

Ziel der Arbeit

II

In der Stadt Sayda ist ein bestehendes Schulgebäude energetisch zu verbessern und durch eine Turnhalle und verschiedene Anbauten baulich zu ergänzen. Ergebnisse der Vorplanung liegen bereits vor und sind Grundlage der Arbeit. Ziel der Untersuchungen ist die energetisch-ökonomische Optimierung der Gebäude mit Hilfe des neuen Berechnungsverfahrens für Nichtwohngebäude gemäß DIN 18 599.

Bearbeitungsschwerpunkte

1. Kurzdarlegung der Arbeitsweise nach DIN 18599.
2. Präzisierung der energetisch-ökonomischen Arbeitsziele.
3. Baubeschreibung.
4. Entwicklung von Untersuchungsvarianten.
5. Energetisch-ökonomische Berechnungen und Analysen.
6. Variantenvergleich und Aufzeigen der Optimallösung.
7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.

Bearbeitungshinweise

Die Arbeit ist zweifach einzureichen. Ein Exemplar der Arbeit ist für den Verbleib an der HTWK vorgesehen, das zweite Exemplar erhält der Autor zurück.

Prof. Dr.-Ing. habil. Busch

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Busch ganz herzlich für die Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit danken.

Des Weiteren möchte ich meinen Eltern danken, welche mich die letzten Jahre während meines Studiums unterstützt haben.

Selbstständigkeitserklärung

IV

Hiermit erkläre ich, Marcel Gläser, dass ich die Masterarbeit zum Thema „Energetische Optimierung eines Schulkomplexes mit Hilfe der DIN V 18599.“ ausschließlich von mir selbst und ohne Inanspruchnahme fremder Hilfe, unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel, angefertigt worden ist.

Leipzig, den 20.09.2008

Marcel Gläser

Rechte Dritter

Der Entwurf der Schule ist geistiges Eigentum des Entwurfsverfassers Ing. Thomas Müller aus Lichtenberg. Jegliche Vervielfältigung, anderweitige Nutzung oder Weitergabe des Entwurfs/Zeichnungsunterlagen erfordert die Zustimmung des Entwurfsverfassers.

Inhaltsverzeichnis

0.	Kurzfassung.....	1
1.	Klimaschutz und Energieeffizientes Bauen.....	2
1.1	Klimaveränderungen	2
1.2	Internationale Klimapolitik	3
1.3	Klimapolitik Europa.....	3
1.4	Klimapolitik Deutschland – Der Weg vom Energieeinspargesetz (EnEG) zur DIN V 18599	4
1.4.1	Energieeinspargesetz (EnEG)	4
1.4.2	Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagenverordnung	4
1.4.3	ENEV 2002/2004.....	4
1.4.4	ENEV 2007 und DIN V 18599.....	5
1.5	Potenzial für Energieeffizientes Bauen in Deutschland.....	7
2.	DIN V 18599	9
2.1	Zukunft der ENEV und DIN V 18599	10
2.2	Methodik der DIN V 18599	11
2.3	Aufbau der DIN V 18599	14
2.3.1	DIN V 18599 Teil 1 - Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger.....	14
2.3.2	DIN V 18599 - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen	15
2.3.3	DIN V 18599 - Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung	18
2.3.4	DIN V 18599 - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung.....	19
2.3.5	DIN V 18599 - Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen.....	19
2.3.6	DIN V 18599 - Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau	20
2.3.7	DIN V 18599 - Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau	20
2.3.8	DIN V 18599 - Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungsanlagen	21
2.3.9	DIN V 18599 - Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	21
2.3.10	DIN V 18599 - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.....	21
2.4	Algorithmus der DIN V 18599	22
2.5	Vorgehensweise bei der Energiebedarfsermittlung mittels DIN V 18599	24
2.6	Ablauf für eine Energiebedarfsermittlung nach DIN 18599	25
2.7	Zonierung.....	26

2.8	Vereinfachungen	27
2.8.1	Aufmaß	27
2.8.2	Bewertung der energetischen Qualität bestehender Bauteile	27
2.8.3	Zonierung und Ein-Zonen-Modell	28
2.8.4	Anlagentechnik.....	29
3.	Anwendung der DIN V 18599 am Objekt Mittelschule Sayda	30
3.1	Objektbeschreibung	30
3.1.1	Bestandsbeschreibung.....	30
3.1.2	Umbaumaßnahmen.....	31
3.1.3	Baubeschreibung.....	31
3.2	Zonierung Mittelschule Sayda.....	33
3.2.1	Die exakte Zonierung nach DIN V 18599	33
3.2.2	Praktikable Zonierung.....	34
3.3	Anpassen der Nutzerprofile	38
4.	Variante 1 – Planungsstand	39
4.1	Thermische Hülle.....	39
4.2	Transparente Bauteile	39
4.2.1	Einfluss des Sonnenschutzes auf die Energieeffizienz.....	40
4.3	Wärmespeicherfähigkeit.....	40
4.4	Luftdichtheit.....	41
4.5	DIN V18559 und die Fensterlüftung	41
4.6	Anlagentechnik.....	44
4.7	Ergebnis Variante 1.....	45
4.8	Vergleich der Variante 1 mit dem Referenzgebäude	47
5.	Variante 2 – Annäherung an den Passivhausstandard.....	48
5.1	Merkmale des Passivhausstandard	48
5.2	Optimierungsmöglichkeiten.....	49
5.2.1	Verbesserung der thermischen Hülle	49
5.2.2	Wärmebrückenfreies Konstruieren.....	49
5.2.3	Berechnung der Wärmebrücken	51
5.2.3.1	Methodik und Kennzahlen für die Bewertung von Wärmebrücken	51
5.2.3.2	Arbeitsschritte zur Ermittlung Ψ und χ	54
5.2.3.3	Modellbildung	55
5.2.3.4	Auftretende Probleme bei der Wärmebrückenmodellierung – Beispiel Traufdetail ..	55
5.2.3.5	Auswertung und Bewertung der 3D-Simulation nach DIN und PHI	56

5.2.3.6	Auswertung der Wärmebrücken am Objekt.....	58
5.2.4	Verbesserung der Fenster.....	59
5.2.5	Verbesserung der Luftdichtheit.....	60
5.3	Lüftungssystem mit hocheffizienter WRG	61
5.3.1	Einfluss der Effizienz der Ventilatoren.....	61
5.3.2	Einfluss der Lüftungskanäle auf den Energieverbrauch	62
5.4	Ergebnis	62
5.4.1	Auswertung.....	64
5.5	Untersuchung ausgewählter Verbesserungsmaßnahmen.....	66
5.5.1	Reduzierung der Fensterflächen der Turnhalle.....	66
5.5.2	Reduzierung der Fensterflächen im Speiseraum	66
6.	Wirtschaftlichkeit der Passivhausvariante	68
6.1	Methode	68
6.2	Energiepreis und Energiepreisentwicklung.....	69
6.3	Szenariobildung.....	69
6.4	Wirtschaftlichkeit	69
6.5	Betrachtungszeitraum	71
6.6	Berechnung der Betriebskostendifferenz	71
6.6.1	Differenz des Grundpreises.....	71
6.6.2	Differenz Arbeitspreis	72
6.6.3	Zusammenstellung Betriebskostendifferenz	73
6.7	Berechnung Mehrinvestition	74
6.8	Fördermaßnahmen.....	74
6.8.1	Kreditzinsen.....	74
6.8.2	Zuschüsse	74
6.9	Kalkulationszinssatz	75
6.10	Wirtschaftlichkeit	75
6.11	Co-Benefits.....	77
6.12	Findung des ökonomischen Maximums	77
6.13	Vergleich Wärmesenken und Wärmequellen	82
7.	Zusammenfassung	84
7.1	DIN V18599	84
7.2	Wärmebrücken und Passivhausstandard	85
7.3	Objekt Mittelschule Sayda	86
	Literaturverzeichnis	88

Anhang

IX

1.	Annahmen und Parameter.....	2
1.1	Hüllflächen und Zonierung.....	2
1.2	Bauteil Aufbau der thermischen Hüllfläche	8
1.3	Grundflächen und Heizung	15
1.4	Bestimmung der Verschattungen.....	17
1.4.1	Speiseraum.....	18
1.4.2	Sanitärräume Turnhalle	18
1.4.3	EG-Schulgebäude.....	19
1.5	Anlagentechnik –Variante 1 (Planungsstand)	19
1.5.1	Lüftungsanlagen	20
1.5.2	Kühltechnik	21
1.5.3	Warmwasserbedarf	21
1.6	Berechnung Tag und Nachtstunden	22
1.6.1	Profil Klassenräume	22
1.6.2	Profil Büro	23
1.6.3	Profil Speiseraum	24
1.6.4	Profil Sporthalle.....	25
2.	Wärmebrücken.....	26
2.1	Berechnung einer dreidimensionalen Wärmebrücke	26
2.1.1	Schnittebenen	26
2.1.2	Vergleich der Berechnungsmodelle bei erdberührten Bauteilen	27
2.1.2.1	Randbedingungen gemäß DIN 4108 – 6	28
2.1.2.2	Modellbildung	29
2.1.2.3	Modell DIN 4108-6	29
2.1.2.4	Modell PHI.....	30
2.1.3	Bestimmung der Leitwerte aus der Modellierung nach DIN 4108-6.....	31
2.1.3.1	Auswertung 3D-Simulation Modell nach DIN 4108-6.....	35
2.1.3.2	Bestimmung von χ nach DIN 4108-6	36
2.1.4	Modellierung nach PHI	36
2.1.4.1	Randbedingungen gemäß PHI.....	37
2.1.4.2	Bestimmung der Leitwerte aus der Modellierung nach PHI.....	37
2.1.4.3	Auswertung 3D-Simulation nach PHI.....	40
2.1.4.4	Bestimmung von χ nach PHI.....	41

2.2	Wärmebrücken.....	42
2.2.1	Bestandsgebäude Außenwanddecke	43
2.2.2	Bestandsgebäude einbindende oberste Geschossdecke.....	44
2.2.3	Bestandsgebäude Traufdetail	45
2.2.4	Bestandsgebäude Bodenplatte - Kellerwand.....	46
2.2.5	Bestand Fensterlaibung	47
2.2.6	Anschluss Bestandsgebäude - Anbau	48
2.2.7	Anschluss Bestandsgebäude - Zwischenbau	49
2.2.8	Anbau einbindende oberste Geschossdecke	50
2.2.9	Anbau Außenecke	51
2.2.11	Anbau Versatz	52
2.2.12	Anbau Traufdetail.....	53
2.2.13	Bestand Bodenplatte Kellerwand.....	54
2.2.15	Zwischenbau Attika	55
2.2.16	Zwischenbau Außenecke	56
3.2.18	Zwischenbau Bodenplatte	57
3.2.19	Turnhalle Außenecke.....	58
3.2.20	Turnhalle – Zwischenbau Anschluss	59
3.2.21	Turnhalle Bodenplatte	60
3.2.22	Annahmen für übrigen Wärmebrücken.....	61
2.3	Auswertung der Wärmebrücken.....	62
2.3.1	Zusammenstellung der Einbausituation der Fenster.....	62
2.3.2	Zusammenstellung aller Wärmebrücken und Ermittlung ΔU	63
3.	Parameterermittlung - Variante 2	64
3.1	Auslegung Lüftungsanlage	64
3.1.1	Ermittlung des Volumenströme	64
3.1.2	Festlegen der Anlagenkomponenten	67
4.	Sonstige Dokumentation	68
4.1	Ergebnisübersicht Variante 1	68
4.1.1	Energiebedarf in den einzelnen Zonen	68
4.2	Wirtschaftlichkeit	69
4.2.1	KfW-Kreditbedingungen	69
4.2.2	Ermittlung der Mehrinvestition.....	70
4.2.3	Ermittlung Kreditzinssatz	72
4.2.4	Ermittlung Grundpreis	73

4.2.5	Ermittlung Betriebskosteneinsparung	73
4.2.6	Wirtschaftlichkeitsberechnung Variante 2	74
4.2.7	Wirtschaftlichkeitsberechnung Variante 3	75
4.2.8	Wirtschaftlichkeitsberechnung Variante 4	76
4.2.9	Energieeinsparung der einzelnen Optimierungsmaßnahmen	77
4.2.9.1	Verzicht auf Fußbodendämmung im bestehenden Unterrichtsgebäude	77
4.2.9.2	Reduzierung Dämmstärken im Bereich der Bodenplatten auf Niveau der Variante 1	77
4.2.9.3	Reduzierung der Perimeterdämmung auf Niveau Variante 1	78
4.2.9.4	Reduzierung der Fensterqualität auf das Niveau von Variante 1	78
4.2.9.5	Reduzierung des Dämmniveaus des WDVS auf das Niveau der Variante 1	79
4.2.9.6	Reduzierung der Dämmstärke im Bereich der obersten Geschossdecke und Dachdecke auf Niveau Variante 1	79
4.2.9.7	Verzicht auf eine Lüftungsanlage im WRG im Unterrichtsgebäude	80
4.2.10	Wirtschaftlichkeit der einzelnen Maßnahmen	80
4.2.10.1	Verzicht auf Fußbodendämmung im bestehenden Unterrichtsgebäude	81
4.2.10.2	Reduzierung Dämmstärken im Bereich der Bodenplatten auf Niveau der Variante 1	81
4.2.10.3	Reduzierung der Perimeterdämmung auf Niveau Variante 1	82
4.2.10.4	Reduzierung der Fensterqualität auf das Niveau von Variante 1	83
4.2.10.5	Reduzierung des Dämmniveaus des WDVS auf das Niveau der Variante 1	83
4.2.10.6	Reduzierung der Dämmstärke im Bereich der obersten Geschossdecke und Dachdecke auf Niveau Variante 1	84
4.2.10.7	Verzicht auf eine Lüftungsanlage im WRG im Unterrichtsgebäude	85
4.2.11	Auswirkung der Einbausituation der Fenster auf den U-Wert	85
4.3	Bilddokumentation	86
4.3.1	Entwurf	86
4.3.2	Bestandsgebäude	88
4.4	Zeichnungen	89

0. Kurzfassung

Einleitend soll im Rahmen dieser Arbeit die Notwendigkeit und das Potenzial der Energieeffizienz im Gebäudesektor aufgezeigt. Anschließend wird die Politik, welche zur DIN V 18599 geführt hat, kurz dargelegt. Neben der rechtlichen Einordnung der DIN V 18599 wird auf den Aufbau, die Besonderheiten und Neuerungen gegenüber den bestehenden Normen eingegangen. Die Probleme und Besonderheiten bei Arbeit und Anwendung der DIN V 18599 in der Praxis werden angesprochen. Die Mittelschule in Sayda wird mit der DIN V 18599 betrachtet werden. Da die DIN V 18599 ein sehr umfassendes und weitreichendes Werk ist, werden die Ausführungen und Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit auf die Bereiche der DIN beschränkt, welche mit der Sicherstellung der Temperierung und den damit verbundenen Energieaufwendungen im Zusammenhang stehen. Für dieses Objekt existiert eine Vorplanung, welche die Anforderungen an die ENEC erfüllt. Basierend auf der Entwurfsvorlage wird eine Annäherung an den Passivhausstandard untersucht werden. Ziel dieser Untersuchung ist die Feststellung, ob mit realistischem Aufwand und ohne Eingriff in den bestehenden Entwurf der Passivhausstandard erreicht werden kann. Die im Rahmen der Annäherung an den Passivhausstandard entstehenden Probleme werden aufgezeigt. Besonders das Thema der Wärmebrückenberechnung wird näher betrachtet. Gegenstand der Betrachtung sind die Berechnungsansätze nach DIN, ISO und Passivhausinstitut. Eine ausgewählte Wärmebrücke wird dreidimensional mit den Randbedingungen nach DIN und Passivhausinstitut untersucht. Die im Rahmen der Annäherung an den Passivhausstandard gefundene Lösung wird anschließend ökonomisch bewertet. Dabei soll eine geeignete Methode zur ökonomischen Bewertung und die geeigneten Rand- und Rahmenbedingungen für diese Methode gefunden werden. Die Methode soll eine geeignete Aussagekraft besitzen und die Energiepreisentwicklung dynamisch berücksichtigen. Mit der gefundenen Methode soll eine ökonomische Optimierung durchgeführt werden.

Auf die folgenden populären Thesen soll eingegangen werden:

- a) Die DIN V 18599 ist eine wissenschaftliche und dadurch praxisferne Norm.
- b) Bei richtiger Anwendung der DIN V 18599 sind sehr genaue Ergebnisse möglich.
- c) Der Passivhausstandard ist wirtschaftlich realisierbar.

1. Klimaschutz und Energieeffizientes Bauen

1.1 Klimaveränderungen

Der aktuelle Stand der Wissenstand macht deutlich, dass der durch den Menschen erzeugte CO₂-Ausstoß einen zusätzlichen künstlichen Treibhauseffekt herbeiführt. In den letzten 250.000 Jahren schwankte der CO₂ Gehalt in der Atmosphäre um einen Wert von ca. 250 ppm, mit einer Schwankungsbreite von 200-290ppm [1]. Seit Beginn der Industrialisierung im frühen 19Jh. ist ein Anstieg des CO₂ Gehaltes in der Atmosphäre auf 360ppm zu verzeichnen. Hauptursache hierfür ist der Einsatz fossiler Brennstoffe für Verkehr, Güterproduktion, Bereitstellen von Heizwärme und die Erzeugung von elektrischem Strom. Es wird derzeit angenommen, dass bis 2100 ein Temperaturanstieg der Erdoberfläche um 1,8 - 4 °C zu erwarten ist, wenn keine entgegengewirkenden Maßnahmen ergriffen werden [2]. Folgende Auswirkungen werden erwartet:

- ein Schmelzen der Polkappen und Gletscher führt zu
 - einem Anstieg des Meeresspiegels um ca. 20-60cm , wobei Werte von bis zu 7m zu erwarten sind, wenn das Eis der Arktis und Grönlands schmelzen sollte
 - und damit zu einer Überschwemmung tiefliegender Küstengebiete
- Häufung von Wetterextremen wie Stürmen, Dürren und Regenperioden
- Erhöhter Niederschlag in höheren Regionen und weniger Niederschlag in den Tropen und Subtropen (u.a. Mittelmeerraum)
- Verschiebung von Klimazonen

Um die Folgen gering zu halten muss der Anstieg der CO₂ Konzentration schnellst möglich verringert werden. Um die Folgen aufzuhalten ist eine Halbierung der CO₂ Emission in den nächsten 50 Jahren anzustreben. Auf der Klimakonferenz in Nairobi sagte Kofi Annan: „Der Klimawandel ist ein Problem für die Gesundheit, die Ernährungssicherheit, die Lebensgrundlage von Milliarden von Menschen und auch für die Wirtschaft. Außerdem sind die Klimaveränderungen ein Bedrohung der Sicherheit und des Friedens.“

1.2 Internationale Klimapolitik

Bereits in einem „Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit: Die Grenzen des Wachstums“ im dem Jahre 1972 wurde das Zusammenspiel von Wirtschaftswachstum, begrenzten Rohstoffvorkommen, Bevölkerungswachstum und der Einfluss auf das Klima untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass es bei unverändertem Wachstum bis zum Jahre 2030 zu irreparablen Schädigungen Ökosphäre kommen wird. Der im Jahr 2004 nochmals überprüfte Bericht machte klar, dass die vorher gesagten Tendenzen eingetroffen sind und eine Übereinstimmung zur Realität besteht. Im Jahre 1979 gab es den ersten Aufruf der Vereinten Nationen den Klimawandel ernst zu nehmen. Die ersten ernst zunehmenden Bemühungen gab es bei der Konferenz von Villach im Jahr 1985 [3]. Weitere Konferenzen folgten, jedoch wurden keine verbindlichen Ziele beschlossen. Erst im Jahre 1992 gab es in Rio de Janeiro die erste Klimaschutzkonvention, in der sich die 188 Staaten verpflichteten den Ausstoß an Treibhausgasen zu verringern. Im Jahre 1997 wurde im Japanischen Kyoto das Kyoto-Protokoll beschlossen. Dabei wurden erstmals für die Industriestaaten verbindliche Reduktionen an Treibhausgasen beschlossen. Entwicklungsländer verpflichten sich zu einer freiwilligen Reduktion. Die USA, mit mehr als 20% der weltweiten Treibhausgasproduktion größter Erzeuger, hat bis heute das Kyoto-Protokoll nicht unterzeichnet. Australien unterzeichnete das Protokoll erst Ende 2007.

1.3 Klimapolitik Europa

Am 16.12.2002 wurde durch die Europäische Gemeinschaft die Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erlassen. Folgende Gründe wurden für das erforderlich werden dieser Richtlinie unter anderem genannt: Umweltschutz, rationeller Umgang mit den vorhandenen Ressourcen, Steigerung der Energieeffizienz, Steuerung der Energienachfrage, Verminderung des CO₂-Austoßes und damit verbunden die Erfüllung der auferlegten Verpflichtungen des Kyoto Protokolls. Weitere Triebkräfte sind die Sicherstellung der Energieversorgung, Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft und die Entwicklung eines zukunftsorientierten Marktes für energieeffiziente und regenerative Technologien und somit die Schaffung von Arbeitsplätzen in Europa. Es wird davon ausgegangen, dass Europa ca. 20% seiner Energie verschwendet. Würden diese 20% bis 2020 eingespart, entspreche dies einer jährlichen Einsparung von ca. 100 Milliarden Euro und einer CO₂ Einsparung von 780 Millionen Tonnen [4].

1.4 Klimapolitik Deutschland – Der Weg vom Energieeinspargesetz (EnEG) zur DIN V 18599

1.4.1 Energieeinspargesetz (EnEG)

Einige Jahre nach der Ölkrise Anfang der 70'iger Jahre wurde 1976 in Deutschland das sogenannte Energieeinspargesetz erlassen. Das Energieeinspargesetz wurde mehrmals novelliert und ist auch heute noch Grundlage der ENEC.

1.4.2 Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagenverordnung

Um das Energieeinspargesetz umzusetzen wurde im Jahre 1977 die Wärmeschutzverordnung (WSVO) erlassen. Die im Jahre 1978 erlassene und in den weiteren Jahren mehrmals angepasste Heizungsanlagenverordnung enthielt unter anderem Anforderungen an die Heizungsanlage, die Dämmung, Verteilung und die Wartungspflichten des Betreibers. Die Wärmeschutzverordnung enthielt das vereinfachte Verfahren (Bauteilverfahren) und das Wärmebilanzverfahren. Beim Bauteilverfahren war der Grenzwert für die einzelnen Bauteile des Gebäudes ein zulässiger maximal mittlerer k-Wert. Im Wärmebilanzverfahren wurde in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses ein maximaler Jahresheizwärmebedarf zugrunde gelegt. Im Jahre 1982 und 1995 wurden die Anforderungen an den Transmissionswärmeverlust verschärft. Zusätzlich wurden ab dem Jahre 1995 die Lüftungswärmeverluste bilanziert.

1.4.3 ENEC 2002/2004

Im Jahre 2002 wurden die beiden Verordnungen durch die Energieeinsparverordnung (ENEV) abgelöst. Mit der Berücksichtigung von Transmissionsverlusten, Lüftungswärmeverlusten, Anlagentechnik und Trinkwassererwärmung sowie der primärenergetischen Bewertung der eingesetzten Energieträger wird bei der Bewertung von Gebäuden erstmals ein ganzheitlicher Ansatz zugrunde gelegt. Das Anforderungsniveau wurde im Vergleich zur WSVO um ca. 30% verschärft. In der ENEV werden Bestands- und Neubauten berücksichtigt, welche mindestens 4 Monate im Jahr beheizt werden und eine Innentemperatur von min. 12°C aufweisen. Weiterhin ausgeschlossen sind unter anderem:

- Sonderbauten die der Tier- und Pflanzenzucht dienen
- Betriebsgebäude die offen gehalten werden müssen
- Traglufthallen und Zelte

Merkmale: Aus dem beheizten Volumen V_e des Baukörpers wird mit $A_N = 0,32 \times V_e$ eine fiktive Nutzfläche A_N bestimmt. Die Fläche A_N dient zur Bestimmung der internen Wärmegewinne und des Warmwasserbedarfs. Die internen Wärmegewinne betragen pauschal 22kWh/(m²a). Der

Bedarf für Warmwasser beträgt pauschal $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{a})$. Die Transmissionsverluste werden über die U-Werte der Bauteilflächen mit F_x -Faktoren, welche die Art des Bauteils und die Lage berücksichtigen, berechnet. Die Gewinne der transparenten Bauteile werden anhand der Fläche, Orientierung und Energiedurchlassgrad der vorhandenen Flächen berücksichtigt. Die Transmissionsverluste abzüglich der Gewinne der transparenten Bauteile ergeben den spezifischen Transmissionsverlust. Dieser, darf den in Abhängigkeit des A/V_e – Verhältnisses bestimmten maximal zulässigen flächenbezogenen Transmissionswärmeverlust H_T , nicht übersteigen. Abschließend wird der benötigte Energiebedarf, bestehend aus Warmwasserbedarf, Transmissions- und Lüftungsverlusten, mit einer Anlagenaufwandszahl e_p multipliziert. e_p wird aus Tabellen der DIN 4701 ermittelt. Diese Anlagenaufwandszahl berücksichtigt unter anderem die Dimensionierung der Anlage, Art und Energieträger sowie zum Beispiel Unterstützung durch regenerative Energien. Die e_p Zahl entspricht einem primärenergetischen Faktor um den Endenergiebedarf zu sichern. Der maximal zulässige Primärenergiebedarf ist in Abhängigkeit des tatsächliche A/V_e – Verhältnisses zu bestimmen. Der ermittelte Energiebedarf entspricht dem Energiebedarf bei einer Innentemperatur von 19°C und dem Referenzklima Deutschland. Dieser Energiebedarf ist Gegenstand des öffentlich rechtlichen Nachweises. Die meisten Programme sind in der Lage den Energiebedarf für abweichende Innentemperaturen und von Referenzklima abweichende Standorte zu berechnen. Beleuchtung und Kühlenergie sind nicht Bestandteil der Energiebedarfsrechnungen.

Weiterhin fordert die ENEV eine Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2. Erstmals enthielt die ENEV auch die Verpflichtung zu Nachrüstmaßnahmen für Bestandsgebäude. Dies betraf den Austausch von Heizkesseln aus dem Jahr vor 1978, Dämmmaßnahmen von nicht begehbaren aber zugänglichen obersten Geschossdecken und die Dämmung von zugänglichen nicht isolierten Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen.

1.4.4 ENEV 2007 und DIN V 18599

Die ENEV 2007 wurde im Juni 2007 vom Bundesrat verabschiedet und ist ab 1.10.2007 verbindlich anzuwenden. Die ENEV 2007 gilt für „Gebäude, deren Räume unter Einsatz von Energie beheizt und gekühlt werden“ sowie „für Anlagen und Einrichtungen der Heizungs-, Kühl-, Raumluft- und Beleuchtungstechnik sowie Warmwasserversorgung“ dieser Gebäude.

Nicht erfasst sind folgende Gebäude:

- Betriebsgebäude, die überwiegend zur Aufzucht oder zur Haltung von Tieren genutzt werden

- Betriebsgebäude, soweit sie nach ihrem Verwendungszweck großflächig und lang anhaltend offen gehalten werden müssen
- unterirdische Bauten
- Unterglasanlagen und Kulturräume für Aufzucht, Vermehrung und Verkauf von Pflanzen,
- Traglufthallen, Zelte und sonstige Gebäude, die dazu bestimmt sind, wiederholt aufgestellt und zerlegt zu werden
- provisorische Gebäude mit einer geplanten Nutzungsdauer von bis zu zwei Jahren,
- Gebäude, die dem Gottesdienst oder anderen religiösen Zwecken gewidmet sind,
- Wohngebäude, die für eine Nutzungsdauer von weniger als vier Monaten jährlich bestimmt sind
- sonstige handwerkliche, landwirtschaftliche, gewerbliche und industrielle Betriebsgebäude, die nach ihrer Zweckbestimmung auf eine Innentemperatur von weniger als 12 Grad Celsius oder jährlich weniger als vier Monate beheizt sowie jährlich weniger als zwei Monate gekühlt werden

Während die Bewertung von Nichtwohngebäuden mit der ENEC 2002/2004 aufgrund fehlender Grenzwerte nur schwer möglich war, ist dies jetzt mit der in die ENEC eingebundenen DIN V 18599 möglich. Wohngebäude werden weiterhin mit dem aus der ENEC 2004 bekannten Verfahren bewertet.

Außerdem enthält die ENEC 2007 Anforderungen zur Prüfung der Einsetzbarkeit regenerativer Energien, des sommerlichen Wärmeschutzes und die Inspektion von Klimaanlage.

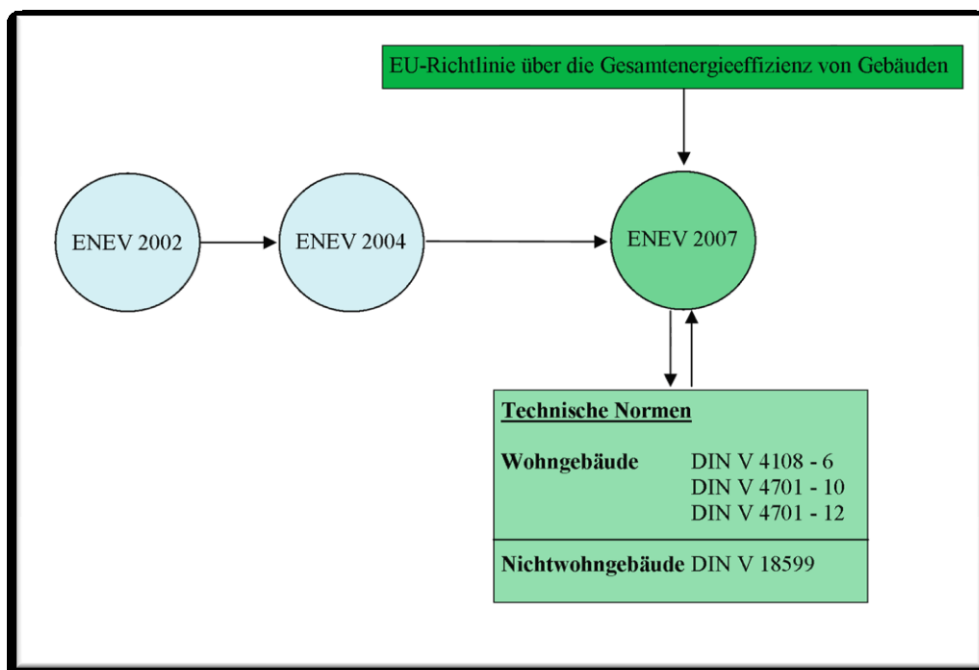


Abbildung 1: Rechtliche Einordnung der DIN V 18599 [5]

1.5 Potenzial für Energieeffizientes Bauen in Deutschland

Um die Notwendigkeit für mehr Energieeffizienz im Gebäudesektor zu verstehen, muss der Anteil des Energieverbrauches für Wärmeprozesse am Gesamtenergieverbrauch der Bundesrepublik verdeutlicht werden. Der Anteil am Gesamtenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung betrug im Jahr 2005 in Deutschland rund 37%. Rechnet man die Anteile für Prozesswärme hinzu welche in der Industrie benötigt werden, liegt der Anteil für die Prozesse in denen Wärme benötigt wird bei 58% des gesamten Energieverbrauches der Bundesrepublik. Der Verbrauch für Raumheizung und Warmwasser wird zu über 2/3 durch private Haushalte und zu etwa 1/4 durch den Sektor Handel, Gewerbe und Dienstleistung verursacht.

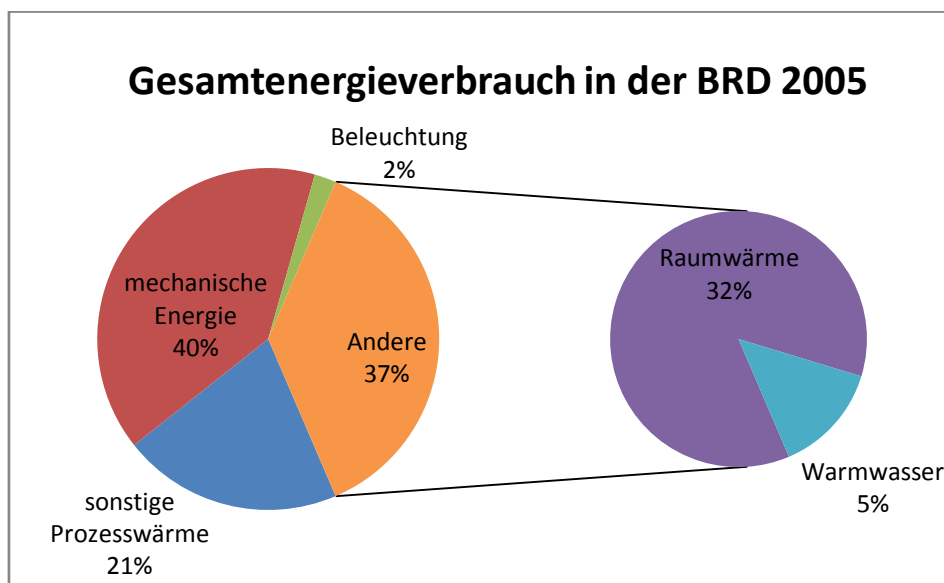


Abbildung 2: Energieverbrauch nach Nutzung [6]

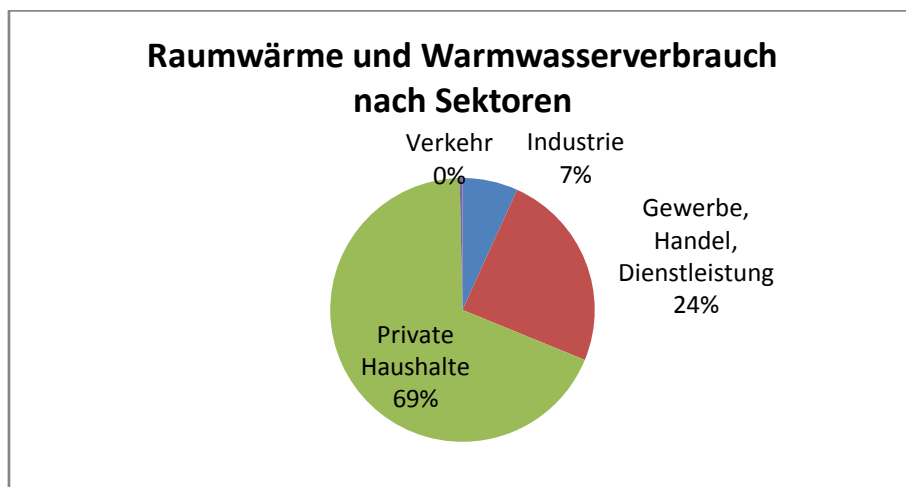


Abbildung 3: Raumwärme und WW-Bedarf nach Sektoren

Mit den vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass reichlich die Hälfte der in Deutschland verbrauchten Energie für Wärmeprozesse benötigt wird. Optimierungspotenzial ist zu großen Teilen in energetisch noch nicht optimierten Bestandsgebäuden zu suchen. Neubauten werden durch die Anforderungen der ENEC in einem energetisch hochwertigen Zustand errichtet. Aus Abbildung 3 wird deutlich, dass bereits 85% der Wohngebäude ein Alter von 20 Jahren überschritten haben. Diese Gebäude haben spezifische Jahresverbräuche von durchschnittlich über 225kWh/(m²a) und sind damit für eine energetische Sanierung sehr geeignet. Leider ist die Sanierungseffizienz laut DENA [7] noch zu gering.

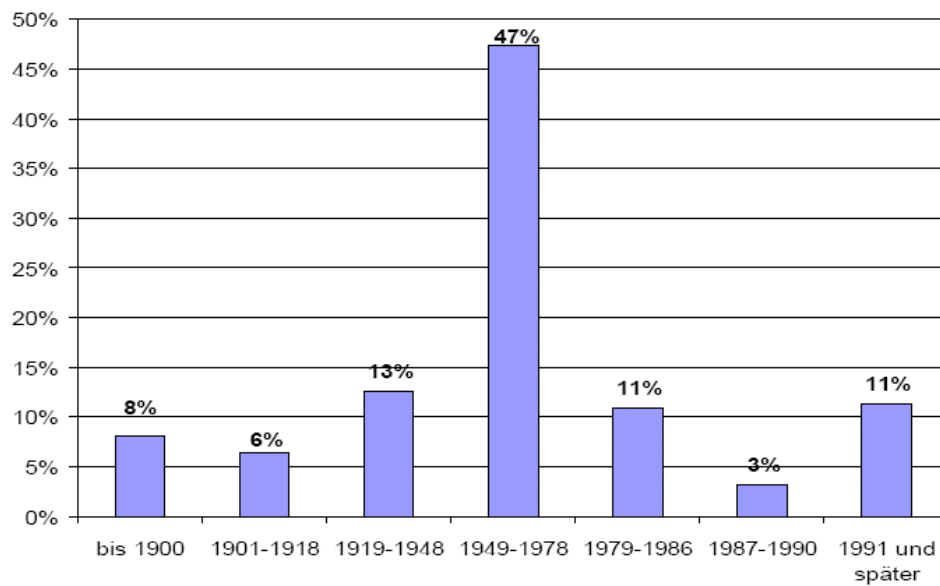


Abbildung 4: Altersstruktur des Wohngebäudebestandes in Deutschland [7]

2. DIN V 18599

Die DIN 4108 Teil 6 für den Wärmeschutz und die DIN 4701 Teil 10 für die Anlagentechnik waren der herkömmliche Weg zur Bewertung von Gebäuden. Eine Bewertung von Nichtwohngebäuden war mit diesen Normen nahezu unmöglich. Außerdem war die Schnittstelle zwischen Bau und Anlagentechnik zwischen beiden Normen nicht zufriedenstellend gelöst. Aus diesem Grund beschloss man 2001 eine neue Rechenmethode zu entwickeln. Die Vornormenreihe DIN V 18599 wurde vom Gemeinschaftsausschuss "Energetische Bewertung von Gebäuden" der Normenausschüsse "Bauwesen" (NABau) und "Heiz- und Raumlufttechnik" (NHRS) unter Mitwirkung des Normenausschusses "Lichttechnik" (FNL) im DIN erarbeitet [8]. Im Jahre 2002 wurde im Europäischen Parlament die Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beschlossen. Sie sollte innerhalb von 3 Jahren in den Mitgliedsländern umgesetzt werden. In Deutschland wurde die Richtlinie mit DIN V 18599 umgesetzt. Die Normenreihe ist gemäß §4 der am 1.10.2007 in Kraft getretenen ENEC 2007 für die Bewertung von Nichtwohngebäuden zwingend anzuwenden. Die Norm ist im öffentlich-rechtlichen Nachweis für alle konditionierten Nicht-Wohngebäude anzuwenden. Die Norm darf auch für Wohngebäude angewandt werden. Sie ist für Bewertung von Neubauten und Bestandsbauten gleichermaßen anzuwenden. Tabelle 1 stellt das herkömmliche Bewertungsverfahren und die DIN V 18599 gegenüber.

<u>Bisher</u>	<u>DIN V 18599</u>
<ul style="list-style-type: none"> • vornehmlich Wohngebäude • einheitliche/durchschnittliche Nutzung • pauschale Innenlasten (einschließlich Beleuchtung und Wärmeeintrag durch Anlagenverluste) • nur Beheizung • winterliches Klima 	<ul style="list-style-type: none"> • Wohn- und Nichtwohngebäude • sehr unterschiedliche Nutzung • differenziertere Innenlasten • Beleuchtung • Beheizung, Kühlung, Belüftung, Be- und Entfeuchtung • Winter- und sommerliches Klima
<u>Neue Anforderungen</u>	
<ul style="list-style-type: none"> • Vorgabe von unterschiedlichen Standardnutzungen • Differenzierte Zonierung des Gebäudes • Unterscheidung Nutzungs-/Nichtnutzungszeit • Einbezug von Luftaufbereitung mittels RLT-Anlagen • Ermittlung Kühlbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Ganzjahresbetrachtung, keine Einschränkung auf Heizperiode • Beweglicher Sonnenschutz • Bewertung der Beleuchtung • Auswirkung der Verteilerverluste auf die Raumbilanz und Rückwirkung der Raumbilanz auf die Verteilerverluste • Überschlägige Auslegungsberechnung

Tabelle 1: Vergleich der bisherigen Methoden mit der DIN V 18599 [9]

Ein Jahr nach dem Erlass der Richtlinie befürchtete die EU es könne in einigen Ländern Probleme bei der Umsetzung auf nationaler Ebene geben. Aus diesem Grund wurde von der EU ebenfalls ein Mandat erlassen um die Normung auf europäischer Ebene voranzutreiben. Da es EU-Mitgliedsstaaten verboten ist eigene nationale Normen in Bereichen zu erlassen in denen die EU Normen erarbeitet, wird die DIN V 18599 eine Vornorm bleiben. Sie hat aber in Deutschland die gleiche Verbindlichkeit wie eine DIN Norm. Zurzeit gibt es in Europa ungefähr 40 Normen zur Bewertung der Gebäudeenergieeffizienz, jedoch noch keinen mit der deutschen Lösung vergleichbaren ganzheitlichen Ansatz. Es soll versucht werden, die Vornorm in eine europäische Norm einzubringen. Ob dies vollständig gelingen wird ist fraglich, da durch die Vielzahl der europäischen Länder auch viele verschiedene Lösungsansätze zur Bewertung der Energieeffizienz gibt und auch jedes Land versuchen wird seinen Ansatz in die CEN-Norm einzubringen. Zum Beispiel arbeiten die Portugiesen mit einem relativen CO₂ Indikator, welcher angibt wie groß der CO₂-Ausstoß bei standardisierten Rahmenbedingungen eines Vergleichsgebäudes ist. Die Niederländer bewerten wie die Deutschen die Primärenergie, beziehen diese aber nicht wie die Deutschen auf die Nutzfläche. Die Franzosen wiederum bewerten die Endenergie.

Prinzipiell gibt die CEN (Europäische Institut für Normung) nur die Lösungsmethodologie vor, die Umsetzung erfolgt weiterhin auf Länderebene. Da man die einzelnen Länder nicht zu sehr einschränken möchte, werden durch das CEN in der Regel 2-3 Methoden zur Auswahl gestellt.

2.1 Zukunft der ENEC und DIN V 18599

Im vorhergehenden Abschnitt wurde angedeutet, dass die die Zukunft der DIN V 18599 aufgrund des Europarechts noch nicht wirklich gesichert ist. Da die deutschen Experten auch auf Ebene der EU sehr aktiv sind und bei der Umsetzung der Europarichtlinie mit der DIN V 18599 weit fortgeschritten sind, sieht es für einen Fortbestand der DIN nicht schlecht aus. An der DIN V 18599 wird bereits weitergearbeitet. Für 2009 wird eine Novellierung der ENEC erwartet. Folgendes ist für die DIN V 18599 geplant[10]:

- Die Europarichtlinie fordert ein Beispiel. Da dieses noch nicht enthalten ist, wird dieses in die DIN V 18599 neu aufgenommen werden.
- Einbindung der Gebäudeautomation
- Bereitstellung individualisierter Klimadaten im 1km Raster über Deutschland
- Erweiterung der Nutzungsrandbedingungen
- Fortschreibung der Vergleichswerte
- Leitfaden für die Erfassung bestehender Gebäude
- Einbeziehung von Bauteiltemperierung
- Einbeziehung von Glasdoppelfassaden

- Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich
- Anpassen des Referenzgebäudes
- Einführungen Anlagentechnischer Nebenanforderungen (z.B. durch EEWärmeG)
- Einführung einer neuen Methode zur Bewertung der Transmissionsverluste (bisher in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses)

Weitere Anforderungen entstehen durch die Novellierung der ENEC. Die Anforderungen der ENEC beruhen auf Wirtschaftlichkeitsberechnungen aus dem Jahre 1997. Die Energiepreise sind seitdem stark angestiegen. Aus diesem Grund werden die Anforderungen 2009 mit großer Sicherheit um 30% verschärft. Für 2012 ist eine weitere Verschärfung der Anforderungen um 30% angedacht. Eine Verschärfung der Anforderungen wird dazu führen, dass es bei der Bewertung von Wohngebäuden mit der DIN 4108-6 in Verbindung mit DIN 4701-10 zu großen Verwerfungen und Ungenauigkeiten kommt. Aus diesem Grund gibt es Überlegungen diese Normen durch eine modifizierte DIN V 18599 zu ersetzen. Ob es eine neue Norm geben wird oder die Bewertung der Wohngebäude im Rahmen eines neuen Teiles erfolgt bleibt abzuwarten. Die ENEC-Novellierung wird mit hoher Wahrscheinlichkeit Verpflichtungen zur Nutzung erneuerbaren Energien enthalten. Das geplante Erneuerbare Energie Wärme Gesetz (EEWärmeG) wird Bestandteil der ENEC werden. Der Anteil der erneuerbaren Energien soll im Bereich 10-15% des Energiebedarfs liegen. Es wird wieder Umrüstverpflichtungen, unter anderem für Nachtspeicheröfen, geben. All diese Maßnahmen sollen durch verschiedene Marktanzreizprogramme gefördert werden.

2.2 Methodik der DIN V 18599

Nichtwohngebäude haben im Vergleich zu Wohngebäuden sehr unterschiedliche Anforderungen an die Konditionierung und den damit verbunden Energieverbrauch. Schwimmhallen oder Vorlesungsräume haben sehr differenzierte Nutzungsanforderungen an die Raumtemperatur, Warmwasserbedarf oder Lüftungsraten. Eine angemessene Bewertung war mit den aus der ENEC 2002/2004 bekannten Algorithmen nicht möglich. In der DIN V 18599 werden die unterschiedlichen Nutzungsanforderungen durch eine Zonierung des Gebäudes berücksichtigt. Es werden alle Systeme bilanziert, die zur Erfüllung folgender Aufgaben benötigt werden:

- Heizung
- Lüftung
- Klimatisierung (inklusive Kühlung und eventueller Be-/Entfeuchtung)
- Trinkwasserversorgung
- Beleuchtung
- die zur Sicherstellung der eben aufgeführten Funktionen/Aufgaben benötigten Hilfsenergien

Nicht berücksichtigt werden die durch den Verbraucher verursachten individuellen Verbräuche durch installierte Technik, wie z.B. Bürotechnik und Küchentechnik.

Bestandteil der Methodik ist das sogenannte „Referenzgebäude-Verfahren“. Das bedeutet dem realen Gebäude wird ein Referenzgebäude gegenübergestellt. Das Referenzgebäude hat die gleichen Abmessungen, den gleichen Aufbau (Fenster, Türen, Wände, Dachoberlichter,...) und die gleiche Zonierung mit den gleichen Nutzungsrandbedingungen wie das reale Gebäude. Die thermische Hülle verfügt über definierte Qualitäten, wie zum Beispiel:

- H_T^{-1} in Abhängigkeit von A/V_e
- Gesamtenergiedurchlassgrad von transparenten Bauteilen
- Gebäudedichtheit $n_{50} = \begin{cases} 2h^{-1} & \text{ohne RLT Anlage} \\ 1h^{-1} & \text{mit RLT Anlage} \end{cases}$
- Tageslichtversorgung

Die Konditionierung und Beleuchtung wird gemäß den Nutzungsrandbedingungen (Erklärung in Abschnitt 2.3.10) mit einer definierten Anlagentechnik sichergestellt. Die Referenztechnik umfasst unter anderem [11]:

Heizung und Warmwasser:

- Niedertemperaturkessel mit Gebläsebrenner, Energieträger Erdgas
- Rohrverteilung: Zweirohrnetz, außenliegende Verteilleitungen, Pumpe auf Bedarf ausgelegt, Druck im System konstant, Systemtemperatur 55/45°C
- Wärmeübergabe: freie Heizflächen vor Außenwand mit Glasfläche, Temperaturregler: P-Regler 2K, keine Hilfsenergie
- Warmwasser zentral: gemeinsame Erzeugung mit Heizung; Speicherung indirekt beheizter Speicher außerhalb der thermischen Hülle
- Warmwasser dezentral: elektrischer Durchlauferhitzer
- Rohrleitungslängen werden immer wie im realen Gebäude angenommen

¹ H_T^{-1} = spezifischer auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionskoeffizient

Raumkühlung:

- *Kühlbedarf:* Für die Nutzungen Büros, Klassenzimmer, Bettzimmer, Aufenthaltsräume, Verkehrsflächen, Nebenflächen, Lager/Archiv, Parkhäuser, Archiv/Depot von Bibliotheken und Turnhallen ist der Kühlbedarf mit 0 anzusetzen, außer der Wärmeeintrag durch interne Lasten und Personen übersteigt 180Wh/(m² d)
- *Raumkühlung:* Kaltwasser Fan-Coil 14/18°C als Brüstungsgerät, saisonale und Wochenendabschaltung
- *Erzeuger:* Schrauben- oder Scrollverdichter mit definierten Leistungsaufnahmen

Raumluftechnik: (Art des Systems wird aus dem realen Gebäude übernommen)

- es werden Ventilatorleistungen und Effizienzen definiert
- bei Zu- und Abluftanlagen wird eine Wärmerückgewinnung von 45% berücksichtigt

Beleuchtung:

- direkte Beleuchtung mit verlustarmen Vorschaltgerät und stabförmiger Leuchtstofflampe
- manuelle Kontrolle als Präsenz- und Tageslichtkontrolle (Nutzer schaltet Licht ein und aus)
- Sonnenschutz entspricht der tatsächlichen Sonnenschutzvorrichtung

Die Hauptanforderungsgröße ist der Jahresprimärenergiebedarf dessen Maximum sich aus dem Bedarf des Referenzgebäudes ergibt. Er ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$Q_{P,max} = Q_{P,Heiz,max} + Q_{P,Lüft,max} + Q_{P,WW,max} + Q_{P,Licht,max} + Q_{P,Kühl,max} \quad [12]$$

Da der maximale Jahresenergiebedarf $Q_{P,max}$ das Hauptkriterium bei der Bewertung ist, können Überschreitungen in Teilbereichen durch Unterschreitungen in anderen Bereichen ausgeglichen werden. Als Nebenbedingung gibt es weiterhin die Anforderung an den spezifischen Transmissionswärmekoeffizienten, welcher in Abhängigkeit des A/V_e Verhältnisses und der Innentemperaturen bestimmt wird. Dies stellt sicher, dass die Gebäude weiterhin eine hochwertige thermische Hülle erhalten und damit nicht zu verschwenderisch mit Energieträgern umgehen. Ohne diese Nebenanforderung wäre es denkbar ein Gebäude mit einer schlechten thermischen Hülle auszustatten und dieses mit regenerativen Energien (Primärenergiefaktor < 1) oder zertifizierten Fernwärmetzen (z.B. Drewag Dresden Primärenergiefaktor < 0,1) zu konditionieren.

2.3 Aufbau der DIN V 18599

Die DIN V 18599 ist eine in sich abgeschlossene und in ihren Teilen aufeinander abgestimmte Norm. Die DIN wurde bedarfsorientiert erstellt. Das bedeutet, dass man nur die Teile aus der Norm herausgreift welche man wirklich benötigt. Wird ein Gebäude nur beheizt, müssen nur die Normenteile für die Beheizung benutzt werden. Die Teile welche sich mit Kühlung beschäftigen bleiben unberücksichtigt. Die Normenreihe wurde in insgesamt 10 Teile unterteilt. In den nächsten Abschnitten wird auf die einzelnen Teile der DIN kurz eingegangen.

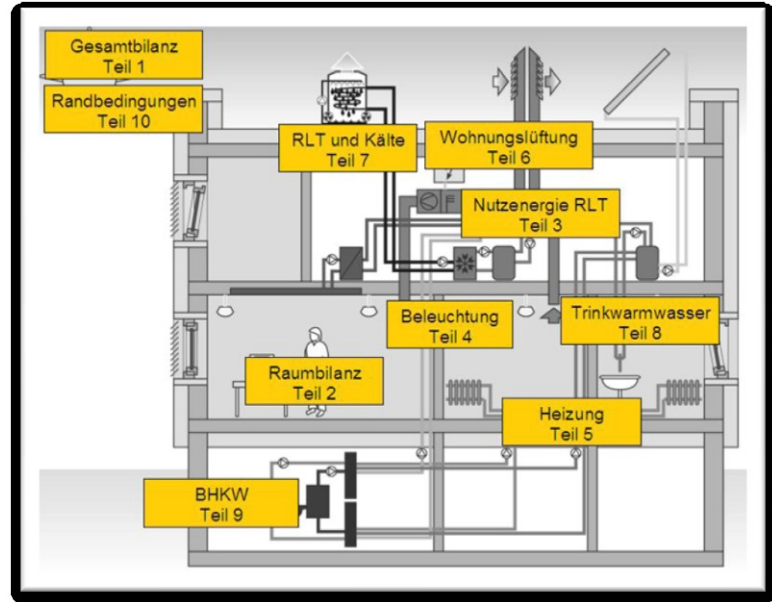


Abbildung 5: Überblick über die Normenteile und den Bilanzraum

2.3.1 DIN V 18599 Teil 1 - Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Teil 1 ist das sogenannte 'Umbrella-Document' (Umbrella: englisch für Regenschirm)[12]. Es überspannt sozusagen die Norm. Es dient als Orientierungshilfe und Einstieg für die Arbeit mit der DIN. In Teil 1 werden der Algorithmus (siehe Punkt 2.3) und die Methodik (siehe Punkt 2.2) zur Primärenergiebedarfsrechnung erläutert. Weiterhin wird das System der Indizierung für die vielen neuen Formelzeichen erklärt.

Da in der DIN V 18599 auch der Kühlfall betrachtet wird und es offensichtlich schwierig ist z.B. einen negativen Transmissionswärmeverlust (im Kühlfall) zu kommunizieren wurde in der DIN V 18599 die Begriffe *Wärmesenke*, *Wärmequelle* und *Transferkoeffizienten* eingeführt. Wärmequellen und Wärmesenken sind Energiezu- und Abflüsse die nicht über das Heiz- oder Kühlsystem zum Zwecke der Temperaturregelung zugeführt werden. Eine *Wärmesenke* stellt einen Wärmestrom dar der aus der Bilanzzone austritt oder Wärmeeinträge mit negativen Vorzeichen (Wärmeverluste oder Kälteeinträge). Eine *Wärmequelle* kennzeichnet in die bilanzierte Zone eintretende Wärmeströme (Wärmegewinne). Dies führt dazu, dass bestimmte Größen nicht eindeutig als Wärmequelle oder Wärmesenke bezeichnet werden können. In solchen Fällen muss eine genaue Betrachtung vorgenommen werden. Die bisherigen Begriffe

Transmissions- bzw. Lüftungswärmeverluste werden in der DIN durch Transmissionswärmekoeffizient und Lüftungswärmetransferkoeffizient ersetzt. [13]

Wärmequelle	Wärmesenke
<p>Q_{sink} immer:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kälteeinträge durch Verteilungen des Trinkwassersystems 	<p>Q_{source} immer:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung durch transparente Flächen - Wärmeeintrag durch Sonnenstrahlung auf opake² Flächen - Wärmeeinträge durch Verteilungen des Heizungs- und Warmwassersystem
<p>Q_{sink} bedingt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transmission, wenn $\varphi_e < \varphi_i$³ - Lüftung durch Infiltration und Fensteröffnung, wenn $\varphi_e < \varphi_i$ - Lüftung durch Zuluft der RLT-Anlage, wenn $\varphi_{\text{zul}} < \varphi_i$⁴ - Waren, Stoffdurchsatz und Gütertransport, wenn $\varphi < \varphi_i$ - Kälteabgabe der Lüftungskanäle, wenn $\varphi_{\text{Luft}} < \varphi_i$ 	<p>Q_{source} bedingt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transmission, wenn $\varphi_e > \varphi_i$ - Lüftung durch Infiltration und Fensteröffnung, wenn $\varphi_e > \varphi_i$ - Lüftung durch Zuluft der RLT-Anlage, wenn $\varphi_{\text{zul}} > \varphi_i$ - Waren, Stoffdurchsatz und Gütertransport, wenn $\varphi > \varphi_i$ - Kälteabgabe der Lüftungskanäle, wenn $\varphi_{\text{Luft}} > \varphi_i$

Tabelle 2: Unterscheidung Wärmequelle und Wärmesenke [14]

In Teil 1 wird auf die Primärenergiebewertung (siehe Seite 23) und die Bestimmung der geometrischen Systemgrenzen eingegangen. Die Vorgehensweise bei der Zonierung ist ebenfalls beschrieben. Weiterhin enthält Teil 1 der Norm die Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung des Primärenergiefaktors von Fernwärmanlagen.

2.3.2 DIN V 18599 - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

Teil 2 „Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen“ stellt das Kernstück der Normenreihe dar und ist eine Weiterentwicklung der bisherigen Monatsbilanzierung des Heizwärmebedarfes nach DIN 4108-6 bzw. DIN EN 832 unter Berücksichtigung des Kühlfalls, RLT-Anlagen und den besonderen Aspekten von Nichtwohngebäuden [15]. Die wesentlichen Neuerungen gegenüber den bestehenden Normen sind in Tabelle 1 auf Seite 9 dargestellt. Aus DIN 4108-6 wurde das Monatsbilanzverfahren übernommen. Das bedeutet der Energiebedarf wird monatsweise für einen durchschnittlichen Tag dieses Monats berechnet. Treten in einem Monat unterschiedliche Randbedingungen (Wochenendbetrieb, Feiertage) auf, werden diese gesondert berechnet. Der Heizwärme- und Kühlbedarf berücksichtigt alle inneren und äußeren Wärme- und Kälteeinträge und ist monatsweise zusammenzufassen.

² Opake Bauteile sind nicht transparente Bauteile

³ φ_e Außentemperatur ; φ_i Innentemperatur

⁴ φ_{zul} Zulufttemperatur der RLT-Anlage

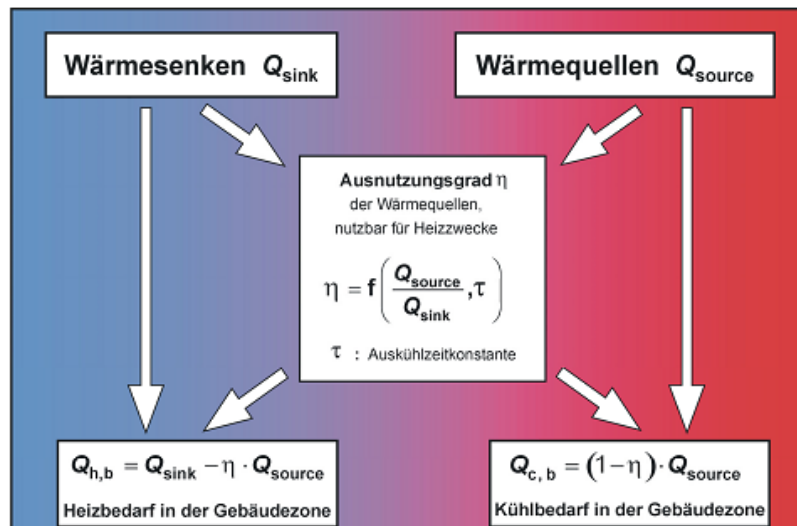


Abbildung 6: Prinzip der Ermittlung des Heizwärme- und Kühlbedarfs einer Gebäudezone

Wie aus Abbildung 6 ersichtlich, ergibt sich der Heizbedarf $Q_{h,b}$ aus der Differenz der Wärmesenken Q_{sink} mit dem Produkt aus Ausnutzungsgrad η mit den Wärmequellen Q_{source} . Der Kühlbedarf entspricht dem Anteil der Wärmequellen, die über den Bedarf fürs Heizen hinausgehen [13]. In den Wärmequellen sind die Wärmeeinträge aus solarer Einstrahlung, Transmission, Lüftung und den internen Quellen (z.B. Personen) zusammengefasst. Die Wärmesenke umfassen die Wärmeverluste aus Transmission, Lüftung, internen Senken, Abstrahlung und die Abgabe gespeicherter Energie aus Bauteilen bei reduziertem Betrieb.

Maßgeblichen Einfluss auf den Wärme- und Kühlbedarf hat der Ausnutzungsgrad der Wärmequellen. Das Verhältnis ist aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen (z.B. Auslegungstemperatur Heizung und Auslegungstemperatur Kühlung sind nicht identisch) für den Heiz- und Kühlfall gesondert zu bestimmen. Zum Beispiel erhöht eine hohe Speichermasse den Ausnutzungsgrad. Im Heizfall kann die solare Einstrahlung in Bauteilen gespeichert und zeitverzögert in den Abendstunden abgegeben werden. Je massiger die Bauteile desto mehr kann gespeichert werden. Im Kühlfall wirkt die Speichermasse analog, tagsüber verhindern massige Bauteile ein zu schnelles Aufheizen und kühlen nachts ab und wirken somit als eine Art Puffer.

Für die Berechnung des Nutzenergiebedarfes werden folgende Eingangsdaten benötigt[16]:

- Zonierung (Nutzenergiebedarf wird Zonenweise berechnet)
- Ermittlung der wärmeübertragenden Hüllfläche inkl. Lage der angrenzenden Zonen (z.B. Außenluft, Glasvorbauten,...) inkl. Wärmebrücken
- Ermittlung der Netto-Grundfläche und des Nettovolumens der Bilanzzone
- Bestimmung der Temperaturrandbedingungen
- Festlegung der Wärmespeicherfähigkeit

- Festlegung der Gebäudedichtheit und der Lüftung (freie/mechanische Lüftung)

Bilanzierung der Wärmequellen- und senken

Wärmesenken liegen vor, wenn bei dem betrachteten Vorgang die Temperatur in der Zone θ_i die Temperatur der angrenzenden Zone θ_k oder Außenluft übersteigt. Im anderen Fall wird von Wärmequellen gesprochen. Der Gesamtbetrag der Wärmesenken ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$Q_{source/sink} = Q_T + Q_V + Q_{I,source/sink} + Q_S \quad [17]$$

Mit:	Q_T	Transmissionswärmesenken
	Q_V	Lüftungswärmesenken
	$Q_{I,source/sink}$	internen Wärmesenken der Gebäudezone
	Q_S	Wärmesenken durch Abstrahlung unter Berücksichtigung der solaren Einstrahlung

Der Gesamtbetrag der Transmissionswärmequellen und Senken Q_T berücksichtigt:

- Wärmequellen/senken infolge Transmission durch die Bauteile zur Außenluft und angrenzenden Zonen
- Wärmequellen/senken Wärmebrücken

Der Gesamtbetrag für die Lüftungswärmequellen- und Senken Q_V berücksichtigt:

- Wärmequellen/-senken durch Infiltration
- Wärmequellen/-senken durch Fensterlüftung
- Wärmequellen/-senken mechanische Lüftung

Der Gesamtbetrag für die internen Wärmesenken einer Zone $Q_{I,source/sink}$:

- Wärmequellen durch Personen
- Wärmequellen durch künstliche Beleuchtung
- Wärmequellen/senken infolge Wärme/Kälteverteilungsleitungen und/oder Lüftungskanäle
- Wärmequellen/senken durch Geräte und Maschinen
- Wärmequellen/senken durch in die Gebäudezone gebrachte Güter

Der Gesamtbetrag für die internen Wärmequellen und Senken einer Zone Q_S :

 18

- Wärmequelle infolge durch transparente Bauteile eindringende und von Bauteile absorbierte Sonnenstrahlung
- Wärmesenken infolge Abstrahlungsverluste infolge langwelliger Strahlung

2.3.3 DIN V 18599 - Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung

In Teil 3 wird der Nutzenergiebedarf für die Lufttechnischen Anlagen bilanziert. Es wird von Nutzenergiebedarf gesprochen, da der Energieeinsatz für RLT-Anlagen in der Regel nicht nur für die Temperierung des Gebäudes dient, sondern auch zur Sicherstellung der Raumluftqualität. Der Volumenstrom einer RLT-Anlage wird in der Regel für mehrere Kriterien ausgelegt, wobei der Maximalwert entscheidend für die Dimensionierung ist. Auslegungskriterien sind:

- Sicherstellen des Mindestluftwechsels
- evtl. beheizen und/oder kühlen der Zone (Luft hat eine geringe Wärmekapazität, deshalb können unter Umständen große Volumenströme für die Beheizung/Kühlung entstehen)
- Abführen von Schadstoffen
- Be- und Entfeuchten von Räumen

In Teil 3 sind in einer Anlagenmatrix 46 Anlagenkombinationen⁵ abgebildet, welche die üblichen Anlagenschaltungen berücksichtigen. Für die Anlagenmatrix wurden detaillierte Energiebedarfskennwerte ermittelt, welche durch interpolieren an die tatsächlichen Verhältnisse (Zulufttemperatur, Rückwärmezahl, Betriebszeit) angepasst wird.

Bilanziert wird in Teil 3 die Energiemenge welche notwendig ist, um die Zuluft zu transportieren und bei Bedarf zu temperieren und/oder zu Be-/Entfeuchten. Weiterhin kann die Energiemenge die für die Wärmerückgewinnung benötigt wird bilanziert werden. Teil 2 und 3 der DIN V 18599 besitzen eine sehr enge Verknüpfung. Zum Beispiel berücksichtigt Teil 3 bei einer vorgesehenen Beheizung nur das Aufheizen auf Zulufttemperatur. Liegt die Zulufttemperatur unterhalb der Raumtemperatur, wird die zugeführte Luft in Teil 2 als Wärmesenke behandelt und muss durch die in Teil 2 abgebildeten Systeme aufgeheizt werden.

⁵ Siehe DIN 18599 Teil 3, Seite 27

2.3.4 DIN V 18599 - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

Teil 4 der Norm bilanziert den Nutz- und Endenergiebedarf für die zur Sehaufgabe benötigte Beleuchtung. Beleuchtung für Dekorationszwecke wird nicht berücksichtigt. Die Methodik macht es notwendig, dass die das Gebäude in tageslicht- und nicht tageslichtversorgte Bereiche unterteilt wird. Im mit Tageslicht versorgten Bereich, wird die Gesamtbetriebszeit aufgeteilt in Zeiten, in denen das Tageslichtangebot ausreichend ist und Zeiten in denen es nicht ausreichend ist. Abhängig ist dies von den Nutzungsanforderungen und den jeweiligen Betriebszeiten.

Die entsprechenden Betriebszeiten werden mit den sogenannten Teilbetriebsfaktoren korrigiert. Teilbetriebsfaktoren berücksichtigen, dass je nach Nutzungen Zeiten gibt in den die Beleuchtung nicht genutzt wird. Im Büro sind dies eventuelle Pausenzeiten oder Zeiten in denen der Mitarbeiter auf Außendienst ist. Diese Faktoren sind in Nutzungsprofilen enthalten und können angepasst werden. Die Art der Präsenzkontrolle (manuell, Bewegungsmelder) hat ebenfalls Einfluss auf den Energiebedarf.

Zur Bilanzierung der Endenergie ist die Ermittlung der flächenbezogenen Anschlussleistung notwendig. Diese wird maßgeblich durch die Nutzung, der verwendeten Systeme und der Raumgeometrie beeinflusst. Zur Bestimmung der elektrischen Anschlussleistung stehen 3 verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Die schnellste und einfachste Möglichkeit ist das Tabellenverfahren. Es führt in der Regel zu einem Endenergiebedarf der sehr weit auf der sicheren Seite liegt. Das vereinfachte Wirkungsgradverfahren erfordert mehr Aufwand. Es führt aber zu Ergebnissen die nicht ganz so weit auf der sicheren Seite liegen. Die genaueste, aber mit Abstand aufwändigste Methode ist das zurückgreifen auf die Fachplanung oder das Bewerten der vorhandenen Beleuchtungstechnik.

Mit der über die Teilbetriebsfaktoren korrigierten Betriebszeit und der flächenbezogenen installierten Anschlussleistung wird der Endenergiebedarf für die Beleuchtung berechnet.

Die Beleuchtung kann einen entscheidenden Einfluss auf den Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen haben. So können ineffiziente Lampen mit einer hohen Wärmeabgabe den Wärmebedarf einer Zone senken (sehr ungünstig, da Strom einen sehr hohen Primärenergiefaktor hat) und im Sommer die Kühllasten deutlich erhöhen.

2.3.5 DIN V 18599 - Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen

Teil 5 stellt eine Weiterentwicklung der DIN 4701-10 dar. Aufgrund der gestiegenen Anforderungen wurde ein ausführlicheres Rechenverfahren entwickelt. Wie bisher wird der Endenergiebedarf in den Schritten Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung ermittelt. Jedoch wird im Vergleich zur DIN 4701-10 der Energiebedarf am tatsächlich vorhandenen System

inklusive der vorhandenen Pumpen, Leitungslängen, Zirkulationspumpen, usw. berechnet. In DIN 4701-10 wurde nur die Art des Systems ermittelt und mittels vorgefertigter Tabellen der Anlagenaufwandsfaktor e_p errechnet. Bei Berechnung nach DIN V 18599 beeinflussen die bilanzierten Verluste innerhalb einer Zone den Energiebedarf (siehe auch Absatz 2.2, Seite 11). Die Eingangswerte für die Berechnung werden aus Teil 2 (Nutzenergiebedarf) übernommen. Die Anpassung an vorhandene Heizsysteme ist ohne Einschränkungen möglich. Für die Aufnahme von Bestandsanlagen wurden Standardwerte, meist in Abhängigkeit des Alters der Anlage, hinterlegt. Neben den Kesseln können auch Wärmepumpen und thermischen Solaranlagen in die Berechnung eingebunden werden. Die Berechnung erfolgt Monatsweise über Belastungsgrade. Der Belastungsgrad ist ein Maß für die Auslastung der entsprechenden Systeme.

2.3.6 DIN V 18599 - Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau

Teil 6 der Normenreihe widmet sich dem Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen. Bestandteil der Norm sind Abluftanlagen, Zu- und Abluftsysteme sowie Luftheizungsanlagen. Berücksichtigt werden können Heizfunktionen sowie die Wärmerückgewinnung. Anlagen mit höheren Anforderungen, z.B. Anlagen mit Kühlung werden in Teil 7 der Norm behandelt.

Ausgangspunkte für die Berechnung sind die Randbedingungen aus Teil 10 der Norm, sowie bei einer eventuellen Heizfunktion der Wärmebedarf aus Teil 2. Es ist möglich bei vorhandener Wärmerückgewinnung oder installierter Abluftwärmepumpe die gewonnene Energiemengen der Heizung (Teil 5) oder Warmwasserbereitung (Teil 8) gutzuschreiben. Werden Anlagen betrieben, welche das Nachheizen mit Warmwasserregistern vorsehen, wird das Nachheizen wasserseitig in Teil 5 behandelt.

2.3.7 DIN V 18599 - Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau

In Teil 7 wird der Endenergiebedarf von RLT- und Klimatechnikgeräten bestimmt. Grundlage für die Berechnung sind Nutzenergiebedarfswerte aus Teil 2 und Teil 3 der Norm. Bestimmt werden analog zur Endenergiebestimmung von Heizsystemen die Verluste für Übergabe, Verteilung und Erzeugung. Aufgrund der großen System- und Komponentenvielfalt bei der Lüftung und Klimatisierung wird in der DIN ein Verfahren verwendet, welches auf die Art des vorhandenen Systems zurückstellt. Bei der Bewertung von Hilfsenergien wurde im Vergleich zum Teil 5 ein detaillierteres Verfahren verwendet. Besonders bei der Kältetechnik sind die Volumenströme und der damit verbundene Pumpenaufwand aufgrund der geringeren Temperaturdifferenz zur Raumtemperatur erheblich höher und rechtfertigen somit eine genauere Berechnungsgrundlage.

2.3.8 DIN V 18599 - Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungsanlagen

Für die Bewertung von Warmwassersystemen wurde auf die Methodik der DIN 4701-10 zurückgegriffen. Es ist möglich alle gängigen Trinkwassererwärmungseinrichtungen im Bestand und Neubau zu bewerten. Die Berechnung ermittelt die Verluste für Verteilung, Speicherung und Erzeugung. Die Bedarfswerte werden den Randbedingungen (Teil 10) entnommen. Entstehen Verluste innerhalb der thermischen Hülle werden diese, als Bedarf oder Last im Nutzenergiebedarf in Teil 2 bilanziert.

2.3.9 DIN V 18599 - Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erzeugen neben der Wärme auch elektrischen Strom. Die Berechnung des Aufwandes für Wärme erfolgt analog den Teilen 5 und/oder 8. Die erzeugte Strommenge wird mit dem Primärenergiefaktor für Strom multipliziert und vom Primärenergiebedarf des Gebäudes abgezogen.

2.3.10 DIN V 18599 - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

Teil 10 ist ähnlich Teil 1 eine Art überspannendes Dokument. In diesem Teil sind die Klimadaten für das Referenzklima Deutschland, Randbedingungen für die Wohnnutzung und die Standardnutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude (siehe Abbildung 7) enthalten. Die zusammengefassten Werte stellen die Berechnungsgrundlage und Ausgangswerte für die Nutzenergiebedarfsermittlung dar.

Einzelbüro			Nr. 1	
Nutzungszeiten			von	bis
tägliche Nutzungszeit	Uhr		7:00	18:00
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a		250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{tag}	h/a		2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{nacht}	h/a		207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr		5:00	18:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{p,a}$	d/a		250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr		5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)				
Raum-Solltemperatur Heizung $\vartheta_{i,soll}$	°C		21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $\vartheta_{i,c,soll}$	°C		24	
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $\vartheta_{i,s,min}$	°C		20	
Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\vartheta_{i,c,max}$	°C		26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $\Delta\vartheta_{i,NA}$	K		4	
Feuchteanforderung	-		mit Toleranz	
Mindestaußenluftvolumenstrom \dot{V}_A				
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person		40	
flächenbezogen	m ³ /(h · m ²)		4	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)				
			von	bis
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹		2	3
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹		4	8
Beleuchtung				
Wartungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m	lx		500	

Abbildung 7: Auszug aus dem Standardnutzungsprofil "Einzelbüro" der DIN V 18599

2.4 Algorithmus der DIN V 18599

In diesem Abschnitt wird auf den prinzipiellen Algorithmus eingegangen, welcher der DIN-Norm hinterlegt ist. Der Algorithmus ist in den entsprechenden Berechnungsprogrammen hinterlegt und i.d.R. für den Anwender entsprechender Software nicht zu spüren.

Die Bilanzierung des Primärenergiebedarfes folgt einem bestimmten Algorithmus, der aufgrund der Interaktion der einzelnen Normenteile mehrere Iterationen benötigt. Ausgangspunkt des Algorithmus ist Teil 1 der DIN V 18599. Voraussetzung für die Energiebedarfsrechnung ist die Zonierung und die Zuweisung von Nutzungsrandbedingungen (z.B. Standard-Nutzungsrandbedingungen siehe DIN V 18599 - Teil 10). Anschließend werden den einzelnen Zonen die quantitativen und qualitativen bauphysikalischen Kennwerte zugewiesen.

Mit den Nutzungsrandbedingungen wird anschließend folgendes für jede Zone ermittelt:

- der Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
- Wärmequelle/-senken infolge Lüftung
- Wärmequellen/-senken infolge Personen, Geräte oder Prozessen

Mit diesen Angaben und den bauphysikalischen Kennwerten der Zonen ist es möglich den Nutzenergiebedarf der jeweiligen Zone mit Hilfe von Teil 2 der Norm überschlägig zu bestimmen. Die Ermittlung erfolgt getrennt für Nutz- und Nichtnutzungstage. Anschließend wird die benötigte Nutzenergie auf die vorhanden Systeme aufgeteilt (RLT/Kälte-Anlagen - Teil 7; Heizung - Teil 5).

Nun werden die unregelmäßigen Wärme- und Kälteeinträge in den Zonen ermittelt. Die Einträge können durch Wärme-, Kälte-, Trinkwassererzeugung und Beleuchtung entstehen. Unregelmäßige Einträge entstehen durch Verteilerleitungen in den Zonen, Wärmespeicherung, Beleuchtungssysteme und durch in den Zonen aufgestellte Erzeugereinheiten. Diese unregelmäßigen Einträge beeinflussen den Nutzenergiebedarf, so wird ein in der Zone stehender Wärmespeicher den Nutzenergiebedarf senken oder ineffiziente Leuchtssysteme bringen eine hohe Wärmelast. Durch eine Senkung des Nutzenergiebedarfes sinken durch eine geringere Auslastung, zum Beispiel auch die Verteilerverluste. Aus diesem Grund wird die Ermittlung des Nutzenergiebedarfes für Heizung und Kühlung durch Iteration bestimmt. Diese Iteration wird solange durchgeführt, bis zwei aufeinander folgende Iterationen eine Abweichung von unter 1% aufweisen. Abschließend wird der Nutzenergiebedarf erneut auf die vorhandenen Zonen und Systeme aufgeteilt.

Mit dem Nutzenergiebedarf werden die Verluste für Übergabe und Verteilung der entsprechenden Systeme (Kälte-, Heizung-, Trinkwasser und RLT-Systeme) ermittelt. Außerdem werden die benötigten Hilfsenergien für die Verteilung (i.d.R. Pumpen und Steuerungen) der Systeme berechnet. Abschließend werden die benötigten Energieabgaben der einzelnen Systeme auf eventuelle Erzeugereinheiten aufgeteilt, dies wird zum Beispiel notwendig, wenn es mehrere Heizungskessel gibt oder die Heizungsanlage durch regenerative Energie wie Solar oder Wärmepumpen unterstützt wird. Durch die Zuweisung des benötigten Energiebedarfs auf die Erzeugereinheiten, ist es über die Erzeugungsverluste möglich den Energiebedarf der Erzeugereinheiten zu bestimmen. Die Erzeugereinheiten benötigen in der Regel ebenfalls wieder Hilfsenergien, welche ebenfalls bestimmt werden.

Der Endenergiebedarf ist gleich der Energiemenge die den Systemen zur Konditionierung und Beleuchtung des Gebäudes zugeführt werden muss um die geforderten Nutzungsrandbedingungen für das Referenzklima zu erfüllen. Abschließend werden die benötigten Energieträger welche zur Bedarfsdeckung des Endenergiebedarfes zum Einsatz kommen noch primärenergetisch bewertet. Die zur Primärenergiebewertung genutzten Primärenergiefaktoren berücksichtigen die Umweltverträglichkeit und die zur Bereitstellung benötigten Aufwendungen des Energieträgers.

Energieträger ^a		Primärenergiefaktoren f_p	
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
		A	B
Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK ^b	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	Strom-Mix	3,0	2,7
Umweltenergie	Solarenergie, Umgebungswärme	1,0	0,0

^a Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_i .

^b Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %.

Tabelle 3: Primärenergiefaktoren aus DIN V 18599-1 Tabelle A1

2.5 Vorgehensweise bei der Energiebedarfsermittlung mittels DIN V 18599

Da der Rechenaufwand durch den Algorithmus der DIN und den notwendigen Eingaben mit herkömmlichen Methoden nicht mehr beherrschbar ist, ist es unumgänglich die Berechnung mit speziellen Programmen durchzuführen. Abbildung 8 gibt einen Überblick über den Arbeitsablauf bei der Energiebedarfsermittlung. Auf der rechten Seite dieser Abbildung sieht man die vom Nutzer benötigten Eingaben. Begonnen wird mit der Zonierung. Die Zonierung selbst und das Zuweisen von Nutzungsrandbedingungen zu den jeweiligen Zonen des Gebäudes ist der zentrale Ausgangspunkt jeglicher Berechnungen. Da bei der Zonierung bereits die Anlagentechnik eine große Rolle spielt, ist es immer notwendig einen ganzheitlichen Blick auf das Objekt zu werfen. Fehler bei der Zonierung haben meist weitreichende Folgen und können zu umfangreichen Änderungen führen. Ist die Zonierung abgeschlossen, wird den einzelnen Zonen die thermische Hülle, bestehend aus opaken und transparenten Bauteilen, zugewiesen. Ist dies abgeschlossen ist es möglich den Nutzenergiebedarf zu bestimmen. Das Referenzgebäude welches über die gleichen Abmessungen verfügt, wird eine Referenzgebäudehülle zugewiesen. Der H_T -Wert, des Referenzgebäudes ist abhängig vom vorhandenen A/V-Verhältnis und den Innentemperaturen. Mit dem H_T -Wert wird die gesamte thermische Hülle des Referenzgebäudes bewertet. Die Fenster verfügen über einen definierten Energiedurchlassgrad. Der Nutzenergiebedarf der Notwendigkeit ist, um die den Zonen zugewiesenen Randbedingungen (aus Nutzungsprofilen), sicherzustellen. Anschließend wird den Zonen die vorhandene Anlagentechnik zugeordnet. Die Zuordnung der verschiedenen Systeme erfolgt über Bereiche. So gibt es die unterschiedlichsten Bereiche für Lüftung, Beleuchtung, Kühlung und/oder Heizung. Es ist möglich, dass es in einer Zone mehrere Bereiche mit unterschiedlichen Versorgungssystemen gibt. Denkbar wäre zum Beispiel eine Zone in der es eine Fußbodenheizung und Luftheizung gibt. Ein Bereich kann sich auch über mehrere Zonen erstrecken. Häufiges Beispiel ist eine Heizungsanlage die mehrere Zonen versorgt. Mit Hilfe der zugeordneten Anlagentechnik werden die Hilfsenergiemengen und Umwandlungsverluste im Programm bestimmt. Im Referenzgebäude wird der Nutzenergiebedarf mit einer Referenztechnik (siehe Seite 12) sichergestellt. Die Bereiche im Referenzgebäude sind identisch mit den Bereichen des Objektes. Ergebnis dieser Berechnungen ist der Endenergiebedarf. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge die dem Gebäude über dessen Systemgrenzen zugeführt werden muss. Der Endenergiebedarf entspricht, in der Regel, der Energiemenge die bezahlt werden muss. Die benötigte Endenergie setzt sich aus verschiedenen Energieträgern mit unterschiedlicher Umweltverträglichkeit zusammen. Die Umweltverträglichkeit dieser Energieträger wird mit den Primärenergiefaktoren bewertet. Im Referenzgebäude wird die vorhandene Referenztechnik (mit Referenzenergieträger) analog bewertet.

2.6 Ablauf für eine Energiebedarfsermittlung nach DIN 18599

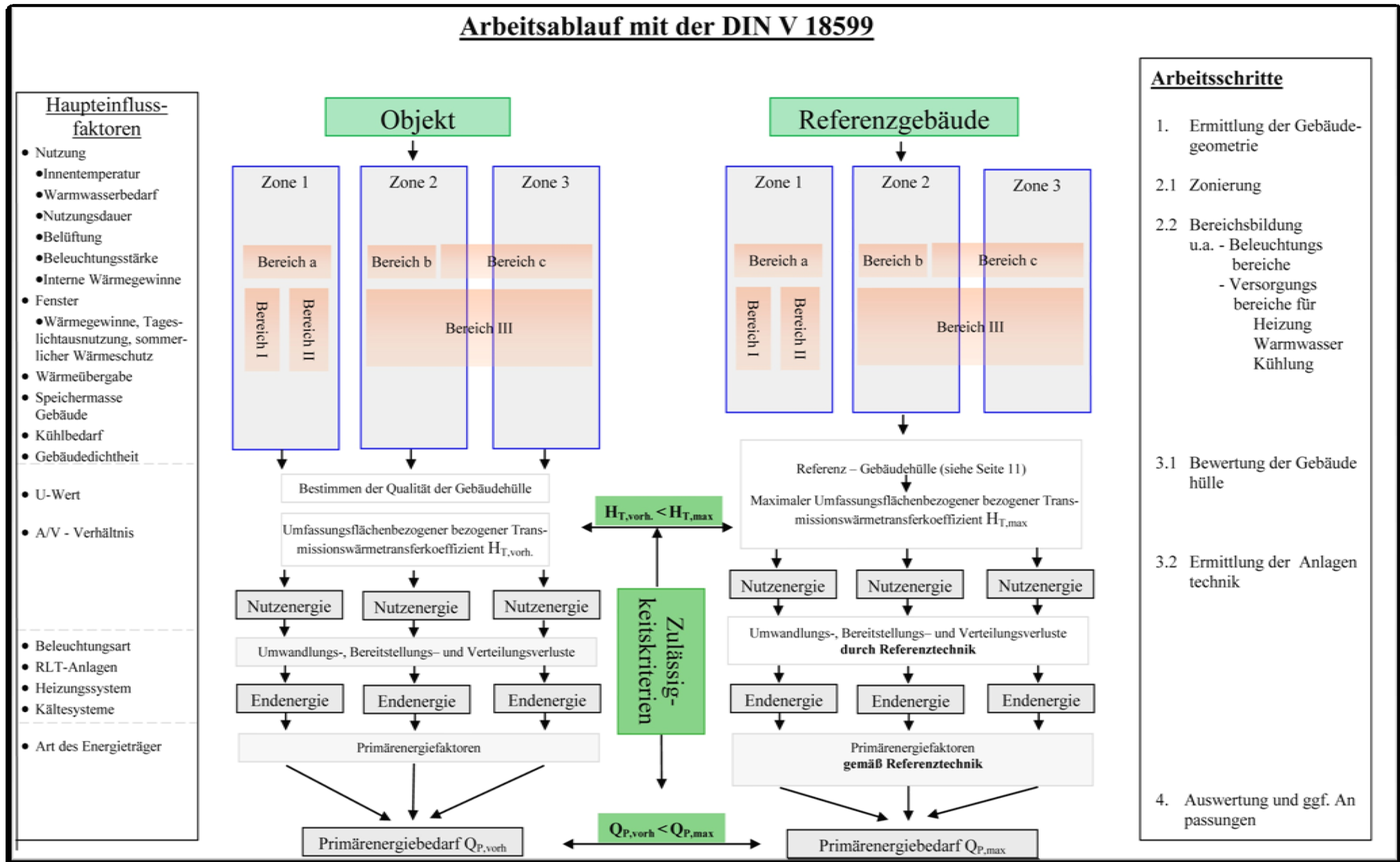


Abbildung 8: Arbeitsablauf mit der DIN V 18599

2.7 Zonierung

Um das Objekt energetisch zu bilanzieren ist es unumgänglich dieses zu zonieren. Hauptziel einer Zone ist es, Bereiche mit ähnlicher Nutzung **und** ähnlicher Konditionierung zusammenzufassen. Wie aus Abbildung 9 hervorgeht erfolgt die Zonierung in einem festen Schema. Zuerst werden Bereiche gleicher Nutzung in einer Zone zusammengefasst. Dann werden in diesen Zonen die Art der Konditionierung überprüft und bei differenzierter Konditionierung gegebenenfalls geteilt. Als letztes werden die Zonenteilungskriterien angewendet und die Zonen wieder unterteilt.

Zonenteilungskriterien sind:

- Konditionierung (thermische und/oder beleuchtungstechnische Konditionierung)
- Be- und Entlüftungssysteme (freie Lüftung; RLT mit konstanten oder variablen Luftstrom; Luft-Wasser RLT Anlagen; MultiSplit Anlagen)
- Funktion der RLT Anlagen (Kühlen, Heizen, Be- und Entfeuchten)
- Betriebsbedingter Außenluftzustrom
- Installierte Leistung Beleuchtung
- Gebäude und Raumtiefe
- Fassadenausführung und Glasflächenanteil
- Sonnenschutz und Gebäudeorientierung

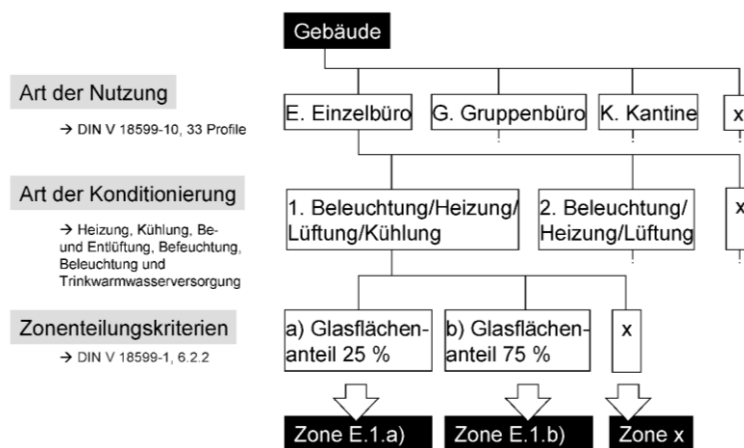


Abbildung 9: Ablauf der Zonierung [18]

In der Realität wird man merken, dass man durch die 33 verschiedenen Nutzungsprofile aus DIN V 18599-10 und den Zonenteilungskriterien zu einer Unmenge an Zonen kommen wird. Kommen dann noch verschiedene Arten der Konditionierung hinzu, wird die Anzahl der Zonen und die zu bewältigende Datenflut unübersichtlich und trotz Rechentechnik nicht mehr handhabbar. Aus eigener Erfahrung bin ich der Meinung, dass man die Zonenanzahl für Nichtwohngebäude je maßgeblicher Nutzung des Objektes auf 3 bis 5 Zonen begrenzen sollte. Im Beispiel der

Mittelschule Sayda liegen mit dem Unterrichtsgebäude und der Sporthalle 2 maßgebliche Nutzungen vor. Die Zonenanzahl sollte somit im Bereich von 8-10 Zonen liegen.

2.8 Vereinfachungen

In einem Feldversuch der DENA wurde festgestellt, dass allein 60% der Aufwendungen für die Bedarfsermittlung und die Energiepasserstellung allein für die Datenermittlung entfallen. Damit wird deutlich, dass die im Rahmen der DIN V 18599 möglichen Vereinfachungen für die Praxis nicht ausreichend sind. Ein Schwerpunkt der DIN ist die Energiepasserstellung. Gerade bei Bestandsgebäuden ist eine korrekte Datenaufnahme mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Aus diesem Grund hat die das Bundesministerium für Bauwesen und Raumordnung eine Bekanntmachung [19] veröffentlicht, in dem Regeln für eine vereinfachte Datenaufnahme aufgeführt sind. Die wichtigsten Vereinfachungen werden im Folgenden kurz erläutert.

2.8.1 Aufmaß

Die Vereinfachungen für das Aufmaß dürfen nur verwendet werden, wenn keine Angaben über die geometrischen Abmessungen verfügbar sind.

Bei Lochfassaden⁶ wird die Fensterbreite mit 55% der Raumbreite angenommen. Die Fensterhöhe ergibt sich aus der Raumhöhe abzüglich 1,5m. In der Fensterfläche sind Flächen für Türen berücksichtigt. Vorhandene Rolladenkästen werden mit 10% der Fensterfläche berücksichtigt. Vorhandene Vorsprünge mit einer Tiefe von bis zu 0,5m dürfen übermessen werden. Der ermittelte H_T -Wert ist dann um 5% zu erhöhen.

2.8.2 Bewertung der energetischen Qualität bestehender Bauteile

Die Bekanntmachung des Bundesministeriums erlaubt für nichtgedämmte Bestandsgebäude die Bewertung der nicht nachträglich gedämmten Bereiche mit pauschalen Werten. Diese pauschalen Werte sind abhängig von Bauart und Baujahr und sind in der Bekanntmachung aufgelistet (Abbildung 10).

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

Die Bewertung von **Abbildung 10: Vereinfachte Bewertung von Bauteilen in Abhängigkeit des Baualters**

⁶ Als Lochfassade bezeichnet man eine in Massivbauweise erstellte Wand mit einzelnen, klar abgegrenzten Fenster- und Türöffnungen (<http://de.wikipedia.org/wiki/Fassade> besucht am 19.02.2008)

nachträglich gedämmten Bauteilen erfolgt ebenfalls mit pauschalen Werten, in Abhängigkeit des U-Werts des Urzustandes und der aufgetragenen Dämmstärke.

2.8.3 Zonierung und Ein-Zonen-Modell

Generell dürfen Zonen mit Grundflächenanteilen von bis zu 3% dürfen anderen Zonen hinzu gerechnet werden. Zonen die in einem ständigen Luftaustausch untereinander stehen, dürfen zusammen gefasst werden. Trotz Anwendung dieser Vereinfachungen wird die Zonenanzahl meist noch zu hoch sein. An diesem Punkt sind der Sachverstand und das Fingerspitzengefühl des Ingenieurs gefragt um weitere Vereinfachungen zu treffen.

Wird die Zonenanzahl zu groß gewählt, nimmt der Aufwand für die Datenaufnahme stark zu. Damit steigt die Fehlerwahrscheinlichkeit. Deshalb darf bei Gebäuden deren Energiebedarf maßgeblich durch die Hauptnutzung bestimmt wird, das Gebäude als Ein-Zonen-Modell behandelt werden. Folgende Fälle sind in der ENEC 2010 Anlage 2 aufgelistet:

- a) Gewerbebetriebe und Verkaufseinrichtungen mit einer Nettogrundfläche von höchstens 1000m², wenn
 - die Hauptnutzfläche mindestens 2/3 der Gesamtfläche beträgt
 - neben der Hauptnutzung nur noch Büro-, Sanitär-, Lager und/oder Verkehrsflächen vorhanden sind
- b) Bürogebäude (ggf. mit Verkaufseinrichtung), Gaststätten, Schulen, Kindertagesstätten und ähnliche Einrichtungen, Hotels ohne Schwimmhalle/Sauna/Wellnessbereiche, wenn folgendes erfüllt ist:
 - Flächen für Hauptnutzung beträgt mindesten 2/3 der Nettogrundfläche
 - es gibt je nur eine Anlage für Beheizung und Warmwasserbereitung
 - Gebäude wird nicht gekühlt, außer
 - Serverraum mit Kältegerätenleistung $\leq 12\text{kW}$
 - Verkaufseinrichtung, Gewerberäume oder Gaststätte in einem Bürogebäude deren Fläche 450m² nicht übersteigt
 - die eingebaute Beleuchtung die spezifische Bewertungsleistung der Referenz-Beleuchtungstechnik um nicht mehr als 10% überschreitet. Bestimmung der Bewertungsleistung nach DIN 18599 Teil 4.

Kommt eine Lüftungsanlage zum Einsatz die nicht in der Hauptnutzung berücksichtigt wird, muss diese mindestens den Anforderungen des Referenzgebäudes genügen.

Die Betrachtung von Gebäuden als Ein-Zonen-Modell bringt eine deutliche Erleichterung und Vereinfachung besonders bei der Datenaufnahme. Sie führt zu einer Abweichung von maximal 10%

[12]. Um eine eventuelle Besserstellung des vereinfachten Verfahrens sicherzustellen, werden die Werte für „den maximalen spezifischen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmekoeffizienten“ ($H_{T,max}$) und der maximale Primärenergiebedarf um 10% erhöht. Die sicher ergebenden Transmissionsverluste und der Primärenergiebedarf werden ebenfalls um 10% erhöht. Für die Zulässigkeit von Gebäuden wird diese Methode sehr marginale Auswirkungen haben, da zwar der Bedarf des realen Gebäudes um 10% erhöht wird aber gleichzeitig auch das Anforderungsniveau angepasst wurde. Die Auswirkungen werden jedoch beim absoluten Betrag des Energiebedarfes spürbar sein.

2.8.4 Anlagentechnik

Für die Bewertung der Anlagentechnik erfolgt analog zu der Bewertung der Bauteile mittels pauschalen Werten, die in Abhängigkeit des Alters der Anlage angegeben sind.

Lfd. Nr.	Daten / Eigenschaft	Zeichen	Einheit	Verweisung auf Norm	Baualterklasse	zulässige Vereinfachung
Prozessbereich Erzeugung						
1.1	Vor-/Rücklauftemperatur des Heizmediums (Auslegungsbedingungen)	$\vartheta_{VA} / \vartheta_{RA}$	°C	Abschnitt 5.2	bis 1985	90 / 70 °C
1.2					ab 1986	70 / 55 °C
2	maximale Wärmeerzeugungleistung: Betriebsweise bei mehreren Prozessbereichen (Einkesselanlagen)	-	Typ	Abschnitt 6.4.3.1	alle	Parallelbetrieb
3.1	Kesselart	-	Typ	Abschnitt 6.4.3.2	bis 1977	Umstell-Wechselbrandkessel
3.2					1978-1986	Standard-Gebläsekessel
3.3					ab 1987	NT-Gebläsekessel
4.1	Dämmklasse der Komponenten der Fern-/ Nahwärme-Hausstation	-	Typ	DIN EN 12828	alle	Sekundärseite: Klasse 1
4.2						Primärseite: Klasse 2
Prozessbereich Verteilung						
5.1	Rohrnetz-Isolierung	-	Typ	Tab. 16	bis 1979	Baualterklasse bis 1980
5.2					ab 1980	Baualterklasse ab 1980
6	Wasserinhalt des Wärmeerzeugers:	-	Typ	Gleichung (44)	alle	> 0,15 l/kW
7	hydraulischer Abgleich	-	Typ	Abschnitt 6.2.1	alle	nicht durchgeführt

Abbildung 11: Vereinfachung bei Bestandsgebäuden im Bereich der Anlagentechnik

3. Anwendung der DIN V 18599 am Objekt Mittelschule Sayda

3.1 Objektbeschreibung

3.1.1 Bestandsbeschreibung

Der Komplex der Mittelschule umfasst das Unterrichtsgebäude, die Turnhalle mit den angeschlossenen Umkleidemöglichkeiten und Toiletten sowie einen Verbindungsgang zwischen Turnhalle und Schulgebäude. Das Unterrichtsgebäude ist ein typischer DDR-Plattenbau und wurde in den Jahren 1976 bis 1977 errichtet. Der Gebäudekomplex ist ein Stahlbetontypenbau und wurde in Fertigteilbauweise errichtet. Das Unterrichtsgebäude ist 4 viergeschossiges Bauwerk vom Typ POS 10k. Für den Gebäudekomplex wurde eine Bauzustandsanalyse durchgeführt [20]. Das Ergebnis dieser Analyse ist, dass sich das Unterrichtsgebäude in einem altersgemäßen Zustand befindet. Es ist standsicher, jedoch aus Sicht des sommerlichen und winterlichen Wärmeschutzes unbedingt sanierungsbedürftig. Die Dachkonstruktion ist als nicht mehr der Turnhallengröße nicht den Anforderungen entsprechend sehr kostenintensiv zu realisieren, da die Turnhalle sehr groß ist. Es wurden ein Abriss und ein anschließender Neubau der Turnhalle beschlossen. Die Bestandsgebäude finden sich im Anhang auf Seite 88.



Abbildung 12: bestehendes Unterrichtsgebäude



Abbildung 13: Bestehende Turnhalle

3.1.2 Umbaumaßnahmen

Durch die Stadt Sayda wurde das Ingenieurbüro Müller⁷ mit einer Vorplanung beauftragt. Im Rahmen dieser Vorplanung sind folgende Maßnahmen angedacht: Abbruch der Turnhalle, Abbruch



des Verbindungsganges, Neubau einer Zweifeldsporthalle, Sanierung des Unterrichtsgebäudes sowie eine Erweiterung des Unterrichtsgebäudes. Außerdem wird die Außenlage umgestaltet. [21]

die bauphysikalisch wichtigen Aspekte des

Sanierung bestehendes Unterrichtsgebäude

Das Erdgeschoss des bestehenden Objektes wird bis auf die Fundamente freigelegt um Trockenlegungsmaßnahmen durchzuführen. Die Bodenplatte sowie der Fußbodenaufbau im Kellergeschoss bleiben aus Kostengründen bei den Sanierungsmaßnahmen unangetastet. Gleiches gilt für die Innenwände. Die Decken in Klassenzimmern und Fluren erhalten eine raumakustische Aufwertung durch z.B. Mineralfaser-Rasterdecken. Die Fenster und Türen werden komplett ausgetauscht. Die Fenster werden analog zum Erweiterungsbau in einer Aluminium-Rahmenkonstruktion mit Isolierglas ausgeführt. Der vorhandene Flachdachaufbau wird abgetragen und ein neues Dach aufgesetzt. Die oberste Geschossdecke wird gedämmt. Der Dachbereich ist unbeheizt. Die Außenwände erhalten ein Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol-Wärmedämmplatten mit strukturiertem Oberputz. In Teilbereichen kann aus gestalterischen Gründen eine hinterlüftete Konstruktion aus witterungsbeständigen Fassadenplatten und Wärmedämmung zur Ausführung kommen.

Anbau Unterrichtsgebäude

Die Bodenplatte und die Decken werden in Stahlbeton ausgeführt. Als Bodenbelag ist ein schwimmender Heizestrich mit Linoleumbelag geplant. Die Decken werden in den Unterrichtsräumen und Fluren mit Unterdecken zur Verbesserung der Raumakustik versehen. Dies können z.B. Mineralfaser-Rasterdecken sein. Die Innen- und Außenwände sollen mit

⁷ Müller, Thomas Dipl.-BauIng.(FH), Bahnhofstr. 10, 09638 Lichtenberg/Erzgeb.

großformatigen Kalksandsteinen im Dünnbett errichtet werden. Außerdem wird ein Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol-Wärmedämmplatten und Struktur-Oberputz an den Außenwänden realisiert. In Teilbereichen der Außenwand können aus gestalterischen Gründen äußerst witterungsbeständige (hinterlüftete) Fassadenplatten mit dahinterliegender Wärmedämmung zum Einsatz kommen. Die Innenwände erhalten einen Kalkzementputz mit Farbanstrich. Die Fenster und Türen sollen in einer Aluminiumrahmenkonstruktion mit Isolierverglasung ausgeführt werden. Die oberste Geschossdecke wird gedämmt. Der darüber liegende Dachbereich ist nicht beheizt.

Neubau Turnhalle und Turnhallennebenräume

Die Hallenbodenplatte wird als eine nichttragende Stahlbetonplatte mit einem elastischen Schwingbodensystem mit Fußbodenheizung ausgeführt. Das Tragwerk der Turnhalle und des Daches wird durch Stahlbetonstützen getragen. Zwischen den Stützen werden großformatige Porenbetonplatten eingesetzt. Die sich an die Turnhalle anschließenden Nebenräume (Umkleidekabinen, Sanitäreinrichtungen) werden aus statischen Gründen in einer Stahlbetonkonstruktion ausgeführt. Die Wände der Sporthalle werden mit einer 2m hohen flächeneelastischen Holzprallwand ausgestattet. Darüber schließt sich eine Akustikwandverkleidung an. Der Außenbereich der Turnhalle und die Nebenräume erhalten ein Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol-Dämmplatten und einen strukturierten Oberputz. Die Nebenräume erhalten eine Dachdecke aus Stahlbeton. Im Bereich der Turnhalle werden auf das Dachtragwerk großformatige Porenbeton-Dachplatten aufgebracht, zusätzlich wird eine Wärmedämmung aus Polystyrol aufgebracht. Die Fenster werden analog zum Rest des Objektes in einer Aluminiumrahmenkonstruktion mit Isolierverglasung ausgeführt.

Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung des Mittelschulkomplexes erfolgt durch ein Fernwärmenetz, welches durch die Stadt Sayda betrieben wird. Prinzipiell ist ein solches Netz aus energetischer Sicht als ausreichend zu betrachten. Die ENEC 2007 beschreibt in §5 die Versorgung durch Fernwärme als prüfenswert. Problematisch ist im Fall der Mittelschule, dass das Fernwärmenetz im derzeitigen Zustand äußerst ineffizient arbeitet. Einer durch die Stadt Sayda in Auftrag gegebenen Studie zufolge liegen allein die Verluste, welche durch das marode Leitungsnetz entstehen bei über 20%. Die ENEC wird in ihren Parametern nicht von diesem Fall ausgehen. Da es irgendwann Sanierungsmaßnahmen geben muss, wird im Rahmen dieser Arbeit die tatsächliche Gegebenheit ignoriert und mit den Standardwerten der Norm gerechnet.

3.2 Zonierung Mittelschule Sayda

3.2.1 Die exakte Zonierung nach DIN V 18599

Arbeitet man das Schema der Zonierung der DIN V 18599 am Unterrichtsgebäude der Mittelschule ab, ergibt das Zuweisen von Standardnutzungsprofilen eine Zonenanzahl von 10 (Abbildung 15). Die gebildeten Zonen müssten unter Umständen noch nach Art der Konditionierung geteilt werden. Anschließend müssten noch die weiteren Zonenteilungskriterien abgehandelt werden. Es ist erkennbar, dass das Verfahren welches die DIN V 18599 vorschreibt in der Praxis kaum umsetzbar ist. Meiner Meinung nach ist dieses Verfahren zu detailliert und nicht zielführend. Aus diesem Grund wird im nächsten Abschnitt eine praktikable Zonierung behandelt.

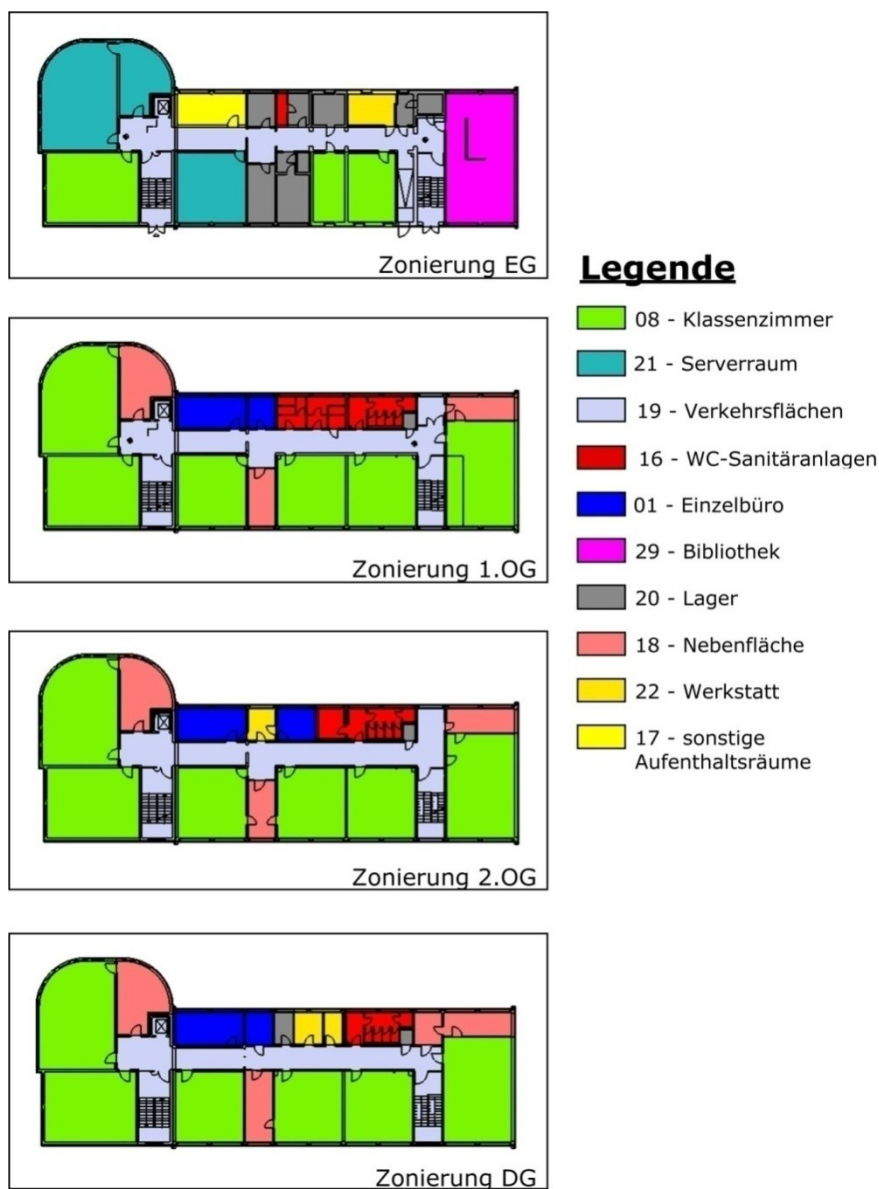


Abbildung 15: Umsetzung der Standardnutzerprofile DIN V 18599 am Unterrichtsgebäude

3.2.2 Praktikable Zonierung

Für die Berechnung des Primärenergiebedarfes der Mittelschule Sayda im Rahmen dieser Arbeit wird das Programm IBP 18599 von der Firma 5S verwendet. Mit dem Programm ist es möglich in gebildeten Zonen sogenannte Teilbereiche mit differenzierter Nutzung abzubilden. Dies ist ein großer Vorteil und sehr guter Kompromiss, weil damit der Aufwand für die Datenaufnahme und Eingabe kaum steigt aber durch die Teilnutzungen mit verschiedenen Nutzungsrandbedingungen eine bessere Annäherung an die Wirklichkeit gegeben ist.

Um die Zonierung und vorausgehende Datenaufnahme, Datenaufbereitung und Eingabe zu vereinfachen, sollte eine homogene Zonenstruktur angestrebt werden. Dies bedeutet, dass die Zonen so wenig wie möglich Sprünge in der Geometrie aufweisen sollten. Solche Sprünge bringen erfahrungsgemäß einen hohen Mehraufwand und eine damit verbundene hohe Fehlerwahrscheinlichkeit mit sich. Eventuell sollte man überlegen, kleinere Sprünge zu ignorieren. Der Fehler wird im Allgemeinen aufgrund des Referenzgebäudeverfahrens minimal sein.

Umgesetzte Zonierung (siehe Abbildung 16 Seite 37)

Zone 1:

Die Südseite des Unterrichtsgebäudes weist eine relativ homogene Nutzung auf, lediglich das Erdgeschoss weist eine differenzierte Nutzung auf. Aus diesem Grund wird die Südseite des Gebäudes zur Zone 1 und mit dem Nutzungsprofil Klassenzimmer (DIN V 18599-10 Profil 8) hinterlegt. Weiterhin werden der Zone 1 alle weiteren Klassenzimmer, die Fachkabinette und die Bibliothek hinzu gerechnet. Die Zimmer für Lehrmittel sowie die Vorbereitungszimmer werden als Teilbereich dem selbst erstellten Nutzerprofil „Vorbereitungszimmer“ zugewiesen. Dieses Nutzerprofil berücksichtigt eine geringere Nutzungszeit im Vergleich zum Standardprofil.

Zone 2:

Da die PC-Kabinette und der Serverraum im Gegensatz zum Rest des Gebäudes eine Kühlung aufweisen, wird es notwendig diese Räume in einer eigenen Zone abzubilden. Den PC-Kabinetten wird das Profil Klassenzimmer (DIN V 18599-10 Profil 8) zugeordnet. Der Serverraum wird mit einer Teilnutzung in der Zone 2 abgebildet.

Zone 3:

Die Flure und Treppenhäuser werden der Zone 3 zugeordnet. Sämtliche Lager, Archive, ELT-Räume, der Fahrstuhl und die Räume für den Hausmeister werden ebenfalls in dieser Zone zusammengefasst. Der Zone 3 wird das Nutzungsprofil Verkehrsfläche (DIN V 18599-10 Profil 19) hinterlegt.

Zone 4:

Die Sanitäranlagen im 1.OG, 2.OG und dem 3.OG werden der Zone 4 zugeordnet. Dem Profil wird die Nutzung "WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden" (DIN V 18599-10 Profil 16) zugeordnet.

Zone 5:

Die Büroräume, die AG-Räume, die Lehrerräume und die Zimmer des Beratungslehrer werden der Zone 5 hinzugerechnet und mit dem Nutzungsprofil Einzelbüro (DIN V18599-10 Profil 1) hinterlegt.

Turnhalle und Eingangsbereich

Zone 6:

In Zone 6 werden sämtliche Flure, die Garderobe, der Raum des Hallenwarts und das Foyer zusammengefasst. Das bilden einer separaten Zone für die Verkehrsflächen wird notwendig, da die Bereiche der Zone 6 im Vergleich zur Zone 3 durch Fußbodenheizung beheizt werden und eine andere Nutzungszeit aufweisen. Zone 6 wird das Nutzungsprofil Verkehrsfläche (DIN V 18599-10 Profil 19) hinterlegt.

Zone 7:

Die Geräteräume und der Technikraum der Turnhalle werden der Zone 7 zugeordnet und mit dem Nutzungsprofil Lager, Technik, Archiv (DIN V 18599-10 Profil 20) hinterlegt.

Zone 8:

Die Umkleidekabinen, Duschen sowie die WC-Bereiche werden in der Zone 8 abgebildet. Als Nutzungsprofil wird das Profil 16 WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden verwendet.

Zone 9:

Der Zone 9 wird der Speiseraum, die dazugehörige Ausgabeküche mit Lager und sanitären Einrichtungen zugeordnet. Hinterlegt wird das Nutzungsprofil Kantine (DIN V 18599-10 Profil 12).

Zone 10:

Die Sporthalle wird der Zone 10 abgebildet und das gleichnamige Profil (Profil 31) der DIN V 18599 zugeordnet.

Zone 11:

Der Windfang wird als nicht konditionierte Zone in Zone 11 abgebildet.

Zusammenfassung Zonierung

Die Zonierung hat bei der Berechnung des Primärenergiebedarfes nach DIN V18599 eine außerordentlich große Bedeutung. Prinzipiell lässt die DIN eine sehr detaillierte Struktur und damit recht genaue Abbildung des Objektes zu, jedoch steigt der dazu notwendige Aufwand mit steigender Zonenanzahl sehr stark an. Die Wahrscheinlichkeit den Überblick zu verlieren sowie falsche Annahmen zu treffen steigt deutlich. Die Fehler im Bereich des Menschen werden bei der Datenaufnahme, Datenanalyse und Eingabe gemacht. Am Beispiel des einigermaßen einfach aufgebauten Unterrichtsgebäudes wurde aufgezeigt, dass man bei genauer Auslegung der DIN schnell eine große Anzahl von Zonen erhält.

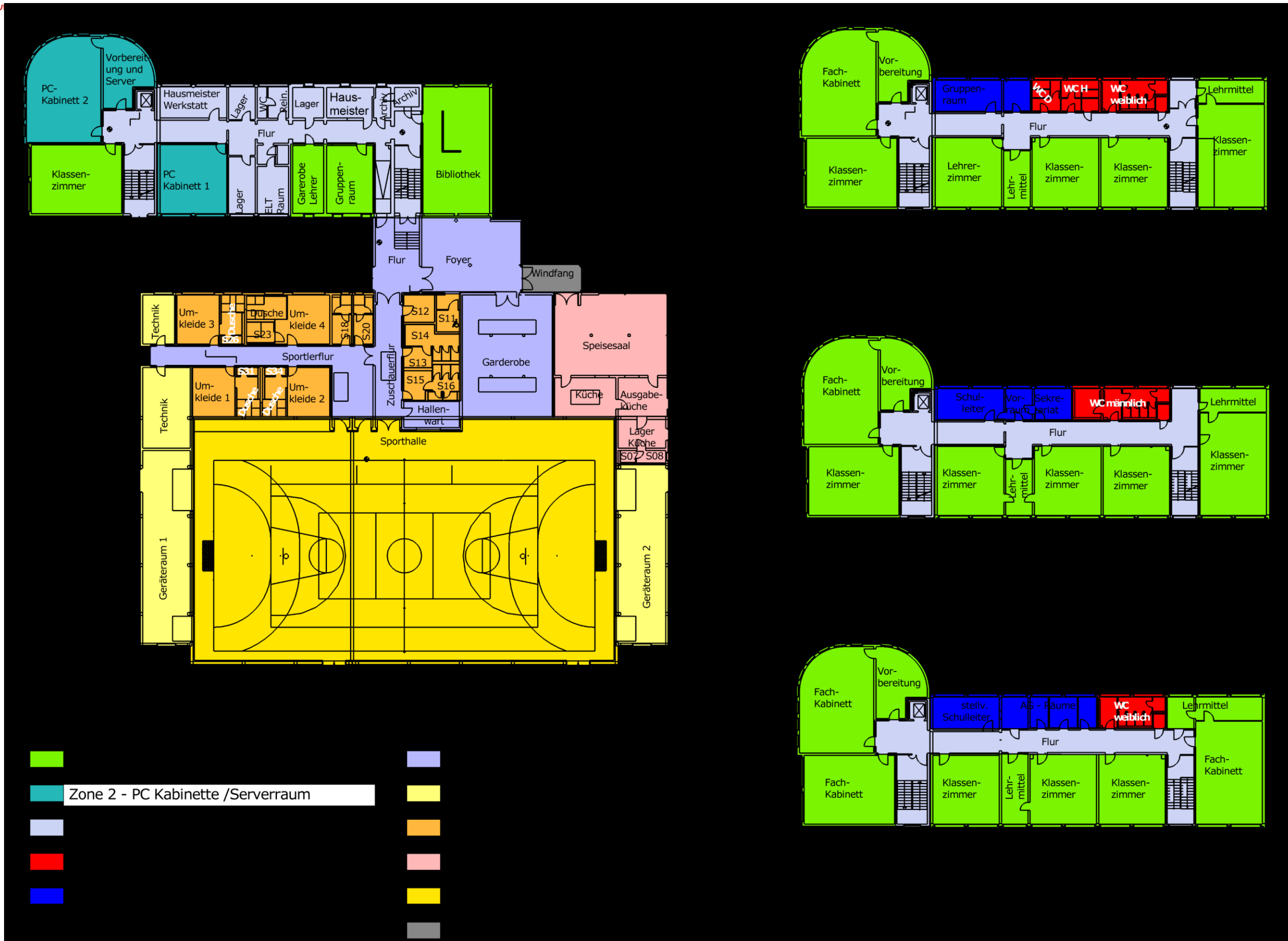


Abbildung 16: Zonierung Mittelschule Sayda

3.3 Anpassen der Nutzerprofile

Die in der DIN hinterlegten Nutzerprofile sind Standard-Nutzerprofile. Prinzipiell ist es zweckmäßig und sehr empfehlenswert die Standardprofile anzupassen. Es wird kaum der Fall sein, dass sein die Nutzerprofile mit der Realität übereinstimmen. Besonders die Nutzungszeiten und die damit verbundenen Laufzeiten der Anlagentechnik sollten kritisch überprüft werden. Es ist zum Beispiel nicht zweckmäßig, wenn man das Standard-Nutzerprofil für Klassenräume mit einer Nutzungszeit von 8-16Uhr mit dem Standardnutzungsprofil für WC und Sanitäreinrichtungen mit einer Nutzungszeit von 7-18Uhr kombiniert. Wenn die Schüler das Schulgebäude verlassen haben, werden auch die Toiletten nicht mehr genutzt. Die erzielbaren Abweichungen sind absolut gesehen erheblich, relativ gesehen aber eher unerheblich, da dass Referenzgebäude die „falschen“ Szenarien mitspielt. Wie aus Tabelle 4 ersichtlich wird, ergibt sich bei der Mittelschule Sayda mit den unveränderten Standardnutzungsprofilen ein absoluter Mehrbedarf von ca. 10% gegenüber den angepassten Profilen. Bei der Bewertung der Zulässigkeit spielte dies jedoch mit einer Abweichung von ca. 1% eine sehr unbedeutende Rolle.

In der Mittelschule liegen mit der Nutzung als Schule, den Büros (Lehrerzimmer und Sekretariat) und der Sporthalle 3 dominierende Nutzungen vor, welche differenziert betrachtet werden müssen. Dem Nutzerprofil Klassenräume wurde eine Nutzungszeit von 7-15Uhr zugeordnet. Die Nutzungszeit beträgt, bedingt durch Ferien, Wochenenden und Feiertage 200 Tage im Jahr. Den Büros wird das Standardnutzungsprofil Einzelbüro hinterlegt. Lediglich die Arbeitszeiten werden den realen Gegebenheiten angepasst und auf 7-16Uhr verkürzt. Der Nutzungszeitraum sowie die anderen Parameter bleiben unverändert. Da für die Verkehrsflächen und der Sanitäranlagen im Schulgebäude die Nutzungszeiten der Büros maßgeblich sind, werden die in dem Profil Büro hinterlegten Nutzungszeiten übernommen. Im Profil für die Küche und Speiseraum wird eine Nutzungszeit von 8-14Uhr bei einer Nutzungsdauer von 200 Tagen angenommen.

Der Sporthalle wird eine Nutzungszeit von 7-22Uhr unterstellt. Die Lüftungsrate wurde entsprechend der HSL-Planung angepasst. Die Nutzungszeit von 300Tagen sowie alle weiteren Parameter wurden unverändert übernommen. Den Sanitäranlagen der Turnhalle werden die gleichen Nutzungszeiten wie die der Turnhalle unterstellt. Bei den Verkehrsflächen der Turnhalle wird eine Nutzungszeit von 7-20 Uhr bei einer Nutzungszeit von 250 Tagen zu Grunde gelegt. Damit soll berücksichtigt werden, dass dieser Bereiche für den Vereinssport aus Kostengründen nicht mehr voll oder gar nicht beheizt werden.

Bei allen Änderungen der Nutzungszeit wurde die Anzahl der Tag und Nachstunden wurde gemäß DIN V 18599-10 Anhang B ermittelt (siehe Anhang 1.6).

		Primärenergiebedarf	Referenzgebäude	Differenz
		[kWh/a]	[kWh/a]	
Angepasstes Nutzerprofil		~ 1.100.000	~ 1.140.000	3,5 %
Standardnutzerprofil		~ 1.220.000	~ 1.250.000	2,4 %
Differenz:	Relativ	+11%	+ 10%	1,1 %
	Absolut	120.000 kWh	110.000kWh	

Tabelle 4: Auswirkungen der Anpassung von Nutzerprofilen

4. Variante 1 – Planungsstand

4.1 Thermische Hülle

Das Schulgebäude und die Nebenräume der Turnhalle erhalten ein Wärmedämmverbundsystem bestehend aus 10cm dicken Polystyrol-Platten und einem WDVS Oberputzputz. Da die Außenwand der Turnhalle mit Porenbeton bereits einen sehr hochwertigen Baustoff mit sehr guten Dämmeigenschaften besitzt wurde eine Dämmstoffstärke von 8 cm geplant. Die erzielten U-Werte im Wandbereich liegen, je nach tragender Konstruktion im Bereich von 0,26 – 0,36 W/(m²K) und damit im Bereich den die ENEC für Außenbauteile fordert. Die Geschosdecken im Schulgebäude erhalten eine 20cm dicke Dämmschicht aus Mineralfaser. Die Turnhalle und die Nebenräume erhalten eine 20cm dicke Dämmschicht aus Styrodur. Die erreichten U-Werte liegen zwischen 0,17 – 0,19W/(m²K). Der Fußboden im Bereich des bestehenden Unterrichtsgebäudes wird aus Kostengründen nicht gedämmt.

Die Wärmebrücken werden im gesamten Gebäude gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 ausgeführt. Es wird somit ein Wärmebrückenzuschlag von 0,05W/(m²K) berücksichtigt. Da der Fußboden des bestehenden Gebäudes nicht gedämmt wird, und dies im Randbereich eine erhebliche Wärmebrücke darstellt, wird in den Zonen 1 und 3 ein Wärmebrückenzuschlag von 0,10 W/(m²K) berücksichtigt. Die detaillierten Bauteilaufbauten finden sich im Anhang Abschnitt 1.2.

4.2 Transparente Bauteile

Für die Fenster wurde eine Mehrscheibenisolierverglasung mit einem U-Wert für die Verglasung von 1,2 W/(m²K) und einem g-Wert von 0,65 geplant. Beim U-Wert des Rahmens wurde ein Wert von 1,8W/m²K angenommen. Der U-Wert des Gesamtfensters ergibt sich somit zu 1,6 W/m²K.

Die Fenster auf der Südseite des Gebäudes erhalten einen außenliegenden Sonnenschutz, welcher manuell gesteuert wird. Die Turnhalle erhält auf der Südseite einen innenliegenden Blendschutz. Dies ist notwendig um Blendwirkungen und zu hohe Wärmeeinträge und damit Überhitzung im Sommer zu verhindern.

4.2.1 Einfluss des Sonnenschutzes auf die Energieeffizienz

Sonnenschutzeinrichtungen dienen der Abminderung solarer Einstrahlung durch transparente Flächen in den Raum und als Blendschutz. Der Einsatz des Sonnenschutzes ist nicht nur auf die Sommermonate beschränkt, sondern dient besonders auch im Winter bei tiefstehender Sonne als Blendschutz. Ein Sonnenschutz führt in der Regel zu einem erhöhten Energiebedarf [22]. Im Winter wird durch den aktivierten Sonnenschutz bei tiefstehender Sonne ein Eindringen von solarer Strahlungsenergie verhindert und damit auch die Lichtverhältnisse verschlechtert. Dies führt zu einem erhöhten Energiebedarf für die Beleuchtung und im Winter zu einem erhöhten Energiebedarf für die Heizung. Im Sommer führt die Verringerung der Einstrahlung von solarer Strahlungsenergie bei vorhandener Kühltechnik zu einer Verringerung des Kühlbedarfs. In unseren Breiten überwiegt der der Mehrbedarf an Heizenergie und Strom für Licht den Nutzen des verringerten Kühlbedarfs (Ausnahme Fassaden mit großen Fensterflächen).

Die Arten des Sonnenschutzes werden nach folgenden Kriterien unterschieden:

- außenliegend oder innenliegend
- feststehend oder beweglich
- Steuerung manuell, zeit- oder intensitätsgesteuert

4.3 Wärmespeicherfähigkeit

Die Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes hat einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch. Wichtig wird dies beispielsweise wenn die Sonne in das Gebäude strahlt. Bei schweren Bauteilen kann diese Wärme gespeichert werden und zeitverzögert wieder abgegeben werden. In leichten Gebäuden wird führt die eingestrahelte Wärme zu einer schnellen und wahrscheinlich zu starken Erwärmung des Gebäudes. Die DIN V 18599 bietet neben der Möglichkeit der Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit (c_{wirk}) eine Möglichkeit der Einteilung des Gebäudes in eine von 3 Gruppen.

Gebäudezone	c_{wirk} [Wh/m ² K]	Merkmal
Leicht	50	- Wenn nicht einer anderen Zone zu zuordnen
Mittel	90	- Massive Innen- und Außenbauteile (Dichte $\geq 600\text{kg/m}^3$) - Keine abgehängten oder thermisch abgedeckten Decken - Keine Innenliegende Wärmedämmung an den Außenbauteilen - Keine hohen Räume (Turnhallen, Museen,...)
Schwer	130	- Massive Innen- und Außenbauteile (Dichte $\geq 1000\text{kg/m}^3$) - Keine abgehängten oder thermisch wirksamen Decken - Keine innenliegende Wärmedämmung an den Außenbauteilen - Keine hohen Räume (z.B. Turnhallen, Museen,...)

Tabelle 5: Einteilung der Bauweise infolge Wärmespeicherfähigkeit[14 S. 289]

Da in den meisten Räumen abgehangene Decken vorhanden sind, muss das gesamte Objekt als leichte Gebäudezone betrachtet werden.

4.4 Luftdichtheit

Die DIN V 18599 unterscheidet die Gebäudedichtheit in 4 Kategorien.

Kategorie	Merkmal	n_{50}^8
I	Zu errichtende Gebäude oder Gebäudeteile, bei denen eine Dichtheitsprüfung und die Einhaltung der Anforderungen an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7 vorgesehen ist: a) Gebäude ohne raumluftechnische Anlage b) Gebäude mit raumluftechnischer Anlage	2,0h ⁻¹ 1,0h ⁻¹
II	Zu errichtende Gebäude oder Gebäudeteile, bei denen keine Dichtheitsprüfung vorgesehen ist	4,0h ⁻¹
III	Fälle, die nicht den Kategorien I, II oder IV entsprechen	6,0h ⁻¹
IV	Vorhandensein offensichtlicher Undichtheiten, wie z.B. offene Fugen in der Luftdichtheitsschicht der wärmeübertragenden Umfassungsfläche.	10,0h ⁻¹

Tabelle 6: Gebäudedichtheitsklassen nach DIN V 18599 - 2

In dieser Berechnungsvariante wird das bestehende Schulgebäude in die Gebäudedichtheitsklasse 3 eingeordnet. Der Anbau an das Unterrichtsgebäude wird in die Dichtheitsklasse 1a) und die Turnhalle, der Speiseraum und die Nebenräume der Turnhalle werden aufgrund der vorhandenen Lüftungsanlagen in die Gebäudekategorie 1b) eingeordnet.

4.5 DIN V18559 und die Fensterlüftung

Da die Räume nur durch die Fenster mit Außenluft versorgt werden ist es interessant zu untersuchen mit welchen Lüftungsraten gerechnet wird und ob diese in der Realität erreicht werden. Die Betrachtung dieses Problems wird im Weiteren ausschließlich auf die Zone 1 (Klassenräume) beschränkt. Die Lüftungsraten für die Berechnung stammen aus den Standardnutzungsprofilen im Teil 10. Für Klassenräume wird der Mindestaußenluftvolumenstrom mit 30m³ je Person und Stunde veranschlagt. Das Programm rechnet mit einem alternativen Ansatz. Dieser alternative Ansatz berücksichtigt einen Luftwechsel von 10m³ je m² Grundfläche und Stunde. Da die Klassenräume eine Größe von 55-70m² haben, ergibt sich ein Lüftungsstrom je Raum von 500-700m³. Dies entspricht in etwa dem personenbezogenen Luftwechsel für 17-23 Personen im Klassenraum. Dies entspricht somit den Annahmen der DIN V 18599. Der auf das Gesamtvolumen der Zone bezogene Luftwechsel ergibt sich zu 3,85h⁻¹. Das bedeutet, im Programm wird davon ausgegangen, dass die Luft im Raum in jeder Stunde durch Lüftung und Infiltration 3,85-mal ausgetauscht wird. Da eine Fensterlüftung im Allgemeinen nicht sehr effektiv ist, ist zu untersuchen ob dieser Luftwechsel tatsächlich erreicht werden kann.

⁸ Bemessungswert nach DIN V 18599-2

Der Luftwechsel einer Zone ist die Summe aus Infiltrationsluftwechsel und Lüftungswechsel. Der Infiltrationsluftwechsel ist der Luftwechsel der infolge Undichtheiten entsteht. Im Programm wurde der Zone, da diese Zone zu großen Teilen ein Bestandsgebäude ist, ein Luftwechsel von n_{50} von $6h^{-1}$ zugewiesen. Die Luftwechselrate könnte deutlich niedriger angesetzt werden, da prinzipiell keine große Schwierigkeiten bei der Sicherstellung der Luftdichtheit zu erwarten sind. Es wurde angenommen, dass für diesen Gebäudeteil kein separater Blower-Door Test durchgeführt wird, ist der Luftwechsel gemäß DIN V 18599 in dieser Größe anzusetzen. Da ein n_{50} – Luftwechsel dem Luftwechsel bei einer künstlich herbeigeführten Druckdifferenz entspricht welche in der Nutzung nicht mehr besteht, muss dieser Infiltrationswechsel auf die tatsächlichen Bedingungen bei Nutzung umgerechnet werden. In der DIN V18599 Teil 2 wird der Infiltrationsluftwechsel in Abhängigkeit des Vorhandenseins von Lüftungsanlagen bestimmt. Da in der vorliegenden Variante keine Lüftungsanlage vorliegt ergibt sich Infiltrationswechsel n_{inf} mit:

$$n_{inf} = n_{50} \times e_{Wind} \quad e_{Wind} \dots \text{Windschutzkoeffizient aus DIN 4108-6}$$

Der durch die Fensterlüftung sicherzustellende Luftwechsel ergibt sich nach DIN V 18599-2:

$$\Delta n_{win} = n_{nutz} - n_{inf} - 0,1h^{-1} \quad n_{Nutz} \dots \text{nutzungsbedingter Luftwechsel}$$

Woher der Term " $- 0,1h^{-1}$ " stammt ist mir unerklärlich und soll wegen der geringfügigen Auswirkung nicht weiter beachtet werden. In der betrachteten Zone ergibt sich demnach:

$$n_{inf} = 6h^{-1} \times 0,04 = 0,24h^{-1}$$

$$\Delta n_{win} = 3,85h^{-1} - 0,24h^{-1} - 0,1h^{-1} = 3,51h^{-1}$$

Der durch Fensterlüftung sicherzustellende Luftwechsel beträgt somit $3,5h^{-1}$. Da der Fensterluftwechsel stark von der Raumgeometrie, den vorhanden Fenstern, Gebäudelage, Temperaturdifferenz, Lage der Heizkörper und Sonnenschutz abhängig ist, kann dieser nur mittels genauer Simulation bestimmt werden [23]. Bisher existieren keine Berechnungsansätze zur Bestimmung des Fensterluftwechsels. Um eine Annäherung zu finden wird im Rahmen dieser Arbeit auf die in der Literatur verfügbaren Luftwechselraten von vergleichbaren Situationen zurückgegriffen. Da die Räume der Mittelschule keine außergewöhnliche Geometrie aufweisen ist dies völlig ausreichend. Maßgebliche Parameter für den sich entstellenden Luftwechsel ist laut [24] die Temperaturdifferenz, die Fensterstellung und die Lage der Fenster zueinander. In [24] wird aufgezeigt, dass der geforderte Luftwechsel von $3,85h^{-1}$ mit herkömmlichen Fenstern in Kippstellung nicht erreicht werden wird. Bei einer Temperaturdifferenz von ΔT von 20K und einem Öffnungswinkel von 15° (was sehr groß ist!) liegt der Luftwechsel bei ungefähr $2,6h^{-1}$ (siehe

Abbildung 17) und damit über 30% unter dem erforderlichen Wert. Dabei ist anzumerken, dass in der Praxis bei größeren Temperaturdifferenzen die Fenster in der Regel geschlossen bleiben, da die Schüler in Fensternähe frieren. Das bedeutet, dass die Fenster nicht immer geöffnet sein werden, was die tatsächliche Lüftungsrate weiter reduziert. Weiterhin wird in [24] deutlich, dass mit zwei übereinander liegenden Fenstern ein deutlich höherer Luftwechsel erreicht werden kann. Wie in Abbildung 18 zu sehen ist, sind bei bereits geringen Öffnungswinkeln von 6°

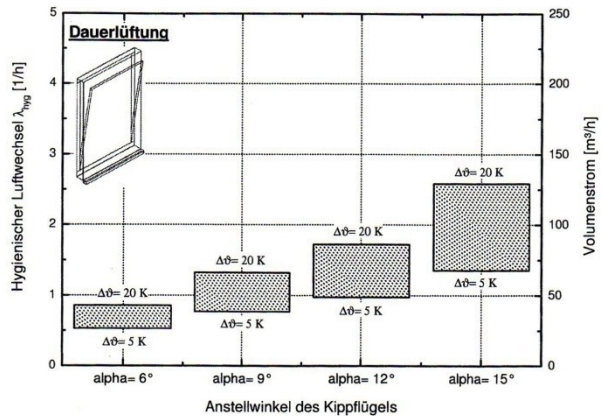


Abbildung 17: Lüftungsraten bei Kippfenstern [23]

Luftwechselraten von 2-4,5h⁻¹ zu erreichen. Die Werte bei einer Stoßlüftung liegen nochmals deutlich höher. Damit sollte für Umsetzung der Baumaßnahmen ein 3 teiliges Fenster vorgesehen werden, welches in 2 Ebenen geöffnet werden kann. Mit einem solchen Fensteraufbau sollte es auch in der

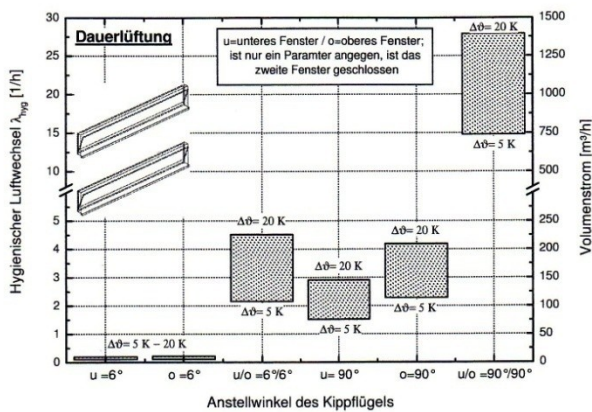


Abbildung 18: Lüftungsraten bei Fenstern in 2 Ebenen [23]

Praxis möglich sein, einen ausreichenden hygienischer Luftwechsel sicherzustellen. In dieser Arbeit wird angenommen, dass solche Fenster zum Einsatz kommen.

Um den Einfluss auf den Energieverbrauch zu untersuchen, wird für die Zone 1 (Klassenräume) der Energieverbrauch mit den Lüftungsrandbedingungen der DIN V 18599 errechnet und anschließend mit dem Energieverbrauch verglichen, welcher sich bei Standardkippfenstern einstellen würde. Bei den Standardfenstern gehe ich von einem sehr guten Lüftungsverhalten der Nutzer aus und setze den Luftwechsel mit 2h⁻¹ an.

Praxis möglich sein, einen ausreichenden hygienischer Luftwechsel sicherzustellen. In dieser Arbeit wird angenommen, dass solche Fenster zum Einsatz kommen.

	Luftwechsel	Endenergieverbrauch
Variante 1 DIN V 18599	3,85 h ⁻¹	85 kWh/m ²
Variante 2 Standardkippfenster	2 h ⁻¹	59 kWh/m ²

Tabelle 7: Einfluss der Lüftungsraten auf den Energieverbrauch

Die Lüftungsrate hat einen enormen Einfluss auf den Energieverbrauch (siehe Tabelle 7). Die Differenz im Endenergiebedarf zwischen beiden Varianten liegt bei etwa 40%. Deshalb sollte stets

genau betrachtet werden ob mit den vorhandenen Fensterkonstruktionen die Referenz-Werte der DIN V18599 auch **praktisch** (siehe auch Abschnitt 6.11) erreicht werden können. Gegebenen falls müssen die Werte der DIN an die tatsächlichen Werte angepasst werden.

4.6 Anlagentechnik

Ein Schema der Anlagentechnik ist im Anhang Abschnitt 1.5 abgebildet.

Lüftung

Die Belüftung des Unterrichtsgebäudes wird mit Fensterlüftung sichergestellt. Die Küche, der Speiseraum sowie die Turnhalle und deren Nebenräumen werden durch insgesamt 4 Lüftungsgeräte zwangsbelüftet. Bis auf die Abluftanlage der Küche, erhalten alle Lüftungsgeräte einen Wärmetauscher mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von ungefähr 80%. Die erforderlichen Mindestluftwechsel wurden der Vorplanung entnommen. Nähere Angaben zur Ausführung der Lüftungsanlage finden sich im Anhang Abschnitt 1.5.1.

Kühltechnik

In den PC-Kabinetten und dem Serverraum werden Kühlgeräte vorgesehen. Zum Einsatz kommen Multi-Split Geräte. Da die Raumgeräte mit Rohren, in denen ein flüssiges Kältemittel zirkuliert, mit der an der Außenwand installierten Außeneinheit verbunden sind, kann die Kühlanlage nachträglich leicht erweitert werden. Nachteil dieses Systems ist, dass keine frische Luft in den Raum gebracht wird und somit nur die vorhandene Luft abgekühlt wird.

Für die PC-Kabinette wurde als interne Wärmequellen 22 Personen und 22 PCs mit einer durchschnittlichen Wärmeabgabe von 150W angenommen. Standard Computer mit normalen Röhren-Monitoren haben Wärmeabgaben von 250W [25 S. 19] und mehr. Mit dem Ansatz von 150W wurde berücksichtigt, dass energiesparende Flachbildschirme zum Einsatz kommen sollten und dass die Computer ebenfalls energiesparend sind.

Warmwasser

Der im Schulgebäude bestehende Warmwasserbedarf wird durch die bestehenden Durchlauferhitzer in den Toiletten gedeckt. Der in der Küche und der Turnhalle entstehende Warmwasserbedarf wird durch 2 Warmwasserbereiter gedeckt. Da in den Sommermonaten die Fernwärme teilweise abgestellt wird, wird auf dem Turnhallendach eine Luft-Wasser-Wärmepumpe installiert um den Warmwasserbedarf im Sommer zu decken. Als Bedarf wurden die in der DIN V 18599 angegebenen Standardwerte benutzt. Der Bedarf wurde im Unterrichtsgebäude für 250 Schüler und in der Turnhalle für 150 Sportler ermittelt.

Heizung

Im gesamten Schulgebäude wird die Wärme durch an der Außenwand angebrachten Radiatoren übertragen. In der Turnhalle, dem Speiseraum und den Nebenräumen der Turnhalle wird die Grundlast durch eine Fußbodenheizung sichergestellt. Alle Lüftungsgeräte verfügen über eine Aufheizfunktion um die Außenluft im Bedarfsfall nachzuheizen. Da die betreffenden Zonen mit Heizung über die Lüftung über ein 2. Heizsystem verfügt wurde es notwendig, die Heizleistung auf die einzelnen Systeme aufzuteilen. Da der Begriff Grundlast bezüglich der Leistung und Bedarfsdeckung nicht sehr aussagekräftig ist, habe ich für die Bedarfsdeckung der Grundlast mit 70% des Bedarfes und die Zusatzheizung der Lüftung mit 30% des Bedarfes angenommen.

4.7 Ergebnis Variante 1

Der Gesamtprimärenergiebedarf des Objektes im Planzustand liegt mit annähernd 215 kWh/m² knapp unterhalb der Anforderungen welche die ENEV stellt. Der Wärmetransmissionskoeffizient H'_T , und somit der Maßstab der Bewertung der thermischen Hülle, liegt mit 0,44 rund 55% hinter dem ENEV-Anforderungswert von 0,75 zurück bleibt. Es ist es schon erstaunlich, dass die ENEV Anforderungen

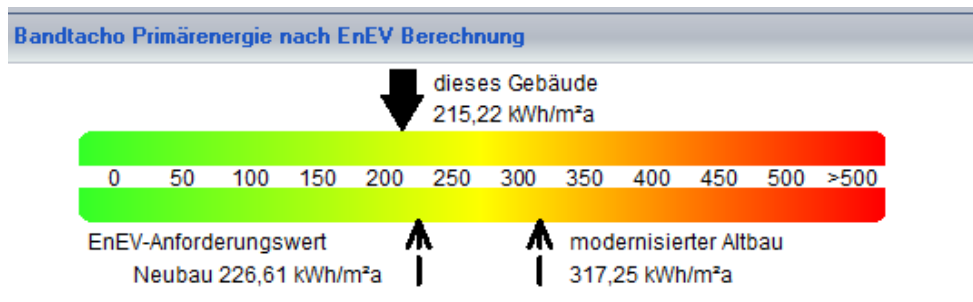


Abbildung 20: Bandtacho der Primärenergieanforderungen lt. ENEV – Variante 1

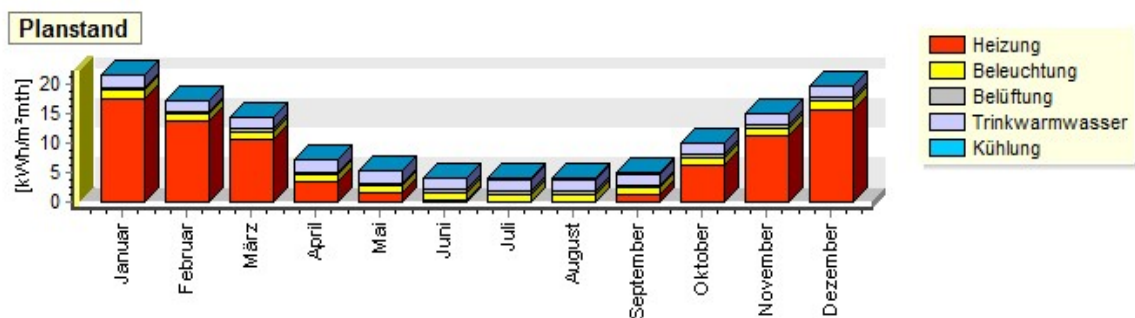


Abbildung 19: Endenergieverbrauch der Variante 1 im Jahresverlauf

trotz sehr guter thermischer Hülle nur knapp erfüllt werden. Die Gründe hierfür werden in Abschnitt 4.8 behandelt. Interessant ist die Betrachtung der Energiebedarfswerte für Heizung der einzelnen Zonen in Abhängigkeit von der jeweiligen Lüftungsrate und Nutzungszeit (Abbildung 21). Der Wärmebedarf in Zone 4 (Sanitäranlagen im Unterrichtsgebäude) ist auffallend hoch. Die Ursache ist im hohen Luftwechsel der Zone zu suchen. Weiterhin verfügt die Zone über einen großen Fensterflächenanteil und eine Nordorientierung. Den hohen Wärmeverlusten der Fenster stehen in

der Nordorientierung geringere solare Gewinne gegenüber. Gleiches gilt für die Zone 9 (Speiseraum und Küche). Die Küche in Zone 9 verfügt über eine Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung. Dadurch geht die in den Luftmengen enthaltene Energie nutzlos verloren. In Abbildung 21 wird der Einfluss der Wärmerückgewinnung in den Turnhallennebenräumen deutlich. Trotz der hohen Luftwechselraten und der längeren Nutzungszeit ist der Energiebedarf vergleichsweise gering. Zone 4 (Sanitärräume Schulgebäude) ist mit Zone 8 (Sanitärräume Turnhalle) vergleichbar. Die Orientierung, der Wärmeschutz und die Luftwechselrate sind nahezu identisch. Durch die Wärmerückgewinnung ist der Energiebedarf in Zone 8, trotz längerer Nutzungszeit, deutlich geringer als in Zone 4. Die Turnhalle verfügt trotz der geringen Luftwechselrate einen vergleichsweise hohen Energiebedarf. Die Turnhalle hat ein sehr großes zu beheizendes Luftvolumen und sehr große Hüllflächen. Weiterhin besitzt die Turnhalle große Glasflächen und ein großflächiges Oberlicht. Bei einer Zweifach-Verglasung sind die solaren Gewinne deutlich größer als die Transmissionsverluste (siehe Abbildung 37 in Abschnitt 5.5.2). Unter Berücksichtigung der der langen Nutzungszeit ist der Energiebedarf durch die Wärmerückgewinnung in einem erträglichen Rahmen. In Zone 2 (PC-Kabinette) besteht zwar ein Nutzwärmebedarf von $25\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, dieser wird aber vollständig durch die inneren Wärmequellen (Computer, Personen) gedeckt und hat zur Folge, dass der End- und Primärenergiebedarf für Heizung gleich 0 ist. In der Praxis wird dies meiner Meinung nach nie auftreten, da in den PC-Kabinetten vor Unterrichtsbeginn geheizt werden muss.

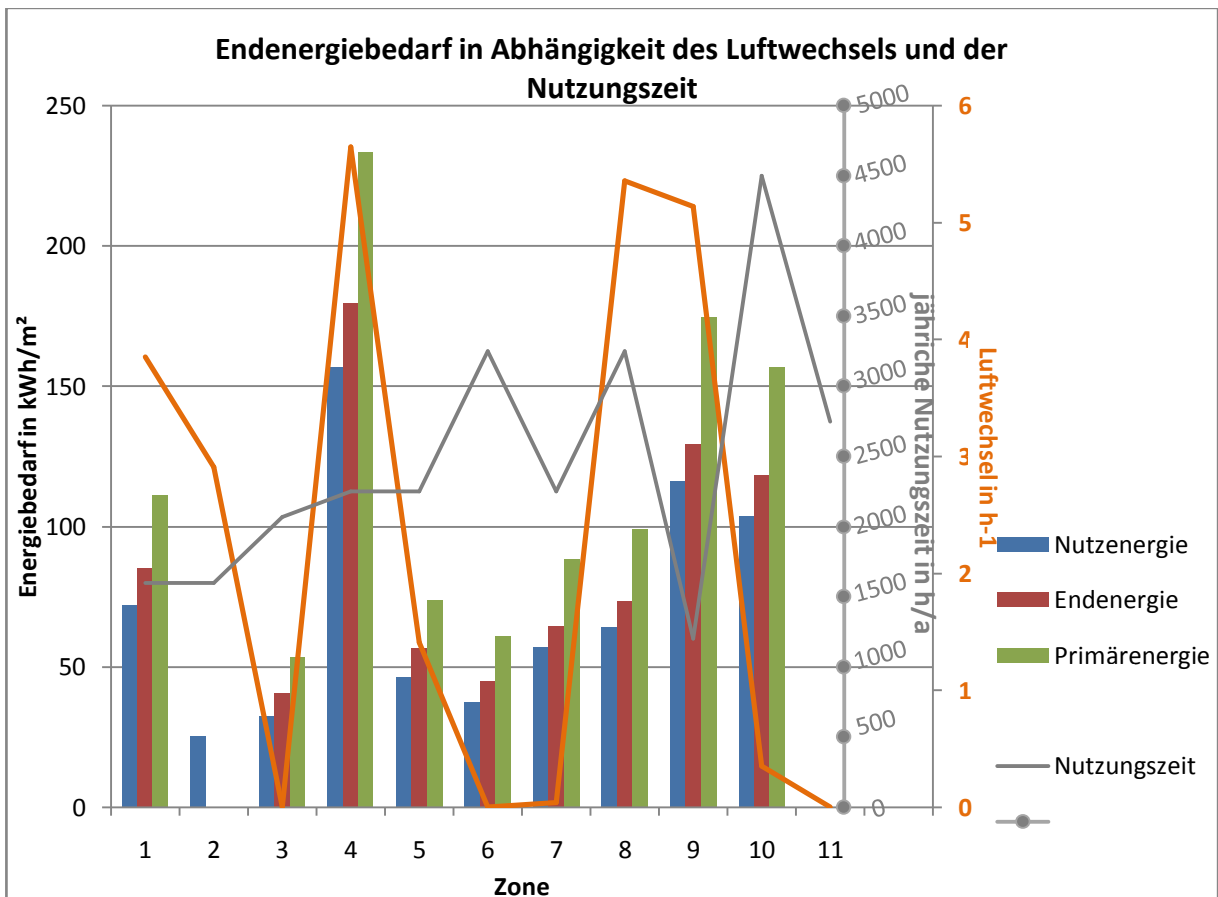


Abbildung 21: Energiebedarf für Heizung in Abhängigkeit der jährlichen Nutzungszeit und Luftwechselrat

4.8 Vergleich der Variante 1 mit dem Referenzgebäude

In Abbildung 22 kann man erkennen, dass die Aufwendungen welche mit der Temperierung des Gebäudes im Zusammenhang stehen, unter dem Niveau der ENEV liegen. Die Einsparungen für Heizenergie sind bei der Endenergie am größten. Das Referenzgebäude verfügt über eine eigene Heizungsanlage (siehe Seite 12ff). Alle Umwandlungs- und Speicherverluste sind im Referenzgebäude in der Endenergie enthalten. Das Objekt Mittelschule Sayda verfügt einen Fernwärmanschluss. Die Umwandlungsverluste und Speicherverluste fallen somit in der Fernwärmestation an und sind somit nicht in den Endenergieaufwendungen enthalten. Der Endenergiebedarf liegt auf Grund der Einsparungen im Heizenergiebedarf deutlich unter den Anforderungen der ENEV. Der Mehrbedarf von etwas über 30% im Bereich der Nutzenergie für Beleuchtung und Warmwasser ist unerklärlich. Für das Referenzgebäude wird bei dezentraler Warmwasserversorgung ebenfalls mit einem elektrischen Durchlauferhitzer gerechnet. Die vorhandene Warmwasserversorgung der Turnhalle ist energetisch gesehen auf Höhe der der Technik des Referenzgebäudes. Da der sicherzustellende Warmwasserbedarf für das Referenzgebäude und der Mittelschule aus dem gleichen Nutzungsrandbedingungen entnommen werden, ist mir unerklärlich wie dieser hohe Unterschied im Nutzenergiebedarf zu erklären ist. Da die Beleuchtung und ein Teil des Warmwasserbedarfs (durch die Durchlauferhitzer im Unterrichtsgebäude) mit primärenergetisch hochwertigem Strom sichergestellt werden, sind die Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf sehr groß. Laut ENEV (Anlage 2 Nr.2.1d) dürfen die Waschgelegenheiten im Unterrichtsgebäude eigentlich vernachlässigt werden. Umso erstaunlicher sind die großen Auswirkungen auf den Gesamtprimärenergiebedarf und somit auf die Zulässigkeit des Gebäudes!

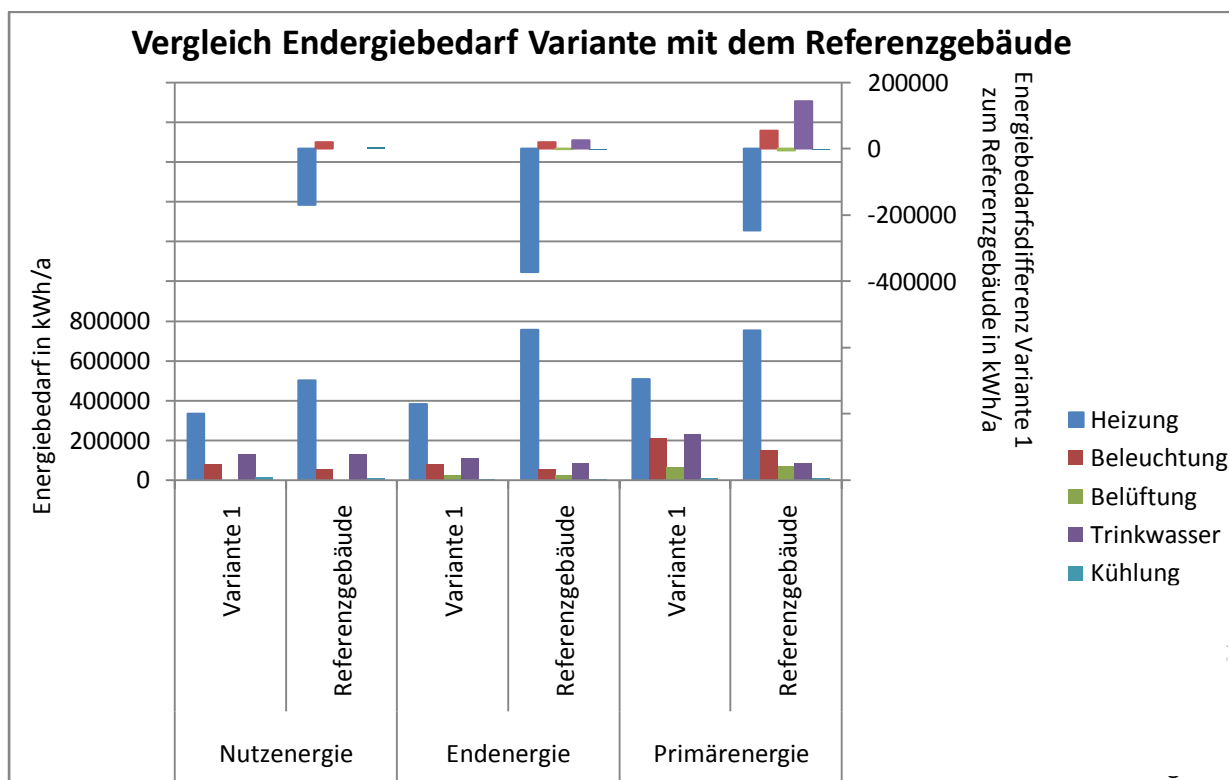


Abbildung 22: Vergleich der Energiekennwerte zwischen Variante 1 und Referenzgebäude

5. Variante 2 – Annäherung an den Passivhausstandard

Mit Variante 2 soll versucht werden den Passivhausstandard zu erreichen. Auf Gesichtspunkte des Brandschutzes wird im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Prinzipiell ist die Ausführung eines Wärmedämmverbundsystems (kurz: WDVS) aus Polystyrol gemäß Sächsischer Bauordnung nicht zulässig, da die Ausführung öffentlicher Gebäude mit nichtbrennbaren Baustoffen gefordert wird. Da es aber bereits einige Schulen⁹ gibt, welche trotzdem mit diesem System realisiert wurden zeigt, dass Ausnahmen möglich sind. Weiterhin wurde bei der Planung des Objektes nach ENEC auch ein WDVS aus Polystyrol vorgesehen. Sollte aus Brandschutzgründen, die kostengünstige Realisierung des Wärmeschutzes mit Polystyrol-WDVS nicht möglich sein, kann eine entsprechend gleichwertige Konstruktion gewählt werden.

Ziel dieses Abschnittes soll sein, die Probleme und Schwierigkeiten die der Passivhausstandard mit sich bringt näher zu betrachten. Außerdem soll aufgezeigt werden, inwiefern der Passivhausstandard mit dem bestehenden Entwurf mit der DIN V 18599 zu realisieren ist.

5.1 Merkmale des Passivhausstandard

In Abschnitt 1.5 wurde deutlich, dass ein Großteil der in Deutschland aufgewendeten Energie für Wärmeprozesse benötigt wird. Eine Minimierung der Aufwendungen zur Bereitstellung der Raumwärme stellt ein großes Einsparpotenzial dar. Das Passivhaus setzt an diesem Punkt an. Ziel des Passivhauses ist eine Minimierung des Heizwärmebedarfes bei gleichzeitiger Optimierung der passiven solaren Erträge. Erreicht wird dies durch:

- Süd-Orientierung der Aufenthaltsräume
- große nach Süden gerichtete Fensterflächen
- kompakte Bauform
- Reduzierung der Exponiertheit
- sehr gut gedämmte thermische Hülle (Wand: $U < 0,15$ besser $\sim 0,10$; Fenster $U_w = 0,80$)
- Luftdichte Gebäudehülle ($n_{50} \leq 0,60 \text{h}^{-1}$)
- effizientes Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung

Ziel des Passivhauses ist ein Jahresheizwärmebedarf von $15 \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und eine Primärenergiekennzahl für Restheizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsstrom von $120 \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Das Objekt Mittelschule Sayda, besitzt mit einem A/V-Verhältnis von 0,44, einer fast Südorientierung der Klassenräume und einer geschützten Lage sehr gute Voraussetzungen für den Passivhausstandard. In Variante 1 beträgt der Jahresheizwärmebedarf $\sim 90 \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Um den Wert

⁹ z.B. Grund- und Hauptschule Stuttgart-Plieningen

von 15kWh/(m²a) zu erreichen, müsste der Heizwärmebedarf um ca. 86% gegenüber Variante 1 gesenkt werden.

5.2 Optimierungsmöglichkeiten

- Verbesserung der thermischen Hülle
 - $U \leq 0,15$
 - Wärmebrücken optimierte Bauweise
- Verbesserung der Fenster
 - Südorientierung
 - $U \leq 0,80$ und $g \geq 0,60$
- Optimierung der Fensterflächen
- Luftdichtigkeit verbessern
- Lüftungssystem mit hocheffizienter WRG im gesamten Objekt

5.2.1 Verbesserung der thermischen Hülle

Um eine Verringerung der Transmissionsverluste zu erreichen, ist eine Verbesserung der thermischen Hülle unumgänglich. Der Passivhausstandard erfordert U-Werte von 0,15 W/(m²K), besser Werte im Bereich von 0,10W/(m²K). Dies führt bei Massivbauten in der Regel zu sehr dicken Wandaufbauten. Wandstärken von um die 50cm sind keine Seltenheit. Für die Berechnungen in dieser Variante werden für die thermische Hülle U-Werte <0,15W/(m²K) angestrebt. Die Bauteilaufbauten finden sich im Anhang 1.2.

5.2.2 Wärmebrückenfreies Konstruieren

Wärmebrücken sind Bereiche, in denen sich ein anderer Wärmestrom einstellt als bei der Regelkonstruktion. Typische Wärmebrücken sind Anschlüsse, Ecken, Kanten und Durchdringungen. Durch Wärmebrücken kann ein Mehrverlust oder ein Minderverlust entstehen. Nach DIN 4108 können Wärmebrücken mit pauschalen Werten berücksichtigt werden. Ohne besonderen Nachweis beträgt der Aufschlag 0,10 W/(m²K), bei Innendämmung mit in die Außenwand einbindenen Geschossdecken 0,15 W/(m²K). Entsprechen die Wärmebrücken dem Beiblatt 2

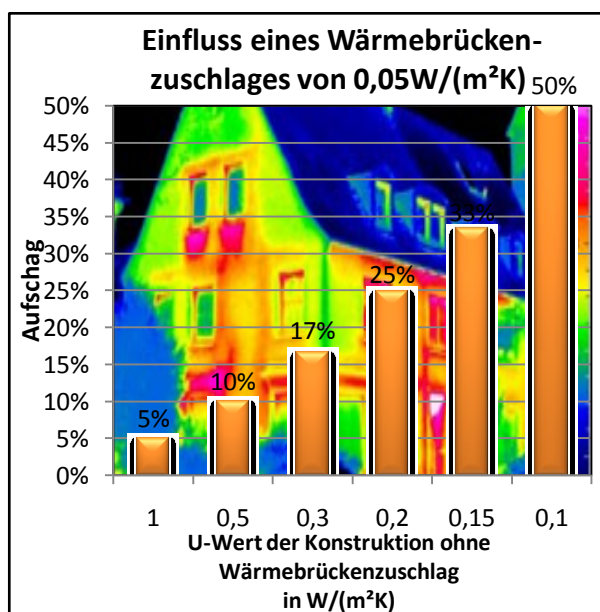


Abbildung 23: Einfluss des Wärmebrücken-zuschlages

der DIN 4108 darf, der Aufschlag auf $0,05W/(m^2K)$ verringert werden. Die sehr niedrigen U-Werte im Passivhausstandard machen es unumgänglich die Wärmebrücken zu bilanzieren. Die Verwendung von pauschalen Wärmebrückenzuschlägen (siehe Abbildung 23) würde sämtliche Anstrengungen des verbesserten Wärmeschutzes, zumindest rechnerisch, zunichte machen.

Durch „wärmebrückenfreies Konstruieren“ soll erreicht werden, dass die Summe der Mehrverluste durch die Minderverluste mindestens ausgeglichen wird [26]. Wärmebrücken werden als „Wärmebrückenfrei“ klassifiziert, wenn $\Psi_a \leq 0,01W/(mK)$ ist.

Die Grundprinzipien für „Wärmebrückenfreies Konstruieren“ nach [26] lauten:

1. Vermeidungsregel: Wo möglich, die dämmende Hülle nicht durchbrechen.
2. Durchstoßungsregel: Wenn eine unterbrochene Dämmschicht unvermeidbar ist, so sollte der Wärmedurchgangswiderstand in der Dämmebene möglichst hoch sein; also z.B. Porenbeton oder noch besser Holz statt Normalbeton oder Kalksandstein verwenden
3. Anschlußregel: Dämmlagen an Bauteilanschlüssen lückenlos ineinander überführen. Die Dämmlagen in der vollen Fläche anschließen.
4. Geometrieregeln: Kanten mit möglichst stumpfen Winkeln wählen.

Die Wärmebrücken werden in der DIN V 18599 mit einem Aufschlag auf den U-Wert berücksichtigt. Er ergibt sich aus [27]:

$$\Delta U_{WB} = \frac{\sum \chi + \sum \Psi \times l}{A_{ges}}$$

mit:	ΔU_{WB}	spezifischer Wärmebrückenzuschlag $[W/(m^2K)]$
	χ	punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
	Ψ	linearer Wärmedurchgangskoeffizient $[W/(mK)]$
	l	Länge der linearen Wärmebrücke
	A_{ges}	Gebäudehüllfläche

5.2.3 Berechnung der Wärmebrücken

5.2.3.1 Methodik und Kennzahlen für die Bewertung von Wärmebrücken

Mit dem thermischen Leitwert L und dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ bzw. dem punktbezogenen Wärmedurchgangswiderstand χ existieren 2 Kennzahlen zur Bewertung von Wärmebrücken.

Anhand einer bestehenden Wärmebrücke am Objekt werden die Zusammenhänge exemplarisch erklärt. Die Wärmebrücke ist der Schnittpunkt der Kelleraußenwände mit der Bodenplatte des bestehenden Schulgebäudes (siehe Abbildung 24). Der Wärmeübergang in Watt der sich bei einer Temperaturdifferenz von einem Kelvin über diese dreidimensionale Wärmebrücke einstellt entspricht dem

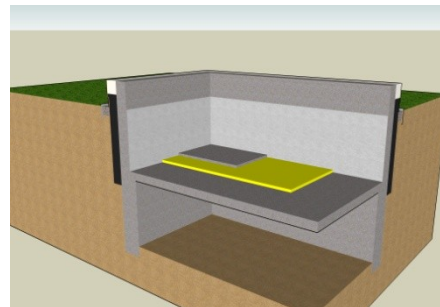


Abbildung 24: 3D Wärmebrücke Unterrichtsgebäude

thermischen Leitwert L^{3D} . Der Leitwert ist eine absolute Größe und gilt für die gesamte Wärmebrücke bis zu ihren betrachteten Schnittebenen. Zerlegt man diese dreidimensionale Wärmebrücke in die zweidimensionalen Bestandteile, erhält man 3 Schnittebenen (siehe Abbildung 50, Anhang Seite 26). Der Wärmestrom der sich über die jeweilige Schnittebene bei einer Temperaturdifferenz von einem Kelvin einstellt, entspricht dem thermischen Leitwert L^{2D} . Wie auf Abbildung 25 zu sehen ist, kann jeder Körper mit diesen Leitwerten beschrieben werden. In einer eindimensionalen Ebene entspricht der Leitwert dem Produkt der Fläche mit dem U-Wert der betreffenden Flächen.

In Abbildung 25 ist weiterhin zu erkennen, dass man bei der Arbeit mit den thermischen Leitwerten den Baukörper sehr stark strukturieren muss. Am abgebildeten Quader ergeben sich 6 eindimensionale Flächen, 12 zweidimensionale Wärmebrücken und 8 dreidimensionale Wärmebrücken. Bei einem Quader hat man somit insgesamt 26 wärmeübertragende Einzelteile. Am realen Gebäude ist dieser

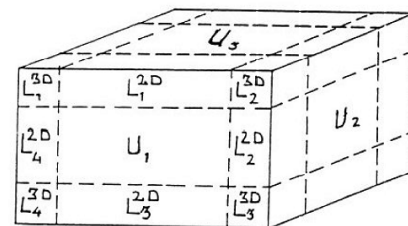


Abbildung 25: Thermische Leitwerte [48]

Ansatz nur mit enormem Aufwand umsetzbar. Aus diesem Grund wird in der Praxis meist eine relative Bewertung der Wärmebrücken vorgenommen. Das bedeutet, dass man das Gebäude bei der so behandelt als hätte es keine Wärmebrücken. Das Gebäude besteht somit nur aus eindimensionalen Regelaufbauten deren Wärmeübergang trivial mit $\sum(U \times A)$ ermittelt werden kann. Die Berücksichtigung der Wärmebrücken erfolgt durch die relativen Korrekturfaktoren Ψ und/oder χ , welche den durch die Wärmebrücke nicht berücksichtigten Wärmestrom abbilden. Der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient χ korrigiert den Wärmestrom von dreidimensionalen Wärmebrücken und der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ korrigiert den Wärmestrom von linienförmigen Wärmebrücken.

Die Ermittlung der relativen Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgt indem man den Wärmestrom durch das Bauteil mit Wärmebrücke, mit dem Wärmestrom vergleicht, welcher sich einstellen würde, wenn das Bauteil nur aus den an die Wärmebrücke angrenzenden Regelaufbauten bestehen würde.

Der Wärmestrom Φ durch die Bauteile ist neben den wärmetechnischen Eigenschaften der Bauteile auch von den Temperaturunterschieden abhängig. Da der Einfluss von Temperaturunterschieden ausgeschlossen werden soll, erfolgt die Ermittlung der relativen Wärmedurchgangskoeffizienten über die bereits erwähnten Leitwerte. Leitwerte entsprechen dem Wärmestrom bei einer Temperaturdifferenz von 1K.

$$L = \frac{\Phi}{\Delta T}$$

Die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ erfolgt nach nachstehender Gleichung:

$$\Psi = L^{2D} - L^0$$

L^{2D} ... Leitwert durch
 Bauteil mit Wärmebrücke
 L^0 ... Leitwert der
 ungestörten Bauteile

Die Ermittlung von L^{2D} erfolgt durch eine Simulation. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Programm HEAT in der Version 5.0 für sämtliche 2D Simulationen eingesetzt. Bei mehr als 2 Temperaturbereichen wird die Ermittlung von L^{2D} etwas komplizierter. DIN ISO 10211 fordert eine Simulation in der die Wechselwirkungen der einzelnen Temperaturgradienten ausgeschlossen wird. Eine kurze Erläuterung sowie eine Anwendung dieses Verfahrens wird im Anhang Abschnitt 2.1.4.2 aufgezeigt. L^0 ist das Produkt der U-Werte mit der Außenlänge (= Systemgrenze gemäß ENEC) multipliziert mit 1m. Ψ entspricht dem Wärmeverlust einer 1m langen Wärmebrücke (siehe Tabelle 8).

Die Ermittlung des punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten χ erfordert deutlich mehr Aufwand. Die prinzipielle Vorgehensweise ist in Abbildung 26 und Tabelle 8 aufgezeigt und entspricht vom Ansatz dem Vorgehen, welches aus der der Bestimmung des L^{2D} bekannt ist.

$$\chi = L^{3D} - L^0$$

L^{3D} wird mit einer 3D Simulation der Wärmebrücke ermittelt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Demonstrationslizenz der Software Antherm, welche durch Herrn Tomasz P. Kornicki, freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde, benutzt. Der Wärmestrom des ungestörten Bauteils L^0 entspricht der Summe der L^{2D} -Werte der jeweiligen Ebene multipliziert mit der Länge der jeweiligen 2D-Wärmebrücke.

$$L'_{3D} = \sum (L_k^{2D} \times l_k)$$

Wie aus der Abbildung 26 deutlich wird, werden bei reiner Betrachtung der L^{2D} -Werte die angrenzenden Flächen jeweils doppelt berücksichtigt. Zum Beispiel ist bei der Berechnung von $L_{x,y}^{2D}$ und $L_{y,z}^{2D}$ die Fläche $A_{x,z}$ enthalten. Diese Fläche würde dann zweimal L^0 zugeschlagen. Um dies zu korrigieren, werden diese Flächen anschließend wieder subtrahiert.

$$L_{3D}^0 = \sum (L_k^{2D} \times l_k) - \sum (U_i \times A_i)$$

Im Beispiel ergibt sich L_0^{3D} :

$$L_{3D}^0 = (L_{x,y}^{2D} \times l_z + L_{y,z}^{2D} \times l_x + L_{x,z}^{2D} \times l_y) - (U_{x,z} \times A_{x,z} + U_{y,z} \times A_{y,z} + U_{x,y} \times A_{x,y})$$

Bei näherer Betrachtung der Abbildung wird deutlich, dass χ die Differenz aus dem Leitwert L^{3D} und der Summe aus den zweidimensionalen korrigierten Leitwerten ist. Somit entspricht χ quantitativ einer Korrektur des Wärmestroms, welcher durch reine zweidimensionale Betrachtung **nicht** abgedeckt wird.

Ermittlungsschema von χ :

$L_{x,y}^{2D}$	$L_{y,z}^{2D}$	$L_{x,z}^{2D}$
$\Psi_z = L_{x,y}^{2D} - U_{xz} \times l_z - U_{y,z} \times l_z$	$\Psi_x = L_{y,z}^{2D} - U_{xy} \times l_y - U_{z,x} \times l_z$	$\Psi_y = L_{x,z}^{2D} - U_{xy} \times l_x - U_{y,z} \times l_z$
$\chi = L^{3D} - [(L_{x,y}^{2D} - U_{xz} \times l_x - U_{y,z} \times l_y) \times l_z + (L_{y,z}^{2D} - U_{xy} \times l_y - U_{x,z} \times l_z) \times l_x + (L_{x,z}^{2D} - U_{xy} \times l_x - U_{y,z} \times l_z) \times l_y] - U_{x,y} \times A_{x,y} - U_{x,z} \times A_{x,z} - U_{y,z} \times A_{y,z}$ $\chi = L^{3D} - L_{x,y}^{2D} \times l_z - L_{y,z}^{2D} \times l_x - L_{x,z}^{2D} \times l_y + U_{x,z} \times A_{x,z} + U_{y,z} \times A_{y,z} + U_{x,y} \times A_{x,y}$		

Abbildung 26: Bestimmung von χ [28 S. 2.70]

5.2.3.2 Arbeitsschritte zur Ermittlung Ψ und χ

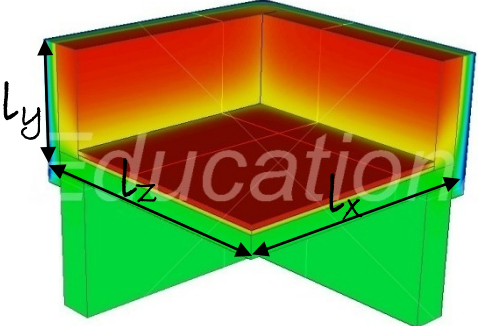
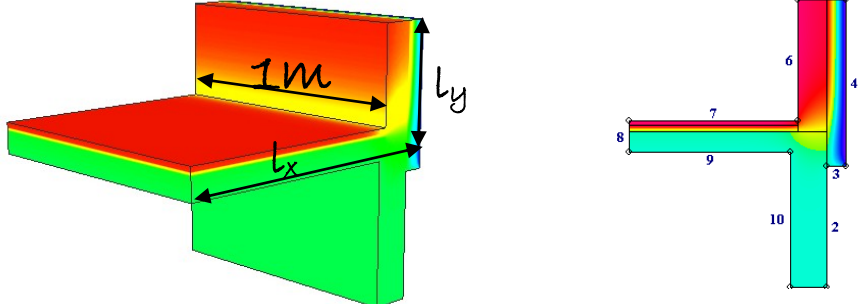
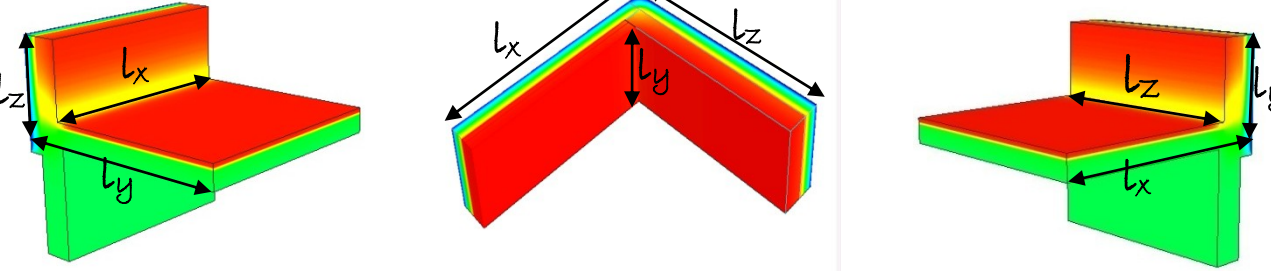
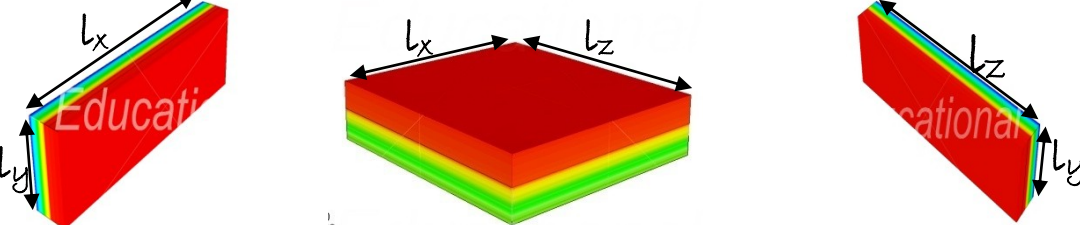
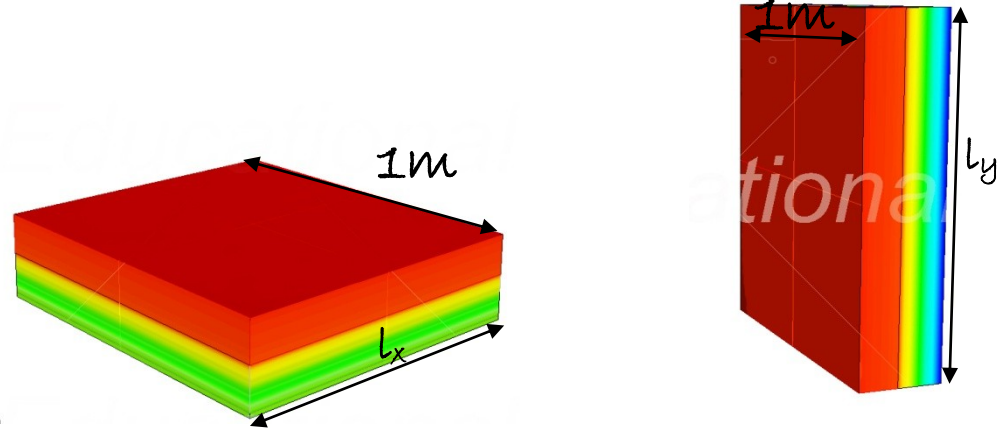
Dimension	3D	2D
L	<p>Ermittlung L^{3D} mittels Simulation</p> 	<p>Ermittlung L^{2D} mittels Simulation</p> 
L ⁰	<p>Ermittlung der L^{2D} der einzelnen Schnitte mittels Simulation</p> <p>= $L_{xy}^{2D} \times l_x$ + $L_{xz}^{2D} \times l_y$ + $L_{yz}^{2D} \times l_z$</p>  <p>Korrektur der bei L^{2D} doppelt erfassten Flächen</p> <p>- $(l_x \times l_y \times U_{xy})$ - $(l_x \times l_z \times U_{xz})$ - $(l_y \times l_z \times U_{yz})$</p> 	<p>= $(l_x \times 1m \times U_{xy})$ + $(l_z \times 1m \times U_{xz})$</p> 
Relativ	<p>$\chi = L^{3D} - L^0$</p>	<p>$\Psi = L^{2D} - L^0$</p>

Tabelle 8: Arbeitsschritte zur Ermittlung Ψ und χ

5.2.3.3 Modellbildung

Die Modellbildung der nicht erdberührten Bauteile erfolgt analog der DIN ISO 10211 (mit Beachtung der unter 5.2.3.4 genannten Probleme). Die Modellierung der nicht erdberührten Bauteile erfolgt mit der Empfehlung nach der vom Passivhaus entwickelten Methode. Durch das Passivhaus wurde im Feldversuch nachgewiesen, dass bei der Berechnung nach DIN ISO 10211 die Verluste zu hoch berechnet werden [29] [30]. Wie in 5.2.3.1 erwähnt wird die kritischste Wärmebrücke am Objekt durch ein 3D-Berechnung in Abschnitt 5.2.3.5 näher betrachtet.

5.2.3.4 Auftretende Probleme bei der Wärmebrückenmodellierung – Beispiel Traufdetail

Die in den Bildern (Abbildung 28 und Abbildung 27) dargestellte Wärmebrücke verdeutlicht das Problem der Überlagerung der Wärmebrücken. Die erste Wärmebrücke ist die einbindende Geschossdecke mit Attikaelement und Pfette. Im unteren Bereich befindet sich mit dem Fensterdetail eine weitere Wärmebrücke. Zur genauen Bestimmung der Wärmebrücke müsste der komplette Fensterrahmen

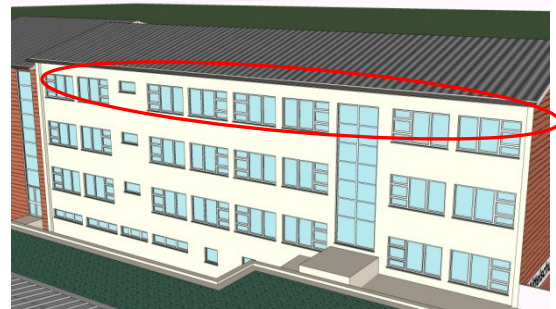
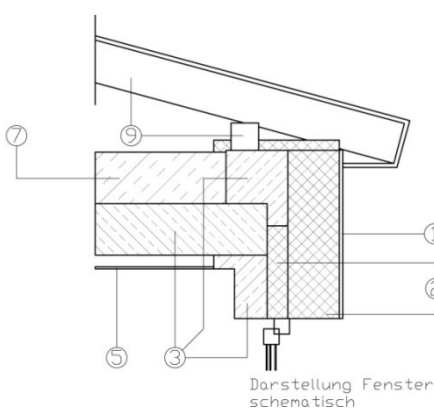


Abbildung 28: Lokalisierung problematischer Stellen der Wärmebrückenmodellierung

inklusive seiner Befestigung modelliert werden. Mit dem vorhandenen Programm HEAT in der Version 5.0 ist die kleinste zu modellierende Einheit 1cm. Eine Darstellung des Fensterrahmens ist



somit nicht möglich (Ausnahme: Es wird mit dem Faktor 10 gearbeitet). Jedoch sind die genauen Rahmenaufbauten der Fensterrahmenhersteller und/oder Glashersteller schwer zu bekommen. Bei den vom Passivhausinstitut zertifizierten Fensterrahmen und Aufbauten sind die Wärmeverluste durch den Glas-Rahmen Verbund mit berücksichtigt [26]. Dies wiederum würde bedeuten, dass man bei Modellierung der Fensterrahmen im Rahmen einer Wärmebrückenmodellierung, den Ψ für den Glas-Rahmen-Verbund bei der U-

Abbildung 27: Traufdetail

Wert Berechnung der Fenster nicht berücksichtigen darf, da dieser sonst doppelt berücksichtigt wird. Noch nicht berücksichtigt ist hier eine Detail der Befestigung des Sonnenschutzes oder gar ein Rolladen. Nun muss weiterhin berücksichtigt werden, dass zwischen den Fenstern die Wärmebrücke wieder anders aussieht, da in diesem Bereich zwar das Fenster nicht mehr vorhanden ist, aber man durch den Einfluss von beiden Fensterlaibungen, links und rechts, auch nicht von einem „ungestörten“ Bereich ausgehen kann. Die ISO 10211 legt zwar die Schnittebenen bei der

Modellierung mit einem Abstand von der Wärmebrücke mit 1m beziehungsweise der 3fachen Bauteildicke fest, bestimmt aber weiterhin das die Schnittebenen adiabatisch sein müssen [31 S. 16]. Adiabatisch bedeutet, dass über den Rand keine Wärme abgegeben wird. Dies ist der Fall, wenn die Isothermen senkrecht zum Rand verlaufen und sich somit der gleiche Wärmefluss wie im Regelbauteil eingestellt hat. Wenn man die obige Wärmebrücke modellieren möchte, würde dies bedeuten, dass man die komplette obere Fensterreihe in einer Wärmebrückenberechnung berücksichtigen müsste um die erforderliche adiabatische Grenze zu erhalten.

Da dies nicht machbar ist, werde ich im Rahmen dieser Arbeit die Wärmebrücke ohne Fenster modellieren. Der sich ergebende Ψ Wert wird für die gesamte Länge angenommen, also auch in den Bereichen mit Fenstern. Die Einbausituation der Fenster wird separat erfasst (Ausführungen siehe Anhang 2.2.5). Die Verluste im Bereich der Fenster werden durch die doppelte Wärmebrücke überschätzt werden. Insgesamt liegt diese Betrachtung somit auf der sicheren Seite.

Zusammenfassung: Eine vollständige und korrekte Erfassung der Wärmebrücken kann in der Praxis aus folgenden Gründen kaum erreicht werden.

- Überlagerung mehrerer Wärmebrücken, kann meist nur durch sehr aufwendige 3D Modellierung bestimmt werden
- Frühes Planungsstadium
 - Genaue Ausführung unbekannt (z.B. Konstruktion des Sonnenschutzes)
 - Keine genauen Abmessungen und Materialien der Hersteller verfügbar (Fenster, Rolläden, Halterungen, ...)
 - Einfluss auf das Endergebnis teilweise marginal (Aufwand für eine Berechnung steht in keinem Verhältnis zum Nutzen)

Die Berechnung **aller** linienförmigen und punktförmigen Wärmebrücken erfordert einen großen Aufwand. Der Aufwand und die Auswirkungen auf das Gesamtergebnis stehen in keinem Verhältnis.

5.2.3.5 Auswertung und Bewertung der 3D-Simulation nach DIN und PHI

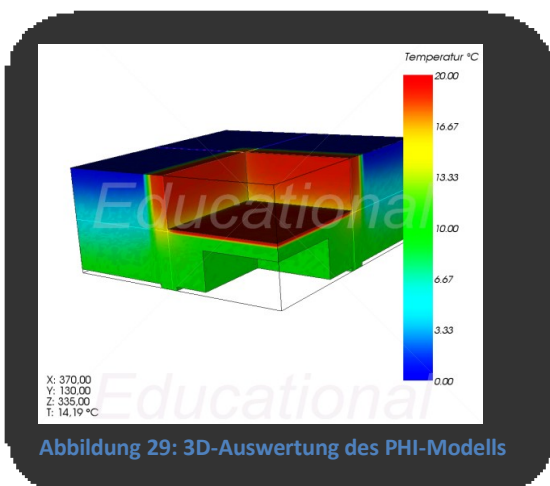


Abbildung 29: 3D-Auswertung des PHI-Modells

In der 3D-Modellierung wurde die Wärmebrücke in identischer Größe zur 2D-Betrachtung modelliert. Bei Berechnung nach DIN 4108-6 werden konstante Temperaturrandbedingungen an den Bauteilen angenommen. Im Modell nach PHI wird unterhalb der Bodenplatte ein 1m breiter und 2,5m tiefer Bereich des Erdreiches modelliert. Außerhalb der Wärmebrücke

wird das Erdreich noch 2,5m breit modelliert. An dem verbleibenden Stück der Bodenplatte wird ebenfalls eine konstante Temperatur von 10°C angenommen. Da die Bodenplatte mit Abmessungen von 3m x 3m modelliert wurde, sind die Einflüsse der Wärmebrücke bis an die Grenzen des Modells abgeklungen. Die Angaben zu den Randbedingungen und den Berechnung nach DIN finden sich im Abschnitt 2.1.2.4 und für die PHI-Variante in Abschnitt 2.1.4. Ein Vergleich der verschiedenen Modelle ist im Abschnitt 2.1.2 Seite 27 des Anhanges zu finden.

Entscheidenden Einfluss auf χ hat die Ermittlung von L^{2D} . Was bei 2 Temperaturrandbedingungen noch sehr einfach ist, wird ab 3 Temperaturrandbedingungen etwas kompliziert und aufwendig. In den Berechnungen (siehe Anhang 2.1.2.2) wurde verschieden Varianten zur Ermittlung von L^{2D} durchgerechnet. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Verfahren nach DIN ISO 10211 verwendet. Weiterhin ist für die Größe von L^{2D} der angesetzte Temperaturunterschied mit dem die

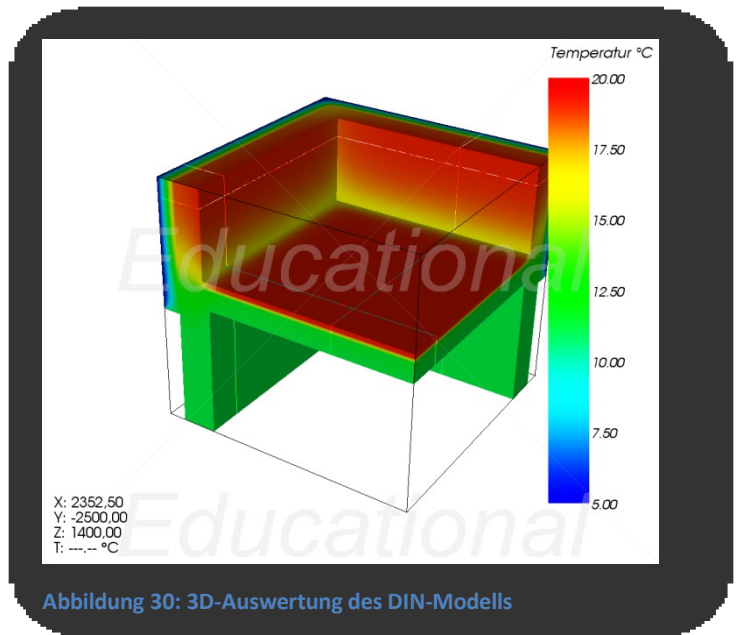


Abbildung 30: 3D-Auswertung des DIN-Modells

einzelnen Wärmeströme abschließend gewichtet werden von großer Bedeutung. Gegenstand der durchgeführten Berechnungen waren Kellerwände. Ziel war die Ermittlung des Ψ -Wertes zur Ermittlung von ΔU für den Transmissionsverlust des Gebäudes. Da die Temperaturen für Kellerwände im Monatsbilanzverfahren (welches der DIN 18599 zugrunde liegt) ebenfalls mit F_x -Faktoren herabgesetzt werden, sollte die Temperaturdifferenz welche bei der L^{2D} -Ermittlung angesetzt wird, ebenfalls die Bodentemperatur sein um Verzerrungen zu vermeiden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde jeweils die Temperaturdifferenz zwischen Innentemperatur und Temperatur unterhalb der Bodenplatte angesetzt. Der Vergleich der Berechnung nach DIN 4108-6 und mit PHI ist in Tabelle 9 aufgeführt. Die Berechnung nach PHI ergibt bei $\Psi_{xy,yz}$ einen um etwa 70% kleineren Wert als bei der Berechnung nach DIN. Da L^0 und $L_{x,z}^{2D}$ für die Rechnung nach PHI und DIN identisch ist, wird klar, dass die Abweichung allein durch die Differenz bei $L_{x,y}^{2D}$ verursacht wird. Die Abweichung von 70% ist jedoch deutlich zu groß. Ein Grund ist, dass die DIN bei Modellierung an der Kellerwand eine Temperatur von 2°C anlegt während im PHI die Temperatur im Mittel ca. 4°C beträgt. Die χ -Werte sind negativ. Die Wärmeverluste werden somit bei einer reinen zweidimensionalen Betrachtung überschätzt. Die Differenz bei χ beträgt sehr große 85%. Hier wirkt sich ebenfalls der Temperaturunterschied zwischen PHI und DIN aus. Außerdem baut die Berechnung von χ auf der Berechnung von L^{2D} auf, womit sich ein Fortpflanzen der großen Unterschiede bei L^{2D} einstellt.

	DIN	PHI	Vgl. DIN zu PHI	
ΔT	10,5K	10K	0,5K	+5%
$L_{x,y}^{2D} = L_{y,z}^{2D}$	2,42	2,06	-0,35	-17%
$\psi_{x,y}^{2D} = \psi_{y,z}^{2D}$	0,85	0,50	-0,35	-70%
$L_{x,z}^{2D}$	0,962		0	0
$\psi_{x,z}^{2D}$	-0,056		0	0
L^{3D}	9,971	8,638	1,333	13,4%
χ	-3,15	-1,70	-1,45	-85%

Tabelle 9: Vergleich der Modellierung nach DIN mit PHI

5.2.3.6 Auswertung der Wärmebrücken am Objekt

Überblick über die ermittelten ψ -Werte der Wärmebrücken am Objekt. Die Abbildung der Wärmebrücken befindet sich im Anhang Abschnitt 2.2.

Nr.	Gebäudeteil	Bezeichnung	ψ
1	Bestand	Außenecke	0,034
2	Bestand	einbindende oberste Geschossdecke	0,093
3	Bestand	Traufdetail	0,067
4	Bestand	Bodenplatte - Kellerwand	0,500
5	Allgemein	Einbausituation Fenster/Türen	
6	Bestand	Anschluss Bestand/Anbau	0,035
7	Bestand	Anschluss an Zwischenbau	0,015
8	Anbau	einbindende oberste Geschossdecke	0,115
9	Anbau	Außenecke	-0,078
11	Anbau	Versatz	-0,045
12	Anbau	Traufdetail	-0,053
13	Anbau	Bodenplatte - Kellerwand	-0,021
15	Zw.-Bau	Attika	0,049
16	Zw.-Bau	Außenecke	-0,078
18	Zw.-Bau	Bodenplatte	-0,203
19	Turnhalle	Außenecke	-0,078
21	Turnhalle	Bodenplatte	0,057
22	Turnhalle	Anschluss Dach/Außenwand	0,000
23	Turnhalle	Brüstung Oberlicht	0,200
25	Turnhalle	Einbausituation Oberlicht	0,100
20	Turnhalle	Anschluss an Zwischenbau	0,034

 Tabelle 10: ψ -Werte der Wärmebrücken am Objekt

Die größten Verlustkoeffizienten entstehen an Stellen, an denen eine durchgehende Dämmschicht nicht realisiert werden kann. Die Wärmebrücke mit den größten Verlusten befindet sich am Fundament des Bestandsgebäudes. Ein ψ -Wert von 0,50W/K bedeutet, dass der Wärmeverlust je laufenden m Wärmebrücke dem Wärmeverlust von 4m² Kelleraußenwand entspricht.

Ziel der Wärmebrückenberechnung ist die Ermittlung der in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Wärmebrückenzuschläge ΔU . Der ΔU -Wert wurde für die einzelnen Zonen getrennt ermittelt (detaillierte Aufschlüsselung siehe Anhang Abschnitt 2.3.2). In Zone 1 wird deutlich, dass trotz der sehr langen und äußerst schlechten Wärmebrücke Bodenplatte-Kellerwand der Wärmebrückenzuschlag noch 50% unter dem kleinstem möglich pauschalen Zuschlag von $0,05\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegt. Die Einbausituation der Fenster, welche in der Praxis oft vernachlässigt wird, hat in den übrigen Zonen einen großen Anteil an $\sum\Psi$. Die dreidimensionale Wärmebrücke verringert $\sum\Psi$ geringfügig. Bei Betrachtung einer größeren Anzahl kann der Einfluss auf den Wärmebrückenzuschlag deutlich größer sein. Nach DIN 4108-6 (siehe Anhang Absatz 2) müssten diese 3D-Wärmebrücken nicht berücksichtigt werden, dies soll aber in der DIN V 18599 umgesetzt werden. Der durchschnittliche Wärmebrückenzuschlag von $0,011\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ist als sehr gut zu werten und deutlich unter dem kleinsten möglichen pauschalen Zuschlag von $0,05\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Möglich wird dies durch die sehr großen wärmebrückenfreien Flächen (oberste Geschossdecken, Dach Turnhalle, Bodenplatte).

Zone	A_H	$\sum\Psi$	ΔU
1	1632,6	41,5	0,024
2	283,52	2,15	0,008
3	805,9	22,94	0,012
4	136,58	3,14	0,023
5	188,51	1,97	0,010
6	812,53	-0,91	-0,001
7	829,03	-11,03	-0,013
8	539,45	-1,31	-0,002
9	459,36	10,71	0,023
10	3272,93	27,08	0,008
11	65	-0,29	-0,004
Σ	9025,41	95,96	0,011

 Tabelle 11: ΔU Werte der einzelnen Zonen

Der gewichtete Ψ -Wert aller betrachteten Wärmebrücken (ohne Einbausituation der Fenster) liegt bei $0,052\text{ W}/\text{m}$. Damit wird das Kriterium des wärmebrückenfreien Konstruierens nicht erreicht. Grund ist der große Ψ -Wert der Wärmebrücke Kellerfundament/Kellerwand am Bestandsgebäude und die Einbausituation der Fenster. Da diese Wärmebrücken eine große Länge aufweisen, konnte dies durch die anderen Wärmebrücken nicht kompensiert werden.

5.2.4 Verbesserung der Fenster

Die Fenster in Variante 1 haben einen U-Wert von $1,5\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Der U-Wert der übrigen Konstruktionen beträgt im Mittel etwa $0,35\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Transmissionsverluste durch die Fenster sind etwa 4-mal so groß verglichen mit den anderen Bauteilen (in der ENEV Variante). Der Wärmeverlust der durch 1m^2 Fensterfläche, entspricht somit dem Wärmeverlust von ca. 4m^2 Wandfläche. Da dies der Zielstellung des Passivhauses entgegensteht, müssen die Verluste durch die Fenster ebenfalls

minimiert werden. Im Rahmen der Annäherung an den Passivhausstandard werden alle bestehenden Fenster mit durch Fenster mit einem U-Wert für das Gesamtfenster von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ersetzt.

5.2.5 Verbesserung der Luftdichtheit

Die Luftdichtheit darf mit der Winddichtheit nicht verwechselt werden. Die Winddichtheit verhindert Luftbewegungen innerhalb von Bauteilen und sichert somit die Wirksamkeit von Dämmschichten [32 S. 9]. Die Winddichtheit wird in der Regel außen, die Luftdichtheit an der Innenseite von Bauteilen sichergestellt. Durch Verbesserung der Luftdichtheit werden die Infiltrationsverluste vermindert. Diese zufälligen Verluste entstehen durch Undichtigkeiten in Gebäudefugen, Anschlüssen bei Türen und Fenster oder Mediendurchführungen. Der Einsatz der Lüftungsanlage bedingt eine sehr dichte Gebäudehülle. Da die durch Undichtigkeiten einströmende Luft die Wärmerückgewinnung nicht passiert und somit eine Wärmerückgewinnung unmöglich macht. Außerdem können Undichtigkeiten die gewollte Überströmung zunichte machen. Wenn sich in der Ansaugzone, angenommen WC, eine größere Undichtigkeit befindet, wird durch den herrschenden Unterdruck die Luft durch die Undichtigkeit angesaugt. Die Druckdifferenz zu den Aufenthaltsräumen (z.B. Unterrichtsräume) sinkt und der hygienische Luftwechsel und die Abführung von Schadstoffen nimmt ab oder muss durch unnötige Mehrleistung wieder herbeigeführt werden. Weiterhin würden Leckagen im Passivhaus, durch die meist nichtvorhandenen Heizkörper an den Außenwänden, zu störenden Zuglufterscheinungen führen. Die Luftdichtigkeit muss mit dem Blower-Door Test nachgewiesen werden. Die zu erreichende Zielgröße liegt beim Passivhaus bei $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. Dieser Wert entspricht ca. einer 1 mm breiten und 6 mm langen Leckage je m^2 Bauteilfläche [33 S. 17].

Erreicht wird die luftdichte Hülle durch Umsetzung folgender 3 Prinzipien [32]:

1. Die Dichtungsebene der Hülle muss im Plan mit einem Stift rund um das Gebäude abgefahren werden können, ohne ein einziges mal abzusetzen – bis auf evtl. bewusst projektierte Lüftungsöffnungen.
2. Es muss eine durchgehende Dichtebene geben. Undichtigkeiten können NICHT durch eine weitere Dichtebene an vor- oder nachgelagerter Stelle behoben werden.
3. Es ist sinnvoll, die dichtende Hülle raumseitig von der dämmenden Hülle anzubringen.

Am Objekt ist die lückenlose Umsetzung der Luftdichtheithülle problemlos möglich, da der gesamte Komplex in Massivbauart errichtet wird und alle Flächen verputzt werden. Folgende Stellen bereiten die größten Probleme:

- Fenster, Türen, Bodentreppen
- Mediendurchführungen (Heizungsrohre, Elektrokabel, Lüftungskanäle)

Die heutigen Fenster besitzen häufig mehrere Dichtungsebenen. Für die Luftdichtheit ist die innenliegende Dichtung entscheidend. Sie verhindert das Eindringen von feuchter Luft in die Dämmebene, in der es unter Umständen zu Kondensation kommen kann. In der Praxis hat sich gezeigt, dass dem Nachstellen von Fenstern und besonders Haustüren ein großer Stellenwert bei der Luftdichtheit zukommt. Nur bei ordnungsgemäß eingestellten Türen und Fenstern ist die Dichtung im Rahmen voll wirksam [32 S. 64].

5.3 Lüftungssystem mit hocheffizienter WRG

Für ein Passivhaus ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung unumgänglich. Ohne die Wärmerückgewinnung wäre ein Heizbedarf von $\leq 15 \text{ kW}/(\text{m}^2\text{a})$ nicht zu erreichen, da die Wärme welche durch Fensterlüftung verloren geht nicht zurückgewonnen werden kann. Lüftung ist notwendig um die Schadstoffe

und verbrauchte Luft aus den Räumen abzuführen. Die Lüftung trägt weiterhin dazu bei, dass die Luftfeuchtigkeit nicht zu stark zunimmt und es zu Schimmelproblemen kommt. Für ein Passivhaus wird ein Wärmerück-

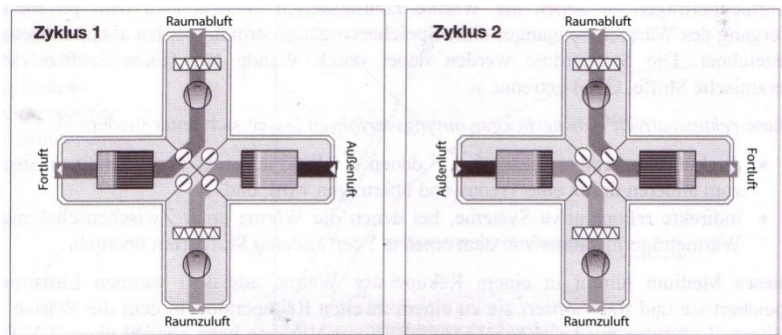


Abbildung 31: Wärmerückgewinnung mit Wechselspeicher

gewinnungsgrad von mindestens 80% angestrebt. Erreicht werden diese hohen Wärmerückgewinnungsgrade nur von Geräten mit Wechselspeicher[34]. Der Wechselspeicher wird in Zyklus 1 durch die warme Raumabluft „aufgeladen“. In Zyklus 2 wird der geladene Speicher durch die Außenluft welche den Speicher passiert wieder entladen (siehe Abbildung 31). Die Konstruktion gibt es, wie abgebildet, mit einer Klappenkonstruktion oder aber auch mit einer rotierenden Speichermasse.

5.3.1 Einfluss der Effizienz der Ventilatoren

Kostenbetrachtung:

■ Ventilator-Anteil

■ Übrige Komponenten

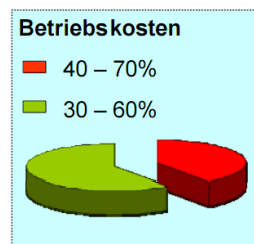


Abbildung 32: Einfluss der Ventilatoreffizienz auf die Wirtschaftlichkeit [45]

Entscheidenden Einfluss auf den Hilfsenergiebedarf der Lüftungsanlage hat die Effizienz der eingesetzten Ventilatoren. Eine Sensibilitätsanalyse ergab bei einer Erhöhung der Effizienz von 60% (Standardwert der DIN V 18599) auf 75% eine Reduktion des Hilfsenergiebedarfes von $11,02 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ auf $8,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Dies entspricht einer Differenz von -20%. Technisch möglich sind Effizienzen von bis zu 85% [35]. In der Abbildung 32 wird die enorme Wichtigkeit effizienter Ventilatoren deutlich. Mit 3% der Investitionssumme der gesamten Lüftungsanlage werden 40-70%

der Folgekosten beeinflusst. In der vorliegenden Variante wurde mit einer Effizienz von 75% gerechnet.

5.3.2 Einfluss der Lüftungskanäle auf den Energieverbrauch

Im Rahmen dieser Arbeit wurden lediglich die erforderlichen Lüftungsströme der einzelnen Zonen bei der Auslegung der Lüftungsanlage ermittelt. Bei den Verlusten infolge Druckverlust, welche durch zum Beispiel durch die Lüftungskanäle und Filter entstehen, wurde auf die Standardwerte der DIN zurückgegriffen. Bei Dimensionierung einer Lüftungsanlage sind die entstehenden Betriebskosten unter anderem von den Druckverlusten in den Kanälen abhängig. Die Druckverluste sind wiederum von den Strömungsgeschwindigkeiten in den Kanälen abhängig. Die Abhängigkeit der einzelnen Größen untereinander ist in den folgenden Gleichungen zu erkennen:

$$v = \frac{q_v}{A_c}$$

$$q_v = A_c \times v$$

$$\Delta p \approx q_v^2$$

$$P \approx q_v^3$$

q_v ... Förderstrom
 v ... Luftgeschwindigkeit
 A_c ... Leitungsquerschnitt
 Δp ... Druckverlust
 P ... Anschlussleistung

Damit wird deutlich, dass eine Verdopplung des Querschnittes der Lüftungsleitungen, zu halbierten Strömungsgeschwindigkeiten führt. Dies hat Einflüsse auf den Schallschutz. Im Rahmen der Energieeffizienzbetrachtung ist der Einfluss der Förderströme auf die Anschlussleistung der Ventilatoren viel bedeutender. Da der Förderstrom in der 3. Potenz in die Anschlussleistung eingeht, führt eine Halbierung der Förderströme zu einer um 87% geringeren Anschlussleistung (und somit Energiebedarf) für die Luftförderung. Dies sollte bei Auslegung der Lüftungsanlage unbedingt beachtet werden.

5.4 Ergebnis

Die Anwendung von Passivhauskomponenten am bestehenden Entwurf ergibt eine Senkung des Primärenergiebedarfs von 215 auf 150 kWh/m²a. Dies entspricht einer Senkung um ca. 30%. Erreicht wurde dies durch eine Verbesserung der thermischen Hülle sowie Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im gesamten Objekt.

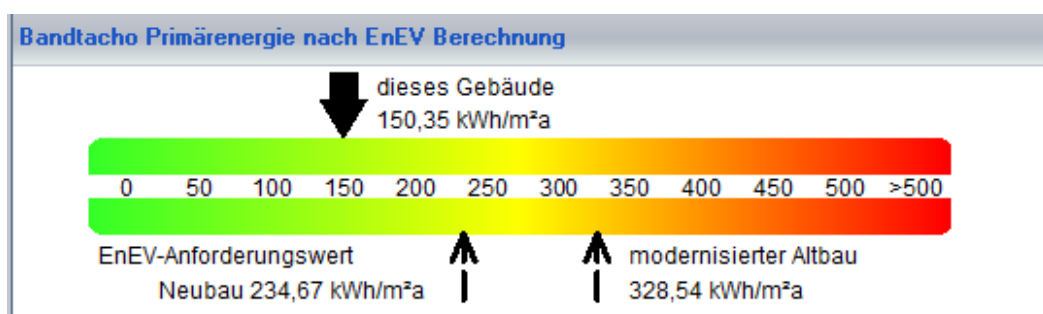


Abbildung 33: Bandtacho der Primärenergieanforderungen lt. ENEV – Variante 2

Der Passivhausstandard wird nicht erreicht. Mit 150 kWh/(m²a) Primärenergiebedarf liegt man noch weit von der Forderung von 120 kWh/(m²a) Primärenergie entfernt. Wobei berücksichtigt werden muss, dass die Forderung von 120kWh/(m²a) alle Energiemengen, berücksichtigt welche im Gebäude anfallen (also auch z.B. für PC-Technik). In der DIN V18599 werden diese Energiemengen nicht berücksichtigt. Um den Passivhausstandard zu erfüllen, müsste man im Ergebnis der DIN V18599-Berechnung deutlich unter die 120kWh/(m²a), da davon auszugehen ist, dass der Haushaltsstrom i.d.R. dem Strommix Deutschland entspricht und somit jede

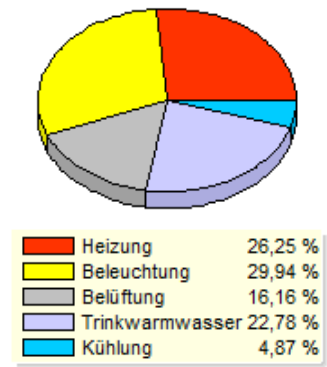


Abbildung 34: Zusammensetzung des Primärenergiebedarfs

verbrauchte kWh Haushaltsstrom mit dem Primärenergiefaktor von 2,7 gewichtet wird. Der Energiebedarf für Beleuchtung hat bei der Primärenergie einen Anteil von ca. 30%. Hier ist sicher Optimierungspotenzial vorhanden. Am Energiebedarf und Energiebedarf für Warmwasser wurden im Rahmen dieser Arbeit keine Optimierung vorgenommen. Da der absolute Heizenergiebedarf deutlich gesunken ist, der Energiebedarf für Beleuchtung und Warmwasser aber unverändert geblieben ist, haben Beleuchtung und Warmwasser nun einen entsprechend großen Anteil. Gegenüber Variante 1 wurde der Endenergiebedarf für Heizung von 81,4kWh/(m²a) auf 29kWh/(m²a) erreicht. Dies entspricht einer Reduzierung von über 60%. Gleichzeitig stieg der Bedarf Endenergiebedarf für Lüftung von 5,1 auf 8,9kWh/(m²a). Diese Steigerung würde deutlich größer sein, wären in Variante 2 die effizienteren Ventilatoren nicht berücksichtigt. Der Endenergiebedarf für Beleuchtung steigt leicht von 15,9 auf 16,4kWh/(m²a). Die 3-fach Verglasung hat in den Berechnungsansätzen der DIN einen geringeren g-Wert¹⁰ (0,65 für die Zweifach-Verglasung der Variante 1 und 0,5 für die Dreifachverglasung in Variante 2), was zu leicht erhöhten Energieaufwendungen für Beleuchtung führt. Erstaunlich ist auch der hohe Anteil des Warmwasserbedarfs. Primärenergetisch beträgt der Anteil der Durchlauferhitzer im Unterrichtsgebäude am gesamten Trinkwasserenergiebedarf fast 20%. Durchlauferhitzer werden mit Strom betrieben, was sich primärenergetisch sehr nachteilig auswirkt. Der Anteil der Durchlauferhitzer am Gesamtprimärenergiebedarf der Mittelschule beträgt in etwa 5%. Um Optimierungsmöglichkeiten zu suchen, ist es notwendig die Bereiche zu finden in denen der Energiebedarf überdurchschnittlich ist.

¹⁰ g-Wert: Ist ein Maß der Durchlässigkeit für Strahlungsenergie

5.4.1 Auswertung

Zone	Nutzenergie					Endenergie					Primärenergie				
	Heizung	Beleuchtung	Lüftung	Trinkwasser	Kühlung	Heizung	Beleuchtung	Lüftung	Trinkwasser	Kühlung	Heizung	Beleuchtung	Lüftung	Trinkwasser	Kühlung
1	12	12	-	-	-	12	12	11	-	-	17	37	34	-	-
2	-	14	-	-	299	-	14	10	-	78	-	41	29	-	233
3	9	8	-	5	-	13	8	-	-	-	17	23	-	-	-
4	38	2	-	-	-	38	2	20	126	-	51	6	59	378	-
5	11	21	-	-	-	12	21	6	-	-	17	63	19	-	-
6	18	14	-	-	-	22	14	2	-	-	29	41	7	-	-
7	36	1	-	-	-	41	1	-	-	-	56	3	-	-	-
8	38	6	-	282	-	44	6	25	304	-	59	19	76	649	-
9	87	4	-	150	-	97	4	17	-	-	130	13	52	-	-
10	60	37	-	-	-	69	37	10	-	-	91	112	30	-	-
11	-	6	-	-	-	-	6	-	-	-	-	18	-	-	-

Tabelle 12: Energiekennwerte der Zonen [in kWh/(m²a)] - Variante 2

Berücksichtigt werden muss, dass der Heizenergiebedarf des Passivhauses von 15kWh/m² für den jeweiligen Standort gilt die DIN V 18599 aber von einem Referenzklima ausgeht! Der tatsächliche Wert wird daher größer sein. In Tabelle 12 wird deutlich, dass nur die Zonen 1, 2, 3 und 5 die Anforderungen an den Heizbedarf des Passivhausstandards erfüllen. Möglich wird dies durch die geringe jährliche Nutzungszeit von 200 Tagen. Zone 5 (Büroräume) hat eine im Vergleich zu den anderen Zonen kleine Außenfläche, was sich günstig auf den Transmissionsverlust auswirkt. Die Zonen im Zwischenbau und die Turnhalle liegen jedoch beim Heizbedarf weit von der Forderung 15kWh/(m²a) entfernt. Der Zwischenbau verfügt über eine geringere Kompaktheit und damit über große Wärmeübertragungsflächen. Die Turnhalle besitzt ein großes zu beheizendes Luftvolumen und große Wärmeübertragungsflächen. Der Bezug des Heizwärmebedarfs auf die Grundfläche ergibt dann natürlich entsprechend große Werte. Weiterhin verfügt die Turnhalle über eine große Fensterfläche, was sich wahrscheinlich ebenfalls negativ auswirkt. Gleiches gilt für die Zone 9 (Speiseraum/Küche). Durch die geringe Kompaktheit und die großen Glasflächen ergibt sich hier der größte flächenbezogene Heizwärmebedarf und dies trotz der geringen Nutzungszeit.

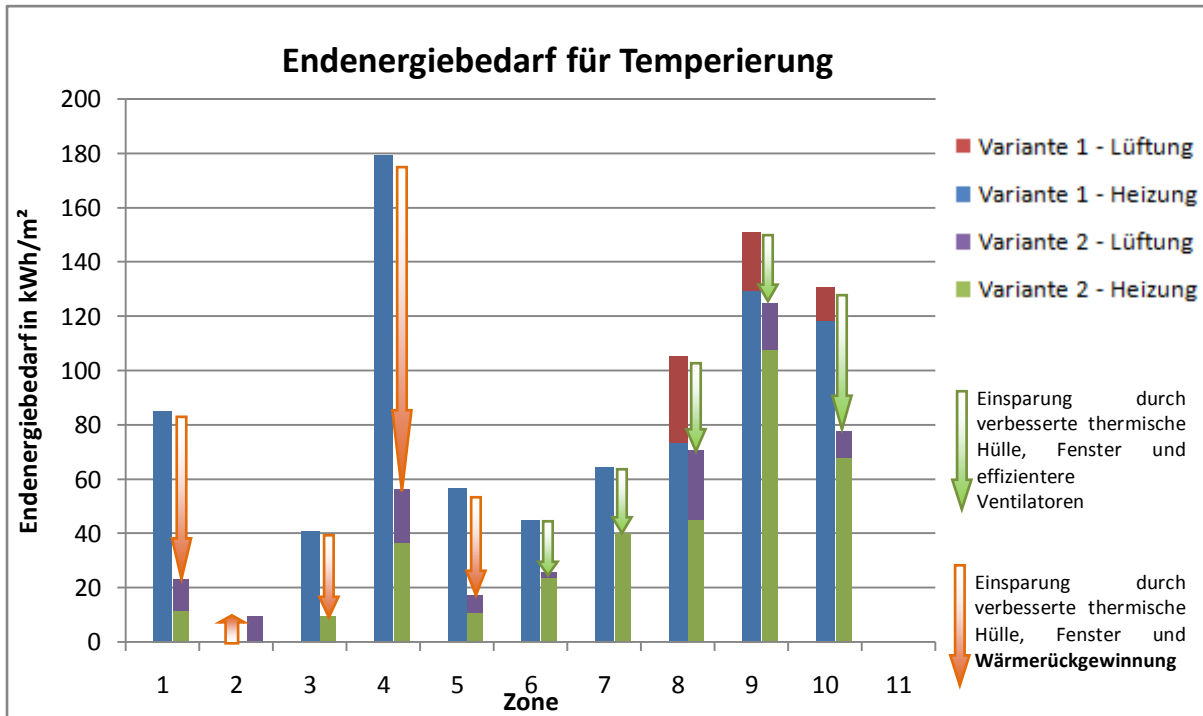


Abbildung 35: Endenergiebedarf im Vergleich

Der große Einfluss der Wärmerückgewinnung ist in Abbildung 35 ersichtlich. In den Zonen 6 bis 10 (Turnhalle und Nebenräume) ist bereits eine Wärmerückgewinnung installiert. Der erzielte Einsparungseffekt wurde durch effizientere Ventilatoren, die größeren Dämmdicken beim Wärmedämmverbundsystem und die verbesserten Fenster erreicht. Die Endenergieeinsparungen sind in den Zonen 1 bis 5 (Unterrichtsgebäude) durch die zusätzliche Wärmerückgewinnungsanlage ungleich höher.

In Abbildung 36 kann man erkennen, dass die Einsparungen primärenergetisch nicht mehr ganz an das Verhältnis der Endenergieeinsparung herankommt. Grund sind die Primärenergiefaktoren.

Während die Endenergie für Heizung nur mit einem Faktor von 1,3 bewertet wird, besitzt die Hilfsenergie für Lüftung den Faktor 2,7 (Stromix Deutschland). Damit entspricht 1kWh Strom in etwa 2kWh Heizenergie¹¹. Dies bedeutet,

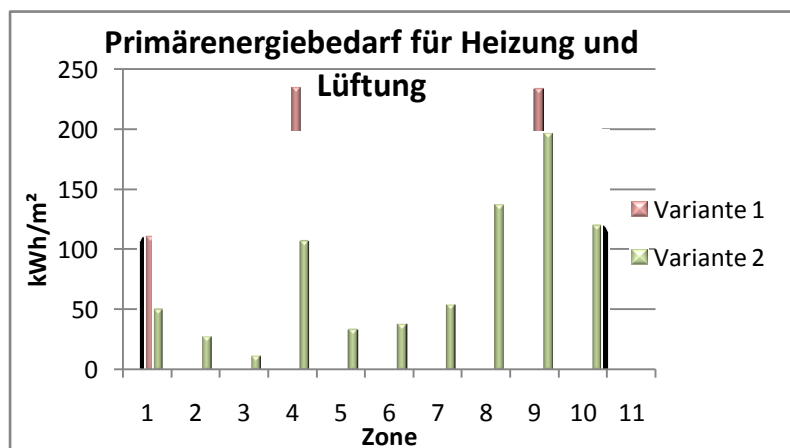


Abbildung 36: Primärenergiebedarf der Varianten

jeder kWh Hilfsenergie mindestens 2kWh Heizenergie eingespart werden.

¹¹ Gilt für Fernwärmesysteme, wie sie in der Mittelschule Sayda eingesetzt werden

5.5 Untersuchung ausgewählter Verbesserungsmaßnahmen

5.5.1 Reduzierung der Fensterflächen der Turnhalle

Die Fensterflächen der Turnhalle werden folgendermaßen reduziert:

- die Fenster auf der Ost- und Westseite werden komplett entfernt
- auf der Nord- und Südseite wird die Fensteranzahl von 8 auf 6 reduziert
- die Fläche des Dachoberlichts wird um 1/3 verringert

Die Umsetzung dieser Maßnahmen bringt eine Endenergieeinsparung von rund $3\text{kW}/(\text{m}^2\text{a})$ und entspricht damit einer Einsparung in Höhe von 4,5%. Der Endenergiebedarf für Beleuchtung sinkt ebenfalls um $3\text{kW}/(\text{m}^2\text{a})$. Diese Einsparung für den Beleuchtungsenergiebedarf ist unerklärlich und ist wahrscheinlich auf einen Rechenfehler des Programms es zurückzuführen.

5.5.2 Reduzierung der Fensterflächen im Speiseraum

Der Speiseraum in Zone 9 verfügt über sehr große Nord- bzw. Ost orientierte Fensterflächen. Die Fensterflächen verfügen außerdem über eine große Verschattung (siehe Anhang 1.4). Insgesamt ist sollte dies zu sehr hohen Transmissionsverlusten führen, da den Fenstern mit vergleichsweise hohen U-Werten durch die Nord- bzw. Ostorientierung und Verschattung weiterhin sehr geringe solare Gewinne gegenüberstehen.

Die raumhohen Glasfenster des Speiseraumes werden auf eine Höhe von 1,5m reduziert. Die Länge der Fenster bleibt gleich. Dadurch reduziert sich die Fensterfläche von 62m^2 auf $28,5\text{m}^2$. Diese Maßnahme bringt eine Reduzierung des Endenergiebedarfes für Heizung von annähernd $2\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, was ca. 1,8% entspricht. Der Endenergiebedarf für Beleuchtung steigt von 5,3 auf $6,5\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Damit wird deutlich, dass die Endenergieeinsparung mit $0,8\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ marginal ist. Wenn man berücksichtigt, dass Strom in der Regel deutlich teurer ist als Heizenergie führt dies zu keiner oder geringen Kosteneinsparungen im Betrieb. Einzig die deutlich geringere Investition durch die reduzierte Fensterfläche könnte einen Anreiz bieten. Primärenergetisch ist diese Maßnahme unvorteilhaft, da die Endenergie für Heizung mit einem Endenergiefaktor von 1,3 und die Endenergie für Beleuchtung mit einem Endenergiefaktor von 2,7 beaufschlagt wird. Dies führt dazu, dass der Primärenergiebedarf in der Zone trotz Endenergieeinsparung um $1\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ansteigt.

Der Grund für die geringe Einsparung ist wiederum auf die hohen Luftwechselraten zurückzuführen. Da die Küche 9 außerdem über eine Abluftanlage ohne WRG verfügt ist der Heizenergiebedarf ohnehin hoch. Mit steigenden Luftwechselraten sinkt der Einfluss des Transmissionsverlustes.

In den durchgeführten Versuchen den Energiebedarf durch Verringerung der Fensterflächen zu senken wurde deutlich, dass eine Reduzierung der Fensterflächen keinen großen Einfluss auf den Energiebedarf hat. Die Wärmeverluste am Objekt werden durch die Luftwechselraten dominiert. Eine weitere Erklärung ist in Abbildung 37 zu finden. Der äquivalente U-Wert¹² von Passivhausfenstern liegt für in Nordorientierung bei $0,23\text{W/m}^2\text{K}$ und damit nicht sehr weit von den U-Werten der Wandkonstruktionen entfernt. In den übrigen Orientierungen „ernten“ die Passivhausfenster mehr Energie als sie durch Transmission abgeben. Leider ist diese geerntet Energie nicht vollständig nutzbar. Im Sommer, wenn die solaren Erträge besonders groß sind, sind die Erträge eher unerwünscht. Im Winter wenn die solaren Erträge erwünscht sind, fallen diese geringer aus. Aus diesem Grund führte die Verringerung der Fensterflächen in der Turnhalle zu einer spürbaren Senkung des Energiebedarfes.

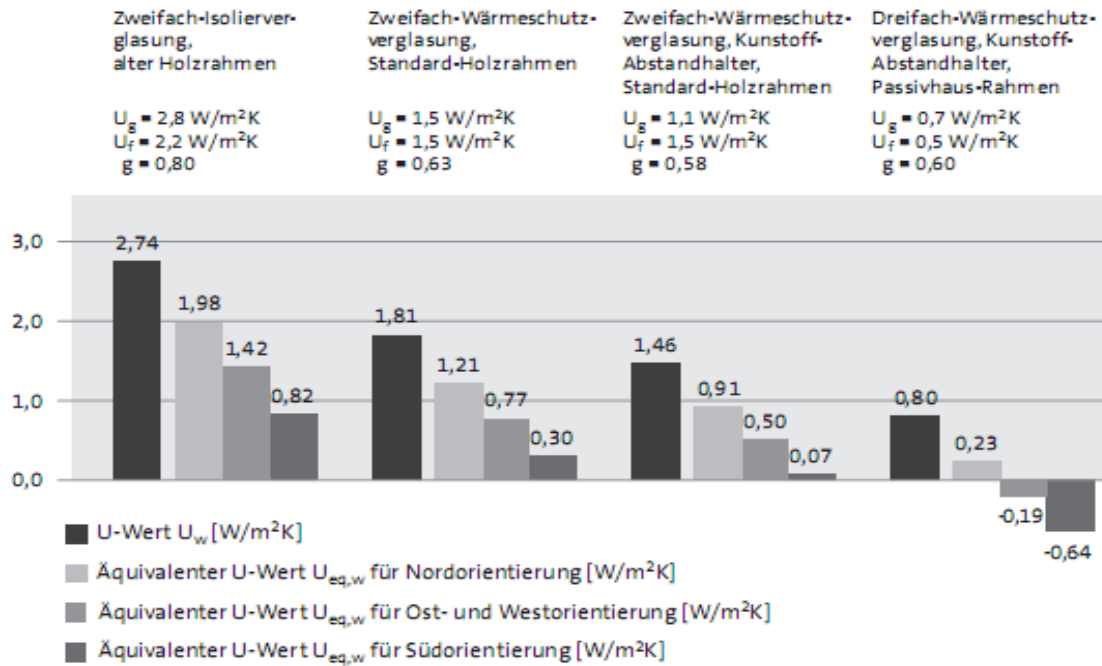


Abbildung 37: Äquivalente U-Werte in Abhängigkeit von Verglasung und Rahmenkonstruktion [47]

¹² Wärmegewinne infolge solarer Gewinne abzüglich der Transmissionsverluste

6. Wirtschaftlichkeit der Passivhausvariante

Gegenstand dieses Abschnittes ist das Finden einer geeigneten Methode zur ökonomischen Bewertung einer Realisierung des Objektes in Passivhausbauweise.

6.1 Methode

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit mit statischen Methoden (keine Berücksichtigung der Zinsen, Preissteigerungen) ist nicht zweckmäßig. Da die Investitionen in die Gebäudehülle ein sehr langfristiges Investment ist, sollte dieses mit einem dynamischen Verfahren betrachtet werden. Folgende Verfahren stehen zur Verfügung:

Interner Zinsfuß

Der interne Zinsfuß ist der Zins, an dem der Kapitalwert im Betrachtungszeitraum gleich null ist. Ist der Zinsfuß größer als der Kalkulationszins ist die Investition absolut wirtschaftlich. Da die Schule keine Investition in diesem Sinne ist, wird diese Methode vernachlässigt.

Annuitätenmethode

In der Annuitätenmethode wird zu einem vorgegeben Kapitalwert ein wertäquivalenter Geldstrom gleichbleibender Zahlungen zugeordnet. Auch diese Methode ist für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Schule ungeeignet.

Kapital- und Barwertmethode

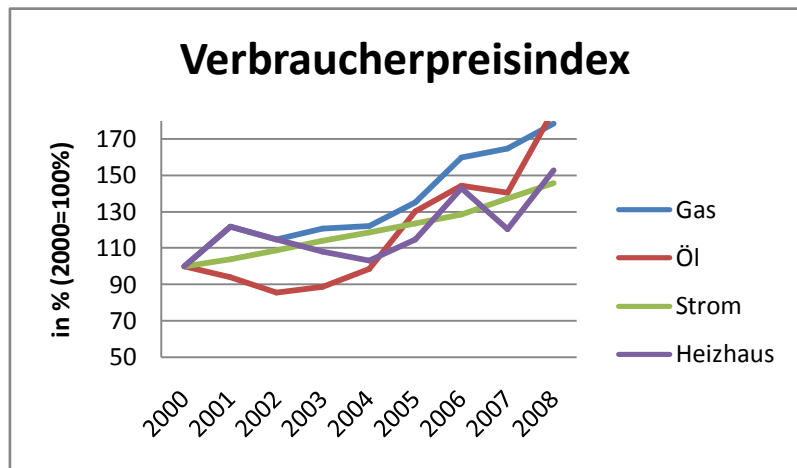
Der Barwert ist eine auf den Zeitpunkt der Investition ($t=0$) abgezinster Geldstrom (Einnahme oder Ausgabe). Die Summe aller Barwert entspricht dem Kapitalwert. Ein positiver Kapitalwert entspricht einer wirtschaftlichen Investition. Diese Methode wird im Rahmen dieser Arbeit angewendet. Ziel der nachfolgenden Betrachtungen sind zusätzliche Einsparungen gegenüber der bestehenden Variante. Für diese Betrachtung ist ein negativer Kapitalwert (zusätzliche Einsparung) erstrebenswert.

Dynamische Amortisationsrechnung

Bei der dynamischen Amortisation wird mit der Kapitalwertmethode der Zeitpunkt gesucht, an dem der Kapitalwert null wird. Zu diesem Zeitpunkt hat sich die Investition gerechnet, und ist ab diesem Zeitpunkt lohnenswert. Für eine wirtschaftliche Investition muss der Amortisationszeitpunkt zeitlich vor der Lebensdauer liegen. Das Ergebnis dieser Methode ist ein Nebenprodukt der Kapital- und Barwertmethode.

6.2 Energiepreis und Energiepreisentwicklung

Um die Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen zu bewerten, ist es wichtig die zukünftigen Energiepreisentwicklungen abzuschätzen. Eine Auswertung der Verbraucherpreise für Öl, Gas und Strom des statistischen Bundesamtes [6] der letzten 8



Jahre ergab eine durchschnittliche Preissteigerung zwischen 6,7 und 7,1% pro Jahr, wobei die Preissteigerungen in den letzten Jahren deutlich größer waren.

6.3 Szenariobildung

Die Berechnung zur Wirtschaftlichkeit wird für 3 Szenarien durchgeführt. Das optimistischste Szenario geht von einer jährlichen Energiepreissteigerung von 4% aus. Das, meiner Meinung nach, realistischere Szenario geht von einer jährlichen Energiepreissteigerung von 6% aus. In der pessimistischen Variante wird mit einem jährlichen Anstieg von 8% gerechnet.

Der Energiepreisanstieg hat einen enormen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Leider ist es nahezu unmöglich eine richtige Annahme zu finden. Ging man vor 5 Jahren noch davon aus, dass ein Ölpreis von 100\$ je Barrel ausgeschlossen ist, weil ab 70\$ auch die regenerativen Energien wirtschaftlich sind, wurde dieser Preis Anfang 2008 überschritten. Generell muss davon ausgegangen werden, dass die Energiepreise nicht ewig steigen, weil irgendwann andere Lösungen wirtschaftlich werden lassen. Die Nachfrage nach Öl wird sinken und der Ölpreis wird sich zumindest stabilisieren. Wo diese Grenze ist, lässt sich nicht bestimmen.

6.4 Wirtschaftlichkeit

Allgemein ist die Wirtschaftlichkeit ein Maß für die Effizienz mit der durch einen gewissen Aufwand ein bestimmter Ertrag erreicht wird. Wird das ganze auf die monetäre Ebene reduziert spricht man von Rentabilität.

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Aufwand}}$$

$$\text{Rentabilität} = \left(\frac{\text{Gewinn}}{\text{Kosten}} - 1 \right) \times 100\%$$

Um die Wirtschaftlichkeit zu bewerten ist es notwendig, die am Objekt über die ENEC-Anforderungen hinausgehenden Anstrengungen zu bewerten. Prinzipiell ist jede Anstrengung welche zu einer Verringerung im Energieverbrauch führt zu begrüßen, jedoch lässt sich nicht jede Maßnahme wirtschaftlich umsetzen. Besonders schwierig wird dies, wenn man sich auf schon auf einem energetisch hochwertigen Niveau wie z.B. dem ENEC-Niveau befindet. Die Investitionen zur Erreichung von Energieeinsparungen verhalten sich ähnlich der aus der Volkswirtschaft bekannten Nutzenfunktion. Mit jeder zusätzlichen Investition sinkt die absolute eingesparte Menge an Energie. Am Beispiel einer Wärmedämmung (siehe Abbildung 39, Zahlen willkürlich gewählt) lässt sich dieser Effekt sehr anschaulich darstellen. Wenn man annimmt, dass die Kosten für 6cm Dämmung in etwa dem Aufpreis von 6 cm auf 12 cm (bzw. 12 auf 18cm) entsprechen, wird deutlich das man mit den ersten 6cm deutlich mehr (ca. 45%) als mit den weiteren 6cm (ca. 25%) einspart. Eine Erhöhung von 12cm auf 18cm bringt eine Einsparung von ca. 15%. Das bedeutet bei gleichbleibender Investitionshöhe nimmt die Wirtschaftlichkeit immer mehr ab. Der aus der Volkswirtschaft bekannte Grenznutzen (Nutzen = 0) ist dann erreicht, wenn im Beispiel die Investition in die zusätzliche Dämmmaßnahme im Bewertungszeitraum der monetär bewertete Einsparung entspricht.

Wenn der Grenznutzen erreicht ist, ist für den Betrachtungszeitraum die wirtschaftliche Grenze erreicht (siehe Abbildung 38). Jede weitere Steigerung der Investitionen in die betrachtete Maßnahme würde sich in einer Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit darstellen.

Um nachzuweisen ob die Annäherung an den Passivhausstandard wirtschaftlich ist oder nicht, ist es zweckmäßig nur die zusätzlichen Einsparungen mit den dabei entstehenden zusätzlichen Kosten zu bewerten.

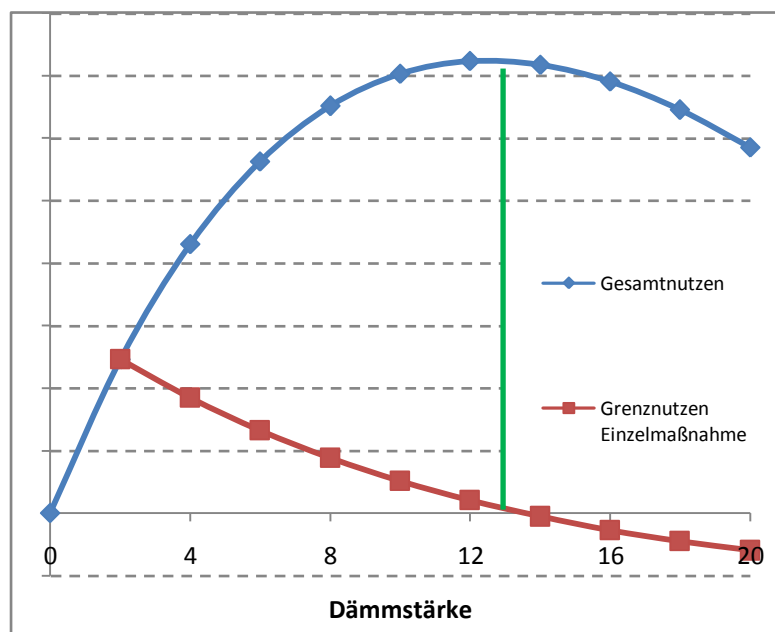


Abbildung 38: Gesamt- und Grenznutzen am Beispiel Außendämmung

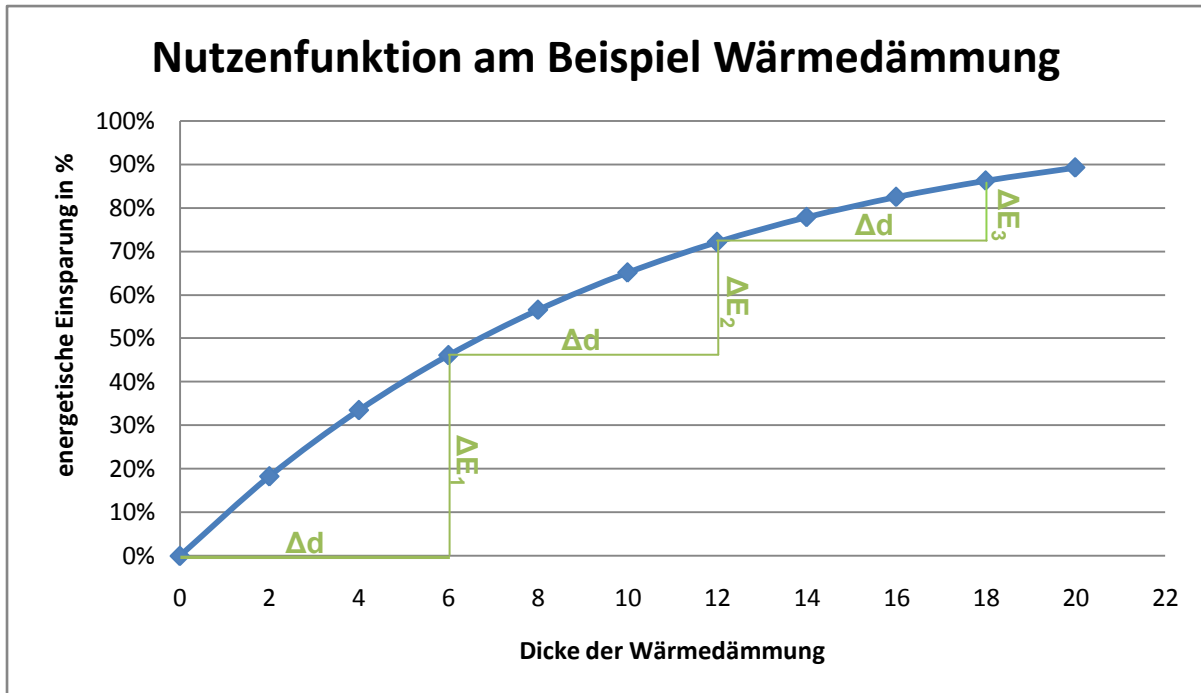


Abbildung 39: Nutzenfunktion am Beispiel Wärmedämmung

6.5 Betrachtungszeitraum

Neben den Zinssätzen hat auch der Betrachtungszeitraum einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Als Betrachtungszeitraum für die Schule wird 30 Jahre gewählt. Da nur die Differenzkosten betrachtet werden, wird angenommen, dass die Instandhaltungskosten bzw. Reparaturkosten für die Gebäudehülle nicht von den Kosten für den ENEC-Standard abweichen.

6.6 Berechnung der Betriebskostendifferenz

Die Mittelschule verfügt über ein Fernwärmenetz. Der zu zahlende Betrag setzt sich aus Grundpreis und Arbeitspreis zusammen. Der Arbeitspreis ist für die abgenommene Wärmemenge zu zahlen. Der Grundpreis ist für die Bereitstellung der Anschlussleistung zu zahlen. Der Grundpreis umfasst die Fixkosten des Fernwärmenetzes wie Instandhaltung und Arbeitskräfte.

6.6.1 Differenz des Grundpreises

Da sich durch eine Passivhausvariante die Fixkosten des Wärmenetzes nicht ändern werden, werden die Fixkosten mit einem neuen Schlüssel erneut verteilt werden. Aktuell verfügt das Fernwärmenetz über eine Anschlussleistung von 925kW, wobei die Mittelschule eine Anschlussleistung von 300kW hat. Die ENEC-Variante hat nach Angabe des HSL-Planungsbüros eine Anschlussleistung von 320kW. Die Berechnung mit dem Programm nach DIN V18599 ergab eine benötigte Anschlussleistung für die ENEC-Variante von 740kW! Der Anschlusswert für die Passivhausvariante beträgt laut DIN V 18599 410kW. Da die Abweichung der Berechnung des HSL-Büros zur Berechnung des Programmes in der ENEC-Variante erheblich ist, ist es kaum möglich die Anschlussleistung der Passivhausvariante zu

bewerten. Als Näherung im Rahmen dieser Arbeit nehme ich das Verhältnis der Berechnung des Programmes zu den Berechnungen des HSL-Büros und wähle einen Zuschlag, da der Anschlusswert keine reine Funktion des Energiebedarfes ist, sondern sehr stark von dem Energiebedarf abhängt welcher Auftritt wenn alle ungünstigsten Faktoren zusammen eintreten.

$$\text{Anschlusswert Variante 2} = 320\text{kW} \times \frac{410\text{kW}}{740\text{kW}} = 177\text{kW}$$

Für die Berechnungen wähle ich einen Anschlusswert von 200kW. Da im Heizwärmenetz die Anschlussleistung konstant bleibt und die gesamten zu verteilenden Fixkosten auch unberührt bleiben, wird dies zu einem steigenden Grundpreis je kW-Anschlussleistung für alle Abnehmer des Fernwärmenetzes führen. Die Berechnung befindet sich im Anhang im Abschnitt 4.2.4.

6.6.2 Differenz Arbeitspreis

Alle in den vorangegangenen Betrachtungen ermittelten Energiebedarfswerte wurden auf Grundlage des Referenzklima Deutschland berechnet. Da der Standort der Schule Sayda im Erzgebirge ist, werden die Abweichungen in den Energiebedarfswerten durch das kältere Klima nicht unerheblich sein. Um eine ordnungsgemäße Bewertung durchzuführen müssen die Energiebedarfswerte aus den Berechnungen nach DIN V 18599 an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden. Leider gibt es kaum geeignete Methoden um diese Anpassung zu berechnen. Weiterhin ist es kaum möglich die entsprechenden Klimadaten für den Standort Sayda zu besorgen. Im Rahmen dieser Arbeit werde ich die Bedarfswerte mit einem Verfahren in Anlehnung an die VDI 2067 berechnen. Die VDI 2067 macht es möglich, dass Verbrauchswerte der Vergangenheit auf das Referenzklima mit Hilfe von Gradzahltagen umgerechnet werden können. Damit ist es möglich Verbräuche von Gebäuden innerhalb Deutschlands zu vergleichen. Das Institut für Wohnen und Umwelt ermittelt regelmäßig die Gradzahltag aus den Wetterdaten der deutschen Wetterstationen. Aus diesen Daten wird ein langjähriges Mittel errechnet [36]. Das Referenzklima Deutschland gilt für den Standort Würzburg. Für den Standort Sayda wähle ich als Vergleichsklima den Standort Hof, da für Chemnitz oder naheliegende Städte keine Daten verfügbar sind. Die Klimadaten von Leipzig, Dresden oder Fichtelberg würden das Klima in Sayda nicht angemessen repräsentieren.

$$\text{Faktor} = \frac{\text{Langjähriges Mittel Gradtagzahl Hof}}{\text{Langjähriges Mittel Gradtagzahl Würzburg}} = \frac{4958}{3976} \cong 1,25$$

Damit müssen alle mit nach DIN V18599 errechneten Energiebedarfswerte für Heizung mit 1,25 multipliziert werden. Die Energiebedarfswerte für Lüftung und Beleuchtung bleiben von diesem Faktor unberücksichtigt, da diese nicht von der Außentemperatur abhängig sind. In der Realität hat der Standort natürlich auch Einfluss auf die benötigte Kühlenergie, denn wenn es im Gebirge kühler ist, wird auch weniger Energie für Kühlung benötigt. Der Einfluss des Standortes auf den Energie-

bedarf für Beleuchtung kann und wurde in dieser Arbeit bereits berücksichtigt (siehe Anhang Abschnitt 1.6).

6.6.3 Zusammenstellung Betriebskostendifferenz

Die hier betrachteten Betriebskosten entsprechen nur den Betriebskosten für Heizung und Lüftung. Beleuchtung und Warmwasser werden nicht berücksichtigt.

<u>Energiepreise</u>			
Preis Wärme	7,27	cent/kWh	
Preis Strom	18	cent/kWh	
Anpassung an Klima	1,25	Faktor	

Betriebskosten Variante 1

	Bedarf kWh/a	Anpassung Referenzklima	Kosten €/a
Hilfsenergie Lüftungsanlage	24.432		4.398 €
Heizwärmebedarf	384.601	480.752	34.951 €
Grundpreis			13.497 €
Kühlung			680 €
Summe			53.525 €

Tabelle 13: Betriebskosten Variante 1

Betriebskosten Variante 2

	Bedarf kWh/a	Anpassung Referenzklima	Kosten €/a
Hilfsenergie Lüftungsanlage	42.144		7.586 €
Heizwärmebedarf	152.421	190.526	11.081 €
Grundpreis			9.663 €
Kühlung	12.725		2.291 €
Wartung Lüftungsanlage			1500 €
Summe			34.784 €

Tabelle 14: Betriebskosten Variante 2

Die Einsparung beträgt somit im ersten Jahr 18.741 €. Im weiteren Verlauf wird die Einsparung durch den Energiepreisanstieg jährlich weiter ansteigen.

6.7 Berechnung Mehrinvestition

Die Mehrinvestition umfasst alle Maßnahmen um die in Variante 2 berechneten Einsparungen zu erreichen. Ausführliche Angaben dazu finden sich im Anhang Abschnitt 4.2.2.

	Maßnahme	ΔK
1.	Bodendämmung bestehendes Gebäude	25.740 €
2.	Bodenplatte Anbau	3.450 €
3.	Bodenplatte Zwischenbau	12.360 €
4.	Bodenplatte Turnhalle	11.000 €
5.	Perimeterdämmung	4.534 €
6.	WDVS	58.750 €
7.	Dämmung OGD	6.030 €
8.	Dämmung Dach Turnhalle und Zwischenbau	25.610 €
9.	Fenster	264.291 €
10.	Lüftungsanlage	218.801 €
	Summe	630.566 €

Tabelle 15: Mehrinvestition Passivhausvariante

Die Mehrkosten werden dominiert durch die Kosten für die Lüftungsanlage und Fenster. Diese beiden Positionen haben einen Anteil von ~75% an den Gesamtkosten.

6.8 Fördermaßnahmen

6.8.1 Kreditzinsen

Für energetische Maßnahmen in Kommunen bietet die KfW derzeit Kredite mit besonders günstigen Zinskonditionen an. Für das Bestandsgebäude könnte ein besonders günstiger Kredit mit dem Produkt „KfW- Kommunalkredit – Energetische Gebäudesanierung“ erzielt werden. Je nach Vertragsbedingung liegt der Zins zwischen 1,71 und 3,07%. Die anderen Maßnahmen könnten mit dem Produkt „KfW-Kommunalkredit – Infrastruktur“ finanziert werden. Die effektiven Zinssätze liegen je nach Vertragskonditionen zwischen 3,58 und 4,35% (siehe Anhang Abschnitt 4.2.1). Im Rahmen wird mit einem gewichteten Zinssatz aus beiden Krediten in Höhe von 3,28% gerechnet (Ermittlung siehe Anhang Absatz 4.2.3).

6.8.2 Zuschüsse

Für die Errichtung von Schulen gibt es in der Regel Zuschüsse von den überregionalen Stellen. Die Höhe der Zuschüsse für Mittelschulen beträgt bis zu 60% und wird durch die SAB gewährt [37]. Ob diese auch für die energetische Optimierung in Richtung Passivhausstandard gewährt werden, konnte nicht geklärt werden. Die in [38] aufgeführten Schulen haben teilweise recht hohe Zuschüsse von den jeweiligen Bundesländern und dem Deutschen Bund für Umwelt erhalten. Da über die Höhe der Zuschüsse keine verbindliche Aussage getroffen werden kann, werden diese Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

6.9 Kalkulationszinssatz

Von großer Bedeutung ist die Wahl des Kalkulationszinsfußes mit dem die Geldströme der einzelnen Jahre auf den Zeitpunkt 0 (Barwert) abgezinst werden. Der Kalkulationszinsfuß entspricht einer Mindestrendite die der Investor erwartet, vermindert um einen Risikoabschlag (bei Krediten). Bei der Berechnung werden die Geldströme der einzelnen Jahre ermittelt. In den ersten Jahren muss aufgrund der hohen Zinsbelastung, der Kreditrückzahlung und den vergleichsweise geringen Betriebskosteneinsparungen damit gerechnet werden, dass man Geld „zuschießen“ muss. Würde die Passivhausvariante nicht realisiert, könnte dieses Geld angelegt werden und Zinsen erwirtschaften. Damit wird deutlich, dass dieser Zinssatz in Höhe einer alternativen Anlagemöglichkeit liegen muss. Die Investition in die Passivhaustechnik ist eine sichere Investition und das Einsparpotenzial wird zwar von Jahr zu Jahr schwanken sich aber im langfristigen Mittel den im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Werten annähern. Vergleichbar sichere und konstante Investitionen sind Festgeld oder Bundesanleihen. Zurzeit liegen Festgeldzinsen im Bereich von 3 - 4,5%, die 20jährigen Staatsanleihen für Deutschland bei 4,6%. Der Kalkulationszinssatz wird im Rahmen dieser Arbeit mit 4,0% festgesetzt.

6.10 Wirtschaftlichkeit

In Abbildung 40 ist die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Szenarien aufgezeichnet. Bei einer Energiepreissteigerung von 4% ist die Annäherung an den Passivhausstandard nicht wirtschaftlich. Nach Ende des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren betragen die zusätzlich Kosten die durch diese Variante entstehen ungefähr 20.000€. Ab einer Energiepreissteigerung von ~4,3% wird die Investition rechnerisch wirtschaftlich. Geht man von einer höheren Energiepreissteigerung aus, wird die Investition in die zusätzlichen Maßnahmen wirtschaftlich. Geht man von einer Energiepreissteigerung von 6% aus so bringt die Investition eine barwertige Einsparung von annähernd 177.000€. Steigen die Energiepreise 8% pro Jahr steigt die Höhe der Einsparung auf 465.000€.

Bei Durchführung der Maßnahme entsteht in den ersten 3 Jahren eine annähernde Kostenneutralität. Die Zinsaufwendungen entsprechen in etwa den Einsparungen der Energiekosten. Ab dem 3. Jahr beginnt die Tilgung des Kredites, was zu deutlich höheren Kosten in den folgenden Jahren führt. In diesen Jahren muss durch die Gemeinde Liquidität zur Tilgung des Kredites bereitgehalten werden. Im Laufe der Zeit sinken die Belastungen durch den Kredit, die ständig steigenden Energiepreise übersteigen die Kosten und es kommt zu den gewünschten Einspareffekten. Bei einer Preissteigerung für Energie von 4% übersteigen die Einsparung erstmals im 18. Jahr nach der Investition die Kosten der Investition. Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 6% wird dieser Zeitpunkt nach 14 Jahren, und bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 8% nach 10 Jahren erreicht. Investitionen in ein effizientes Gebäude sind somit eine sehr langfristige Investition.

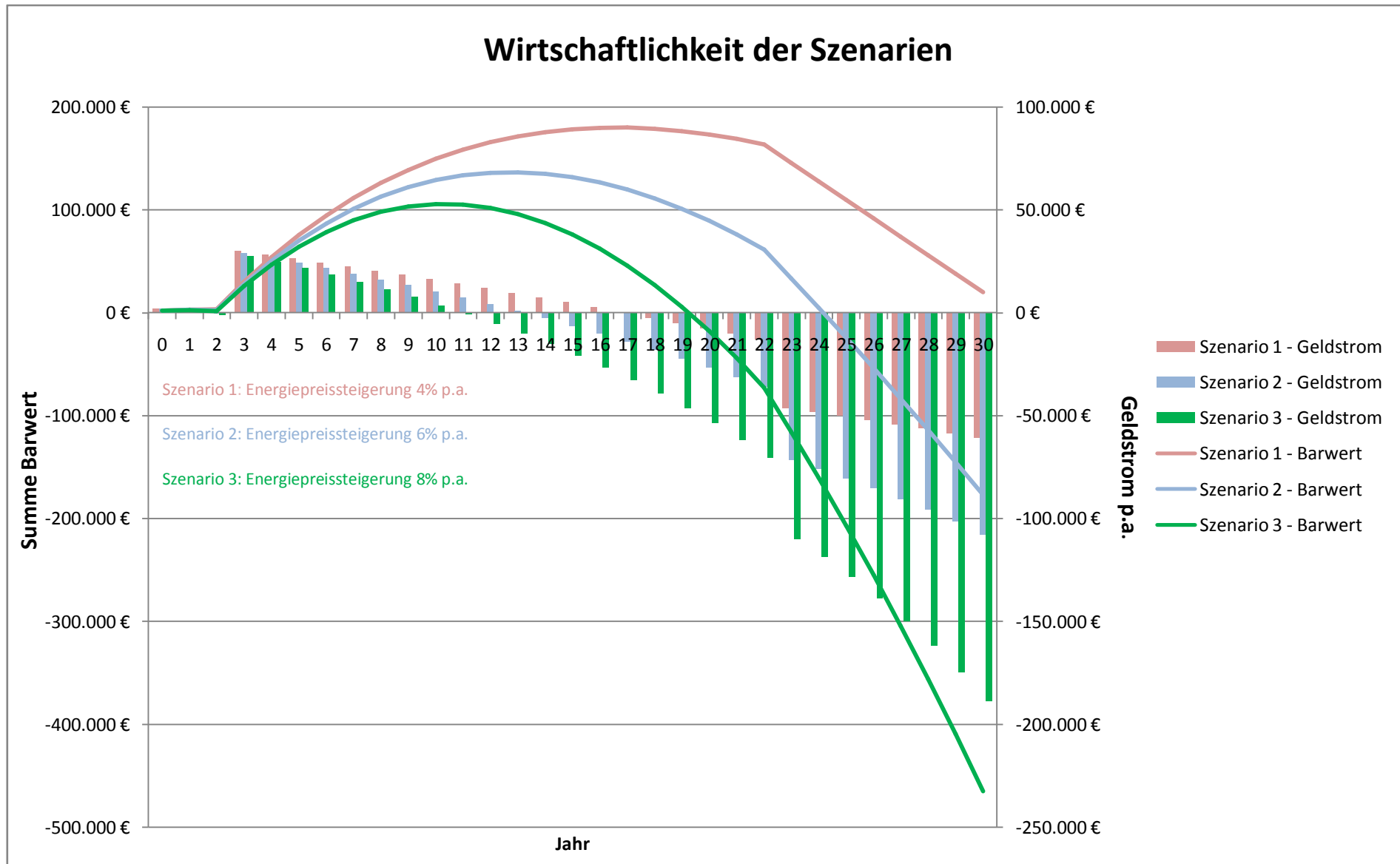


Abbildung 40: Wirtschaftlichkeit der Variante 2

6.11 Co-Benefits

Für eine umfassende Bewertung der Passivhausvariante ist es auch notwendig die sogenannten Co-Benefits zu betrachten. Co-Benefits sind Nutzen, welche bei Durchführung einer Maßnahme entstehen, aber nicht Anlass der Maßnahme waren. Die Durchführung einer Passivhausvariante erfolgt meist aus finanziellen oder ökologischen Gründen. Der größte Co-Benefit der hier betrachteten Passivhausvariante ist in der Lüftungsanlage des Unterrichtsgebäudes zu finden. Eine Untersuchung des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes [39] hat aufgezeigt, dass mit Fensterlüftung eine ausreichende Luftqualität in Klassenräumen erreicht werden kann, diese aber in der Praxis nicht erreicht wird. Besonders im Winter, wenn die Fenster selten geöffnet werden, wurde der DIN-Richtwert für CO₂ (0,15 Vol.%) in den Klassenräumen in 89% der Fälle teilweise deutlich überschritten. In den Räumen mit Lüftungstechnik wurde hingegen keine Überschreitung der Grenzwerte festgestellt. Mit steigender CO₂-Konzentration sinkt die Leistungsfähigkeit, nimmt die Müdigkeit zu und die Geruchsbelastung steigt. Wird weiterhin ein Erdkanal für die Luftansaugung vorgesehen, kann dieser die Luft im Sommer abkühlen. Dem Gebäude kann somit in den Sommermonaten gekühlte Luft zugeführt werden, was zu einer geringeren Belastung (infolge Überhitzung der Klassenräume) für Schüler und Lehrer und weniger Ausfall von Unterrichtseinheiten führen wird. Dies könnte zu einem Standortvorteil gegenüber „herkömmlichen“ Schulen werden und den Standort langfristig sichern. Monetär lässt sich die verbesserte Luftqualität und damit geringeren Belastung für Schüler und Personal kaum bewerten.

6.12 Findung des ökonomischen Maximums

Wie festgestellt wurde, ist die Annäherung an den Passivhausstandard bei einer jährlichen Energiepreissteigerung von knapp über 4% im Betrachtungszeitraum wirtschaftlich. Ob bereits das Maximum der Wirtschaftlichkeit erreicht wurde muss näher untersucht werden. Das Maximum ist erreicht, wenn der kumulierte Barwert ein Maximum erreicht. Um dies zu untersuchen, wird ausgehend von Variante 2 auf einzelne Maßnahmen verzichtet und die Auswirkungen auf den kumulierten Barwert untersucht. Ein sinkender Barwert bedeutet, dass die Kosteneinsparungen größer werden und die Maßnahme somit insgesamt mehr Geld einspart.

Untersuchungsschritte:

Ausgehend von Variante 2 wird auf folgende Maßnahmen verzichtet:

1. Verzicht auf die Fußbodendämmung im bestehenden Gebäude

Da die nachträgliche Wärmedämmung im bestehenden Gebäude teuer ist, soll die finanzielle Auswirkung dieser Maßnahme untersucht werden.

2. Reduzierung der Dämmstärken im Bereich der Bodenplatten auf das Niveau der Variante 1
3. Verwendung von Dämmstärken der Perimeterdämmung analog der Variante 1
4. Reduzierung der Qualität der Fenster auf das Niveau der Variante 1
5. Verwendung von Dämmstärken des Wärmedämmverbundsystem analog der Variante 1
6. Reduzierung der Dämmstärke der Dämmung im Bereich oberste Geschossdecke und Dach auf das Niveau der Variante 1
7. Verzicht auf die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Unterrichtsgebäude

Auswertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Maßnahmen:

Die Berechnungen erfolgten für das Szenario 2 (Energiepreissteigerung 6% p.a.)

	Investition	Einsparung im 1. Jahr	Σ Barwert 30 Jahre	Differenz Σ Barwert zu Variante 2
0			- 176.837 €	
1	604.826 €	19.445 €	- 229.489 €	52.652 €
2	578.016 €	16.736 €	- 144.020 €	- 32.817 €
3	626.032 €	20.000 €	- 232.367 €	55.530 €
4	366.275 €	16.615 €	- 336.254 €	159.417 €
5	571.816 €	17.502 €	- 181.019 €	4.182 €
6	598.926 €	20.446 €	- 275.789 €	98.952 €
7	411.765 €	20.446 €	- 419.619 €	242.779 €

Tabelle 16: Änderung Barwert - Szenario 2

In Tabelle 16 sind die Änderungen der Barwerte der einzelnen Maßnahmen aufgeführt. Die Einzelheiten zu den Berechnungen finden sich im Anhang im Abschnitt 4.2.9 und 4.2.10. Deutlich wird, dass in fast allen untersuchten Varianten der Barwert zum Teil deutlich negativer wird. Ein negativerer Barwert (Differenz der Barwerte negativ) erhöht bei Verzicht auf die betrachtete Maßnahme die Einsparungen. Bei Verzicht auf die zusätzliche Fußbodendämmung (Maßnahme 2) steigt der Barwert, was geringere Einsparungen zur Folge hat. Demnach sollte auf eine erhöhte Dämmstärke im Fußbodenbereich nicht verzichtet werden. Die finanziellen Einsparungen in Maßnahme 2 wären noch größer, wenn auf die zusätzliche Dämmung im bestehenden Schulgebäude (Maßnahme 1) verzichtet werden würde, da in den Berechnungen von Maßnahme 2 die sich negativ auswirkende Maßnahme 1 enthalten ist.

Durch das sehr geringe energetische Niveau lassen sich die einzelnen Maßnahmen nicht mehr wirtschaftlich darstellen. Grund ist der in 6.4 beschriebene Grenznutzen. Wenn immer geringere Energiemengen zum einsparen zur Verfügung stehen, wird es immer schwieriger diese Energiemengen wirtschaftlich einzusparen. Erstaunlich sind die großen zusätzlichen finanziellen Einsparungen beim Verzicht auf die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die großen Einsparungen der WRG (siehe Abbildung 35, Seite 65) beim Heizenergiebedarf werden durch die Stromaufwendungen für die

Hilfsenergie der Lüftungsanlage relativiert. Da Strom im Vergleich zur Heizenergie deutlich teurer ist, macht sich das in der Wirtschaftlichkeit deutlich bemerkbar. Weiterhin werden bei Verzicht auf die Lüftungsanlage die Wartungskosten gespart. Mit Verzicht auf die Passivhausfenster, Verzicht auf Erhöhung der Dämmstärke der obersten Geschossdecke bzw. im Dach und Verzicht auf die erhöhte Dämmstärke der Perimeterdämmung könnten ebenfalls die Kosteneinsparungen erhöht werden. Die Passivhausfenster besitzen zwar ein großes Potenzial den Energiebedarf zu senken sind aber auch sehr teuer. Das sich die vergleichsweise günstigen zusätzlichen Dämmmaßnahmen im Bereich der obersten Geschossdecken und Dach nicht wirtschaftlich darstellen lassen, ist verwunderlich. Die Einsparungen im Deckenbereich des Unterrichtsgebäudes sind absolut gesehen sehr gering (siehe Anhang 4.2.10.6). Da mit dem unbeheizten Dach eine Art Pufferzone, welche die Temperaturamplituden etwas mindert, zur Verfügung steht, lassen sich zusätzliche Dämmmaßnahmen unwirtschaftlicher darstellen. In den Auswertungen der Einsparpotenzialen (siehe Anhang 4.2.9) wird weiterhin deutlich, dass in der Turnhalle die Einsparpotenziale im Vergleich zum Rest des Objektes relativ gesehen größer sind. Der Energiebedarf für Heizung steigt beim Verzicht auf die Passivhausfenster von rund 65.000kWh auf annähernd 115.000kWh. Beim Verzicht auf die größere Dämmdicke beim Wärmedämmverbundsystem steigt der Energiebedarf für Heizung von ca. 65.000kWh auf etwas über 96.000kWh. Die Turnhalle wird bis in die kälteren Abendstunden betrieben. Damit sind die Einsparpotenziale tendenziell größer. Ein Teil dieses Heizenergiebedarfsanstiegs beim Wärmedämmverbundsystem ist aber auch durch die rechnerischen Randbedingungen bedingt. Während in Variante 2 der Wärmebrückenzuschlag ΔU für die Hüllfläche der Turnhalle $0,01\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ beträgt, wird für die ENEV Variante ein Aufschlag von $0,05\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ berücksichtigt.

Abschließend soll aus den Erkenntnissen der Einzelbetrachtungen eine Variante gefunden werden, welche sich unter Umständen noch etwas wirtschaftlicher darstellen lässt. Als Referenz für den Vergleich wird wieder die Variante 1 genutzt. Um den Umfang nicht ins Unermessliche zu steigern, wird bei den Maßnahmen nur auf Lösungen der Variante 1 und 2 zurückgegriffen.

Maßnahme	Variante 3	Variante 4
1. Bodendämmung bestehendes Gebäude	nein	nein
2. Bodenplatte Anbau	wie Variante 2	wie Variante 2
3. Bodenplatte Zwischenbau	wie Variante 2	wie Variante 2
4. Bodenplatte Turnhalle	wie Variante 2	wie Variante 2
5. Perimeterdämmung	wie Variante 1	wie Variante 2
6. WDVS	Turnhalle wie Variante 2, Rest wie Variante 1	wie Variante 2
7. Dämmung OGD	Variante 1	wie Variante 1
8. Dämmung Dach Turnhalle und Zwischenbau	Variante 2	wie Variante 2
9. Fenster	Turnhalle wie Variante 2, Rest wie Variante 1	wie Variante 1
10. Lüftungsanlage	wie Variante 2	wie Variante 1

80

Tabelle 17: Maßnahmen Variante 3 und Variante 4

Die zusätzlichen Investitionen gegenüber Variante 1 ergeben sich zu:

Maßnahme	Variante 3 ΔK	Variante 4 ΔK
1. Bodendämmung bestehendes Gebäude	- €	- €
2. Bodenplatte Anbau	3.450 €	3.450 €
3. Bodenplatte Zwischenbau	12.360 €	12.360 €
4. Bodenplatte Turnhalle	11.000 €	11.000 €
5. Perimeterdämmung	- €	- €
6. WDVS	18.500 €	58.750 €
7. Dämmung OGD	- €	- €
8. Dämmung Dach Turnhalle und Zwischenbau	25.610 €	25.610 €
9. Fenster	103.200 €	- €
10. Lüftungsanlage	218.801 €	- €
Summe	392.921 €	111.170 €

Tabelle 18: Zusätzliche Investitionen in die Variante 3 und 4 gegenüber Variante 1

Die Betriebskosteneinsparungen ergibt sich zu:

Variante 3:	Bedarf kWh p.a.	Anpassung Referenzklima	Betriebskosten €/a
Hilfsenergie Lüftungsanlage	42.143		7.586 €
Heizwärmebedarf	202.939	253.674	18.442 €
Grundpreis			9.663 €
Wartungskosten Lüftungsanlage			1.500 €
Kühlung	10.858		1.954 €
Summe			39.145 €
Differenz Betriebskosten			14.380 €

Tabelle 19: Betriebskosten Variante 3 im Vergleich mit Variante 1

Variante 4	Bedarf kWh p.a.	Anpassung Referenzklima	Betriebskosten €/a
Hilfsenergie Lüftungsanlage	24.432		4.398 €
Heizwärmebedarf	165.413	206.766	15.032 €
Grundpreis			9.663 €
Kühlung	9.300		1.674 €
Summe			30.766 €
Differenz			22.759 €

Tabelle 20: Betriebskosten Variante 4 im Vergleich mit Variante 1

Steigerung Energiepreis	Variante 2	Variante 3		Variante 4	
		Absolut	Δ zu Variante 2	Absolut	Δ zu Variante 2
4 %	19.913 €	- 69.368 €	- 89.281 €	- 585.106 €	- 605.019 €
6 %	- 176.837 €	- 220.331 €	- 43.494 €	- 824.034 €	- 647.197 €
8 %	- 464.901 €	- 441.359 €	23.542 €	- 1.173.851 €	- 708.950 €

Tabelle 21: Vergleich kumulierten Barwert der Varianten 2 – 4

Alle Untersuchungsvarianten bieten im Vergleich zu Variante 1 zusätzliche Einsparpotenziale (siehe Tabelle 21). Jedoch weisen die Varianten unterschiedlich große Einsparpotenziale auf. Während die energetischen Einsparpotenziale mit steigender Investition zunehmen, ist dies auf monetärer Ebene nicht der Fall.

In Variante 3 wurden im Unterrichtsgebäude Dämmung und Fenster analog der Variante 1 verwendet, auch wurde auf die Dämmung des Kellergeschosses des bestehenden Unterrichtsgebäudes verzichtet. Selbst unter diesen Bedingungen ist die eine Lüftungsanlage nur knapp wirtschaftlich. Zusätzliche Einsparungen gegenüber Variante 2 sind nur bei Energiepreissteigerungen von 4% und 6% festzustellen. Bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 8% wird die Variante 3 schon wieder unwirtschaftlicher als die Variante 2. Insgesamt ist aber die Variante 3 aber im Vergleich zu zum Planstand noch wirtschaftlich. Bei einer Energiepreissteigerung von 6% betragen die barwertigen Kosteneinsparungen etwa 220.000€. Dem gegenüber steht eine Investition von rund 392.000€.

Durch Auswertung der verschiedenen Varianten wurde deutlich, dass Variante 4 die Wirtschaftlichste Variante der hier untersuchten Varianten ist. Die Investition von 110.000Euro bringt bei einer angenommenen Energiepreissteigerung von 6% pro Jahr eine zusätzliche barwertige Kosteneinsparung von etwa 650.000Euro. Variante 4 verzichtet auf die Lüftungsanlage und auf die teuren Passivhausfenster. Damit wurde der Trend aus den Untersuchungen der Einzelvarianten bestätigt, dass ein Gebäude mit Lüftungsanlage und WRG zwar wirtschaftlicher als Variante 1 ist, aber ohne Lüftungsgerät noch wirtschaftlicher sein kann.

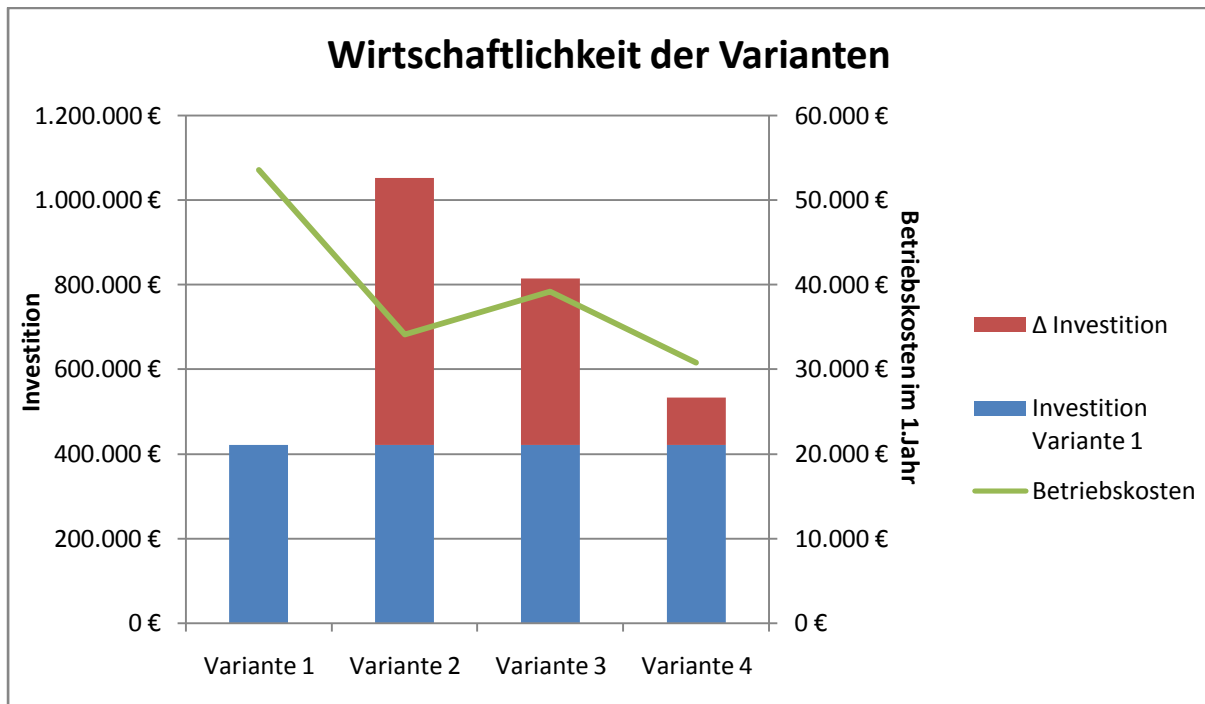


Abbildung 41: Vergleich Investition und Betriebskosten im 1. Jahr

Die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit unterliegt sehr vielen Annahmen. Dies macht es nahezu unmöglich die richtige Entscheidung zu treffen. Die Unsicherheit beginnt bei der Berechnung des Energiebedarfs. Dadurch, dass die DIN V 18599 mit dem Referenzklima rechnet kommt ein weiteres Detail hinzu was nicht mit hoher Genauigkeit bestimmt werden kann. Während die Anpassung beim Heizenergiebedarf mittels Gradzahltagen noch gelingt, wird die Anpassung des Kühlbedarfes an den jeweiligen Standort schwierig. Da für die Kühlung in der Regel strombetriebene Kompressoren verwendet werden ist dieser Umstand bei der Berechnung des Energiebedarfs sehr hinderlich. Die Preise der einzelnen Maßnahmen wurden aus aktuellen Angeboten, Anfragen bei Handwerkern und bei der Lüftungsanlage aus Kostenkennwerten ermittelt. Die tatsächlichen Kosten werden von diesen Annahmen abweichen. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen können somit nur Tendenzen aufzeigen und als Anhaltspunkt für eine genauere Betrachtung sein.

6.13 Vergleich Wärmesenken und Wärmequellen

In der Abbildung 42 sind die Wärmequellen und Wärmesenken des gesamten Objektes während der Nutzungszeit¹³ in einem Diagramm dargestellt. In Variante 1 (Planungsstand), welche die Anforderungen der ENEC im Bereich der Heizung schon deutlich unterschreitet, überwiegen die Wärmesenken die Wärmequellen deutlich. Sehr gut lässt sich in Variante 2 das Prinzip des Passivhauses erkennen. Hier überwiegen die Wärmequellen die Wärmesenken während der Nutzungszeit deutlich. Wenn die Wärmequellen die Wärmesenken überwiegen, würde es bedeuten,

¹³ Nichtnutzungszeit, z.B. Wochenende und Abendstunden, werden hier nicht berücksichtigt

dass man keine Wärme zuführen muss. In der Abbildung wird aber nur die Nutzungszeit betrachtet. Vor der Nutzungszeit muss geheizt werden. Außerdem werden in der DIN Wärmequellen bis 2K über der Nutzungstemperatur als Wärmequellen bilanziert. Das bedeutet, dass gerade im Sommer hohe Wärmeeinträge bilanziert werden. Diese hohen Wärmeeinträge führen dann dazu, dass über das Jahr gesehen die Wärmequellen überwiegen. Ein Heizbedarf besteht, wie die Berechnungen im Rahmen dieser Arbeit gezeigt haben, trotzdem. Wenn man Variante 1 mit Variante 2 vergleicht, kann man weiterhin erahnen, dass am Objekt keine gestalterischen Veränderungen vorgenommen wurden, weil die Gewinne durch Strahlung (Wärmequelle Strahlung) in Variante 2, durch Einsatz der Passivhausfenster mit dem geringeren g-Wert, etwas geringer als in Variante 1 aus fallen. Durch Einsatz der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in Variante 2 konnten die Lüftungsverluste (Wärmesenke Lüftung), im Vergleich zu Variante 1, deutlich verringert werden. Durch das verbesserte Wärmedämmverbundsystem und die Passivhausfenster konnte der Wärmeverlust infolge Transmission mehr als halbiert werden. In Variante 3 wird, im Vergleich zu Variante 2, die Qualität der thermischen Hülle verringert, was zu höheren Verlusten durch Transmission führt. Die Verluste durch Lüftung bleiben gleich. In Variante 4 wird im Unterrichtsgebäude auf die Wärmerückgewinnung verzichtet und auf die Dämmmaßnahme des Fussbodens im bestehenden Gebäude verzichtet. Dies führt zu steigenden Wärmeverlusten durch Transmission und Lüftung.

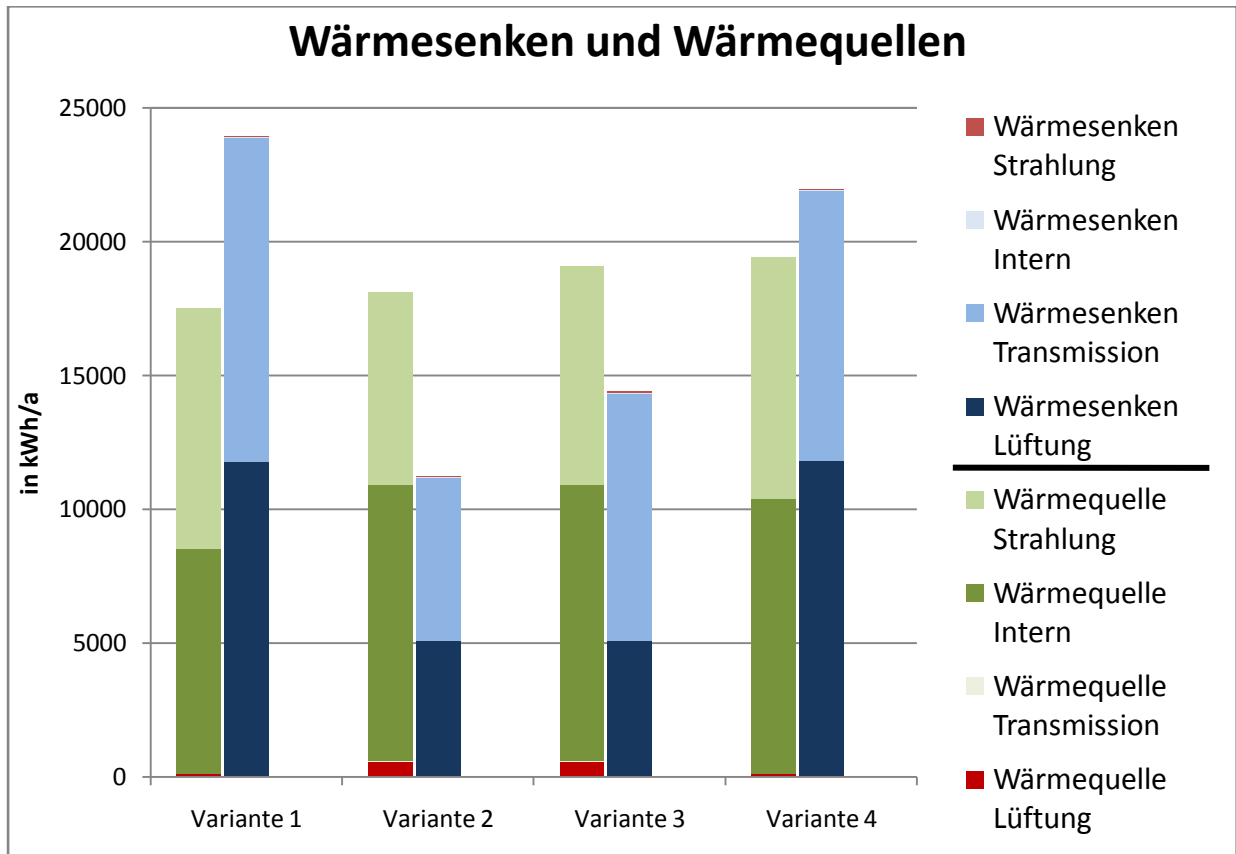


Abbildung 42: Wärmequellen und Wärmesenken (Nutzungszeit) der Varianten 1-4

7. Zusammenfassung

7.1 DIN V18599

Die DIN V 18599, ist meiner Meinung nach ein Dokument, welches maßgeblich durch Wissenschaftler erstellt worden ist. Handhabung und eine ordnungsgemäße Umsetzung der DIN in der Praxis stellt viele Experten vor große Probleme. Die Norm tangiert in ihrem Umfang viele Fachgebiete und ist durch eine Person nur in den seltensten Fällen zu überblicken. Die Eingaben, welche im Bereich der Anlagentechnik erforderlich werden, sind von einem Bauingenieur nicht zu überblicken. Die DIN und auch die eingesetzten Programme verfügen in der Regel über Standardwerte, deren Anwendung aber, mitunter zu großen Abweichungen führt. Prinzipiell muss dabei unterschieden werden zwischen Parametern, welche die Zulässigkeit des Gebäudes stark beeinflussen und solchen die geringe oder keine Einflüsse haben. Im Rahmen dieser Arbeit hatten die Änderung der Nutzungszeiten zwar einen entscheidenden Einfluss auf den absoluten Energiebedarf, jedoch war der Einfluss auf die Zulässigkeit marginal. Kennzeichnend für Parameter, die zwar den absoluten Energiebedarf beeinflussen aber geringe Einflüsse auf die Zulässigkeit haben, ist, dass sie in den Randbedingungen enthalten sind und somit für das „reale“ Objekt und Referenzgebäude gleichermaßen verbindlich sind. Parameter die sowohl den absoluten Energiebedarf und die Zulässigkeit beeinflussen, sind Parameter welche vom Referenzgebäude abweichen. Im Rahmen dieser Arbeit waren dies unter anderem die Qualität der Gebäudehülle, Heizungstechnik oder auch die Effizienz der Ventilatoren.

Ein großes Problem entsteht durch die zeitliche Fälligkeit des Nachweises. Der Nachweis muss für Baumaßnahmen mit dem Bauantrag abgegeben werden. Zu diesem Zeitpunkt ist in der Regel keine Planung der Anlagentechnik vorhanden. Die Politik hat Kenntnis von diesem Problem und es wird aller Wahrscheinlichkeit darauf hinauslaufen, dass der energetische Nachweis mit Baufertigstellung beziehungsweise Inbetriebnahme einzureichen ist. Zurzeit haben die Softwarehersteller noch große Probleme bei der Umsetzung der Norm. Im Rahmen dieser Arbeit kam es immer wieder zu Problemen mit der Software. Oft führte auch das Aufspielen eines Updates zu komplett neuen Ergebnissen, welche teilweise auch Auswirkungen auf die Zulässigkeit hatten. Da die vielen Eingaben des Programmes nicht immer zu durchschauen sind, empfiehlt sich in der Praxis eine Sensibilitätsanalyse. In dieser wird der Parameter verändert und die Auswirkungen auf das Ergebnis beobachtet. Bei großen Auswirkungen sollte der Parameter genau bestimmt werden, ansonsten kann der Referenzwert gewählt werden. Im Rahmen der Bewertung der Mittelschule Sayda hatten die Warmwasserbedarf der elektrischen Durchlauferhitzer einen entscheidenden Einfluss auf die Zulässigkeit. Der Anteil am Primärenergiebedarf war relativ groß und das obwohl dieser vernachlässigt werden dürfte.

Ich bin der Meinung, dass das größte Problem der DIN die Berechnung auf Grundlage des Referenzklimas ist. Die DIN erfordert bei der Eingabe eine Unmenge an Kennzahlen, dass eine unglaubliche Genauigkeit suggeriert wird. Der Aufwand dient lediglich der Bewertung der öffentlich-rechtlichen Zulässigkeit. Die Aussagekraft des Nachweises über den zu erwartenden Energiebedarf für den zukünftigen Nutzer ist gering. Während die Anpassung des Heizenergiebedarfs mit den Gradzahltagen noch gelingt, ist es beim Kühlenergiebedarf nicht mehr möglich. In der Mittelschule betrug der Faktor für die Anpassung des Heizenergiebedarfs 1,25. Eine Anpassung des Kühlenergiebedarfs war nicht möglich. Problematischer ist die Bewertung von Gebäuden in den wärmeren Regionen Deutschlands wenn diese über große Glasflächen verfügen. Da die Kühlung in der Regel durch Primärenergetisch hochwertigen und finanziell teuren Strom erfolgt ist dieser Umstand meiner Meinung nicht tragbar. Es bleibt zu hoffen, dass bei der Novellierung dieser Umstand behoben wird.

Die DIN V 18599 muss unbedingt noch aus einem anderen Blickwinkel gesehen werden. In Abschnitt 1 dieser Arbeit wurde aufgezeigt, dass energieeffiziente Gebäude einen entscheidenden Beitrag zum Klimaschutz liefern können. Die Tendenz geht definitiv in Niedrigenergiehäuser oder sogar Passivhaus. Durch die steigenden Anforderungen an Nutzung und Effizienz werden die Gebäude technisch immer hochentwickelter. Der Hilfsenergiebedarf nimmt somit einen immer größeren Stellenwert ein. Die rechnerische Abbildung dieser Systeme mit pauschalen bzw. vorgefertigten Werten (wie DIN 4701-10) würde diesem nicht mehr gerecht zumal ein Großteil der Hilfsenergie mit primärenergetisch hochwertigem Strom gedeckt wird.

Zusammenfassend ist die DIN V 18599 ein Weg in die richtige Richtung. Die steigenden energetischen Anforderungen und die damit verbundene Technologisierung macht eine derart hochkomplexe Norm nötig. Da in der Planung auch verschiedene Experten an der Umsetzung des Gebäudes arbeiten, muss man sich in Zukunft an die Zusammenarbeit dieser Experten beim Nachweis der Energieeffizienz gewöhnen müssen. Der jetzige Stand der Norm ist leider unbefriedigend. Da aber an weiter an der Norm gearbeitet wird, ist mit einer Besserung zu rechnen.

7.2 Wärmebrücken und Passivhausstandard

Die Bilanzierung der Wärmebrücken am Objekt war sehr umfangreich. Es wurde aufgezeigt, dass eine exakte Bilanzierung aller Wärmebrücken aufgrund der Überschneidung und der Vielzahl der Wärmebrücken nicht praktikabel ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurden alle üblichen Wärmebrücken, welche Bestandteil einer Passivhausberechnung sind, berücksichtigt. Weiterhin wurden eine dreidimensionale Wärmebrücke und die Wärmebrücken der Einbausituation der Fenster pauschal berücksichtigt. In der Praxis wird die Einbausituation der Fenster selten berücksichtigt. Dreidimensionale Wärmebrücken werden aufgrund der umfangreichen Berechnung so gut wie nie

berechnet. Die Einbausituation der Fenster hatte einen erheblichen Einfluss auf den Wärmebrückenzuschlag. Die Bilanzierung der Wärmebrücken bringt gegenüber der Verwendung der pauschalen Zuschläge rechnerisch erhebliche Vorteile.

Bei der Berechnung der Wärmebrücken im Erdreich wurde deutlich, dass 1. die Wahl der Berechnungsmethode einen Einfluss auf den Ψ -Wert hat und 2. die Wahl des Temperaturniveaus auf welche die Wärmebrücke bezogen wird ebenfalls einen großen Einfluss hat. Kompliziert ist die Berechnung von Wärmebrücken mit mehr als 2 Temperaturrandbedingungen. Das Verfahren welches in DIN ISO 10211 enthalten ist scheint die plausibelsten Ergebnisse zu liefern. Bei der Berechnung einer dreidimensionalen Wärmebrücke wurde deutlich, dass die Wärmeverluste durch Wärmebrücken bei reiner zweidimensionaler Betrachtung überschätzt werden. Damit liegt man mit der zweidimensionalen Betrachtung auf der sicheren Seite. Dies wird ein weiterer Grund sein, weshalb man in der Praxis auf eine 3D-Bilanzierung der Wärmebrücken verzichtet. Beim Vergleich der Berechnungsansätze für die Wärmebrückenberechnung nach DIN 4108-Teil 6 mit dem Verfahren nach Passivhausinstitut wurde deutlich, dass die Verluste bei Berechnung nach DIN etwas größer ausfallen.

7.3 Objekt Mittelschule Sayda

Die ENEV-Anforderungen an den Heizenergiebedarf im bestehenden Entwurf werden deutlich unterschritten. Zunichte gemacht wird dieser Vorsprung durch den hohen Warmwasserenergiebedarf durch die Durchlauferhitzer. Meiner Meinung, liegt hier ein Berechnungsfehler des Programmes vor. Da laut ENEV der Warmwasserbedarf im Schulgebäude eigentlich vernachlässigt werden kann ist das gesamte Objekt als sehr gut zu bewerten. Mit dem bestehenden Entwurf wurde versucht den Passivhausstandard zu erreichen. Mit üblichen Anstrengungen im Bereich Wärmedämmung, Fenster und Lüftungsanlage war es nicht möglich den Heizenergiebedarf von 15kWh/m^2 zu erreichen, jedoch wurde der Standard in einigen Zonen erreicht. Diese Zonen zeichneten sich durch eine hohe Kompaktheit, große Fensterflächen, eine geringe jährliche Nutzungszeit und keine Nutzung in den Abendstunden aus. Für das Gesamtgebäude wurde ein Wert von 28kWh/m^2 erreicht. Die Turnhallennebenräume verfügen über eine geringe Kompaktheit, die Sanitärräume über hohe Lüftungsraten und die Turnhalle verfügt über große Wärmeübertragungsflächen und eine lange Nutzungszeit. Bei den Untersuchungen wurde deutlich, dass der Luftwechsel einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch hat. Im Rahmen der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit wurde nachgewiesen, dass die Passivhausvariante ab einer Energiepreiserhöhung von etwas über 4% pro Jahr wirtschaftlicher als der bestehende Entwurf ist. Über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren sind die Einsparpotenziale bei größeren Energiepreiserhöhungen beachtlich. Bei der Findung der wirtschaftlichsten Variante wurde deutlich,

dass eine Lüftungsanlage den Heizenergiebedarf zwar deutlich senkt, bei Berücksichtigung der Stromaufwendungen, Wartungskosten und der Investition ist jedoch keine ausreichende Wirtschaftlichkeit zu erreichen ist. Gleiches gilt für die Passivhausfenster. Die Heizenergieeinsparung durch Einsatz von Passivhausfenster ist enorm. Die Investition kann jedoch nicht wieder eingespielt werden. Die Passivhausvariante ist zwar wirtschaftlicher als der bestehende Entwurf, stellt aber nicht die ökonomische beste Variante dar. Es hat sich herausgestellt, dass die Investition in ein beim Wärmedämmverbundsystem die größten zusätzlichen Einsparpotenziale bietet. Am Beispiel der Mittelschule wurde die Annahme der Bundesregierung bestätigt, dass durch die seit 1997 stark gestiegenen Energiepreise ein wirtschaftliches Potenzial zur Energieeinsparungen vorhanden ist. Die angestrebte Verschärfung der ENEC-Forderung ist somit vertretbar.

Literaturverzeichnis

- [1]. **Mohnicke, Antje.** *Diplomarbeit: Nachhaltiges Bauen im Industrie- und Gewerbebau mit Schwerpunkt Energieeffizienz.* Dresden : s.n., 2007.
- [2]. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** *The AR4 Synthesis Report.* 2007.
- [3]. **Kaiser, Karl, et al.** *Internationale Klimapolitik.* Bonn : Europa Union Verlag GmbH, 1990.
- [4]. **Merkel, Dr.rer.nat. Holger.** *Bauphysik Kalender 2007. Neue ENEC - Energiebedarf nach DIN V 18599.* Berlin : Ernst & Sohn, 2007, A2, S. 35-36.
- [5]. **ASUE .** *Energieausweis für den Gebäudebestand.* August 2007, S. 4.
- [6]. **Statistisches Bundesamt Deutschland.** DEStatis. *Energiepreise.* [Online] 12 2007. [Zitat vom: 03. Januar 2008.] <https://www-ec.destatis.de>.
- [7]. **DENA - Deutsche Energie Agentur.** *Berliner Impulse.* [Online] [Zitat vom: 02. Januar 2008.] http://www.berliner-impulse.de/fileadmin/Berliner_Energietage/2006/VA23/03%20Kraus.pdf.
- [8]. **Bauphysik, Fraunhofer Institut für.** Fraunhofer Institut. [Online] Fraunhofer, 2006. http://www.ibp.fraunhofer.de/wt/berichte/2006/DINV18599_kurz.pdf.
- [9]. **Lothar Rouvel, Ruth David, Martin Wenning.** *Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone.* [Buchverf.] Jan de Boer, Hans Erhorn, Johann Reiß, Lothar Rouvel, Heiko Schiller, Nina Weiß, Martin Wenning Ruth David. *Heizen, Kühlen, Belüften & Beleuchten.* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006.
- [10]. **Oschatz, Dr.-Ing. Bert.** *Novellierung der Energieeinsparverordnung. Energieeinsparverordnung 2007, 2008,?* Ingenieurkammer Dresden : s.n., Dezember 2007.
- [11]. **Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.** *ENEV. Anlage 2, Tabelle 1.* Berlin : s.n., 2007.
- [12]. **Hegner, Dipl.-Ing. Baudirektor Hans-Dieter.** *Umsetzung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden mit ENEC 2006. Die neue DIN V 18599 - Ein Instrument zur Erstellung von Energieausweisen.* Berlin : Beuth Verlag, 2006.
- [13]. **Maas, Dr.Ing. Anton.** *Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen (DIN V 18599-2).* [Buchverf.] Univ.-Prof. Dr. Ing. Nabil A. Fouad. *Bauphysik Kalender 2007.* Berlin : Ernst & Sohn, 2007, C 2, S. S.285-287.
- [14]. **Baradiy, Dr.Ing. Saad.** *Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs "DIN V 18599".* Ingenieurkammer Sachsen : s.n., 2007.
- [15]. **Maas, Dr.-Ing. Anton.** *Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen (DIN V 18599-2).* [Buchverf.] Nabil A. Fouad. *Bauphysik Kalender 2007.* Berlin : Ernst & Sohn, 2007.
- [16]. —. *Ermittlung der Nutzenergien Wärme und Kälte (DIN V 18599-2).* [Buchverf.] BMVBS/DIN-Gemeinschaftstagung. *Die neue DIN V 18599 - Ein Instrument zur Erstellung von Energieausweisen.* Berlin : Beuth Verlag, 2006.
- [17]. **Deutsches Institut für Normung.** *DIN 18599 - 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen.* Berlin : Beuth, 2007.

- [18]. DIN V 18599-1. [DIN-Norm]. s.l. : Beuth-Verlag, 2006. S. 42.
- [19]. **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.** Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand. *Bundeswesen für Bauwesen und Raumordnung*. [Online] 26. Juli 2007. [Zitat vom: 05. 04 2008.]
http://www.bbr.bund.de/cdn_005/nn_22276/DE/ForschenBeraten/Bauwesen/EnergieKlima/EnergieGebaeude/DL4__NWG-Datenaufnahme,templated=raw,property=publicationFile.pdf/DL4_NWG-Datenaufnahme.pdf.
- [20]. **Richter, Dipl.-Ing. Peter.** *Bauzustandsanalyse Mittelschule Sayda*. 2007.
- [21]. **Müller, Dipl. Thomas.** *Baubeschreibung Mittelschule Sayda*.
- [22]. **Kunzmann, Karsten.** *Diplomarbeit -Erstellung eines Energiepasses nach DIN 18599 für ein Gebäude in Dresden Pillnitz (Schindlerbau)*. Dresden : s.n., 2007.
- [23]. **Thomas Hartmann, Dirk Reichel, Wolfgang Richter.** Einfluss der Gesamtfensteröffnungszeit auf den Gesamtluftwechsel. [Buchverf.] Helmut Künzel. *Fensterlüftung und Raumklima*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006.
- [24]. **W.Richter, Prof.Dr.-Ing.habil.** *Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht*. Dresden : Fraunhofer IRB Verlag, 2003. ISBN 3-8167-6002-3.
- [25]. **Trogisch, Achim.** *Planungshilfen, Lüftungstechnik*. Dresden : C.F. Müller, 2005. ISBN 3-7880-7779-4.
- [26]. **Passivhaus Institut.** *Wärmebrückenfreies Konstruieren*. Darmstadt : Passivhaus Institut, 1997.
- [27]. **Willems, Univ.-Prof.Dr.-Ing.habil. Wolfgang und Schild, Dr.-Ing. Kai.** Wärmebrücken Berechnung - Bilanzierung - Vermeidung. [Buchverf.] Univ.-Prof.Dr.-Ing. Nabil A. Fouad. *Bauphysikkalender 2007*. Berlin : Ernst & Sohn, 2007.
- [28]. **Wolfgang M.Willems, Kai Schild, Simone Dinter.** *Vieweg Handbuch Bauphysik 1*. Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2006. 3528039825.
- [29]. **Institut, Passivhaus.** Wärmeverluste gegen das Erdreich.
- [30]. **Zeugner, Dipl.Ing. Christoph.** *Diplomarbeit*. Bauingenieurwesen, HTWK-Leipzig. Leipzig : s.n., 2008.
- [31]. **DIN.** DIN EN ISO 10211. *Wärmebrücken im Hochbau*. Berlin : Deutsches Institut für Normung, 2005. 2005 - 07 - 31.
- [32]. **Passivhaus Institut.** *Luftdichte Projektierung von Passivhäusern (7.Auflage)*. Darmstadt : PHI, 2006.
- [33]. —. *Hochwärme gedämmte Dachkonstruktionen*. Darmstadt : Passivhaus Institut, 2005.
- [34]. **Trogisch, Dr.-Ing. Achim.** *Energieeffizienz für Nichtwohngebäude - Ingenieurkammer Sachsen*. Dresden, 12 2007.
- [35]. **Bundesamt für Energie BFE, Schweiz.** Bundesamt für Energie BFE, Schweiz. [Online] APUI, Bern, September 1993. [Zitat vom: 2008. 04 03.]
http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_928932047.PDF.

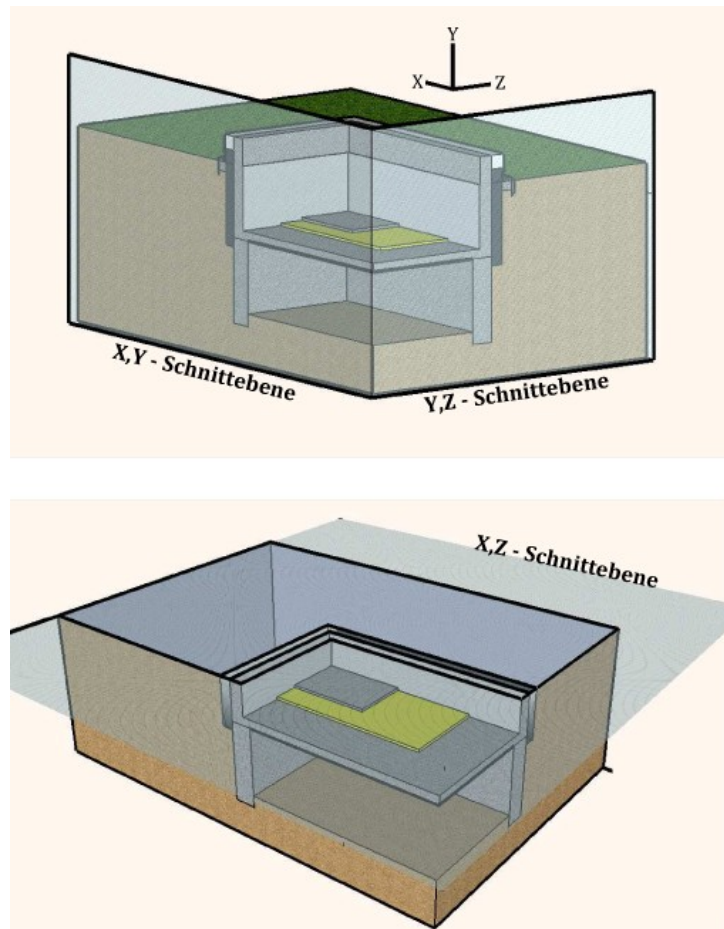
- [36]. **Institut Wohnen und Umwelt GmbH**. Institut Wohnen und Umwelt. *Berechnungswerkzeuge für EnEV und Energiepass*. [Online] 2008. [Zitat vom: 19. April 2008.] <http://www.iwu.de/downloads/fachinfos/energiebilanzen/#c205>.
- [37]. **Aufbaubank, Sächsische**. Sächsische AufbauBank. *Investitionen im Schulhausbau*. [Online] [Zitat vom: 20. April 2008.] http://www.sab.sachsen.de/servlet/PB/menu/1041978_l1/index.html.
- [38]. **Institut, Passiv Haus**. *Passivhaus Schulen*. Darmstadt : Passiv Haus Institut, 2006.
- [39]. **Niedersächsisches Landesgesundheitsamt**. Lufthygienische Untersuchungen in niedersächsischen Schulen. [Online] [Zitat vom: 02. 03 2007.] http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C9845081_L20.pdf.
- [40]. **Königstein, Thomas**. *Ratgeber energiesparendes Bauen*. Taunusstein : Blottner, 2007. ISBN 978-3-89367-113-7.
- [41]. www.wikipedia.de. [Online] [Zitat vom: 03. 04 2008.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmerückgewinnung>.
- [42]. **GmbH, Gläser Komplett-Bau**. *diverse Ausschreibungsunterlagen*. Sayda : s.n., 2007-2008.
- [43]. **Malerfirma, Glöckner Uwe**. *Befragung bzw. Auswertung Ausschreibungsunterlage*. Dörnthal : s.n., 2008.
- [44]. **GmbH, Uwe Goepfert**. *Befragung und Auswertung Ausschreibungsunterlagen*. Krumhermersdorf : s.n., 2008.
- [45]. **Trogisch, Prof. Dr.-Ing. Achim**. Emailanfrage. Dresden : s.n., 2008.
- [46]. **NRW, Energie Agentur**. Energie Agentur NRW. *Preisvergleich Lüftungsanlagen*. [Online] [Zitat vom: 20. April 2008.] <http://www.energieagentur.nrw.de/lueftung/page.asp?TopCatID=7630&CatID=7630&RubrikID=7637>.
- [47]. *DIN V 18599 - Teil 1*. s.l. : Beuth Verlag, 2007. S. 8.
- [48]. **Normung, Deutsches Institut für**. *DIN 18599 Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau*. Berlin : Beuth-Verlag, 2007.
- [49]. **Aircontec**. [Online] [Zitat vom: 03. 04 2008.] www.downloads.fgk.de/131_14_ISH2007_Anschuetz.pdf.
- [50]. **Erhorn, Dipl.-Ing. Hans und Jagnow, Dr.-Ing. Kati**. Bilanzierungsverfahren nach DIN V 18599. [Buchverf.] Univ.-Prof.Dr.-Ing. Nabil A.Fouad. *Bauphysik Kalender 2007*. Berlin : Ernst & Sohn, 2007.
- [51]. **Wagner, Andreas**. *Energieeffiziente Fenster und Verglasungen*. s.l. : FIZ Karlsruhe, 2007. ISBN 978-3-934595-61-3.
- [52]. **Normung, Deutsches Institut für**. *DIN EN ISO 10211-1*. Berlin : s.n., 1995.

Anhang

2. Wärmebrücken

2.1 Berechnung einer dreidimensionalen Wärmebrücke

2.1.1 Schnittebenen

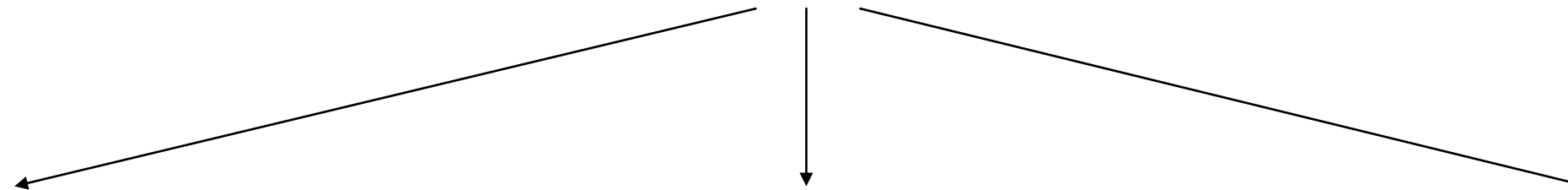


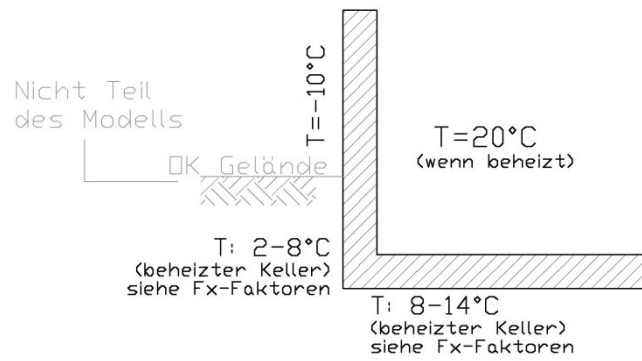
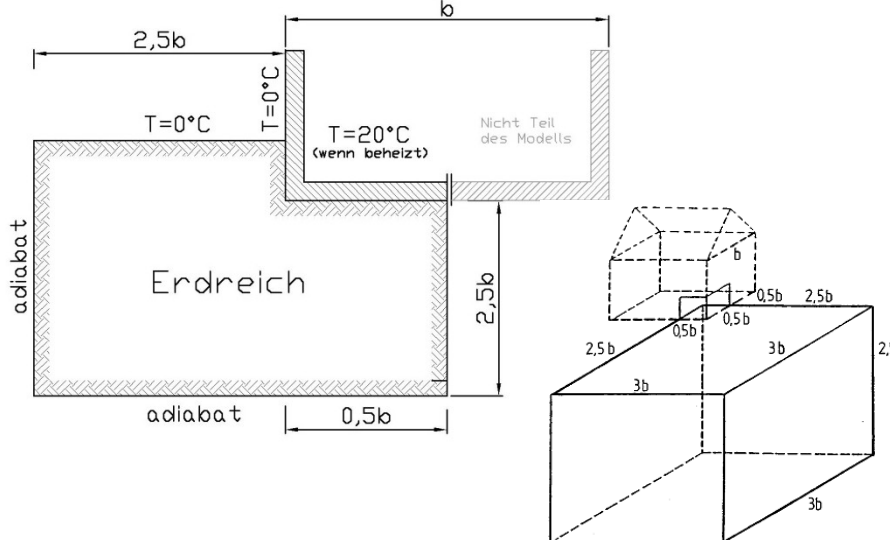
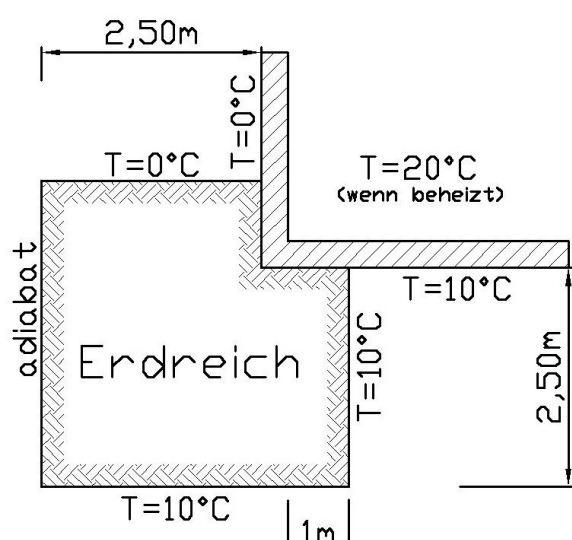
Achtung: Bei Modellierung nach DIN liegt die obere horizontale Grenze der Modellierung bei OK-Gelände!

Abbildung 50: Schnittebenen der 3D-Wärmebrücke

2.1.2 Vergleich der Berechnungsmodelle bei erdberührten Bauteilen

Wärmebrückenberechnung bei erdberührten Bauteilen



Vereinfachtes Verfahren DIN 4108 - 6	ISO 10211-1	Passivhaus (PHI 1)
 <p>An das Wärmebrückenmodell werden Temperaturen gemäß DIN 4108-6 angelegt und berechnet. F_x-Faktoren siehe DIN 4108 Teil 6 Tabelle 3.</p>		

2.1.2.1 Randbedingungen gemäß DIN 4108 – 6

Abmessungen Bodenplatte bestehendes Unterrichtsgebäude:

Länge: 35,29 m
Breite: 14,00 m

Damit ergibt sich: $A = 494 \text{ m}^2$
 $P = 98,56 \text{ m}$

A... Grundfläche
P... Umfang

Bestimmung der Temperaturrandbedingungen:

$$B' = \frac{A_G}{0,5 P} = \frac{494}{0,5 * 98,56} = 10,02 \text{ m}$$

(siehe Gleichung E.3 DIN 4108-6)

Bestimmung der R-Werte:

Kellerwand: $R_f = 2,613 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $R_w = 7,726 \text{ m}^2\text{K/W}$

(da beide R-Werte >1 sind kann eine Wichtung der Flächen entfallen)

damit ergibt sich die Temperaturkorrekturfaktoren F nach DIN 4108-6 Tabelle 3:

Kellerfußboden: $F_G = F_{bf} = 0,35$
Kellerwand: $F_G = F_{bw} = 0,60$

Bestimmung der Temperaturfaktoren f:

Allgemein gilt: $F = 1 - f \quad \rightarrow \quad f = 1 - F \quad (\text{DIN 4108 Bbl.2 Abschnitt 3.5})$

$$F_x = \frac{(T_i - T_x)}{T_i - T_e}$$

$$1 - f_x = \frac{(T_i - T_x)}{T_i - T_e}$$

$$T_x = T_i - [(1 - f_x) \times (T_i - T_e)]$$

Kellerfußboden: $f_{bf} = 1 - F_{bf} = 0,65$

$$T_{bf} = 20^\circ\text{C} - [(1 - 0,65) \times (20^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C}))] = \mathbf{9,5^\circ\text{C}}$$

Kellerwand: $f_{bw} = 1 - F_{bw} = 0,40$

$$T_{bf} = 20^\circ\text{C} - [(1 - 0,40) \times (20^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C}))] = \mathbf{2^\circ\text{C}}$$

2.1.2.2 Modellbildung

Für die Berechnung von χ ist es sehr wichtig, dass die Modelle in der 3D und 2D Modellierung exakt übereinstimmen, da die Berechnung über Leitwerte geführt wird.

Folgenden weiteren Randbedingungen wurden für die Modellierung (3D) getroffen:

- Abstände von der Innenecke (OK Fussboden)
 - Modellgrenzen (von Außenecke, Modell 3D siehe Anhang 2.1.1)
 - X,Y – Schnittebene: 3,76 m
 - Y,Z – Schnittebene: 3,76 m
 - X,Z – Schnittebene: \cong OK Gelände
 - Abstand Schnittebenen zur Bestimmung L^{2D} bzw. ψ
 - X,Y – Schnittebene: 2,50 m
 - Y,Z – Schnittebene: 2,50 m
 - Y,Z – Schnittebene: 1,50 m

2.1.2.3 Modell DIN 4108-6

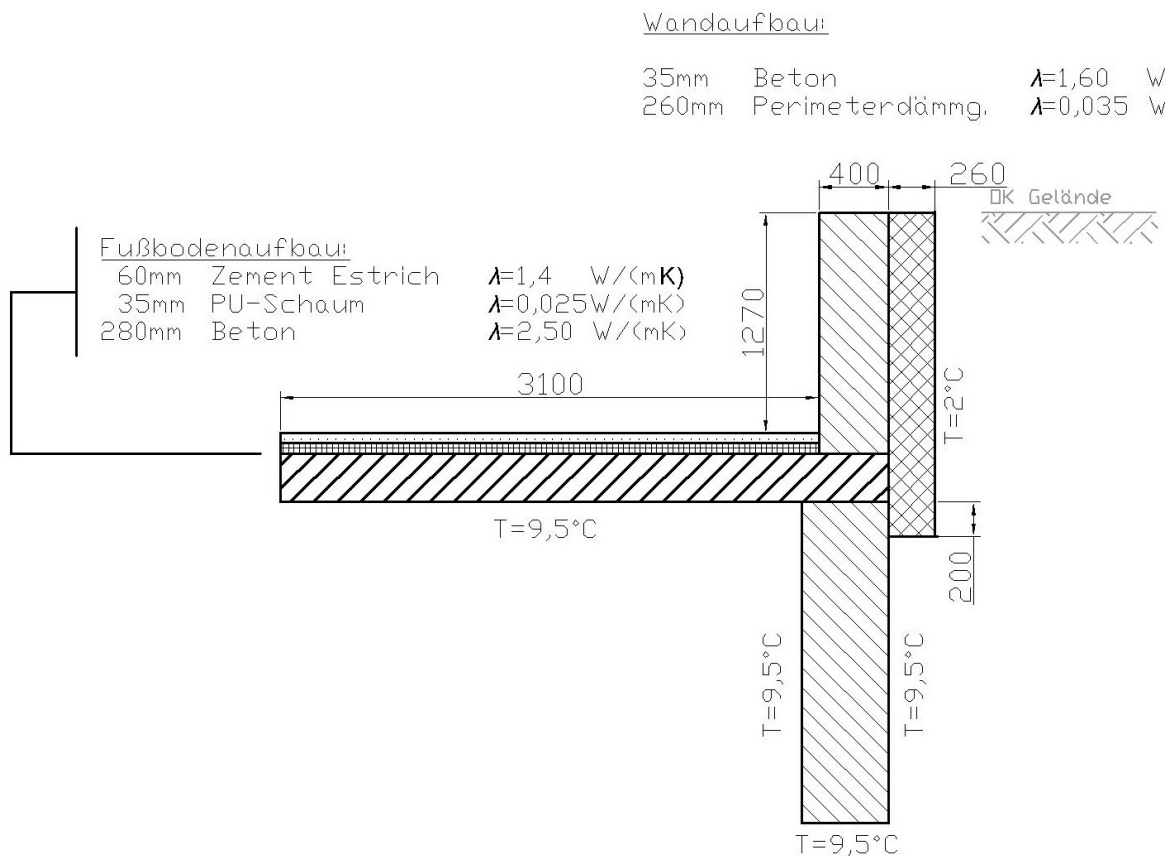


Abbildung 51: Modell XY und YZ Schnittebene für die 3D-Berechnungen am Modell nach DIN 4108-6

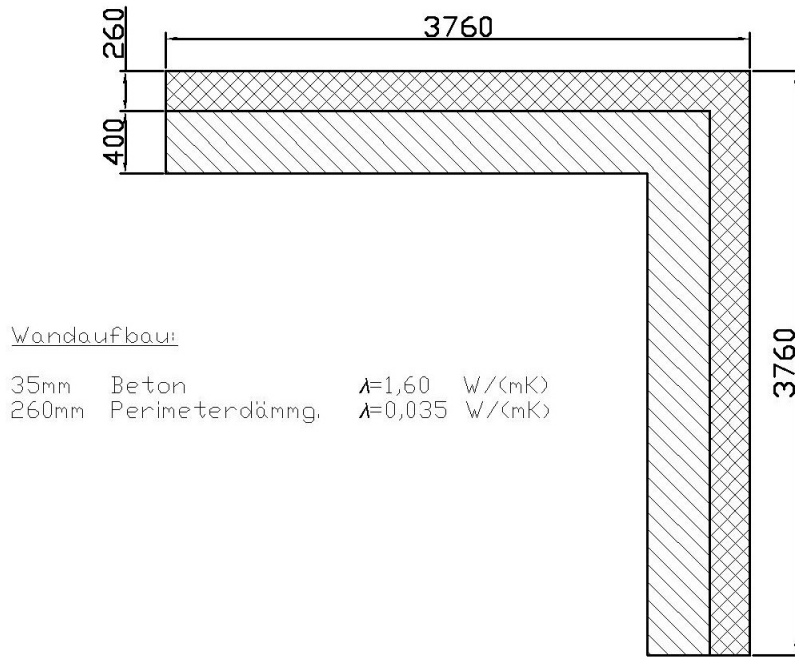


Abbildung 52: Modell XZ Schnitt Ebene für die 3D-Berechnungen am Modell nach DIN 4108-6

2.1.2.4 Modell PHI

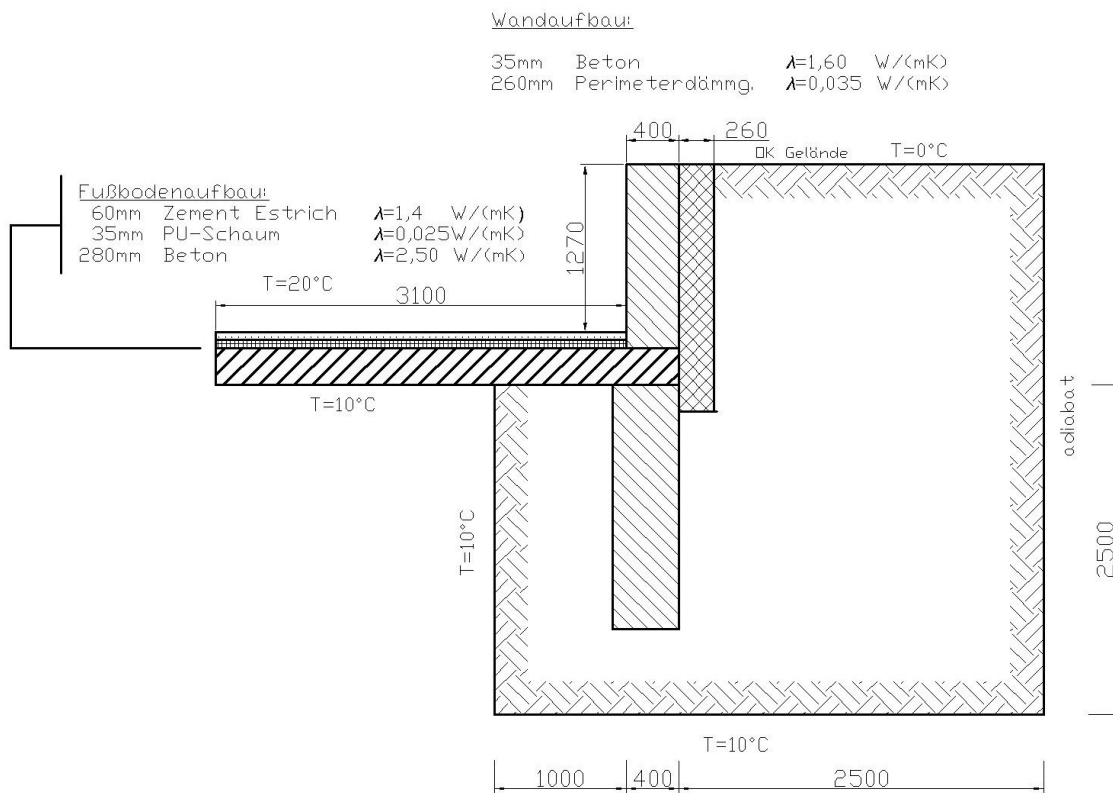


Abbildung 53: Modell XY und YZ Schnitt Ebene für die 3D-Berechnungen am Modell nach PHI

Die XZ Ebene entspricht der Modellierung nach DIN 4108 (Abbildung 52). Beachte Bemerkung Anhang Seite 39.

2.1.3 Bestimmung der Leitwerte aus der Modellierung nach DIN 4108-6

Ansatz:
$$L^{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T}$$

$$L_0 = \sum(U_i \times l_i)$$

$$\psi = L^{2D} - L^0$$

Da bei der Modellierung dieser Wärmebrücke die Randbedingung der DIN 4108-6 berücksichtigt wurden, ist es möglich den wärmeübertragenden Bauteilen eine exakte Temperatur zuzuordnen.

x, y und y, z Ebene

Problematisch ist die Ermittlung von L^{2D} , da 3 Temperaturrandbedingungen vorliegen. Um einen Aussagekräftigen L^{2D} zu finden, werden 3 Varianten näher untersucht.

1. Zuordnen der Wärmeströme zu den an den Bauteilen anliegenden ΔT :

$$L_{x,y}^{2D} = \frac{\Phi_{Bodenplatte}}{\Delta T_{Bodenplatte}} + \frac{\Phi_{Außenwand}}{\Delta T_{Außenwand}}$$

$$L_{x,y}^{2D} = \frac{13,917}{20^\circ C - 9,5^\circ C} + \frac{11,49}{20^\circ C - 2^\circ C}$$

$$L_{x,y}^{2D} = 1,964 \text{ W/K}$$

$$L_0 = U_{Außenwand} \times l_{Außenwand} + U_{Kellerboden} \times l_{Kellerboden}$$

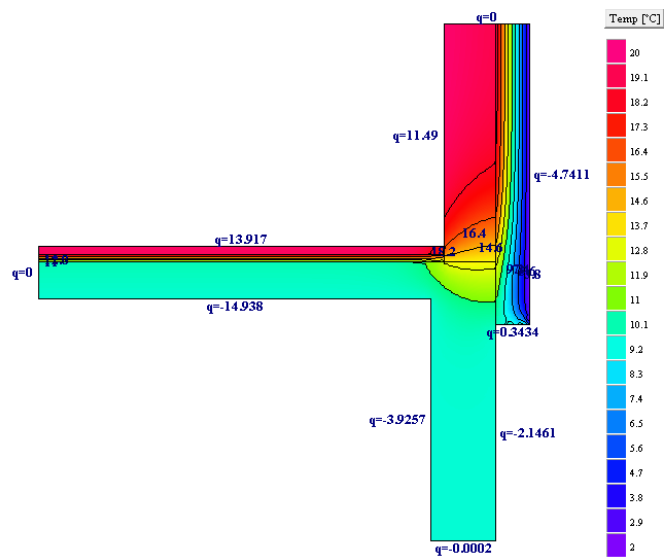
$$L_0 = 0,128 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1,67\text{m} + 0,359 \text{ W/m}^2\text{K} \times 3,76\text{m}$$

$$L_0 = 1,564 \text{ W/K}$$

$$\psi = L^{2D} - L^0$$

$$\psi = 1,964 \text{ W/K} - 1,564 \text{ W/K}$$

$$\psi = 0,4 \text{ W/K}$$



2. Korrektur über die U-Werte (nach [28 S. 2.65 ff])

Ansatz:

$$\Psi = \frac{\Phi}{\Delta T} - \sum \left(U_{(i,m)} \times l_{i,m} \times \frac{\Delta T_{i,m}}{\Delta T_{i,e}} \right) = L^{2D} - L^0$$

Berechnung:

$$\Psi = \frac{13,917 + 11,49}{20^{\circ}\text{C} - 9,5^{\circ}\text{C}} - \left(0,128 \times 1,67 \times \frac{20^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}}{20^{\circ}\text{C} - 9,5^{\circ}\text{C}} + 0,359 \times 3,67\text{m} \times \frac{20^{\circ}\text{C} - 9,5^{\circ}\text{C}}{20^{\circ}\text{C} - 9,5^{\circ}\text{C}} \right)$$

$$\Psi = 2,42 \frac{\text{W}}{\text{K}} - 1,684 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\Psi = 0,736 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Der Ψ -Wert ist im Vergleich zu vorhergehenden Variante deutlich größer. Da die Korrektur zur Ermittlung des Ψ -wertes über die U-Werte erfolgte, ist anzunehmen das der „eigentliche“ L^{2D} nicht identisch ist mit dem, der für die Berechnung von L^{3D} gesucht wird. Die begründet sich damit, dass der hier ermittelte L^{2D} -Wert über eine Temperaturrandbedingung ermittelt wurde und nicht mit den tatsächlich vorhandenen 2 Temperaturrandbedingungen. Die Anpassung an die Temperaturen erfolgte durch „Manipulation“ an L^0 .

3. Ermittlung nach DIN ISO 10211

Bei der Ermittlung nach DIN ISO 10211 werden die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Temperaturunterschieden ausgeschaltet, indem der Einfluss der einzelnen Umgebungsbedingungen separat ermittelt wird. Dies geschieht indem in der 2D-Simulation der jeweiligen betrachteten Randbedingung ein Temperaturunterschied von 1K angesetzt wird und die anderen zu 0 gesetzt werden. Am Ende werden die einzelnen Leitwerte mit dem tatsächlichen Temperaturunterschied gewichtet und ins Verhältnis mit dem betrachteten Temperaturunterschied gesetzt. Somit wird deutlich, dass dieser Vergleichstemperaturunterschied einen enormen Einfluss auf das Ergebnis hat. (Trifft auch für die Ermittlung nach den anderen beiden Methoden zu)

Im betrachteten Fall setze ich als Temperaturunterschied die Temperaturdifferenz zum Boden (also 10,5K) an. Ich begründe diese Entscheidung damit, dass ich bei der Eingabe der die Kellerwände im Programm extra berücksichtigt habe. Das bedeutet, dass das Programm für die Wärmeverluste durch die Kellerwand die geringere Temperatur berücksichtigt (durch die FX-Faktoren nach DIN 4108). Somit wird diese Betrachtung der Realität nahe liegen.

Aufstellen der Matrix:

Berechnungsschritt	$T_i - T_W$	$T_i - T_B$
1	1	0
2	0	1

φ_i ... Innentemperatur
φ_W ... Temperatur an der Wand
φ_B ... Temperatur unterhalb Bodenplatte

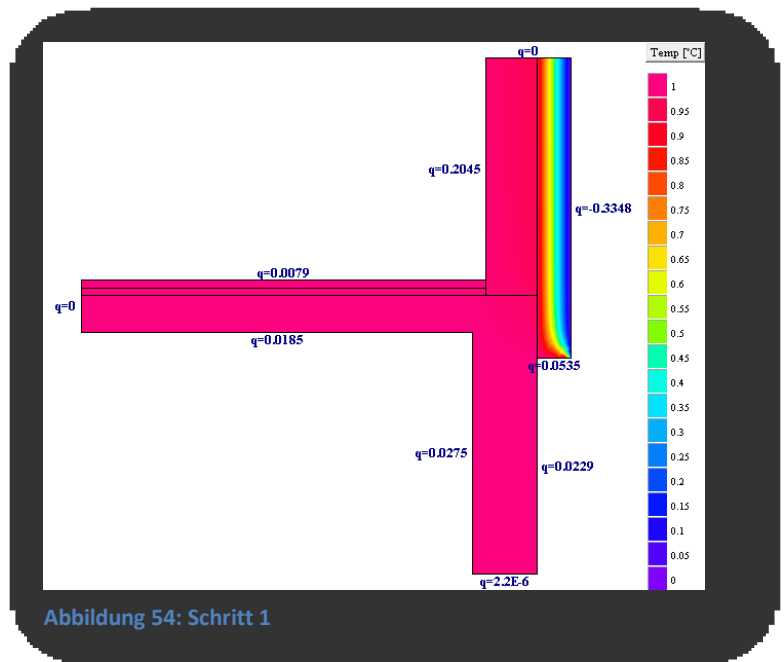
Schritt 1:

In der Simulation wird im Keller und unterhalb der Bodenplatte eine Temperatur von 1°C angesetzt. An der Außenwand wird eine Temperatur von 0°C angesetzt.

$$L_{x,y_1}^{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T}$$

$$L_{x,y_1}^{2D} = \frac{0,2045 + 0,0079}{1K}$$

$$L_{x,y_1}^{2D} = 0,2124 \text{ W/K}$$



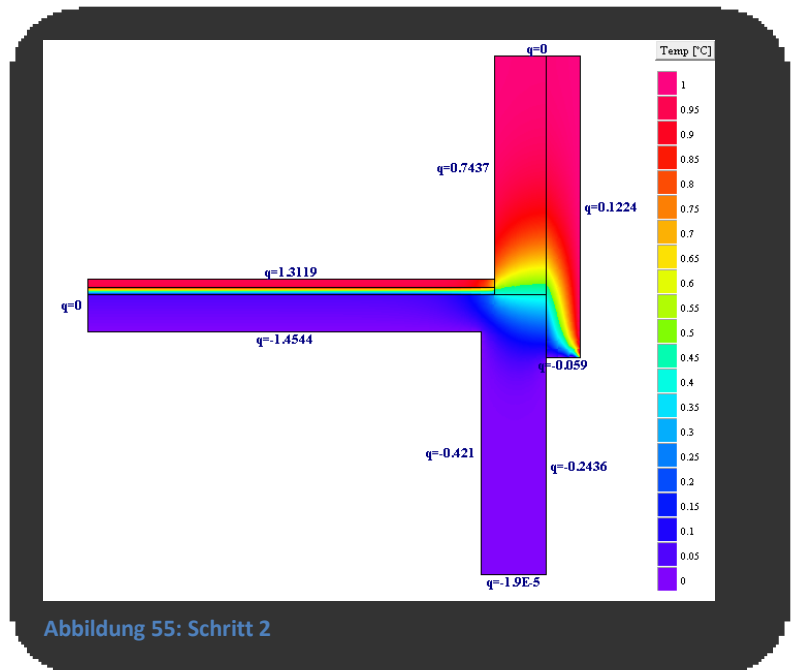
Schritt 2:

In Schritt 2 wird im Keller und an der Außenwand eine Temperatur von 1°C angesetzt. Unterhalb der Bodenplatte werden 0°C angesetzt.

$$L_{x,y_2}^{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T}$$

$$L_{x,y_2}^{2D} = \frac{1,312 + 0,7437}{1K}$$

$$L_{x,y_2}^{2D} = 2,056 \text{ W/K}$$



Ermittlung $L_{x,y}^{2D}$

$$L_{x,y}^{2D} = \frac{\sum(L_i^{2D} \times \Delta T_i)}{\Delta T}$$

$$L_{x,y}^{2D} = \frac{L_{x,y_1}^{2D} \times \Delta T_1 + L_{x,y_2}^{2D} \times \Delta T_2}{\Delta T}$$

$$L_{x,y}^{2D} = \frac{0,2124 \text{ W/K} \times (20^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C}) + 2,056 \text{ W/K} \times (20^\circ\text{C} - 9,5^\circ\text{C})}{(20^\circ\text{C} - 9,5^\circ\text{C})}$$

$$L_{x,y}^{2D} = 2,42 \text{ W/K} = L_{y,z}^{2D}$$

$$L_0 = U_{\text{Außenwand}} \times l_{\text{Außenwand}} + U_{\text{Kellerboden}} \times l_{\text{Kellerboden}}$$

$$L_0 = 0,128 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 1,67\text{m} + 0,359 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 3,76\text{m}$$

$$L_0 = 1,564 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\Psi = L^{2D} - L^0$$

$$\Psi = 2,42 \frac{\text{W}}{\text{K}} - 1,564 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\Psi = 0,856 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Diese Methode scheint die geeignetste zur Ermittlung von L^{2D} und Ψ zu sein, wenn an der Wärmebrücke mehr als 2 Temperaturen anliegen. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher diese Methode benutzt.

x, z – Ebene

$$L_{x,z}^{2D} = \frac{0,4533 + 0,4531}{1\text{K}}$$

$$L_{x,z}^{2D} = 0,906 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$L_0 = U_{\text{Außenwand}} \times l_{\text{Außenwand}}$$

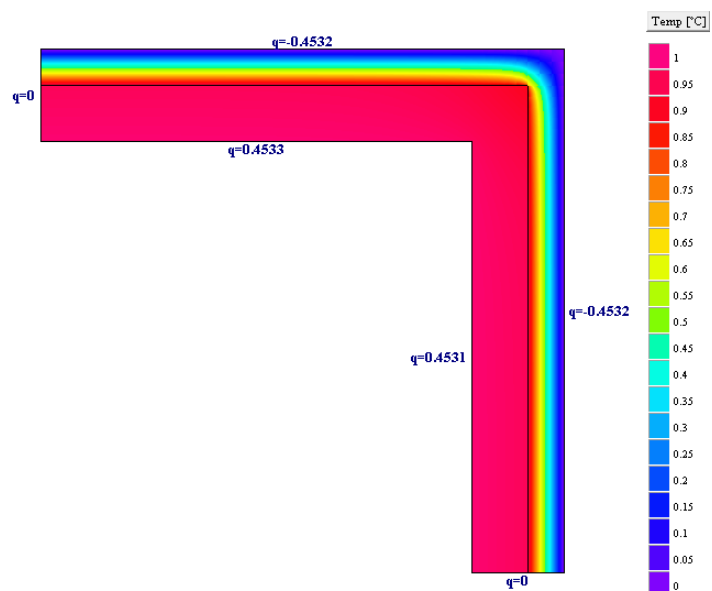
$$L_0 = 0,128 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 7,52\text{m}$$

$$L_0 = 0,962 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\Psi = L^{2D} - L^0$$

$$\Psi = 0,906 \frac{\text{W}}{\text{K}} - 0,962 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\Psi = -0,056 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

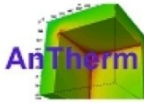


2.1.3.1 Auswertung 3D-Simulation Modell nach DIN 4108-6

Ausgabe L3D

Demonstrationslizenz - exklusives Demonstration-Preview
 Vervielfältigung oder Weitergabe nicht gestattet
 Copyright (c) T.Kornicki, Dienstleistungen in EDV und IT
 email: tkornicki@chello.at

24.03.2008
 AnTherm (Code WALTER)
 Version 3.53 2008.01.16
 (c)T.Kornicki,all rights reserved

 AnTherm

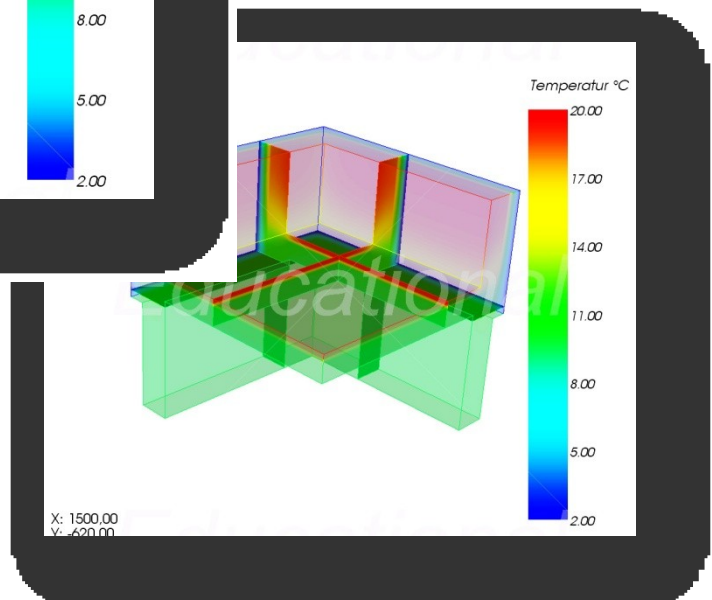
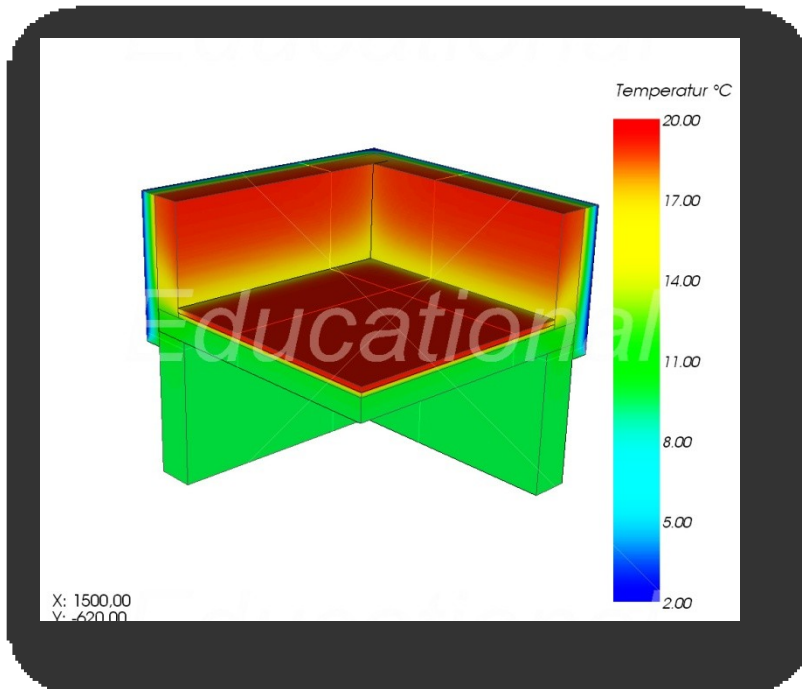
Datei: D:\Marcel\Dokumente\AnTherm\Masterarbeit.antherm

Anzahl der bilanzierten Zellen: 957160

Thermische Leitwerte [W / K]			
Raum\Raum	Erdreich	Erdreich	Keller
Erdreich		1,562091	0,986360
Erdreich unter	1,562090		8,985085
Keller	0,986357	8,984921	

Genauigkeitsangaben			
	Schließfehler [W / K]	Leitwert Summe [W / K]	Leitwertbezogener Schließfehler
Erdreich.Kellerwand	-4,02841e-006	2,548447	-1,58073e-006
Erdreich.unter Keller	-1,62479e-004	10,547012	-1,54052e-005
Keller	1,66507e-004	9,971445	1,66984e-005

Ausgabe der Temperaturverläufe mit den Randbedingungen nach DIN



2.1.3.2 Bestimmung von χ nach DIN 4108-6

36

Bekannt:	L^{3D}	= 9,9714 W/K
	$L_{x,y}^{2D} = L_{y,z}^{2D}$	= 2,42 W/(K*m)
	$U_{x,y} = U_{y,z}$	= 0,128 W/(K*m ²)
	$l_z = l_x$	= 3,76 m
	$A_{x,y} = A_{y,z}$	= 6,28 m ²
	$L_{x,z}^{2D}$	= 0,962 W/(K*m)
	$U_{x,z}$	= 0,383 W/K
	l_y	= 1,67 m
	$A_{x,z}$	= 14,14 m ²

Lösung:

$$\begin{aligned} \chi &= L^{3D} - L_{x,y}^{2D} \times l_z - L_{y,z}^{2D} \times l_x - L_{x,z}^{2D} \times l_y \\ &\quad + U_{x,z} \times A_{x,z} + U_{y,z} \times A_{y,z} + U_{x,y} \times A_{x,y} \\ \chi &= 9,9714 \frac{W}{K} - 2,42 \frac{W}{K \times m} \times 3,76m - 2,42 \frac{W}{K \times m} \times 3,76m - 0,962 \frac{W}{K \times m} \times 1,67m \\ &\quad + 0,359 \frac{W}{K \times m^2} \times 14,14m^2 + 0,128 \frac{W}{K \times m^2} \times 6,28m^2 + 0,128 \frac{W}{K \times m^2} \times 6,28m^2 \\ \chi &= -3,15 \frac{W}{K} \end{aligned}$$

Bemerkung: Bei Ermittlung von L^{2D} nach Methode 1 (Anhang Seite 29) ergibt sich $\chi = 0,31 \frac{W}{K}$.

2.1.4 Modellierung nach PHI

Folgenden weiteren Randbedingungen wurden für die Modellierung getroffen:

- Abstände von der Innenecke (OK Fussboden)
 - Modellgrenzen
 - X,Y – Schnittebene: 3,67 m in Bauteilrichtung
2,5 m außerhalb Bauteil (nach PHI 1)
 - Y,Z – Schnittebene: 3,67 m
2,5 m außerhalb Bauteil (nach PHI 1)
 - X,Z – Schnittebene: \cong OK Gelände
 - X,Z – Schnittebene: - 2,5 m (nach PHI)
 - Abstand Schnittebenen zur Bestimmung L^{2D} bzw. ψ
 - X,Y – Schnittebene: 2,50 m
 - Y,Z – Schnittebene: 2,50 m
 - Y,Z – Schnittebene: 1,50 m
- Eine größere Modellierung lies die Demonstrationslizenz die mir zur Verfügung stand nicht zu.
- Modellabmessung 2D siehe Anhang Seite 30.

2.1.4.1 Randbedingungen gemäß PHI

Das Erdreich wird nur in einem Rechteck modelliert, das links und unten 2,50 m über die Gebäudekante hinausgeht und 1m unter die Bodenplatte ragt. Auf der Oberseite des Rechtecks herrscht Außentemperatur (0° C), links ein adiabatischer Abschluss, unten und rechts sowie unter der Bodenplatte wird eine Temperatur von 10 ° C angesetzt.¹⁴

2.1.4.2 Bestimmung der Leitwerte aus der Modellierung nach PHI

Ansatz:

$$L^{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T}$$

$$L_0 = \sum(U_i \times l_i)$$

$$\psi = L^{2D} - L^0$$

Da bei dieser Modellierung den Bauteilen direkt keine Temperaturen zugewiesen werden können, und es mehr als 2 Temperaturrandbedingungen gibt müssen die Leitwerte in x,y und y,z-Ebene nach DIN 10211-1 mit einer Matrix ermittelt. Das Verfahren ist in Abschnitt 2.1.2.2 Nr. 3 beschrieben. Als relevanten Temperaturunterschied setze ich die Temperaturdifferenz zur Boden (also 10K) an.

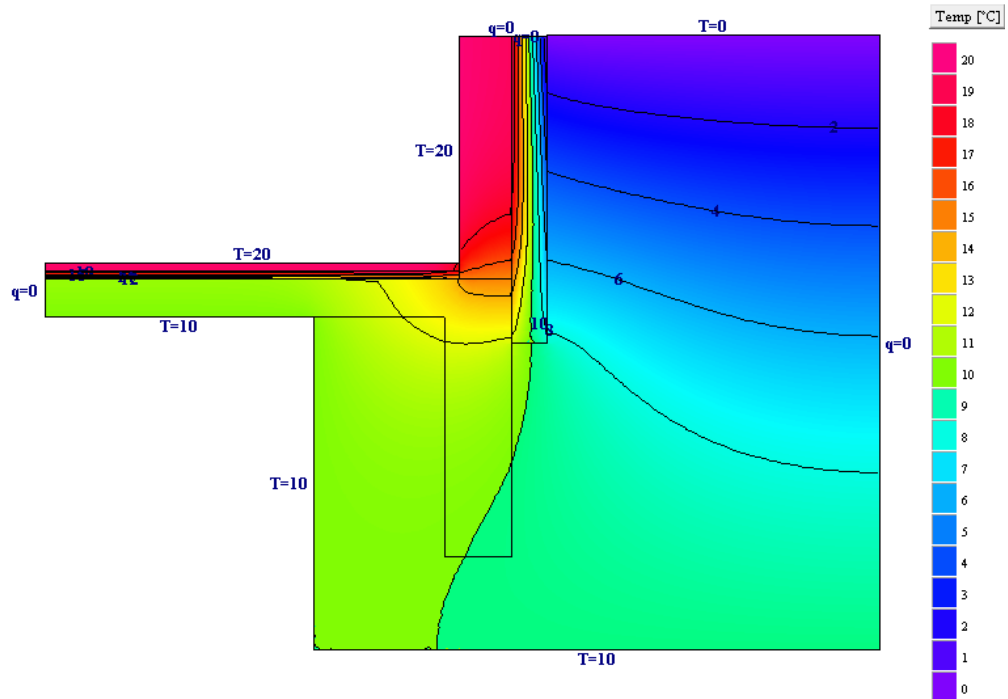


Abbildung 56: Ergebnisse der 2D Simulation der x,y bzw. y,z-Ebene bei Modellierung nach PHI

¹⁴ Diplom-Arbeit von Christoph Zeugner, 2008, HTWK Leipzig FB Bauwesen

x, y und y, z Ebene

Aufstellen der Matrix:

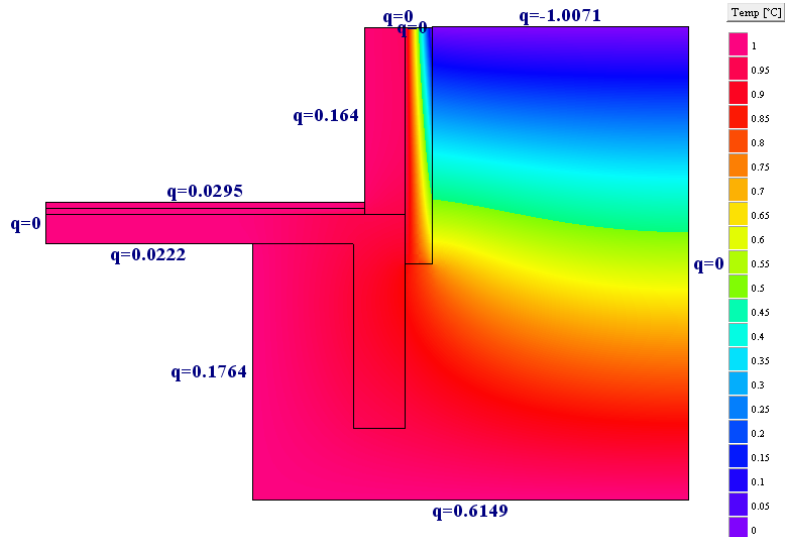
Berechnungsschritt	$\varphi_i - \varphi_a$	$\varphi_i - \varphi_B$	L_i^{2D}
1	1	0	0,1585
2	0	1	1,1306

Schritt 1:

$$L_{x,y_1}^{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T}$$

$$L_{x,y_1}^{2D} = \frac{0,164 + 0,0295}{1K}$$

$$L_{x,y_1}^{2D} = 0,1935 \text{ W/K}$$

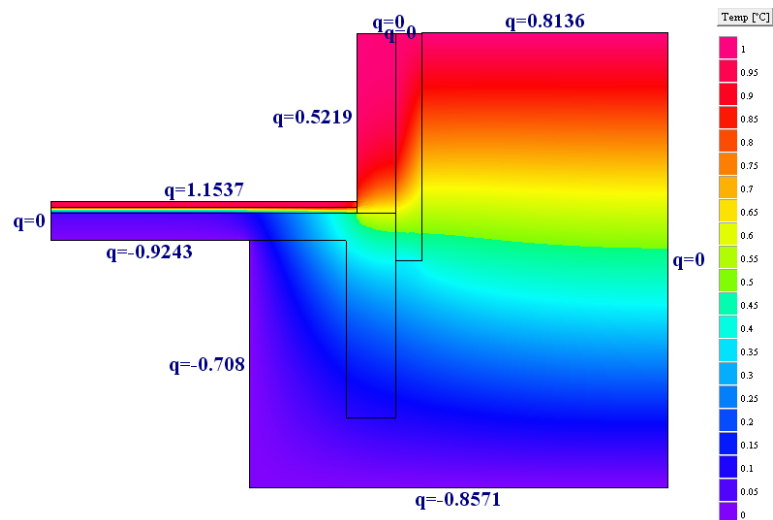


Schritt 2:

$$L_{x,y_2}^{2D} = \frac{\Phi}{\Delta T}$$

$$L_{x,y_2}^{2D} = \frac{1,154 + 0,522}{1K}$$

$$L_{x,y_2}^{2D} = 1,676 \text{ W/K}$$



Ermittlung $L_{x,y}^{2D}$

$$L_{x,y}^{2D} = \frac{\sum(L_i^{2D} \times \Delta T_i)}{\Delta T}$$

$$L_{x,y}^{2D} = \frac{L_{x,y_1}^{2D} \times \Delta T_1 + L_{x,y_2}^{2D} \times \Delta T_2}{\Delta T}$$

$$L_{x,y}^{2D} = \frac{0,1935 \text{ W/K} \times (20^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) + 1,676 \text{ W/K} \times (20^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})}{(20^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C})}$$

$$L_{x,y}^{2D} = 2,063 \text{ W/K} = L_{y,z}^{2D}$$

$$L_0 = U_{\text{Außenwand}} \times l_{\text{Außenwand}} + U_{\text{Kellerboden}} \times l_{\text{Kellerboden}}$$

$$L_0 = 0,128 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 1,67\text{m} + 0,359 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 3,76\text{m}$$

$$L_0 = 1,564 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\psi = L^{2D} - L^0$$

$$\psi = 2,063 \frac{\text{W}}{\text{K}} - 1,564 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\psi = 0,50 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

x, z Ebene

Der Temperaturverlauf der x,z-Ebene ist in Richtung y Ebene nicht konstant. Auf Höhe OK-Gelände beträgt die Temperatur 0°C, an der unteren Begrenzung des Erdreichs 10°C und in Höhe des unteren Abschlusses der Wärmebrücke (Schnittpunkt UK-Bodenplatte mit AK-Außenwanddämmung) rund 8°C (siehe Isothermen-Verlauf). Eine Modellierung des Erdreichs kann nicht geschehen, da der äußere Rand adiabatisch (kein Wärmestrom) ist und sich somit keine Temperaturgradient entwickeln kann. Für die Modellierung setze ich eine Temperatur von 4°C an der Außenwand an. Dies entspricht dem Mittelwert der des an der Außenwand anliegenden Temperaturgefälles.

$$L_{x,z}^{2D} = \frac{7,252 + 7,25}{20\text{K} - 4\text{K}}$$

$$L_{x,z}^{2D} = 0,906 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$L_0 = U_{\text{Außenwand}} \times l_{\text{Außenwand}}$$

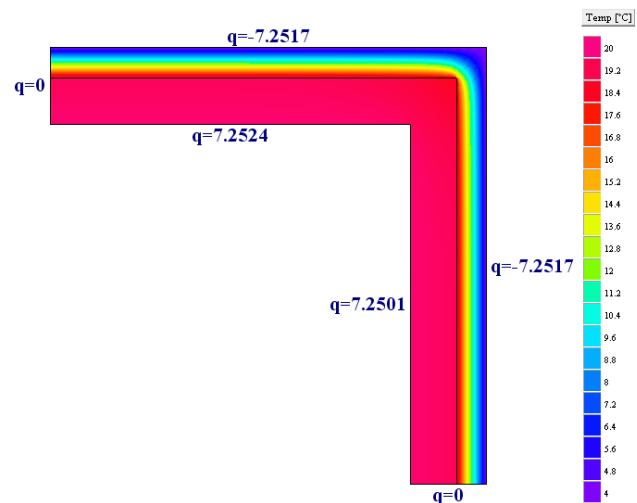
$$L_0 = 0,128 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \times 7,52\text{m}$$

$$L_0 = 0,962 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\psi = L^{2D} - L^0$$

$$\psi = 0,906 \frac{\text{W}}{\text{K}} - 0,962 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

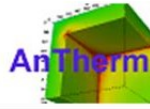
$$\psi = -0,056 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$



Wenn man diese Berechnung mit der Berechnung des Ψ -Wertes der XZ-Ebene nach DIN (Anhang Seite 34) vergleicht, wird man feststellen, dass der einzige Unterschied die Temperaturdifferenz ist. Diese hat jedoch auf das Ergebnis keinen Einfluss, da Ψ immer dem zusätzlichen Wärmeverlust (gegenüber L^0) der Wärmebrücke bei einer Temperaturdifferenz von 1K entspricht.

2.1.4.3 Auswertung 3D-Simulation nach PHI

Demonstrationslizenz - exklusives Demonstration-Preview
 Vervielfältigung oder Weitergabe nicht gestattet
 Copyright (c) T.Kornicki, Dienstleistungen in EDV und IT
 email: tkornicki@chello.at



28.03.2008
 AnTherm (Code WALTER)
 Version 3.53 2008.01.16
 (c)T.Kornicki,all rights reserved

Datei: D:\Marcel\Dokumente\AnTherm\Masterarbeit PHI2.anthem

Anzahl der bilanzierten Zellen: 898216

Educational

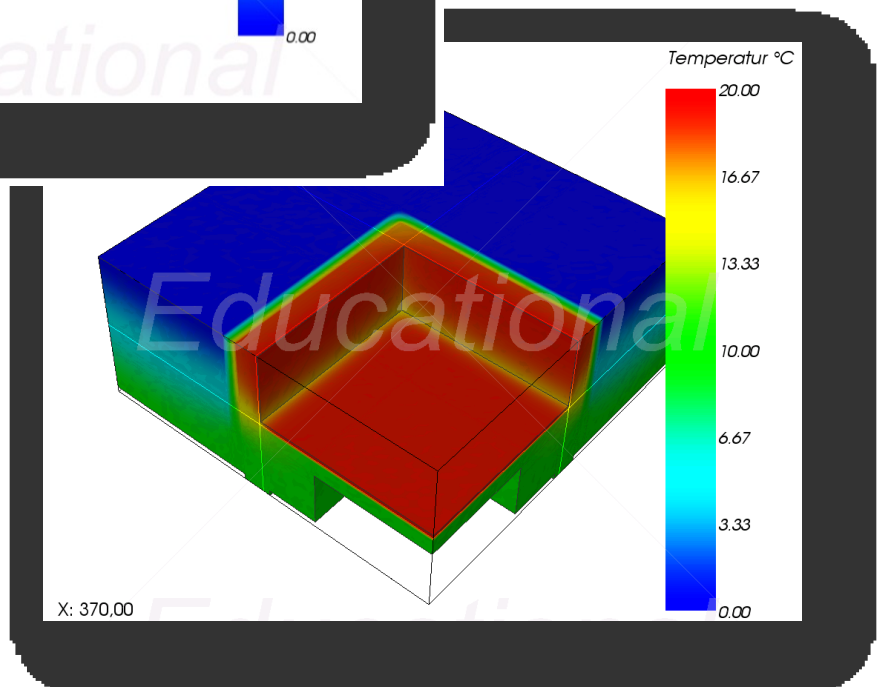
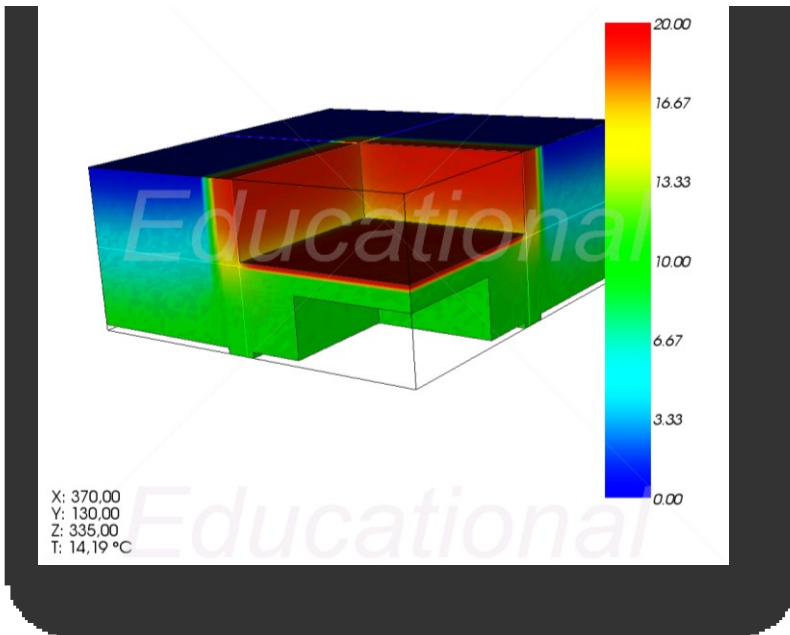
Thermische Leitwerte [W / K]

Raum \ Raum	Außenluft	Erdreich	Keller
Außenluft		19,873746	0,992602
Erdreich	19,873743		7,645401
Keller	0,994722	7,646392	

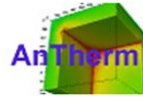
Genauigkeitsangaben

	Schließfehler [W / K]	Leitwert Summe [W / K]	Leitwertbezogener Schließfehler
Außenluft	2,11640e-003	20,868465	1,01416e-004
Erdreich	9,95229e-004	27,520139	3,61637e-005
Keller	-3,11163e-003	8,638002	-3,60226e-004

Educational



Demonstrationslizenz - exklusives Demonstration-Preview
 Vervielfältigung oder Weitergabe nicht gestattet
 Copyright (c) T.Kornicki, Dienstleistungen in EDV und IT
 email: tkornicki@chello.at



28.03.2008
 AnTherm (Code WALTER)
 Version 3.53 2008.01.16
 (c)T.Kornicki,all rights reserved

Datei: D:\Marcel\Dokumente\AnTherm\Masterarbeit PHI2.antherm

Anzahl der bilanzierten Zellen: 898216 (Knotenzahl = 7310091)

Randbedingungen und resultierende Oberflächentemperaturen/ Grenzfeuchten					
	Raumtemperatur [°C]	min. Temperatur [°C]	max. Temperatur [°C]	Grenzfeuchte [%]	f _{Rsi} *
Außenluft	0,00	0,00	0,00	100,0 %	1,00
Erdreich	10,00	10,00	10,00	100,0 %	1,00
Keller	20,00	15,22	19,20	74,0 %	0,76

Gewichte für den kältesten Oberflächenpunkt eines jeden Raumes			
	Außenluft	Erdreich	Keller
g(Außenluft)	1,000000	0,000000	0,050936
g(Erdreich)	0,000000	1,000000	0,376081
g(Keller)	0,000000	0,000000	0,572983

Koordinaten (x,y,z) des kältesten Oberflächenpunktes eines jeden Raumes					
	x	y	z	Temp.[°C]	f _{Rsi} *
Außenluft	-2523,5000	3260,0000	1670,0000	0,0	1,00
Erdreich	500,0000	-3000,0000	-1000,0000	10,0	1,00
Keller	400,0000	100,0000	400,0000	15,2	0,76

2.1.4.4 Bestimmung von χ nach PHI

Bekannt:

$$L^{3D} = 8,638 \text{ W/K}$$

$$L_{x,y}^{2D} = L_{y,z}^{2D} = 2,063 \text{ W/(K*m)}$$

$$U_{x,y} = U_{y,z} = 0,128 \text{ W/(K*m}^2\text{)}$$

$$l_z = l_x = 3,76 \text{ m}$$

$$A_{x,y} = A_{y,z} = 6,28 \text{ m}^2$$

$$L_{x,z}^{2D} = 0,906 \text{ W/(K*m)}$$

$$U_{x,z} = 0,383 \text{ W/K}$$

$$l_y = 1,67 \text{ m}$$

$$A_{x,z} = 14,14 \text{ m}^2$$

Lösung:

$$\chi = L^{3D} - L_{x,y}^{2D} \times l_z - L_{y,z}^{2D} \times l_x - L_{x,z}^{2D} \times l_y$$

$$+ U_{x,z} \times A_{x,z} + U_{y,z} \times A_{y,z} + U_{x,y} \times A_{x,y}$$

$$\chi = 8,638 \frac{\text{W}}{\text{K}} - 2,063 \frac{\text{W}}{\text{K} \times \text{m}} \times 3,76\text{m} - 2,063 \frac{\text{W}}{\text{K} \times \text{m}} \times 3,76\text{m} - 0,906 \frac{\text{W}}{\text{K} \times \text{m}} \times 1,67\text{m}$$

$$+ 0,359 \frac{\text{W}}{\text{K} \times \text{m}^2} \times 14,14\text{m}^2 + 0,128 \frac{\text{W}}{\text{K} \times \text{m}^2} \times 6,28\text{m}^2 + 0,128 \frac{\text{W}}{\text{K} \times \text{m}^2} \times 6,28\text{m}^2$$

$$\chi = -1,704 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

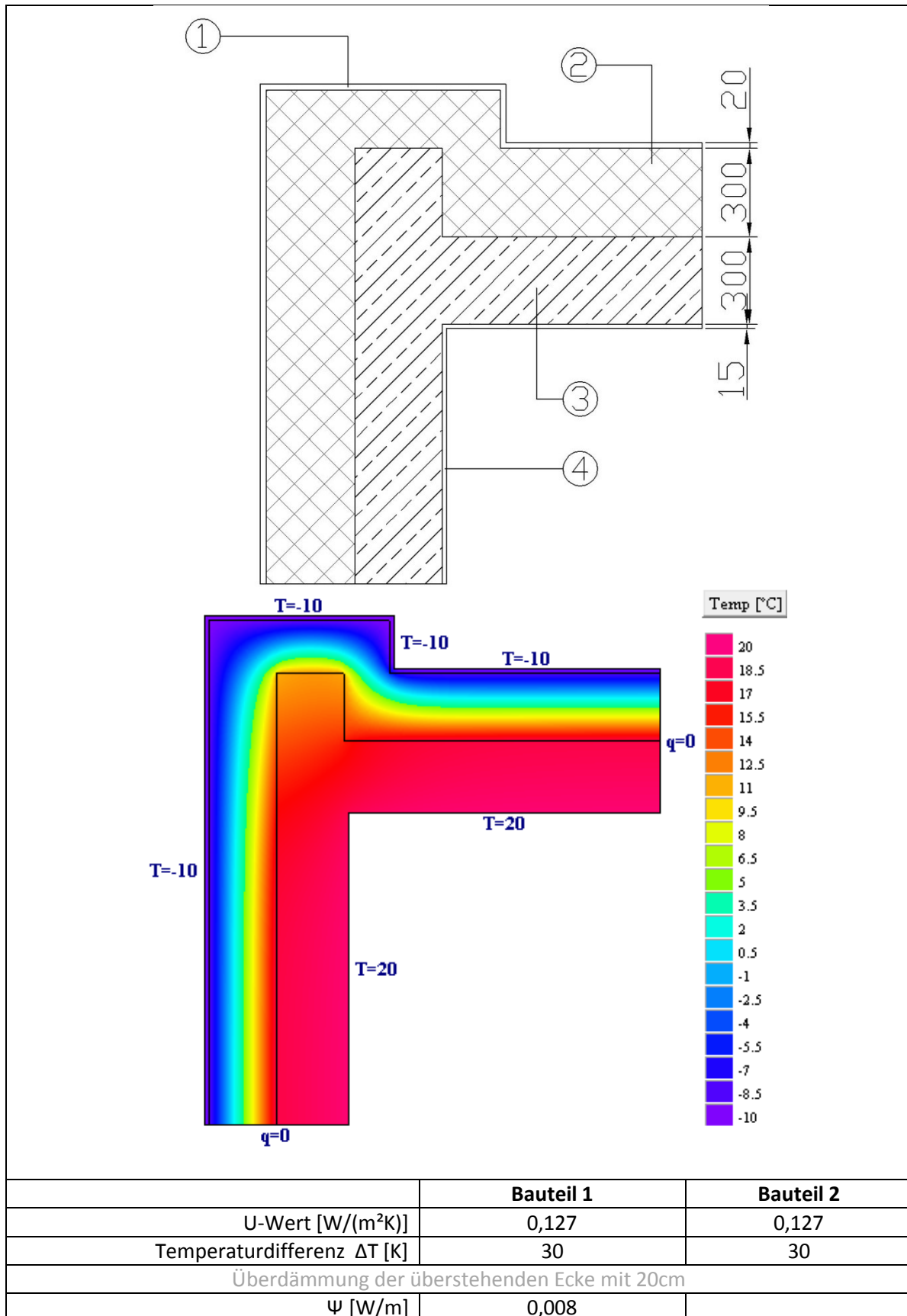
2.2 Wärmebrücken

15	Wärmebrückeneinfluss	6.1.2	<p>Folgende Möglichkeiten können in Ansatz gebracht werden:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Berechnung nach E DIN EN ISO 10211-2 mit Hilfe der Ψ-Werte für Wärmebrücken an: <ul style="list-style-type: none"> — Gebäudekanten; — Fenstern und Türen: Laibungen (umlaufend); — Wand- und Deckeneinbindungen — Deckenauflagern; — wärmetechnisch entkoppelten Balkonplatten 2) pauschale Berücksichtigung unter Berücksichtigung von DIN 4108 Beiblatt 2: $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 3) ohne Berücksichtigung von DIN 4108 Beiblatt 2: $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ <p>Verglaste Fassaden (Vorhangfassaden als Pfosten-Riegel-Konstruktion) sind bei der Berücksichtigung des Wärmebrückeneinflusses auszunehmen, einschließlich Paneele:</p> $\Delta H_{WB} = \Delta U_{WB} (A - A_{cw}) \quad (D.13)$ <p>Dabei ist: A die Fläche der verlasten Fassade</p>
----	----------------------	-------	--

Abbildung 57: Zu berechnende Wärmebrücken (DIN 4108-6 Tabelle D.3)

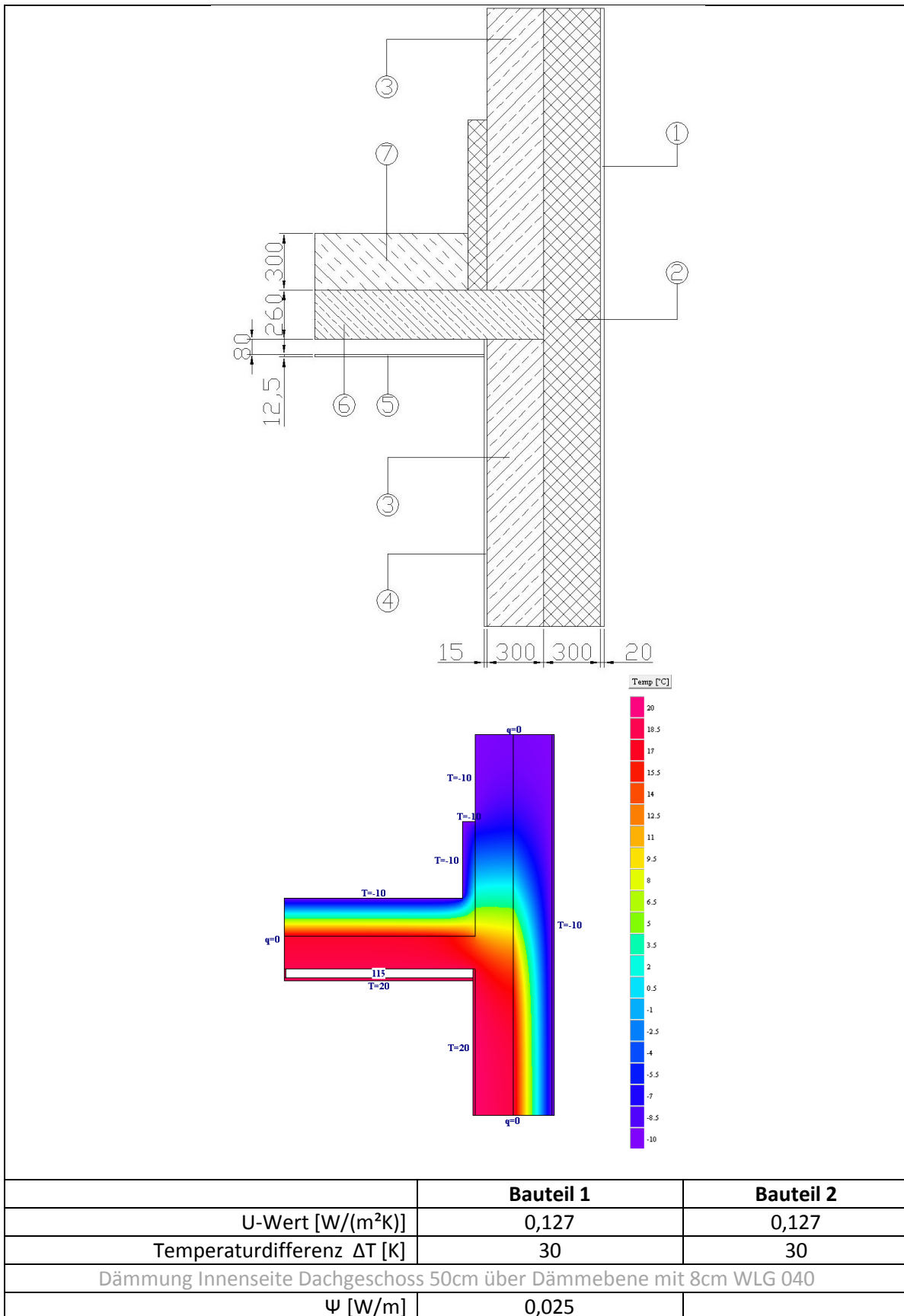
Für die Betrachtung der nachfolgenden Wärmebrücken empfiehlt es sich die Seite 61 aufzuklappen. Auf dieser Seite sind die verwendeten Baustoffe aufgeführt.

2.2.1 Bestandsgebäude Außenwanddecke



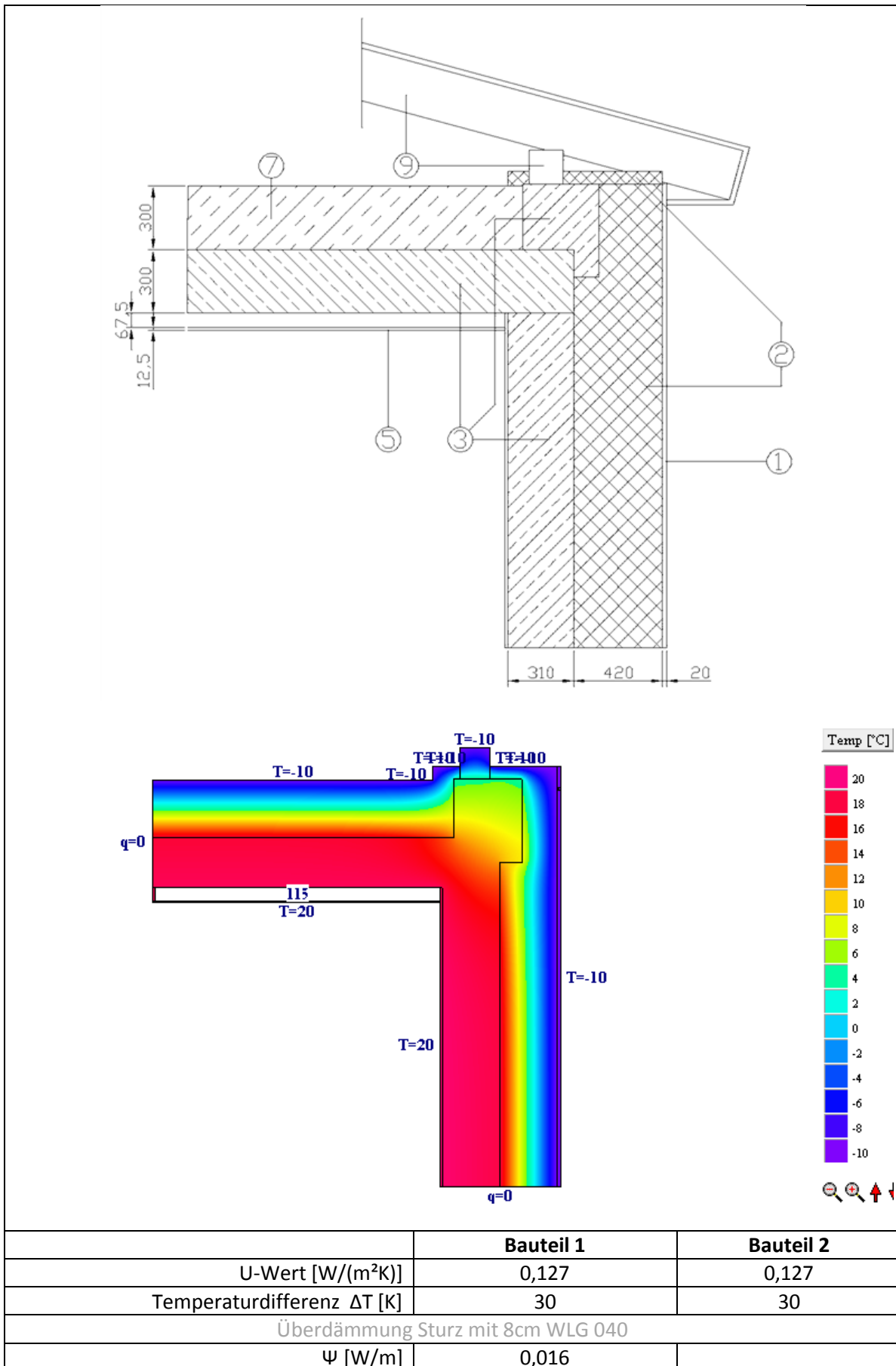
Baustoffe siehe Seite 61.

2.2.2 Bestandsgebäude einbindende oberste Geschossdecke

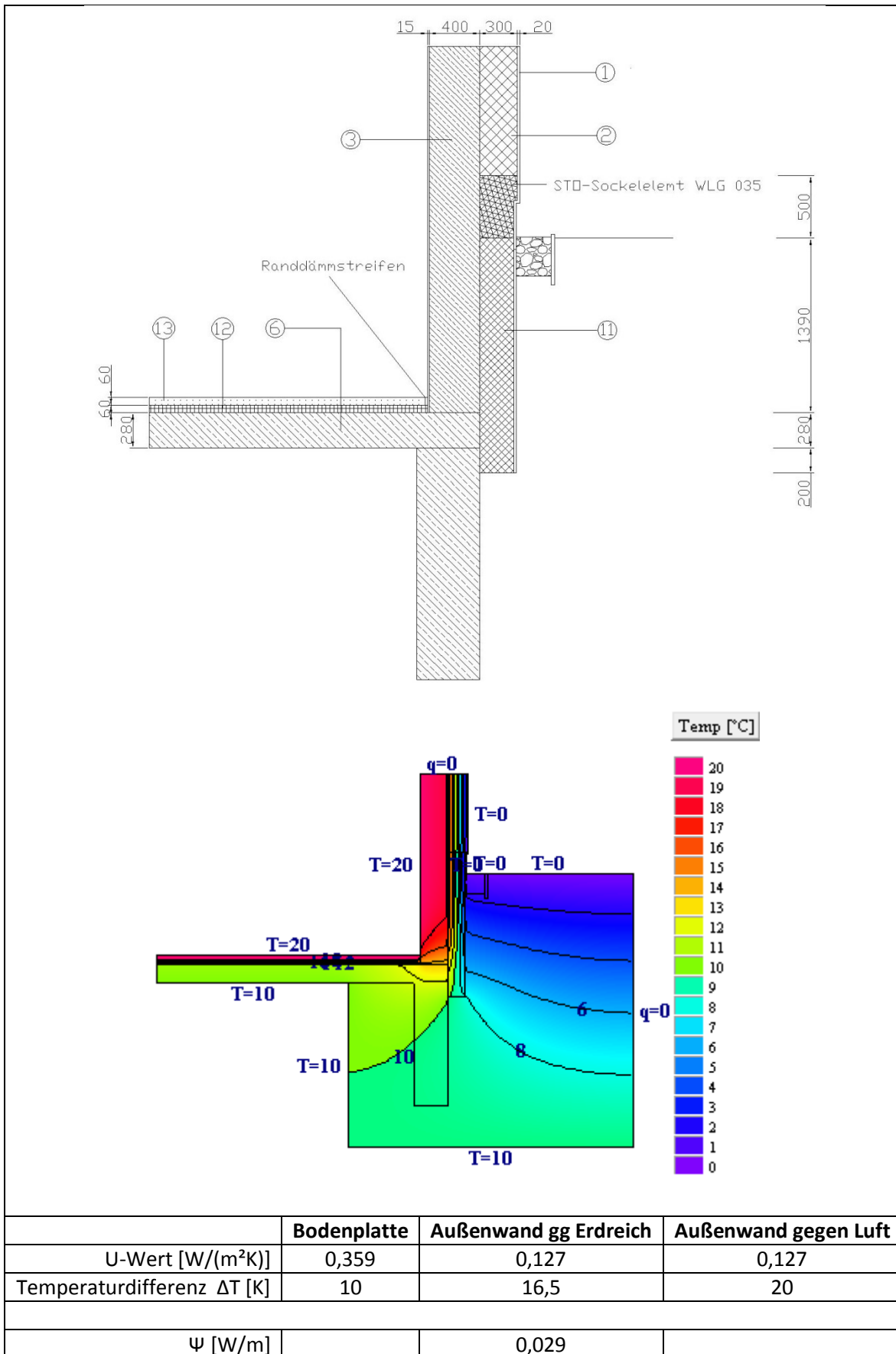


Baustoffe siehe Seite 61.

2.2.3 Bestandsgebäude Traufdetail

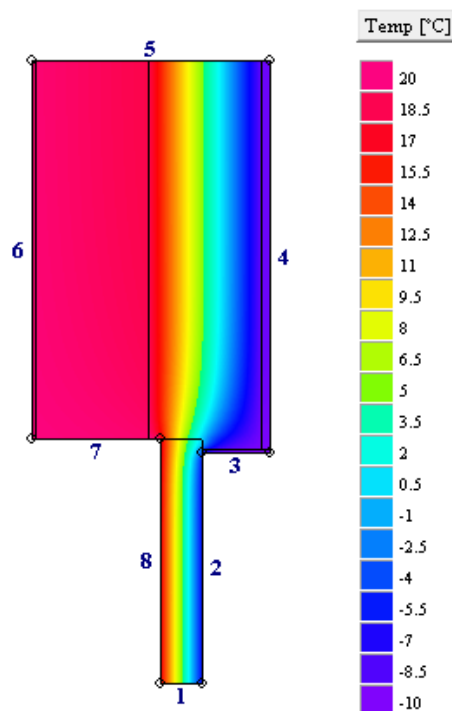


2.2.4 Bestandsgebäude Bodenplatte - Kellerwand



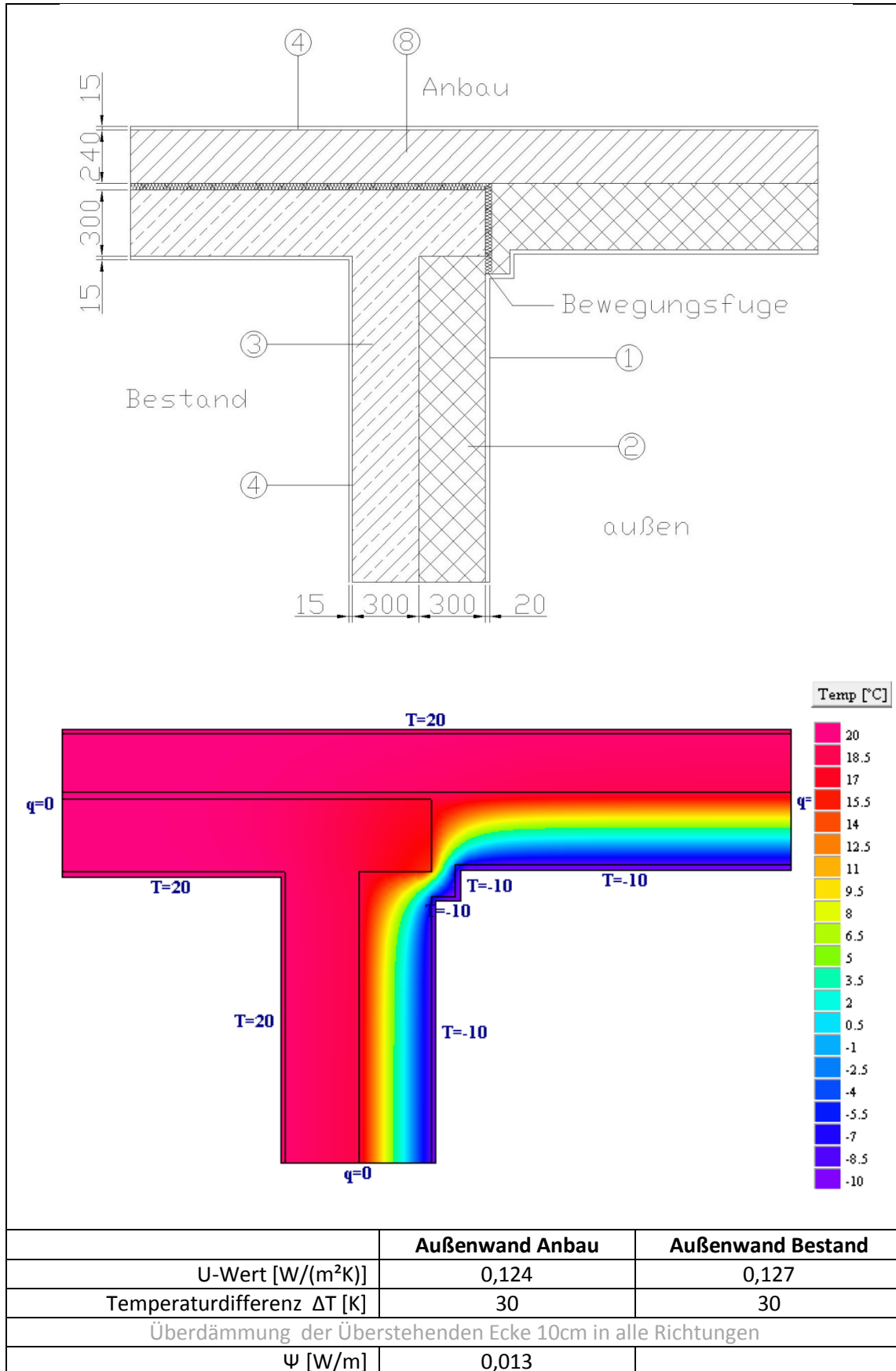
2.2.5 Bestand Fensterlaibung

Die DIN 4108 ermittelt die Ψ -Werte bei Konstruktionen vereinfachend mit Hilfe eines Modellfensters. Das Fenster wird mit einem Baustoff der Dicke 70mm mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,13\text{W}/(\text{mK})$ modelliert. Mit Zurechnung der Wärmeübergangswiderstände ergibt sich für das Fenster ein U-Wert von $1,4\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. Für Passivhäuser wird eine Fensterqualität von $0,8\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ empfohlen. Unter Berücksichtigung der breiteren Konstruktion und der besseren Glasqualitäten habe ich dieses Fenster durch einen 12cm breiten Baustoff mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,11\text{W}/\text{mK}$ modelliert. Berücksichtigt habe ich weiterhin eine Überdämmung des Rahmens von 3cm. Der ermittelte Ψ -Wert ist leicht negativ. Ich bin der Meinung, dass dies nicht der Realität entspricht. Das vereinfachte Modell der DIN ist somit nicht für Passivhausfensterkonstruktionen anwendbar. In den Dokumentationen zu diversen Passivhausfensterkonstruktionen schwanken die ermittelten Ψ -Werte von 0,00 bis 0,07. Für die Berechnungen werde ich einen Wert von 0,04 für den gesamten Umfang des Fensters annehmen.

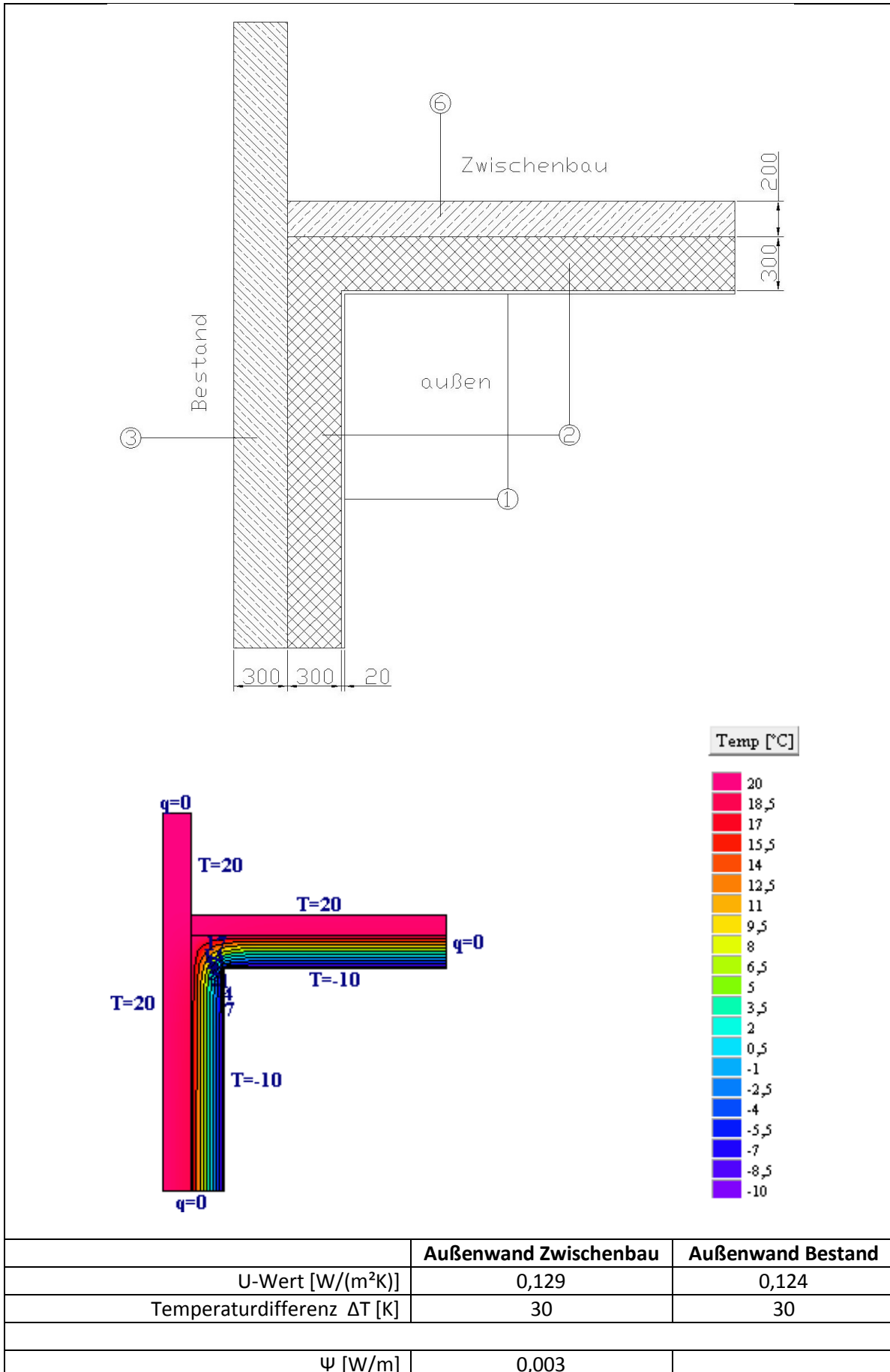


	Außenwand Bestand	Modellfenster
U-Wert [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]	0,127	0,793
Temperaturdifferenz ΔT [K]	30	30
Ψ [W/m]	-0,002	

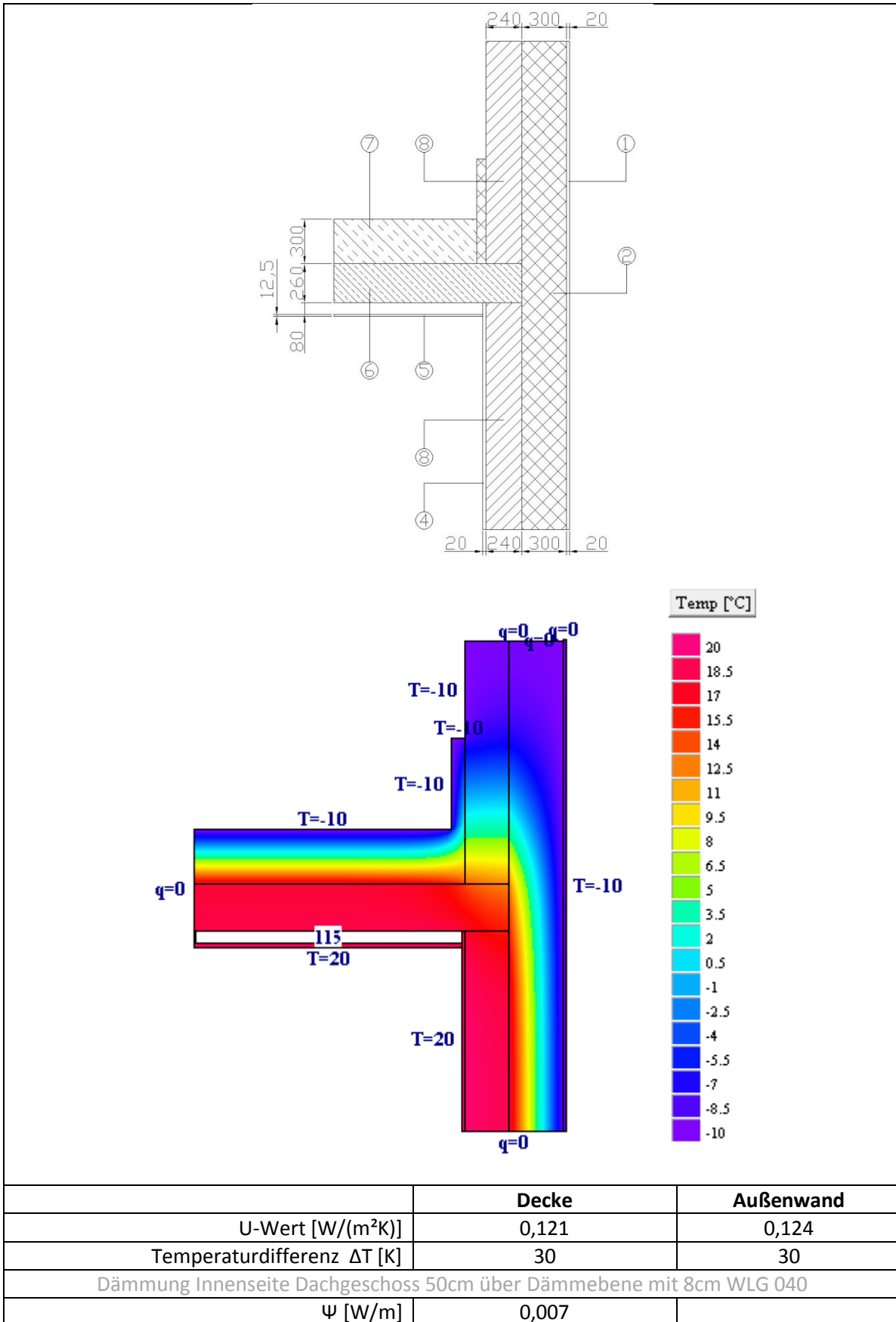
2.2.6 Anschluss Bestandsgebäude - Anbau



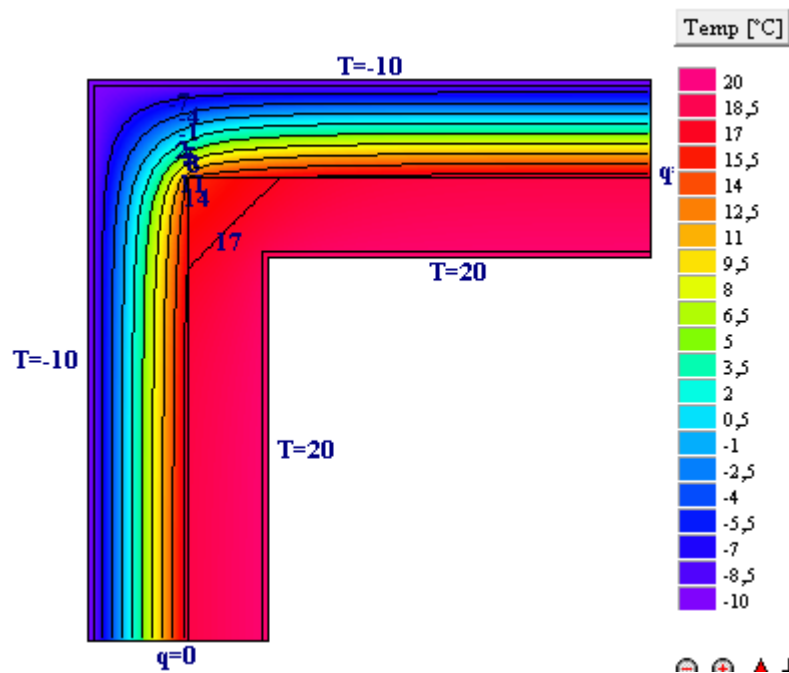
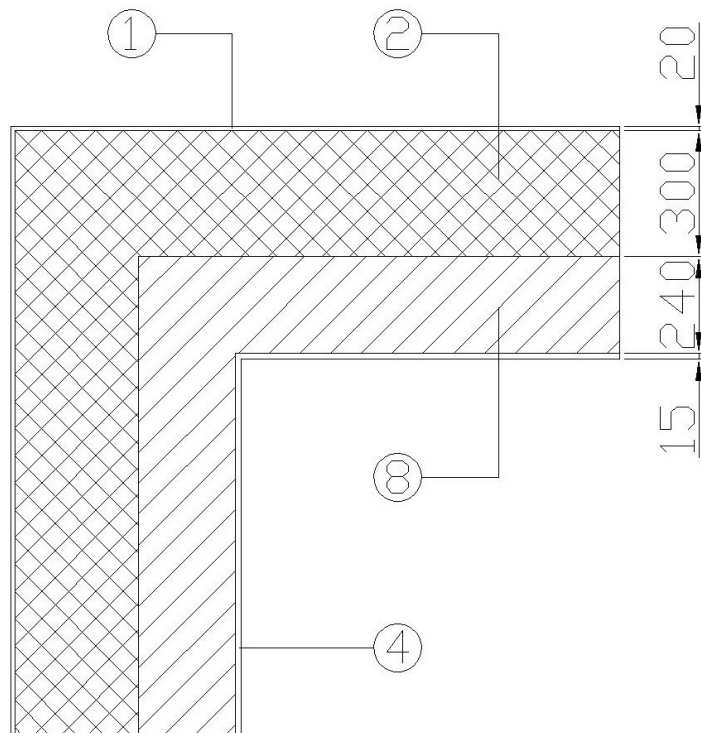
2.2.7 Anschluss Bestandsgebäude - Zwischenbau



2.2.8 Anbau einbindende oberste Geschossdecke

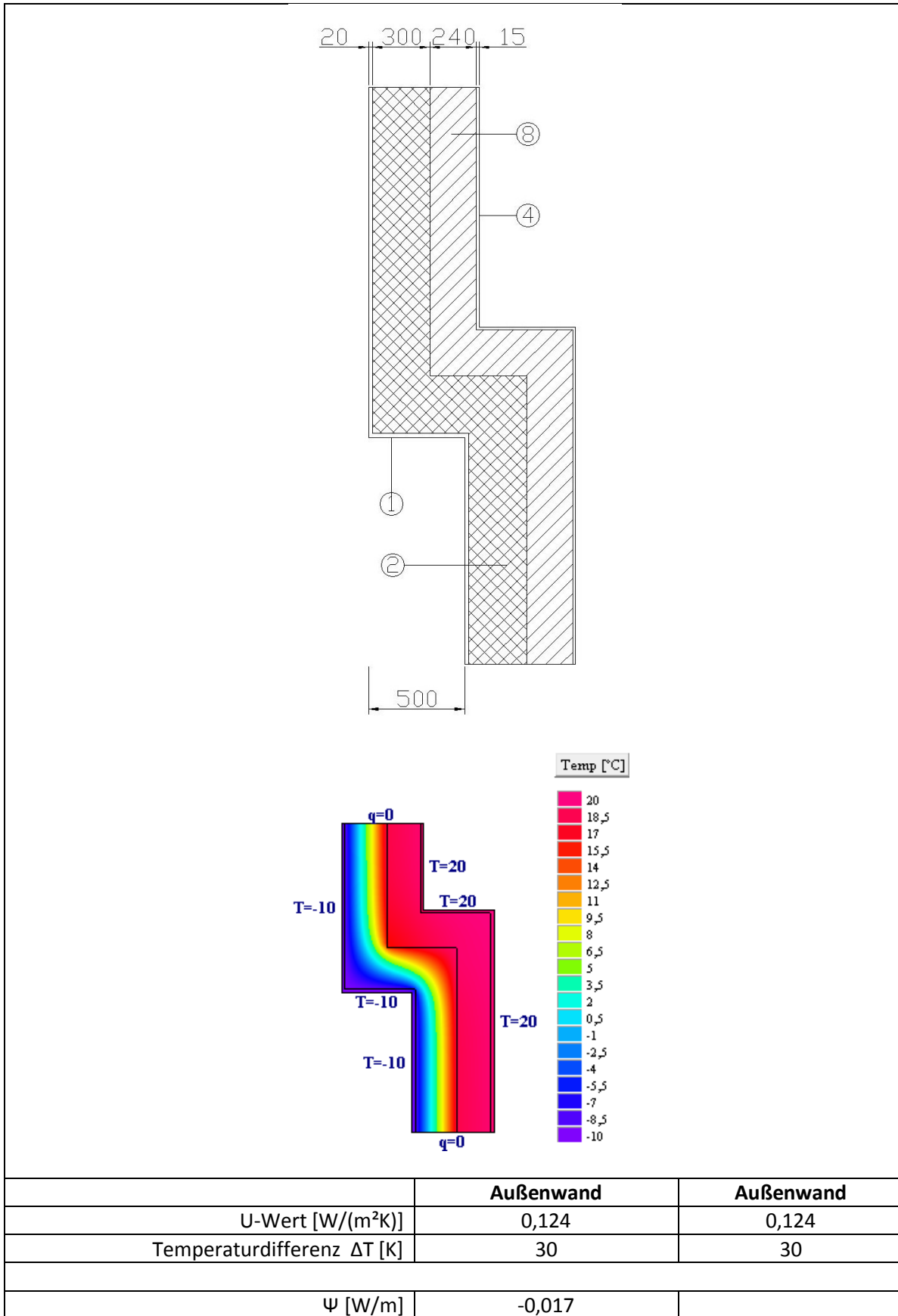


2.2.9 Anbau Außenecke

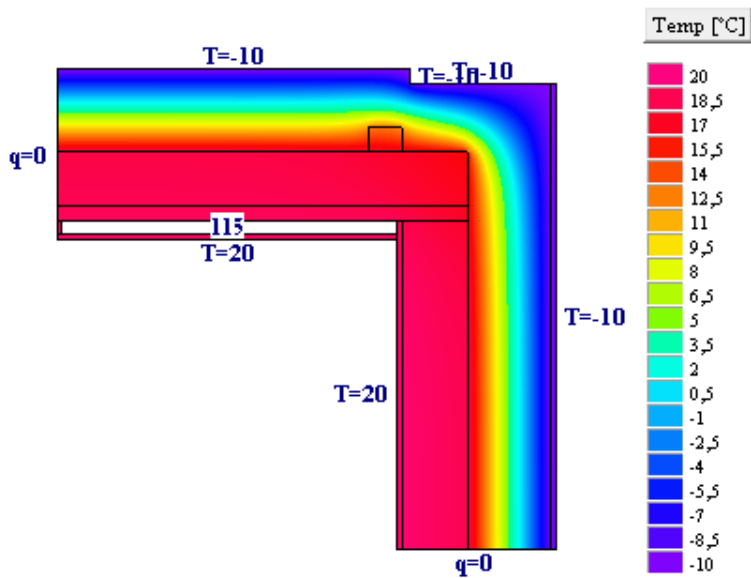
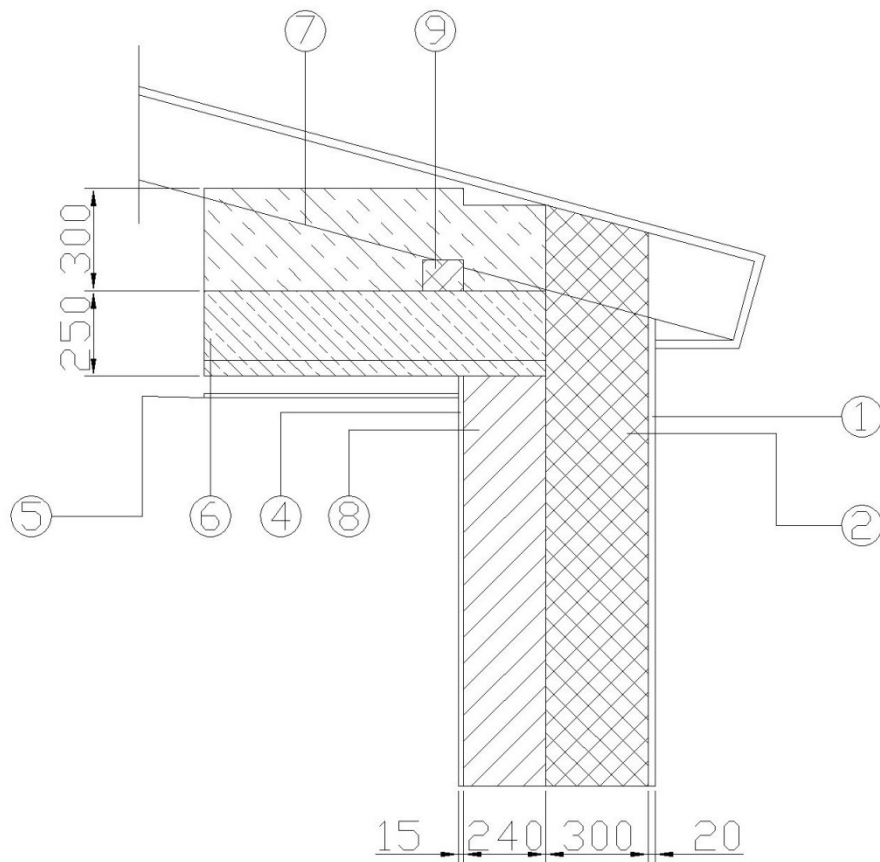


	Außenwand	Außenwand
U-Wert [W/(m ² K)]	0,124	0,124
Temperaturdifferenz ΔT [K]	30	30
Ψ [W/m]	-0,021	

2.2.11 Anbau Versatz

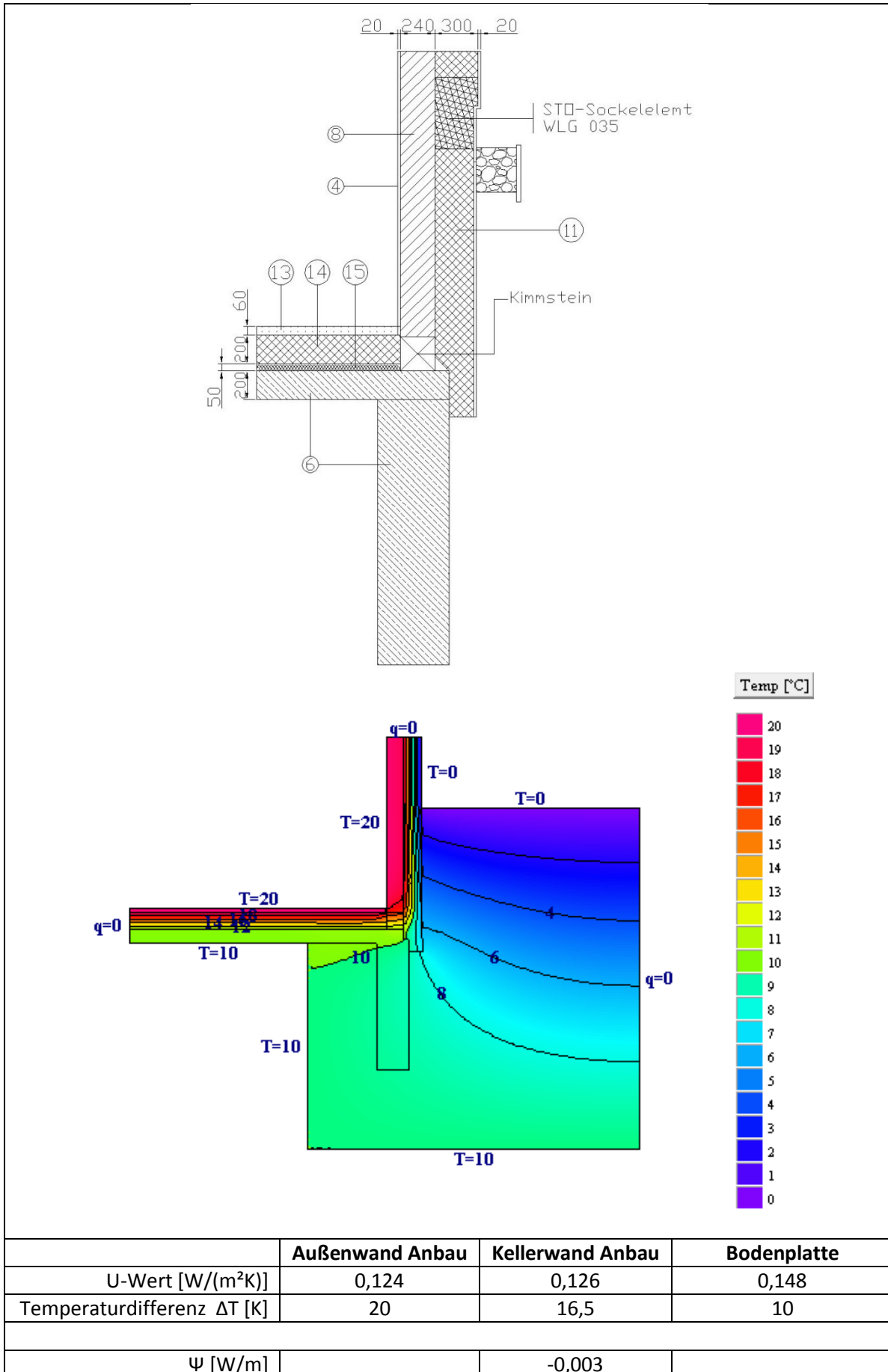


2.2.12 Anbau Traufdetail

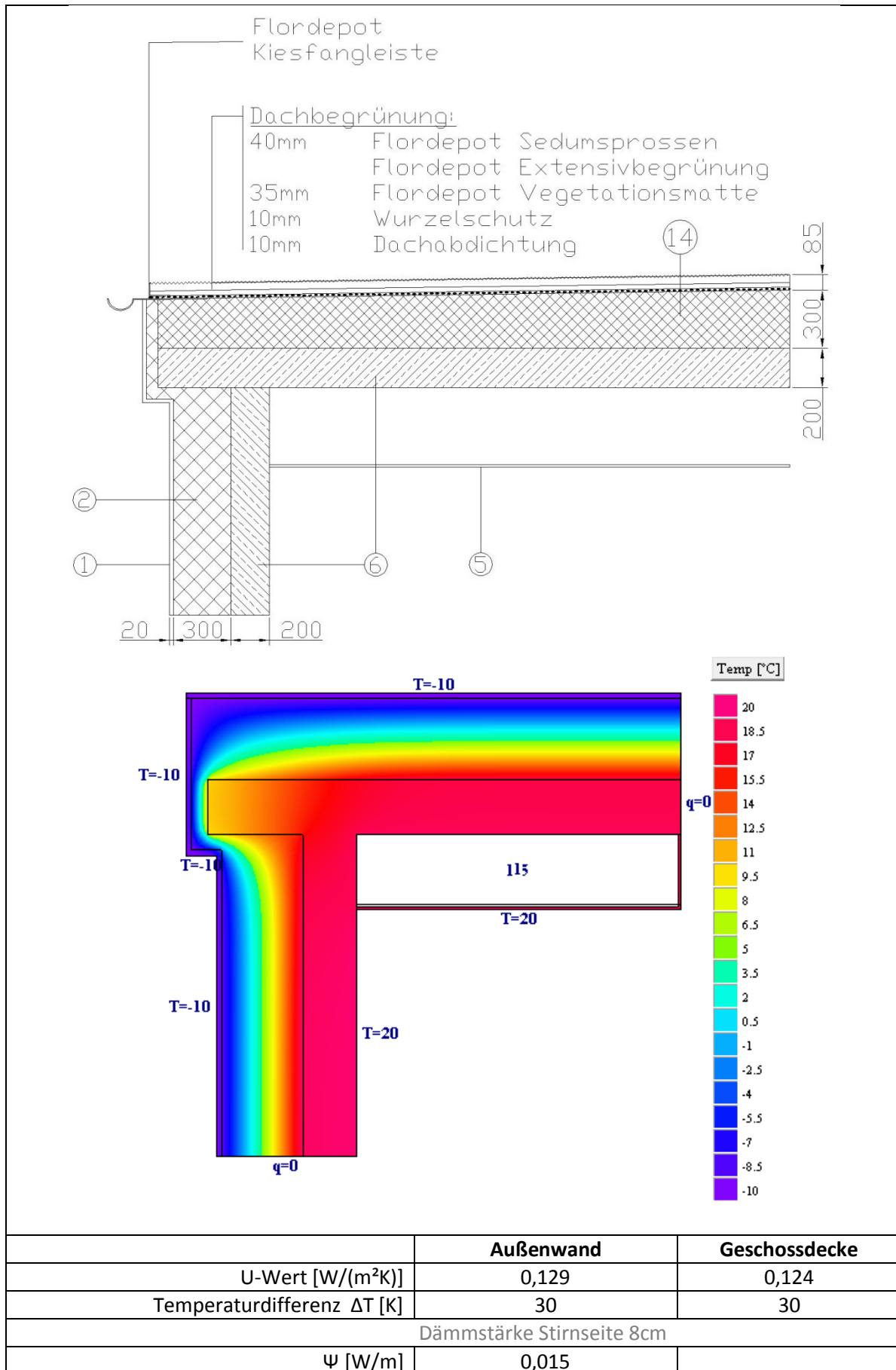


	Außenwand	Geschosdecke
U-Wert [W/(m ² K)]	0,124	0,125
Temperaturdifferenz ΔT [K]	30	30
Ψ [W/m]	0,016	

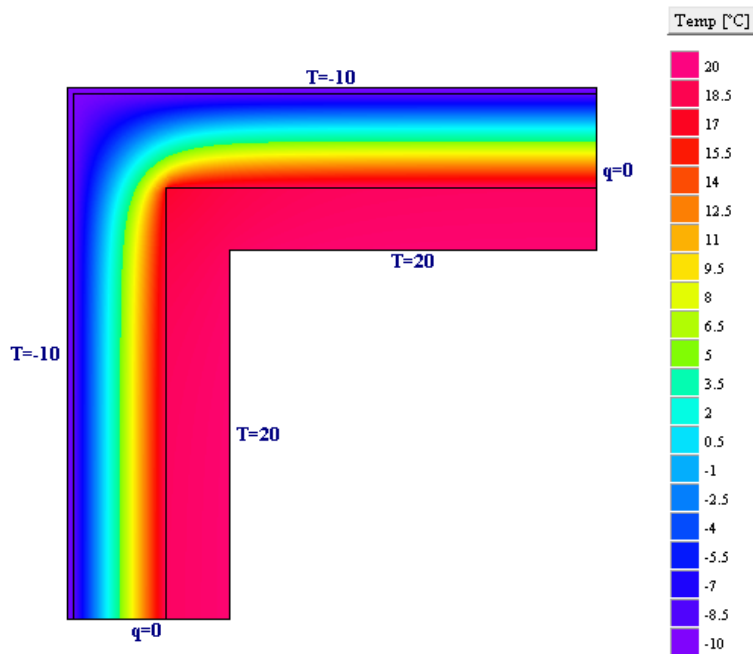
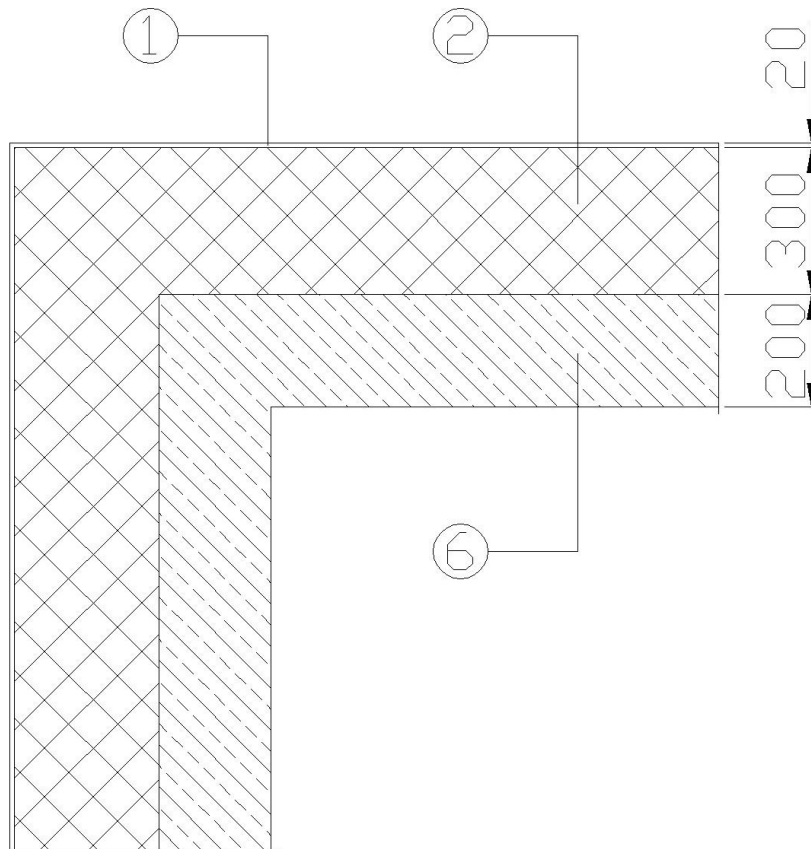
2.2.13 Bestand Bodenplatte Kellerwand



2.2.15 Zwischenbau Attika

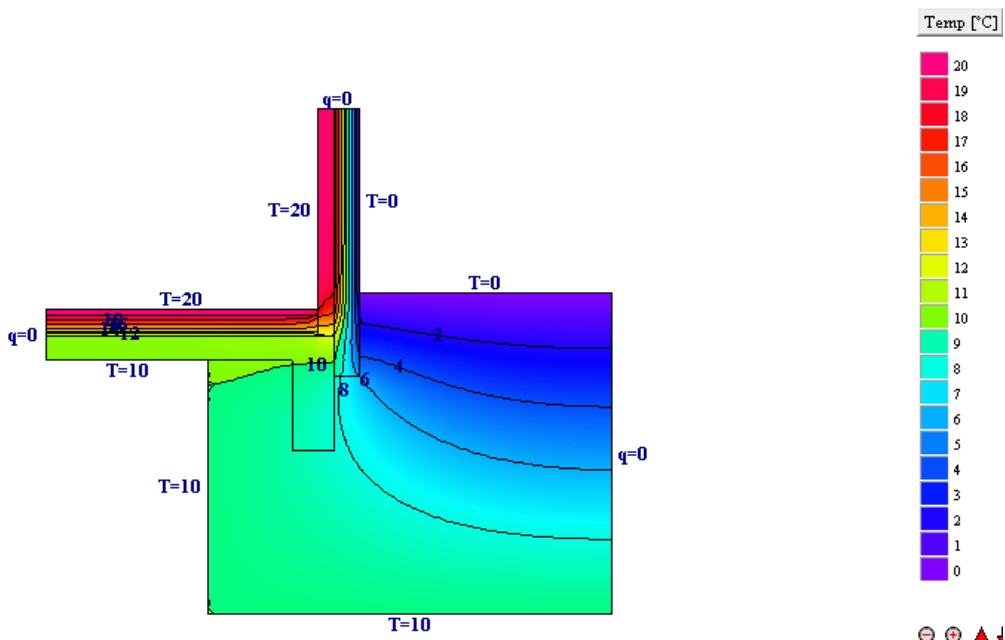
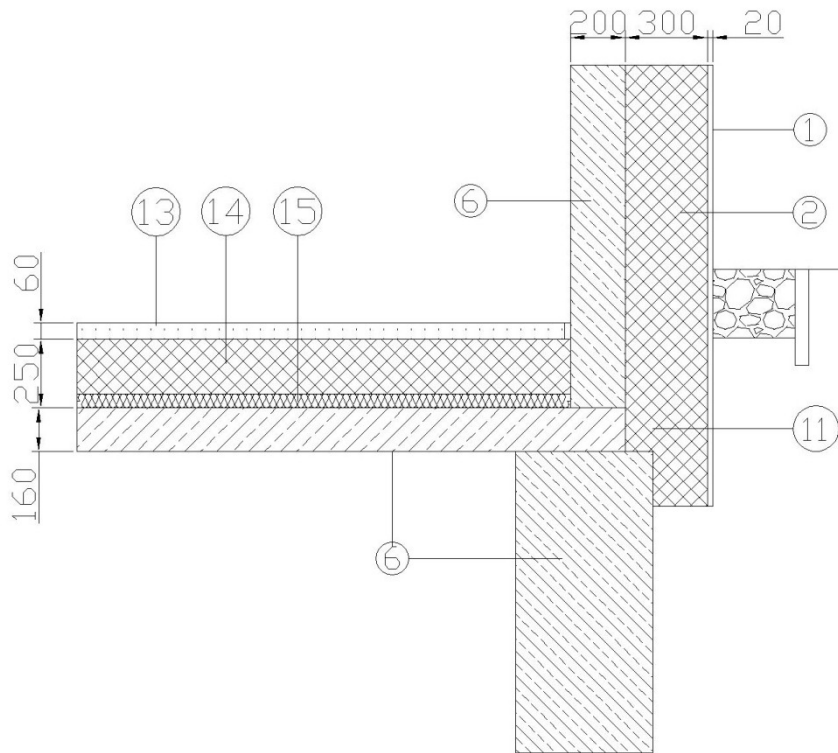


2.2.16 Zwischenbau Außenecke



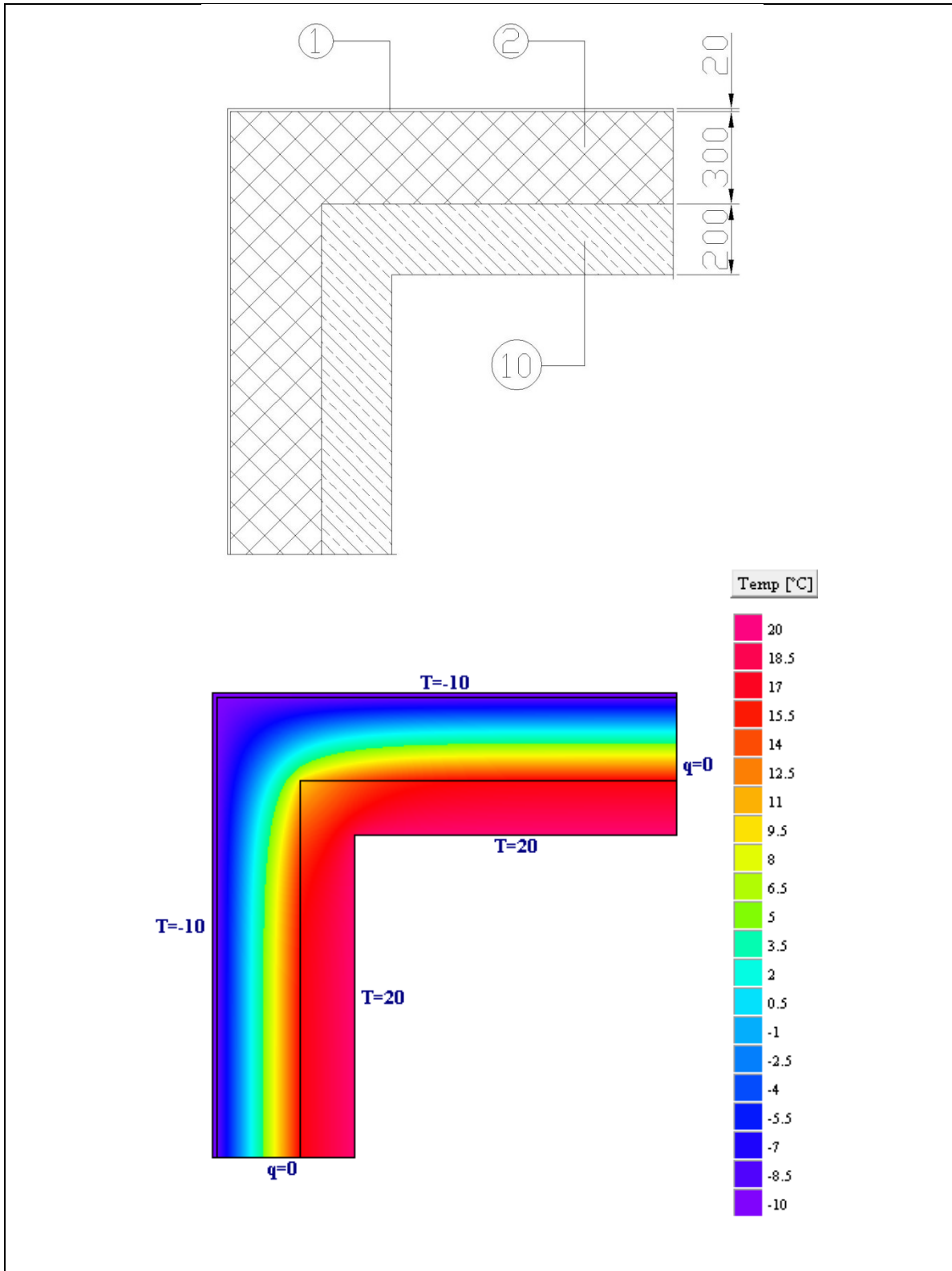
	Außenwand	Geschosdecke
U-Wert [W/(m ² K)]	0,129	0,129
Temperaturdifferenz ΔT [K]	30	30
Ψ [W/m]	-0,023	

3.2.18 Zwischenbau Bodenplatte



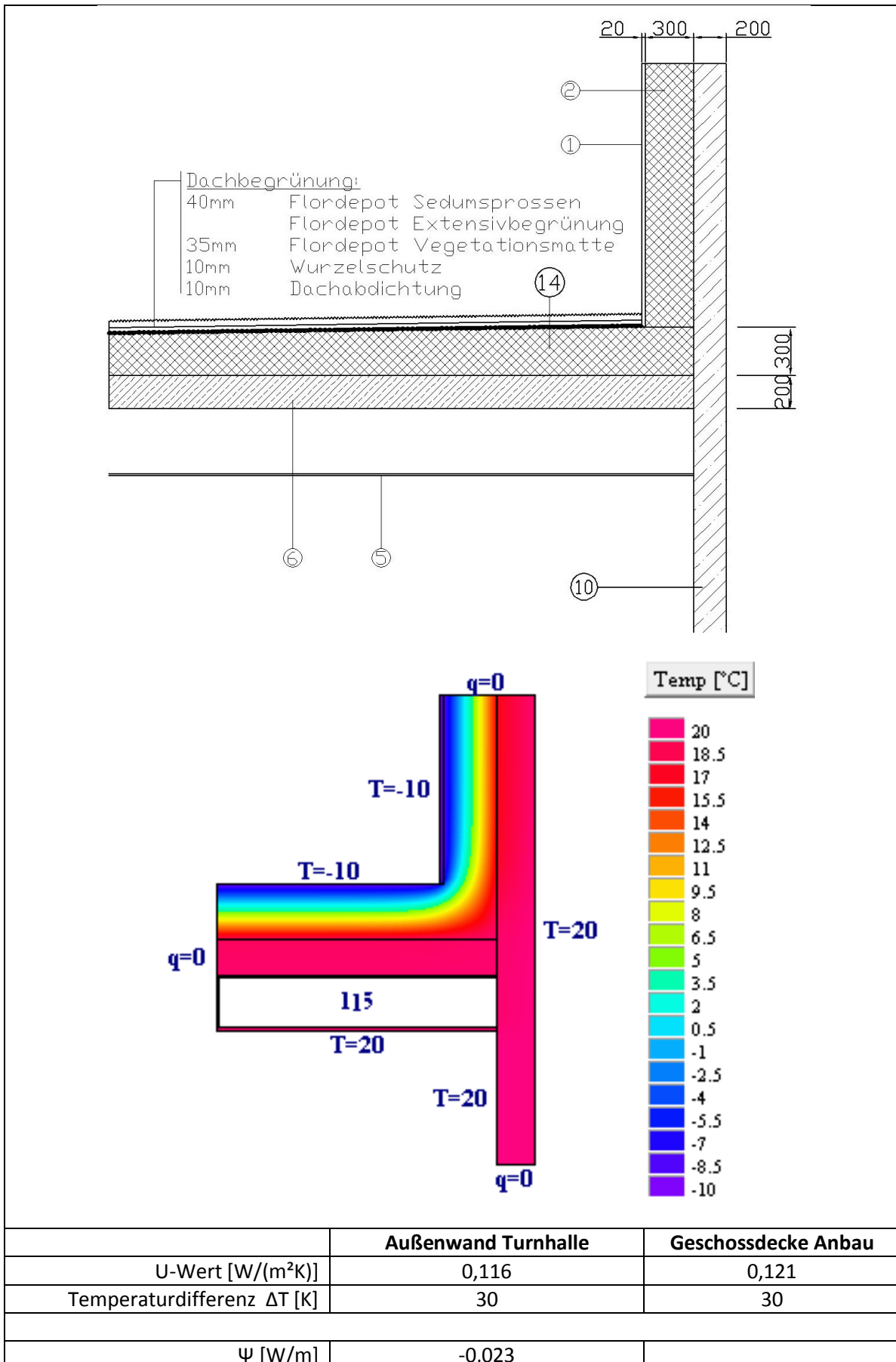
	Bodenplatte	Außenwand gg Erdreich	Außenwand gg Luft
U-Wert [W/(m ² K)]	0,148	0,129	0,129
Temperaturdifferenz ΔT [K]	10	17,5	20
ψ [W/m]		-0,023	

3.2.19 Turnhalle Außenecke

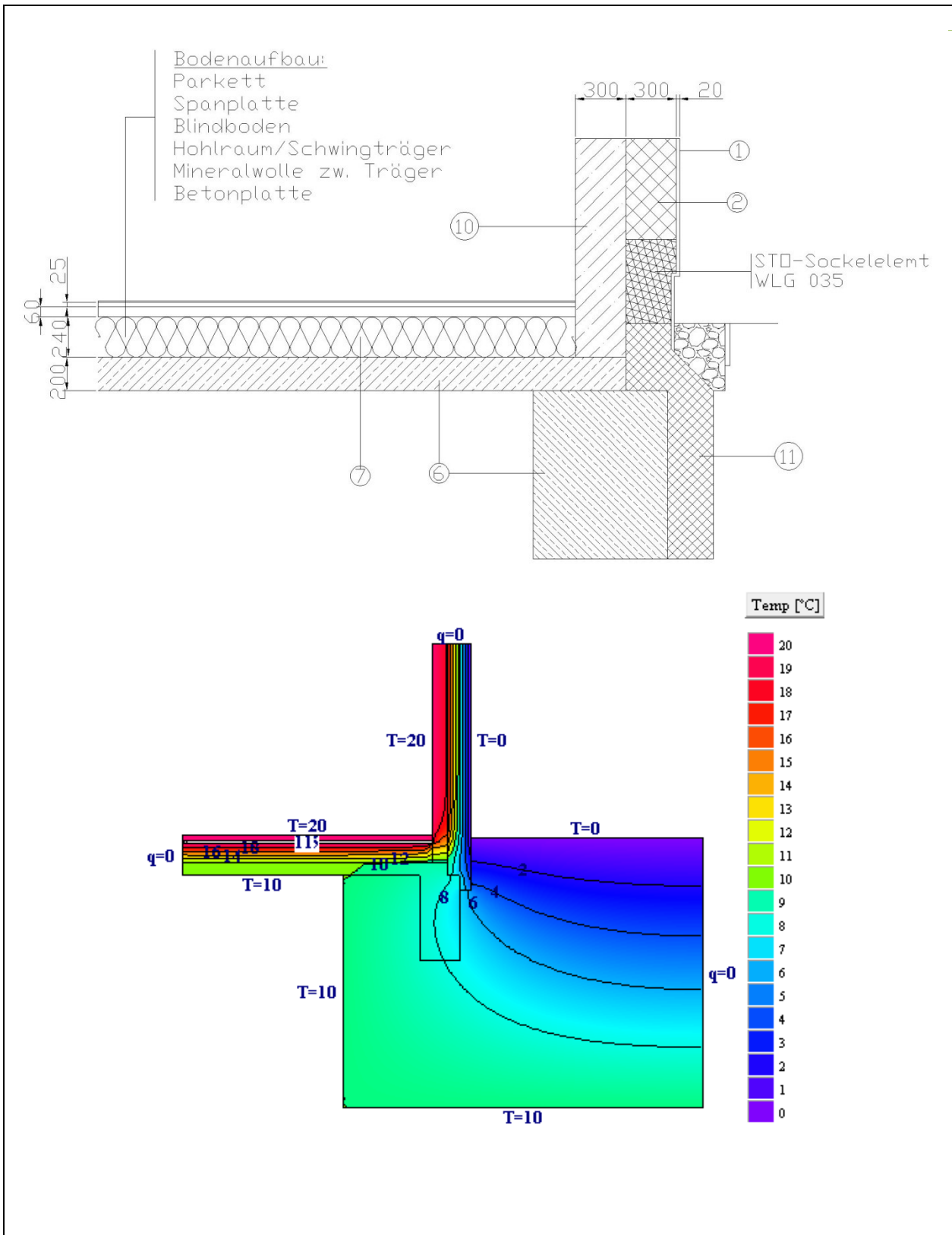


	Außenwand	Geschosdecke
U-Wert [W/(m ² K)]	0,116	0,116
Temperaturdifferenz ΔT [K]	30	30
Ψ [W/m]	-0,023	

3.2.20 Turnhalle – Zwischenbau Anschluss



3.2.21 Turnhalle Bodenplatte



	Bodenplatte	Außenwand gg Luft
U-Wert [W/(m²K)]	0,154	0,116
Temperaturdifferenz ΔT [K]	10	20
Ψ [W/m]	-0,023	

3.2.22 Annahmen für übrigen Wärmebrücken

Einige Wärmebrücken können aufgrund der nichtvorhandenen Darstellbarkeit von schrägen Bauteilen nicht dargestellt werden (z.B. Traufdetail Turnhalle).

Für diese Details werden folgende Annahmen getroffen:

Wärmebrücke	ψ [W/m]
Dach Turnhalle	
- Anschluss Wand/Dach	0,01
- Brüstung für Oberlicht	0,10
- Fensteranschluss	0,10

Nr.	Bezeichnung	λ [W/mK]
1	WDVS-Oberputz inkl. Armierung	0,090
2	Polystorol-Dämmung inkl. Kleber	0,040
3	Leichtbeton	1,200
4	Kalkzementputz	0,870
5	Gipskartonplatte	0,250
6	Normalbeton	1,600
7	Mineralfaser	0,040
8	Kalksandstein	0,990
9	Holz, Fichte	0,130
10	Porenbeton	0,220
11	Perimeterdämmung	0,035
12	PU – Dämmung	0,025
13	Zement Estrich	1,400
14	Styrodur	0,040
15	Trittschalldämmung	0,035

2.3 Auswertung der Wärmebrücken

2.3.1 Zusammenstellung der Einbausituation der Fenster

Nr.	Breite	Höhe	Anzahl in der jeweiligen Zone																					
			1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
			Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$	Anzahl	$\sum \Psi$
1	3,01	0,92	4	0,833	3	0,625		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
2	2,38	1,68	1	0,193	2	0,386		0,000	3	0,580		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
3	1,15	1,22		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	11	1,162
4	1,15	1,85	33	4,109		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
5	0,9	0,92	3	0,245	3	0,245		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
6	1,7	8,55		0,000	1	0,359		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
7	2,38	7,55		0,000	1	0,369		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
9	3,01	1,68	30	6,930		0,000	9	2,079	9	2,079		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
10	4,36	3,25		0,000		0,000		0,000		0,000	1	0,359		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
11	1,9	0,8		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	1	0,138	2	0,276		0,000		0,000		0,000		0,000
12	3,35	0,8		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	2	0,450		0,000		0,000		0,000		0,000
13	0,8	0,8		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	2	0,144		0,000		0,000		0,000		0,000
14	7,21	3,25		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	1	0,530		0,000		0,000		0,000
15	11,88	3,25		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	1	0,810		0,000		0,000		0,000
16	4,75	1,96		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	16	5,501		0,000		0,000
17	4,45	1,96		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	10	3,258		0,000		0,000
18	6,2	3,25		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	1	0,470		0,000
19	2,98	3,25		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	1	0,276		0,000
20	2,38	0,68	3	0,490		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
21	2,38	0,92		0,000	1	0,170		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
22	3,01	0,92		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	2	0,416
T1	1,7	2,25		0,000	1	0,170		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
T2	1,1	2,25		0,000	1	0,134		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
T3	1,69	2,25		0,000	1	0,169		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
T4	2,5	3,45		0,000		0,000		0,000		0,000	1	0,254		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
T5	2,4	2,5		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	2	0,438		0,000		0,000	2	0,438		0,000		0,000
T6	1,09	3,25		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	1	0,163		0,000		0,000		0,000		0,000
$\sum \Psi$			12,799		2,626		2,079		2,659		0,613		0,576		0,870		1,503		9,197		0,746		1,578	

