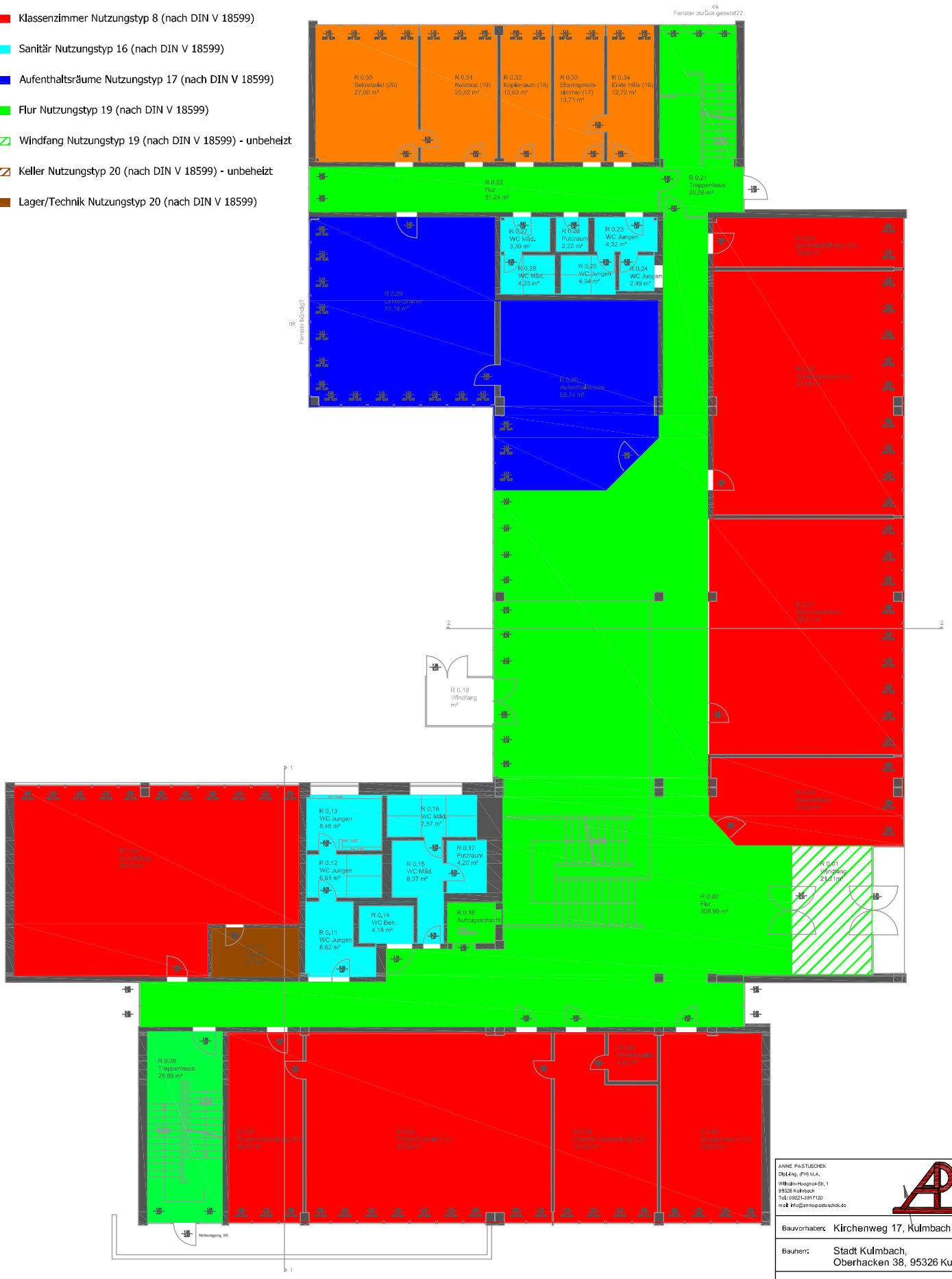
U-Wert des Fensters mit Zweischeiben-Isolierverglasung und 20% Rahmenanteil nach Tab. F.2
mit U_g = 1,50 und U_f = 2,95 W/m²K

U_W = **1,90** W/m²K wird für die weiteren Berechnungen angenommen

Erdgeschoss

LEGENDE

- Büro Nutzungstyp 1 (nach DIN V 18599)
- Klassenzimmer Nutzungstyp 8 (nach DIN V 18599)
- Sanitär Nutzungstyp 16 (nach DIN V 18599)
- Aufenthaltsräume Nutzungstyp 17 (nach DIN V 18599)
- Flur Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599)
- Windfang Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599) - unbeheizt
- Keller Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599) - unbeheizt
- Lager/Technik Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599)



ANNE PASTUSCHEK
Dipl.-Ing. (FH) M.A.
Wilhelm-Hoegner-Str. 1
95326 Kulmbach
Tel.: 09221-3917120
mail: info@anne-pastuschek.de

Bauvorhaben:	Kirchenweg 17, Kulmbach
Bauherr:	Stadt Kulmbach, Oberhacken 38, 95326 Kulmbach
Darstellung:	Schule: Grundriss EG

Gez.	Datum	Name	Maßstab	Plan Nr.	F 1
	03.06.2009	AP	1:100		

Kellergeschoss

LEGENDE

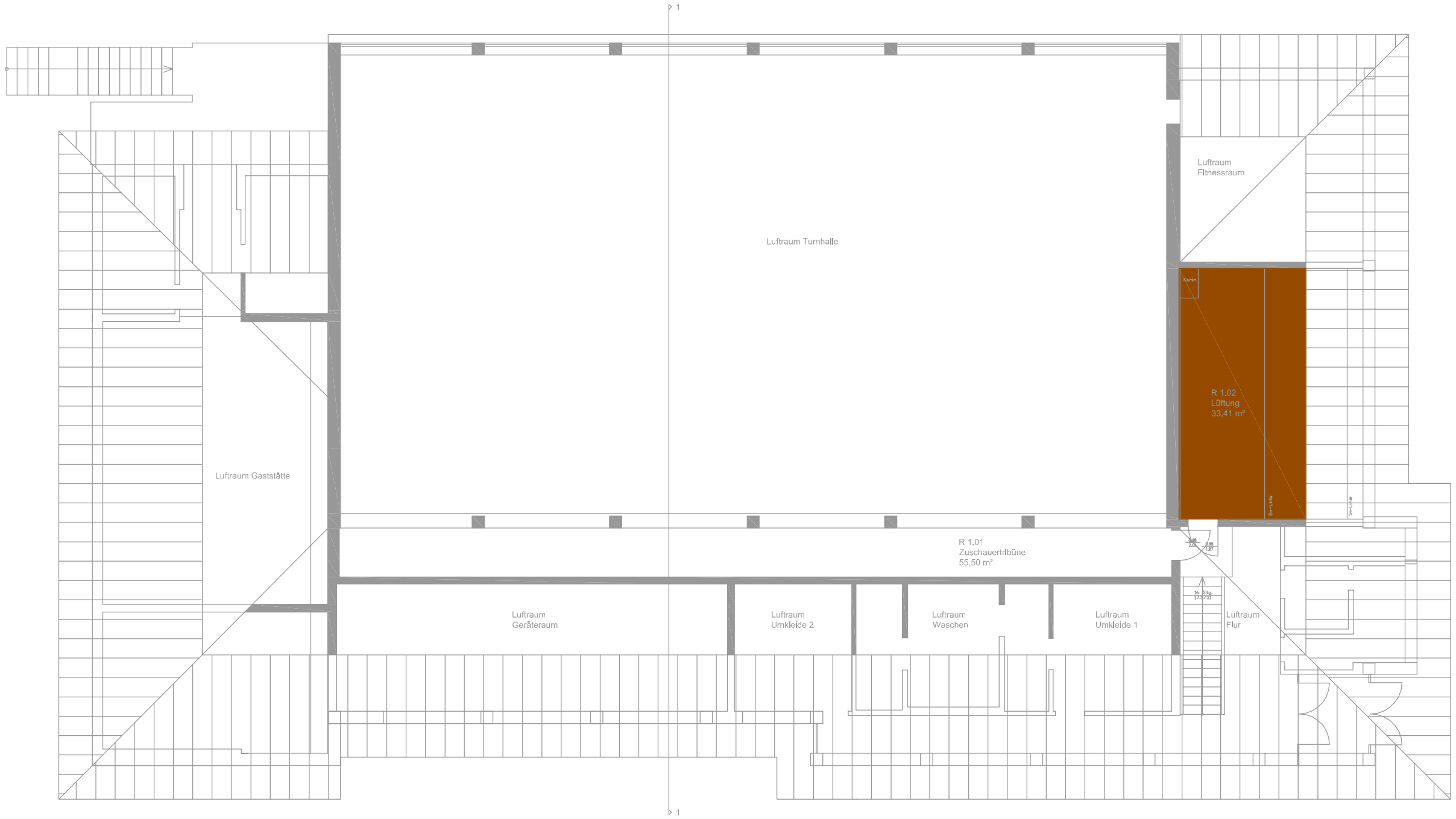
- Büro Nutzungstyp 1 (nach DIN V 18599)
- Sporthalle Nutzungstyp 31 (nach DIN V 18599)
- Sanitär Nutzungstyp 16 (nach DIN V 18599)
- Flur Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599)
- Lager/Technik Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599)
- Sportheim Nutzungstyp 17 (nach DIN V 18599)

ANNE PASTUSCHEK
Dipl.-Ing. (FH) M.A.
Wilhelm-Hoegner-Str. 1
95326 Kulmbach
Tel.: 09221-3917120
mail: info@anne-pastuschek.de

Bauvorhaben:	Kirchenweg 17, Kulmbach
Bauherr:	Stadt Kulmbach, Oberhacken 38, 95326 Kulmbach
Darstellung:	Schule: Grundriss EG

Gez.	Datum	Name	Maßstab	Plan Nr.	
	03.06.2009	AP	1:100		F 1

Obergeschoss



LEGENDE

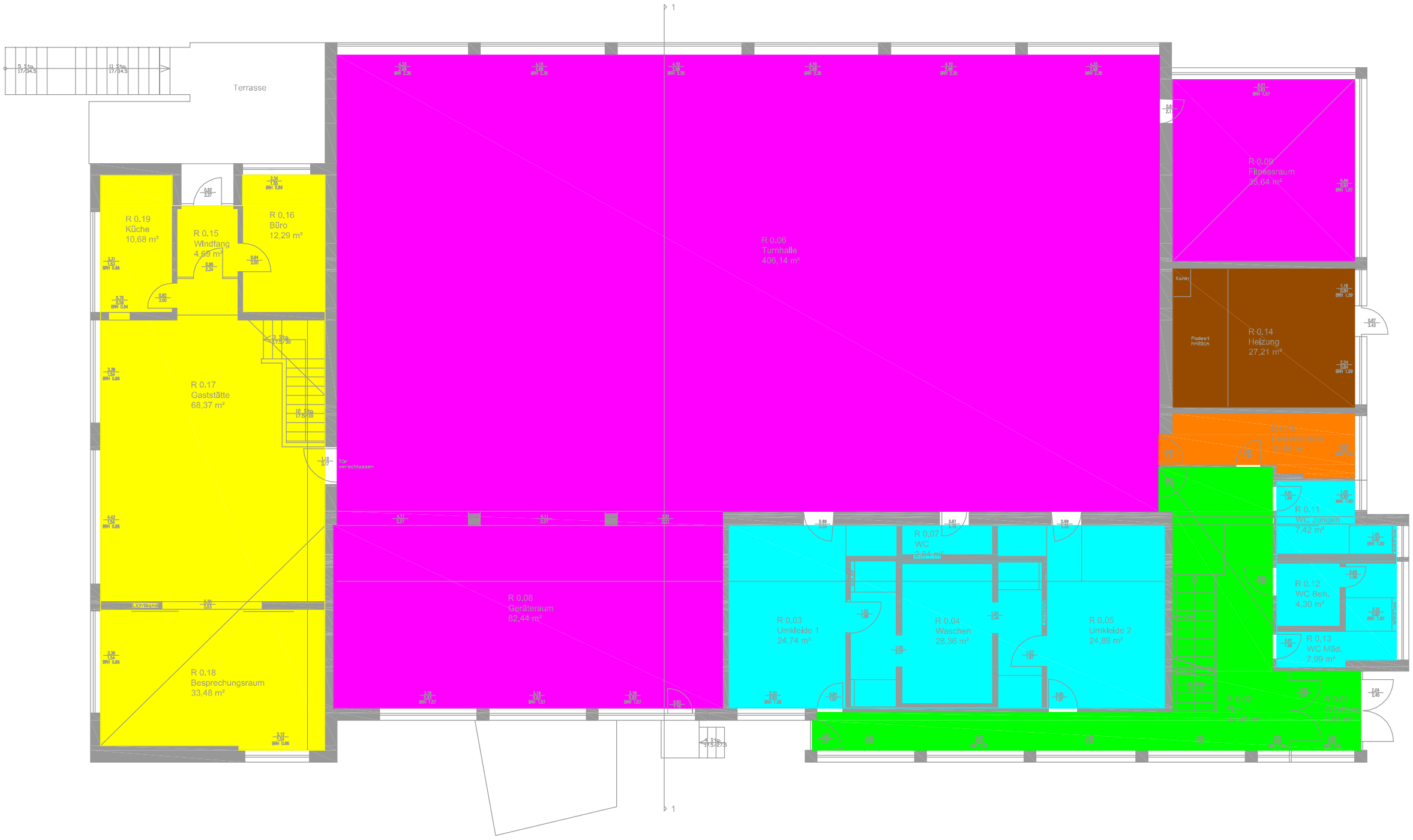
- Büro Nutzungstyp 1 (nach DIN V 18599)
- Sporthalle Nutzungstyp 31 (nach DIN V 18599)
- Sanitär Nutzungstyp 16 (nach DIN V 18599)
- Flur Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599)
- Lager/Technik Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599)

ANNE PASTUSCHEK
Dipl.-Ing. (FH) M.A.
Wilhelm-Hoegner-Str. 1
95326 Kulmbach
Tel.: 09221-3917120
mail: info@anne-pastuschek.de

Bauvorhaben:	Kirchenweg 17, Kulmbach
Bauherr:	Stadt Kulmbach, Oberhacken 38, 95326 Kulmbach
Darstellung:	Schule: Grundriss EG

Gez.	Datum	Name	Maßstab	Plan Nr.	F 1
	03.06.2009	AP	1:100		

Erdgeschoss



LEGENDE

- Büro Nutzungstyp 1 (nach DIN V 18599)
- Sporthalle Nutzungstyp 31 (nach DIN V 18599)
- Sanitär Nutzungstyp 16 (nach DIN V 18599)
- Flur Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599)
- Lager/Technik Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599)
- Sportheim Nutzungstyp 17 (nach DIN V 18599)

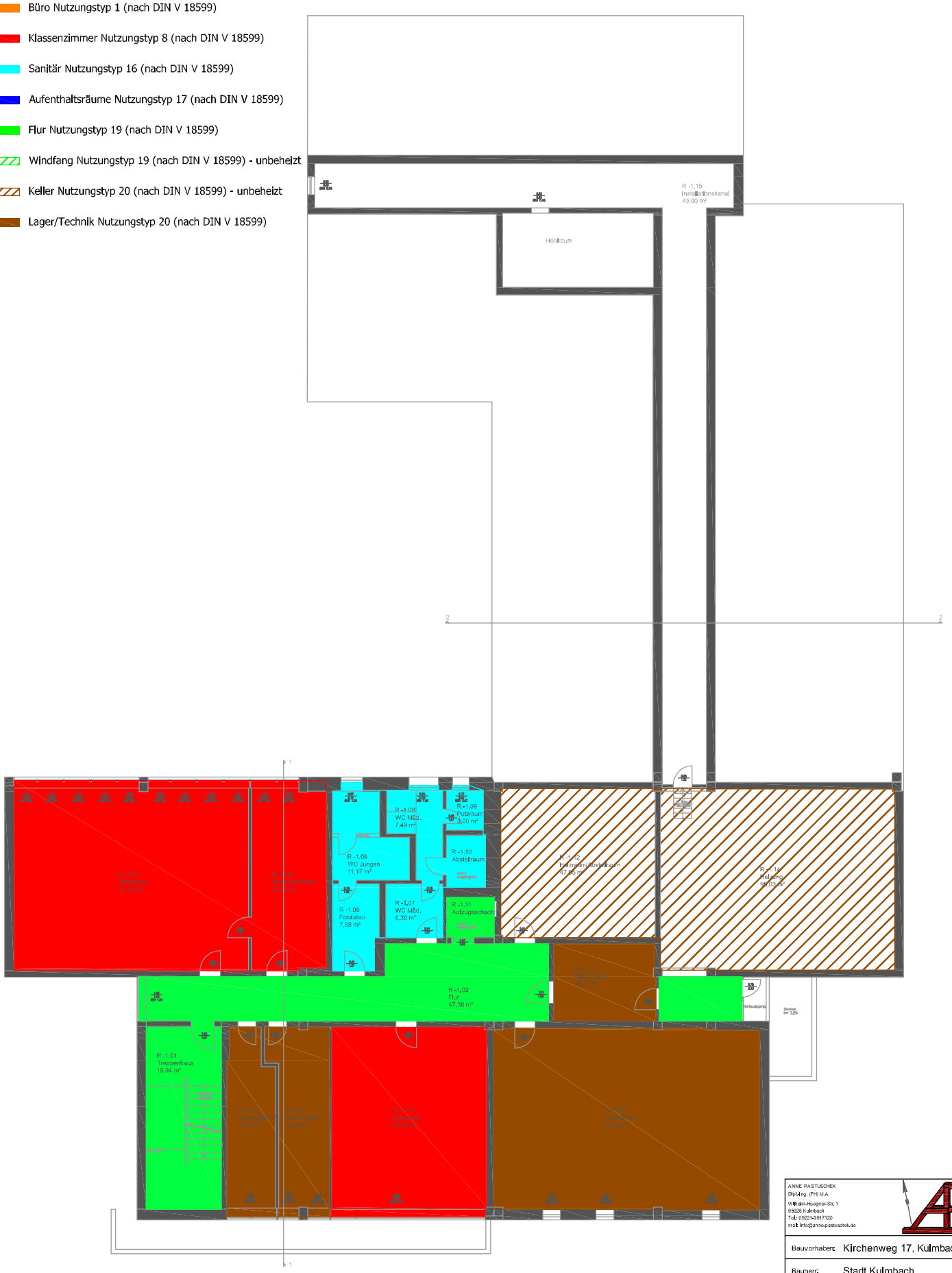
ANNE PASTUSCHEK
Dipl.-Ing. (FH) M.A.
Wilhelm-Hoegner-Str. 1
95326 Kulmbach
Tel.: 09221-3917120
mail: info@anne-pastuschek.de

Bauvorhaben:	Kirchenweg 17, Kulmbach
Bauherr:	Stadt Kulmbach, Oberhacken 38, 95326 Kulmbach
Darstellung:	Schule: Grundriss EG

Gez.	Datum	Name	Maßstab	Plan Nr.	F 1
	03.06.2009	AP	1:100		

LEGENDE

- Büro Nutzungstyp 1 (nach DIN V 18599)
- Klassenzimmer Nutzungstyp 8 (nach DIN V 18599)
- Sanitär Nutzungstyp 16 (nach DIN V 18599)
- Aufenthaltsräume Nutzungstyp 17 (nach DIN V 18599)
- Flur Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599)
- Windfang Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599) - unbeheizt
- Keller Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599) - unbeheizt
- Lager/Technik Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599)



ANNE PASTUSCHEK
Dipl.-Ing. (FH) M.A.
Wilhelm-Hoegner-Str. 1
95326 Kulmbach
Tel: 09221-3917120
mail: info@anne-pastuschek.de

Bauvorhaben:	Kirchenweg 17, Kulmbach
Bauherr:	Stadt Kulmbach, Oberhacken 38, 95326 Kulmbach
Darstellung:	Schule: Grundriss EG

Gez.	Datum	Name	Maßstab	Plan Nr.	
	03.06.2009	AP	1:100		F 1

LEGENDE

Obergeschoss

- Büro Nutzungstyp 1 (nach DIN V 18599)
- Klassenzimmer Nutzungstyp 8 (nach DIN V 18599)
- Sanitär Nutzungstyp 16 (nach DIN V 18599)
- Aufenthaltsräume Nutzungstyp 17 (nach DIN V 18599)
- Flur Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599)
- Windfang Nutzungstyp 19 (nach DIN V 18599) - unbeheizt
- Keller Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599) - unbeheizt
- Lager/Technik Nutzungstyp 20 (nach DIN V 18599)

ANNE PASTUSCHEK
Dipl.-Ing. (FH) M.A.
Wilhelm-Hoegner-Str. 1
95326 Kulmbach
Tel.: 09221-3917120
mail: info@anne-pastuschek.de

Bauvorhaben:	Kirchenweg 17, Kulmbach
Bauherr:	Stadt Kulmbach, Oberhacken 38, 95326 Kulmbach
Darstellung:	Schule: Grundriss EG

Gez.	Datum	Name	Maßstab	Plan Nr.	
	03.06.2009	AP	1:100		F 1