

Entwicklung eines optimierten Energiekonzepts für ein Einfamilienhaus

Seminararbeit
vorgelegt von
Kevin Settler

Studiengang: AIW / 5. Fachsemester

Matrikelnummer: 00154418

Erstkorrektur:	Isabell Nemeth, Hochschule Ansbach
Ausgabedatum:	2020.12.01
Abgabedatum:	2021.01.20

Erklärung

1. Ich versichere, dass ich die als Prüfungsleistung zu erbringende Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

2. Mir ist ferner bekannt, dass die Hochschule Ansbach aufgrund der prüfungsrechtlichen Vorschriften einen Anspruch auf das Original der Arbeit hat. Dieser Anspruch bezieht sich jedoch nur auf das körperliche Eigentum an der Arbeit als solches und auf deren Verwendung zu den in der Studien- und Prüfungsordnung festgelegten Zwecken.

Geslau, 20. Januar 2021

Kevin Settler

Erklärung

Nutzungsrecht und Geheimhaltung

In Ergänzung zu anderen Erklärungen im Rahmen der Arbeit erkläre ich Folgendes:

Es entspricht meinem ausdrücklichen Wunsch, dass ich vom betreuenden Hochschullehrer der Hochschule Ansbach (im Folgenden Hochschule genannt) die als Prüfungsleistung zu erbringende Arbeit zur Bearbeitung erhalte, für die die nachfolgenden Bedingungen gelten. Ich wurde darauf hingewiesen, dass ich auch ein anderes Thema hätte erhalten können, für das diese Bedingungen nicht gelten würden. Ich erkläre mich mit folgenden Punkten einverstanden:

1. Ich räume der Hochschule Ansbach für Zwecke der Forschung und Lehre ein einfaches, kostenloses, zeitlich und örtlich unbeschränktes Nutzungsrecht an den Arbeitsergebnissen einschließlich etwaiger Schutzrechte und Urheberrechte ein. Das Nutzungsrecht der Hochschule umfasst die Befugnis zur Weitergabe der Arbeit an Dritte zur Nutzung in Forschung und Lehre.
2. Wegen des Praxisbezugs meiner Arbeit werde ich Informationen erhalten und Einblick in Unterlagen nehmen, die vertraulich zu behandeln sind. Da die Ergebnisse meiner Arbeit auf den vorgenannten Informationen bzw. Unterlagen beruhen werden, werde ich meine Arbeit nur mit Zustimmung des betreuenden Hochschullehrers Dritten zugänglich machen bzw. veröffentlichen.

Geslau, 20. Januar 2021

Kevin Settler

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Seminararbeit soll zwei unterschiedliche Effizienzkonzepte für einen vorgegebenen Grundriss eines Einfamilienwohngebäudes erarbeiten. Hierfür wird zu Beginn das Gebäude mit seinen anteiligen Flächen genau beschrieben, um anschließend den voraussichtlichen Energiebedarf, mit Einhaltung des Gebäudeenergiegesetzes, zu bilanzieren. Für die beiden Konzepte wird zum einen eine höchst effiziente und zum anderen eine ökologisch sinnvolle Variante gestaltet. Die erstgenannte Möglichkeit wird vom stetigen Fortschritt der bewährten Baumaterialien und Gebäudetechniken profitieren, um anschließend einen möglichst hohen Energieüberschuss vorweisen zu können. Dahingegen wird mit dem zweiten Konzept des Öfteren ein Kompromiss eingegangen werden müssen. Hierbei wird zwar ebenfalls auf eine möglichst effiziente Gebäudehülle geachtet, allerdings müssen bestimmte Materialien mit einer umweltfreundlicheren Alternative substituiert werden, um einen besseren ökologischen Fußabdruck zu hinterlassen.

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung des Gebäudes	8
2	Bilanzierung des Energiebedarfs des Gebäudes	10
2.1	Analyse und Erläuterung der einzelnen Einflussgrößen	11
3	Entwicklung des Effizienzkonzeptes an Gebäudehülle und -technik	18
3.1	Vorstellung der Maßnahmen zur Effizienzgestaltung.....	18
3.2	Analyse Diskussion und Auswahl von Maßnahmen	19
3.2.1	Energie+	19
3.2.2	moderne Alternative.....	21
3.3	Konfiguration, Berechnung und Analyse der Gesamtkonzepte	26
4	Einordnung der Konzepte.....	31
5	Literaturverzeichnis	32

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1-1: Energetisch relevante Kennwerte und Wärmeverluste eines Gebäudes, http://www.bosy-online.de/Energiebilanz_eines_Hauses.htm	12
Abb. 2.1-2: Energieverbrauch in privaten Haushalten 2017, https://www.contronics.de/blog/foerderung-der-heizungssteuerung.html	13
Abb. 2.1-3: Kompaktheit von Bauweisen und daraus resultierende A/V-Verhältnisse, https://media.essen.de/media/wwwessende/aemter/61/dokumente_7/aktionen/klimaschutz/Leitfaden_fuer_energetisch_optimierte_Stadtplanung.pdf	14
Abb. 2.1-4: Einstrahlungsverminderung durch ungünstige Gebäudeorientierung, https://docplayer.org/39221507-Der-beitrag-staedtebaulicher-entwuerfe-und-des-staedtebaurechts-zum-klimaschutz-02-juli-2015-in-berlin.html	16
Abb. 3.2-1: alternativer Schichtaufbau einer Dachschräge	21
Abb. 3.2-2: alternativer Schichtaufbau einer Außenwand	22
Abb. 3.2-3: alternativer Schichtaufbau einer Bodenplatte	23
Abb. 3.2-4: alternativer Schichtaufbau einer Kelleraußenwand	23
Abb. 3.3-1: grafische Wärmobilanz <i>Energie+</i>	28
Abb. 3.3-2: grafische Wärmebilanz <i>moderne Alternative</i>	28
Abb. 3.3-3: Energieausweis des Konzepts <i>Energie+</i>	30
Abb. 3.3-4: Energieausweis des Konzepts <i>moderne Alternative</i>	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gebäudekennwerte des Einfamilienhauses	8
Tabelle 2: spezifische Bedarfskenngößen des Referenzgebäudes	10
Tabelle 3: Bedarfskenngößen für das Einfamilienhaus.....	10
Tabelle 4: spez. Bedarfskenngößen des Effizienzkonzeptes <i>Energie+</i>	27
Tabelle 5: spez. Bedarfskenngößen des Effizienzkonzeptes <i>moderne Alternative</i>	27
Tabelle 6: elektrische Endenergie <i>Energie+</i>	29
Tabelle 7: elektrische Endenergie <i>moderne Alternative</i>	29

1 Beschreibung des Gebäudes

Das als Wohngebäude geltende Einfamilienhaus weist ein äußeres Hüllvolumen von 1130,0 m³ auf. Abzüglich der Wandstärken ergibt sich ein Nettovolumen von 858,8 m³ und die Nutzfläche mit 361,6 m². Multipliziert man die Grundfläche einer Etage mit der Anzahl der Geschosse, so errechnet sich eine Brutto-Grundfläche von rund 393 m². Nach (Ulrich Bogenstätter 2007) ist der durchschnittliche Umrechnungsfaktor von NGF/BGF bei Wohngebäuden 0,85. Folglich sind für die Netto-Grundfläche 334 m² anzunehmen. Die Brutto-Außenwandfläche macht mit 280,02 m² (Netto-Außenwandfläche: 218,64 m²) den größten Anteil der Hülle aus, gefolgt von den Kellerwandflächen mit 134,06 m². Die erdberührte Bodenfläche im untersten Geschoss entspricht 98,26 m² und weist einen Umfang von 40,6 m auf. Das mit 38 ° geneigte Steildach macht eine Fläche von 99,86 m² aus. Die Fensterfläche summiert sich insgesamt auf 59,09 m² auf und die Eingangstüre ist 2,32 m² groß. Die Hüllfläche des Gebäudes, welche zur Berechnung der Kompaktheit relevant wird, ist die Summe aller gebäudeumschließenden Flächen. Summiert man die Flächen der Außenwände, Kellerwände, des unteren Gebäudeabschluss, die des Daches, die der Fenster und die Fläche der Tür auf, so ergibt sich eine Hüllfläche von 673,61 m². Zur besseren Übersicht sind die Kenngrößen des Einfamilienhauses in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Gebäudekennwerte des Einfamilienhauses

	Brutto-Wert	Netto-Wert
Hüllvolumen in m³	1130,0	858,8
Nutzfläche in m²		361,6
Grundfläche in m²	393	334
Außenwandfläche in m²	280,02	218,64
Kellerwandfläche in m²		134,06
Fläche unterer Gebäudeabschluss in m²		98,26
Umfang der Kellerbodenfläche in m		40,6
Dachfläche (38 °) in m²		99,86
Fensterfläche in m²		59,09
Fläche der Tür in m²		2,32
Hüllfläche A in m²		673,61

Das freistehende Gebäude ist nach Süden hin ausgerichtet, um einen erhöhten Tageslicht- und Wärmebedarf in den entsprechenden Räumen gewährleisten zu können. Belegen lässt sich dies anhand der getroffenen Zonierung des Einfamilienhauses. Im Erdgeschoss befindet sich in südliche Richtung die offene Essecke mit der größten im Gebäude verbauten Fensterfläche. Ein Bad, sowie zwei größere Räume, die als Schlafräume erachtet werden könnten, sind im Obergeschoss ebenfalls nach Süden ausgerichtet. Der Keller ist unbeheizt. Die übrigen Aufenthaltsräume werden nach DIN 4108 auf $> 19\text{ °C}$ beheizt.

2 Bilanzierung des Energiebedarfs des Gebäudes

Zur Erschließung des Energiebedarfs des Einfamilienhauses wird das entsprechende Referenzgebäude nach dem Gebäudeenergiegesetz Anlage 1 Technische Ausführung des Referenzgebäudes (Wohngebäude) herangezogen (GEG, vom 08.08.2020).

Die energetisch relevanten Größen für das Gebäude, welche mindestens eingehalten werden müssen, sind in der Tabelle 2 zusammengetragen. Der spezifische Heizwärmebedarf und die Anlagenaufwandszahl sind seit der Einführung des GEG kein Bestandteil des Referenzgebäudes für Wohngebäude mehr.

Tabelle 2: spezifische Bedarfskenngrößen des Referenzgebäudes

	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Transmissionswärmeverlust $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$	0,388	-	-
spez. Heizwärmebedarf $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot a}\right]$	-	-	-
Anlagenaufwandszahl [-]	-	-	-
spez. Primärenergiebedarf $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot a}\right]$	44,20	-	-

Ausgehend von der Nutzfläche A_N von 361,6 m² des Einfamilienhauses ergeben sich somit die in Tabelle 3 absoluten Bedarfskenngrößen.

Tabelle 3: Bedarfskenngrößen für das Einfamilienhaus

	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
Transmissionswärmeverlust $\left[\frac{W}{K}\right]$	140,30	-	-
Heizwärmebedarf $\left[\frac{kWh}{a}\right]$	-	-	-
Anlagenaufwandszahl [-]	-	-	-
Primärenergiebedarf $\left[\frac{kWh}{a}\right]$	15.982,72	-	-

2.1 Analyse und Erläuterung der einzelnen Einflussgrößen

Der Energiebedarf setzt sich aus vielen verschiedenen, und teilweise individuellen, Komponenten zusammen, welche teilweise in der Abb. 2.1-1 zu sehen sind. Im Rahmen dieser Seminararbeit wird sich, aufgrund der gegebenen Grundlage, in diesem Abschnitt überwiegend mit den baulich- und den gebäudetechnisch relevanten Größen auseinandergesetzt. Deshalb wird zum Beispiel die von Personen individuelle Nutzung von vergleichbaren Räumen, welche einen großen Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat, nicht weiter berücksichtigt. Große Verluste sind zu flächige und schlecht dämmende Fenster sowie Fensterrahmen und der Einsatz von veralteten Baumaterialien. Zusätzliche Verluste treten durch freie- oder erzwungene Lüftung des Gebäudes auf. Dadurch, dass das Einfamilienhaus freistehend ist und bislang an keine Nachbargebäude oder Bepflanzungen angrenzt, ist mit verstärkter, durch Konvektion verursachte, Abkühlung der Außenwände zur Wetterseite zu rechnen. Dies hat einen größeren Wärmestrom durch die betroffenen Wandteile zur Folge. Des Weiteren treten durch Heizungssysteme, die nicht dem Stand der Technik entsprechen, vermeidbar hohe Energiekosten auf. Dies gilt es durch einen zeitgemäßen Wärmeerzeuger mit entsprechendem Übergabesystem zu vermeiden.

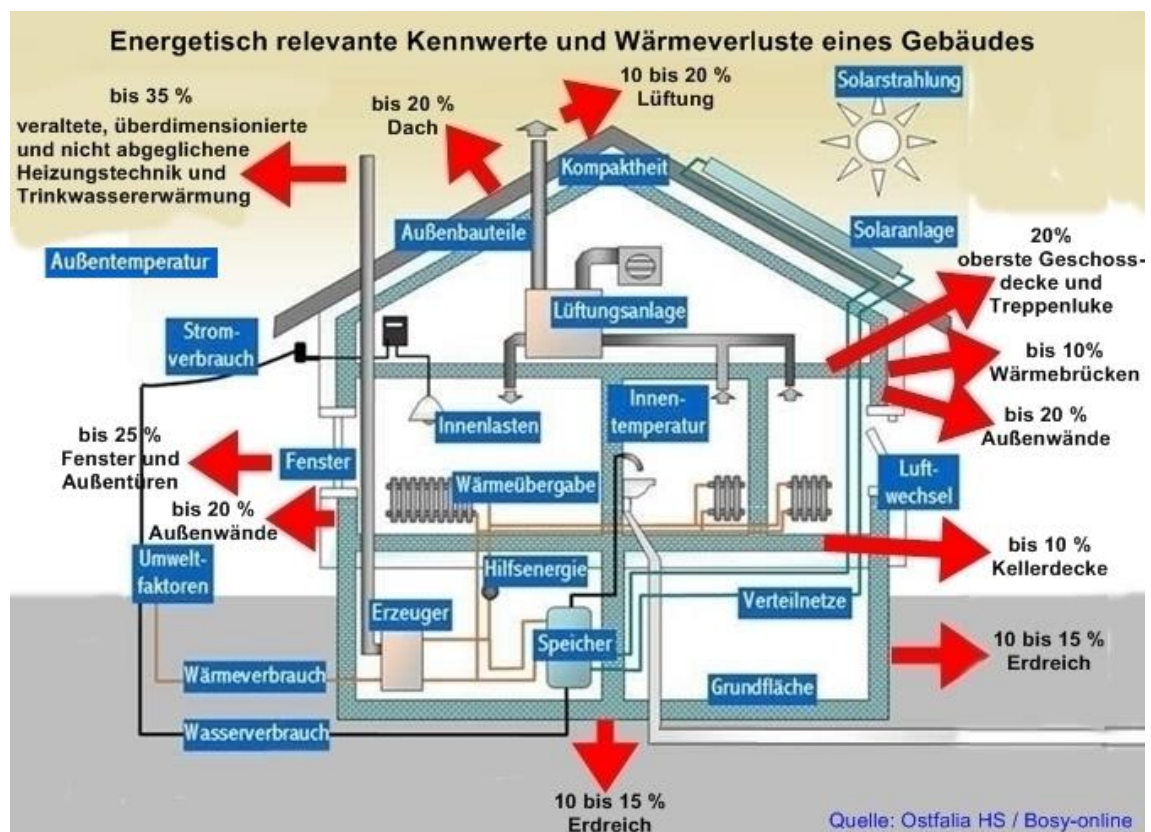


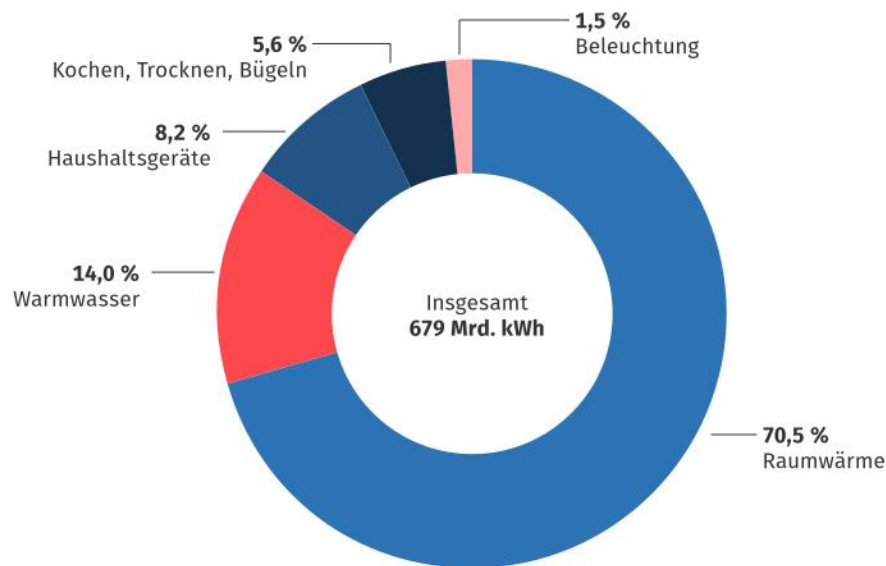
Abb. 2.1-1: Energetisch relevante Kennwerte und Wärmeverluste eines Gebäudes, http://www.bosy-online.de/Energiebilanz_eines_Hauses.htm

Im Folgenden wird sich auf die Bauart des Gebäudes konzentriert. Die konkrete Bauphysik und Haustechnik werden mit den Energiekonzepten konkretisiert. Gemäß der Erhebung des Statistischen Bundesamts aus dem Jahr 2018, welche in der Abb. 2.1-2 zu sehen ist, wird deutlich, dass jene Prozesse, die mit der Bereitstellung von „Wärme“ zu tun haben, die größten Anteile des Energiebedarfs ausmachen. Die vom Wärmeerzeuger ausgehende Energie ist hierbei mit 70,5 % beteiligt und nimmt somit mehr als zweidrittel der gesamten verbrauchten Energie in privaten Haushalten ein. Der zweitgrößte Sektor ist die Bereitstellung von Warmwasser mit 14 %, was ebenso auf den hohen Energieaufwand zur Erwärmung von den großen benötigten Mengen des Wassers zurückzuführen ist.

Die drei weiteren genannten Sektoren „Beleuchtung“, „Kochen, Trocknen, Bügeln“ und „Haushaltsgeräte“ lassen sich dies hingehend zusammenfassen, dass die Effizienzsteigerung, und die damit verbundene Energieeinsparung, durch modernere Geräte und Technik, sowie Möglichkeiten zur Automatisierung, zu bewerkstelligen ist. Der Sektor der Raumwärme wird im Folgenden genauer analysiert und es wird konkret auf einzelne Einflussgrößen eingegangen.

Privathaushalte: Energieverbrauch 2017

in %



© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2018

Abb. 2.1-2: Energieverbrauch in privaten Haushalten 2017,
<https://www.contronics.de/blog/foerderung-der-heizungssteuerung.html>

Nach dem Leitfaden für eine energetisch optimierte Stadtplanung der Stadt Essen stellt man bei der Energie-Bilanz die Transmissionswärmeverluste über die Hülle und infolge von Lüftung den Wärmegewinnen, welche sich aus solaren- und internen Gewinnen zusammensetzen, gegenüber. Verrechnet man den Input mit dem Output, so erlangt man den Energiebedarf, welcher über Heizsysteme zu generieren ist und den man benötigt, um eine möglichst behagliche Temperatur innerhalb des Gebäudes zu halten (Projektgruppe Klimaschutz des Amts für Stadtplanung und Bauordnung, Stadt Essen 2009).

Ein wesentlicher Anteil der Transmissionswärmeverluste kann über die Kompaktheit des Gebäudes beeinflusst werden. Da die Gebäudehülle die Wärme überträgt, und somit thermische Verluste im Inneren stattfinden, welche über den Wärmeerzeuger kompensiert werden müssen, gilt es diese zu minimieren. Die Kompaktheit wird im Leitfaden als Verhältnis zwischen der Gebäudeoberfläche und dem eingeschlossenen Volumen definiert: A/V-Verhältnis. Je kleiner die Hüllfläche A im Verhältnis zum Gebäudevolumen V ist, desto weniger Wärme verliert das Gebäude bei gleichen

Dämmstandards. Folglich ist ein kleines Verhältnis gut. Jener Quotient wird von verschiedenen Aspekten beeinflusst:

Der Gebäudetyp beeinflusst den Wärmebedarf. Je verdichteter die Bebauungsform, desto günstiger, wie in Abb. 2.1-3 zu sehen ist, ergibt sich das A/V-Verhältnis. Bei dem zugrunde liegenden Einfamilienhaus errechnet sich die Kompaktheit wie folgt:

$$\text{Kompaktheit} = \frac{\text{Hüllfläche } A}{\text{Gebäudevolumen } V} = \frac{673,61 \text{ m}^2}{858,8 \text{ m}^3} = 0,7844 \approx 0,78 \quad (3.2.1-1)$$

Die Kompaktheit soll lediglich das Verhältnis zeigen und ist daher einheitenlos. Im Falle des Einfamilienhauses ist sie ungefähr 0,78.

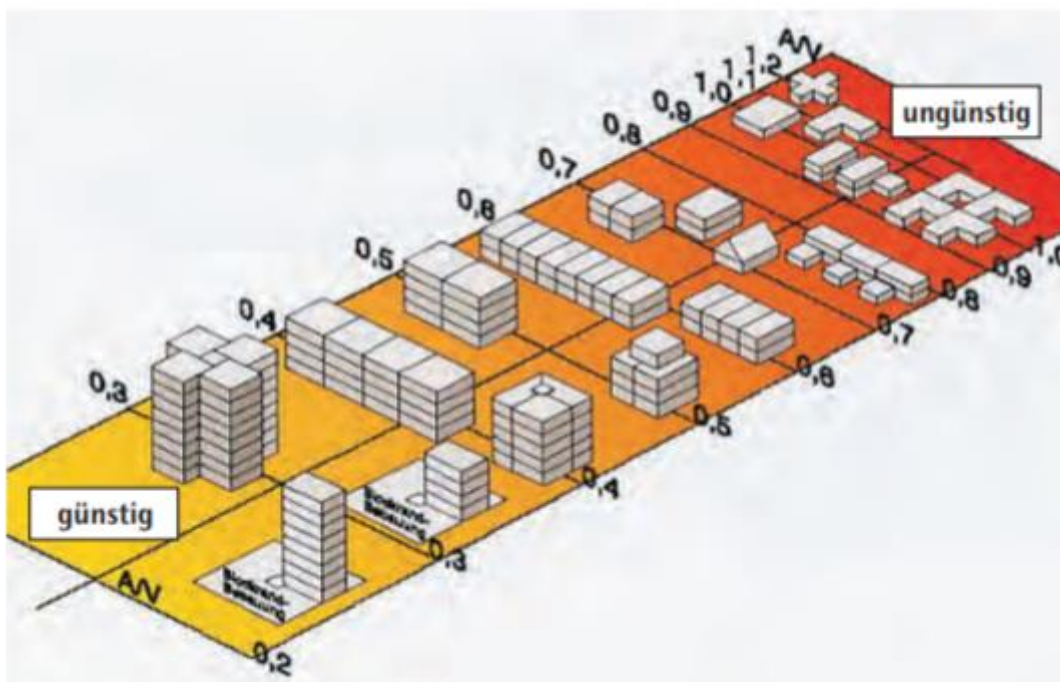


Abb. 2.1-3: Kompaktheit von Bauweisen und daraus resultierende A/V-Verhältnisse, https://media.essen.de/media/wwwessende/aemter/61/dokumente_7/aktionen/klimaschutz/Leitfaden_fuer_energetisch_optimierte_Stadtplanung.pdf

Weiteren Einfluss auf den Wärmebedarf eines Gebäudes hat die Anzahl der Geschosse, die sogenannte Geschossigkeit. Mit zunehmender Zahl der Etagen vermindert sich das A/V-Verhältnis. Mehrfamilienhäuser und Reihenhäuser hätten nach der Projektgruppe Klimaschutz des Amtes für Stadtplanung und Bauordnung, Stadt Essen bei zwei bis drei Geschossen noch ein ungünstiges und von drei bis fünf Geschossen ein günstiges Verhältnis. Bei mehr als fünf Geschossen verbessert sich der Quotient nicht mehr merklich, da ab der erreichten Höhe zusätzliche Einrichtungen, wie beispielsweise ein Aufzug, nötig sind, die den spezifischen Energieverbrauch erhöhen und den Wohnflächenanteil vermindern. Ein freistehendes Einfamilienhaus ist dem Leitfaden zufolge auch bei zwei Geschossen als ungünstig zu bewerten.

Die Gebäudelänge und -tiefe haben weiteren Einfluss auf den Wärmebedarf. Besonders günstige Verhältnisse werden durch Gebäudelängen von 30 bis 50 m und einer Gebäudetiefe von 12 bis 14 m erzielt. Für kleinere Einfamilien- und Doppelhäuser ergeben sich nach dem Leitfaden eine energetisch optimale Gebäudeabmessung bei einem Verhältnis Länge/Tiefe von 1:1 bis 3:2 und einer Gebäudehöhe von zwei Vollgeschossen und dem Dachgeschoss. Das hier zu untersuchende Einfamilienhaus weist eine Länge von 12,36 m und eine Tiefe von 7,95 m auf.

$$\frac{\text{Länge}}{\text{Tiefe}} = \frac{12,36 \text{ m}}{7,95 \text{ m}} = 1,5528 \approx 1,55 \quad (3.2.1-2)$$

Der Quotient ist mit ungefähr 1,55 etwas weniger als das Verhältnis 3:2 und somit noch im Bereich der energetisch optimalen Gebäudeabmessungen.

Neben den zu vermeidenden Verlusten gilt es die potenziellen Wärmegewinne zu beachten. Abgesehen von internen Gutschriften durch Körperwärme und der Abwärme von technischen Geräten macht der solare Eintrag einen großen Anteil der Wärmegewinne aus. Dem Leitfaden zufolge lässt sich der solare Wärmegewinn zwischen passiven und aktiven Solargewinnen separieren.

Passive Solargewinne seien demnach jene, welche das Gebäude direkt heizen. Sie funktionieren beispielsweise über die eintretende Sonnenstrahlung durch Fenster oder dem Aufheizen der Außenwände, die die Wärme anschließend über die Zeit an den Innenraum abgeben.

Die aktive Solargewinnung entspricht der Nutzung der Energie mittels technischer Geräte, um Wärme (Solarthermie) oder Strom (Photovoltaik) dem Haushalt zur Verfügung stellen zu können. Beim Nutzen dieser regenerativ erzeugten Energie senkt man den Bedarf an anderen Energieträgern, weshalb die Umsetzung ebenfalls innerhalb der Energiebilanzierung behandelt wird.

Die passiven solaren Wärmegewinne ergeben sich überwiegend durch eine nach Süden ausgerichtete Hauptfassade, die vom Leitfaden benannte, Solarfassade. Auf der Innenseite dieser Fassade sollten die Wohn- und Aufenthaltsräume liegen und sie sollte, um die solaren Einträge zu maximieren, mit entsprechenden Fensterflächen sowie einer möglichst großen Dachfläche ausgestattet sein. Mit zunehmender Südabweichung nehmen die solaren Gewinne ab. Die deutlichste Abnahme ist, wie in der Abb. 2.1-4 zu sehen, zwischen 25 ° und 90 ° Südabweichung. Ungünstige Orientierungen nach Nordosten / Nordwesten können den solaren Eintrag vom behandelten Einfamilienhaus bis zu 30 % schmälern, weshalb eine generelle Ausrichtung gen Süden empfohlen wird. Der Großteil der Gebäude sollte so geplant werden, dass die Solarfassade innerhalb eines Toleranzbereiches von -30 ° bis +30° nicht von der Südorientierung abweicht. Bei Passivhäusern mindert sich der empfohlene Bereich auf -22,5 ° bis +22,5°.

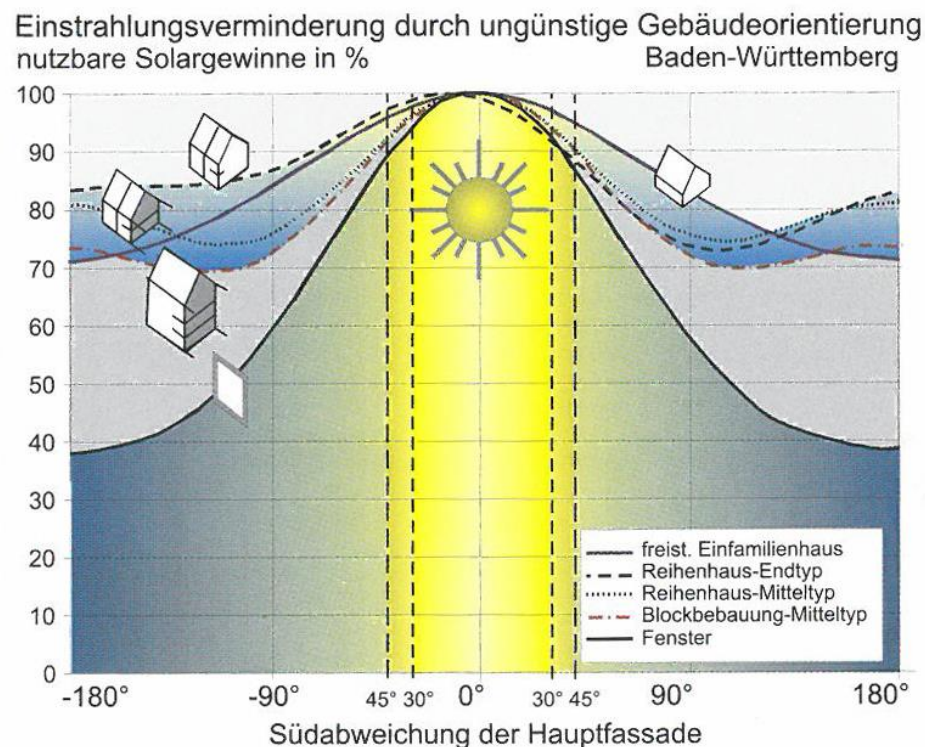


Abb. 2.1-4: Einstrahlungsverminderung durch ungünstige Gebäudeorientierung, <https://docplayer.org/39221507-Der-beitrag-staedtebaulicher-entwuerfe-und-des-staedtebaurechts-zum-klimaschutz-02-juli-2015-in-berlin.html>

Für den optimalen Betrieb von solaren Techniken zur aktiven Nutzung ergeben sich dieselben Toleranzbereiche im Hinblick zur Südatweichung. Darüber hinaus ist die Dachneigung, welche sich zwischen Sommer- und Wintermonaten stark unterscheidet, ein entscheidender Parameter. Folgend wird ein Kompromiss der beiden Szenarien geschlossen, um ganzjährig den besten Wirkungsgrad verzeichnen zu können. Für Photovoltaikanlagen wird ein optimaler Neigungswinkel von 30 ° vorgeschlagen. Anders ist es bei Solarthermieanlagen, welche bei einer Dachneigung von 45 ° am besten funktionieren.

Die Verfasser des Leitfadens merken an, dass die komplexen Wirkungszusammenhänge der Kompaktheit (bspw. eher flaches Dach) und der optimalen Nutzung der solaren Einträge (bspw. steiles Dach) teils kontrovers zueinander stehen. Um eine exakte Bestimmung, welche Kriterien größeren Einfluss haben wird empfohlen, eine konkrete energetische Bilanzierung vorzunehmen.

Um den passiven und aktiven Solargewinn nicht ungewollt zu reduzieren, ist auf die Verschattung der Südfassade, von Fenstern und der Dachflächen zu achten. Da kein detaillierter Lageplan des Einfamilienhauses zur Verfügung steht, wird deshalb davon ausgegangen, dass das Gebäude weitläufig als freistehend zu erachten ist. Deshalb wird

an dieser Stelle nicht weiter auf die durch Verschattung auftretende Minderung der solaren Einträge eingegangen.

3 Entwicklung des Effizienzkonzeptes an Gebäudehülle und -technik

Ziel ist es für das oben beschriebene Einfamilienhaus zwei unterschiedliche Effizienzkonzepte zu entwickeln. Die Variante „Energie +“ wird sich in ihrer Ausführung, innerhalb der Gebäudehülle, an jene zur Verfügung stehende Aufbauten (in ZUB Helena® Ultra) orientieren, welche mitunter die besten wärmeisolierenden Eigenschaften aufweisen. Die verbaute Technik soll möglichst effizient ausgelegt sein. Zuzüglich strebt diese Möglichkeit einen möglichst hohen Energieüberschuss an, welchen es ins öffentliche Netz einspeisen soll. Das Effizienzkonzept „moderne Alternative“ weist seinen Schwerpunkt in der nachhaltigen Errichtung und Betriebsweise des Hauses auf. Sowohl die Gebäudehülle als auch die darin verbaute Technik, sowie weitere Maßnahmen, die zur Gestaltung der Behaglichkeit und der Energiebereitstellung beitragen, sollen möglichst bedacht ausgewählt werden, um einen „grünen“ Materialkreislauf sichern zu können. Gebäudetechnik, die zu vermeiden ist, soll nicht eingebaut werden. Beiden Konzepten werden jeweils die Bedarfsgrößen des Referenzgebäudes, bezogen auf die Flächen des Einfamilienhauses, aus dem Abschnitt „Bilanzierung des Energiebedarfs des Gebäudes“ gegenübergestellt.

3.1 Vorstellung der Maßnahmen zur Effizienzgestaltung

Die Grundlage beider Effizienzkonzepte ist eine effiziente thermische Hülle des Gebäudes. Bei der Auswahl der Dach- und Außenwandaufbauten (einschließlich der erdberührten Kellerwände), sowie der Türe, Fenster und des unteren Gebäudeabschlusses, ist auf einen möglichst geringen Wärmedurchgangskoeffizient (= U-Wert) zu achten. Der U-Wert gibt den Wärmestrom je Quadratmeter Bauteil und je Kelvin Temperaturunterschied zwischen der Bauteilinnenseite und der Bauteilaußenseite an ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$). Je besser ein Bauteil dämmt, desto geringer ist der U-Wert.

Als potenzielle Wärmeerzeuger werden jeweils ein Brennwert-Kessel, eine Elektroheizung, eine Wärmepumpe, ein Biomasse-Wärmeerzeuger, sowie eine elektrische und eine solare Trinkwassererwärmung in Erwähnung gezogen. Wobei sowohl für den Heizkreis als auch das Trinkwasser ein Speichersystem angedacht ist. Als Übergabesystem stehen Radiatoren (überwiegend Innenwandbereich / überwiegend Außenwandbereich) und integrierte Heizflächen (Fußbodenheizung) mit unterschiedlichen Regelungsarten zur Auswahl. Dem Grundlast-Wärmeerzeuger der Warmwasserbereitstellung sind grundsätzlich dieselben potenziellen Wärmeerzeuger wie für den Heizungsbereich zuzuschreiben. Darüber hinaus wird die Möglichkeit einer solaren Unterstützung erwägt. Zur Belüftung werden jeweils verschiedene raumluftechnische Anlagen (mit Wärmerückgewinnung) und eine Abluft/Zuluft-Wärmepumpe mit Wärmeübertrager als Möglichkeiten berücksichtigt. Eine

Photovoltaikanlage soll in jedem Fall auf die 49,3 m² große Süd-Dachhälfte montiert werden. Hierfür ist eine maximale Oberfläche der Module von 40 m² angesetzt. Zu berücksichtigende Arten an PV-Modulen sind das mono- und polykristalline Silizium sowie eine organische Variante.

3.2 Analyse Diskussion und Auswahl von Maßnahmen

Folgend werden die beiden Effizienzkonzepte separiert voneinander behandelt, da sie sich grundlegend in ihrem Ziel unterscheiden und daher auch die Auswahl der einzelnen Maßnahmen auseinandergehen.

3.2.1 Energie+

Die Variante *Energie+* wird mit dem Hintergedanken eine möglichst gute Energiebilanz erzielen zu können entworfen. Hierbei gilt es zum einen den Energiebedarf, welcher überwiegend von der Wärmebereitstellung über das Heizsystem und der Trinkwassererwärmung abhängig ist (siehe Abb. 2.1-2), möglichst gering zu halten, während zum anderen effiziente Gebäudetechnik zu verwenden ist.

Um einen minimalen Heizwärmebedarf generieren zu können ist darauf zu achten, dass Flächen, die an die Außenluft angrenzen, möglichst gut gedämmt sind. Für die Dachflächen wird aus dem Katalog „BASF Energiespar-Konstruktionen“ die Konstruktion „IVPU Dachschräge Dachdämmplatte, PUR 024-Auf+Zwischensparrendämmung 160+160 mm“ gewählt, da sie mit $0,083 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ den geringsten Wärmedurchgangskoeffizient aufweist. Zusammenfassend ist das der gleiche Grund, weshalb sich für die entsprechenden Konstruktionen der Fenster („Dreischeiben-Isolierverglasung“ mit $0,700 \frac{W}{m^2 \cdot K}$), der Kelleraußenwände („URSA - Kelleraußenwand mit $0,256 \frac{W}{m^2 \cdot K}$) und des Kellerbodens („URSA – Bodenplatte bzw. lastabtragende Gründungsplatte“ mit $0,245 \frac{W}{m^2 \cdot K}$) entschieden wird. Aufgrund der Dicke von 415 mm wird sich bei den Außenwänden ab dem Erdgeschoss des Gebäudes nicht für die Konstruktion mit dem niedrigsten Wärmedurchgangskoeffizient entschieden. Hierfür wird die Konstruktion „BASF Neopor Wärmedämmverbundsystem Außenwand Porenbeton“ mit $0,190 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ und 380 mm Dicke herangezogen. Für die Außentüre stehen keine Konstruktionen zur Verfügung. Nach verschiedenen Angaben von Herstellern und der Internetseite „energie-fachberater.de“ können bei wärmedämmten Haustüren und Rahmen U-Werte von 0,7 bis $0,8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ erreicht werden, weshalb sich im Fall der beider Konzepte auf $0,8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ festgelegt wird (Rolf-Peter Weule 2021).

Um den Primärenergiebedarf möglichst weit zu senken wird sich nicht auf einen einzelnen Wärmeerzeuger festgelegt. Für die Heizung wird sich auf einen Biomasse-

Wärmeerzeuger festgelegt, da man damit den geringsten Primärenergiebedarf erreichen kann. Im Keller wird ausreichend Platz vorausgesetzt, um ein ausreichend großes Pelletslager direkt neben dem Kessel zu errichten. Im Vergleich zum Niedertemperaturkessel sinkt bei der Verwendung der Holzpellettheizung der spezifische Primärenergiebedarf um rund 61 %. Die Verteilung erfolgt horizontal und mit vertikalen Steigleitungen innerhalb der thermischen Hülle. Die Pumpen sind geregelt. Die integrierten Heizflächen werden über eine elektronische Regelung mit Optimierungsfunktion geregelt und sind auf 35°C/28°C ausgelegt. Ein hydraulischer Abgleich ist vorgenommen. Zuzüglich ist ein Heizkreis-Pufferspeicher innerhalb der thermischen Hülle verplant.

Für die Erwärmung des Warmwassers ist primär eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe vorgesehen, welche von einer solaren Trinkwassererwärmung mit Röhren-Kollektoren unterstützt wird, um die Gefahr vor Legionellen vermeiden und eine hohe Arbeitszahl des Geräts fördern zu können. Die geschätzte Kollektorfläche beträgt mit zwei Modulen etwa 14 m² (Kloth 2018). Für die Wasser/Wasser-Wärmepumpe wird sich deshalb entschieden, da das Grundwasser über das Jahr eine in etwa konstante Temperatur besitzt und besonders im Winter eine relativ hohe Temperatur (im Vergleich zur Außenluft) aufweist. Die zentrale Verteilung wird mittels horizontaler Verteilleitungen innerhalb der thermischen Hülle und einer Zirkulation geplant. Gegenüber der Pellettheizung spart man mit diesem Erzeugertypen circa 21 % an Primärenergiebedarf ein. Die Wärmepumpe als Grundlast-Wärmeerzeuger und die solare Trinkwassererwärmung sind jeweils mit einem Deckungsanteil von 0,50 vorgesehen. Um den Betrieb weiter zu optimieren ist ein bivalenter solarer Trinkwasserspeicher innerhalb der thermischen Hülle mit elektrischer Nachheizung vorgesehen. Die Verteilleitungen der Abluft/Zuluftanlage mit Wärmerückgewinnung und Erdwärmetauscher liegen ebenfalls innerhalb.

Abzüglich der bereits verbauten Dachflächen, der Fensterflächen und einem Sicherheitsaufschlag (insgesamt zehn Quadratmeter) ergeben sich noch 26 m² freie Fläche auf der Südseite. ZUB Helena[®] Ultra rechnet mit einem Peakleistungskoeffizienten K_{pk} von $0,135 \frac{kW}{m^2}$ für monokristalline Silizium Module. Allerdings entspricht dieser Wert nicht mehr dem Stand der Technik. Als neuer Referenzwert wird das monokristalline Solarmodul mit 340 W des Herstellers „Trina Solar“ herangezogen. Bei der oben genannten Nennleistung wird eine Grundfläche von

$$A = L * B = 1,689 m * 0,994 m = 1,679 m^2 \quad (3.2.1.1)$$

(mit Rahmen) angegeben (mg-solar-shop 2021). Dividiert man die Leistung durch den zuvor errechneten Produktwert, so erhält man einen korrigierten Peakleistungskoeffizienten von rund $0,203 \frac{kW}{m^2}$. Für die 26 m² freie Fläche ergibt sich der Rechenweg für die potenzielle Leistung wie folgt:

$$P_{pk} = A * K_{pk} = 26 m^2 * 0,203 \frac{kW}{m^2} = 5,28 kW \quad (3.2.1.2)$$

Da sich der Koeffizient in der Software nicht verändern lässt, muss mehr verbaute Fläche als eigentlich zur Verfügung steht angegeben werden. Rückgerechnet ergeben sich

dann für die Fläche, indem man die Leistung durch den ursprünglichen Peakleistungskoeffizienten $0,135 \frac{kW}{m^2}$ teilt, die man in das Programm eingibt, circa 39 m². Auf der freien Fläche von 26 m² soll eine Photovoltaikanlage mit rund 5,3 kW Leistung installiert werden.

3.2.2 moderne Alternative

Selbstredend gelten für das Effizienzkonzept *moderne Alternative* die gleichen Grundlagen wie für das vorangestellte Konzept. Sie unterscheiden sich weniger in dem Ziel des geringen Primärenergiebedarfs, sondern vielmehr in der Art der verbauten Konstruktionen und Techniken. Hier soll zusätzlich darauf geachtet werden, dass ein ganzheitlich nachhaltiger Betrieb ermöglicht werden kann.

ZUB Helena[®] Ultra ist für die Erkennung von umweltschonenden Bauweisen und deren umgreifenden Auswirkungen nicht optimal. Einige bautechnische Konstruktionen werden unter anderem vom Bauteileditor „eLCA“ inspiriert sein. Der Vergleichbarkeit wegen werden ergänzende Bauteilschichtungen in ZUB Helena[®] Ultra implementiert, um die gleiche Software als Berechnungsgrundlage verwenden zu können.

Hinsichtlich der Dachkonstruktion wird möglichst auf Polyurethan-Werkstoffe (PUR Hartschaum) verzichtet. Neben der bedenklichen Basischemikalien (und dem Rohölbedarf von circa 70 l eines Kubikmeter PUR-Hartschaums mit einer Rohdichte von $30 \frac{kg}{m^3}$) ist der Herstellungsprozess mit einem sehr hohen Primärenergiebedarf verbunden. Darüber hinaus ist nach dem Rückbau eine geregelte Verbrennung die einzige Option, um die klimaschädlichen Treibgase sicher zu vernichten (Bernhard Kolb 2021). Aufgrund des zusätzlichen häufig verwendeten Flammschutzmittels HBCD wird ebenfalls, wenn möglich, auf die Verwendung von Polystyrol EPS verzichtet. Schlussendlich fällt die Entscheidung auf die Konstruktion „Dachschräge, GKB, Dampfbremse, MW-035 180mm, Schalung, MW-Platte 140mm“. Hierbei ist der Hauptbestandteil mit insgesamt 320 mm Mineralwolle, welche mit Holzwolle ersetzt wird, um die Ökobilanz des Bauteils weiter zu verbessern. Der Schichtaufbau ergibt sich wie in der Abb. 3.2-1 dargestellt. Der Wärmedurchgangskoeffizient beträgt $0,183 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ und ist damit rund 2,2-mal so hoch wie bei der Variante *Energie+*.

Position	Material	Dicke [mm]	Lambda [W/(mK)]	sd [m]	relative Breite [%]
1	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	22,5	0,13	0,45	
2	DIN EN ISO 6946 Luftschicht 25mm (R=0,16 m²K/W Wärmestrom aufwärts - n...)	24	0,156	0,02	88
	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13	0,48	12
3	Dampfbremse (sd=3,3m)	0	2,3	3,3	
4	DIN 4108 5.7.1 Holzwolle Platten NW 0,060	180	0,063	0,36	88,2
	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	180	0,13	3,6	11,8
5	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 500	24	0,13	0,48	
6	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	1	0,23	50	
7	DIN 4108 5.7.1 Holzwolle Platten NW 0,060	140	0,063	0,7	
gesamt		391,5			

Abb. 3.2-1: alternativer Schichtaufbau einer Dachschräge

Grundlage für die alternative Außenwand ist die Konstruktion „BASF Neopor Wärmedämmverbundsystem Außenwand Porenbeton“, welche bereits beim Effizienzkonzept *Energie+* eingeplant ist. Zwar haben die vormals verbauten Porenbeton-Plansteine aufgrund ihrer sehr gut dämmenden Wirkung kein schlechtes ökologisches Profil, jedoch wird sich in diesem Fall trotzdem für die Substitution durch Leichtlehmsteine entschieden. Die Wärmeleitfähigkeit ist lediglich um $0,03 \frac{W}{m \cdot K}$ höher als beim Porenbeton, was sich nur dezent auf den Transmissionswärmeverlust auswirkt. Zusätzlich besitzt die Verwendung von Lehm in Bauwerken weitere Vorteile. Neben dem Effekt, dass umschlossene Holzkonstruktionen effektiv von Feuchtigkeit geschützt werden und einigen weiteren Vorteilen, ist vor allem die überaus positive Ökobilanz auffallend. Die natürliche Ressource kann nahezu überall regional gewonnen werden, sie lässt sich mit wenig Energie verarbeiten und ist vollkommen schadstofffrei (BauNetz 2021a). Wichtig ist es hier die „Neopor Fassadendämmplatte“ auszutauschen, um kein expandiertes Polystyrol im Bauwerk zu verbauen, weshalb sich für das Produkt des Unternehmens Bisomark entschieden wird. Hierbei werden der Bisotherm-Leichtbeton mit einem Wärmedämmkern, welcher aus Mineralwolle, mineralischem Dämmschaum oder einem 100 % FCKW- und H-FCKW-freien organischen Hartschaumkern besteht, vereint (Bisomark | Bisotherm 2021). Der Leichtmauermörtel und Leichtputz werden trotz des erhöhten Aufwands beim Rückbau wegen ihrer sehr guten Dämmeigenschaften, die sich auf einen verminderten Heizwärmebedarf auswirken, verwendet. In der Abb. 3.2-2 ist der erstellte Schichtaufbau der Außenwände visualisiert. Der Wärmedurchgangskoeffizient beträgt hier $0,287 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ und ist somit ungefähr 1,5-mal so hoch wie der Wert des Vergleichskonzeptes.

Position	Material	Dicke [mm]	Lambda [W/(mK)]	sd [m]	relative Breite [%]
1	DIN 4108 1.2.6 Leichtmauermörtel (250)	15	0,1	0,08	
2	CLAYTEC Leichtlehmstein700 (Mauerwerk*) 07.013	240	0,21	1,2	
3	Bisomark HBN DF 12 Druckfestigkeit 0,8 organisch	120	0,06	2,4	
4	DIN 4108 1.1.5 Leichtputz <= 700	5	0,25	0,1	
	gesamt	380			

Abb. 3.2-2: alternativer Schichtaufbau einer Außenwand

Für den unteren Gebäudeabschluss konnte keine geeignete Vorlage aus den Datenbanken, auf die ZUB Helena[®] Ultra zugreift, gefunden werden. Um dennoch einem Leitfaden folgen zu können, wird sich an eine Empfehlung von (WEKA MEDIA GmbH & Co. KG 2016) orientiert. Innen beginnt die Konstruktion mit einer Flachpressplatte, gefolgt von 150 mm Blähperlitschüttung. Perlite ist ein vulkanisches Gestein, welches unter Hitzeeinwirkung expandiert. Als ökologischer Nachteil sind vor allem die weiten Transportwege aus Griechenland zu erwähnen, welche in diesem Fall, aufgrund der guten Dämmwirkung, der sonstigen geringen Schadstoffemission und dem geringen Rückbauaufwand, toleriert werden (Forum | Nachhaltiges Bauen • Baustoffe • Ökobilanz Perlite 2021). Nach einer diffusionshemmenden und luftdichten Schicht werden Feldsteinpflaster verbaut. Zum Erdreich hin sollen sich 150 mm Sand befinden. Wie in

der Abb. 3.2-3 zu sehen, unterscheiden sich die Positionen eins, drei und vier von den genannten Materialien. Grund hierfür ist, dass die benötigten Materialien nicht in der verwendeten Software aufzufinden waren, weshalb ein Material mit gleichen (Dämm)-Eigenschaften für die Veranschaulichung im Schichtaufbau verwendet wurde. Der U-Wert ist bei dieser Konstruktion mit $0,330 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ lediglich circa 1,3-mal so hoch wie beim Konzept der *Energie+*.

Position	Material	Dicke [mm]	Lambda [W/(mK)]	sd [m]	relative Breite [%]
1	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe Sperrholz 500	18	0,13	1,26	
2	DIN 4108 5.8 Bläherlit NW 0,058	150	0,06	0,75	
3	Diffusionshemmende und luftdichte Schicht (z.B. PE-Folie sd=20m)	0,02	0,2	20	
4	DIN 4108 4.4.6 Mauersteine aus Beton 2400	70	2	1,4	
5	DIN EN ISO 10456 Putze und Mörtel Gips,Sand	150	0,8	1,5	
	gesamt	388,02			

Abb. 3.2-3: alternativer Schichtaufbau einer Bodenplatte

Für die Kelleraußenwände wurden die URSA – Kelleraußenwände als Vorlage herangenommen. Das expandierte Polystyrol wurde mit einem Produkt des bereits bekannten Herstellers Bisomark substituiert. In der Abb. 3.2-4 ist der Schichtaufbau dargestellt. Die Konstruktion der Variante *moderne Alternative* weist einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $0,364 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ auf und hat somit einen um den Faktor 1,4 höheren Wert.

Position	Material	Dicke [mm]	Lambda [W/(mK)]	sd [m]	relative Breite [%]
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	15	0,7	0,15	
2	DIN 4108 4.2 Mauerwerk aus Kalksandsteinen 1800	240	0,99	3,6	
3	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,23	200	
4	Bisomark Hbl DF 16 Druckfestigkeit 0,9	140	0,06	4,2	
	gesamt	399			

Abb. 3.2-4: alternativer Schichtaufbau einer Kelleraußenwand

An den Konstruktionen der Fenster ($0,7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$) und der Eingangstüre ($0,8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$) wurden für die Variante *moderne Alternative* keine Änderungen vorgenommen.

Abschließend ist zu betonen, dass sich die dämmspezifischen Werte nicht groß unterscheiden können, wenn wie zum Beispiel bei dem Aufbau der Kelleraußenwand, lediglich ein Material substituiert wurde. Die Unterschiede könnten größer ausfallen, wenn eine gänzlich verschiedene Konstruktion herangezogen würde.

Die Anlagentechnik der *modernen Alternative* ist so ausgewählt, dass sie eine möglichst positive Ökobilanz aufweist. Der Wirkungsgrad, und somit die Effizienz der Anlage, hat große Auswirkungen darauf. Für eine sehr effiziente und sparsame Anlage mit vergleichsweise wenig Emissionen muss man weniger Endenergie investieren und senkt somit den Gesamtbedarf bei zum Beispiel gleicher Wärmeerzeugung. Auf der anderen Seite nimmt die Herstellung (Ressourcengewinn und damit verbundener Energieaufwand), die Betriebszeit (vermeidbare schädliche Kühlmittel? Fossiler

Brennstoff?) und der Rückbau (Sondermüll? Aufwendige Trennung?) einen weiteren großen Einfluss auf die ökologische Bilanz von gebäudetechnischen Anlagen.

Aufgrund der fossilen Energieträger fallen der Brennwert- und Niedertemperatur-Kessel aus der Diskussion vorzeitig heraus. Bei der Elektro-Heizung bezieht man die nötige Energie, anders als bei einer Wärmepumpe, vollständig aus dem Stromnetz. Damit nutzt man die Energie aus dem Strommix Deutschlands, welcher zu einem großen Anteil aus „Nicht Erneuerbaren“ besteht. Nach dem (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE 2020) bestand die Nettostromerzeugung in der ersten Hälfte von 2020 für das öffentliche Netz aus 55,8 % erneuerbaren Energieträgern. Allerdings wird die Variante der Heizung aufgrund von weiteren Nachteilen, wie beispielsweise den hohen Betriebskosten und einem schlechteren Gesamtwirkungsgrad, für die *moderne Alternative* nicht weiter berücksichtigt. Der Primärenergiefaktor einer Biomassefeuerungsanlage liegt bei 0,2 (BauNetz 2021b), wohingegen sich eine Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3,5 etwa um die 0,8 bewegt, wenn sie ihre Energie ausschließlich aus dem öffentlichen Netz bezieht (Markus Boos 2021). Der Primärenergiefaktor ist ein Maß für das Verhältnis von eingesetzter Primärenergie und ihrer vorgelagerten Prozesse (in diesem Fall die Stromerzeugung). Darüber hinaus emittiert die Holzfeuerung (gegenüber anderer Verbrennungsheizungen) deutlich weniger CO₂, welcher bilanziell betrachtet sich mit der Menge an Kohlenstoffdioxid aufwiegt, welcher während des Wachstums der Bäume in das Holz eingelagert wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass Holz ein nachwachsender Rohstoff ist und auch ohne Raubbau nicht zu knapp werden würde. Neben den erschwerten Umständen für die Wälder durch den Klimawandel sieht eine gewissenhafte Pflege der Forstflächen das Fällen von Bäumen aus verschiedenen Gründen vor. Trotz dieser Vorteile gegenüber der Wärmepumpe wird sich bei der Variante *moderne Alternative* nicht für einen Biomasse-Wärmeerzeuger entschieden. Ein Grund hierfür ist unter anderem die Lage in „Zukunftstadt“. Zum einen ist es unwahrscheinlich, dass der Kunde einen eigenen Wald besitzt und zum anderen könnten sich die Anfahrtswege von Scheitholz- (dessen Förderort nicht in der unmittelbaren Umgebung sein wird) oder Pellet-Lieferungen als kompliziert herausstellen. Zuzüglich liefert die Wärmepumpe weniger hohe Vorlauftemperaturen als ein Biomasse-Kessel. Da als Übergabesystem eine Flächenheizung angedacht ist, wird die Kombination zu einer möglichst hohen Arbeitszahl der Wärmepumpe führen, da der Wärmeerzeuger ein ähnliches Temperaturniveau erzielt, wie für das Übergabesystem notwendig ist. Dies führt zu einer verbesserten Ökobilanz. Das Heizungssystem sieht somit wie folgt aus: Der Wärmeerzeuger besteht bei diesem Effizienzkonzept aus einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe und einer zusätzlichen solaren Heizungsunterstützung, um allzeitlich die Mindesttemperatur von 60 °C im Vorlauf erzeugen zu können. Die Software schlägt hierfür einen Deckungsanteil der Wärmepumpe von 90 % vor. Von der solaren Heizungsunterstützung mit Flachkollektoren (Kollektorfläche $\approx 18 \text{ m}^2$) werden entsprechend 10 % der Wärmeerzeugung übernommen. Die Verteilung erfolgt über horizontale Verteilleitungen und vertikale Steigleitungen, die sich jeweils innerhalb der

thermischen Hülle befinden. Die Pumpen sind geregelt. Wie bereits erwähnt werden wegen der geringeren Vorlauftemperatur der Wärmepumpe Fußbodenheizungen als Übergabesystem integriert, welche auf 35°C/28°C ausgelegt sind. Sie sollen elektronisch geregelt sein und über eine Optimierungsfunktion verfügen. Das System wird innerhalb über einen Heizkreispuffer-Speicher verfügen.

Das Warmwasser wird zu 38 % über die Wärmepumpe bereitgestellt. Die übrigen 62 % werden von der solaren Trinkwassererwärmung mit Röhren-Kollektoren übernommen (Fläche $\approx 14 \text{ m}^2$). Die Verteilung verläuft wohnungszentral und auch hier wird, um einen Komfortgewinn zu erhalten und die Verschwendung von Wasser zu verringern, eine Zirkulationspumpe vorgesehen. Zur weiteren Entlastung der Wärmepumpe soll innerhalb des Gebäudes ein bivalenter und elektrisch nachgeheizter solarer Trinkwasserspeicher vorhanden sein.

Auf eine mechanische Belüftung wird in diesem Effizienzkonzept verzichtet. Ein Grund dafür ist, dass durch Strömungsgeräusche und den daraus resultierenden Luftzügen Komforteinbuße beim Betrieb einer Lüftungsanlage mit einher gehen. Neben den Betriebskosten sind die gesundheitlichen Risiken durch Legionellen-, Pilz- oder Keimbildung weitere Ursachen, weshalb sich bei der *modernen Alternative*, deren Ansatz unter anderem die Vermeidung von überflüssiger Technik ist, gegen eine mechanische Belüftung entschieden wird.

Die übrige Dachfläche von acht Quadratmeter (Abzug von sonstigen ungeeigneten Flächen und der Fenster von insgesamt zehn Quadratmeter) auf der Südseite wird mit einem „organischen“ PV-System (unbelüftet und in Gebäudehülle integriert) belegt, welche Kohlenwasserstoffverbindungen statt Silizium als Halbleiter nutzen. Grund für die Entscheidung ist, dass die organische Alternative keine schädlichen Inhaltsstoffe aufweist. Zudem ist dieses Produkt in der Herstellung günstiger als die kristalline Variante (Fuchs 2020) und weist keine schädlichen Inhaltsstoffe auf, jedoch könne sie nur einen wesentlich geringeren Wirkungsgrad vorweisen. Im Folgenden wird ebenfalls für die organische Alternative eines Photovoltaikmoduls eine Korrekturrechnung vorgenommen. Heliatek[®] versteht sich als führendes Unternehmen in der Branche der organischen Solarzellen. Durch externe Messungen und Praxisversuche wurde ein Wirkungsgrad von acht Prozent bestätigt (Heliatek Support 2019). Die monokristallinen Siliziummodule von Trina Solar haben bei 340 W einen Wirkungsgrad von 19,9 % angegeben. Setzt man die bekannten Größen nun miteinander ins Verhältnis, erhält man die erreichbare Leistung von organischen PV-Systemen bei gleicher Fläche der monokristallinen Siliziummodule:

$$\frac{\text{Leistung}_{\text{organisch}}}{\text{Leistung}_{\text{monokristallin}}} = \frac{\text{Wirkungsgrad}_{\text{organisch}}}{\text{Wirkungsgrad}_{\text{monokristallin}}} \quad (3.2.2.1)$$

Nach Umstellung ergibt sich der folgende Term:

$$Leistung_{organisch} = \frac{Wirkungsgrad_{organisch} * Leistung_{monokristallin}}{Wirkungsgrad_{monokristallin}} \quad (3.2.2.2)$$

$$Leistung_{organisch} = \frac{0,08 * 340 \text{ W}}{0,199} = 136,683 \text{ W} \quad (3.2.2.3)$$

Auf einer Grundfläche von 1,679 m² erbringt die organische Alternative 136,683 W. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass das Produkt von Heliatek[®] noch etwas mehr Leistung erbringen könnte, da kein Rahmen verbaut werden muss, der die Gesamtfläche mindert. Den Peakleistungskoeffizienten erhält man durch die Division der Leistung mit der Referenzfläche. Es ergibt sich ein korrigierter Wert von 0,0814 $\frac{kW}{m^2}$ (zuvor: 0,025 $\frac{kW}{m^2}$). Die Leistung, welche in diesem Beispiel mit dem organischen System verbaut werden kann, lässt sich analog wie im Effizienzkonzept *Energie+* berechnen:

$$P_{pk} = A * K_{pk} = 8 \text{ m}^2 * 0,0814 \frac{kW}{m^2} = 0,651 \text{ kW} \quad (3.2.2.4)$$

Teilt man nun die errechnete Leistung durch den ursprünglichen Peakleistungskoeffizienten von 0,025 $\frac{kW}{m^2}$ erhält man eine einzugebende Fläche von 26,04 m². Auf dem Dach des Effizienzkonzeptes *moderne Alternative* ist eine Anlage aus einem organischen Photovoltaiksystem mit 0,651 kW Leistung geplant.

3.3 Konfiguration, Berechnung und Analyse der Gesamtkonzepte

Folgende Einstellungen gelten unabhängig vom Effizienzkonzept. Das Wohngebäude wurde nach der DIN V 4108 berechnet. Somit werden Innentemperaturen von 19 °C angesetzt. Des Weiteren wurde eine Dichtheitsprüfung durchgeführt und die Luftwechselrate beträgt 0,60 1/h. Die Bauweisen werden jeweils als „schwer“ erachtet und die Wärmebrückenkorrektur ist optimiert ($\Delta U_{WB} = 0,050 \frac{W}{m^2 * K}$). Die wirksame Wärmespeicherfähigkeiten sind für den Heizwärmebedarf 50,00 $\frac{Wh}{m^3 * K}$ und für die Nachtabenkung 18,00 $\frac{Wh}{m^3 * K}$.

In der Tabelle 4 sind die spezifischen Bedarfskenngößen des Effizienzkonzeptes *Energie+* zusammengefasst. Die Tabelle 5 listet die spezifischen Bedarfskenngößen der *modernen Alternative* auf. Die flächenbezogenen Ergebnisse beziehen sich auf die Gebäudenutzfläche $A_N = 361,6 \text{ m}^2$.

Mit beiden Vorgehen konnten insgesamt jeweils sehr zukunftsste Werte erreicht werden. Aus dem Transmissionswärmeverlust von *Energie+*, welcher um 34,3 % geringer ist als die Vorgaben des Referenzgebäudes, lässt sich die Effektivität der verbauten Dämmstoffe ableiten. Die bedacht ausgewählten Rohstoffe des gegenübergestellten Effizienzkonzeptes sind lediglich um circa 20 % schlechter und damit immer noch um 16 Prozentpunkte besser als die Vorgaben.

Die Anlagenaufwandszahl beschreibt das Verhältnis von Aufwand an Primärenergie zum erwünschten Nutzen eines gesamten Anlagensystems zur Raumheizung, Be- und Entlüftung, sowie der Warmwasseraufheizung. Die beiden Werte von 0,36 und 0,40 sind jeweils sehr niedrig. Bevor das GEG in Kraft getreten ist wurde eine Anlagenaufwandszahl größer als 1,12 als nicht ausreichend erachtet.

Der spezifische Heizwärmebedarf und der Primärenergiebedarf sind vom bauphysikalischen Aufbau und der Gebäudetechnik abhängig. Durch stets bessere Wärmedurchgangskoeffizienten setzt sich das Effizienzkonzept der *Energie+* von der *modernen Alternative* ab. Mit $5,57 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$ ist der Bedarf der Primärenergie deutlich unter den Anforderungen. Hochgerechnet auf den Absolutwert hat das Gebäude einen jährlichen Primärenergiebedarf von rund 2.014 kWh. Zwar ist der totale Bedarf des Konzeptes der *modernen Alternative* mit circa $6.339 \frac{kWh}{a}$ mehr als dreimal so hoch wie der des vorangestellten Konzeptes, jedoch damit immer noch unter der Hälfte der Forderungen durch das Referenzgebäude im GEG.

Beiden Varianten wird vom Programm ZUB Helena® Ultra die beste Energieeffizienzklasse „A+“ zugeschrieben.

Tabelle 4: spez. Bedarfskenngrößen des Effizienzkonzeptes *Energie+*

	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]	0,255	0,388	65,7 % (zulässig)
H _T (Referenzgebäude) [W/(m²K)]		0,388	65,7 %
H _T (Höchstwert gemäß EnEV 2014, Anlage 1, Tabelle 2) [W/(m²K)]		0,500	51,0 %
spez. Heizwärmebedarf [kWh/(m²a)]	29,8	-	
Anlagenaufwandszahl [-]	0,36	-	
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	5,57	44,20	12,6 % (zulässig)

Tabelle 5: spez. Bedarfskenngrößen des Effizienzkonzeptes *moderne Alternative*

	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]	0,326	0,388	84,0 % (zulässig)
H _T (Referenzgebäude) [W/(m²K)]		0,388	84,0 %
H _T (Höchstwert gemäß EnEV 2014, Anlage 1, Tabelle 2) [W/(m²K)]		0,500	65,2 %
spez. Heizwärmebedarf [kWh/(m²a)]	37,5	-	
Anlagenaufwandszahl [-]	0,40	-	
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	17,53	44,20	39,7 % (zulässig)

Anhand der Abb. 3.3-1 und Abb. 3.3-2 werden die energetischen Unterschiede der beiden Varianten nochmals verdeutlicht. Der höhere Wärmeverlust bei der modernen Alternative kommt durch die höheren Transmissionsverluste, welche der etwas schlechter dämmenden Materialien geschuldet sind. Dieser Unterschied muss durch einen höheren Heizwärmeeinsatz innerhalb der thermischen Hülle kompensiert werden.

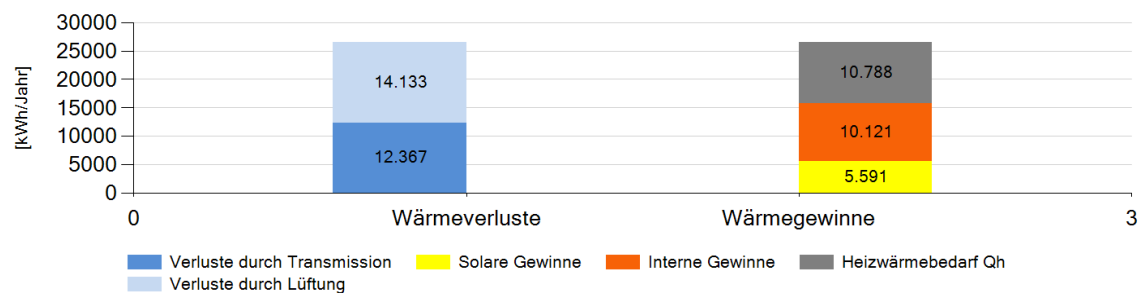


Abb. 3.3-1: grafische Wärmebilanz *Energie+*

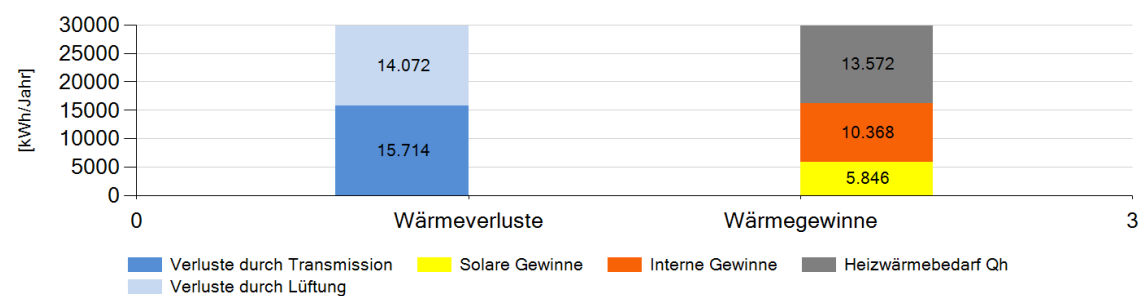


Abb. 3.3-2: grafische Wärmebilanz *moderne Alternative*

Der Strom aus erneuerbaren Energien weist größentechnisch ebenfalls sehr große Unterschiede auf. Während beim Effizienzkonzept der *modernen Alternative* lediglich $709,7 \frac{kWh}{a}$ durch das organisch Photovoltaiksystem produziert werden können überragt die Variante *Energie+* diesen Wert um mehr als das Siebenfache. Hierbei werden im Jahr 5.045,3 kWh erneuerbarer Strom generiert. Selbstredend kommt dieser große Unterschied von den unterschiedlichen Photovoltaikprodukten und der zur Verfügung gestellten Fläche. Während für das Konzept der *Energie+* bewusst auf eine solare Heizungsunterstützung verzichtet wurde, um mehr eigenen Strom herstellen zu können, strebte die *moderne Alternative* eine Entlastung der Wärmepumpe an und beansprucht damit den Platz auf dem Dach für diesen Zweck.

In der Tabelle 6 und Tabelle 7 sind jeweils die elektrischen Endenergien und deren anteilige Deckung durch den selbst erzeugten Strom tabellarisiert. Beim Konzept der *Energie+* kann monatsgenau mehr als dreiviertel des gesamten Strombedarfs durch die 5,28 kW monokristallin Silizium-Anlage gedeckt werden. Zuzüglich werden 3.103,1 kWh

pro Jahr in das öffentliche Netz eingespeist. Dies trägt zum einen zu einem weiter wachsenden ökologisch grünen Strommix Deutschlands bei und zum anderen profitiert der Hausherr finanziell davon. Bei der modernen Alternative hingegen können insgesamt nur 12,7 % des Strombedarfs gedeckt werden. Dadurch, dass bei diesem Konzept die Wärmepumpe heizt (und kein Verbrenner-Kessel) ist eine wesentlich höhere Strommenge nötig. Interessant ist, dass es dem organischen Photovoltaiksystem gelingt den Strombedarf für die Warmwasserbereitung zu mehr als 80 % zu decken. Jedoch ist dabei zu bedenken, dass die Wärmepumpe als Grundlastenzeuger lediglich 36 % der Wärmezufuhr zu decken hat. Der Rest wird von der solaren Trinkwassererwärmung erhitzt.

Das organische Photovoltaikprodukt von Heliatek® wird bereits heute überwiegend an Fassaden verbaut. Würde man hierfür diese Möglichkeit wahrnehmen, dann hätte man ohne Fenster eine zusätzliche Fläche von fast 60 m² an der Südfassade. Die installierte Leistung würde sich damit auf 5,5 kW erhöhen, womit sich nach ZUB Helena® Ultra ein gesamter Deckungsanteil von 40 % des Bedarfs der elektrischen Endenergie bei der *modernen Alternative* realisieren lassen würde.

Tabelle 6: elektrische Endenergie *Energie+*

	Bedarf [kWh/a]	gedeckt durch erneuerbare Energien [kWh/a]	Deckungsanteil
Heizung	555,5	96,5	17,4 %
Warmwasser	1.946,1	1.845,8	94,8 %
Gesamt	2.501,6	1.942,2	77,6 %

Tabelle 7: elektrische Endenergie *moderne Alternative*

	Bedarf [kWh/a]	gedeckt durch erneuerbare Energien [kWh/a]	Deckungsanteil
Heizung	3.431,9	29,6	0,9 %
Warmwasser	603,0	483,9	80,3 %
Gesamt	4.034,9	513,6	12,7 %

Betrachtet man die Farbskala des Energieausweises (Abb. 3.3-3 und Abb. 3.3-4) fällt auf, dass die *moderne Alternative* einen wesentlich geringeren Endenergiebedarf bei einem mehr als dreimal so hohen Primärenergiebedarf wie das Konzept der *Energie+* hat. Dies liegt vor allem am hohen Endenergiebedarf der Biomassefeuerung im Gegensatz zur Wärmepumpe, welche mit der Umweltwärme äußerst effektiv arbeitet. Grund für den geringen Endenergiebedarf der Wärmepumpe sind die gesetzten

Bilanzierungsgrenzen. Hierbei wird nur die zugeführte elektrische Energie (also ohne die absorbierte Umweltwärme) betrachtet.



Abb. 3.3-3: Energieausweis des Konzepts *Energie+*

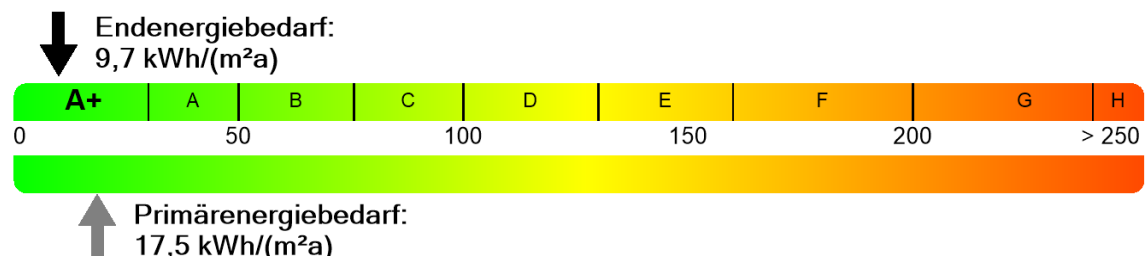


Abb. 3.3-4: Energieausweis des Konzepts *moderne Alternative*

Zur Effizienzgestaltung der Konzepte, vor allem der *modernen Alternative*, sind noch etliche Möglichkeiten offen, die nicht in der verwendeten Software zur Auswahl standen und somit nicht im Rahmen der Seminararbeit behandelt wurden. Man könnte beispielsweise mittels Bauteilaktivierungen von Deckensegeln für thermische Behaglichkeit im Sommer sorgen, während die Fensterfronten vergrößert werden könnten, um während der kälteren Jahreszeiten einen größeren solaren Wärmeeintrag verzeichnen zu können.

4 Einordnung der Konzepte

Im Hinblick auf die Umgestaltung des Energiesystems und die Verwendung von Ressourcen weisen die beiden Konzepte unterschiedliche Stärken auf.

Das Effizienzkonzept *Energie+* schneidet wärme- und anlagentechnisch jeweils äußerst gut ab. Durch die stetige Forschung sind hochwärmedämmende Baukonstruktionen für den Gebäudesektor entwickelt worden, die jedoch nicht immer bedenkenlos verwendet werden sollten. Mittels effektiver Wärmeerzeuger, Verteilsysteme und einer groß dimensionierten Photovoltaik Anlage, aus dem technisch weitentwickelten monokristallinen Silizium als Halbleitermaterial, ist es dem Gebäudebetreiber möglich seine anfallenden Strommengen um mehr als 75 % selbst zu decken. Zuzüglich werden bis zu 3.103,1 kWh im Jahr in das öffentliche Netz eingespeist. Jene elektrische Energie ermöglicht es anderen Haushalten grünen Strom für deren Anlagen zu beziehen.

Beim Konzept der *modernen Alternative* wurde darauf geachtet in den Schichtaufbauten der Gebäudehülle möglichst ökologisch sinnvolle Materialien zu verbauen. Somit wurde teilweise der Kompromiss eines Effizienzeinschnittes hingenommen. Am Ende der Auslegung beträgt der Primärenergiebedarf dennoch nur knappe 40 % der Vorgaben des Referenzgebäudes. Der eigens erzeugte Strom fällt mit 709,7 kWh pro Jahr eher gering aus. Jedoch ist das Potenzial diesbezüglich noch sehr groß. Zum einen prognostiziert das produzierende Unternehmen in den nächsten Jahren einen deutlichen Wirkungsgradgewinn der Zellen. Des Weiteren würde sich bereits jetzt durch zusätzliche Installation weiterer organischer Photovoltaikzellen an der Südseite bis zu 5.952,0 kWh elektrische Energie in einem Jahr bereitstellen lassen. Durch das Effizienzkonzept konnte erfolgreich verdeutlicht werden, dass man mit einer weniger intensiven und schonender Ressourcennutzung keine gravierenden Energieverluste während des Gebäudebetriebs hinzunehmen hat. Der Primärenergiebedarf ist ähnlich gut, wobei der ökologische Fußabdruck, der durch den Bau des Einfamilienwohngebäudes entsteht, deutlich günstiger ausfallen sollte.

Um die Klimaziele der Europäischen Union, den globalen Temperaturanstieg auf unter zwei Grad Celsius zu begrenzen, bis zum Jahre 2050 erreichen zu können, ist es nötig und gefordert die zukünftigen Gebäude effizienter zu errichten. Beide Effizienzkonzepte erfüllen die Forderungen zur vollsten Zufriedenheit und gehen mit einem guten Beispiel voran.

Beide entwickelten Konzepte könnten einen wertvollen Beitrag zum klimaneutralen Gebäudebestand leisten. Ohne Gebäude, wie im Effizienzkonzept der *Energie+* oder einem Hybrid-Modell, wird das Ziel wohl nicht zu realisieren sein. Während die Mehrheit auf bestmögliche Klimaneutralität achten sollte, könnten hocheffiziente Häuser, mit einer großzügig dimensionierten Heiztechnik, ortsnah verteilt als Kleinkraftwerke fungieren. Somit könnten die technisch schwächeren Gebäude im Umkreis mittels einem Nahwärmenetz unterstützt werden.

5 Literaturverzeichnis

BauNetz (2021a): Lehm-bau | Nachhaltig Bauen | Glossar | Baunetz_Wissen. BauNetz. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glossar/l/lehm-bau--3211173>, zuletzt aktualisiert am 18.01.2021, zuletzt geprüft am 18.01.2021.

BauNetz (2021b): Biomasseheizung | Nachhaltig Bauen | Gebäudetechnik | Baunetz_Wissen. BauNetz. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/gebaeudetechnik/biomasseheizung-672425>, zuletzt aktualisiert am 19.01.2021, zuletzt geprüft am 19.01.2021.

Bernhard Kolb (2021): Forum | Nachhaltiges Bauen • Baustoffe • Ökobilanz PUR Hartschaum. Online verfügbar unter <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/PUR+Hartschaum>, zuletzt aktualisiert am 18.01.2021, zuletzt geprüft am 18.01.2021.

Bisomark | Bisotherm (2021). Online verfügbar unter <https://www.bisotherm.de/produkte/aussenwandmauersteine/bisomark.html>, zuletzt aktualisiert am 18.01.2021, zuletzt geprüft am 18.01.2021.

Forum | Nachhaltiges Bauen • Baustoffe • Ökobilanz Perlite (2021). Online verfügbar unter <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Perlite>, zuletzt aktualisiert am 18.01.2021, zuletzt geprüft am 18.01.2021.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (2020): Nettostromerzeugung im 1. Halbjahr 2020: Rekordanteil erneuerbarer Energien von 55,8 Prozent - Fraunhofer ISE. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2020/nettostromerzeugung-im-ersten-halbjahr-2020-rekordanteil-erneuerbarer-energien.html>, zuletzt aktualisiert am 19.01.2021, zuletzt geprüft am 19.01.2021.

Fuchs, Giuliano (2020): Organische Solarzellen für die Photovoltaik. In: *net4energy*, 03.07.2020. Online verfügbar unter <https://www.net4energy.com/de/de/energie/organische-solarzellen>, zuletzt geprüft am 19.01.2021.

GEG, vom 08.08.2020 (01.11.2020): Gebäudeenergiegesetz Anlage 1 (zu § 15 Absatz 1) Technische Ausführung des Referenzgebäudes (Wohngebäude).

Heliatek Support (2019): Welche Produkte gibt es? - Heliatek Support. Online verfügbar unter <https://heliatek.com/support/de/welche-produkte-gibt-es/>, zuletzt aktualisiert am 09.09.2020, zuletzt geprüft am 19.01.2021.

Kloth, Philipp (2018): Optimale Anlagengröße einer Solarthermie-Anlage. In: *Energieheld GmbH*, 31.05.2018. Online verfügbar unter <https://www.energieheld.de/solaranlage/solarthermie/groesse-dimensionierung>, zuletzt geprüft am 19.01.2021.

Markus Boos (2021): Wärmepumpen Portal. Wärmepumpe Kennzahlen - Leistungszahl, Jahresarbeitszahl, Primärenergiefaktor. Online verfügbar unter http://www.waermepumpen-portal.de/waermepumpe_kennzahlen.html, zuletzt aktualisiert am 19.01.2021, zuletzt geprüft am 19.01.2021.

mg-solar-shop (2021): Trina Solar Honey M TSM-340-DE06M.08 (II), 340Wp Solarmodul, mono. Online verfügbar unter <https://www.mg-solar-shop.de/Trina-Solar-Honey-M-TSM-340-DE06M.08-II-340Wp-Solarmodul-mono>, zuletzt aktualisiert am 19.01.2021, zuletzt geprüft am 19.01.2021.

Projektgruppe Klimaschutz des Amts für Stadtplanung und Bauordnung, Stadt Essen (2009): Leitfaden für energetisch optimierte Stadtplanung. Planungsgegebenheiten - Städtebaulicher Planungsgegebenheiten - Städtebaulicher Entwurf - Bebauungsplan - Vertragliche Regelungen.

Rolf-Peter Weule (2021): Die besten Tipps für den Haustür-Kauf - ENERGIE-FACHBERATER. Online verfügbar unter <https://www.energie-fachberater.de/fassade/haustuer/die-besten-tipps-fuer-den-haustuer-kauf.php>, zuletzt aktualisiert am 16.01.2021, zuletzt geprüft am 16.01.2021.

Ulrich Bogenstätter (2007): Bogenstaetter-U ID34172-d.doc. Online verfügbar unter <http://www.ifbor.eu/resources/ifBOR+FRZ+2007-10+S1-10.pdf>, zuletzt geprüft am 17.01.2021.

WEKA MEDIA GmbH & Co. KG (2016): Kellerboden mit Dämmschüttung. Online verfügbar unter <https://www.weka.de/architekten-ingenieure/kellerboden-mit-daemmschuettung/>, zuletzt aktualisiert am 24.01.2018, zuletzt geprüft am 18.01.2021.