

---

# Neue Mitte Kressbronn – Modularer Holzbau im Quartier

**Entwicklung vorgefertigter Energiewendemodule für die Sanierung von  
1970er-Gebäuden**

**Endbericht**

Gefördert durch:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (AZ: 35145/01) und  
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Projektzeitraum: September 2019 bis Mai 2021

Heidelberg, Mai 2021

---

## Bearbeiterinnen und Bearbeiter:



ifeu - Institut für Energie- und  
Umweltforschung Heidelberg gGmbH (Projektkoordinator)  
Wilckensstraße 3  
69120 Heidelberg  
Julia Lempik  
Dr. Martin Pehnt  
Peter Mellwig  
Marek Mathias Sikora  
martin.pehnt@ifeu.de  
Tel: 06221 4767-36 Fax: 06221 4767-19



Bau-Fritz GmbH & Co. KG, seit 1896  
Dagmar Fritz-Kramer  
Simon Hanslmeier  
Markus Lang  
Alpenweg 25  
87746 Erkheim  
dagmar.fritz-kramer@baufritz.de  
Tel. 08336900-280 Fax: 08336 900-222

BEYER WEITBRECHT STOTZ + PARTNER  
FREIE ARCHITEKTEN MBB

BEYER WEITBRECHT STOTZ + PARTNER  
FREIE ARCHITEKTEN MBB  
Prof. Hans Stotz, Stefanie Schweiger  
Straußweg 26  
70184 Stuttgart  
Tel: 0711 120933 30 Fax: 0711 120933 40



Prof. Dipl.-Ing. Gernot Brose  
Prof. Dipl.-Phys. Andreas Gerber  
Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff  
Stephan Volkmer  
Michael Bachseitz  
Lena Frühschütz  
Hochschule Biberach  
Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)  
Karlstr. 11  
88400 Biberach  
ige@hochschule-bc.de  
Tel: 07351 582-255 Fax: 07351 582-299

## Praxispartner



Sparkasse Bodensee  
Markus Oßwald  
Leiter Bau/Verwaltung  
Hauptstelle Friedrichshafen  
Charlottenstr. 2  
88045 Friedrichshafen



Solar-System-Haus  
Alexander Kionka, Bernhard Nägele  
Beurener Str. 14  
78224 Singen (Hohentwiel)

# 1 Projektkennblatt

der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>35145/01</b>	Referat	<b>25</b>	Fördersumme	<b>119.580,00 €</b>
----	-----------------	---------	-----------	-------------	---------------------

**Antragstitel** **Neue Mitte Kressbronn: Modularer Holzbau im Quartier: Entwicklung vorgefertigter Energiewendemodule für die Sanierung von 1970er Gebäuden**

**Stichworte**

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>21 Monate</b>	<b>01.08.2019</b>	<b>01.05.2021</b>	<b>Endbericht</b>

Zwischenberichte	halbjährlich
3	

<b>Bewilligungsempfänger</b>	ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH Wilckensstraße 3 69120 Heidelberg	Tel	06221 – 4767-36
		Fax	06221 – 4767-19
		Projektleitung	
		Dr. Martin Pehnt	
		Bearbeiter	
		Dr. Martin Pehnt, Julia Lempik, Peter Mellwig	

**Kooperationspartner** Hochschule Biberach, Institut für Gebäude- und Energiesysteme, 88400 Biberach  
Bau-Fritz GmbH & Co. KG, seit 1896, 87746 Erkheim  
Beyer Weitbrecht Stotz + Partner freie Architekten MBB, 70184 Stuttgart

**Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Die häufigsten Problemfelder der energetischen Sanierung lauten: mangelnde Sanierungsrate, gesteigerte Baukosten, ein stagnierender Anteil erneuerbarer Energien am Wärmemarkt, steigende Flächenversiegelung für Siedlungszwecke und mangelnde Akzeptanz für Sanierung.

Dieses Projekt verfolgt die Vision, durch vorgefertigte, für einen Einsatz erneuerbarer Energien optimierte, architektonisch hochwertige und hocheffiziente Sanierungsmodule („Energiewendemodule“) zur Aufstockung optimierungsbedürftiger Bestandsgebäude, Lösungsansätze für die o.g. Problemfelder zu bieten. Die Energiewendemodule basieren auf der Baufriz-Fertigungspraxis und werden für die Aufstockung eines Beispielbaubъекts in Kressbronn entwickelt. Zusätzlich erfolgt eine Überprüfung der Übertragbarkeit der Energiewendemodule auf weitere potenzielle Fläche im deutschen Gebäudebestand

**Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Das bestehende Gebäude der Sparkasse Bodensee in Kressbronn weist eine Gewerbenutzung auf und verfügt über zwei bewohnte Wohneinheiten. Bei dem Gebäude aus den 1970er Jahren besteht ein starker energetischer und optischer Optimierungsbedarf, zusätzlich erfolgt eine Aufstockung durch die Sanierungsmodule („Energiewendemodule“). Im ersten Drittel des Projekts werden die Energiewendemodule unter der Leitung des Kooperationspartners Baufriz und ifeu, geplant. Die installationsintensiven Raummodule und multifunktionalen Bauteile werden auch für die Aufstockung der Sparkasse geplant. Zeitgleich wird im zweiten AP, unter der Leitung von BWS Architekten, das architektonische Konzept für die Ausgestaltung der Fassade und der Raummodule erarbeitet sowie die Anbindung der Raummodule an verschiedene Typen von Bestandsgebäuden geprüft. Fast über die gesamte Länge des Projekts erfolgt zunächst die Entwicklung und darauf eine System- und versorgungstechnische Analyse der Energiewendemodule (Hochschule Biberach - AP Leitung). Nach der Konzeptions- und Entwicklungsphase folgt in der zweiten Projekthälfte die Nachhaltigkeitsanalyse und Begleitforschung durch das ifeu. Die Analyse überprüft die Übertragbarkeit auf weitere Bestandsgebäude und notwendige politischen Instrumente zur weitflächigen Implementierung der Module. Über den gesamten Projektzeitraum teilen sich das ifeu und Baufriz die Projektkoordination.

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Für das Projekt „Neue Mitte Kressbronn“ wurden innovative, seriell hergestellte Energiewendemodule entwickelt. Mit den Energiewendemodulen wird nachhaltiger und flächeneffizienter Wohnraum geschaffen. Die Module sind energieeffizient und haben zugleich einen hohen Anteil an erneuerbarer Energie. Die enge Zusammenarbeit mit der Praxis und die Entwicklung der Module an einem Bauprojekt ermöglichte eine konkrete Planung bis hin zur Ausführung und damit die Verbindung von Wissenschaft und Praxis. Nicht nur die Sparkasse Kressbronn kann die Energiewendemodule nutzen; die Energiewendemodule können auch für verschiedene Gebäudetypen eingesetzt werden oder sogar autark funktionieren. Das Potenzial durch Aufstockungen mit Energiewendemodulen ist hoch. Die key lessons learned sind:

1. Praxisbezogene Projekte stecken voller Innovationskraft. Die konkrete Umsetzung und Fertigung hängt von vielen Faktoren ab und muss weiter untersucht werden.
2. Das Aufstockungspotenzial in Deutschland ist hoch. Allein auf den Gebäudetypen Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude und Parkhäuser können ca. 135.000 Energiewendemodulen und damit eine Wohnfläche von 11 Mio. m<sup>2</sup> entstehen. Behutsame Nachverdichtung ist damit möglich.
3. Energiewendemodule sind durch den Einsatz des Versorgungsherzens in ihrer Form und Struktur einzigartig. Sie bieten einen hohen Grad an erneuerbaren Energien und Effizienz. Die konzipierten Varianten können für verschiedene Gebäudetypen und unter Gegebenheiten genutzt werden:  
A: Mit der autarken Variante erfolgt die Versorgung der Energiewendemodule unabhängig vom Bestandsgebäude; B: Wird das Energiewendemodul als Symbiont ausgeführt, versorgt das Modul das Bestandsgebäude teilweise mit Strom aus einem hohen Anteil an Photovoltaik. C: Ist ein Energiewendemodul ein Profiteur, versorgt das Bestandsgebäude das Modul mit Wärme und Energie.
4. Die anlagentechnischen Simulationen verschiedener Versorgungsvarianten zeigen, welcher Wärmeerzeuger für die Energiewendemodule geeignet sind: Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einem PVT-Kollektor, der gleichzeitig als Wärmequelle für die Wärmepumpe dient, ist die Versorgungsvariante, die in allen Punkten der Analyse am effizientesten abschneidet. Die Gesamtkosten der Anlage sind moderat und sie haben von allen Varianten den geringsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß (Variante 3). Die Variante zeichnet sich zudem durch niedrige Emissionen in der Herstellung aus und schneidet auch in der Untersuchung zu Komfort und Schall gut ab. Eine Luft-Wärmepumpe mit PV-Anlage (Variante 2c) hat im Vergleich zu den anderen Wärmepumpen-Varianten die geringsten Gesamtkosten. Beide Infrarot-Varianten (5a und 5c) emittieren die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die meisten Varianten unterscheiden sich kaum in Kosten und CO<sub>2</sub>-Ausstoß, sodass hier für die Energiewendemodule eine große Auswahl herrscht.
5. Um Aufstockungen politisch zu fördern, müssen gesetzliche Rahmenbedingungen angepasst werden. Eine schnelle Änderung der baurechtlichen Anforderungen sowie eine Anpassung der Förderbedingungen für Aufstockungen unterstützen den Wohnungsbau.
6. Die serielle Fertigung der Energiewendemodule hat neben einer kurzen Bauzeit, dem Potenzial zur Kostensenkung und einer wetterunabhängigen Baustelle den Vorteil, dass weniger Fachkräfte für den Bau von Wohnraum notwendig sind.
7. Holz ist der zentrale Baustoff, der bei den Energiewendemodulen verwendet wird. Die Außenwände werden als Pfosten-Riegel-Konstruktion konzipiert, die mit einem holzbasierten Dämmstoff gefüllt sind. Dieser Bauteilaufbau bietet einen hohen Wärmestandard. Holz als Baustoff bietet weitere Vorteile, wie eine förderliche Wohngesundheit und kalkulierbare Brandschutzkonzepte.
8. Die Ökobilanz der Energiewendemodule ist gut. Aufgrund ihrer Bauweise in Holz und der effizienten Anlagentechnik ist der Anteil der „grauen Energie“ für die Herstellung der Module gering.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Die Projektergebnisse werden in Form eines informativen Flyers zusammengefasst. Dieser kann an interessierte Bauherren und Bauherinnen ausgegeben werden. Das Projekt wurde im Gemeinderat von Kressbronn vorgestellt.

## ***Fazit***

Energiewendemodule eignen sich besonders für Aufstockungen und Nachverdichtung. Die entwickelten drei Konzepte (Profiteur, Symbiont und Autark) eignen sich für viele Gebäudetypen und sind vielfältig

einsetzbar. Weiter wird empfohlen weitere Umsetzungsmöglichkeiten für die Energiewendmodule zu suchen und diese in der Praxis umzusetzen. Diese gebauten Beispiele sollten mit einem Monitoring überwacht werden, um die zukünftige Effizienz zu erhöhen. Konkrete Praxisbeispiele zeigen, welchen Effekt serielle Vorfertigung auf die Kostenentwicklung von Energiewendmodulen haben. Diese Kostenentwicklung und verbesserte Produktionsschritte sollten weiter untersucht werden.

# Inhalt

---

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>9</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>11</b>
<b>Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>2 Phase 1: Sondierung</b>	<b>15</b>
2.1 Zielbestimmung	15
2.2 Ausgangspunkt Bestandsgebäude	16
2.3 Bisherige Erfahrung mit vorgefertigten Raummodulen	18
2.4 Brainstorming von Gestaltungselementen des „Energiewendemoduls“	19
2.5 Versorgungstechnische Grundansätze der Energiewendemodule	22
2.6 Einbettung des Gebäudes ins Quartier und Analyse des Umfeldes	24
<b>3 Phase 2: Grundkonzept</b>	<b>25</b>
3.1 Weiterentwicklung der Grundidee des Versorgungsherzens	25
3.2 Architektur	27
3.3 System- und Versorgungskonzept der Energiewendemodule	30
3.3.1 Abschätzung Heizlast und Energiebedarf	30
3.3.1 Integration Wandheizung	32
3.3.2 Warmwasserbedarf und Pufferspeicher	34
3.4 Solaranalyse	35
3.5 Energiewendemodulcharakter im Inneren	37
<b>4 Phase 3: Detaillierung</b>	<b>38</b>
4.1 Planungsstand des Bestandsgebäudes	38
4.2 Photovoltaik/Solarthermie-Fassade	40
4.3 System- und versorgungstechnische Analyse der Energiewendemodule	42
4.4 Energiewendemodul Süd	42
4.4.1 Konzeptbeschreibung	42
4.4.2 System- und Versorgungskonzept	43
4.4.3 Berechnung von Heizlast und jährlichem Energiebedarf	44
4.4.4 Lüftungsbedarf	46
4.4.5 Warmwasserbedarf	47
4.4.6 Stromverbrauch	47
4.4.7 Untersuchte Varianten	48

# Inhalt

---

4.4.8	Simulationsrandbedingungen und TRNSYS-Ergebnisse	49
4.4.9	Ergebnisse aus Polysun	52
4.4.10	Qualitative Bewertung weiterer Varianten	53
4.4.11	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	55
4.4.12	Umweltfolgenbetrachtung	56
4.4.13	Empfehlung	57
<b>4.5</b>	<b>Energiewendemodul Ost</b>	<b>60</b>
4.5.1	Konzeptbeschreibung	60
4.5.2	System- und Versorgungskonzept	60
4.5.3	Berechnung von Heizlast und jährlichem Energiebedarf	61
4.5.4	Untersuchte Varianten	62
4.5.5	Ergebnisse aus Polysun	62
4.5.6	Wärmegestehungskosten Solaranlage	63
4.5.7	Empfehlung	64
<b>4.6</b>	<b>Energiewendemodul Nord</b>	<b>64</b>
<b>4.7</b>	<b>Einfluss der Energiewendemodule auf das Restgebäude bei zentraler Wärmeversorgung</b>	<b>65</b>
4.7.1	Berechnung von Heizlast und jährlichem Energiebedarf mit TRNSYS	65
<b>4.8</b>	<b>Exkurs: Pelletofen</b>	<b>67</b>
4.8.1	Beschreibung der Anlagensimulation	69
4.8.2	Ergebnisse zu Primärenergiebedarf und Wirtschaftlichkeit	70
<b>4.9</b>	<b>Automatisierung</b>	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>Phase 4: Realisierung</b>	<b>75</b>
5.1	Sparkasse Kressbronn	75
5.2	Planung der Energiewendemodule in Kressbronn	79
5.3	Musterhaus Fellbach von Baufritzh	83
5.4	Ausblick auf weitere Entwicklungsschritte	87
<b>6</b>	<b>Übertragbarkeitsanalyse</b>	<b>90</b>
6.1	Stand der Forschung	90
6.2	Methodik	92
6.2.1	Gebäudetypologie	93
6.2.2	Ergebnisse der Grobanalyse	94
6.3	Feinanalyse	97

# Inhalt

---

6.3.1	Altersstruktur	98
6.3.2	Tragwerk und Dachform	98
6.3.3	Baurecht	101
6.3.4	Denkmalschutz	103
<b>6.4</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>104</b>
6.4.1	Mehrfamilienwohngebäude	105
6.4.2	Büro- und Verwaltungsgebäude	106
6.4.3	Parkhäuser	108
<b>6.5</b>	<b>Flexible Wohnungsmodule</b>	<b>110</b>
<b>6.6</b>	<b>Anwendung des Energiewendemoduls auf weitere Projekte</b>	<b>113</b>
6.6.1	Mehrfamilienhäuser	113
6.6.2	Parkhäuser	123
<b>7</b>	<b>Ökobilanz der Energiewendemodule</b>	<b>126</b>
<b>8</b>	<b>Politikinstrumente zur Stärkung von Aufstockung, Nachverdichtung und Vorfertigung</b>	<b>132</b>
8.1	Einleitung	132
8.2	Instrumente	132
8.3	Handlungsempfehlungen	137
<b>9</b>	<b>Fazit und Zusammenfassung</b>	<b>138</b>
9.1	Projektzusammenfassung	138
9.2	Fazit	146
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>149</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>151</b>

# Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1:	Projektphasen	15
Abbildung 2:	Eindrücke vom Bestandsgebäude (Quelle: ifeu)	16
Abbildung 3:	Grundrisse des 1. und 2. OG des Bestandsgebäudes (Quelle: Solar-System-Haus)	17
Abbildung 4:	Kubatur des Bestandsgebäudes (links) und erster Ansatz zur Aufstockung (Quelle: Solar-System-Haus)	18
Abbildung 5:	Plattform-Konzept zur Aufstockung (Quelle: BWS)	20
Abbildung 6:	Anordnung der Module, architektonische Varianten (Quelle: BWS)	21
Abbildung 7:	Konzeptvorschläge Energiewendemodule (Quelle: ifeu)	22
Abbildung 8:	Varianten des Versorgungsherzes und Beispiel Grundrisse (Variante 1: Single, Variante 2: Palladio (→ Villa La Rotonda: zentraler Mittelraum), Variante 3: T-Flur) (Quelle: ifeu)	26
Abbildung 9:	Entwurf für die Sanierung und Aufstockung des Sparkasse Kressbronn (Quelle: Solar-System-Haus)	27
Abbildung 10:	Varianten der Aufstockung (Quelle: ifeu)	27
Abbildung 11:	Endgültiger Entwurf der Kubatur (links) und Entstehungsprozess (rechts) (Quelle: ifeu)	28
Abbildung 12:	Varianten der Verschattung mit Solarzellen (Quelle: ifeu)	29
Abbildung 13:	Geometrische Kenngrößen für die Heizlastberechnung	31
Abbildung 14:	Übersicht Heizlast und Energiebedarf	31
Abbildung 15:	Geometrische Größen für raumweise Heizlastermittlung Wohnung 1	32
Abbildung 16:	Solaranalyse der Sparkasse Kressbronn (Quelle: ifeu)	36
Abbildung 17:	Solarstudie der Fassaden (Quelle: ifeu)	37
Abbildung 18:	Planungsstand Sparkasse Kressbronn Ende Dezember 2019 (Quelle: Solar-System-Haus)	38
Abbildung 19:	Zweites Obergeschoss Sparkasse Kressbronn. Blau markiert: veränderte Flächen des NWG-Moduls	40
Abbildung 20:	Konzept PV/Solarthermie-Integration der Süd-Fassade (Quelle: Baufritz)	41
Abbildung 21:	Konzept PV/Solarthermie-Integration der Süd-Fassade (Quelle: ifeu)	41
Abbildung 22:	Solarthermie-Integration auf dem Ost-Modul (Ansicht Süden) (Quelle: ifeu)	41
Abbildung 23:	Polysun-Modell Variante 2b	49

Abbildung 24:	Monatliche Heizwärmebedarfe (Nutzenergie) für die verschiedenen Heizsysteme des Energiewendemoduls Süd mit durchgehendem Heizbetrieb der Infrarotheizung	51
Abbildung 25:	Monatliche Heizwärmebedarfe (Nutzenergie) für die verschiedenen Heizsysteme des Energiewendemoduls Süd mit zeitweise abgesenktem Heizbetrieb	51
Abbildung 26:	COP und Heizleistung der untersuchten Wärmeerzeuger	54
Abbildung 27:	Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen und Gesamtkosten aller Varianten	60
Abbildung 28:	Monatliche Heizwärmebedarfe (Nutzenergie) für die Fußbodenheizung des Energiewendemoduls Ost mit durchgehendem Heizbetrieb	61
Abbildung 29:	Untersuchte Kollektor-Varianten (I,II,III) (Quelle: ifeu)	62
Abbildung 30:	Wärmekompaaktstation für Anschluss Fußbodenheizung und Warmwasserbereitung (Quelle: ratiotherm)	64
Abbildung 31:	Strangschema Planung zentrale Wärmeversorgung (Quelle: ibp Knaus&Zentner)	65
Abbildung 32:	Prinzipschema Polysun-Modell	69
Abbildung 33:	Erzeugungsanteile Varianten 1 und 3	72
Abbildung 34:	Stand der Sanierung der Sparkasse Kressbronn im April 2021. Die Sparkasse ist bereits vollständig entkernt.	75
Abbildung 35:	Ansicht der Sparkasse Kressbronn (Vorderseite), maßstabslos (Quelle: Solar-System-Haus)	76
Abbildung 36:	Schnitt der Sparkasse Kressbronn, maßstabslos (Quelle: Solar-System-Haus)	76
Abbildung 37:	Fassadenschnitt der Sparkasse mit Energiewendemodul, maßstabslos (Quelle: Solar-System-Haus)	78
Abbildung 38:	Produktionshalle von Baufritz (Quelle: Baufritz)	79
Abbildung 39:	Installations- und Außenwände im Baufritz-Werk (Quelle: Baufritz)	80
Abbildung 40:	Transport von vorgefertigten Flächenelementen (Quelle: Baufritz)	80
Abbildung 41:	Transport von Raummodulen	81
Abbildung 42:	Ansichten Energiewendemodul Süd (Quelle: Baufritz)	81
Abbildung 43:	Grundriss, Schnitt und Detail des Versorgungsherzens vom Energiewendemodul (Quelle: Baufritz)	82
Abbildung 44:	Transportmöglichkeiten der Energiewendemodule a) Stahlhalterung b) textiler Gurt	83
Abbildung 45:	Demoeinfamilienhaus Fellbach (Quelle: Baufritz)	83
Abbildung 46:	Grundriss Demoeinfamilienhaus Fellbach – rot markiert: Versorgungsherz (Quelle: Baufritz)	83
Abbildung 47:	Versorgungsherz mit Bad und angrenzender Küche (Quelle: Baufritz)	84
Abbildung 48:	Werkplanung Holzbau, Installationsplanung 2D (Quelle: Baufritz)	85

Abbildung 49:	Heizungs- und Sanitärplanung mit 3-D CAD, Ansicht von oben, 3D Visualisierung (Quelle: Baufritz)	85
Abbildung 50:	Durchbruchplanung, Elektroplanung (Quelle: Baufritz)	85
Abbildung 51:	Produktion der Wandelemente, Installation der Zelle im Werk (Quelle: Baufritz)	86
Abbildung 52:	Vorinstallation Sanitär Wasser und Abwasser WC Spülkasten, Montage Heizung/Lüftung/ Heizkreisverteiler (Quelle: Baufritz)	86
Abbildung 53:	Anlieferung und Aufhängung des Versorgungsherzens (Quelle: Baufritz)	87
Abbildung 54:	Absenken des Versorgungsherzens in das Gebäude (Quelle: Baufritz)	87
Abbildung 55:	Methodik der Untersuchung (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)	92
Abbildung 56:	Methodik der Potentialanalyse (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)	93
Abbildung 57:	Gebäudetypologien im Kontext des Energiewendemoduls (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)	94
Abbildung 58:	Potenzielle Projektrisiken (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)	97
Abbildung 59:	Altersstruktur der untersuchten Gebäudetypologien in Deutschland	98
Abbildung 60:	Bewertung der typischen Dachformen für Aufstockungen. (eigene Darstellung ifeu nach [HR15])	100
Abbildung 61:	Pflicht zur Einbau von Aufzügen nach Landesbauordnungen [TUB19]	103
Abbildung 62:	Verteilung von Denkmälern bei Wohn- und Bürogebäuden nach Baualter in Hamburg und Berlin	104
Abbildung 63:	Potentialanalyse von Mehrfamilienhäusern für Energiewendemodule (grün = geeignetes Gebäude für die Aufstockung mit Energiewendemodulen)	105
Abbildung 64:	Potentialanalyse von Bürogebäuden für Energiewendemodule (grün = geeignetes Gebäude für die Aufstockung mit Energiewendemodulen)	107
Abbildung 65:	Potentialanalyse von Bürogebäuden für Energiewendemodule (grün = geeignete Gebäude für die Aufstockung mit Energiewendemodulen)	109
Abbildung 66:	1/2-Zimmer Wohnung (Quelle: BWS Architekten)	111
Abbildung 67:	3/4-Zimmer Wohnung (Quelle: BWS Architekten)	112
Abbildung 68:	Kombination von einer 4-Zimmer- und einer 1-Zimmer-Wohnung	112
Abbildung 69:	Lageplan Sanierungsgebiet (Maßstabslos)	114
Abbildung 70:	Schnitt durch das Gelände (Maßstablos)	114
Abbildung 71:	Grundriss der „dichten Bebauung“ (maßstabslos)(Quelle: BWS Architekten)	115
Abbildung 72:	Isometrie der Energiewendemodule „dichte Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)	116
Abbildung 73:	Visualisierung der „dichten Bebauung“, Beispielfassade der Bestandsgebäude (Quelle: BWS Architekten)	116

Abbildung 74:	Grundriss der „lockeren Bebauung“ (maßstabslos) (Quelle: BWS Architekten)	117
Abbildung 75:	Isometrie der Energiewendemodule „lockeren Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)	118
Abbildung 76:	Visualisierung der „lockeren Bebauung“, Beispielfassade der Bestandsgebäude (Quelle: BWS Architekten)	118
Abbildung 77:	Isometrie der Variante „lockeren Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)	119
Abbildung 78:	Blick in den Garten der Energiewendemodule (Quelle: BWS Architekten)	120
Abbildung 79:	Ansicht eines Beispielsgebäudes mit den Energiewendemodulen in der Variante „lockere Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)	120
Abbildung 80:	Grundriss der „freien Bebauung“ (maßstabslos) (Quelle: BWS Architekten)	121
Abbildung 81:	Isometrie der Variante „freien Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)	122
Abbildung 82:	Visualisierung der „freien Bebauung“, Beispielfassade der Bestandsgebäude (Quelle: BWS Architekten)	122
Abbildung 83:	Züblin-Parkhaus in Stuttgart (Quelle: Niels Schubert) mit einem Beispiel-3D-Modell eines Parkhauses (Quelle: BWS Architekten 2021)	123
Abbildung 84:	Entwicklung Parkhaus mit verschiedenen Varianten der Energiewendemodule (BWS Architekten 2021)	124
Abbildung 85:	Schnitt durch das Parkhaus und Galerie-Energiewendemodul (BWS Architekten 2021)	124
Abbildung 86:	Visualisierung der Energiewendemodule und Neugestaltung der Fassade des Züblin-Parkhauses (BWS Architekten 2021) (Quelle: Niels Schubert)	125
Abbildung 87:	Treibhausgasemissionen in kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro Jahr	128
Abbildung 88:	Kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand in kWh pro Jahr	129
Abbildung 89:	Versauerung in kg SO <sub>2</sub> -Äquiv. pro Jahr	130
Abbildung 90:	Entwicklung des Saldos der Treibhausgasemissionen in kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro Jahr für Variante 2	131
Abbildung 91:	Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen und Gesamtkosten aller Varianten	148

# Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1:	Leistungsabgabe Wandheizung System Kälberer	33
Tabelle 2:	Gegenüberstellung Wohnung 1 Leistungsbedarf und Leistungsabgabe Wandheizung	33
Tabelle 3:	Exemplarische Berechnung Leistung/Speichervolumen für WWB nach DIN 4708	34
Tabelle 4:	Größenordnung für Speichervolumen verschiedener Systeme	35
Tabelle 5:	Heizlast und Wärmebedarf Modul Süd nach DIN 12831	44
Tabelle 6:	Heizlast und Wärmebedarf Modul Süd nach PHPP	45
Tabelle 7:	Bauteilflächen und U-Werte Modul Süd	45
Tabelle 8:	Heizlast und Wärmebedarf Modul Süd nach TRNSYS	46
Tabelle 9:	Auslegung TWW nach DIN 4708	47
Tabelle 10:	Im Detail untersuchte Varianten im Modul Süd (Wohnung 1)	48
Tabelle 11:	Ergebnisse der Polysunsimulation (Variante 1-5) für Modul Süd (Wohnung 1) bzw. der Schätzung (Variante 6)	52
Tabelle 12:	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das Modul Süd (Wohnung 1)	56
Tabelle 13:	Umweltfolgekostenbetrachtung ohne Variante 6 Splitgerät	57
Tabelle 14:	Umweltfolgekostenbetrachtung mit Variante 6 Splitgerät	57
Tabelle 15:	Gesamtbewertung der Versorgungsvarianten für das autarke Südmodul	59
Tabelle 16:	Heizlast und Wärmebedarf Modul Ost (Wohnung 2)	62
Tabelle 17:	Polysun-Ergebnisse für das Modul Ost (Wohnung 2)	63
Tabelle 18:	Wärmegestehungskosten Solaranlagen Modul Ost	64
Tabelle 19:	Zonen-Parameter für Simulation	66
Tabelle 20:	Berechnungsergebnisse Heizlast und Wärmebedarf ohne Energiewendemodule	66
Tabelle 21:	Berechnungsergebnisse Heizlast und Wärmebedarf mit Energiewendemodulen	67
Tabelle 22:	Übersicht am Markt verfügbarer wasserführender Pelletöfen	68
Tabelle 23:	Variantenübersicht Gesamtgebäude	69
Tabelle 24:	Rahmenparameter Ergebnisbetrachtung	71
Tabelle 25:	Energieerzeugung / -bedarf aus Simulation	71
Tabelle 26:	Wirtschaftlichkeitsparameter, Ergebnis aus Simulation	71
Tabelle 27:	Ergebnisse Variantenvergleich (hier Bivalenzpunkt -2°C)	71
Tabelle 28:	Ermittelte Wohnraumpotentiale der Deutschland-Studie 2015 für die Aufstockung auf Wohngebäuden [TUP16]	91

Tabelle 29:	Ergebnisse der Grobanalyse in einer Potentialmatrix zusammengestellt (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)	95
Tabelle 30:	Potential von Energiewendemodulen auf Mehrfamiliengebäuden	106
Tabelle 31:	Absolutes Potential von Energiewendemodulen auf Büro- und Verwaltungsgebäuden	108
Tabelle 32:	Absolutes Potential von Energiewendemodulen auf Parkhäusern	110
Tabelle 33:	Vorschläge für die instrumentelle Behandlung von Aufstockungen mit Energiewendemodulen	134

# Kurzfassung

---

In diesem Projekt wurde ein grundlegendes Konzept für energieeffiziente und vorgefertigte Aufstockungen („Energiewendemodule“) entwickelt. Diese Energiewendemodule werden detailliert ausgearbeitet. Es wird ein Konzept der Versorgungstechnik und der architektonischen Umsetzung sowie ein Entwurf für die Integration in Kressbronn entwickelt.

Das Konzept der Energiewendemodule beinhaltet die Integration eines sogenannten Versorgungsherzens und raumschließenden Wandelementen. Das Versorgungshertz besteht aus einem Technikraum und mehreren Nasszellen (Badezimmer und Gäste-WC). Der Technikraum enthält die gesamte notwendige Heiz- und Versorgungstechnik (Wärmeerzeuger, Lüftung, Steuerung, Speicher, Wärmeübergabeflächen, etc.), sodass die Wandelemente frei von Technik sind. Weitere gebäudetechnische Elemente deren Einsatz zu einem Gesamtkonzept zusammengefügt werden können: Batteriespeicher, CO<sub>2</sub>-gesteuerte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Duschabwasser-Wärmerückgewinnung.

In den Außenflächen des Versorgungsherz ist eine Wandheizung installiert. Alle umgebenden Räume werden direkt mit dem Versorgungshertz verbunden, da die Räume über die Wandheizung beheizt werden. Die Installation von weiteren Heizflächen ist nicht zwingend notwendig. Für allfällige Einzelräume kann ein optionaler Anschluss durch z. B. Fußbodenheizung vorgerüstet werden.

Die Räume im Versorgungshertz (Gäste-WC, Badezimmer) können ebenfalls über eine Wandheizung versorgt werden, die auf der Innenseite des Herzes liegt. Aufgrund des hohen Dämmstandards der Energiewendemodule sind nur sehr kleine Heizleistungen erforderlich. Das Versorgungshertz kann vollständig vorgefertigt werden. Dafür dürfen die Maße des Versorgungsherz nicht 3 x 12 m (Lieferbegrenzung) übersteigen.

Im Projekt werden drei unterschiedliche Konzepte verfolgt: Konzept 1: „Profiteur“: Das Bestandsgebäude versorgt die Aufstockung mit. Konzept 2: „Symbiont“: Das Bestandsgebäude versorgt die Aufstockung teilweise mit. Die Aufstockung hätte z. B. einen hohen Anteil an PV und versorgt den Bestand mit Strom, ggf. auch mit Wärme mit. Konzept 3: „Autark“: Die Versorgung der Aufstockung erfolgt unabhängig vom Bestandsgebäude und garantiert damit Flexibilität und Übertragbarkeit auf andere Baukörper (z. B. Parkhausdächer).

Die Sparkasse Kressbronn wird mit drei Energiewendemodulen aufgestockt. Zwei Module werden als Profiteur umgesetzt, bei der Aufstockung im Süden wird als autarke Variante geprüft. Das autarke Energiewendemodul im Süden wird über ein kompakt aufgebautes Aggregat versorgt. Das System kombiniert eine Wärmepumpe mit einem Zu-/Abluftgerät mit Wärmerückgewinnung. Die Energiewendemodule werden vollflächig mit Solarflächen ausgestattet. Architektonisch werden sich die Energiewendemodule durch ihre Fassadengestaltung z. B. aus Holz vom restlichen Gebäude absetzen. Zusätzlich prüft Baufritz die Erprobung des autarken Energiewendemoduls in einem Musterhaus.

Eine Übertragbarkeitsanalyse zeigte, anlehnend an den Untersuchungen der „Deutschlandstudie 2019“, wie viele Dachflächen sich für eine Aufstockung mit Energiewendemodulen eignen. Drei Beispiel-Gebäudetypologien (Bürogebäude, Parkhäuser und Mehrfamilienhäuser) werden untersucht und ein technisch-wirtschaftliches Potenzial ermittelt. Zusätzlich erfolgte eine konkrete Untersuchung der Nutzung der Energiewendemodule für diese drei verschiedenen Gebäudetypen inkl. Ausarbeitung der Grundrisse.

Es werden verschiedene Varianten des autarken Energiewendemoduls ökobilanziell untersucht, die sich in der Versorgungstechnik unterscheiden. Der Energieträger für alle Varianten der Anlagentechnik ist Strom. Die Ökobilanz der Energiewendemodule ist gut. Aufgrund ihrer Bauweise in Holz und der effizienten Anlagentechnik ist der Anteil der „grauen Energie“ für die Herstellung der Module gering. Der steigende EE-Anteil im Strommix sorgt dafür, dass die Umweltwirkungen von Strom besser werden.

Außerdem erfolgte eine Analyse politischer Instrumente zur weitflächigen Implementierung der Energiewendemodule. Zukünftiger Untersuchungsbedarf besteht vor allem in der Untersuchung der Kostensenkungspotenziale, die auf Grund des Pilotcharakters dieses Projektes nicht möglich war.

Die Projektpartner waren das ifeu, die Bau-Fritz GmbH, die Hochschule Biberach und die BWS Architekten. Die Praxispartner waren die Sparkasse Bodensee und das Architekturbüro Solar-System-Haus. Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Az: 35145/01) und das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gefördert.

# Einleitung

---

Das Projekt „Neue Mitte Kressbronn – Modularer Holzbau im Quartier“ adressiert vier Problemstellungen der derzeitigen Entwicklung des Gebäudemarktes:

**Mangelnde Sanierungsrate und unzureichende Absenkung des Wärmeenergiebedarfs:** Mit einer Sanierungsrate, die bei rd. 1 % liegt, sind das Gebäude-Wärmeziel für 2020 und auch das Sektorziel für 2030 nicht zu erreichen (Prognos, ifeu, IWU 2016). Vorrangig ist eine energetische Verbesserung des Bestands.

**Mangelnde Sanierungsrate aufgrund steigender Bau- Grundstücks und Erschließungskosten:** Ein Grund für die niedrige Sanierungsrate sind steigende Bau-, Grundstücks- und Erschließungskosten, die auf Grund verschiedener Kostentreiber deutlich höher sind als früher. Neue kostensenkende Ansätze der Sanierung sind daher gefragt.

**Stagnierender Anteil erneuerbarer Energieträger:** Der EE-Anteil an der Wärmebereitstellung verharrt seit mehreren Jahren auf rd. 13-15 %. Damit liegt der Wärmemarkt weit hinter dem Ausbau erneuerbarer Energien zurück.

**Steigende Flächenversiegelung für Siedlungszwecke und Pro-Kopf-Wohnflächen-Inanspruchnahme:** Diesen Trends muss u. a. durch Nachverdichtung und Innenentwicklung gegengesteuert werden. Aufstockung ist eine der Strategien, die im urbanen, aber auch dörflichen Kontext ein hohes Potenzial hat.

An einem konkreten Projekt werden diese vier Problemstellungen versucht zu lösen. Der Ausgangspunkt der Untersuchung ist die Sparkasse Bodensee in Kressbronn. Das Gebäude der Sparkasse Bodensee in Kressbronn weist eine Gewerbenutzung auf und verfügt über zwei bewohnte Wohneinheiten. Es liegt unmittelbar in der Dorfmitte Kressbronn an einer Verbindungsachse Bahnhof und Ortskern.

Das Gebäude aus den 1970er Jahren hat eine massive, dominante Gebäudehülle und ist umgeben von versiegelter Fläche ohne Außenqualität. Es besteht ein energetischer und optischer Optimierungsbedarf. Zahlreiche Wärmebrücken verschlechtern die thermische Bilanz. Dieses Gebäude ist Anlass für die Verbindung und grundsätzliche Entwicklung von drei Elementen:

- die Durchführung einer **Aufstockung** zur Schaffung zusätzlichen Wohnraums und Steigerung der Flächeneffizienz durch Nachverdichtung in Verbindung mit
- der Entwicklung vorgefertigter „**Raummodule**“ für die drastische energetische Verbesserung von Bestandsgebäuden. Diese erschließen die Vorteile der Vorfabrikation (Potential zur Kostensenkung; kurze Bauzeit; Wetterunabhängigkeit der Baustelle; hohe handwerkliche Qualität und definierte Qualität) und verbinden diese mit
- **höchster Energieeffizienz und Einsatz erneuerbarer** Energien durch PV, Wärmerückgewinnung, niedrige Systemtemperaturen und Heizungssteuerung. So wird aus den Raummodulen **Energiewendemodule**.

Durch das Projekt „Neue Mitte Kressbronn“ soll einerseits in Kressbronn eine neue Dorfmitte geschaffen werden, die das Sparkassengebäude zu einem neuen Quartierstreffpunkt entwickelt. Das Gebäude ist damit von hoher Strahlkraft und soll die Potenziale des vorgefertigten Holzbaus für Sanierung, behutsame Verdichtung und erneuerbare Energien symbolisieren.

Aus energetischer Sicht wird bei der Sparkasse ein hocheffizientes Effizienzniveau allein durch Einsatz holzbasierter Dämmstoffe auf ein Effizienzhausniveau 55 ermöglicht. Die Energiewendemodule erreichen das Effizienzhausniveau 40. In Verbindung mit den eingesetzten erneuerbaren Energien wird der Primärenergiebedarf um rund über 90 % gesenkt und zusätzlicher Wohnraum geschaffen. Die Entwicklung eines architektonischen und haustechnischen Konzepts für das Energiewendemodul auf Basis von Lebenszyklus optimierten denkenden Ansatzes führt zu einer energieeffizienten Aufstockung.

Damit werden durch das Projekt Lösungsansätze für die Problemfelder der energetischen Sanierung entwickelt: Die mangelnde Sanierungsrate, gesteigerte Baukosten, ein stagnierender Anteil erneuerbarer Energien am Wärmemarkt, steigende Flächenversiegelung für Siedlungszwecke und mangelnde Akzeptanz für Sanierung u. a. durch gleichförmige architektonische Ausgestaltung der Dämmschichten und Bedenken gegenüber Dämmmaterialien.

Dieses Projekt ist das erste dieser Art, das die o.g. Elemente der Aufstockung, Vorfertigung und Renewable Readiness mit modernen Methoden des Holzbaus ganzheitlich verbindet und in einem konkreten Objekt mit hoher Ausstrahlungswirkung umsetzt. Durch die modulartige Umsetzung zeichnet es sich durch eine besondere Skalierbarkeit und Übertragbarkeit auf andere Situationen aus.

Die Aufgabenstellung gliedert sich in verschiedene Bereiche: Zuerst werden die Raummodule mit ihren multifunktionalen Bauteilen für die Aufstockung konzipiert und dafür verschiedene Einsatzkonstellationen und architektonische Konzepte geprüft. Das entwickelte Energiewendemodul mit seinen verschiedenen Einsatzkonzepten wird anlagentechnisch untersucht. Das Ziel ist ein Haustechnik-Konzept mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien. Dafür erfolgen u. a. Simulationen der Anlagentechnik. Neben einer Quartierseinbettung erfolgt eine Nachhaltigkeitsbewertung und die Identifikation von politischem Handlungsbedarf zur Implementierung der Energiewendemodule.

## 2 Phase 1: Sondierung

Der Endbericht orientiert sich an den einzelnen Projektphasen (Abbildung 1). Das Ziel ist es, nicht nur Ergebnisse des Prozesses, sondern zugleich den Entscheidungsprozess, die verworfenen Optionen und das Vorgehen zur Identifikation der besten Lösung zu dokumentieren. Die weiteren Untersuchungen zur Übertragbarkeit, Ökobilanz und Politikinstrumente bauen auf den Phasen auf.



Abbildung 1: Projektphasen

### 2.1 Zielbestimmung

Im ersten Schritt des Projektes wurde eine gemeinsame Zielbestimmung erarbeitet. In der Kickoff-Sitzung in den Räumlichkeiten von Baufritz in Erkheim findet in einem ersten Brainstorming der Begriff des „**Energiewendemoduls**“ Zuspruch. In der Diskussion besteht Einigkeit, dass die Module so viel erneuerbare Energie enthalten sollten wie möglich und dass der Entwurf der Energiewendemodule „lebendig und präsent“ sein sollte. Das Effizienzniveau ist dabei so weit zu erhöhen, dass erneuerbare Energien die Module vollständig oder mit möglichst hohen Anteilen versorgen.

Auch der Kostenaspekt ist wichtig: Module sollen so kostengünstig wie möglich herstellbar sein (Diskussion Low-Tech gegenüber High-Tech). Insgesamt strebt das Projekt zwar eine innovative Ausgestaltung an, die aber im Zweifelsfall eher auf **robuste Lösungen** statt auf zu viel Technik setzt.

Insgesamt vereint das Projekt damit hocheffiziente, mit nachhaltigen Materialien durchgeführte Sanierungen, erneuerbare Energien, das Themenfeld Vorfertigung/serielle Sanierung und flächensparsames Aufstocken im Quartierskontext.



## 2.2 Ausgangspunkt Bestandsgebäude

Ausgangspunkt des Projektes ist einerseits das konkrete Bestandsgebäude der Sparkasse in Kressbronn, andererseits steht die Übertragbarkeit des Konzeptes auf andere Anwendungsfälle im Mittelpunkt.

Die Sparkasse wurde 1973 im Architekturstil des Brutalismus errichtet, ausgeführt in Ort beton. Die Sparkasse muss erdbebensicher saniert werden. Statik sowie Brandschutz der Module und der Sparkasse limitieren die Gestaltung.

Abbildung 2: Eindrücke vom Bestandsgebäude (Quelle: ifeu)



Im Erdgeschoss der Sparkasse befindet sich eine Bäckerei und eine Fleischerei. In den oberen Etagen Wohnungen. Da die Sparkasse Bodensee der Besitzer dieses Bestandsgebäude ist, möchte sie die bisher ungenutzten Flächen aufstocken und um Wohnungen erweitern.

Der Laubengang prägt das Erscheinungsbild der Sparkasse und bildet einen zusätzlichen Sonnenschutz. Allerdings bietet der Laubengang durch seine geringe Tiefe wenig Aufenthaltsqualität und wird daher, um zusätzliche Nutzfläche zu schaffen, überbaut und in die thermische Hülle gelegt. Die vorgehängte Fassade wird abgehängt oder abgesägt.

Die Gasheizung ist aus dem Jahr 1995, allerdings wurde der Brenner erst vor 4-5 Jahren ersetzt. Vom Solarsystemhaus und ifeu wird nahegelegt, eine erdgekoppelte Wärmepumpe (Erdkollektor oder -sonde) einzubauen, da sich die Heizlast des Gebäudes nach der Sanierung erheblich verringern würde und die jetzige Heizung deutlich überdimensioniert wäre.

Die Entsiegelung der Hoffläche wird als sehr gutes Zeitfenster für eine erdgekoppelte Wärmepumpe gesehen. Die vorhandenen Parkplätze können dabei nicht entfallen – über den Einbau von sickerfähigem Pflaster an Stelle von Asphalt kann diskutiert werden.

Die thermische Hülle verläuft oberhalb der Kellerebene (Keller ist unbeheizt). Die geringe Kellerhöhe limitiert bei der Installation von Kellerdämmung. Für den EnEV-Nachweis wird pauschal mit einem Wärmebrückenzuschlag von 0,1 W/m<sup>2</sup>K gerechnet. Evtl. erfolgt eine detaillierte Berechnung der Wärmebrücken.

Abbildung 3: Grundrisse des 1. und 2. OG des Bestandsgebäudes (Quelle: Solar-System-Haus)

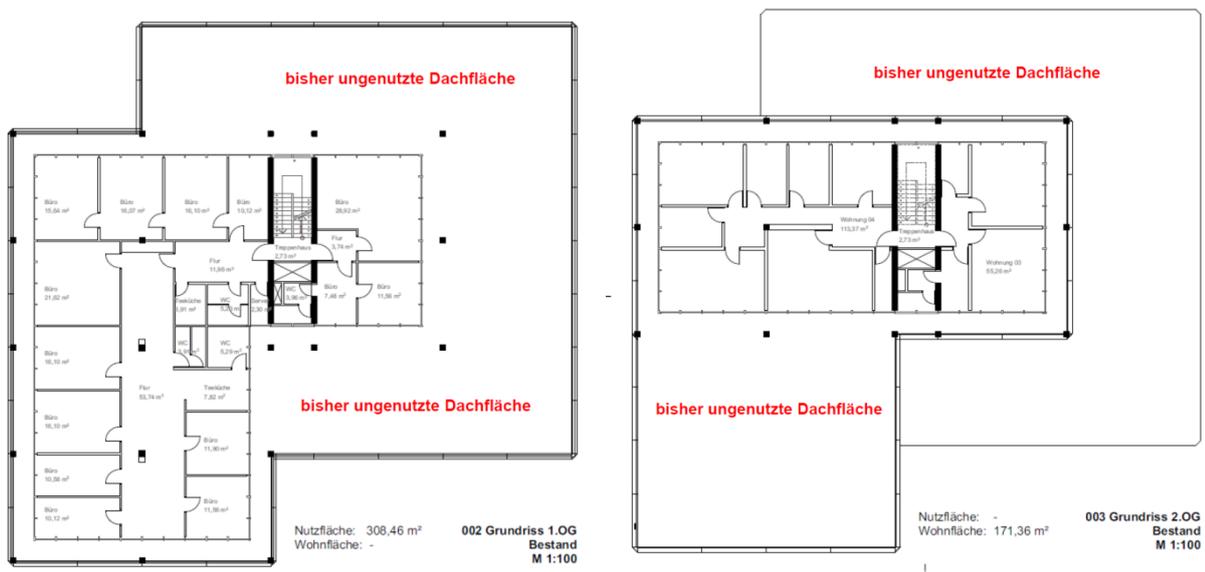
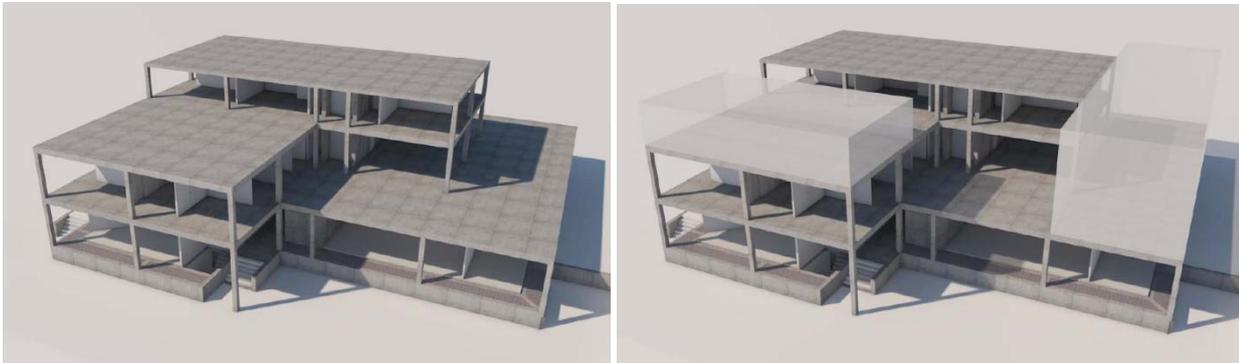


Abbildung 4: Kubatur des Bestandsgebäudes (links) und erster Ansatz zur Aufstockung (Quelle: Solar-System-Haus)



Die **Statik** der Sparkasse wurde überprüft. Das Gebäude hält eine Aufstockung von zwei Stockwerken stand. Bezüglich **Brandschutz** ist vermutlich nur eine Aufstockung von einer Etage zulässig, damit das Gebäude nicht in Gebäudeklasse 4 nach LBO eingeordnet wird und damit höhere Brandschutzanforderungen gelten. Grund: Das Gebäude liegt auf einer Seite ein halbes Geschoss tiefer. Das muss beim Brandschutzkonzept bedacht werden (7m-Anleitern).

Der Bäcker kehrt mit einem vergrößerten Ladengeschäft und Bistro zurück. Der Bestand wird entkernt. Zu beachten sind für die Aufstockung die unterschiedlichen Spannweiten der Sparkasse und GFZ.

## 2.3 Bisherige Erfahrung mit vorgefertigten Raummodulen

Baufritz verfügt über vergangene Erfahrung mit vorgefertigten Elementen in der Sanierung und verfolgt drei Konzepte:

- In **Konzept 1** werden möglichst fertig **installierte Flächenelemente** angeliefert. Decken, Wände und Fußboden werden als fertige, voll ausgestattete Installationswände angeliefert.
- In **Konzept 2** werden **vorgefertigte Raummodule** und Versorgungszellen mit vollausgestatteter Sanitärzelle (Containerbau) produziert, die aneinandergereiht eine Wohnung ergeben. Das Hauptziel ist, so viele Ausbaugewerke wie möglich im Werk anzufertigen. Auf der Baustelle müssen nur noch die Fugen aneinandergesetzt werden. Das Problem dieses Konzeptes ist, dass für die Raumzellen eine Transportkonstruktion gebaut werden muss, die später nicht verwendet werden kann. Luftleerer Raum wird transportiert. Ein Transport kostet rd. 8.000 Euro.
- **Konzept 3** setzt auf vorgehängte, vorgefertigte Holzelemente, die an dem Bestandsgebäude montiert werden („Ecoprotect“). Das Gebäude wird vorher mit Lasern ausgemessen und war im Markt deutlich teurer als eine marktübliche Sanierung. Zudem wird bei geringer Abweichung der Vermessung die Installation kompliziert.<sup>1</sup>

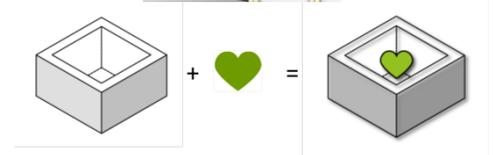
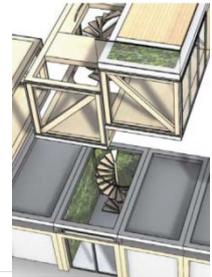


<sup>1</sup> Abbildungen: Quelle Baufritz

Die Randbedingungen für den Transport von Modulen sind, dass Raumzellen und Wand-/Boden-/Deckenelemente transportierbar sind. Die Höhe mit 3,25 m, die Breite mit ca. 3 m und die Länge mit 12 m darf nicht überschritten werden.

Für den Zweck dieses Projektes wird in der ersten Projektsitzung eruiert, welche dieser Konzepte für die Realisierung in Kressbronn sich als geeignet herausstellen. Aus den o.g. Problemen und Praxiserfahrungen wird eine Kombination der Konzepte vorgeschlagen:

- Der Energiewende-Charakter wird vollständig in sogenannte Versorgungsherzen integriert. Diese Versorgungsherzen beinhalten möglichst vollständig sämtliche Versorgungselemente (Wärmeerzeuger, Lüftung, Steuerung, Speicher, Wärmeübergabeflächen, etc.). Sie können vollständig vorgefertigt werden.
- Die angrenzenden Wände werden ausschließlich als **Wandelemente** gefertigt, so dass keine Luft transportiert wird.
- Ob zusätzlich vorgefertigte Wandelemente für das Bestandsgebäude von Baufritz angefertigt werden, wird zu einem späteren Projektzeitpunkt entschieden.



Konzeptansätze für Vorfertigung (Quelle: Baufritz & ifeu)

## 2.4 Brainstorming von Gestaltungselementen des „Energiewendemoduls“

Auf der Auftaktsitzung werden unterschiedliche „Energiewende-Elemente“ diskutiert. Hierzu werden auch andere Aufstockungsprojekte in den Blick genommen, beispielsweise das Projekt „On Top“ der University of Applied Sciences Frankfurt, das Solarhaus Rooftop von UDK und TU Berlin mit reversibler Wärmepumpe, Pufferspeicher, kontrollierter Wärmerückgewinnung, Solarthermie und Hausbatterie, und das Projekt „4rinEU“, in dem vorproduzierte Fassadenelemente und „Plug and Play“-Technik eingesetzt wird.



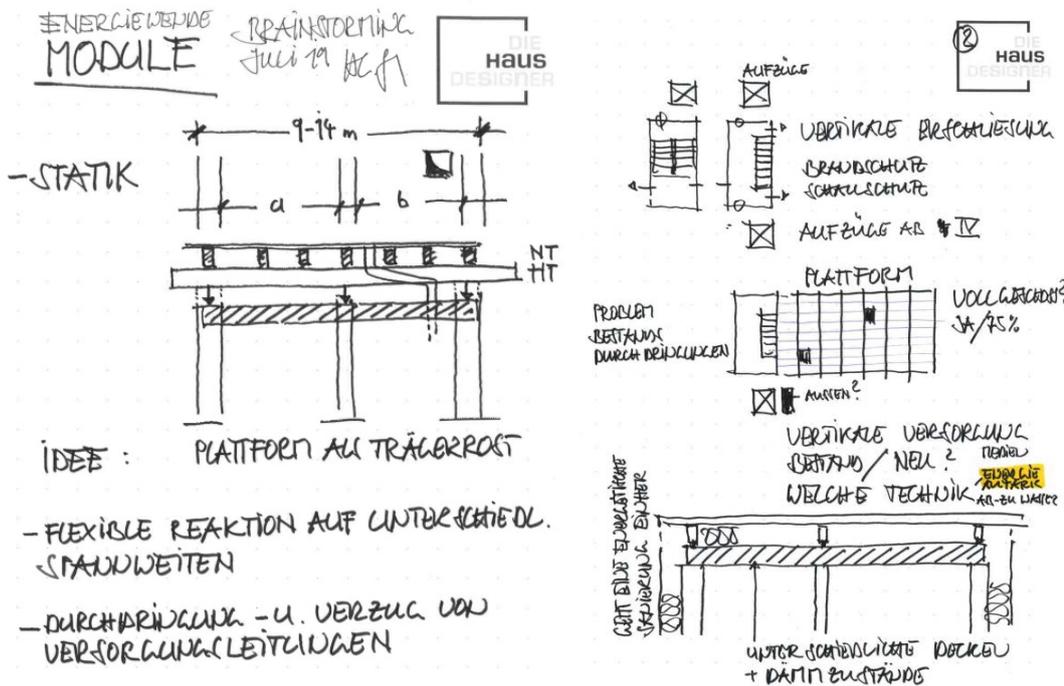
„One Top“-Aufstockung der University of Applied Sciences Frankfurt<sup>1</sup>

Folgende Elemente werden zunächst ungefiltert gesammelt:

- Der **Altbau** könnte als Bestandsgebäude klarer zu erkennen sein und sich gestalterisch von der Aufstockung abgrenzen, kein „Verstecken“ unter einer Hülle. **Trägerkonstruktion:** Die Energiewendemodule werden auf einer Ebene zwischen Bestandsbau und Aufstockung gestellt. Diese Zwischenebene ist eine Trägerrostkonstruktion, ähnlich einem Regalsystem, wodurch man Spannweiten von 9-12 m erreichen kann (siehe Skizzen Hans Stotz). Durch den Trägerrost werden Leitungen in den Bestand geführt (z. B. Abwasser). Der Trägerrost muss überdämmt werden, damit keine Wärmebrücke entsteht. Auf dem Trägerrost können verschiedene Module gesetzt werden. Beispielsweise ein Quader als Versorgungszelle, neben einem Wohnraum Quader, die über einen Zwischenraum verbunden werden.

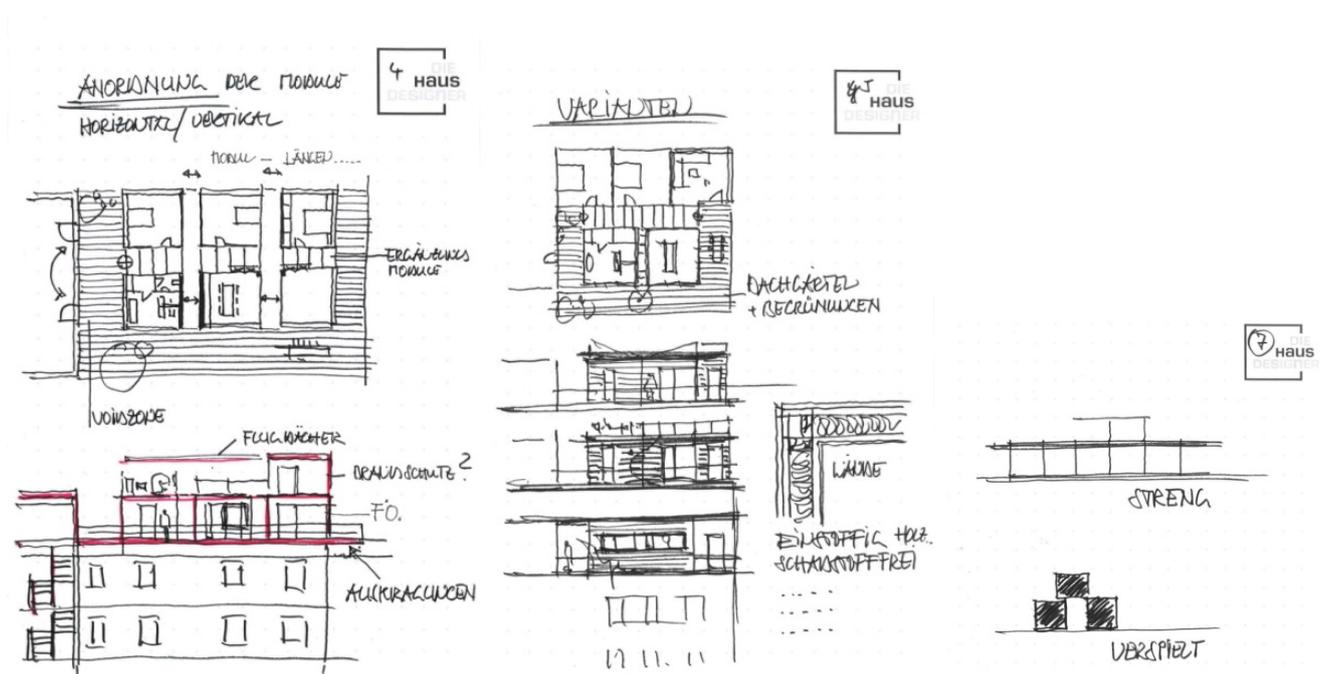
<sup>1</sup> ©Team OnTop, FRA-UAS

Abbildung 5: Plattform-Konzept zur Aufstockung (Quelle: BWS)



- **Suffizienz** im Entwurf: Angebot multifunktionaler, gemeinsam genutzter Räume, in denen man z. B. Wäschewaschen/trocknen oder Gäste beherbergen kann.
- Mögliche Entwicklung eines Konzepts für die Bewohner zur **weißen Ware**? Spielt **Digitalisierung** eine Rolle?
- Einsatz von Lichtwellenleitern oder OLEDs zur Beleuchtung
- Kühlen mit der Wärmepumpe
- Nutzung der Abwärme des Serverraums
- Technik sollte so entwickelt werden, dass sie **nutzerfreundlich** ist, zum Beispiel durch variable Raumtemperaturen. Eine ansprechende Didaktik und Symbolik sollen eine sehr einfache Bedienbarkeit ermöglichen.
- Die **Spannweite der Gebäude** ist für die Versorgung der Gebäude mit Aufzügen wichtig (Zweispänner, Dreispänner, Mehrspänner?).
- **Anmutung der Module**: Das Projektteam entwickelt den Gedanken des „**Dorfes auf dem Dach**“. Unterschiedliche Anordnungen der Module sind möglich (verspielt, streng), mit Dachgarten und Begrünung, schubladenartig angeordnet oder in strenger Fassade.

Abbildung 6: Anordnung der Module, architektonische Varianten (Quelle: BWS)



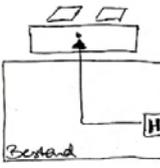
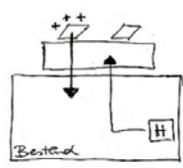
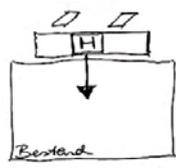
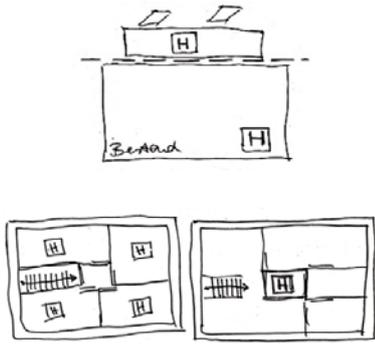
## 2.5 Versorgungstechnische Grundansätze der Energiewendemodule

Ausgangspunkt der Diskussion in der ersten Projektphase war die Verwendung von hocheffizient gedämmten Raumelementen. Folgende U-Werte werden im Folgenden für weitere Projektphasen vorausgesetzt: Wand:  $<0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Fenster:  $<1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Daher sind für die Versorgung der Module selber nur sehr kleine Heizleistungen erforderlich. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass durch das ungünstigere Oberflächen-/Volumen-Verhältnis ein schlechterer Wärmebedarf erreicht werden kann.

Bei einem Anschluss an eine Wärmeversorgung des Haupthauses wäre eine Mitversorgung vermutlich in vielen Fällen problemlos möglich. In vielen Fällen dürfte allerdings keine Mitversorgung möglich sein (Beispiel Parkhaus).

Im Projekt werden daher drei unterschiedliche Konzepte verfolgt, die auf dem ersten Projekttreffen definiert und im Folgenden konkretisiert wurden:

Abbildung 7: Konzeptvorschläge Energiewendemodule (Quelle: ifeu)

Konzept 1 Profiteur	Konzept 2 Symbiont	Konzept 3 Versorger	Konzept 4 Autark	
			Konzept 4a Jedes Modul / jeder Raum thermisch autark	Konzept 4b Zentrales Versorgungs- modul für alle Aufstockungs- module
				

### Konzept 1: „Profiteur“

Das Bestandsgebäude versorgt die Aufstockung mit. Mögliche Heizungsanlagen wären: Erdgekoppelte Wärmepumpe, Pelletkessel, BHKW mit Spitzenkessel, Nahwärmenetz, ....

### Konzept 2: „Symbiont“

Das Bestandsgebäude versorgt die Aufstockung teilweise mit. Eine Aufstockung hätte z. B. einen hohen Anteil an PV und versorgt den Bestand mit Strom, ggf. auch mit Wärme aus

einer Versorgungszentrale. Überschüssige Energie geht dadurch nicht verloren. In der Praxis dürfte dieser Fall eine geringere Relevanz haben.

### Konzept 3: „Autark“

Die Versorgung der Aufstockung erfolgt unabhängig vom Bestandsgebäude und garantiert damit Flexibilität und Übertragbarkeit auf andere Baukörper (z. B. Parkhausdächer).

Konzept 3 a: Autarke Raummodule: Die Aufstockung besteht aus Energiewendemodulen, die sich jeweils autark versorgen. Alle Raumzellen enthalten eine Versorgungseinheit, die Teil eines zentralen Versorgungselementes ist, das die notwendige Haus- (Lüftung, Warmwasser, Heizung, ggf. Wechselrichter) und Sanitärtechnik enthält.

Konzept 3 b: Versorgung über Versorgungsmodul: Die Energiewendemodule werden aus einem zentral auf der Plattform angeordneten Versorgungsraum versorgt. In diesem Versorgungsraum befindet sich die gesamte Haustechnik. Diese Variante bietet sich insbesondere an, wenn eine Wärmepumpe eingesetzt wird (Schall).

Es herrscht Einigkeit, dass die **Heizverteilung** der Module über Niedertemperaturheizung (in den Modulen integriert) erfolgen sollte: entweder Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung. Es soll keine Wärmezufuhr über Zuluft erfolgen. In der Diskussion entsteht die Idee der Integration einer Wandheizung in das zentrale Nasszellen-Versorgungselement des Energiewendemoduls („**Versorgungsherz**“), um das der Rest der Wohnung arrondiert wird. Damit wäre keine weitere Heizung in den anderen Wohnungsteilen mehr erforderlich.

Die Heizungsanlage für die Versorgung der Sparkasse wird erneuert. Solar-System-Haus schlägt eine erdgekoppelte Wärmepumpe vor. Möglicherweise wird ein Energiewendemodul als autarkes Modul konzipiert, um die Machbarkeit des Konzepts zu demonstrieren – abhängig von der Zustimmung des Bauherrn.

Weitere gebäudetechnische Elemente, deren Einsatz geprüft und zu einem Gesamtkonzept zusammengefügt werden sollen:

- Thermischer Speicher bspw. bei Einsatz von Solarthermie, PVT-Systemen oder Biomasse-Feuerung
- CO<sub>2</sub>-gesteuerte Lüftungsanlage mit WRG, Integration der Lüftungselemente in Wände bzw. Decke, – Frischluft über Treppe /Garderobe - Abluft über Bad und Küche. Bei Lüftung auf Allergiker-Eignung achten!
- Für Warmwasserversorgung unterbreitet HS Biberach Vorschläge (Pellet, Brauchwasser-WP, Frischwasserstation Durchlauferhitzer: Vorteil: keine Verteilverluste, Nachteil: hohe Leistungsspitzen). Ultrafiltration prüfen.
- Einsatz einer Duschabwasser-Wärmerückgewinnung beispielsweise Fabrikat Joulia – im Unterschied zu Gebäudezentralen Anlagen erfolgt hier die Wärmerückgewinnung unmittelbar in der Duschwanne. Dadurch ergibt sich einerseits zwar eine Aufbauhöhe von 9-12 cm, andererseits aber auch ein relativ hoher Rückgewinnungsgrad.

## 2.6 Einbettung des Gebäudes ins Quartier und Analyse des Umfeldes

In der ersten Planungsphase wurde überlegt, ob das Bestandsgebäude in ein Wärmenetz integriert werden kann, oder ob die Sparkasse andere Gebäude mitversorgen kann. Diskutiert wird die Initiierung eines Nahwärmenetzes mit fünf interessierten umliegenden Liegenschaften. Ein solches Nahwärmenetz hat eine andere Zeitachse und erfordert komplizierte weitere Schritte und eine aufwendige Planung, insbesondere die Suche nach einem Betreiber. Daher wird nahegelegt, zunächst eine Wärmepumpe einzubauen und ggf. eine Einbindung in ein Nahwärmenetz zu einem späteren Zeitpunkt zu prüfen.

Weitere Ideen zur Quartierseinbettung werden eruiert:

- Anbindung der Sparkasse durch eine „solaren Achse“ vom Bahnhof
- Bäume und Grünflächen auf dem Parkplatz
- Errichtung von solaren Ladestationen für E-Bikes und Elektroauto
- Öffnung des Cafés auf den Platz
- Entsiegelung der Parkplatzflächen

Durch den Umbau und die Sanierung der Sparkasse verändert sich die Gebäudehülle, Kubatur und Gestalt. Wie bei jeder Modernisierung oder wie bei jedem Eingriff in den Bestand muss sich die Frage gestellt werden: Passt das Bestandsgebäude noch in den Ort? Fügt es sich noch ein? Oder sind die Veränderungen zu groß, dass das Gebäude nicht mehr zu dem Ort passt?

Die Architektur in Kressbronn ist geprägt durch eine Mischung von verschiedenen Architektursprachen. Einige Neubauten haben durch ihre Architektur eine Leuchtturmfunktion, z. B. steht mitten im Dorfkern eine Kirche mit einem Zwiebelturm.

Die restlichen Gebäude in Kressbronn entsprechen traditioneller Architektur. Die Gebäude mit bäuerlicher Hausform zeigen eine ehemals landwirtschaftliche Nutzung auf. Es sind gestreckte Baukörper mit Satteldach, Sprossenfenster und Bretterläden. Im Ortskern selbst gibt es zwei Leuchtturmprojekte: der Umbau/Rekonstruktion einer ehemaligen Scheune. Die filigrane Holzkonstruktion der Scheune steht auf einem festen massiven Beton-Sockel. Ein weiteres Leuchtturmprojekt und Zeichen moderner Architektur ist die Festhalle in Kressbronn. Der Baukörper ist scharf geschnitten und hat eine Fassade aus Holzlamellen.

Am Hafen von Kressbronn steht eine Kombination aus Industriearchitektur (ehemalige Werft) und einem Neubau. Die Wohngebäude haben eine gradlinige Architektursprache aus Beton, Aluminium, Stahl und Glas.

Moderne Architektur mit einer Fassadenkombination aus hellem Grau, hellem Holz, vertikaler Lattung, fügt sich gut ins Stadtbild ein. Aktuell ist der Bestandsbau der Sparkasse in seiner 70er Jahre-Architektursprache ein Außenseiter in Kressbronn. Eine Sanierung bietet die Möglichkeit hohe Qualität zu liefern und eine aufregende Architektur.



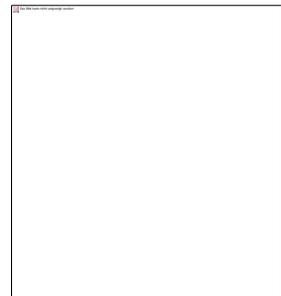
Kirche mit Zwiebelturm in Kressbronn<sup>1</sup>



Kombination Werft und Wohnen<sup>2</sup>



Traditionelle Architektur<sup>3</sup>



Moderner Umbau der Bibliothek in Kressbronn<sup>4</sup>

<sup>1</sup> © Giacomo1970 [CC BY-SA 3.0](#), Originalbild ohne Veränderung

<sup>2</sup> © Xocolatl [CC BY-SA 4.0](#), Originalbild ohne Veränderung

<sup>3</sup> © ANKAWÜ, Originalbild ohne Veränderung

<sup>4</sup> ifeu

## 3 Phase 2: Grundkonzept

---

### 3.1 Weiterentwicklung der Grundidee des Versorgungsherzens

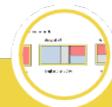
In der zweiten Projektphase hat ifeu das Konzept des „Versorgungsherzens“ weiterentwickelt: Das Versorgungsmodul besteht aus einem Technikraum und mehreren Nasszellen (Badezimmer und Gäste-WC), die zusammen das Versorgungsherz bilden. Der Technikraum enthält die gesamte notwendige Heiz- und Versorgungstechnik. In den Außenflächen des Versorgungsherzens ist eine Wandheizung installiert. Das Ziel ist, alle umgebenden Räume mit dem Versorgungsherz direkt zu verbinden, da die Räume über die Wandheizung beheizt werden.

Die Installation von weiteren Heizflächen ist nicht zwingend notwendig. Für allfällige Einzelräume mit Heizkörper kann ein optionaler Anschluss vorgerüstet werden. Die Räume im Versorgungsherz (Gäste-WC, Badezimmer) können ebenfalls über eine Wandheizung versorgt werden, die auf der Innenseite des Herzes liegt. Für das Badezimmer dürfte ein beheizter Handtuchhalter ausreichen. Die zentrale Anordnung des Versorgungsherzes kann ermöglicht werden, wenn das Herz durch eine Flurzone erweitert wird. Die Maße des Versorgungsherzens dürfen dabei nicht 3 x 12m (Lieferbegrenzung) übersteigen.

Vorerst wurden drei Varianten des Versorgungsherzens entwickelt. Diese können dann auf verschiedene Grundrissarten reagieren. Die Versorgungsherzen werden vorgefertigt. Die Außenwandmodule können um das Herz arrangiert werden, da sie frei von Versorgungstechnik sind. Somit kann ein hoher Grad der Vorfertigung realisiert werden und trotzdem eine individuelle Planung des Grundrisses rund um das Herz. Das Versorgungsherz ist somit – wie früher beim „Grundofen“ – im Zentrum der Wohnung.

Die Versorgungsherzvariante mit integrierter Wandheizung unterscheidet sich von der üblichen Containerlösung, gerade weil man die Grundrisse frei anordnen kann.

Auf die Außenfläche des Versorgungsherzes werden Halterungen platziert, auf den z. B. Küchenschränke montiert werden können. Leitungsstränge sind durch das Herz kurz und leicht zu verteilen.

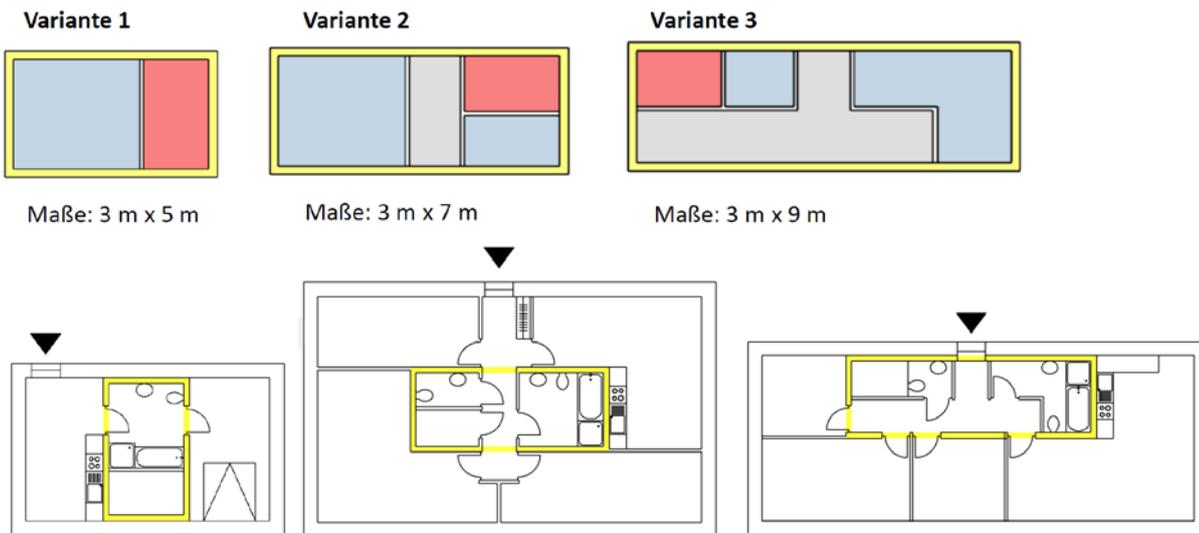


#### Phase 2: Grundkonzept

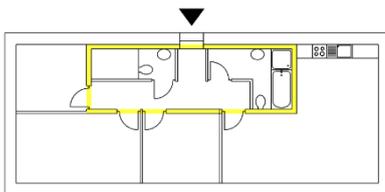
Entwicklung Konzept  
Versorgungsherz,  
3 Varianten vom  
Energiewendemodul

Abbildung 8: Varianten des Versorgungsherzes und Beispiel Grundrisse (Variante 1: Single, Variante 2: Palladio (→ Villa La Rotonda: zentraler Mittelraum), Variante 3: T-Flur) (Quelle: ifeu)

Rot: Versorgungszelle  
 Blau: Nasszelle  
 Grau: Erschließung  
 Gelb: Energiewendewandmodul



Die Resonanz auf den Vorschlag ist sehr positiv. Baufritz bestätigt eine gute Kompatibilität und lobt die Kompaktheit des Versorgungsherzes. Einzelne Vorschläge betreffen die Anordnung des Versorgungsherzes: Die Küchenzeile in Variante drei drehen, um Platz zu gewinnen und Anschlüsse zu verringern



Es wird angeregt, eine Variante für die kleine Wohnung zu überprüfen, bei der man nicht durch das Versorgungsherz ins Schlafzimmer muss.

Die Nutzung des Versorgungsherzes für den Bestand muss zukünftig überprüft werden, da sie in den Bestand geschoben werden müssen, z. B. mittels einer innovativen Transportmöglichkeiten (Gleitschichten...).

Für Kressbronn wird die Entscheidung getroffen, für zwei Module das Konzept des Profiteurs zu verfolgen. Die Aufstockung wird über die Heizung des Bestandsgebäudes versorgt. Die Aufstockung im Süden wird eventuell als autarke Variante umgesetzt, um die Übertragbarkeit auf weitere potenzielle Dachflächen zu prüfen.

### Weitere Optionen der Versorgungsherzen

- Um die Flexibilität der Grundrissgestaltung zu erhöhen, können auch zwei Versorgungsherzen eingesetzt werden.
- Ältere Bewohner hätten z. B. die Möglichkeit, die Wohnung zu trennen, um ihren Wohnraum zu verkleinern oder eine eigene Wohnung für eine Pflegekraft zu schaffen.

## 3.2 Architektur

In der zweiten Projektphase standen die Weiterentwicklung des Grundkonzepts und die Erarbeitung eines bauantragsfähigen Projekts im Vordergrund. Im Auftrag der Sparkasse Bodeensee wurde von Solar-System-Haus ein Entwurf erarbeitet, der die Aufstockung berücksichtigt.

Abbildung 9: Entwurf für die Sanierung und Aufstockung des Sparkasse Kressbronn (Quelle: Solar-System-Haus)



Basierend auf den vorliegenden Entwürfen und Ideen wird im Folgenden mit einem von ifeu vorproduzierten Styropor-Modell die Anordnung der Module erprobt. Unterschiedliche Strategien könnten hierzu probiert werden (Abbildung 10).

Abbildung 10: Varianten der Aufstockung (Quelle: ifeu)



Entwurf –  
Solar-System-Haus

Variante 1 –  
Erweiterung Dachfläche

Variante 2 –  
Alle Flächen nutzen

Variante 3 –  
Kompakter Baukörper

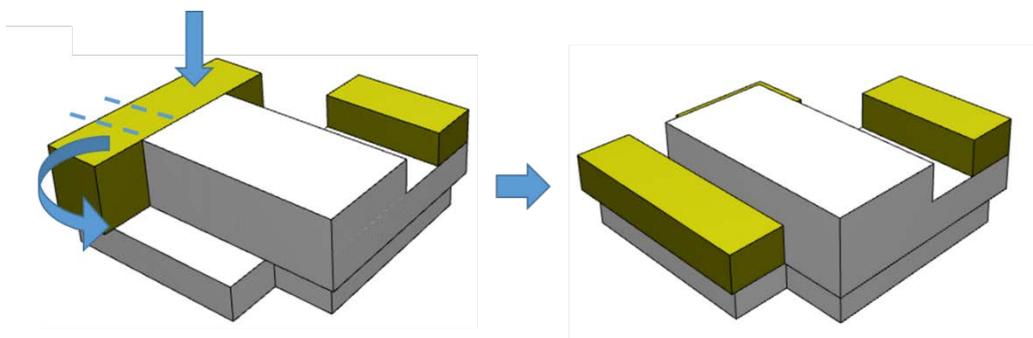
In der Diskussion beim zweiten Projekttreffen in Kressbronn werden weitere Aspekte erwo- gen: Wenn die Aufstockung losgelöst vom Baukörper sein soll, muss der Grenzabstand zu den Nachbarn eingehalten werden. Eine Aufstockung um zwei Stockwerke mit Baufritz-Elementen ist aus Brandschutzgründen nicht möglich. Weitere Fragen: Wie ist die Anmutung des Gebäudes von außen („Monumentalität“)? Wie gut sind die Wohnungen und Büros in den Modulen und Bestand belichtet? Ergeben sich Freizonen mit Blick auf den Bodensee?

Nach der ersten Planung von Solarsystemhaus wird die Wohnfläche um 509 m<sup>2</sup> und die Nutzfläche um 118 m<sup>2</sup> durch die Schließung des Laubengangs und die Module erweitert.

Da eine Aufstockung um zwei Stockwerke nicht möglich ist, muss ein alternativer Entwurf vorgeschlagen werden, um die gleiche Flächenerweiterung durch Mietflächen zu schaffen. Anhand des Modells werden vor Ort verschiedene Varianten ausprobiert. Als besonders restriktiv erweist sich die erforderliche Einstöckigkeit. Folgende Version wird als Lösung entwickelt:

Die Nordseite der Sparkasse wird durch eine Aufstockung mit Büroräumen ergänzt. Dazu muss ein neues Nichtwohngedäude-Energiewendemoduls/Gewerbemodul entwickelt werden. Dazu gilt es zu prüfen, ob das Versorgungshertz für ein Büro anders sein muss, z. B. mit einer Teeküche anstatt Gäste-WC oder einer Größeren WC-Einheit. Die Gewerbeflächen konzentrieren sich auf das erste Obergeschoss. Bestehende Sozialräume der Sparkasse im UG bleiben erhalten und von der Gewerbeinheit im EG mit genutzt werden. Ehemalige Büroräume in der Sparkasse werden zu Wohnungen. Ein Block auf der Ostseite wird zur zusätzlichen Belichtung entfernt. Der Bauherr begrüßt die neue Kubatur.

Abbildung 11: Endgültiger Entwurf der Kubatur (links) und Entstehungsprozess (rechts) (Quelle: ifeu)



Im Verlauf wurden weitere Elemente untersucht. So hat ifeu einige Vorschläge für eine Solarverschattung unterbreitet (Abbildung 12).

Abbildung 12: Varianten der Verschattung mit Solarzellen (Quelle: ifeu)



Allerdings wurde in der Projektdiskussion beschlossen, auf Grund des höheren Aufwands, der hohen Wind- und Schneelasten und der insgesamt hohen Solarabdeckung hierauf zu verzichten. Stattdessen sollen möglichst durchgängig PV-Module in die Fassade integriert werden. Weitere Vorrecherchen umfassten die Integration von PV in die Fassaden. In Zusammenarbeit mit Solar-System-Haus wird in der nächsten Projektphase hierfür ein Vorschlag erarbeitet.

Holz ist der zentrale Baustoff, der für die Energiewendemodule verwendet wird. Die Außenwände werden als Pfosten-Riegel-Konstruktion konzipiert, die mit einem, von Baufritz entwickelten, holzbasierten Dämmstoff gefüllt sind. Dieser Bauteilaufbau bietet einen hohen Wärmestandard. Holz als Baustoff bietet weitere Vorteile:

Holz ist ein nachwachsendes Naturprodukt, das CO<sub>2</sub> bindet und dieses, solange es verbaut ist, speichert. Holz ist demnach eine CO<sub>2</sub>-Senke. Außerdem hat Holz eine gute Ökobilanz und verbraucht weniger graue Energie im Vergleich zu konventionellen Baustoffen. Die Wohngesundheit wird durch Holz gefördert, weil Holz keine schädlichen Emissionen in die Raumluft emittiert.

Brandschutzkonzepte können mit Holz als Baustoff wesentlich besser konzipiert werden, da Holz kontrolliert und berechenbar brennt und somit das Brandverhalten kalkulierbar ist. Holz lässt sich gut bearbeiten, ist statisch belastbar, aber dennoch leicht. Der Einsatz von Holz auf der Fassade wirkt modern und gestalterisch hochwertig. Diese Vorteile spiegeln sich auf die Energiewendemodule wieder.

## 3.3 System- und Versorgungskonzept der Energiewendemodule

### 3.3.1 Abschätzung Heizlast und Energiebedarf

Im Mittelpunkt der versorgungstechnischen Analyse steht zunächst die Frage, welche Heizleistung und welcher Energiebedarf für die Erweiterung erforderlich sind. Für einen Überblick und zur Einschätzung der thermischen Qualität wird ausgehend von den geometrischen und bauphysikalischen Vorgaben eine Heizlastabschätzung für die drei Energiewende-Module erstellt (Abbildung 13), die sich aus der Planung ergeben (Abbildung 14).

Die überschlägige Ermittlung der Heizlast lehnt sich an das Hüllflächenverfahrens nach DIN EN 12831 an. Dieses Verfahren berechnet die Last auf Basis eines linearen Zusammenhangs zwischen Außen- und Innentemperatur und berücksichtigt keine inneren oder äußeren Gewinne. Der für die Raumheizlast wirksame Luftwechsel wird durch die Berücksichtigung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (80 %) reduziert.

Da Wohnung 1 (Wohnung im Süden 2. OG/Süd-Modul) komplett über beheizten Räumen platziert ist, wird der Boden dort adiabat angenommen.

Der Energiebedarf wird vereinfacht über die Heizperiode (185 d mit einer mittleren Außentemperatur von 4°C) abgeschätzt, wobei einfache, plausible Schätzwerte für innere und äußere Gewinne berücksichtigt sind.

Folgende bauphysikalischen Parameter liegen der Berechnung zugrunde (U-Werte):

- Fenster: 0,90 W/(m<sup>2</sup>K)
- Dach: 0,12 W/(m<sup>2</sup>K)
- Außenwand: 0,14 W/(m<sup>2</sup>K)
- Boden: 0,12 W/(m<sup>2</sup>K)

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die geometrischen Ausgangsbedingungen und die abgeschätzten Ergebnisse.

Abbildung 13: Geometrische Kenngrößen für die Heizlastberechnung

	Geometrie										
	Vorgabe lt. Plan						Berechnung			Vorgabe lt. Plan	
	L_a	B_a	H_a	L_i	B_i	H_i	therm. Hüllfl.	Brutto-Vol.	A/V	Nettofl. beh.	Nettovol. belüft.
	m	m	m	m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
Wohnung 1	14,5	6,0	3,1	13,5	5,0	2,6	214,1	269,7	0,79	67,5	175,5
Wohnung 2	12,0	7,0	3,9	11,0	6,0	3,6	230,3	323,4	0,71	66,0	234,3
Büro	24,0	6,0	3,9	23,0	5,0	3,6	375,0	554,4	0,68	115,0	408,3
<b>Summe Heizung</b>										<b>248,5</b>	

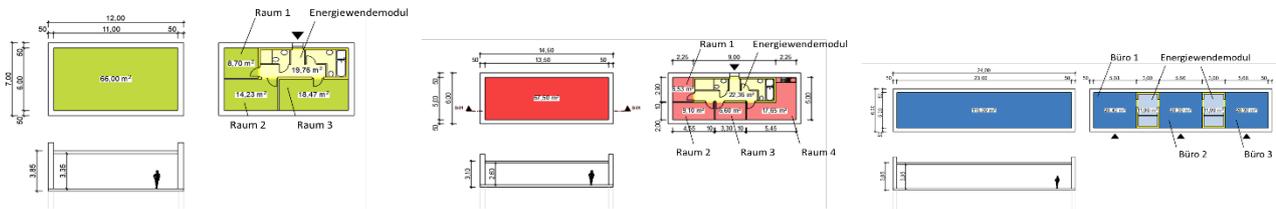


Abbildung 14: Übersicht Heizlast und Energiebedarf

Heizlast: Bodenfläche adiab.  $t_i = 20\text{ °C}$   $t_a = -12\text{ °C}$   
 Heizbedarf: Heizstunden 5100 h mittl.  $t_a = 4\text{ °C}$  inn. Gew.  $5,0\text{ W/m}^2$

Heizlast / Heizenergiebedarf										
Vorgabe Berechnung			Berechnung							
LW	$\eta_{WRG}$	Infiltr.	Heizlast Lüft.	Heizlast Trans.	Heizlast	spez. Heizlast	Verl. Koeff.	solar. Gewinne	Heizenergiebedarf	spez. Energiebed.
1/h		1/h	W	W	W	W/m <sup>2</sup>	W/K	kWh/a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a
0,5	0,8	0,1	374	1.479	1.854	27,5	57,9	1.856	3.004	45
0,5	0,8	0,1	500	1.977	2.477	37,5	76,7	3.592	4.574	69
0,5	0,8	0,1	871	3.019	3.890	33,8	120,3	4.976	6.886	60
					<b>8.220</b>				<b>14.464</b>	

Heizlast / Heizenergiebedarf										
Vorgabe Berechnung			Berechnung							
LW	$\eta_{WRG}$	Infiltr.	Heizlast Lüft.	Heizlast Trans.	Heizlast	spez. Heizlast	Verl. Koeff.	solar. Gewinne	Heizenergiebedarf	spez. Energiebed.
1/h		1/h	W	W	W	W/m <sup>2</sup>	W/K	kWh/a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a
0,5	0,8	0,1	374	1.479	1.854	27,5	57,9	1.856	2.615	39
0,5	0,8	0,1	500	1.977	2.477	37,5	76,7	3.592	3.981	60
0,5	0,8	0,1	871	3.019	3.890	33,8	120,3	4.976	5.995	52
					<b>8.220</b>				<b>12.592</b>	

So ergeben sich für die Heizlast spez. Werte zwischen ca.  $27\text{ W/m}^2$  und  $37\text{ W/m}^2$ . Diese noch relativ hoch erscheinenden Leistungswerte sind primär dem Rechenverfahren geschuldet als auch dem schlechten A/V-Verhältnis. Für die weitere detailliertere Untersuchung könnte die Verwendung des Rechenverfahrens für Passivhäuser (PHPP) oder eine Simulation eine realistischere Zahl liefern.

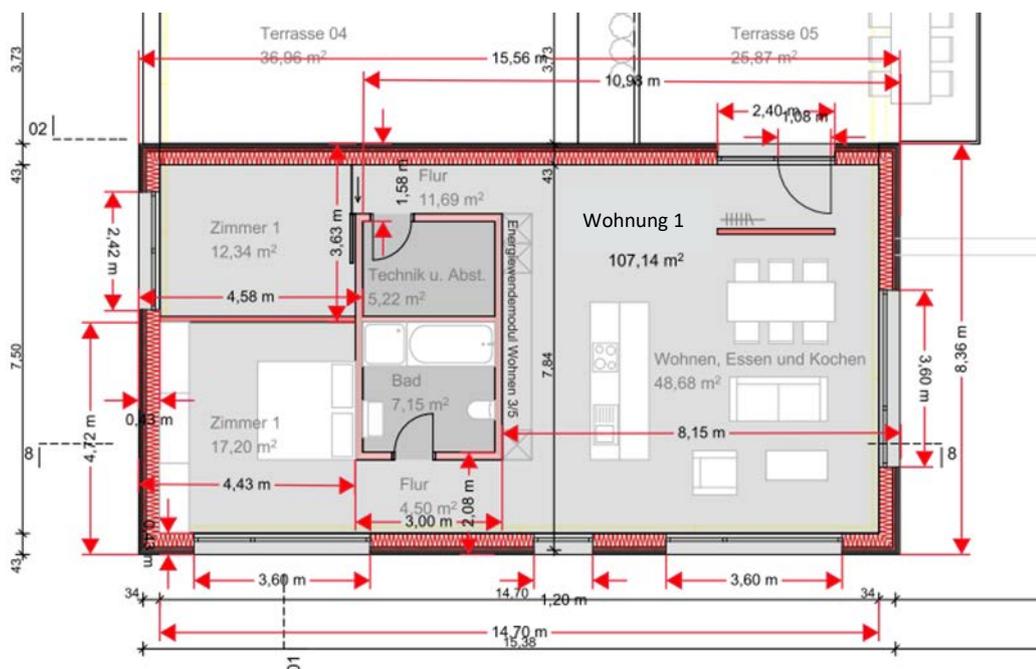
Für die erste Überprüfung der Integration von Anlagentechnik kann in diesem Arbeitsstadium zunächst von einer Überschätzung des Leistungsbedarfs ausgegangen werden.

Auch wenn für die Ermittlung des Energiebedarfs mit Werten zwischen ca. 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) und 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) eine Abschätzung innerer und äußerer Gewinne berücksichtigt wurde, basiert diese auf den Verlustkoeffizienten der Leistungsberechnung. Dies schlägt sich im Resultat nieder. Diese Werte sind jedoch für die Auslegung der Anlagentechnik nicht relevant, sondern für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit, die in einem zweiten Bearbeitungsschritt erfolgt und einer genaueren Betrachtung, z. B. mit einem Monatsbilanzverfahren bedarf.

### 3.3.1 Integration Wandheizung

Für die Detaillierung des Versorgungskonzepts, erfolgt für die Wohnung im Süden 2. OG (kurz Wohnung 1) eine raumweise Berechnung der Heizlast ebenfalls in Anlehnung an das Verfahren der DIN 12831. Um im ersten Schritt abzuschätzen, ob mit einer Wandheizung alleine der Lastbedarf gedeckt werden kann, sind die raumweisen Leistungswerte für Bedarf und die geometrischen Notwendigkeiten gegenübergestellt.

Abbildung 15: Geometrische Größen für raumweise Heizlastermittlung Wohnung 1



Im Hinblick auf niedrige Systemtemperaturen und möglichst geringe Massenströme kann für die Wandheizung (hier z. B. System Kälberer Cupronova) von einer Wärmeleistung zwischen 60 W/m<sup>2</sup> und 70 W/m<sup>2</sup> ausgegangen werden.

Tabelle 1: Leistungsabgabe Wandheizung System Kälberer

<b>Cupronova R6</b>				
Fläche	[m <sup>2</sup> ]	1,25	1,25	1,25
Raumtemp.	[°C]	20	20	20
Vorlauftemp.	[°C]	40	40	35
Rücklauftemp.	[°C]	35	30	28
Heizmittelü.temp.	[K]	17,5	15	11,5
Modulleistung	[W]	115	90	75
spez. Modulleist.	[W/m <sup>2</sup> ]	<b>92</b>	<b>72</b>	<b>60</b>
Modulmassenstr.	[m <sup>3</sup> /h]	0,020	0,008	0,009
spez. Modulmass.str.	[m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> )]	0,016	0,006	0,007
<b>Cupronova R4</b>				
Fläche	[m <sup>2</sup> ]	0,83	0,83	0,83
Raumtemp.	[°C]	20	20	20
Vorlauftemp.	[°C]	40	40	35
Rücklauftemp.	[°C]	35	30	28
Heizmittelü.temp.	[K]	17,5	15	11,5
Modulleistung	[W]	75	60	50
spez. Modulleist.	[W/m <sup>2</sup> ]	<b>91</b>	<b>73</b>	<b>60</b>
Modulmassenstr.	[m <sup>3</sup> /h]	0,013	0,005	0,006
spez. Modulmass.str.	[m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> )]	0,016	0,006	0,007

Tabelle 2: Gegenüberstellung Wohnung 1 Leistungsbedarf und Leistungsabgabe Wandheizung

	Netto- fläche	Heizlast	spez. Heizlast	Fläche Wandheiz. 60 W/m <sup>2</sup>	Wandlänge RH 2,5 m	Fläche Wandheiz. 70 W/m <sup>2</sup>	Wandlänge RH 2,5 m
	[m <sup>2</sup> ]	[W]	[W/m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]
Zimmer 1	12,34	317	25,7	5,3	2,1	4,5	1,8
Flur 1	11,69	445	38,1	7,4	3,0	6,4	2,5
Wohnen	48,68	952	19,6	15,9	6,3	13,6	5,4
Flur 2	4,5	94	20,9	1,6	0,6	1,3	0,5
Zimmer 2	17,2	409	23,8	6,8	2,7	5,8	2,3
Technik/Bad	12,37	113	9,1	1,9	0,8	1,6	0,6
Summe/Mittel	<b>106,78</b>	<b>2.330</b>	<b>21,8</b>				

Bei einer nutzbaren Raumhöhe von ca. 2,5 m wird deutlich, dass etwa im Bereich Wohnen nicht ausreichend Innenwandfläche (am Versorgungsherz) zur Verfügung steht. Für Zimmer 1 und Zimmer 2 wäre, abhängig von der tatsächlichen Möblierung, eine Versorgung über Wandheizung alleine möglich.

Vor diesem Hintergrund ist es in jedem Fall sinnvoll, Fußbodenheizung in das Konzept als (Zusatz-) System in die Konzeption einzubeziehen.

### 3.3.2 Warmwasserbedarf und Pufferspeicher

Eine Abschätzung des Warmwasserbedarfs und resultierende Werte für Ladeleistung und Speicherbedarf können mit Hilfe des Bedarfskennzahlverfahrens nach DIN 4708 durchgeführt werden. Für die Ermittlung von Ladeleistung und Speicher wird unterstellt, dass der Speicher am Beginn der Bedarfsperiode zu 50 % geladen ist und ab einer Beladung von kleiner 50 % nachgeladen wird.

Für Wohnung 1 ergibt sich eine Bedarfskennzahl von 0,9. Folgende Kombinationen Ladeleistung/Speicherbedarf/tägliche Ladezeit lassen sich exemplarisch daraus ermitteln:

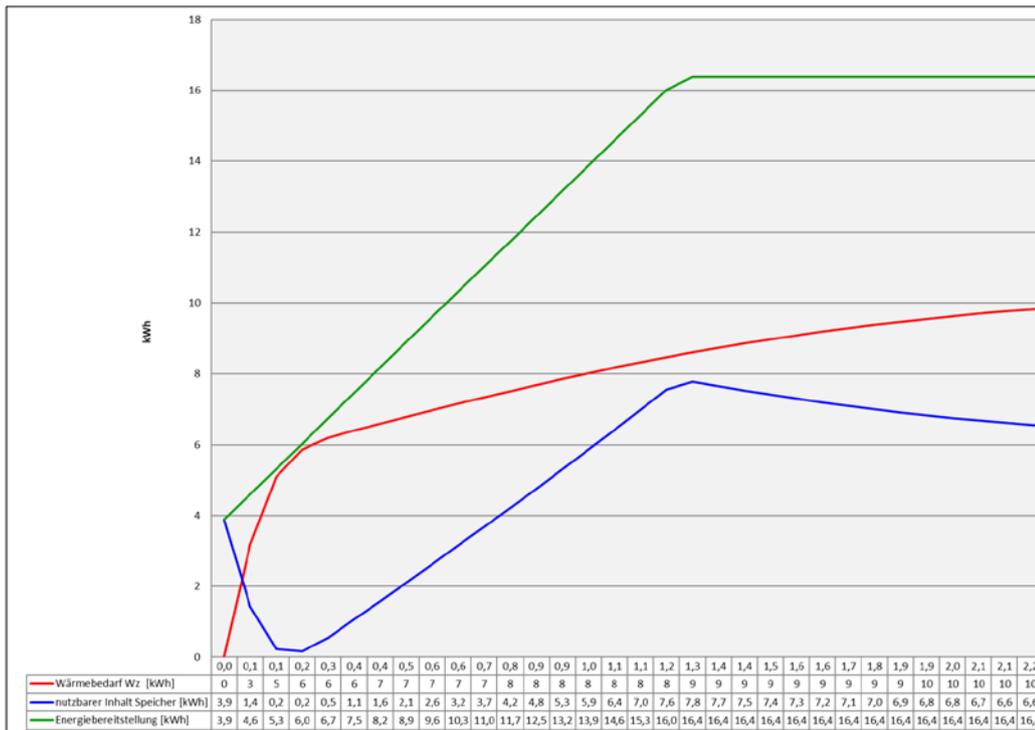
- 15 kW / 120 l / 42min
- 10 kW / 150 l / 1h 3min
- 5 kW / 200 l / 2h 5min

Die Ladezeit ist bei der Systembemessung insofern von Bedeutung, als der Wärmeerzeuger mit der genannten Leistung für den errechneten Zeitraum für die Warmwasserbereitung vorgehalten werden muss. Bei einem kombinierten System steht diese Leistung der Raumbeheizung also nicht zur Verfügung. Durch Vergrößerung des Speichers ändert sich zwar die tägliche Ladezeit nicht, jedoch kann vermieden werden, dass während der Bedarfsperiode eine Nachladung erfolgt. Die Ladung des Speichers kann dann auf einen Zeitraum verschoben werden, in dem die Raumheizlast reduziert werden kann, z. B. in den Nachtstunden oder während der Abwesenheit der Nutzer.

Exemplarisch ist nachstehend die Berechnungstabelle und zugehörige Grafik für den Fall 10 kW / 150 l dargestellt.

Tabelle 3: Exemplarische Berechnung Leistung/Speichervolumen für WWB nach DIN 4708

Wärmebedarf $W_B$ [Wh]	5.820		Wärmebedarf Standardwert	
Anzahl der Einheitswohnungen N	0,9	10,0	Bedarfskennzahl Rechenwert	
<b>Bedarfszeit z [h]</b>	<b>Zeit [h]</b>	<b>Wärmebedarf <math>W_z</math> [kWh]</b>		
Wannenfüllzeit $z_B$	0,167	5,5 kWh	<b>Spitzenwärmebedarf <math>W_{z,B}</math></b>	
Spitzenverteilungszeit 2 $t_n$	0,24	6,0 kWh	<b>Wärmebedarf Periode 2 <math>t_n</math></b>	
Bedarfsperiode 2 $T_N$	3,57	10,4 kWh	<b>Periodenwärmebedarf <math>W_{z,TN}</math></b>	
freie Zeitvorgabe [h]	1,00	8,0 kWh		
Dauerleistung WW-Bereiter [kW]	10,0 kW			
Speichergröße [l]	150 l			
Eintrittstemperatur [°C]	10 °C			
max. Speichertemperatur	60 °C			
Nutzbarer Anteil Speicher	90%			
Energieinhalt Speicher voll [kWh]		7,8 kWh		
Inhalt Anteil bei Beginn Nachladung	50%			
Energieinhalt Speicher Beginn Nachladung [kWh]		3,9 kWh		
Inhalt Anteil bei Beginn Bedarfsperiode	50%			
Energieinhalt Speicher Beginn Bedarfsperiode [kWh]		3,9 kWh		
max. Heizleistung für WW [kW]		9,3 kW		
Energiebereitstellung Bedarfsperiode [kWh]		16,4 kWh		
theor. Ladezeit WWB während Bedarfsperiode [h] / [min]		0 h 39 min		
theor. Tägl. Ladezeit WWB [h] / [min]		1 h 3 min		
	<b>Leistung und Speicherkapazität ausreichend!</b>			



Planerisch ist die Speichergröße sinnvoll mit den sonstigen Systemen abzustimmen, die an den Speicher angeschlossen sind. So kann die Mindestlaufzeit einer Wärmepumpe oder die notwendige Speichergröße einer thermischen Solaranlage bereits einen Speicherbedarf vorgeben, der mit dem Speicherbedarf der Warmwasserbereitung zu verrechnen ist.

Zu beachten ist ebenfalls das Temperaturniveau im Bereitschaftsteil des Warmwasserspeichers und daraus resultierenden Notwendigkeiten für den Wärmeerzeuger, etwa Mindesttemperaturen von z.B. 60°C.

Tabelle 4: Größenordnung für Speichervolumen verschiedener Systeme

	t <sub>ein</sub> °C	t <sub>aus</sub> °C	Leistung kW	min. Betr. h	Vol. l
Wärmepumpe	10	40	10	0,166	287
	<b>Personen</b> Pers.	<b>Fläche/Pers.</b> m <sup>2</sup> /Pers.	<b>Fläche</b> m <sup>2</sup>	<b>spez. Puff.Vol.</b> l/m <sup>2</sup>	<b>Puff.Vol.</b> l
Solaranlage WWB	3	1,2	3,6	50	180

Überschlägig kann für die Integration in das Modul Wohnung 1 mit einem Speichervolumen von mind. ca. 300 l gerechnet werden. Abhängig von der weiteren Detaillierung und möglichen Entscheidung für die Vorhaltung zur Integration größerer Flächen Solarthermie, kann sich dieses Volumen ggf. auch vergrößern.

### 3.4 Solaranalyse

Zusätzlich zur architektonischen Ausgestaltung wurde durch das ifeu eine Analyse des Solarpotenzials vorgenommen. Dazu wurde das komplexe Architekturmodell zu einem simplen kubischen Modell vereinfacht. Für die Analyse ist die direkte Umgebung ebenfalls von Interesse. Aufgrund mangelnder Bestandsunterlagen wurden mit Google Maps, OpenMaps sowie frei verfügbarer Fotos die umliegenden Gebäude erfasst und in das Gebäudemodell integriert. Dadurch können ebenfalls Schattenverläufe an den Fassaden und auf dem Dach dargestellt werden. Als Grundlage wurden Klimadaten aus Friedrichshafen verwendet.

Vorteilhaft ist, dass keine solare Verschattung durch andere Gebäude oder einen Versprung im Gebäude erfolgt. Nahe den Wänden des 2. OG erfolgt eine gewisse Abschattung. Die Solarstrahlungsbedingungen am Bodensee sind mit etwa 1.200 kWh/m<sup>2</sup>a insgesamt sehr vorteilhaft. Die Südseite und das Dach sind den ganzen Tag über der Sonne ausgesetzt. Dort erweist sich Photovoltaik oder Solarthermie als außerordentlich vorteilhaft. Gerade das Energiewendemodul auf der Südwestseite profitiert von der Lage am meisten. Auf der Fassade Richtung Südwesten erreicht die solare Einstrahlung Werte von bis zu 800 kWh/m<sup>2</sup>a, was weitere Optionen mit Photovoltaik auf dieser Seite eröffnet.

Dünnschicht-Photovoltaik Module mit einem Wirkungsgrad von bis zu 20 % können dort zur Eigenstromversorgung beitragen. Mittlerweile gibt es auch farbige Module, die sich weniger auffällig in die Fassade einbauen lassen. Die Firma Solaxess bietet weiße und verschiedene graue Solarmodule mit einem geringeren Wirkungsgrad zwischen 11 – 13 % an. An der Nordseite des Gebäudes bieten sich keine Module an.

Abbildung 16: Solaranalyse der Sparkasse Kressbronn (Quelle: ifeu)

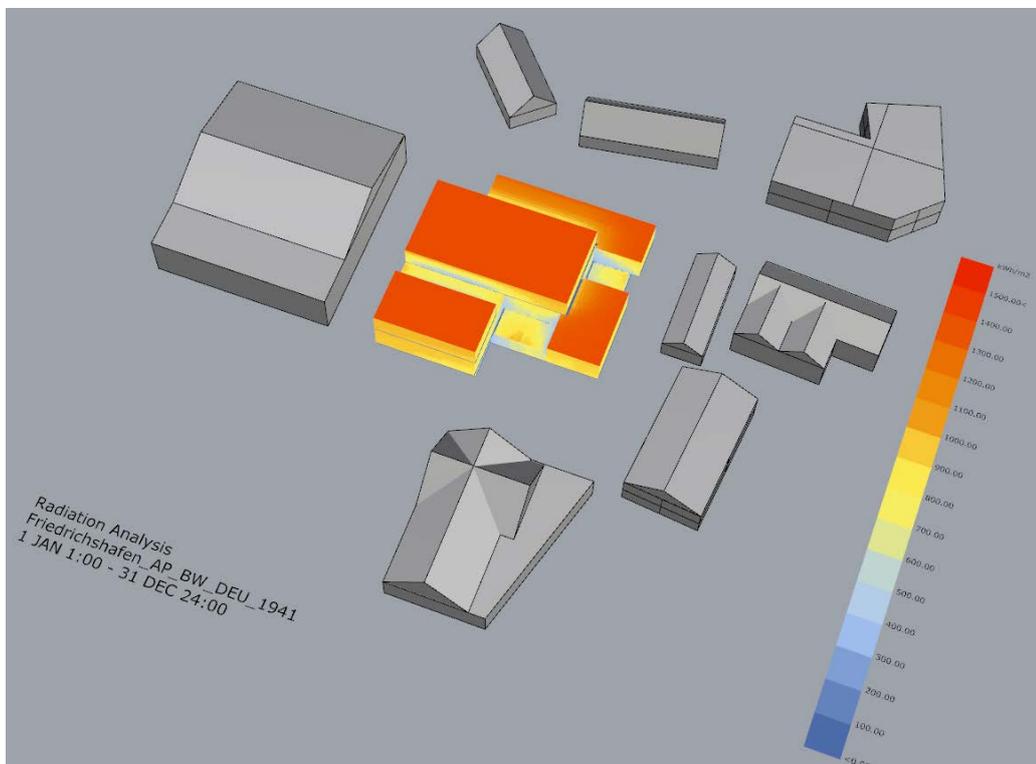
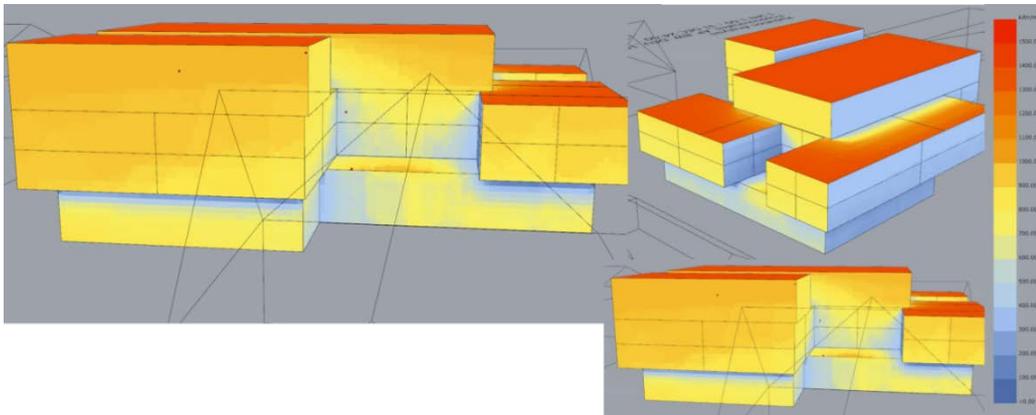


Abbildung 17: Solarstudie der Fassaden (Quelle: ifeu)



### 3.5 Energiewendemodulcharakter im Inneren

Die Energiewendemodule heben sich durch ihr Konzept, dem hohen Grad an Effizienz und der versorgungstechnischen Ausführung des Versorgungsherzens von anderen Aufstockungen ab. Der Charakter der Energiewende kann auch im Innenraum gezeigt werden. Durch die Platzierung der Wandheizung auf der Innenseite des Versorgungsherzens kann die Wand nur mit Einschränkungen genutzt werden. Das fordert aber individuelle und kreative Lösungen, damit die Nutzung der Wandheizung nicht benachteiligt wird.

Mit den Projektteilnehmenden wurden verschiedene Lösungen für das Versorgungsherz diskutiert:

- **Energiewende sichtbar machen:** Auf der Wand des Versorgungsherzens wird der Stand des Energiewendemoduls sichtbar gemacht. Der aktuelle Energieverbrauch wird angezeigt und SmartHome-Technik angebracht, sodass die Bewohner sehen, wie hoch ihr Verbrauch ist.
- **Energiewendemodul „leuchtet“ effizient:** Mit Lichtinstallation/-integration bringt man das Energiewendemodul zum „leuchten“. Eine weitere Lichtinstallation ist nicht notwendig und das Versorgungsherz wird zum Gestaltungsmittelpunkt.
- **Wärmende Wände behängen:** Die Wandheizung verhindert eine flexible Platzierung von Bildern etc. Eine vorgefertigte Installation für Bilder o.Ä. ermöglicht das freie Behängen.

Wie der Energiewendenmodulcharakter im Innenraum der Energiewendemodule in der Sparkasse Kressbronn gezeigt wird, entscheidet Solar-System Haus.



Versorgungsherz von Innen  
– Konstruktion um Wände  
zu behängen (Quelle: ifeu)

# 4 Phase 3: Detaillierung

## 4.1 Planungsstand des Bestandsgebäudes

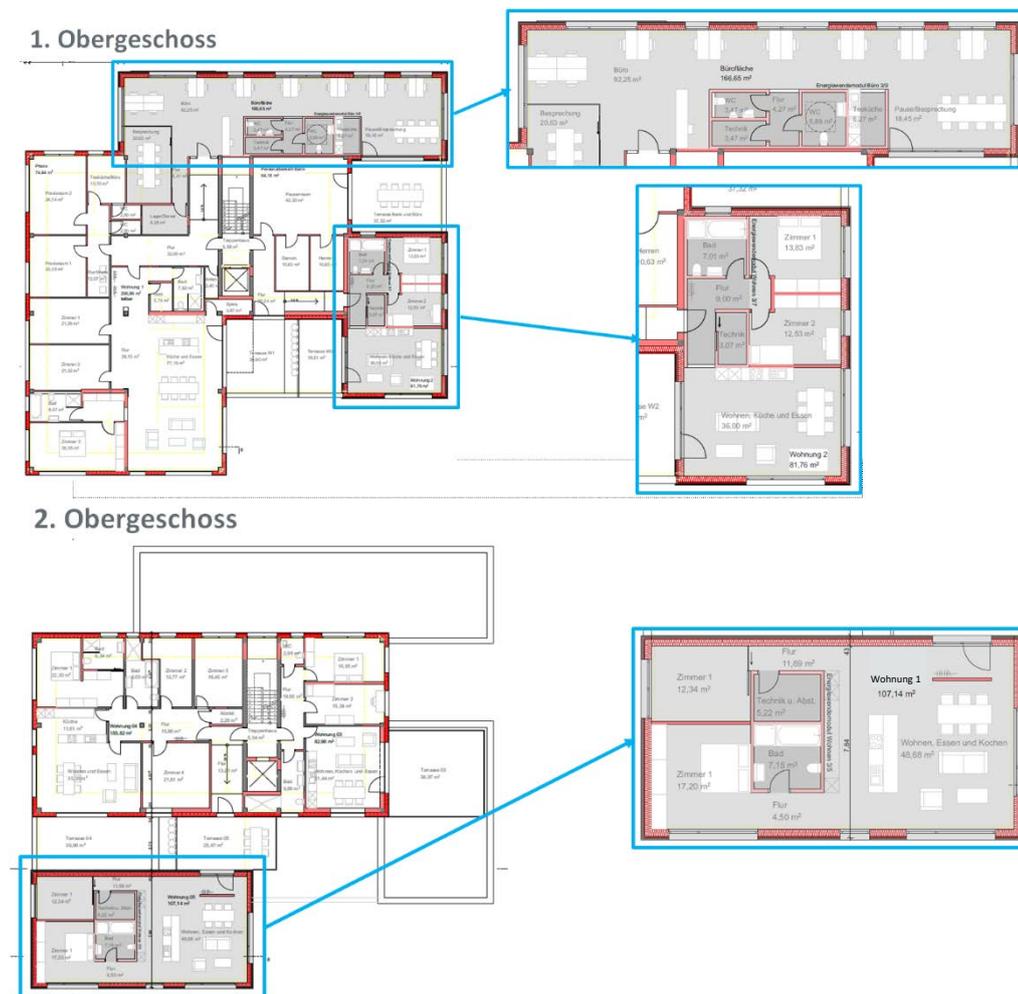
In der dritten Projektphase werden die Entwürfe an die aktuelle Konzeption der Module angepasst. Im Vordergrund steht dabei der Wunsch, die Module als eigenständige Elemente sichtbar zu halten, ohne das Gesamtbild des Gebäudes zu beeinträchtigen (bzw. es aufzuwerten), die Mietfläche nicht zu verringern und die externen Anforderungen zu erfüllen. Der architektonische Planungsstand der dritten Projektphase für das Bestandsgebäude und die Module ist in den folgenden Abbildungen dokumentiert.



### Phase 3: Detaillierung

Ausarbeitung der Konzepte, Detaillierung Architektur und Versorgungstechnik

Abbildung 18: Planungsstand Sparkasse Kressbronn Ende Dezember 2019 (Quelle: Solar-System-Haus)

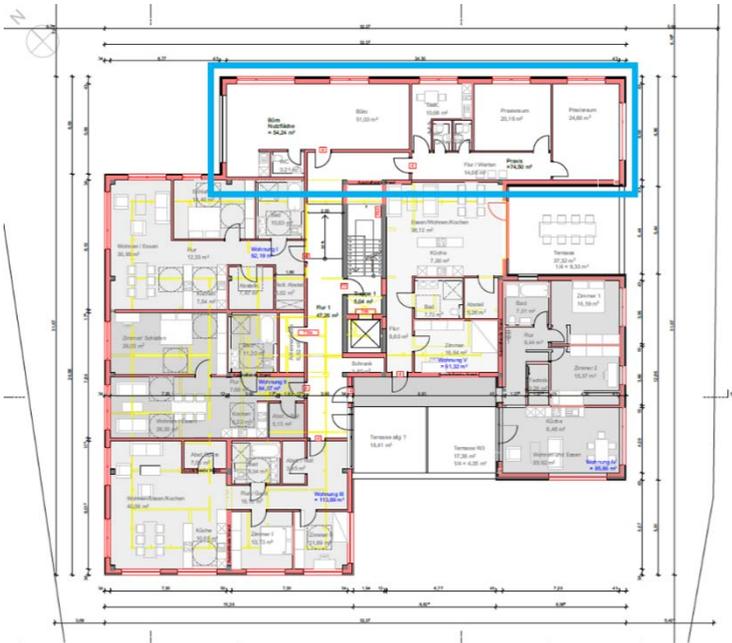




In der letzten Entwurfsphase wurde der Entwurf nochmals weiterentwickelt. Maßgeblich für Änderungen und Anpassungen des Entwurfs ist eine Steigerung der Kosten für die Gesamtplanung. Gegenüber der ersten Kostenschätzung von November 2018 sind die Kosten gestiegen, v. a. durch die gestiegenen Kosten zur Herstellung der Erdbebensicherheit.

Um die Kostensteigerung abzufedern, wurde das Nichtwohngebäude-Modul auf der Nordseite der Sparkasse verändert. Die Praxisflächen werden verringert, um mehr Wohnraum zu realisieren. Das Versorgungshetz wird in der Planung noch berücksichtigt.

Abbildung 19: Zweites Obergeschoss Sparkasse Kressbronn. Blau markiert: veränderte Flächen des NWG-Moduls

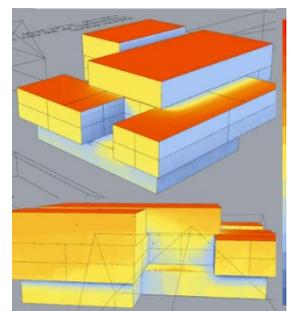


Der Entwurf vom Umbau der Sparkasse erinnert nur noch wenig an das Bestandsgebäude. Eine glatte Putzfassade ersetzt die raue Betonfassade. Der offene Laubengang wird, um mehr Nutzfläche zu gewinnen, geschlossen, womit die grüne, nicht gedämmte Pfosten-Riegel Fassade ersetzt wird. Die Energiewendemodule schließen die Lücken innerhalb des Gebäudes. Sie heben sich durch ihre Holzfassade vom Gebäude ab und gewinnen damit an Bedeutung.

## 4.2 Photovoltaik/Solarthermie-Fassade

Aufbauend auf der Solaranalyse in Kapitel 3.4 wird im weiteren Projektverlauf überprüft, wie PV oder Solarthermie in den Entwurf eingebettet werden kann. Die Integration der Flächen soll dabei einen möglichst hohen architektonischen Wert haben und einen maximalen Ertrag bringen, um sich schnell wirtschaftlich zu rentieren.

Von Seiten Baufritz werden zwei Varianten diskutiert: vollflächige Anbringung mit PV/Solarthermie auf der Fassade oder eine Ausführung als horizontales Band, das sich über die komplette Länge des Gebäudes zieht (Abbildung 20).



Solar-Analyse

Abbildung 20: Konzept PV/Solarthermie-Integration der Süd-Fassade (Quelle: Baufritz)



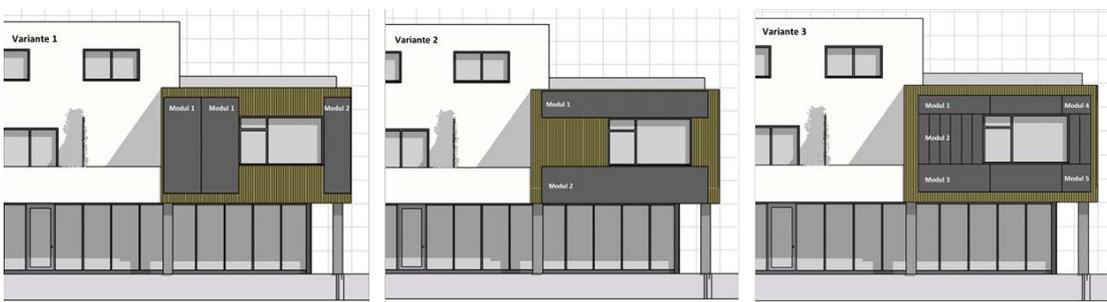
Ein alternativer Vorschlag von ifeu sieht vor, die PV/Solarthermie-Flächen mit der Holzfasade zu umrahmen. Die Fenster bilden mit der PV/Solarthermie eine Einheit und werden gestalterisch durch den Rahmen betont (Abbildung 21).

Abbildung 21: Konzept PV/Solarthermie-Integration der Süd-Fassade (Quelle: ifeu)



Baufritz hat die Erfahrung, dass Solarthermie auf der Fassade leichter einzubauen ist und im Vergleich zu PV einen höheren Ertrag liefert. Für die südliche Fassade des Ost-Moduls wird beispielhaft überlegt, wie Solarthermie-Module angeordnet werden kann (Abbildung 22).

Abbildung 22: Solarthermie-Integration auf dem Ost-Modul (Ansicht Süden) (Quelle: ifeu)



Anhand realer Maße der Firma DOMA (FLEX Holz – Großflächenkollektoren) wurden drei Varianten erstellt, die Solarthermie auf der Fassade integrieren.

### Variante 1: Standardmodule, senkrecht

- Für die Anordnung auf das Ost-Modul wurden Standard Elemente ausgewählt. Insgesamt können durch die senkrechte Anordnung 11,2 m<sup>2</sup> Solarthermie-Module erreicht werden.

### Variante 2: Standardmodule, waagrecht

- Durch die waagerechte Positionierung der DOMA FLEX Module können 19,4 m<sup>2</sup> ermöglicht werden.

### Variante 3: Individuelle Lösung der Module

- Eine individuelle Anfertigung der Module ist laut Hersteller möglich. Dadurch können insgesamt 21,5 m<sup>2</sup> ermöglicht werden. Die Kosten können im Vergleich zu den Varianten 1 und 2 höher liegen, da es sich hierbei um eine individuelle Lösung handelt.

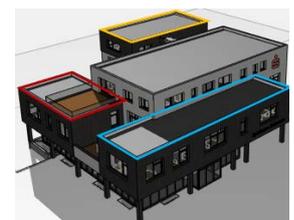
Der Bauherr findet die Integration von PV/Solarthermie in die Fassade gelungen, wünscht sich jedoch eine Ausgestaltung der Module in schwarz.

## 4.3 System- und versorgungstechnische Analyse der Energiewendemodule

Die Detailierung der Versorgungstechnik erfolgte in mehreren Schritten, wobei zunächst die einzelnen Energiewendemodule und zuletzt das Zusammenspiel zwischen Energiewendemodulen und Bestandsgebäude untersucht wurden.

Das Energiewendemodul Süd wird als autarkes Modul (Wärmeversorgung unabhängig vom Restgebäude), das Modul Ost als Symbiont (Rückspeisung von überschüssiger und Bezug von restlich benötigter Energie) und das Modul Nord als Profiteur (Komplettversorgung durch Zentrale) betrachtet. Im letzten Schritt wurden alle Module als Symbionten oder Profiteure untersucht.

Für die Energiewendemodule Süd und Ost und das Gesamtgebäude mit Modulen wurden dabei immer auch verschiedene Varianten unter den Gesichtspunkten Primärenergiebedarf und Wirtschaftlichkeit miteinander verglichen und Empfehlungen zur Umsetzung erarbeitet.



**Gelb:** Wohnung 1 (Energiewendemodul Süd); **rot:** Wohnung 2 (Energiewendemodul Ost); **blau:** Bürofläche (Energiewendemodul Nord)

## 4.4 Energiewendemodul Süd

### 4.4.1 Konzeptbeschreibung

Das Energiewendemodul Süd bildet eine autarke Aufbauvariante ab. Einzige Schnittstelle zum Bestandsgebäude ist der Fußboden des Moduls, der an die Bestandsdecke grenzt und daher als adiabat angesetzt wird. Ansonsten verfügt das Modul über einen eigenen Wärmeerzeuger für Heizung und Trinkwarmwasser sowie eine Lüftungsanlage. Für diese Anforderung wurden insgesamt 12 verschiedene Technikvarianten hinsichtlich Energieeffizienz und

Wirtschaftlichkeit untersucht. Weitere Varianten wurden qualitativ bewertet. Für die Simulation der technischen Anlage wurde das Programm Polysun verwendet, wobei der Energiebedarf aus einer TRNSYS-Simulation eingespielt wurde.

#### 4.4.2 System- und Versorgungskonzept

In der vorherigen Projektphase wurden Leistung und Energiebedarf über plausible Ansätze mittels stationärer Modelle abgeschätzt. Die Ergebnisse ermöglichten eine erste Einordnung, wurden aber eher als Überschätzung eingestuft. Aufbauend auf der groben Abschätzung in Kapitel 3.3 konnten exemplarisch zwei Wärmepumpen für die Versorgung des Südmoduls ausgesucht und auf die Möglichkeit der Implementierung untersucht werden. Heizlast und Energiebedarf werden in dieser Projektphase präzisiert. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse verschiedener Berechnungsverfahren ermöglicht eine Validierung der Werte. Die Abweichungen zwischen den unterschiedlichen Berechnungsverfahren lassen sich plausibel nachvollziehen. Die unterstellte Überschätzung der ersten Abschätzungen von Leistung und Bedarf kann bestätigt werden.

Die hier dargestellten Versorgungsvarianten fokussieren primär auf unterschiedliche Wärmepumpen in Kombination mit Photovoltaik oder Solarthermie bzw. PVT. Zusätzlich wird die Beheizung des Moduls mit Infrarotheizung betrachtet. Alle Varianten unterstellen eine maschinelle Lüftung mit Wärmerückgewinnung, bei einer Variante ist die Lüftung interner Bestandteil des Wärmeerzeugeraggregats. Die bereits konzeptionell angedachte Einbeziehung einer Biomassefeuerung soll in der nächsten Projektphase genauer untersucht werden.

Die Varianten werden in Kap. 4.2.8 detailliert betrachtet. Bei der Auswahl der hier untersuchten Geräte waren u.a. folgenden Kriterien relevant:

- Variante 1: Luft-Wasser-Wärmepumpe mit integrierter Lüftung der Fa. Effiziento.  
Das Gerät ist sehr kompakt gebaut und weist lt. Herstellerunterlagen eine, in Relation zu Konkurrenzprodukten mit gleicher Leistung, sehr hohe Effizienz aus. Die Lüftung ist integriert. Die Fortluft wird mit Außenluft gemischt und über den Verdampfer der Wärmepumpe geführt.
- Variante 2: Luft-Wasser-Wärmepumpe der Fa. Viessmann  
Dieses Aggregat kann als repräsentativ für marktübliche Produkte betrachtet werden und wurde von Fa. Baufritz vorgeschlagen.
- Variante 3: Sole-Wasser-Wärmepumpe der Fa. Viessmann in Kombination mit PVT  
Dieses Aggregat kann als repräsentativ für marktübliche Produkte betrachtet werden.
- Variante 4: Luft-Wasser-Wärmepumpe der Fa. Dimplex  
Repräsentative Alternative zu Variante 2, jedoch mit höherer Leistung, v.a. im Hinblick auf die Unterstützung bei der Warmwasserbereitung.
- Variante 5: Infrarotheizung  
Angeregt durch die Untersuchungen der HTWG Konstanz zu Infrarotsystemen sollte hier untersucht werden, ob diese sehr einfach zu integrierenden Systeme sich für das Energiewendemodul wirtschaftlich und energetisch sinnvoll

darstellen lassen und möglicherweise eine empfehlenswerte Alternative zu Wärmepumpensystemen darstellen.

Variante 6: Splitgerät der Fa. Mitsubishi  
Alternativer kostengünstiger Wärmeerzeuger. Möglicher Einsatz aufgrund der sehr kleinen Heizlast der Energiewendemodule.

#### 4.4.3 Berechnung von Heizlast und jährlichem Energiebedarf

Heizlast und Heizenergiebedarf des Moduls wurden mit 3 unterschiedlichen Methoden berechnet.

- Heizlast nach DIN EN 12831 verbunden mit einem jährlichen Gradstunden-Ansatz zur Berechnung des Heizwärmebedarfs
- Berechnung mit PHPP [PI15]
- Berechnung mit TRNSYS

##### Berechnung nach DIN EN 12831

Die Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 ist das normativ vorgegebene Verfahren zur Dimensionierung von Wärmeerzeugern. Es wird die notwendige Leistung ermittelt, um die raumweise berechneten Transmissions- und Lüftungsverluste eines Gebäudes am nach Norm kältesten Tag eines Jahres auszugleichen, zuzüglich eines optionalen Aufheizzuschlags. Interne und externe (solare) Gewinne bleiben unberücksichtigt. Für hocheffiziente Gebäude ist das Rechenverfahren nicht geeignet, auch wenn es die anerkannten Regeln der Technik repräsentiert. Die Ergebnisse erweisen sich als systematisch zu hoch.

Für die U-Werte der Bauteile wird auf Angaben des Projektpartners Fa. Baufritz zurückgegriffen und zusätzlich ein Wärmebrückenzuschlag von  $0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$  angesetzt (Gebäudehülle in PH-Qualität). Der Lüftungswärmeverlust basiert auf einem Luftwechsel von  $0,5 \text{ 1/h}$  im gesamten Gebäude, einem Wärmerückgewinnungsgrad von  $80 \%$  und einem Abschirmungskoeffizienten von  $0,03$ . Der Wiederaufheizzuschlag beträgt  $4 \text{ W/m}^2$ .

Zur Berechnung der Monatsverteilung des Heizenergiebedarfs wird die spezifische Heizlast mit der monatlichen Gradtagszahl des langjährigen Mittels der nächstgelegenen Station (Konstanz) multipliziert.

Tabelle 5: Heizlast und Wärmebedarf Modul Süd nach DIN 12831

Methode	Heizlast	Spez. Heizlast	Heizwärmebedarf	Spez. Bedarf
DIN 12831 mit Aufheizzuschlag	2.469 W	23 $\text{W/m}^2$	6.044 kWh/a	56 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
DIN 12831 ohne Aufheizzuschlag	2.040 W	19 $\text{W/m}^2$	4.994 kWh/a	47 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Die Werte dienen Vergleichszwecken, werden aber für die weitere Berechnung nicht herangezogen.

##### Berechnung mit PHPP

Das Passivhaus-Projektierungspaket PHPP wurde zur Ermittlung von Heizlast und Wärmebedarf von Passivhäusern entwickelt. Externe solare und internen Lasten werden berücksichtigt. Nicht der potentiell kälteste Tag der Heizperiode dient zur Auslegung der Leistung, sondern der Tag, der im Mittel für die jeweilige Region die schlechteste Leistungsbilanz besitzt. Die Ergebnisse dieses Tools sind für die Dimensionierung von Anlagen geeignet, für klimatische Situationen, die dem langjährigen Mittel entsprechen. In besonders kalten Heizperioden ist eine Unterdimensionierung nicht auszuschließen.

Tabelle 6: Heizlast und Wärmebedarf Modul Süd nach PHPP

Methode	Heizlast	Spez. Heizlast	Heizwärmebedarf	Spez. Bedarf
PHPP	1.535 W	14 W/m <sup>2</sup>	1.958 kWh/a	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)

### Simulation mit TRNSYS

TRNSYS ist eine Modellierungs- und Simulationssoftware, die spezielle auf Gebäude und technische Anlagen ausgerichtet ist. Der Algorithmus berücksichtigt auch instationäre Vorgänge, wodurch etwa die Kapazität der Bauteile in die Berechnung einfließt. Für das Gebäudemodell werden folgende Bauteilflächen und U-Werte angesetzt:

Tabelle 7: Bauteilflächen und U-Werte Modul Süd

Bauteil	Fläche	U-Wert
Außenwand SW	29,6 m <sup>2</sup>	0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster SW	18,8 m <sup>2</sup>	0,82 W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand SE	18,1 m <sup>2</sup>	0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster SE	8,2 m <sup>2</sup>	0,82 W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand NE	44,4 m <sup>2</sup>	0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Türe NE	4 m <sup>2</sup>	0,82 W/(m <sup>2</sup> K) (wie Fenster)
Außenwand NW	20,9 m <sup>2</sup>	0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster NW	5,4 m <sup>2</sup>	0,82 W/(m <sup>2</sup> K)
Dach	128,6 m <sup>2</sup>	0,11 W/(m <sup>2</sup> K)

Boden (für Wärmetransmission nicht aktiv wegen adiabater Randbedingung)

Für die Lüftung gilt eine Luftwechselrate  $n = 0,5$  1/h. Für die Zulufttemperatur wird eine Wärmerückgewinnung berücksichtigt, welche bei Unter-/Überschreitung von 20/26 °C der Außenlufttemperatur aktiviert wird und mit einer WRG von 0,8 arbeitet. Die Infiltration ist mit einer Luftwechselrate von  $n = 0,09$  1/h angesetzt. Weitere Hinweise zur Lüftung siehe Kapitel 4.4.4. Der Sonnenschutz wird außerhalb der Heizperiode für jede Bauteilorientierung

separat bei einer Einstrahlung von mehr als 200 W/m<sup>2</sup> aktiviert bzw. von weniger als 150 W/m<sup>2</sup> deaktiviert. Für die internen Wärmegewinne werden Zeitprofile verwendet, welche einer Nutzung von 3 Personen entsprechen und eine mittlere Wärmegewinndichte von 2,5 W/m<sup>2</sup> ergeben.

Tabelle 8: Heizlast und Wärmebedarf Modul Süd nach TRNSYS

Methode	Heizlast	Spez. Heizlast	Heizwärmebedarf	Spez. Bedarf
TRNSY	1.535 W	14 W/m <sup>2</sup>	1.958 kWh/a	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Auffällig ist die unerwartet hohe Heizlast. Dies lässt sich mit dem in TRNSYS verwendeten Lösungsansatz erklären. Der verwendete „Iterative Feedback Controller“ berechnet für jeden Zeitschritt die Leistung, die notwendig ist, um den Raum in jedem Fall auf Solltemperatur zu halten (hier: stündliche Auflösung). Da als Heizfläche eine Fußbodenheizung mit 6 cm Estrichüberdeckung modelliert wurde, verfügt dieses System über eine nicht zu vernachlässigende thermische Kapazität. Sinken nun die internen und solaren Lasten innerhalb eines Zeitschritts von einer Stunde beträchtlich ab, so versucht der Solver die fehlende Leistung über die Aktivierung der Fußbodenheizung auszugleichen. Durch die große Kapazität des Systems ist die notwendige Aufheizleistung deutlich größer als sie für den eigentlichen Betrieb notwendig wäre. Dies bestätigt sich in den darauffolgenden Stunden, in denen die Fußbodenheizungsleistung auf 0 reduziert wird, da der „Speicher“ Fußboden einer Stunde „geladen“ und in den folgenden Stunden „entladen“ wird. Dabei liegt die Raumtemperatur über der Solltemperatur.

Da TRNSYS aber eine stündliche aufgelöste Heizlast liefert und der Heizenergiebedarf korrekt berechnet wird (vgl. Wert aus PHPP), werden dessen Werte für die Anlagensimulation in Polysun verwendet. Damit ist auch der stundengenaue Abgleich von notwendiger Heizleistung an das Gebäude und bspw. einer PV-Eigennutzung für den Wärmepumpenbetrieb möglich. Da alle Varianten mit den gleichen Ausgangsbedingungen gerechnet werden, ist ein direkter Vergleich möglich.

#### 4.4.4 Lüftungsbedarf

Für den Betrieb eines effizienten Gebäudes ist eine Lüftungsanlage erforderlich. Bei einem Luftwechsel von 0,5 1/h benötigt das Modul eine Luftmenge von 150 m<sup>3</sup>/h. Da diese nicht den gesamten Tag über bereitgestellt werden muss, das Gebäude mit CO<sub>2</sub>-Sensoren ausgestattet wird und da in den warmen Monaten energetisch effizient durch Fensterlüftung gelüftet werden kann, werden in TRNSYS im Monatsmittel geringere Luftmengen angesetzt:

Dezember bis Februar: 90 %  $\hat{=}$  135 m<sup>3</sup>/h  
 Juni bis August: 30 %  $\hat{=}$  90 m<sup>3</sup>/h  
 Übergangszeiten: 60 %  $\hat{=}$  45 m<sup>3</sup>/h

Diese Luftmenge werden für den elektrischen Energiebedarf der Lüftungsanlage verwendet und als konstant über den Tag angenommen.

#### 4.4.5 Warmwasserbedarf

Für die Dimensionierung des Warmwasserbereiters im Wohnbereich dient DIN 4708 (Bedarfskennzahlverfahren). Bei einer minimalen Erzeuger-Dauerleistung von 2,3 kW wird danach ein Warmwasserspeicher mit einem Inhalt von 200 Liter benötigt, um die Bedarfskennzahl von 0,8 zu abzudecken. Dies führt zu einer theor. Ladezeit während der Bedarfsperiode von 104 min. und zu einer theor. täglichen Ladezeit von 250 min. Bei Erhöhung auf ca. 3,8 kW verkürzen sich die Werte auf ca. 60 min. bzw. ca. 150 min. Diese Berechnung unterstellt, dass nur 90% des Speichervolumens tatsächlich zur Verfügung steht, am Beginn der Bedarfsperiode der Speicher nur zu 60% geladen ist und eine Nachladung bei 50% erfolgt.

Tabelle 9: Auslegung TWW nach DIN 4708

Wärmebedarf $W_B$ [Wh]	5.820		Wärmebedarf Standardwert	
Anzahl der Einheitswohnungen $N$	0,8	0,6	Bedarfskennzahl Rechenwert	
<b>Bedarfszeit <math>z</math> [h]</b>	<b>Zeit [h]</b>	<b>Wärmebedarf <math>W_z</math> [kWh]</b>		
<b>Wannenfüllzeit <math>z_B</math></b>	0,167	5,2 kWh	<b>Spitzenwärmebedarf <math>W_{zB}</math></b>	
<b>Spitzenverteilungszeit <math>2 t_n</math></b>	0,23	5,7 kWh	<b>Wärmebedarf Periode <math>2 t_n</math></b>	
<b>Bedarfsperiode <math>2 T_N</math></b>	3,47	9,6 kWh	<b>Periodenwärmebedarf <math>W_{zTN}</math></b>	
<b>freie Zeitvorgabe [h]</b>	1,00	7,5 kWh		
Dauerleistung WW-Bereiter [kW]	3,8 kW			
Speichergröße [l]	200 l			
Eintrittstemperatur [°C]	10 °C			
max. Speichertemperatur	55 °C			
Nutzbarer Anteil Speicher	90%			
Energieinhalt Speicher voll [kWh]		9,3 kWh		
Inhalt Anteil bei Beginn Nachladung	50%			
Energieinhalt Speicher Beginn Nachladung [kWh]		4,7 kWh		
Inhalt Anteil bei Beginn Bedarfsperiode	60%			
Energieinhalt Speicher Beginn Bedarfsperiode [kWh]		5,6 kWh		
max. Heizleistung für WW [kW]		1,9 kW		
Energiebereitstellung Bedarfsperiode [kWh]		18,5 kWh		
theor. Ladezeit WWB während Bedarfsperiode [h] / [min]		1 h 3 min		
theor. Tägl. Ladezeit WWB [h] / [min]		2 h 32 min		

Bei einer Belegung mit 3 Personen wird von einem Warmwasserbedarf von 180 Liter 45-gradigem Wasser pro Tag ausgegangen. Da als Wärmeerzeuger für Heizung und Warmwasser eine Wärmepumpe vorgesehen ist, können täglichen Sperrzeiten von bis zu 6 Stunden (3x 2 h) auftreten, was eine iterative Berechnung notwendig macht.

Zur Steigerung der Energieeffizienz der Wärmepumpe wird die zur Erzeugung des Trinkwarmwassers notwendige Temperatur durch Verwendung eines speicherintegrierten Trinkwarmwasserwärmeübertrager (Hygienespeicher) verringert. Das reduziert auch das Volumen des Trinkwassernetzes und senkt so das Risiko mikrobiologischer Belastung.

Außerdem wird die Einsatzmöglichkeit einer Duschwasserwärmerückgewinnung (Fabr. Franke Joulia) untersucht. Bei einem angenommenen Duschprofil von 10 min mit 6 l/min (Sparduschkopf) bei 40°C kann dieses System den Warmwasserbedarf um 10 Liter pro Duschgang verringern.

#### 4.4.6 Stromverbrauch

Der haushaltseigene Stromverbrauch hat einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebskosten des Gebäudes. Da insbesondere die Varianten, die über eine PV-Anlage verfügen, ihre Wirtschaftlichkeit durch Eigennutzung des so erzeugten Stroms darstellen, wird ein Strombedarf

für alle untersuchten Varianten berücksichtigt. Laut Stromspiegel 2019 [CO20] liegt der Strombedarf einer 3-Personen-Wohnung und sparsamem Umgang bei ca. 2.100 kWh/a. Dieser wird mit dem Standardlastprofil H0 des bdew [BDE99] als stundengenaue Last an das Polysun-Modell übergeben.

#### 4.4.7 Untersuchte Varianten

Wie eingangs erwähnt wurden insgesamt 12 verschiedene technische Varianten in Polysun simuliert und eine qualitativ abgeschätzt. Die folgende Tabelle 10 gibt einen Überblick über die untersuchten Varianten. Alle Varianten mit Ausnahme der Infrarotstrahlplatten verfügen über einen 560 Liter Hygienespeicher und eine Fußbodenheizung in allen Räumen bis auf den Technikraum. Bei der Infrarot-Heizungsvariante wird der Pufferspeicher durch einen 200 l-Speicher mit Heizstab ersetzt, die Fußbodenheizung entfällt.

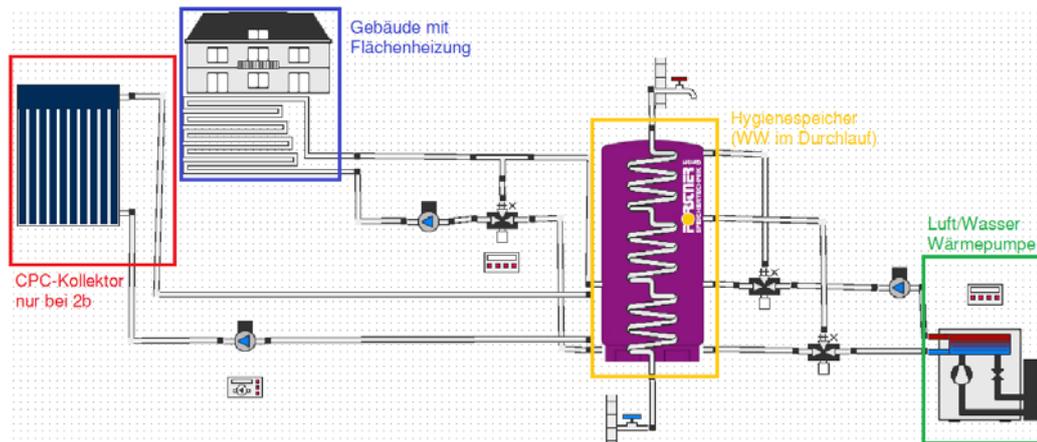
Tabelle 10: Im Detail untersuchte Varianten im Modul Süd (Wohnung 1)

Variante	Wärmeerzeuger	Lüftungsanlage	Zus. Erzeuger
1a	Effiziento HTZ 4		
1b	Effiziento HTZ 4		6 m <sup>2</sup> CPC-Kollektor Eurotherm Solar CPC 16R
1c	Effiziento HTZ 4		7 m <sup>2</sup> PV-Anlage 5 x 180 W polykristallin
2a	Luft-Wasser-WP Viessmann vitocal 200-S 201.B04	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	
2b	Luft-Wasser-WP Viessmann vitocal 200-S 201.B04	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	6 m <sup>2</sup> CPC-Kollektor Eurotherm Solar CPC 16R
2c	Luft-Wasser-WP Viessmann vitocal 200-S 201.B04	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	7 m <sup>2</sup> PV-Anlage 5 x 180 W polykristallin
3	Sole-Wasser-WP Viessmann vitocal 300-G 301.B06	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	8 m <sup>2</sup> PVT-Kollektor CONSOLAR Solink
4a	Luft-Wasser-WP Dimplex LA 6TU	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	
4b	Luft-Wasser-WP Dimplex LA 6TU	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	6 m <sup>2</sup> CPC-Kollektor Eurotherm Solar CPC 16R
4c	Luft-Wasser-WP Dimplex LA 6TU	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	7 m <sup>2</sup> PV-Anlage 5 x 180 W polykristallin
5a	Infrarotstrahlplatten + Durchlauferhitzer	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	
5c	Infrarotstrahlplatten + Durchlauferhitzer	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	PV-Anlage
6	Splitgerät Mitsubishi MXZ-2F33VF + elektr. Heizstab WWB	Lüftungsgerät Systemair SAVE VTC 200	

#### 4.4.8 Simulationsrandbedingungen und TRNSYS-Ergebnisse

Die oben beschriebenen Varianten 1 bis 4 werden in Polysun abgebildet und simuliert. Als Beispiel für den Aufbau des Modells ist im Folgenden der Aufbau für die Variante 2b dargestellt.

Abbildung 23: Polysun-Modell Variante 2b



Bei den übrigen Varianten mit Wärmepumpe entfällt der CPC-Kollektor oder wird durch eine PV-Anlage bzw. einen PVT-Kollektor als Quelle für die Wärmepumpe ersetzt. Das Lüftungsgerät ist in allen Fällen nur als elektrische Last abgebildet. Damit verbunden ist eine leichte Benachteiligung des Systems Effiziento, da dieses System auch die Fortluft als Wärmequelle für die Wärmepumpe nutzt. Da dies in Polysun nicht plausibel abbildbar ist und zudem die Fortluftmenge nur maximal einen Anteil von 10% an der Luftmenge über den Verdampfer der Wärmepumpe beträgt, ist der dadurch erreichbare Effizienzgewinn nicht berücksichtigt.

Die Simulation der Infrarot-Heizung erfolgt direkt in TRNSYS, da die Abbildung eines solchen Systems in Polysun nicht möglich ist. Dies wird im Folgenden erläutert:

#### Simulation der Infrarotstrahlungsheizung mittels TRNSYS

Der Einsatz einer Infrarotstrahlungsheizung (IRH) im Energiewendemodul Süd wird simulatorisch untersucht und mit einer wassergeführten Fußbodenheizung (FHB) verglichen. Die Vergleichsbasis bildet dabei die berechnete Nutzenergie für die Beheizung des gesamten Moduls der Wohnung 1 auf einen Sollwert der operativen Raumtemperatur von 20 °C im Normalbetrieb und 18 °C im abgesenkten Betrieb.

#### Modellierung der Heizsysteme

Es wurden zwei Heizsysteme in TRNSYS modelliert.

Infrarotstrahlungsheizung:

Die IRH wird über eine sich innerhalb des Raumes befindliche Fläche von 3 m<sup>2</sup> (Heizleistung laut Herstellerangaben ca. 1-1,25 kW/m<sup>2</sup>) abgebildet, auf die der von der Regelung ermittelte Wärmestrom aufgeprägt wird. Die Berechnung des Strahlungsanteils der Wärmeabgabe erfolgt über das im Modell verwendete 2-Stern-Raummodell mit getrennter Betrachtung von Strahlung und Konvektion.

Alternativ dazu wird die Heizleistung der IRH als interner Wärmegewinn mit vorgegebenem Strahlungsanteil von 0 %, 30 % oder 60 % angesetzt.

Fußbodenheizung:

Für die Fußbodenheizung (95 m<sup>2</sup>) wird in der Mitte des 6 cm dicken Estrichs des Bodenaufbaus der von der Regelung ermittelte Wärmestrom aufgeprägt.

Regelung:

Die auf die jeweilige Fläche aufgeprägte Leistung wird für jeden Zeitschritt iterativ so bestimmt, dass die operative Raumtemperatur auf dem Sollwert gehalten wird. Der Sollwert für die operative Raumtemperatur beträgt 20 °C bzw. bei Absenkung nachts und tags bei Abwesenheit der Personen 18 °C.

### **Simulationsergebnisse und Vergleich**

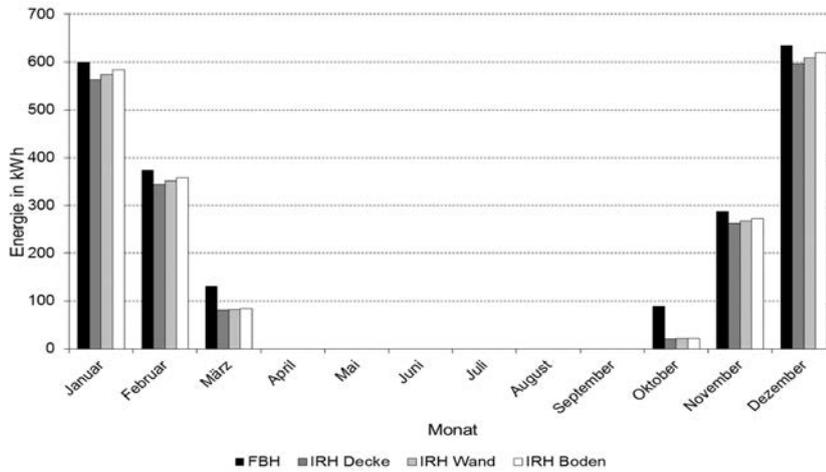
Die Simulationen der IRH zeigen im Hinblick auf die Temperaturen im Raum Folgendes:

- Die Raumlufttemperatur und operative Raumtemperatur unterscheiden sich nur um weniger als 0,4 K. Grund hierfür ist das sehr gut gedämmte Gebäude.
- Bei idealer Heizung mit 30 % Strahlungsanteil liegt die Raumlufttemperatur geringfügig über der operativen Raumtemperatur.
- Bei der IRH (Decke, Wand, Boden) liegt die Raumlufttemperatur geringfügig unter der operativen Raumtemperatur.
- Eine Reduzierung der Lüftungswärmeverluste ist im Energiewendemodul bei Beheizung mit der IRH nicht zu erwarten.

Heizbetrieb ohne Absenkung des Raumtemperatursollwertes:

Der Nutzwärmebedarf liegt in den untersuchten Varianten mit durchgehendem Heizbetrieb bei der IRH um bis zu ca. 11 % niedriger als bei der Fußbodenheizung.

Abbildung 24: Monatliche Heizwärmebedarfe (Nutzenergie) für die verschiedenen Heizsysteme des Energiewendemoduls Süd mit durchgehendem Heizbetrieb der Infrarotheizung

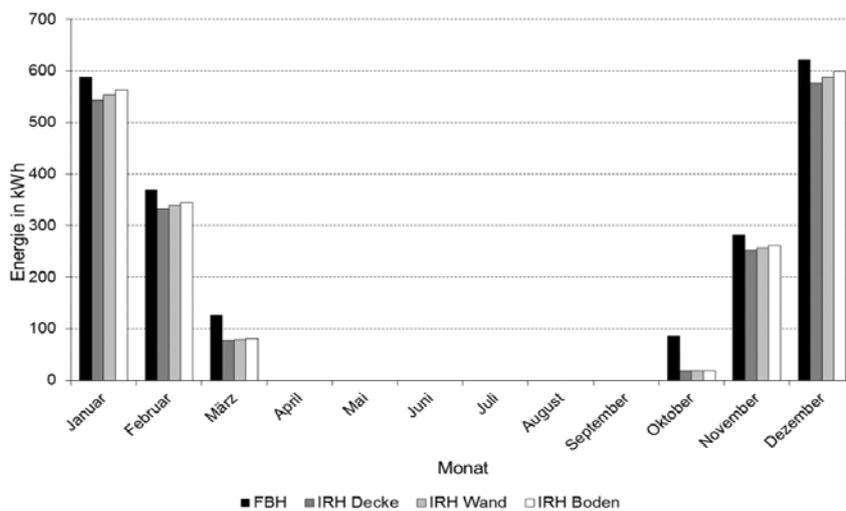


Der Strahlungsanteil liegt in den untersuchten Varianten mit durchgehendem Heizbetrieb bei der IRH bei ca. 65 %. Die Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen aus dem Projekt „IR-Bau“.

Heizbetrieb mit Absenkung des Raumtemperatursollwertes:

Der Nutzwärmebedarf liegt in den untersuchten Varianten mit zeitweise abgesenktem Heizbetrieb bei der IRH um bis zu ca. 15 % niedriger als bei der FBH. Der Grund liegt in der höheren Dynamik des Raumes durch die Solltemperaturabsenkung. Die FBH ist träge und gibt mehr Wärme bei Sollwertabsenkung oder steigenden Wärmegewinnen ab, wodurch der Nutzwärmebedarf steigt. Die IRH ist hingegen reaktionsschneller und bietet somit Vorteile. Die Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen aus dem Projekt „IR-Bau“.

Abbildung 25: Monatliche Heizwärmebedarfe (Nutzenergie) für die verschiedenen Heizsysteme des Energiewendemoduls Süd mit zeitweise abgesenktem Heizbetrieb



Die Reduzierung des Nutzenergiebedarfs selbst um 15% gegenüber der Fußbodenheizung, führt jedoch zu einem deutlich höheren Endenergie- und Primärenergiebedarf im Vergleich zu den Varianten mit Wärmepumpe. Letztere „veredeln“ den eingesetzten Strom durch Arbeitszahlen zwischen 2 und 4. Die IRH als direktelektrisches System muss hier mit 1 angesetzt werden. Dies wird auf Tabelle 11 in der Betrachtung mit den Ergebnissen aus Polysun dargestellt.

#### 4.4.9 Ergebnisse aus Polysun

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der energetischen Berechnung (Endenergiebedarf Strom) aus Polysun dargestellt.

Tabelle 11: Ergebnisse der Polysunsimulation (Variante 1-5) für Modul Süd (Wohnung 1) bzw. der Schätzung (Variante 6)

Variante	Strombedarf Wärmeerzeuger	Strombedarf HH+Lüftung	PV Erzeugung	PV Eigennutzung	PV Einspeisung	Strombedarf netto
1a	2.860 kWh	2.257 kWh	-	-	-	5.117 kWh
1b	2.137 kWh	2.257 kWh	-	-	-	4.394 kWh
1c	2.687 kWh	2.257 kWh	885 kWh	717 kWh	168 kWh	4.227 kWh
2a	3.552 kWh	2.258 kWh	-	-	-	5.810 kWh
2b	2.669 kWh	2.258 kWh	-	-	-	4.927 kWh
2c	3.394 kWh	2.258 kWh	885 kWh	733 kWh	152 kWh	4.919 kWh
3	2.750 kWh	2.258 kWh	1.055 kWh	789 kWh	266 kWh	4.219 kWh
4a	3.387 kWh	2.258 kWh	-	-	-	5.645 kWh
4b	2.524 kWh	2.258 kWh	-	-	-	4.782 kWh
4c	3.225 kWh	2.258 kWh	885 kWh	722 kWh	163 kWh	4.761 kWh
5a	6.116 kWh	2.258 kWh	-	-	-	8.374 kWh
5c	6.116 kWh	2.258 kWh	885 kWh	735 kWh	150 kWh	7.639 kWh
6	4.575 kWh	2.258 kWh				6.831 kWh

Daraus ist ersichtlich, dass der Netto-Strombedarf sehr gut durch solarthermische Anlagen oder PV-Systeme gesenkt werden kann, wobei die PV-Varianten (c) einen nur unerheblichen Vorteil gegenüber den solarthermischen Varianten (b) besitzen. Zu berücksichtigen ist dabei noch der Flächenvorteil von 1 m<sup>2</sup> bei den PV-Varianten.

Die Variante 3 mit 8 m<sup>2</sup> PVT-Kollektor zeigt den geringsten Endenergiebedarf.

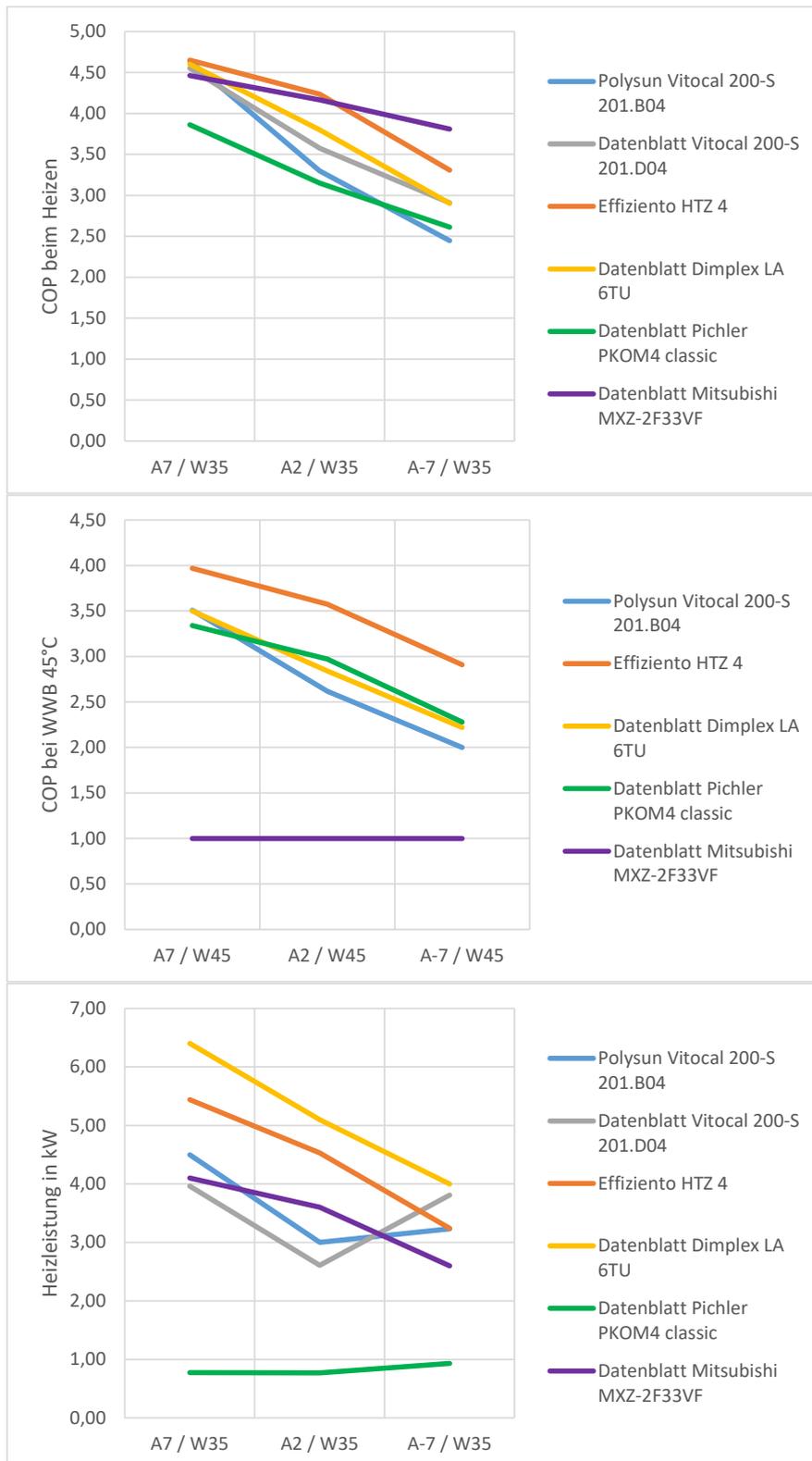
Während die thermische Solaranlage den Wärmebedarf selbst senkt, reduziert die PV-Anlage die vom Netz bezogene Energiemenge, bei PVT-Kollektoren werden beide Effekte kombiniert. Die Infrartheizung hingegen benötigt deutlich mehr Strom, da sowohl Warmwasser als auch Heizung direkt elektrische betrieben werden. Die geringen Einsparungen bei der Nutzenergie gegenüber einem System mit Fußbodenheizung genügen nicht, um den Effizienznachteil gegenüber einer Wärmepumpe bei der Endenergie auszugleichen.

#### 4.4.10 Qualitative Bewertung weiterer Varianten

Im Nachgang der Vorstellung o.g. Ergebnisse schlugen die Projektpartner weitere Varianten zur Untersuchung vor. Dies waren eine kleinere Lüftungsanlagen-Wärmepumpen-Kombination und die Verwendung eines Klimasplit-Gerätes zur Beheizung mit direktelektrischer Trinkwassererwärmung. Dabei stößt das gewählte Simulationstool Polysun jedoch an seine Grenzen. Um realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten, werden für die Parametrierung des Wärmepumpenmodells nämlich zwischen 6 und 18 Betriebspunkte benötigt, eine Anzahl, die nur wenige Hersteller in ihren Datenblättern liefern. Zweites Problem ist, dass Luft als Wärmeträger für die Versorgung des Gebäudes im Polysun-Modell nicht definiert werden kann, weshalb ein Klima-Split-Gerät nicht abbildbar ist. Aus diesen Gründen werden die beiden zusätzlich vorgeschlagenen Varianten qualitativ bewertet.

Die erste Variante (hier mit Variante 6 eingeführt) ist das Kombi-Gerät Pichler PKM 4, die zweite (Variante 7) ein Mitsubishi MXZ-2F33VF mit Heizstab zur Warmwasserbereitung. Von beiden werden COP und Heizleistung für einzelne Betriebspunkte mit den bisher untersuchten Geräten verglichen. Als Betriebspunkte werden Heizungsbetrieb und Warmwasserbetrieb bei 3 verschiedenen Außentemperaturen gewählt.

Abbildung 26: COP und Heizleistung der untersuchten Wärmepumpe



Hieraus lassen sich Schlüsse hinsichtlich der Energieeffizienz dieser Geräte und der Leistungsdeckung ableiten. Das Pichler PKM 4 hat im Heizfall den geringsten COP aller bisher untersuchten Geräte, auch seine Heizleistung ist sehr gering. Für die sichere Bedarfsdeckung des Gebäudes wären 2 solcher Geräte notwendig. Da die Geräte für die angegebene Heizleistung aber einen Fortluftvolumenstrom von 200 m<sup>3</sup>/h benötigen, würde hieraus ein Luftwechsel zwischen 2 und 2,5 1/h folgen. Das ist aus Lüftungstechnischer Sicht nicht sinnvoll, da es zu einem deutlich höheren Lüftungswärmeverlust und zu einem hohen Ventilatorstrombedarf führt. Da es realistischer Weise nicht zur Ausführung käme, wird Variante 7 in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht aufgenommen.

In Bezug auf die Leistung ist das Klima-Split-Gerät Mitsubishi MXZ-2F33VF besser geeignet. Auch der COP für die Raumbeheizung erreicht bei Variante 6 gute Werte. Berücksichtigt man jedoch, dass die Warmwasserbereitung mit einem höheren Energiebedarf als die Gebäudebeheizung direktelektrisch arbeitet, verringert sich der mittlere Gesamt-COP und liegt damit deutlich unter den bisher untersuchten Varianten.

#### 4.4.11 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit eines Systems sind neben verbrauchsgebundenen Kosten, die sich aus dem Energiebedarf ergeben, auch die kapital- und betriebsgebundenen Kosten relevant. Die beiden letzten Kostenblöcke ergeben sich aus den notwendigen Investitionen. Die kapitalgebundenen Kosten beschreiben die jährliche Abschreibung, für die eine Abschreibungsdauer von 20 Jahren und ein interner Zinssatz von 3% (Annuitätsfaktor 0,067) angesetzt werden. Die betriebsgebundenen Kosten setzen sich aus Kosten für Wartung und Instandhaltung zusammen, für die jeweils 1% der Investitionssumme als jährliche Kosten anzunehmen sind.

Für die Stromkosten werden für den Haushaltsstrom 30 Cent/kWh und für den Wärmepumpenstrom 23,5 Cent/kWh unterstellt. Die Einspeisevergütung für PV-Strom beträgt 10 Cent/kWh. Da bei den PV-Varianten nicht sicher bestimmt werden kann, ob der von der PV-Anlage erzeugte Strom in der Wärmepumpe oder im Haushalt genutzt wird, wird davon ausgegangen, dass er anteilig zu den jeweiligen Verbräuchen den Strom in den beiden verschiedenen Tarifen ersetzt nach der Formel:

$$\frac{W_{WP}}{W_{ges}} \cdot W_{PV,eigen} \cdot 0,235 + \frac{W_{HH} + W_L}{W_{ges}} \cdot W_{PV,eigen} \cdot 0,30$$

Für eine Aussage zur Wirtschaftlichkeit von Variante 6 wurde zwar keine Simulation durchgeführt, jedoch über eine stundengenaue Auflösung die Betriebszeit und die benötigte elektrische Energiemenge für Raumbeheizung aus den Kennlinien im Datenblatt [MIT99] berechnet. Für die Warmwasserbereitung wurde der Bedarfswert aus Variante 5 übernommen, da bei der Infrarotheizung die Warmwasserbereitung ebenfalls direktelektrisch erfolgt. Hieraus ergibt sich ein Strombedarf der Wärmeerzeugung (Heizung und Warmwasser) von 4.575 kWh und eine Jahresarbeitszahl von 1,35. Dabei ist die Reduktion der Effizienz durch Teillastbetrieb noch nicht berücksichtigt

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (brutto inkl. MwSt.) für die 13 Varianten.

Tabelle 12: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das Modul Süd (Wohnung 1)

Variante	Invest	Kapitalgebundene Kosten	Betriebsgebundene Kosten	Stromkosten	Gesamt
1a	24.000 €	1.613 €	480 €	1.349 €	3.442 €
1b	28.000 €	1.882 €	560 €	1.179 €	3.621 €
1c	26.000 €	1.748 €	520 €	1.070 €	3.337 €
2a	19.000 €	1.277 €	380 €	1.512 €	3.169 €
2b	21.000 €	1.412 €	420 €	1.305 €	3.136 €
2c	21.000 €	1.412 €	420 €	1.240 €	3.072 €
3	27.000 €	1.815 €	540 €	1.050 €	3.404 €
4a	20.000 €	1.344 €	400 €	1.473 €	3.218 €
4b	24.000 €	1.613 €	480 €	1.271 €	3.364 €
4c	22.000 €	1.479 €	440 €	1.201 €	3.120 €
5a	11.000 €	739 €	220 €	2.512 €	3.472 €
5c	13.000 €	874 €	260 €	2.256 €	3.389 €
6	9.000 €	603 €	180 €	1.753 €	2.537 €

Hieraus ist ersichtlich, dass die PV-Systeme (c) in der Tendenz etwas wirtschaftlicher als die solarthermischen Varianten (b) sind. Die Variante 2c, also eine einfache Luft-Wasser-Wärmepumpe (Fabr. Viessmann) mit PV-Anlage, zeigt sich unter den Luft-Wärmepumpensystemen als wirtschaftlichste. Variante 3 (PVT-Kollektor mit Sole-Wärmepumpe), die energetisch punktet, zeigt sich in der Wirtschaftlichkeit eher im Mittelfeld.

Hervor sticht Variante 6 (Split-Gerät). Mit Investitionskosten von ca. 9.000 € ist das System in seiner Anschaffung konkurrenzlos günstig. Mit Stromkosten in Höhe von über 1.700 €/a ist sie diesbezüglich das teuerste System mit Wärmepumpe.

#### 4.4.12 Umweltfolgenbetrachtung

Vor allem die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind ein Maß für die Bewertung der Umweltrelevanz des Anlagenbetriebs. Ausgehend von einem spezifischen CO<sub>2</sub>-Austoß von 394 g/kWh [PRO] elektrischer Endenergie können die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die aus dem Betrieb der Anlage folgen berechnet werden. Nicht berücksichtigt werden dabei die Emissionen, die aus der Herstellung der notwendigen Komponenten folgen. In einem zweiten Schritt kann berechnet werden, welcher CO<sub>2</sub>-Preis notwendig wäre, um einen Ausgleich zwischen reiner Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz zu erreichen.

Es wurden zwei Tabellen erstellt, um einen Vergleich der Wärmepumpensysteme untereinander und einen Gesamtvergleich einschließlich Variante 6, Splitgerät, darzustellen. Variante 6 fällt aufgrund der geringen Anschaffungskosten wirtschaftlich aus dem Rahmen, hat allerdings hinsichtlich Komfort und Einsatzfähigkeit einige erhebliche Nachteile (s.u.), die möglicherweise Ausschlusskriterien sein könnten. Bei Berücksichtigung von Variante 6 ist diese die Referenzvariante aufgrund der geringen Jahreskosten.

Tabelle 13: Umweltfolgekostenbetrachtung ohne Variante 6 Splitgerät

Variante	CO <sub>2</sub> -Austoß	Notw. CO <sub>2</sub> -Preis
1a	2.016 kg/a	Ausgleich nicht möglich
1b	1.731 kg/a	2.658 €/t
1c	1.665 kg/a	975 €/t
2a	2.289 kg/a	Ausgleich nicht möglich
2b	1.941 kg/a	Ausgleich nicht möglich
2c	1.938 kg/a	0 €/t
3	1.662 kg/a	1.206 €/t
4a	2.224 kg/a	Ausgleich nicht möglich
4b	1.884 kg/a	5.412 €/t
4c	1.876 kg/a	780 €/t
5a	3.299 kg/a	Ausgleich nicht möglich
5c	3.010 kg/a	Ausgleich nicht möglich

Tabelle 14: Umweltfolgekostenbetrachtung mit Variante 6 Splitgerät

Variante	CO <sub>2</sub> -Austoß	Notw. CO <sub>2</sub> -Preis
1a	2.016 kg/a	1.338 €/t
1b	1.731 kg/a	1.128 €/t
1c	1.665 kg/a	779 €/t
2a	2.289 kg/a	1.567 €/t
2b	1.941 kg/a	797 €/t
2c	1.938 kg/a	708 €/t
3	1.662 kg/a	842 €/t
4a	2.224 kg/a	1.453 €/t
4b	1.884 kg/a	1.022 €/t
4c	1.876 kg/a	714 €/t
5a	3.299 kg/a	Ausgleich nicht möglich
5c	3.010 kg/a	Ausgleich nicht möglich
6	2.692 kg/a	0 €/t

Verursacht eine wirtschaftlich schlechtere Variante einen höheren CO<sub>2</sub>-Austoß, dann ist kein Ausgleich möglich. Betrachtet man die übrigen Varianten, die zwar einen geringeren CO<sub>2</sub>-Austoß verursachen, dabei aber deutlich höhere Investitionskosten besitzen, so wäre ein CO<sub>2</sub>-Preis von mind. 780 €/t bzw. 708 €/t notwendig, damit der nächste Konkurrent wirtschaftlich wird.

#### 4.4.13 Empfehlung

Basierend auf diesen Analysen wird im Folgenden eine Bewertungsmatrix dargestellt. Neben den Kosten und der Emission von Treibhausgasen bzw. der endenergetischen Effizienz sind hier noch weitere Aspekte zu berücksichtigen, die in dieser Projektphase jedoch nicht bewertet werden können: potenzielle Lärmbelästigung, Innenraumkomfort (der z. B. durch Luftströmung beeinträchtigt werden kann) und Raumbedarf im Versorgungszentrum. Dazu sind nachstehend einige Aspekte formuliert.

## Anmerkungen zum Schall

Das Thema Schall ist von Relevanz, da von den Gerätschaften Geräuschemissionen ausgehen. Wärmepumpen etwa, wie in den Varianten 2 und 4 verwendet und auch das Splitgerät Variante 6, besitzen Außengeräte mit nicht unerheblicher Schallemission, so dass eine geschützte Aufstellung ggf. in Kombination mit Abschirmmaßnahmen erforderlich ist.

Innen aufgestellte Kompaktgeräte wie in Variante 1 haben eine Gehäuseschallabstrahlung, die mit baulichen Schutzmaßnahmen, z.B. schalldichte Türe oder Doppelbeplankung von Leichtbauwänden einhergehen können. Auch die im Luftkanal entstehenden Geräusche bedürfen der Reduktion durch Schalldämpfer.

Bei Variante 6, Splitgerät von Mitsubishi ist zu bedenken, dass die Innengeräte, die die Beheizung durch Umluft bewerkstelligen, direkt im jeweiligen Raum angeordnet sind und dort auch Schallemissionen verursachen. Diese sind zwar gering (Stufen 1,2,3: 19/30/36 dB(A)), aber die subjektive Störepfindlichkeit kann nicht gemessen werden. Auch die Einhaltung von normativen Schallgrenzwerten, schließt eine empfundene Störung nicht aus. Unabhängig von diesem Aspekt, wären z.B. 30 dB(A) im Schlafzimmer nicht mehr akzeptabel, so dass während der Ruhezeiten nur der Betrieb auf kleinster Stufe in Frage käme.

Letztlich ist die Frage Schall nur im Rahmen der konkreten Umsetzung zu bewerten. Schall lässt sich durch geeignete aktive und passive Maßnahmen fast immer angemessen reduzieren (zusätzlicher Kostenfaktor). Schwierig wird es bei Systemen, die im Raum selber Geräusch emittieren, wie Variante 6. Es obliegt der Planung die im Bausoll definierten Grenzwerte einzuhalten (Schallabstrahlung Gerät/Kanal innen und außen).

## Anmerkungen zum Komfort

Bei Variante 6 ist in Bezug auf den Komfort anzumerken, dass zwar die Heizleistung für das gesamte Modul rechnerisch ausreichend ist, jedoch kann das Außengerät nur mit zwei Innengeräten betrieben werden, d.h. die Umluftherwärmung wäre auf zwei Räume beschränkt. Die Weiterverteilung, etwa über ein Lüftungskonzept, wäre zu berücksichtigen. Splitgeräte mit drei oder vier Innengeräten werden von Mitsubishi angeboten, jedoch ist die zugehörige Leistung des Außenaggregats viel zu groß, so dass ein stark taktender Betrieb unvermeidlich wäre. Bereits beim System mit 3 Innengeräten übersteigt die unterste Leistung des Außenaggregats die maximal notwendige Heizlast des Moduls.

Hinzu kommt, dass die Umluftmenge der Innengeräte mit zunehmender Leistung ansteigt. Bereits die kleinste Stufe des hier gewählten Aggregats erreicht 210 m<sup>3</sup>/h. Die Platzierung muss also so gewählt werden, dass Zugserscheinungen insbesondere in Daueraufenthaltsbereichen ausgeschlossen sind.

Wie bereits beim Schall ist die Bewertung von Komfort als „relative“ Größe eine Frage der Konkretion. Er definiert sich aus dem vereinbarten Bausoll : Schallgrenzwerte, Warmwasserkomfort, Bedienungskomfort, Raumkomfort (z.B. Umluftmengen und resultierende Strömungsgeschwindigkeiten bei Variante 6). In Bezug auf die Vorgabe der angemessenen Raumerwärmung, wären alle Varianten grundsätzlich gleichermaßen geeignet.

## Zusammenfassung

Eine Empfehlung auszusprechen bedarf der Gewichtung der hier vorgestellten Faktoren unter den gesetzten Randbedingungen. Zusammenfassend ist festzustellen:

- Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass sich die Investition in PV oder Solarthermie lohnt, d.h. das Mehr der Investition wird durch das Weniger der Stromkosten überkompensiert.
- Die Anwendung von PV hat wirtschaftlich und im Hinblick auf die Emissionen leicht die Nase vorne gegenüber der Solarthermie.
- Eine Wärmepumpe mit guter Arbeitszahl verbesserte die Emissionsbilanz ohne die Gesamtwirtschaftlichkeit zu verschlechtern. D.h. hier lohnt sich eine genauere Effizienzbeurteilung und individuelle Angebotserstellung.
- System 5 - elektr. Strahlungsheizung+Heizstab für WWB - ist trotz rel. geringer Investitionen im Vergleich nicht wirtschaftlicher, da der Energiebedarf und mit ihm die Energiekosten erheblich ansteigen. Auch die negativen Umwelteinwirkungen werden verstärkt. Diese erreichen auch beim Einsatz vergleichbar großer PV-Systeme den höchsten Wert aller Varianten.
- System 6 – Splitgerät+Heizstab für WWB - mit noch geringeren Investition als Variante 5 ist wirtschaftlich nicht zu überbieten, erzeugt allerdings die zweithöchsten Emissionen und hat noch weitere Nachteile, die möglicherweise zum Ausschluss führen (siehe Komfort und Schall).
- Wenn es alleine um die Minimierung der Umwelteinwirkung geht, dann ist Variante 3 - PVT mit Wärmepumpe - die beste Wahl.
- Varianten 2c – Viessmann-WP+PV - oder 4c – Dimplex-WP+PV - haben das beste Verhältnis zwischen Wirtschaftlichkeit und Umwelteinwirkung.

Tabelle 15: Gesamtbewertung der Versorgungsvarianten für das autarke Südmodul

	Beschreibung	Invest	Lebenszyklus-kosten	Klimabilanz
1a	Effiziento-WP	O	-	+
1b	Effiziento-WP mit ST	--	--	++
1c	Effiziento-WP mit PV	-	O	++
2a	Viessmann WP	+	+	+
2b	Viessmann-WP mit ST	+	+	++
2c	Viessmann-WP mit PV	+	+	++
3	Sole-Wasser-WP mit PVT	-	O	++
4a	Dimplex-WP	+	+	+
4b	Dimplex-WP mit ST	O	O	++
4c	Dimplex-WP mit PV	+	+	++
5a	IR	++	-	--
5b	IR mit PV	++	O	-
6	Mitsubishi Splitgerät	++	++	-

Bewertungsschema: Investkosten: Prozentuale Kosteneinsparung bezogen auf teuersten Invest ++ > 50 % + > 20 % o > 10 % - <= 10 %. Gesamtkosten: Kostendifferenz der Jahreskosten ++ > 20 % + > 10 % o > 5 % - <= 5 %. Klimabilanz: Differenz zum Schlechtesten ++ > 40 % + > 30 % o > 20 % - <= 20 %.

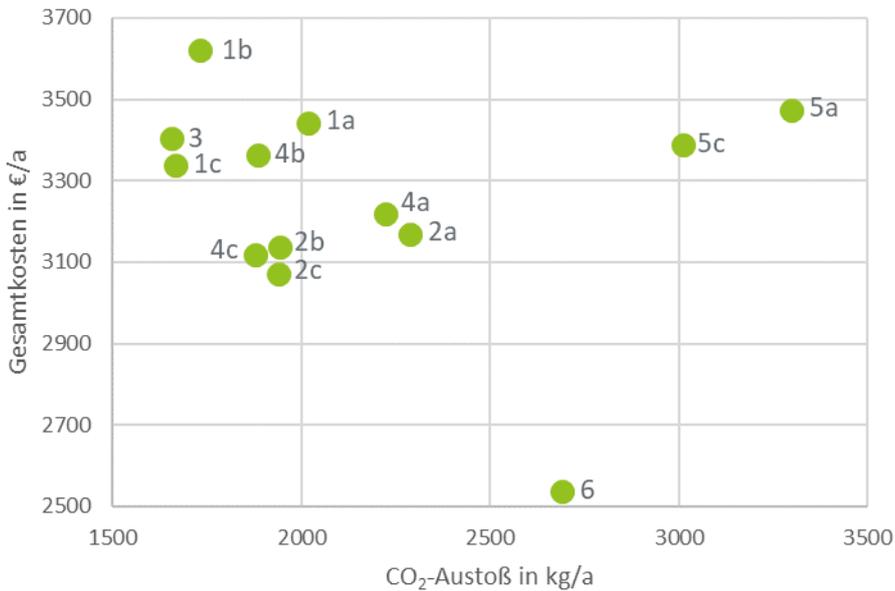
Abbildung 27: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen und Gesamtkosten aller Varianten

Abbildung 27 zeigt das Verhältnis der CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg/a und der Gesamtkosten in €/a aller dargestellter Varianten. Variante 3 (Sole-Wasser-Wärmepumpe mit PVT) hat die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß und ordnet sich in das obere Mittelfeld der Kosten ein. Die Variante 6 (Splitgerät) ist am günstigsten, emittiert aber im Vergleich mehr CO<sub>2</sub>. Die Varianten mit dem höchsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß sind 5c und 5a (Infrarotstrahler). Die teuerste Variante ist das Effiziento-Gerät 1b. Die Varianten unterscheiden sich nur gering von ihren Kosten und in dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß, sodass die Auswahl der Anlagentechnik für die Energiewendemodule groß ist. Faktoren wie Schall oder Komfort können größeren Einfluss bei der Auswahl nehmen.

## 4.5 Energiewendemodul Ost

### 4.5.1 Konzeptbeschreibung

Für das Modul Ost war zunächst das Konzept des Profiteurs vorgesehen. Das Konzept „Profiteur“ sieht vor, dass das Bestandsgebäude das Modul versorgt. Um weitere Vorteile des Energiewendemoduls und die Anpassungsmöglichkeiten des Konzepts zu zeigen, wird überprüft, ob das Energiewendemodul Ost als „Symbiont“ ausgeführt werden kann. Damit profitiert das Bestandsgebäude vom Modul Ost. Überschüssige Energie oder Wärme, die das Modul Ost nicht weiter benötigt, wird an das Bestandsgebäude weitergegeben.

### 4.5.2 System- und Versorgungskonzept

Das Modul Ost wird mit Anbindung an die Technikzentrale des Bestandsgebäudes geplant. Zusätzlich wird geprüft, ob das Modul an der Südwestwand mit solarthermischen Kollekt-

oren ausgestattet werden sollte, die einen Teil des Modul-Wärmebedarfs decken. Der Restbedarf kann von der Zentrale bezogen werden, Überschüsse fließen an die Zentrale zurück. Zur Kappung der bei Brauchwasserbereitung üblichen Spitzen und zur Reduktion der notwendigen Vorlauftemperatur verfügt das Modul, wie auch bereits das Modul Süd, über einen Pufferspeicher mit Trinkwassererwärmung im Durchlauf (Hygienespeicher). Auch das Modul Ost erhält eine Fußbodenheizung und ein Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung.

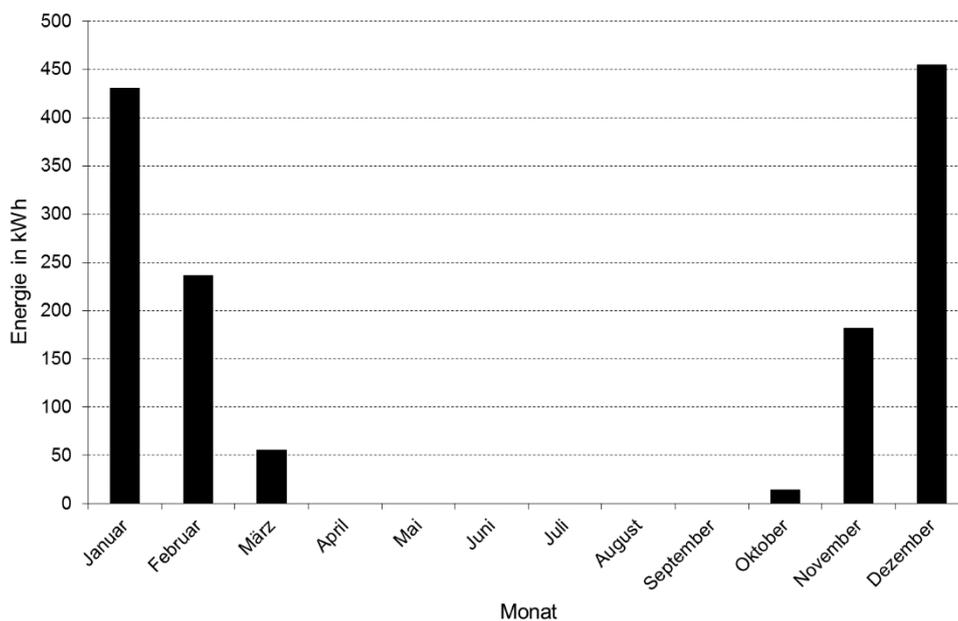
#### 4.5.3 Berechnung von Heizlast und jährlichem Energiebedarf

Wie bereits beim Modul Süd erfolgt die Heizlast- und Heizwärmebedarfsberechnung für das Modul Ost mit 3 verschiedenen Ansätzen: DIN 12831 mit Gradtagszahl, PHPP und TRNSYS.

##### Ermittlung des Heizlastprofils mittels TRNSYS

Analog zur Simulation des Energiewendemoduls Süd wird auch das Heizlastprofil der Fußbodenheizung für das Energiewendemodul Ost durch eine TRNSYS-Simulation ermittelt. Aufgrund des Wohnungsgrundrisses wird ebenfalls ein 3-Personenhaushalt und die entsprechenden Wärmegewinne angesetzt. Die monatliche Aufteilung des Heizwärmebedarfs für die Wohnungsheizung (ohne Trinkwarmwasser) ist in Abbildung 28 dargestellt.

Abbildung 28: Monatliche Heizwärmebedarfe (Nutzenergie) für die Fußbodenheizung des Energiewendemoduls Ost mit durchgehendem Heizbetrieb



Das stündlich aufgelöste Lastprofil bildet die Grundlage für die Untersuchungen der System- und Versorgungskonzepte.

##### Ergebniszusammenfassung Heizlast- und Wärmebedarfsberechnung

Die verschiedenen Berechnungen wurden, angepasst auf die geänderte Geometrie des Moduls Ost, mit denselben Randbedingungen und Eingangsgrößen wie beim Modul Süd durchgeführt.

Tabelle 16: Heizlast und Wärmebedarf Modul Ost (Wohnung 2)

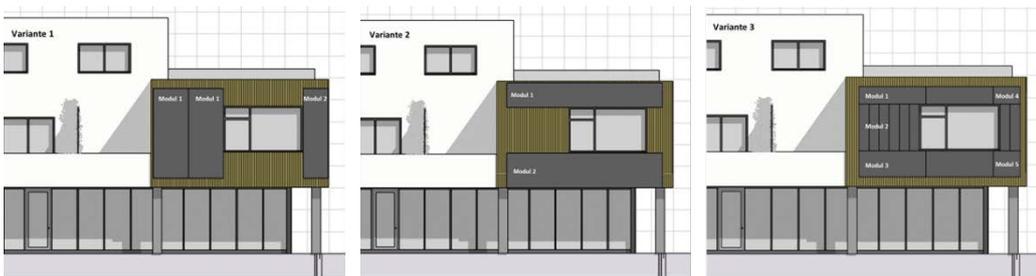
Methode	Heizlast	Spez. Heizlast	Heizwärmebedarf	Spez. Bedarf
DIN 12831	1.433 W	21 W/m <sup>2</sup>	3.508 kWh/a	51 kWh/m <sup>2</sup> a
PHPP	1.224 W	18 W/m <sup>2</sup>	1.160 kWh/a	17 kWh/m <sup>2</sup> a
TRNSYS	2.526 W	37 W/m <sup>2</sup>	1.373 kWh/a	20 kWh/m <sup>2</sup> a

Dabei ist die Größe der Werte ebenso einzuordnen wie beim Modul Süd. Für die Simulation der Anlage in Polysun wird wiederum die stündlich aufgelöste Heizlast aus TRNSYS verwendet.

#### 4.5.4 Untersuchte Varianten

Da es sich bei diesem System um einen „Symbiont“ handelt, ist eine Betrachtung von dezentralen Wärmeerzeugern nicht erforderlich. Es wird lediglich die Fläche der an der Südwestwand angebrachten Solarkollektoren in 3 Varianten untersucht. Die hierfür zur Verfügung stehenden Flächen wurden vom Projektpartner ifeu definiert.

Abbildung 29: Untersuchte Kollektor-Varianten (I,II,III) (Quelle: ifeu)



Variante I verfügt über eine Kollektorfläche von 11,2 m<sup>2</sup>, Fläche II über 19,4 m<sup>2</sup> und Fläche III über 21,5 m<sup>2</sup>. Zur Berücksichtigung des Rahmens wurde die Aperturfläche (also die nutzbare Kollektorfläche) um 10% reduziert. Die Solaranlage wird mit einer Matched-Flow-Regelung bei einer Solltemperatur Kollektorausstritt von 60°C und einem spezifischen Volumenstrom zwischen 10 und 50 l/hm<sup>2</sup> betrieben.

Bis auf die Solaranlage ist die technische Ausstattung für jede Variante dieselbe. Das Modul verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Hygienespeicher mit einem Inhalt von 560 L. Für den Warmwasser- und Strombedarf werden dieselben Annahmen wie beim Modul Süd getroffen, da auch dieses Modul trotz geringerer Fläche aufgrund der Raumaufteilung von 3 Personen bewohnt werden kann.

#### 4.5.5 Ergebnisse aus Polysun

In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse der energetischen Berechnung aus Polysun dargestellt.

Tabelle 17: Polysun-Ergebnisse für das Modul Ost (Wohnung 2)

Variante	Erzeugung Solar	Spezifische Erzeugung	Solarer Deckungsanteil	Bezug von Zentrale	Rückspeisung an Zentrale
I	3.813 kWh/a	340 kWh/m <sup>2</sup> a	80%	5.508 kWh/a	3.753 kWh/a
II	6.205 kWh/a	320 kWh/m <sup>2</sup> a	130%	5.463 kWh/a	5.933 kWh/a
III	6.611 kWh/a	307 kWh/m <sup>2</sup> a	139%	5.482 kWh/a	6.404 kWh/a

Die spezifische Erzeugung sinkt mit steigender Kollektorfläche. Die Rückspeisung an die Zentrale liegt in derselben Größenordnung wie die solare Erzeugung selbst. Dies liegt vor allem an den Einstellwerten der Regelung. Im Modell ist sie so parametrisiert, dass der Hygienespeicher stetig auf Solltemperatur gehalten wird. Die Solaranlage kann den Speicher also nur dann laden, wenn er in derselben Stunde entladen wurde. In jedem anderen Fall wird die Temperatur auf ein Niveau erhöht, das über der für den Betrieb des Moduls notwendigen Temperatur liegt, weshalb die Rückspeisung aktiviert wird. Für einen geringeren Bezug von der Zentrale und eine höhere Eigennutzung der solaren Erzeugung wären entweder höhere zulässige Hysteresen, die im Realbetrieb zu Komforteinbußen führen können, oder eine prädiktive Regelung, die den Bezug von der Zentrale deaktiviert, wenn Solarertrag absehbar ist, notwendig.

#### 4.5.6 Wärmegestehungskosten Solaranlage

Die Wärmegestehungskosten für die Solaranlage errechnen sich aus dem Verhältnis von Annuität und Jahresertrag der Solaranlage. Für eine erste Abschätzung sind hier nur die Investitionen für die Kollektoren angesetzt.

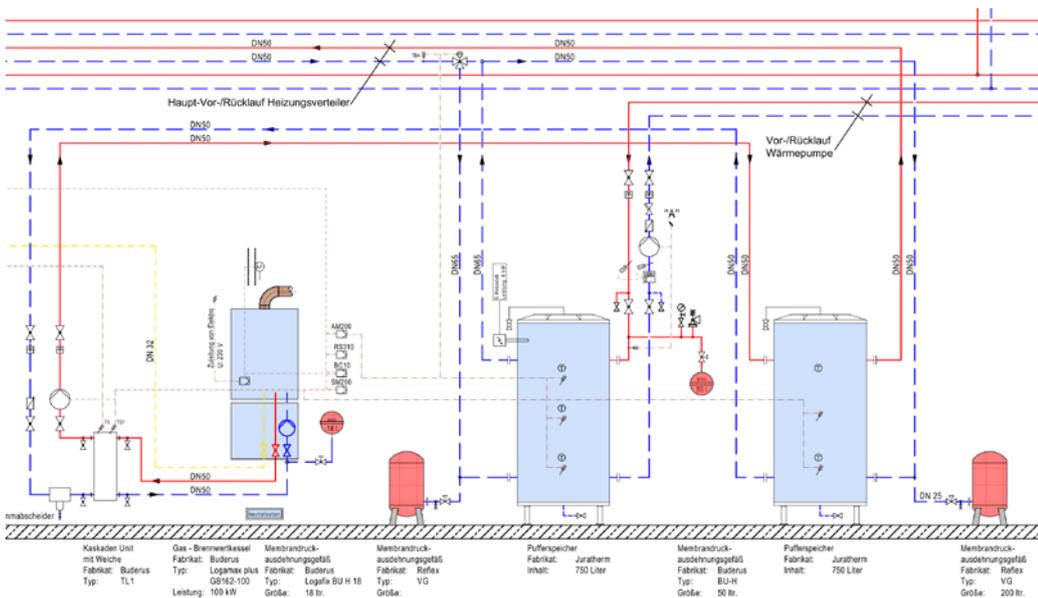
Für die Abschätzung sind die Kosten aus den Listenpreisen eines Herstellers für Großkollektoren zzgl. eines Montageaufschlags von 15% (Preisangaben brutto inkl. MwSt.) gebildet. Mit spezifischen Kollektorkosten (brutto) von ca. 480 €/m<sup>2</sup> dürfte dies eher eine obere Abschätzung darstellen. Da in Variante III Sonderanfertigungen für die flächendeckende Belegung erforderlich wären, ist ein Aufschlag von 20% berücksichtigt. Bei einem Abschreibungszeitraum von 25a und einem Zinssatz von 3% ergeben sich die in nachstehender Tabelle dargestellten Wärmegestehungskosten:



## 4.7 Einfluss der Energiewendemodule auf das Restgebäude bei zentraler Wärmeversorgung

Dieses Kapitel befasst sich mit dem Einfluss der Energiewendemodule als Symbionten auf das Restgebäude. Ausgehend vom real geplanten Konzept für die zentrale Wärmeversorgung des Gesamtobjekts (Sanierung, Bestand und Aufstockung) werden die Energieströme betrachtet.

Abbildung 31: Strangschema Planung zentrale Wärmeversorgung (Quelle: ibp Knaus&Zentner)



Die geplante zentrale Wärmeversorgung für Bestand (Restgebäude inkl. Modul Nord) und Aufstockung sieht eine Luftwärmepumpe in Kombination mit einem Gaskessel vor. Die Wärmepumpe speist die Wärme in den Pufferspeicher 1 mit 750 l ein. Der Gaskessel liefert die Wärme in den Pufferspeicher 2 ebenfalls mit 750 l. Pufferspeicher 1 liegt für den Heizungs-rücklauf in Reihe zu Pufferspeicher 2 und soll der Vorerwärmung durch die Wärmepumpe dienen.

### 4.7.1 Berechnung von Heizlast und jährlichem Energiebedarf mit TRNSYS

Da sich die einzelnen Stockwerke des zu sanierenden Bestands in ihren Nutzungen und auch der Größe der Hüllflächen unterscheiden, ist eine 1-Zonen-Betrachtung wie sie bei der Berechnung der einzelnen Energiewendemodule verwendet wurde (Hüllflächenverfahren oder PHPP) nicht sinnvoll. Daher wurde der Bestand mit der Simulationssoftware TRNSYS unterteilt in 5 Zonen modelliert.

Jedes der Geschosse 1 bis 3 repräsentiert jeweils eine eigene Zone. Das EG wurde aufgrund der räumlichen Trennung der Nutzfläche in 2 Zonen aufgeteilt. In einem zweiten Schritt wurden auch die beiden Energiewendemodule West und Ost als jeweils eigene Zone ins Modell implementiert.

Nicht alle für eine Simulation notwendigen Eingangswerte sind in den Bauteilnachweisen, der Heizlastberechnung oder den Grundrissplänen enthalten. Folgende Annahmen wurden ergänzend getroffen:

- Annahme von Wärmekapazität und Dichte für Baustoffe
- Gleichmäßige Dämmung der Kellerdecke (Aufbau Kellerdecke gegen EG entspricht Aufbau gegen Außenluft)
- Erdreichtemperatur von 8°C
- Verwendung von Bauteilaußenmaßen, Rechnung ohne Wärmebrücken

Die solaren Gewinne werden von TRNSYS entsprechend der Fensterflächenorientierung und zonenscharf berechnet. Die Strahlungswerte ergeben sich aus den Daten des Testreferenzjahres (2015). Darüber hinaus wurden folgende Raumsolltemperaturen und Luftwechsel angenommen.

Tabelle 19: Zonen-Parameter für Simulation

Zone	Solltemperatur in °C (gemittelt)	Luftwechsel (thermisch aktiv)
UG	15	0,25 1/h
EG Bäckerei	21	
EG Bank	21	
OG 1	21	
Modul Süd	21	
OG 2	21	
Modul Ost	21	

Die internen Gewinne resultieren aus anwesenden Personen und elektrischen Verbrauchern mit jeweils zonenspezifischen Profilen. Für beide Gewinnarten wurde für jede Zone außer dem Keller zwischen Werktag und Wochenende unterschieden, im Geschäftsbereich erfolgt die Kopplung der internen Gewinne aus dem Strombedarf an die Anwesenheit von Personen. Als Kennwerte für den Jahresstrombedarf wurden für Büroflächen 60 kWh/m<sup>2</sup>a und für das Bäckerei-Café 220 kWh/m<sup>2</sup>a angesetzt [FFE07]. Mit diesen Annahmen berechnen sich die in nachstehender Tabelle aufgeführten Werte für Heizlast und Heizenergiebedarf je Zone.

Tabelle 20: Berechnungsergebnisse Heizlast und Wärmebedarf ohne Energiewendemodule

Zone	Heizlast in kW	Spez. Heizlast in W/m <sup>2</sup>	Energiebedarf durch Lüftung in kWh/a	Heizenergiebedarf in kWh/a	Spez. Bedarf in kWh/m <sup>2</sup> a
UG	10,8 kW	21	4.656	58.795	114
EG Bäckerei	10,0 kW	47	12.874	855*	4*
EG Bank	14,0 kW	49	10.933	10.318	36
OG 1	14,4 kW	22	26.940	12.917	20
OG 2	7,2 kW	26	8.778	9.981	37

\* bedingt durch hohe interne Gewinne und bei gleichmäßiger Verteilung der Wärme in der Zone

Im nächsten Schritt wurden die Energiewendemodule als jeweils eigene Zonen auf das Gebäude aufgesetzt. Durch sie erhöht sich zwar die Gesamtoberfläche des Gebäudes, da sie aber in einem höheren energetischen Standard als der Bestand errichtet werden, **profitiert das Bestandsgebäude** von der verbesserten Dämmung im Bereich der Module. Heizlast und Heizenergiebedarf ergeben sich damit wie folgt:

Tabelle 21: Berechnungsergebnisse Heizlast und Wärmebedarf mit Energiewendemodulen

Zone	Heizlast in kW	Spez. Heizlast in W/m <sup>2</sup>	Energiebedarf durch Lüftung in kWh/a	Heizenergiebedarf in kWh/a	Spez. Bedarf in kWh/m <sup>2</sup> a
UG	10,8	21	4.656	58.730	114
EG Bäckerei	10,0	47	12.874	836	4
EG Bank	13,7	48	10.933	9.754	34
OG 1*	13,7	21	26.940	11.533	18
Modul Süd	2,5	20	3.429	3.183	24
OG 2	7,2	26	8.778	9.941	36
Modul Ost	2,7	26	3.383	3.759	36

\*inkl. Modul Nord

Der Ergebnisunterschied zwischen den hier dargestellten Werten und den Rechenwerten aus der Einzelbetrachtung der Module resultiert aus anlagentechnischen, architektonischen und bauphysikalischen Änderungen.

In den einzelnen Zonen lässt sich feststellen, dass vor allem die an die Module angrenzenden Zonen des Restgebäudes von den Modulen profitieren. Obwohl also der Wärmebedarf durch die Module um 4.768 kWh/a steigt, werden in den Zonen des Bestandsgebäudes 2.174 kWh/a eingespart. Der spezifische Gesamtenergiebedarf sinkt von 48 auf 45 kWh/m<sup>2</sup>a.

Ein besonderes Augenmerk ist auf das Untergeschoss zu richten. Durch den niedrigen energetischen Standard von Außenwänden und Boden ist der Wärmebedarf in dieser Zone besonders hoch. Er beträgt ca. 60% des Gesamtwärmebedarfs des Gebäudes. Geht man davon aus, dass sich hier keine Aufenthaltsräume befinden und dass die Kellerdecke gegen das Erdgeschoss gedämmt ist, so ist eine dauerhafte Beheizung nicht sinnvoll. Eine Simulation ohne beheizten Keller kommt zu dem Ergebnis, dass seine Temperatur zwar auf knapp über Erdreichtemperatur (im Jahresmittel 9,7°C) absinken würde, dabei aber 56.462 kWh pro Jahr eingespart werden könnten. Eine bedarfsgerechte Heizung, die ggf. auch nur temporär betrieben wird (z.B. durch schnell wirkende Infrarotstrahlplatten) verspricht einen energetischen Vorteil.

## 4.8 Exkurs: Pelletofen

Von Kundenseite werden oftmals Biomasse-Öfen gewünscht. Daher wurde abschließend auch die Nutzung eines Pelletofens mit Wassertasche zur Beheizung des autarken Moduls untersucht. Dies erfordert einen Pufferspeicher zur Aufnahme der Heizleistung, der jedoch

in einem Symbionten-System nicht zwangsläufig benötigt wird. Eine Marktrecherche ergibt verschiedene für ein Energiewendemodul nutzbare Öfen, die über eine Wassertasche verfügen und modulieren können. Im Folgenden hierzu eine Übersicht (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

Tabelle 22: Übersicht am Markt verfügbarer wasserführender Pelletöfen

N	Modell	Maximale Feuerungsleistung	Maximale luftseitige Heizleistung	Maximale wasserseitige Heizleistung	Minimale Feuerungsleistung	Minimale luftseitige Heizleistung
1	Olsberg Levana Aqua	8,00 kW	0,70 kW	7,30 kW	2,40 kW	0,21 kW* 0,82 kW**
2	Oranier Carus Aqua	10,00 kW	3,50 kW	6,50 kW	3,00 kW	1,05 kW* 1,03 kW**
3	Oranier Bora 6	6,00 kW	1,40 kW	4,60 kW	2,30 kW	0,54 kW* 0,74 kW**
4	Justus Sirkos Aqua	9,00 kW	1,50 kW	7,50 kW	3,00 kW	1,00 kW***

\* luftseitige Leistung aus Nennbetrieb extrapoliert,

\*\* luftseitige Leistung extrapoliert wie bei Justus Sirkos Aqua

\*\*\* Datenblattangabe

Bei einer spezifischen Heizlast der Energiewendemodule von ca. 50 W/K führt die Nutzung eines solchen Pelletofens bei Außentemperaturen über 5°C zu einer Überheizung (Ist-Temperatur höher als Solltemperatur) des Moduls. Es wird dabei bereits angenommen, dass sich die Wärme gleichmäßig im Modul verteilt, etwa über eine Lüftungsanlage mit WRG beim Betrieb eines raumluftunabhängigen Ofens).

Da die Module als Symbionten von der Heizzentrale versorgt werden, sind sie nicht auf die Pelletöfen als Wärmeerzeuger angewiesen. Daher folgt das Betriebsprofil nicht zwingend den thermischen Notwendigkeiten, sondern eher den Komfortbedürfnissen der Nutzer. In den Berechnungen wurden plausibel erscheinende Nutzungsprofile für die Pelletöfen angenommen, etwa der Betrieb in den Abendstunden zwischen 17 bis 21 Uhr während der Heizperiode.

Basierend auf den vorbeschriebenen Wärmeerzeugern zentrale Wärmepumpe, Solarthermische Anlage und Pelletofen werden 5 Varianten aufgestellt, für die Strom-, Gas-, Primärenergiebedarf und primärenergetisch optimaler Bivalenzpunkt untersucht werden. Bei den Varianten mit Pelletöfen wird das Fabrikat Oranier Bora 6 berücksichtigt, das die geringste thermische Leistung besitzt und die Problematik der Überheizung minimiert.

Tabelle 23: Variantenübersicht Gesamtgebäude

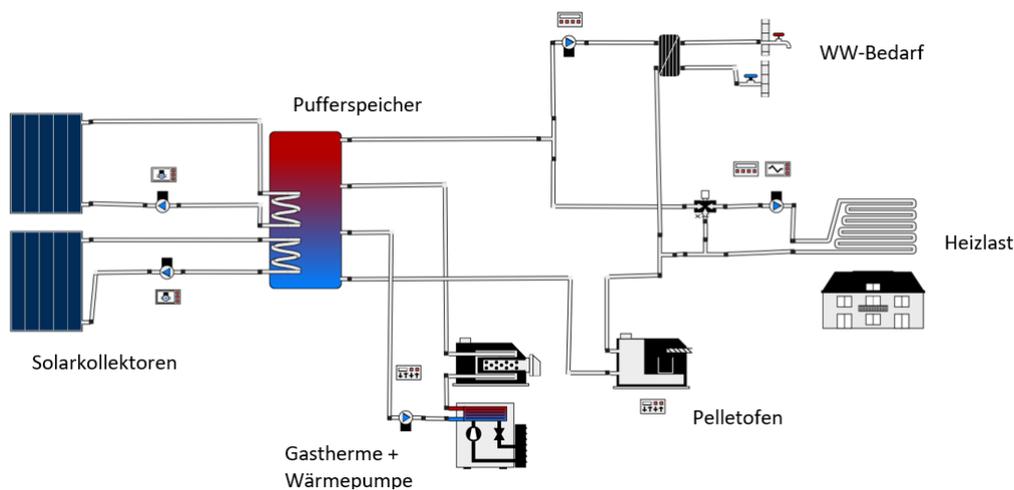
	Gebäude	Solarkollektoren	Pelletöfen
V0	ohne Energiewendemodule	nein	nein
V1	mit Energiewendemodulen	nein	nein
V2	mit Energiewendemodulen	Ost-Modul SW-Wand	ja
V3	mit Energiewendemodulen	Ost-Modul V I* Süd-Modul	ja
V4	mit Energiewendemodulen	Ost-Modul V II* Süd-Modul	ja

\* siehe Tabelle 21

#### 4.8.1 Beschreibung der Anlagensimulation

Die fünf vorgestellten Varianten wurden in einem Polysun-Modell modelliert und simuliert. Die hierfür verwendete Hydraulik entspricht nicht der Originalplanung, sondern wurde an die Simulationsumgebung angepasst, sollte jedoch das reale Geschehen weitestgehend abbilden.

Abbildung 32: Prinzipschema Polysun-Modell



Die Anschlüsse am Pufferspeicher sind im Schema nicht so dargestellt wie modelliert. Die beiden Wärmeüberträger der Solarfelder (auf den SO- bzw. SW-Fassaden) sind im Pufferspeicher auf derselben Höhe eingebaut. Die Einbindung der beiden Wärmeerzeuger - Wärmepumpe und Pelletofen - erfolgt im oberen Viertel des Pufferspeichers. Bei einem Puffer-volumen von 3.000 Litern stehen hierfür also etwa 750 Liter zur Verfügung.

Der real geplante Gaskessel und die Wärmepumpe wurden mit baugleichen Modellen in Polysun hinterlegt. Bei den Varianten mit Pelletöfen werden diese aufgrund ihrer geringen Wärmeleistung in den Heizungsrücklauf eingebunden und so zur Rücklaufanhebung verwendet. Die wasserseitige Leistung der Pelletöfen kommt so dem Gesamtgebäude zu Gute.

Die stündliche Heizlast wurde, wie auch in den Modellen der autarken Modulversorgung, aus dem stündlichen Energiebedarf des Gebäudes der TRNSYS-Simulation berechnet. Für die Warmwasserbereitung wurden im Gebäude mit Energiewendemodulen 17 Personen angenommen, die pro Tag 40 Liter Warmwasser benötigen.

Für den Anlagenbetrieb wurde von einem bivalent alternativen Betrieb von Wärmepumpe und Gaskessel ausgegangen. Die Pelletöfen werden nur während der Heizperiode und nur zwischen 17:00 und 21:00 Uhr betrieben.

#### **4.8.2 Ergebnisse zu Primärenergiebedarf und Wirtschaftlichkeit**

Nachfolgende Tabellen zeigen die Ergebnisse der Varianten aus der Anlagensimulation. Primärenergiebedarf und Wirtschaftlichkeit sind wie zuvor die wesentlichen Größen. Die weiteren Rahmenparameter, die der Betrachtung zugrunde liegen, sind ebenfalls angegeben:

Tabelle 24: Rahmenparameter Ergebnisbetrachtung

	Primärenergiefaktor	Nutzungsgrad	Spez. Kosten
Elekt. Strom	2,11*	1,00	0,235 €/kWh*
Erdgas	1,10	0,95	0,08 €/kWh
Holzpellets	0,20	0,80	0,05 €/kWh**
Solarkollektor			465 €/m <sup>2</sup> *
Pelletofen			4.830 €/St

\* wie bei Betrachtung Aufstockmodule Süd und Ost

\*\* [CAR21]

Basierend auf den Simulationsergebnissen und diesen Parametern, stellen sich die folgenden Ergebnisse ein:

Tabelle 25: Energieerzeugung / -bedarf aus Simulation

	Wärmebedarf	Solarertrag	Wärme aus Pellets	Strombedarf WP	Gasbedarf
Variante 1	57.902 kWh	0 kWh	0 kWh	24.882 kWh	9.968 kWh
Variante 2	57.889 kWh	3.245 kWh	2.293 kWh	22.905 kWh	9.704 kWh
Variante 3	57.859 kWh	7.483 kWh	2.294 kWh	20.608 kWh	9.784 kWh
Variante 4	57.930 kWh	8.123 kWh	2.293 kWh	20.260 kWh	9.967 kWh

Aus diesen Energiebedarfen, den oben genannten spezifischen Wärme- und Investitionskosten, die annuitiv mit einem Zinssatz von 3% auf 25 Jahre abgeschrieben werden, sowie Wartungs- und Instandhaltungskosten in Höhe von je 1 % der Investition ergibt sich die folgende Wirtschaftlichkeit:

Tabelle 26: Wirtschaftlichkeitsparameter, Ergebnis aus Simulation

	Wärmekosten	Investitionskosten (zusätzlich)	Annuität Wartung Instandhaltung*	Gesamtkosten
Variante 1	6.687 €/a	0 €	0 €/a	6.687 €/a
Variante 2	6.343 €/a	13.196 €	1.022 €/a	7.365 €/a
Variante 3	5.810 €/a	22.013 €	1.704 €/a	7.515 €/a
Variante 4	5.744 €/a	25.267 €	1.956 €/a	7.700 €/a

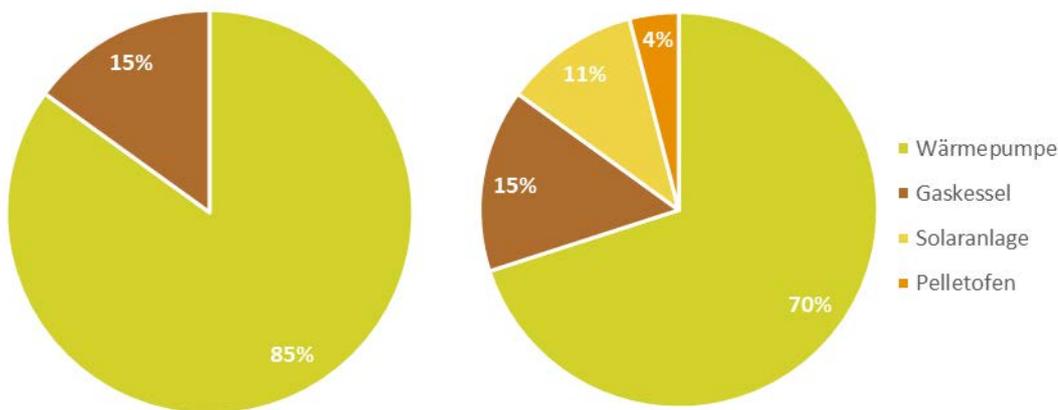
\* wie bei Betrachtung Aufstockmodule Süd und Ost

Tabelle 27: Ergebnisse Variantenvergleich (hier Bivalenzpunkt -2°C)

	Primärenergiebedarf	Einsparung Primärenergie	Mehrkosten	Wertigkeit Primärenergie
Variante 1	63.466 kWh	-	-	-
Variante 2	59.463 kWh	4.003 kWh	678 €/a	0,17 €/kWh
Variante 3	54.704 kWh	8.762 kWh	828 €/a	0,09 €/kWh
Variante 4	54.171 kWh	9.295 kWh	1.013 €/a	0,11 €/kWh

Aus diesen Zahlen lässt sich ableiten, dass die Variante 1, also der Verzicht auf Solarkollektoren und Pelletöfen zwar am günstigsten ist, diese aber den Primärenergiebedarf mit steigendem Zubau um bis zu 10% senken können. Das Optimum zwischen Senkung der Primärenergie und Reduzierung der Kosten bildet sich hierbei bei Variante 3 aus, wie man am Quotienten „Wertigkeit Primärenergie“ ablesen kann. Dabei kann mit den Kollektorfeldern am Ostmodul zwischen den Fenstern und am Südmodul 11% des Wärmebedarfs gedeckt werden.

Abbildung 33: Erzeugungsanteile Varianten 1 und 3



## 4.9 Automatisierung

Gebäude- und Raumautomation sind wesentliche Bestandteile der technischen Gebäudeausrüstung, um Systeme möglichst bedarfsorientiert und energetisch effizient betreiben zu können. Dabei kann die Ausstattung sehr unterschiedliche Komplexitätsgrade annehmen. Es stellt sich die grundsätzliche Frage, ob ein höherer Komplexitätsgrad auch gleichbedeutend mit einem effizienteren Betrieb ist. In der Realität wird der Automationsgrad nicht allein die Energieeinsparung bestimmen, unter bestimmten Randbedingungen sogar ohne nennenswerten Einfluss bleiben (ggü. einer Standardregelung). So kann etwa ein Wärmeerzeuger oder ein Lüftungsgerät im Teillastbereich auch von einer perfekten Regelung nicht unter den minimalen Lastpunkt gefahren werden. Dies führt bei begrenzter Regelbarkeit im Teillastbereich unabhängig von der Qualität der Regelung zu Verlusten, insbesondere bei Überdimensionierung. Oder es können vorgesehene temporäre Temperaturabsenkungen bei Gebäuden mit exzellenter thermischer Hülle gar nicht erreicht werden.

Und natürlich muss die Regelung sinnvoll zum jeweiligen System passen. Eine Flächenheizung, z. B. Fußbodenheizung wird mit niedrigen Vor-/Rücklauftemperaturen betrieben, was sich positiv auf die Effizienz des Wärmeerzeugers auswirkt. Jedoch ist die Reaktionsfähigkeit dieser Wärmeübergabesysteme durch die Bauteilintegration stark reduziert. Die regelungstechnische Optimierung wird hier nicht direkt auf die Raumtemperatur selbst abzielen, sondern auf die Oberflächentemperatur der wärmeabgebenden Fläche. Liegt diese nahe dem Sollwert der Raumtemperatur, stellt sich für den konvektiven Wärmeübergang ein selbstregelnder Effekt ein, sodass bei Erreichen der Raumsolltemperatur nur noch Strahlung zur Haltung der operativen Raumtemperatur beiträgt.

So bestimmt die Gesamtdynamik des Systems Gebäude / Wärmeübergabe / Wärmeerzeugung über die Auswahl der Regelung und deren Algorithmen. Eine Quantifizierung der Einspareffekte durch Regelungsstrategien ist aufgrund der vielen Wechselwirkungen komplex.

DIN V 18599 Teil 11 beschreibt die Kategorisierung verschiedener Regelungsarten mit ihren Automatisierungsgraden A bis D im Kontext des Bilanzierungsverfahrens nach dieser DIN-Reihe. Unterschieden wird nach Wohn- und Nichtwohngebäude. Im Rahmen des Bilanzierungsverfahrens wird mindestens der Grad C unterstellt. Es gelten dabei die Standardnutzungsrandbedingungen nach Teil 10 der Normenreihe. Zeitliche Abweichungen werden über Korrekturfaktoren und Temperaturabweichungen über die Ermittlung der resultierenden Bilanzinnentemperatur abgebildet.

Die Ermittlung eines Einspareffektes durch Anwendung der Methodik nach DIN V 18599 wäre sehr aufwendig, da bei Abweichung vom Standardprofil jeder Regelkreis im Einzelnen betrachtet, kategorisiert und berechnet werden muss. Es darf jedoch bezweifelt werden, dass diese Methodik zu realistischen Ergebnissen führt. Schon die Gegenüberstellung mit der Norm errechneter Bedarfswerte und realer Verbrauchswerte für die Objekte zeigt meist eine erhebliche Diskrepanz. Dies ist nicht verwunderlich, da es hier um standardisierte Berechnungsansätze im Rahmen von Genehmigungsverfahren geht und nicht um die möglichst exakte Modellierung eines Gebäudes und der Anlagentechnik.

Die Kategorisierung der Regelung nach DIN EN 15232 folgt der gleichen Logik wie in DIN V 18599 Teil 11. Anstelle der Automatisierungsgrade sind GA-Effizienzklassen aufgeführt, ebenfalls A bis D. Die Regelungsarten werden als TGM-Funktionen bezeichnet. Das Verfahren 1 nach DIN 15232 ist wie DIN V 18599 in diesem Kontext zu aufwändig, da es eine vergleichende dynamische Simulation vorschlägt. Eine solche wurde zwar für verschiedene Varianten durchgeführt, müsste dann jedoch variantenabhängig noch die Regelalgorithmen variieren.

Verfahren 2 nach DIN 15232 als faktorbasierte Berechnung des GA-Beitrags zur Energieeffizienz ist zwar methodisch recht einfach gestrickt, jedoch sind die dort genannten Einsparungsfaktoren sehr pauschal, d.h. eine Unterscheidung nach spezifischer Nutzung, Effizienzstandard der Gebäudehülle u.a. erfolgt dort nicht. Eine „seriöse“ Aussage im Einzelfall ist so nicht möglich.

In diesem Sinn erfolgt hier eine kurze, qualitative Gegenüberstellung der bei der Simulation unterstellten Randbedingungen / Algorithmen und mögliche Optimierungen für exemplarische Regelkreise.

## **Solaranlage**

### Grundvariante

Für die Solaranlage wird in der Simulation von einem Temperaturdifferenzregler mit hinterlegter Hysterese ausgegangen, der die Pumpe in Abhängigkeit von Kollektoraustrittstemperatur und Temperatur im unteren Drittel des Speichers ansteuert. Dazu muss die Anlage im Stillstandsfall in regelmäßigen Abständen anspringen, um die sich im Betrieb einstellenden Temperaturen zu ermitteln. Die Abschaltung erfolgt bei Unterschreitung der vorgegebenen Temperaturdifferenz.

Aufgrund des konstanten Massenstroms bei variierender solarer Einstrahlung ändert sich die Kollektorvorlauftemperatur laufend. Mit der einfachen Temperaturdifferenzregelung

kann auf die Vorlauftemperatur kein Einfluss genommen werden. Mit steigender Speichertemperatur wird die nutzbare Solarstrahlung reduziert.

#### Optimierung

Eine Verbesserung wäre durch den Einsatz einer Matched-Flow-Regelung mit einem Strahlungssensor möglich. Durch einen angepassten Volumenstrom kann die Kollektorausstrittstemperatur (in Grenzen) an die Speichertemperatur angepasst werden. Über die Strahlungsmessung kann erkannt werden, ob der Betrieb der Anlage sinnvoll möglich ist.

Im Zusammenspiel mit einem bekannten Nutzungsprofil könnte der Einsatz sogenannter prädiktiver Regelsysteme einen weiteren Optimierungsschritt ermöglichen. Die nichtregenerativen Wärmeerzeuger im System könnten dann gezielt nur so viel Wärme einspeisen, wie die Prognose aus dem Nutzungsprofil dies erfordert, ohne dass etwa Speichervolumen für einen zu erwartenden regenerativen Input belegt würde.

### Zentrale Wärmeerzeuger

#### Grundvariante

Für die zentralen Wärmeerzeuger Wärmepumpe und Gaskessel wurde von einem bivalent alternativen Betrieb, bei einem Bivalenzpunkt von  $-2^{\circ}\text{C}$  ausgegangen. Beide Wärmeerzeuger werden mit einem Hystereseregler für das obere Drittel des Pufferspeichers betrieben. Da die Warmwasserbereitung ebenfalls aus dem Pufferspeicher bedient wird, sind dort mindestens  $55^{\circ}\text{C}$  sicherzustellen, damit eine normative Mindesttemperatur von  $50^{\circ}\text{C}$  eingehalten wird (DIN 1988-200, Absatz 9.7.2.3).

#### Optimierung

Eine Verbesserung wäre durch eine Leistungsregelung der Wärmeerzeuger in Verbindung mit fortgeschrittenen Regelungsalgorithmen, wie zum Beispiel einer Ertragsprognose der Solaranlage möglich (prädiktive Regelung, s.o.).

Wesentlich zur Gesamteffizienz wird auch die Abstimmung zwischen Wärmepumpe und Kessel beitragen. Solange die Wärmepumpe mit guter Arbeitszahl für die Raumbeheizung betrieben werden kann, sollte diese Vorrang vor dem Kessel haben. Neben der Temperaturüberwachung trägt dabei auch die Einbeziehung der Dynamik von Wärmeströmen zur Optimierung bei.

Zusätzliches Optimierungspotential bietet eine hydraulische Anpassung, die natürlich auch regelungstechnische Änderungen nach sich zieht. So bietet eine Einbindung der Wärmepumpe nur als Vorwärmstufe bei der WW-Bereitung Vorteile gegenüber der direkten Speicherladung auf  $55^{\circ}\text{C}$ . Die Wärmepumpe wird dann vorzugsweise bei niedrigen Temperaturen betrieben.

### Pelletöfen

#### Grundvariante

Die Pelletöfen werden als reine Komfortöfen betrachtet, während der Heizperiode handbeschickt temporär betrieben.

#### Optimierung

Ihr Beitrag zur Versorgung des Gebäudes könnte durch einen automatisierten Betrieb abhängig von der Raumtemperatur (Regelgröße) der Module und der Außentemperatur erhöht werden, was den Primärenergiebedarf des Gebäudes senkt.

# 5 Phase 4: Realisierung

Phase 1 – 3 befassten sich mit der Entwicklung der Energiewendemodule für den konkreten Fall der Sparkasse Kressbronn, aber auch für andere zukünftige Aufstockungen. In Phase 4 werden die Erkenntnisse genutzt und auf den Fertigungsprozess von Baufritz übertragen. Bei den Abbildungen handelt es sich nicht um die Fertigung von Energiewendemodulen für die Sparkasse Kressbronn, sondern um bereits realisierte Module, standardmäßig vorinstallierte Sanitärvorwände und vorgefertigte Bauteile (u. a. für das Musterhaus in Fellbach). Sie sind beispielhaft für die Fertigung solcher Module.



## Phase 4: Realisierung

Umsetzung der  
Energiewendemodule,  
Baubegleitung

## 5.1 Sparkasse Kressbronn

Bei der Sanierung der Sparkasse Kressbronn handelt es sich um ein reales Bauprojekt. Projektbezogene Entscheidungen und Verschiebungen sind zu berücksichtigen.

Der Zeitplan der Sanierung der Sparkasse Kressbronn wird eingehalten. Im November 2020 begannen die ersten Abriss- und Entkernungsarbeiten, so dass der Rohbau Anfang 2021 starten konnte.

Abbildung 34: Stand der Sanierung der Sparkasse Kressbronn im April 2021. Die Sparkasse ist bereits vollständig entkernt.



Mitte 2021 wurde der Rohbau fertiggestellt, sodass die Installation der Heizung und Lüftung erfolgen kann. Parallel wurden die Statik, die Dichtigkeit und die Dämmung der Sparkasse ertüchtigt oder angepasst. Ab Sommer 2021 beginnen die Arbeiten an der Fassade der Sparkasse: Fenster und Fassadenelemente werden produziert und die Holzfassade installiert.

Der Bau der Sparkasse Kressbronn ist von einer Rohstoffverknappung, den steigenden Holzpreisen und Lieferproblemen betroffen.

Abbildung 35: Ansicht der Sparkasse Kressbronn (Vorderseite), maßstabslos (Quelle: Solar-System-Haus)



Abbildung 36: Schnitt der Sparkasse Kressbronn, maßstabslos (Quelle: Solar-System-Haus)



Bei dem Bestandsbau handelt es sich um einen Stahl-Skelettbau, der aus tragenden Stützen, Unterzügen und Deckenscheiben besteht. Die zwei Treppenhäuser sind massiv ausgebaut und dienen zur Aussteifung des Gebäudes.

Für die Aufstockung der Energiewendemodule wurde ursprünglich ein Trägersystem entwickelt, das auf der Bestandsdecke liegt und die Last vom Modul auf das Tragwerk leitet. Eine solche zusätzliche Konstruktion ist nicht notwendig, da die Energiewendemodule direkt auf der Rohdecke der Sparkasse gebaut werden können. Dadurch kann

auf einen zusätzlichen Bodenaufbau in Form von einer tragenden Konstruktion verzichtet und eine Ausführung ohne Stufen gewährleistet werden, die Barrierefreiheit garantiert. Indem die tragenden Elemente des Energiewendemoduls direkt über den Stützen des Bestandsgebäudes liegen, wird die Last des Dachs der Module in den Boden abgetragen. Unterzüge werden zur Verstärkung angebracht.

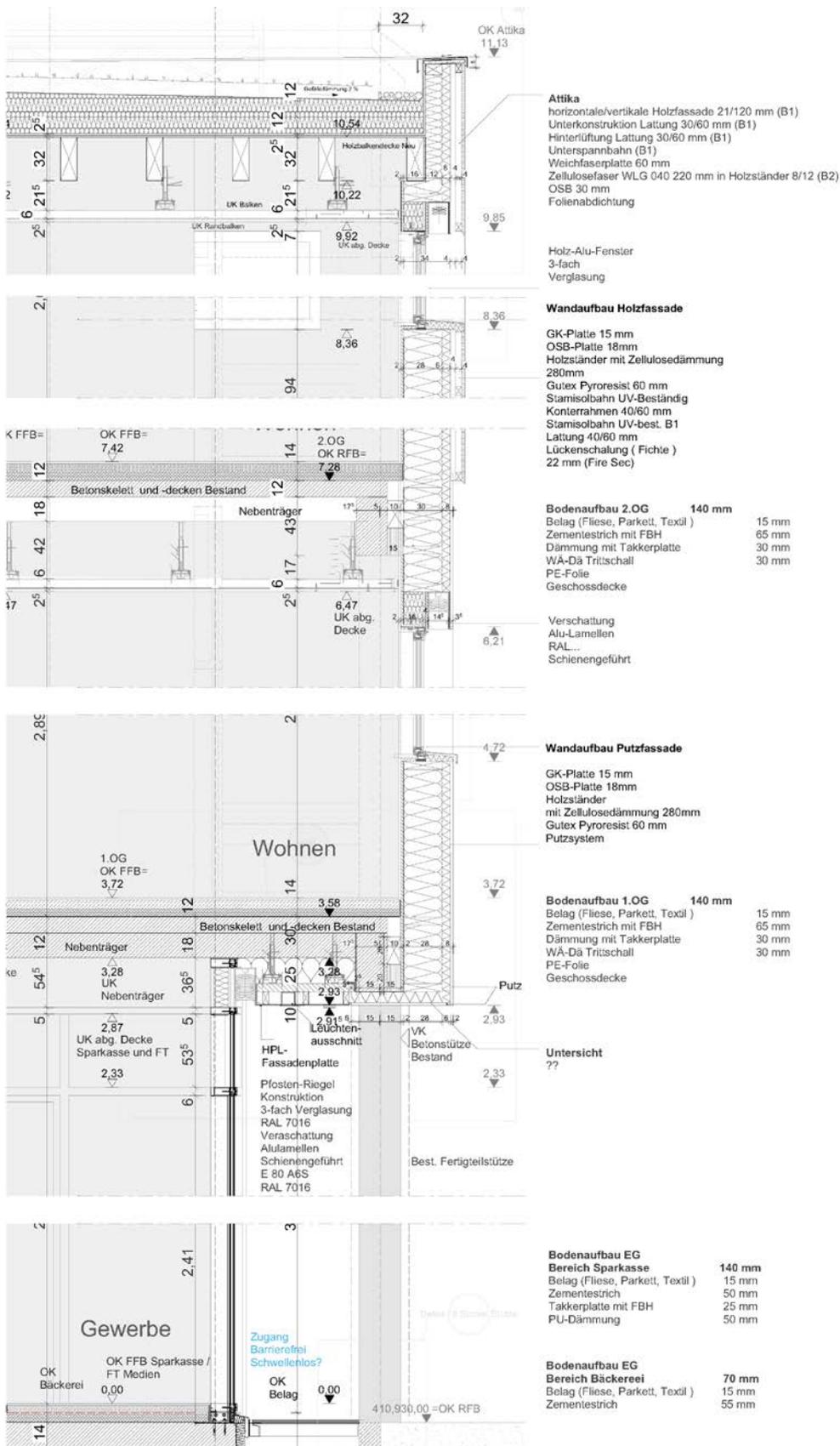
Abbildung 37 zeigt einen Fassadenschnitt der Sparkasse Kressbronn. Im Schnitt auf der Abbildung 36 ist der Bereich des Fassadenschnitts farbig markiert. Konstruktiv unterscheidet sich der Fassadenaufbau der Sparkasse vom Aufbau des Energiewendemoduls nicht. Die Fassade wurde so entworfen, dass sie bis zur Attika des Energiewendemoduls reicht. Lediglich die Holzfassade trennt optisch das Energiewendemodul von der Sparkasse. Die Fassade ist durch Unterzüge am Bestandsgebäude verbunden, sodass sie hängt.

Zukünftige Energiewendemodule, die in einer Fertigbauweise hergestellt werden, haben einen anderen konstruktiven Aufbau. Die Module werden inkl. Bodenaufbau geplant und können damit noch flexibler aufgestockt werden. Auch gestalterisch kann sich das Energiewendemodul stärker vom Bestandsbau trennen, in dem sich die Fassade auch konstruktiv ablöst und damit eine Fuge erzeugt wird.

Da es sich bei der Sparkasse Kressbronn um ein reales Praxisprojekt handelt, können die Projektteilnehmenden nur bedingt Einfluss nehmen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden alle Energiewendemodule als Profiteur geplant.

Auch andere im Projekt entwickelten Ideen zur Quartierseinbettung können nur bedingt realisiert werden: die solare Achse und eine solare Ladestation für E-Bikes und Elektroautos werden möglicherweise in einem zukünftigen Umbau-Schritt entwickelt; die Entsiegelung der Parkplatzfläche erfolgt nicht, da die Parkplätze weiter zur Verfügung gestellt werden müssen.

Abbildung 37: Fassadenschnitt der Sparkasse mit Energiewendemodul, maßstabslos (Quelle: Solar-System-Haus)



### Preis der Energiewendemodule auf der Sparkasse Kressbronn

Nach den Architekten der Sparkasse -Haus liegen die Kosten für den Quadratmeter aufgestockter Wohnfläche bei ca. 3.400 € brutto (Kostengruppen 300, 400 und 700). Die Wohnfläche die im sanierten Bereich des Bestandsgebäudes kostet ca. 2.800 €/m<sup>2</sup>. Die Kosten der Energiewendemodule entsprechen denen eines üblichen Neubaus. Die Kosten für die Grundstücksherrichtung und andere Kosten können gespart werden.

Aktuell entstehen durch die Energiewendemodule keine Kosteneinsparungen, da es sich bei den Energiewendemodulen um einen Prototyp handelt

## 5.2 Planung der Energiewendemodule in Kressbronn

### Fertigung bei Baufritz

Baufritz plant und baut seit Jahrzehnten Designhäuser mit höchster Wohnqualität und gesundem Raumklima. Baufritz ist dabei auf die Fertigung und Detailentwicklung einzelner Flächenelemente spezialisiert. Die einzelnen Wand-, Decken- und Dach-Bauteile werden im Baufritz-Werk vorgefertigt und auf der Baustelle zusammengesetzt.

Abbildung 38: Produktionshalle von Baufritz (Quelle: Baufritz)



Durch den hohen Grad der Vorfertigung können Prozesse kontrolliert und verbessert werden. Dadurch ist die Planung und Ausführung vorgefertigter Flächenelemente oder Raummodule schneller umzusetzen.

Abbildung 39: Installations- und Außenwände im Baufritz-Werk (Quelle: Baufritz)



Für den Transport werden die Flächenelemente ineinander gestellt und so platzsparend auf einen LKW verstaut. Ein Vorteil der Vorfertigung von Flächenelementen gegenüber Raummodulen ist, dass durch die platzsparende Transportmöglichkeit weniger „Luft“ transportiert wird.

Abbildung 40: Transport von vorgefertigten Flächenelementen (Quelle: Baufritz)



Die Außenwände des Energiewendemoduls werden als Flächenelemente geplant. Hingegen ist das Versorgungsherz ein Raummodul. Es enthält Anlagentechnik, Badezimmer, Heizungszentrale und Wärmeverteilung in Form von Wandheizungen. Das Modul hat eine hohe Dichte an Technik und Funktionen, sodass eine Fertigung als Modul sinnvoll ist.

Durch den Zusammenbau und die fertige Installation des Versorgungsherzes im Werk bei Baufritz ergeben sich viele Vorteile: Die Schnittstelle zwischen Heizung, Sanitär, Wasser, Lüftung, Fliesen, Maler/Spachtler und Elektrik können unter Werksbedingungen koordiniert und gelöst werden. Die Bauzeit lässt sich präzise planen und steuern. Die Rüstzeiten der Arbeiter sind geringer, weil die Wege und Anfahrten entfallen. Zudem sind die Werkhallen beheizt, somit kann witterungsunabhängig gebaut und gearbeitet werden.

Abbildung 41: Transport von Raummodulen



### Energiewendemodul Sparkasse Kressbronn

Die Konzeption der Energiewendemodule wurde von allen Projektteilnehmenden während der ersten Projektsitzung entwickelt. Das Architekturbüro Solar-System-Haus, das für die Sanierung und Aufstockung der Sparkasse Kressbronn verantwortlich ist, entwickelte aus den Ideen die Entwurfsplanung der Energiewendemodule.

Im Rahmen des Forschungsprojekts erstellt Baufritz eine mögliche Ausführungsplanung der Energiewendemodule, inklusive Gesamtkonzept über die verbrauchte Anlagentechnik, Konzeption des Versorgungsherz, Innenwände, Boden, Decke, Fliesen, Sanitärgegenstände, Heizung, Ausstattung Technikraum.

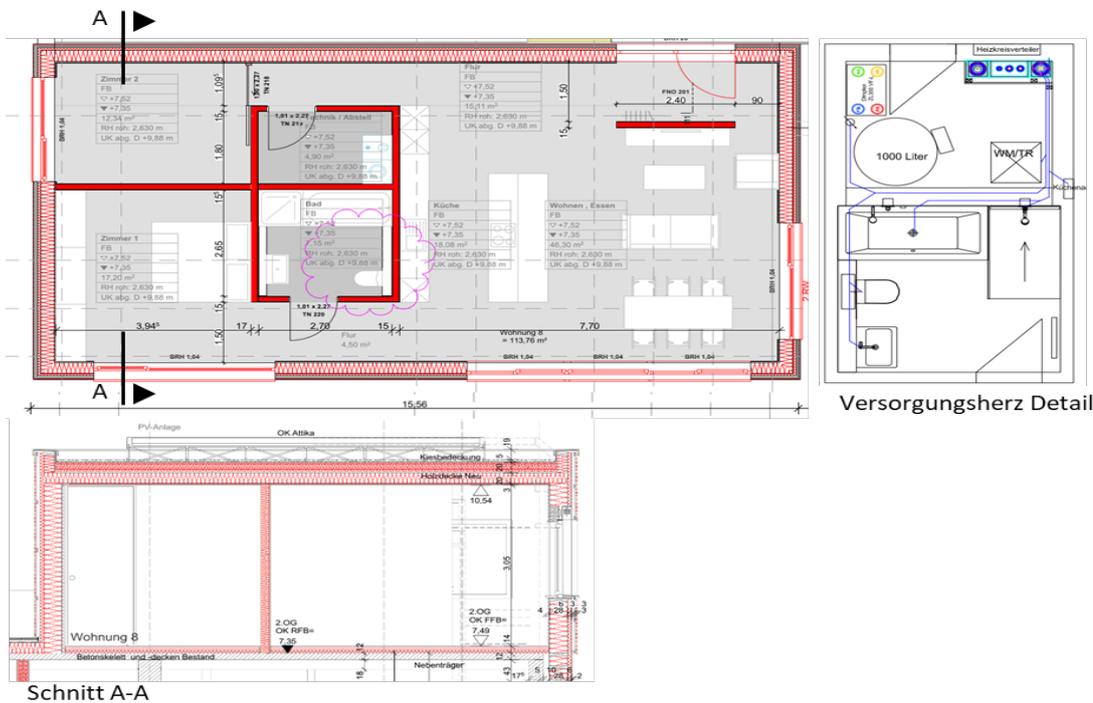
Das Versorgungsherz muss so optimiert werden, dass es mit einer Gesamtgröße von 3 x 5 m dem Architektenplan entspricht und ein Transport möglich ist.

Abbildung 42: Ansichten Energiewendemodul Süd (Quelle: Baufritz)



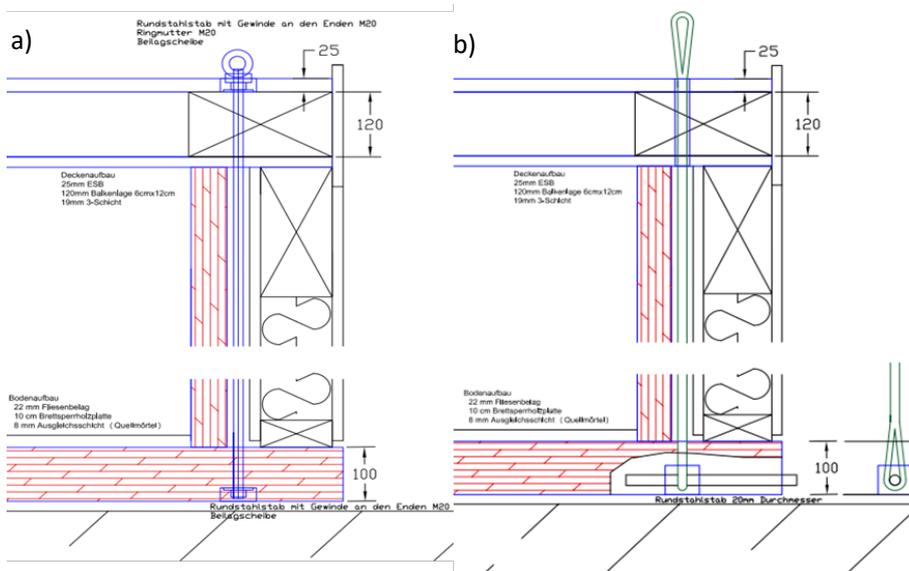
Die Planung konzentriert sich dabei auf das Energiewendemodul Süd, da es als autarke Variante beispielhaft für das Projekt ist.

Abbildung 43: Grundriss, Schnitt und Detail des Versorgungsherzens vom Energiewendemodul (Quelle: Baufritz)



Das Versorgungsherz (autarke Variante) wiegt mit Bad und Technikraum ca. 6.900 kg. Das Modul wird nicht vor Ort gebaut, sondern im Werk hergestellt und als Ganzes auf die Baustelle transportiert. Baufritz hat zwei Transportmöglichkeiten entwickelt: a) eine Stahlhalterung, die in die Konstruktion eingearbeitet und vor Ort abgebaut wird; b) ein textiler Gurt, der im Boden des Raummoduls befestigt wird. Baufritz bevorzugt die Variante mit dem textilen Gurt, da sie leicht zu demonitieren und kostengünstiger ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei der festen Verankerung mit Stahl, die Tragfähigkeit der Aufhängung nachgewiesen werden muss. Die textile Variante hingegen kann mit definierter Tragkraft bestellt werden.

Abbildung 44: Transportmöglichkeiten der Energiewendemodule a) Stahlhalterung b) textiler Gurt



### 5.3 Musterhaus Fellbach von Baufritz

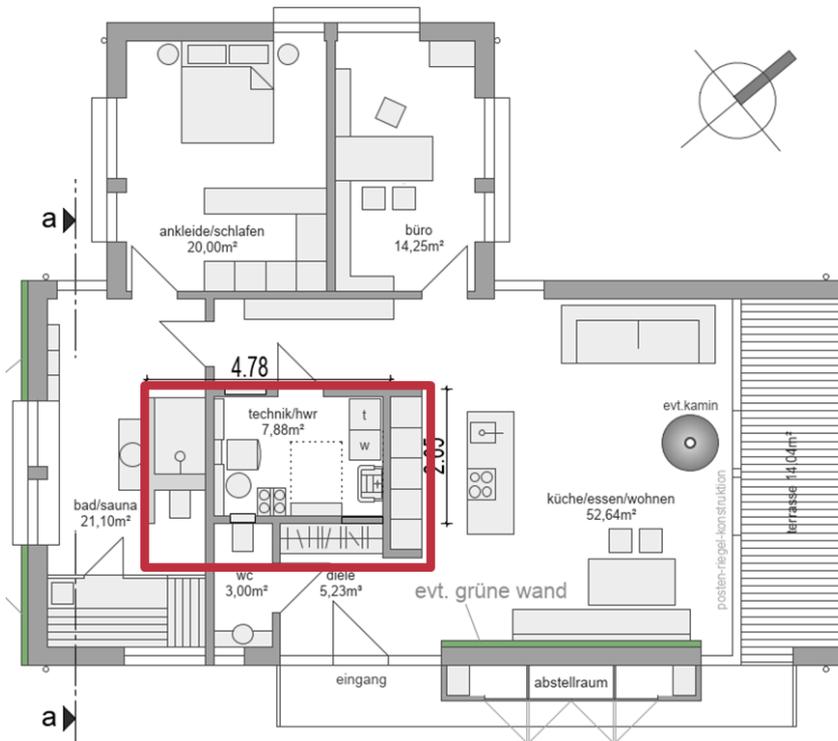
Zur Erprobung des Energiewendemoduls setzt Baufritz derzeit Elemente dieses Projektes in einem Mustereinfamilienhaus in Fellbach um. Die Eröffnung des Demoeinfamilienhauses erfolgt im Mai 2021.

Abbildung 45: Demoeinfamilienhaus Fellbach (Quelle: Baufritz)



Das Demoeinfamilienhaus in Fellbach verfügt ein Versorgungshertz, in dem der Technikraum und Badezimmer eingebunden sind (Abbildung 46).

Abbildung 46: Grundriss Demoeinfamilienhaus Fellbach – rot markiert: Versorgungshertz (Quelle: Baufritz)



Die Küche grenzt an das Versorgungshertz an, sie ist vorgefertigt und eingebunden (Abbildung 47). Das Demoeinfamilienhaus in Fellbach wurde im hohen Baufritz-Standard ausgeführt und ausgestattet.

Abbildung 47: Versorgungshertz mit Bad und angrenzender Küche (Quelle: Baufritz)

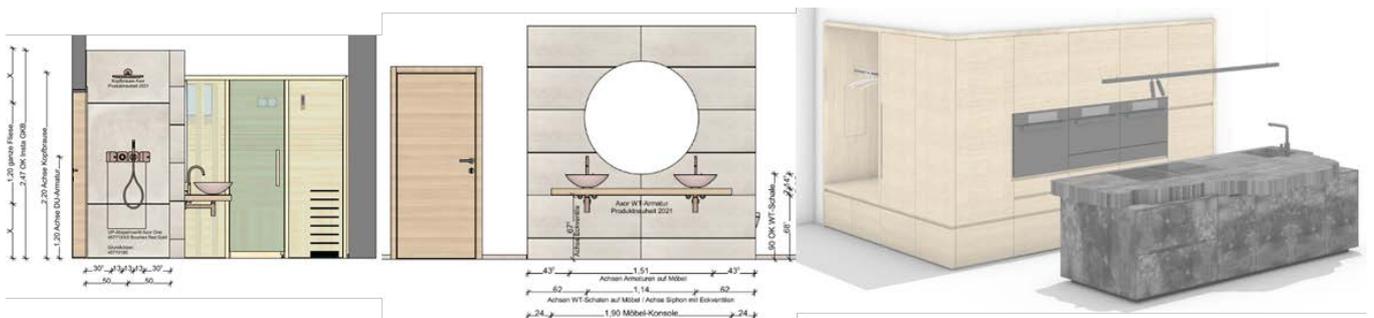


Abbildung 48 bis Abbildung 50 zeigt die detaillierte Planung des Versorgungsherzens. Alle Leitungen und Stränge werden möglichst kompakt angeordnet. Aufgrund der begrenzten Größe muss die Anlagentechnik gut durchdacht und geplant werden. Für eine optimale Planung des Raumes werden 3D-Visualisierungen angefertigt. Das Gebäude wird über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe versorgt.



Nach der gründlichen Planung wird das Versorgungsherz im Werk angefertigt (Abbildung 51) und die Anlagentechnik untergebracht (Abbildung 52). Der Bau wird im Baufritz-Werk präzise kontrolliert.

Für den Transport werden alle technischen Anlagen, insbesondere die Wärmepumpe gesichert, damit sie nicht beschädigt werden.

Abbildung 51: Produktion der Wandelemente, Installation der Zelle im Werk (Quelle: Baufritz)



Abbildung 52: Vorinstallation Sanitär Wasser und Abwasser WC Spülkasten, Montage Heizung/Lüftung/ Heizkreisverteiler (Quelle: Baufritz)



### Montage auf der Baustelle

Nach der Fertigung wird das Versorgungsherz zu der Baustelle in Fellbach transportiert. Vor Ort wird es an den eingebauten Halterungspunkten befestigt und mit einem Kran an die gewünschte Position gehoben.

Abbildung 53: Anlieferung und Aufhängung des Versorgungsherzens (Quelle: Baufritz)



Das Versorgungshertz wird in das Gebäude auf ein Mörtelbett gesenkt. Anschließend werden die Leitungen angeschlossen (Abbildung 54).

Abbildung 54: Absenken des Versorgungsherzens in das Gebäude (Quelle: Baufritz)



## 5.4 Ausblick auf weitere Entwicklungsschritte

### Kostenentwicklung

Die Kosten für Raummodule, wie das Energiewendemodul inkl. Versorgungshertz, können erst nach vollständiger Detailplanung beziffert werden. Voraussichtlich können die Planungskosten, aufgrund eines Wiederholungseffektes, reduziert werden.

Das Ziel ist, Raummodule in einem hohen Maß vorzufertigen und dadurch die Herstellkosten im Ganzen nach unten zu bringen.

Baufritz hat zum Sommersemester 2021 hierzu eine Bachelorarbeit beauftragt, die die Synergie zwischen der Vorfertigung und Serienherstellung von Energiewendemodulen und ein mögliches Kostensenkungspotenzial, den Produktionsaufwand und die Dauer der Herstellung untersucht.

- Ab wann sinken die Preise vorgefertigter Module?
- Wann lohnt sich die Serienherstellung von Energiewendemodulen?
- Flexibilität vs. Standardisierbarkeit: Was könnte im Energiewendemodul standardisiert werden?

- Sollten zur Minimierung der Kosten, Prozesse an externe Firmen weitergegeben werden?

Für diese Untersuchung wird ein 8,3 m<sup>2</sup> großes Versorgungsherz im Werk vorgefertigt und fertig installiert. Dem gegenüber werden die Kosten für eine konventionelle Installation der Versorgungstechnik auf der Baustelle gestellt. Beide Varianten erhalten eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, eine zentrale Lüftungsanlage, einen Elektroschaltschrank sowie einen vorgefertigten Hausanschluss. Die Wand und Deckenoberflächen des Versorgungsherzens sind aus Holz und der Boden gefliest.

Netto Verkaufspreise:

- Versorgungstechnik auf der Baustelle konventionell installiert: 43.289 €
- Versorgungsherz im Werk vorinstalliert: 43.630 € (Prototyp)

Die Kosten des Versorgungsherzens und der konventionell eingebauten Technik unterscheiden sich nur um 8 %.

Geht man von einer seriellen Produktion des Versorgungsherzens aus, liegen die Kosten bei ca. 39.197 €. Das bringt ein Einsparpotential von ca. 9,5% im Vergleich zu einer konventionellen Installation auf der Baustelle.

Bei einer noch optimistischeren Schätzung kann ein Einsparpotential von bis zu 15% erreicht werden.

### **Bauzeitenverkürzung durch Vorfertigung**

Durch die schon fertigen Oberflächen im Technikraum (Bodenaufbau, Wand und Decke) können alle Installationen im Versorgungsherz fertig produziert werden. Das verkürzt die Bauzeit um mindestens 2 Wochen, was direkt von der Gesamtbauzeit abgezogen werden kann. Nur allein durch die Reduktion der Bauleitung entsteht ein Kostenpotential von ca. 500 € pro Woche. Hinzu kommen Einsparungen bei der Baustelleneinrichtung und die Möglichkeit, eine frühere Schlussrechnung zu stellen.

### **Produktstrategie**

Baufritz ist vom Konzept der Energiewendemodule inkl. Versorgungsherz überzeugt und will diese auch bei Einfamilienhäusern einsetzen. Bereits wenn zwei Module auf die gleiche Weise gebaut werden, ist es wirtschaftlich, auf Vorfertigung zu setzen, da die Arbeitsvorbereitung, Planung und der Bestellenprozess bekannt sind. Wichtiger ist es Fachplaner und Bauherren von einer seriellen Haustechnikplanung zu überzeugen und das Planungswerkzeug so einfach wie möglich zu gestalten (beispielsweise BIM).

2021 stellt Baufritz für seine Kunden einen neuen Haus-Konfigurator „my smart green home“ vor. „My smart green home“ ist eine Planungssoftware, die intuitiv wie ein Computerspiel aufgebaut ist. Aus einzelnen Bauelementen kann dort jeder potentielle Bauherr sein eigenes Haus individuell planen und gestalten. Mittels fertig vorgeplanter **Haustechnikzellen** können die entstehenden Planungen auch umgesetzt werden. Baufritz will damit seinen

Kunden die Möglichkeit geben, ihr eigenes Haus individuell zu planen, ohne sich selbst mit Themen wie Statik, Entwässerung, Wärmeschutz oder Heizung/Sanitär auszukennen.

### **Zusammenarbeit und Kooperation**

Die technische Ausstattung der Module plant Baufritz mit eigenen Mitarbeitern und mit verschiedenen kleinen bis mittleren Handwerksfirmen zusammen. Auf dieser Basis möchte Baufritz Know how sammeln und Kompetenzen aufbauen. Ziel ist es, die Technikzellen, von Planung bis Bau, in Baufritz-Eigenleistung zu erstellen. Theoretisch wäre auch eine Kooperation mit einem ökologisch orientierten Modulhersteller denkbar.

# 6 Übertragbarkeitsanalyse

---

Ist der Ansatz der Energiewendemodule von Kressbronn auf andere Anwendungen übertragbar? Welche Restriktionen stehen einer Anwendung auf anderen Objekten entgegen? Handelt es sich bei den Modulen um ein Nischenprodukt?

Das Ziel der Übertragbarkeitsanalyse ist eine Quantifizierung eines „technischen Potentials“, also die Frage nach der Zahl möglicher Aufstockungen, die rein aus technischer Sicht, ohne Berücksichtigung von ökonomischen, ästhetischen oder architektonischen Aspekten, realisierbar wären.

Dabei fokussiert die Analyse auf Wohneinheiten mit Energiewendemodul-Charakter. Darüber hinaus könnte das „Versorgungsherz“ als dem charakterprägenden Element des Energiewendemoduls auch in weiteren Anwendungen zum Einsatz gelangen.

## 6.1 Stand der Forschung

Mit der Deutschlandstudie 2015 [TUP16] entstand die erste großflächige Potentialanalyse zur Aufstockung bezogen auf den Wohngebäudebestand. Aufbauend auf dieser Arbeit folgten Handlungsempfehlungen und weitere Potentialanalysen. Einen besonders detaillierten Ansatz liefert hier die Studie der TU Braunschweig „Leitlinien zur Vereinfachung von Aufstockungs- / Erweiterungsmaßnahmen als Nachverdichtungsmaßnahme in innerstädtischen Bereichen“ [TUB19]. Die Studie zielt darauf ab, einen Leitfaden für Aufstockungsmaßnahmen zu erstellen, mit dem Fokus auf Wohngebäude. Sie baut auf den Erkenntnissen der 2016 veröffentlichten Publikation des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumentwicklung auf [BBS16]

Die 2016 veröffentlichte Studie der TU Darmstadt berechnet ein Potential von 1,1 Mio. aufstockbaren Wohnungen auf Mehrfamilienhäusern, die im Zeitraum von 1950 bis 1989 erbaut wurden. Hinzu kommen 420.000 weitere Wohnungen auf entsprechenden Gebäuden, die vor 1950 fertiggestellt worden sind.

Als Datenbasis wurde dort vorwiegend der Zensus 2011 [BLS14] genutzt. Kategorisiert werden die untersuchten Gebäude nach Gebäudetyp und Baujahr. Die Typologie basiert auf der Studie „Deutsche Gebäudetypologie“ des Instituts für Wohnen und Umwelt GmbH [IWU15], die auch Grundlage für weitere Studien ist.

Im Fokus stehen bei der Untersuchung Gebäude, die sich in Regionen mit einem erhöhten Wohnungsbedarf befinden. Die Deutschlandstudie 2015 [TUP16] unterscheidet zwischen zwei Potenzialen: Als Primärpotenzial werden Gebäude bezeichnet, die zwischen 1950 und 1989 erbaut worden sind, die nur einen Eigentümer besitzen und die sich in dicht besiedelten Regionen befinden.

Tabelle 28: Ermittelte Wohnraumpotentiale der Deutschland-Studie 2015 für die Aufstockung auf Wohngebäuden [TUP16]

Wohnraumpotential	Baujahre 1950 - 1989	Baujahre vor 1950	Im Besitz von Wohneigentums- Gemeinschaften	Summe
Potential zusätzliche Wohnfläche, in [m <sup>2</sup> ] *	84.200.000	8.150.000	23.650.000	116.000.000
Potential zusätzliche Wohnungen**	1.123.000	107.000	317.000	1.547.000

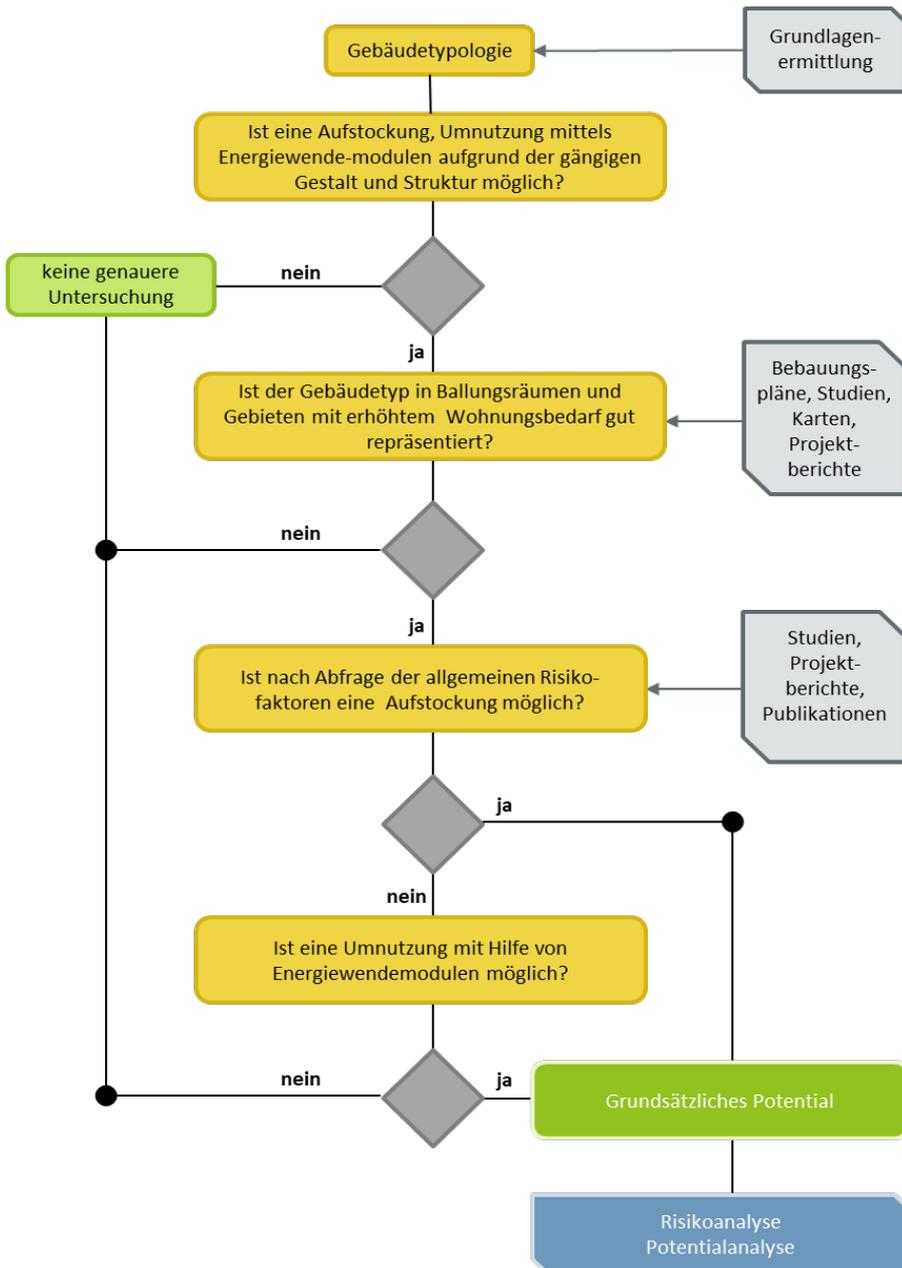
\* gerundet auf 50.000er-Stellen, \*\* gerundet auf 500er-Stellen

Um die Studie sinnvoll zu erweitern, wurde 2019 die Folgestudie „Deutschland-Studie 2019“ veröffentlicht, die sich den Potenzialen der Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden widmet [TUP19]. Dabei wurden weitere 1,1 Mio. bis 1,5 Mio. potenzielle Wohneinheiten festgestellt, was eine Gesamtzahl von 2,3 – 2,7 Mio. Wohnungen ausmacht. Rahmengrößen für die Analyse sind: eine durchschnittliche Wohnungsgröße von 75 m<sup>2</sup> sowie eine Geschosszahl von 1,3 aus.

## 6.2 Methodik

Die Erkenntnisse der Deutschland-Studien sowie des Leitfadens für Nachverdichtungsmaßnahmen dienen als Grundlage für eine erweiterte Übertragbarkeitsanalyse der Energiewendemodule.

Abbildung 55: Methodik der Untersuchung (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)



Aufgrund der Datenlagen zum heterogenen Gebäudebestand bei Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden wird die Analyse der einzelnen Gebäudetypologien (z. B. Bürogebäude) in zwei Teile geteilt.

Abbildung 56: Methodik der Potentialanalyse (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)



Es werden potenzielle Gebäudetypologien untersucht, die sich für eine Aufstockung oder Erweiterung eignen. Faktoren wie typische Bauformen und Häufung in Ballungsräumen sind entscheidend. Anhand der Bewertungsmatrix nach Abbildung 55 wird dann abgeschätzt, ob eine weitere Betrachtung sinnvoll ist. Neben den bereits genannten Faktoren ist auch die Menge der Datengrundlagen Abbildung 56. Projektrisiken in Bezug auf Aufstockungen und Umnutzungen lassen sich besser abschätzen, wenn bereits Erfahrungen zu den Gebäudetypologien gesammelt wurden.

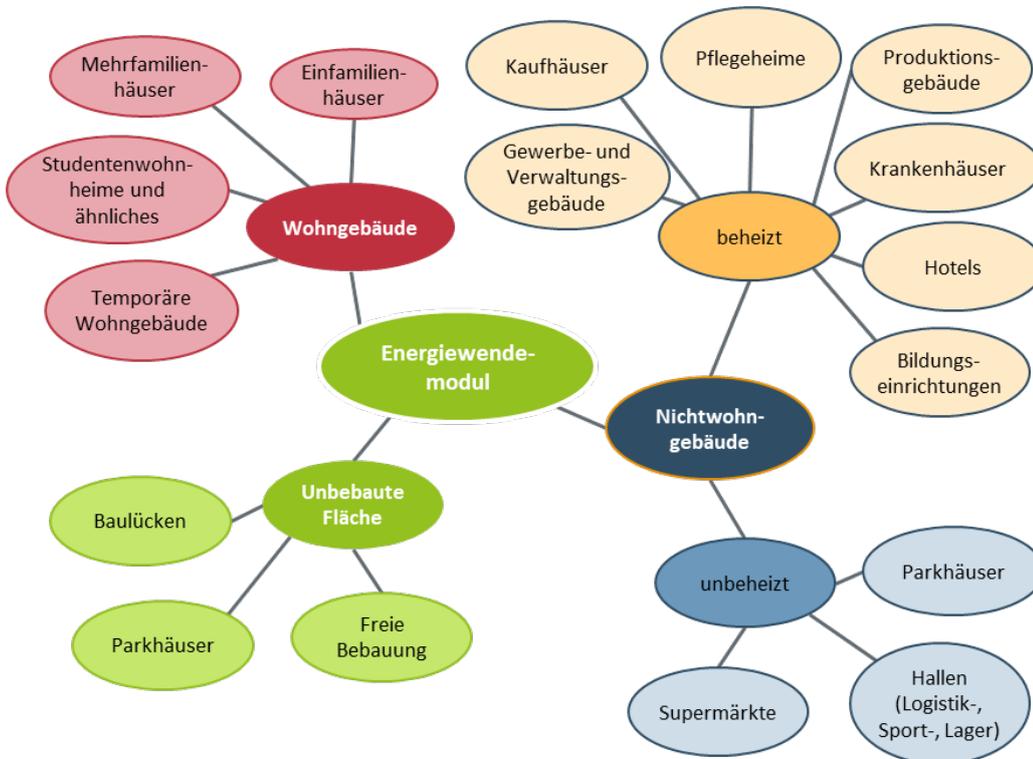
Unterschieden wird hier nach einer qualitativen und einer quantitativen Auswertung, die letztendlich zu einer Bewertung führt. Anhand von Studien, öffentlich zugänglicher Statistiken sowie Kartendaten werden die Bestände quantifiziert und mit geeigneten Methoden zu einer Gesamtzahl interpoliert. Neben der Datengrundlage der Deutschland-Studie bieten auch weitere Quellen einen Überblick über die Bestandssituation in Deutschland. Mit Hilfe von Openmaps und anderen Kartendiensten lassen sich weitere Daten sammeln und auswerten. Aus dieser Datengrundlage wird ein potenzieller Bestand ermittelt.

Das Potenzial wird durch baurechtliche Anforderungen der verschiedenen Landesbauordnungen und aktuelle Normen eingeschränkt. Anhand einer Risikobewertung werden weitere Faktoren abgeschätzt, die letztendlich zu einer Bewertung des Potential führen.

### 6.2.1 Gebäudetypologie

Zunächst werden typische Gebäudetypologien in Ballungsräumen gesammelt (Abbildung 54) die sich für eine Aufstockung um ein Energiewendemodul eignen würden. Landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche und ähnliche Gebäude eignen sich nicht und werden nicht weiter betrachtet.

Abbildung 57: Gebäudetypologien im Kontext des Energiewendemoduls (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)



Die Einteilung der Gebäudetypen erfolgt nach beheizten oder unbeheizten Wohn- und Nichtwohngebäuden. Grundsätzlich eignen sich auch Freiflächen und unbeheizte Gebäude für die Aufstockung mit Energiewendemodulen, da der Bau des autarken Energiewendemoduls aufgrund seiner Selbstversorgung möglich ist.

Im nächsten Schritt werden anhand verschiedener ALKIS-Daten die Häufigkeit der potenziellen Gebäude bestimmt. Als Beispielstädte dienen Köln und Berlin als Metropolregionen und Münster als ein regionales Zentrum. Diese Städte eignen sich aufgrund der Verfügbarkeit der Daten, des differenzierten Stadtbilds, der Altersstruktur der Bevölkerung und der Gebäude.

Gerade junge Menschen ziehen in Universitätsstädte wie Köln und Münster. Diese Bevölkerungsgruppe wohnt besonders oft in kleinen Single-Apartments oder Wohngemeinschaften zusammen und ist besonders auf günstigen Wohnraum angewiesen. Auch ist an den Daten erkennbar, dass „Young Professionals“ aus Köln oft ins Umland ziehen, da die Grundstückspreise einen Hauskauf in dieser Stadt sehr schwierig machen. In Berlin und Münster ist diese Entwicklung, leicht verspätet, auch zu erkennen, wobei Münster sowie Berlin innerhalb des Stadtgebietes noch sehr wenig verdichtete Stadtteile an den Rändern haben und somit gerade Aufstockungen ein hohes Potenzial haben.

### 6.2.2 Ergebnisse der Grobanalyse

Nicht alle Gebäude eignen sich für eine Aufstockung. Eine Bewertungsmatrix unterstützt bei der Analyse, welche Gebäudetypen sich grundsätzlich für eine Aufstockung eignen (Tabelle 29).

Tabelle 29: Ergebnisse der Grobanalyse in einer Potentialmatrix zusammengestellt (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)

Typ	Anzahl <sup>1</sup>	Struktur	Flexibilität <sup>2</sup>	Aussicht <sup>3</sup>	Erfahrung		
<b>Wohngebäude</b>							
Einfamilienhäuser	+	-	--	o	+		130
Zweifamilienhäuser	++	o	-	o	+		176
Mehrfamilienhäuser	++	++	++	++	++		260
Wohnheime	-	+	++	o	++		140
Temporäre Wohngebäude	-	+	o	--	--		88
<b>Nichtwohngebäude</b>							
Gewerbe- und Verwaltungsgebäude	+	+	+	+	++		185
Kaufhäuser	+	+	o	+	o		174
Hotels	+	+	+	o	o		166
Pflegeheime	o	+	+	-	o		132
Krankenhäuser	o	+	o	--	o		112
Produktionsgebäude	--	--	--	o	++		63
Bildungseinrichtungen	+	+	o	o	+		162
Parkhäuser	+	+	o	++	+		197
Hallen	--	--	--	o	-		56
Supermärkte	+	--	--	-	-		102
<b>unbebaute Fläche</b>							
freie Bebauung	--	x	o	++	++		105
Parkplätze	-	x	+	+	++		110
Baulücken	o	x	+	++	++		151

1 Menge der Gebäude in Gebieten mit erhöhtem Wohnungsbedarf

2 Wie flexibel ist die Nutzung? Geht auch eine Aufstockung im "Bestand" oder muss das Gebäudekonzept dadurch komplett verändert werden? Welche Nutzungen sind mit dem Energiewendemodul möglich ohne die Grundversorgung des Gebäudes zu verändern?

3 Zukunftsfaktoren wie Nachverdichtung, Mobilität, demographische Entwicklung etc.pp.

Die einzelnen Bewertungskategorien (Anzahl, Struktur, Flexibilität, Aussicht und Erfahrung) gehen mit unterschiedlicher Gewichtung in die Gesamtbewertung ein. Die Gewichtung teilt sich in hoch, mittel und niedrig. Die Bewertung erfolgt in fünf „Noten“ (++ bis --), die jeweils eine unterschiedlich hohe Anzahl an Punkten stehen. Summiert und gewichtet entsteht daraus die Gesamtpunktzahl, die zeigt welche Gebäudetypen weiter untersucht werden. Wenn zu einer Kategorie keine Aussage möglich sein (x), geht diese nicht in die Bewertung ein.

Der Faktor „Anzahl“ drückt die Menge der einzelnen Gebäude innerhalb der ausgewählten Ballungszentren Berlin, Köln, Münster aus. Er wird mit der höchsten Gewichtung bewertet. Damit der heterogene Gebäudebestand abgebildet wird, werden Wohn- und Nichtgebäude in der Bewertungsmatrix getrennt dargestellt.

Der Faktor „Struktur“ geht mit einer mittleren Gewichtung in die Bewertung ein. Er bewertet das ingenieurstechnische Potential einer Aufstockung beziehungsweise eines Umbaus. Neben der Bewertung typischer Bauformen werden noch typische Nutzlasten der einzelnen Gebäudetypen bewertet.

Der Faktor „Flexibilität“ betrachtet typische Konstruktionsformen der einzelnen Gebäudetypologien, wie der Faktor Struktur, versucht diese aber planerisch zu bewerten. Mit welchem Aufwand lässt sich eine Umnutzung oder eine Aufstockung mit den Energiewendemodulen realisieren? Welche Varianten des Energiewendemoduls sind hier möglich?

Der Faktor „Aussicht“ wird ebenfalls hoch gewichtet. Zukünftige Entwicklungen, die die Gesellschaft beeinflussen werden, wie die Mobilitätswende, werden in den Kontext des aktuellen Gebäudebestandes gesetzt und ihr Potenzial zu den einzelnen Gebäudetypologien bewertet. Im Zuge der Mobilitätswende werden immer weniger Privatpersonen ein eigenes Fahrzeug besitzen. Aufgrund der daraus entstehenden geringen Automobildichte, können Parkhäuser rückgebaut oder ungenutzt werden. Die „Aussicht“ Parkhäuser für Aufstockungen zu verwenden ist demnach hoch. Weitere Faktoren sind hier auch die demographische Entwicklung auch in Bezug mit Migration, das Stadt-Land-Gefälle, die Veränderung der Arbeitswelt und viele weitere. Dabei wird auf eine tiefgreifende Analyse in dieser Arbeit verzichtet und auf weiterführende Literatur verwiesen.

Die niedrigste Bewertung erhält der Faktor „Erfahrung“. Darin werden freizugängliche Projektberichte bewertet, die zeigen, welche Gebäudetypologie sich bereits mit Aufstockungen bei Beibehaltung des Tragwerks auseinandergesetzt haben.

Die Auswertung durch die Bewertungsmatrix zeigt, dass eine Untersuchung von Mehrfamiliengebäuden angebracht ist. Eine Nachverdichtung erfolgt oft durch Aufstockung in dieser Gebäudetypologie. Weiterhin bestehen Wohnviertel in Innenstadtnähe heutzutage nahezu nur aus Mehrfamiliengebäude. Mittlerweile finden sich Mehrfamilienhäuser vermehrt in klassischen wenig verdichteten Wohngebieten. Das Energiewendemodul kann hier in allen seinen möglichen Varianten angewendet werden. Das garantiert eine zusätzliche planerische Flexibilität.

Die Bewertungsmatrix zeigt, dass es sich lohnt, die Aufstockungspotenziale für Parkhäuser genauer zu untersuchen: Parkhäuser finden sich in allen größeren deutschen Städten in einer zweistelligen bis dreistelligen Anzahl wieder. Besonders in den fünfziger und sechziger Jahren, in denen die individuelle Mobilität mit einem Privatfahrzeug auch das prägende Bild der Stadtentwicklung war, entstanden in den deutschen Innenstädten viele Parkhäuser. Im Zuge der Verkehrswende, die sich in den großen deutschen Städten anhand der verschiedenen Strategien zur Verminderung des Automobilverkehrs zeigt, werden Parkhäuser zunehmend aus dem Stadtbild verschwinden. Zum einen bieten Sharing Angebote deutlich geringere Standzeiten und sind für viele Stadtbewohner eine bewährte Alternative zum eigenen Fahrzeug, zum anderen werden kurze Wege wieder vermehrt mit dem Fahrrad absolviert, was sich auch an dem gesteigerten Umweltbewusstsein der Bevölkerung messen lässt. Zusätzlich werden Stellplätze und Fahrspuren dem Fahrradverkehr zugeordnet, was die Fahrt mit dem Fahrzeug auch unangenehmer machen soll. In einigen Städten werden auch die Stellplatzverordnungen im Baurecht gelockert, sodass auch hier weitere Flächen für die Nutzung wegfallen. Die Struktur von Parkhäusern ist ähnlich der von Bürobauten. Grundsätzlich werden diese in Skelettbauweise errichtet und bieten somit viel Flexibilität für Umnutzungen. Parkhäuser haben, aufgrund der hohen Lasten der Fahrzeuge, hohe Tragreserven.

Büro- und Verwaltungsgebäude prägen ebenso wie Mehrfamiliengebäude das Stadtbild großer Städte. Sie stellen mit knapp 324.000 Gebäuden in Deutschland die größte Gruppe der Nichtwohngebäude dar [DEN18]. Im Zuge der Veränderung der Arbeitswelt, die sich mit der Digitalisierung ankündigt, sowie der Umzug größerer Unternehmen in gut vernetzte Industriegebiete, gibt es immer wieder Leerstände in den Stadtzentren, die sich dem Wohnungsmarkt anbieten. Aufgrund der ähnlichen Erschließung wie bei Wohngebäuden sowie der

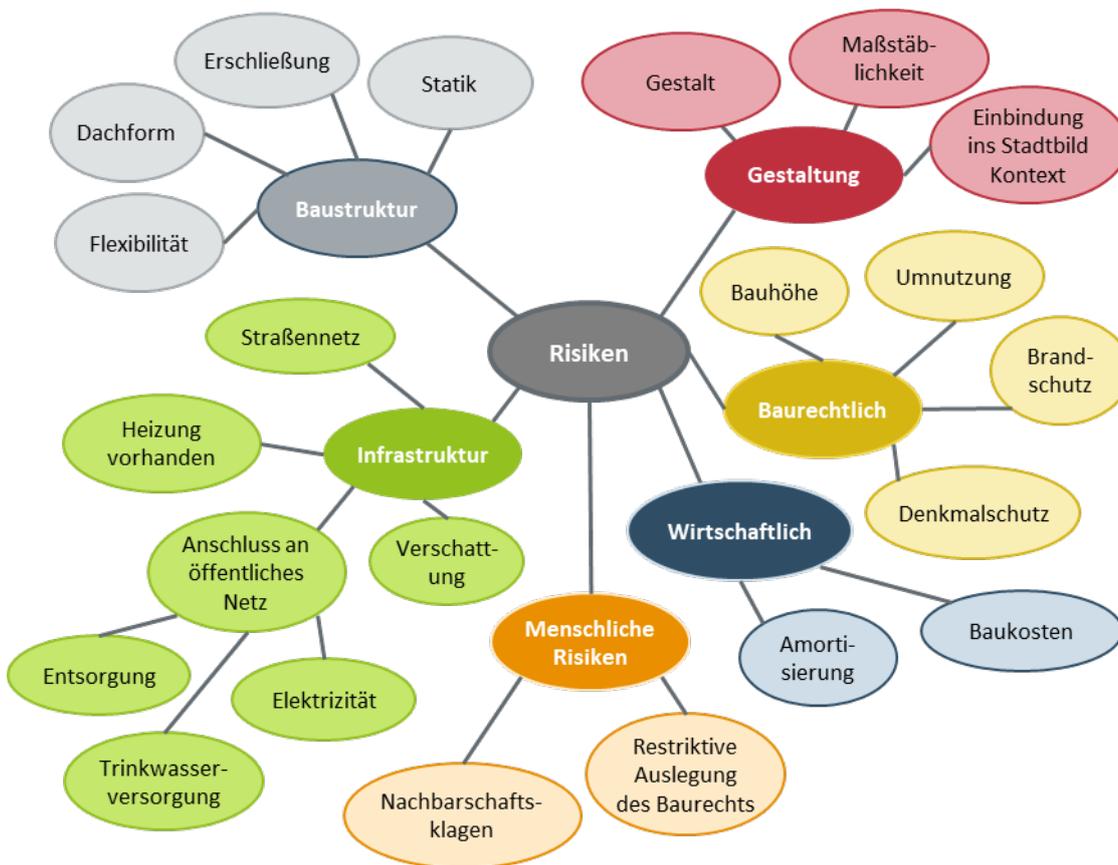
gängigen Konstruktion in Skelettbauweise lassen sich hier viele verschiedene Grundrisse einziehen. Je nach Modernisierungsstand des Bestandsgebäudes kann das Energiewendemodul in verschiedenen Varianten eingesetzt werden.

Zweifamilienhäuser sind bei der Grobanalyse ähnlich hoch bewertet wie die Büroimmobilien. Es ist allerdings unsicher, ob die Konstruktion der Zweifamilienhäuser ein weiteres Vollgeschoss trägt und ob ein weiteres Gebäude erschlossen werden kann. In vielen Fällen kann ein Bestandsersatz die bessere Alternative sein.

### 6.3 Feinanalyse

Als Ergebnis der Grobanalyse werden drei Gebäudetypologien genauer betrachtet: Mehrfamilienwohngebäude, Büro- und Verwaltungsimmobilien und Parkhäuser.

Abbildung 58: Potenzielle Projektrisiken (Quelle: ifeu, Mathias Sikora)



Analog zum Leitfaden der TU Braunschweig werden zunächst potentielle Risiken erkannt und bewertet, die bei der Planung und dem Bau von Aufstockungen/Energiewendemodulen entstehen können (Abbildung 58). Einige dieser Risiken lassen sich objektiv bewerten. Dazu gehören insbesondere die Baustruktur und die baurechtlichen Risiken. Diese werden im Zuge der Feinanalyse genauer betrachtet.

Bezüglich der menschlichen Faktoren wie Nachbarschaftsklagen und restriktiver Auslegung des Baurechts sind Risiken schwer qualitativ zu erfassen und werden in den Ergebnissen mit einem pauschalen Faktor beschrieben.

Risiken bezüglich der Infrastruktur spiegeln sich in den Baukosten wider und sind für jedes Projekt einzeln zu prüfen. Die Gestaltung der Energiewendemodule wird bei jedem Projekt anders sein. Bauherren und Planer werden individuelle Ideen zur Gestaltung des Energiewendemoduls haben. Außerdem hat das Bauamt Interesse, die Sanierung in das Stadtbild einzubinden. Wirtschaftliche Faktoren sind ebenfalls im Einzelfall zu prüfen und lassen sich qualitativ nicht einordnen.

### 6.3.1 Altersstruktur

Die Datenlage bei den Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden unterscheidet sich stark. Die Altersstruktur der Wohngebäude ist ausreichend untersucht (s. [IWU15] u.a.) und bedarf keiner weiteren Bearbeitung. Für Büroimmobilien wird der Ansatz des ifeu-Instituts und der Beuth Hochschule [BH15] übernommen. Dabei werden die Angaben der dena für die Gesamtzahl der Büroimmobilien [DEN18] verwendet. Beide Datenreihen werden anhand der statistischen Daten des Bundes bis zum Jahr 2018 weitergeführt.

Abbildung 59: Altersstruktur der untersuchten Gebäudetypologien in Deutschland

	MFH	Büroimmobilien	Parkhäuser
vor 1859	54.000	12.000	0
1860 - 1918	442.000	42.000	0
1919 - 1948	388.000	49.000	20
1949 - 1957	356.000	17.000	10
1958 - 1968	586.000	28.000	100
1968 - 1978	412.000	27.000	550
1979 - 1983	146.000	40.000	100
1984 - 1994	309.000	72.000	250
1995 - 2001	244.000	18.000	500
2001 - 2009	85.000	12.000	700
ab 2010	177.000	8.000	500
<b>Summe</b>	<b>3.199.000</b>	<b>325.000</b>	<b>2.730</b>

### 6.3.2 Tragwerk und Dachform

#### Nutzlasten

Bei Aufstockungsmaßnahmen ist der statische Zustand des Bestandsgebäudes bedeutend. Die Tragstruktur des Gebäudes muss die zusätzlichen Lasten der Energiewendemodule tragen und sicher in den Boden weiterleiten können. Im Einzelfall sind grundsätzlich die Bestandsunterlagen hilfreich. Dort sind die tragenden Elemente zu finden. Für die Gebäudetypologien Mehrfamilienhaus, Büroimmobilien und Parkhäuser sind die aktuellen und historischen Normen und Datenbanken historisch-genutzter Werkstoffen untersucht worden.

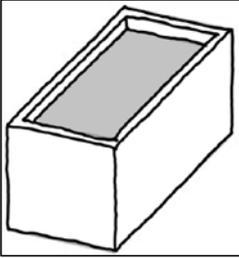
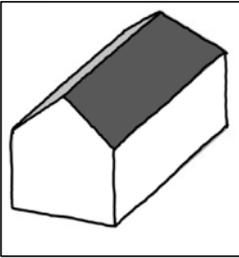
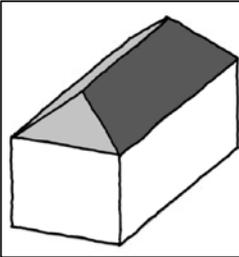
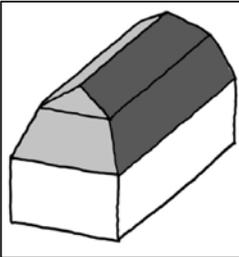
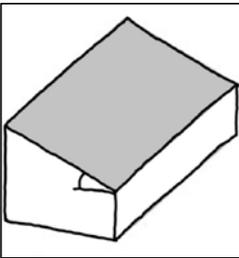
Grundsätzlich gelten für den Wohnungsbau die geringsten Anforderungen an das Tragwerk. Seit 1971 wird die Nutzlast mit 1,5 kN/m<sup>2</sup> bemessen. Davor wurden 2,0 kN/m<sup>2</sup> gefordert.

Dadurch bieten Mehrfamilienhäuser aus diesem Zeitraum grundsätzlich Tragreserven an. Für Büroimmobilien gelten seit 1951 derselbe Wert von  $2,0 \text{ kN/m}^2$ . Bei einer Umnutzung dieses Gebäudetyps zu Wohnungen bieten sich dadurch Tragreserven von  $0,5 \text{ kN/m}^2$  an. Das lässt Potentiale zur Aufstockungen zu. Bei Parkhäusern ist die Entwicklung drastischer als bei anderen Gebäuden. Die Anforderungen an die Nutzlasten wurden in den letzten Jahren gesenkt, sodass heutzutage leichtere Parkhäuser gebaut werden können. Parkhäuser, die vor 2006 erbaut wurden, besitzen dadurch enorme Tragwerksreserven und bieten sich optimal für Aufstockungen an.

### Dachformen

Aufbauend auf den Erkenntnissen der DIN EN 1991-1 und ihren Vorgängern werden die gängigen Dachformen von Mehrfamilienhäusern und Büroimmobilien bewertet. Parkhäuser haben hier eine Sonderstellung, da bei dieser Gebäudetypologie in der Regel das oberste Geschoss als Parkdeck genutzt wird.

Abbildung 60: Bewertung der typischen Dachformen für Aufstockungen. (eigene Darstellung ifeu nach [HR15])

Typ	Skizze		Bewertung
Flachdach		Flachdächer können mit vergleichsweise wenig Aufwand aufgestockt werden. Die neue Konstruktion wird einfach auf die vorhandene obere Geschossdecke aufgesetzt. Bei der Berechnung des Tragwerks ist darauf zu achten, auf welcher Grundlage das Dach bemessen wurde. Da keine Abtragung von altem Material erfolgt, können dort keine Tragwerksreserven gewonnen werden.	++
Satteldach		Bei Satteldächern ist auf die Konstruktionsweise des Daches zu achten. Handelt es sich um ein Pfettendach können durch die Mittelpfetten über Stützen Lasten auf tragende Innenwände übertragen werden. Bei Sparrendächern erfolgt die Lastübertragung ausschließlich über die Außenwände. Aufgrund der Verankerung der Sparren könnten dort wiederum erhöhte Windlasten aufgrund der Aufstockung abgetragen	+
Walmdach		Walmdächer werden grundsätzlich als Pfettendächer ausgebildet. Dadurch gelten ähnliche Randbedingungen wie für Satteldächer. Aufgrund des leichteren Dachstuhls verglichen zu Satteldächern, bleiben weniger Tragreserven durch Abtragung alter Lasten über.	+
Mansarddach		Mansardendächer werden oft dort aufgefunden, wo es schon einen ausgebauten Dachstuhl gibt. Es ist davon auszugehen, dass damit die übrigen Lastreserven aufgebraucht wurden. Für Aufstockungsmaßnahmen sind diese dadurch ungeeignet.	--
Pultdach		Bei Pultdächern ist zum einen auf die Neigung zu achten, zum anderen, ob der vorhandene Dachraum schon aufgestockt wurde. Je nach Neigung kann das Pultdach unter die Flachdachregelung fallen. Dadurch kann es dort zu höheren Reserven kommen. Bei höheren Neigung sind die Bereich im Dachgeschoss oft schon ausgebaut bzw. integriert worden in die vorhandenen Grundrisse.	-

Flachdächer finden sich dagegen besonders häufig in größeren Mehrfamiliengebäuden und Büroimmobilien wieder. Die nötige Raumlufttechnik wird oft auf dem Dach angeordnet, so dass sich ein Flachdach dank der höheren Wartungsflächen und der leichteren Erschließung anbietet. Aufgrund der benötigten höherwertigen Materialien, fand der erste richtige „Boom“ der Flachdächer bei kleineren Gebäuden in Deutschland in den 1960er Jahren statt.

Für Aufstockungsmaßnahmen bieten sich Flachdächer besonders durch ihre Konstruktion an. Die oberste Geschossdecke ist gleichzeitig der Abschluss des Bestands. Ist das Gebäude vor 2006 errichtet worden, finden sich auf diesen höheren Nutzlasten wieder als bei einer Wohnraumnutzung vorgesehen. Die zusätzlichen Windlasten durch die neue Gebäudehöhe müssen dann bei der Tragwerksplanung bewertet werden.

Zur Einordnung des Bestandes werden die Ergebnisse und Annahmen verschiedener Studien bezogen auf den Flachdachbestands Deutschland untersucht. Bei der Gesamtheit der Wohngebäude sind 91 % der Gebäude mit Steildächern ausgeführt worden und nur 9 % mit einem Flachdach [HK15]. Für Gewerbegebäude werden die Erkenntnisse der Studie „Photovoltaik auf Gebäuden: eine GIS-gestützte Ermittlung des Potenzials in Baden-Württemberg“ vom KIT [LJM17] eingerechnet. Dort wird mit einem Flachdachanteil von 33 % bei Gewerbe- und Produktionsgebäuden ausgegangen. Dabei wurden rund 2,8 Mio. Gebäudedaten aus Baden-Württemberg ausgewertet.

### Wind-/Schneelasten

Ausgehend von der Normung sind Aufstockungen auf niedrigen Gebäuden (8 – 15 m Höhe) gestattet, vorausgesetzt, diese Gebäude befinden sich nicht in windstarken Regionen der Kategorie 1 und 2. Daraus lässt sich schließen, dass es in küstennahen Regionen, besonders an der Nordseeküste, weniger Potentiale für Aufstockungen gibt als im Rest des Landes. Dadurch bleiben alle Ballungszentren, außer Bremerhaven und Rostock, innerhalb der gemäßigten Regionen.

Aus den Schneelasten lassen sich für die meisten Gegenden Deutschlands keine Einschränkungen für Aufstockungen erkennen.

### **6.3.3 Baurecht**

Bei Aufstockungsmaßnahmen erlischt in der Regel der Bestandsschutz, da wesentlich in die Struktur des Gebäudes eingegriffen wird. Deswegen geraten baurechtliche Anforderungen in den Fokus, die ein Bauvorhaben riskant erscheinen lassen können. Folgende Regelungen lassen sich als Hemmnis für die Sanierung mit Energiewendemodulen identifizieren:

- Stellplatzpflicht
- Einhaltung von Abstandsflächen
- Erhöhte Anforderung an das Gebäude durch Änderung der Gebäudeklasse nach Landesbauordnung
- Pflicht zum Einbau eines Aufzugs

Weitere Regelungen stellen für die Energiewendemodule aufgrund ihrer Konstruktion und Eigenschaften keine maßgeblichen Probleme dar. Besonders die Anforderungen zur Einhaltung des Gebäudeenergiegesetzes sollte aufgrund der energiesparenden und leichten Konstruktion der Module dem Bestandsbau zu Gute kommen. Für Nichtwohngebäude ist zu beachten, dass in reinen Industrie- und Gewerbegebieten Wohnraumbau prinzipiell nicht möglich ist. In Kerngebieten, die vorwiegend der Unterbringung von Handelsbetrieben und zentralen Einrichtungen der Wirtschaft, der Verwaltung und der Kultur dienen, ist Wohnraumbau wiederum nur in Ausnahmefällen zulässig. Dadurch bleiben viele Potentiale auf Büroimmobilien und Parkhäusern ungenutzt.

Ein weiteres Maß ist die Geschossflächenzahl, die das Verhältnis der Grundrisse aller Geschosse zur Grundstückfläche darstellt. In den großen Stadtzentren mit Mietskasernenbebauung waren Geschossflächenzahlen von 4,0 und mehr in Wohngebieten üblich.

### **Stellplatzpflicht**

In Deutschland ist die Stellplatzpflicht je nach Bundesland anders geregelt. Tendenziell muss bei der Planung von Aufstockungen Stellplätze berücksichtigt werden, da die Befreiung von der Stellplatzverordnung erst mit der Baugenehmigung erfolgen kann. Dadurch besteht in vielen verdichteten Städten das Risiko, dass Bauherren zurückschrecken in die Planung von Aufstockungen zu investieren, wenn die Baugenehmigung aufgrund des Mangels an Stellplätzen nicht erteilt werden könnte.

### **Einhaltung der Abstandsflächen**

Abstandsflächen müssen grundsätzlich auf dem eigenen Grundstück nachgewiesen werden. Ausgenommen davon sind Angrenzungen an öffentlichen Grundstücken wie Straßen, Wege oder Freiflächen. Die einzuhaltenden Abstandsflächen sind direkt abhängig von der Gebäudehöhe, weshalb sie bei einer Aufstockung dringend zu prüfen sind. Dabei sind vor allem Blockrandbebauung von dieser Regelung betroffen.

### **Erhöhte Anforderung durch Änderung der Gebäudeklasse**

Bei Aufstockung kann das Gebäude, je nach Bestand, in eine andere Gebäudeklasse fallen, wodurch sich die Anforderungen an das Gebäude selbst ändern können. Die Gebäudeklassen 1 und 2 unterscheiden sich in dieser Hinsicht nur dadurch, ob das Gebäude freistehend ist oder nicht. In Gebäudeklasse 3 gibt es keine Begrenzungen bei der maximalen Anzahl der Nutzeneinheiten und der Bruttogrundfläche. Die Gebäudeklasse 4 erlaubt Gebäude mit Nutzungseinheiten kleiner 400 qm bis zu einer Höhe von 13 m für das letzte Geschoss. Dabei gilt immer die Höhe des Rohfußbodens als Grenze. In Gebäudeklasse 5 fallen alle weiteren Gebäude, die nicht in die Sonderbauverordnung fallen. Gebäude, deren höchstes Geschoss eine Fußbodenhöhe von 22m und mehr erreicht gelten in Deutschland als Hochhäuser. Sie fallen somit unter die Hochhausrichtlinie, die weit höhere Anforderungen an den Brandschutz und an die Erschließung des Gebäudes erliegen.

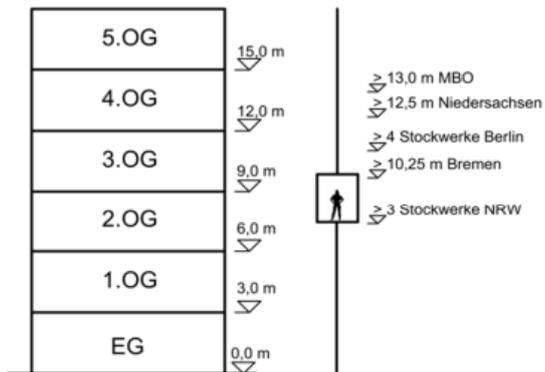
Die Energiewendemodule in Holzbauweise müssen zusätzlich zu den Anforderungen der Landesbauordnung die Vorgaben der Richtlinie für hoch feuerhemmende Bauteile in Holzbauweise erfüllen (HFHHolzR). Bauteile in Holzbauweise erfüllen die Anforderung feuerhemmend und hochfeuerhemmend im Sinne der HFHHolzR in der Regel ohne Schwierigkeiten. Eine feuerbeständige Ausführung von Holzbauteilen ist grundsätzlich nicht möglich. Das schließt eine Aufstockung mit Energiewendemodule in Gebäudeklasse 4 und 5 nicht prinzipiell aus, muss aber im Einzelfall durch den Brandschutzkonzeptersteller mit Hilfe von Kompensationsmaßnahmen ermöglicht werden.

Aufgrund der Bauweise der Energiewendemodule ist zu vermeiden, dass das Gebäude durch die Aufstockung in Gebäudekategorie 5 fällt.

Für die Aufstockung mit Energiewendemodulen bieten sich Gebäude an, die zwischen den 1950er und 1990er Jahren entstanden sind und eine Höhe von unter 10 Metern über Gelände aufweisen.

## Pflicht zum Einbau eines Aufzugs

Abbildung 61: Pflicht zur Einbau von Aufzügen nach Landesbauordnungen [TUB19]



Nach §39 Musterbauordnung (MBO) müssen in Gebäuden, deren Fußbodenoberkante des höchsten Geschosses bei 13 Meter über Geländehöhe und mehr liegt einen Aufzug aufweisen. Die meisten Bundesländer folgen hier der Musterbauordnung. In Berlin, Bremen, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen gibt es abweichende Regelungen, wie in Abbildung 61 dargestellt.

Bei Aufstockungsmaßnahmen ist davon auszugehen, dass für das Bestandsgebäude eine Nachrüstpflicht für Aufzüge gilt.

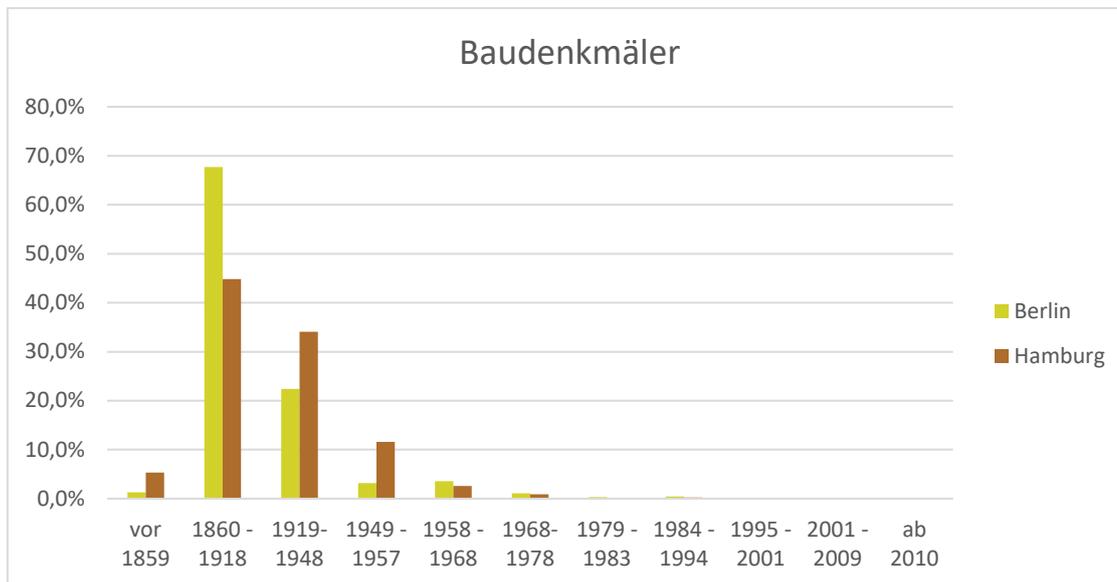
Für die Energiewendemodule bedeutet dies einen weiteren Kostenfaktor, der bei der Analyse zu beachten ist. Neben der Erschließung durch den Ausbau des Treppenhauses muss für viele Gebäuden ein Aufzug mit einkalkuliert werden.

### 6.3.4 Denkmalschutz

Ein weiteres Hindernis bei Aufstockungen ist der Denkmalschutz. Viele Gebäude, die vor 1945 erbaut wurden, stehen in Deutschland in irgendeiner Art und Weise unter Denkmal- oder Milieuschutz. Bei der Aufstockung mit Energiewendemodulen ist zu beachten, dass in jedem Einzelfall eine Betrachtung und Absprache mit den zuständigen Behörden von Nöten ist.

Ein Vergleich der Denkmaldatenbanken der Stadtstaaten Berlin und Hamburg zeigt ca. 25.000 denkmalgeschützte Gebäude.

Abbildung 62: Verteilung von Denkmälern bei Wohn- und Bürogebäuden nach Baualter in Hamburg und Berlin



Die meisten Baudenkmäler wurden vor 1945 gebaut (Abbildung 62).

Grundsätzlich schließt der Denkmalschutz eine Aufstockung nicht aus. Die damit verbundenen Auflagen können aber zu einem hohen Risiko werden. Das bedeutet, dass das größte Potential für Aufstockungen mit Energiewendemodulen in Gebäuden der 1950er liegt.

## 6.4 Ergebnis

Für die untersuchten Gebäudetypologien Mehrfamilienhaus, Büroimmobilien und Parkhäuser gilt, dass Gebäude, die zwischen 1958 und 1994 erbaut wurden, das größte Potenzial für Aufstockungen mit Energiewendemodulen haben. Auch im Bereich Tragwerk sowie Denkmalschutz lässt sich in der Zeit die höchste Menge potenzieller Gebäude finden. Diese Potenzialbetrachtung entspricht dem theoretischen Potenzial. Ohne eine genauere Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist das theoretische Potenzial möglich.

Für die Ermittlung des „technisch-wirtschaftlichen Potenzials“ wird angenommen, dass die Aufstockungen mit möglichst geringem Aufwand realisiert werden. Dadurch fallen Gebäude, die durch eine Aufstockung in Gebäudeklasse 5 fallen, weg. Gebäude mit zwei bis vier Vollgeschossen werden als höchstes Potential ausgewiesen. Außerdem soll die Bausubstanz möglichst weit erhalten bleiben. Deswegen werden in der weiteren Analyse nur Flachdächer für Aufstockungen in Betracht gezogen.

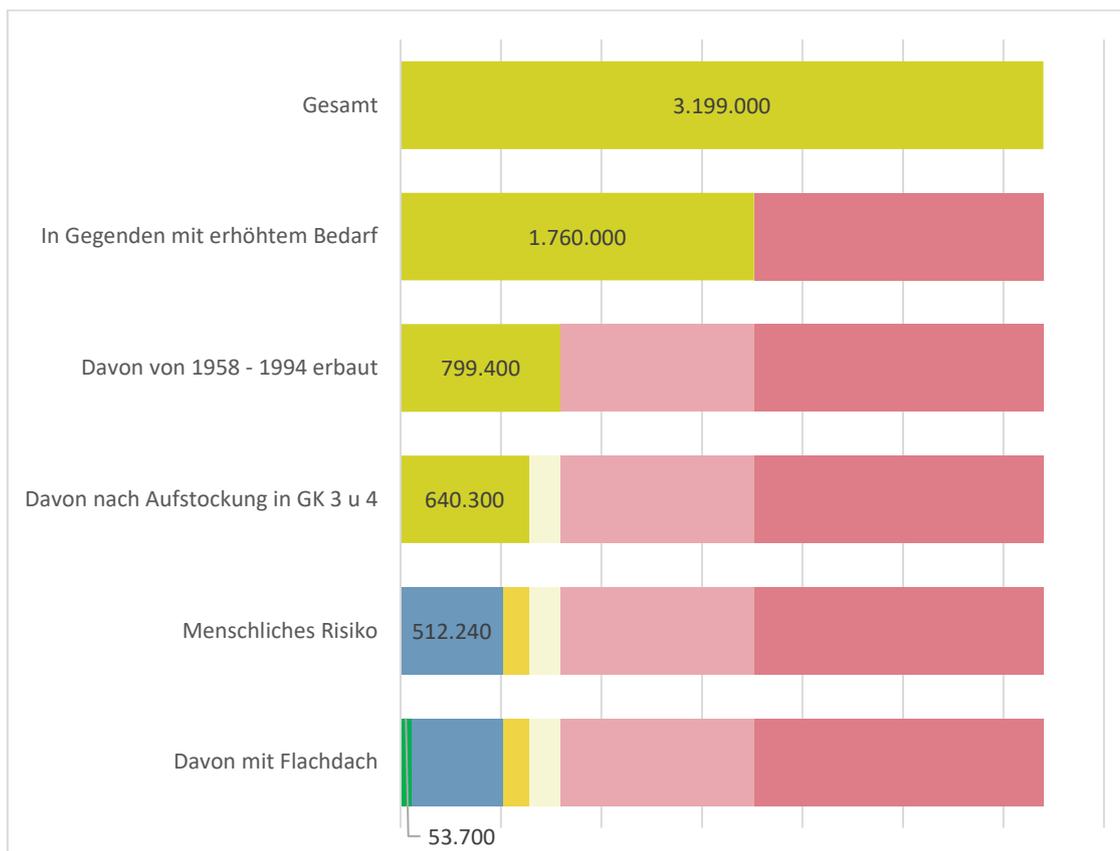
Um die absolute Menge der potenziell möglichen Energiewendemodule bestimmen zu können, müssen die für Aufstockungen geeigneten Gebäude in eine freie Dachfläche umgerechnet werden. Zur Ermittlung der durchschnittlichen Größen eines Moduls werden die durchschnittlichen Wohnungsgrößen pro Person mit dem der durchschnittlichen Haushaltsgröße pro Wohnung multipliziert. 2018 betrug die durchschnittliche Wohnfläche pro Person etwa 46,7 m<sup>2</sup> [DES19]. In Deutschland wohnen etwa 1,98 Personen in einem Haushalt [DES19]. Daraus ergibt sich eine Wohnungsgröße von 92,75m<sup>2</sup>. Zusätzlich ist die weitere Entwicklung im Wohnungsbau zu beachten. Verglichen zu 1960 wohnen 2018 mehr als doppelt so viele

Menschen in Einpersonenhaushalten – 41,9 % aller Haushalte. Der Anteil der Zweipersonenhaushalte hat sich von 26,5 % auf 33,8 % erhöht. Anfang der 2010er Jahre lag dieser Wert bei knapp 35 %. Wenn nur die beiden Haushaltsgrößen betrachtet werden, ergibt sich eine durchschnittliche Haushaltsgröße von 1,45 Personen. Diese Zahl wird mit der durchschnittlichen Wohnfläche pro Person in Deutschland multipliziert. Daraus ergibt sich eine Bemessungsgröße von etwa 75 m<sup>2</sup> pro Haushalt. Das wird als durchschnittliche Grundfläche eines Energiewendemoduls für die Potenzialermittlung zu Grunde gelegt.

### 6.4.1 Mehrfamilienwohngebäude

In Deutschland gibt es rund 3,2 Mio. Mehrfamilienhäuser. Davon befinden sich etwa 1,76 Mio. in Gegenden mit erhöhtem Wohnungsbedarf. 45 % dieser Gebäude wurden im Zeitraum von 1958 bis 1994 errichtet (Abbildung 63).

Abbildung 63: Potentialanalyse von Mehrfamilienhäusern für Energiewendemodule (grün = geeignetes Gebäude für die Aufstockung mit Energiewendemodulen)



Die Deutschland-Studie 2015 kam zum Schluss, dass etwa 60 % der Mehrfamiliengebäude zwischen 3 und 6 Wohneinheiten in ca. 4 Vollgeschossen beherbergen. 30 % der Mehrfamilienhäuser haben 7 bis 12 Wohnungen. Etwa zwei Drittel dieser Gebäude beinhalten ebenfalls bis zu 4 Vollgeschosse. Dadurch ergibt sich eine Gesamtzahl von knapp 640.000 Gebäuden. Der Unsicherheitsfaktor bei der Genehmigung wird hier mit 0,8 angenommen. Dieser Faktor beinhaltet mögliche Nachbarschaftsklagen und restriktiv ausgelegte Ermessungsspielräume der Behörde. Aufgrund der laufenden Debatten in der Wohnungspolitik sowie

dem dringenden Wohnungsbedarf ist der Wert optimistisch angesetzt. Die daraus resultierenden rd. 510.000 Gebäude stellen das Gesamtpotential für die Aufstockung mit Energiewendemodulen dar. Der Anteil von Mehrfamilienhäusern mit Flachdächern wird auf etwa 10 % angesetzt.

In Abhängigkeit der Gebäudetypologie und des Baualters ergibt sich nach Deutschland-Studie eine durchschnittliche Dachfläche von 173 m<sup>2</sup>. Es wird davon ausgegangen, dass nur ein zusätzliches Geschoss gebaut und nur 80 % der Dachfläche als Wohnraum genutzt werden kann. Es bleiben rd. 140 m<sup>2</sup> Fläche, die für Wohnraum nutzbar ist. Das entspricht 1,92 Energiewendemodule je Dachgeschoss.

Tabelle 30: Potential von Energiewendemodulen auf Mehrfamiliengebäuden

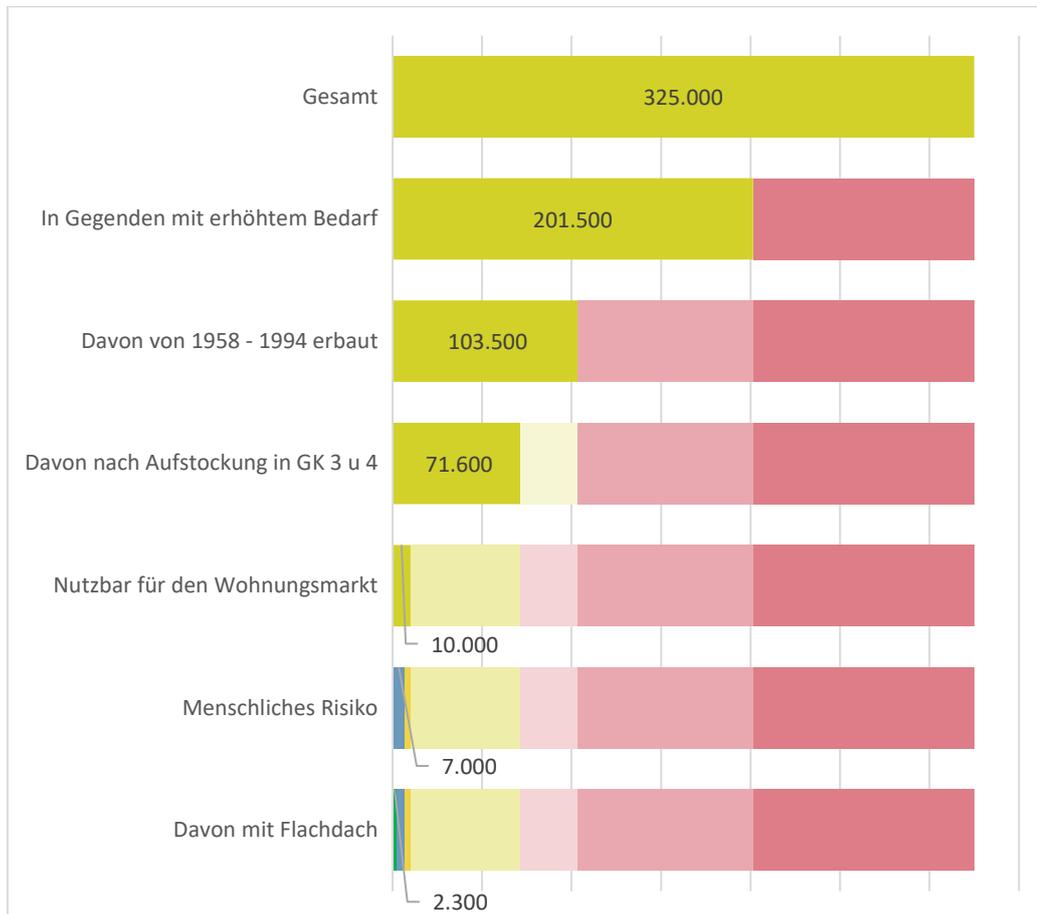
Wohnraumpotentiale	Auf Flachdächern	Techn.-wirts. Potential	1958 - 1994 erbaut
Anzahl der Gebäude	53.700	512.240	799.400
Potentiale zusätzliche Wohnfläche (m <sup>2</sup> )	<b>7.430.000</b>	<b>70.890.000</b>	<b>110.640.000</b>
Anzahl der Energiewendemodule	<u>103.200</u>	984.600	1.536.700

Insgesamt ergibt sich ein Potential von über 100.000 Energiewendemodulen in Regionen mit erhöhtem Wohnungsbedarf auf Flachdächern auf Mehrfamilienhäusern (Tabelle 30). Ohne Einschränkungen könnten insgesamt im Zuge einer Sanierung und des damit verbundenen Umbaus des Dachgeschosses knapp 1 Mio. Wohnungen mit Energiewendemodulen entstehen.

#### 6.4.2 Büro- und Verwaltungsgebäude

Von ca. drei Millionen Nichtwohngebäuden haben Büroimmobilien und Verwaltungsgebäude mit ca. 325.000 Gebäuden den größten Anteil. Etwa 62 % aller Büroimmobilien finden sich in Gegenden mit erhöhtem Wohnraumbedarf [TUP19]. 103.500 Gebäude wurden im Zeitraum von 1958 bis 1994 erbaut. Aus den ALKIS-Daten der Städte Münster, Berlin und Köln wird extrapoliert, dass knapp 69% dieser Gebäude in Gebäudeklasse 3 oder 4 fallen könnten, nach der Aufstockung. Voraussetzung: keine Nutzungseinheit ist größer als 200m<sup>2</sup>. Durch eine nachrüstbare Brandwand lässt sich im Bestand mit Nutzungseinheiten bis 400m<sup>2</sup>, die nach Gebäudeklasse 3 zugelassen sind, realisieren. Ein weiterer Minderungsfaktor ist die Tatsache, dass nur ein Bruchteil (ca. 14 %) des Gebäudebestandes für den Wohnungsmarkt zur Verfügung steht, aufgrund von Leerstand und dem Ort der Büroimmobilien (Abbildung 64).

Abbildung 64: Potentialanalyse von Bürogebäuden für Energiewendemodule (grün = geeignetes Gebäude für die Aufstockung mit Energiewendemodulen)



Eine reine Aufstockung mit Energiewendemodulen als Wohnraum kann bei nicht mischgenutzten Büroimmobilien genehmigungstechnisch aufwendiger werden. Das Risiko, dass einer Umnutzung in diesem Fall nicht zugestimmt wird, ist höher als bei einem Mehrfamiliengebäude. Genehmigungsbehörden wird unterstellt, dass sie neuen Wohnflächen konstruktiv gegenüberstehen, sodass ein Faktor von 0,7 angemessen erscheint (menschliches Risiko). Dadurch ergibt sich ein grundsätzliches Potential von knapp über 50.000 Gebäuden, auf denen eine Aufstockung mit Energiewendemodulen möglich wäre. Aus Lüth et al. ergibt sich eine Flachdachquote bei Bürogebäuden von knapp 33 % für Baden-Württemberg [LJM17]. Diese Zahl wird aufgrund der hohen Stichprobenzahl für ganz Deutschland angenommen. Daraus ergibt sich ein technisch-wirtschaftliches Potential von 2.300 Gebäuden.

Die Auswertung der Deutschland-Studie 2019 ermittelt eine durchschnittliche Dachfläche von 322 m<sup>2</sup> pro Gebäude. Analog zu den Mehrfamiliengebäuden wird eine Nutzbarkeit von 80 % für Wohnraum angesetzt. Bei den angenommenen 75 m<sup>2</sup> pro Modul ergeben sich daraus 4 bis 5 Wohnungen pro Gebäude.

Tabelle 31: Absolutes Potential von Energiewendemodulen auf Büro- und Verwaltungsgebäuden

Wohnraumpotentiale	Auf Flachdächern	Techn.-wirts. Potential	1958 - 1994 erbaut
Anzahl der Gebäude	2.300	7.000	103.500
Potentiale zusätzliche Wohnfläche (m <sup>2</sup> )	593.000	1.803.000	26662.000
Anzahl der Energiewendemodule	<u>8.200</u>	25.000	370.300

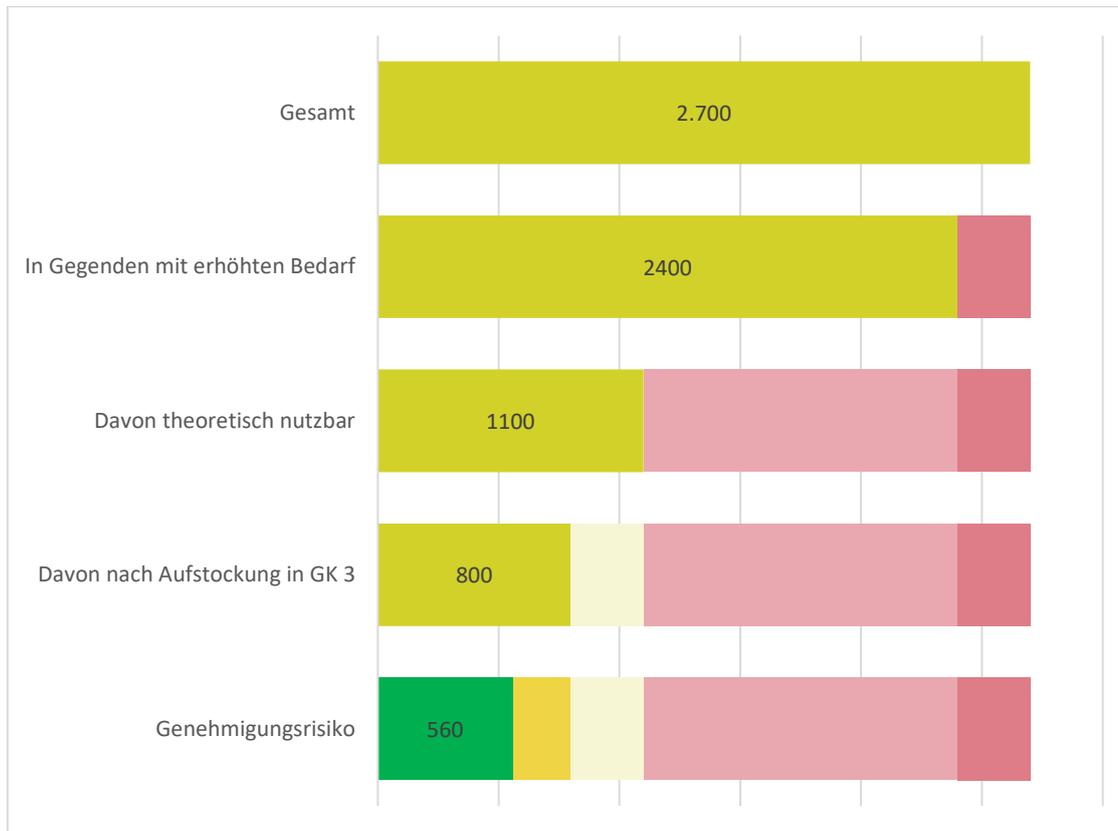
Auf Bürogebäuden mit Flachdächern lässt sich ein weiteres Potential von 8.200 Energiewendemodulen gewinnen. Weitere knapp über 17.000 Einheiten ließen sich im Zuge einer Aufstockung mittels Dachsanierung gewinnen, wenn beispielsweise nicht nur auf Flachdächern aufgestockt wird (Tabelle 31).

### 6.4.3 Parkhäuser

In Deutschland gibt es schätzungsweise zwischen 2.500 – 3.500 reine Parkhäuser. Anhand einer Stichprobenanalyse mit dem ADAC-Parkhausatlas wurden 13 deutsche Groß- und mittelgroße Städte (Köln, Düsseldorf, Düren, Aachen, Mönchengladbach, Bonn, Leverkusen, Neuss, Bielefeld, Münster, Hamburg, Schwerin und Kiel) auf ihre Anzahl von Parkhäuser und Stellplätzen überprüft. Die Überprüfung ergab, ohne P+R Anlagen, 184 reine Parkhäuser mit knapp 100.000 Stellplätzen.

Durch Interpolation wird die Anzahl der Parkhäuser auf ca. 2.700 geschätzt. Davon befinden sich etwa 90% in Ballungsräumen und Gegenden mit erhöhtem Wohnraumbedarf. Dabei bezieht sich die Zahl auf die stichprobenartige Untersuchung mit dem ADAC-Parkhausatlas, die für diese Arbeit vorgenommen wurde. Knapp über 40 % sind dabei für Aufstockungen nutzbar. Aus den ALKIS-Daten der drei untersuchten Städte ergibt sich, dass aus den verfügbaren 1.100 Parkhäusern noch etwa 800 Gebäude innerhalb der Gebäudeklasse 3 verbleiben könnten. Bei Aufstockung eines Parkhauses ohne kompletter Umnutzung zu einem Wohngebäude ist die Wahrscheinlichkeit nicht sehr hoch ist, dass die die Nutzungseinheiten in den unteren Geschossen unter 200 m<sup>2</sup> fallen würden. Dazu wäre ein erheblicher baulicher Eingriff in das Gebäude vorzunehmen. Der Faktor für das Genehmigungsrisiko wird analog zu den Bürogebäuden mit 0,7 abgeschätzt. Daraus ergeben sich rund 560 nutzbare Parkhäuser für den Wohnungsmarkt.

Abbildung 65: Potentialanalyse von Bürogebäuden für Energiewendemodule (grün = geeignete Gebäude für die Aufstockung mit Energiewendemodulen)



Die verfügbare Dachfläche pro Parkhaus wird aus den verfügbaren Stellplätze je Parkhaus und mit der Fahrspurbreite addiert. Anschließend wird durch die durchschnittliche Geschoszahl dividiert. Aus den ALKIS-Daten der Musterstädte ergibt sich eine durchschnittliche Geschoszahl von 2,6 je Parkhaus. Die Stellplatzbreite wird mit 2,3m bei einer Länge von 5 Metern angenommen, was dem aktuellen Richtwert für Parkplätze senkrecht zur Straße entspricht. Weiterhin wird angenommen, dass 2/3 der Parkhäuser einflügelig und 1/3 zweiflügelig aufgebaut sind, sprich, dass je Zufahrt einseitig oder zweiseitig Parkmöglichkeiten bestehen.

Die Anzahl der Stellplätze wird dabei aus der stichprobenartigen Untersuchung des ADAC-Parkhausatlas entnommen. Die untersuchten 185 Parkhäuser besitzen dabei insgesamt knapp 100.000 Stellplätze. Mit den oben genannten Parametern ergibt sich dabei eine durchschnittliche Parkdeckfläche von 3.839 m<sup>2</sup> auf dem obersten Parkdeck. Bei Parkhäusern gibt es grundsätzlich eine Erschließung des höchsten Geschosses mit Treppenhäusern und Großteils auch mit Aufzügen, weshalb von einer höheren Nutzung der Dachfläche ausgegangen werden darf. Ca. 85 % der Dachfläche werden als Wohnraumfläche ausgewiesen. Dadurch bleiben 3.263 m<sup>2</sup> für die Energiemodule zur Verfügung je oberstes Parkdeck.

Tabelle 32: Absolutes Potential von Energiewendemodulen auf Parkhäusern

Wohnraumpotentiale	Techn.-wirts. Potential	In GK3	Theoretisch nutzbar
Anzahl der Gebäude	560	800	1100
Potentiale zusätzliche Wohnfläche (m <sup>2</sup> )	<b>1.827.000</b>	<b>2.610.000</b>	<b>3.589.000</b>
Anzahl der Energiewendemodule	<b><u>25.400</u></b>	36.300	49.900

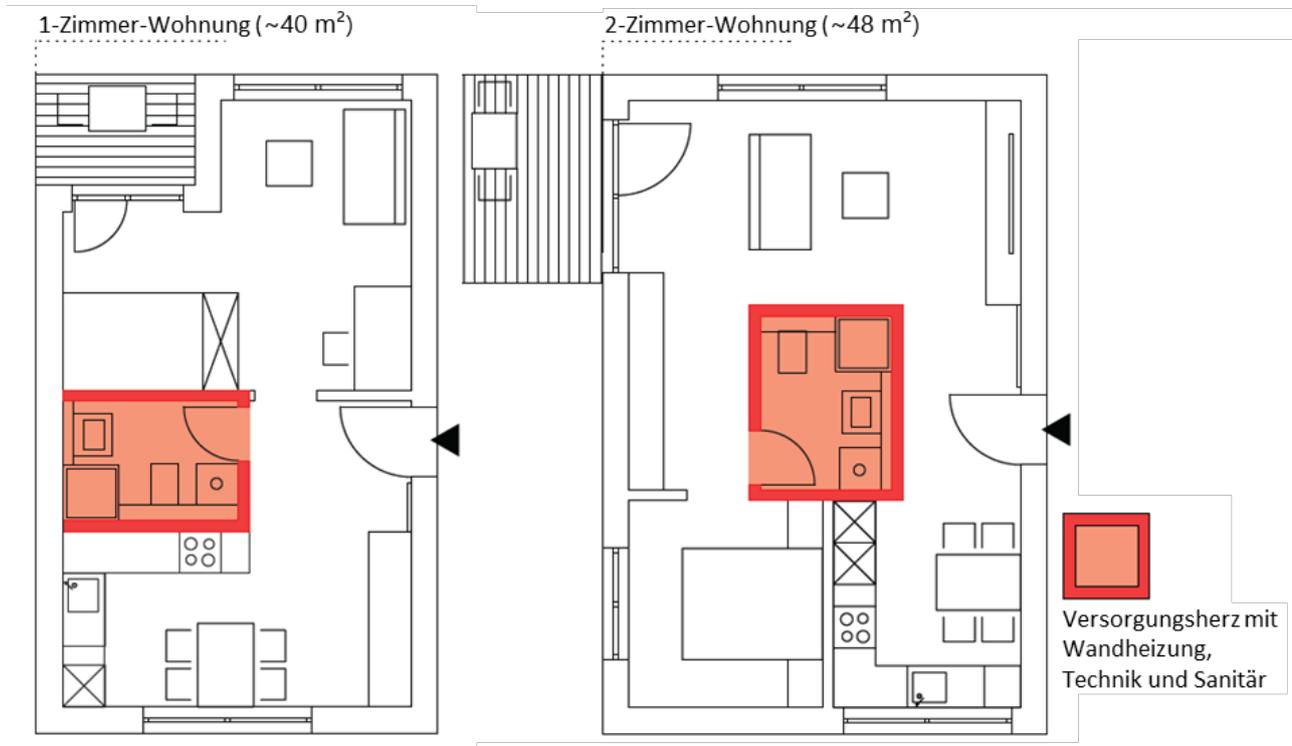
Zusätzlich könnten so auf Parkhäusern weitere 25.400 Energiemodule aufgestellt werden; wenn Kompensationsmaßnahmen (z. B. besondere Brandschutzmaßnahmen) ergriffen werden, sogar noch 10.000 Module mehr. Tatsächlich liegt das technisch-wirtschaftliche Potential verglichen zum theoretischen Potential hier am Höchsten im Vergleich zu den anderen Gebäudetypologien (Tabelle 32).

## 6.5 Flexible Wohnungsmodule

Das entwickelte Energiewendemodul soll nicht nur für den konkreten Anwendungsfall Sparkasse Kressbronn eingesetzt werden, sondern auch für andere Objekte als Aufstockung genutzt werden. Aufstockungen werden vor allem in Ballungsgebieten benötigt. Der Anspruch an Wohnraum in Ballungsbieten ist sehr heterogen, vermehrt werden aber 1-2-Raum Wohnungen benötigt.

Um die Vielfalt der Energiewendemodule zu zeigen, wurden weitere Wohnungstypen entworfen, mit denen Prototypen entwickelt werden können.

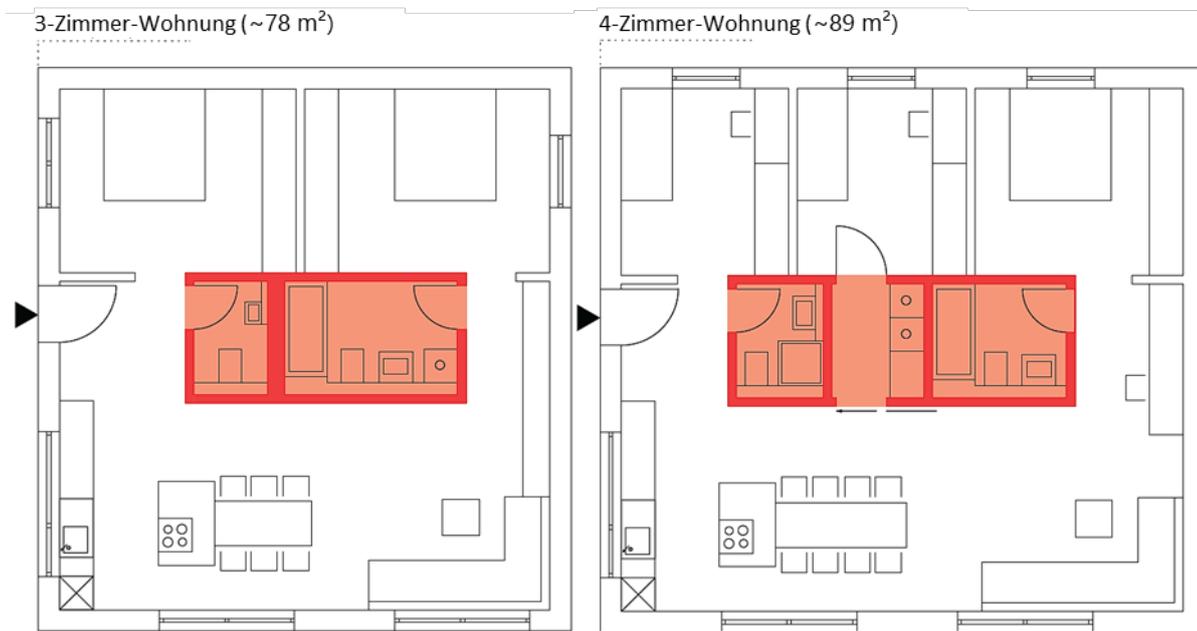
Abbildung 66: 1/2-Zimmer Wohnung (Quelle: BWS Architekten)



Der Flächenbedarf pro 1-2-Zimmer-Wohnung liegt nach der Planung der BWS Architekten zwischen 40-48 m<sup>2</sup>. Alle Leitungen sind zentral am Versorgungsherz angeordnet. Auch Wohnungen mit einer höheren Anzahl an Räumen sind als Energiewendemodule möglich.

Die Energiewendemodule werden nicht wie handelsübliche Grundrisse direkt mit einer Erschließung verbunden. Sie erfolgt über einen außengelegenen Weg, beispielsweise durch das Treppenhaus des Bestandsgebäudes, das in das Dachgeschoss ausgebaut wird.

Abbildung 67: 3/4-Zimmer Wohnung (Quelle: BWS Architekten)



Die verschiedenen Grundrisse können flexibel miteinander verbunden werden und schaffen damit Freiheiten in der Gestaltung von Energiewendemodullandschaften (Abbildung 68). Der Anteil der Außenwandfläche reduziert sich, wenn die Module direkt miteinander verbunden sind.

Abbildung 68: Kombination von einer 4-Zimmer- und einer 1-Zimmer-Wohnung



## 6.6 Anwendung des Energiewendemoduls auf weitere Projekte

### 6.6.1 Mehrfamilienhäuser

Es gibt einige Beispiele von Mehrfamilienhäusern in Ballungsgebieten die aufgestockt werden. Beispiele sind die Ideen von dem Architekten Sigurd Larson, der eine Art „Dachkiez“ für einen Mehrfamilienblock in Berlin entwarf.

Die Energiewendemodule inklusive Versorgungszentrum sind eine neue Variante für Aufstockungen. Das vorgefertigte Energiewendemodul kann mit seinem flexiblen technischen Konzept individuell auf Dachlandschaften gesetzt werden. Die Übertragbarkeitsanalyse in Kapitel 7 zeigt, dass 103.200 Energiewendemodule auf Mehrfamilienhäuser gebaut werden können. Dadurch entsteht ca. 7.430.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche.

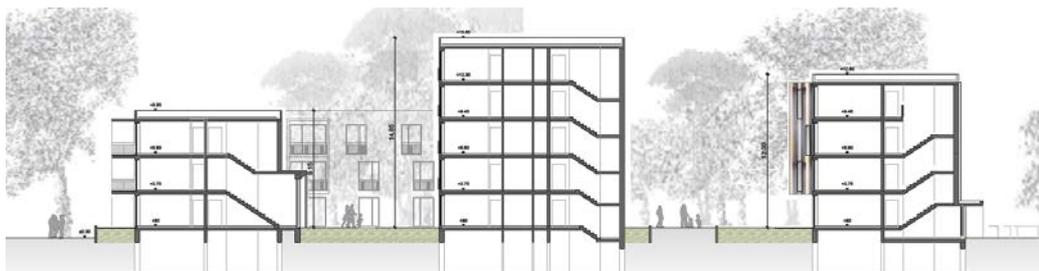
Das Ziel ist, einen Eindruck zu bekommen, wie Energiewendemodule zukünftig eingesetzt werden. Sie sollen dabei gestalterisch so angeordnet werden, um verschiedene Konzepte und die damit verbindende gestalterische Vielfaltigkeit zu zeigen.

Im Folgenden wird ein Beispiel-Wohnquartier virtuell mit Energiewendemodulen aufgestockt. Es handelt sich bei dem Quartier um ein reales Wohnquartier in Offenburg. Für die folgende Analyse spielt der Ist-Zustand der Bestandsgebäude keine Rolle. Es wird angenommen, dass alle notwendigen Konditionen wie Statik, Brandschutz, Denkmalschutzbedingungen etc. eingehalten oder erfüllt sind. Das Quartier kann sich demnach auch um ein Sanierungsobjekt handeln. Abbildung 69 zeigt den Lageplan des Wohnquartiers. Die vier Wohnblöcke haben unterschiedliche Maße und unterschiedliche Höhen (Abbildung 70).

Abbildung 69: Lageplan Sanierungsgebiet (Maßstabslos)



Abbildung 70: Schnitt durch das Gelände (Maßstablos)



## Dichte Bebauung

Das Konzept der „dichten Bebauung“ sieht vor, dass eine bestmögliche Verdichtung ermöglicht wird und die Dachflächen maximal ausgenutzt werden. Die Energiewendemodule werden dafür so arrangiert, dass sie direkt an der Erschließung auf dem Dach platziert werden. Der Bestands-Erschließungskern wird aktiviert und die Bewohner\*Innen der Module haben einen direkter und „trockener“ Zugang zu den Wohnungen.

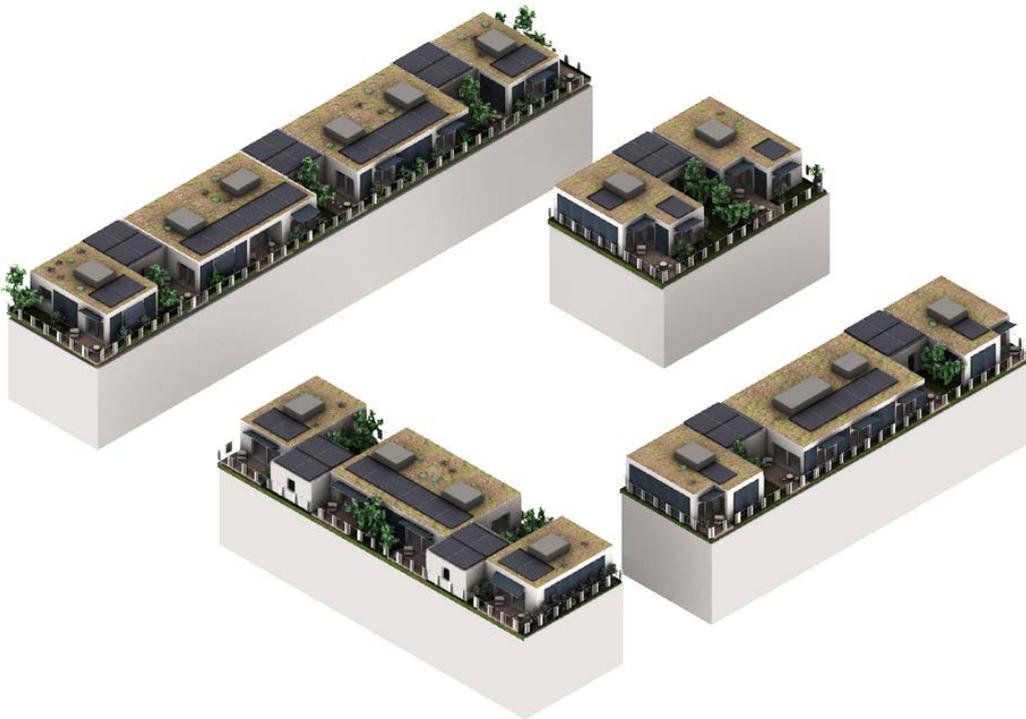
Trotz der dichten Bebauung sind die Wohnräume und Terrassen nach Süden ausgerichtet. Die Wohnqualität der Module wird weiter durch eine private Anordnung der Terrassen erhöht.

Abbildung 71: Grundriss der „dichten Bebauung“ (maßstabslos)(Quelle: BWS Architekten)



Abbildung 72: Isometrie der Energiewendemodule „dichte Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)

---



Die Dachflächen sowie Teile der Fassade der Energiewendemodule sind mit PV-Modulen ausgestattet.

Abbildung 73: Visualisierung der „dichten Bebauung“, Beispielfassade der Bestandsgebäude (Quelle: BWS Architekten)

---



Abbildung 73 zeigt die Energiewendemodule mit einer Beispielfassade der Mehrfamilienhäuser. Die Energiewendemodule sind in ihrer äußeren Gestaltung flexibel und können an unterschiedliche Entwürfe angepasst werden.

### Lockere Bebauung

In dem Konzept „lockere Bebauung“ werden die Energiewendemodule nicht möglichst platzsparend angeordnet, sondern locker und frei platziert. Die Module können dadurch flexibler geplant werden. Zwischen den Modulen werden Grünflächen geplant, sodass das Wohngefühl eines „Häuschen im Grünen“ mitten in der Stadt entsteht.

Abbildung 74: Grundriss der „lockeren Bebauung“ (maßstabslos) (Quelle: BWS Architekten)

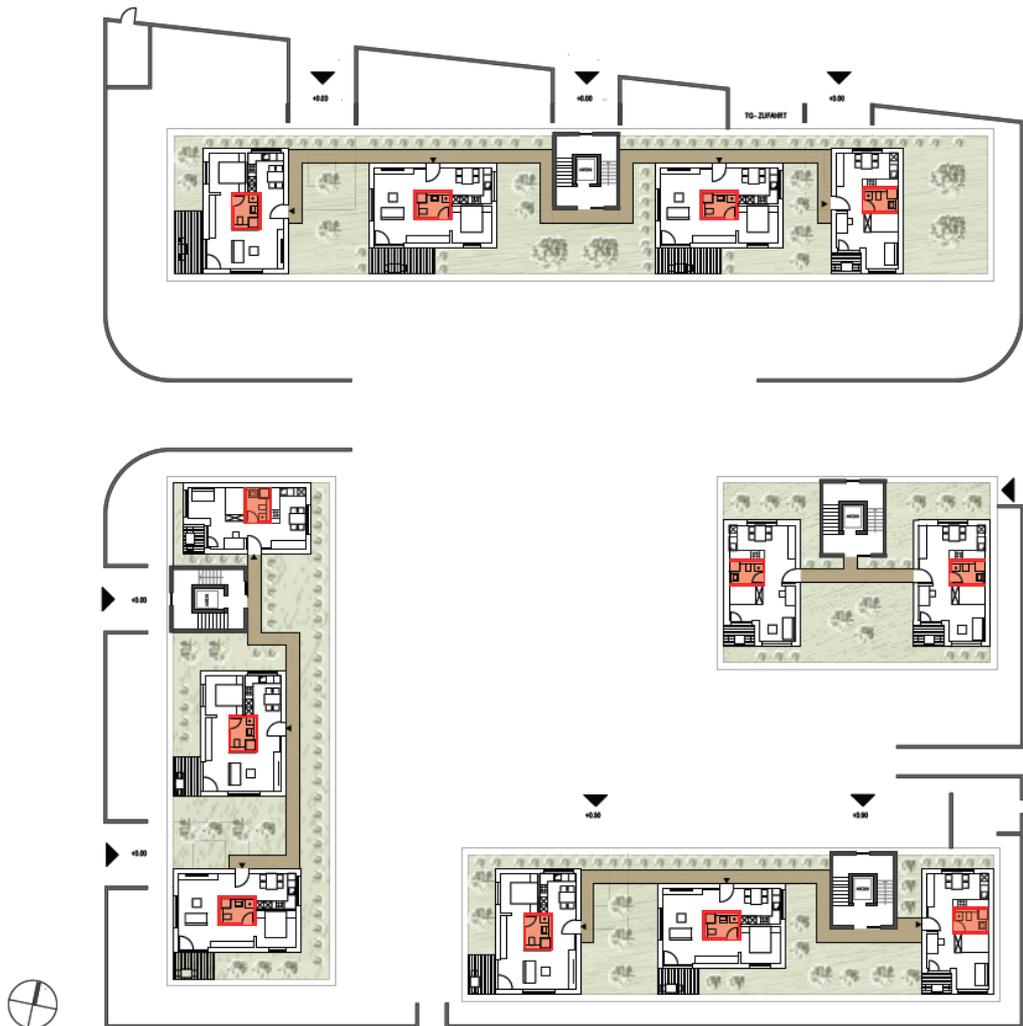


Abbildung 75: Isometrie der Energiewendemodule „lockeren Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)



Vorausgesetzt, dass der Brandschutz es zulässt, wird pro Dachfläche nur ein Erschließungskern des Bestandsgebäudes aktiviert, der die Erschließung der Module ermöglicht. Die Wege zu den Modulen und die Eingänge werden Richtung Norden, die Terrassen und Wohnräume Richtung Süden ausgerichtet.

Abbildung 76: Visualisierung der „lockeren Bebauung“, Beispielfassade der Bestandsgebäude (Quelle: BWS Architekten)



### Lockere Bebauung – Variation

In einer Variation der „lockere Bebauung“ wird der Fokus mehr auf daraufgesetzt, die Energiewendemodule von den Bestandsgebäuden abzugrenzen und die ökologischen Vorteile der Module sichtbar zu machen. Das wird durch eine Holzfassade und eine stärkere Integration von Solarthermie/PV/PVT ermöglicht. Außerdem wird der Gedanke „Dorfes auf dem Dach“ umgesetzt. Dazu werden die Module schubladenartig angeordnet (verspielt und streng) angeordnet.

Abbildung 77: Isometrie der Variante „lockeren Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)



Jedes Modul erhält einen Dachgarten. Die Dächer der Energiewendemodule werden als Terrasse genutzt, sodass Freiräume auf mehreren Ebenen geschaffen werden. Ein festintegrierter Sonnenschutz wird ebenfalls für PV genutzt. Der Techniküberstand der Module wird in die Dachterrasse integriert und zu Möbel umgewandelt, die sich zum Sitzen und Liegen eignen. Der Gedanke des Wohnens im Grünen wird noch weiter gestärkt. Die Module bieten auf vielen verschiedenen Ebenen mehr Kommunikationsfläche für die Bewohner\*innen.

Abbildung 78: Blick in den Garten der Energiewendemodule (Quelle: BWS Architekten)

---



Abbildung 79 zeigt die verschiedenen Ebenen der Energiewendemodule in der Variante der „lockeren Bebauung“. Die Gestaltung des Bestandsgebäudes wird durch die Energiewendemodule aufgewertet.

Abbildung 79: Ansicht eines Beispielsgebäudes mit den Energiewendemodulen in der Variante „lockere Bebauung“ (Quelle: BWS Architekten)

---



### Freie Bebauung

In dem Konzept „freie Bebauung“ werden die Energiewendemodule je nach Nachfrage frei platziert und erhalten damit noch mehr Gartenfläche. Die Module werden um ein Stockwerk erweitert, das als Galerie dient. Das Wohngefühl und die Exklusivität steigert sich.

Abbildung 80: Grundriss der „freien Bebauung“ (maßstabslos) (Quelle: BWS Architekten)

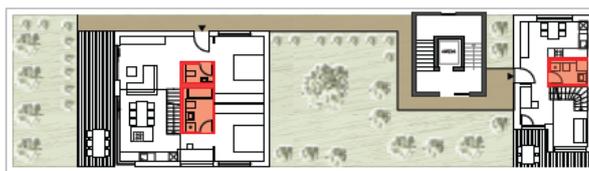
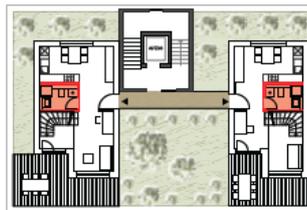
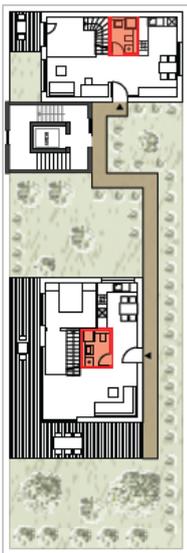
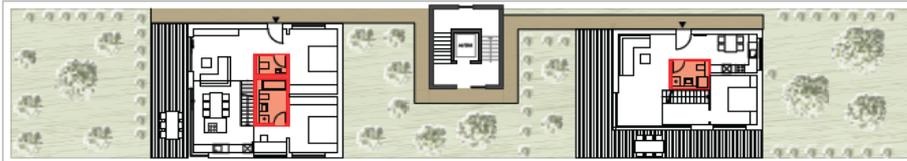
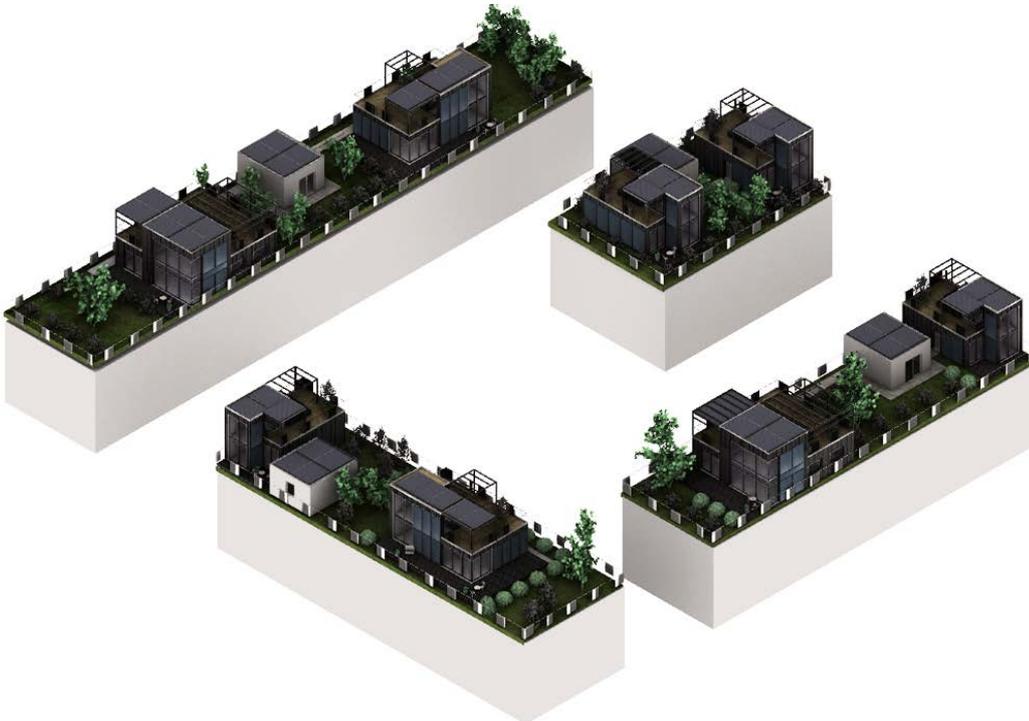


Abbildung 81: Isometrie der Variante „freien Bebauung(Quelle: BWS Architekten)“

---



Wie in der Variante „lockere Bebauung“ wird nur ein Erschließungskern pro Gebäude aktiviert. Die Wege und Eingänge sind nach Norden und die Wohnräume sowie Terrassen nach Süden ausgerichtet.

Abbildung 82: Visualisierung der „freien Bebauung“, Beispielfassade der Bestandsgebäude (Quelle: BWS Architekten)

---



## 6.6.2 Parkhäuser

In der Übertragbarkeitsanalyse wurden neben Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude auch Parkhäuser für die Analyse ausgewählt. Die Übertragbarkeitsanalyse in Kapitel 8 zeigt, dass 1.827.000 m<sup>2</sup> Wohnraum auf Parkhäusern ermöglicht wird. Besonders die autarke Variante der Energiewendemodule ist hier für den Einsatz geeignet: die Versorgung mit Wärme und Warmwasser erzeugt das Energiewendemodul selbst. Nur die Versorgung von Kaltwasser, Abwasser und Strom erfolgt über das bestehende Parkhaus.

Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft wie eine Aufstockung von Energiewendemodulen auf Parkhäusern aussehen kann. Als Beispiel wurde das Züblin-Parkhaus in Stuttgart gewählt. Wie in den meisten Großstädten ist auch in Stuttgart der Wohnungsmarkt angespannt: die Mieten sind hoch und es gibt zu wenige Wohnungen auf dem Markt. Das Parkhaus steht in der Stadt, sodass eine Erweiterung des Parkhauses exklusiven und begehrten Wohnraum bietet. Aufgrund der Verkehrswende und dem immer größer werdenden Angebot an alternativen Verkehrsmöglichkeiten, werden zukünftig weniger Parkflächen benötigt. Für Umbauten und Aufstockungen sind Parkhäuser daher geeignet.

Für die Untersuchung wurde ein 3D-Modell eines modellhaften Parkhauses gebaut, um die Energiewendemodule besser zu planen (Abbildung 83).

Abbildung 83: Züblin-Parkhaus in Stuttgart (Quelle: Niels Schubert)<sup>1</sup> mit einem Beispiel-3D-Modell eines Parkhauses (Quelle: BWS Architekten 2021)



Abbildung 84 zeigt, dass auf dem Beispiel-3D-Modell des Parkhauses drei Energiewendemodule in einer freien Bebauung aufgestellt werden. Die restliche Fläche des Parkhauses wird begrünt und dient als Garten. Gleichzeitig verbessert die begrünte Dachfläche das Stadtklima.

<sup>1</sup> ©Nils Schubert „Parkhaus ZÜBLIN“. Das Motiv entstand im Rahmen eines Bilderkanons für die Kommunikation der IBA'27.

Abbildung 84: Entwicklung Parkhaus mit verschiedenen Varianten der Energiewendemodule (BWS Architekten 2021)

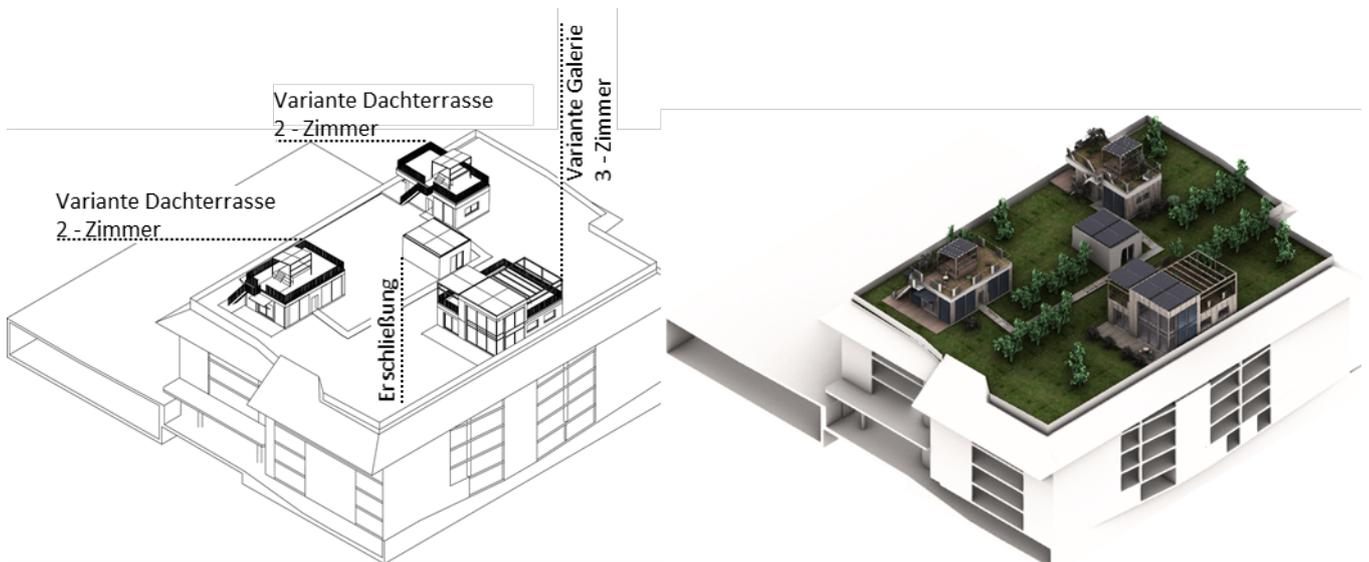
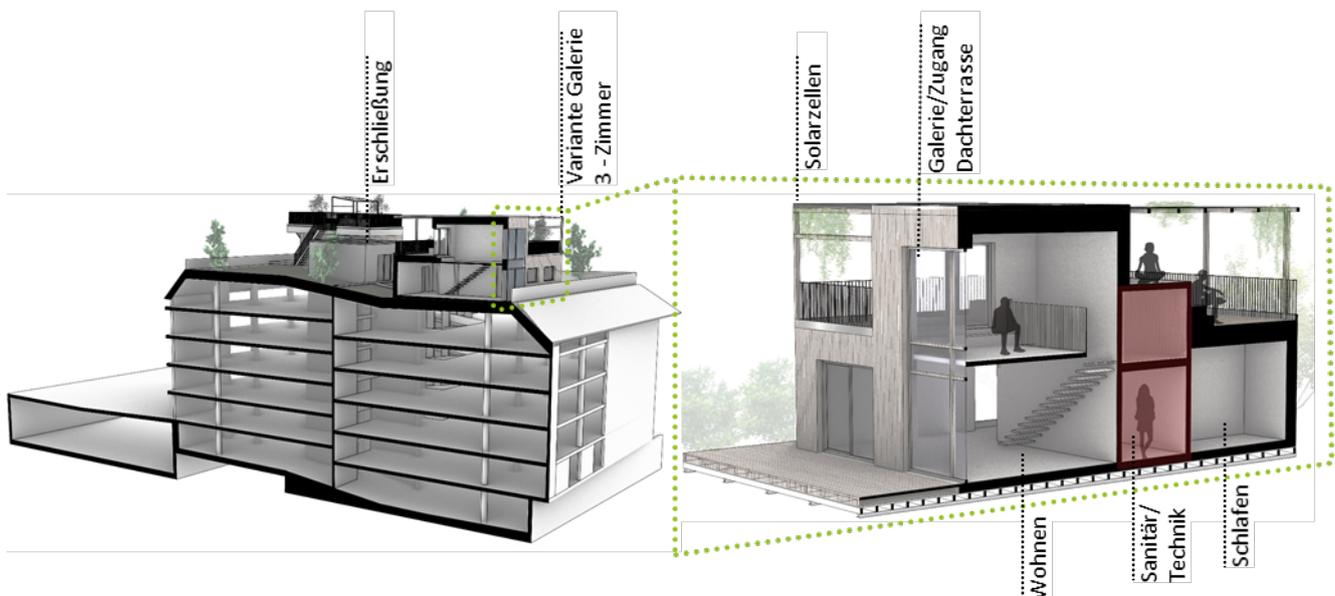


Abbildung 85 zeigt das Energiewendemodul als Galerie-Variante. Das Versorgungsherz ragt in die zweite Etage und wird wie bei den Mehrfamilienhäusern als Sitz- und Liegeflächen genutzt. Durch eine Verlängerung des Versorgungsherz kann sich das Energiewendemodul über mehrere Etage strecken, wie auf Abbildung 85 dargestellt. Der Bau von einem Energiewendemodul zwei Etagen ist möglich.

Abbildung 85: Schnitt durch das Parkhaus und Galerie-Energiewendemodul (BWS Architekten 2021)



Eine Umsetzung der Energiewendemodule auf dem Züblin-Parkhaus in Stuttgart zeigt Abbildung 86. Die Energiewendemodule werden in unterschiedlichsten Varianten auf dem Parkhaus gesetzt. Durch eine Neugestaltung der Fassade mit Pflanzen erhält das Parkhaus eine neue Architektursprache und wird so zu einem Highlight in der Stadt.

Abbildung 86: Visualisierung der Energiewendemodule und Neugestaltung der Fassade des Züblin-Parkhauses (BWS Architekten 2021) (Quelle: Niels Schubert)



## 7 Ökobilanz der Energiewendemodule

---

Im vorletzten Arbeitsschritt dieses Projekts wird eine Ökobilanz der Energiewendemodule erstellt. Die Ökobilanz bilanziert die mit einem Produkt oder einer Dienstleistung aufkommenden Umwelteinwirkungen. Dabei wird möglichst der gesamte Lebensweg eines Produktes, von der Rohstoffgewinnung, über die Energienutzung und Materialherstellung zur aktiven Nutzung und Anwendung, bis zur Entsorgung beziehungsweise des Rückbaus, Abfallbehandlung sowie -trennung und zur endgültigen Beseitigung bilanziert.

Gerade der Anteil der grauen Energie<sup>1</sup> rückt in den Fokus der Ökobilanz, da besonders bei effizienten Gebäuden der geringe Energieverbrauch für Wärme den vermeintlich hohen Energieeinsatz zur Herstellung des Gebäudes gegenüberhalten wird.

Der Anteil der grauen Energie wird in Zukunft steigen, weil der Energieverbrauch der Gebäude sinkt und weil der EE-Anteil zur Wärmeversorgung zunimmt. Gleichzeitig wird der Anteil auch steigen, weil der EE-Anteil bei der Dämmstoffproduktion zunimmt und Produktionsweisen und Recycling verbessert werden.

Das Ziel der Analyse ist ein Überblick über den Lebenszyklus des Energiewendemoduls herzustellen, die Nutzungs- und Herstellungsphase zu vergleichen und dabei zu überprüfen welche der Versorgungsvarianten ökobilanziell am besten abschneidet.

Beispielhaft wird das Energiewendemodul Süd ökobilanziell untersucht.

Das autarke Energiewendemodul Süd besitzt im Vergleich zu den anderen Modulen die aufwendigste Anlagentechnik. Basierend auf der Analyse in Phase 3 werden die drei effizienten Anlagensysteme untersucht:

1. **Luft-Wärmepumpe mit PV**, beispielsweise: Viessmann vitocal 200-S 201.B04, 7 m<sup>2</sup> PV-Anlage 5 x 180 W polykristallin
2. **Sole-Wasser-Wärmepumpe mit PVT**, beispielsweise: Viessmann vitocal 300-G, 8 m<sup>2</sup> PVT-Kollektor (Consular Solink)
3. **Infrarotheizung mit PV**, beispielsweise: Infrarotheizung, 7 m<sup>2</sup> PV-Anlage 5 x 180 W polykristallin

Weitere Elemente die in der Ökobilanz berücksichtigt werden, sind:

- Konstruktion mit Holzelementen, Baufritz-Dämmstoff, Bodenplatten usw.
- Lüftungsanlage mit 150 m<sup>3</sup>/h.
- Warmwasserspeicher 200 Liter

---

<sup>1</sup> Graue Energie bezeichnet den Anteil der nichterneuerbaren Primärenergie, die notwendig ist, ein Gebäude zu errichten.

- Hygienespeicher 560 l (außer bei Variante 3)
- Fußboden bzw. Wandheizung (außer bei Variante 3)

Im Energiewendemodul wird die von Baufritz entwickelte Hobelspandämmung „Hoiz“ verwendet. Bei dem Dämmstoff handelt es sich um Hobelspäne, die beim Hobeln verschiedener Weichholzarten aus nahegelegenen regionalen Sägewerken entstehen. Verwendet werden vor allem Fichte in reiner Sortierung, eventuell kleine Restmengen von Tanne und Kiefer. Als Flammschutzmittel und gegen Schimmelpilz werden die Späne mit Molke und Soda imprägniert [BAU18]. Alle anderen Bauteile sind ebenfalls Holzbauteile, die von Baufritz selber hergestellt werden.

Die Sachbilanz wird mit den von Baufritz zur Verfügung gestellten Daten, der ÖKOBAU-DAT in der Version 2020-II sowie der untersuchten Haustechnik aufgestellt. Dabei dient das eLCA-Tool des Bundesinstituts für Bau- Stadt- und Raumforschung als Werkzeug. Mit diesem Tool lassen sich Wand- und Deckenaufbauten leicht darstellen.

Die Mengenbilanz unterscheidet sich bei den Varianten nur durch die eingesetzte Gebäudetechnik.

Die funktionelle Einheit der Untersuchung ist ein Jahr Leben in einem Energiewendemodul, also Nutzung des Moduls über ein Jahr und Herstellung, die auf ein Jahr abgeschrieben wird.

Die Übersichtsökobilanz wird auf drei Umweltwirkungskategorien begrenzt:

- Treibhauseffekt: Luftemissionen fossiles Kohlendioxid, Methan, Lachgas
- KEA: nicht-erneuerbar kumulierter Energieaufwand = Heizwert aller eingesetzten Materialien inklusive erneuerbare Energie
- Versauerung: Luftemissionen SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Ammoniak, Säuren

Der Energieträger für alle Varianten der Anlagentechnik ist Strom, daher ist es besonders wichtig, die richtigen Umweltwirkungen von Strom zu definieren. Der steigende Anteil von erneuerbarer Energie im Strommix sorgt dafür, dass die Umweltwirkungen von Strom besser werden. Verwendet wird der **ifeu-Strommix für das Jahr 2018 (544 g/kWh)**, um eine Bilanz für den Status Quo zu erstellen.

## Ergebnisse

Abbildung 87 zeigt die Treibhausgasemissionen in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Jahr der drei Varianten des Energiewendemodul Süd. Durch die Solar-Anlagen in allen drei Systemen wird der Teil der Stromeinspeisung und –Eigennutzung mit Gewinnen, also als Gutschrift bewertet. Der Anteil der Treibhausgasemissionen an der Herstellung der Haustechnik und der Module ist im Vergleich zu dem Anteil an der Wärmeerzeugung, Heizung und Lüftung gering. Bedingt durch die umweltfreundlichen Baustoffe ist der Anteil der Herstellung an den gesamten Umweltwirkungen gering.

Besonders die Infrarotheizung + PVT hat einen hohen Anteil von Treibhausgasemissionen durch die Wärmeversorgung, obwohl der Anteil der Herstellung der Haustechnik im Vergleich zu den beiden anderen Varianten geringer ausfällt.

In Summe hat Variante 2 (Sole-Wasser-Wärmepumpe mit PVT) die geringsten Treibhausgasemissionen.

Abbildung 87: Treibhausgasemissionen in kg CO<sub>2</sub>-Äquiv. pro Jahr

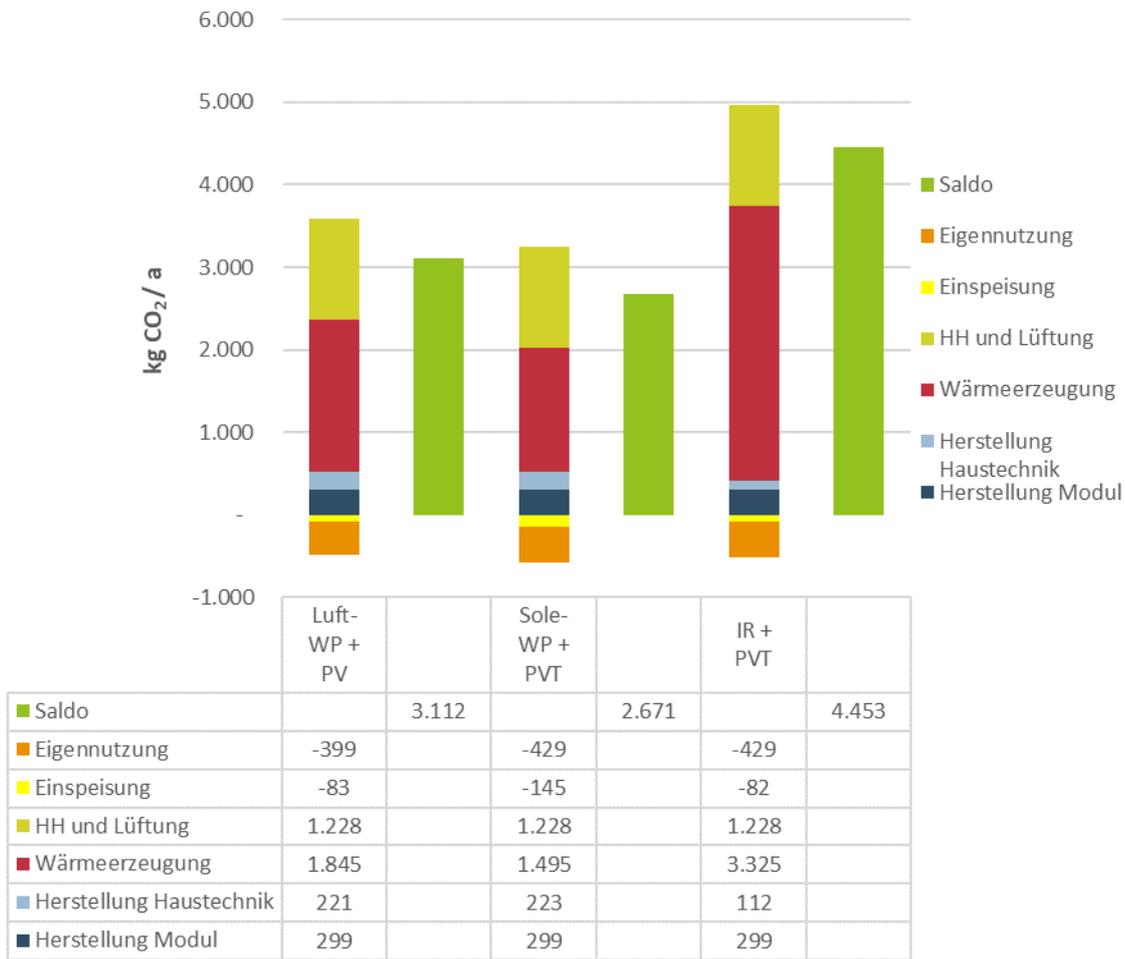


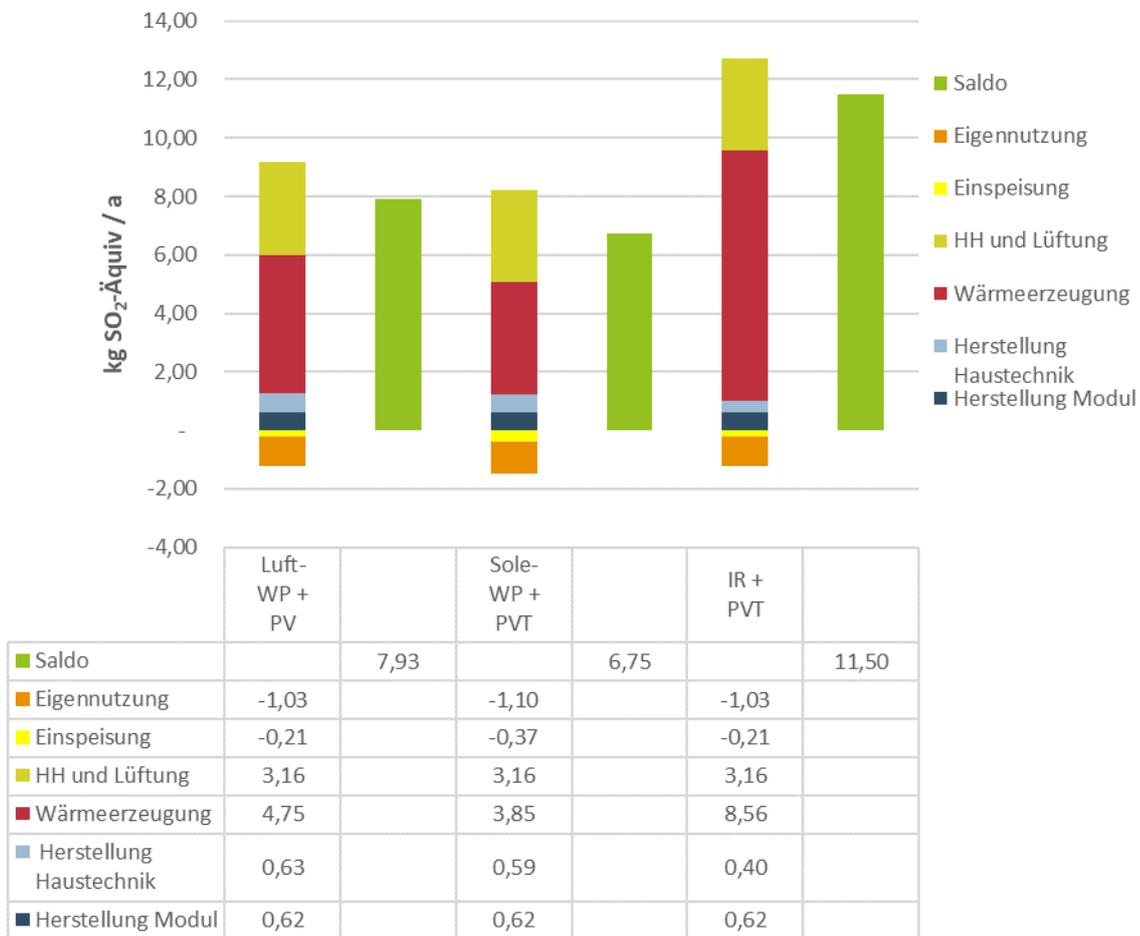
Abbildung 88 zeigt den kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand in kWh pro Jahr (kurz KEA) von allen drei Varianten. Ähnlich wie bei den Treibhausgasemissionen hat Variante 2 den geringsten KEA.

Abbildung 88: Kumulierter nicht erneuerbarer Energieaufwand in kWh pro Jahr



Abbildung 89 zeigt die Versauerung in kg SO<sub>2</sub>-Äquiv. pro Jahr. Auch hier hat Variante zwei die geringste Umweltwirkung.

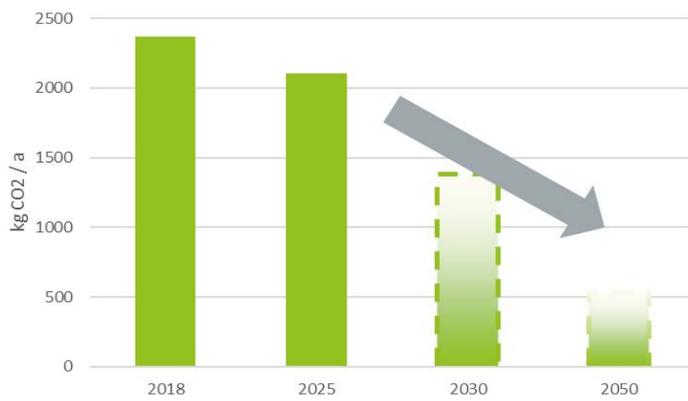
Abbildung 89: Versauerung in kg SO<sub>2</sub>-Äquiv. pro Jahr



Basierend auf der Ökobilanz der drei Varianten des Energiewendemoduls Süd kann die Variante 2 (Sole-Wasser-Wärmepumpe mit PVT) für eine Nutzung empfohlen werden.

Zukünftig werden die Umweltwirkungen der Variante 2 noch geringer, da sich der Anteil der erneuerbaren Energien im Strom erhöht und beispielsweise auf die Treibhausgasemission einen positiven Einfluss haben (Abbildung 90).

Abbildung 90: Entwicklung des Saldos der Treibhausgasemissionen in kg CO<sub>2</sub>-Äquiv. pro Jahr für Variante 2



# 8 Politikinstrumente zur Stärkung von Aufstockung, Nachverdichtung und Vorfertigung

---

## 8.1 Einleitung

Die Übertragbarkeitsanalyse hat gezeigt, dass ein beträchtliches Potenzial besteht, mit Aufstockungen einen Beitrag zur Wohnflächenschaffung, zur Diversifizierung des Wohngebäudebestandes, zur sozialen Durchmischung [BBS16] bei gleichzeitiger energetischer Verbesserung des Gebäudebestandes zu erreichen.

Das folgende Kapitel analysiert, welche Barrieren, die sich aus existierenden politischen Instrumenten ergeben, abgeschafft werden sollten, bzw. welche förderlichen Maßnahmen Aufstockungen voranbringen könnten. Dazu werden zunächst vorhandene Veröffentlichungen im Themenumfeld ausgewertet, synoptisch zusammengestellt, mit den Praxiserfahrungen der Projektteilnehmer gespiegelt und anschließend kurz bewertet.

Die Prämisse lautet: Aufstockungen erfolgen städtebaulich sensibel, in einem partizipativen Verfahren mit den Nachbarn und unter Berücksichtigung der baukulturellen, sozialen und räumlichen Gegebenheiten (siehe hierzu [TUB19]).

## 8.2 Instrumente

Allgemeine politische Forderungen zur Verbesserungen der Rahmenbedingungen für Aufstockungen wurden in verschiedenen politischen Papieren erhoben. Die Grünen fordern in einem „Hunderttausend Dächer und Häuser Programm“ die Förderung des Ausbaus von bis zu 100.000 Dächern und die Modernisierung leerstehender Wohnungen [BT-Dr. 19/6499]. Die FDP formuliert einen Antrag „Wohnungsmangel bekämpfen – Dachgeschosse nutzen“ [BT-Dr. 19/6219]. Insgesamt wird festgestellt, dass verschiedene Regularien, insbesondere das Bauordnungsrecht, noch in dem Leitbild der „gegliederten und aufgelockerten Stadt“ beruhen [TUP19] und dass folgerichtig Anpassungen erforderlich werden, die Nachverdichtungen und Nutzungsmischungen möglich machen.

Dabei ist zu beachten, dass Instrumente auf unterschiedlichen Governance-Ebenen wirksam werden. Änderungen sind insbesondere auch in den Landesbauordnungen erforderlich. Diese können auf Bundesebene nicht vorgegeben werden; allerdings sind Vorschläge in einer Musterbauordnung möglich. Tabelle 33 stellt eine Reihe von Vorschlägen zusammen, kennzeichnet die Governance-Ebenen in der Spalte „Governance“ und nimmt eine Kurzbeurteilung vor.

**Regelungen des Bauordnungs- und –planungsrechtes.** Relevant für Aufstockungen sind einerseits derzeitige Beschränkungen, die sich aus dem Bauordnungs- und –planungsrecht ergeben, insbesondere Brandschutz und Stellplätze. Der Bestandsschutz für **brandschutzrechtliche** Planungen kann mit der Realisierung von Aufstockungen erlöschen. Unter Umständen ist dann sowohl in den Teilen des Bestandsgebäudes, die durch die Aufstockungen einer veränderten Nutzung zukommen, als auch für die neuen Gebäudeteile ein Brandschutzkonzept und baulicher Ertüchtigungen erforderlich. Der Brandschutz kann aber auch die Art und Weise der Aufstockung beeinflussen, u. a. durch eine veränderte Einstufung der Gebäude in Gebäudeklassen.

In Kressbronn konnte bedingt durch den Brandschutz nur eine eingeschossige Aufstockung realisiert werden, weil Baufritz nur F30-B zertifiziert hat. Insgesamt geht es beim Brandschutz in keiner Weise darum, brandschutztechnische Zugeständnisse zu machen, zugleich aber auch angepasste Lösungen zu finden. Im Brandschutz ist eine deutschlandweite Regelung wichtig. Sonst ist die Planung mit nachwachsenden Rohstoffen auch als Dämmstoff immer kritisch. Hier würde eine allgemeine Regelung in Abhängigkeit der Anzahl der aufzustockenden Geschosse Klarheit, Planungs- und Kostensicherheit verschaffen.

Die energetischen Anforderungen an Aufstockungen und Erweiterungen sind im **Gebäudeenergiegesetz** (GEG) geregelt. Danach dürfen die Hüllflächen von Aufstockungen um 20% (Wohngebäude) bzw. 25% (Nichtwohngebäude) schlechter gedämmt sein als das Referenzgebäude. Obwohl diese Regelung Aufstockungen erleichtert, ist sie doch nicht zielführend im Sinne einer zukunftssicheren Bauweise. Die Vorgaben für das Referenzgebäude geben ohnehin nur den technischen Stand aus dem Jahr 2009 wider. Sie darüber hinaus noch weiter abzuschwächen, ist – auch unter Kostengesichtspunkten - nicht zu rechtfertigen. Der Bundesrat hat in seiner Stellungnahme zum GEG-Entwurf vorgeschlagen, die Referenzgebäudeanforderungen ohne weitere Abschläge für Aufstockungen zu übernehmen [BR-Dr. 584/19]. Da Aufstockungen überwiegend in Leichtbauweise ausgeführt werden, sind ambitioniertere U-Werte als im GEG in der Regel kostengünstig zu realisieren. Denkbar wäre auch eine Multiplikation der Hüllflächen-Anforderungen für Aufstockungen mit dem Faktor 0,75, in gleicher Weise wie bei der Primärenergieanforderung.

Des Weiteren werden ggf. vorhandene Wärmeerzeuger im aufgestockten Teil im GEG nicht berücksichtigt. Somit gibt es keine ordnungspolitischen Vorgaben, effiziente oder erneuerbare Technologien einzusetzen. In seiner Stellungnahme schlägt der Bundesrat daher vor, dass Aufstockungen – parallel zum oben genannten Hüllflächen-Verfahren - auch nach dem üblichen Nachweisverfahren für zu errichtende Gebäude (§10 GEG) berechnet werden können. Dieses beinhaltet Anforderungen an den Primärenergiebedarf, an die Gebäudehülle und an die Nutzung erneuerbarer Energien.

**Stellplätze** werden meist in den Landesbauordnungen geregelt. Auch hier kann die bauliche Veränderung eines Bestandsgebäudes dazu führen, dass der Bestandsschutz für den Nachweis von Stellplätzen verloren geht. Insgesamt spiegeln viele Landesbauordnungen nicht die veränderte Situation in städtischen Räumen wider, so dass eine grundsätzliche Stellplatzreform angemessen erscheint.

Viele dieser Regelungen sind dabei auch interpretierbar. Es kommt daher auch auf den „guten Willen“ der jeweiligen Genehmigungsbehörden an, Aufstockungen umzusetzen. Diese Genehmigungspraxis erfolgt auf kommunaler Ebene. Daneben können **Kommunen** aber auch Beratungen anbieten und im Rahmen von Quartierskonzepten Aufstockungen ermöglichen.

**Förderseitig** ist mit dem neuen Bundesprogramm effiziente Gebäude bereits ein hohes Niveau an Förderung erreicht. Aufstockungen werden – sofern durch die Aufstockungsmodule eigene Wohneinheiten entstehen – in der Regel in die Neubauförderung des BEG fallen, die sowohl für Wohn- wie für Nichtwohngebäude erheblich bessere Konditionen bietet.

Die Energiewendemodule erreichen durch die Integration erneuerbarer Energien in der Regel den EH 40 EE-Standard und würden damit nach aktuellen Randbedingungen mit 22,5 % der förderfähigen Investitionskosten gefördert, maximal jedoch 150.000 € pro Wohneinheit. Wenn das Modul als Erweiterung interpretiert wird – als solches könnte man beispielsweise das Nordmodul definieren – könnte es sogar die Sanierungsförderung von 50 % erhalten.

Aufstockungen sollten generell wie Erweiterungen gefördert und nachzuweisen sein. Damit wird wieder eine Vereinheitlichung und Vereinfachung für die Schaffung von Wohnraum erreicht. Durch eine klare Regelung, dass Aufstockungen immer wie Erweiterungen zu sehen sind und über den KfW-Programmteil-Sanierung laufen müssen, wird die Verdichtung wieder stärker gefördert.

Neben der bereits sehr guten Gebädeförderung schlagen einzelne Akteure ergänzende Förderung für die Aufstockung – auf Grund höherer Kosten der Dacherschließung – und Planungskosten bzw. kommunale Beratung vor.

Diese ergänzende Förderung könnte auch an eine Sozialbindung entweder für die Dachgeschosswohnungen selber oder innerhalb desselben Gebäudes geknüpft sein, so dass die Aufstockung auch die soziale Mischung und sozialgerechte Verteilung von Kosten verbessert.

Tabelle 33: Vorschläge für die instrumentelle Behandlung von Aufstockungen mit Energiewendemodulen

Themenfeld	Vorschlag	Governance*	Kurzbewertung
<b>Bauordnungs- und planungsrecht</b>			
Grundsätzliches	Bauordnungs- und planungsrecht in gewissen Maßen flexibel gestalten (z. B. Pflicht zum Einbau eines Aufzugs)	B, L, K	In einigen Landesbauordnungen ist ein größerer Ermessensspielraum bereits vorgesehen (z.B. HH, NRW). Barrierefreiheit nicht gegen Wohnraum ausspielen. Aufzüge ggf. stärker im Mietspiegel berücksichtigen.
Baugenehmigungen	Dachausbau soll genehmigungsfrei werden, sofern aus statischer und konstruktiver Sicht keine Einwände bestehen und Treppenbreiten sowie Fluchtmöglichkeiten eingehalten werden ([FDP19], [TUP19])	L, K	Baugenehmigung wird benötigt u.a. für <ul style="list-style-type: none"> <li>- Statik</li> <li>- Brandschutz</li> <li>- Wohnflächenberechnung (rechtliche Grundlage für Teilungserklärung, Mietumlage, Heizkostenumlage, EPC)</li> </ul> Genehmigungsfreiheit erscheint schwierig.

	Nutzung der Genehmigungsspielräume bei der Festlegung von Ausgleichsmaßnahmen		Ausgleichsmaßnahmen nicht aufweichen. Nicht Wohnraum gegen Naturschutz/Daseinsvorsorge auspielen. Lebensqualität in hochverdichteten Ballungsräumen beachten.
Nutzlasten	Für Neubauprojekte: Im Baurecht für zukünftige Projekte erhöhen, sodass Aufstockungen möglich sind.	L	unklar, wie häufig das greift, weil zulässige GFZ ohnehin meist ausgeschöpft wird.
Brandschutz	Generelle Regel einführen, dass eingeschossige Aufstockungen in F30-B gebaut werden können, ohne Befreiungsanträge stellen zu müssen. Treppenhaus- und Brandwände in F90-B-M. Somit können alle Bauteile einer Aufstockung in Holz gebaut werden.		Sinnvoll
	Vereinheitlichung: in allen Bundesländern die gleichen Vorgaben (Musterbauordnung, Bauministerkonferenz)	B	Sinnvoll
	Auf einen zweiten Rettungsweg verzichten, wenn der erste Rettungsweg mit einem Sicherheitstreppenraum versehen wird.		Sinnvoll
Geschossflächen	Die GFZ für Dachausbau und -aufstockung soll überschritten werden dürfen; flexible Auslegung von §34 und §30 ([TUP19], [FDP19], [BT-Dr. 19/6219], [DB19])	B, K	Hier liegen vor allem Vollzugsdefizite bei konkreten Genehmigungen vor, keine Regelungsdefizite
Stellplätze	Ausnahmen bei Stellplätzen für Dachaufstockung [TUP19] oder sogar Aufhebung der Stellplatzpflicht [BBS16]	L	Aufheben der Stellplatzpflicht, bzw. Kompensation durch einen Fahrradraum sinnvoll
Barrierefreiheit	Reduzierte Anforderungen der Barrierefreiheit für die neu entstandenen Wohnungen, mit Möglichkeiten der Kompensation, z.B. in den bestehenden Erdgeschossen [TUP19]	L	Siehe oben unter Grundsätzliches
Abstandsflächen und Gebäudeklassen	Überprüfung der abstandsrechtlichen Vorgaben zu Nachbargebäuden und Gebäudeklassen [BMU15], Vereinfachung des Verfahrens der Nachbarschaftszustimmung	L	Lebensqualität in hochverdichteten Ballungsräumen beachten.
Pflicht zum Einbau eines Aufzugs	In einigen Landesbauverordnungen werden verpflichtend Aufzüge ab einer bestimmten Geschosshöhe vorgeschrieben. Auch wenn Aufzüge kostenmäßig oft überschätzt werden ([TUP19], [GdW19]), schlägt [BBS16] vor, dies den Wirtschaftsakteuren zu überlassen.	L	Siehe oben unter Grundsätzliches
<b>Kommunalpolitik</b>			
Kommunale Beratung	Kommunale Leitstellen für Wohnungsbau und Dachgeschossaufstockungen fördern. Einrichtung als zentrale Anlaufstelle zu allen die Aufstockung betreffenden bauordnungsrechtlich und bauplanungsrechtlichen Fragestellungen, um	K	ohnehin Aufgabe der Bauämter, aber durch Schulung für diese Aufgabe sensibilisieren

	den Genehmigungsablauf zu erleichtern und zu beschleunigen ([BT-Dr. 19(24)092], [TUB19])		
Kommunale Mobilität	Einbettung von Aufstockungen in kommunale Mobilitätskonzepte, um z. B. Quartierslösungen für Stellplätze zu organisieren [TUB19], ÖPNV-Angebot, Fahrradfreundlichkeit und kurze Wege zu verbessern	K	Sinnvoll
Quartierskonzepte	Einbindung von Aufstockungen im Rahmen von Quartierskonzepten	K	Sinnvoll. In Förderanforderungen zu KfW 432 aufnehmen.
<b>Förderprogramme</b>			
Neue Förderung	Eigenes Förderprogramm der KfW für Aufstockungen, kumulierbar mit sonstigen KfW-Programmen. Größenordnung 150 Euro pro Quadratmeter [BT-Dr. 19/6499]. Ergänzende Vorschläge: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kopplung mit Sozialbindung</li> <li>• Kopplung mit kommunalen Wohnversorgungskonzepten [BT-Dr. 19(24)094]</li> </ul>	B	Statt eines separaten Förderprogramms erscheint es sinnvoller, Aufstockungen im BEG generell wie Erweiterungen zu fördern und nachzuweisen. Damit wird wieder eine Vereinheitlichung und Vereinfachung für die Schaffung von Wohnraum erreicht. Sinnvoll in Kopplung mit sozialen Aspekten
	Vorgelagerter Beurteilungs-, Planungs- und Beratungsaufwand, um Flächen auf Nichtwohngebäuden zu aktivieren sollte zu 50% (maximal 5.000 €) je Liegenschaft bzw. Gebäudeeigentümer gefördert werden (Planungskosten nach KG 700) [TUP19]	B, L	Besser nach sozialer Wohnlage differenzieren
Steuerliche Förderung	Erhöhte lineare AfA-Sätze bei einer qualitätsverbessernden Innenentwicklung [TUP19]	B	
<b>Sozialer Wohnungsbau</b>			
	Sozialbauquoten für Dachgeschossausbau [BT-Dr. 19(24)094]		
<b>Öffentliche Hand</b>			
	Geeignete ungenutzte Dachflächen von Nichtwohngebäuden der öffentlichen Hand zur Errichtung von Wohneigentum zur Verfügung stellen. Im Gegenzug: Pachtzins, energetische Erhaltung des Bestandes oder Instandhaltungsverpflichtung	B, L, K	Ggf. vorzugsweise für kommunale WBGs
<b>Sonstiges</b>			
Regenerative Stromerzeugung	Deutliche Verbesserungen bei der Eigenstrom- und Mieterstromversorgung durch ein Bündel an Maßnahmen (steuerl. Inflation vermeiden, EEG-Umlage-Befreiung, usw.)	B	Sinnvoll. Teilweise wird es durch die derzeitige EEG-Novelle adressiert
Energetische Anforderungen	Keine Schlechterstellung von Aufstockungen ggü. anderen Neubauten. Übernahme der Referenzgebäudevorgaben (oder besser) für Aufstockungen; wahlweise nur Hüllflächenanforderung	B	Bei Aufstockungen können durch die vorwiegende Leichtbauweise

oder auch Primärenergieanforderung (0,75 \* Referenzgebäude)

auch höhere Anforderungen einfach erfüllt werden. Energetische Aufwertung des Gesamtgebäudes.

\* K Kommunen L Länder B Bund S Sonstige

Ein weiterer Unterstützungsansatz geht von den handelnden Akteuren selbst aus: In BBSR (2016) wurde eine **Quersubventionierung von höherpreisigen Wohnungen** im Dach für das Mietniveau der darunter liegenden Bestandswohnungen thematisiert [BBS16]. „Erfolgen die Dachaufstockungen und Dachausbauten im Zuge einer energetischen Sanierung des gesamten Objekts, wird die Wirtschaftlichkeitsberechnung auf das gesamte Objekt ausgeweitet. In diesem Fall werden häufig die höheren Mieten in den neu geschaffenen oberen Wohnungen zur Quersubventionierung der nun sanierten Bestandswohnungen in den unteren Etagen verwendet. In dieser Konstellation sollen die Bestandsmieter nach einer energetischen Sanierung gehalten und neue, zahlungskräftige Haushalte in den neuen Dachwohnungen für eine ausgewogene soziale Durchmischung gewonnen werden.“ [BBS16, S.12]

In der Berliner Genossenschaft Märkische Scholle gelang es dadurch, rund 850 Wohnungen der „Gartenstadt Lichterfelde Süd“ zu sanieren und dabei die Warmmiete nur von rd. 8 auf rd. 9 €/m<sup>2</sup> zu erhöhen. „Finanziert wurde die Sozialverträglichkeit über drei Säulen: Mit der Umlage auf die Mieten; durch Fördermittel des Landes Berlin, des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW); und durch Quersubventionierung innerhalb der Genossenschaft. Denn in der Siedlung wurden auch neue Wohnungen gebaut: Dachgeschosse wurden ausgebaut und das Quartier wurde verdichtet.“ [FD19]

### 8.3 Handlungsempfehlungen

Eine schnelle Umsetzung der Anpassung der baurechtlichen Anforderungen für Stellplätze und Brandschutzanforderungen sowie die Anpassung der Regelung der Förderungen für Aufstockungen hilft gegen den Wohnungsmangel, ohne neue Flächen zu versiegeln.

Auf Seiten der Förderungen kann die Umsetzung des BEG am 01.07.2021 genutzt werden, um die Aufstockung als neu geregelten Bereich einzuführen.

Die baurechtlichen Neuregelungen für Aufstockungen könnten durch eine bundesweit geltende Richtlinie eingeführt werden.

# 9 Fazit und Zusammenfassung

---

## 9.1 Projektzusammenfassung

VIER HERAUSFORDERUNGEN ...

... waren der Ausgangspunkt dieses Projektes:

**Mangelnde Sanierungsrate und unzureichende Absenkung des Wärmeenergiebedarfs:** Mit einer Sanierungsrate, die bei rd. 1 % liegt, ist das Gebäude-Sektorziel für 2030 nicht zu erreichen.

**Hohe Baukosten:** Ein Grund für die niedrige Sanierungsrate sind steigende Bau-, Grundstücks- und Erschließungskosten. Neue kostensenkende Ansätze der Sanierung, die gleichzeitig mit den limitierten Kapazitäten der Fachkräfte umgehen, sind gefragt.

**Stagnierender Anteil erneuerbarer Energieträger:** Der erneuerbare Anteil an der Wärmebereitstellung verharrt seit mehreren Jahren auf rd. 13 - 15 %. Dem muss gegengesteuert werden.

**Steigende Flächenversiegelung für Siedlungszwecke und Pro-Kopf-Wohnflächen-Inanspruchnahme:** Diesen Trends kann u. a. durch Nachverdichtung gegengesteuert werden. Aufstockung ist eine der Strategien, die sowohl im urbanen als auch dörflichen Kontext ein hohes Potenzial haben.

WARUM AUFSTOCKUNG?

In Ballungsräumen herrscht ein **Mangel an bezahlbarem Wohnraum**, der durch den Zuwachs der Bevölkerung weiter verschärft wird. Um zukünftig nicht noch größere Probleme in der Wohnraumpolitik zu erzeugen, muss bezahlbarer Wohnraum jetzt aktiv beschaffen werden. Sensibel ausgeführte **Nachverdichtungen** können dazu bei tragen, Wohnraum in urbanen Räumen zu schaffen.

Nachverdichtung nutzt effektiv freie Flächen in der Stadt: durch Schließung von Baulücken, Vervollständigung offener Bebauung oder die Aufstockung von bestehenden Gebäuden.

**Aufstockungen** bieten hochwertigen Wohnraum. Sanierungen am Bestandsgebäude können durch die Schaffung dieses Wohnraums **querfinanziert** werden. Die unteren Wohnungen werden damit wärmemietenneutral saniert. Durch den hohen Grad an **serieller Herstellung und Vorfertigung** der Aufstockung können Baukosten gesenkt und **kostengünstiger** Wohnraum ermöglicht werden.

Auch von Seiten der Energieeffizienz bieten Aufstockungen Vorteile. Aufstockungen vergrößern zwar die Hüllfläche des Gebäudes, verbessern jedoch gleichzeitig je nach **Energiestandard seine Gesamtbilanz**.

ENERGIEWENDE DURCH AUFSTOCKUNG

Eine Aufstockung und energetische Verbesserung von Bestandsgebäuden mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien kann mit vorgefertigten Energiewendemodulen erreicht werden. Diese erschließen die Vorteile der **Vorfabrikation** und verbinden sie mit höchster Energieeffizienz



Abbildung 1: Fünf Vorteile der Vorfabrikation

und dem Einsatz erneuerbarer Energien durch Photovoltaik, Wärmerückgewinnung und niedrigen Systemtemperaturen. Das Effizienzniveau wird dabei so weit erhöht, dass erneuerbare Energien die Module vollständig oder mit möglichst hohen Anteilen versorgen und ein Wärmeerzeuger mit einer geringen Heizleistung ausreicht.

Für die Energiewendemodule wurden zwei Konzepte kombiniert: Die **Hülle der Energiewendemodule** sind hocheffiziente, vorgefertigte und fertig installierte Außenwandelemente, die eine **flexible Grundrissanordnung** ermöglichen; das **Zentrum des Moduls** bildet das **Versorgungsherz**. Die Erschließung der Energiewendemodule erfolgt über einen außenliegenden Weg, der direkt an das Treppenhaus des Bestandsgebäudes grenzt.



Abbildung 2: Die Kombination von energieeffizienter Hülle und Versorgungsherz bildet das Energiewendemodul

Die Versorgungsherzen beinhalten möglichst sämtliche Versorgungselemente (Wärmeerzeuger, Lüftung, Steuerung, Speicher, Wärmeübergabeflächen, etc.) und können ebenfalls komplett seriell vorgefertigt werden. Sie sind so konzipiert, dass bei einem Transport möglichst wenig leerer Raum transportiert wird. Die Konzentration der Versorgungstechnik und die serielle Fertigung bewirken, dass nur wenige Fachkräfte notwendig sind, um das Energiewendemodul zu bauen und aufzustellen. Aufgrund des aktuellen Fachkräftemangels ist eine solche Bauweise vorteilhaft.

Der zentrale Baustoff der Energiewendemodule ist **Holz**. Die Außenwände bestehen aus einer Holzkonstruktion, die mit einem holzbasierten Dämmstoff gefüllt ist. Der Baustoff Holz bietet mehrere Vorteile: er ist ein nachwachsendes **Naturprodukt**, das CO<sub>2</sub> bindet und dieses, solange es verbaut ist, speichert. Die **Wohngesundheit** wird durch Holz gefördert, weil Holz keine schädlichen Emissionen in die Raumluft emittiert. Brandschutzkonzepte können mit Holz besser konzipiert werden, weil das Brandverhalten kalkulierbar ist. Holz lässt sich gut bearbeiten, ist statisch belastbar, aber dennoch leicht.

## DAS VERSORGUNGSHERZ

Das Versorgungshertz ist der Kern der Energiewendemodule. Es besteht aus einem Technikraum und mehreren Nasszellen (Badezimmer und Gäste-WC). Der Technikraum enthält die gesamte notwendige Heiz- und Versorgungstechnik. Weitere gebäudetechnische Elemente sind eine CO<sub>2</sub>-gesteuerte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und eine Duschabwasser-Wärmerückgewinnung. In den Außenflächen des Versorgungsherzes ist eine **Wandheizung** installiert.

Alle umgebenden Räume sind direkt mit dem Versorgungshertz verbunden und werden über diese Wandheizung beheizt. Das Versorgungshertz ist somit – wie früher der „Grundofen“ – das Zentrum der Wohnung. Eine Installation von Versorgungsleitungen in anderen Bauteilen ist nicht notwendig.

Auch die Installation von weiteren Heizflächen ist nicht zwingend notwendig. Für Räume, die nicht direkt an das Versorgungshertz grenzen oder in denen die Wandheizung nicht genügt, kann ein optionaler Anschluss beispielsweise für eine Fußbodenheizung vorgerüstet werden. Eine zentrale Platzierung des Versorgungsherzes ist möglich, wenn das Herz um eine Flurzone erweitert wird. Aufgrund von Lieferbegrenzungen dürfen die Maße des Versorgungsherzes 3 x 12 m nicht übersteigen.

Die Außenwandmodule können beliebig um das Herz arrangiert werden, da sie frei von Versorgungstechnik sind. Somit kann ein hoher Grad der Vorfertigung realisiert und trotzdem eine **individuelle Planung der Grundrisse** rund um das Herz gewährleistet werden. An den Außenflächen des Versorgungsherzes werden Halterungen platziert, auf denen z. B. Küchenschränke montiert werden können. Leitungsstränge sind über das Herz kurz und leicht zu verteilen.

Verschiedene Prototypen zeigen die Vielfältigkeit der Energiewendemodule. Der Flächenbedarf der 1-2-Zimmer-Wohnung liegt zwischen 40 - 48 m<sup>2</sup>. Aber auch Wohnungen mit einer höheren Anzahl an Räumen sind als Energiewendemodule möglich. Die verschiedenen Grundrisse können flexibel miteinander kombiniert werden und schaffen damit **Freiheiten** in der Gestaltung von **Energiewendemodullandschaften**. Das unterscheidet sie von üblichen Aufstockungen.

### Vorteile der Energiewendemodule:

- Nachverdichtung ohne zusätzlichen Flächenverbrauch
- Serielle Vorfertigung
- Hoher Anteil erneuerbarer Energien
- Hoher Effizienzstandard
- Holz als Baumaterial
- Vielfältige Anwendung

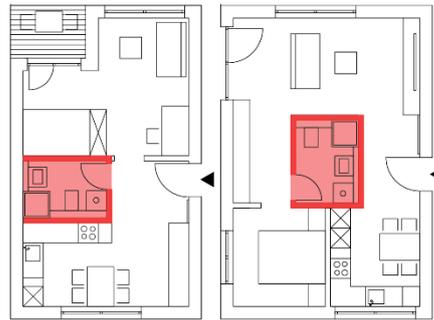


Abbildung 3: Das Energiewendemodul als 1- und 2-Zimmer-Wohnung. Rot markiert: das Versorgungshertz.



Abbildung 4: Ausführung als 4-Zimmer-Wohnung



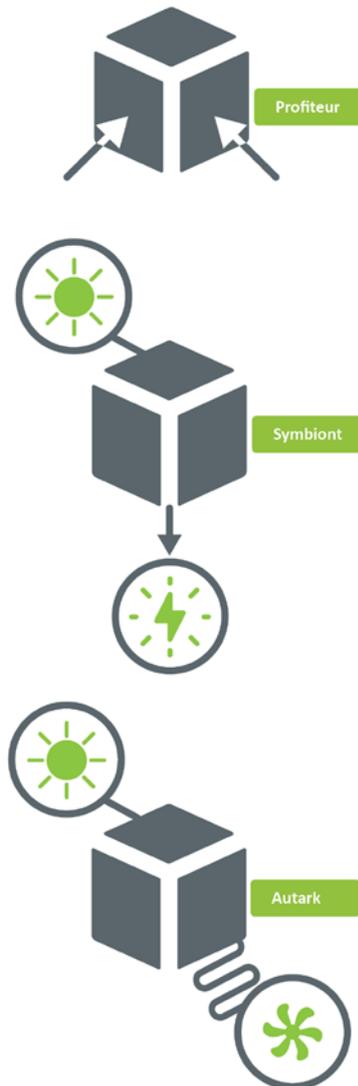
Abbildung 5: Mögliche Fassadengestaltung der Energiewendemodule



Abbildung 6: Serielle Vorfertigung des Versorgungsherzes

## PROFITEUR, AUTARK, SYMBIONT – FÜR JEDEN GEBÄUDETYP ETWAS DABEI

Für das Energiewendemodul wurden **drei verschiedene Konzepte** entwickelt, mit denen es möglich ist, fast jeden Gebäudetyp abzudecken. Die vielfältige Einsetzbarkeit der Module ist damit garantiert. Vor einer Aufstockung mit einem Energiewendemodul sollte das Bestandsgebäude genau analysiert werden: Wie hoch ist der Anteil von erneuerbaren Energien im Bestandsgebäude? Kann die Bestandsheizung das Energiewendemodul mit erneuerbaren Energien versorgen? Wie ist das Bestandsgebäude orientiert? Kann Photovoltaik oder Solarthermie eingesetzt werden? Sind wesentliche Versorgungsleitungen an dem Gebäude vorhanden, die für eine Aufstockung genutzt werden kann?



### Konzept 1: „Profiteur“

Das Bestandsgebäude versorgt die Aufstockung mit der regulären Heizungsanlage mit.

#### Zu welchem Gebäude passt das Konzept „Profiteur“?

Diese Bestandsgebäude sind idealerweise saniert oder eine Sanierung steht bevor; sie haben einen Wärmeerzeuger, der erneuerbare Energien nutzt. Alle Leitungen sowie die Erschließung sind zentral am Gebäude angeordnet, sodass die Dachfläche möglichst frei für eine Bebauung ist.

### Konzept 2: „Symbiont“

Das Bestandsgebäude wird durch die Aufstockung teilweise mitversorgt. Eine Aufstockung mit einem hohen Anteil an Photovoltaik kann den Bestand mit Strom, ggf. auch mit Wärme aus seiner Versorgungszentrale speisen. Überschüssige Energie geht dadurch nicht verloren.

#### Zu welchem Gebäude passt das Konzept „Symbiont“?

Symbiotische Energiewendemodule versorgen das Bestandsgebäude mit überschüssigem Strom und evtl. auch Wärme und liefern damit genau das, was dem Bestandsgebäude fehlt. Die Effizienz des Bestandsgebäudes, das optimaler Weise bereits einen erneuerbaren Wärmeerzeuger hat, wird durch die Energiewendemodule erhöht. Strom der durch die vollständige Belegung des Moduls erzeugt wird, kann für Wärme aus dem Bestandsgebäude ausgetauscht werden. Soll ein Energiewendemodul als Symbiont auf ein unsaniertes Bestandsgebäude aufgestockt werden, steht eine Sanierung am besten kurz bevor. Nur so wird das Ziel der Klimaneutralität erreicht.

### Konzept 3: „Autark“

Die Versorgung der Aufstockung erfolgt unabhängig vom Bestandsgebäude und garantiert damit Flexibilität und Übertragbarkeit auf andere Baukörper (z. B. Parkhausdächer).

#### Zu welchem Gebäude passt das Konzept „Autark“?

Das Konzept „Autark“ ist das flexibelste Energiewendemodulkonzept. Das Energiewendemodul versorgt sich mit Wärme mittels einer Wärmepumpe, Wärmerückgewinnung und Photovoltaik-Modulen. Lediglich Strom, Trinkwasser und Abwasserleitungen müssen extern angeschlossen werden. Wenn diese Leitungen vorhanden sind, kann das Modul überall dort gebaut werden, wo es ausreichend Sonneneinstrahlung gibt. Das autarke Energiewendemodul kann auch um einen Batteriespeicher erweitert werden oder als temporärer Wohnraum genutzt werden, um schnell, kostengünstig und effizient Wohnraum zu schaffen.

Bei einer Sanierung kann der Einsatz aus folgenden Gründen erfolgen: Ein Bestandsgebäude in einem Ballungsraum wurde saniert. Aus baurechtlichen und gestalterischen Gründen ist eine Aufstockung möglich und von einem Investor erwünscht. Der Wärmeversorger wurde allerdings nur für das Bestandsgebäude ausgelegt, sodass ein Anschluss daran nicht möglich ist – hier sollte das Energiewendemodul eingesetzt werden. Auch unbeheizte Gebäude, z. B. Parkhäuser, sind geeignete Anwendungsfälle.

## VERSORGUNGSELEMENTE

Die Außenbauteile der Energiewendemodule sind sehr effizient und liegen mit ihrem U-Wert im Passivhausbereich (0,12-0,14 W/m<sup>2</sup>K). Die Bauteile und die Fenster (U-Wert: 0,9 W/m<sup>2</sup>K) werden nach der Baufritz-Fertigungspraxis hergestellt.

Das Energiewendemodul hat, unabhängig von einer Ausführung als Symbiont, Profiteur oder autarkes Modul, einen Heizenergiebedarf von 18 kWh/m<sup>2</sup> und eine Heizlast von ca. 1500 W. Da die Wärmeversorgung der Varianten Profiteur und Symbiont über das Bestandsgebäude erfolgt, steht eine Untersuchung der Versorgungskonzepte des autarken Moduls im Mittelpunkt. Aufgrund der geringen Heizlast wird nur ein Wärmeerzeuger mit einer niedrigen Heizleistung benötigt.

Für das autarke Modul wurden im Projekt verschiedene Wärmerversorger simuliert. Im Fokus der Untersuchung stehen die Wirtschaftlichkeit, der Energieverbrauch und die Nachhaltigkeit. Die geeigneten Versorgungsvarianten fokussieren primär auf unterschiedliche Wärmepumpen in Kombination mit Photovoltaik, Solarthermie oder PVT-Kollektor. Alle Varianten unterstellen eine maschinelle Lüftung mit Wärmerückgewinnung.



Abbildung 7: Anlagentechnik im Versorgungszentrum

Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einem PV-Kollektor oder eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einem PVT-Kollektor, der gleichzeitig als Wärmequelle für die Wärmepumpe dient, sind die Versorgungsvarianten, die in allen Punkten der Analyse am effizientesten abschneiden.

Zusätzlich bieten die Energiewendemodule gebäudetechnische Elemente, deren Einsatz geprüft und zu einem Gesamtkonzept zusammengefügt werden kann:

- Speicher: Batteriespeicher für die Steigerung des Eigenstromanteils, thermischer Speicher bspw. bei Einsatz von Solarthermie, PVT-Systemen oder Biomasse-Feuerung
- CO<sub>2</sub>-gesteuerte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Integration der Lüftungselemente in Wänden bzw. Decken
- Frischwasserstation Durchlauferhitzer: Vorteil: keine Verteilverluste, Nachteil: hohe Leistungsspitzen
- Duschabwasser-Wärmerückgewinnung: im Unterschied zu gebäudezentralen Anlagen erfolgt hier die Wärmerückgewinnung unmittelbar in der Duschwanne.



## NACHHALTIGKEIT

Im Energiewendemodul wird die von Baufritz entwickelte Hobelspandämmung verwendet. Bei diesem Dämmstoff handelt es sich um Hobelspäne, die beim Verarbeiten verschiedener Weichholzarten aus nahegelegenen regionalen Sägewerken entstehen. Als Flammschutzmittel und gegen Schimmelpilz werden die Späne mit Molke und Soda imprägniert. Alle anderen Bauteile sind ebenfalls Holzbauteile, die von Baufritz selber hergestellt werden.

Es wurden verschiedene Varianten des autarken Energiewendemoduls ökobilanziell untersucht, die sich nur in der Versorgungstechnik unterscheiden. Die Ökobilanz bilanziert die mit einem Produkt oder einer Dienstleistung aufkommenden Umwelteinwirkungen. Dabei wird möglichst der gesamte Lebensweg bilanziert: von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung.

Der Energieträger für alle Varianten der Anlagentechnik ist Strom. Der steigende Anteil der erneuerbaren Energien im Strommix sorgt dafür, dass die Umweltwirkungen von Strom sukzessive besser werden. Der Anteil der grauen Energie, der nicht erneuerbaren Primärenergie und der Versauerung, alles große Einflussfaktoren auf die Ökobilanz, ist in der Versorgungsvariante mit Sole-Wasser-Wärmepumpe und PVT-Kollektoren am geringsten und wird für eine Nutzung empfohlen. Demnach spart das Energiewendemodul nicht nur Energie für die Wärmeversorgung, sondern auch graue Energie.

### Varianten der Energiewendemodule:

Die Konzepte Profiteur, Symbiont und Autark können auf verschiedene Situationen reagieren und bieten ein optimiertes Modul. Eine Luft-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpe sind, auch ökobilanziell, ideale Wärmeerzeuger.

**ANFORDERUNGEN**

Aufstockungen können nur unter gewissen Bedingungen auf Bestandsgebäude aufgesetzt werden. Diese sind geknüpft an Anforderungen an **Gestalt, Baurecht, Wirtschaftlichkeit, Infrastruktur und Baustruktur**. Einige Anforderungen sind relativ leicht zu erfüllen, während es bei anderen schwieriger ist und Aufstockungen dadurch fast ausgeschlossen sind:

**Nutzlasten.** Grundsätzlich gelten für den Wohnungsbau geringe Anforderungen an das Tragwerk. Seit 1971 wird die Nutzlast mit 1,5 kN/m<sup>2</sup> bemessen, vor 1971 wurden 2,0 kN/m<sup>2</sup> gefordert. Dadurch entstehen Tragreserven, die Potenziale für Aufstockungen zulassen. So besitzen bspw. Parkhäuser, die vor 2006 erbaut wurden, enorme Tragwerksreserven und bieten sich optimal für Aufstockungen an.

**Dachformen.** Flachdächer finden sich besonders häufig auf größeren Mehrfamiliengebäuden und Büroimmobilien. Die nötige Raumlüftung wird oft auf dem Dach angeordnet, sodass sich ein Flachdach dank der höheren Wartungsflächen für eine Erschließung anbietet. Flachdächer eignen sich aufgrund ihrer Baukonstruktion besonders gut für Aufstockungsmaßnahmen.

Bei Aufstockungsmaßnahmen erlischt in der Regel der Bestandsschutz, da wesentlich in die Struktur des Gebäudes eingegriffen wird. Deswegen können folgende baurechtlichen Regelungen ein Hemmnis für Aufstockungen darstellen:

**Stellplatzpflicht.** Tendenziell müssen in Deutschland bei der Planung von Aufstockungen Stellplätze berücksichtigt werden, da eine Befreiung von der Stellplatzverordnung erst mit der Baugenehmigung erfolgen kann. Hier besteht das Risiko, dass Bauherren davor zurückschrecken, in die Planung von Aufstockungen zu investieren, wenn die Baugenehmigung aufgrund des Mangels an Stellplätzen eventuell nicht erteilt wird.

**Einhaltung von Abstandsflächen.** Abstandsflächen müssen grundsätzlich auf dem eigenen Grundstück nachgewiesen werden. Ausgenommen davon sind Angrenzungen an öffentlichen Grundstücken wie Straßen, Wege oder Freiflächen. Die einzuhaltenden Abstandsflächen sind direkt abhängig von der Gebäudehöhe, weshalb sie bei einer Aufstockung dringend zu prüfen sind.

**Erhöhte Anforderung an das Gebäude durch Änderung der Gebäudeklasse.** Bei Aufstockungen kann das Gebäude in eine andere Gebäudeklasse fallen, wodurch sich die Anforderungen an das Gebäude selbst ändern können. Die Aufstockungen in Holzbauweise müssen die Vorgaben der Richtlinie für hoch feuerhemmende Bauteile in Holzbauweise erfüllen (HFHHolzR). Eventuell muss ein neues Brandschutzkonzept erstellt werden.

**Pflicht zum Einbau eines Aufzugs.** Nach §39 Musterbauordnung müssen in Gebäuden, deren Fußbodenoberkante des höchsten Geschosses bei 13 Meter über Geländehöhe und mehr liegt, einen Aufzug aufweisen. Das bedeutet: Aufstockungsmaßnahmen können zu einer Nachrüstspflicht für Aufzüge führen.

**Denkmalschutz.** Grundsätzlich schließt der Denkmalschutz eine Aufstockung nicht aus. Die damit verbundenen Auflagen können aber zu einem Risiko werden.

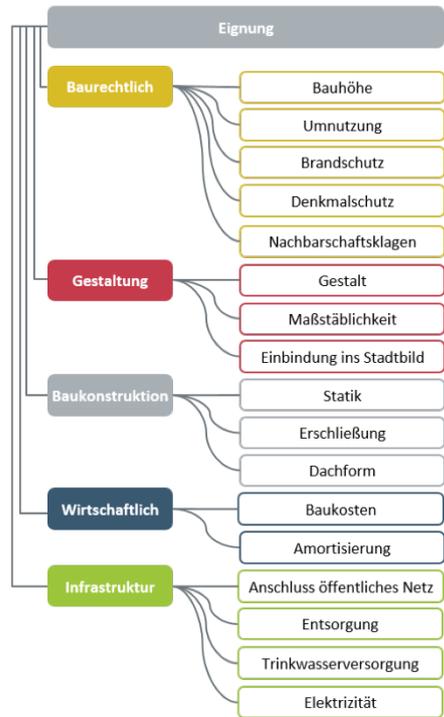


Abbildung 8: Eignungsfaktoren bei einer Aufstockung

**POTENZIALE IN DEUTSCHLAND**

Im Fokus der Untersuchung stehen Gebäude in Regionen mit einem erhöhten Wohnungsbedarf. Gemäß der „Deutschlandstudie 2015“ liegt das größte Potenzial für Aufstockungen in Gebäuden, die zwischen 1950 und 1989 erbaut wurden, nur einen Eigentümer besitzen und sich in dicht besiedelten Regionen befinden. Daraus ergeben sich **1,1 Mio. aufstockbare Wohnungen** auf Mehrfamilienhäusern, die im Zeitraum von 1950 bis 1989 errichtet wurden und **420.000 weitere Wohnungen** auf Gebäuden, die vor 1950 fertiggestellt worden sind.

In einer Folgestudie wurden Potenziale der Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden untersucht. Dabei wurden weitere 1,1 Mio. bis 1,5 Mio. potenzielle Wohneinheiten festgestellt, was insgesamt also **2,3 – 2,7 Mio. Wohnungen** ausmacht.

Für dieses Projekt wurde das Potenzial von drei Gebäudetypen (Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude und Parkhäuser) für Aufstockungen mit Energiewendemodule vertieft untersucht.

Eine Nachverdichtung erfolgt oft durch Aufstockungen auf Mehrfamilienhäuser. Wohnquartiere in Innenstadtnähe bestehen heutzutage nahezu nur aus Mehrfamiliengebäuden. Das Energiewendemodul kann hier in allen seinen möglichen Varianten angewendet werden. Das garantiert eine zusätzliche planerische Flexibilität.



In Deutschland gibt es rund 3,2 Mio. Mehrfamilienhäuser. Davon befinden sich etwa 1,8 Mio. in Gegenden mit erhöhtem Wohnungsbedarf. 45 % dieser Gebäude wurden im Zeitraum von 1958 bis 1989 errichtet. Nach Abzug der Mehrfamilienhäuser, die aufgrund von Baurecht, infrastrukturellen Gründen o. Ä. nicht aufgestockt werden können, liegt das dadurch entstehende technisch-wirtschaftliche Potenzial bei ca. 50.000 Mehrfamilienhäusern. Ca. 10 % dieser Gebäude haben ein Flachdach, auf denen rund **100.000 Energiewendemodule und ca. 7,5 Mio. m<sup>2</sup>** aufgestockt werden können.

Ohne Einschränkungen durch restriktives Baurecht, durch die Nutzung auch eines Pultdachs o. Ä. könnten insgesamt im Zuge einer Sanierung und des damit verbundenen Umbaus des Dachgeschosses sogar rund 900.000 Wohnungen mit Energiewendemodulen und damit ca. 71 Mio. m<sup>2</sup> entstehen.

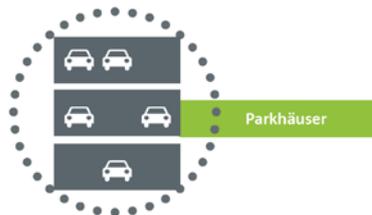


Büro- und Verwaltungsgebäude prägen ebenso wie Mehrfamiliengebäude das Stadtbild großer Städte. Sie stellen mit knapp 324.000 Gebäuden in Deutschland die größte Gruppe der Nichtwohngebäude dar. Davon sind 201.500 Gebäude in Ballungsgebieten. Aufgrund der ähnlichen Erschließung wie bei Wohngebäuden sowie der gängigen Konstruktion in Skelettbauweise eignen sie sich für Aufstockungen. Je nach Modernisierungsstand des Bestandsgebäudes kann das Energiewendemodul in verschiedenen Varianten eingesetzt werden.

103.500 Bürogebäude wurden im Zeitraum von 1958 bis 1989 erbaut. Knapp 69 % dieser Gebäude fallen nach der Aufstockung in Gebäudeklasse 3 oder 4, d.h. sie müssen keine oder

nur wenige weitere Brandschutzanforderungen erfüllen. Ca. 33 % dieser Bürogebäude haben ein Flachdach. Daraus ergibt sich ein technisch-wirtschaftliches Potenzial von 2.300 Gebäuden.

Rechnet man dieses Potenzial mit typischen Dachflächen hoch, so lässt sich auf Bürogebäuden mit Flachdächern ein weiteres Potenzial von **8.200 Energiewendemodulen und damit ca. 600.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche** erschließen. Wenn nicht nur auf Flachdächern aufgestockt wird, können weitere 17.000 Einheiten im Zuge einer Aufstockung entstehen (ca. 2 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche).



Parkhäuser finden sich in allen größeren deutschen Städten in einer zwei- bis dreistelligen Anzahl. Besonders in den fünfziger und sechziger Jahren entstanden in den deutschen Innenstädten viele Parkhäuser. Sie werden oft in Skelettbauweise errichtet und bieten somit viel Flexibilität für Umnutzungen. Parkhäuser haben aufgrund der hohen Lasten der Fahrzeuge hohe Tragreserven.

In Deutschland gibt es rund 2.700 Parkhäuser. Davon befinden sich etwa 90 % in Ballungsräumen und Gegenden mit erhöhtem Wohnraumbedarf. Knapp über 40 % sind dabei für Aufstockungen nutzbar. Aus den Liegenschaftskatasterinformationssystem geht hervor, dass von diesen 1.100 Parkhäusern noch etwa 800 Gebäude innerhalb der Gebäudeklasse 3 verbleiben könnten und keine zusätzlichen Brandschutzmaßnahmen benötigen.

Wenn ein gewisses Genehmigungsrisiko angesetzt wird, ergeben sich rund 560 nutzbare Parkhäuser für den Wohnungsmarkt. Daraus ergeben sich rund **25.000 Energiewendemodule (1,8 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche)**. Mit Kompensationsmaßnahmen (z. B. besondere Brandschutzmaßnahmen) könnten auf den 800 Parkhäusern sogar noch 10.000 Module mehr (2,6 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche) entstehen.



## HEMNMISSE & FÖRDERUNG

Aufstockungen sind ein architektonisch hochwertiges und energieeffizientes Mittel für Nachverdichtung, wenn die Prämisse lautet: Aufstockungen erfolgen städtebaulich sensibel, in einem partizipativen Verfahren mit den Nachbarn und unter Berücksichtigung der baukulturellen, sozialen und räumlichen Gegebenheiten. Die Potenzialanalyse zeigt jedoch, dass vielerlei **Hemmnisse** Aufstockungen verhindern:

- Beschränkungen, die sich aus dem Bauordnungs- und Planungsrecht ergeben, insbesondere Brandschutz und Stellplätze.
- Die Referenzgebäudeanforderungen sollen laut Stellungnahme des Bundesrates zum Gebäudeenergiegesetz (GEG)-Entwurf ohne weitere Abschläge für Aufstockungen übernommen werden. Das GEG regelt die energetischen Anforderungen an Aufstockungen und Erweiterungen, danach dürfen die Hüllflächen von Aufstockungen um 20 % (Wohngebäude) bzw. 25 % (Nichtwohngebäude) weniger gedämmt sein als das Referenzgebäude.
- Ggf. werden vorhandene Wärmeerzeuger im aufgestockten Teil im GEG nicht berücksichtigt. In seiner Stellungnahme schlägt der Bundesrat daher vor, dass Aufstockungen auch nach dem üblichen Nachweisverfahren für zu errichtende Gebäude (§10 GEG) berechnet werden können. Diese beinhaltet Anforderungen an den Primärenergiebedarf, an die Gebäudehülle und an die Nutzung erneuerbarer Energien.

Viele dieser Regelungen sind interpretierbar. Es kommt daher auch auf den „guten Willen“ der jeweiligen Genehmigungsbehörden an, Aufstockungen umzusetzen. Diese Genehmigungspraxis erfolgt auf kommunaler Ebene. Daneben können Kommunen aber auch Beratungen anbieten und im Rahmen von Quartierskonzepten Aufstockungen ermöglichen.

Die baurechtlichen Neuregelungen für Aufstockungen könnten durch eine bundesweit geltende Richtlinie eingeführt werden, damit einen positiven Einfluss nehmen und Aufstockungen rechtlich begünstigen.

**Förderseitig** ist mit dem neuen Bundesprogramm effiziente Gebäude (BEG) bereits ein hohes Niveau erreicht:

- Aufstockungen fallen – sofern durch die Module eigene Wohneinheiten entstehen – in der Regel in die Neubauförderung des BEG, die sowohl für Wohn- wie für Nichtwohngebäude erheblich bessere Konditionen bietet.
- Die Energiewendemodule erreichen durch die Integration erneuerbarer Energien in der Regel den Effizienzhaus 40 Standard und würden damit nach aktuellen Randbedingungen mit 22,5 % der förderfähigen Investitionskosten gefördert, maximal jedoch 150.000 € pro Wohneinheit. Wenn das Modul als Erweiterung interpretiert wird, könnte es sogar die Sanierungsförderung von 50 % erhalten. Aufstockungen sollten generell wie Erweiterungen gefördert werden und nachzuweisen sein. Damit wird wieder eine Vereinheitlichung und Vereinfachung für die Schaffung von Wohnraum erreicht.

Eine schnelle Umsetzung der Anpassung der baurechtlichen Anforderungen für Brandschutzanforderungen und Weitere sowie die Anpassung der Regelung der Förderungen für Aufstockungen hilft gegen den Wohnungsmangel, ohne neue Flächen zu versiegeln.

### Fazit:

*Energiewendemodule sind eine ideale Form der Aufstockung. Insgesamt können, konventionell geschätzt, auf Mehrfamilienhäusern, Bürogebäuden und Parkhäusern 135.000 Module und damit 11 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche gebaut werden.*

*Veränderte baurechtliche Anforderungen und Anpassungen von Förderungen würden das Potenzial von Energiewendemodulen erhöhen.*

## UMSETZUNGSBEISPIELE MIT ENERGIEWENDEMODULEN



**Bürogebäude.** Ausgangspunkt des Projektes ist die Sanierung der Sparkasse in Kressbronn. Die Sparkasse wurde 1973 in Ort beton im Architekturstil des Brutalismus errichtet. Statik sowie Brandschutz der Module und der Sparkasse limitieren die Gestaltung. Der Entwurf vom Umbau der Sparkasse erinnert nur noch wenig an das Bestandsgebäude. Eine glatte Putzfassade ersetzt die raue Betonfassade. Der offene Laubengang wird, um mehr Nutzfläche zu gewinnen, geschlossen, womit die grüne, nicht gedämmte Pfosten-Riegel-Fassade ersetzt wird. Die Energiewendemodule schließen die Lücken innerhalb des Gebäudes. Sie heben sich durch ihre Holzfassade vom Gebäude ab.

**Mehrfamilienhäuser.** Als Beispiel wird ein Wohnquartier ideell mit Energiewendemodulen aufgestockt. Das Quartier ist ein reales Bauprojekt in Offenburg, wobei der Ist-Zustand für diese Analyse nicht relevant ist. Die Annahme: alle notwendigen Konditionen wie Statik, Brandschutz, Denkmalschutzbedingungen etc. werden eingehalten. Das Quartier ist ein Sanierungsobjekt. Die Module werden nicht platzsparend angeordnet, sondern locker und frei platziert, wodurch flexiblere Gruppierungen möglich sind. Zwischen den Modulen werden Grünflächen geplant, sodass das Wohngefühl eines „Dorf auf dem Dach“ mitten in der Stadt entsteht. Pro Dachfläche wird nur ein Erschließungskern des Bestandsgebäudes aktiviert, der die Erschließung der Module ermöglicht. Terrassen und Wohnräume sind Richtung Süden ausgerichtet.

**Parkhäuser.** Die autarke Variante der Energiewendemodule ist besonders für den Einsatz auf Parkhäusern geeignet: die Versorgung mit Wärme und Warmwasser erfolgt durch das Energiewendemodul selbst. Als Beispiel wurde das Züblin-Parkhaus in Stuttgart mit Energiewendemodulen aufgestockt. Das Parkhaus steht in der Stadt, sodass die Erweiterung des Parkhauses exklusiven und begehrten Wohnraum bietet. Auf dem Parkhaus werden mehrere Module in einer freien Bebauung platziert. Die restliche Fläche des Parkhauses wird begrünt und dient als Garten. Gleichzeitig verbessert die begrünte Dachfläche das Stadtklima. Durch die Neugestaltung der Fassade mit Pflanzen erhält das Parkhaus eine neue Architektursprache und wird so zu einem Highlight in der Stadt.



Abbildung 9 & 10: Bürogebäude in Kressbronn Vorher - Nachher



Abbildung 11: Wohnquartier



Abbildung 12: Züblin-Parkhaus

## 9.2 Fazit

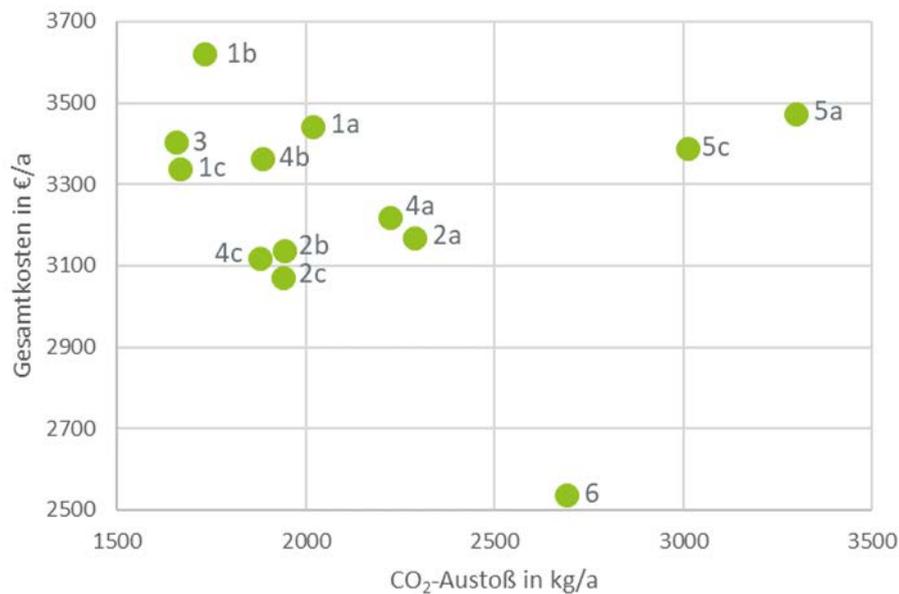
Für das Projekt „Neue Mitte Kressbronn“ wurden innovative, seriell hergestellte Energiewendemodule entwickelt, die als Aufstockung vielfältig genutzt werden können. Mit den

Energiewendemodulen wird nachhaltiger und flächeneffizienter Wohnraum geschaffen. Die Module sind energieeffizient und haben zugleich einen hohen Anteil erneuerbare Energien.

Die enge Zusammenarbeit mit der Praxis und die Entwicklung der Module an einem Bauprojekt ermöglichte eine konkrete Planung bis hin zur Ausführung und damit die Verbindung von Wissenschaft und Praxis. Nicht nur die Sparkasse Kressbronn kann die Energiewendemodule nutzen; die Energiewendemodule können auch für verschiedene Gebäudetypen eingesetzt werden oder sogar autark funktionieren. Das Potenzial durch Aufstockungen mit Energiewendemodulen ist hoch.

Die **key lessons learned** sind:

9. Praxisbezogene Projekte stecken voller Innovationskraft. Die konkrete Umsetzung und Fertigung hängt von vielen Faktoren ab und muss weiter untersucht werden.
10. Das Aufstockungspotenzial in Deutschland ist hoch. Allein auf den Gebäudetypen Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude und Parkhäuser können ca. 135.000 Energiewendemodulen und damit eine Wohnfläche von 11 Mio. m<sup>2</sup> entstehen. Behutsame Nachverdichtung ist damit möglich.
11. Energiewendemodule sind durch den Einsatz des Versorgungsherzens in ihrer Form und Struktur einzigartig. Sie bieten einen hohen Grad an erneuerbaren Energien und Effizienz. Die konzipierten Varianten können für verschiedene Gebäudetypen und unter Gegebenheiten genutzt werden.
  - a. Mit der autarken Variante erfolgt die Versorgung der Energiewendemodule unabhängig vom Bestandsgebäude.
  - b. Wird das Energiewendemodul als Symbiont ausgeführt, versorgt das Modul das Bestandsgebäude teilweise mit Strom aus einem hohen Anteil an Photovoltaik.
  - c. Ist ein Energiewendemodul ein Profiteur, versorgt das Bestandsgebäude das Modul mit Wärme und Energie.
12. Die anlagentechnischen Simulationen verschiedener Versorgungsvarianten zeigen, welcher Wärmeerzeuger für die Energiewendemodule geeignet sind: Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einem PVT-Kollektor, der gleichzeitig als Wärmequelle für die Wärmepumpe dient, ist die Versorgungsvariante, die in allen Punkten der Analyse am effizientesten abschneidet. Die Gesamtkosten der Anlage sind moderat und sie haben von allen Varianten den geringsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß (Variante 3). Die Variante zeichnet sich zudem durch niedrige Emissionen in der Herstellung aus und schneidet auch in der Untersuchung zu Komfort und Schall gut ab. Eine Luft-Wärmepumpe mit PV-Anlage (Variante 2c) hat im Vergleich zu den anderen Wärmepumpen-Varianten die geringsten Gesamtkosten. Beide Infrarot-Varianten (5a und 5c) emittieren die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ein Ausreißer ist das untersuchte Splitgerät (Variante 6). Diese Variante ist am günstigsten, verbraucht vergleichsweise aber auch hohe Emissionen.  
Die meisten Varianten unterscheiden sich kaum in Kosten und CO<sub>2</sub>-Ausstoß, sodass hier für die Energiewendemodule eine große Auswahl herrscht.

Abbildung 91: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen und Gesamtkosten aller Varianten

13. Um Aufstockungen politisch zu fördern, müssen gesetzliche Rahmenbedingungen angepasst werden. Eine schnelle Änderung der baurechtlichen Anforderungen sowie eine Anpassung der Förderbedingungen für Aufstockungen unterstützen den Wohnungsbau.
14. Die serielle Fertigung der Energiewendemodule hat neben einer kurzen Bauzeit, dem Potenzial zur Kostensenkung und einer wetterunabhängigen Baustelle den Vorteil, dass weniger Fachkräfte für den Bau von Wohnraum notwendig sind.
15. Holz ist der zentrale Baustoff, der bei den Energiewendemodulen verwendet wird. Die Außenwände werden als Pfosten-Riegel-Konstruktion konzipiert, die mit einem holzbasierten Dämmstoff gefüllt sind. Dieser Bauteilaufbau bietet einen hohen Wärmestandard. Holz als Baustoff bietet weitere Vorteile, wie eine förderliche Wohngesundheit und kalkulierbare Brandschutzkonzepte.
16. Die Ökobilanz der Energiewendemodule ist gut. Aufgrund ihrer Bauweise in Holz und der effizienten Anlagentechnik ist der Anteil der „grauen Energie“ für die Herstellung der Module gering.

Empfohlen wird weitere Umsetzungsmöglichkeiten für die Energiewendemodule zu suchen und diese in der Praxis umzusetzen. Diese gebauten Beispiele sollten mit einem Monitoring überwacht werden, um die zukünftige Effizienz zu erhöhen. Konkrete Praxisbeispiele zeigen, welchen Effekt serielle Vorfertigung auf die Kostenentwicklung von Energiewendemodulen haben. Diese Kostenentwicklung und verbesserte Produktionsschritte sollten weiter untersucht werden.

# Literaturverzeichnis

---

- [BAU18] BAU EPD GmbH: *HOIZ - Hobelspandämmung*, Baufritz GmbH & Co. KG, 2018.
- [BBS16] BBSR: *Potenziale und Rahmenbedingungen von Dachaufstockungen und Dachausbauten*. Bonn, 2016.
- [bde99] Fünfgeld, C.: *Repräsentative VDEW-Lastprofile*. BTU Cottbus, 1999.
- [BHI15] Beuth Hochschule, ifeu: *Dämmbarkeit des deutschen Gebäudebestands*. Berlin, 2015.
- [BLS14] Bayerisches Landesamt für Statistik: *Zensusdatenbank*. 2014. <https://ergebnisse.zensus2011.de/> (Zugriff am 01. 05 2020).
- [BMU15] Bundesministerium für Umwelt; Naturschutz; Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): *Bericht der Baukostensenkungskommission*. 2015
- [BR-Dr. 584/19] Drucksache des Bundesrates 584/19 vom 20.12.2019, *Entwurf eines Gesetzes zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude*, online unter [https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2019/0501-0600/584-19\(B\).pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2019/0501-0600/584-19(B).pdf?__blob=publicationFile&v=1) (Zugriff am 26.05.2021)
- [BT-Dr. 19(24)092] Ausschussdrucksache des Deutschen Bundestages 19(24)092 vom 03.06.2019: *Stellungnahme Reiner Nagel, Vorstandsvorsitzender Bundesstiftung Baukultur*, S. 1–5. Online unter: [https://www.bundesstiftung-baukultur.de/sites/default/files/medien/8349/downloads/190605\\_bt-bauausschuss-aufstockung-stellungnahme\\_bsbk.pdf](https://www.bundesstiftung-baukultur.de/sites/default/files/medien/8349/downloads/190605_bt-bauausschuss-aufstockung-stellungnahme_bsbk.pdf) (Zugriff am 26.05.2021).
- [BT-Dr. 19(24)094] Ausschussdrucksache des Deutschen Bundestages 19(24)094 vom 03.06.2019: *Stellungnahme Andrej Holm, Humboldt-Universität zu Berlin*, S. 1–5. Online unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/645482/46fdea2eb045aa5b08d52f12620f95a9/Stellungnahme-SV-Holm-data.pdf> (Zugriff am 26.05.2021)
- [BT-Dr. 19/6219] Drucksache des Deutschen Bundestages 19/6219 vom 30.11.2018: *Wohnungsmangel bekämpfen – Dachgeschosse nutzen*, S. 1–2. Online unter: <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/062/1906219.pdf> (Zugriff am 26.05.2021).
- [BT-Dr. 19/6499] Drucksache des Deutschen Bundestages 19/6499 vom 13.12.2018: *Sofortprogramm Bauflächenoffensive – Hunderttausend Dächer und Häuser Programm*, S. 1–2. Online unter: <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/19/064/1906499.pdf> (Zugriff am 26.05.2021)

- [CAR21] CARMEN e.V.: *Marktpreise Energieholz*, 2021. Online unter: <https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/> (Zugriff am 26.05.2021)
- [CO20] co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: *Stromspiegel*, 2019, Online: <https://www.stromspiegel.de/fileadmin/ssi/stromspiegel/Broschuere/stromspiegel-faktenblatt-2019.pdf>
- [DB19] Deutscher Bundestag: Sachverständige: *Baurecht hemmt Dachausbau*. 2019 online unter: <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2019/kw23-pa-bau-dachgeschoss-634674> (Zugriff am 26.05.2021)
- [DEN18] dena. *Insight Büroimmobilien*. Berlin: Deutsche-Energie-Agentur GmbH, 2018.
- [DES19] destatis. *Bautätigkeit und Wohnungen*. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2019.
- [FD19] Franken, M. und Drews, S.: *Gartenstadt Lichterfelde Süd: Regenerative Wärme mit geringer Mietsteigerung*. Heinrich Böll Stiftung, 2019. Online unter: <https://www.boell.de/de/2019/03/05/innovative-technik-wenig-kosten-fuer-die-mieterinnen> (Zugriff am 26.05.2021)
- [FDP19] FDP: *Offensive für bezahlbaren Wohnraum*. Berlin, 2019
- [GDW19] GDW: *GdW Stellungnahme GdW Stellungnahme anlässlich der öffentlichen Anhörung im Deutschen Bundestag zum Thema: Wohnungsmangel bekämpfen – Dachgeschosse nutzen / Sofortprogramm Bauflächenoffensive – Hunderttausend Dächer und Häuser Programm am 5. Juni 2019*. 2019
- [HAI20] Heider, J.; Conrad, N.; Stark, T.; Abdulganiev, A.; Kosack, P.; Wagner, A.: *Forschungsprojekt „IR-Bau“ Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hoch-effiziente Wohngebäude*, Projektabschlussbericht: 2020, Online: [https://www.htwg-konstanz.de/fileadmin/pub/ou/energie/Forschung/IR-Bau/Abschlussbericht\\_Forschungsprojekt\\_IR-Bau.pdf](https://www.htwg-konstanz.de/fileadmin/pub/ou/energie/Forschung/IR-Bau/Abschlussbericht_Forschungsprojekt_IR-Bau.pdf) (Zugriff am 02.06.2020)
- [HK15] Holm, A. H., und Kagerer, F.: *Das wirtschaftliche und energetische Potential der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaziele*. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., München, 2018.
- [HR15] Hestermann, U. und Rongen, L.: *Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 1*. 36. Auflage Hrsg. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2015
- [IWU15] IWU: *Deutsche Gebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäude*. Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, 2015.
- [LJM17] Lüth, J., Jäger, T., McKenna, R., und Fichtner, W.: *Photovoltaik auf Gebäuden: eine GIS getützte Ermittlung des Potenzials in Baden-Württemberg*. Karlsruhe: KIT, 2017.

- [MIT19] Mitsubishi electric: Planungshandbuch M-Serie Multisplit-Außengeräte. Version 1/2019. S. 8-10; 2019
- [PI15] Passivhaus Institut: *Passivhaus-Projektierungspaket Version 9*, 2015, Online: [https://passiv.de/de/04\\_phpp/04\\_phpp.htm](https://passiv.de/de/04_phpp/04_phpp.htm)
- [PRO] ProBas: Prozessdetails: El-KW-Park-DE-2020. Referenzen DLR und GEMIS, 2020
- [RAT20] ratiotherm GmbH&Co KG: Planungsleitfaden, Elektronisch geregelte Wohnungsstation. S 106-109. [https://ratiotherm.de/fileadmin/Content-Bilder/Prospekte\\_-\\_Flyer/Planungsleitfaden\\_2020.03\\_WEB.pdf](https://ratiotherm.de/fileadmin/Content-Bilder/Prospekte_-_Flyer/Planungsleitfaden_2020.03_WEB.pdf)
- [ScF 2020] Mattauch, L., Creutzig, F., aus dem Moore, N., Franks, M., Funke, F.: Antworten auf zentrale Fragen zur Einführung von CO2-Preisen (Version 2.0) – Gestaltungsoptionen und ihre Auswirkungen für den schnellen Übergang in die klimafreundliche Gesellschaft (Version 2.0). Diskussionsbeiträge der scientists for future 2. 2020
- [TUB19] TU Braunschweig: *Leitlinie zur Vereinfachung der Planung und Durchführung von Aufstockungs- / Erweiterungsmaßnahmen als Nachverdichtungsmaßnahme in innerstädtischen Bereichen*. Braunschweig, 2019.
- [TUP16] TU Darmstadt, Pestel Institut: *Deutschland-Studie 2015 - Wohnraumpotenziale durch Aufstockung*. Darmstadt, 2019.
- [TUP19] TU Darmstadt, Pestel Institut: *Deutschlandstudie 2019 Wohnraumpotenziale von „Nichtwohngebäuden“*, 2019.