

## Leitfaden



# Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes am Beispiel der Stadt Iphofen

Untersuchung des Potenzials von Nahwärmeversorgungskonzepten in Verbindung mit Sanierungskonzepten denkmalgeschützter, historischer Gebäude in innerörtlichen Quartieren

# Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes am Beispiel der Stadt Iphofen

Untersuchung des Potenzials von Nahwärmeversorgungskonzepten in Verbindung mit Sanierungskonzepten denkmalgeschützter, historischer Gebäude in innerörtlichen Quartieren

## Impressum:

Abschlussbericht Oktober 2012

Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik  
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gerhard Hausladen

## Autoren:

Dipl. Ing. (FH) Julia Drittenpreis, M. Eng.  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Thomas Schmid, M. Sc.  
Dipl.-Ing. Oliver Zadow, Architekt

## Mitarbeiter:

B.A. Johanne Schöner, M. Sc.  
B.A. Sc. Amelie Lesser

## Projektlaufzeit:

01.01.2011 - 30.10.2012

Tel.: +49 89 289 - 22475  
Fax: +49 89 289 - 23851  
Email: hausladen@lrz.tu-muenchen.de

„Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung unter dem Titel „Untersuchung des Potenzials von Nahwärmeversorgungskonzepten in Verbindung mit Sanierungskonzepten denkmalgeschützter, historischer Gebäude in innerörtlichen Quartieren“ gefördert.

(Aktenzeichen: SF - 10.08.18.7 - 10.19/ II 3 - F 20-09-1-200)

„Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.“

---

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einführung</b>	<b>4</b>
1.1. Einleitung	4
1.2. Zusammenfassung	
1.2.1 Methode für die Ermittlung des Wärmebedarfs historischer Quartiere	6
1.2.2 Sanierungs- und Einsparpotenziale historischer Quartiere	6
1.2.3 Zentrale Versorgungslösungen und Nutzung erneuerbarer Energien	7
1.3. Vorgehensweise und Forschungsinput	8
1.4. Schnelleinstieg: Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung historischer Quartiere	10
<b>2. Bestands- und Potenzialanalyse in historischen Quartieren</b>	<b>12</b>
2.1. Schnelleinstieg	13
2.2. Ermittlung der Wärmebedarfsdichte historischer Quartiere	14
2.2.1. Exkurs Iphofen: Historische Stadt- und Gebäudestrukturen	15
2.2.2. HEGT: Historisch-Energetische Gebäudetypologie	16
2.2.3. Gewachsene historische Quartiere - Kombination von Methoden	20
2.2.4. Vorgehensweise und Datenaufnahme	22
2.2.5. Werkzeuge für den Energienutzungsplan	24
2.3. Potenziale zur Energieeinsparung in historischen Quartieren	30
2.3.1. HEGT:Sanierungsmatrix -Energetische Relevanz und historische Verträglichkeit	34
2.3.2. HEGT:Sanierungsmatrix - Kosten und Wirtschaftlichkeit	40
2.3.3. Exkurs Iphofen: Empfehlungen zum Sanierungskonzept	42
2.3.4. HEGT:Sanierungsmatrix - Datenblätter für die Energieberatung	52
2.4. Energieinfrastruktur	79
2.4.1. Energieinfrastruktur: Ebene Städtebau	79
2.4.2. Energieinfrastruktur: Ebene Gebäude	80
2.4.3. Exkurs Iphofen: Energieinfrastruktur	82
2.5. Nutzung regenerativer Energiepotenziale in historischen Quartieren	84
2.5.1. Solarenergienutzung	86
2.5.2. Holzrecht	89
2.5.3. Windenergienutzung	90
2.5.4. Exkurs Iphofen: Erneuerbare Energiepotenziale im Gemeindegebiet	93
<b>3. Konzepte</b>	<b>94</b>
3.1. Wärmenetze in historischen Quartieren	96
3.1.1. Einflussfaktoren auf Wärmenetze geringer baulicher Dichte	97
3.1.2. Einflussfaktoren auf Wärmenetze hoher baulicher Dichte	98
3.1.3. Anschlussgrad/Sanierung/Energiebereitstellung	99

3.1.4. Einfluss der Sanierung auf Gebäudeseite	101
3.1.5. Gesamtenergetische Bewertung	102
3.1.6. Exkurs Iphofen: Energiekonzept	103
<b>4. Anhang</b>	<b>112</b>
<b>5. Verzeichnis</b>	<b>120</b>
5.1. Quellen & Hintergrundinformationen:	120
5.2. Indexverzeichnis	124
5.3. Abbildungsverzeichnis	125
5.4. Tabellenverzeichnis:	128





### 1.1. Einleitung

Ziel der Bundesregierung bis 2050 ist ein klimaneutraler Gebäudebestand der mit regenerativen Energien versorgt wird. Die Sanierungsrate des deutschen Gebäudebestands liegt seit zwei Jahren bei ca. 1 % und ist seither rückläufig. Damit aber die gesteckten Klimaziele der Bundesregierung erreicht werden, muss dem Deutschen Bundestag zufolge die Sanierungsrate jährlich auf 2 % angehoben werden (vgl. [bmu, 2012]). Der klimagerechte Stadtumbau wird einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende beitragen. Denn 75 % des deutschen Gebäudebestands wurden bereits vor 1975 erbaut (vgl. [Erhorn et al., 2007, Seite 4]) und fallen unter den sowieso anfallenden Sanierungszyklus. Zwar ist der Anteil denkmalgeschützter Gebäude am Gesamtgebäudebestand mit 3-5 % [VdLd, 2005] gering, doch geht es bei dieser Fragestellung vielmehr um den Erhalt von wichtiger Baukultur und die Stärkung von Regionen mit einem hohen Anteil an historischen Gebäuden.

Auch in Hinblick auf den demografischen Wandel und den Rückgang der Bevölkerungszahlen kommt der Erhaltung des Bestands eine wichtige Rolle zu. Derzeit zeichnet sich eine Rückkehr in die Stadt ab und damit die Entvölkerung ländlicher Gebiete. Dies hängt zum einen mit dem demografischen Wandel und zum anderen mit den geringeren Lebenskosten (vgl. [Weeber et al., 2005]) in der Stadt zusammen. Oftmals sind ganze Quartiere betroffen, die durch einen hohen Anteil an Altbaubestand gekennzeichnet sind. Vor allem für Gemeinden mit einem hohen Anteil an historischen Gebäuden ist die Vermarktung von diesen Gebäuden schwierig. Um diesen wertvollen Gebäudebestand zu erhalten, ist es wichtig, dass diese Gebäude bewohnt und dadurch instandgehalten werden. Leer stehende Altbauten bergen die Gefahr des Verfalls. Deshalb sind zeitgemäße Lösungen gefragt, um die Attraktivität für Käufer und Mieter zu steigern, in einem historischen Gebäude zu wohnen.

Um die Baukultur unserer Vergangenheit zu wahren, aber gleichzeitig auch eine zeitgemäße und behagliche Wohnbarkeit zu gewährleisten, sind Strategien für

den klimagerechten Stadtumbau erforderlich. Um diese Ziele zu erreichen sind neue Denkansätze für das Planen, Bauen und Sanieren von Gebäuden erforderlich. Insbesondere historische Gebäude und Quartiere haben ihre Stärke im Ensemble. Gebäude sind immer in eine übergeordnete Struktur eingebunden - das städtische Gefüge. Dadurch wird das Potenzial der Energieeinsparung und die Nutzung erneuerbarer Energien stark beeinflusst. Das bedeutet, dass künftig neben der erforderlichen individuellen Betrachtung des Einzelgebäudes die erweiterte Betrachtung auf das Quartier und die Gemeinde erfolgen muss. So steht nicht die objektbezogene Sanierung und die Umsetzung von Einzelmaßnahmen im Gemeindegebiet im Fokus, sondern eine Betrachtungsweise auf städtebaulicher Ebene. Die Energieproblematik wird nicht auf einzelne Gebäude reduziert, sondern erweitert sich auf die energetische Konzeption von Quartieren und weit darüber hinaus auf die Ebene der Gemeinde.

Durch diese Betrachtungsweise eröffnen sich neue ganzheitliche Lösungsansätze für historische Quartiere. Es entsteht das Potenzial, Synergieeffekte und lokale Energieressourcen nutzen zu können. Dadurch können Energie- und Sanierungskonzepte entwickelt werden, die auf den individuellen Ort reagieren und die Wertschöpfungskette stärken. Dabei sind keine Standardlösungen - sondern individuelle Lösungen für einen Ort erforderlich. Dies setzt eine intensive Auseinandersetzung mit den historischen Gebäuden und Ensembles, lokalen Energiepotenzialen, Energieabnahmestrukturen und Infrastrukturen voraus.

Hierfür sind geeignete Planungsinstrumente erforderlich, um auf kommunaler Ebene einzelne Maßnahmen zur Energieeinsparung, Effizienzsteigerung und erneuerbaren Energien gezielt zu entwickeln und aufeinander abzustimmen. Ein Energienutzungsplan\* (ENP) ist ein informelles Planungswerkzeug, welches die Verknüpfung komplexer Fragestellungen zum Thema Energie ermöglicht (vgl. [Hausladen et al., 2011]). Im Rahmen der Stadtentwicklungsplanung und Stadt-sanierung ist er ein wichtiges Instrument, um den Teilbereich Energieeffizienz zu koordinieren.

\* Ein Energienutzungsplan ist ein informelles Planungsinstrument für Gemeinden zum Thema Energie. Vergleichbar mit dem Flächennutzungsplan in der räumlichen Planung zeigt ein Energienutzungsplan ganzheitliche Energiekonzepte und Planungsziele auf.

## 1.2. Zusammenfassung

Das Ergebnis des Forschungsprojekts zeigt, dass die energetische Stadtsanierung historischer Quartiere mit ganzheitlichen Lösungswegen möglich ist. Dabei spielt die übergeordnete Betrachtung auf städtebaulicher und kommunaler Ebene eine bedeutende Rolle. Die baulichen und städtebaulichen Charakteristiken historischer Quartiere bieten ein hohes Potenzial für die Umsetzung energieeffizienter Lösungen.

In der Vergangenheit wurden auf kommunaler Ebene viele Einzelmaßnahmen im Bereich der regenerativen Energieversorgung erarbeitet und umgesetzt. Bei den geplanten und durchgeführten Projekten ist ein verstärkter Trend zur Umsetzung von Einzelmaßnahmen ohne eine übergeordnete regionale Planung zu verzeichnen. Aufgrund der Beschränktheit der regenerativen und wirtschaftlichen Ressourcen und im Sinne der Steigerung der Energieeffizienz erfordern diese einzelnen Bestrebungen zwingend eine übergeordnete Koordination. Die Aspekte einer nachhaltigen regionalen Energieversorgung sind zum einen die Energieeinsparung und zum anderen die Verteilung der Ressourcen. Zur Effektivitätssteigerung ist es zudem notwendig, Angebot und Nachfrage zu koordinieren.

Die Stadt Iphofen hat es sich zum Ziel gemacht, längerfristig einen Energienutzungsplan für eine effizientere Energienutzung im Gemeindegebiet umzusetzen. Als oberstes Ziel soll dabei die Energieeinsparung festgeschrieben werden. Zur Erstellung des Energienutzungsplans sind Aussagen zur bestehenden und zukünftigen Abnehmerstruktur, zu bestehenden Energiepotenzialen und Energienetzen, sowie Strategien für zukünftige Energienutzungen notwendig. So können vorhandene Energiekonzepte gebündelt und Synergieeffekte zur effizienten Ausschöpfung der Energiepotenziale genutzt werden. Die historische Altstadt von Iphofen stellt dabei eine besondere Herausforderung dar, da in Anbetracht ihrer denkmalgeschützten Situation besondere Auflagen bestehen. Prägend für Iphofen ist der hohe Anteil historischer Fachwerk- und Massivgebäude überwiegend aus dem 17. und 18. Jahrhundert.

Die Fragestellung nach zukunftsfähigen Energiekonzepten, mit der besonderen Aufgabe der Einbindung historischer Gebäude, ist nicht nur für die Stadt Iphofen von Interesse. In Deutschland gibt es eine Vielzahl an innerstädtischen, historischen Quartieren die unter den komplexen Anforderungen des Klimaschutzes und der Erhaltung prägender Baukultur Lösungswege erfordern. Darum war es Ziel des Forschungsprojekts, Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen, wie kleine Kommunen mit einem hohen Anteil an historischen Gebäuden energetisch effizient und mit einem hohen Anteil an regenerativen Energien versorgt werden können.

Eingebettet ist das Projekt in den Forschungsbereich "Energienutzungsplan – kommunale Energiekonzepte". Demgegenüber fokussiert der Forschungsschwerpunkt auf einzelnen Quartieren mit hohem Bestand an historischen Gebäuden, die durch folgende Besonderheiten charakterisiert sind:

- Der effiziente Einsatz von regenerativen Energien ist aufgrund der Denkmalschutzbestimmungen und der städtebaulichen Gegebenheiten häufig eingeschränkt. Im vorliegenden Forschungsprojekt werden deshalb Wege aufgezeigt, wie deren Einsatz dennoch möglichst effizient gewährleistet werden kann.
- Historische Gebäude und Quartiere lassen nur ein begrenztes Maß an energetischer Sanierung zu. Auf Gebäudeseite werden dazu Sanierungs- und technische Nachrüstmöglichkeiten aufgezeigt, um die Erschließung effizienter Versorgungsmöglichkeiten sicherstellen zu können.
- Zudem sind die Quartiere meist geprägt durch eine hohe bauliche Dichte - was zu einer langfristig hohen Energiedichte solcher Siedlungen führt.
- Diese Randbedingungen legen die Versorgung über zentrale Wärmenetze nahe.

Um die historischen Gebäude Iphofens in ein kommunales Energiekonzept einbinden zu können, war die Entwicklung neuer Methoden und Herangehensweisen

Quellen & Hintergrundinformationen:

[bmu, 2012] [http://www.bmu.de/energie/wende/beschluesse\\_und\\_massnahmen/doc/46507.php](http://www.bmu.de/energie/wende/beschluesse_und_massnahmen/doc/46507.php) [Stand 27.09.2012]

[Erhorn et al., 2007, Seite 4] Erhorn H., Erhorn-Kluttig H., Hauser G., Sager C., Weber H., co2online gemeinnützige GmbH; Friedrich M., Becker D., Grondey G., Laskowski F.: CO<sub>2</sub> Gebäudereport 2007, (Hrsg.) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Berlin, 2007

[VdLd, 2005] Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland: Arbeitsblatt 25 Stellungnahme zur Energieeinsparverordnung (EnEV) und zum Energiepass, Wiesbaden, 2005

[Weeber et al., 2005] Weeber H., Weeber R., Fritz A., Dörrie A.: Besser Wohnen in der Stadt. Konzepte und Beispiele für Familienwohnungen, Fraunhofer IRB Verlag, 2005

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheutschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

erforderlich. Durch den iterativen Arbeitsprozess von Forschung und Anwendung der Ergebnisse, können allgemeingültige Empfehlungen, Hinweise zum Arbeitsprozess, Kennwerte und wichtiges Hintergrundwissen zusammengefasst werden. Diese werden in Form eines Leitfadens allgemeingültig dargestellt.

Die Schwerpunkte der Forschungsarbeit gliedern sich in drei wesentliche Bausteine:

- Erarbeitung einer Methode für die Ermittlung des Wärmebedarfs historischer Quartiere (→ Pkt. 1.2.1)
- Ermittlung von Sanierungs- und Einsparpotenzialen historischer Quartiere (→ Pkt. 1.2.2)
- Aussagen zu zentralen Versorgungslösungen und Einsatzmöglichkeiten regenerativer Energien (→ Pkt. 1.2.3)

#### 1.2.1. Methode für die Ermittlung des Wärmebedarfs historischer Quartiere

Die Ermittlung des räumlich bezogenen Energiebedarfs in Quartieren bildet die Grundlage für die Entwicklung von Energiekonzepten. Hierfür muss der aktuelle und der zukünftige Wärmebedarf (→ Pkt. 1.2.2) und seine räumliche Verteilung auf dem Gemeindegebiet (Wärmebedarfsdichte) ermittelt und in Karten dargestellt werden. Im Rahmen der Ermittlung derzeitiger und zukünftiger Wärmebedarfsstrukturen historischer Quartiere kommen mehrere Besonderheiten zum tragen, die eine erweiterbare Herangehensweise und eine Anpassung der bisherigen Methoden erfordern. Charakteristisch ist die Verwendung regional vorhandener Baumaterialien und gewachsene bzw. dichte städtebauliche Strukturen. Um dies bei der Ermittlung der Wärmebedarfsdichte zu berücksichtigen, wurde eine Historisch-Energetische Gebäudetypologie (HEGT) (→ Abb. 13) entwickelt. Dadurch können unabhängig von Baualtersklassen und historischen Klassifizierungen Wärmebedarfsdichten ermittelt werden. Die Typologie baut auf energierelevanten Kriterien, des Anbaugrads und der ther-

mischen Qualität der Konstruktion, die regional bestimmt ist, auf.

Die Untersuchungen zur Entwicklung der Typologie haben gezeigt, dass die Kompaktheit der Gebäude den entscheidendsten Einfluss auf den Heizwärmebedarf ausübt. Das Maß an Kompaktheit ist abhängig vom Anbaugrad und der Anzahl der Geschosse. Gebäude mit einem hohen Anbaugrad weisen bis zu 50 % niedrigere Heizwärmebedarfswerte auf. In zweiter Linie ist die thermische Qualität der Konstruktion energetisch relevant. Je kompakter die Gebäude, desto geringer ist der Einfluss der thermischen Qualität der Konstruktion.

Um die thermische Qualität der Konstruktionen der typischen Gebäude in Iphofen abzubilden, wurden Konstruktionsklassen gebildet. Diese Konstruktionsklassen sind auf eine Vielzahl von Gebäuden auch regional übertragbar. Bei Bedarf kann die Konstruktionsklasse angepasst werden.

Die verorteten Heizwärmebedarfe zur Erstellung der Wärmebedarfsdichtekarten können softwaregestützt ermittelt werden. Hierfür fließt die HEGT als Referenzgebäudeverfahren in die Bilanzierungssoftware GemEB ein. Mit dieser Software wird der Wärme- und Trinkwarmwasserbedarf verbrauchsangepasst auf Grundlage des geometrisch angepassten Referenzgebäudes ermittelt. Dadurch können Heizwärmebedarfswerte für eine individuelle, städtebauliche Struktur berechnet werden (→ Abb. 27).

#### 1.2.2. Sanierungs- und Einsparpotenziale historischer Quartiere

Neben der Betrachtung der derzeitigen Energieabnahmestruktur ist die Analyse der zukünftigen Wärmeabnahme wichtig. Denn die Wärmebedarfsdichte steht in engem Zusammenhang damit, ob erneuerbare Energien zentral oder dezentral genutzt werden können. Hierfür müssen energetische Einsparpotenziale historischer und nicht-historischer Gebäude über einen längeren Zeitraum untersucht werden.

Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen und die Experteninter-

views, dass energetische Sanierungen historischer Gebäude unter dem Leitgedanken der Behutsamkeit durchaus möglich sind. Das energetische Einsparpotenzial ist nicht obligat von der Denkmalschutzklassifizierung abhängig. Durch abgestimmte Sanierungspakete können hohe Energieeinsparungen bei gleichzeitig hoher historischer Verträglichkeit erreicht werden. Dies erfordert jedoch eine intensive Auseinandersetzung mit dem Ort. Die Analyse der städtebaulichen Struktur, geprägt durch die bauliche Dichte und die typischen historischen Gebäude, bildet die wichtigste Grundlage für die Entwicklung von Sanierungsstrategien. Dabei ist eine Betrachtungsweise erforderlich, welche die Aspekte der Bauphysik, der energetischen Relevanz, des Denkmalschutzes und der gestaltprägenden Wirkung von energetischen Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt. Auf dieser Basis können Sanierungskonzepte entwickelt werden, die auf ein Quartier abgestimmt sind und dieses stärken.

Um für die typischen Gebäude eines Quartiers Sanierungsstrategien festzulegen, ist die Kenntnis der energetischen Relevanz verschiedener Sanierungsmaßnahmen wichtig. Darum wurde als Hilfestellung eine Sanierungsmatrix (→ Tab. 5 und 6) entwickelt, die Tendenzen der Energieeinsparpotenziale aufzeigt. Diese knüpft an die HEGT an und berücksichtigt die Aspekte des Anbaugrads und der thermischen Qualität der Konstruktion. Durch den Abgleich der gestaltprägenden Wirkung dieser Sanierungsmaßnahmen und den energetischen Einsparpotenzialen kann eine erste Einschätzung getroffen werden, welche Sanierungsmaßnahmen sinnvoll und für ein Quartier als historisch-verträglich bewertbar sind. Sanierungsszenarien auf Quartiersebene können mit Hilfe weiterentwickelter Werkzeuge durchgeführt werden. (→ Kap. 2.2.5, S.24)

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist, dass historische Quartiere mit einer hohen baulichen Dichte ein hohes Potenzial für wirtschaftliche energetische Sanierungsmaßnahmen aufweisen. Dies ist zum einen auf die schlechten U-Werte der bestehenden Konstruktionen und auf das hohe Maß an Kompaktheit zurückzuführen.

### 1.2.3. Zentrale Versorgungslösungen und Nutzung erneuerbarer Energien

Im Rahmen von Umgestaltungsmaßnahmen bietet sich die Möglichkeit der Integration von neuen Versorgungsstrukturen an. Innerstädtische, historische Quartiere weisen ein hohes Potenzial für die Umsetzung zentraler Lösungen auf. Grund dafür ist die hohe Energieabnahmedichte und die bessere Anlagenauslastung durch Gleichzeitigkeit gegenüber dezentralen Heizungssystemen. Die Umstellung von dezentraler auf zentrale Energieversorgung bietet auch wirtschaftliche Vorteile für die Gemeinde, insbesondere wenn kommunale Gebäude mit angeschlossen werden. Zusätzlich kann die Einbindung des künftig gesetzlich geforderten Anteils an erneuerbaren Energien erfolgen, was sonst aufgrund des Denkmalschutzes und innerstädtischer Lagen problematisch sein kann. Im Hinblick auf die gesetzlichen Vorgaben, wie z.B. die Energieeinsparverordnung (EnEV), können somit auch in historischen Gebäuden durchaus gute primärenergetische Niveaus erreicht werden.

Das Potenzial für die Umsetzung zentraler Lösungen ist von den energetischen Einsparpotenzialen durch künftige Sanierungen und die zu erwartenden Anschlussquoten abhängig. Wobei dies maßgeblich in Zusammenhang mit der städtebaulichen Struktur steht.

Es lassen sich zwei wesentliche Ergebnisse zusammenfassen:

- Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes hängt bei Siedlungsgebieten mit einer hohen baulichen Dichte in einem geringen Maße vom zu erwartenden Anschlussgrad und der zukünftigen Entwicklung der energetischen Sanierung ab. Der Einfluss der Energiebereitstellung überwiegt.
- Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes hängt bei Siedlungsgebieten mit einer geringen baulichen Dichte in einem erheblichen Maß vom zu erwartenden Anschlussgrad, der zukünftigen Entwicklung der energetischen Sanierung und der Energiebereitstellung ab.



- Vertiefende Untersuchung des historischen Altstadtensembles
- Untersuchungsgebiet allgemein

zu Abb. 1

Der vorliegende Leitfaden „Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes“ zeigt am Beispiel der Stadt Iphofen die empfohlene Vorgehensweise für die Umsetzung von Energienutzungsplänen auf.

Untersucht wurden die Stadtteile von Iphofen, Mönchsondheim und Hellmitzheim. Die Altstadt Iphofens weist einen sehr hohen Anteil an historischen und denkmalgeschützten Gebäuden auf. Die städtebauliche Struktur ist geprägt durch eine dichte Bebauung. Die meisten Gebäude stammen aus dem 17./18. Jh. Ergänzend wurden zwei der von insgesamt sechs umliegenden ländlichen Ortschaften - Hellmitzheim und Mönchsondheim untersucht. Die städtebauliche Struktur zeichnet sich durch eine lockere Bebauungsstruktur mit Hofbebauungen und freistehende Gebäuden aus.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheuschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

Der Leitfaden Energienutzungsplan steht zum download unter:  
<http://www.verwaltung.bayern.de/portal/cl/1058/Gesamtliste.html?cl.document=4011133>



Abb. 1: Untersuchungsgebiete: Iphofen, Mönchsondheim und Hellmitzheim

### 1.3. Vorgehensweise und Forschungsinput

Das vorliegende Forschungsprojekt knüpft an das 2011 abgeschlossene Forschungsprojekt mit dem Titel „Kommunaler Klimaschutz, zukunftsfähige Energiekonzepte am Beispiel des Landkreises München“ an. Dieses Projekt entstand im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit, für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie und der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde der Leitfaden „Energienutzungsplan“ veröffentlicht. Dieser zeigt anhand von sechs Gemeinden im Landkreis München die empfohlene Vorgehensweise für die Umsetzung von Energienutzungsplänen auf. Es werden allgemeingültige Grundlagen für die Umsetzung von Energienutzungsplänen in Gemeinden mit einem überwiegenden Bestand an nicht-historischen Gebäuden dargestellt. Die Besonderheiten historischer Quartiere sind in diesem Leitfaden jedoch nicht abgebildet.

Der vorliegende Leitfaden "Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes am Beispiel

Iphofens" ist damit ein ergänzendes Arbeitswerkzeug für Städte und Gemeinden mit einem hohen Anteil an historischen Gebäuden. Der Leitfaden richtet sich an Akteure der Planung, Kommunen, Politik, Energieversorger, Bürger und Bürgerinitiativen.

Neben der Erarbeitung eines Energienutzungsplans für die Stadt Iphofen, war es Aufgabe, Leitlinien für die Sanierung historischer Gebäude aufzuzeigen. Dadurch sind die Schwerpunkte des vorliegenden Leitfadens weit gefächert. Aufgezeigt werden die einzelnen erforderlichen Schritte zur Entwicklung von Energienutzungsplänen bis hin zu konkreten gebäudebezogenen Sanierungsempfehlungen und Werkzeugen.

Die Ergebnisse sind weitgehend allgemein übertragbar auf historische, innerstädtische und ländlich geprägte Quartiere aus dem 17./18 Jahrhundert. Die Methoden und Empfehlungen sind jedoch auch auf andere Aufgabenstellungen übertragbar und erweiterungsfähig. Die Empfehlungen für die Stadt Iphofen sind in den einzelnen Kapiteln jeweils am Ende im Abschnitt "Exkurs Iphofen" dargestellt.

Neben der praxisbezogenen Erarbeitung der Forschungsergebnisse wurde Wert darauf gelegt, Diskussionsrunden mit verschiedenen Fachexperten zu führen. In Gesprächen mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, dem Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, Architekten, Bauphysikern und Bauherren konnten die Ergebnisse der Untersuchung fortlaufend weiterentwickelt werden.

Das Stadtplanungs- und Architekturbüro SBS begleitet die Stadt Iphofen langjährig in städtebaulichen Fragestellungen. Dadurch konnten umfassende Hintergrundinformationen zu den historischen Gebäuden Iphofens zur Verfügung gestellt werden.

Darüber hinaus wurde eine detaillierte Bestandsaufnahme von 18 historischen Gebäuden in Iphofen durchgeführt. Analysiert wurden Gebäude unterschiedlicher Konstruktionsarten und Sanierungsstände. Durch gemeinsame Begehungen und Vor-Ort Besichtigungen mit Experten des Denkmalschutzes konnten wichtige Informationen gesammelt werden.

Im Rahmen von mehreren Fachvorträgen wurden die Zwischenergebnisse vorgestellt und gemeinsam diskutiert. So wurden die Ergebnisse z.B. im Rahmen der Expertensitzung "Städtebaulicher Denkmalschutz" im Mai 2012 in Iphofen präsentiert.

Begleitet wurde das Forschungsvorhaben von einem Forschungsbeirat. Involviert waren Prof. Dipl.-Ing. M.Sc. Econ. Manfred Hegger, Fachgebiet Entwerfen und energieeffizientes Bauen (TU Darmstadt) und Prof. Werner Lang, Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Bauen (TU München).

Das Forschungsthema bietet durch die Themenvielfalt vom Städtebau bis hin zur Anlagentechnik des einzelnen Gebäudes großes Potenzial für die Integration in der Lehre. Deshalb wurden drei Masterarbeiten von Studenten des Masterstudiengangs KlimaDesign erarbeitet.

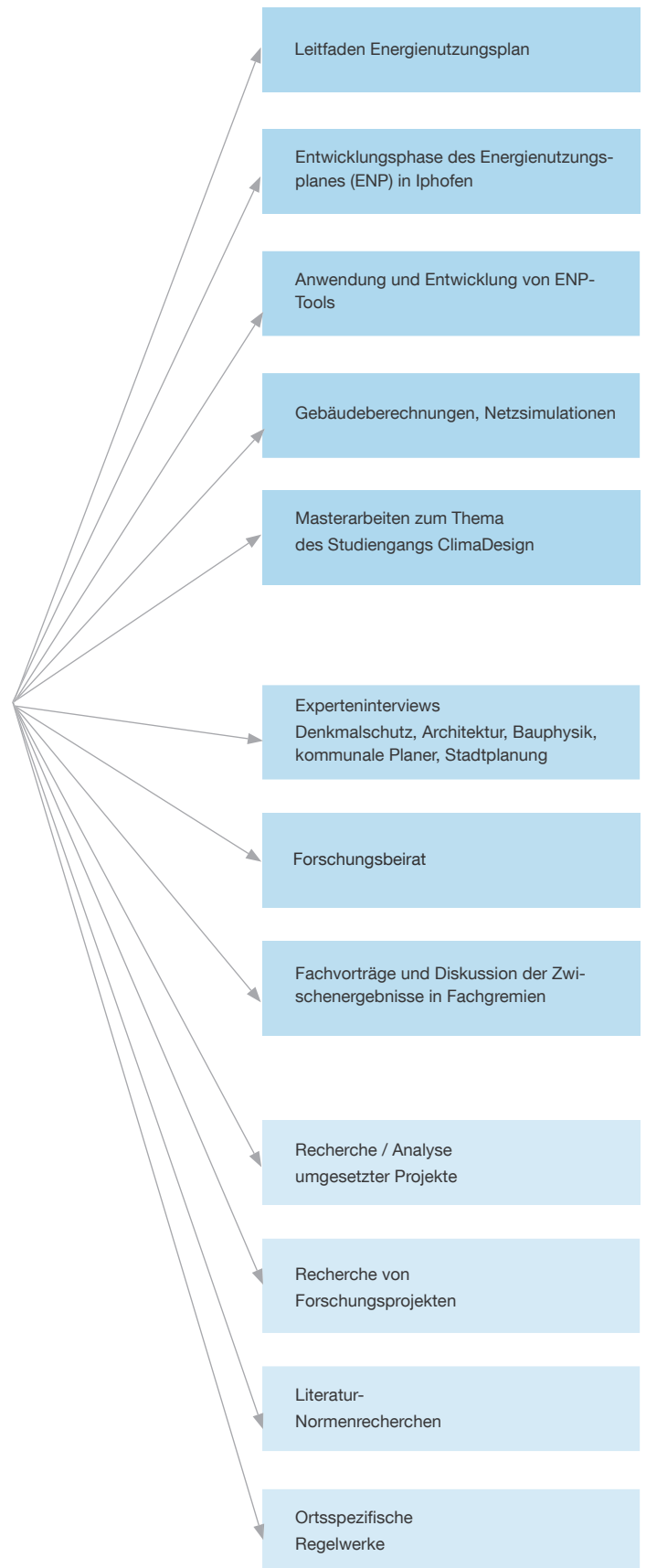


Abb. 2: Informationspool des Forschungsvorhabens

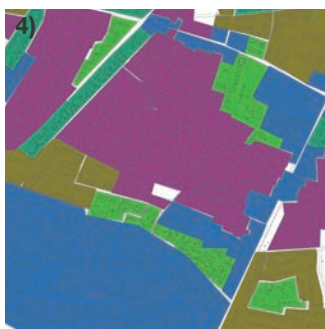
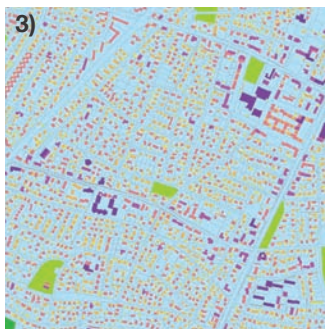
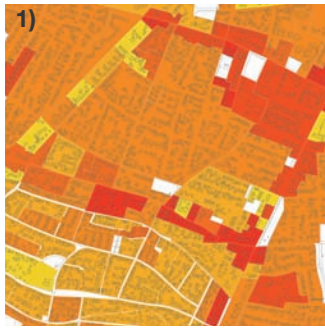


Abb. 3: Ebenen eines Energie-nutzungsplans (Kartenausschnitte)

zu Abb.

Analyse der ortsbezogenen Wärmebedarfsdichte (1) - der Infrastruktur (2) und der erneuerbaren Energiepotenziale (3). Auf Grundlage dieser Analyse können Energiekonzepte (4) entwickelt werden, die auf den individuellen Ort reagieren und diesen stärken.

#### 1.4. Schnelleinstieg: Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung historischer Quartiere

Ein Energienutzungsplan ist ein Planungsinstrument, um auf kommunaler Ebene einzelne Maßnahmen zu Energieeinsparung, Effizienzsteigerung und erneuerbaren Energien gezielt zu entwickeln und aufeinander abzustimmen (→ Abb. 3). Im Rahmen der Stadtentwicklungsplanung und Stadtsanierung ist er ein wichtiges Instrument um den Teilbereich Energieeffizienz zu koordinieren. Ein Energienutzungsplan ist ein informelles Planungswerkzeug auf Ebene des Flächennutzungsplans.

Zielführend ist die Umsetzung von Energienutzungsplänen in Gemeinden und Städten mit einem hohen Anteil an historischen Gebäuden unter dem Leitgedanken der Angemessenheit und Behutsamkeit.

Diese Aufgabe erfordert neue Lösungswege, die den komplexen Fragestellungen gerecht werden. Ein Energienutzungsplan setzt eine intensive Auseinandersetzung mit den historischen Gebäuden und Ensembles, lokalen Energiepotenzialen, Energieabnahmestrukturen und Infrastrukturen voraus. Dadurch können die jeweils besten Möglichkeiten hinsichtlich Energieeinsparung, Effizienzsteigerung und einer Umstellung auf regenerative Energieträger auf Basis eines Energienutzungsplans optimal aufeinander abgestimmt werden. Eine möglichst hohe, effiziente und umweltverträgliche Nutzung der lokal verfügbaren Energiepotenziale sowie ein gezielter Einsatz der beschränkten wirtschaftlichen Ressourcen einer Stadt oder Gemeinde wird dadurch erreicht. Darüber hinaus bergen die darin aufgezeigten Energiekonzepte für die regionale Wertschöpfung ein großes Potenzial.

Die Erstellung eines kommunalen Energienutzungsplans gliedert sich allgemein in drei Phasen: die Bestands- und Potenzialanalyse, die Konzeptentwicklung und die Umsetzung.

Die Bestands- und Potenzialanalyse bildet die Basis für die Erstellung eines Energienutzungsplans. Sie liefert einen detaillierten Überblick zur energetischen

Situation vor Ort. Ermittelt und analysiert werden der bestehende Energiebedarf in den Sektoren „Private Haushalte“, „Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)“ sowie „Industrie“, die vorhandene Energieinfrastruktur sowie die im Untersuchungsgebiet verfügbaren Potenziale erneuerbarer Energien. Ein wesentlicher Aspekt bildet hier die räumlich differenzierte Analyse. Dadurch unterscheidet sich der Energienutzungsplan von einer reinen Energiebilanz.

Die Bestands- und Potenzialanalyse historischer Quartiere erfordert eine Untersuchung auf Gemeindeebene, des Städtebaus und der historischen Gebäude. Besonderheiten der Analyse sind z.B. die Ermittlung historisch angemessener Sanierungspotenziale für die typischen Gebäude am Ort, die Ermittlung der Wärmebedarfsdichte und die Abstimmung von erforderlichen Temperaturniveaus der Wärmeübertragung und Erzeugung (→ Kap. 2: Bestands- und Potenzialanalyse). Wichtig in dieser Phase ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Fachexperten der Denkmalpflege, Stadtplanung, Kaminkehrern und Energieberatern.

Auf dieser Basis werden in der zweiten Phase Konzepte zur nachhaltigen Energieversorgung unter Berücksichtigung von Energieeinsparung und Effizienzsteigerung entworfen. Die Versorgungsart kann unter Berücksichtigung regionaler erneuerbarer Energiepotenziale und des Energieeinsparpotenzials gezielt aufeinander abgestimmt werden (→ Kap. 3: Konzepte).

Die dritte Phase betrachtet die Möglichkeiten zur Umsetzung der Maßnahmen. Da der Energienutzungsplan derzeit als informelles Planungsinstrument keine Rechtsverbindlichkeit besitzt, ist die Umsetzung der Maßnahmen über weitere Planungsinstrumente (Bauleitplanung, städtebauliche Vertrag), Förderinstrumente, geeignete organisatorische und finanzielle Modelle und über die Einbindung der relevanten Akteure (Bürger, Berater des Fachbereichs Denkmalpflege und Energie, Energieversorger, Groß- und Sonderabnehmer, etc.) zu steuern (→ [Hausladen et al., 2011]).

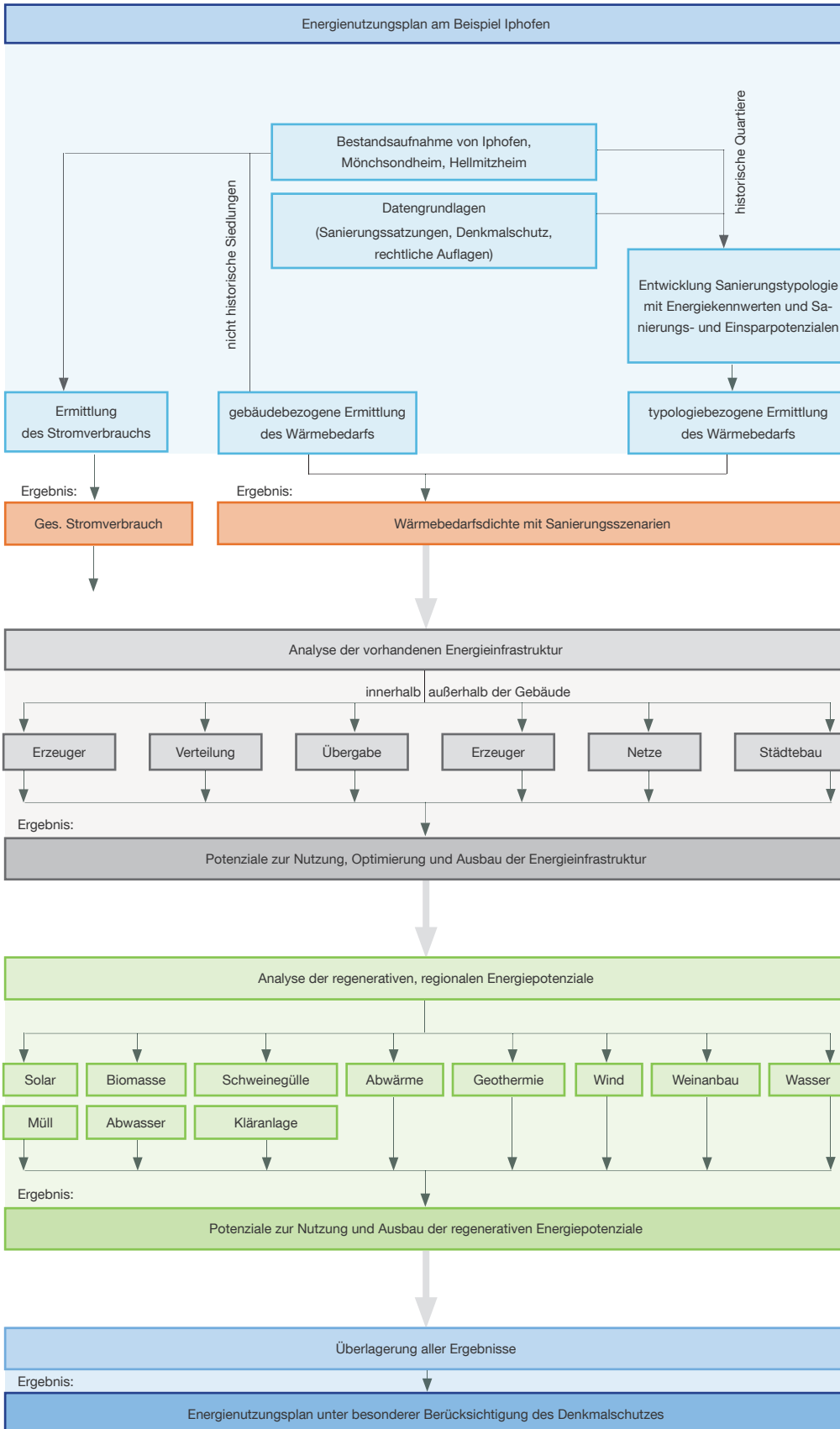


Abb. 4: Aufbau des Forschungsprojekts - Inhalte, Vorgehensweise, Ergebnisse und allgemeine Übertragbarkeit



## 2. Bestands- und Potenzialanalyse in historischen Quartieren

### Besiedeltes Gemeindegebiet

- digitale Flurkarte



### Analyse der Gemeindestruktur

1) Luftbild

2) Städtebauliche Pläne

Flächennutzungsplan

Bebauungspläne

3) Historische Klassifizierung

Denkmalpflegerischer Erhebungsbogen /  
historische Aufzeichnungen

+ Befahrung / Begehung

+ Informationen durch Ortskundige, Experten  
Denkmalpflege, Heimatpfleger

4) Infrastruktur

Ebene Quartier: z.B. Gasnetz  
Wärmenetze

Ebene Gebäude: Baualter und Art der  
vorhandenen Wärmeerzeugungsanlagen  
(Kaminkehrerdaten)

5) Analyse der Energiepotenziale

### Bearbeitungsraaster

6) Quartiersbezogene Betrachtungsweise

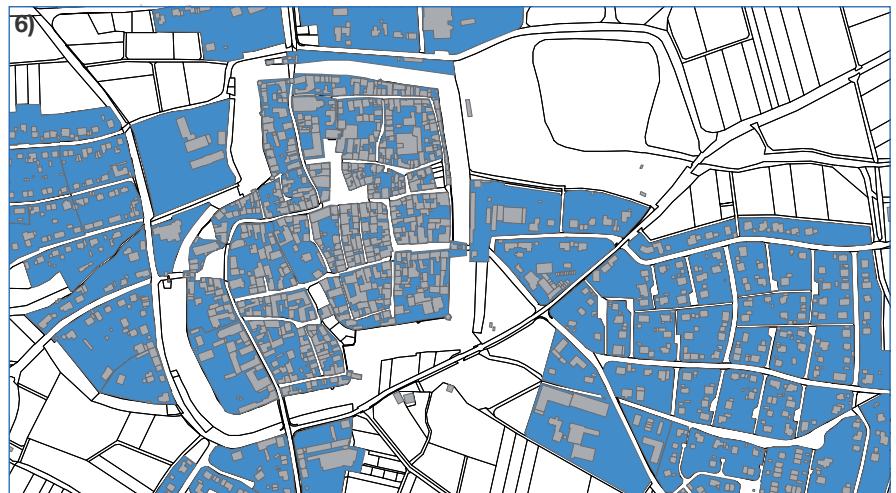


Abb. 5: Schritte der Bestands- und Potenzialanalyse historischer Quartiere

## 2.1. Schnelleinstieg

### **Ziel**

Ermittlung aller energiebezogenen Datengrundlagen und ihrer räumlichen Verteilung auf dem Gemeindegebiet.

Dies beinhaltet:

### **Energiebedarf**

- ortsbezogener Wärmebedarf des historischen und nicht-historischen Gebäudebestands, Wärmebedarfsermittlung historischer Quartiere (→ Kap. 2.2, S.14), siedlungsbezogene Ermittlung und Kennwerte bei Nicht-Wohngebäuden (→ [Hausladen et al., 2011])
- Gesamtstromverbrauch der Gemeinde (→ [Hausladen et al., 2011])

### **Energieinfrastruktur**

Ebene Quartier: Bestehende Wärme- und Gasnetze, Heiz-, Heizkraft- und Blockheizkraftwerke, Biogasanlagen, etc.

Ebene Gebäude: Anlagen zur individuellen Wärmeversorgung wie z. B. Heizkessel, erforderliche Temperaturniveaus (→ Kap. 2.4, S.79)

### **Regenerative Energiepotenziale**

Im Gemeindegebiet vorhandene regenerative Energiepotenziale, Besonderheiten historischer Quartiere: Solarenergie, Biomasse, oberflächennahe Geothermie, Abwärme, Wind (→ Kap. 2.5, S.84), Wasser, Tiefengeothermie (→ [Hausladen et al., 2011])

### **Vorgehensweise**

- Zusammenstellung der benötigten Datengrundlagen (→ Kap. 2.2.4, S.23, Checkliste Datengrundlagen)
- Interdisziplinäre Abstimmung mit Experten der Denkmalpflege, Heimatpflegern und Stadtplanern etc.
- Analyse der städtebaulichen Struktur, Analyse der historischen Gebäude (→ Kap. 2.2.1, S.15)
- Auswahl und Anwendung einer geeigneten Methode zur Wärmebedarfsermittlung (→ Kap. 2.2.3, S.20)
- Ermittlung des historisch verträglichen Einsparpotenzials durch Sanierung der Gebäudehülle und Technikkomponenten (→ Kap. 2.3, S.30, Kap. 2.2,5, S.24)
- Ermittlung des Stromverbrauchs (→ [Hausladen et al., 2011])
- Analyse und Darstellung der Energieinfrastruktur (→ Kap. 2.4, S.79)
- Ermittlung der verfügbaren Energiepotenziale und Berechnung der daraus erschließbaren Energiemenge (→ Kap. 2.5, S.84)

### **Ergebnisse**

- detailliertes Karten- und Datenmaterial als Basis für die darauf aufbauende Konzeptentwicklung
- detaillierte Kenntnis des energetischen Bestands in der Gemeinde
- Grundlage für Fördermaßnahmen im Gemeindegebiet



Abb. 6: Marktplatz von Iphofen  
[Thiem, 1998]

## 2.2. Ermittlung der Wärmebedarfsdichte historischer Quartiere

Die Ermittlung des räumlich bezogenen Energiebedarfs in Quartieren bildet die Grundlage eines Energienutzungsplans. Hierfür muss der aktuelle und der zukünftige Wärmebedarf und seine räumliche Verteilung auf dem Gemeindegebiet (Wärmebedarfsdichte) ermittelt und in Karten dargestellt werden. Der Wärmebedarf ist abhängig von der baulichen Dichte, der Gebäudenutzungen, der Baualtersklassen und bei historischen Gebäuden von den regional verwendeten Baumaterialien.

Die Wärmebedarfsdichte steht in engem Zusammenhang damit, ob erneuerbare Energien zentral oder dezentral genutzt werden können. Neben der Analyse der derzeitigen Energieabnahmestruktur ist die Analyse der zukünftigen Wärmeabnahme ausschlaggebend. Hierfür müssen die Sanierungspotenziale der historischen und nicht-historischen Gebäude über einen längeren Sanierungszyklus untersucht werden. Dadurch wird ersichtlich ob über einen längeren Sanierungszyklus Nahwärmenetze noch wirtschaftlich betrieben werden können oder ob dezentrale Lösungen zu priorisieren sind. (→ Kap. 3: Konzepte)

Die Erhebung von gebäudescharfen Verbrauchsdaten ist in der Praxis meist eingeschränkt. Deshalb ist eine Abstraktion der Energiebedarfswerte hilfreich. Dadurch können überschlägige Energieabnahmedichten auch für die Zukunft ermittelt werden. Als Grundlage für die Wärmebedarfswerte werden meist statistische Daten herangezogen.

Für die Ermittlung der Wärmebedarfsdichten nicht-historischer Quartiere gibt es zwei unterschiedliche Methoden. Es kann zwischen einer siedlungsbezogenen und einer gebäudebezogenen Herangehensweise unterschieden werden.

Die siedlungsbezogene Methode kategorisiert anhand städtebaulicher Merkmale wie Gebäudetypen, Gebäudeanzahl pro Hektar, Anzahl der Geschosse der Gebäude und Gebäudegrundfläche Siedlungstypen.

Die gebäudebezogene Methode klassifiziert die Gebäude nach Baualter und Gebäudetyp (→ Kap. 2.2.3, S.20). Dadurch können jedem Gebäude statistische Wärmebedarfswerte zugeordnet werden. Die Methoden und detaillierte Einflußgrößen sind hierzu im Leitfaden „Energienutzungsplan“ beschrieben [Hausladen et al., 2011].

Im Rahmen der Ermittlung derzeitiger und zukünftiger Wärmebedarfsstrukturen historischer Quartiere kommen mehrere Besonderheiten zum tragen, die eine erweiterte Herangehensweise und eine Anpassung der bisherigen Methoden erfordern. In nebenstehenden Exkurs sind die Charakteristiken der historischen Altstadt in Iphofen dargestellt. Diese lassen sich auch auf eine Vielzahl historischer Quartiere in Deutschland übertragen.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Ermittlung der Wärmebedarfskennwerte in historischen Quartieren nach Kriterien, die unabhängig von der Baualtersklasse sind, erfolgen muss. So sind z.B. Kriterien wie die städtebauliche Dichte, bestimmt durch Anbausituation und Zahl der Vollgeschosse und die vorherrschend verwendeten Baumaterialien, entscheidend für den Energiebedarf und das Sanierungspotenzial (→ Kap. 2.2.2, S.16).

### Quellen & Hintergrundinformationen:

[Schmidt, 2010] Schmidt, R.: Entwicklung einer energetischen Typologie denkmalgeschützter Gebäude am Beispiel der Stadt Iphofen, München, 2010

[Thiem, 1998] Thiem, W.: Denkmalpflegerischer Erhebungsbogen Stadt Iphofen, Auftragsgutachten für die Stadt Iphofen, Landkreis Kitzingen, 1998

[Pfistermeister, 1993] Pfistermeister, U.: Fachwerk in Franken, Nürnberg, 1993



### 2.2.1. Exkurs Iphofen: Historische Stadt- und Gebäudestrukturen

In der historischen Altstadt von Iphofen sind die Gebäude überwiegend mehrseitig angebaut. Eine Analyse der Anbausituation zeigt, dass 8 % der Gebäude freistehend, 15 % einseitig angebaut und 77 % zwei- bis dreiseitig angebaut sind (vgl. [Schmidt, 2010] (Abb. 7)). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die historische Grundstruktur durch Gebäude von Weinbauern und Bauern geprägt ist. Diese Gebäude haben meist einen Innenhof, da hier früher Stallungen und Lagerflächen untergebracht waren. Zum anderen wurden Ende des 17. Jahrhunderts aufgrund der vorhergehenden Verödung oft mehrere ehemalige Höfe zusammengelegt (vgl. [Thiem, 1998]).

Dadurch weist ein Großteil der Gebäude eine hohe Kompaktheit auf. Durch die Anbausituation werden die wärmeübertragenden Umfassungsflächen reduziert. Trotz der konstruktiven energetischen Schwachstellen der alten Bausubstanz hat dies einen positiven Einfluss auf den Energiebedarf der Gebäude. Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat auch, ob die Gebäude zu einem nicht beheizten Nebengebäude oder zu einem beheizten Gebäude angebaut sind.

Nicht nur bei den traditionellen historischen Gebäuden in Iphofen ist die Verwendung ortstypischer Baumaterialien vorzufinden. Entsprechend der geologischen Vielfalt wurden hauptsächlich Sandstein, Gipsstein und Kalkstein verbaut. Darüber hinaus wurden aus den Tonvorkommen Ziegel hergestellt. Das Bauholz stammte aus dem großen umliegenden Stadtwald (vgl. [Thiem, 1998, Seite 5]).

In der Altstadt Iphofens lassen sich drei prägende Gebäudetypen vorfinden (Abb. 8). In der Zeit der Renaissance und zu Beginn des 18. Jahrhunderts schätzte man Fachwerkkonstruktionen noch als ästhetische Bereicherung (vgl. [Thiem, 1998]). Die Fachwerke dienten neben der Statik auch als Zierde und wurden bewusst gezeigt. Zu Zeiten des Barocks wurde jedoch ein monolithischer, mas-

siver Eindruck bevorzugt. Die Gebäude wurden im Erdgeschoss massiv errichtet, das Fachwerk in den oberen Geschossen erfüllte nur noch konstruktive Zwecke und wurde verputzt. Ein massiv gebautes Gebäude konnte sich zur damaligen Zeit nicht jeder leisten. Dennoch sollten die Gebäude den Eindruck erwecken aus Stein gebaut zu sein. Die Verzierungen um Fenster und Gebäudekanten sind in den unteren Bereichen oft aus Stein und in den oberen Geschossen aus Holz nachgebildet. In einer späteren Zeit wurden selbst einfache Häuser nur noch aus Stein errichtet und verputzt.

Bei fast allen Fachwerkgebäuden sind die Außenwände in der Regel im Erdgeschoss in Massivbauweise errichtet. Verwendet wurden hier regionale Natursteine und gebrannte Tonziegel sowie Kalkputz. Für die Fachwerke wurde regionales Laub- und Nadelholz verwendet. Die Ausfachungen wurden mit Lehm und Stickholz und eingeflochtenen Ruten, teilweise mit Naturstein und Ziegel, ausgefüllt. Der Lehm wurde meist mit Stroh vermengt. Verputzt wurden die Gebäude mit Kalkmörtel. Die obersten Geschossdecken sind meist als Holzbalkendecken errichtet. Verfüllt wurden die Decken mit Schüttungen oder Strohlehmwickeln (vgl. [Pfistermeister, 1993]).

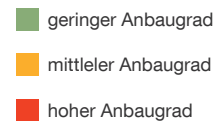


Abb. 7: Anbaugrad der Gebäude

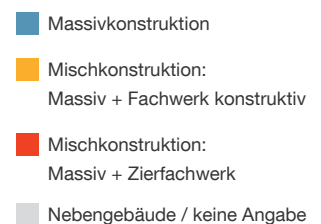


Abb. 8: Typische Konstruktionen



Abb. 9: Rothenburg ob der Tauber [gmaps]

Abb. 10: Nördlingen [gmaps]

Abb. 11: Iphofen [gmaps]

Abb. 12: Wasserburg am Inn [gmaps]

### 2.2.2. HEGT: Historisch-Energetische Gebäudetypologie

Historisch gewachsene Stadtstrukturen sind das Ergebnis eines jahrhundertelangen Prozesses, stark geprägt durch die Geschichte und die Bewohner einer Stadt. Innerstädtische historische Quartiere weisen meist ein hohes Maß an städtebaulicher Dichte auf. Die Gebäude selbst zeigen einen hohen Individualisierungsgrad auf.

Historische Gebäude unterscheiden sich in der Bauweise innerhalb der Typologien Massiv- und Fachwerkbau in Abhängigkeit des Baualters meist nicht stark voneinander. Üblicherweise wurden die Gebäude in handwerklich traditioneller Bauart errichtet. Zur Verwendung kamen regional verfügbare Baumaterialien (vgl. [Thiem, 1998]). Unterschiede bilden hier eher die gestalterischen Details wie z.B. Zierfachwerke oder monolithische Steingebäude. Auch Baustile lassen sich nicht klar abgrenzen, da meist ein fließender Übergang stattgefunden hat (vgl. [Schmidt, 2010]). Desweiteren sind viele der Gebäude nicht klar nach Baujahr zu identifizieren. Erst zu Beginn der Industrialisierung in den 20er Jahren entstand ein starker technologischer Wandel, der zu immer neueren Konstruktionen mit neuen Materialien führte.

Zahlreiche historische Gebäude sind nicht mehr im Ursprungszustand, sondern wurden im Laufe der Zeit instandgesetzt und der Nutzung angepasst. Darum weisen viele der Gebäude auch unterschiedliche Bauteile und Sanierungsstände aus unterschiedlichen Bauepochen auf.

Um auf städtebaulicher Ebene die Wärmebedarfsdichte ermitteln zu können, ist eine gebäudebezogene Zuweisung von Energiekennwerten erforderlich. Die übliche Kategorisierung nach Baualtersklassen kann dabei die Besonderheit der oftmals sehr dichten Bebauungsstruktur und der Regionalität der verwendeten Baumaterialien nicht abbilden. Darum wurde als Ergänzung zur Methode der Baualtersklassen nach IWU die "Historisch-Energetische Gebäudetypologie (HEGT)" entwickelt. (→ Abb. 13)

Die Historisch-Energetische Gebäudetypologie (HEGT) bietet eine Hilfestellung für die Ermittlung der Wärmebedarfsdichten und zeigt die Tendenzen des Wärmebedarfs auf.

Ziel war es eine Typologie zu entwickeln, die dem hohen Individualisierungsgrad von historischen Gebäuden gerecht wird. Hierfür wurden umfassende Berechnungen\* durchgeführt um die energetisch relevanten Faktoren zu differenzieren. Die relevanten Aspekte für den Energiebedarf eines Gebäudes sind zum einen die Kompaktheit und zum anderen die verwendeten Baumaterialien. Auf dieser Grundlage basiert die Historisch-Energetische Gebäudetypologie (HEGT). Die Typologie macht sich somit frei von historischen Gebäudeklassifizierungen und einer Einteilung nach Baualtersklassen. Entscheidend sind nur die energetisch relevanten Baumerkmale.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse der energierelevanten Einflussfaktoren zur Definition der Typologie aufgezeigt:

#### Kriterium 1 - Anbaugrad

Die durchgeführte exemplarische Untersuchung hat deutlich gezeigt, dass die Kompaktheit der Gebäude einen erheblichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat. Die Anbausituation bestimmt das Maß an Kompaktheit. In zweiter Linie spielt die Konstruktion d.h. die thermische Qualität der Gebäudehülle eine Rolle. Mit steigender Kompaktheit nimmt der Einfluss der Konstruktionsklasse auf den Heizwärmebedarf ab.

Den höchsten Heizwärmebedarf weisen Gebäude mit einem geringen Anbaugrad auf. Dies sind Gebäude die entweder freistehend sind oder mit nur einem sehr geringen Außenwandanteil an ein anderes Gebäude oder Nebengebäude grenzen. Zu dieser Gebäudetypologie zählen z.B. große Bauernhäuser oder Stadtvillen. Durch das schlechte  $A/V_e$ -Verhältnis ist der Heizwärmebedarf dieser Gebäude sehr hoch. Dies liegt daran, dass diese Gebäude einen hohen Außenwandanteil im Bezug zum beheizten Volumen aufwei-

\* Eingangsgrößen und Hintergrundinformationen zu den Berechnungen der Typologie im Anhang, S. 112

HEGT			Geschosse	Konstruktionsklasse A Q <sub>h</sub> [kWh/(m <sup>2</sup> Wohnfläche *a)]	Konstruktionsklasse B Q <sub>h</sub> [kWh/(m <sup>2</sup> Wohnfläche *a)]
1 freistehend / geringer Anbaugrad				1	227
			2-4	176	230
2 mittlerer Anbaugrad			1	202	239
			2-4	149	188
3 hoher Anbaugrad			1	167	182
			2-4	110	127

zu Abb.  
Anhand der Historisch-Energetischen Gebäudetypologie (HEGT) kann auf einfache Weise über die Kriterien des Anbaugrads und der Konstruktionsklasse eine Einschätzung des Wärmebedarfs vorgenommen werden. Die HEGT-Tabelle zeigt eine erste Tendenz des Heizwärmebedarfs der Gebäude auf.

Der Heizwärmebedarf ist abhängig von der Kompaktheit bzw. dem Anbaugrad 1, 2, 3 und der Anzahl der Geschosse. Gebäude mit einem hohen Anbaugrad weisen niedrigere Heizwärmebedarfswerte auf. In zweiter Linie ist die Konstruktionsklasse energetisch relevant.

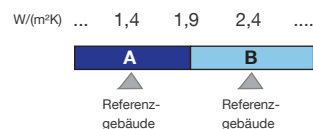
Für Iphofen wurden zwei typische Konstruktionsklassen gebildet. Diese Klassen sind jedoch auf eine Vielzahl von Gebäuden auch regional übertragbar. Bei Bedarf kann die Konstruktionsklasse interpoliert und angepasst werden.

**Konstruktionsklasse A**  
z.B. Fachwerkwände mit Lehmgefach, sowie massive Steinwände mit geringer Rohdichte wie z.B. Ziegelwände; diese Wände weisen eine thermische Tendenz von +/- U= 1,40 W/(m<sup>2</sup>K) auf.

**Konstruktionsklasse B**  
z.B. Fachwerke mit Steingefach, massive Natursteinwände aus Sandstein, Muschelkalk, Bruchstein, Fachwerke mit Bruchstein-Mauerwerk aus Naturstein oder Lessstein/Feldstein, Fachwerke mit Lehmziegelgefach; je nach Wandstärke können diese Wände eine thermische Tendenz von +/- U= 2,40 W/(m<sup>2</sup>K) aufweisen. (→ Abb. 99, Anhang, Seite 117)

Hinweis:  
Mithilfe der entwickelten Bilanzierungssoftware GemEB können Bedarfswerte (→ Kap. 2.2.5, S.24) für individuelle Quartiere die Wärmebedarfsdichte ermittelt werden. GemEB greift dabei auf die Referenzgebäude der Historisch-Energetischen Gebäudetypologie (HEGT) zurück.

Abb. 13: Historisch-Energetische Gebäudetypologie (HEGT)





## Quellen &amp; Hintergrundinformationen:

[DZHD a] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Fachwerkausfachungen

[RKW, 1983] RKW Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft, Zapke, W., Ebert, H., (Institut für Bauforschung e.V.): K-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung. Heft 22. Schriftenreihe der RG-Bau - Rationalisierungs-Gemeinschaft "Bauwesen", Eschborn, 1983

Beispiele typischer historischer Wandaufbauten nach [DZHD a]:

Lehmstaken U-Wert<sub>gesamt</sub> 1,6 W/(m<sup>2</sup>K)  
→ 45mm Kalkputz  $\lambda=0,87$  W/(mK),  
140mm Strohlehmstaken  $\lambda=0,5$  W/(mK). Gefachanteil 60% / 40% Holz.

Strohleichtlehm (ab Mitte 20.Jh)  
U-Wert<sub>gesamt</sub> 0,9 W/(m<sup>2</sup>K)  
→ 45mm Kalkputz  $\lambda=0,87$  W/(mK),  
250mm Strohleichtlehm  $\lambda=0,35$  W/(mK). Gefachanteil 60% / 40% Holz.

Vollziegelmauerwerk  
U-Wert<sub>gesamt</sub> 1,8 W/(m<sup>2</sup>K)  
→ 20mm Kalkputz  $\lambda=0,87$  W/(mK),  
45mm Strohlehmbewurf  $\lambda=0,65$  W/(mK),  
115mm Vollziegelmauerwerk  $\lambda=0,68$  W/(mK). Gefachanteil 60% / 40% Holz.

Bruchstein  
U-Wert<sub>Gefach</sub> 2,4 W/(m<sup>2</sup>K)  
→ 45mm Kalkputz  $\lambda=0,87$  W/(mK),  
150mm Bruchstein  $\lambda=2,0$  W/(mK).  
Gefachanteil 60% / 40% Holz.

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten exemplarischen Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

sen. Durch den hohen Außenwandanteil wird sehr viel Wärme an den Außenraum abgegeben.

So kann der Heizwärmebedarf eines freistehenden Gebäudes bis zu 50 % höher sein als der eines Gebäudes mit hohem Anbaugrad. Außerdem ergeben sich durch die Anbausituation Unterschiede bezüglich der Sanierungsmöglichkeiten. So kann z.B. bei einem Hofgebäude zwischen Vorder- und Hoffassaden differenziert werden. Untergeordnete Hoffassaden, welche von der Straße nicht einsehbar sind, können das Potenzial der Anbringung einer Außendämmung bieten. Folgende Anbaugrade werden klassifiziert:

- 1 Geringer Anbaugrad, das sind freistehende Gebäude oder Gebäude, die zu einem sehr geringen Anteil an beheizte oder unbeheizte Gebäude grenzen
- 2 Mittlerer Anbaugrad, das sind Gebäude, die mit zwei kurzen Seiten oder einer Längsseite an beheizte Gebäude angebaut sind.
- 3 Hoher Anbaugrad, das sind Gebäude die zwei- und dreiseitig angebaut sind, wie z.B. sehr kompakte Reihen- und/oder Hofgebäude

Desweiteren wird nach der Anzahl der Geschosse differenziert. Eingeschossige Gebäude weisen durch die schlechte Kompaktheit einen sehr hohen Heizwärmebedarf auf (→ Abb. 13). Der Einfluss der Geschosse auf die Kompaktheit bzw. den Heizwärmebedarf nimmt jedoch mit steigender Geschossanzahl ab. So ist der Einfluss auf den Heizwärmebedarf zwischen 2-4-geschossigen Gebäuden nur noch gering. Aus diesem Grund kann zwischen ein- und mehrgeschossigen Gebäuden unterschieden werden.

## Kriterium 2 - Konstruktionsklasse

Durch die Art der Konstruktion und die verwendeten Materialien\* wird der Energiebedarf und die Umsetzbarkeit von Sanierungsmaßnahmen bestimmt. Eine sinnvolle Einteilung nach Konstruktionsklassen wird in der Unterscheidung der thermischen Qualität gesehen. So wurden früher meist regionale Baumaterialien verwendet. Das bedeutet, gibt es vor Ort vorherrschend Naturstein mit sehr hoher Rohdichte, ist davon auszugehen, dass diese Steine auch für den Bau der Gebäude verwendet wurden. Die Wände haben somit die Tendenz zu sehr hohen U-Werten. Wurden Natursteine mit geringer Rohdichte wie etwa Lavastein verwendet ist davon auszugehen dass die Wände bessere U-Werte aufweisen. Dies betrifft auch die thermische Qualität von Fachwerken. Fachwerke mit einem Strohlehmgefach weisen U-Werte in einem Bereich von 0,9 W/(m<sup>2</sup>K) bis 1,9 W/(m<sup>2</sup>K) auf. Wohingegen Fachwerke mit Ziegel- oder Lesssteingefachen U-Werte von 2,0 W/(m<sup>2</sup>K) bis 2,7 W/(m<sup>2</sup>K) aufweisen [RKW, 1983] [DZHD a]. Aus diesen Gründen wurden typische Konstruktionen aufgrund der thermischen Qualität untersucht und zu zwei Konstruktionsklassen zusammengefasst (→ Abb. 99, Anhang). Die Konstruktionsklassen stellen eine Tendenz der U-Werte der Außenwände dar. Es ist jedoch auch eine Interpolation (→ Abb. 98, Anhang) oder eine genauere Eingabe in das Softwaretool GemEB (→ Kap. 2.2.5, S.24) möglich.

Im Rahmen der Bestandsaufnahme für einen Energienutzungsplan ist es in der Praxis meist nicht möglich, detaillierte U-Werte für jedes Gebäude zu bestimmen. Der städtebauliche Maßstab der Untersuchung macht dies auch nicht erforderlich. Zum anderen ist zu nennen, je kompakter die Gebäude sind, desto geringer ist auch der Einfluss der Konstruktionsklasse. Es ist ausreichend Tendenzen aufzuzeigen. Für die Bestimmung der Heizwärmebedarfs nach HEGT gibt es zunächst zwei Unterscheidungen:

- Konstruktionsklasse A  
z.B. Fachwerkwände mit Lehmgefach, massive Steinwände mit geringer Rohdichte, Ziegelwände;  
Die Außenwände des Referenzgebäudes

sind mit einem U-Wert von  $1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  berechnet.

#### - Konstruktionsklasse B

z.B. Fachwerke mit Steingefach, massive Natursteinwände aus Sandstein, Muschelkalk, Bruchstein, Fachwerke mit Bruchstein-Mauerwerk aus Naturstein oder Lesstein/Feldstein, Fachwerke mit Lehmziegelgefach (→ Abb. 14); Die Außenwände des Referenzgebäudes sind mit einem U-Wert von  $2,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  berechnet. (→ Abb. 99, Anhang)

#### Eingrenzung und Übertragbarkeit

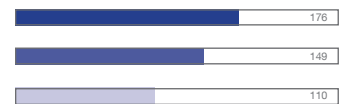
Die Methodik ist durch die Differenzierung nach Anbaugrad und Konstruktionsklasse allgemein übertragbar und über GemEB anpassbar. Für die Entwicklung von Energienutzungsplänen findet die Analyse auf Gemeinde- bzw. bis hin auf Quartiersebene statt. Die Methode nach HEGT liefert zunächst gebäudescharfe Heizwärmebedarfswerte. Diese gebäudescharfen Energiekennzahlen sind als Tendenzen zu verstehen und dienen einer Einschätzung der Energiebedarfsstruktur. Die Einzeldaten werden auf städtebaulicher Ebene zusammengefasst. Dies erlaubt eine Einschätzung zur Entwicklung sinnvoller Energiekonzepte (besonders für Wärmenetze). Der Wärmebedarf wird bezogen auf die im Rahmen der Analyse der Gemeindestruktur entwickelten Rastereinheiten.

Die historische Gebäudetypologie ist anwendbar für ein- bis viergeschossige Gebäude. Darüberhinaus bezieht sich die Untersuchung auf Wohngebäude. Die Methode ist nicht anwendbar auf Gebäude mit musealer oder industrieller Nutzung, da hier die Energiebedarfswerte sehr stark von der Nutzung abhängig sind.

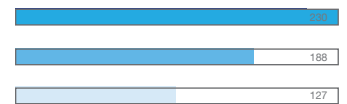
Die Historisch-Energetische Gebäudetypologie (HEGT) bietet eine Grundlage für:

- eine erste Einschätzung des Heizwärmebedarfs von ortstypischen Gebäuden nach Anbaugrad und verwendeten Baustoffen
- ein methodisches Vorgehen bei der Ermittlung von Energiekennwerten, als Ergänzung zu den IWU-Baualtersklassen-Kennwerten
- die Ermittlung von Wärmebedarfsdichten und der Erstellung von Kartenmaterialien (Ist- und Zukunftsszenarien)
- die geometrische Anpassung durch das Softwaretool GemEB, welches eine digitalisierte GIS-gestützte Ermittlung des Wärmebedarfs ermöglicht (→ Kap. 2.2.5, S.24)

#### Konstruktionsklasse A



#### Konstruktionsklasse B



- 1 geringer Anbaugrad
- 2 mittlerer Anbaugrad
- 3 hoher Anbaugrad

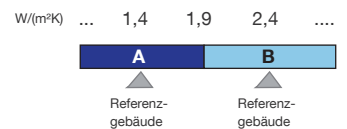


Abb. 14: Tendenz Heizwärmebedarf in  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  nach Anbaugrad - Konstruktionsklasse A und B - 2 bis 4 Geschosse

zu Abb.

Freistehende Gebäude weisen den höchsten Heizwärmebedarf auf. Dies ist auf das ungünstige  $A/V_g$ -Verhältnis zurückzuführen. So liegt z.B. die Heizwärmebedarfstendenz bei einem freistehenden Gebäude mit Konstruktionsklasse A bei ca.  $176 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Wohingegen ein Gebäude mit hohem Anbaugrad eine Heizwärmebedarfstendenz von ca.  $110 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  aufweist. Gebäude mit hohem Anbaugrad finden sich häufig in historischen Quartieren. So sind in Iphofen ca. 77 % Reihen- und Hofgebäude.



**INFOBOX****Gesamtwärmebedarf****pro Gebäude [kWh/a]**

= Heizwärmebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>a)]  
 + Brauchwarmwasserbedarf [kWh/(m<sup>2</sup>a)]  
 - Abschlag für Sanierung [kWh/(m<sup>2</sup>a)]  
 x Energiebezugsfläche [m<sup>2</sup>]

**Energiebezugsfläche [m<sup>2</sup>]**

= Gesamtwohnfläche  
 (oder)

= Gebäudegrundfläche x  
 Geschossanzahl\* x 0,8  
 (oder)

= Abwasser-Beitragsgeschossfläche  
 x 0,66

\*Berücksichtigt werden alle Vollgeschosse, nicht jedoch der Keller. Dachgeschosse unter Schrägdächern sind als halbes Geschoss anzurechnen.

Tab. 1: Bezugswerte für die Ermittlung des Wärmebedarfs [Hausladen et al., 2011]

Quellen & Hintergrundinformationen:

[IWU, 2003] Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze, Dokumentation, Darmstadt, 2003, URL: [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Gebaeudetypologie\\_Deutschland.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland.pdf) [Stand: 10.02.2011]

[Born et al. 2011] Born, R., Diefenbach, N., Loga, T., (Institut Wohnen und Umwelt GmbH IWU): Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, Darmstadt, 2011

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheuschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

### 2.2.3. Gewachsene historische Quartiere - Kombination von Methoden

Historische Quartiere sind bis in die heutige Zeit gewachsen. Darum ist die städtebauliche Struktur meist geprägt durch eine Durchmischung von historischen Gebäuden und Gebäuden jüngeren Baualters. Aus diesem Grund empfiehlt sich eine Kombination der Kennwerte nach HEGT und der IWU-Baualtersklasse-Methode.

Eine Einteilung nach Baualter ist ab der Zeit der bautechnischen Industrialisierung sinnvoll. Die Einteilung in Baualtersklassen basiert auf baugeschichtlichen Entwicklungen und dem Inkrafttreten gesetzlicher Vorschriften wie der Wärmeschutzverordnung (WärmeSchVO) und der Energieeinsparverordnung (EnEV). Über die Gebäudetypologie der IWU lässt sich der statistische Wärmebedarf von Wohngebäuden ermitteln. Jedes Wohngebäude wird nach Gebäudetyp und Baualter eingeordnet.

Die Typologie nach Baualtersklassen unterscheidet zwischen Einfamilienhaus (EFH), Doppelhaushälfte (DHH), Reihenhaushaus (RH), kleinem Mehrfamilienhaus bis sechs Wohneinheiten (MFH), großem Mehrfamilienhaus bis 12 Wohneinheiten (GMH) und Hochhaus/Blockbau (HH). Nach IWU gibt es Baualtersklassen von A bis J, wobei die ältesten Gebäude der Gruppe A und die neuesten der Gruppe J zugeordnet werden. [IWU, 2003]

Nach IWU werden historische Gebäude durch die Baualtersklassen A und B klassifiziert. Hierbei wird unterschieden zwischen Gebäuden mit Fachwerk die vor 1918 (A) errichtet wurden und Gebäuden ohne Fachwerk die vor 1918 (B) errichtet wurden. Die charakteristischen Merkmale historischer Quartiere wie die bauliche Dichte und die regional verwendeten Baumaterialien werden dadurch nicht abgebildet. Die Gebäudetypologie HEGT bildet hierfür eine Ergänzung (→ Abb. 15). Die Baualtersklassen A und B (Gebäude vor 1918) können nach HEGT und der geometrischen Anpassung nach GemEB (→ Kap. 2.2.5, S.24) detaillierter abgebildet werden.

In nebenstehenden Tabellen sind die Bedarfswerte (Nutzenergie) für spezifische Heizwärmebedarfswerte (→ Tab. 2) und Brauchwarmwasserbedarfswerte (→ Tab. 3) in der jeweiligen Baualtersklassifizierung nach IWU dargestellt. Für die Ermittlung der Brauchwarmwasserbedarfswerte historischer Gebäude können die IWU Werte angewendet werden.

Für die Ermittlung der Wärmebedarfsdichtekarten ist der Gesamtwärmebedarf entscheidend. Dieser setzt sich zusammen aus Heizwärmebedarf, Brauchwarmwasserbedarf und ggf. Prozesswärme. Der Wärmebedarf wird auf Basis von Nutzenergiewerten ermittelt. (→ Tab. 1)

Auch der Aspekt der Gebäudesanierung muss bei der Ermittlung des zukünftigen Wärmebedarfs über die Gebäudetypologie berücksichtigt werden (→ Abb. 15).

Einsparpotenziale nicht-historischer Gebäude können über entsprechende Abschlagsfaktoren nach IWU ermittelt werden. Sind konkrete Sanierungsmaßnahmen an einzelnen Gebäuden bekannt, wird dies durch entsprechende Abschlagswerte berücksichtigt. Liegen keine detaillierten Informationen zu Sanierungen der Gebäude vor, wird anhand des Baualters ein typischer Sanierungszyklus von 45 bis 65 Jahren angenommen und der entsprechende Abschlag dafür abgezogen [Hausladen et al., 2011].

Historische Quartiere erfordern die Umsetzung angemessener Sanierungsstrategien, die auf den Ort und die typischen Gebäude reagieren. Mit Hilfe der Sanierungsmatrix nach HEGT (→ Kap. 2.3.1, S.34) können gebäudebezogen erste Entscheidungen anhand der energetischen Relevanz und der historischen Verträglichkeit abgewogen werden. Wobei die historische Verträglichkeit objektspezifisch bewertet werden sollte. Mit Hilfe von GemEB können Sanierungsszenarien auf Gemeinde- und Quartiersebene bilanziert werden (→ Kap. 2.3.3, S.42).

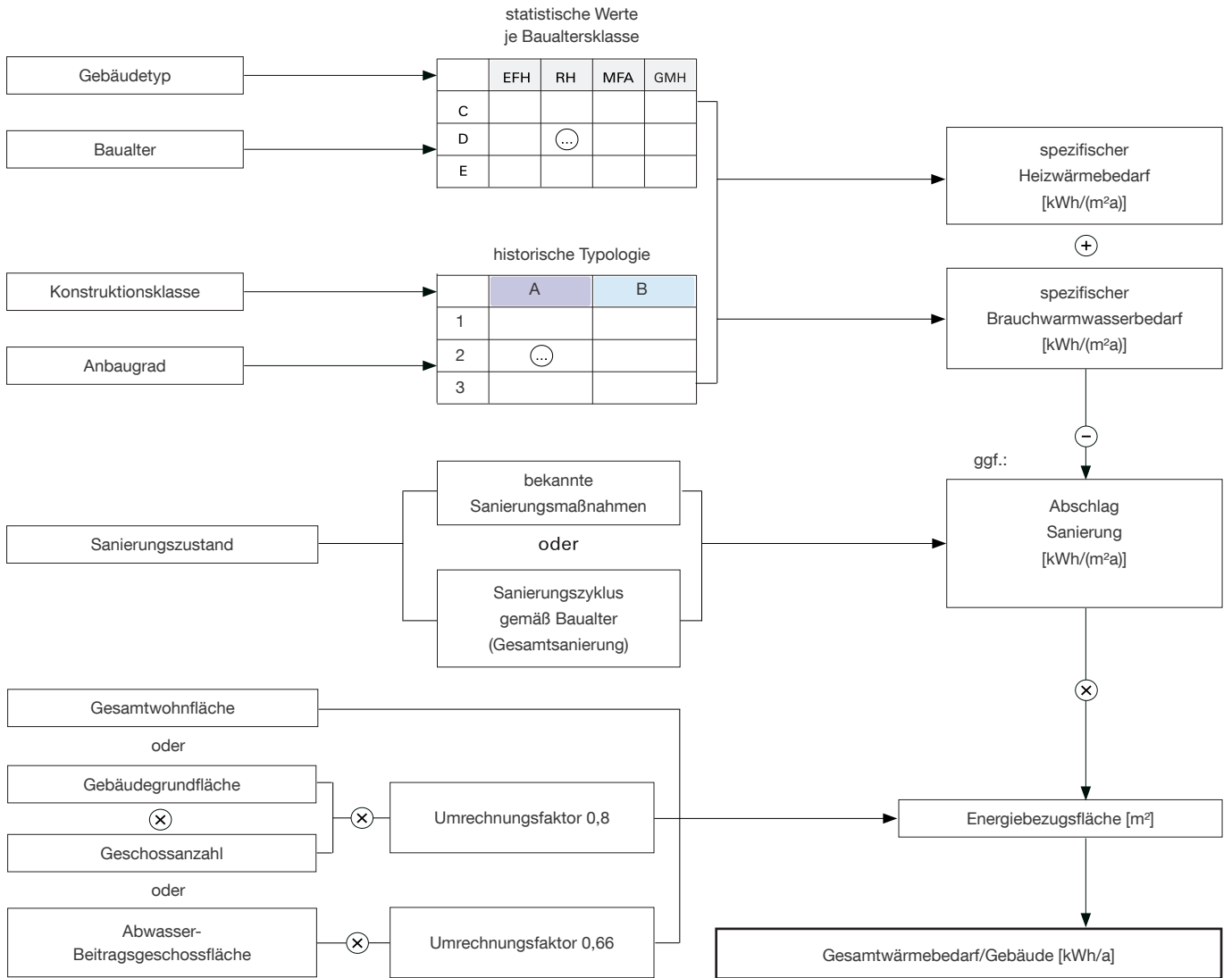


Abb. 15: Wärmebedarfsermittlung gewachsener historischer Quartiere nach IWU und HEGT modifiziert nach [Hausladen et al., 2011]

Tab. 2: Spezifische Heizwärmebedarfswerte (Nutzenergie) für Wohngebäude [kWh/(m²a)], nach [Born et al. 2011]

Baualter	Baujahr	EFH DHH	RH	MFH	GMH	HH
[kWh/(m²a)]						
A	vor 1918 Fachwerk	183		190		
B	vor 1918	181	154	144	127	
C	1919-1948	165	137	168	144	
D	1949-1957	181	157	156	143	
E	1958-1968	147	106	130	132	114
F	1969-1978	156	128	134	118	114
G	1979-1983	118	128	118	114	
H	1984-1994	133	99	123	82	
I	1995-2001	110	78	93	73	
J	ab 2002	89	87	80	51	

Tab. 3: Spezifische Brauchwarmwasserbedarfswerte für Wohngebäude [kWh/(m²a)], nach [Hausladen et al., 2011]

Baualter	Baujahr	EFH DHH	RH	MFH	GMH	HH
[kWh/(m²a)]						
A	vor 1918 Fachwerk	21	18	24	27	k.A., ersatzweise können die Werte für das GMH veranschlagt werden
B	vor 1918	21	18	24	27	
C	1919-1948	20	20	29	33	
D	1949-1957	19	20	25	28	
E	1958-1968	18	20	20	24	
F	1969-1978	16	20	23	18	
G	1979-1983	14	16	20	18	
H	1984-1994	19	21	21	21	
I	1995-2001	19	19	21	21	
J	ab 2002	k.A., ersatzweise können die Werte für das Baualter I veranschlagt werden				

**Typologische Kategorisierung der Wohngebäude**

Klassifizierung der historischen Gebäude nach HEGT (Anbaugrad und Konstruktionsklasse)

Klassifizierung der Gebäude ab 1919 (> C) nach IWU



**Wärmebedarf Wohngebäude**



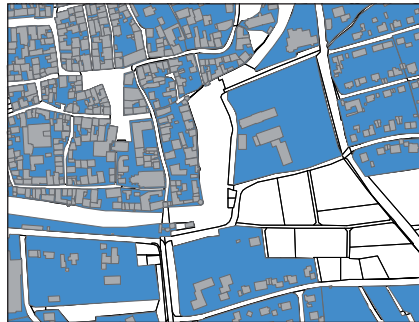
**Wärmeverbrauch**

öffentliche Liegenschaften, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistung



**Rasterung**

Quartiersbezogene Betrachtung



**Wärmebedarfsdichte**

- <150 MWh/(ha·a)
- 150 - 300 MWh/(ha·a)
- 300 - 450 MWh/(ha·a)
- 450 - 600 MWh/(ha·a)
- 600 - 750 MWh/(ha·a)
- 750 - 900 MWh/(ha·a)
- >900 MWh/(ha·a)

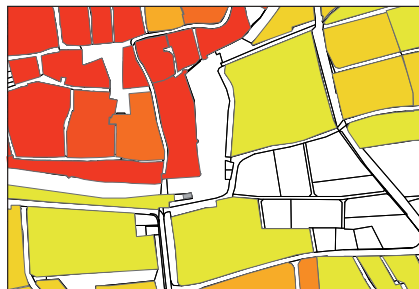


Abb. 16: Piktogramme-Erstellung einer Wärmebedarfsdichtekarte

**2.2.4. Vorgehensweise und Datenaufnahme**

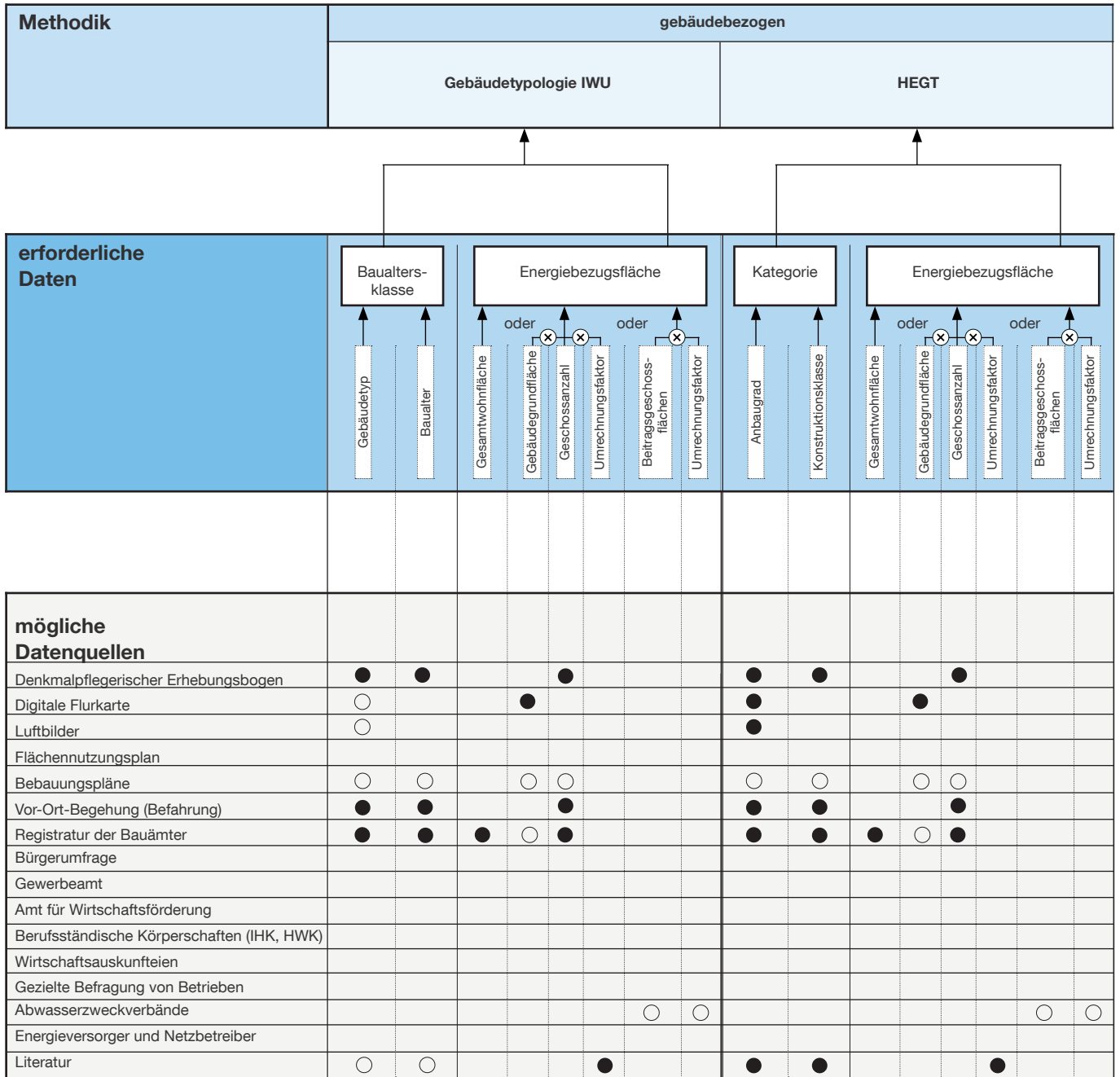
Empfehlenswert ist die Datenaufbereitung und -verarbeitung mit einem Geoinformationssystem (GIS).

Im Rahmen der Bestandsaufnahme vor Ort können die Gebäude den Typologien zugeordnet werden. Dadurch kann jedem Wohngebäude ein gebäudebezogener Energiekennwert zugewiesen werden. Für Gebäude die nach 1919 erbaut wurden, erfolgt die Zuordnung nach Baualter. Historische Gebäude können nach HEGT kategorisiert werden. Für eine Klassifizierung nach HEGT sind bei einer Bestandsaufnahme folgende Daten aufzunehmen:

- Anzahl der Geschosse
- Konstruktionsklasse A oder B; ggf. Anpassung der Konstruktionsklasse
- Anbaugrad 1, 2, 3
- Sanierungsstand:  
Sanierung ab sofort fällig, Sanierung in den nächsten 10 -15 fällig, saniert (→ Kap. 2.3.3, S.42)

Sowohl für nicht-historische und historische Gebäude mit Nutzungen wie z.B. öffentliche Liegenschaften, Industriebetriebe sowie GHD-Betriebe empfiehlt es sich auf reale Verbrauchswerte zurückzugreifen. Diese Daten können im Rahmen einer Befragung ermittelt werden.

Die Methoden nach IWU und HEGT liefern zunächst gebäudebezogene Einzelergebnisse für den Heizwärmebedarf. Sinnvoll ist eine Betrachtung des Wärmebedarfs auf Quartiersebene. Für die Darstellung des räumlich bezogenen Wärmebedarfs muss ein geeignetes Darstellungsraster definiert werden. Für jede Quartierseinheit (Rasterfläche) oder einen Straßenzug wird die Summe der Wärmebedarfswerte der darin enthaltenen Gebäude gebildet. Die Wärmebedarfsdichte wird aus der Summe des Gesamtwärmebedarfs durch die Gesamtfläche der Rasterfläche dividiert. Auch aus datenschutzrechtlichen Gründen dürfen die Wärmebedarfswerte nicht gebäudescharf dargestellt und veröffentlicht werden.



● gut geeignete Datenquelle    ○ bedingt geeignete/unvollständige Datenquelle

Tab. 4: Übersichtsmatrix zur Ermittlung des Wärmebedarfs/-verbrauchs modifiziert nach [Hausladen et al., 2011]

### 2.2.5. Werkzeuge für den Energienutzungsplan

Zur Erstellung eines Energienutzungsplans werden Methoden und Werkzeuge benötigt, um in einem ausreichend genauen Detaillierungsgrad die Erstellung von Wärmedichtekarten gewährleisten zu können. Dies ist insofern wichtig, da die den Methoden hinterlegten Daten spätestens bei der Ausarbeitung von Konzeptstrategien wieder Verwendung finden. Werden in der Phase der Konzeptentwicklung Gebiete identifiziert, die sich aufgrund hoher Wärmedichten für den Aufbau von Wärmenetzen eignen, sind auch hier geeignete Werkzeuge zur Vereinfachung und Vereinheitlichung erster wirtschaftlicher Abschätzungen sehr hilfreich.

Zur Erstellung von Wärmedichtekarten bzw. zur ersten Abschätzung von Wärmenetzen stehen derzeit die folgenden Werkzeuge zur Verfügung:

- Gebäudebezogene Wärmebedarfsermittlung (allgemeines Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Wärmebedarfs je Gebäude nach "Leitfaden Energienutzungsplan" [Hausladen et al., 2011], Kap. 3.2.4, S.20)
- GemEB (Gemeinde-Energieberatung) (Bilanzierungssoftware zur Abschätzung des Ist- bzw. des zukünftigen Wärmebedarfs je Gebäude anhand unterschiedlicher Sanierungsszenarien)
- rF-Wärme (Robert-Fröhler-Wärme) (Software zur Dimensionierung eines Wärmenetzes sowie zur ersten Abschätzung der zu erwartenden Bau- und Betriebskosten anhand unterschiedlicher Szenarien)

Die softwaregestützte Wärmebedarfsermittlung für Wohngebäude mit GemEB liefert gegenüber der Wärmebedarfsermittlung nach "Leitfaden Energienutzungsplan" aufgrund der automatisierten, computergestützten Bilanzierung der Einzelgebäude genauere Ergebnisse.

### Wärmebedarfsermittlung nach Leitfaden Energienutzungsplan [Hausladen et al., 2011]

Gebäude gleichen Typs und Baualters weisen meist vergleichbare Formen, Konstruktionsarten und Baumaterialien auf. Somit lässt sich jeder Baualtersklasse ein spezifischer statistischer Wert zu Heizwärme- und Trinkwarmwasserbedarf zuweisen. Dieser wird dann mit der jeweiligen Energiebezugsfläche (Wohnfläche, bzw. beheizte Nutzfläche) multipliziert, um deren Gesamtwärmebedarf der Gebäude pro Jahr zu erhalten. Zugrunde liegen hier flächenbezogene Bedarfskennwerte für Heizwärme der Studie „Deutsche Gebäudetypologie“ des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) [IWU, 2005]. Die Werte sind basierend auf dem Heizperiodenverfahren nach DIN V 4108-6 ermittelt worden und bilden den bundesdeutschen Durchschnitt ab. Die Werte wurden dabei über einen empirisch ermittelten Faktor an den Verbrauch angepasst (vgl. [Born et al., 2003, S.2]).

### Wärmebedarfsermittlung mit der Bilanzierungssoftware GemEB

Erste Untersuchungen in [Hausladen et al., 2012] lassen ein Abweichen des Heizwärmebedarfs von bis zu 30 % bei doppelter, bzw. halber Wohnfläche einzelner Gebäudeklassen feststellen. Dies lässt sich vornehmlich darauf zurückführen, dass mit kleiner werdendem Gebäude die Kompaktheit abnimmt und damit der spezifische Heizwärmebedarf steigt. Dieser geometrische Effekt wird noch verstärkt: Mit zunehmender Wohnungsgröße sinken durch Teilbeheizung die durchschnittlichen Raumtemperaturen und damit auch der spezifische Heizwärmeverbrauch. Bei Altbauten und historischen Gebäuden ist dieser Effekt verstärkt festzustellen (vgl. auch [Born et al., 2003, S.1]).

Die Software GemEB ist bereits in der Version 1.3 zur Variantenbildung von dezentralen Konzepten für Siedlungsgebiete entwickelt worden. Mit GemEB 1.3 lassen sich größere Gebäudegruppen oder Siedlungsgebiete hinsichtlich Kosten und Primärenergie (CO<sub>2</sub>-Ausstoß) anlagentechnisch und baulich optimieren sowie ver-

#### Quellen & Hintergrundinformationen:

[IWU, 2005] IWU Institut Wohnen und Umwelt: Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze, Darmstadt 2005

[Born et al., 2003] Born, R. / Diefenbach, N. / Loga, T., Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU): Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie, Studie im Auftrag des Impulsprogramms Hessen, Endbericht, Darmstadt 2003

[DIN V 4701-10:2001-02] Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen. Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Stand 2001

[DIN V 4108-6:2003-06] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Stand 2003

[DIN V 18599-1:2011-12] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

[Hausladen et al., 2012] Hausladen, G., Zadow O., Fröhler R., Vohlidka P., Schinabeck J.: Neff:Wärme Pilotprojekt Ismaning - Energieleitplanung, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.). Stand 24.09.2012, Frankfurt am Main, 2012



schiedene einfache Sanierungsszenarien abschätzen. "Die Berechnungen basieren hierbei auf gebäudescharfen Daten der einzelnen Gebäude des Siedlungsgebiets. Dabei handelt es sich um Daten wie Wohnfläche, Gebäudetyp und Baualtersklasse, sowie an diese Daten angepasste typische Werte für die Bauteilgeometrie und deren U-Wert" [Hausladen et al., 2012].

Mit der Bilanzierungssoftware GemEB 1.3 wird der Heizwärmebedarf nicht pauschal über die Energiebezugsfläche ermittelt, sondern in Abhängigkeit der vorliegenden Gebäudegröße und der Baualtersklasse ein vereinfachtes Heizperiodenverfahren nach DIN V 4108-6 durchgeführt. "GemEB liefert demzufolge für ein Siedlungsgebiet, welches im Mittel deutlich von den vom IWU ermittelten typischen Geometrien abweicht auch davon abweichende, aber hinsichtlich der Gebäudegeometrie genauere Ergebnisse zu dem rein über die Wohnfläche ermittelten Heizwärmebedarf." [Hausladen et al., 2012]

Die mit dem Heizperiodenverfahren ermittelten Ergebnisse werden mit dem in [Born et al., 2003] beschriebenen empirischen Faktor  $f_{\text{Nutzung}}$  an den Verbrauch angepasst.

Der Faktor  $f_{\text{Nutzung}}$  ergibt sich zu:

$$f_{\text{Nutzung}} = 0,5 + 2 / (3 + 0,6 h)$$

Dabei ist

$$h = (H_T + H_V) / (A_{\text{EB}}) \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$$

mit

$H_T$	Transmissionswärmeverlust	[W/K]
$H_V$	Lüftungswärmeverlust	[W/K]
$A_{\text{EB}}$	beheizte Wohnfläche	[m <sup>2</sup> ]

Die Software arbeitet als Plugin der Geoinformationssoftware Quantum GIS. Mit den übergebenen Daten aus der GIS-Datenbank wird für jedes einzelne Gebäude ein vereinfachtes Heizperiodenverfahren nach DIN V 4108-6 und ein vereinfachtes Berechnungsmodell nach DIN V 4701-10 zur Ermittlung der Anlagenaufwandszahl durchgeführt. In Abb. 17 ist das vereinfachte Funktionsschema dargestellt.

In einem ersten Schritt werden dabei die Daten (Wohnfläche, Gebäudetyp und Baualter) aus dem GIS (Geoinformationssystem) um die für die Bilanzierung notwendigen Daten zur Gebäudegeometrie, Orientierung und die entsprechenden U- und g-Werte ergänzt. Zugrunde liegt der Gebäudedatensatz aus [IWU, 2005]. Zu jedem dort hinterlegten Gebäudetyp sind in diesem Datensatz neben dem spezifischen Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der Baualtersklasse Referenzdaten zu Bauteilflächen, U- und g-Werten, Orientierung, Volumen und Wohnfläche hinterlegt. Über das Verhältnis der Referenzwohnfläche zu der tatsächlichen Wohnfläche wird ein Faktor bestimmt (vgl. [Hausladen et al., 2012], S.17). Über diesen Faktor werden ausgehend vom entsprechenden IWU-Referenzgebäude die Bauteilflächen des tatsächlich vorhandenen Gebäudes ermittelt und mit dem entsprechenden U-Wert (bei Fenstern auch mit einem g-Wert) versehen. Somit entsteht ein Datensatz, der in Abhängigkeit der tatsächlichen Wohnfläche, des Gebäudetyps und der Baualtersklasse, dem Heizperiodenverfahren übergeben werden kann.

Die Anpassung der Geometriedaten der Bauteile an den vorhandenen Datenbestand der einzelnen Gebäude basiert dabei auf folgender Überlegung: "Wird die Energiebezugsfläche um den Faktor x verändert, so soll dies ohne Änderung der Geschossanzahl erfolgen. Demzufolge wächst oder schrumpft das Gebäude nur in der Ebene. Horizontale Flächen, wie Bodenplatte und Dachflächen ändern sich dann direkt proportional zum Faktor x. Vertikale Flächen, wie Wand- und Fensterflächen hingegen ändern sich proportional zu  $\sqrt{x}$ ." [Hausladen et al., 2012]

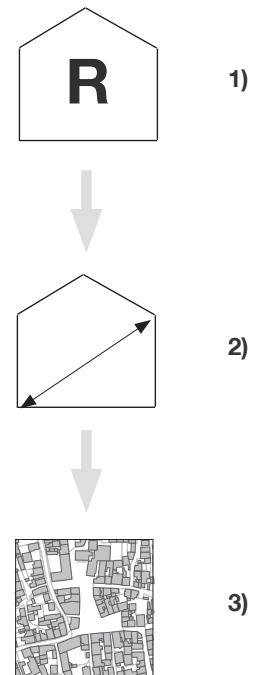


Abb. 17: Referenzgebäudeverfahren nach GemEB (Gemeinde-Energieberater Bilanzierungssoftware)

zu Abb.

- 1) Referenzgebäude
- 2) Geometrische Anpassung
- 3) Ortsbezogene Heizwärmebedarfs-werte

- Spezifischer Heizwärmebedarf nach IWU-Studie für einfache Wohnfläche
- ▲ Spezifischer Heizwärmebedarf, ermittelt mit GemEB für einfache, doppelte und halbe Wohnfläche
- ◀ Mittelwert des spezifischen Heizwärmebedarfs der jeweiligen Gebäudeklasse aus dem Untersuchungsgebiet Ismaning West

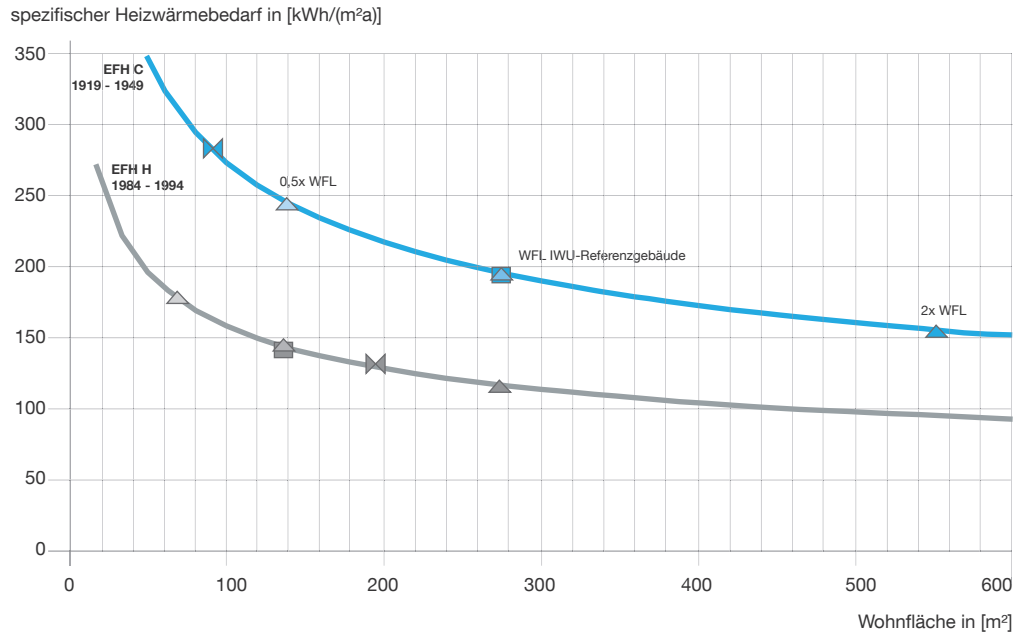
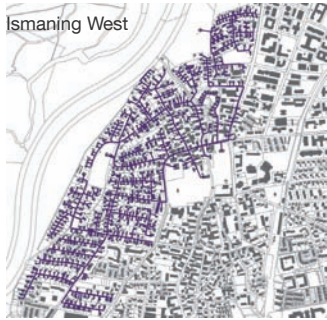


Abb. 18: Spezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit der Wohnfläche

Der Effekt der Geometrieangepassung wird in Abb. 18 veranschaulicht. In der Grafik ist beispielhaft der spezifische Heizwärmebedarf für die Einfamilienhäuser (EFH) der Gebäudealtersklassen C (1919-1948) und H (1984-1994) in Abhängigkeit der Wohnfläche dargestellt. Einzelne Punkte sind in der Grafik hervorgehoben. Zusätzlich ist der Wert der jeweiligen Baualtersklasse für den bundesdurchschnittlichen Heizwärmebedarf und zugehöriger Wohnfläche nach [IWU, 2005] dargestellt (in der Grafik als Viereck gekennzeichnet).

Für das EFH C sind dies beispielsweise die Werte 194 kWh/m<sup>2</sup>a (spezifischer Heizwärmebedarf) und 275 m<sup>2</sup> (Wohnfläche). Als absoluter Heizwärmebedarf ergeben sich somit 53.350 kWh/a. Das vereinfachte Heizperiodenverfahren der Bilanzierungssoftware GemEB 1.3 gibt für diese Wohnfläche für das EFH C denselben Wert aus.

Für die halbe Wohnfläche (138,5 m<sup>2</sup>) ergibt sich für das EFH C ein spezifischer Heizwärmebedarf von 243 kWh/m<sup>2</sup>a (absolut 33.413 kWh/a). Wird mit dem IWU-Wert von 194 kWh/m<sup>2</sup>a gerechnet, ergibt sich jedoch nur ein Wert von 26.869 kWh/a, eine Abweichung von knapp 25 %.

In Abb. 18 ist zum Vergleich der Mittelwert im Untersuchungsgebiet "Ismaning-West" (vgl. [Hausladen et al., 2012]) der vorkom-

menden Gebäudeklassen angegeben (in der Grafik gekennzeichnet mit zwei an der Spitze zusammenstehenden Dreiecken). Für EFH C ergibt sich beispielsweise hier eine Abweichung von ca. 47 %.

Im Zuge dieses Projekts wurde die Software GemEB 1.3 weiterentwickelt. Sie liefert in der so entstandenen Version 2.0 unter anderem die für die Wärmenetzberechnung notwendigen Daten für die Netzsimulationssoftware rf-Wärme. Die vorgenommenen Erweiterungen in der Version GemEB 2.0 sind in Abb. 19 mit (+) gekennzeichnet.

Während GemEB 1.3 für den Ist-Zustand vom unsanierten Zustand der Baualtersklasse ausgeht, kann in der Weiterentwicklung GemEB 2.0 der tatsächliche Sanierungszustand der Gebäude berücksichtigt werden. Für eine Abschätzung des Sanierungszustands können aber auch im Programm hinterlegte Standard-Sanierungszyklen verwendet werden. Die hierbei entstehenden gebäudescharfen Ergebnisse lassen keine Rückschlüsse auf Einzelgebäude zu, jedoch liefern sie ein genügend genaues Ergebnis für das Siedlungsgebiet als Ganzes.

Zur Bildung von Zukunftsszenarien kann in der Version GemEB 2.0 für einen beliebigen Zeitraum eine jährliche Sanie-

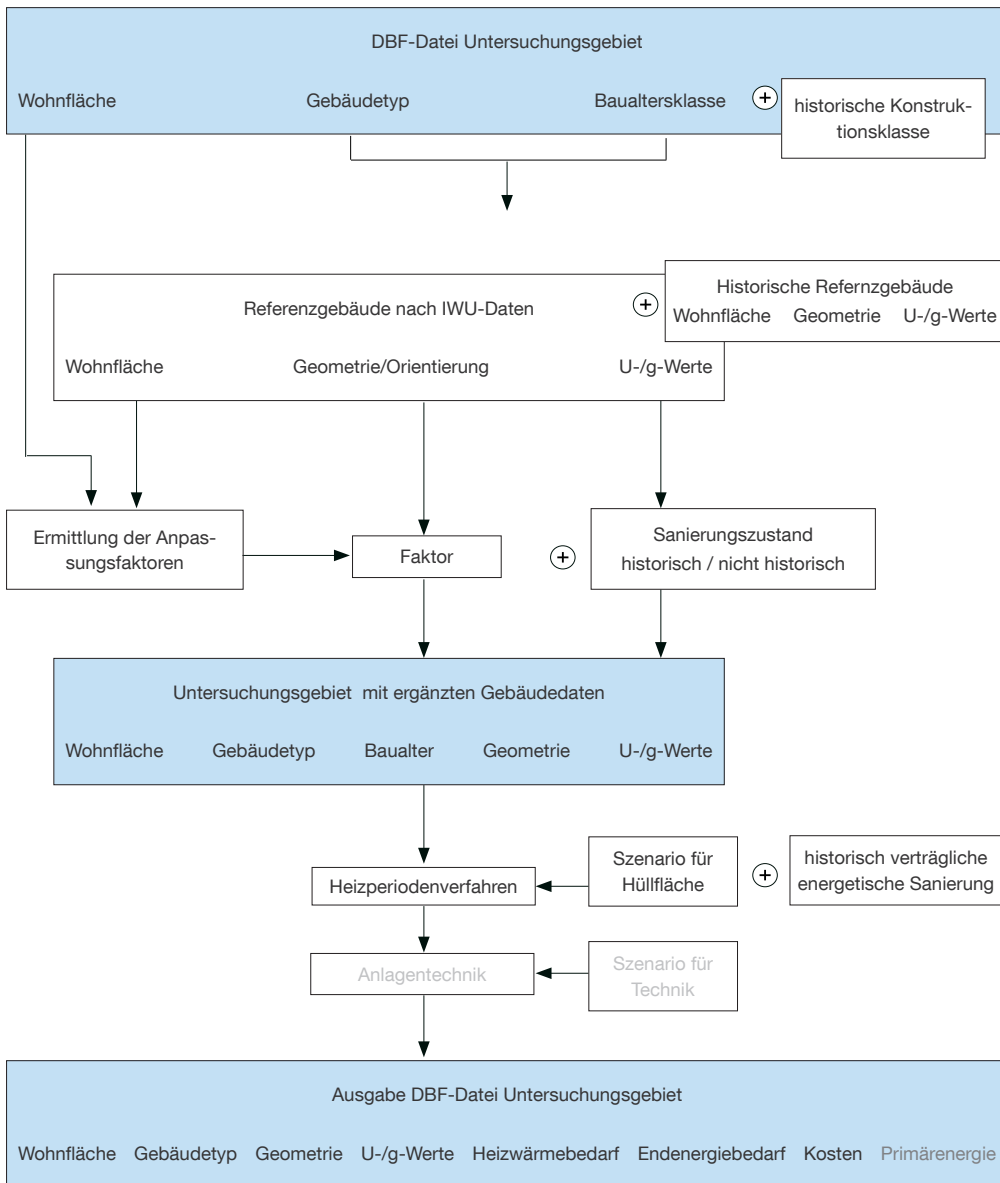


Abb. 19: Funktionsschema GemEB 1.3 und Erweiterung um historische Gebäude in GemEB 2.0

rungsrate vorgegeben werden. Alternativ können Potenziale einzelner Sanierungsmaßnahmen, wie z.B. die Dämmung der obersten Geschossdecken oder Sanierungen auf bestimmte energetische Niveaus untersucht werden. Außerdem wird nun eine Differenzierung in historische und nicht historische Gebäude ermöglicht. Während Sanierungen von nicht-historischen Gebäuden hierbei nach Maßgabe der zum Zeitpunkt der Sanierung gültigen Wärmeschutzverordnung (WschVO) oder Energieeinsparverordnung (EnEV) durchgeführt werden, wird bei historischen Gebäuden nach Denkmalstatus (Denkmalstufeneintrag, ortsbildprägend und ort-

strukturprägend) und Anbaugrad differenziert. Einstellbar sind hiervon abhängig Wahrscheinlichkeiten zur technischen und denkmalpflegerischen Durchführbarkeit der energetischen Sanierung einzelner Bauteile. Außerdem das zu erreichende energetische Niveau in Bezug auf die EnEV. Hintergrund hierfür ist die Notwendigkeit der Einzelfallprüfung bezüglich Denkmalschutz und Bauphysik. Lassen sich beispielsweise oberste Geschossdecken meist problemlos energetisch nachrüsten, ist die Dämmung der Außenwände oftmals nicht oder nur eingeschränkt möglich. Da die Berechnungen auf Wahrscheinlichkeiten beruhen und

Quellen & Hintergrundinformationen:

[IWU, 2005] IWU Institut Wohnen und Umwelt: Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze, Darmstadt 2005

[Hausladen et al., 2012] Hausladen, G., Zadow O., Fröhler R., Vohlidka P., Schinabeck J.: Eneff:Wärme Pilotprojekt Ismaning - Energieleitplanung, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.). Stand 24.09.2012, Frankfurt am Main, 2012



zu Abb.

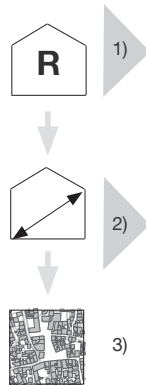
1) Referenzgebäude

Die spezifischen Heizwärmebedarfs-  
werte der HEGT Typologie basieren  
auf exemplarischen Berechnungen  
eines typischen Referenzgebäu-  
des. Diese Gebäude dienen auch  
GemEB 2.0 als Referenzgebäude.

2) Geometrische Anpassung

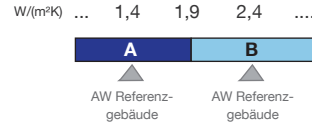
Da der Einfluss der Gebäudegröße  
einen entscheidenden Einfluss auf den  
Heizwärmebedarf hat (→ Abb. 18),  
werden die Referenzgebäude nach  
HEGT geometrisch an die real vor-  
handenen Gebäude angepasst. Diese  
Anpassung erfolgt mit der Bilanzie-  
rungssoftware GemEB 2.0.

In nebenstehenden Tabellen sind  
exemplarisch die Heizwärmebedarfs-  
werte für typische zwei- und dreige-  
schossige Gebäude der historischen  
Altstadt Iphofen dargestellt. Zu sehen  
ist, dass insbesondere die Heizwär-  
mebedarfswerte der Gebäude mit  
geringem Anbaugrad niedriger aus-  
fallen wie nach HEGT-Klassifizierung.  
Dies ist darauf zurückzuführen, dass  
die ortstypischen Gebäude in Iphofen  
größer bzw. kompakter sind als das  
angenommene Referenzgebäude.



HEGT	Anbaugrad	Geschosse	Konstruktionsklasse A Q'h [kWh/(m <sup>2</sup> Wohnfläche *a)]	Konstruktionsklasse B Q'h [kWh/(m <sup>2</sup> Wohnfläche *a)]
1 gering		2-4	176	230
2 mittel		2-4	149	188
3 hoch		2-4	110	127

HEGT GemEB (Iphofen)	Anbaugrad	Geschosse	Konstruktionsklasse A Q'h [kWh/(m <sup>2</sup> Wohnfläche *a)]	Konstruktionsklasse B Q'h [kWh/(m <sup>2</sup> Wohnfläche *a)]
1 gering		2	161	197
2 mittel		2	138	181
3 hoch		2	125	116



HEGT GemEB (Iphofen)	Anbaugrad	Geschosse	Konstruktionsklasse A Q'h [kWh/(m <sup>2</sup> Wohnfläche *a)]	Konstruktionsklasse B Q'h [kWh/(m <sup>2</sup> Wohnfläche *a)]
1 gering		3	139	192
2 mittel		3	125	177
3 hoch		3	117	124

3. Ortsbezogene Heizwärmebedarfs-  
werte

Es lassen sich gezielt Wärmebedarfs-  
dichten ermitteln, die den Faktor der  
individuellen Bebauungsstruktur und  
Gebäudegrößen vor Ort berücksich-  
tigen.

Abb. 20: Referenzgebäudeverfahren nach GemEB

basierend darauf im Zufallsprinzip über  
Sanierungsmaßnahmen entschieden wird,  
ist auch hier ein Rückschluss auf Einzel-  
gebäude trotz gebäudescharfer Bilanzie-  
rung nicht möglich.

Wie die Entwicklung der Gebäudetypo-  
logie für historische Gebäude HEGT zeigt,  
spielt gerade bei historischen Gebäuden  
die Kompaktheit bzw. der Anbaugrad eine  
große Rolle. Historische Gebäude sind  
meist sehr heterogen, nicht nur bezüglich  
ihrer Größe und des Anbaugrads, sondern  
auch hinsichtlich ihrer Konstruktion bzw.  
ihres Sanierungsgrads (→ Kap. 2.2.).  
Für das Untersuchungsgebiet "Altstadt  
Iphofen" zeigen sich nach der Anpassung  
der Geometrie und des Anbaugrads die  
in Abb. 20 aufgeführten mittleren Jahres-  
heizwärmebedarfswerte, aufgegliedert für  
zwei- und dreigeschossige Gebäude.

Zur besseren Veranschaulichung des  
Effekts ist in den Abb. 21f der spe-  
zifische Jahresheizwärmebedarf der  
Konstruktionsklassen A und B in Ab-  
hängigkeit der Wohnfläche aufgetragen.  
Einzelne Werte sind als Punkt für die  
halbe, einfache und doppelte Wohnfläche  
hervorgehoben. In Abb. 21 ist exem-  
plarisches für zweigeschossige Gebäude der  
spezifische Jahresheizwärmebedarf der  
Konstruktionsklasse A und in Abb. 22 der  
der Konstruktionsklasse B dargestellt. Die  
geometrieangepassten Mittelwerte aus  
dem Untersuchungsgebiet "Altstadt Ipho-  
fen" sind zum Vergleich ebenfalls in den  
Abb. 21f eingetragen (in den Grafiken als  
Viereck gekennzeichnet). Es lassen sich  
teilweise erhebliche Abweichungen  
zum spezifischen Jahresheizwärmebedarf  
der einfachen Wohnfläche beobachten.  
Daher berücksichtig die Software GemEB  
die geometrische Anpassung.

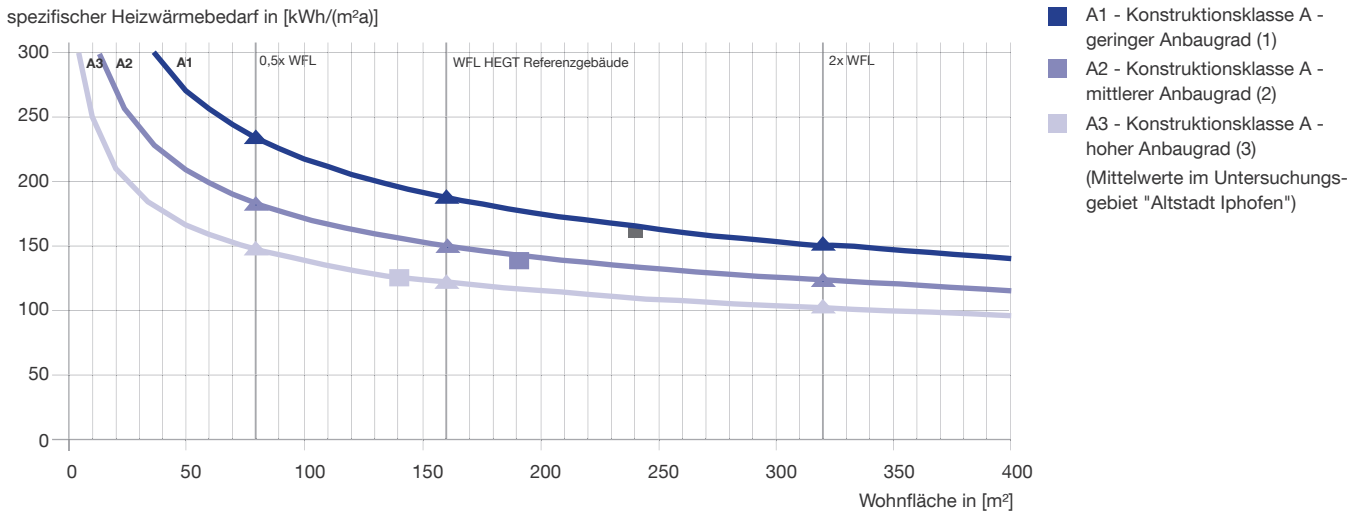


Abb. 21: Spez. Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit der Wohnfläche historischer Gebäude der Konstruktionsklasse A exemplarisch für zweigeschossige Gebäude; Werte für halbe, einfache und doppelte Wohnfläche sind hervorgehoben

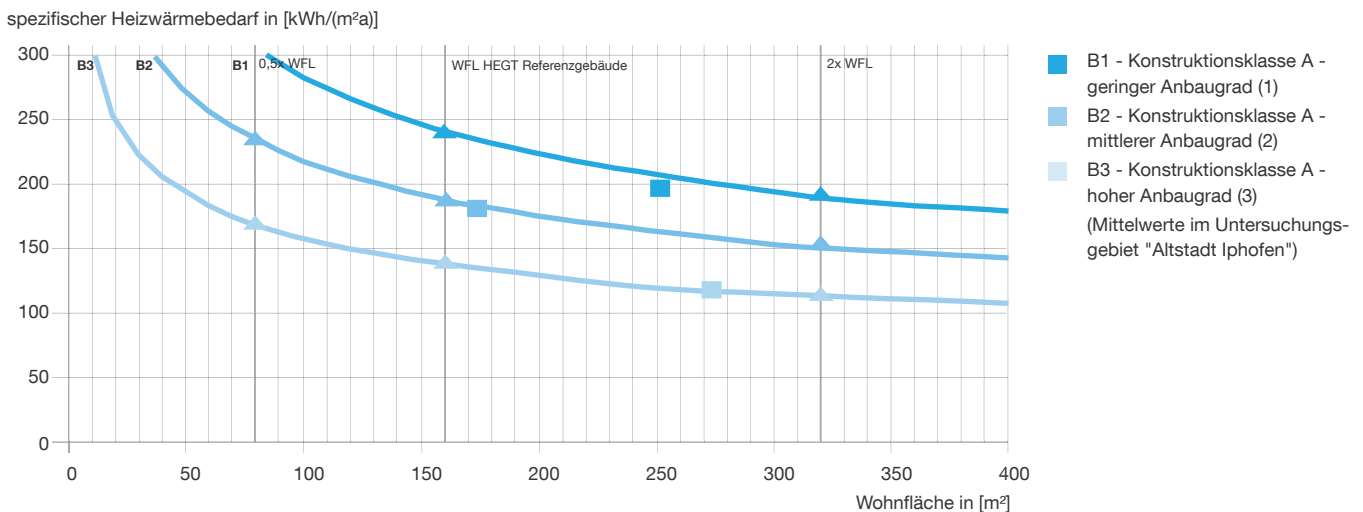


Abb. 22: Spez. Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit der Wohnfläche historischer Gebäude der Konstruktionsklasse B exemplarisch für zweigeschossige Gebäude; Werte für halbe, einfache und doppelte Wohnfläche sind hervorgehoben

### Wärmenetzdimensionierung mit der Software rf-Wärme

Die Wärmenetzsoftware rf-Wärme dient der Konzeptentwicklung einer Wärmenetzversorgung.

"rf-Wärme dimensioniert einerseits das Verlegenetz auch über große Distanzen, andererseits berechnet es sofort die entstehenden Bau- und Betriebskosten" [Hausladen et al., 2012].

Besitzt ein Planungsgebiet nicht die Randbedingungen (Energieabnahmedichte, Temperaturniveau, Energieerzeugung) eines „konservativen“ Wärmenetzes, scheitert eine Umsetzung oft bereits an der Vorplanung. Die quasi kostenlose Nutzung von Abwärmepotenzialen oder andere kostengünstig zur Verfügung ste-

hende Energiequellen machen eine Vorabwertung über in der Praxis vorhandene pauschale Kennwerte unmöglich. Auf eine weitere, detailliertere Vorplanung wird aus Kostengründen und dem ungewissen Ausgang deshalb oft verzichtet. rfWärme bietet hier eine grobe, aber einfache und schnelle Überprüfung der Wirtschaftlichkeit. Als Kenngröße wird ein Mindestwärmepreis für die simulierte Netzvariante ausgegeben. Enthalten sind hier sämtliche anfallenden Netto-Kosten. Unberücksichtigt bleiben Förderprogramme und das hydraulische Optimierungspotenzial des Wärmenetzes. Dies ist bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit über die ausgegebenen Mindestwärmepreise entsprechend zu berücksichtigen.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Hausladen et al., 2012] Hausladen, G., Zadow O., Fröhler R., Vohlidka P., Schinabeck J.: Eneff:Wärme Pilotprojekt Ismaning - Energieleitplanung, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.). Stand 24.09.2012, Frankfurt am Main, 2012



### 2.3. Potenziale zur Energieeinsparung in historischen Quartieren

Historische Gebäude haben ihre Stärke im Ensemble, weshalb sie nicht nur isoliert als Einzelgebäude betrachtet werden sollten. So steht nicht die objektbezogene Sanierung und die Umsetzung von Einzelmaßnahmen im Gemeindegebiet im Fokus, sondern eine Betrachtungsweise auf städtebaulicher Ebene. Das bedeutet, dass neben der erforderlichen individuellen Betrachtung vom Einzeldenkmal, die erweiterte Betrachtung auf das historische Quartier erfolgt. Die Energieproblematik wird nicht auf einzelne Gebäude reduziert, sondern erweitert sich auf die energetische Konzeption von Quartieren bis hin zu Gemeinden. Dadurch wird das Potenzial der Energieeinsparung und die Nutzung erneuerbarer Energien stark beeinflusst. Dabei müssen die Komponenten der Versorgung und der baulichen energetischen Maßnahmen ganzheitlich betrachtet und aufeinander abgestimmt werden.

Die energetische Sanierung historischer Quartiere muss unter dem Leitgedanken der Behutsamkeit und Angemessenheit geschehen.

Hierfür ist eine intensive Auseinandersetzung mit dem Ort notwendig. Die Analyse der städtebaulichen Struktur, geprägt durch die bauliche Dichte und typische historische Gebäude, bildet die wichtigste Grundlage für die Entwicklung von Sanierungsstrategien. Um die Baukultur unserer Vergangenheit zu wahren, ist eine Betrachtungsweise erforderlich welche die Aspekte der Bauphysik, der energetischen Relevanz, des Denkmalschutzes und der gestaltprägenden Wirkung von energetischen Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt. Auf dieser Basis können Sanierungskonzepte entwickelt werden, die auf das Quartier abgestimmt sind und dieses stärken.

Um für einen Energienutzungsplan die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs darstellen zu können, müssen Sanierungsszenarien auf Quartiersebene dargestellt werden. Um realistische Sanierungsszenarien abbilden zu können

ist eine Analyse der historischen Gebäude und der städtebaulichen Strukturen erforderlich.

Der zukünftige Wärmebedarf und seine räumliche Verteilung (Wärmebedarfsdichte) müssen unter Einbeziehung folgender Aspekte prognostiziert werden:

- Sanierungsmöglichkeiten historischer Gebäude
- Sanierungszyklen (zeitliche Dimension)

Im Folgenden werden die wichtigsten Thesen und Ergebnisse für die Bildung von Sanierungsstrategien dargestellt.

Die Analyse der ortstypischen historischen Gebäude bildet die Grundlage für die Entwicklung behutsamer, energetischer Sanierungsstrategien.

In nicht-historischen Quartieren ist anhand der Baualtersklassenstruktur klar ablesbar, in welchen zeitlichen Schritten energetische Sanierungsmaßnahmen umgesetzt werden können und in welchem Umfang diese möglich sind. Durch den hohen Individualisierungsgrad historischer Gebäude ist diese Methode für historische Quartiere jedoch nicht geeignet. In Iphofen wurde daher eine umfassende Bestandsaufnahme der historischen Gebäude durchgeführt. Das Ergebnis ist ein Katalog mit typischen Gebäuden.

In Iphofen erfolgte die Differenzierung nach Aspekten der:

- gestaltprägenden Eigenschaften der Fassaden
- Anbaugrad
- Konstruktionsklassen
- Sanierungsstand

Diese Differenzierung zeigte sich für Iphofen als sinnvoll. Für andere Quartiere muss dies bei Bedarf auf den individuellen Ort angepasst bzw. erweitert werden.

Die Typologie bildet eine wichtige Grundlage um das Sanierungspotenzial und die Handlungsmöglichkeiten einzuschätzen.

Wichtig ist auch die Betrachtung der historischen Fassadengestaltungen, da energetische Maßnahmen immer in Zusammenhang mit einer gestaltprägenden Veränderung des Gebäudes stehen. Auf Grundlage dieses Katalogs können sinnvolle Sanierungsmaßnahmen ausgelotet werden. Zielführend ist hierbei die Abwägung von energetischer Relevanz und historischer Verträglichkeit (→ Kap. 2.3.1, S.34, HEGT:Sanierungsmatrix).

Die Analyse nach Bedarfssektoren der Gebäude im Quartier bildet eine wichtige Entscheidungsgrundlage, um Einsparziele festzulegen. Es wird ersichtlich, welche Gebäude bzw. Quartiere einen sehr hohen Energiebedarf aufweisen, welche Gebäude ein hohes Sanierungspotenzial ermöglichen und in den nächstmöglichen Sanierungszyklus fallen.

Das energetische Einsparpotenzial ist nicht obligat von der Denkmalschutzklassifizierung abhängig.

Durch die vorliegende Untersuchung und zahlreich geführte Expertengespräche hat sich gezeigt, dass energetische Sanierungen historischer Gebäuden unter dem Leitsatz der Angemessenheit durchaus möglich sind. Durch abgestimmte Sanierungspakete im Rahmen einer Einzelfallbetrachtung können gute Energieeinsparungen bei gleichzeitig hoher historischer Verträglichkeit erreicht werden. Daraus lässt sich ableiten, dass das Sanierungspotenzial nicht obligat von der Denkmalklassifizierung abhängig ist. Angemessene energetische Maßnahmen können sowohl bei denkmalgeschützten, ortsbildprägenden und ortstrukturprägenden Gebäuden möglich sein. Das Potenzial für die Umsetzung umfassender energetischer Maßnahmen ist jedoch bei ortstrukturprägenden Gebäuden und Gebäuden ohne Denkmallisteneintrag am höchsten zu sehen.

Als sinnvoll wird daher eine Einkategorisierung nach Umsetzungsmöglichkeiten erachtet. Eine Hilfestellung für die Findung geeigneter energetischer Maßnahmen je nach Konstruktionsart und Denkmalschutzklassifizierung gibt die Differenzierung nach [Bode, 2011]. Dabei wird

unterteilt nach Schutzstatus der Gebäudekubaturen und Oberflächen:

- Nur die Gebäudekubatur ist geschützt (städtebaulich), alle Oberflächen können verändert werden.
- Die Gebäudekubatur ist geschützt, gleichzeitig sind Einzelpartien der Oberflächen veränderbar; es sind horizontale Differenzierungen möglich wie z.B. Fassadenänderungen auf EG- oder OG-Wandpartien
- Es sind Veränderung einzelner Gesamtfassadenflächen möglich wie z.B. Dämmsystem auf Hof-, Haupt- oder Nebenfassaden
- keine Veränderungen - historische Erscheinung ist gesamt instandgesetzt zu erhalten; Gebäudekubatur mit Oberflächen, Mischkonstruktion und Dachfläche EG massiv, OG Zierfachwerk
- Geringe Veränderungen äußerlich möglich; historische Erscheinung einzelner Baukörper ist instandgesetzt zu erhalten, hingegen können einige Baukörper verändert bzw. entfernt werden [Bode, 2011].

Wichtig für die Ermittlung des Sanierungspotenzials ist bei historischen Quartieren die interdisziplinäre Abstimmung und Zusammenarbeit zwischen Fachexperten der Stadtplanung, der Denkmalpflege und Energieberatern. Es ist empfehlenswert an bestehende Untersuchungen anzuknüpfen. Im Rahmen von integrierten Ländlichen Entwicklungskonzepten (ILEK), integrierten Stadtentwicklungskonzepten (ISEK) und ggf. Denkmalpflegerischen Erhebungsbögen kann auf wertvollen Datenbestand und Informationen aufgebaut werden.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Bode, 2011] Bode, U., Arbeitsvorschlag Kriterien für den Denkmalwert, 2011

Innerstädtische historische Quartiere, mit einer hohen baulichen Dichte, weisen ein hohes Potenzial für wirtschaftliche energetische Sanierungsmaßnahmen auf.

Das Potenzial der Wirtschaftlichkeit ist darauf zurückzuführen, dass innerstädtisch gewachsene Stadtstrukturen sich meist durch eine hohe bauliche Dichte auszeichnen. Daraus resultieren kompakte Gebäudeformen. Je geringer der Außenwandanteil im Verhältnis zum beheizten Volumen, desto geringer sind auch die Investitionskosten pro Quadratmeter Wohnfläche. Je schlechter die thermische Qualität der Gebäudehülle, desto kürzer wird die Amortisationszeit und desto wirtschaftlicher stellen sich die Maßnahmen dar.

Je höher die bauliche Dichte historischer Quartiere, desto höher ist das Potenzial erneuerbarer Energien zentral zu nutzen.

Der räumlich bezogene Energiebedarf in Quartieren steht in engem Zusammenhang mit dem Potenzial erneuerbare Energien zentral oder dezentral nutzen zu können. Am Beispiel von Iphofen wird ersichtlich, dass die bauliche Dichte den entscheidenden Einfluss auf die Energieabnahmedichte hat. In zweiter Linie ist die thermische Qualität der Bausubstanz entscheidend.

Je höher die Energieabnahmedichte, desto höher ist auch das Potenzial erneuerbare Energien zentral nutzen zu können. Daraus lässt sich schlußfolgern, dass Quartiere mit einer hohen baulichen Dichte ein hohes Potenzial für zentrale Versorgungen aufweisen. Der grobe Kennwert für die geeignete Umsetzung zentraler Energieversorgungsmaßnahmen liegt bei 150 MWh/(ha·a) [Hausladen et al., 2011]. Sinnvoll ist die Betrachtung der zukünftigen Energieabnahmedichte der nächsten 20 Jahre unter Berücksichtigung energetischer Sanierungen. Sinkt die Energieabnahmedichte durch künftige energetische Sanierungen, sinkt auch das Potenzial zentrale Lösungen umzusetzen. Zu priorisieren ist dann die Umsetzung

dezentraler Lösungen. Das Ergebnis zeigt deutlich, dass klar unterschieden werden kann zwischen innerstädtischen Quartieren mit hoher baulicher Dichte und Quartieren mit ländlichem Charakter mit geringer baulicher Dichte. In nebenstehender Grafik (→ Abb. 23) ist die Energieabnahmedichte unter Berücksichtigung künftiger behutsamer Sanierungsmaßnahmen für den innerstädtischen Bereich von Iphofen und für Hellmitzheim dargestellt. Unter Annahme eines Anschlussgrades von 70 % werden die Grenzen und Möglichkeiten für eine zentrale Versorgung in Verbindung mit der Reduzierung des Energiebedarfs ersichtlich. Farblich gekennzeichnet sind Quartiere die Potenzial für zentrale Lösungen aufweisen.

Historische Gebäude in innerstädtischen Quartieren bergen ein hohes theoretisches Energieeinsparpotenzial durch Sanierungen in Verbindung mit einer zentralen Nutzung erneuerbarer Energien.

Interessant ist, dass historische Quartiere mit einer hohen baulichen Dichte, sich auch unter Berücksichtigung umfassender Sanierungen positiv für die Umsetzung zentraler Konzepte darstellen. Daraus resultiert, dass theoretisch auch umfassende energetische Sanierungen in Verbindung zentraler Nutzung erneuerbarer Energien möglich wären. Dies ist auf den Faktor der baulichen Dichte zurückzuführen. Im Sinne der behutsamen Stadtsanierung sind angemessene historisch verträgliche Sanierung zielführend. Bietet der Gebäudebestand jedoch das Potenzial umfassender Sanierungsmaßnahmen, kann dieses ausgeschöpft werden.

In Quartieren mit geringer bis mittlerer baulicher Dichte ist der Grenzbereich zwischen der Senkung des Energiebedarfs einerseits - und der wirtschaftlichen Umsetzung von zentralen Energieversorgungsmaßnahmen andererseits - eng gesteckt.

Ländliche historische Quartiere wie z.B. Mönchsodheim oder Hellmitzheim weisen für die Umsetzung zentraler Lösungen unter Berücksichtigung energetischer Sanierungen ein geringes Potenzial auf.

#### Quellen & Hintergrundinformationen:

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheutschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

[bmu, 2012] [http://www.bmu.de/energiewende/beschluesse\\_und\\_massnahmen/doc/46507.php](http://www.bmu.de/energiewende/beschluesse_und_massnahmen/doc/46507.php) [Stand 27.09.2012]



Dies ist auf die geringe bauliche Dichte zurückzuführen. Daraus lässt sich ableiten, dass je nach Sanierungspotenzial der vorherrschenden Gebäude abgewogen werden muss, ob die Schwerpunkte auf einer zentralen Nutzung erneuerbarer Energien oder der Senkung des Energiebedarfs in Verbindung mit dezentralen Energiekonzepten liegen. Quartiere mit geringer baulicher Dichte und Gebäude, die umfassende Sanierungen ermöglichen (ggf. auch nicht-historisch) und einem schlechten Sanierungszustand können das Potenzial von dezentralen Versorgungsmöglichkeiten bieten. Sinnvoll ist dann, das Energieeinsparpotenzial durch Vollsanierungen auszuschöpfen (→ Kap. 2.3.3, S.42).



Auch für historische Quartiere können Sanierungsraten angestrebt werden, die sich an den energiepolitischen Zielen der Bundesregierung orientieren.

Um die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung zu erreichen, müssten jährlich 2 % des deutschen Gebäudebestandes saniert werden. Die Sanierungsrate des deutschen Gebäudebestandes liegt seit zwei Jahren bei ca. 1 % und ist seither rückläufig [bmu, 2012].

Werden Energienutzungspläne umgesetzt, ist eine Sanierungsrate von jährlich mindestens 1,5 % empfehlenswert. Dies entspricht einem Mittelwert der in der Praxis umgesetzt werden kann. Die historischen Gebäude können mit historisch-verträglichen Maßnahmen saniert werden. Zielführend ist eine Anlehnung an die vorgegebenen Werte der EU. Nach EU-Effizienzrichtlinie gilt für Gebäude der Zentralregierung eine Sanierungsrate von 3 %. Wobei zu nennen ist, dass kommunale Gebäude von der Sanierungspflicht ausgeschlossen sind.



Abb. 23: Energieabnahme unter Berücksichtigung künftiger behutsamer Sanierungsmaßnahmen für den Innerstädtischen Bereich von Iphofen und für Hellmitzheim



### 2.3.1. HEGT:Sanierungsmatrix -Energetische Relevanz und historische Verträglichkeit

Historische Quartiere erfordern die Umsetzung angemessener Sanierungsstrategien, die auf den Ort und die typischen Gebäude reagieren. Als Hilfestellung für die Festlegung geeigneter Sanierungsstrategien behutsamer, energetischer Stadt-sanierungen bietet die HEGT:Sanierungsmatrix eine Entscheidungshilfe. Es werden unterschiedliche energetische Maßnahmen und deren energetische Relevanz aufgezeigt. Mit Hilfe der Sanierungsmatrix nach HEGT (→ Kap. 2.3.1, S.34) können erste Entscheidungen anhand der energetischen Relevanz und der historischen Verträglichkeit abgewogen werden. Die Matrix zeigt zunächst gebäudescharfe Einsparpotenziale, die noch nicht auf eine historische Einzelfallbetrachtung adaptiert ist. Diese gebäudescharfen Energiekennzahlen sind als Tendenzen zu verstehen und dienen einer Einschätzung des Energieeinsparpotenzials. Die historische Verträglichkeit muss jeweils für den individuellen Ort und die typischen Gebäude bewertet werden. Im nächsten Schritt können die gewählten, geeigneten Sanierungsszenarien bilanziert werden.

Die HEGT:Sanierungsmatrix soll eine Hilfestellung bieten für:

- die Entwicklung von geeigneten energetischen Sanierungsmaßnahmen für historische Quartiere
- die Einschätzung des Sanierungspotenzials historischer Quartiere.
- Grundlage für die Simulation von Sanierungsszenarien mit GemEB
- objektbezogene Energieberatungen
- die Festlegung gezielter Fördermaßnahmen im Gemeindegebiet
- Abwägung der historischen Verträglichkeit und der energetischen Relevanz
- Planer und Architekten
- Fachexperten des Denkmalschutzes
- Kommunale Planer

Geht es um objektbezogene Sanierungskonzepte, sind gezielte bauphysikalische und energetische Betrachtungen und Untersuchungen notwendig. Dabei ergeben sich bei der Sanierung von historischen Gebäuden mehrere Besonderheiten. Diese sind zum einen bauphysikalisch und zum anderen bauhistorisch begründet. Die historische und bauphysikalische Verträglichkeit muss in engem Zusammenhang stehen, um die Bausubstanz zu erhalten. Ein energetisches Sanierungskonzept muss unter mehreren Gesichtspunkten abgewogen werden.

Dies sind zum einen bauhistorische Entscheidungskriterien wie z.B.:

- Historischer und denkmalpflegerischer Wert des Gebäudes
- Denkmalpflegerische Klassifizierung wie z.B. denkmalgeschützt, ortsbildprägend, ortsstrukturprägend, ensemblesgeschützt
- Zustand und historische Wertigkeit der historischen Konstruktion
- Wartungsansprüche der bestehenden Bausubstanz und Revisionsmöglichkeiten nach der Sanierung
- Reversibilität der Maßnahmen, Lebenszyklus von Bauteilschichten.

Für die richtige Wahl von Sanierungsmaßnahmen und Baustoffen ist der Zustand der Bausubstanz entscheidend:

- Art und Materialien der Konstruktion
- Baulicher Zustand der Konstruktionen hinsichtlich Feuchte, Risse, Statik, Dichtigkeit
- Historische Wandaufbauten sind in der Regel dampfdiffusionsoffen. Dadurch kann Feuchtigkeit die z.B. durch fehlende Abdichtung des Bauuntergrunds entsteht, nach innen und außen abtrocknen. Werden nun dampfdiffusionsdichte Putze, Farben oder Dämmstoffe aufgebracht, wird das Abtrocknungspotenzial verringert, wodurch Bauschäden entstehen können. In der Vergangenheit hat sich der Einsatz dampfdiffusionsoffener Materialien bewährt.

- Derzeitige und zukünftige Nutzung hinsichtlich der Anforderungen an das Raumklima und Beheizung
  - Orientierung und Bewitterung (Schlagregenbeanspruchung) der Fassaden.
- Im Folgenden sind die energetisch-relevanten Zusammenhänge aufgeführt:
- Je geringer der Anteil an wärmeübertragenden Flächen eines Gebäudes, desto weniger Transmissionswärmeverluste entstehen. Kompaktere Bauformen weisen deshalb einen geringeren Heizwärmebedarf auf (→ Abb. 13, HEGT:Klassifizierung).
  - Je höher der Außenwandanteil eines Gebäudes zum beheizten Volumen desto höher sind auch die Gesamtinvestitionskosten, wenn ein bestimmter Energiestandard erreicht werden soll. Die Erfahrung zeigt, dass oftmals umfassendere Sanierungsmaßnahmen notwendig sind, um einen niedrigen Energiebedarfszielwert zu erzielen.
  - Je größer die thermisch optimierte Hüllfläche, desto höher ist auch die absolute Energieeinsparung.

Als Beispiel: Das Einsparpotenzial durch die Verbesserung der Wände ist bei freistehenden Gebäuden tendenziell immer höher, da auch mehr Außenwandfläche im Verhältnis zur Wohnfläche verbessert wird (→ Tab. 5 und 6). Insgesamt fallen aber die Gesamtinvestitionskosten höher aus.

Bei einem geringen Fensterflächenanteil reduzieren sich die Transmissionswärmeverluste in Abhängigkeit der Fläche. Dies steht auch in Zusammenhang mit den Kosten. So stellen sich Maßnahmen mit geringen Investitionskosten - mit einer hohen thermischen Wirksamkeit - die großflächig umgesetzt werden können, immer wirtschaftlicher dar (→ Tab. 7). Ein Beispiel hierfür ist die Dämmung der Obersten Geschoßdecke. Mit geringem Kosteneinsatz kann eine großflächige thermisch wirksame Dämmung umgesetzt werden. Dies wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme aus.

- Je schlechter der U-Wert der bestehenden Konstruktion, desto signifikanter ist die prozentuale Einsparung bei einer Sanierungsmaßnahme. Die Entscheidung für eine Wärmedämmung oder einen Dämmputz ist immer in Abhängigkeit der bestehenden Wand zu sehen. Wird auf eine Wand mit einem bereits guten U-Wert ein Wärmedämmputz aufgebracht, ist das energetische Einsparpotenzial nur sehr gering. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen steigt, je schlechter der thermische Ausgangszustand des Gebäudes ist.
- Wird ein Bauteil gedämmt, dominiert ab einer entsprechenden Dämmstoffdicke dessen Wärmedurchgangswiderstand das gesamte Bauteil (→ Abb. 46). Der Einfluss der Bestandskonstruktion ist somit nicht mehr entscheidend. Eine detailgenaue Bestimmung des U-Werts ist damit für die Energiebilanzierung im Rahmen einer Energieberatung nicht erforderlich (vgl. [Eichenlaub, Maas, 2008]).
- Der Einfluss des Dämmstoffs auf den U-Wert nimmt mit zunehmender Dämmstoffstärke ab. Ab einer Dämmstoffstärke von 15 cm stellen sich keine signifikanten Verbesserungen mehr ein.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Eichenlaub, Maas, 2008] Eichenlaub, A., Maas, A.: Bauphysik und Baukultur – Vorschlag für eine Baudenkmaltypologie, In Umweltbewusstes Bauen, (Hrsg.) A. Maas, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008



Tab. 5: HEGT:Sanierungsmatrix - Konstruktionsklasse A

Zu Tab.

Die HEGT:Sanierungsmatrix knüpft an die HEGT:Gebäudetypologie (→ Abb. 13) an und zeigt Tendenzen von Energiekennwerten und Einsparpotenzialen unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen historischer Gebäude auf. Die Ergebnisse können als Entscheidungsgrundlage für eine Abwägung der historischen Verträglichkeit und der energetischen Relevanz herangezogen werden. Die Ergebnisse beziehen sich auf ein berechnetes Referenzgebäude. Die Werte sind als Tendenzen zu verstehen. Die Eingangsgrößen für die Berechnungen des Referenzgebäudes sind im Anhang dargestellt (→ Kap. 4).

Zu den einzelnen Maßnahmen sind Datenblätter mit wichtigen Hinweisen zu Bauphysik, historischer Verträglichkeit und gesetzlichen Anforderungen hinterlegt (→ Kap. 2.3.4, S.52).

**Konstruktionsklasse A**

z.B. Fachwerkwände mit Lehmgefach sowie massive Steinwände mit geringer Rohdichte wie bspw. Ziegelwände; diese Wände weisen eine thermische Tendenz von +/-  $U=1,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  auf (→ Tab. 99, Anhang)

Gebäudematrix A		nicht saniert	WDVS oder hinterlüftete Konstruktion 15cm, $\lambda_k=0,035 \text{ W/mK}$	Innendämmung Calciumsilikat, 7cm, $\lambda_k=0,06 \text{ W/mK}$	Austausch Fenster U=2,6 → 1,3 W/m <sup>2</sup> K	Dämmung Oberst-Gebäudedecke (OGD) Holzbalkendecke mit Strohhemwickel mit 23cm WLG 040	Dämmung Kellerdecke Kappendecke U=0,8 W/m <sup>2</sup> K mit 6cm WLG 035	Wärmedämmputz mit 5cm WLG 090	Variante I Innendämmung + Fenster	Variante II Innendämmung + Fenster + OGD	Variante III WDVS + Fenster Hofassade
	2-4	176 kWh/(m <sup>2</sup> a)	104 kWh/(m <sup>2</sup> a)	125 kWh/(m <sup>2</sup> a)	167 kWh/(m <sup>2</sup> a)	163 kWh/(m <sup>2</sup> a)	171 kWh/(m <sup>2</sup> a)	140 kWh/(m <sup>2</sup> a)	115 kWh/(m <sup>2</sup> a)	101 kWh/(m <sup>2</sup> a)	148 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	% ESP*		-72 kWh/(m <sup>2</sup> a) 41%	-50 kWh/(m <sup>2</sup> a) 29%	-9 kWh/(m <sup>2</sup> a) 5%	-13 kWh/(m <sup>2</sup> a) 7%	-5 kWh/(m <sup>2</sup> a) 3%	-36 kWh/(m <sup>2</sup> a) 20%	-61 kWh/(m <sup>2</sup> a) 34%	-75 kWh/(m <sup>2</sup> a) 43%	-28 kWh/(m <sup>2</sup> a) 16%
	2-4	149 kWh/(m <sup>2</sup> a)	98 kWh/(m <sup>2</sup> a)	113 kWh/(m <sup>2</sup> a)	140 kWh/(m <sup>2</sup> a)	135 kWh/(m <sup>2</sup> a)	143 kWh/(m <sup>2</sup> a)	124 kWh/(m <sup>2</sup> a)	103 kWh/(m <sup>2</sup> a)	88 kWh/(m <sup>2</sup> a)	119 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	% ESP*		-51 kWh/(m <sup>2</sup> a) 34%	-36 kWh/(m <sup>2</sup> a) 24%	-9 kWh/(m <sup>2</sup> a) 6%	-14 kWh/(m <sup>2</sup> a) 10%	6 kWh/(m <sup>2</sup> a) 4%	-25 kWh/(m <sup>2</sup> a) 17%	-46 kWh/(m <sup>2</sup> a) 31%	-61 kWh/(m <sup>2</sup> a) 41%	-30 kWh/(m <sup>2</sup> a) 20%
	2-4	110 kWh/(m <sup>2</sup> a)	90 kWh/(m <sup>2</sup> a)	95 kWh/(m <sup>2</sup> a)	100 kWh/(m <sup>2</sup> a)	96 kWh/(m <sup>2</sup> a)	104 kWh/(m <sup>2</sup> a)	100 kWh/(m <sup>2</sup> a)	85 kWh/(m <sup>2</sup> a)	70 kWh/(m <sup>2</sup> a)	96 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	% ESP*		-20 kWh/(m <sup>2</sup> a) 19%	-15 kWh/(m <sup>2</sup> a) 14%	-10 kWh/(m <sup>2</sup> a) 9%	-14 kWh/(m <sup>2</sup> a) 13%	6 kWh/(m <sup>2</sup> a) 6%	-10 kWh/(m <sup>2</sup> a) 9%	-25 kWh/(m <sup>2</sup> a) 23%	-40 kWh/(m <sup>2</sup> a) 37%	-14 kWh/(m <sup>2</sup> a) 13%

\* Abkürzungen:

ESP: Energieeinsparpotenzial

WDVS: Wärmedämmverbundsystem

WLG: Wärmeleitgruppe

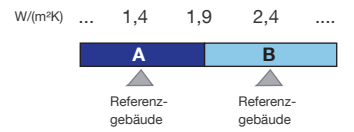
Gebäudematrix B		Giebelhöhe	nicht saniert	WDVS oder hinterlüftete Konstruktion 15cm, $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$	Innendämmung Calciumsilikat, 7cm, $\lambda = 0,08 \text{ W/mK}$	Austausch Fenster $U_{2,6} > 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	Dämmung Oberste EGK Holztafel dämmung mit Strohhemwickel $U=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ mit 20cm WLG 040	Dämmung Kellerdecke Kappendecke $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ mit 6cm WLG 035	Wärmedämmputz mit 5cm WLG 090	Variante I Innendämmung + Fenster	Variante II Innendämmung + Fenster + OGD	Variante III WDVS + Fenster Hoffassade
freistehend / geringer Anbaugrad		2-4	230 kWh/(m² <sub>nominal</sub> ·a)	105 kWh/(m²a)	131 kWh/(m²a)	222 kWh/(m²a)	218 kWh/(m²a)	225 kWh/(m²a)	155 kWh/(m²a)	122 kWh/(m²a)	107 kWh/(m²a)	184 kWh/(m²a)
		% ESP*		-125 kWh/(m²a)	-99 kWh/(m²a)	-8 kWh/(m²a)	-12 kWh/(m²a)	-5 kWh/(m²a)	-75 kWh/(m²a)	-108 kWh/(m²a)	-123 kWh/(m²a)	-48 kWh/(m²a)
mittlerer Anbaugrad		2-4	188 kWh/(m²a)	98 kWh/(m²a)	117 kWh/(m²a)	180 kWh/(m²a)	176 kWh/(m²a)	183 kWh/(m²a)	134 kWh/(m²a)	107 kWh/(m²a)	92 kWh/(m²a)	140 kWh/(m²a)
		% ESP*		-80 kWh/(m²a)	-71 kWh/(m²a)	-8 kWh/(m²a)	-12 kWh/(m²a)	5 kWh/(m²a)	-54 kWh/(m²a)	81 kWh/(m²a)	-96 kWh/(m²a)	-48 kWh/(m²a)
hoher Anbaugrad		2-4	127 kWh/(m²a)	90 kWh/(m²a)	97 kWh/(m²a)	117 kWh/(m²a)	113 kWh/(m²a)	121 kWh/(m²a)	104 kWh/(m²a)	87 kWh/(m²a)	72 kWh/(m²a)	104 kWh/(m²a)
		% ESP*		-37 kWh/(m²a)	-30 kWh/(m²a)	-10 kWh/(m²a)	-14 kWh/(m²a)	-6 kWh/(m²a)	-23 kWh/(m²a)	-40 kWh/(m²a)	-55 kWh/(m²a)	-23 kWh/(m²a)

Tab. 6: HEGT:Sanierungsmatrix - Konstruktionsklasse B

zu Abb.

**Konstruktionsklasse B**

z.B. Fachwerke mit Steingefach, massive Natursteinwände aus Sandstein, Muschelkalk, Bruchstein, Fachwerke mit Bruchstein-Mauerwerk aus Naturstein oder Lessstein/Feldstein, Fachwerke mit Lehmziegelgefach; je nach Wandstärke können diese Wände eine thermische Tendenz von +/-  $U = 2,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  aufweisen (→ Tab. 99, Anhang)



Das energetische Einsparpotenzial der Konstruktionsklasse B ist höher, da der Heizwärmebedarf des Bestandsgebäudes im unsanierten Zustand höher ist. Dies wirkt sich auch positiv auf die Wirtschaftlichkeit energetischer Maßnahmen aus. (→ Tab. 7, HEGT:Wirtschaftlichkeitstendenz).

\* Abkürzungen:

- ESP: Energieeinsparpotenzial
- WDVS: Wärmedämmverbundsystem
- WLG: Wärmeleitgruppe

HEGT	Konstruktionsklasse A	Konstruktionsklasse B
	$Q_h$ [kWh/(m <sup>2</sup> wärmläche *a)]	$Q_h$ [kWh/(m <sup>2</sup> wärmläche *a)]
Anbaugrad		
1 gering	176	230
2 mittel	149	188
3 hoch	110	127

Abb. 24: HEGT:Gebäudetypologie  
(Werte für 2 bis 4 Geschosse)

Im Folgenden werden die theoretischen Energieeinsparpotenziale\* zusammenfassend aufgezeigt:

#### Außenwanddämmung

Durch eine Dämmung der Außenwände sind im Vergleich aller untersuchten Maßnahmen, die höchsten Energieeinsparungen möglich. Dies ist auf die möglichen Dämmstoffstärken und die thermische Qualität der Dämmstoffe zurückzuführen. In nicht-historischen Quartieren ist diese Maßnahme in der Regel einfach umsetzbar, um den Energiebedarf von Gebäuden und Quartieren zu senken. Gestaltprägende Fassaden und Denkmalschutzaufgaben historischer Quartiere erfordern jedoch einen behutsameren Umgang.

Die Untersuchung des energetischen Einsparpotenzials von Außenwanddämmung wird als Vergleichsmaßstab aufgeführt. Untersucht wurde exemplarisch eine Wärmedämmung mit 15 cm und WLG 035. Bilanzell über das Jahr betrachtet liegt das Einsparpotenzial des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  bezogen auf die Wohnfläche zwischen 41 % (A1) und etwa 19 % (A3). Dies entspricht einer Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca. 72 kWh/(m<sup>2</sup>a) (A1) bis zu 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei Gebäuden mit hohem Anbaugrad (A3). Demgegenüber ist das Einsparpotenzial bei Gebäuden der Konstruktionsklasse B höher. Je nach Anbaugrad kann eine Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von 54 % (B1) bis zu ca. 29 % (B3) erreicht werden. Dies entspricht im berechneten Fallbeispiel einer Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca. 125 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B1) bis zu 37 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B3).

Empfehlenswert ist, sofern historisch-verträglich, Abseitenwände oder Hoffassaden zu dämmen. Auch durch das Dämmen von Wänden, die z.B. an Scheunen oder Garagen grenzen, können Transmissionswärmeverluste deutlich reduziert werden. Diese Maßnahme ist in der Regel von außen nicht ersichtlich. Je nach Anteil der Teilflächen, die gedämmt werden können, sind bei Konstruktionsklasse B zwischen 13 % und 20 % einzusparen. Bei Gebäuden der Konstruktionsklasse A, liegt das Einsparpotenzial zwischen 18 %

und 26 %. Diese Werte stehen in engem Zusammenhang mit den dämmbaren Außenwandanteilen und können je nach Einsehbarkeit und Form des Gebäudes stark variieren.

#### Innenwanddämmung

Im Vergleich zur Außenwanddämmung ist das Einsparpotenzial einer Innendämmung ca. 10 % geringer. Dampfdiffusionsoffene Innendämmungen wie z.B. Calciumsilikatplatten, Holzleichteilmsteine oder Wärmedämmlehm können einen historisch-verträglichen Lösungsansatz bieten. Insbesondere bei Gebäuden mit hohem Anbaugrad ist diese Maßnahme durch den geringen Außenwandanteil relativ einfach und in kurzer Zeit durchzuführen.

Untersucht wurde eine Innendämmung mit WLG 060 und d=7cm. Das Einsparpotenzial des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  liegt zwischen 29 % (A1) und ca. 14 % (A3). Dies entspricht einer Heizwärmebedarfseinsparung von ca. 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) (A1) bis 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei Gebäuden mit hohem Anbaugrad (A3).

Bei Konstruktionsklasse B kann eine Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von 43% (B1) bis zu ca. 23 % (B3) erreicht werden. Dies entspricht einer Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca. 99 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B1) bis zu 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B3).

#### Wärmedämmputz

Die Möglichkeit der thermischen Verbesserung durch Anbringen eines Wärmedämmputzes ist objektbezogen abzustimmen. Eignen kann sich diese Maßnahme auch für partielle Bereiche wie z.B. Hinterhoffassaden. Ausschlaggebend für die energetische Relevanz ist der U-Wert der Bestandskonstruktion. Ist der U-Wert kleiner als 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) stellen sich keine energetisch relevanten Verbesserungen ein.

Untersucht wurde ein Wärmedämmputz mit WLG 090 und d=5cm. Das Einsparpotenzial des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  liegt zwischen 20 % (A1) und ca. 9% (A3). Dies entspricht einer Heizwärmebedarfseinsparung von ca. 36 kWh/(m<sup>2</sup>a) (A1) bis zu 10 kWh/(m<sup>2</sup>a) (A3).

\* Die dargestellten Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten exemplarischen Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

Bei Konstruktionsklasse B ist die Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  deutlich höher in einem Bereich von 33 % (B1) bis ca. 18 % (B3). Dies entspricht einer Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca. 75 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B1) bis zu 23 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B3).

#### Austausch der Fenster

Historische Gebäude weisen in der Regel einen geringen Fensterflächenanteil auf. Dadurch ist auch das Einsparpotenzial durch einen Austausch der Fenster niedrig. Zudem wurde ein Großteil der historischen Fenster in Wohngebäuden bereits ausgetauscht. Sind historische Kastenfenster vorzufinden, birgt ein Austausch der Fenster nur geringe Einsparpotenziale. Oftmals sind Fenster die in den 70er bis Mitte der 90er Jahre eingebaut wurden, schlechter zu bewerten. Der Austausch von Einscheibenverglasungen in Gebäuden mit einer hohen Nutzungsintensität ist immer empfehlenswert.

Bei der exemplarischen Berechnung wurde von einem Fensterflächenanteil von 17 % der Wohnfläche ausgegangen nach [Born et al. 2011]. Betrachtet werden die Transmissionswärmeverluste, die Infiltration ist nicht berücksichtigt.

Je nach Fensterflächenanteil, liegt die Einsparung in einem Bereich von 5-10 %. Der Austausch von historisch wertvollen Fenstern, aus Gründen der Energieeinsparung, sollte deswegen projektbezogen geprüft werden. Empfehlenswert ist eine Aufbereitung der Fenster hinsichtlich der Dichtigkeit. Über Fensterdichtungen und die Einstellung der Fensterflügel können Lüftungswärmeverluste reduziert werden.

#### Dämmung Oberste Geschossdecke

Die Dämmung der Obersten Geschossdecke ist in der Regel eine Maßnahme die als historisch-verträglich zu bewerten ist. Grundsätzlich sollte diese Maßnahme, sofern aus Sicht des Denkmalschutzes möglich, flächendeckend in historischen Quartieren durchgeführt werden.

Untersucht wurde eine Dämmung der Obersten Geschosßdecke mit WLG 040 und 20 cm. Das Einsparpotenzial des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  liegt bei

ca. 15 kWh/(m<sup>2</sup>a). Darüber hinaus schreibt die EnEV 2009 vor, dass ungedämmte Geschossdecken zu beheizten Räumen gedämmt werden müssen.

#### Dämmen der Kellerdecke

Das Dämmen der Kellerdecke ist eine Maßnahme die bezüglich der Behaglichkeit als positiv zu bewerten ist. Durch die Dämmung erhöhen sich die Oberflächentemperaturen des Fußbodens. Dahingegen sind die energetischen Einsparpotenziale dieser Maßnahme z.B. bei Holzbalkendecken mit Strohlehmwickeln die an einen unbeheizten Keller grenzen eher als gering zu bewerten, da die möglichen Dämmstoffstärken meist eingeschränkt sind.

Wird eine Kappendecke ( $U=0,79 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) angrenzend an einen unbeheizten Keller mit einer Dämmung von 6 cm und WLG 035 thermisch optimiert, liegt das Einsparpotenzial zwischen 2 % und ca. 6 %. Dies entspricht einer Heizwärmebedarfseinsparung von ca. 6 kWh/(m<sup>2</sup>a). Ist der Fußbodenbelag direkt auf dem Erdreich verlegt, ist eine nachträgliche Dämmung wichtig, da die Transmissionswärmeverluste deutlich reduziert werden können und sich die Oberflächentemperaturen erhöhen.

#### Kombinationen von Maßnahmen

Durch abgestimmte Maßnahmenkombinationen können sehr gute Energieeinsparungen erzielt werden. Bei Ausführung einer Innendämmung und der Dämmung der Obersten Geschossdecke sowie der Verbesserung der Fenster kann für Fallgruppe A3 eine Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca. 37 % erreicht werden. Beim untersuchten Referenzgebäude kann dadurch der Heizwärmebedarf  $Q_h$  von 110 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 70 kWh/(m<sup>2</sup>a) gesenkt werden. Die gestaltprägenden Charakteristiken bleiben erhalten.

Zum Vergleich: Wird die Außenfassade mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) gedämmt, ist eine Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca. 20 % möglich. Die historische Fassade des Gebäudes wird dadurch überformt.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Born et al. 2011] Born, R., Diefenbach, N., Loga, T. (Institut Wohnen und Umwelt GmbH IWU): Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, Darmstadt, 2011



### 2.3.2. HEGT:Sanierungsmatrix - Kosten und Wirtschaftlichkeit

Neben der Abwägung der energetischen Relevanz und der historischen Verträglichkeit ist die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ein wichtiger Entscheidungsfaktor für eine Umsetzung in der Praxis.

Als Hilfestellung für die objektbezogene Energieberatung in Iphofen wurde nebenstehende Tabelle (→ Tab. 7) entwickelt. Dargestellt sind Kostentendenzen energetischer Maßnahmen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der Konstruktionsklasse und des Anbaugrads. Die Potenzialuntersuchung der Wirtschaftlichkeit ist eine Ergänzung der HEGT:Sanierungsmatrix. Durch die Betrachtung der Kosten in Verbindung mit dem energetischen Einsparpotenzial wird ersichtlich, welche Maßnahmen auch aus wirtschaftlicher Sicht interessant sind.

Die Berechnung basiert auf exemplarisch entwickelten Referenzgebäuden mit unterschiedlichem Anbaugrad und Konstruktionsklassen (→ Anhang, S.112). Die dargestellten Gesamtkosten stellen grobe Orientierungswerte dar. Sie sind abhängig vom Zustand der Bausubstanz, des Arbeitsaufwands und der örtlichen Preissituation. Geht es um eine konkrete Objektplanung, ist eine detaillierte Kostenanalyse durchzuführen. Dadurch können sich nochmals neue Wege für eine wirtschaftliche Sanierung aufzeigen. Als Gesamtkosten sind Kosten definiert, die für die Erstellung der Maßnahme inklusive des Materials notwendig sind.

Energetische Maßnahmen sind am besten mit „sowieso“ fälligen Maßnahmen zu kombinieren. So ist z.B. eine Verbesserung der Wärmedämmung mit einer notwendigen Instandsetzung der Fassade sinnvoll. Dadurch steigt die Wirtschaftlichkeit der energetischen Maßnahmen, da die Maßnahme somit über die energetischen Mehrkosten betrachtet werden kann.




Als Ergebnis der Untersuchung zeigt sich:

- Je kompakter das Gebäude, desto geringer sind die Investitionskosten pro Quadratmeter Wohnfläche. Dies hat einen positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen. Je höher der Anbaugrad und je schlechter die thermische Qualität der Gebäudehülle, desto kürzer wird die Amortisationszeit und desto wirtschaftlicher stellen sich die Maßnahmen dar. Dadurch weisen historische Quartiere, die sich meist durch eine hohe bauliche Dichte auszeichnen, ein hohes Potenzial für angemessene und zugleich wirtschaftliche Sanierungsmaßnahmen auf.
- Das beste Kosten-Nutzen Verhältnis der untersuchten Maßnahmen zeichnet sich bei einer Dämmung der Obersten Geschossdecke ab.
- Auch die thermische Verbesserung der Aussenwände ist positiv zu bewerten. Untersucht wurde eine Aussenwanddämmung, eine Innendämmung (im Beispiel ist Calciumsilikat aufgezeigt - mit den höchsten Kosten im Segment Innendämmung) sowie ein Wärmedämmputz\*. Die Verbesserung der thermischen Qualität kann auch nur partiell, wie z.B. an Hinterhoffassaden, umgesetzt werden.
- Das Ergebnis zeigt, dass aus wirtschaftlicher Sicht ein Austausch von Doppelkassenfenster nur dann sinnvoll ist, wenn die Substanz einen Austausch erforderlich macht. Der Austausch von Einscheibenverglasung stellt sich durch die hohen Wärmeverluste als wirtschaftlicher dar.
- Im Vergleich der untersuchten Maßnahmen sind die Kosten pro eingesparter Kilowattstunde (kWh) bei einer Dämmung der Kellerdecke zum unbeheizten Keller am höchsten. Ist der Fußbodenbelag jedoch direkt auf dem Erdreich verlegt, ist eine thermische Optimierung energetisch und auch wirtschaftlich bedeutend.

Quellen & Hintergrundinformationen:

\* zu Wärmedämmputz

Ist der U-Wert der Bestandswände kleiner als  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , stellen sich keine energetisch relevanten Verbesserungen mehr ein. Dadurch sinkt auch die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme.

A	Kategorie*	Außenwanddämmung (dampfdiffusionsoffen) 15cm, λ= 0,035 W/mK	Innendämmung (dampfdiffusionsoffen) CS, 7cm, λ= 0,06 W/mK	Wärmedämmputz 5cm WLG 090	Austausch Fenster U=2,6 -> 1,3 W/(m²K)	Dämmung OGD (begehbar) 20cm WLG 040	Dämmung Bodenplatte 6cm WLG 035
	€/m² <sub>BTF</sub>	145	135	95	350	40	53
1	 €/m² <sub>WFL</sub>	188	175	123	60	17	22
	Effizienz- zahl	2,4	3,1	3,2	6,6	1,4	4,4
2	 €/m² <sub>WFL</sub>	117	109	76	60	17	22
	Effizienz- zahl	2,3	2,9	3,0	6,0	1,3	4,0
3	 €/m² <sub>WFL</sub>	45	42	30	60	17	22
	Effizienz- zahl	2,2	2,8	2,9	5,4	1,2	3,7

Tab. 7: HEGT:Wirtschaftlichkeits-tendenz nach Anbaugrad und Konstruktionsklasse




$$\text{Effizienz-zahl}^* = \frac{(\text{€/m}^2_{\text{WFL}})}{(\text{kWh}_{\text{eingespart}}/(\text{m}^2\text{a}))}$$

- ≤ 1,5
- 1,6 - 2,0
- 2,1 - 2,5
- 2,6 - 3,0
- > 3,0

zu Tab.  
In nebenstehender Tabelle sind Tendenzen energetischer Maßnahmen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit dargestellt.

\*Die Effizienz-zahl ist der Quotient aus den Investitionskosten pro Quadratmeter Wohnfläche, die für eine bestimmte Maßnahme anfallen und der eingesparten Energie pro Quadratmeter und Wohnfläche. Dadurch wird aufgezeigt, wie hoch die Investitionskosten bezogen auf die Wohnfläche sind, um jährlich 1 kWh Energie pro Quadratmeter Wohnfläche einzusparen. Je kleiner dieser Wert, desto effizienter ist die Maßnahme zu bewerten. Die Werte sind als Tendenzen zu verstehen. Die hinterlegten Kostenkennwerte können insbesondere bei historischen Gebäuden je nach Gebäudezustand variieren.

Im Anhang, S.118/119 sind die wichtigsten Kosten für energetische Sanierungsmaßnahmen als Hilfestellung aufgeführt.

B	Kat.	Außenwanddämmung (dampfdiffusionsoffen) 15cm, λ= 0,035 W/mK	Innendämmung (dampfdiffusionsoffen) CS, 7cm, λ= 0,06 W/mK	Wärmedämmputz 5cm WLG 090	Austausch Fenster U=2,6 -> 1,3 W/(m²K)	Dämmung OGD (begehbar) 20cm WLG 040	Dämmung Boden- platte 6cm WLG 035
	€/m² <sub>BTF</sub>	145	135	95	350	40	53
1	 €/m² <sub>WFL</sub>	188	175	123	60	17	22
	Effizienz- zahl	1,4	1,6	1,5	7,4	1,5	4,4
2	 €/m² <sub>WFL</sub>	117	109	76	60	17	22
	Effizienz- zahl	1,3	1,5	1,4	6,6	1,4	4,0
3	 €/m² <sub>WFL</sub>	45	42	30	60	17	22
	Effizienz- zahl	1,2	1,4	1,3	6,0	1,2	3,7

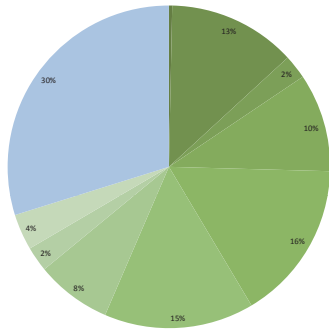
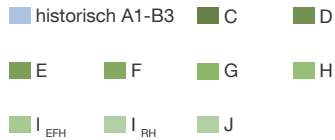


Abb. 25: Prozentuale Verteilung der Anzahl der nach HEGT klassifizierten historischen Wohngebäude und Wohngebäude ab Baualterklasse C der Stadt Iphofen

### 2.3.3. Exkurs Iphofen: Empfehlungen zum Sanierungskonzept

Im folgenden wird die Vorgehensweise für die Entwicklung von Sanierungsempfehlungen für das historische Altstadtgebiet und die umliegenden nicht-historischen Quartiere am Beispiel des Stadtgebiets Iphofen aufgezeigt.

Die folgenden Empfehlungen und Zahlen beziehen sich auf den Wohngebäudebestand. Industrie und kommunale Gebäude sind in den statistischen Aufstellungen nicht berücksichtigt.

#### Schritt 1: Struktur der Baualterklassen

30 % aller Wohngebäude in Iphofen sind historische Gebäude die nach HEGT klassifiziert werden können. Das entspricht einer Anzahl von 272 von insgesamt 912 Wohngebäuden (→ Abb. 25).

Die Verteilung der Baualterklassen gliedert sich wie folgt auf:

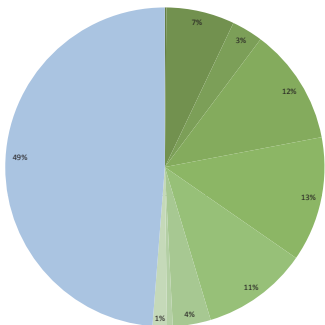


Abb. 26: Prozentuale Verteilung des Gesamtwärmebedarfs historischer und nicht historischer Wohngebäude der Stadt Iphofen

historisch (HEGT A1-B3)	30 % (272)
C (1919-1948)	0 % (3)
D (1949-1957)	13 % (117)
E (1958-1968)	2 % (22)
F (1969-1978)	10 % (90)
G (1979-1983)	16 % (146)
H (1984-1994)	15 % (137)
I (1995-2001)	10 % (92)
J (ab 2002)	4 % (33)

Anhand der Baualterklassen ist klar ablesbar, in welchen zeitlichen Schritten sich eine städtebauliche Struktur entwickelt hat. Unter Annahme von typischen Sanierungszyklen werden dadurch die Sanierungspotenziale ersichtlich. Typische Sanierungszyklen von Gebäuden liegen zwischen 45 und 65 Jahren. Diese Vorgehensweise ist für nicht-historische Quartiere anwendbar. Durch den hohen Individualisierungsgrad historischer Gebäude ist diese Methode für historische Quartiere jedoch nicht geeignet.

Historische Gebäude wurden im Laufe der Zeit immer wieder verändert, angepasst und überformt. Dies führt daher, dass diese Gebäude bereits eine lange Zeitdimension bestehen. Die Umbauten sind durch veränderte Bedürfnisse der Nutzer,

Instandsetzungsmaßnahmen sowie durch äußere Ereignisse wie Zerstörungen durch Kriege und Brände bedingt. Sanierungen, die vor der Einführung der Wärmeschutzverordnung mit Anforderungen an den Bestand durchgeführt wurden, haben kaum zu energetischen Verbesserungen geführt. Als energetisch wirksam gelten erst Sanierungen neueren Datums, mit dem Ziel der energetischen Verbesserung.

Dadurch wird ersichtlich, dass Sanierungskonzepte historischer Quartiere die Berücksichtigung der Aspekte der Bauphysik, des Denkmalschutzes und der gestaltprägenden Wirkung von energetischen Sanierungsmaßnahmen erfordert.

#### Schritt 2: Analyse Wärmebedarf

Im nächsten Schritt ist die räumliche Betrachtung des Wärmebedarfs von Interesse. Durch die quartiersbezogene Analyse können Gebiete für eine zentrale oder dezentrale Versorgung gefiltert werden.

In nebenstehenden Karten ist der Stadtplan Iphofens und die Wärmebedarfsdichte der IST-Situation dargestellt.

Die Karte zur Wärmebedarfsdichte zeigt die räumliche Verteilung in Iphofen bezogen auf die Geländefläche in MWh pro Hektar und Jahr. Dabei ist immer der Wärmebedarf mehrerer Gebäude in einer Rastereinheit zusammengefasst.

Wichtig für die Interpretation dieser Karte ist, dass die unterschiedlichen Wärmebedarfsdichten zum einen durch den spezifischen Wärmebedarf der in einer Rastereinheit zusammengefassten Gebäude, zum anderen aber auch durch die Bebauungsdichte und die Art der Gebäudenutzung (Wohnen/Gewerbe) bedingt ist. Insofern bedeuten rote Flächen in der Wärmebedarfsdichtekarte nicht zwangsläufig, dass (alle) darunter zusammengefasste(n) Gebäude einen schlechten energetischen Standard aufweisen. Auch eine hohe Bebauungsdichte (viele Gebäude und/oder hohe Geschosshöhen im Bezug zur entsprechenden Geländefläche) können der Grund für einen höheren Wärmebedarf sein. Je dunkler bzw. roter die Farbe, desto höher ist die Wärmeabnahmedichte und desto höher das Potenzial für die Umsetzung zentraler Energieversorgungssysteme.

#### Quellen & Hintergrundinformationen:

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheutschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

Der historische Altstadtbereich und die umliegenden nicht-historischen Quartiere lassen sich deutlich anhand der Wärmebedarfsdichtekarte ablesen. Dies ist im wesentlichen auf die bauliche Dichte zurückzuführen. Die Wärmebedarfsdichte der historischen Altstadt ist sehr viel höher als die umliegende Einfamilien- und Doppelhausbebauung.

Der Wärmebedarf der Wohngebäude gliedert sich wie folgt auf:

HEGT A1-B3	49 %	10.342 MWh
C (1919-1948)	0 %	33 MWh
D (1949-1957)	7 %	1465 MWh
E (1958-1968)	3 %	672 MWh
F (1969-1978)	12 %	2496 MWh
G (1979-1983)	13 %	2682 MWh
H (1984-1994)	11 %	2272 MWh
I (1995-2001)	4 %	936 MWh
J (ab 2002)	1 %	310 MWh
Gesamtwärmebedarf		21.200 MWh

Die Analyse des Wärmebedarfs zeigt, dass die historischen Wohngebäude (A1-B3) einen Anteil von 49 % des gesamten Wärmebedarfs in Iphofen einnehmen (→ Abb. 26). Das bedeutet, dass von diesen 30 % des historischen Wohngebäudebestands die Hälfte des Gesamtwärmebedarfs verbraucht wird. Um den Energiebedarf dieser Gebäude zu senken, sind historisch-verträgliche Sanierungsmaßnahmen erforderlich (→ S.48, Empfehlungen). Dies betrifft in Iphofen im Altstadtbereich die historischen als auch die nicht-historischen Gebäude, da der gesamte Altstadtbereich unter Ensemblechutz steht.



Abb. 28: Städtebauliche Struktur Iphofens - hohe bauliche Dichte der historischen Altstadt - lockere Bebauungsstruktur in umliegenden Quartieren

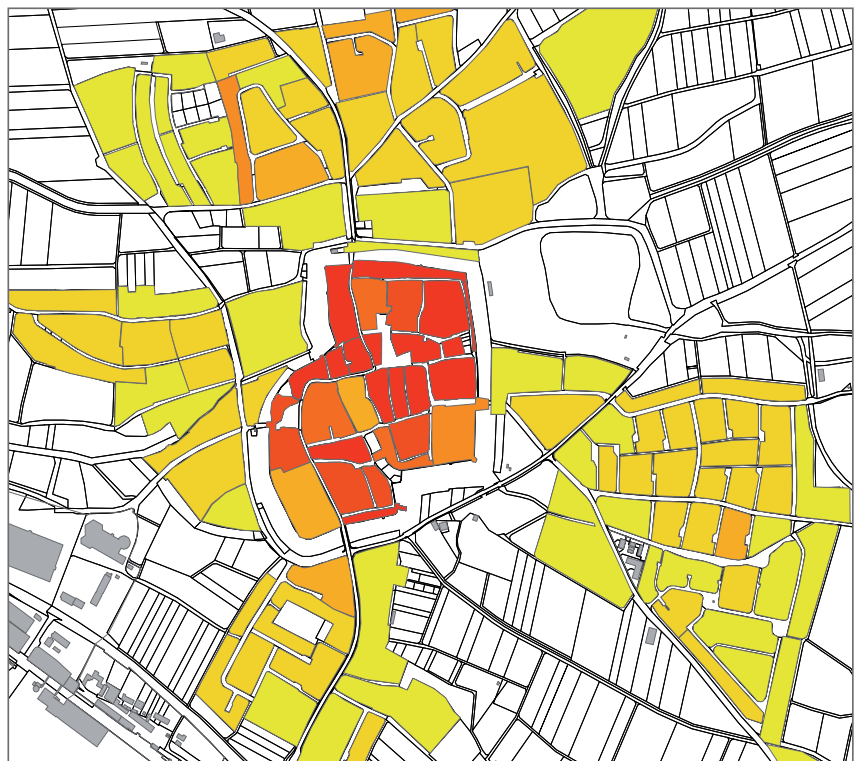
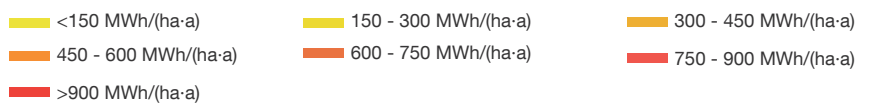


Abb. 27: Wärmebedarfsdichte der IST-Situation im Stadtbereich Iphofen



□ 0 %    ■ < 25,0 %    ■ 25,1 - 50,0 %    ■ 50,1 - 75,0 %    ■ > 75,0 %

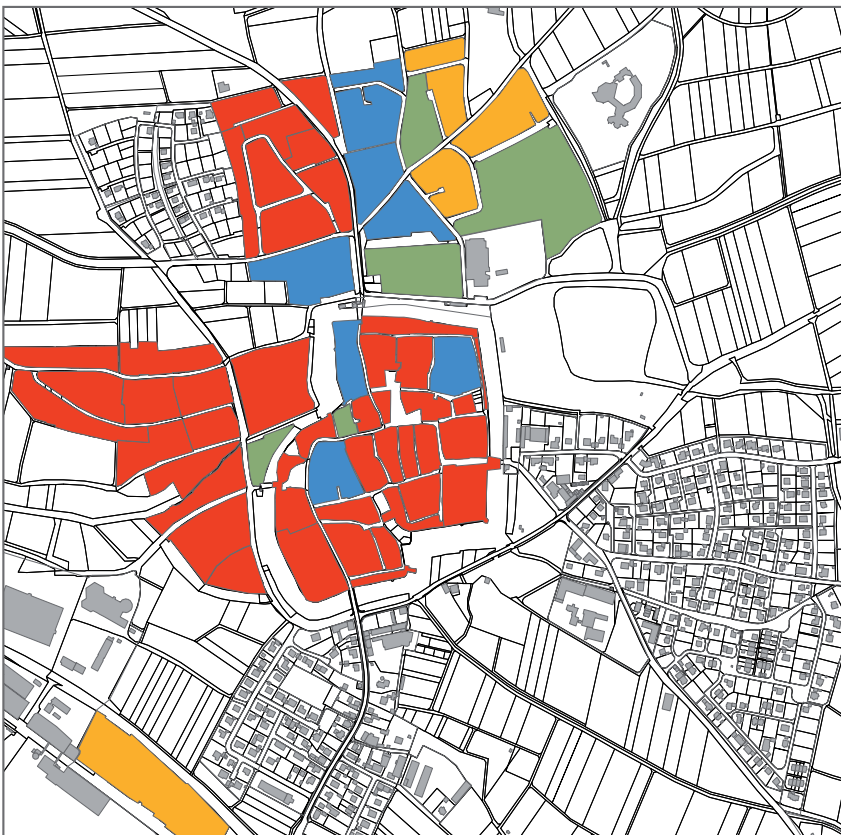


Abb. 29: Anteil des Gebäudebestands im Quartier der vor 1979 erbaut wurde

### Nicht-historische Quartiere

Die Analyse der Baualtersklassenstruktur macht das Sanierungspotenzial der nicht-historischen Quartiere ersichtlich:

Gebiete, in denen der Gebäudebestand im Durchschnitt bzw. zu einem überwiegenden Teil aus der Zeit vor 1979 stammt, sollten aufgrund des hohen Energiebedarfs und der für eine nachträgliche Wärmedämmung generell gut geeigneten Gebäudegeometrie bevorzugt saniert werden. Dies betrifft die Baualtersklassen C bis F (→ Abb. 25). In Iphofen entspricht dies einem Anteil von 22 % am Gesamtwohngebäudebestand.

In nebenstehender Karte ist die prozentuale Verteilung der Baualtersklassen vor 1979 in den Quartieren dargestellt.

Quartiere mit gelber, grüner oder ohne Kennzeichnungen haben einen überwiegenden Gebäudebestand der aktuell nicht in den Sanierungszyklus fällt. Das Sanierungspotenzial und die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung von energetischen Sanierungen ist in diesen Quartieren aktuell gering.

Rot und blau gekennzeichnete Quartiere weisen ein hohes Sanierungspotenzial auf, da der Gebäudebestand überwiegend vor 1979 erbaut wurde. In Iphofen betrifft dies die Quartiere im Nord-Westen und Westen (→ Abb. 29).

Die Überlagerung mit der Analyse der Wärmebedarfsdichte zeigt, dass die Umsetzung von Vollsanierungen in den rot und blau gekennzeichneten Quartieren sinnvoll ist. Die Gebiete außerhalb der historischen Altstadt zeichnen sich durch eine überwiegende Einfamilien- und Doppelhausbebauung aus. Dies spiegelt sich in einer geringen baulichen Dichte wieder. Das lässt sich deutlich an der Wärmebedarfsdichtekarte ablesen (→ Abb. 27). Die Wärmeabnahmedichte liegt zwischen 150 MWh/ha-a und 450 MWh/ha-a.

Durch das hohe Sanierungspotenzial wird in den nächsten Jahren die Energieabnahmedichte in diesen Quartieren voraussichtlich sinken. Unter Berücksichtigung realistischer Anschlusszahlen weisen diese Quartiere dadurch ein geringes Potenzial für eine zentrale Versorgung auf. Unter Annahme eines Anschlußgrades

von 70% entfallen diese Gebiete für eine zentrale Versorgung (→ Abb. 30). Die Wärmeabnahmedichte liegt deutlich unter 150 MWh/ha-a.

Darum liegen die Prioritäten in diesen Quartieren auf einer Senkung des Energiebedarfs durch Vollsanierungen. Die Nutzung erneuerbarer Energien, wie z.B. Solarthermie in Verbindung mit dezentralen Versorgungsarten ist anzustreben.

Die Umsetzung von Niedrigenergiestandards in diesen Quartieren ist durch folgende Maßnahmen zu erreichen:

- Dämmung der Außenwände
- Dämmung der Dächer bzw. Obersten Geschosßdecken
- Dämmung zu unbeheizten Kellerräumen, Fußbodenplatten
- Erneuerung der Fenster durch Dreischeibenverglasungen
- Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG)
- Dezentrale Gebäudetechnik in Verbindung mit erneuerbaren Energieträgern aus der Region
- Unterstützende Nutzung erneuerbarer Energien, wie z.B. Solarthermie

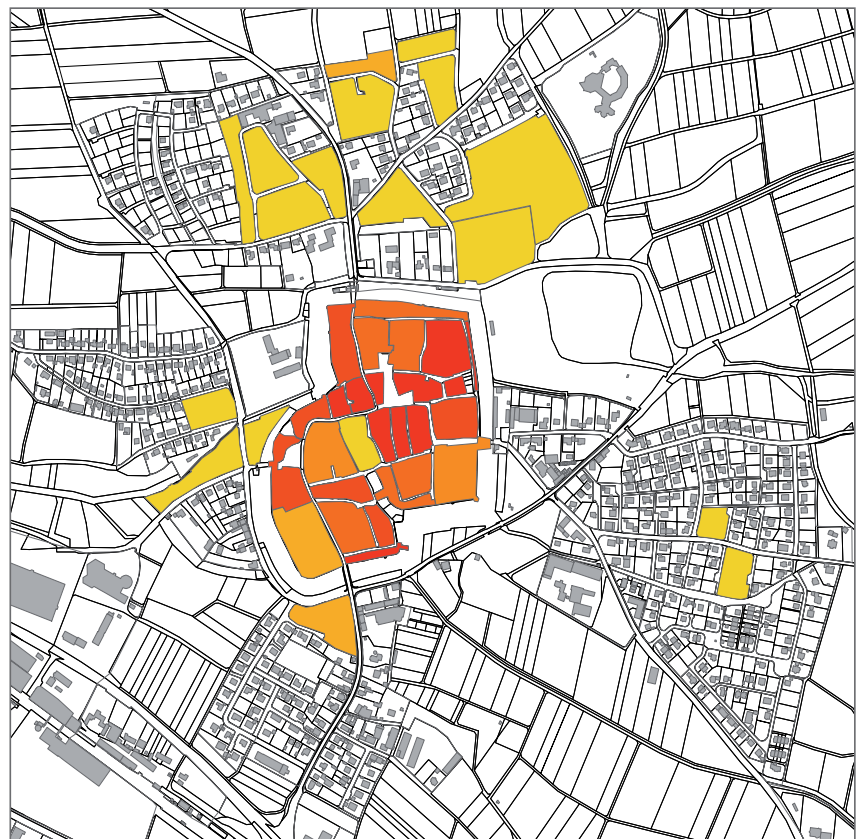
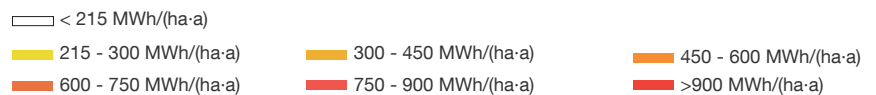


Abb. 30: Wärmebedarfsdichte Zukunft: jährliche Sanierungsrate 1,5% - Anschlussgrad 70%

Quartiere mit einer geringen baulichen Dichte, nicht-historischem Gebäudebestand und einer hohen Sanierungswahrscheinlichkeit (unsanierte Gebäude überwiegend vor 1979 erbaut) bieten das Potenzial von dezentralen Versorgungsmöglichkeiten in Verbindung mit der Nutzung aktiver Solarenergie und einer weitgehenden Reduzierung des Energiebedarfs durch Vollsanierungen.



Abb. 31: Grundsätzliche Konstruktionstypen (v.l.n.r.: Zierfachwerk, Massiv, Konstruktives Fachwerk)

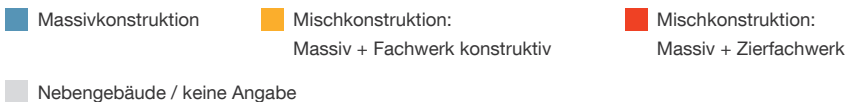


Abb. 32: Verteilung der Konstruktionstypen in Iphofen

### Historische Quartiere

Um die Grenzen und Möglichkeiten energetischer, historisch-verträglicher Sanierungsmaßnahmen für die Gebäude in Iphofen festzulegen, wurde im Rahmen einer umfassenden Bestandsaufnahme ein Katalog mit typischen historischen Gebäuden entwickelt. Dabei wurde nach gestaltpregenden Konstruktionsarten der Gebäude differenziert.

Zusammenfassend lassen sich in dieser Zeitepoche des 17. und 18. Jahrhunderts drei grundsätzliche Konstruktionstypen unterscheiden (→ Abb. 31 und 33):

- Mischkonstruktion: EG massiv, OG mit Zierfachwerk
- Mischkonstruktion: EG massiv, OG mit konstruktivem Fachwerk,
- und Massivbauten.

Massive Gebäude überwiegen, mit einem Anteil von 51 % in der städtebaulichen Struktur. 41 % der Gebäude sind mit einem konstruktivem Fachwerk errichtet. Bei einem Teil dieser Gebäude wurden die Fachwerke von den Nutzern aus ästhetischen Gründen wieder freigelegt. Nur 8 % der Gebäude sind mit einem Zierfachwerk errichtet.

Der überwiegende Gebäudebestand zeichnet sich durch eine gestaltpregende Oberflächenhaptik aus (→ Abb. 31 und 33). Gesimse, Ornamente und Verzierungen sind gestaltpregende Elemente bei allen drei Konstruktionstypen. Dadurch ist die Umsetzung von gestaltpregenden Sanierungsmaßnahmen an der Außenhülle in der Regel eingeschränkt. So ist die Umsetzung von Außenwanddämmungen bei den meisten Gebäuden nicht gegeben. Gebäude mit konstruktivem Fachwerk können das Potenzial bieten die ursprüngliche Putzfassade wieder herzustellen. Die Dächer sind bei den meisten Gebäuden derzeit nicht ausgebaut. Der Ausbau und die nachträgliche Dämmung der Dächer würde zu einer Veränderung der historischen Dachlandschaften führen und muss im Einzelfall geklärt werden.



Im nächsten Schritt wurden die Klassifizierungen des Denkmalschutzes analysiert. Ein hoher Anteil der historischen Gebäude steht unter Denkmalschutz. Nebenstehende Karte (→ Abb. 34) zeigt die Verteilung der Denkmalschutzklassifizierungen. Von insgesamt 325 Hauptgebäuden (100%) sind:

109 (33 %) mit Denkmallisteneintrag  
 155 (48 %) ortsbildprägend  
 26 (8 %) ortstrukturprägend  
 35 (11 %) ohne Denkmallisteneintrag

Das Ergebnis der Bestandsuntersuchungen und Experteninterviews zeigt, dass das Sanierungspotenzial nicht obligat von der Denkmalklassifizierung abhängig ist. Energetische Maßnahmen sind sowohl bei denkmalgeschützten, ortsbildprägenden und ortstrukturprägenden Gebäuden möglich. Die Umsetzbarkeit energetischer Maßnahmen ist immer vom individuellen Gebäude abhängig.

Das Potenzial für die Umsetzung umfassender energetischer Maßnahmen ist jedoch bei ortstrukturprägenden Gebäuden und Gebäuden ohne Denkmallisteneintrag am höchsten zu sehen. Somit weisen in Iphofen ca. 20 % des Gebäudebestands das Potenzial für umfassende energetische Sanierungsmaßnahmen auf. 80 % der Gebäude erfordern ein historisch angemessenes Sanierungskonzept, welches die historische Bausubstanz und das gestalterische Erscheinungsbild berücksichtigt.

Neben der gebäudebezogenen Analyse der Sanierungsmöglichkeiten, ist die Untersuchung der städtebaulichen Struktur für die Entwicklung künftiger Sanierungsleitlinien von Interesse.

Durch die gewachsene städtebauliche Struktur sind in Iphofen überwiegend sehr kompakte Gebäude vorzufinden.



Abb. 33: Gestaltprägende Fassaden, Typische Elemente



Abb. 34: Denkmalschutzklassifizierung



Die Analyse der städtebaulichen Struktur zeigt, dass

- 8 % freistehend, (1: geringer Anbaugrad),
- 15 % einseitig (2: mittlerer Anbaugrad),
- 77 % zwei- bis dreiseitig (3: hoher Anbaugrad) angebaut sind.

Dadurch wird ersichtlich, dass 92 % der Gebäude in der historischen Altstadt durch die Anbausituation eine kompakte Gebäudeform aufweisen. Kompakte Gebäude weisen einen geringeren Heizwärmebedarf auf.

Die Gesamtinvestitionskosten bei der Sanierung von Gebäuden mit einem mittleren und hohen Anbaugrad sind in der Regel geringer als bei freistehenden Gebäuden.

Sind Sanierungs- und Instandsetzungsmaßnahmen notwendig, sind energetische Erhöhungen immer in Erwägung zu ziehen. Unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit liegen die energetischen Sanierungsprioritäten bei Gebäuden mit mittlerem und hohem Anbaugrad. Sinnvoll ist eine angemessene Senkung des Energiebedarfs durch historisch-verträgliche Sanierungsmaßnahmen. Empfehlenswert ist die Umsetzung von Maßnahmen mit einer hohen energetischen Relevanz und historischen Verträglichkeit, wie z.B.:

- Dämmung der Obersten Geschoßdecken
- Innenwanddämmung
- Dämmung nicht einsehbarer Hinterhof-fassaden und Abseitenwände
- Austausch oder thermische Verbesserung von Einscheibenverglasungen



Abb. 35: Anbaugrad der Gebäude in Iphofen

Im Zuge der Bestandsaufnahme wurde im Altstadtbereich eine erste Ermittlung der nächsten fälligen Sanierungszyklen vorgenommen (→ Abb. 36 und 37). Dabei wurden drei Kategorien gebildet:

- Die Sanierung ist ab sofort fällig: bei offensichtlichen Bauschäden, Leerstand, Verfall, schlechtem baulichen Zustand
- Voraussichtliche Sanierung in den nächsten 10 - 15 Jahren: augenscheinlich noch guter Zustand, geringe bauliche Mängel
- Voraussichtliche Sanierung in den nächsten 20 - 30 Jahren: Das Gebäude wurde erst saniert/instandgesetzt, die Maßnahmen sind jedoch nicht zwingend energetisch wirksam, wie z.B. neuer Anstrich und Trockenlegung der Wände. Bei diesen Gebäuden kann, realistisch betrachtet, nicht davon ausgegangen werden, dass diese in den nächsten Jahren energetisch saniert werden.



Abb. 36: Sanierungsstände

Die Analyse der Sanierungsstände zeigt, dass 60 % der historischen Gebäude innerhalb von 15 Jahren in den nächsten fälligen Sanierungszyklus fallen. Bei diesen Gebäuden ist die Umsetzung energetischer Maßnahmen anzustreben.

40 % der Gebäude weisen einen guten Sanierungsstand auf. Energetische Sanierungen in den nächsten Jahren sind unwahrscheinlich.

Als interessante Gebiete für demnächst umsetzbare energetische Sanierungen stellen sich die rot gekennzeichneten Quartiere dar. In diesen Quartieren könnten 75 % der Gebäude im Zeitraum der nächsten 15 Jahren saniert werden. Zweite Priorität haben die blau gekennzeichneten Gebiete.

Aus der Überlagerung der Denkmalklassifizierung werden die Quartiere ersichtlich, die sich besonders eignen, energetische Maßnahmen umzusetzen. So weist das im Norden liegende rote Gebiet ein hohes Sanierungspotenzial auf. Aber auch die östlichen und südlichen in blau gekennzeichneten Quartiere bieten ein hohes Potenzial um demnächst energetische Maßnahmen umzusetzen.

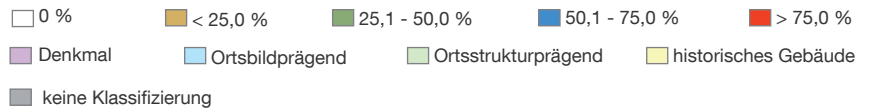
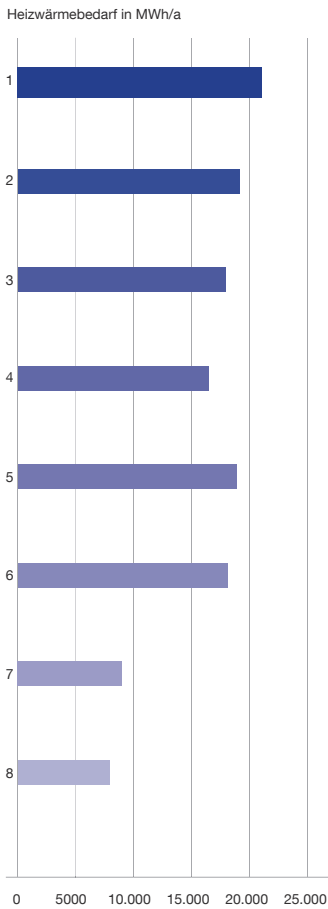


Abb. 37: Prozentuale Anteile demnächst zu sanierender Gebäude im Zeitraum der nächsten 10 bis 15 Jahre und Überlagerung der Denkmalschutzklassifizierung

Tab. 8: Zukunftsszenarien Stadt Iphofen



- zu Tab.
- 1 Heizwärmebedarf IST
  - 2 Sanierungsrate nicht historisch (NH) jährlich 1,5 % - historisch (H) 0,5 %
  - 3 Sanierungsrate (NH) 1,5 % - (H) 1,0 %
  - 4 Sanierungsrate (NH) 1,5 % - (H) 1,5 %
  - 5 Sanierungsrate (NH) 1,5 % - (H) Dämmung aller möglichen Geschossdecken
  - 6 Sanierungsrate (NH) 1,5 % - (H) Dämmung aller Hinterhoffassaden und Geschossdecken
  - 7 Sanierungsrate (NH) 100 % - (H) Dämmung Hinterhof und Straßenfassaden, Geschossdecken (Vergleichsszenario)
  - 8 Sanierungsrate (NH) 100 % - (H) Dämmung Hinterhof- und Straßenfassaden, Geschossdecken und Bodenplatten (Vergleichsszenario)

**Zukunftsszenarien**

Am Beispiel Iphofen wurden verschiedene Zukunftsszenarien mit unterschiedlichen Sanierungsraten nach GemEB simuliert. Es wurden folgende Szenarien berechnet:

- Wärmebedarf IST
- Sanierungsrate Nicht-Historisch (NH) jährlich 1,5 % - Historisch (H) 0,5 %
- Sanierungsrate (NH) 1,5 % - (H) 1,0 %
- Sanierungsrate (NH) 1,5 % - (H) 1,5 %
- Sanierungsrate (NH) 1,5 % - (H) Dämmung aller möglichen Geschossdecken
- Sanierungsrate (NH) 1,5 % - (H) Dämmung aller Hinterhoffassaden und Geschossdecken
- Sanierungsrate (NH) 100 % - (H) Dämmung Hinterhof und Straßenfassaden, Geschossdecken (Vergleichsszenario)
- Sanierungsrate (NH) 100 % - (H) Dämmung Hinterhof- und Straßenfassaden, Geschossdecken und Bodenplatten. Die Vollsaniierung aller historischen Gebäude ist ein theoretischer Vergleichsmaßstab. Dieses Szenario ist nicht realistisch, da ein 100 %-Szenario hinterlegt ist.

Der aktuelle jährliche Heizwärmebedarf aller Wohngebäude in Iphofen liegt bei 21.200 MWh. Der Wärmebedarf der historischen Altstadt beträgt 11.000 MWh/a.

Wird für die historischen Gebäude in der Altstadt eine Sanierungsrate von 0,5 % angestrebt, müssen jährlich bis zu zwei Gebäude historisch-verträglich\* saniert werden. Dies entspricht einem durchaus realistischen Ziel. Wird für die nicht-historischen Gebäude eine Sanierungsrate von 1,5 % angestrebt, kann bis 2035 der jährliche Energiebedarf der Stadt Iphofen auf 18.300 MWh reduziert werden. Dies entspricht einer Reduzierung des Energiebedarfs um 14 % (2.900 MWh).

Wird generell eine Sanierungsrate von 1,5 % angestrebt, müssen jährlich circa fünf Gebäude in der Altstadt historisch-verträglich\* saniert werden. Die Prognose basiert auf Anlehnung der Sanierungsrate des deutschen Gebäudebestands [bmu, 2012]. Wird dieses ambitionierte

Ziel erreicht, kann bis 2035 der jährliche Energiebedarf auf 16.400 MWh reduziert werden. Dies entspricht einer Senkung des derzeitigen Energiebedarfs um etwa 23 % (4.800 MWh). Wird nur das Einsparpotenzial der historischen Altstadt betrachtet, liegt das Einsparpotenzial bei ca. 28%. Der Energiebedarf kann von 11.000 MWh/a bis 2035 auf 7.900 MWh/a gesenkt werden.

In nebenstehenden Karten (→ Abb. 38 bis Abb. 41) ist die Wärmebedarfsdichte der unterschiedlichen Sanierungsszenarien dargestellt. Aufgrund der gewachsenen Bauungsstruktur weist die historische Altstadt eine hohe Wärmeabnahmedichte auf. Diese bietet das Potenzial, auch unter Berücksichtigung historisch-verträglicher Sanierungen\* und realistischer Anschlussquoten, eine zentrale Versorgung aufzubauen (→ Abb. 40). In den historischen Quartieren der Altstadt ist eine angemessene Senkung des Energiebedarfs in Verbindung mit einer zentralen Nutzung erneuerbarer Energien sinnvoll. Tab. 8 zeigt das hohe theoretische Energieeinsparpotenzial. Sogar unter Annahme eines 100 % Vollsaniierungsszenarios und einer Anschließquote von 70 % liegt die Energieabnahmedichte in den meisten Quartieren über 150 MWh/(ha-a) (→ Abb. 41).

Da die meisten umliegenden nicht-historischen Gebiete nach einer Sanierung für zentrale Lösungen entfallen - liegt die Priorität auf der Senkung des Energiebedarfs durch Vollsaniierungen und dem Neubau von energieeffizienten Gebäuden in Verbindung mit der dezentralen Nutzung erneuerbarer Energien. Werden Neubaugebiete ausgewiesen, ist es sinnvoll unterstützende aktive Solarenergienutzung durch die Gebäudekubaturen zu ermöglichen.

[bmu, 2012] [http://www.bmu.de/energiewende/beschluesse\\_und\\_massnahmen/doc/46507.php](http://www.bmu.de/energiewende/beschluesse_und_massnahmen/doc/46507.php) [Stand 27.09.2012]

\* Historisch verträglich Sanierung bedeutet, dass je nach Gebäude die Obersten Geschossdecken, Innendämmung und/oder ggf. bei Gebäuden mit mittlerem und hohem Anbaugrad die Hoffassaden gedämmt werden. Die Berechnung mit GemEB erfolgt nach einer Einteilung der Denkmalschutzklassifizierung und hinterlegten Wahrscheinlichkeiten (→ Tab. 12, Seite 100).

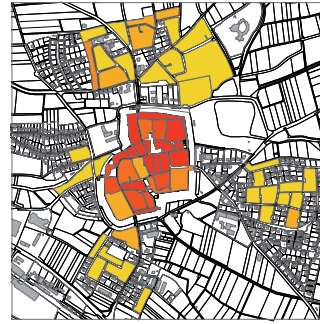
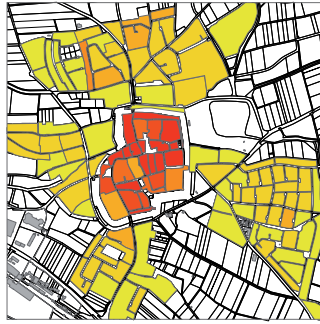
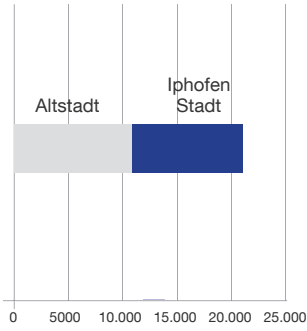


Abb. 38:  
Heizwärmebedarf der Wohngebäude  
Stadt Iphofen IST

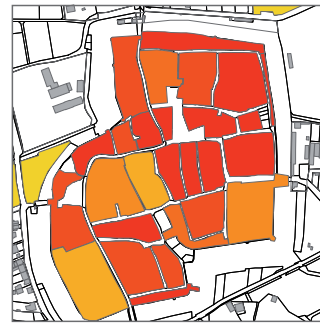
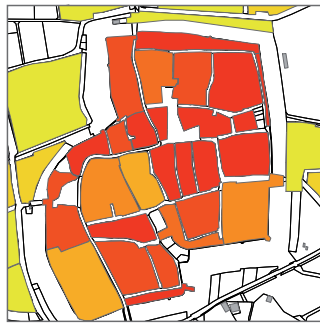
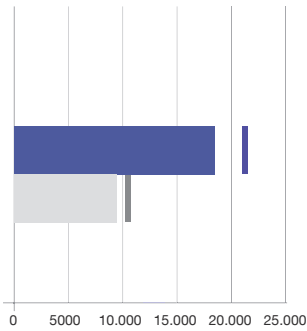


Abb. 39:  
Iphofen Altstadt  
Szenario 2035 (a)

Sanierungsrate:  
Nicht-Historisch 1,5 % (NH),  
Historische Gebäude 0,5 % (H)

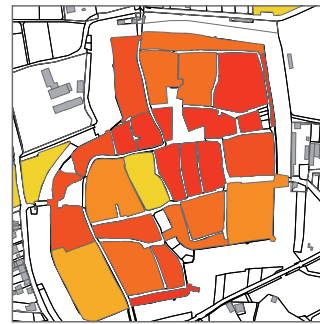
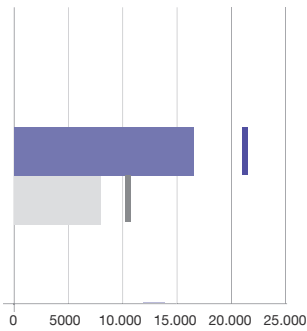


Abb. 40:  
Iphofen Altstadt  
Szenario 2035 (b)

Sanierungsrate:  
Nicht-Historisch 1,5 % (NH),  
Historische Gebäude 1,5 %

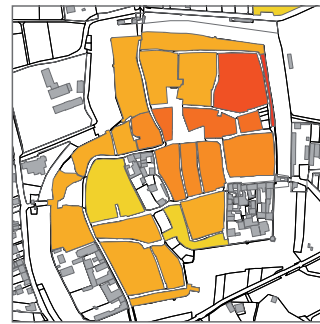
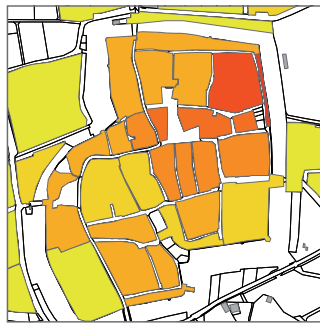
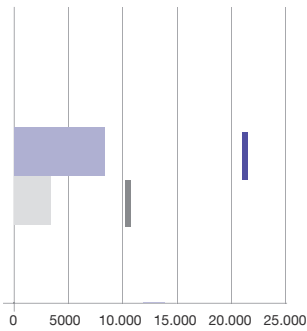
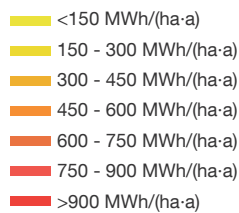


Abb. 41:  
Iphofen Altstadt  
Szenario 2035 (c)

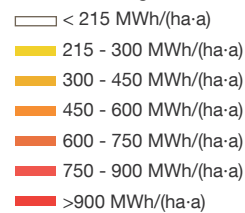
Sanierungsrate:  
Nicht-Historisch 100 %,  
Historische Gebäude 100 %  
(Vollsanierung siehe Tab. 8, Pkt. 8)

Wärmebedarf in MWh/a

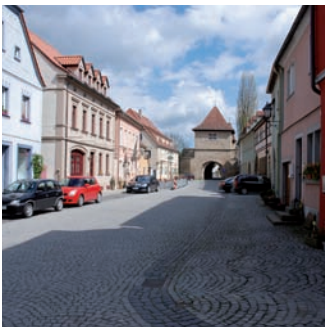
Wärmebedarfsdichte in MWh/(ha a)



Filter Anschlußgrad 70%







### 2.3.4. HEGT:Sanierungsmatrix - Datenblätter für die Energieberatung

In folgenden Datenblättern werden wichtige Hinweise zu Aspekten der historischen Verträglichkeit, der energetischen Relevanz, Bauphysik und rechtlichen Anforderungen aufgezeigt. Die Datenblätter bieten eine Hilfestellung für die objektbezogene Energieberatung. Die Zusammenstellung wurde für die Stadt Iphofen entwickelt, ist aber allgemein übertragbar, da wesentliche rechtliche und bauphysikalische Zusammenhänge aufgeführt werden.

Die Datenblätter beziehen sich auf die untersuchten Maßnahmen der HEGT:Sanierungsmatrix. Darüber hinaus sind auch empfehlenswerte minimal-invasive anlagentechnische Maßnahmen aufgeführt.

Die Beschreibung der Einsparpotenziale der Typologie ist mit Abkürzungen gekennzeichnet (→ Abb. 42).

Die Kennzeichnung A1 bedeutet: Der Buchstabe A bedeutet Konstruktionsklasse A - die U-Werte der Außenwände liegen in einem Bereich von +/- 1,4 W/(m²K), das sind z.B. Fachwerkwände mit Strohlehmstaken. Die Wände des Referenzgebäudes wurden mit einem U-Wert von 1,4 W/(m²K) berechnet.

Der Buchstabe B steht für Konstruktionsklasse B - die U-Werte der Außenwände liegen in einem Bereich von +/- 2,4 W/(m²K), das sind z.B. massive Bruchsteinwände mit hoher Wärmeleitfähigkeit.

Die Ziffer 1 steht für Gebäude mit geringem Anbaugrad.

Zu jeder Maßnahme werden die gesetzlichen Anforderungen der EnEV 2009 aufgezeigt. Denn historische und denkmalgeschützte Gebäude sind nicht generell von den Verpflichtungen ausgenommen. Nach EnEV 2009 kann bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz nach § 24 (1) von den Anforderungen abgewichen werden, wenn die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigt oder die Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führt. [EnEV, 2009]

### Außenwanddämmung

#### Energetische und historische Relevanz

Historische Quartiere sind geprägt durch die charakteristischen Fassadenbilder der zeitgenössischen Gebäude. Zwar können durch das Anbringen einer Außenwanddämmung sehr hohe energetische Einsparpotenziale erreicht werden, jedoch ist diese Maßnahme immer im Kontext mit der historischen und bauphysikalischen Verträglichkeit zu sehen. In der Praxis ist der Einsatz von Außenwanddämmsystemen in historischen Quartieren eher ein Ausnahmefall. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass es durchaus historischverträgliche Alternativen gibt, um etwa gleichwertige Einsparungen zu erzielen.

Aus bauphysikalischer Sicht wesentlich ist die Dampfdiffusionsoffenheit von Baumaterialien, die im Rahmen einer Sanierung eingesetzt werden.

In der Praxis werden Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) mit expandierten Polystyrolplatten (EPS) eingesetzt. Polystyrolplatten sind dampfdiffusionsdicht und nur gering kapillaraktiv. Durch die zumeist fehlende Abdichtung des Bauuntergrunds historischer Gebäude ist die Feuchte im Bauteilinneren erhöht. Dampfdiffusionsdichte Materialien verhindern das Abtrocknen der Baukonstruktion, wodurch das Bauschadenspotenzial steigt.

Aus gestalterischer Sicht entsteht ein sehr glattes und homogenes Fassadenbild.

Eine Alternative stellen Systeme mit Mineralfaserplatten dar. Mineralfaserwolle zeichnet sich durch eine hohe Dampfdiffusionsoffenheit aus, dadurch kann die Wandkonstruktion abtrocknen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die weichen Platten auch bei Unebenheiten aufgebracht werden können. Dadurch entsteht ein inhomogener Fassadeneindruck, der den historischen Putzstrukturen ähnlich ist.

Mineralfaserplatten können auch bei hinterlüfteten Wandkonstruktionen eingesetzt werden. Aus Gründen des Wetter- und Brandschutzes waren vor allem Fachwerkg Gebäude früher oftmals verkleidet. Teilweise wurden auch nur einzelne Wände wie die Wetter- oder Hofseiten verschalt. Die Bekleidungen waren aus Holz oder Stein,

HEGT	Konstruktionsklasse A $Q_h$ [kWh/(m² Wohnfläche *a)]	
	Konstruktionsklasse B $Q_h$ [kWh/(m² Wohnfläche *a)]	
Anbaugrad		
1 gering	A1 176	B1 230
2 mittel	A2 149	B2 188
3 hoch	A3 110	B3 127

Abb. 42: HEGT:Gebäudetypologie - Kennzeichnung der Typologie (Werte für 2 bis 4 Geschosse)

wie z.B. Schiefer oder Ziegelbehang. In Iphofen wurden einige der konstruktiven Fachwerke aus ästhetischen Gründen wieder freigelegt.

Je nach Gebäudetypus und historischem Hintergrund kann eine hinterlüftete Fassadenkonstruktion als historisch verträglich bewertet werden, wenn der verschaltete Ursprungszustand wieder hergestellt wird oder aufgrund der Konstruktion das Fachwerk nicht sichtbar bleiben muss. Eine Lösung stellt hier auch die Dämmung von straßenabgewandten Hoffassaden dar.

Durch das Aufbringen einer Dämmschicht von 15 cm kann der U-Wert der Konstruktionsklasse A von  $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  auf ca.  $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gesenkt werden. Das entspricht einer Reduzierung der Wärmeverluste der Wand von 85 % pro Quadratmeter Bauteilfläche und Jahr. Bilanzuell über das Jahr betrachtet liegt das Einsparpotenzial des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  bezogen auf die Wohnfläche zwischen 41 % (A1) und ca. 19 % (A3). Dies entspricht einer Heizwärmebedarfseinsparung von etwa  $72 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  (A1) bis zu  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  bei Gebäuden mit hohem Anbaugrad (A3).

Demgegenüber ist das Einsparpotenzial bei Gebäuden mit einem höheren  $U_{\text{IST}}$ -Wert (Konstruktionsklasse B) größer. Durch die gleiche Maßnahme kann der U-Wert von  $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  auf  $0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gesenkt werden. Das entspricht einer Reduzierung der Wärmeverluste der Wand von 91 % pro Quadratmeter Bauteilfläche und Jahr. Bilanzuell betrachtet wird durch diese Maßnahme bei Konstruktionsklasse B, je nach Anbaugrad, eine Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von 54 % (B1) bis zu ca. 29 % (B3) erreicht. Dies entspricht im berechneten Fallbeispiel einer Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca.  $125 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  (B1) bis zu  $37 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  (B3).

Aus diesem Vergleich wird deutlich ersichtlich, dass der U-Wert der Bestandskonstruktion nahezu keinen Einfluss auf die erzielbaren U-Werte hat. Dies resultiert daher, dass die Dämmschicht durch den hohen Wärmedurchgangswiderstand R den thermisch relevanteren Einfluss hat.

### Gesetzliche Anforderungen

Nach EnEV 2009 müssen bei einer Veränderung der jeweiligen Wandfläche von über 10 %, Mindestanforderungen nach Anlage 3, Tabelle 1 für U-Werte eingehalten werden. Für Außenwände muss ein Mindest U-Wert von  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  eingehalten werden. Für "Änderungen der Außenwände" sind nach Anlage 3 folgende Maßnahmen aufgeführt: „ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert (...), dass Bekleidungen in Form von Platten oder plattenartigen Bauteilen oder Verschalungen sowie Mauerwerks - Vorsatzschalen angebracht (...) oder Dämmschichten eingebaut werden.“

Sollen bei einem mehrschaligen Mauerwerk Dämmschichten eingebaut werden, gelten die Anforderung als erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird (nach [EnEV, 2009], Anlage 3, Satz 1)

Handelt es sich um Sichtfachwerkwände, die der niedrigsten Schlagregenbeanspruchungsgruppe I nach DIN 4108 - 3:2001 - 06 zuzuordnen sind, gibt es hierzu einen erweiterten Spielraum. Werden Wände ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert, dass Dämmschichten eingebaut werden oder bei einer bestehenden Wand mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten größer  $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  der Außenputz erneuert wird, gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient des entstehenden Wandaufbaus  $0,84 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  nicht überschreitet (nach [EnEV, 2009], Anlage 3, Satz 1).

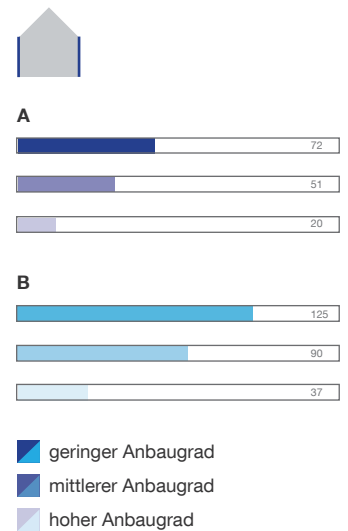


Abb. 43: Einsparpotenzial\* in  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  einer Außenwanddämmung mit 15 cm WLG 035 für Konstruktionsklasse A und B

Quellen & Hintergrundinformationen:

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten exemplarischen Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

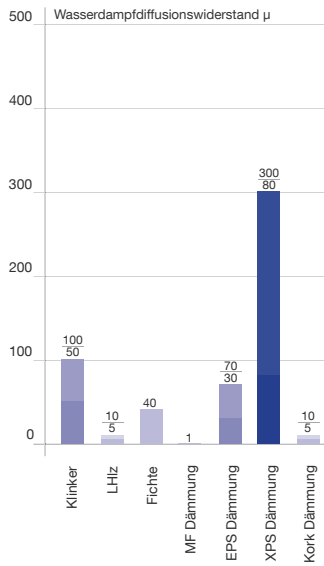


Abb. 44: Wasserdampfdiffusionswiderstand  $\mu$  unterschiedlicher Baustoffe

zu Abb.

Je geringer die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen  $\mu$ , desto dampfdiffusionsoffener ist ein Baustoff.

Als Maßstab: Luft hat einen Wasserdampfdiffusionswiderstand  $\mu$  von 1.

Bei höheren Schlagregenbeanspruchungen der Klassen II und III wird in [WTA Arbeitsblatt 8-1-03/D] eine Verschalung von Fachwerkfassaden empfohlen. In diesem Fall kann eine moderate Außenwanddämmung hinter einer Verschalung eine alternative Lösung bieten. Nach EnEV sind die thermischen Mindestanforderungen erfüllt, wenn technisch mögliche Dämmstoffstärken bei einer WLG von 040 eingesetzt werden.

#### Umsetzung und Bauphysik

Folgende Aspekte sind zu beachten:

- Dampfdiffusionsoffene Dämmungen und Putze sind diffusionsbremsenden/-dichten Systemen vorzuziehen.
- Um den Feuchtegehalt in den Bauteilen zu reduzieren, sollte das Bauwerk abgedichtet werden. Dies kann z.B. über Injektionsbohrungen, Drainage erfolgen.
- Die Revisionsmöglichkeit ist stark eingeschränkt. Wandaufbauten mit einem kurzen Instandhaltungszyklus, wie z.B. Fachwerkgebäude sind nicht mehr von außen zugänglich oder augenscheinlich überprüfbar.
- In Regionen mit hohen Schlagregenbeanspruchungen sollten keine WDV-Systeme mit Mineralwolle eingesetzt werden, da diese nur gering kapillar leitfähig sind. Eine vorgehängte Fassade mit einer Verschalung schützt die Dämmschicht.
- Aufgrund der Dampfdiffusionsdichtheit und der geringen Kapillarität sind Polystyrolplatten nicht empfehlenswert
- Bei WDVS mit Mineralfaserplatten ist ab 8 m Gebäudehöhe ein statischer Nachweis erforderlich.
- Werden bei Fassaden mit einer hohen Feuchtebelastung und geringen Sonneneinstrahlung WDVS Systeme eingesetzt, können sich ggf. Algen an der Fassade bilden. Dies wird durch die sich niedrig einstellenden Oberflächentemperaturen durch Abkopplung der Putzschicht von der Konstruktion begünstigt. Fällt die Temperatur der Oberfläche unter die

Temperatur der Außenluft, kann Tauwasser ausfallen. Die Feuchtigkeit bietet einen Nährboden für Algen.

- Aus organisatorischen Gründen sollte im Zuge der Umsetzung einer Außenwanddämmung immer eine Erneuerung oder ein Austausch der Fenster mitgedacht werden. Die optimale Fensterposition ist in der Dämmebene.
- Der Vorteil von Außenwanddämmsystemen ist, dass die Speichermasse im Innenraum erhalten bleibt.
- Im Innenraum entstehen keine Verluste der Wohnfläche.
- Die Maßnahme kann in der Regel auch im bewohnten Zustand umgesetzt werden.

## Innendämmung

### Energetische und historische Relevanz

Die Innendämmung als Maßnahme kann eine Alternative bieten, wenn eine Dämmung der Außenfassaden nicht möglich und im Innenraum eine einfache Wandgestaltung vorzufinden ist. Im Vergleich zu einer Außenwanddämmung sind die energetischen Einsparpotenziale\* circa 10 % geringer - trotz geringerer Dämmstärken und schlechterer Wärmeleitgruppe.

Auch früher wurden Innendämmsysteme aus natürlichen Materialien, wie z.B. Strohlehm verwendet. Der Lehm wurde mit Stroh vermischt und hatte eine gering dämmende und windabdichtende Wirkung. Diese Maßnahme ist vor allem im Bereich der Fachwerkkonstruktionen zu finden.

Innendämmsysteme gibt es als Dämmputze, verputzte Plattensysteme oder verkleidete Ständerwände. Grundsätzlich ist bei Innendämmungen zwischen zwei Systemen zu unterscheiden. Es gibt dampfdiffusionsoffene und dampfdiffusionsdichte/-bremsende Lösungen.

Bei historischen Gebäuden haben sich vor allem diffusionsoffene und kapillarraktive Systeme sowie die Verwendung natürlicher Baustoffe bewährt. Geeignete Materialien sind z.B. kapillarraktive Calciumsilikatplatten, Holzwolleplatten, Leichtlehmplatten, Leichtlehmputz, Zellulosefaserputz, Wärmedämmlehmputze und Holzleichtlehmsteine.

Dampfdiffusionsdichte Systeme sind z.B. Ständersysteme mit Mineralwolle oder Zellulosefasern in Verbindung mit dampfbremsenden Folien und Rigipsplatten. Mineralwolle und Zellulosefasern sind durch ihre Struktur zwar sehr diffusionsoffen aber nicht ausreichend kapillar leitfähig. Darum ist hier immer eine Dampfbremse erforderlich. Durch kleinste Ausführungsfehler können erhebliche Bauschäden durch Tauwasserausfall in der Konstruktion und ein eingeschränktes Abtrocknungspotenzial entstehen.

Durch das Aufbringen einer 7 cm starken Calciumsilikatplatte mit WLG 060 kann der U-Wert der Konstruktionsklasse A von

1,4 W/(m<sup>2</sup>K) auf 0,53 W/(m<sup>2</sup>K) gesenkt werden. Das entspricht einer Reduzierung der Wärmeverluste der Wand von 62 % pro Quadratmeter Bauteilfläche und Jahr. Bilanzell über das Jahr betrachtet, liegt das Einsparpotenzial des Heizwärmebedarfs  $Q_h$ , bezogen auf die Wohnfläche, zwischen 29 % (A1) und ca. 14 % (A3). Dies entspricht einer Heizwärmebedarfs-einsparung von ca. 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) (A1) bis zu 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei Gebäuden mit hohem Anbaugrad (A3).

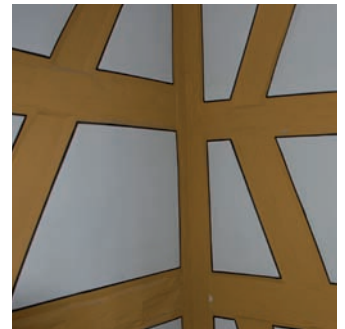
Demgegenüber ist das Einsparpotenzial bei Gebäuden mit einem höheren U-Wert (Konstruktionsklasse B) größer. Durch die gleiche Maßnahme kann der U-Wert von 2,4 W/(m<sup>2</sup>K) auf 0,63 W/(m<sup>2</sup>K) gesenkt werden. Das entspricht einer Reduzierung der Wärmeverluste der Wand von 74 % pro Quadratmeter Bauteilfläche und Jahr. Bilanzell wird durch diese Maßnahme bei Konstruktionsklasse B, je nach Anbaugrad, eine Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von 43 % (B1) bis zu ca. 23 % (B3) erreicht. Dies entspricht bei berechnetem Referenzgebäude einer Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca. 99 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B1) bis zu 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B3).

### Gesetzliche Anforderungen

Durch eine Innendämmung historischer Wandaufbauten können die standardisierten U-Wert-Mindestanforderungen der EnEV oftmals nicht erfüllt werden. Darum sieht die EnEV 2009 hier einige Ausnahmeregelung vor.

Wird eine Innendämmung eingebaut, sind die Mindestanforderungen erfüllt, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient des entstehenden Wandaufbaus 0,35 W/(m<sup>2</sup>·K) nicht überschreitet (vgl. [EnEV, 2009, Anlage 3, Nr. 1])

Handelt es sich um Sichtfachwerkwände die der niedrigsten Schlagregenbeanspruchungsgruppe I nach DIN 4108 - 3:2001 - 06 zuzuordnen sind gibt es hierzu einen erweiterten Spielraum. Werden Wände ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert, dass Dämmschichten eingebaut werden, gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient des entstehenden Wandaufbaus 0,84 W/(m<sup>2</sup>·K) nicht überschreitet.



Quellen & Hintergrundinformationen:

[WTA] Geburtig, G., WTA Merkblätter, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA), Weimar

[DFZQ, 2009] (Hrsg.) Deutsches Fachwerkzentrum Quedlinburg, "Hilfe, ich habe ein Fachwerkhaus". Ein Leit-faden für Bauherren und am Fachwerk Interessierte, Quedlinburg, 2009

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten exemplarischen Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.



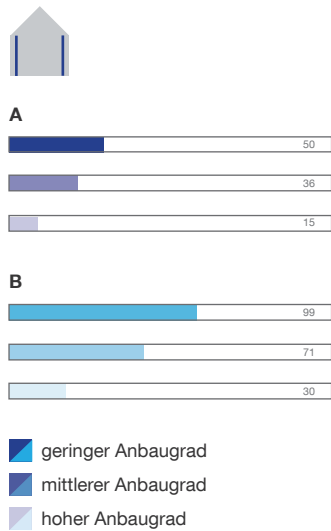


Abb. 45: Einsparpotenzial in kWh/(m²a) einer Innenwanddämmung mit 7 cm und WLG 060 für Konstruktionsklasse A und B

"Werden in übrigen Fällen Bekleidungen in Form von Platten oder plattenartigen Bauteilen oder Verschalungen sowie Mauerwerks - Vorsatzschalen angebracht „und ist die Dämmschichtdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit = 0,040 W/(m·K) eingebaut wird.“ [EnEV, 2009, Anl. 3, Nr. 1]

**Umsetzung und Bauphysik**

Eine Innenwanddämmung erfordert eine sehr präzise bauphysikalische Planung und technische Ausführung. Folgende Aspekte sind zu beachten:

- Für die Wahl des Baustoffs und die Dimensionierung der Dämmstärke sollte immer eine feuchte- und wärmetechnische Simulation durchgeführt werden. Durch das Anbringen einer Innendämmung verändert sich der Temperaturverlauf der Wand. Das Bauteil wird thermisch stärker beansprucht, da die bestehende Außenwand außerhalb der thermischen Hülle liegt und die Bauteiltemperatur dadurch absinkt. Eine Simulation nach Glaser ist in der Regel nicht ausreichend. Nach [WTA-Merkblatt 5-8] ist bei einer Begrenzung des Wärmedurchlasswiderstands R der Innendämmung auf 0,8 (m²K)/W kein Nachweis erforderlich, wenn innen keine dampfbremsenden und trocknungsblockierenden Schichten angeordnet sind.
- In Gebieten mit einer hohen Schlagregenbeanspruchung muss der Einsatz von Innendämmsystemen kritisch geprüft werden.
- Historische Wandaufbauten weisen meist einen höheren Feuchtegehalt auf. Dieser reguliert sich, da die Feuchtigkeit durch dampfdiffusionsoffene Materialien, wie z.B. Lehm oder Kalkputze nach innen und außen austrocknen kann. Um Bauschäden zu vermeiden, empfehlen sich in der Praxis dampfdiffusionsoffene Systeme. Dies sind z.B. Calciumsilikatplatten oder Lehmsteine. Kapillaraktive Systeme können Feuchtespitzen in der Raumluft puffern. Wichtig ist immer die

Verbindung beider Eigenschaften, die Systeme sollten diffusionsoffen und kapillaraktiv sein. So werden in der Praxis häufig Holzwolle-Leichtbauplatten (HWL) als Innendämmsystem eingesetzt. Ein Nachteil ist jedoch die hohe Dampfdiffusionsfähigkeit in Verbindung mit einer geringen kapillaren Leitfähigkeit.

- Voraussetzung sind trockene Wände, ggf. muss über Abdichtungsmaßnahmen die aufsteigende Feuchte reduziert werden.
- Der Untergrund muss haftfähig, d.h. sauber und trocken sein. Nicht tragfähiger Altputz, Sperrschichten und dichte Anstriche müssen entfernt werden.
- Es ist darauf zu achten, dass in der Konstruktion keine Hohlräume entstehen, da sonst das Bauschadenspotenzial durch konvektive Tauwasserbildung im Bauteilinneren erhöht ist. In Altbauten sind in Wänden, Decken- und Fußbodenanschlüssen meist Unebenheiten vorzufinden. Fachwerkwände haben oftmals einen Versatz zwischen Gefach und Holzbalken. Ein ebener Untergrund für saubere Anschlüsse muss hergestellt werden. Beim Einsatz von diffusionsoffenen und kapillaraktiven Systemen empfiehlt es sich Hohlräume mit kapillaraktiven Materialien zu verfüllen und kapillaraktive Ausgleichsputze zu verwenden. Es sollten keine Bitumenpappen oder Ölpapiere als Trennlagen verwendet werden. Im Bereich des Holzes können diffusionsoffene Vliese und Pappen verwendet werden.
- Aufgrund der Diffusionsdichtheit und der geringen Kapillarität sollten keine Polystyrolplatten eingesetzt werden.
- Auf eine ausreichende Austrocknungszeit, bevor weitere Schichten eingebracht werden, ist zu achten.
- Werden diffusionsoffene Innendämmungen verbaut, ist darauf zu achten, dass auch an der Außenwand diffusionsoffene Putze und Farben verwendet werden.
- Wasser- und Heizungsleitungen sollten wegen Frostgefahr nicht in der Außenwand liegen.

Tendenz	Wärmeschutz	Diffusionsfähigkeit	Kapillarität
<b>Putzsysteme</b>			
Wärmedämmputz	■	■	■
Leichtlehm	■	■	■
Wärmedämmlehm	■	■	■
Zellulosefaserputz	■	■	DB
<b>Plattensysteme</b>			
HWL-Platten	■	■	■
Calciumsilikat	■	■	■
Leichtlehmplatte	■	■	■
<b>Vorsatzschalen</b>			
Ständerwerk	■	DB	■
Holzlehmsteine	■	■	■

Abb. 46: Eigenschaften von Innendämmsystemen - Wärmeschutz, Dampfdiffusionsfähigkeit und Kapillarität (nach [WTA Merkblatt E8-5-06/D])

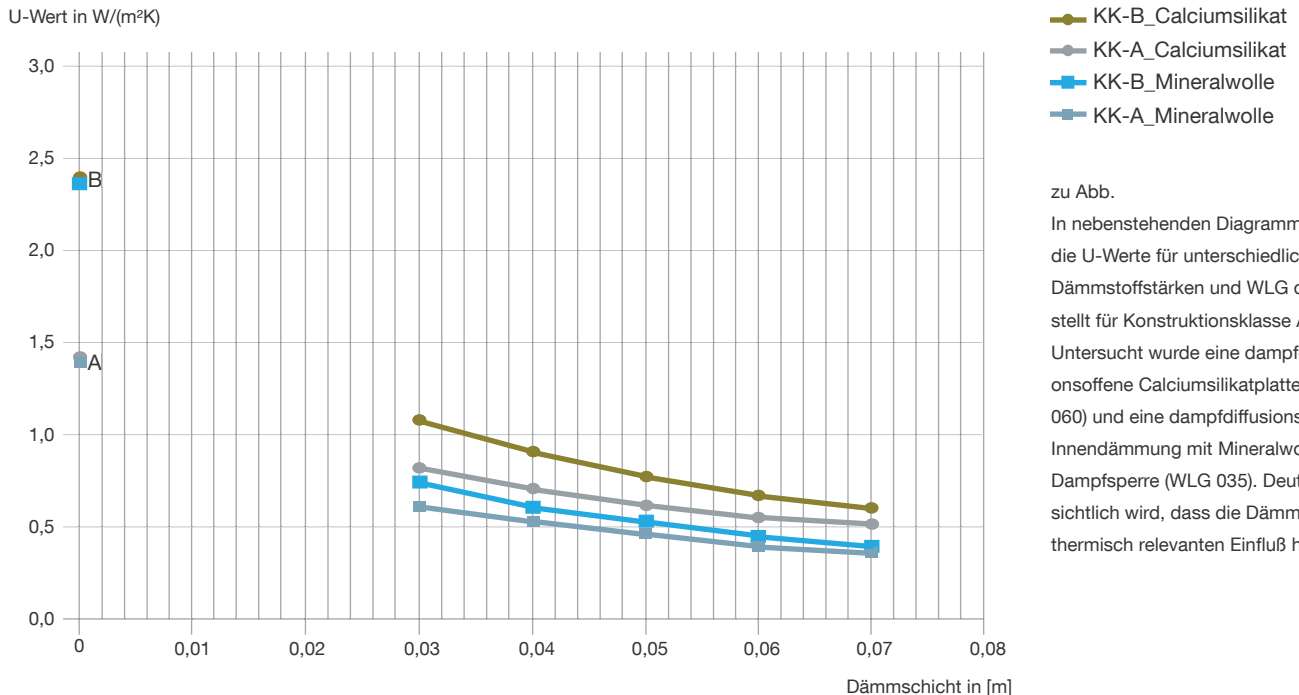


Abb. 47: U-Werte unterschiedlicher Dämmstoffstärken und WLK, für Konstruktionsklasse A und B

zu Abb.

In nebenstehenden Diagramm sind die U-Werte für unterschiedliche Dämmstoffstärken und WLK dargestellt für Konstruktionsklasse A und B. Untersucht wurde eine dampfdiffusionsoffene Calciumsilikatplatte (WLK 060) und eine dampfdiffusionsdichte Innendämmung mit Mineralwolle und Dampfsperre (WLK 035). Deutlich ersichtlich wird, dass die Dämmung den thermisch relevanten Einfluß hat.

- Dampfdiffusionsoffene Innendämmsysteme sollten nicht angewendet werden, wenn die bestehende Wandkonstruktion sehr dampfdiffusionsdicht ist, wie z.B. bei sehr schweren Natursteinen, wasserdichtem Beton und glasierten bzw. gesinterten Klinkern. In diesen Fällen kann es zu einem Feuchtestau im Bauteilinneren kommen. Hier bieten sich eher dampfdiffusionsdichte/-bremsende Systeme mit einer Dampfbremse an. Auf eine sehr sorgfältige Ausführung ist zu achten.
- Für Systeme mit Vorsatzschalen mit integrierter Mineral- oder Zellulosedämmung ist eine Dampfbremse erforderlich. Hierbei sollten sehr feste Platten verwendet werden um zu vermeiden, dass die Dämmung zusammenrutscht und Hohlräume entstehen. Nach [WTA] ist eine wasserdampfäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$  im Bereich von 0,5 - 2 m notwendig. Dampfbremsen gibt es mittlerweile auch feuchteadaptiv auf dem Markt. Das bedeutet, dass die Diffusionsfähigkeit je nach Dampfdruck variabel ist.
- Mechanische Beschädigungen bei dampfdiffusionsbremsenden bzw. dichten Systemen, der Einbau von Steckdosen, Befestigen von Regalen, Bildern etc. bergen ein hohes Schadensrisiko. Wenn solche Systeme eingesetzt werden, sollte eine Installationswand vorgeplant werden, um das Schadenspotenzial durch Durchdringungen zu reduzieren.
- Bei den meisten Innendämmsystemen muss ein ebener Untergrund durch eine Putzausgleichsschicht hergestellt werden. Plattensysteme werden in der Regel in der Konstruktion rückverankert. Dadurch ist die Reversibilität eingeschränkt. Auch die Möglichkeit der Instandsetzung von innen ist nicht mehr möglich.
- Die Vorteile von Innendämmsystemen liegen darin, dass Kosten für Gerüste entfallen, die Umsetzbarkeit zu allen Jahreszeiten erfolgen kann, eine raumweise Umsetzung möglich ist und keine baurechtlichen Probleme durch Grenzüberschreitung und Abstandsflächen entstehen.



## Wärmedämmputz

Energetische und historische Relevanz  
Diese Maßnahme kann aus Sicht der historischen Verträglichkeit bei bereits verputzten Gebäuden mit einfachen Oberflächen, oder einzelnen Wandflächen zu Hof- und Abseitenwänden einen Lösungsansatz bieten. Früher wurden Fachwerke aus Gründen des Brand- und Feuchteschutzes oftmals verkleidet oder verputzt. Dies betrifft insbesondere Fachwerkgebäude die im Zeitalter des Barocks entstanden sind. Interessant ist diese Maßnahme, wenn der verputzte Ursprungszustand wieder hergestellt werden kann.

Ziel sollte es sein, dass Fassadenverzierungen und Ornamente in ihrer Gestalt und Proportion erhalten bleiben. Dies erfordert zum einen eine angemessene Putzstärke und zum anderen einen inhomogenen Putzauftrag. Durch das Verputzen mit modernen Techniken entsteht meist ein sehr homogener glatter Fassadeneindruck. Durch eine Putztechnik ohne Schiene kann ein inhomogenes Fassadenbild erzeugt werden.

Eine weitere Möglichkeit ist die innen-seitige Anbringung eines Wärmedämmputzes. Auch früher wurde mit einer dickeren Lehmschicht die thermische Eigenschaft der Konstruktion verbessert. Hier ist jedoch der mögliche Einsatz einer Innendämmung zu prüfen, da höhere Energieeinsparungen erzielt werden können.

Eine Besonderheit bei Fachwerkgebäuden stellen Kissenputze dar. Diese wurden auch bei Zierfachwerken umgesetzt. Dies ist eine Technik, die häufig in späteren 60er und 70er Jahren nachgerüstet worden ist. Originale verputzte Verfachungen wurden in der Regel holzbündig ausgeführt, um den Eintrag von Regenwasser in die Konstruktion zu vermeiden.

Es zeigt sich, dass diese Maßnahme besonders dann energetisch relevant ist, wenn die bestehende Konstruktion sehr schlechte U-Werte aufweist. Dies sind beispielsweise konstruktive Fachwerke mit massiver Ausfachung, wie z.B.

Bruchstein oder Lehmziegel oder massive Wände mit Steinen hoher Rohdichte.

## Einsparpotenzial\*

Als Beispiel:

Durch das Auftragen einer Putzschicht von 5 cm mit einer WLG 090 kann der U-Wert von 2,4 W/(m<sup>2</sup>K) (Konstruktionsklasse B) auf 1,03 W/(m<sup>2</sup>K) gesenkt werden. Das entspricht einer Reduzierung der Wärmeverluste der Wand von 57 % pro Quadratmeter Bauteilfläche und Jahr. Bilanziell betrachtet wird durch diese Maßnahme, bei Konstruktionsklasse B eine Einsparung des Heizwärmebedarfs pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr von 33 % (B1) bis zu ca. 18 % (B3) erreicht. Dies entspricht im berechneten Fallbeispiel einer Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von etwa 75 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B1) bis zu 23 kWh/(m<sup>2</sup>a) (B3).

Demgegenüber ist das Einsparpotenzial bei Gebäuden mit einem „guten“ Ausgangs-U-Wert geringer. So wird durch die gleiche Maßnahme der U-Wert (Konstruktionsklasse A) von 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) auf 0,79 W/(m<sup>2</sup>K) gesenkt. Das entspricht einer Reduzierung der Wärmeverluste der Wand von 44 % pro Quadratmeter Bauteilfläche und Jahr. Bilanziell über das Jahr betrachtet liegt das Einsparpotenzial des Heizwärmebedarfs, bezogen auf die Wohnfläche, hier zwischen 20 % (A1) und etwa 9 % (A3). Dies entspricht einer Einsparung des Heizwärmebedarfs  $Q_h$  von ca. 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) (A1) bis zu 10 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei Gebäuden mit hohem Anbaugrad (A3).

Diese Maßnahme kann auch nur partiell an Hof- oder Abseitenwänden umgesetzt werden.

## Gesetzliche Anforderungen

Die EnEV 2009 schreibt vor, dass bei einer Veränderung der jeweiligen Wandfläche von über 10 % die Mindestanforderungen nach Anlage 3, Tabelle 1 für U-Werte eingehalten werden müssen.

Nach EnEV 2009, Anlage 3 wird vorgeschrieben, dass bestehende Wände, die neu verputzt werden sollen, mit einem

Quellen & Hintergrundinformationen:

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten exemplarischen Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

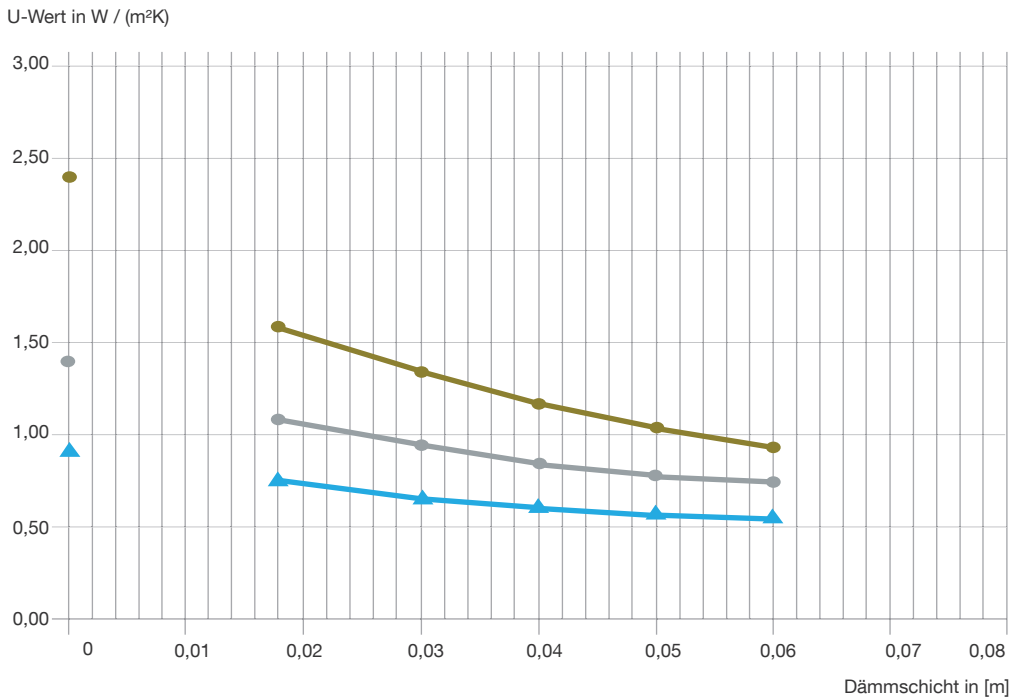


Abb. 48: U-Werte unterschiedlicher Putzstärken für Konstruktionsklasse A und B

—●— U = 0,9 W/(m²K)  
 —●— U = 1,4 W/(m²K) (KK-A)  
 —●— U = 2,4 W/(m²K) (KK-B)

zu Abb.  
 In nebenstehenden Diagramm sind die U-Werte unterschiedlicher Wärmedämmputzstärken für Konstruktionsklasse A und B und für einen U-Wert der Bestandskonstruktion von 0,9 W/(m²K) dargestellt. Untersucht wurde ein Wärmedämmputz mit WLG 090. Deutlich ersichtlich wird, dass das Aufbringen eines Wärmedämmputzes bei U-Werten der Bestandskonstruktion kleiner 1,0 W/(m²K) einen geringen thermisch relevanten Einfluss hat. Je schlechter der U-Wert der Bestandskonstruktion, desto energierelevanter wird die Umsetzung dieser Maßnahme.

$U_{Wand}$ -Wert größer als 0,9 W/(m²K), den bauteilbezogenen Anforderungen entsprechen müssen. Für Außenwände liegt der Mindest-U-Wert bei 0,24 W/(m²K).

Handelt es sich um Sichtfachwerkwände, die der niedrigsten Schlagregenbeanspruchungsgruppe I nach DIN 4108 - 3:2001 - 06 zuzuordnen sind, gibt es hierzu einen erweiterten Spielraum. Werden Wände mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten größer 0,9 W/(m²·K) neu verputzt, gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient des entstehenden Wandaufbaus 0,84 W/(m²·K) nicht überschreitet.

In allen übrigen Fällen sind die Anforderungen nach Anlage 3, Nr. 1 der EnEV 2009 einzuhalten. Jedoch werden durch das Auftragen eines Wärmedämmputzes die bauteilflächenbezogenen Mindestanforderungen an den U-Wert der EnEV in der Regel nicht erreicht. Das bedeutet, dass eine weitere Dämmmaßnahme, wie z.B. Innendämmung erforderlich wäre. Von dieser Anforderung kann jedoch nach EnEV 2009 § 24 (1) abgewichen werden, wenn die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigt wird oder durch die Maßnahme ein unverhältnismäßig hoher Aufwand entsteht.

### Umsetzung und Bauphysik

Grundsätzlich sollten nur diffusionsoffene Putze und Anstriche zum Einsatz kommen, um Feuchteschäden in der Konstruktion zu vermeiden. Am besten haben sich kalkgebundene Putze bewährt. Auf hydrophobierte Putze sollte verzichtet werden. Bei der Anwendung eines Wärmedämmputzes bei Fachwerkgebäuden sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Putzschicht sollte an der Innenseite des Fachwerkholzes anschließen, um direkte Stoßfugen für einen Wassereintrag zu vermeiden. Regenwasser muss so abfließen können, dass es nicht in die Konstruktion geleitet wird.
- Bei massiven Steinausfachungen muss mit einem Winkelschleifer eine Putzanschlusskante geschaffen werden. Hierdurch wird die Ausfachung stark verändert.
- Bei einer hohen Schlagregenbeanspruchung ist dieses System nicht zu empfehlen. Besser ist hier eine Verschalung des Fachwerks, um die Konstruktion vor Feuchtigkeit zu schützen.
- Zur Sicherung des neuen Putzes muss der Untergrund mit mechanischen Hafthilfen oder Grundierungsanstrichen vorbereitet werden.

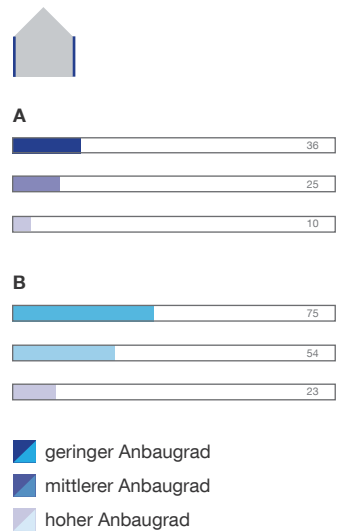


Abb. 49: Einsparpotenzial Wärmedämmputz in kWh/(m²a) (5cm WLG 090)



Quellen & Hintergrundinformationen:

[DZHD a] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Fachwerkausfachungen

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

[WTA 8-3-99/D] Geburtig, G. WTA Merkblätter. Ausfachung von Sichtfachwerk, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA), Weimar

[DFZQ, 2009] (Hrsg.) Deutsches Fachwerkzentrum Quedlinburg, "Hilfe, ich habe ein Fachwerkhaus". Ein Leitfaden für Bauherren und am Fachwerk Interessierte, Quedlinburg, 2009

\* Typische historische Fachwerkwände mit neuen Gefachen nach [DZHD a]:

U-Wert<sub>Gefach</sub> 1,0 W/(m<sup>2</sup>K)  
→ 12,5mm Gipsplatte  
λ=0,21 W/(mK), 120mm Zellulose-dämmstoff λ=0,045 W/(mK), 140mm Strohlehmstaken λ=0,5 W/(mK), 20mm Kalkputz λ=0,80 W/(mK) Bei einem Gefachanteil von 60 % und 40 % Holz entspricht das einem U-Wert<sub>gesamt</sub> von 0,3 W/m<sup>2</sup>K.

U-Wert<sub>Gefach</sub> 0,8 W/(m<sup>2</sup>K)  
→ 30mm Kalkputz λ=0,87 W/(mK), 200mm Leichtmörtel λ=0,2 W/(mK). Bei einem Gefachanteil von 60 % und 40 % Holz entspricht das einem U-Wert<sub>gesamt</sub> von 0,8 W/m<sup>2</sup>K.

U-Wert<sub>Gefach</sub> 1,0 W/(m<sup>2</sup>K)  
→ 45mm Kalkputz λ=0,87 W/(mK), 250mm Strohlehmstaken λ=0,35 W/(mK). Bei einem Gefachanteil von 60 % und 40 % Holz entspricht das einem U-Wert<sub>gesamt</sub> von 0,9 W/m<sup>2</sup>K.

## Fachwerkausfachungen

Energetische und historische Relevanz  
Eine Neuausfachung ist mit einem sehr hohen baulichen Aufwand verbunden, da das Fachwerk vollständig entkernt wird. Bei dieser Maßnahme muss der Aufwand im Verhältnis zur energetischen Einsparung geprüft werden.

Grundsätzlich lassen sich zwei unterschiedliche Ausfachungskonzepte unterscheiden. Dies ist zum einen die Verfachung mit massiven Steinen. Nach [WTA Merkblatt 8-3-99/D] ist jedoch in den meisten Fällen eine zusätzliche Wärmedämmung erforderlich.

Eine andere Möglichkeit ist die Ausfachung mit weichen Verfüllmaterialien, wie z.B. Leichtmörtel-, oder Strohlehmstaken. Durch eine in Kombination mit einer Innendämmschicht aus dem gleichen Material, lassen sich die U-Werte weiter verbessern. Durch eine Neuausfachung mit Strohlehmstaken oder Leichtmörtel können U-Werte<sub>gesamt</sub> \* bis zu 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) erreicht werden [DZHD a]. Dies entspricht somit den Mindestanforderungen der EnEV 2009. Durch eine zusätzliche Innendämmschicht aus beispielsweise Zellulosedämmstoff kann der U-Wert<sub>gesamt</sub> \* auf 0,3 W/(m<sup>2</sup>K) gesenkt werden [DZHD a].

Im folgenden werden typische historische Fachwerkwände und deren U-Werte aufgeführt:

- Vollziegelmauerwerk  
U-Wert<sub>Gefach</sub> 2,3 W/(m<sup>2</sup>K) → 20mm Kalkputz λ=0,87 W/(mK), 45mm Strohlehmstaken λ=0,65 W/(mK), 115mm Vollziegelmauerwerk λ=0,68 W/(mK). Bei einem Gefachanteil von 60% und 40% Holz entspricht das einem U-Wert<sub>gesamt</sub> von 1,8 W/m<sup>2</sup>K. [nach DZHD a]

- Bruchstein  
U-Wert<sub>Gefach</sub> 3,4 W/(m<sup>2</sup>K) → 45mm Kalkputz λ=0,87 W/(mK), 150mm Bruchstein λ=2,0 W/(mK). Bei einem Gefachanteil von 60% und 40% Holz entspricht das einem U-Wert<sub>gesamt</sub> von 2,4 W/m<sup>2</sup>K. [nach DZHD a]

- Lehmstaken

U-Wert<sub>Gefach</sub> 2,0 W/(m<sup>2</sup>K) → 45mm Kalkputz λ=0,87 W/(mK), 140mm Strohlehmstaken λ=0,5 W/(mK). Bei einem Gefachanteil von 60% und 40% Holz entspricht das einem U-Wert<sub>gesamt</sub> von 1,55 W/m<sup>2</sup>K. [nach DZHD a]

## Gesetzliche Anforderungen

Die EnEV 2009 schreibt vor, dass bei einer Veränderung der jeweiligen Wandfläche von über 10 % die Mindestanforderungen nach Anlage 3, Tabelle 1 für U-Werte eingehalten werden müssen. Für Außenwände liegt der Mindest-U-Wert bei 0,24 W/(m<sup>2</sup>K).

Werden behutsame energetische Sanierungsmaßnahmen umgesetzt, können dennoch oft die Mindestanforderungen der EnEV an die U-Werte nicht erfüllt werden. Dies ist auf die Verwendung geeigneter Baustoffe und oftmals eingeschränkte Dämmstoffstärken zurückzuführen. Darum sieht die EnEV hier einige Ausnahmeregelungen vor.

Handelt es sich um Sichtfachwerkwände, die der niedrigsten Schlagregenbeanspruchungsgruppe I nach DIN 4108 - 3:2001 - 06 zuzuordnen sind, gibt es hierzu einen erweiterten Spielraum. "Werden Wände ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert, dass Dämmschichten eingebaut werden (...) gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient des entstehenden Wandaufbaus 0,84 W/(m<sup>2</sup>K) nicht überschreitet." [EnEV, 2009, Anlage 3, Nr.1]

## Umsetzung und Bauphysik

Natürliche Baustoffe, wie z.B. Lehm in Verbindung mit Holz, die in der Vergangenheit eingesetzt wurden, bieten oftmals nicht nur historisch-verträgliche, sondern auch bauphysikalisch gute Lösungen. Der Vorteil von natürlichen Baumaterialien, wie z.B. Lehm ist auch die hohe Umweltverträglichkeit, da die Stoffe voll recyclebar sind.

Folgende Aspekte sollten bei einer Neuausfachung berücksichtigt werden:

- Grundsätzlich sollte mindestens eine Seite des Fachwerks aus Gründen des Feuchteschutzes und der Luftdichtigkeit verputzt werden.
- Die Fuge zwischen Gefach und Holz darf nicht mit dampfdiffusionsdichten Materialien geschlossen werden (nach [WTA 8-3-99/D]).

Die Trocknung des Bauteils sollte nach innen und außen möglich sein. Darum ist es empfehlenswert, kapillarwirksame Baustoffe für die Gefache einzusetzen. In Regionen mit hoher Schlagregenbeanspruchung der Klassen II und III nach DIN 4108-3 ist ein zusätzlicher, konstruktiver Regenschutz erforderlich, um die Feuchtaufnahme von außen zu begrenzen. Fachwerke in diesen Regionen sollten außen verputzt oder verkleidet werden (nach [WTA 8-3-99/D]).

Die neue Konstruktion sollte feuchte- und wärmetechnisch nachgewiesen werden sowie eine hygro-thermische Simulation durchgeführt werden. Eine Berechnung nach [Glaser] ist nicht ausreichend, da die Kapillarität der Baustoffe nicht korrekt abgebildet werden kann.

Werden weiche Ausfachungsmaterialien verwendet sind folgende Aspekte zu beachten:

- Grundsätzlich bieten die historischen Konstruktionen einen sehr guten Feuchtausgleich. Gefache aus Strohlehm weisen ein ähnlich günstiges Zusammenwirken mit dem Gefach auf wie die traditionelle Strohlehmausfachung [DZHD a].
- Ein Vorteil ist der dadurch entstehende monolithische Wandaufbau indem Hohlräume vermieden werden. Durch Hohlräume in der Konstruktion erhöht sich das Bauschadenspotenzial, da durch Konvektion Tauwasser ausfallen kann.
- Leichtlehm und Leichtmörtel können in der Regel auch zusätzlich als Innen-

dämmschicht von 4-6 cm aufgetragen werden. Dies hat den Vorteil einer weiteren thermischen Verbesserung und der Erhöhung der Luftdichtheit.

- Bevor weitere Schichten wie Putz oder Innendämmsysteme aufgebracht werden, muss das neue Gefach ausreichend abtrocknen.

Werden Steine für die Ausfachung verwendet, ist folgendes zu beachten:

- Bei gering dämmenden Steinen, wie z.B. Vollziegel Sichtmauerwerk, Kalksandstein, Lehmsteine, regionaler Naturstein mit hoher Rohdichte, wie z.B. Granit oder Sandstein ist eine zusätzliche Dämmung erforderlich [WTA 8-3-99/D].
- Wärmedämmende Steine sind z.B. Porenbeton, Leichtbeton, regionaler Naturstein mit geringer Rohdichte, wie z.B. Tuffstein oder Kalktuffe. Eine zusätzliche Dämmung kann erforderlich sein.
- Es sollten keine Steine mit Hohlraumstrukturen, wie z.B. Hochlochziegel eingesetzt werden, da sich durch die unterbrochene Sorptionsfähigkeit die Feuchtigkeit sammeln kann.
- Es ist eine Leiste zwischen Gefach und Fachwerk einzubringen, um Spannungsschäden zu vermeiden. Die Fugen zwischen Holz und Stein sind vollfugig auszumörteln. Die Steine sind um die Breite des Putzes zum Gefach zurückzusetzen damit eine bündige Putzkante entsteht. Ein Gefachputz ist in der Regel immer erforderlich. Durch einen vollflächigen Innenputz ist die Luftdichtheit herzustellen (nach [WTA 8-3-99/D]).

	1 Historischer Baustoff	2 Wärmeschutz	3 Feuchteschutz
<b>Tendenz</b>			

**gering dämmende Ausmauerung**

Z Ziegel Sicht.MW			
Z Ziegel verputzt			
KS Kalksandstein			
NS (Sediment) Sandstein			
NS (Kristalin) Granit			
L Lehmziegel			

**dämmende Ausmauerung**

Z Hochlochziegel			
PB Porenbeton			
LB Blähschiefer, Bims			
NS z.B. Tuffstein			

**weiche dämmende Ausfachungen**

Lehmstaken			
Lehm mit Lessstein			
Verfüllmörtel			

- geeignet
- bedingt geeignet
- weniger geeignet

Spalte 1:  
Geeignet als historisches Baumaterial

Spalte 2:  
Ausreichender Wärmeschutz weitestgehend eingehalten

Spalte 3:  
Geeignete Kapillarität und Wasserabgabe für schnelle Abtrocknung

Abb. 50: Eignung von Materialien für die Verfachung - Historisches Baumaterial, Wärmeschutz, Dampfdiffusionsfähigkeit und Kapillarität (nach [WTA Merkblatt 8-3-99/D])



## Fenster

Energetische und historische Relevanz Fenster prägen wesentlich das Erscheinungsbild einer Fassade. Es gibt eine große Bandbreite an Möglichkeiten, historische Fenster energetisch zu optimieren. Eine vollständige Entfernung der historischen Fenster ist mit einem hohen Verlust historischer Bausubstanz verbunden. Dadurch ist diese Maßnahme auch nicht mehr reversibel. Bei denkmalgeschützten Gebäuden muss mit dem Denkmalschutzamt geklärt werden, inwieweit die Konstruktion selbst erhaltenswert ist und welche Maßnahmen für die energetische Sanierung möglich sind.

In Iphofen wird das Erscheinungsbild von neuen oder aufbereiteten Fenstern über die Gestaltungssatzung geregelt.

Die Sanierung der Fenster historischer Gebäude erfordert hinsichtlich der Vermeidung von Bauschäden einen angemessenen Umgang. Die Vermeidung von Bauschäden ist vor einer möglichst hohen Energieeinsparung zu priorisieren. Zudem wurde im Laufe der Jahre ein Großteil der Fenster erneuert. In Iphofen sind beispielsweise nur noch bei ca. 5 % der Gebäude historische Fenster vorzufinden. Diese Situation lässt sich auch in anderen Gemeinden feststellen.

Bedingt durch die Konstruktion der Gebäude und die Entstehungszeit weisen viele der historischen Gebäude einen geringen Fensterflächenanteil auf. Dadurch ergibt sich durch die Erneuerung der Fenster, ohne gleichzeitige Optimierung der opaken Wände, ein verhältnismäßig geringes energetisches Einsparpotenzial. Die Aufbereitung und Erneuerung geht jedoch auch mit einer Verbesserung der Behaglichkeit einher. Grundsätzlich ist die Erneuerung der Fenster eine Maßnahme, die nie isoliert entschieden werden sollte. Das bauphysikalische Zusammenspiel der opaken Wand und der Fenster muss immer berücksichtigt werden.

Die U-Werte typischer historischer Fenster liegen in einem Bereich von 5,0 - 5,6 W/(m<sup>2</sup>K) [HMUEL, 2012] [IWU, 2003] für Holzrahmen mit Einfachverglasungen bis hin zu Kastenfenstern mit

ca. 2,5 - 2,8 W/(m<sup>2</sup>K). Wurden die Fenster vor Mitte der 90er Jahre ausgetauscht, weisen Holz- oder Kunststofffenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung (2-SVG) einen U-Wert in einem Bereich von ca. 2,5 W/(m<sup>2</sup>K) bis 3,5 W/(m<sup>2</sup>K) [Born et al. 2011] auf. Wurden Alufenster ohne thermische Trennung mit Isolierverglasung verbaut, liegt der U-Wert höher, bis zu 4,3 W/(m<sup>2</sup>K) [HMUEL, 2006].

Das bedeutet, dass die Fenster, die in den 70er bis Mitte der 90er Jahren ausgetauscht wurden, oftmals schlechtere U-Werte aufweisen, als z.B. historische Kastenfenster. Darum liegt der Fokus, um die thermische Behaglichkeit zu verbessern und Energie einzusparen, auch auf der Sanierung der neueren nicht-historischen Fenster.

Ab Mitte der 90er Jahre wurden die Fenstergläser mit einer Metallbeschichtung bedampft, um die thermische Qualität zu verbessern. Dies sind die Wärmeschutzverglasungen wie sie heute verwendet werden. Bei heute üblichen Fenstern ist der U<sub>f</sub>-Wert des Rahmens in der Regel schlechter als der U<sub>g</sub>-Wert der Verglasung. Das bedeutet, je höher der Rahmenanteil, desto höher ist auch der U<sub>w</sub>-Wert des gesamten Fensters.

Eine typische 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem hohen Sprossenanteil liegt je nach Gasfüllung und Randverbund in einem U<sub>w</sub>-Wertbereich von ca. 1,6 W/(m<sup>2</sup>K) bis 1,3 W/(m<sup>2</sup>K) (nach [HMUEL, 2012]). Fenster mit 3-Scheibenverglasungen liegen in einem Bereich bis zu 0,8 W/(m<sup>2</sup>K). Für Vakuumverglasungen liegen die U<sub>w</sub>-Werte noch niedriger, in einem Bereich von 0,5 W/(m<sup>2</sup>K) bis zu 0,3 W/(m<sup>2</sup>K).

Diese Gegenüberstellung der U-Werte zeigt die Prioritäten auf. Sind historische Kastenfenster vorhanden, bieten diese durch eine angemessene Aufbereitung und thermische Verbesserung das Potenzial, diese zu erhalten. Dies muss jedoch immer im Zusammenhang mit der thermischen Qualität der Außenwand und dem Zielwert des Energiestandards in Zusammenhang stehen. Aus Gründen der Energieeffizienz ist auch der Austausch der Fenster aus den 70er bis Mitte der 90er Jahre zu diskutieren.

Eine geeignetes Sanierungskonzept ist

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

immer in Zusammenhang mit der Nutzung des Gebäudes abzuwägen. So können die Prioritäten der energetischen und historischen Verträglichkeit bei temporär geheizten oder gleichmäßig geheizten Gebäuden unterschiedlich sein. Bei gleichmäßig beheizten Gebäuden, wie z.B. Wohngebäuden werden Einscheibenverglasungen den heutigen Anforderungen an die Behaglichkeit und Energieeffizienz nicht mehr gerecht.

Sind die historischen Fenster noch vorhanden und sollen diese erhalten bleiben, gibt es einige Alternativen, die mit dem Denkmalschutzamt und Bauphysikexperten diskutiert werden können.

Ein wichtiger Punkt, ist die regelmäßige Instandsetzung und Wartung der historischen Fenster. Dabei sollten Dichtungen eingebaut und überprüft, als auch die Fensterflügel regelmäßig eingestellt werden, um etwaige Undichtigkeiten zu reduzieren.

Eine weitere Möglichkeit ist der Austausch der Gläser oder die Beschichtung bestehender Gläser. Die Rahmen können durch eine innen- oder außenseitige Aufdoppelung thermisch verbessert werden. Auch das Anbringen eines neuen Fensters oder Glases auf der Innenseite nach dem Prinzip eines Kastenfensters kann die thermische Qualität verbessern.

In vorliegender Untersuchung wurde exemplarisch das energetische Einsparpotenzial durch einen Fensteraustausch untersucht. Für das Referenzgebäude\* ist angenommen, dass die Fenster in früheren Jahren bereits erneuert worden sind. Festgelegt wurde beim untersuchten historischen Referenzgebäude ein Fensterflächenanteil von ca. 17 % der Wohnfläche [Loga, Diefenbach, 2005] und ein  $U_w$ -Wert von 2,6 W/(m<sup>2</sup>K) (das entspricht Isolierverglasungen zwischen 1975 bis 1994 oder historischen Doppelkastenfenstern). Durch die Optimierung der Fenster auf den geforderten Mindest  $U_w$ -Wert (nach [EnEV, 2009]) von 1,3 W/(m<sup>2</sup>K) kann bilanziell dadurch der Heizwärmebedarf pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr um ca. 8-10 kWh/(m<sup>2</sup>a) gesenkt werden. Dies entspricht einer nur relativ geringen

Einsparung im Verhältnis von Aufwand und Kosten.

Das energetische Einsparpotenzial steht immer in engem Zusammenhang mit dem zu optimierenden Flächenanteil. Bei einem geringen Fensterflächenanteil, wie in historischen Gebäuden häufig vorzufinden, ist auch die Stellschraube durch den niedrigen Flächenanteil gering. Je größer der Fensterflächenanteil an der Hüllfläche, desto höher ist auch das Einsparpotenzial.

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen

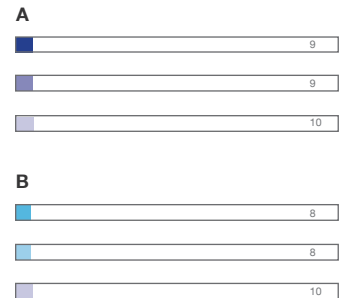
Nach EnEV 2009, Anlage 3 (2) gelten Mindestanforderungen an einzuhaltende U-Werte nach Tabelle 1, Zeile 2a-3c. Diese sind anzuwenden, wenn Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster und Glasdächer in der Weise erneuert werden, dass

- das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird,
- zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden oder
- die Verglasung ersetzt wird.

Der einzuhaltende Mindest-U-Wert für neue Fenster liegt bei 1,3 W/(m<sup>2</sup>K). Wird nur die Verglasung ersetzt, muss ein Mindest- $U_G$ -Wert von 1,1 W/(m<sup>2</sup>K) eingehalten werden. Es kann von den vorgegebenen Anforderungen an die thermische Qualität abgewichen werden, wenn der Rahmen für die Aufnahme der vorgeschriebenen Verglasung ungeeignet ist.

Ist bei einem Austausch der Verglasung die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Verglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von höchstens 1,3 W/(m<sup>2</sup>K) eingebaut wird.

Werden Verglasungen bei Kasten- oder Verbundfenstern ausgetauscht, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Glastafel mit einer infrarotreflektierenden Beschichtung mit einer Emissivität  $\epsilon_n \leq 0,2$  eingebaut wird (vgl. [EnEV 2009, Anlage 3 (2)]).



- geringer Anbaugrad
- mittlerer Anbaugrad
- hoher Anbaugrad

Abb. 51: Einsparpotenzial in kWh/(m<sup>2</sup>a) durch den Austausch von Kastendoppelfenstern oder Isolierverglasungen (1975 bis 1994) mit neuen Fenstern  $U=1,3$  W/(m<sup>2</sup>K) (2-SVG)

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Loga, Diefenbach, 2005] Loga, T., Diefenbach, N.: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden. Kurztitel: „Kurzverfahren Energieprofil“. Teil I: Flächenschätzverfahren, Darmstadt, 2005

[HMUEL, 2012] (Hrsg.) Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiss. Betreuung: IWU, Institut Wohnen und Umwelt: Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren. Energieeinsparinformationen 01. Wissenswertes über die Erneuerung und Sanierung von Fenstern und Türen, Darmstadt, 2012

[HMUEL, 2006] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hessische Energiesparaktion, URL: <http://www.energiesparaktion.de/wai1/showcontent.asp?ThemaID=4803> [Stand: 10.02.2011]

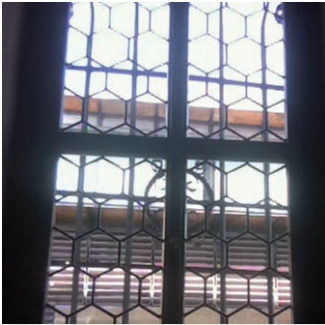




Darüber hinaus werden in der EnEV 2009 weitere Anforderungen an Sonderverglasungen wie z.B. Schallschutz und Sicherheitsgläser aufgeführt.

#### Umsetzung und Bauphysik

Ein kurzer Rückblick zeigt den Umgang mit Luftfeuchte in der Vergangenheit auf. Bei vielen historischen Fenstern lassen sich Kondensatrinnen an den Fensterbrettern finden. Diese dienten dazu, Tauwasser, welches sich auf der kalten Oberfläche der Gläser bildete, aufzufangen.



Der Mensch kann Luftfeuchte nur visuell erfassen. Je höher die Temperatur der Luft, desto mehr Wasserdampf kann aufgenommen werden. Kühlt sich die Luft ab und überschreitet somit den maximalen Sättigungsdampfdruck, fällt Tauwasser aus. Streicht warme Luft mit einem hohen relativen Feuchtegehalt an einer kalten Glasscheibe vorbei, kühlt sich die Luft ab und es kann Tauwasser ausfallen. An einer Fensterscheibe ist der Tauwasserfall in Form einer beschlagenen Scheibe gut sichtbar. Durch ein gezieltes Lüftungsverhalten kann dem entgegen gewirkt werden. An opaken Wänden jedoch ist der Tauwasserausfall visuell nicht zu erfassen. Durch die Fugenundichtigkeiten der historischen Fenster sind die Luftwechselraten höher, wodurch der Feuchtegehalt der Innenraumluft zusätzlich reguliert wird. Werden nun moderne Fenster eingebaut, ohne einer gleichzeitigen Verbesserung der thermischen Eigenschaften der opaken Wände und einem veränderten Lüftungsverhalten, können Bauschäden entstehen.



Um in späteren Jahren die Behaglichkeit in den Gebäuden zu verbessern, wurden Heizkörper nachgerüstet. Die historischen Fenster bis hin zu Fenstern bis Mitte der 90er Jahre weisen geringe Oberflächentemperaturen auf, darum war ein Aufenthalt in der Nähe meist unbehaglich. Aus diesem Grund wurden die Heizkörper fast immer unter den Fenstern montiert, um die von der Scheibe abfallende Kaltluft sofort zu erwärmen und gleichzeitig den Strahlungsaustausch von menschlicher Haut und Scheibe durch die Strahlung des Heizkörpers auszugleichen.

Werden die Fenster erneuert oder aufbereitet sollten folgende Aspekte beachtet werden:

- Als Richtwert sollten bei historischen Gebäuden die Fenster eine schlechtere thermische Qualität aufweisen als die Außenwände. Damit kann sichergestellt werden, dass der Tauwasserausfall an den Fenstern visuell erfassbar ist und durch ein gezieltes Lüftungsverhalten entgegengesteuert werden kann. Hat die Wand niedrigere Oberflächentemperaturen als das Fenster, fällt das Tauwasser zuerst an der Wand aus. Dies ist in der Regel nicht sichtbar. Der Einbau von neuen 3-SVG Fenstern ist nur in Kombination mit einer Dämmung der Wände bauphysikalisch sinnvoll.
- Die Wärmebrücken zwischen Wand und Fenster sollten berechnet werden. Ein Nachweisverfahren ist immer empfehlenswert, wenn die Fenster eine ähnliche oder bessere thermische Qualität als die Wand aufweisen.
- Der minimalinvasivste Eingriff ist die Fugendichtigkeit der Fenster zu verbessern. Durch das Einfräsen von dauerelastischen Dichtungsbändern können die Lüftungswärmeverluste reduziert werden. Auch das regelmäßige Einstellen der Fensterflügel ist eine wichtige Maßnahme.
- Einscheibenverglasungen in beheizten Gebäuden mit stetiger Nutzung werden den heutigen Anforderungen an den Komfort nicht mehr gerecht. Durch den Einbau eines einfachverglasteten Vorsatzflügels auf der Innenseite des Holzflügels kann der U-Wert bis zu 40 % [HMUELV, 2012] verbessert werden. Empfehlenswert sind hier Gläser mit einer infrarotreflektierenden Beschichtung.
- Nach dem Kastenfensterprinzip kann statt einer Scheibe auch ein zusätzliches Fenster angebracht werden. Das Fenster kann in die innere Laibung und bei einer Innendämmung in die Dämmebene gesetzt werden. Dadurch wird das äußere Erscheinungsbild nicht wesentlich verändert die thermischen Eigenschaften verbessern sich deutlich.

- Eine weitere Möglichkeit ist vorhandene Einscheibenverglasungen oder Zweischeiben-Isolierverglasungen durch neue Wärmeschutzverglasungen auszutauschen. Dadurch können die Wärmeverluste des Fenster zwischen 60 % und 70 % [HMUEL, 2012] reduziert werden. Die Voraussetzung hierfür ist, dass die Flügel und Beschläge das Gewicht der Verglasung tragen können.
- Durch den Einbau neuer Fenster erhöht sich die Luftdichtigkeit. Dies erfordert ein verändertes Lüftungsverhalten. Es ist zu prüfen ob eine nutzerunabhängige Lüftung erforderlich ist. Zudem ist es empfehlenswert Bewohner und Mieter über richtiges Lüftungsverhalten aufzuklären. Es ist das technische Regelwerk DIN 1946/6 zu beachten.
- Der Einbau neuer Fenster empfiehlt sich immer als Gesamtpaket mit der Dämmung der Außenwände. Werden beispielsweise die Hinterhoffassaden gedämmt, ist auch die Erneuerung der Fenster zu überlegen.
- Durch vorhandene, später eingebaute Rolllädenkästen können hohe Lüftungswärmeverluste entstehen. Diese Undichtigkeiten müssen beseitigt werden.
- Die Anschlussdetails müssen gezielt geplant und ausgeführt werden. Als Grundregel für Baumaterialien gilt - innen dampfdiffusionsdichter wie außen. Die luftdichte Ebene bildet bei Massivbauten der Innenputz.

## Dachdämmung

### Energetische und historische Relevanz

Früher waren die Dachgeschosse meist unbeheizt, da diese als Lagerräume genutzt wurden. In den Dachräumen wurde oftmals Stroh gelagert, das somit auch eine Dämmwirkung hatte. Die heute vorzufindenden historisch erhaltenen Dachräume sind unbeheizte Pufferzonen, die durchlüftet und frei begehbar sind. Durch den geringen Verbauungsgrad der historischen Dachkonstruktionen, konnten die Dächer regelmäßigen gewartet werden. Das zeigt sich auch in Iphofen, da viele der historischen Dächer in einem guten Zustand sind. Ein Großteil der Dachräume ist bis heute unausgebaut geblieben. Das bedeutet, dass für einen Dachausbau umfassende Dämmmaßnahmen notwendig sind.

Eine Dämmung des Daches ist insbesondere dann interessant, wenn bestehender Wohnraum erweitert werden soll. Entscheidungsgrundlage ist zum einen der Bedarf an weiterer Wohnfläche und zum anderen die Untersuchung statischer, bauhistorischer und bauphysikalischer Gegebenheiten.

Bei denkmalgeschützten Gebäuden ist die Möglichkeit eines Dachausbaus mit dem Denkmalschutzamt zu klären. Im Einzelfall sind statische, materialtechnische und bauhistorische Prüfungen notwendig. Durch eine Dämmung des Daches können sich die Proportionen des Gebäudes verändern. Darüberhinaus sind meist Gauben und Dachflächenfenster für die Belichtung notwendig. Insgesamt kann diese Maßnahme zu entscheidenden Veränderungen der Dachlandschaft führen.

### Gesetzliche Rahmenbedingungen

Für die thermische Qualität von ausgebauten Dachräumen stellt die EnEV 2009 Mindestanforderungen, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Hierbei ist zu unterscheiden, ob das Dachgeschoss bereits beheizt ist und nur Teile der Dachhaut verändert oder ob ein unbeheiztes Dachgeschoss zu neuem Wohnraum ausgebaut bzw. erweitert werden soll.

	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Innenoberflächen- temperaturen der Scheiben
Einscheibenglas	5,6	-1,0°C
2-Scheiben-Isolierglas	2,5-3,1	+8,4°C
3-Scheiben-Isolierglas	2,1	+12°C
2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	1,1-1,6	+13,8°C-15,5°C
3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	0,4-0,8	+16,8°C-17,3°C

Abb. 52: Verglasungsarten, U-Werte und Temperaturen von Innenoberflächen. Temperatur -10°C (außen) und 20°C (innen) [HMUEL, 2012].

Quellen & Hintergrundinformationen:

[HMUEL, 2012] (Hrsg.) Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiss. Betreuung: IWU, Institut Wohnen und Umwelt: Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren. Energieeinsparinformationen 01. Wissenswertes über die Erneuerung und Sanierung von Fenstern und Türen, Darmstadt, 2012

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009



**Fall 1: Teilweise Veränderung bei bereits beheizten Dachgeschossen**

Werden bei einem beheizten Dach mehr als 10 % der gesamten jeweiligen Bauteilfläche des Gebäudes verändert, sind die bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV 2009 nach Anlage 3, Tabelle 1 einzuhalten. Nach Anlage 3, (4) Nr. 4.1 wird folgendes aufgeführt:

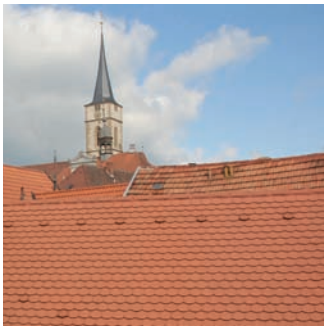
„Soweit bei Steildächern Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen sowie Decken und Wände (einschließlich Dachschrägen), die beheizte oder gekühlte Räume nach oben gegen die Außenluft abgrenzen,

- ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert werden,
- dass die Dachhaut bzw. (...) außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut werden,
- innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen aufgebracht oder erneuert werden,
- Dämmschichten eingebaut werden,
- zusätzliche Bekleidungen oder Dämmschichten an Wänden zum unbeheizten Dachraum eingebaut werden,

sind für die betroffenen Bauteile die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 4 a einzuhalten.“ Hierbei wird ein U-Wert von mindestens 0,24 W/(m<sup>2</sup>K) vorgeschrieben. Neue Dachflächenfenster müssen einen Mindest-U-Wert von 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) aufweisen.

Für Zwischensparrendämmung gibt es eine Ausnahmeregelung. Wenn die Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung oder der Sparrenhöhe begrenzt ist, gelten die Anforderung als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke eingebaut wird [EnEV, 2009, Anlage 3, Nr. 4.1].

Die Anforderungen gelten auch als erfüllt, wenn geänderte Wohngebäude insgesamt den Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nach § 3 Absatz 1 und den Höchstwert des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts nicht mehr als 140 % des zulässigen Wertes für Neubauten überschreitet. Hierfür wäre dann eine Gesamtbilanzierung aufzustellen.



**Fall 2 - Erweiterung und Neuausbau**

Wird ein Dachgeschoss erweitert oder ausgebaut, um beheizten Wohnraum zu schaffen, dann gelten folgende Randbedingungen:

- Weisen die Räume zusammenhängend mindestens 15 und höchstens 50 Quadratmeter Nutzfläche auf, müssen die betroffenen Außenbauteile so ausgeführt werden, dass die in Anlage 3 festgelegten Wärmedurchgangskoeffizienten nicht überschritten werden (nach [EnEV 2009, § 9, (4)]).
- Ist die zusammenhängende Nutzfläche größer als 50 Quadratmeter, sind die betroffenen Außenbauteile so auszuführen, dass der neue Gebäudeteil die Vorschriften für neu zu errichtende Gebäude nach § 3 einhält. In diesem Fall muss eine Gesamtbilanzierung nach EnEV für den neuen Gebäudeteil durchgeführt werden (nach [EnEV 2009, § 9, (5)])

**Umsetzung und Bauphysik**

Bei einem Ausbau des Dachs verändert sich die thermische und feuchtetechnische Belastung der Dachkonstruktion. Eine fachgerechte Planung und Ausführung ist essentiell, um die historische Dachkonstruktion nicht zu beeinträchtigen.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen Aufsparren-, Zwischensparren- und Untersparrendämmung. Hierbei sind dampfdiffusionsoffene Konstruktionen dampfdiffusionsdichten Konstruktionen vorzuziehen.

Aufsparrendämmung verändert die Proportion des Daches. Die Dachkonstruktion liegt gleichmäßig innerhalb des beheizten Volumens. Die Anschlüsse im Dachrandbereich müssen detailliert wärmebrückenfrei bzw. -reduziert umgesetzt werden. Tendenziell lassen sich mit einer Aufsparrendämmung sehr gute U-Werte erzielen, da die Dämmstärke konstruktiv nicht begrenzt ist. Vorteil dieser Konstruktion ist, dass der Dachstuhl von innen sichtbar ist und für Wartungsarbeiten zugänglich bleibt.



Bei Zwischensparrendämmungen ist die mögliche Dämmstärke durch die Dicke der Sparren beeinflusst. Dadurch können je nach Sparrendicke U-Werte von ca. 0,4 W/(m<sup>2</sup>K) bis etwa 0,30 W/(m<sup>2</sup>K) erreicht werden. Die Proportionen des Daches können mit dieser Lösung weitgehend erhalten bleiben. Durch diese Maßnahme können die Standard-Anforderungen der EnEV 2009 oftmals nicht erreicht werden. Darum ist hier eine Ausnahmeregelung für abweichende U-Werte vorgesehen (→ Gesetzliche Rahmenbedingungen).

Die Sparren werden thermisch durch den Isothermenverlauf stärker beansprucht. Es bietet sich an, diese Maßnahme mit einer Aufsparrendämmung zu kombinieren. Dadurch können bereits mit geringen Aufsparrendämmungen die Anforderungs-U-Werte der EnEV erreicht werden. Die thermische Beanspruchung der Sparren reduziert sich.

Bei Untersparrendämmungen liegt die Dachkonstruktion außerhalb der thermischen Hülle. Vorteil dieser Konstruktion ist die Hinterlüftung der Dämmung und die geringe Zahl an Durchdringungen. Wenn im Dachraum ausreichende Höhen vorhanden sind, kann dies eine Lösung darstellen. Nachteil ist, dass die Konstruktion von innen nicht mehr ersichtlich ist und für Wartungsarbeiten kein Zugang mehr besteht. In der Praxis wird diese Lösung eher selten umgesetzt. Sinnvoll sind kombinierte Lösungen mit einer Zwischensparrendämmung.

Um den Anforderungswert der EnEV 2009 von 0,24 W/(m<sup>2</sup>K) zu erfüllen, ist eine Dämmstoffstärke im Bereich von mindestens 18-20 cm (WLG 035 - 040) erforderlich.

Grundsätzlich sollten bei historischen Gebäuden vorhandene Dachüberstände belassen werden, um die Konstruktion vor Schlagregen und Feuchtigkeit zu schützen.

## Dämmen der Obersten Geschossdecke

### Energetische und historische Relevanz

In vielen historischen Quartieren ist ein Dachausbau nicht gewünscht, da das Erscheinungsbild der Gebäude meist stark verändert wird. In diesem Sinne stellt das Dämmen durch eine reversible Dämmauflage auf der Oberseite der Obersten Geschossdecke eine historisch-verträgliche Lösung dar. Die Gestalt des Gebäudes wird dadurch nicht verändert. Der ursprüngliche Deckenaufbau kann erhalten bleiben.

Die Dämmung der Obersten Geschossdecke ist eine einfache und kostengünstige Lösung, um gute energetische Einsparpotenziale zu erzielen. Sinnvoll ist die Umsetzung dieser Maßnahme nicht nur bei historischen Gebäude, sondern auch bei Gebäuden jüngeren Baualters bis aus den 90er Jahren.

In den historischen Gebäuden des 17./18. Jahrhunderts bis zu den Baualtersklassen um 1948 (nach [IWU, 2003]) finden sich häufig Holzbalkendecken als oberste Geschossdecken. Um die thermische Qualität zu verbessern, wurden diese früher oftmals mit Strohhelmwickeln oder Schüttungen verfüllt. Die U-Werte dieser Decken liegen in einem Bereich von circa 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) bis 0,9 W/(m<sup>2</sup>K) auf [RKW, 1983] [Grunewald, Will, 2010] [Böhmer et al., 2010]. Wurden die Decken thermisch nicht verbessert, liegen die U-Werte weitaus höher (bis zu 2,5 W/(m<sup>2</sup>K) [IWU, 2003]).

Dies zeigt das große Handlungspotenzial auf, um die Wärmeverluste über die Obersten Geschossdecken zu reduzieren. Aus diesem Grund beinhaltet auch die EnEV 2009 eine Nachrüstpflicht für die Dämmung der Obersten Geschossdecken.

Gefordert wird eine Nachrüstung der U-Werte auf mindestens 0,24 W/(m<sup>2</sup>K). Dieser Wert kann durch eine Dämmstoffstärke von ca. 10-12 cm bei einer WLG von 040 erreicht werden. Bei einer Dämmung von ca. 20 cm WLG 040, was im Dachgeschoss oftmals möglich ist, können U-Werte in einem Bereich um die 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) erreicht werden. Wenn die Raumhöhen im Dachraum dies zulassen, sollten die Mindestanforderungen der

Quellen & Hintergrundinformationen:

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009





EnEV 2009 im allgemeinen weitgehend unterschritten werden.

Durch das Aufbringen einer Dämmung von 20 cm mit WLG 060 kann der U-Wert von  $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  auf etwa  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gesenkt werden. Das entspricht einer Reduzierung der Wärmeverluste der Obersten Geschossdecke von 86 % pro Quadratmeter Bauteilfläche und Jahr. Bilanziell über das Jahr betrachtet, kann dadurch der Heizwärmebedarf pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr um ca.  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  beim berechneten Referenzgebäude\* gesenkt werden.



Auch die Decken von Durchfahrten und darüberliegenden beheizten Räumen sollten entsprechend gedämmt werden.



#### Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die EnEV stellt eine Nachrüstpflicht an die thermische Qualität der Obersten Geschossdecken. Nach § 10 Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden wird folgendes gefordert:

*„(3) Eigentümer von Wohngebäuden sowie von Nichtwohngebäuden, die nach ihrer Zweckbestimmung jährlich mindestens vier Monate und auf Innentemperaturen von mindestens 19 Grad Celsius beheizt werden, müssen dafür sorgen, dass bisher ungedämmte, nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume so gedämmt sind, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke  $0,24 \text{ Watt}/(\text{m}^2\text{K})$  nicht überschreitet. Die Pflicht nach Satz 1 gilt als erfüllt, wenn anstelle der Geschossdecke das darüber liegende, bisher ungedämmte Dach entsprechend gedämmt ist.*

*(4) Auf begehbare, bisher ungedämmte oberste Geschossdecken beheizter Räume ist Absatz 3 nach dem 31. Dezember 2011 entsprechend anzuwenden.“*

*Nach § 10 (5) gibt es Ausnahmeregelungen für „Wohngebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen, von denen der Eigentümer eine Wohnung am 1. Februar 2002 selbst bewohnt hat, sind die Pflichten nach den Absätzen 1 bis 4 erst im Falle eines Eigentümerwechsels nach dem 1. Februar 2002 von dem neuen Eigentümer zu erfüllen. Die Frist zur Pflichterfüllung beträgt zwei Jahre ab dem ersten Eigentumsübergang. Sind im Falle eines Eigentümerwechsels vor dem 1. Januar 2010 noch keine zwei Jahre verstrichen, genügt es, die obersten Geschossdecken beheizter Räume so zu dämmen, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke  $0,30 \text{ Watt}/(\text{m}^2\text{K})$  nicht überschreitet.“*

#### Quellen & Hintergrundinformationen:

[Böhmer et al., 2010] Böhmer, H., Fanslau-Görlitz, D., Zedler, J., (Institut für Bauforschung e.V. Hannover): U-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

## Umsetzung und Bauphysik

Grundsätzlich gibt es die Möglichkeit von Schüttungen oder Einblasungen mit Perliten oder Dämmflocken, die zwischen die Sparren eingebracht werden oder das Verlegen von Dämmplatten wie z.B. Mineralwolle oder Styropor. Die einfachste Möglichkeit bietet oftmals das oberseitige Aufbringen von Dämmplatten auf der Geschosdecke.

Folgende Aspekte sollten berücksichtigt werden:

- Historische Konstruktionen müssen immer überwacht und instandgehalten werden. Darum ist es wichtig, dass der Dachstuhl begehbar bleibt, die Konstruktion reversibel ist und Wartungsmöglichkeiten vorgesehen werden.
- Dampfdiffusionsoffene Systeme sind dampfdiffusionsdichten Dämmmaterialien und Konstruktionen vorzuziehen.
- Wärmebrücken im Bereich der Wand- und Dachanschlüsse sollten vermieden werden.

## Dämmen der Kellerdecke

Energetische und historische Relevanz  
Historische Gebäuden können mehrere Besonderheiten aufweisen, die eine ober- oder unterseitige Dämmung der Bodenplatte einschränken. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen unterkellerten und nicht unterkellerten Gebäuden. In Iphofen sind viele der Gebäude nicht unterkellert, und die Fußbodenaufbauten liegen direkt auf dem Erdreich auf. Zudem sind häufig wertvolle Fußbodenbeläge, wie z.B. Solnhofenplatten oder Parkettböden vorzufinden. Bei unterkellerten Gebäuden ist die einfachste Möglichkeit die unterseitige Dämmung. Die mögliche Dämmstoffdicke ist dadurch in der Regel eingeschränkt. Diese Möglichkeit entfällt jedoch bei Gewölbekellern, wie sie oft in historischen Gebäuden vorzufinden sind.

Das Dämmen der Bodenplatte ist eine Maßnahme die hinsichtlich der Behaglichkeit als positiv zu bewerten ist. Durch die Dämmschicht erhöhen sich die Oberflächentemperaturen des Fußbodens. Dagegen sind die energetischen Einsparpotenziale bei unterkellerten Gebäuden durch die eingeschränkten Dämmstoffstärken eher als gering einzustufen. Ist der Fußbodenbelag hingegen direkt auf dem Erdreich verlegt, ist eine thermische Optimierung energetisch bedeutend. Empfehlenswert ist die Maßnahme, wenn neue Fußböden oder Bodenplatten verlegt werden oder einfache Kellerkonstruktionen mit ausreichender Raumhöhe vorzufinden sind.

Die U-Werte der unterschiedlichen Bodenaufbauten, wie z.B. Kappengewölbe\*<sup>1</sup> oder verlegte Kanthölzer\*<sup>2</sup> auf dem Erdreich von historischen Gebäuden liegen in einem Bereich zwischen  $0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ \*<sup>1</sup> [Böhmer et al., 2010] und  $1,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ \*<sup>2</sup> [Grunewald, Will, 2010] je nach verwendetem Material und Verfüllung. Wird bei einer Kappendecke mit einem U-Wert von  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  unterseitig eine 5 cm starke Dämmung mit WLG 035 aufgebracht, kann der U-Wert auf  $0,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gesenkt werden. Das entspricht einer Reduzierung der Wärmeverluste der Bodenplatte von 46 %

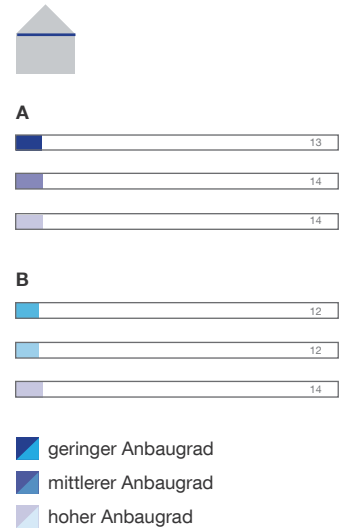


Abb. 53: Einsparpotenzial in kWh/(m²a) durch die Dämmung der Obersten Geschosdecke von 20 cm WLG 040

[Grunewald, Will, 2010] Grunewald, J., Will, T., (Technische Universität Dresden): Pilotstudie zum Modellprojekt des Sächsischen Staatsministeriums des Innern: Energetische Sanierung von Baudenkmälern, Dresden, 2010

[RKW, 1983] RKW Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft, Zapke, W., Ebert, H., (Institut für Bauforschung e.V.): K-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung. Heft 22. Schriftenreihe der RG-Bau - Rationalisierungs-Gemeinschaft "Bauwesen", Eschborn, 1983

[IWU, 2003] Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze, Dokumentation, Darmstadt, 2003, URL: [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Gebaeudetypologie\\_Deutschland.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland.pdf) [Stand: 10.02.2011]

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.



pro Quadratmeter Bauteilfläche und Jahr. Bilanzell über das Jahr betrachtet kann dadurch der Heizwärmebedarf  $Q_h$  pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr um ca.  $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  gesenkt werden. Dies entspricht einer relativ geringen Einsparung im Vergleich zum Aufwand. Auch sind die Standard-Anforderungen an die EnEV 2009 damit nicht erfüllt. Um diese Anforderungen zu erfüllen ist eine Dämmstärke von mindestens  $7 \text{ cm}$  (WLG 035) erforderlich. Bei einem Fußbodenaufbau der direkt mit Kanthölzern auf dem Erdboden aufliegt mit einem U-Wert von  $1,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  [Grunewald, Will, 2010], ist eine Dämmung von ca.  $5 \text{ cm}$  WLG 035 erforderlich, um die Anforderungen für eine oberseitige Dämmung nach EnEV von einem U-Wert von  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  zu erfüllen. In der Praxis können diese Dämmstoffstärken bei historischen Gebäuden oftmals durch die Einschränkung der Raumhöhe nicht umgesetzt werden.

Eine Dämmung mit Vakuumisulationspaneelen kann mit geringen Dämmstärken weitaus höhere thermische Verbesserungen erzielen. So lässt sich ein U-Wert von  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bereits mit  $2 \text{ cm}$  WLG 005 auf  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  reduzieren.

Für eine gute Funktionstüchtigkeit der Dämmung sind Beschädigungen der Dämmplatten zu vermeiden. Eine Alternative bieten hier wabenförmige Dämmmatten. Wird ein Teilbereich des Panels beschädigt, ist nur ein kleiner Bereich davon betroffen.

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen

Nach EnEV 2009, Anlage 3 (5) gelten Mindestanforderungen an einzuhaltende U-Werte nach Tabelle 1 Zeile 5a-5c. Diese sind anzuwenden, wenn Wände und Decken gegen unbeheizte Räume, Erdreich und nach unten an Außenluft

- ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert werden, dass
- außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen,
- Feuchtigkeitssperren oder
- Drainagen angebracht oder erneuert,
- Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite aufgebaut oder erneuert,
- Deckenbekleidungen auf der Kaltseite angebracht oder
- Dämmschichten eingebaut werden.

In diesen Fällen muss ein Mindest-U-Wert von  $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  durch entsprechende Dämmmaßnahmen erreicht werden. Eine Ausnahme gilt, wenn der Fußboden auf der beheizten Seite aufgebaut oder erneuert wird. In diesem Fall muss ein Mindest-U-Wert von  $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erreicht werden (nach [EnEV 2009, Tabelle 1 Zeile 5a-5c]).

Ist die Dämmschichtdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, „so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit  $0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  eingebaut wird“ [EnEV 2009, Anlage 3, (5)].

Bei Baudenkmälern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz kann nach § 24 (1) von den Anforderungen abgewichen werden, wenn die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigt oder die Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führt.

## Umsetzung und Bauphysik

Folgender Aspekt sollte berücksichtigt werden:

Durch die thermische Trennung des Kellers ist davon auszugehen, dass die Raumtemperatur und somit auch die Oberflächentemperaturen absinken werden. Dadurch erhöht sich die Gefahr der Kondensat- und Schimmelbildung. Bei Umsetzung dieser Maßnahme sollte die Temperatur und die relative Luftfeuchte im Keller beobachtet und durch gezieltes und regelmäßiges Lüften entgegen gewirkt werden.

## Optimierung der Wärmeerzeugung im Bestand

Im Vergleich zu baulichen Eingriffen stellt die Optimierung der Anlagentechnik oftmals die historisch-verträglichere Lösung dar. Die Optimierung der Energieversorgung führt zu einem effizienten Umgang mit Energieressourcen und damit auch zu einer Reduktion von Treibhausemissionen. Im Hinblick auf die gesetzlichen Vorgaben, wie z.B. die Energieeinsparverordnung (EnEV), können auch bei historischen Gebäuden durchaus gute primär- und endenergetische Energieniveaus erreicht werden. Sinnvoll ist aber immer eine Kombination aus der Reduzierung des Energiebedarfs durch angemessene Sanierungsmaßnahmen und einer Steigerung der Anlageneffizienz.

Die durchschnittliche Lebensdauer von Wärmeerzeugungsanlagen liegt zwischen 20 bis 25 Jahren. Wurden in den letzten zehn Jahren neue Energieerzeugungsanlagen in den Gebäuden nachgerüstet, ist eine zeitnahe Umstellung auf eine neue Anlagentechnik im Sinne des Energienutzungsplans in den nächsten Jahren unwahrscheinlich. Darum liegt der Fokus hier bei minimalinvasiven Optimierungen der Anlagentechnik.

Darüber hinaus gibt es gesetzliche Anforderungen und Nachrüstpflichten, die vorhandene Energieerzeugungsanlagen betreffen können und einen Austausch erforderlich machen.

Als Hinweis ist zu nennen, dass bei einer erstmaligen Umstellung von Einzelofenheizungen auf eine Zentralheizung der Wärmebedarf zumeist ansteigt. Dies ist auf die größere zu beheizende Fläche und das veränderte Nutzerverhalten zurückzuführen.

Für Gemeinden die Energienutzungspläne umsetzen, ist es empfehlenswert, die Bürger über diese Einsparpotenziale aufzuklären. Die Zusammenarbeit von Kaminkehrern und Fachexperten vor Ort ist hierbei ein wichtiger Aspekt.

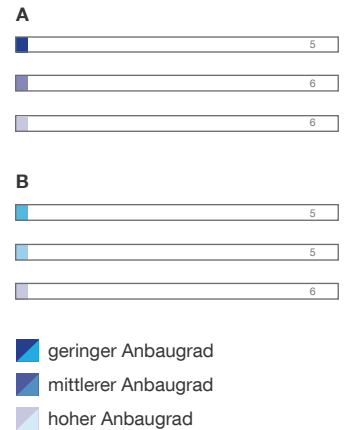


Abb. 54: Einsparpotenzial in kWh/(m<sup>2</sup>a) Dämmung mit 6 cm WLG 035 einer Kellerdecke U=0,8 W/m<sup>2</sup>K

### Quellen & Hintergrundinformationen:

[Böhmer et al., 2010] Böhmer, H., Fanslau-Görlitz, D., Zedler, J., (Institut für Bauforschung e.V. Hannover): U-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010

[Grunewald, Will, 2010] Grunewald, J., Will, T., (Technische Universität Dresden): Pilotstudie zum Modellprojekt des Sächsischen Staatsministeriums des Innern: Energetische Sanierung von Baudenkmälern, Dresden, 2010

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.



zu Tab.

Die Tabelle zeigt exemplarisch die Tendenzen des Einsparpotenzials durch unterschiedliche energetische Maßnahmen in Abhängigkeit der Konstruktionsklassen auf. Die U-Werte der Konstruktionsklasse A und B beziehen sich auf das berechnete Referenzgebäude. Dargestellt wird die jährliche Energieeinsparung pro Quadratmeter Bauteilfläche. Für individuelle Gebäude kann das Einsparpotenzial überschlägig mit nebenstehender Formel ermittelt werden.

Aus dieser Untersuchung wird ersichtlich, dass die IST-Konstruktion einen erheblichen Einfluss auf das Einsparpotenzial hat.

Dies zeigt sich bereits deutlich in der Variante 1 - Wärmedämmputz: Ein Wärmedämmputz ist bei historischen Wänden insbesondere nur dann sinnvoll, wenn die Bestandskonstruktion einen sehr schlechten U-Wert aufweist.

Betrachtet man die Auswirkung der Außendämmung auf die U-Werte, zeigt sich, dass die dämmende Schicht den größten Einfluss auf das Bauteil hat.

Der U-Wert bei einer Bestandskonstruktion von 1,4 W/(m²K) kann durch eine Dämmung von 10 cm WLG 040 auf einen U-Wert von 0,28 W/(m²K) verbessert werden.

Bei einer Wandkonstruktion mit einem U-Wert von 2,4 W/(m²K) stellt sich durch die gleiche Dämmstärke ein U-Wert von 0,31 W/(m²K) ein.

Die Abweichung des U-Werts ist nur noch gering. Der Vorher-Nachher Effekt der Energieeinsparung ist bei Konstruktionsklasse B deutlich höher.

Der U-Wert bei einer Bestandskonstruktion von 1,4 W/(m²K) kann durch eine Innendämmung von 6 cm WLG 060 auf einen U-Wert von 0,58 W/(m²K) verbessert werden.

Tab. 9: Einsparpotenziale energetischer Maßnahmen nach thermischer Qualität der Bestandskonstruktion

U-Wert	d neue Schicht	R <sub>neu</sub>	U-Wert	Tendenz Energieeinsparung
IST W/(m²K)	m	(m²K)/W	neu	kWh/(m²a) bauteilbezogen
<b>Dämmputz WLG 090 Konstruktionsklasse A</b>				
1,4	0,03	0,33	0,95	29
1,4	0,04	0,44	0,86	35
1,4	0,05	0,56	0,79	40
<b>Dämmputz WLG 009 Konstruktionsklasse B</b>				
2,4	0,03	0,33	1,33	70
2,4	0,04	0,44	1,16	82
2,4	0,05	0,56	1,03	91
<b>Außendämmung WLG 040 Konstruktionsklasse A</b>				
1,4	0,06	1,71	0,41	65
1,4	0,08	2,29	0,33	70
1,4	0,10	2,86	0,28	74
1,4	0,12	3,43	0,24	76
1,4	0,14	4,00	0,21	78
1,4	0,16	4,57	0,19	80
<b>Außendämmung WLG 040 Konstruktionsklasse B</b>				
2,4	0,06	1,71	0,47	127
2,4	0,08	2,29	0,37	134
2,4	0,10	2,86	0,31	138
2,4	0,12	3,43	0,26	141
2,4	0,14	4,00	0,23	143
2,4	0,16	4,57	0,20	145
<b>Innendämmung Mineralwolle WLG 040 Konstruktionsklasse A</b>				
1,4	0,04	1,14	0,54	57
1,4	0,06	1,71	0,41	65
1,4	0,08	2,29	0,33	70
<b>Innendämmung Mineralwolle WLG 040 Konstruktionsklasse B</b>				
2,4	0,04	1,14	0,64	116
2,4	0,06	1,71	0,47	127
2,4	0,08	2,29	0,37	134
<b>Innendämmung Calciumsilikat WLG 060 Konstruktionsklasse A</b>				
1,4	0,04	0,67	0,72	45
1,4	0,06	1,00	0,58	54
1,4	0,08	1,33	0,49	60
<b>Innendämmung Calciumsilikat WLG 060 Konstruktionsklasse B</b>				
2,4	0,04	0,67	0,92	97
2,4	0,06	1,00	0,71	112
2,4	0,08	1,33	0,57	121
<b>Innendämmung Lehmsteine WLG 170 Konstruktionsklasse A</b>				
1,4	0,05	0,29	0,99	27
1,4	0,08	0,44	0,87	35
1,4	0,10	0,59	0,77	42
<b>Innendämmung Holzlehmsteine WLG 170 Konstruktionsklasse B</b>				
2,4	0,05	0,29	1,41	66
2,4	0,08	0,44	1,17	81
2,4	0,10	0,59	1,00	93

U-Wert	Hinweis	d neue Schicht	R <sub>neu</sub>	U-Wert	Energieeinsparung
IST W/(m²K)		m	(m²K)/W	neu	kWh/(m²a) bauteilbezogen
<b>Fachwerk Putzkissen A</b>					
1,4		0,03		1,05	23
1,4		0,04		0,98	28
1,4		0,05		0,93	31
<b>Fachwerk Putzkissen B</b>					
2,4		0,03		1,36	69
2,4		0,04		1,22	78
2,4		0,05		1,11	85
<b>Fachwerkausfachung A</b>					
1,4	1*			0,72	45
1,4	2*			0,80	40
1,4	3*			0,80	40
<b>Fachwerkausfachung B</b>					
2,4	4*			1,00	92
<b>Fenster austausch</b>					
2,6	Austausch 2-SVG			1,30	86
2,6	Austausch 3-SVG			0,80	119
5,4	Austausch 2-SVG			1,3	271
5,4	+ Vorsatzscheibe 1-SVG		5	3,2	145
<b>OGD Dämmen (F<sub>x</sub> 0,8)</b>					
0,9		0,10	2,86	0,25	35
0,9		0,15	4,29	0,19	38
0,9		0,20	5,71	0,15	40
<b>Bodenplatte dämmen z.B. Holzbalkendecke mit Strohlehmwickeln oder Kappendecken (F<sub>x</sub> = 0,6)</b>					
0,8		0,02	0,57	0,54	10
0,8		0,04	1,14	0,42	15
0,8		0,06	1,71	0,34	18
0,8		0,02	4,00	0,19	24
<b>Bodenplatte dämmen z.B. Steine auf Erdreich, Erneuerung des Bodenaufbaus (F<sub>x</sub> = 0,6)</b>					
2,8		0,02	0,66	0,98	72
2,8		0,04	1,23	0,63	86
2,8		0,06	1,80	0,46	93
2,8		0,02 5*	4,09	0,23	102

\*1\* Strohlehm 14 cm | λ=0,7 W/(mK) auf Stakung mit innenseitigen Wärmedämmlehm 5cm | λ=0,08 W/(mK), Kalkputz 4 cm | λ=0,87 W/(mK), Schalung 2,2 cm | λ=0,13 [DZHD a]

\*2 Strohlehm 14 cm | λ=0,7 W/(mK) auf Stakung mit innenseitigen Wärmedämmputz 6 cm | λ=0,098 W/(mK), Kalkputz 4 cm | λ=0,87 W/(mK) [DZHD a]

\*3 Strohlehm 14 cm | λ=0,7 W/(mK) auf Stakung mit innenseitiger Leichtlehminnendämmung mit Blähton 12 cm | λ=0,21, Kalkputz 4 cm | λ=0,87 W/(mK) [DZHD a]

\*4 Lessteinausfachung 14,5 cm | λ=1,0 W/mK mit Porenbetoninnenschale 7,5 | λ=0,19, Kalkmörtelausgleichsschicht 3 cm | λ=0,87 W/(mK), Lehmputz 4 cm | λ=0,8 W/(mK), Kalkputz 4 cm | λ=0,87 W/(mK) [DZHD a]

\*5 Thermische Optimierung der historischen Einscheibenverglasung mit einfachverglasten Vorsatzflügel auf der Innenseite nach [HMUELV, 2012]

\*6 VIP-Dämmung mit WLK 005

Bei einer Wandkonstruktion mit einem U-Wert von 2,4 W/(m²K) stellt sich durch die gleiche Innendämmung ein U-Wert von 0,63 W/(m²K) ein.

Grundsätzlich bedeutet dies, je schlechter die Bestandskonstruktion, desto höher ist auch der Effekt der Einsparung bei gleichen Dämmmaßnahmen an der Fassade. Das bedeutet, dass insbesondere für Gebäude mit sehr hohen U-Werten der Wände, die Wirtschaftlichkeit für die Sanierung der Außenwände steigt. Dadurch weisen historische Gebäude prinzipiell ein hohes Potenzial für wirtschaftliche Sanierungen auf.

Die bauteilbezogene Einsparung kann mit folgender Formel vereinfacht ermittelt werden:

Näherungsformel für die Berechnung:

$$\text{eingesparte Energie pro m}^2_{\text{BTF}} = (\text{U-Wert}_{\text{IST}} - \text{U-Wert}_{\text{neu}}) \times F_x \times 66 \text{ kWh/a}$$

Heizgradstunden 66 kWh/a

F<sub>x</sub> Abminderungsfaktor  
 unbeheizter Dachraum F<sub>x</sub> = 0,8  
 unbeheizter Keller F<sub>x</sub> = 0,6  
 Außenluft F<sub>x</sub> = 1,0

Quellen & Hintergrundinformationen:

[DZHD a] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Fachwerkausfachungen

[HMUELV, 2012] (Hrsg.) Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiss. Betreuung: IWU, Institut Wohnen und Umwelt: Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren. Energieeinsparinformationen 01. Wissenswertes über die Erneuerung und Sanierung von Fenstern und Türen, Darmstadt, 2012

Im folgenden werden minimalinvasive Maßnahmen zur Effizienzsteigerung vorhandener Anlagentechnik für einen Überbrückungszeitraum aufgeführt:

#### Nachrüstpflichten

##### Einsparpotenziale\*

Es gibt gesetzliche Nachrüstverpflichtungen die einige Heizungsanlagen im Bestand betreffen. Neben den gesetzlich geforderten Nachrüstverpflichtungen ist es sinnvoll auch darüber hinausgehende Ziele zu erreichen. So ist z.B. sukzessive die Außerbetriebnahme aller Nachtspeicheröfen, primären Einzelraumheizungen und veralteten Öl- und Gasheizkesseln ohne Niedertemperatur- oder Brennwertbetrieb empfehlenswert. Werden diese veralteten Anlagen ausgetauscht, ist der Einsatz von effizienten Anlagentechniken, die mit regenerativen Energieträgern betrieben werden können, im Sinne des Energienutzungsplans angezeigt. Durch den Austausch von veralterten und oftmals überdimensionierten Heizkesseln und die Außerbetriebnahme von Nachtspeicheröfen können erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden.

In die primärenergetische Bewertung der EnEV 2009 geht der nicht erneuerbare Energieanteil ein, der z.B. für Gewinnung, Aufbereitung und Transport der Energieträger nötig ist. Je geringer dieser nicht erneuerbare Energieanteil ist, desto besser wird die Anlagentechnik primärenergetisch bewertet. Werden regionale erneuerbare Potenziale eingesetzt, wie z.B. Holz oder Abwärme, ist der nicht erneuerbare primärenergetische Anteil ein Vielfaches kleiner, als wenn z.B. Öl, Gas oder Kohle eingesetzt wird.

##### Als Beispiel:

Ein Gebäude mit einem Endenergiebedarf von 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) wird mit Holz beheizt, so liegt der Primärenergiebedarf bei 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) ( $f_{p,ne} = 0,2$ ). Wird das Gebäude mit Gas beheizt liegt der Primärenergiebedarf bei 110 kWh/(m<sup>2</sup>a) ( $f_{p,ne} = 1,1$ ). Aufgrund der hohen Energieverluste von Strom, liegt der nichterneuer-

bare Anteil bei  $f_{p,ne} = 2,6$  [nach EnEV 2009]. Wird ein Gebäude mit Strom beheizt, so ist ein sehr hoher Energieaufwand von der Erzeugung des Stroms bis hin zum Verbrauch beim Endverbraucher vorge-lagert. Daraus resultiert der hohe Primärenergiebedarf strombeheizter Gebäuden (Beispiel -> 260 kWh/(m<sup>2</sup>a)).

Als wichtiger Hinweis ist zu nennen, dass Maßnahmen am Kamin erforderlich sein können, wenn veraltete Kohle-, Gas- oder Ölheizungen erneuert werden, um eine Versottung durch niedrige Abgastemperaturen zu vermeiden.

##### Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die EnEV 2009 stellt Nachrüstverpflichtungen an Gas- und Ölheizkessel mit einer Nennleistung zwischen 4 kW und 400 kW, die vor dem 1. Oktober 1978 eingebaut wurden. Diese Kessel sind außer Betrieb zu nehmen, sofern es sich nicht um Niedertemperatur- oder Brennwertkessel handelt (nach [EnEV, 2009] in § 10)).

Ausnahmen gelten bei Gebäuden, die nicht mehr als zwei Wohnungen aufweisen und von denen wenigstens eine vom Eigentümer am 1. Februar 2002 selbst bewohnt war. In diesem Fall sind die Nachrüstpflichten erst spätestens zwei Jahre nach einem Eigentümerwechsel zu erfüllen.

Weitere Ausnahmen gelten, wenn die notwendigen Aufwendungen für die Erfüllung der Anforderungen nicht in angemessener Zeit erwirtschaftet werden können. Hier kann eine Befreiung gemäß § 25 EnEV 2009 als Fall unbilliger Härte beantragt werden.

Insbesondere die elektrische Wärmeerzeugung ist primärenergetisch als negativ zu bewerten. Die EnEV 2009 stellt daher Anforderungen, damit elektrische Speicherheizsysteme außer Betrieb genommen werden. Betroffen sind Wohngebäude mit mehr als fünf Wohneinheiten, wenn die Raumwärme in den Gebäuden ausschließlich durch elektrische Speicherheizsysteme erzeugt wird.

Für den Umsetzungszeitraum werden lange Fristen gewährt. So müssen elek-

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

trische Speicherheizsysteme, die vor dem 1. Januar 1990 aufgestellt oder eingebaut wurden, erst nach dem 31. Dezember 2019 außer Betrieb genommen werden. Anlagen die jüngeren Baualters sind, dürfen nach 30 Jahren nicht mehr betrieben werden.

Darüberhinaus gibt es weitere Ausnahmen. So gilt die Pflicht nicht, wenn die Heizleistung des elektrischen Speicherheizsystems höchstens 20 W pro m<sup>2</sup> Nutzfläche beträgt, und wenn das Gebäude das Anforderungsniveau der Wärmeschutzverordnung von 1995 erfüllt (nach [EnEV, 2009 Abschnitt 3, § 10a]).

## Heizkurven optimieren

### Einsparpotenziale

Die richtige Einstellung der Anlagentechnik ist essentiell für einen energieeffizienten Betrieb. Die Erfahrungen zeigen, dass je nach Ausgangsbasis durch eine Qualitätssicherung der Anlagentechnik zwischen 10 und 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) endenergetisch eingespart werden können (nach [Optimus]).

Die Optimierung der Heizkurve steht immer in Verbindung mit der Voreinstellung der Thermostatventile und der Einstellung der Förderhöhe der Pumpe.

Grundsätzlich sollte die Vorlauftemperatur so niedrig wie möglich eingestellt werden. Die Untergrenzung ist so anzusetzen, dass eine ausreichende Beheizung der Räume sichergestellt ist. Sind die Vorlauftemperaturen zu hoch eingeregelt, müssen die Thermostatventile ein Überangebot an Heizwärme regulieren. Dadurch entsteht ein hohes Verschwendungspotenzial. Durch eine Absenkung der Heizkurve wird dieses reduziert (nach [Optimus]).

Ist der Durchfluss an den Heizkörpern zu hoch, sind auch die Rücklauftemperaturen sehr hoch. Dies geht mit einem verminderten Brennwertnutzen einher.

Die Regelung sollte so eingestellt werden, dass die Anlage mit Nachtabenkungsbetrieb arbeitet.

Die optimale Einstellung der Heizungsanlagen kann mithilfe einfacher Software vom Fachexperten ermittelt werden. Die Einstellung der Anlagentechnik ist immer dann vorzunehmen wenn:

- die Anlage bis jetzt noch nicht optimiert wurde
- die Gebäudehülle saniert wird
- die Anlagenkomponenten sich verändern, wie z.B. Nachrüstung von Heizkörpern.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[bayika] [http://www.bayika.de/de/service/publikationen/pdf/bayika\\_EnEV\\_2009\\_Bauen-im-Bestand.pdf](http://www.bayika.de/de/service/publikationen/pdf/bayika_EnEV_2009_Bauen-im-Bestand.pdf) [Stand 4.10.2012]

[Optimus] [http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/praesentation\\_optimierung\\_grundlagen.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/praesentation_optimierung_grundlagen.pdf) [Stand 4.10.2012]

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009



## Quellen &amp; Hintergrundinformationen:

[Eckermann et al., 2000] Eckermann, W., Preißler, H.: Altbaumodernisierung Haustechnik. Planung und Ausführung technischer Installationen in historischen Gebäuden, (Hrsg.) Gerner, M., DVA, Stuttgart, München, 2000

[Wolff, 2007] <http://www.impulsprogramm.de/downloads/Energieberater/Vortrag-WolffFWWolfenbuettel.pdf>  
[Stand:26.09.2012]

[Wolff et al., 2002] Wolff, D., Jagnow, K., Halper, C., Ullrich, C., (Institut für Heizungs- und Klimatechnik Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel): Abschlussbericht Felduntersuchungen zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissins- und Lüftungsverbrauchs durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen, Braunschweig/Wolfenbüttel, 2002

[Loga, Diefenbach, 2005] Loga, T., Diefenbach, N.: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden. Kurztitel: „Kurzverfahren Energieprofil“. Teil III: Pauschalwerte Anlagentechnik, Darmstadt, 2005

## Optimierung der Wärmeverteilung

Die Bestandsaufnahme in Iphofen hat gezeigt, dass in vielen der historischen Gebäuden eine Optimierung der Wärmeverteilung hinsichtlich der Energieeffizienz erforderlich ist. Die Optimierung der Wärmeverteilung erfordert das Dämmen von Heiz- und Warmwasserleitungen in unbeheizten oder außenliegenden Bereichen, die Reduzierung von elektrischer Hilfsenergie für Pumpen und einen hydraulischen Abgleich.

Die durchschnittliche Lebensdauer von Heizleitungsrohren liegt zwischen 30 und 50 Jahren [Eckermann et al., 2000]. Neben der Steigerung der Energieeffizienz sind aber auch Aspekte der gesundheitlichen Unbedenklichkeit bei Trinkwasserleitungen zu berücksichtigen. So lassen sich in Altbauten häufig noch Leitungen finden, die toxische Absonderungen wie z.B. Pb, Zn oder Cu abgeben können. Diese Leitungen sollten ausgetauscht werden.

Werden die Leitungen nachträglich gedämmt oder erneuert, spielt bei den historischen Gebäuden eine substanzgerechte Vorgehensweise eine wichtige Rolle. Eine Verlegung der Leitungen unter dem Putz, muss bei denkmalgeschützten Gebäuden mit dem Denkmalschutzamt abgeklärt werden. Durch das Schlitzeln in Wand- und Deckenputz können sich größere Putzschichten ablösen. Insbesondere bei Fachwerkgebäuden ist das Schlitzeln der Konstruktion oftmals statisch ungünstig. Die Führung der Leitungen auf dem Putz hat den Vorteil einer guten Wartungszugänglichkeit und Reversibilität. Günstig ist eine zentrale, gebündelte Verlegung der Leitungen, wenn möglich in untergeordneten Räumen oder bereits vorhandenen Durchbrüchen bzw. Schächten. Installationsschächte sollten immer leicht zugängliche Kontrollmöglichkeiten aufweisen. Die Technikführung in stillgelegten Kaminen kann dabei eine Lösung darstellen.

## Dämmen der Leitungen

## Einsparpotenziale\*

Der effizienteste Umgang mit Wärme ist, diese mit möglichst geringen Wärmeverlusten direkt am Ort des Bedarfs einzubringen. Je höher die Systemtemperaturen des Heizsystemes, desto höher sind auch die Verluste die bei der Verteilung entstehen. Vor allem bei älteren Baualterklassen sind Heizungen mit hohen Systemtemperaturen vorzufinden. Bei ungedämmten Leitungen in unbeheizten Räumen oder außenliegenden Leitungen entstehen dadurch hohe Verteilverluste, die nicht mehr nutzbar gemacht werden können.

## Gesetzliche Rahmenbedingungen

Für Bestandsgebäude sieht die EnEV 2009 nach § 10 (2) eine Nachrüstpflicht für die Dämmung der Heizungsverleitungen vor. Die Nachrüstpflicht ist gültig für Leitungen die im Bereich außerhalb der thermischen Hülle verlaufen. Dies ist der Fall, wenn sich die Heizung z.B. im unbeheizten Keller befindet und die Verteilleitungen an der Decke geführt werden. In diesem Fall müssen „*Eigentümer von Gebäuden dafür sorgen, dass bei heizungstechnischen Anlagen bisher ungedämmte, zugängliche Wärmeverteilungen - und Warmwasserleitungen sowie Armaturen, die sich nicht in beheizten Räumen befinden, nach Anlage 5 zur Begrenzung der Wärmeabgabe gedämmt sind.*“ [EnEV, 2009]

Diese Nachrüstpflicht betrifft auch denkmalgeschützte Gebäude, insofern durch diese Maßnahmen keine großen baulichen Eingriffe, wie z.B. Öffnen der Wände etc. erforderlich sind. Nach § 24 Ausnahmen (1) legt die EnEV folgendes fest: „*Soweit bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Baustoffsubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.*“

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

## Effiziente Heizungspumpen

### Einsparpotenziale\*

Bei älteren Heizungsanlagen sind häufig veraltete und überdimensionierte Heizungspumpen eingebaut. Umwälzpumpen von Heizungsanlagen haben einen bedeutenden Stromverbrauch. In einem Vier-Personen-Haushalt entfallen darauf etwa 10 % des jährlichen Strombedarfs [DENA].

Durch den Einbau von hocheffizienten geregelten Pumpen sinkt der Stromverbrauch der Pumpe deutlich. Hierbei sind Stromkosteneinsparungen bis zu 80 % möglich [nach BLfU]. Ein Austausch amortisiert sich somit schon nach zwei bis vier Jahren [nach BLfU].

Eine weitere Effizienzmaßnahme ist die zeitliche Einschränkung von Zirkulationspumpen durch eine Nachtabstaltung.

### Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die EnEV 2009 stellt Forderungen für Zentralheizungen mit mehr als 25 kW Nennleistung hinsichtlich der verwendeten Pumpen. Die Umwälzpumpen der Heizkreise sind beim erstmaligen Einbau und bei der Ersetzung so auszustatten, dass die elektrische Leistungsaufnahme dem betriebsbedingten Förderbedarf selbsttätig in mindestens drei Stufen angepasst wird, soweit sicherheitstechnische Belange des Heizkessels dem nicht entgegenstehen (nach [EnEV] §14, Abschnitt 3).

## Hydraulischer Abgleich

### Einsparpotenziale\*

Ein hydraulischer Abgleich ist für einen effizienten und wirtschaftlichen Betrieb der Anlagentechnik eine wichtige Voraussetzung. Eine Untersuchung der Co2-online zeigt, dass trotz Stand der Technik und gesetzlichen Vorgaben in Deutschland bei 85 % der Gebäude kein hydraulischer Abgleich durchgeführt wurde. Im Landkreis Kitzingen wurden dazu von der Co2-online 330 Gebäude untersucht. Hier wurde bei 16 % der untersuchten Gebäude ein hydraulischer Abgleich durchgeführt. Dies zeigt das enorme Nachrüstpotenzial auf. Durch einen hydraulischen Abgleich der Stränge und durch das Einstellen der Heizkörperventile werden für alle Heizkörper im Wärmeverteilungsnetz gleiche Widerstände erzeugt.

Bei einem fehlenden hydraulischen Abgleich entstehen durch die ungleichmäßige Wärmeverteilung Komfort und Behaglichkeitseinbußen, zu hohe oder zu geringe Pumpenleistungen, Geräuschbildungen und falsche Heizkennlinieneinstellungen. Daraus resultiert ein erhöhter Energiebedarf. Nach [Co2-online] können durch einen hydraulischen Abgleich bis zu 5 - 10 kWh/(m<sup>2</sup>a) eingespart werden. Um einen hydraulischen Abgleich vornehmen zu können, müssen die Heizkörper mit voreinstellbaren Thermostatventilen ausgestattet sein. Die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs ist in Maßnahmenkombinationen mit der Optimierung der Heizungsanlagenkomponenten sinnvoll. Der Einbau einer Hocheffizienzpumpe und die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs amortisiert sich in der Regel zwischen 5 und 6 Jahren (vgl. [Co2-online]). Wurden Sanierungen an der Gebäudehülle oder Veränderungen an der Anlagentechnik vorgenommen, ist ein erneuerter hydraulischer Abgleich erforderlich.

### Gesetzliche Rahmenbedingungen

Nach VOB C - DIN 18380 ist für jede Heizungsanlage, die neu eingebaut wird, ein hydraulischer Abgleich vorzunehmen. Für Bestandsanlagen gibt es keine Nachrüstplichten, dennoch ist eine Optimierung der Anlagentechnik empfehlenswert.

[Co2-online] [https://ratgeber.co2online.de/index.php?berater=heizatlas&portal\\_id=co2online](https://ratgeber.co2online.de/index.php?berater=heizatlas&portal_id=co2online) [Stand: 16.09.2010]

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

[DENA] Deutsche Energieagentur GmbH (dena): Initiative Energieeffizienz, URL: <http://www.stromeffizienz.de/stromsparen/waerme/heizung.html> [Stand: 16.09.2010]

[BLfU] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Kampagne Energieeffizienz, URL: <http://www.lfu.bayern.de/energieeffizienz/heizungspumpe/index.htm> [Stand: 16.09.2010]

[www.heizatlas.de](http://www.heizatlas.de)  
[www.meine-heizung.de](http://www.meine-heizung.de)

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

Art	Temperaturniveau in [°C]	Substanzverlust	Raumklima	Wartungsfreundlichkeit
Luftheizung	30-40	mittel	unbehaglich	mittel
Deckenheizung	30-35	mittel	unbehaglich	mittel
Wandheizung	30-35	mittel	unbehaglich	mittel
Fußbodenheizung	30-35	hoch	unbehaglich	mittel
TAD	25	hoch	unbehaglich	mittel
Sockelheizung	45-70	hoch	unbehaglich	mittel
Radiatoren	45-70	hoch	unbehaglich	mittel
Konvektor	60-90	hoch	unbehaglich	mittel

Bewertung Substanzverlust und  
Wartungsfreundlichkeit

- gering
- mittel
- hoch

Bewertung Raumklima

- sehr behaglich
- behaglich
- unbehaglich

Abb. 55: Einsatz unterschiedlicher  
Wärmeübertragungssysteme in histo-  
rischen Gebäuden

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Eckermann et al., 2000] Eckermann, W., Preißler, H.: Altbaumodernisierung Haustechnik. Planung und Ausführung technischer Installationen in historischen Gebäuden, (Hrsg.) Gerner, M., DVA, Stuttgart, München, 2000

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

\* Die Einsparpotenziale beziehen sich auf die berechneten Referenzgebäude. Die Tendenzen sind jedoch allgemein übertragbar. Die Berechnungsdetails sind im Anhang dargestellt.

### Optimierung der Wärmeübertragung

Ein häufiges Problem in Altbauten sind überdimensionierte Heizflächen, nicht voreinstellbare Thermostatventile und die Einstellung der Vorlauftemperatur auf Werksvorgaben.

Die Bestandsaufnahme in Iphofen hat gezeigt, dass die Wärmeübertragung überwiegend mit Heizkörpern erfolgt. Dies steht auch im Zusammenhang damit, dass hochtemperaturige Wärmeerzeuger, wie z.B. Gaskessel vorzufinden sind.

Insbesondere bei älteren Heizungsanlagen gibt es Optimierungspotenziale, um die Effizienz der Wärmeübertragung zu steigern:

- Zu prüfen ist, ob die Thermostatventile voreinstellbar sind. Voreinstellbare Thermostatventile sind die Voraussetzung für einen hydraulischen Abgleich (→ S.77, Hydraulischer Abgleich).
- Je niedriger die Vorlauftemperatur eingestellt ist, desto geringer ist der Energieaufwand diese Temperatur zu erzeugen.
- Sind die Heizkörper in zurückgesetzten Nischen angebracht, entstehen dadurch Wärmebrücken in der Fassade. Durch das Anbringen einer Dämmung hinter dem Heizkörper werden die Transmissionswärmeverluste reduziert.

Zu achten ist beim Rückbau der Installationen auf Asbest in Heizkörperverkleidungen oder den Leitungsdämmungen bzw. Schimmelsporen hinter Verkleidungen.

### Voreinstellbare Thermostatventile

#### Einsparpotenziale

Über die Thermostatventile kann die Temperatur im Innenraum gesteuert werden. Durch die Absenkung der Raumtemperatur nachts und bei Abwesenheit wird das Verschwendungspotenzial für Raumwärme reduziert. Die Senkung der mittleren Raumtemperatur um 1°C entspricht im Mittel einer Einsparung des Heizwärmebedarfs von etwa 6 %.

#### Gesetzliche Rahmenbedingungen

Nach EnEV 2009 § 14 müssen Zentralheizungen beim Einbau mit einer außen-temperaturgeführten und zeitgesteuerten Regelung der elektrischen Antriebe sowie über eine raumweise selbsttätige Temperaturregelung, z.B. Thermostatventile verfügen. Sind diese Anforderungen bei bestehenden Anlagen nicht erfüllt, muss dies vom Eigentümer nachgerüstet werden.

## 2.4. Energieinfrastruktur

Die Bestandsaufnahme der Energieinfrastruktur gibt einen Überblick über die derzeitige Energieversorgung einer Gemeinde und deren künftigen Ausbaumöglichkeiten.

Der technische Stand der Energieinfrastruktur steht in engem Zusammenhang mit der Nutzungsintensität der historischen Gebäude und Quartiere. Je länger der Nutzungszeitraum der Gebäude und je höher die Anzahl der bewohnten Gebäude in einem Quartier, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit in diesen Gebieten zeitgemäße Technik vorzufinden.

Auf Basis der bestehenden Energieinfrastruktur können durch Filterungsprozesse mögliche Energieversorgungskonzepte eingrenzt werden (→ Abb. 65 und Kap. 3, Energieversorgungskonzept).

In historischen Quartieren fällt die Adaption der Technik- und Sanierungskomponenten außerhalb und innerhalb der Gebäude für die Konzeptentwicklung noch stärker ins Gewicht, da bestimmte Sanierungsmaßnahmen bzw. Haustechnikerneuerungen nicht oder nur eingeschränkt möglich sind (→ Abb. 67f).

Die Erfassung der Energieinfrastruktur ist nicht nur auf städtebaulicher Ebene entscheidend, sondern auch auf Ebene des Gebäudes. Daher sollten Datenaufnahme, Verortung und Analyse der Infrastrukturen auf beiden Ebenen erfolgen.

### 2.4.1. Energieinfrastruktur: Ebene Städtebau

Grundsätzlich sollten folgende Infrastrukturen auf städtebaulicher Ebene untersucht und aufgenommen werden:

- Bestehende Gasnetze
- Bestehende Nahwärmenetze und deren Einspeiser, wie z.B. Heiz(kraft)werke, Kraftwerke, Blockheizkraftwerke, Geothermie(heiz)kraftwerke, Biogasanlagen

Folgende Hintergrunddaten zu den Wär-

meerzeugern sind von Interesse:

- Art der Anlage (Heizwerk, BHKW etc.)
- Brennstoff (Gas, Biogas, Holz etc.)
- Anlagengröße/-leistung
- Temperaturniveau (Vorlauf/Rücklauf)
- Wirkungsgrad (thermisch/elektrisch)
- erzeugte Strom- und/oder Wärmemenge

Daten und Informationen zum Bestand zentraler Anlagen sind vom jeweiligen Betreiber einzuholen und in der Voranalyse zu verwerten. Bestehende Anlagen sind daraufhin zu untersuchen, ob und für wie lange sie weiter betrieben werden sollen bzw. ob sie gegebenenfalls optimiert oder erweitert werden können.

So ist es empfehlenswert für KWK-Anlagen ohne Wärmekonzept (z.B. Biogasanlagen ohne Wärmeabnahme) geeignete Wärmeabnehmer zu finden.

Zu Zwecken der Effizienzsteigerung sind für KWK-Anlagen ohne Wärmekonzept (z.B. Biogasanlagen ohne Wärmeabnahme) geeignete Wärmeabnehmer zu finden. (Positivflächen ⊕).

Fossil betriebene Heizwerke mit Nahwärmenetz sollten soweit möglich auf regenerative Energieträger umgestellt werden. Für den Grundlastanteil solcher Anlagen ist außerdem die Deckung durch Kraft-Wärme-Kopplung sinnvoll (Positivflächen ⊕).

Größere regenerativ betriebene Anlagen (Holzheizwerke, Biogasanlagen, u.a.) mit Nahwärmenetz erfordern in der Regel keinen akuten Handlungsbedarf (Negativflächen ⊖).

Bestehende KWK-Anlagen, deren produzierte Wärme bereits bestmöglich genutzt wird, erfordern keinen akuten Handlungsbedarf (Negativflächen ⊖).

Ein wichtiger Einflussfaktor für die vor-

Die erforderlichen Methoden und Kennwerte für die Erhebung der Energiepotenziale sind im Leitfaden Energienutzungsplan S. 34-35 [Hausladen et al., 2011] dargestellt. Im Folgenden werden ergänzend die Besonderheiten historischer Quartiere dargestellt.



Art	Temperaturniveau in [°C]	Temperaturniveau
freie Heizflächen	> 55°C	hoch
Flächenheizung	> 35°C	mittel
Brauchwarmwasser	> 65°C	hoch
Prozesswärme	30-300°C	mittel
Spezialanwendung	> 1.000°C	hoch

- hoch
- mittel
- gering

Abb. 56: Typische Temperaturniveaus auf Seite der Verbraucher nach [Hausladen et al., 2011]

handene bzw. verbaute Gebäudetechnik in historischen Gebäuden ist das Vorhandensein von Gasnetzen. Wurde ein Gasnetz ausgebaut, ist davon auszugehen, dass in einem Großteil der Gebäude Gasheizungen vorhanden sind.

#### 2.4.2. Energieinfrastruktur: Ebene Gebäude

Erst seit dem Jahre 1850 wurde die Haustechnik zu einem festen Bestandteil von Gebäuden [Eckermann et al., 2000]. Ursprünglich waren viele historische Gebäude mit Einzelraumöfen ausgestattet. Der lange Nutzungszeitraum dieser Gebäude setzt jedoch voraus, dass auch die Haustechnik immer wieder an die wachsenden Behaglichkeitsanforderungen angepasst worden ist. Deshalb ist anzunehmen, dass in Gebäuden mit langjährigen Nutzungsdauern mittlerweile auch die Haustechnik im Laufe der Jahre verändert und angepasst wurde. Nur bei einem geringen Anteil der Gebäude in Iphofen sind noch Einzelraumöfen verbaut. Dies bestätigt auch die Analyse der Kaminkehrerdaten in Iphofen (→ Abb. 59).

Auf Ebene der Gebäude sind folgende Daten von Interesse:

- Art der Wärmeerzeuger, wie z.B. Öl- oder Gaskessel, Wärmepumpen, Solarthermische Anlagen, Nachtspeicheröfen, Einzelfeuerstätten
- Heizungsanlagengröße/-leistung
- Tendenz der Temperaturniveaus (hoch/niedrig)
- Kesselalter
- ggf. stichprobenartig Art der Wärmeübertragung und Einsatzmöglichkeiten von Niedertemperatursystemen (Tendenz ist auch Anhand des Baualters, Sanierungsstand und Temperaturniveau ablesbar)

Für die Realisierbarkeit neuer Wärmeversorgungskonzepte liefern folgende Hinweise hilfreiche Schlussfolgerungen:

Liegen konkrete Daten zum Bestand individueller Anlagen vor, z.B. in Form von Kaminkehrer-Daten, können diese in der Voranalyse verwertet werden. Auf Basis dieser Daten kann das durchschnittliche Kesselalter pro Rasterfläche abgebildet werden und somit der Anteil der Kessel je Brennstoff ermittelt werden.

Liegt das Kesselalter je Rastereinheit im Durchschnitt über 15 Jahren, ist das Gebiet für neue Versorgungskonzepte zu priorisieren (Positivflächen ⊕).

Ein hoher Anteil an veralteten Öl- oder Gaskessel über 50 % je Rastereinheit begünstigt die Möglichkeit neue Konzepte umzusetzen (Positivflächen ⊕).

Anhand von Informationen zu (genehmigungspflichtigen) Wärmepumpen lässt sich das Anteilsverhältnis pro Rasterfläche ausweisen.

Ein hoher Anteil an Wärmepumpen (mehr als 50 % je Rastereinheit) ist prinzipiell als Ausschlusskriterium für den Aufbau einer gemeinschaftlichen Wärmeversorgung zu sehen (Negativflächen ⊖). Dies betrifft in der Regel umliegende Neubaugebiete.

Die Ausnahme bilden energierelevante historische (Sonder-)Rechte. Diese sind in vereinzelt Gebieten und unter bestimmten Umständen immer noch rechtswirksam und werden demzufolge in vielen Fällen auch genutzt. Das "Holzrecht" in Iphofen veranschaulicht ein solches Recht (→ Kap. 2.5.2, S.89).

Während historischen Rechte zwar nur noch selten vorkommen, können sie dennoch erheblichen Einfluss auf das Energiekonzept innerhalb eines Quartiers ausüben. Daher sollten alle verfügbaren Daten und Informationen von den jeweiligen Stellen (v.a. Gemeindeämter) eingeholt werden.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Eckermann et al., 2000] Eckermann, W., Preißler, H.: Altbaumodernisierung Haustechnik. Planung und Ausführung technischer Installationen in historischen Gebäuden, (Hrsg.) Gerner, M., DVA, Stuttgart, München, 2000

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheutschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

Die Verteilung der historischen Rechte im Gemeindebereich ist ebenfalls als Anteil je Rasterfläche zu ermitteln und darzustellen. Ist ein Anteil von über 50 % je Rastereinheit festzustellen, sind diese Gebiete in einem ersten Schritt als Ausschlusskriterium für den Aufbau einer gemeinschaftlichen Wärmeversorgung zu bewerten (Negativflächen ⊖). Im Falle der Holzrechte ist davon auszugehen, dass die Rechte verstärkt in Anspruch genommen werden, da bei Nichtnutzung diese auf Dauer unwiderruflich verfallen. Eine Zusammenlegung der einzelnen Holzrechte für eine zentrale Verwertung (z.B. Biomasseheiz(kraft)werk) ist derzeit aufgrund der Rechtslage noch nicht möglich. Hinsichtlich der Anlageneffizienz sowie aus Gründen des Komfortgewinns in historischen Gebäuden wäre es allerdings sinnvoll und zeitgemäß, die Einschränkung des Zwangs einer dezentralen Verwendung aufzuheben und stattdessen den Rechteinhabern ein Verwertungswahlrecht einzuräumen. Die Gemeinde Iphofen beauftragte diesbezüglich bereits Rechtsexperten.

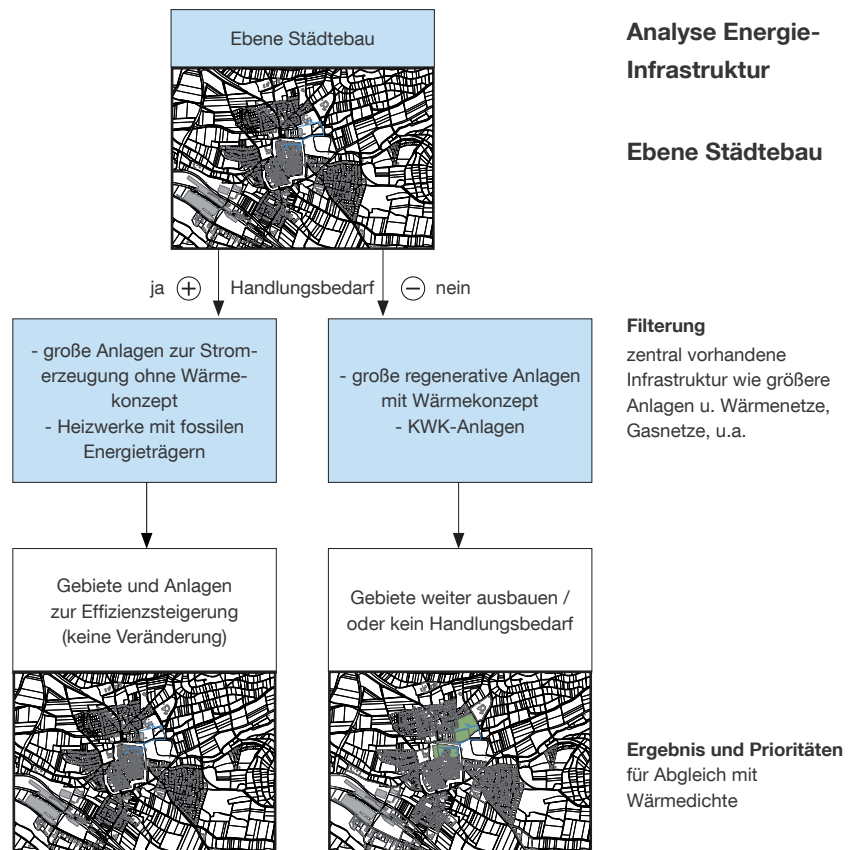


Abb. 57 visualisiert beispielhaft die Vorgehensweise der Filterung im Bereich Infrastruktur.

Nach Durcharbeitung der jeweiligen Filterungen auf städtebaulicher als auch auf Gebäude-Ebene sind die Ergebnisse den jeweiligen Wärmedichtekarten gegenüberzustellen. Werden Gebiete ausgewiesen, in denen sowohl Handlungsbedarf als auch kein Handlungsbedarf besteht, sollten weitere Filter eingesetzt werden, damit diese Rasterflächen mithilfe zusätzlicher Informationen einer weiteren Differenzierung unterzogen werden können.

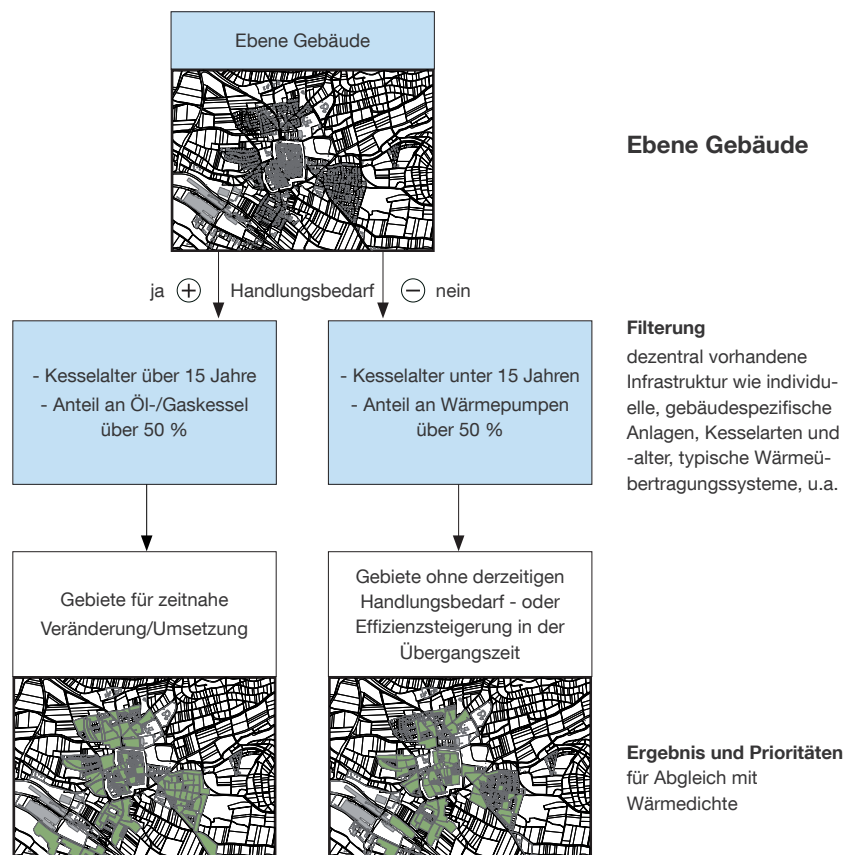


Abb. 57: Filterung Infrastruktur auf städtebaulicher Ebene und gebäudebezogen

zu Abb.

Darstellung der Energieinfrastruktur  
(regenerative Energiequellen) am  
Beispiel Iphofen:

Zentrale Infrastruktur

— Trasse Nahwärmenetz (aktuell)

Die Stadt Iphofen besitzt ein Erdgas-  
Netz. Dieses ist aus datenschutzrecht-  
lichen Gründen hier nicht dargestellt.

Dezentrale Infrastruktur

Versorgungsgrad Wärmepumpen

- 0 %
- < 10,0 %
- 10,0 - 30,0 %
- 30,1 - 50,0 %
- > 50,0 %

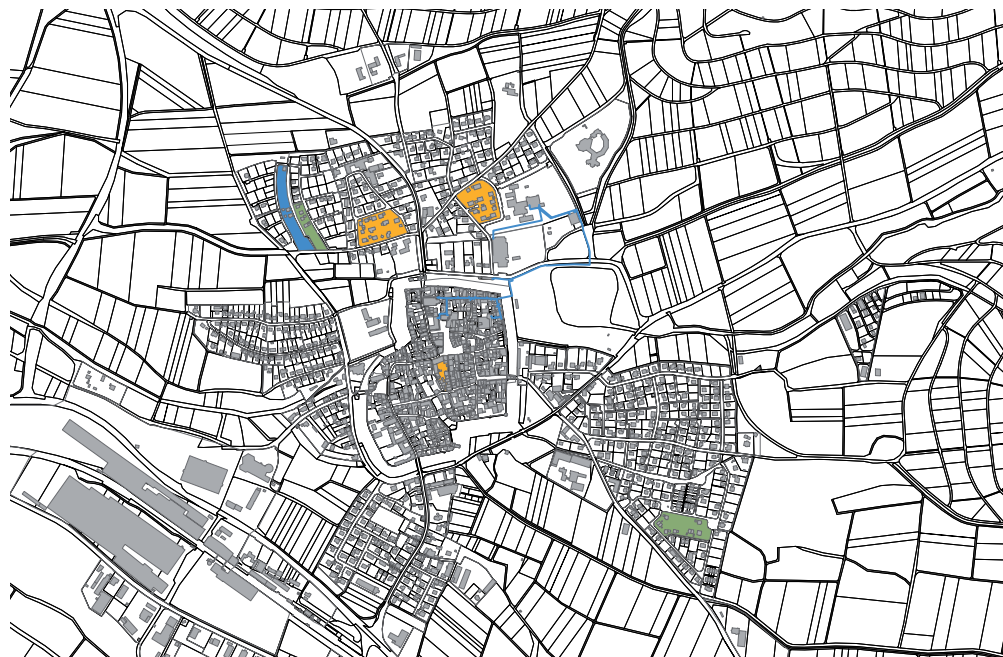


Abb. 58: Vorhandene Energieinfrastruktur der Stadt Iphofen

#### 2.4.3. Exkurs Iphofen: Energieinfrastruktur

In der Altstadt von Iphofen ist ein flächen-deckendes Gasnetz verlegt. Der größte Anteil der Gebäude (ca. 30 %) ist mit Gas-Brennwertkesseln ausgestattet. Viele der Gebäude werden zusätzlich mit Holzka-chelöfen beheizt. An zweiter Stelle stehen Durchlauf- und Wasserheizsysteme mit etwa 17 %. Sechs Prozent werden mit Öl-Brennwertkesseln beheizt. Um die zehn Prozent der Anlagentechnik wird noch ohne Brennwerttechnik betrieben. Durch die Besonderheit der Holzrechte in Iphofen werden knapp neun Prozent der Gebäude primär mit einer Holzhei-zung betrieben. Für andere historische Quartiere lässt sich ableiten, dass die Art und das Alter der verbauten Heiztechnik zum einen stark von der vorhandenen Infrastruktur, wie z.B. Gasnetze und zum anderen von der Nutzungsintensität und Bewohnerstruktur abhängig ist.

Ein weiterer wichtiger Punkt, um Energie-konzepte und Zeithorizonte festlegen zu können, ist das Baualter der Heizungsan-lagen. In Iphofen hat sich gezeigt, dass bei einem hohen Anteil der Gebäude Hei-zungsanlagen verbaut sind, die nicht älter als 15 Jahre sind (→ Abb. 59). Der durch-schnittliche Lebenszyklus einer Energieer-

zeugungsanlage liegt zwischen 20 und 25 Jahren. Energienutzungspläne sind immer langfristig angelegt. Deshalb sind für diese Quartiere Überlegungen von Nöten, welche die Zukunft in den nächsten zehn Jahren betreffen. Der Schwerpunkt dieser Nutzungszeit liegt in der Effizienzsteige-rung. Ziel ist es durch einfache Maßnah-men wie etwa durch einen hydraulischen Abgleich, Dämmung der Leitungen oder den Einbau hocheffizienter Pumpen den Energiebedarf der bestehender Anlagen-technik zu senken.

Ist der Austausch der veralteten Anlagen-technik demnächst erforderlich, können die Konzepte des Energienutzungsplans zeitnah umgesetzt werden (→ Kap. 3, Konzepte). Die Schwerpunkte liegen dann auf dem Einsatz von Energieversorgungs-konzepten, die regenerative Potenziale der Gemeinde nutzbar machen. Eine umfas-sende Bestandsbegehung in Iphofen hat gezeigt, dass viele der Gebäude mit wert-vollen Bodenbelägen, Stuckdecken oder Wandmalereien ausgestattet sind. Dies schränkt die Verwendung von flächigen Niedertemperatursystemen, wie z.B. Fuß-boden- oder Deckenheizungen ein. Durch diese Vorgaben sind in vielen Gebäuden überwiegend Wärmerezeugungsanlagen mit hohen Temperaturniveaus vorzufinden (→ Abb. 67f, S.96).





zu Abb.  
**Iphofen gesamt**  
Versorgungsgrad mit Gas,  
Versorgungsgrad Öl.  
Kesselalter



zu Abb.  
**Iphofen Altstadt**  
Versorgungsgrad mit Gas,  
Versorgungsgrad Öl.  
Kesselalter

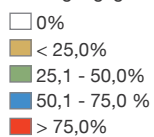


zu Abb.  
**Mönchsondheim**  
Versorgungsgrad mit Gas,  
Versorgungsgrad Öl.  
Kesselalter

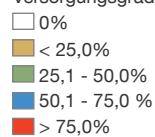


zu Abb.  
**Hellmitzheim**  
Versorgungsgrad mit Gas,  
Versorgungsgrad Öl.  
Kesselalter

Versorgungsgrad Gas in %



Versorgungsgrad Öl in %



Heizungen älter als 15 a in %

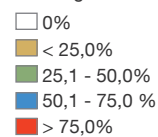


Abb. 59: Versorgungsgrade Gas und Öl sowie Kesselalter in Iphofen und in den Gemeindeteilen Mönchsondheim und Hellmitzheim



## 2.5. Nutzung regenerativer Energiepotenziale in historischen Quartieren

Die Möglichkeiten der zukünftigen Energieversorgung stehen in direktem Bezug zu den kommunalen erneuerbaren Energiepotenzialen.

Auf dieser Grundlage können Energiekonzepte entwickelt werden, welche auf die individuellen Gegebenheiten in der Gemeinde reagieren und damit den Ort nachhaltig stärken.

Im Rahmen eines Energienutzungsplans werden primär die Potenziale zur Deckung des Wärmebedarfs untersucht. Im Bereich der Wärmeversorgung bietet eine „eigene“ Energieversorgung ein hohes Potenzial die Wertschöpfung in der Region zu stärken.

Bei den Energiepotenzialen ist prinzipiell zwischen Wärme- und Strompotenzialen zu unterscheiden. Diese können entweder für die Erzeugung von Strom und / oder Wärme genutzt werden. Da Strom in den meisten Fällen es erlaubt in ein übergeordnetes Stromnetz einzuspeisen und nicht wie die Wärmeerzeugung in dem Maße ortsgebunden ist (Abnahme und Erzeugung), kann die Bereitstellung von Strom in größeren Maßstäben betrachtet werden. Der eingespeiste Strom kann somit zur Deckung des Energiebedarfs bilanziell und räumlich auf das Gemeindegebiet bezogen, betrachtet werden.

Dieser Zusammenhang ist für die Abwägung der Strategien zum Einsatz erneuerbarer Energien in historischen Quartieren wichtig. So müssen Fragen der Stromerzeugung nicht dezentral gelöst werden. Hier bietet sich die Chance der Kompensation wie etwa über Nachbarschaftsmodelle von Alt- und Neubauten, Bündelung von Flächen zur regenerativen Stromerzeugung auch außerhalb des historischen Stadtquartiers oder die Zusammenlegung von Strom- und Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Konzepte zur reinen Stromversorgung können unabhängig von Wärmekonzepten entwickelt werden.

Zudem können die erneuerbaren Energiepotenziale hinsichtlich ihres Einflusses auf die Umwelt, ihres Energieinhalts und

ihrer energetischen Verwertbarkeit nicht als gleichwertig betrachtet werden. Eine erste Priorisierung erfolgt auf Basis des Primärenergiefaktors nach DIN V 4701-10. Dieser definiert wie viel „nicht erneuerbare“ Primärenergie benötigt wird, um eine gegebene Menge erneuerbare Endenergie zu erzeugen. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung sollten im konkreten Einzelfall soweit möglich neben den Primärenergiefaktoren noch weitere umwelt- und naturschutzfachliche Aspekte berücksichtigt werden.

Bei Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK) ist der Primärenergiefaktor nach [DIN V 4701-10] so festgelegt, dass die entstehende Wärme gutgeschrieben wird.

Bei der Nutzung hochwertiger Abwärme ist der dahinter stehende Primärenergieeinsatz dem grundsätzlichen Zweck des Prozesses zuzuschreiben. Deshalb kann die Nutzung hochwertiger Abwärme mit dem Primärenergiefaktor "Null" bewertet werden, sofern keine weitere Temperaturerhöhung unter Einsatz von Hilfsenergie stattfindet.

Dementsprechend sollte bei der Nutzung von Abwärme auf einem niedrigen Temperaturniveau berücksichtigt werden, dass eine unter Umständen beträchtliche Menge an Hilfsenergie benötigt wird, um die Temperatur auf ein nutzbares Niveau zu erhöhen. Der aktuelle Strom-Mix in Deutschland wird mit einem Primärenergiefaktor von 2,6 erzeugt.

Tiefengeothermie und Biomasse müssen aufgrund einer Vielzahl weiterer möglicher Umwelteinflüsse grundsätzlich immer individuell betrachtet werden. [Hausladen et al., 2011]

Für (historische) Quartiere lassen sich Prioritäten in folgender Reihenfolge ableiten:

- Nutzung ortsgebundener hochwertiger Abwärme
- Tiefengeothermie
- Regionalgebundene erneuerbare Energieträger in Verbindung mit KWK
- Regionalgebundene erneuerbare Energieträger in Verbindung mit Heizwerken
- Ortsgebundene niederwertige Abwärme und Umweltwärme aus Abwasserreinigungsanlagen, Industrie sowie Umwelt-

### Quellen & Hintergrundinformationen:

[DIN V 4701-10:2001-02] Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen. Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Stand 2001

[DIN V 4108-6:2003-06] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Stand 2003

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheutschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

wärme die Mittels Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden

- Frei verfügbare fossile Energieträger in Verbindung mit KWK

Die Bestandsaufnahme und Analyse der regenerativen Energiepotenziale lässt sich in zwei Phasen gliedern, die miteinander vernetzt werden müssen.

Die Datenaufnahme zeigt in einem ersten Schritt das theoretisch nutzbare Potenzial einer Gemeinde ohne Priorisierung oder Bewertung (→ Abb. 60). Generell werden die Potenziale des gesamten Gemeindegebiets erfasst. Dabei sollten folgende Energiepotenziale aufgenommen werden:

- Solarenergie
- Biomasse
- Reststoffe
- Oberflächennahe Geothermie
- Tiefengeothermie
- Abwärme
- Abwasser
- Wind
- Wasser

Im nächsten Schritt werden die Potenziale unter Berücksichtigung der erforderlichen Energiemenge, Leistung, Temperaturniveau und zeitlichem Anfall priorisiert und hinsichtlich einer möglichen Nutzung verortet (→ Abb. 60).

An diesem Punkt gibt es einige Aspekte, die durch die Gegebenheiten historischer Quartiere differenziert zu betrachten sind. Die Besonderheiten resultieren aus den erforderlichen verlagerten Schwerpunkten beim Einsatz erneuerbarer Energien.

So ist z.B. die aktive Solarenergienutzung wie Solarthermie oder Photovoltaik aus Gründen der historisch-gestalterischen Verträglichkeit oftmals nicht oder nur eingeschränkt nutzbar.

Es zeigen sich aber auch Chancen auf. Dies wird durch die Überlagerung des räumlich differenzierten Wärmebedarfs sichtbar.

Durch die zumeist vorhandene hohe bauliche Dichte im historischen Bestand entsteht die Möglichkeit erneuerbare Energien, die sich auch für eine zentrale Versorgung eignen, zu nutzen.

Durch diese Verknüpfung können Prioritäten für eine zentrale bzw. dezentrale Nutzung in Zusammenhang mit den Energiepotenzialen ermittelt werden.

Neben der Filterung "Zentrale oder dezentrale Versorgungsstruktur" spielt auch das erforderliche Temperaturniveau eine wichtige Rolle. Energieträger stehen in engem Zusammenhang mit nutzbaren Temperaturniveaus (→ Abb. 67f). So können beispielsweise durch die Verbrennung von Biomasse höhere Temperaturniveaus erreicht werden als bei der Nutzung von Erdwärme.

Zudem sind in vielen Fällen in den Gebäuden aufgrund ihres Dämmstandards, Baualters oder nicht vorhandener Gebäudetechnik-Infrastruktur Einschränkungen in der Nutzbarkeit von Niedertemperatur-Energiesystemen zu erwarten, da diese Gebäude bestimmte Mindest-Temperaturniveaus bei der Energieerzeugung bzw. des Energiepotenzials erfordern. So ist beispielsweise der Einsatz von Energiepotenzialen, die in niedrigen Temperaturbereichen liegen, nicht effizient, wenn im Gebäudeinneren der Einsatz von flächigen Niedertemperatursystemen nur eingeschränkt möglich ist. Hierbei muss schließlich auf Energieträger und -systeme zurückgegriffen werden, welche höhere Temperaturniveaus (> 55°C) effizient erzeugen können.

Die Vorgehensweise der Erhebung von Energiepotenzialen und deren Priorisierung wurde nach Leitfadenergie-nutzungsplan durchgeführt (vgl. [Hausladen et al., 2011], S.36ff).

Auf den folgenden Seiten wird gesondert auf die Themenbereiche Solarenergie (Solarthermie, Photovoltaik), Holzrecht (historisches Recht) und Windenergienutzung eingegangen, da dies bedeutende Fragestellungen für Iphofen sind.

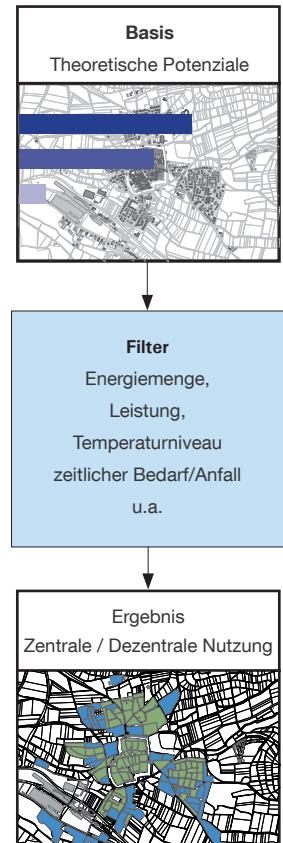


Abb. 60: Filterung Zentrale / Dezentrale Nutzung



### 2.5.1. Solarenergienutzung

Solarthermie und Photovoltaikanlagen sind gestaltprägende Elemente, die sich unmittelbar auf die Gebäude und das Ortsbild auswirken. In Quartieren ohne historischem oder denkmalgeschütztem Gebäudebestand sind dies wesentliche Elemente, die als Selbstverständlichkeit unsere heutigen Stadtbilder prägen. In historischen Quartieren ist jedoch ein angemessener Umgang mit diesen Elementen erforderlich. Hierbei ist zum einen angezeigt das überlieferte Erscheinungsbild von Gebäuden und Stadtansichten zu wahren und zum anderen ist der Einsatz regenerativer Energien ein wichtiges Ziel der Energiewende.

Die Ermittlung des theoretischen Solarpotenzials gibt eine erste Entscheidungsgrundlage wie mit dieser Thematik künftig in historischen Quartieren umgegangen werden soll (→ Abb. 61 und Abb. 64, S. 93).

Folgende grundlegende Aspekte sind zu beachten:

#### Solarthermie

Der Einsatz aktiver Solarenergienutzung ist davon abhängig, welches Konzept im Energienutzungsplan für die spätere Energieversorgung anvisiert wird. Soll die Energieversorgung überwiegend dezentral erfolgen, ist der Einsatz von Solarthermie in der Regel als positiv zu bewerten. Wird eine zentrale Lösung angestrebt, verlagern sich die Prioritäten. Der zu deckende Grundlastanteil (Sommerfall) ist ein entscheidender Parameter für den Ausnutzungsgrad und die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes. Wird in den Sommermonaten der Grundlastbedarf der angeschlossenen Gebäude durch individuelle solarthermische Anlagen bereitgestellt, mindert das die Effizienz des Netzes. Daraus ergibt sich, dass individuelle Solarthermie-Anlagen im Hinblick auf die Effizienz möglichst nicht mit grundlastversorgenden Wärmenetzen kombiniert werden sollten. Sie eignen sich daher eher für Gebiete mit dezentralen Lösungen. Wie im Kapitel 2.3 Energetische Einsparpotenziale historischer Stadtquartiere"

bereits erläutert, ist in historischen Quartieren die Energiebedarfsdichte aufgrund der hohen baulichen Dichte selbst unter Berücksichtigung umfassender denkmalverträglicher Sanierungen für die Umsetzung einer zentralen Wärmeversorgung (Betrieb eines Wärmenetzes) meist ausreichend hoch. Die Priorität liegt daher auf einer zentralen Wärmeversorgung (hohe Wärmeabnahmedichte auch in den Sommermonaten).

Daraus zeigt sich beispielsweise für die historische Altstadt von Iphofen, dass der Einsatz bzw. die Nachrüstung von Solarthermieanlagen als unterstützende Maßnahme im Falle eines Wärmenetzausbaus nicht angestrebt werden sollte. Dieser Aspekt wirkt sich zudem positiv auf den Denkmalschutz aus, da sich die Frage "des Grades des zulässigen Verbauens der Dachlandschaften in historischen Quartieren" nicht mehr gestellt werden muss.

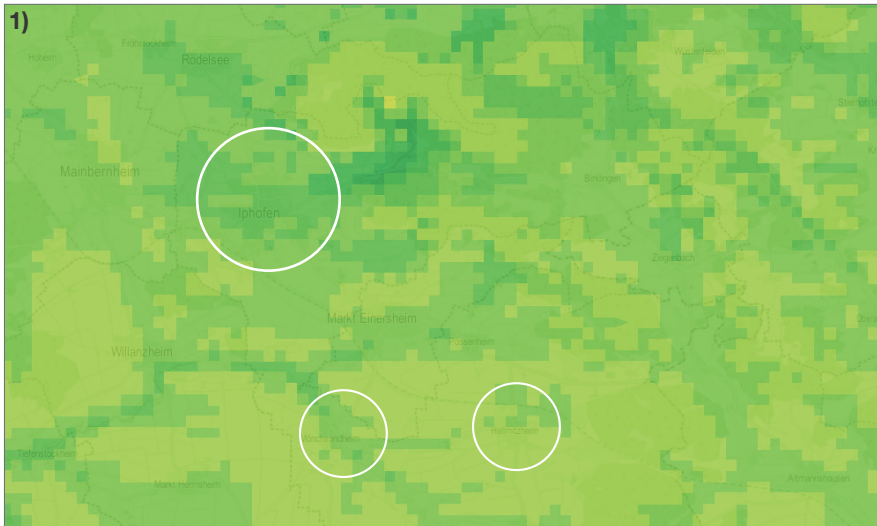
Kommt es allerdings zu keinem Ausbau des Nahwärmenetzes, ist die Anbringung einer Solarthermieanlage als unterstützende Maßnahme zur Reduzierung des Energiebedarfs des Gebäudes durchaus sinnvoll. Ob und inwieweit die Nichteinsehbarkeit von Solarthermieanlagen vom öffentlichen Straßenraum aus betrachtet, aus gemeindlichen und denkmalgeschützten Gesichtspunkten gewahrt werden muss, ist in der Kommune zusammen mit Stadtplanern anhand einer Einzelfallprüfung zu klären.

Hinsichtlich des theoretisch vorhandenen Solarpotenzials auf nicht bzw. nur schwer einsehbaren Dachflächen in der Iphöfer Altstadt (nur etwa 2 bis 3 % der eingestrahlten Solarenergie entfallen auf geeignete Dachflächen) (→ Abb. 62, 5)), ist anzumerken, dass der Ausbau von Solarthermie in der historischen Altstadt nur sehr geringe Einspareffekte im gemeindlichen Energiebedarf mit sich bringen würde. In den umliegenden Stadtgebieten, welche sich aufgrund der zukünftig zu erwartenden Energieabnahmedichten nicht für den Aufbau eines Wärmenetzes eignen (unter 150 MWh/ha-a bei einem Anschlussgrad von 100 %, (vgl. [Hausladen et al., 2011], S.48), ist der Einsatz von Solarthermie wiederum als sehr positiv zu bewerten.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Energieatlas Bayern] <http://www.energieatlas.bayern.de/> [Stand: 30.10.2012]

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheutschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011



**Grobanalyse: Solarpotenzial**  
Globalstrahlung im Jahresmittel  
(nach [Energieatlas Bayern])

- 1105 - 1119 kWh/m<sup>2</sup>
- 1090 - 1104 kWh/m<sup>2</sup>
- 1075 - 1089 kWh/m<sup>2</sup>
- 1060 - 1074 kWh/m<sup>2</sup>
- 1045 - 1059 kWh/m<sup>2</sup>

Nach Leitfaden Energienutzungsplan S. 117, Anhang 9: Strahlungszonen in Bayern [Hausladen et al., 2011]

Abb. 61: Potenzialverteilung Solareinstrahlung in unterschiedlichen Gemeindeteilen

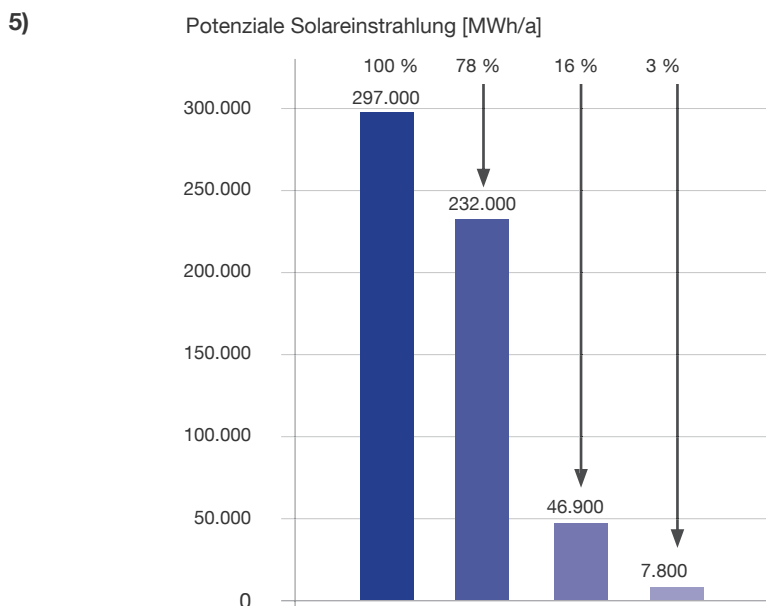


**Historische Stadtquartiere - Solarenergienutzung**

- 1) Klassifizierung Denkmalschutz
- 2) Landschafts- und Stadtbild
- 3) Aufnahme bestehender Anlagen
- 4) Untersuchung geeigneter Standorte nach Einsehbarkeit

**Potenzialberechnung als Entscheidungsgrundlage**

5) Als Diskussionsgrundlage für den Umgang mit aktiver Solarenergienutzung wurden verschiedene Potenzialverteilungen für die Gemeinde Iphofen berechnet:



- Gesamtpotenzial: Iphofen, Mönchsodheim, Hellmitzheim
- Iphofen
- Historische Altstadt
- Dachflächen schwer einsehbar (Historische Altstadt)

Abb. 62: Potenzialverteilung Solareinstrahlung in unterschiedlichen Gemeindeteilen



### Photovoltaik

Gebäude besitzen in historischen Altstadt-kernen, im Vergleich zu Ein- oder Mehrfamilienhaussiedlungen, aufgrund der dichten Bebauung sowie gegenseitiger Verschattungen in aller Regel nur einen verhältnismäßig geringen Anteil geeigneter Dachflächen zur Nutzung von Solarenergie. In der Regel werden, je nach Standort, etwa 10 m<sup>2</sup> Dachfläche benötigt, um den durchschnittlichen Jahresstrombedarf einer Person (ca. 1000 kWh/a) zu erzeugen. Oft werden die Dachflächen allerdings noch weiter minimiert, wenn eine satzungsmäßige Forderung nach Nichteinsehbarkeit vom öffentlichen Straßenraum aus besteht. Auch wenn PV-Anlagen auf Dachflächen heute vielerorts bereits zum gewohnten Anblick gehören, untersagen viele Satzungen in historischen Quartieren grundsätzlich die Anbringung von PV-Anlagen.

Als wichtigster Punkt neben der Bewahrung der historischen Dachlandschaften ist hierbei vor allem die Unterscheidung zwischen Strom- und Wärmeerzeugung zu nennen. Die Nutzung von Solarthermie ist ortsgebunden, wohingegen der Ort der Stromerzeugung keinen zwingenden Bezug zum Ort des Verbrauchs erforderlich macht.

Wird der Ausbau eines Wärmenetzes angestrebt und ist das Anbringen einer PV-Anlage laut Satzung in historischen Quartieren zu unterlassen, besteht für den Hauseigentümer keine Möglichkeit seine auch nicht einsehbaren Dachflächen für die Nutzung von Solarenergie zu nutzen. Dieses Verbot ist aus Sicht des Hauseigentümers sowie dessen Bereitschaft regenerative Energiesysteme zu unterstützen bzw. zu nutzen nicht optimal. Um dieses Potenzial dennoch nicht ungenutzt zu lassen, könnten für Bewohner eines historischen Quartiers etwaige Ausgleichsflächen zur Nutzung von Photovoltaikanlagen von der Gemeinde angeboten werden.

Da die Erzeugung von Strom nicht ortsgebunden ist, kann somit Bürgern die Möglichkeit eingeräumt werden (auch um etwaige Benachteiligungen durch strengere Auflagen für Bewohner alter hi-

storischer Bauten zu umgehen), trotzdem Vergütungen aus der Solarstromerzeugung zu erhalten.

Vorschläge bzw. ausgleichende Maßnahmen durch die Gemeinde hinsichtlich des Verbots der Nutzung von Dachflächen auf historischen Gebäuden:

- Zuteilung von Ausgleichsflächen auf Dachflächen von öffentlichen Gebäuden außerhalb des historisch wertvollen Gebäudebestands
- Möglichkeit der Beteiligung an öffentlichen Anlagen
- Beteiligung an Gemeinschaftsanlagen auf Schulen, Wertstoffhöfen, u.a.

Abwägung zwischen energetischen und denkmalpflegerischen Aspekten:

Würde beispielsweise in der Altstadt von Iphofen auf das Verbot der Dachflächen-nutzung komplett verzichtet werden und somit alle Dachflächen in der Altstadt zur Verfügung stehen, könnte das theoretische solare Einstrahlpotenzial auf etwa 16 % (bezogen auf die Stadtteile Iphofen, Hellmitzheim und Mönchsondheim) angehoben werden (→ Abb. 62, 5)).

Durch Vergleich von energetischem Hinzu-gewinn und Verlust von schützenswertem historischen Gebäudebestand lässt sich ein Mehrwert, welcher die Einbußen am Gesamtbild der Gebäude sowie eventuell entstehende touristische Nachteile rechtfertigen würde, auch bei rein rationaler Betrachtung, nicht feststellen. Das heißt denkmalpflegerische Aspekte, welche Ensembles schützenswerter Gebäude in dichtbebauten historischen Stadtquartieren zu bewahren versuchen, sollten in diesen Fällen priorisiert behandelt werden.

### 2.5.2. Holzrecht

In historischen Städten und Gemeinden besteht die Möglichkeit alte Rechte aus vergangenen Tagen vorzufinden, welche immer noch rechtmäßige Gültigkeit besitzen.

Als Beispiel für ein solches Recht, das in direktem Zusammenhang mit Energienutzung und -verwertung steht, stellt das sogenannte „Holzrecht“ in Iphofen dar. Während früher die gesamte Waldfläche mit Nutzungsrechten zur Energie- und Bauholzgewinnung versehen war, verloren im Zuge der Eingemeindungen die Holznutzungsrechte ihre Gültigkeit. In der Altstadt von Iphofen allerdings besteht für die Bürger immer noch das alte Holzrecht, da die Iphöfer nicht bereit waren dieses aufzugeben.

Unter bestimmten Voraussetzungen (siehe nachfolgend) erlaubt es dem Bürger nach Entrichtung einer sogenannten "Laubengebühr" ein von der Stadt unter Losvergebenes Waldareal zu nutzen und Holz für ein Jahr frei zu entnehmen. Im Durchschnitt können dabei, je nach Qualität des gelosten Areals, etwa 12-20 Raummeter Holz pro Jahr aus dem Wald entnommen werden.

#### Voraussetzungen für die Nutzung des Holzrechts

Damit das Recht auf Holz aus dem öffentlichen Wald genutzt werden kann, sind folgende Bedingungen zwingend zu erfüllen. Die Nutzer müssen

- Bürger Iphofens sein,
- Hauseigentümer in Iphofen sein und das Gebäude selbst bewohnen
- das Holz selbst verwerten, ein Weiterverkauf ist untersagt (Wärmeerzeugung und -verbrauch an einem Ort)

#### Waldwirtschaft und Holzrecht

Die Stadt Iphofen ist Eigentümer von etwa 2100 ha Wald. Die restlichen Flächen stammen aus Eingemeindungen. Der Anteil an Privatwald ist nur sehr gering. Die Wälder sind überwiegend intensiv gemischte Laubwälder, wobei nur etwa 8 % des Gehölzes mit Nadelbäumen durchsetzt ist. Rund 60 % der Waldfläche wird von Eichen dominiert

Insgesamt werden für die Holzrechte eine Waldfläche von etwa 380 ha zur Verfügung gestellt. In diesen sog. Mittelwaldgebieten kann das in etwa 30 Jahre alte Unterholz von den berechtigten Bürgern geschlagen werden; schöne Jungbäume bleiben stehen (ca. 54 Stück je Hektar).

#### Konzept der zentralen Verwertung des personengebundenen Holzrechts

Es existieren etwa 165 Holzrechte in Iphofen, wovon derzeit circa 65 % aktiv genutzt werden. Die „ruhenden“ Rechte sind meist aber ohne größeren Aufwand wieder zu reaktivieren, vorausgesetzt die Nutzungsbedingungen werden erfüllt. Bis auf wenige Ausnahmen konzentrieren sich die Holzrechte auf den Altstadtbereich, d.h. in vielen Bereichen der Altstadt fällt auf nahezu jedes zweite Hauptgebäude ein Holzrecht.

Hinsichtlich des Ergebnisses aus dem Energienutzungsplan ist ein Ausbau des Wärmenetzes in der Altstadt energetisch sinnvoll. In weiterführenden Untersuchungen wurden schließlich verschiedene Wärmenetz-Ausbau- und Anschluss-Szenarien in Verbindung mit einem zu erwartenden Sanierungsszenario betrachtet und wirtschaftliche Tendenzen aufgezeigt (→ Kap. 3.1.6, S. 103). Aus der Studie ist zu ersehen, dass der Ausbau des Wärmenetzes in der Altstadt aufgrund der immer noch hohen Wärmeabnahmedichten als die zu bevorzugende Wärmeversorgungsvariante darstellt.

Die zentrale Wärmebereitstellung in der Altstadt wird sich aber nur ökonomisch betreiben lassen, wenn ausreichende Anschlussgrade am Wärmenetz erreicht werden können. Zwar ist das Wärmenetz bei einem Anschlussgrad von 40 % noch in einem wirtschaftlichen Rahmen zu

betreiben, das Optimum für den Mindestwärmepreis liegt allerdings bei 70 % Anschlussgrad.

Um einen Anschlussgrad von 70 % zu erreichen, wird die Angliederung von Haushalten, welche für die Primärbeheizung ihr Holzrecht verwenden, jedoch vorausgesetzt. Da die örtliche Trennung von Wärmeerzeugung und -verbrauch derzeit aus rechtlichen Gründen unterbunden wird, ist die Herausforderung groß, Bürger mit Holzrecht zum Anschluss zu bewegen. Aus Gründen der Effizienz wäre es ungeachtet dessen sinnvoll das Holz aus den Holzrechten zusammenzufassen und die Wärme zentral zu erzeugen.

Die juristischen Einschränkungen sollten daher von Experten untersucht werden, welche Möglichkeiten der Anpassung zur Einbringung der Holzrechte bestehen, um das Potenzial zum Aufbau einer auf Biomasse basierten zentralen Wärmeversorgung nicht ungenutzt zu lassen (→ Kap. 2.4.2, S.81).

### 2.5.3. Windenergienutzung

Das Potenzial Wind kann für die Erzeugung von Strom genutzt werden. Im Zuge der Energiewende ist der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung ein wichtiges Ziel. Dadurch besteht in vielen Gemeinden eine hohe Nachfrage nach dem richtigen Umgang mit der Ausweisung von geeigneten Standorten für die Windenergienutzung. Die Untersuchung des Windenergiepotenzials im Rahmen eines Energienutzungsplans bietet eine erste Diskussionsgrundlage (→ Abb. 63). Für eine detaillierte Ermittlung des lokalen Standortpotenzials ist im Einzelfall zu klären, ob und in welchem Ausmaß Windenergieanlagen (WEA) realisiert werden können.

Um geeignete Flächen zu lokalisieren, sind neben den Windverhältnissen die Besitzverhältnisse im Bezug auf in Frage kommende Standorte und einzuhaltende Vorgaben, z.B. hinsichtlich des Abstands der Anlagen untereinander und zum bewohnten Gemeindegebiet ausschlaggebend. Gesetzlich gibt es derzeit noch keine geforderten Mindestabstände zu Wohngebäuden, es werden jedoch Abstandsempfehlungen gegeben [Runge], [IWR], [WindGuard et. al.]. Je nach Siedlungs- und Landschaftsstruktur weisen diese in der Regel eine Bandbreite von 500 bis 1.000 m aus.

In Abb. 63, 4) sind für Windkraftanlagen ungeeignete Flächen innerhalb der Gemeinde Iphofen dargestellt (blaue Flächen), wenn ein Mindestabstand von 500 m, 800 m und 1000 m zu Wohn- bzw. Hauptgebäuden eingehalten werden soll (Pufferzonen).

Für etwaige Abstandsflächen zu gemeindeexternen Wohngebäuden und sonstigen schützenswerten Bebauungen und Flächen sollten selbstredend die gleichen Mindestabstände veranschlagt werden wie innerhalb des eigenen Gemeindegebiets. Empfehlenswert ist daher die Festlegung geeigneter Standorte auch gemeindeübergreifend. Durch eine Bündelung von geeigneten Flächen können Standorte zentriert und der Flächenbedarf somit reduziert werden.

Die Landschaftsbereiche historischer Städte und Gemeinden erfordern einen angemessenen Umgang bei der Ausweisung von geeigneten Standorten. Die Nutzung von Windenergie in den umliegenden Landschaften von historischen Städten wird zwischen Denkmalschutz, Energieexperten, Politik und Bürgern teils sehr kontrovers diskutiert. Darum ist es ein wichtiges Ziel über eine übergeordnete Regionalplanung geeignete Standorte auszuweisen.

Im Rahmen der Windpotenzialuntersuchung in der Gemeinde Iphofen wurden sogenannte Windkonzentrationszonen ermittelt. Neben der Einbeziehung relevanter Flächen und Schutzgebiete (Flächendenkmale, FFH-Gebiete, u.a.) aus verschiedenen Plänen (z.B. Flächennutzungsplan) sowie der Windverhältnisse nach dem Windatlas Bayern [Windatlas Bayern] wurden zur Identifizierung der Konzentrationszonen zudem gängige Mindestabstandsflächen zu Stromleitungen (300 m), Straßen und Bahnlinien (200 m) angesetzt.

Nach Verschmelzung dieser Ausschlussflächen mit den Pufferzonen der Wohn- bzw. Hauptgebäude (500 m, 800 m, 1000 m) sowie der Überlagerung der Windgeschwindigkeiten können so für das Gemeindegebiet Iphofen Vorzugsgebiete zur Windkraftnutzung ausgewiesen werden. Ausgeschlossen wurden dabei sehr kleinteilige Flächen, um zu vermeiden, dass zu vereinzelt oder sehr verstreut Anlagen umgesetzt werden. Darüberhinaus wurden theoretisch geeignete Flächen weggelassen, die das Landschaftsbild prägend negativ beeinflussen. In Iphofen ist neben der historischen Altstadt auch die Landschaft mit den umliegenden Weinbergen ein wichtiger Anziehungspunkt für den Tourismus.

Die Untersuchung der durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten in Iphofen ergab für eine Höhe von 80 m (typische Nabenhöhe einer mittleren WEA) je nach Standort Jahresmittelwerte zwischen 4,3 und 5,2 m/s. Befindet sich die Nabenhöhe bereits auf 140 m Höhe über Grund, werden bereits mittlere Windgeschwindigkeiten von 4,9 bis 6 m/s erreicht [Windatlas Bayern]. Der Unterschied der Windge-

schwindigkeiten in diesen zwei Höhen ist nicht sehr groß, dennoch führt die Zunahme zu deutlich höheren Energieerträgen, da die Leistung mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit zunimmt. Im Allgemeinen beginnt eine Windkraftanlage, je nach Anlagentyp, bei circa 3 m/s an zu arbeiten.

Nach Überlagerung aller relevanter Daten der Untersuchung ergeben sich für das Gemeindegebiet Iphofen für einen Mindestabstand zu Wohnbebauungen von 800 m insgesamt vier Flächen bzw. zwei Flächen bei 1000 m. Mögliche Windkonzentrationszonen für die Gemeinde Iphofen veranschaulicht Abb. 63, 5). Diese werden in einem FNP-Verfahren zur Ausweisung von Windkonzentrationszonen aufgenommen.

Die frühzeitige Einbindung aller beteiligten Akteure und Fachexperten (Denkmalschutz, Regionalplanung, Politik, Energie etc.) ist ein wichtiger, nicht zu unterschätzender Punkt hinsichtlich der Durchsetzbarkeit eines Energiekonzepts. Bei der Erstellung des Energienutzungsplans wie auch bei anderen (größeren) Vorhaben sollten immer partizipative Prozesse zwischen Gemeinde und Bürgern stattfinden. Eine frühe Beteiligung der Bürger kann das persönliche Interesse und Engagement sowie die Akzeptanz bezüglich eines Projekts wesentlich steigern. Vor allem das Thema Windkraft wurde in den Medien bereits vielfach kontrovers diskutiert. Deshalb ist es um so wichtiger von Beginn an eine objektive und offene Argumentationsbasis mit Bürgerbeteiligung zu praktizieren, um den Nährboden für eine Ablehnung "aus Prinzip" erst gar nicht entstehen zu lassen.

Quellen & Hintergrundinformationen:

In Bayern gibt der Bayerische Windatlas eine erste Hilfestellung bei der Frage ob vor Ort eine Windkraftanlage sinnvoll ist.

[Windatlas Bayern] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT) (Hg.): Bayerischer Windatlas, München 2010, URL: [http://www.stmwivt.bayern.de/fileadmin/Web-Dateien/Dokumente/energie-und-rohstoffe/Bayerischer\\_Windatlas.pdf](http://www.stmwivt.bayern.de/fileadmin/Web-Dateien/Dokumente/energie-und-rohstoffe/Bayerischer_Windatlas.pdf) [Stand: 10.12.2010]

[Runge] Runge, K: Repowering von Windenergieanlagen und Abstandsempfehlungen der Länder, URL: [http://www.oecoc.com/Runge-Repowering-HbE-4\\_1\\_06.pdf](http://www.oecoc.com/Runge-Repowering-HbE-4_1_06.pdf) [Stand: 20.12.2010]

[IWR] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR): Planungsaspekte im Vorfeld von WEA-Vorhaben, URL: [http://www.iwr.de/wind/raum/r\\_vorgab.html](http://www.iwr.de/wind/raum/r_vorgab.html) [Stand: 20.12.2010]

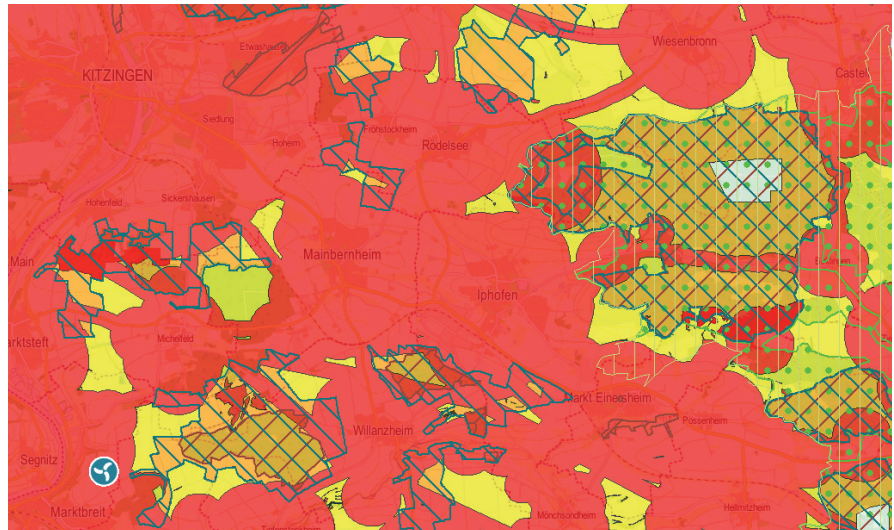
[WindGuard et. al.] Deutsche WindGuard GmbH, Windenergieagentur Bremen/Bremerhaven e.V. (Auftraggeber), Bundesverband Windenergie e.V. (Auftraggeber): Auswirkungen neuer Abstandsempfehlungen auf das Potenzial des Repowering am Beispiel ausgesuchter Landkreise und Gemeinden, Varel 2005, URL: [http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Repowering/WAB-WindGuard\\_Repowering\\_Studie.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Repowering/WAB-WindGuard_Repowering_Studie.pdf)



**Grobanalyse: Ebene Landkreis**

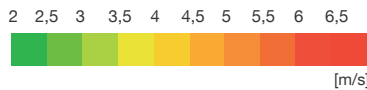
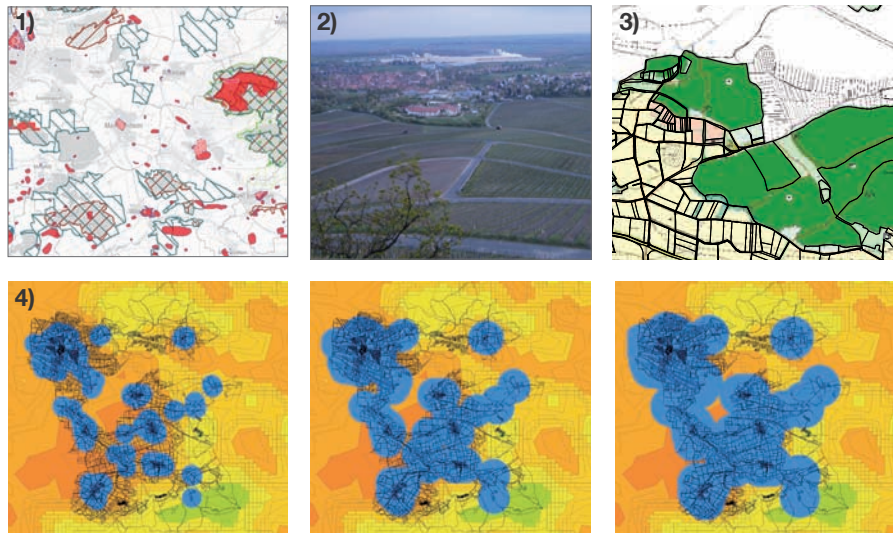
Gebietskulisse Wind und Überlagerung mit Naturschutzgebieten, Landschaftsschutzgebieten, FFH-Gebieten, Vogelschutzgebieten, Naturparken für eine erste Grobeinschätzung (nach [Windatlas Bayern])

- für WKA voraussichtlich mögliche Flächen (Windgeschwindigkeit 4,5 bis 4,9 m/s)
- für WKA voraussichtlich mögliche Flächen (Windgeschwindigkeit > 5 m/s)
- für WKA im Einzelfall mögliche Flächen
- Vogelschutzgebiete (SPA). WKA im Regelfall ausgeschlossen
- für WKA voraussichtlich nicht mögliche Flächen
- Windgeschwindigkeit < 4,5 m/s



**Analyse der Gemeindestruktur**

- 1) umliegende Schutzgebiete
- 2) umliegendes Landschaftsbild von Iphofen
- 3) Denkmalschutzstatus z.B. Flächendenkmale
- 4) Untersuchung geeigneter Standorte nach Windgeschwindigkeiten und Abständen zu Wohn- bzw. Hauptgebäuden



**Flächenausweisung**

- 5) Diskussion und Festlegung geeigneter Standorte mit einer Pufferzone von 800 m unter Berücksichtigung der vorhergehenden Untersuchungen (FNP Verfahren)
  - Windpotenzial
  - Flächenkonzentration
  - Prägung Landschafts- und Stadtbild

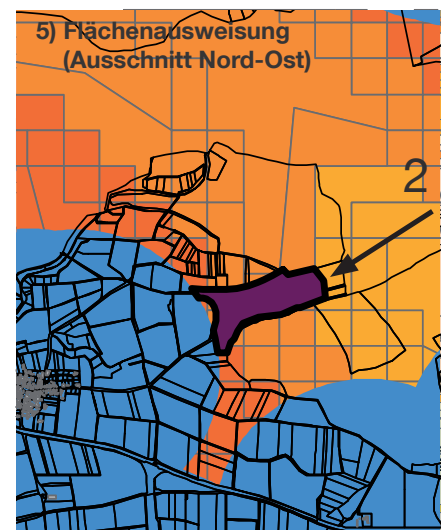
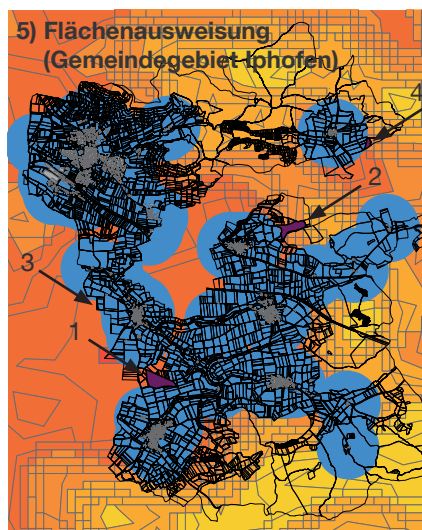


Abb. 63: Schritte zur Findung von geeigneten Windkonzentrationszonen (WKZ) auf dem Gemeindegebiet Iphofen

2.5.4. Exkurs Iphofen: Erneuerbare Energiepotenziale im Gemeindegebiet

Das Balkendiagramm rechts (→ Abb. 64) zeigt den aktuellen Gesamt-Wärme- und Gesamt-Strombedarf (IST-Zustand) sowie eine Übersicht der energetischen Potenziale im Gemeindegebiet Iphofen.

Für das Solarpotenzial wurden alle zur Solarenergienutzung geeigneten Dachflächen in der Gemeinde berücksichtigt.

Dafür wurde ein Nutzungsszenario angesetzt, das von einem maximalen Deckungsanteil des Wärmebedarfs durch Solarthermie von 25 % ausgeht. Die dann noch verbleibenden Dachflächen werden zur Nutzung durch Photovoltaik veranschlagt.

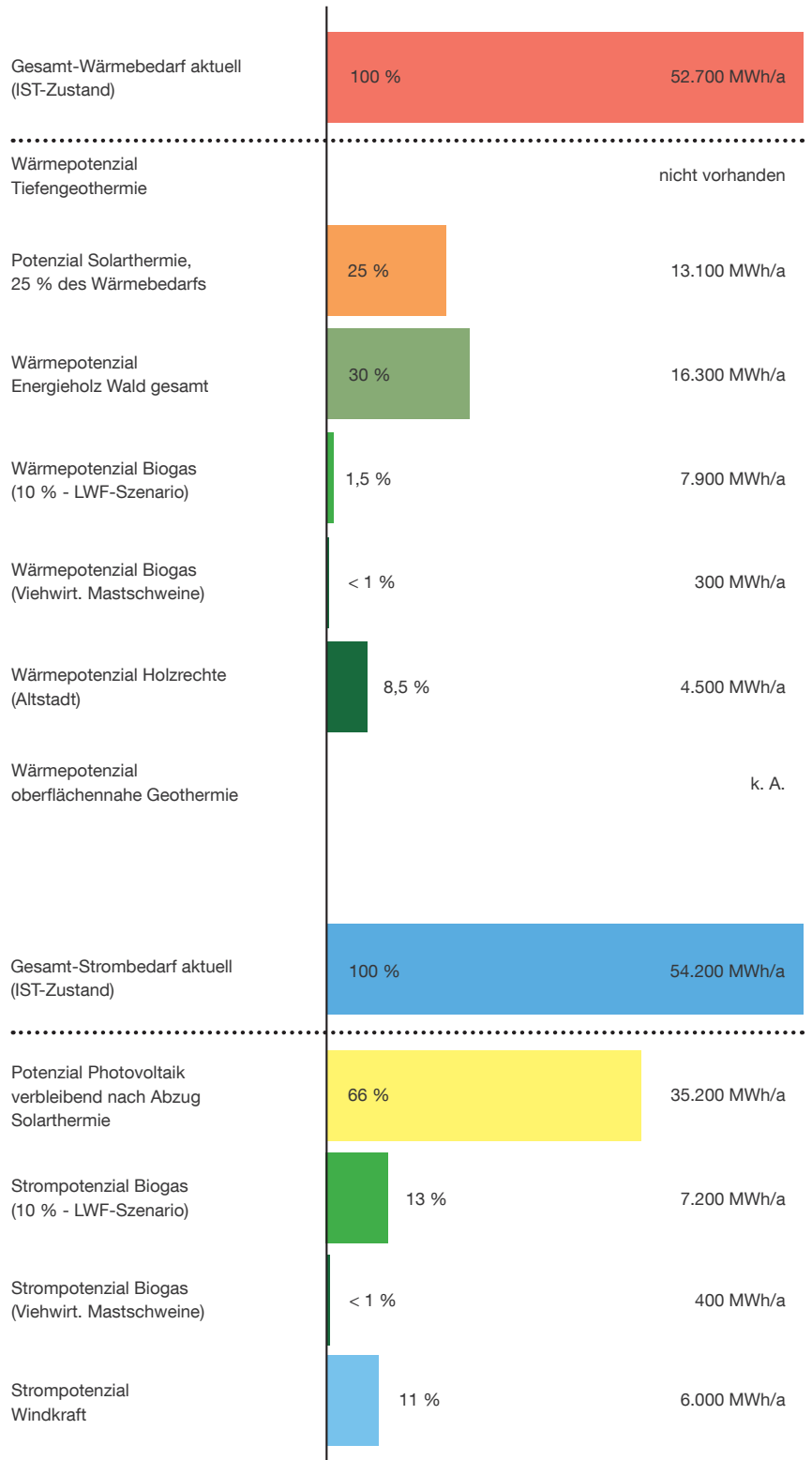
Die Verteilung des Potenzials der gesamten Solareinstrahlung in unterschiedlichen Gemeindeteilen von Iphofen zeigt Abb. 63, S.87.

Das Biogas-Potenzial basiert auf einer Nutzung von 10 % der gesamten landwirtschaftlichen Flächen, in Anlehnung an den derzeit in Deutschland zur Energieerzeugung in Anspruch genommenen Anteil.

Das vorhandene Gesamtpotenzial für oberflächennahe Geothermie kann aufgrund unzureichender Datenlage nicht ermittelt werden.

Aufgrund nicht vorhandener geeigneter Standorte für Tiefengeothermieanlagen (Vorzugsgebiet für Tiefengeothermie) ist kein Tiefengeothermiepotenzial vorhanden.

Übersicht Potenziale (Gemeinde Iphofen)



Die Daten wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts ermittelt. Für die Richtigkeit der Daten besteht keine Gewähr.

Abb. 64: Übersicht Potenziale (Gemeinde Iphofen)

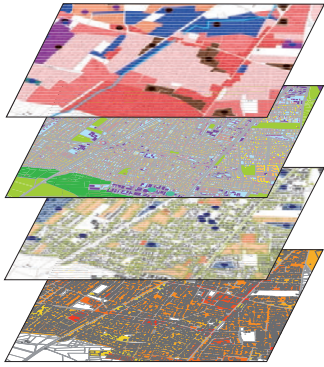


Abb. 65: Schritte zum Konzept - Überlagerung verschiedener Karten und Ergebnisse

### 3. Konzepte

Ziel eines nachhaltigen Energiekonzepts für historische Quartiere ist die Verknüpfung von bestehenden und erhaltenswerten Gegebenheiten mit neuen zeitgemäßen Technologien unter Ausnutzung kommunaler, erneuerbarer Energiepotenziale.

Grundlage für die Konzeptentwicklung ist die Bestands- und Potenzialanalyse. Durch iterative Filterung im Rahmen der Voranalyse können mögliche Handlungsgebiete zu Energieeinsparung, Energieeffizienzsteigerung und erneuerbarer Energieversorgung aufgezeigt werden (→ Abb. 66).

Die Konzeptentwicklung gliedert sich in vier Schritte:

In einem ersten Schritt ist zu klären, welche Gebiete sich für eine zentrale oder dezentrale Versorgung eignen (→ Abb. 66). Hierbei wird neben dem aktuellen Wärmebedarf auch der zukünftige Wärmebedarf betrachtet. Der zukünftige Bedarf berücksichtigt die Reduzierung der Energieabnahmedichte durch Gebäudesanierungen. Für die Identifizierung von geeigneten Gebieten für zentrale Versorgungskonzepte kann der überschlägiger Schwellenwert von 150 MWh/(ha·a) herangezogen werden [Hausladen et al., 2011, S. 48]. Die KfW fördert regenerativ betriebene Nahwärmenetze ab einer Energieabnahmedichte von 0,5 MWh/(trm·a). Die Fördergrenze des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten liegt bei mindestens 1,5 MWh/(trm·a).

Überschlägiger Schwellenwert der Wärmebedarfsdichte zur Identifizierung von für Wärmenetze grundsätzlich geeigneten bzw. ungeeigneten Gebiete:  
**150 MWh/(ha·a) oder  
 > 1,5 MWh/(trm·a)**

Diese Schwellenwerte können aber immer nur einer ersten Annäherung bei der Konzeption von Wärmenetzen genügen. Insbesondere für Niedertemperatur-Wärmenetze (NT-NWN) oder bei Abwär-

me, die kostenlos bzw. zu sehr günstigen Konditionen angeboten wird, sind auch Ergebnisse denkbar, welche trotz Unterschreitung des Schwellenwerts dennoch wirtschaftlich interessant sein können.

In die Analyse müssen folgende Aspekte einfließen:

- Energieabnahmedichte in MWh/(ha·a) bzw. MWh/(trm·a)
- Sanierungsstand Gebäude und Technik
- Siedlungsentwicklung, Nachverdichtung und künftige Neubaugebiete

Darauf aufbauend kann im zweiten Schritt durch entsprechende Filterung und Analysen etwaige Handlungsoptionen sowie der Handlungsbedarf aufgezeigt werden:

- Erneuerbare Energiepotenziale ortsgebunden / nicht ortsgebunden in Verbindung mit der Nutzbarkeit
- vorhandene Energieinfrastruktur
- benötigte Temperaturniveaus,
- Alter und Art der vorhandenen Anlagentechnik
- Überlagerung von Gebieten, die sich für eine zentrale Versorgung eignen in Verbindung mit Quartieren in denen überwiegend veraltete Anlagentechnik vorzufinden ist (dadurch wird das zeitliche Handlungspotenzial für den Ausbau von Nahwärmenetzen ersichtlich)
- Potenzial zum Ausbau oder Effizienzsteigerung vorhandener Energieinfrastruktur auf städtebaulicher Ebene, wie z.B. Nahwärmenetze oder Biogasanlagen ohne Wärmekonzept
- Höchst- und Grundlast vorhandener Wärmeerzeuger von z.B. bestehenden Nahwärmenetzen
- saisonale oder kurzfristige Schwankungen bzw. Verfügbarkeit

In der dritten Phase der Konzeptentwicklung werden Konzeptvarianten entwickelt und bewertet.

Ein sinnvolles Konzept zeichnet sich durch die Abstimmung der Temperaturniveaus,



der technischen Systeme im Gebäude und der Energieversorgung aus. Durch die Priorisierung und Zuordnung der Energiepotenziale nach erforderlicher Energiemenge, Leistung, Temperaturniveau und zeitlichem Anfall bzw. Bedarf können so Grobkonzepte entwickelt werden.

Schließlich wird in einem vierten Schritt anhand unterschiedlicher Abwägungs- und Entscheidungsprozesse in der Kommune ein Energienutzungsplan formuliert. Konfliktpotenziale bzw. sinnvolle Ergänzungen sollen so identifiziert werden. Zusätzlich sollten vertiefte Bewertungen in den Entscheidungsprozess mit einfließen. Das heißt, bei weiterer Bearbeitung bzw. konkreten Umsetzungswünschen erfolgen diese auf Basis ökologischer und wirtschaftlicher sowie regional wertschöpfender Gesichtspunkten, aus denen letztlich konkrete, raumbezogene Maßnahmen hervorgehen. Dies ist insofern sinnvoll, da hierdurch beispielsweise bereits erste wirtschaftliche Abschätzungen von Varianten ersichtlich werden. Teure konkrete Umsetzungsplanungen müssen an dieser Stelle noch nicht zwangsweise beauftragt werden.

Als Hilfestellung für erste Abschätzungen bestimmter Szenarien auf kommunaler Ebene wurden am Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik der Technischen Universität München die unten stehenden softwaregestützten Berechnungstools entwickelt. (→ Kap. 2.2.5, S.24)

- GemEB (Gemeinde-Energieberatung) (Bilanzierungssoftware zur Abschätzung des Ist- bzw. des zukünftigen Wärmebedarfs je Gebäude anhand unterschiedlicher Sanierungsszenarien)

- rF-Wärme (Robert-Fröhler-Wärme) (Software zur Dimensionierung eines Wärmesetzes "Dieses dimensioniert einerseits das Verlegenetz auch über große Distanzen, andererseits berechnet es sofort die entstehenden Bau- und Betriebskosten" ([Hausladen et al., 2012], S.52)

Die Konzeptentwicklung in Iphofen, sowie die folgenden allgemeinen Untersuchungen zu kleinen Wärmesetzen wurde unterstützend mithilfe dieser zwei Softwaretools durchgeführt.

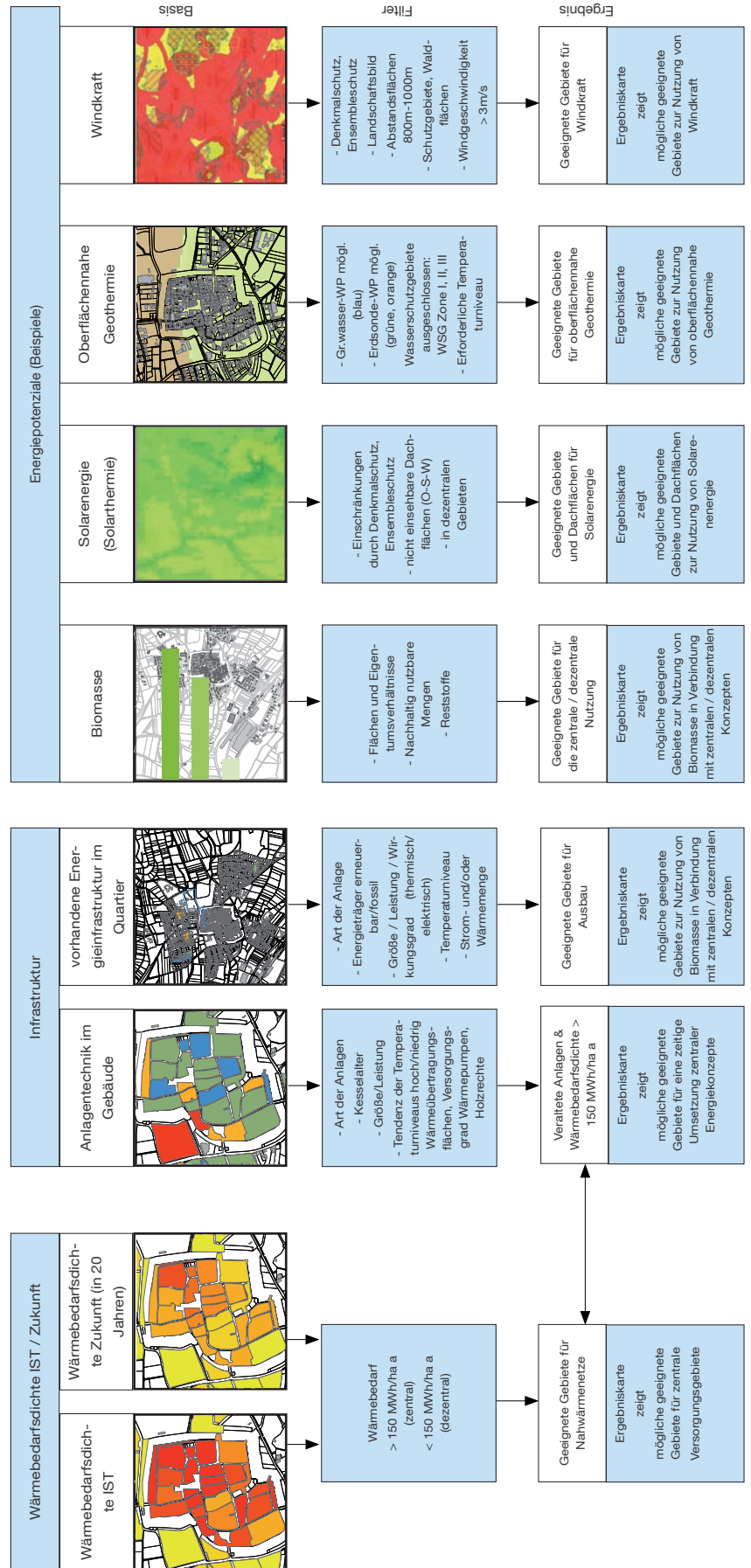


Abb. 66: Anwendung der Filterung anhand der Wärmebedarfsdichtekarte, Infrastruktur und Energiepotenziale



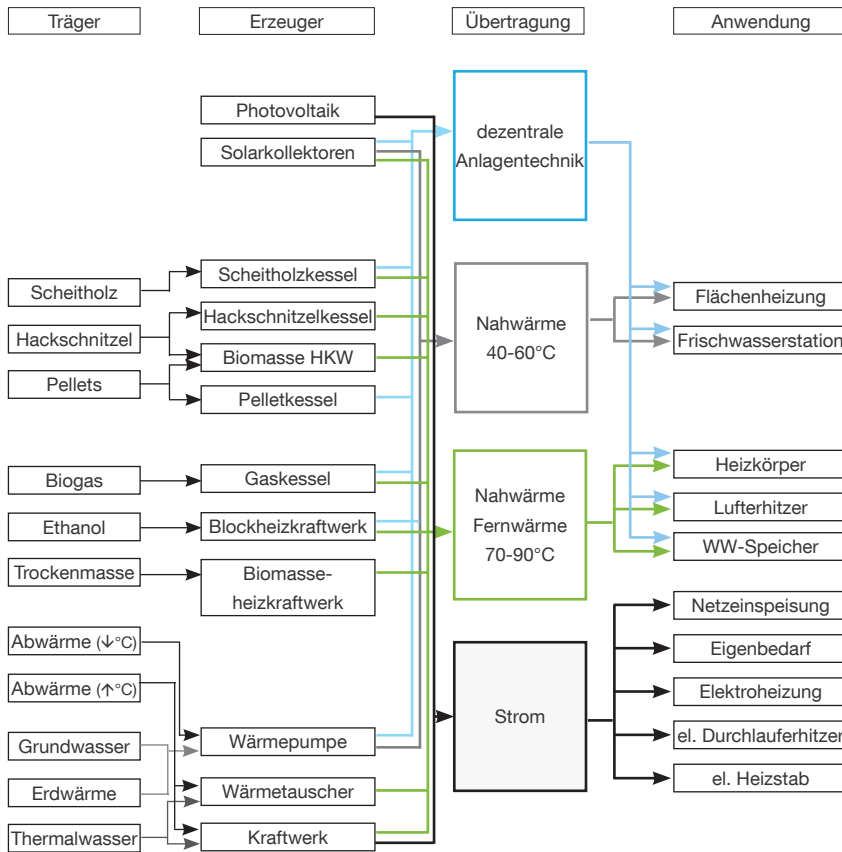


Abb. 67: Adaption von neuen und bestehenden Anlagekomponenten - erneuerbare Energieträger

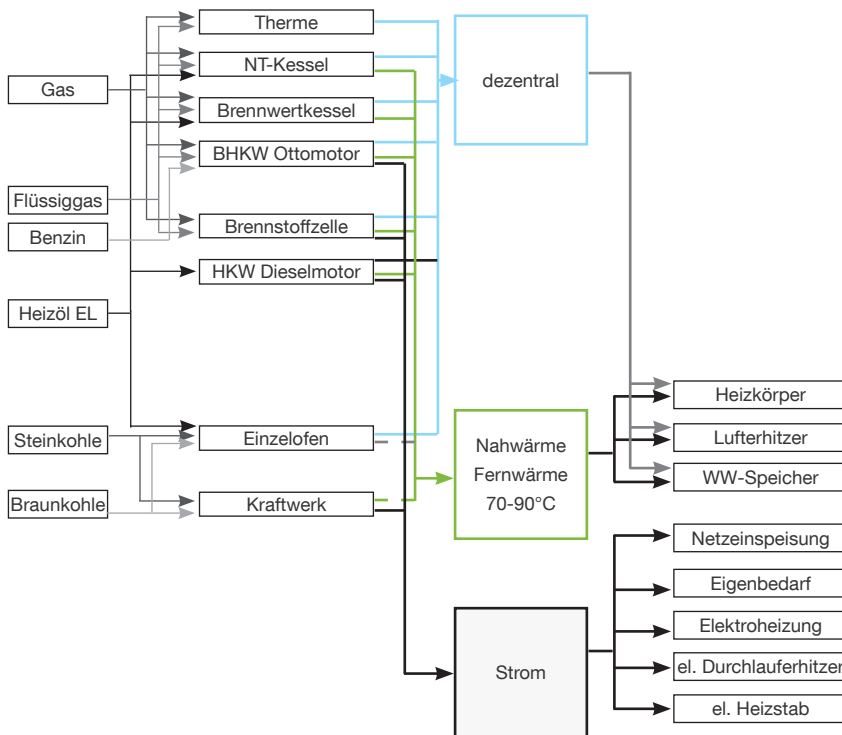


Abb. 68: Adaption von neuen und bestehenden Anlagekomponenten - fossile Energieträger

### 3.1. Wärmenetze in historischen Quartieren

Historische Bodenbeläge (Kopfsteinpflaster) in Altstadtquartieren lassen sich meist problemlos öffnen und wieder herstellen. Die Kosten hierfür weichen nicht oder nur geringfügig von den Kosten einer Asphaltdeckung ab. Kostensteigernd wirken sich allerdings geringe Platzverhältnisse in engen Altstadtgassen für die Trassenführung und den Baubetrieb, sowie Bodendenkmäler im Untergrund aus. Hier muss gegebenenfalls auf Sonderlösungen oder eine alternative Trassenführung z.B. auch über Privatgrund zurückgegriffen werden.

Einen entscheidenden Einfluss für die Auslegung eines Wärmenetzes hat die zu erwartende Wärmedichte des zu versorgenden Gebiets. Ist im Verhältnis zur Länge der Netzleitungen die Wärmeabnahme zu gering, führt dies zu sinkendem Durchfluss und niedrigeren Fließgeschwindigkeiten. Dies wiederum führt zu steigenden Netzverlusten und sinkender Effizienz.

Als Kenngröße für die Wirtschaftlichkeit ist der Mindestwärmepreis (Gewinnschwelle) für die simulierten Netzvarianten entscheidend. Als Anhaltspunkt werden Mindestwärmepreise von 90 €/MWh als gerade noch wirtschaftlich eingestuft. Der Übergang ist jedoch fließend. Im Mindestwärmepreis enthalten sind sämtliche anfallenden Netto-Kosten. Unberücksichtigt bleiben Förderprogramme und das hydraulische Optimierungspotenzial des Wärmenetzes.

### 3.1.1. Einflussfaktoren auf Wärmenetze geringer baulicher Dichte

In Abb. 71 ist das Wärmenetz "Ismaning FH" aus der Studie [Hausladen et al., 2012] dargestellt. Das Siedlungsgebiet aus den 50er und 60er Jahren ist überwiegend mit Einfamilienhäusern bebaut und weist deshalb trotz relativ schlechtem energetischen Standard der einzelnen Gebäude eine geringe Wärmedichte auf.

In Abb. 69 sind die Mindestwärmepreise für dieses Wärmenetz dargestellt. Dabei zeigt die untere Kurve (grau) das Verhalten des Mindestwärmepreises für den Ist-Zustand bei den Anschlussgraden 30, 50, 70 und 90 %. Die obere Kurve (grün) gibt entsprechend die Ergebnisse für das energetisch sanierte Siedlungsgebiet an. Angenommen wurde hier eine Vollsanierung aller Gebäude entsprechend der Vorgaben der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009). Die Balken zeigen dabei die spezifischen Kosten aufgeschlüsselt in Investition, Wartung und Verbrauch.

Dabei zeigt sich, dass der Einfluss der energetischen Sanierung und der Anschlussgrad entscheidend für die Wirtschaftlichkeit dieses Wärmenetzes ist. Ist die Wirtschaftlichkeit im Ist-Zustand ab einem Anschlussgrad von unter 50 % in Frage zu stellen, zeigen sich im Zukunftsszenario bereits bei 90 % Anschlussgrad unwirtschaftliche Werte. Der Mindestwärmepreis steigt zudem mit abnehmendem Anschlussgrad deutlich stärker an als beim Ist-Zustand.

Die Wirtschaftlichkeit eines kleinen Wärmenetzes (ca. 8.000 trm) hängt bei Siedlungsgebieten mit einer geringen baulichen Dichte in einem erheblichen Maß vom zu erwartenden Anschlussgrad, der zukünftigen Entwicklung der energetischen Sanierung und der Energiebereitstellung ab.

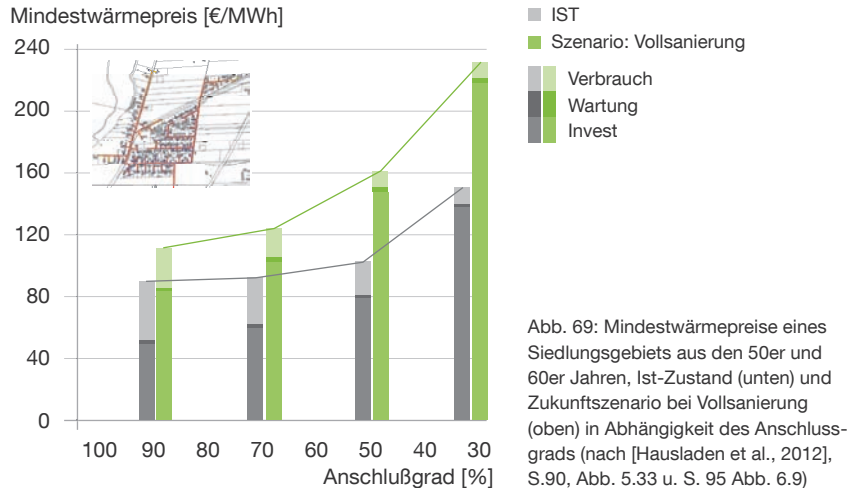


Abb. 69: Mindestwärmepreise eines Siedlungsgebiets aus den 50er und 60er Jahren, Ist-Zustand (unten) und Zukunftsszenario bei Vollsanierung (oben) in Abhängigkeit des Anschlussgrads (nach [Hausladen et al., 2012], S.90, Abb. 5.33 u. S. 95 Abb. 6.9)

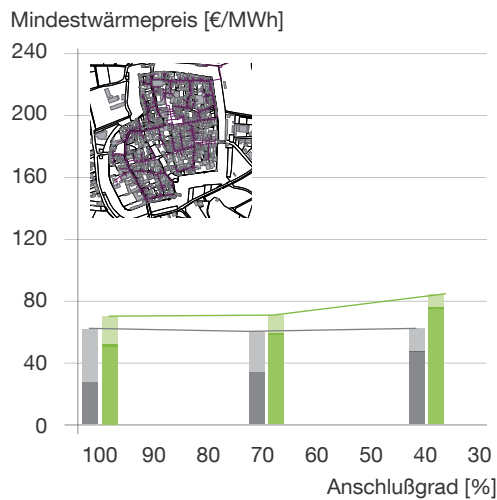


Abb. 70: Mindestwärmepreise der Altstadt Iphofen, Ist-Zustand (unten) und Zukunftsszenario bei Vollsanierung (oben) in Abhängigkeit des Anschlussgrads

	Ismaning FH:	Altstadt Iphofen:
Trassenmeter	7.519 trm	8.144 trm
Grundlast (Abwärme)	5 €/MWh	5 €/MWh
Spitzenlast (Gas)	40 €/MWh	40 €/MWh
Anschlussgrad	70 %	70 %

Tab. 10: Randbedingungen und Ergebnisvergleich bei einem Anschlussgrad von 70 % der beiden Netze "Ismaning FH" [Hausladen et al., 2012] und "Altstadt Iphofen"

	Ist-Zustand	Zukunftsszenario
Wärmeumsatz	4.943 MWh/a	10.436 MWh/a
Spitzenlast Gas	29 %	27 %
Netzverlust	22 %	13 %
Gewinnschwelle	93 €/MWh	61 €/MWh
Sanierung	1,5 %/a	1,5 %/a (bis 2035)
Wärmeumsatz	k.A.	9.129 MWh/a
Spitzenlast Gas	k.A.	21 %
Netzverlust	k.A.	14 %
Gewinnschwelle	k.A.	62 €/MWh
Sanierung	100 %	100 %
Wärmeumsatz	3.289 MWh/a	6.064 MWh/a
Spitzenlast Gas	9 %	5 %
Netzverlust	32 %	19 %
Gewinnschwelle	122 €/MWh	70 €/MWh

Quellen & Hintergrundinformationen:  
 [Hausladen et al., 2012] Hausladen, G., Zadow O., Fröhler R., Vohlidka P., Schinabeck J.: Eneff:Wärme Pilotprojekt Ismaning - Energieleitplanung, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), Stand 24.09.2012, Frankfurt am Main, 2012



Abb. 71: Wärmenetz "Ismaning FH", Siedlungsgebiet aus den 50er und 60er Jahren [Hausladen et al., 2012]



Abb. 72: Wärmenetz "Altstadt Iphofen"

### 3.1.2. Einflussfaktoren auf Wärmenetze hoher baulicher Dichte

Siedlungsgebiete mit einer hohen baulichen Dichte, wie sie oftmals in historischen Stadtquartieren vorzufinden ist, zeigen nur einen geringen Einfluss hinsichtlich Anschlussgrad und Sanierungsrate auf die Wirtschaftlichkeit einer Netzversorgung. Dies soll der folgende Vergleich der beiden Wärmenetze "Ismaning FH" (→ Abb. 71) und "Altstadt Iphofen" (→ Abb. 72) veranschaulichen.

Dazu wird das Netz der Altstadt Iphofen ebenfalls mit den Randbedingungen aus der Studie ([Hausladen et al., 2012]) berechnet. Die Netzausbaukosten und die Investitionskosten für die Wärmeerzeugung werden hier über alle Anschlussgrade in voller Höhe angesetzt. Hausübergabestationen werden nur im Fall des Anschlusses an das Wärmenetz angerechnet. Die Randbedingungen und Ergebnisse werden in Tabelle 10 gegenübergestellt.

Beide Netze bewegen sich mit etwa 8 km Trassenlänge in einer vergleichbaren Größenordnung. Auch die Aufteilung Spitzenlast zu Grund- bzw. Mittellast ist mit etwa 30 % zu 70 % bei einem Anschlussgrad von 70 % im Ist-Zustand vergleichbar. Für den Vergleich wird der Grundlastanteil beider Netze aus Abwärme für 5 €/MWh gedeckt. Der Gaspreis (Spitzenlast) wird mit 40 €/MWh angesetzt.

Aufgrund der höheren baulichen Dichte weist das Netz "Altstadt Iphofen" einen fast doppelt so hohen Wärmeumsatz auf. Dies macht sich auch in den Netzverlusten bemerkbar. So liegen diese bei einem Anschlussgrad von 70 % im Netz "Ismaning FH" bei 22 %, im Netz "Altstadt Iphofen" bei 13 %.

Für den Ist-Zustand errechnet sich somit ein Mindestwärmepreis von 93 €/MWh bei einem Anschlussgrad von 70 % im Netz "Ismaning FH" und 61 €/MWh im Netz "Altstadt Iphofen" (→ Tab. 10). Der deutlich geringere Mindestwärmepreis in Iphofen lässt sich dabei auf die prozentual geringeren Netzverluste zurückführen.

Im Vergleich zu Abb. 69 wird in Abb. 70 die Mindestwärme für das Netz "Altstadt Iphofen" dargestellt. Die untere Kurve (grau) zeigt wieder das Verhalten des Mindestwärmepreises für den Ist-Zustand bei den Anschlussgraden 40, 70 und 100 %. Die obere Kurve (grün) gibt entsprechend die Ergebnisse für das energetisch sanierte Siedlungsgebiet an. Angenommen wurde auch hier eine Vollsanierung aller Gebäude.

Das Netz reagiert unter den o.g. Randbedingungen unempfindlich auf das Vollsanierungsszenario und auf einen abnehmenden Anschlussgrad. So besitzt auch das Zukunftsszenario für alle Anschlussgrade wirtschaftliche Werte.

Es zeigt sich ein deutlicher Anstieg der spezifischen Investitionskosten. Dieser Anstieg wird jedoch durch die fallenden Kosten für den Verbrauch nahezu aufgefangen. Dies liegt vornehmlich daran, dass der Anteil der zur Verfügung stehenden kostengünstigen Abwärme absolut gleich bleibt. Der Anteil der mit Gas erzeugten "teuren" Wärme nimmt somit mit abnehmendem Anschlussgrad erheblich ab und wirkt dem Effekt der steigenden Netzverluste und spezifischen Investitionskosten entgegen (vgl. hierzu Abb.89 und 92, S.108).

Quellen & Hintergrundinformationen :

[Hausladen et al., 2012] Hausladen, G., Zadow O., Fröhler R., Vohlidka P., Schinabeck J.: Eneff:Wärme Pilotprojekt Ismaning - Energieleitplanung, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.). Stand 24.09.2012, Frankfurt am Main, 2012

[Hinz, 2011] Hinz, E.: Kosten energetischer Modernisierungen im Gebäudebestand, IWU Institut Wohnen und Umwelt, Vortrag in Wels am 03.03.2011, URL: [http://www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2011/download\\_presentations/32\\_Hinz.pdf](http://www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2011/download_presentations/32_Hinz.pdf)

### 3.1.3. Anschlussgrad/Sanierung/Energiebereitstellung

Um den Einfluss der Energiebereitstellung näher zu betrachten, wird im Weiteren für das Wärmenetz "Altstadt Iphofen" der Mindestwärmepreis verschiedener Varianten der Energieerzeugung berechnet.

In den betrachteten Varianten wird jeweils der Grund- und Mittellastanteil von 1300 kW<sub>th</sub> auf verschiedene Arten bereit gestellt.

In Variante 1 steht wie zuvor Abwärme zu 5 €/MWh zur Verfügung.

In Variante 2 wird die Grund- und Mittellast über ein Hackschnitzelheizwerk gedeckt. Die Hackschnitzel werden nachhaltig lokal zu 26 €/MWh bereit gestellt.

In Variante 3 wird schließlich die gesamte Wärme über Gaskessel bereit gestellt. Der Gaspreis beträgt auch in den Varianten 1 und 2 40 €/MWh.

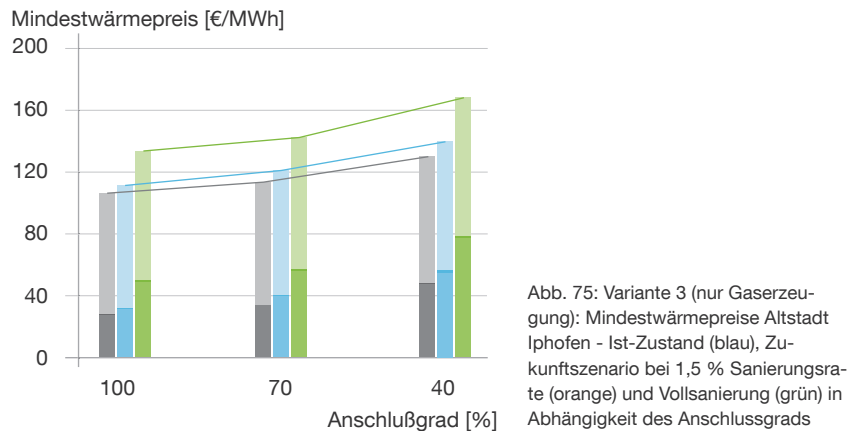
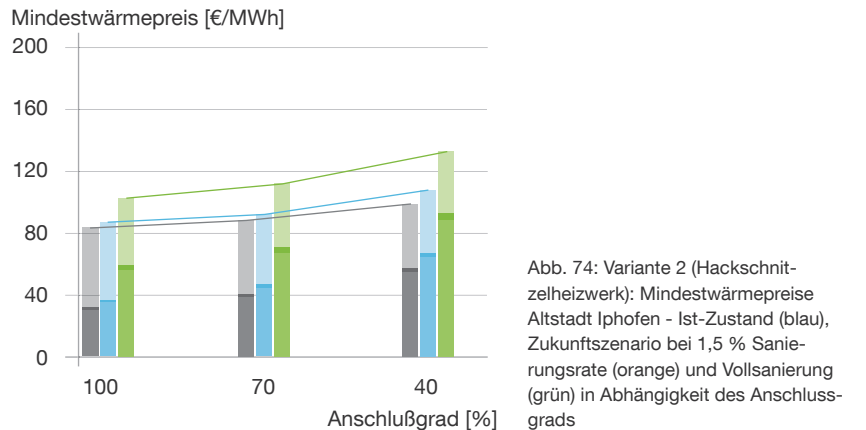
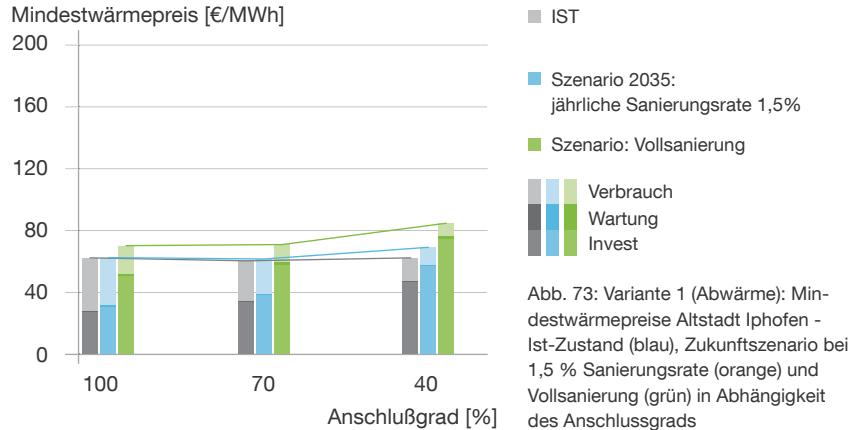
Die Randbedingungen sind in Tabelle 11 zusammengefasst dargestellt. Die Mindestwärmepreise für die Varianten 1 bis 3 sind in den Abb. 73 bis 75 für den Ist-Zustand (grau) und für zwei Zukunftsszenarien dargestellt.

Die Zukunftsvarianten unterscheiden sich dabei in der angenommenen Sanierungsrate bis ins Jahr 2035.

Szenario "Moderat" entspricht einer jährlichen historisch verträglichen Sanierung von 1,5 % (blau) der Gebäude, wohingegen beim Szenario "Vollsanierung" (grün) alle Gebäude energetisch saniert werden.

Der Wärmebedarf der verschiedenen Sanierungsszenarien wird mithilfe der eingangs bereits erwähnten Bilanzierungssoftware GemEB 2.0 gebäudescharf für die historische Altstadt berechnet. Die in [Hausladen et al., 2012] entwickelte Software ist hierfür um historische Gebäude erweitert worden (→ Abb. 19, S.27).

Sanierungen von nicht-historischen Gebäuden werden dabei nach Maßgabe der EnEV 2009 durchgeführt, sofern sie nicht bereits im Vorfeld energetisch ertüchtigt wurden. Historische Gebäude werden je nach "Denkmalschutzstatus" (Denkmalisteneintrag, ortsbildprägend und ortstrukturprägend) differenziert betrachtet.



Energiebereitstellung	
Grund- und Mittellast (Varianten)	1300 kW
(1) - Abwärmepreis	5 €/MWh
(2) - Hackschnitzelpreis	26 €/MWh
(3) - Gaspreis	40 €/MWh
Spitzenlast (Gas)	variabel
Gaspreis	40 €/MWh
Strompreis	200 €/MWh
Wirtschaftlichkeitsberechnungen	
Energiepreissteigerung Strom	6 %/a
Energiepreissteigerung Gas	5 %/a
Kapitalzins	4 %/a
allgemeine Preissteigerung	2 %/a
Lohnkostensteigerung	2 %/a
Betrachtungszeitraum	20 Jahre

Tab. 11: Randbedingungen Netz "Altstadt Iphofen"



Tab. 12: Sanierungswahrscheinlichkeit und zu erreichendes EnEV-Niveau in Abhängigkeit des Denkmalschutzstatus: Denkmallisteneintrag (1), ortsbildprägend (2), ortsstukturprägend (3)

Denkmalschutzstatus	Sanierungswahrscheinlichkeit			Erreichbares EnEV-Niveau		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
<b>Bauteil</b>						
Dach/ Ob. Geschoßdecke	80 %	90 %	90 %	100 %	100 %	100 %
Kellerdecke/Bodenplatte	10 %	10 %	10 %	60 %	80 %	80 %
<b>Hofseite</b>						
Außenwand	80 %	80 %	80 %	80 %	100 %	100 %
Fenster	60 %	70 %	80 %	80 %	100 %	100 %
<b>Straßenseite</b>						
Außenwand	10 %	50 %	80 %	80 %	80 %	100 %
Fenster	50 %	60 %	70 %	70 %	80 %	100 %

Tab. 13: Zugrundegelegte Sanierungskosten [Hinz, 2011]

Bauteil	Grundpreis	Zusatzkosten
Außenwand	15,00 €/m <sup>2</sup>	2,43 €/m <sup>2</sup> cm
Dach/ Ob. Geschoßdecke	0,00 €/m <sup>2</sup>	2,21 €/m <sup>2</sup> cm
Kellerdecke/Bodenplatte	26,50 €/m <sup>2</sup>	1,04 €/m <sup>2</sup> cm
<b>Fenster</b>		
	<b>U-Wert</b>	<b>Kosten</b>
	1,10 W/m <sup>2</sup> K	285 €/m <sup>2</sup>
	0,90 W/m <sup>2</sup> K	335 €/m <sup>2</sup>
	0,70 W/m <sup>2</sup> K	395 €/m <sup>2</sup>

Energetische Sanierungen historischer Gebäude bedürfen immer einer Einzelfallprüfung bezüglich Belange des Denkmalschutzes und der Bauphysik. So lassen sich beispielsweise oberste Geschossdecken meist problemlos energetisch ertüchtigen, die Dämmung der Aussenwände hingegen ist oftmals nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Diesem Umstand wird wie folgt Rechnung getragen:

Zunächst wird abhängig vom oben genannten Denkmalschutzstatus für jedes einzelne Gebäudebauteil mit der nach Tabelle 12 vorgegebenen Sanierungswahrscheinlichkeit entschieden, ob das Bauteil überhaupt energetisch ertüchtigt werden kann.

Wird mit "ja" entschieden, wird in einem zweiten Schritt nach einem entsprechend in Tabelle 12 vorgegebenen Prozentsatz das energetische Niveau der Bauteilsanierung bestimmt. Als Referenz dient hierbei der entsprechende in der EnEV geforderte U-Wert bei energetischer Sanierung.

Da die Berechnungen auf Wahrscheinlichkeiten beruhen und basierend darauf im Zufallsprinzip über Sanierungsmaßnahmen entschieden wird, ist ein Rückschluss auf Einzelgebäude trotz gebäudescharfer Betrachtung nicht mehr möglich.

Die vorgestellten Ergebnisse beschreiben daher das Altstadtquartier als Ganzes. Ein Vergleich der Abb. 73 bis 75 ist wiederum nur ein geringer Einfluss des Anschlussgrads festzustellen. Auch der Einfluss einer jährlichen "moderaten" Sanierungsrate von 1,5 % (blau) ist gegenüber dem Ist-Zustand (grau) gering. Der entscheidende Punkt ist hier die Art der Energiebereitstellung, d.h. Abwärmequellen sind eindeutig zu bevorzugen (→ Abb. 73).

Die Wirtschaftlichkeit eines kleinen Wärmenetzes (ca. 8.000 trm) hängt bei Siedlungsgebieten mit einer hohen baulichen Dichte in einem geringen Maße vom zu erwartenden Anschlussgrad und der zukünftigen Entwicklung der energetischen Sanierung ab. Der Einfluss der Energiebereitstellung überwiegt.

### 3.1.4. Einfluss der Sanierung auf Gebäudeseite

Wird also die Energiebereitstellung nach Variante 1 (→ Abb. 73) oder Variante 2 (→ Abb. 74) gewählt, so ist eine zumindest "moderate" Sanierung des untersuchten Gebiets hinsichtlich des Wärmenetzes nicht problematisch. Für die Variante 2 (→ Abb. 74) wird im folgenden Verlauf die Wirtschaftlichkeit deshalb noch von Seiten der Gebäude betrachtet.

Die Kosten der Sanierung werden hierfür den eingesparten Energiekosten gegenübergestellt und unter Berücksichtigung des jeweiligen Mindestwärmepreises die Amortisationszeiten errechnet. Betrachtet werden hierbei lediglich die am Wärmenetz angeschlossenen Gebäude. Beim Anschlussgrad 100 % sind dies alle Hauptgebäude der Altstadt.

Die Amortisationszeit liefert eine einfache und leicht nachvollziehbare Möglichkeit der Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer energetischen Maßnahme. Sie kann jedoch lediglich Tendenzen aufzeigen, da z.B. steigende Energiepreise unberücksichtigt bleiben.

Den durchgeführten Sanierungen sind die in Tabelle 13 aufgeführten Kosten nach [Hinz, 2011] hinterlegt. Bei Dach, oberster Geschossdecke und Außenwanddämmung wurden nur die energiebedingten Mehrkosten berücksichtigt.

Im Rahmen der Erstellung des Energienutzungsplans liegen keine Informationen zu den Größenanteilen von Kellerdecke und Bodenplatte vor. Die Kosten für die Dämmung der Bodenplatte werden deshalb denen der Kellerdecke gleich gesetzt. Weiter wird in Ermangelung einer verlässlichen Datengrundlage von energetischen Sanierungskosten bei historischen Gebäuden zunächst nicht zwischen "historisch" und "nicht-historisch" unterschieden.

Unter den oben aufgeführten Randbedingungen ergeben sich für eine "moderate" jährliche Sanierungsrate von 1,5 % bei einem Anschlussgrad von 70 % eine Amortisationszeit von etwa acht Jahren.

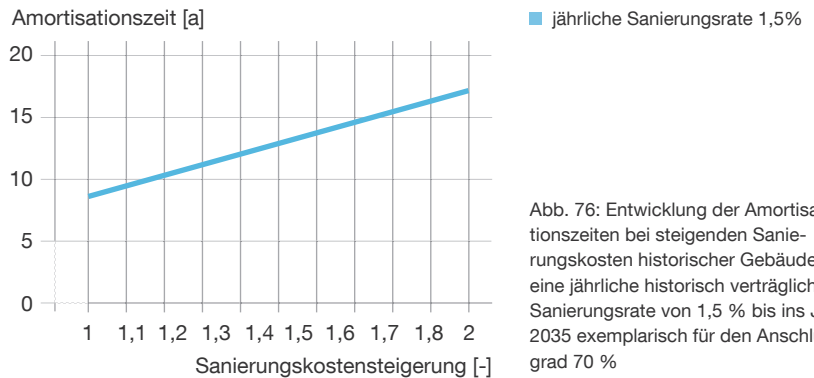


Abb. 76: Entwicklung der Amortisationszeiten bei steigenden Sanierungskosten historischer Gebäude für eine jährliche historisch verträgliche Sanierungsrate von 1,5 % bis ins Jahr 2035 exemplarisch für den Anschlussgrad 70 %

Im Weiteren soll abgeschätzt werden, wie sich die Amortisationszeit mit steigenden Kosten für die energetische Sanierung historischer Gebäude verhält. Dazu werden die Sanierungskosten schrittweise um jeweils zehn Prozentpunkte beaufschlagt bis die doppelten Kosten erreicht werden. Dies geschieht pauschal über alle Bauteile der historischen Gebäude. Die Ergebnisse sind in Abb. 76 für eine jährliche Sanierungsrate von 1,5 % bis ins Jahr 2035 dargestellt.

Es zeigt sich beispielsweise bei einem Anschlussgrad von 70 % für die Verdopplung der Sanierungskosten eine Amortisationszeit von etwa 17 Jahren für das "moderate" Zukunftsszenario. Damit läge die Amortisationszeit immer noch unter 20 Jahren.

Wie Abb. 74 entnommen werden kann, steigen die Mindestwärmepreise für das Zukunftsszenario einer Vollsanierung über die angesetzte Wirtschaftlichkeitsmarke von 90 €/MWh. Das Wärmenetz wäre demnach nicht mehr wirtschaftlich sinnvoll zu betreiben. Eine Sanierungsrate von 100 % ist in der Realität sicherlich nicht sinnvoll umsetzbar und damit auch unwahrscheinlich. Demnach sprechen auch auf Gebäudeseite für das untersuchte Gebiet der Altstadt Iphofen keine wirtschaftlichen Gründe gegen eine bauphysikalisch richtige und denkmalgerechte Sanierung.

Wirtschaftlich spricht weder von Seiten des Wärmenetzes noch von Seiten der Einzelgebäude etwas gegen eine angemessene, bauphysikalisch richtige und denkmalverträgliche Sanierung kleiner historischer Altstädte hoher baulicher Dichte.

Quellen & Hintergrundinformationen:

[Hausladen et al., 2012] Hausladen, G., Zadow O., Fröhler R., Vohlidka P., Schinabeck J.: Eneff:Wärme Pilotprojekt Ismaning - Energieleitplanung, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), Stand 24.09.2012, Frankfurt am Main, 2012

[Hinz, 2011] Hinz, E.: Kosten energetischer Modernisierungen im Gebäudebestand, IWU Institut Wohnen und Umwelt, Vortrag in Wels am 03.03.2011, URL: [http://www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2011/download\\_presentations/32\\_Hinz.pdf](http://www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2011/download_presentations/32_Hinz.pdf)

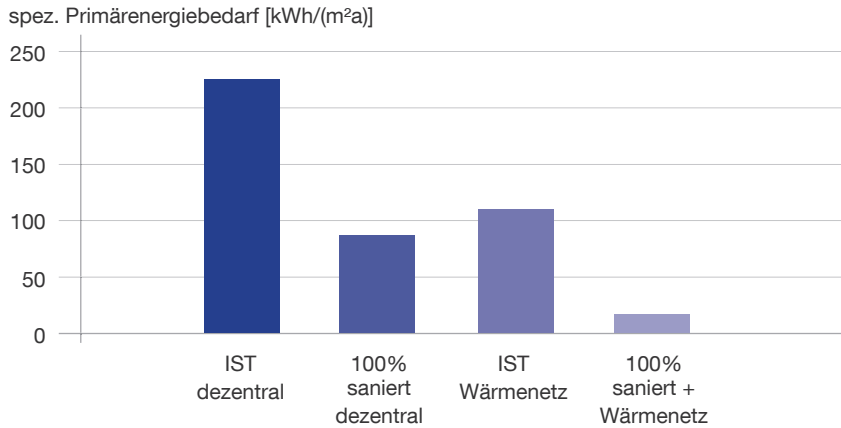


Abb. 77: Spezifischer Primärenergiebedarf der Altstadt Iphofen für historische und nicht-historische Gebäude im Ist-Zustand und in den Zukunftsszenarien für dezentrale und zentrale Wärmeversorgung

zu Abb.  
Primärenergiefaktor für "IST" 0,57  
Primärenergiefaktor für "saniert" 0,24

### 3.1.5. Gesamtenergetische Bewertung

Bislang wurden hauptsächlich wirtschaftliche Belange von Seiten des Wärmenetzes und der Gebäudeseite betrachtet. Im Folgenden sollen die Szenarien nach primärenergetischen Gesichtspunkten beurteilt werden:

Aufgrund der zur Verfügung gestellten Kaminkehrerdaten besteht für die Altstadt Iphofen eine ausführliche, gebäudescharfe Datengrundlage. Auf Kenntnisse über Art und Alter der in den Gebäuden vorhandenen Anlagentechnik kann somit größtenteils zurückgegriffen und für jedes Gebäude eine Anlagenaufwandszahl grob abgeschätzt werden. Dies erfolgt auf Grundlage der in [BMVBS, 2009] genannten Erzeugeraufwandszahlen gewichtet für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung, multipliziert mit der nach Energieträgern unterschiedenen Primärenergiefaktoren aus [DIN V 18599-1:2011-12]. Verluste aufgrund von Speicherung, Verteilung und Übergabe sowie Hilfsenergie werden hierbei in dieser ersten Näherung vernachlässigt.

Der so errechnete Primärenergiebedarf der Altstadt für Heizung und Trinkwarmwasser beträgt für den Ist-Zustand etwa 230 kWh/m<sup>2</sup>a (→ Abb. 77). Dies entspricht absolut etwa 18.000 MWh/a.

Für eine Vollsanierung bei unveränderten Anlagenaufwandszahlen ließe sich der Primärenergiebedarf um 59 % auf 94 kWh/m<sup>2</sup>a reduzieren.

Einen ähnlichen Effekt hat die Umstellung

von dezentraler Versorgung zu einem Wärmenetz mit einem Primärenergiefaktor von 0,57. Dies entspricht einem Anteil von 39 % Gas und 61 % Hackschnitzel, basierend auf der lokal nachhaltig zur Verfügung stehenden Menge an Holz. Damit sinkt der Primärenergiebedarf bei einem Anschlussgrad von 100 % im unsanierten Zustand auf etwa 106 kWh/m<sup>2</sup>a. Dies entspricht einer Reduktion gegenüber der bestehenden dezentralen Versorgung von 54 %.

Wird die vollsanierte Altstadt zu 100 % über ein Wärmenetz versorgt, sinkt der Anteil an gaserzeugter Wärme auf 12 %. Damit verbessert sich der Primärenergiefaktor des Wärmenetzes auf 0,24. Der spezifische Primärenergiebedarf lässt sich so auf 18 kWh/m<sup>2</sup>a senken. Dies entspricht einer Reduzierung gegenüber dem dezentral versorgten Ist-Zustand um 92 %.

Primärenergetisch wirkt sich eine angemessene, bauphysikalisch richtige und denkmalverträgliche Sanierung kleiner historischer Altstädte hoher baulicher Dichte in Zusammenhang mit einer Netzversorgung mit einem hohen Anteil regenerativer Energien sehr positiv aus.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für das dichte Altstadtquartier weder wirtschaftliche noch energetische Gründe gegen eine bauphysikalisch richtige und historisch verträgliche Sanierung sprechen. Eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs bedeutet gleichzeitig eine Reduzierung des Primärenergieeinsatzes. Bei Verwendung von erneuerbaren Energien oder Abwärme für das Wärmenetz lässt sich dieser nochmals reduzieren.

Die Sanierungen sollten allerdings mit Bedacht ausgeführt werden und nur dort, wo sie aus bauphysikalischen Gründen notwendig sind. Diese Gründe können beispielsweise die unzureichende thermische Behaglichkeit, schlechte U-Werte oder der Schutz der Konstruktion sein.

#### Quellen & Hintergrundinformationen

[BMVBS, 2009] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachungen zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand, Berlin, 30. Juli 2009

[DIN V 18599-1:2011-12] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

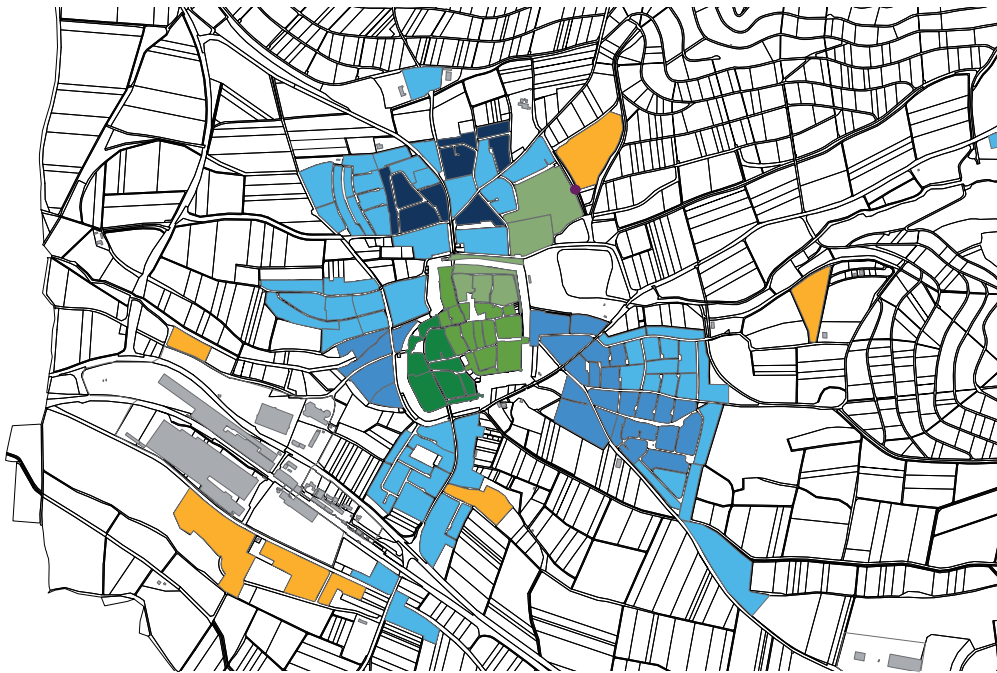


Abb. 78: Energienutzungsplan - Wärmekonzeptkarte Stadt Iphofen

### 3.1.6. Exkurs Iphofen: Energiekonzept

Die Ergebnisse und Konzeptvorschläge für das Gemeindegebiet Iphofen wurden in sogenannten Wärmekonzeptkarten dargestellt. Abb. 78 zeigt beispielhaft eine dieser Karten für die Stadt Iphofen. Dabei werden Gebiete, die sich für den Aufbau einer zentralen Wärmeversorgung besonders gut eignen in grünen Farbabstufungen dargestellt. Die Auswahl erfolgte aufgrund ihrer aktuellen, aber vor allem auch wegen der zukünftig zu erwartenden Wärmebedarfsdichte.

Analog dazu sind in blauen Farbabstufungen Gebiete ausgewiesen, für die dezentrale Lösungsansätze zu bevorzugen sind. Hier eignet sich besonders der Einsatz von Biomasse + Solarthermie bzw. Wärmepumpen + Solarthermie + PV.


Die Empfehlung für zentrale, bzw. dezentrale Versorgungskonzepte resultiert aus Hochrechnungen des im Jahr 2035 zu erwartenden Wärmebedarfs. Dieser wurde mit der Bilanzierungssoftware GemEB 2.0 auf Basis einer jährlichen Sanierungsrate von 1,5 % bis ins Jahr 2035 für historische und nicht-historische Gebäude errechnet.


Während in den östlichen, westlichen und südlichen Stadtgebieten die Wärme-


bedarfsdichte in der Zukunft unter das Wärmedichte-Niveau für den Aufbau eines Wärmenetzes fällt, weist der nördliche Stadtteil noch größere zusammenhängende Rasterflächen auf, um, zumindest bei einem Anschlussgrad von 70 %, ein Wärmenetz betreiben zu können (schwarzblaue Rasterflächen); ansonsten sind diese Rasterflächen den hellblauen Gebieten zuzuordnen.


In Wohngebieten mit älterer Bausubstanz sind tiefergehende Sanierungseingriffe an den Gebäuden zu erwarten. Ist dies der Fall, sollte soweit möglich eine Umstellung auf eine Niedertemperaturheizung erfolgen.


In Gebieten mit dunkelblau markierten Rasterflächen ist laut Untersuchungen des Landesamtes für Umwelt (LfU) der Einsatz von Erdwärmesonden sowie Horizontalkollektoren ohne weitere Untersuchung möglich. In hellblauen Gebieten ist die Nutzung von Horizontalkollektoren weiterhin uneingeschränkt möglich, der Einsatz von Erdwärmesonden aber voraussichtlich nicht; dies Bedarf einer Einzelfallprüfung. Das in gelb markierte Gebiet kennzeichnet überwiegend Gewerbegebiete mit relativ niedrigem Bedarf. Zusätzlich zur internen Prozessoptimierung wird hier der Aufbau


 Gebiet, das sich aufgrund der Wärmedichte für den Aufbau eines Wärmenetzes besonders gut eignet (ab 40 % Anschlussgrad); Ausbaustufe Nord des vorhandenen Wärmenetzes


 zusätzliches Gebiet, das sich aufgrund der Wärmedichte für den Aufbau eines Wärmenetzes besonders gut eignet (ab 40 % Anschlussgrad); Ausbaustufe Ost des Nahwärmenetzes


 zusätzliches Gebiet, das sich aufgrund der Wärmedichte für den Aufbau eines Wärmenetzes besonders gut eignet (ab 40 % Anschlussgrad); Ausbaustufe Altstadt des Nahwärmenetzes

 Existierende Anlage, die als Keimzelle für den Ausbau des Wärmenetzes genutzt werden kann

 Gebiet für den Einsatz von dezentralen (individuellen) Biomasse-Kesseln in Kombination mit Solarthermie bzw. Horizontalkollektoren / Erdwärmesonden (nach Einzelfallprüfung) + Solarthermie; Restdachflächen mit PV

 oder Gebiet, das sich aufgrund der Wärmedichte (ab 70 % Anschlussgrad) prinzipiell für den Aufbau eines Wärmenetzes eignet (zentraler/kollektiver Lösungsansatz)

 Gebiet für den Einsatz von dezentralen (individuellen) Biomasse-Kesseln in Kombination mit Solarthermie bzw. Horizontalkollektoren / Erdwärmesonden + Solarthermie; Restdachflächen mit PV

 Interne Prozessoptimierung, Photovoltaik

 Gebiet ohne Handlungsanweisungen



von Photovoltaik-Anlagen aufgrund der in höherem Maße verfügbaren Dachflächen empfohlen.

#### Netzsimulation Altstadt Iphofen

Die Wärmedichten des berechneten Ist-Zustands und aller Sanierungs- und Zukunftsszenarien lässt eine prinzipielle Eignung des Gebiets für ein Wärmenetz vermuten. Es zeigt sich, dass selbst bei Vollsanierung der gesamten Altstadt in großen Teilen Flächen mit einem berechneten spezifischen Heizwärmeverbrauch von über 215 MWh/ha im Jahr verbleiben. Dies ist der Kennwert für ein Netz mit 70 % Anschlussgrad.

Natürlich kann die Bestimmung solcher Kennwerte für Teilflächen nur ein grober Indikator für die Wirtschaftlichkeit eines Netzes sein. Wird der Kennwert wie in diesem Fall jedoch überschritten, so erscheint eine weiterführende Betrachtung durchaus sinnvoll. Im Folgenden werden deshalb weiterführende Netzsimulationen mit ersten Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt.

#### Netzvarianten und Anschlussgrade

Für die weiteren Untersuchungen werden die in Abb. 78 vorgeschlagenen drei Netzausbauvarianten untersucht. Das bestehende Heizwerk im Nord-Osten wird hierfür jeweils als Ausgangspunkt verwendet und gegebenenfalls mit weiteren Holz- und/oder Gas-Wärmeerzeugern erweitert.

#### Altstadt-Nord

Die kleinste Netzlösung, basierend auf dem bereits bestehenden Wärmenetz, welches nur geringfügig im energiedichtesten Gebiet der Altstadt erweitert wird. Die Ausbaustufe wird so gewählt, dass bei einem Anschlussgrad von 70 % im Zukunftsszenario noch eine Versorgung mit dem bestehenden Heizwerk ( $600 \text{ kW}_{\text{therm}} + 460 \text{ kW}_{\text{therm}} + 460 \text{ kW}_{\text{therm}}$  Nennwärmeleistung) denkbar wäre.

#### Altstadt-Ost

Ausbau des Bestandnetzes im östlichen Bereich der Altstadt.

#### Altstadt

Gesamte Versorgung der Altstadt mit Fernwärme. Hier wird auch der etwas weniger energiedichte Bereich im Westen der Altstadt mit einem Wärmenetz ausgestattet.

#### Netzauslegung

Die verschiedenen Ausbauparameter werden jeweils mit den selben Parametern ausgelegt, um eine Vergleichbarkeit der Varianten herzustellen. Dabei wird der Wetterdatensatz des Jahres 2010 mit der tiefsten Außentemperatur ( $-13,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ) verwendet. Ausgelegt wird jeweils für einen Anschlussgrad von 100 %, einer Temperaturdifferenz von 30 K beim Abnehmer und einer Druckauslegung von 150 Pa/m für das Ist- und Zukunftsszenario.

#### Netzsimulation

Die drei zuvor beschriebenen Netzausbauparameter werden jeweils mit den Anschlussgraden 100 %, 70 % und 40 % mithilfe des Netzsimulationsprogramms "rfWärme" simuliert. Das Softwareprogramm ist in Kap.2.2.5, S.29 näher beschrieben.

Die Anschlussgrade ergeben sich hierbei aus der Betrachtung der Alter der Wärmeerzeuger. Für den Anschlussgrad 40 % werden nur die Gebäude angeschlossen, deren Erzeuger älter als 15 Jahre ist. Für den Anschlussgrad 70 % werden zusätzlich noch die Gebäude angeschlossen, die bislang elektrisch oder mit Einzelöfen beheizt werden. Für den Anschlussgrad 100 % werden alle Hauptgebäude an das jeweilige Netz angeschlossen.

#### Konzepte zur Wärmebereitstellung

Die Netzausbauparameter Altstadt-Nord soll, wie zuvor bereits erwähnt, mit dem bestehenden Heizwerk versorgt werden. Hierfür werden für den Ist-Zustand bei den Anschlussgraden 70 % und 100 % und für das Zukunftsszenario beim Anschlussgrad 100 % die Spitzenlastenergieerzeuger (Gas) um die fehlende Kesselleistung ergänzt. Für die Netzausbauparameter Altstadt-Ost und Altstadt wird für sämtliche Szenari-

en das Hackschnitzelheizwerk um eine  $700 \text{ kW}_{\text{therm}}$  Einheit erweitert. Die Spitzenlast wird entsprechend des Szenarios und des Anschlussgrads gewählt.

Als weitere Variante wird untersucht, wie sich ein Holzvergaser BHKW mit  $700 \text{ kW}_{\text{therm}}$  und  $150 \text{ kW}_{\text{el}}$  auf die Wirtschaftlichkeit der Wärmenetze Altstadt-Ost und Altstadt auswirkt. Eine Erweiterung des Heizwerks für das Netz Altstadt-Nord wird aufgrund der unzureichenden Abnahme nicht betrachtet.

#### Auslegung des BHKW

Um die lokal vorhandene Biomasse (Holz aus dem Stadtwald, jährliches Gesamtpotenzial etwa  $12.900 \text{ MWh}$ ) neben der bestehenden Wärmezeugung auch zur Verstromung zu verwenden, wird der Einsatz eines BHKW untersucht.

Um das nachwachsende Potenzial an Holz nicht langfristig zu gefährden ist im vorliegenden Fall für die Kraft-Wärme-Kopplungsanlage jährlich etwa  $8.000 \text{ MWh}$  Brennstoff vorgesehen. Somit steht für die rein thermische Holzfeuerung genügend nachhaltiges lokales Holz zur Verfügung. Bei einer angestrebten Volllaststundenzahl von  $8000$  Stunden folgt für das BHKW eine Nennleistung der Feuerung von etwa  $900 \text{ kW}$ .

In dieser Leistungsklasse existiert als Möglichkeit zur Verstromung vor allem die Holzvergasung mit anschließender Verbrennung des Holzgases in einem Kolbenmotor. Auf die nutzbare Abwärme einer solchen Anlage entfallen etwa  $700 \text{ kW}$ , auf deren elektrische Leistung rund  $150 \text{ kW}$ . Der eingespeiste Strom von Biomasseanlagen mit einer elektrischen Leistung bis  $150 \text{ kW}$  wird nach dem EEG noch mit dem höchstmöglichen Vergütungssatz gefördert.

#### Wirtschaftlichkeitsberechnungen

In den angestellten Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden die Kosten für Netz, Übergabestationen und Wärmezeuger (ohne Berücksichtigung des Bestands) bei der Ermittlung des Mindestwärmepreises

angesetzt. Mit abnehmenden Anschlussgrad werden die Netzverlegekosten, sowie die Investitionskosten für die Spitzenlastzeuger entsprechend reduziert angesetzt. Die Randbedingungen sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Der ermittelte Mindestwärmepreis zeigt hierbei die Gewinnschwelle an, ab dem die Wärme mit Gewinn verkauft werden kann. Enthalten bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind hierbei neben den Netzverlegekosten, den Übergabestationen und den Kosten für die Wärmezeuger auch sämtliche sonstige Kosten, wie z.B. Energiekosten oder Wartung. Mögliche Zuschüsse und Förderungen werden nicht mit eingerechnet. Kosten für Planung, Bauwerke und Grundstücke sind nicht enthalten. Alle Kosten verstehen sich netto.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden in den Abb. 79ff in Lastverhalten und Mindestwärmepreisen zusammengefasst. Es zeigt sich zunächst, dass mit dem Einsatz eines BHKW immer die Mindestwärmepreise gegenüber der Variante "nur Heizwerk" gesenkt werden können. Der fixe Anteil an Holz bei der Wärmezeugung verursacht für die Netze Altstadt-Ost und Altstadt ein "Optimum" bei  $70 \%$  Anschlussgrad im Ist-Zustand und im Zukunftsszenario. Der Einfluss der Sanierungen im Altstadtbereich auf die Wirtschaftlichkeit aller Netzvarianten ist relativ gering. Dies lässt sich auf die relativ hohe

Tab. 14: Randbedingungen für die Netzausbauvarianten "Altstadt-Nord", "Altstadt-Ost" und "Altstadt"

#### Energiebereitstellung

Hackschnitzelheizwerk Bestand	600 kW
Erweiterung Hackschnitzel	700 kW
Spitzenlast (Gas)	variabel
Vorlauftemperatur	$90^\circ \text{ C}$
Hackschnitzelpreis	$26 \text{ €/MWh}$
Gaspreis	$48 \text{ €/MWh}$
Strompreis	$140 \text{ €/MWh}$

#### Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Energiepreissteigerung Strom	$6 \text{ %/a}$
Energiepreissteigerung Gas	$5 \text{ %/a}$
Kapitalzins	$3 \text{ %/a}$
allgemeine Preissteigerung	$2 \text{ %/a}$
Lohnkostensteigerung	$2 \text{ %/a}$
Betrachtungszeitraum	20 Jahre

### Wärmenetz Altstadt-Nord

#### Ist-Zustand

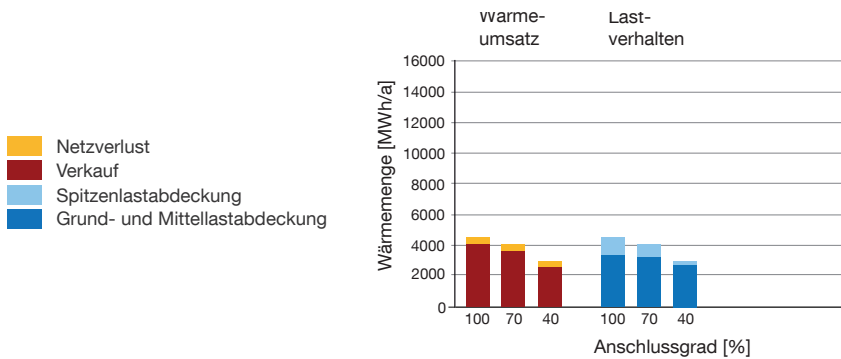


Abb. 79: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads

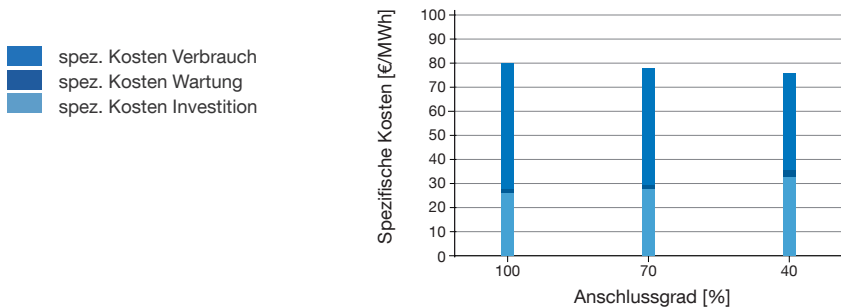


Abb. 80: Mindestwärmepreise Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads

#### Zukunftszenario

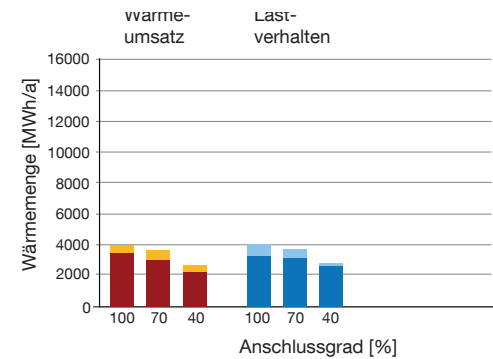


Abb. 81: Lastverhalten Zukunftszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads

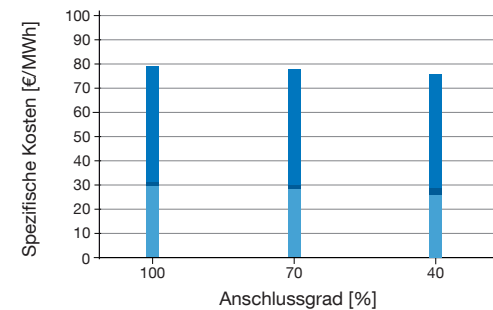


Abb. 82: Mindestwärmepreise Zukunftszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads

bauliche Dichte und die eingeschränkte energetische Sanierbarkeit zurückführen. Die geringere Wärmeabnahme führt beim Zukunftsszenario jeweils zu höheren Mindestwärmepreisen. Dies ist auf die überproportional steigenden Verluste im Netz zurückzuführen. Der Anteil an "teurer" Gas-Spitzenlast sinkt dabei und wirkt dieser Entwicklung entgegen.

#### Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen prinzipielle wirtschaftlich sinnvolle Tendenzen. Diese sind neben der hohen Wärmedichte auch im günstigen Holzpreis von 26 €/MWh begründet. Mit 48 €/MWh ist der Gaspreis im Vergleich hierzu fast doppelt so hoch.

So lässt sich beispielsweise in der Netzausbauvariante „Altstadt-Nord“ im Zukunftsszenario der niedrigere Mindestwärmepreis von 78 €/MWh gegenüber dem Ist-Zustand mit 80 €/MWh bei 100 %

Anschlussgrad erklären. Hier steigt der Anteil an Holz gegenüber Gas bei der Wärmeerzeugung mit zunehmender Sanierung (→ Abb. 79 und 81). Der Grund- bzw. Mittellastanteil bleibt absolut mit 3.406 bzw. 3.222 MWh/a in etwa gleich groß (Energieträger Holz), wohingegen der Anteil an "teurer" gaserzeugter Wärme von 1.148 auf 759 MWh/a stärker sinkt.

Hierzu gegenläufig wirken die proportional steigenden Netzverluste bei abnehmendem Wärmebedarf vom Ist-Zustand zum Zukunftsszenario. Dies führt dazu, dass in der Netzausbauvariante „Altstadt-Nord“ der Mindestwärmepreis mit zukünftig geringerem Wärmebedarf unverändert bleibt (→ Abb. 80 und 82).

Dieser Effekt zeigt sich auch in der Netzausbauvariante „Altstadt-Ost“ in den Fällen eines Anschlussgrads von 100 und 70 %. Bei einem Anschlussgrad von 40 % überwiegt der Effekt der Netzverluste und lässt den Mindestwärmepreis

**Netzvariante Altstadt Ost**

**Ist-Zustand**

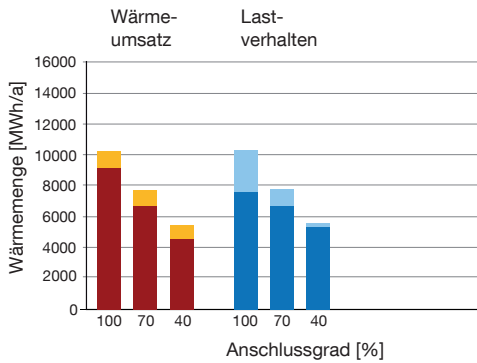


Abb. 83: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads

**Zukunftsszenario**

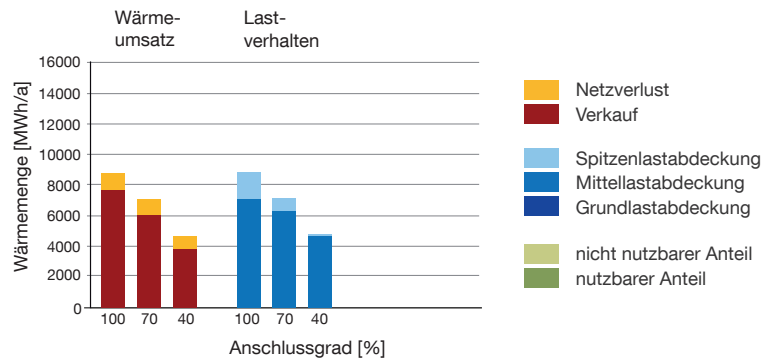


Abb. 86: Lastverhalten Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads

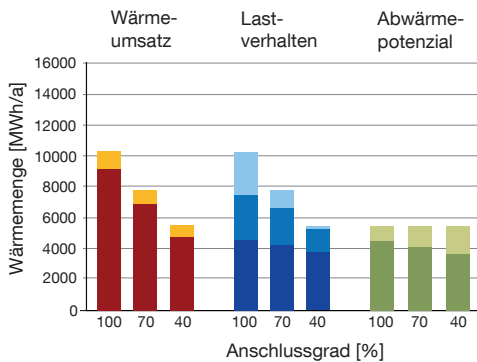


Abb. 84: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads, Grundlast aus BHKW, 700 kW<sub>therm</sub>

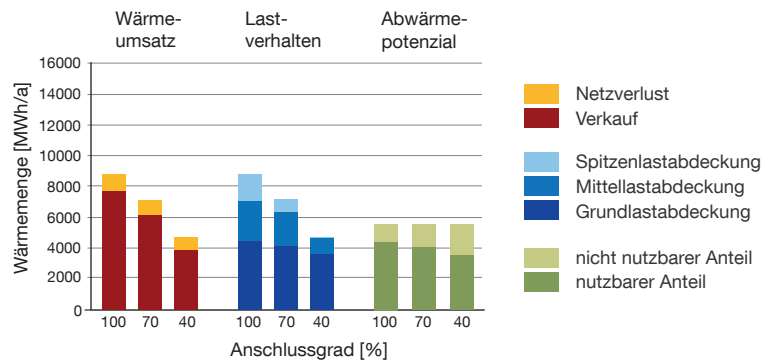


Abb. 87: Lastverhalten Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads, Grundlast aus BHKW, 700 kW<sub>therm</sub>

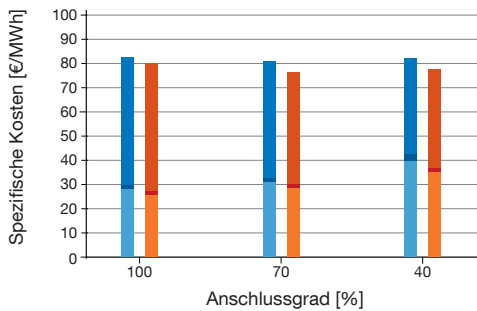


Abb. 85: Mindestwärmepreise Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads

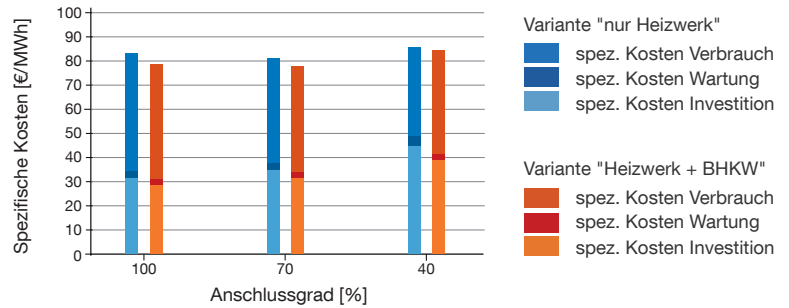


Abb. 88: Mindestwärmepreise Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads

von 82 €/MWh (Ist-Zustand) auf 86 €/kWh (Zukunftsszenario) wieder ansteigen (→ Abb. 85 und 88).

In der Netzausbauvariante „Altstadt“ lässt sich ein ansteigender Mindestwärmepreis im Zukunftsszenario gegenüber des Ist-Zustands für alle Anschlussgrade beobachten (→ Abb. 91 und 94). In dieser Netzvariante sind die Netzverluste ausschlaggebend.

Das Gegenspiel von proportional steigenden Netzverlusten zu proportional sinkendem Anteil an "teurer" gaserzeugter Spitzenlastwärme lässt sich auch beim Vergleich der Anschlussgrade der jeweiligen Szenarien in den Netzausbauvarianten beobachten. So stellt sich beispielsweise bei "Altstadt-Ost" ein "Optimum" bei etwa 70 % Anschlussgrad ein (→ Abb. 85 und 86).



### Netzausbauvariante Altstadt

#### Ist-Zustand

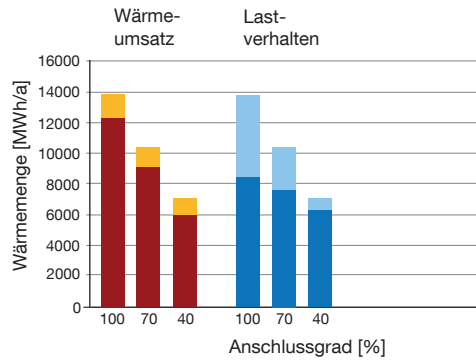


Abb. 89: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads

#### Zukunftszenario

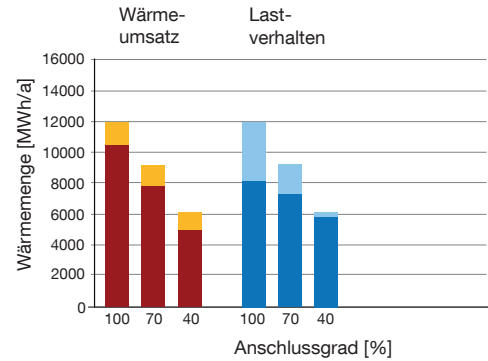


Abb. 92: Lastverhalten Zukunftszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads

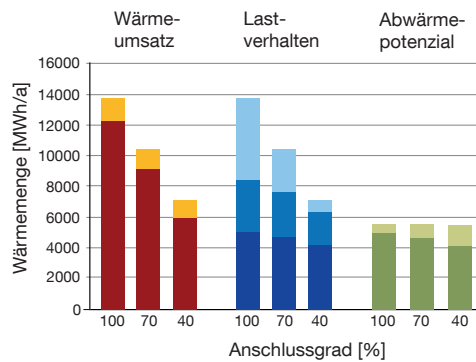


Abb. 90: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrades, Grundlast aus BHKW, 700 kW<sub>therm</sub>

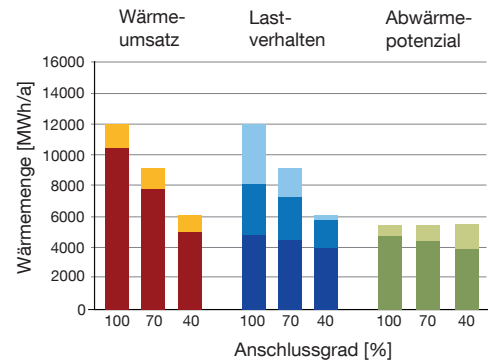


Abb. 93: Lastverhalten Zukunftszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrades, Grundlast aus BHKW, 700 kW<sub>therm</sub>

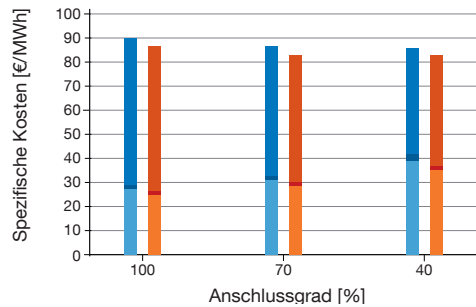


Abb. 91: Mindestwärmepreise Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads

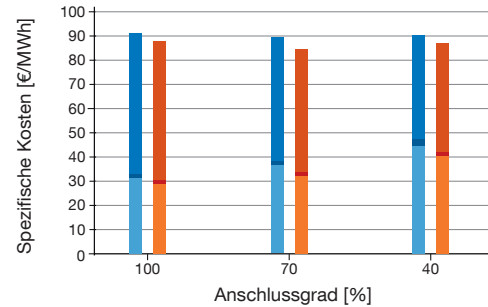


Abb. 94: Mindestwärmepreise Zukunftszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads

Bei hohem Gesamtwärmebedarf steigt der Anteil an Gas gegenüber Holz stark an. Besonders hier ist ein hohes Potenzial zur Kostenoptimierung über den Spitzenlast-Energieträger vorhanden. Lässt sich beispielsweise der Anteil des "teuren" Gases durch günstigere Energieträger oder industrielle Abwärme substituieren, nivelliert sich der oben beschriebene Effekt. Erwartungsgemäß ergibt sich bei vollständiger Substitution der Spitzenlast

durch industrielle Abwärme der niedrigste Mindestwärmepreis in der größten Netzausbauvariante "Altstadt" bei einem Anschlussgrad von 100 %. Dieser liegt dann hypothetisch bei 58 €/MWh.

Beim Vergleich „Altstadt-Ost“ mit "Altstadt" stellt sich das kleinere Netz "Altstadt-Ost" etwas positiver dar. Dies lässt sich auf die im Westteil der Altstadt vorhandene geringere Energiedichte, die

längeren Trassen dorthin und die damit prozentual höheren Netzverluste zurückführen.

Für die Netzausbauvarianten "Altstadt-Ost" und "Altstadt" ist es notwendig das Hackschnitzelheizwerk von derzeit 600 kW<sub>therm</sub> um weitere 700 kW zu erweitern. Die dadurch benötigte Menge an Hackschnitzel lässt sich auch für die Variante "mit BHKW", die mit dem gewählten Holzvergaser weitere 200 kW für die Stromerzeugung benötigt, nachhaltig lokal im stadteigenen Forst von Iphofen erwirtschaften.

Die Simulationsergebnisse (→ Abb. 84 und 87, bzw. 90 und 93) zeigen für 700 kW Grundlast einen hohen Anteil nutzbarer Abwärme aus der BHKW Stromerzeugung. Je nach Anschlussgrad ergeben sich für die Netzausbauvariante "Altstadt-Ost" nutzbare Anteile an Abwärme von 67 bis 83 % im Ist-Zustand und 63 bis 79 % im Zukunftsszenario sowie 75 bis 90 % bzw. 71 bis 87 % im Wärmenetz "Altstadt". Dabei ergibt sich wegen der höheren benötigten Wärmemenge im Netz "Altstadt" ein größerer Anteil.

#### Verteilung und Entwicklung der Wärmeabnahme

Für die Ermittlung des zu erwartenden Anschlussgrads ist es sinnvoll, das Alter der Wärmeerzeugungsanlagen zugrunde zu legen. So ergeben sich für die Gebäude, deren Erzeuger älter als 15 Jahre sind, in etwa 40 % der Hauptgebäude im Altstadtbereich. Werden zusätzlich die Gebäude hinzugezählt, die bislang elektrisch mit Einzelöfen oder gar nicht beheizt werden, ergeben sich in etwa 70 % aller Hauptgebäude der Altstadt Iphofen.

Für die Altstadt Iphofen mit ihren historischen Gebäuden wird eine Sanierungsrate von jährlich 1,5 % bei der Ermittlung der Wärmedichte für das Jahr 2035 zugrunde gelegt. Diese Wärmeverteilung in der Altstadt wird bei den Netzsimulationen als Grundlage für die Zukunftsszenarien verwendet. Die eingeschränkte energetische Sanierbarkeit wird dabei durch Abschläge bei den Vorgaben der

EnEV in Abhängigkeit der Bauteile und des Denkmalschutzstatus berücksichtigt. Bei der zugrundegelegten jährlichen Sanierungsrate von 1,5 % wird zusätzlich bei den jährlich zufällig für eine Sanierung ausgewählten Gebäuden noch für jedes einzelne Bauteil entschieden ob es überhaupt energetisch ertüchtigt werden kann. Die Sanierungen entsprechen damit nicht unbedingt einer Vollsanierung der einzelnen Gebäude.

Laut den Ergebnissen aus Kap.3.1.5, S.102 spricht aus netztechnischen und netzwirtschaftlichen Gründen nichts gegen eine bauphysikalisch richtig und denkmalgerecht durchgeführte energetische Sanierung. Das im Energienutzungsplan ermittelte energetische Sanierungspotenzial in der Altstadt Iphofen von etwa 4.800 MWh/a entspricht einer Reduzierung des Energiebedarfs von 23 % und kann durchaus ausgeschöpft werden. Der Anschlussgrad und die Art der Wärmebereitstellung bildet den größeren Einflussfaktor.

#### Einbindung der Holzrechte in das Wärmenetz

Es ist auffällig, dass in vielen Bereichen der Altstadt mindestens jedes zweite Haus ein Holzrecht besitzt. Wird unterstellt, dass solche Gebäude das zugehörige Holzrecht für die Primärbeheizung verwenden, lassen sich hier keine sinnvollen Anschlussgrade erreichen. Aber auch wenn das Holz aus den Holzrechten lediglich zur Sekundärheizung verwendet wird, kann sich dies bei zu hohem Anteil auch negativ auf das Wärmenetz auswirken.

Eine örtliche Trennung von Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch ist aus rechtlichen Gründen zur Zeit nicht möglich, wäre aber dringend notwendig. Aus Gründen der Effizienz ist es sinnvoll Holz aus den Holzrechten zusammen zu fassen und die Wärme für die Einzelgebäude zentral zu erzeugen. Hier kann die Energieeffizienz durch eine Kraft-Wärme-Kopplung weiter gesteigert werden. Gebäude, die Holz als primäres Heizungssystem verwenden, sind bei einem An-

Verbrauch  
Invest

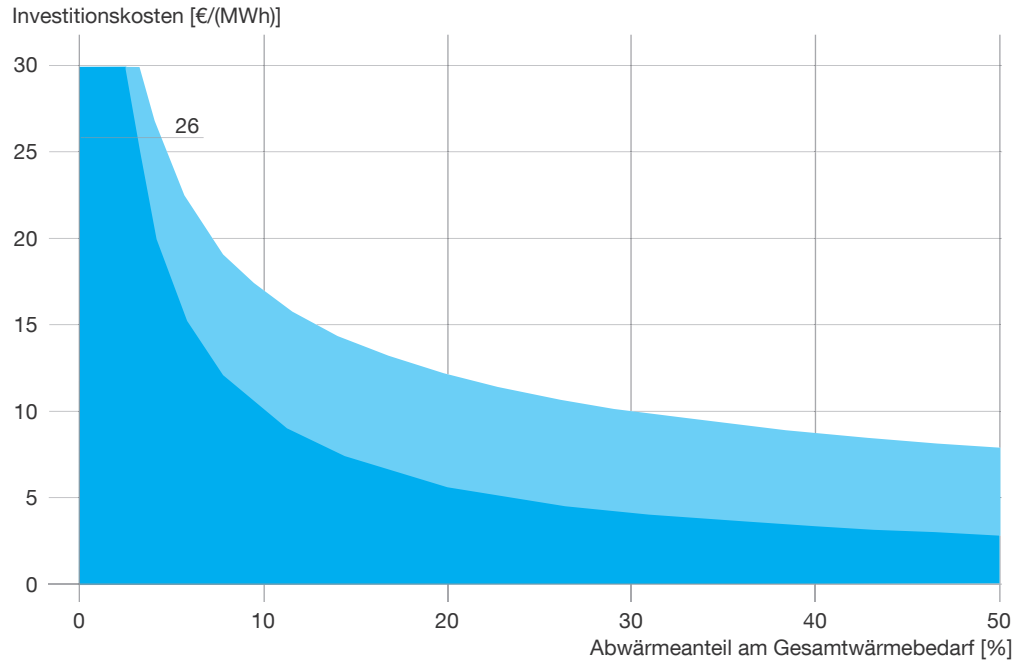


Abb. 95: Spezifische Kosten (unten) und Verbrauch (oben) in Abhängigkeit der eingespeisten Energie bezogen auf den Gesamtwärmebedarf der Netzausbauvariante "Altstadt" im IST-Zustand bei 70 % Anschlussgrad

schlussgrad von 40 % ausgeschlossen. Wie bereits beschrieben, ergibt sich das Optimum für den Mindestwärmepreis jedoch bei einem Anschlussgrad von 70 %. Auch energetisch ist ein möglichst hoher Anschlussgrad erstrebenswert, da durch die höhere Abnahme die Netzverluste im Verhältnis geringer ausfallen. Die im Fall 70 % Anschlussgrad enthaltenen Gebäude werden aber derzeit zu einem großen Anteil über Einzelöfen unter Nutzung ihrer Holzrechte versorgt. Dies zeigt die Notwendigkeit einer Lösung, die es rechtlich ermöglicht Gebäude mit Holzrechten in das Wärmenetz sinnvoll einzubeziehen.

#### Wahl der Netzausbauvariante

Die Netzverluste bewegen sich bei den Netzausbauvarianten "Altstadt-Nord", "Altstadt-Ost" und "Altstadt" um 13 % im Ist-Zustand und 14 % im Zukunftsszenario. Bei den beiden größeren Netzen "Altstadt-Ost" und "Altstadt" liegen die Netzverluste im Verhältnis etwas höher, wobei diese bei niedrigem Anschlussgrad stark ansteigen.

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen ist eine Wärmenetzversorgung für die gesamte Altstadt ener-

getisch wie auch wirtschaftlich sinnvoll. Der Ausbau kann dabei in Teilschritten, beispielsweise nach den hier beschriebenen Netzausbauvarianten erfolgen. Zuleitungen sollten dabei entsprechend dem angestrebten Endausbau dimensioniert werden. Zu berücksichtigen hierbei ist der zum Zeitpunkt des Endausbaus zu erwartende Sanierungsstand und der zu erwartende, bzw. angestrebte Anschlussgrad.

Als erster Schritt sollte das Bestandsnetz auf die Ausbauvariante "Altstadt-Nord" erweitert werden. Die installierte Leistung des Grund- und Mittellasterzeugers (Holz) ist mit 600 kW nach den Simulationsergebnissen ausreichend. Die Spitzenlast-erzeuger müssen gegebenenfalls erweitert werden. In dieser Phase sollte parallel an der Problemstellung Einbindung/Berücksichtigung der Holzrechte gearbeitet werden.

Zur besseren Einschätzung der zu erwartenden Wärmeabnahmedichte sollten Befragungen und Gespräche mit den potenziellen Abnehmern geführt werden. Hierbei ist nicht nur wichtig, ob ein Fernwärmeeanschluss in Frage kommen würde, sondern auch zu welchem Anteil noch mit Holz aus dem Holzrecht zu rechnen ist.

Einsatz industrieller Abwärme im Wärmenetz

Erfahrungsgemäß ist die Industrie bei Wärmelieferverpflichtungen sehr zurückhaltend. Hierdurch wird eine Einbuße an Flexibilität in der Produktion und eventuell entstehende Forderungen bei einem Ausfall der Wärmelieferung befürchtet. Auch in Iphofen lassen sich diese Befürchtungen bei den ansässigen Industrieunternehmen feststellen.

Wird die Wärmeerzeugung unabhängig der Abwärmeleistung ausgelegt, sodass die Wärmeversorgung unabhängig von der Abwärmelieferung zu jeder Zeit sicher gestellt ist, ist ein höchstmöglicher Grad an Flexibilität erreicht. Abwärme kann dann immer abgenommen werden, wenn diese auf dem erforderlichen Temperaturniveau ansteht und gleichzeitig benötigt wird. Es besteht also keine Abnahmeverpflichtung seitens des Wärmenetzes.

Die Abwärme sollte dann günstiger als die für das Netz erzeugte Wärme angeboten werden können. Hiervon abhängig sind natürlich die Transportverluste und die Investitionskosten der Zuleitung aus dem Süd-Westen der Stadt. Wegen der zusätzlich benötigten Zuleitung erscheint erst ab der Netzausbauvariante "Altstadt-Ost" diese Variante als sinnvoll.

In Abb. 95 sind die spezifischen Kosten für Investition (unten) und Verbrauch (oben) bei einem Abwärmepreis von 5 €/MWh in Abhängigkeit des eingespeisten Anteils des Wärmebedarfs der Netzausbauvariante "Altstadt" im Ist-Zustand bei einem Anschlussgrad von 70 % dargestellt. Die Abwärme wird über eine etwa 330 m lange Zuleitung aus dem Süd-Westen in das Netz eingespeist.

Es zeigt sich, dass bei Lieferung von etwa 30 % der benötigten Wärme in das o.g. Netz die spezifischen Investitionskosten etwa 5 €/MWh betragen. Wird ein Abwärmepreis von 5 €/MWh angesetzt, so entstehen durch die Verluste auf dieser Leitung zusätzlich weitere Kosten in Höhe von etwa 1 €/MWh. Der Mindestwärmepreis beträgt dann somit insgesamt 11 €/MWh.

Erst wenn der Anteil an verkaufter Abwär-

me auf unter 5 % des Bedarfs des o.g. Netzes sinkt, steigt der Mindestwärmepreis auf über 26 €/MWh und ist damit teurer als die Wärme aus Hackschnitzel.

Einsatz eines BHKW zur Effizienzsteigerung

Die Netzausbauvarianten "Altstadt-Ost" und "Altstadt" machen in jedem Fall eine Erweiterung der thermischen Grund- und Mittellast notwendig. Wie die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, sollte diese Erweiterung als Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) realisiert werden.

Trotz des schlechten elektrischen Wirkungsgrads der gewählten Holzvergasung lassen sich niedrigere Mindestwärmepreise erzielen. Hier besteht in der Wahl des Holzanteils und des eingesetzten BHKW weiteres Optimierungspotenzial. Neben wirtschaftlichen Gründen sprechen aber vorallem auch energiepolitische Überlegungen für den Einsatz eines BHKW. So liefert dieses bei 8.000 Volllaststunden zusätzlich 1.200 MWh/a an regenerativen Strom. Dies entspricht in etwa dem aktuellen Stromverbrauch der Altstadt.



## 4. Anhang

## HEGT:Klassifizierung - Hintergrunddaten

Die HEGT:Klassifizierung basiert auf typischen Referenzgebäuden. Die Heizwärmebedarfswerte aus der Tabelle (→ Kap. 2.2.2., S.17) sind als Anhaltswerte bzw. Tendenzen zu verstehen.

In einem weiteren Schritt greift das Softwaretool GemEB (Bilanzierungssoftware) auf hinterlegte Referenzwerte zurück und erlaubt eine quartiersbezogene Betrachtung (→ Kap. 2.2.5., S.28, Werkzeuge für den Energienutzungsplan).

Die Festlegung der typischen Referenzgebäude basiert auf umfassenden Berechnungen die durchgeführt wurden, um die energierelevanten, gestaltprägenden Einflussfaktoren zu differenzieren. Das angewendete Berechnungsverfahren ist angelehnt an das Heizperiodenbilanzverfahren nach [DIN V 4108-6:2003-06] und berücksichtigt den Reboundeffekt nach [Born et al., 2003] und ist an die Besonderheiten von (historischen) Bestandsgebäuden angepasst.

Dabei wurden unterschiedliche Gebäudeformen, Anbaugrade und Konstruktionen berechnet und analysiert. Die Variantenstudien zeigen, dass der Einfluss der Form, quadratisch oder länglich, nur einen sehr geringen Einfluss auf die Gebäude hat. Viel entscheidender ist die Größe des Gebäudes bzw. die Kompaktheit.

Mithilfe der Bilanzierungssoftware GemEB kann der Einflussfaktor der Kompaktheit durch die geometrische Anpassung an die Realform angenähert werden.

Als Ausgangsbasis wurde eine Gebäudeform von 7 m x 14,3 m festgelegt. Dies entspricht einer Grundfläche von 100 m<sup>2</sup>. Die Wohnfläche wurde mit einem Abschlagsfaktor von 0,8 umgerechnet. Dadurch ergibt sich eine Wohnfläche von 80 m<sup>2</sup> pro Geschoss.

Folgende Eingangsgrößen sind dem Berechnungsmodell hinterlegt:

- der Dachstuhl ist nicht ausgebaut und somit nicht beheizt

- die Bodenplatte ist angrenzend zu einem unbeheizten Keller

- Luftwechsel von 0,8 1/h

- Wärmebrückenfaktor von 0,10 W/(m<sup>2</sup>K)

- Um die solaren Einträge einer innerstädtischen Bebauung abzubilden wurde eine mittlere Einstrahlung von 155 kWh/(m<sup>2</sup>a) hinterlegt. Dieser Wert wird mit einem Abminderungsfaktor für Verschattung, Rahmenanteil und Verschmutzung von 0,567 abgemindert.

- Den Referenzgebäuden sind typische U-Werte historischer Gebäude hinterlegt.

- Der spezifische Heizwärmebedarf bezieht sich auf die Wohnfläche (vereinfacht 0,8\*BGF). Die übliche EnEV-Bezugsgröße  $A_N$  liegt meist bis zu 40 % über den realen Werten der Wohnfläche.

- Innentemperatur von 19 °C  
Altbauten weisen meist niedrigere Innentemperaturen auf und auch die Teilbeheizung ist größer ([Born et al., 2003] Seite 2, Abb. 1). Den berechneten Referenzgebäuden wurde zugrunde gelegt, dass durch den Einsatz moderner Technologien behaglichere Innentemperaturen (> 19 °C) erreicht werden sollten. Dadurch kann der errechnete Heizwärmebedarf für die "neue" Situation angesetzt werden.

- Nachtabenkung der Heizung

- Teilbeheizung

Je größer die Wohnfläche der Gebäude, desto kleiner ist auch der Teilbeheizungsfaktor. [Born et al., 2003]

## Quellen &amp; Hintergrundinformationen

[DIN V 4108-6:2003-06] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Stand 2003

[Born et al., 2003] Born, R. / Diefenbach, N. / Loga, T., Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU): Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie, Studie im Auftrag des Impulsprogramms Hessen, Endbericht, Darmstadt 2003

Tab. 15: Referenzgebäude - Basisdaten zu Berechnungen, Geometrie, U-Werte



Berechnungen Basisdaten	I	II	III	IV
freistehend	x	x	x	x
1-seitig angebaut kurze Seite	x	x	x	x
1-seitig angebaut lange Seite	x	x	x	x
2-seitig angebaut kurze Seite	x	x	x	x
2-seitig angebaut lange Seite	x	x	x	x

zu Tab.

In nebenstehender Tabelle sind alle berechnete Referenzgebäude dargestellt.

Zusammengefasst wurden folgende Heizwärmebedarfswerte:

- 2- bis 4-geschossige Gebäude
- 1-geschossige Gebäude sind gesondert aufgeführt, da diese einen weitaus höheren Heizwärmebedarf aufweisen.
- freistehende Gebäude und eine kurze Seite angebaut
- 1-seitig angebaut lange Seite und 2-seitig angebaut kurze Seite
- 2-seitig angebaut lange Seite

Geometrie Basisdaten	I	II	III	IV
Grundfläche	100	200	300	400
Wohnfläche	80	160	240	320
FFA	13,6	27,2	40,8	54,4
h	2,75	5,5	8,25	11
b	7	7	7	7
l	14,3	14,3	14,3	14,3
Wände lang	78,65	157,3	235,95	314,6
Wände kurz	38,5	77	115,5	154
Boden	100,1	100,1	100,1	100,1
Decke	100,1	100,1	100,1	100,1
Ve	275	550	825	1100

U-Werte Basisdaten	U-Wert W/(m²K)	Aufbau
Fenster	2,6	Holzrahmen, 2-Scheiben-Isolierglas Doppelkastenfenster
Wand	1,4 / 2,4	Konstruktionsklasse A / B
OGD	0,91	Holzbalkendecke mit Strohlehmwickeln angrenzend an unbeheiztes Dach
Kellerdecke	0,79	gemauertes Kappengewölbe angrenzend an unbeheizten Keller

Im folgenden sind die Zwischenergebnisse und wesentlichen Zusammenhänge der Variantenstudien aufgezeigt.

Folgende Varianten wurden berechnet:

- freistehende Gebäude
- 1-seitig, kurze Seite angebaut,
- 1-seitig, lange Seite angebaut,
- 2-seitig, lange Seiten angebaut,
- 2-seitig, kurze Seiten angebaut.

Die unterschiedlichen Anbaugrade wurden berechnet als:

- 1-geschossige Gebäude
- 2-geschossige Gebäude
- 3-geschossige Gebäude
- 4-geschossige Gebäude

Diese Varianten wurden jeweils berechnet für:

- Konstruktionsklasse A  
z.B. Fachwerkwände mit Lehmgefach sowie massive Steinwände mit geringer Rohdichte wie bspw. Ziegelwände; die Wände des Referenzgebäudes wurden mit einem U-Wert von  $U=1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  berechnet.
- Konstruktionsklasse B  
z.B. Fachwerke mit Steingefach, massive Natursteinwände aus Sandstein, Muschelkalk, Bruchstein, Fachwerke mit Bruchstein-Mauerwerk aus Naturstein oder Lessstein/Feldstein, Fachwerke mit Lehmziegelgefach; die Wände des Referenzgebäudes wurden mit einem U-Wert von  $U=2,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  berechnet.

In nebenstehender Grafik sind die spezifischen Heizwärmebedarfswerte unterschiedlicher Anbaugrade und Geschossigkeiten exemplarisch für die Konstruktionsklasse A aufgezeigt. Die Analyse zeigt den Einfluss des Anbaugrads und der Anzahl der Geschosse auf den Heizwärmebedarf auf.

Deutlich ablesbar ist der Einfluß der Anzahl der beheizten Stockwerke.

1-geschossige Gebäude weisen durch die schlechte Kompaktheit den höchsten Heizwärmebedarf auf.

Der Heizwärmebedarf eines freistehenden 1-geschossigen Gebäudes der berechneten Variante A0 liegt bei  $235 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Der Heizwärmebedarf eines 2-geschossigen Gebäudes hingegen ist deutlich geringer mit  $195 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Dies entspricht einer prozentualen Abweichung von etwa 20 %.

Der Einfluss der Geschosse nimmt jedoch mit steigender Anzahl ab. So ist der Einfluss auf den Heizwärmebedarf zwischen 2-4-geschossigen Gebäuden nur noch gering. Die Abweichungen liegen im Mittel unter 10 %.

Aus diesem Grund wurden 1-geschossige und mehrgeschossige Gebäude differenziert. Die Heizwärmebedarfswerte der HEGT-Klassifizierung für mehrgeschossige Gebäude entsprechen einem Mittelwert.

Die Abb. 96 und 97 zeigen deutlich, dass der Anbaugrad einen höheren Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat als die Anzahl der Geschosse. Die Anbausituation bestimmt das Maß an Kompaktheit. So kann der Heizwärmebedarf eines freistehenden Gebäudes (geringer Anbaugrad) bis zu 50 % höher sein als der eines Gebäudes mit hohem Anbaugrad. In Abb. 96 sind die Heizwärmebedarfswerte der Referenzgebäude mit geringem, mittleren und hohem Anbaugrad nach Maß der Kompaktheit ( $A/V_g$ ) und unterschiedlicher Konstruktionsklassen dargestellt. Es zeigt sich, dass bei einer Erhöhung des  $A/V_g$ -Verhältnisses sich der Heizwärmebedarf um ca. 10 % verschlechtert (für das berechnete Referenzgebäude).

Desweiteren lässt sich aus der Grafik ablesen, dass die Konstruktion, d.h. die thermische Qualität der Gebäudehülle erst in zweiter Linie eine Rolle spielt. Mit stei-

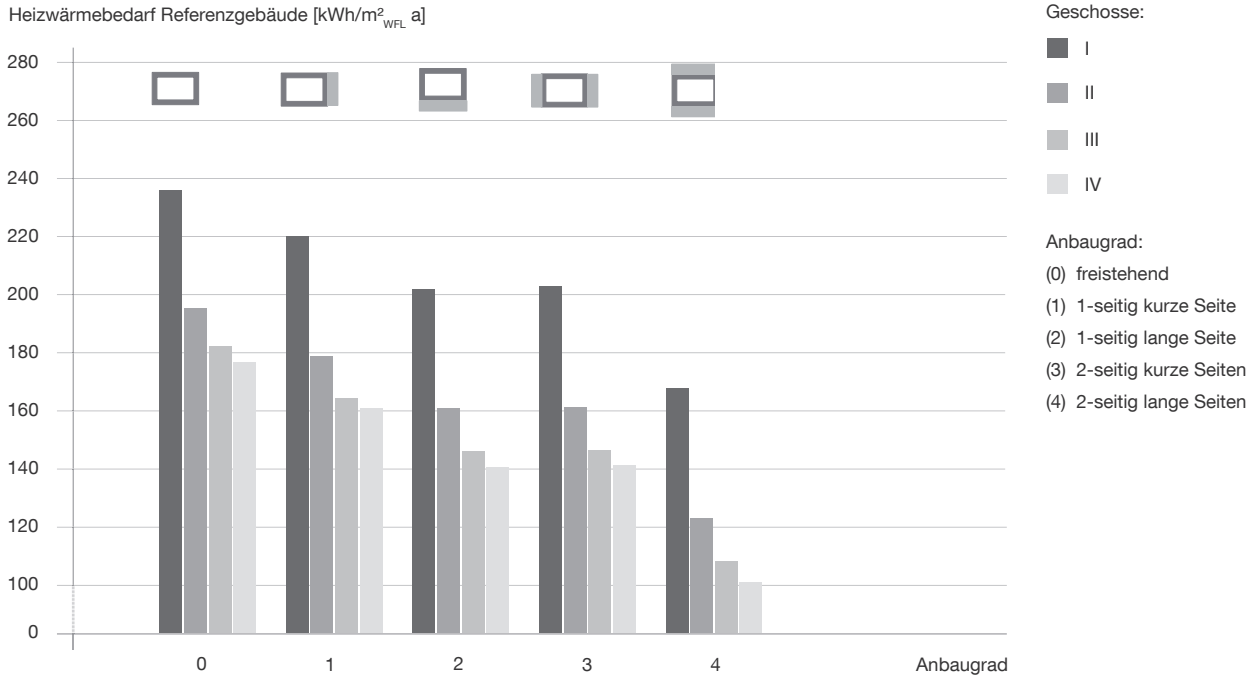
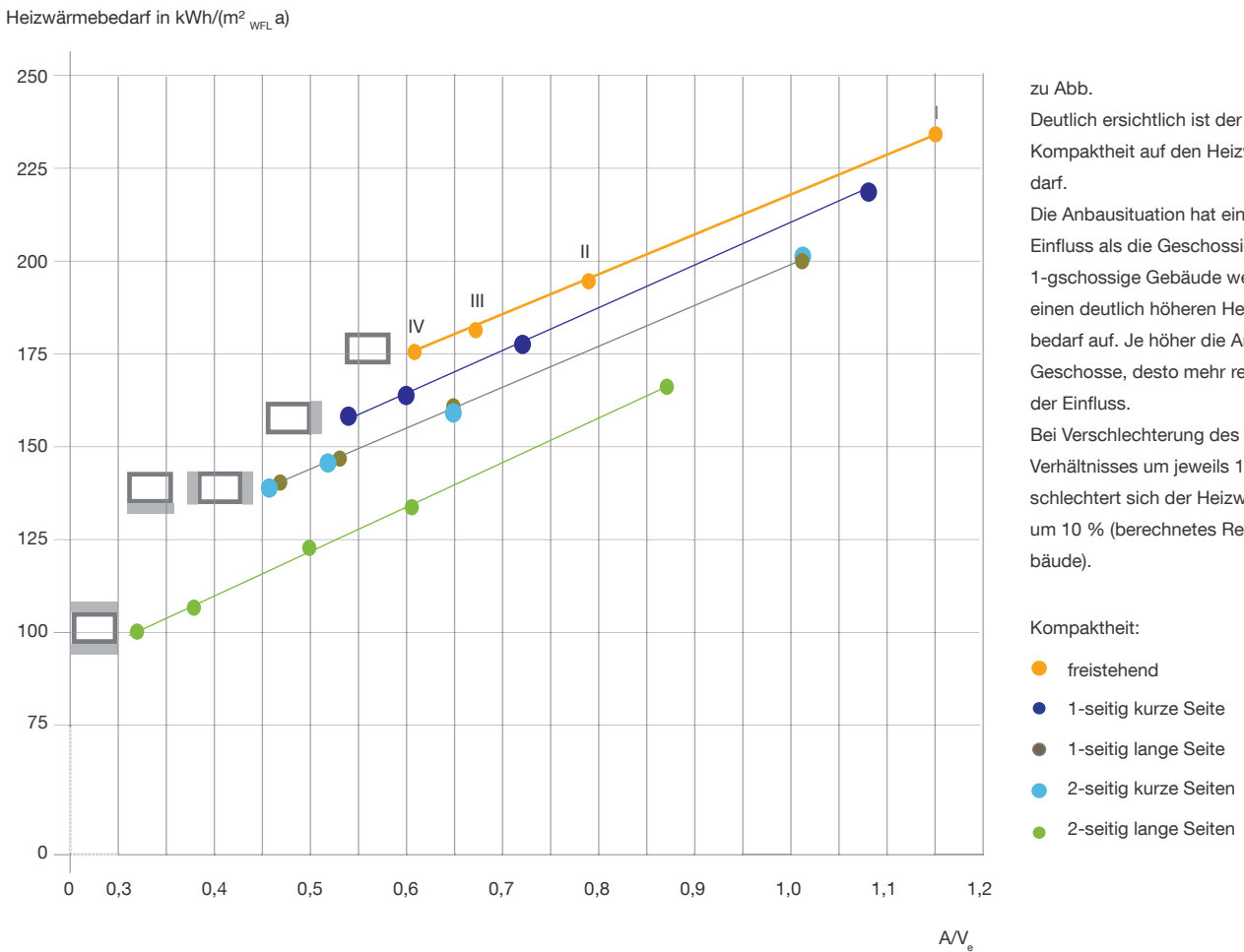


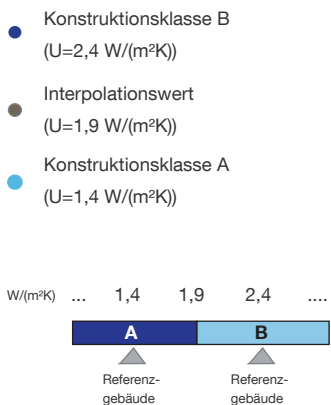
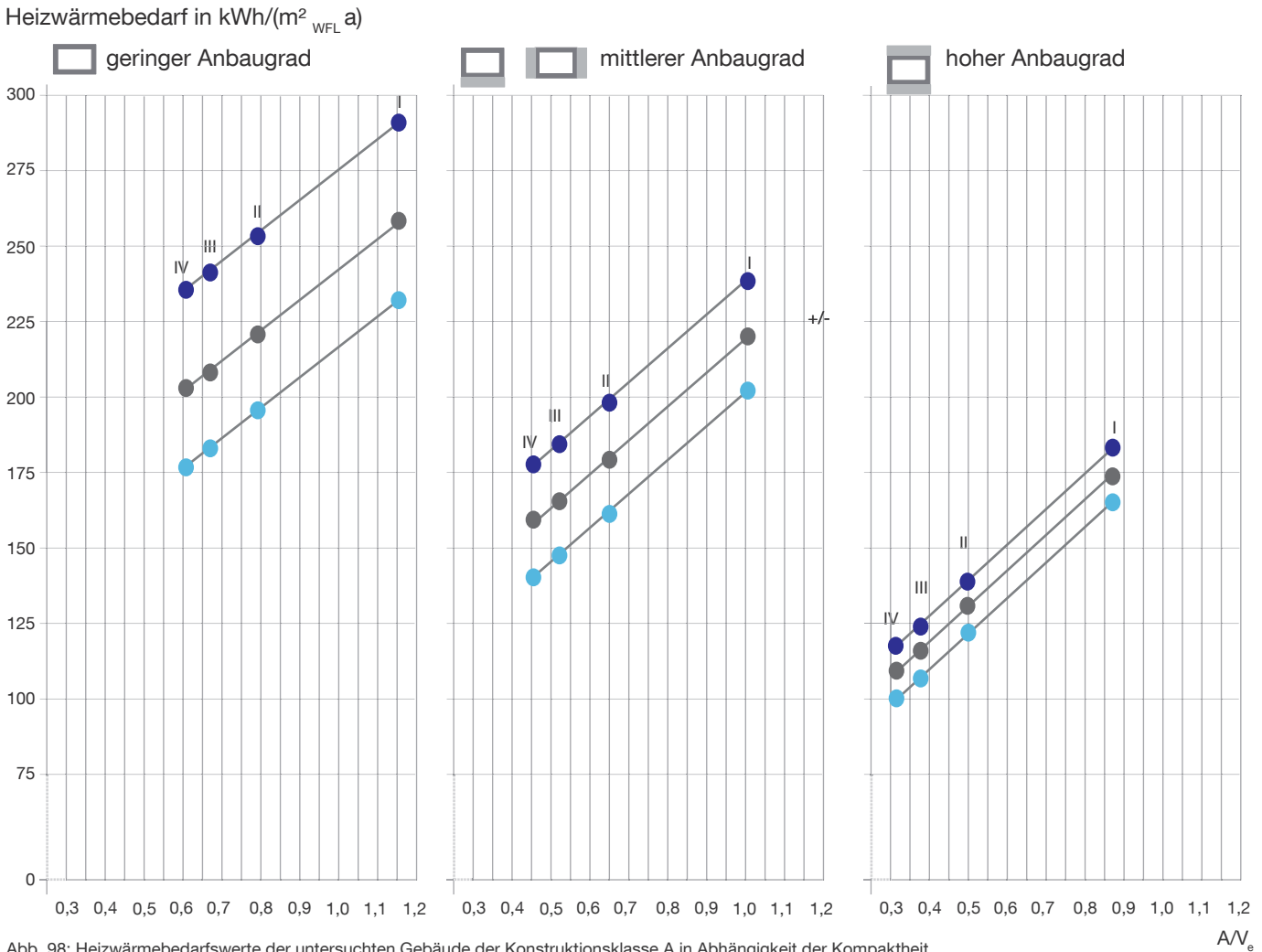
Abb. 96: Heizwärmebedarfswerte der untersuchten Gebäude der Konstruktionsklasse A in Abhängigkeit des Anbaugrads



zu Abb. Deutlich ersichtlich ist der Einfluß der Kompaktheit auf den Heizwärmebedarf. Die Anbausituation hat einen höheren Einfluss als die Geschossigkeit. 1-gschossige Gebäude weisen einen deutlich höheren Heizwärmebedarf auf. Je höher die Anzahl der Geschosse, desto mehr relativiert sich der Einfluss. Bei Verschlechterung des  $A/V_e$ -Verhältnisses um jeweils 10 % verschlechtert sich der Heizwärmebedarf um 10 % (berechnetes Referenzgebäude).

Abb. 97: Heizwärmebedarfswerte der untersuchten Gebäude der Konstruktionsklasse A in Abhängigkeit der Kompaktheit





gender Kompaktheit nimmt der Einfluss der Konstruktionsklasse auf den Heizwärmebedarf ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die thermisch wirksamen Außenwandflächen reduzieren, je kompakter das Gebäude ist. Je schlechter die Kompaktheit und je höher damit der Außenwandanteil, desto entscheidender ist die thermische Qualität der Außenwände. Werden die historischen Wände mit einer Innen- oder Außenwanddämmung gedämmt, dominiert ab einer entsprechenden Dämmstoffdicke dessen Wärmedurchgangswiderstand das gesamte Bauteil. Der Einfluss der Ausgangskonstruktion ist somit nicht mehr entscheidend. Eine detailgenaue Bestimmung des U-Werts ist damit für die Energiebilanzierung im Rahmen einer Energieberatung nicht erforderlich (vgl. [Eichenlaub, Maas, 2008]). Abb. 98 zeigt, dass auch eine Interpolation der Konstruktionsklassen möglich ist.

Aufgrund der Ergebnisse wurden Gruppen zusammengefasst. So ist die Typologie wie folgt differenziert:

- Gebäude mit geringem Anbaugrad (freistehende Gebäude, 1-seitig kurze Seite angebaut)
- Gebäude mit mittlerem Anbaugrad (1-seitig lange Seite angebaut, 2-seitig lange Seiten angebaut)
- Gebäude mit hohem Anbaugrad (2-seitig kurze Seiten angebaut)
- 1-geschossige Gebäude
- mehrgeschossige Gebäude
- Konstruktionsklasse A
- Konstruktionsklasse B

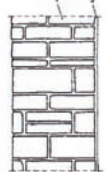
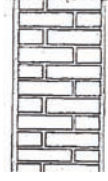
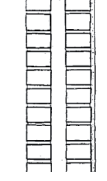

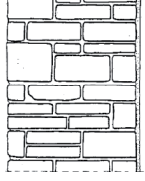
**Bildung der Konstruktionsklassen**

Für die Bildung der Konstruktionsklassen wurden typische historische Wandaufbauten untersucht (→ Abb. 99).




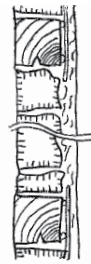
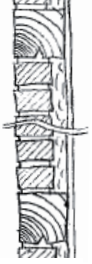
In der Praxis ist die genaue Bestimmung der U-Werte der Bauteile im Rahmen eines Energienutzungsplans nicht möglich. Die Detailtiefe auf Quartiersebene macht dies auch nicht erforderlich. Daher wurden Vereinfachungen getroffen, um die Heizwärmebedarfstendenzen aufzuzeigen. Eine sinnvolle Einteilung nach der Konstruktion wird in der Unterscheidung der thermischen Qualität der Außenwände gesehen. So wurden früher meist regionale Baumaterialien verwendet.

Das bedeutet, gibt es vor Ort vorherrschend Naturstein mit sehr hoher Rohdichte, ist davon auszugehen, dass diese Steine auch für den Bau der Gebäude verwendet wurden. Die Wände haben somit die Tendenz zu sehr hohen U-Werten.

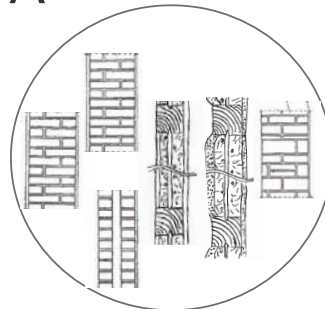
Wurden Natursteine mit geringer Rohdichte wie etwa Lavastein etc. verwendet ist davon auszugehen, dass die Wände bessere U-Werte aufweisen. Dies betrifft auch die thermische Qualität von Fachwerken. Fachwerke mit einer Strohl-  
 ehmfach weisen U-Werte in einem Bereich von 0,9 W/(m²K) bis 1,9 W/(m²K) auf. Wohingegen Fachwerke mit Ziegel- oder Lessteingefachen U-Werte von 2,0 W/(m²K) bis 2,7 W/(m²K) aufweisen. Aus diesen Gründen wurden typische Konstruktionen aufgrund der thermischen Qualität untersucht und zu zwei Konstruktionsklassen zusammengefasst. Die Konstruktionsklassen stellen eine Bandbreite der U-Werte der Außenwände dar. Eine genaue U-Wert Eingabe ist mithilfe des Bilanzierungssoftware GemEB möglich.

Mauerwerk aus Tuffstein, Vulkangestein Rohdichte-1600kg/m³ 45 – 70 cm	Mauerwerk Vollziegel Rohdichte-1800kg/m³ 25 – 51cm	Zweischaliges Mauerwerk Rohdichte-2000-1800kg/m 11,5 – 17,5 cm	Mauerwerk Kalksand-Vollstein Rohdichte-1800kg/m³ 25 – 51cm	mit Bruchsteinen Sandstein, Muschelkalk Basalt, Granit / 45 – 70 cm
				
U-Werte ~ W/(m²K) 0,68 – 0,99	~ 1,19 – 1,92	~ 1,43 – 1,61	~ 1,37 - 2,14	~2,0 – 2,7 2,56 – 3,13

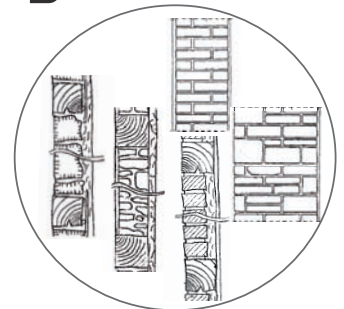


Fachwerk mit Lehmstakung	Lehmstakung und Putzkissen 60er Jahre	Lessteinen	Bruchsteinen hohe Rohdichte	Ziegel Lehmziegel
				
U-Werte ~ W/(m²K) 1,3 -1,9	~ 1,0 - 1,2	~ 2,0 - 2,1	~ 2,4	~ 2,7

**A**



**B**



[DZHD a] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Fachwerkausfachungen

[RKW, 1983] RKW Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft, Zapke, W., Ebert, H., (Institut für Bauforschung e.V.): K-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung. Heft 22. Schriftenreihe der RG-Bau - Rationalisierungs-Gemeinschaft "Bauwesen", Eschborn, 1983

Abb. 99: Bildung der Konstruktionsklassen [DZHD a], [RKW, 1983]

Kosten und Wirtschaftlichkeit  
Neben der Abwägung der energetischen  
Relevanz und der historischen Verträglich-  
keit ist die Wirtschaftlichkeit der Maßnah-

men ein wichtiger Entscheidungsfaktor.  
Untenstehende Tabellen (→ Tab. 16 und  
17) dienen als Hilfestellung für die objekt-  
bezogene Energieberatung.

Tab. 16: Kostentendenzen energetischer Maßnahmen an der Gebäudehülle

Maßnahme	Kostentendenz Euro/m <sup>2</sup> oder Euro/m	Bemerkung	Quelle
Innendämmung diffusionsdicht	40-60	hohes Bauscha- denspotenzial	[NDG, 2008]
Innendämmung diffusionsoffen	70-135		[NDG, 2008]
Innendämmung Wärmedämmlehm	95	Stampflehm	[DFZQ, 2009]
Innendämmung Holzleichtlehmstein	115		[DFZQ, 2009]
Innendämmung Holzweichfaserplatte	130	Diffutherm	[DFZQ, 2009]
Innendämmung Calciumsilikat	135		[DFZQ, 2009]
Wärmedämmputz	85-100	Stuckarbeiten	[NDG, 2008]
Vorgehängte hinterlüftete Fassade	140-180		[KWEM, 2008]
WDVS Styropor	100 - 130	hohes Bauscha- denspotenzial	[KWEM, 2008]
WDVS Mineralfaser	120 - 155	diffusionsoffen	[KWEM, 2008]
Austausch Einfachverglasung gegen Wärmeschutzglas 1,2 W/(m <sup>2</sup> K)	140 - 200	Statik prüfen	[KWEM, 2008]
Dichtungsprofile erneuern	1 - 1,5	Eigenleistung	[KWEM, 2008]
Austausch Fensterflügel (Sonderanfertigung)	300 - 350		[KWEM, 2008]
Einfräsen elastischer Dichtungsbänder in den Flügelrahmen	5 - 8	Lippenprofile	[HMUELV, 2012]
Anbringen einer infrarot-reflektieren Scheibe an der Innenseite bei 1-SVG	70 - 90	Emissivität ≤ 0,20	[HMUELV, 2012]
Zusätzliches Wärmeschutzfenster ein- bauen an der Innenlaibung bestehendes Fenster	200 - 300		[HMUELV, 2012]
3-Scheibenverglasung, Passivh.-Rahmen	570	in Verbindung m. Vollsanierung	[KWEM, 2008]
Kellerdecke dämmen	30 - 50	Dämmung unter Decke	[BKI, 2012]
OGD in Eigenleistung	10-15	eigene Ausführung	[KWEM, 2008]
OGD nicht begehbar	20-30	Ausführung Handwerker	[KWEM, 2008]
OGD begehbar	40-50	begehbar mit Spannplatten	[KWEM, 2008]

Quellen & Hintergrundinformationen:

[BKI, 2012] Hrsg. BKI Baukostenfor-  
mationszentrum: Baukosten Altbau  
2012/2013, Stuttgart, 2012

[DFZQ, 2009] (Hrsg.) Deutsches  
Fachwerkzentrum Quedlinburg: "Hilfe,  
ich habe ein Fachwerkhaus". Ein Leit-  
faden für Bauherren und am Fachwerk  
Interessierte, Quedlinburg, 2009

[KWEM, 2008] Arbeitsblatt 52  
Kosten und Wirtschaftlichkeit einzelner  
Maßnahmen: Bayerisches Staatsmi-  
nisterium für Wirtschaft, Infrastruktur,  
Verkehr und Technologie; Bayerisches  
Staatsministerium des Innern (Oberste  
Baubehörde), München

[NDG, 2008] Nachträgliche Dämmung  
der Gebäudehülle. Ein Leitfaden für  
Bauherren, Gebäudeeigentümer,  
Baufirmen. EU-Projekt Green City Bul-  
ding: Technische Universität Dresden.  
Prof. Dr.-Ing. Weller B., Dresden 2008

[HMUELV, 2012] (Hrsg.) Hessisches  
Ministerium für Umwelt, Energie,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz,  
Wiss. Betreuung: IWU, Institut  
Wohnen und Umwelt: Energieeinspa-  
rung an Fenstern und Außentüren.  
Energieeinsparinformationen 01. Wis-  
senswertes über die Erneuerung und  
Sanierung von Fenstern und Türen,  
Darmstadt, 2012

[Wolff] <http://www.impulsprogramm.de/downloads/Energieberater/Vortrag-WolffFHWolfenbuettel.pdf> (Stand  
September 2012)

Die gezeigten Gesamtkosten stellen grobe Orientierungswerte, die je vom Zustand der Bausubstanz, Arbeitsaufwand und der örtlichen Preissituation abhängig sind, dar.

Tab. 17: Kostentendenzen energetischer Maßnahmen Gebäudetechnik

<b>Maßnahme</b>	Kostentendenz Euro/m <sup>2</sup> oder Euro/m	Quelle
Lüftungsanlage (WE)	5950 20 - 70 €/m <sup>2</sup>	[Wolff]
Dämmung Heizungsrohre 20mm für Rohre bis 22mm Durchmesser	3,50 - 4,50	
Dämmung Heizungsrohre 30mm für Rohre bis 35mm Durchmesser	8,00 - 9,00	
Dämmung Heizungsrohre 50mm für Rohre bis 50mm Durchmesser	15,00 - 20,00	
Außentemperaturgeregelte Thermostatventile	40-50.- €/Stck.	
PV-Module		
Frischwasserstation	2000 €/Stck.	
Hausanschlußstation für Nahwärme	2500 - 3000 €/Stck.	
Effiziente Pumpen		
neuer Heizkessel	8.000 - 12.000 20-80 €/m <sup>2</sup>	
Hydraulischer Abgleich und Heizungsoptimierung	1-6 €/m <sup>2</sup>	[Wolff]
Solare Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung	50-80 €/m <sup>2</sup>	[Wolff]
Solare Trinkwassererwärmung	35-50 €/m <sup>2</sup>	[Wolff]



## 5. Verzeichnis

### 5.1. Quellen und Hintergrundinformationen:

#### B

[bayika] [http://www.bayika.de/de/service/publikationen/pdf/bayika\\_EnEV\\_2009\\_Bauen-im-Bestand.pdf](http://www.bayika.de/de/service/publikationen/pdf/bayika_EnEV_2009_Bauen-im-Bestand.pdf) [Stand 4.10.2012]

[BKI, 2012] Hrsg. BKI Baukosteninformationszentrum: Baukosten Altbau 2012/2013, Stuttgart, 2012

[BLfU] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Kampagne Energieeffizienz, URL: <http://www.lfu.bayern.de/energieeffizienz/heizungspumpe/index.htm> [Stand: 16.09.2010]

[bmu, 2012] [http://www.bmu.de/energiewende/beschluesse\\_und\\_massnahmen/doc/46507.php](http://www.bmu.de/energiewende/beschluesse_und_massnahmen/doc/46507.php) [Stand 27.09.2012]

[BMVBS, 2009] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachungen zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand, Berlin, 30. Juli 2009

[Bode, 2011] Bode, U., Arbeitsvorschlag Kriterien für den Denkmalwert, 2011

[Böhmer et al., 2010] Böhmer, H., Fanslau-Görlitz, D., Zedler, J., (Institut für Bauforschung e.V. Hannover): U-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010

[Born et al. 2003] Born, R., Diefenbach, N., Loga, T., (Institut Wohnen und Umwelt GmbH IWU): Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie, Studie im Auftrag des Impulsprogramms Hessen, Endbericht, Darmstadt, 2003, URL: [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/GebTyp\\_Impulsprogramm\\_Hessen\\_22\\_01\\_2003.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/GebTyp_Impulsprogramm_Hessen_22_01_2003.pdf) [Stand: 27.10.2009]

[Born et al. 2011] Born, R., Diefenbach, N., Loga, T., (Institut Wohnen und Umwelt GmbH IWU): Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, Darmstadt, 2011

[Brugger et al., 2011] Brugger, C., Euler-Rolle, B., Hauser, W., Hoche-Donaubauer, B., Huber, A., Liebich, H., Sima, J., Bednar, T., Wegerer, P.: Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal, (Hrsg.) Bundesdenkmalamt Hofburg, Wien, 2011

[BDA, 2012] (Hrsg.) Bund Deutscher Architekten BDA: Energetische Sanierung: Denken im Quartier, Berlin, 2012

#### C

[Co2-online] [https://ratgeber.co2online.de/index.php?berater=heizatl&portal\\_id=co2online](https://ratgeber.co2online.de/index.php?berater=heizatl&portal_id=co2online) [Stand: 16.09.2010]

#### D

[DENA] Deutsche Energieagentur GmbH (dena): Initiative Energieeffizienz, URL: <http://www.stromeffizienz.de/stromsparen/waerme/heizung.html> [Stand: 16.09.2010]

[DFZQ, 2009] (Hrsg.) Deutsches Fachwerkzentrum Quedlinburg, "Hilfe, ich habe ein Fachwerkhaus". Ein Leitfaden für Bauherren und am Fachwerk Interessierte, Quedlinburg, 2009

[DIN V 4108-6:2003-06] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Stand 2003

[DIN V 4701-10] Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen. Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Stand 2001

[DIN V 18599-1:2011-12] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

[DZHD a] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesburg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege,

Gerner, M.: Arbeitsblatt Fachwerkausfachungen

[DZHD b] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Heizungstechnik im Baudenkmal

[DZHD c] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Trockenmauerwerk

[DZHD d] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Vollflächiges Verputzen von Fachwerkgebäuden

[DZHD e] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Grundsätze zur Fenstersanierung

[DND, 2002] Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz beim Beauftragten der Bundesregierung für Kultur und Medien: Energieeinsparung bei Baudenkmalern. Band 67. Dokumentation der Tagung des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Bonn, 2002

## E

[Eckermann et al., 2000] Eckermann, W., Preißler, H.: Altbaumodernisierung Haustechnik. Planung und Ausführung technischer Installationen in historischen Gebäuden, (Hrsg.) Gerner, M., DVA, Stuttgart, München, 2000

[Eichenlaub, Maas, 2008] Eichenlaub, A., Maas, A.: Bauphysik und Baukultur – Vorschlag für eine Baudenkmaltypologie, In Umweltbewusstes Bauen, (Hrsg.) A. Maas, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008

[Energieatlas Bayern] 86, 87

[EnEV, 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden von 29. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009

[Erhorn et al., 2007, Seite 4] Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H., Hauser, G., Sager, C., Weber, H., Friedrich, M., Becker, D., Grondy, G., Laskowski, F.: CO<sub>2</sub> Gebäudereport 2007, (Hrsg.) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Berlin, 2007

[Eßmann et al., 2005] Eßmann, F., Gänßmantel, J., Geburtig, G.: Energetische Sanierung von Fachwerkhäusern. Die richtige Anwendung der EnEV, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2005

## G

[Grunewald, Will, 2010] Grunewald, J., Will, T., (Technische Universität Dresden): Pilotstudie zum Modellprojekt des Sächsischen Staatsministeriums des Innern: Energetische Sanierung von Baudenkmalern, Dresden, 2010

## H

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Schmid, T., Bonnet, C., Hamacher, T., Tzscheutschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan, (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit StMUG, Bayerisches Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (OBB), München, 2011

[Hausladen et al., 2012] Hausladen, G., Zadow, O., Fröhler, R., Vohlidka, P., Schinabeck, J.: Eneff:Wärme Pilotprojekt Ismaning - Energieleitplanung, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.), Stand 24.09.2012, Frankfurt am Main, 2012

[Hinz, 2011] Hinz, E.: Kosten energetischer Modernisierungen im Gebäudebestand, IWU Institut Wohnen und Umwelt, Vortrag in Wels am 03.03.2011, URL: [http://www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2011/download\\_presentations/32\\_Hinz.pdf](http://www.wsed.at/fileadmin/redakteure/WSED/2011/download_presentations/32_Hinz.pdf)

[HMUELV, 2006] (Hrsg.) Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiss. Betreuung: IWU, Institut Wohnen und Umwelt: Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren. Energieeinsparinformationen 01. Wissenswertes über die Erneuerung und Sanierung von Fenstern und Türen, Darmstadt, 2012

[HMUELV, 2012] (Hrsg.) Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiss. Betreuung: IWU, Institut Wohnen und Umwelt: Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren. Energieeinsparinformationen 01. Wissenswertes über die Erneuerung und Sanierung von Fenstern und Türen, Darmstadt, 2012

## I

[IWR] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR): Planungsaspekte im Vorfeld von WEA-Vorhaben, URL: [http://www.iwr.de/wind/raum/r\\_vorgab.html](http://www.iwr.de/wind/raum/r_vorgab.html) [Stand: 20.12.2010]

[IWU, 2003] Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze, Dokumentation, Darmstadt, 2003, URL: [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Gebaeudetypologie\\_Deutschland.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland.pdf) [Stand: 10.02.2011]

[IWU, 2009] Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Deutsche Gebäudetypologie – Bilder typischer Gebäude, Darmstadt, 2003, URL: [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/IWU\\_GebTyp\\_D.zip](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/IWU_GebTyp_D.zip) [Stand: 27.10.2009]

[IWU, 2005] IWU Institut Wohnen und Umwelt: Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze, Darmstadt 2005

## K

[KWEM, 2008] (Hrsg.) Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; Bayerisches Staatsministerium des Innern (Oberste Baubehörde): Arbeitsblatt 52. Kosten und Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen, München

[Künzel, 2007] Künzel, H.: Bauphysik und Denkmalpflege, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2007

## L

[Loga, Diefenbach, 2005] Loga, T., Diefenbach, N.: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden. Kurztitel: „Kurzverfahren Energieprofil“. Teil III: Pauschalwerte Anlagentechnik, Darmstadt, 2005

[LfU] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Kampagne Energieeffizienz, URL: <http://www.lfu.bayern.de/energieeffizienz/heizungspumpe/index.htm> [Stand: 16.09.2010]

## N

[NDG, 2008] Nachträgliche Dämmung der Gebäudehülle. Ein Leitfaden für Bauherren, Gebäudeeigentümer, Baufirmen. EU-Projekt Green City Building: Technische Universität Dresden. Prof. Dr.-Ing. Weller B., Dresden 2008

## O

[Optimus] [http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/presentation\\_optimierung\\_grundlagen.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/presentation_optimierung_grundlagen.pdf) [Stand 4.10.2012]

## P

[Pfistermeister, 1993] Pfistermeister, U.: Fachwerk in Franken, Nürnberg, 1993

## R

[RKW, 1983] RKW Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft, Zapke, W., Ebert, H., (Institut für Bauforschung e.V.): K-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung. Heft 22. Schriftenreihe der RG-Bau - Rationalisierungs-Gemeinschaft "Bauwesen", Eschborn, 1983

[Runge] Runge, K: Repowering von Windenergieanlagen und Abstandsempfehlungen der Länder, URL: [http://www.oecos.com/Runge-Repowering-HbE-4\\_1\\_06.pdf](http://www.oecos.com/Runge-Repowering-HbE-4_1_06.pdf) [Stand: 20.12.2010]

## S

[Schmidt, 2010] Schmidt, R.: Entwicklung einer energetischen Typologie denkmalgeschützter Gebäude am Beispiel der Stadt Iphofen, München, 2010

## T

[Thiem, 1998] Thiem, W.: Denkmalpflegerischer Erhebungsbogen Stadt Iphofen, Auftragsgutachten für die Stadt Iphofen, Landkreis Kitzingen, 1998

## V

[VdLd, 2005] Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland: Arbeitsblatt 25. Stellungnahme zur Energieeinsparverordnung (EnEV) und zum Energiepass, Wiesbaden, 2005

## W

[Weeber et al., 2005] Weeber, H., Weeber, R., Fritz, A., Dörrie, A.: Besser Wohnen in der Stadt. Konzepte und Beispiele für Familienwohnungen, Fraunhofer IRB Verlag, 2005

[Weller, 2008] Weller B., (Technische Universität Dresden): Nachträgliche Dämmung der Gebäudehülle. Ein Leitfaden für Bauherren, Gebäudeeigentümer, Baufirmen. EU-Projekt Green City Building, Dresden, 2008

[Windatlas Bayern] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT) (Hg.): Bayerischer Windatlas, München 2010, URL: [http://www.stmwivt.bayern.de/fileadmin/Web-Dateien/Dokumente/energie-und-rohstoffe/Bayerischer\\_Windatlas.pdf](http://www.stmwivt.bayern.de/fileadmin/Web-Dateien/Dokumente/energie-und-rohstoffe/Bayerischer_Windatlas.pdf) [Stand: 10.12.2010]

[WindGuard et. al.] Deutsche WindGuard GmbH, Windenergieagentur Bremen/Bremerhaven e.V. (Auftraggeber), Bundesverband Windenergie e.V. (Auftraggeber): Auswirkungen neuer Abstandsempfehlungen auf das Potenzial des Repowering am Beispiel ausgesuchter Landkreise und Gemeinden, Varel 2005, URL: [http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Repowering/WAB-WindGuard\\_Repowering\\_Studie.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Repowering/WAB-WindGuard_Repowering_Studie.pdf) [Stand: 31.10.2012]

[Wolff, 2007] <http://www.impulsprogramm.de/downloads/Energieberater/Vortrag-WolffFHWolfenbuettel.pdf> [Stand:26.09.2012]

[Wolff et al., 2002] Wolff, D., Jagnow, K., Halper, C., Ullrich, C., (Institut für Heizungs- und Klimatechnik Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel): Abschlussbericht Felduntersuchungen zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissins- und Lüftungsverbrauchs durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen, Braunschweig/Wolfenbüttel, 2002

[WTA] Geburtig, G., WTA Merkblätter, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA), Weimar

[DZHD e] (Hrsg.) Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Probstei Johannesberg, Fulda e.V., Beratungsstelle für Formgebung und Denkmalpflege, Gerner, M.: Arbeitsblatt Grundsätze zur Fenstersanierung

[Eichenlaub, Maas, 2008] Eichenlaub, A., Maas, A.: Bauphysik und Baukultur – Vorschlag für eine Baudenkmaltypologie, In Umweltbewusstes Bauen, (Hrsg.) A. Maas, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008

[www.heizatlas.de](http://www.heizatlas.de)

[www.meine-heizung.de](http://www.meine-heizung.de)



## 5.2. Indexverzeichnis

**B**

[bayika] 75  
[BKI, 2012] 118  
[BLfU] 77  
[bmu, 2012] 4, 5, 32, 33, 50  
[BMVBS, 2009] 102  
[Bode, 2011] 31  
[Böhmer et al., 2010] 67, 68, 69, 71, 121  
[Born et al., 2003] 24, 25, 112  
[Born et al., 2011] 20, 21, 39, 62, 120

**C**

[Co2-online] 77

**D**

[DENA] 77  
[DFZQ, 2009] 55, 60, 118,  
[DIN V 4108] 24, 25, 84, 112  
[DIN V 4701-10] 25, 84  
[DIN V 18599-1:2011-12] 102  
[DZHD a] 18, 18, 60, 61, 73, 117

**E**

[Eckermann et al., 2000] 76, 78, 80,  
[Eichenlaub, Maas, 2008] 35, 116  
[Energieatlas Bayern] 86, 87  
[EnEV 2009] 39, 52, 53, 55, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66,  
67, 68, 70, 74, 76, 77, 78, 97, 99  
[Erhorn et al., 2007] 4

**G**

[Grunewald, Will, 2010] 67, 69, 70

**H**

[Hausladen et al., 2011] 4, 8, 10, 13, 14, 20, 21, 23, 32,  
42, 79, 80, 84, 85, 86, 87, 94  
[Hausladen et al., 2012] 24, 25, 26, 29, 96, 97, 98, 99,  
101  
[Hinz, 2011] 98, 100, 101  
[HMUDELV, 2006] 62  
[HMUDELV, 2012] 62, 63, 65, 73, , 118

**I**

[IWR] 90  
[IWU, 2003] 20, 62, 67, 69, 120  
[IWU, 2005] 24, 25, 26, 27

**K**

[KWEM, 2008] 118

**L**

[Loga, Diefenbach, 2005] 63, 76

**N**

[NDG, 2008] 118

**O**

[Optimus] 75

**P**

[Pfistermeister, 1993] 14, 15, 120

**R**

[RKW, 1983] 18, 67, 69, 117

[Runge] 90

**S**

[Schmidt, 2010] 14, 15, 16

**T**

[Thiem, 1998] 14, 15, 16

**V**

[VdLd, 2005] 4

**W**

[Weeber et al., 2005] 4  
[Windatlas Bayern] 91  
[WindGuard et. al.] 91  
[Wolff, 2007] 76  
[Wolff et al., 2002] 76  
[WTA] 54, 55, 56, 57, 60, 61

### 5.3. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Untersuchungsgebiete: Iphofen, Mönchsondheim und Hellmitzheim S.8
- Abb. 2: Informationspool des Forschungsvorhabens S.9
- Abb. 3: Ebenen eines Energienutzungsplans (Kartenausschnitte) S.10
- Abb. 4: Aufbau des Forschungsprojekts - Inhalte, Vorgehensweise, Ergebnisse und allgemeine Übertragbarkeit S.11
- Abb. 5: Schritte der Bestands- und Potenzialanalyse historischer Quartiere S.12
- Abb. 6: Marktplatz von Iphofen [Thiem, 1998] S.14
- Abb. 7: Anbaugrad der Gebäude S.15
- Abb. 8: Typische Konstruktionen S.15
- Abb. 9: Rothenburg ob der Tauber [gmaps] S.16
- Abb. 10: Nördlingen [gmaps] S.16
- Abb. 11: Iphofen [gmaps] S.16
- Abb. 12: Wasserburg am Inn [gmaps] S.16
- Abb. 13: Historisch-Energetische Gebäudetypologie (HEGT) S.17
- Abb. 14: Tendenz Heizwärmebedarf in kWh/(m<sup>2</sup>a) nach Anbaugrad - Konstruktionsklasse A und B - 2 bis 4 Geschosse S.19
- Abb. 15: Wärmebedarfsermittlung gewachsener historischer Quartiere nach IWU und HEGT modifiziert nach [Hausladen et al., 2011] S.21
- Abb. 16: Piktogramme - Erstellung einer Wärmebedarfsdichtekarte S.22
- Abb. 17: Referenzgebäudeverfahren nach GemEB (Gemeinde-Energieberater Bilanzierungssoftware) S.25
- Abb. 18: Spezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit der Wohnfläche S.26
- Abb. 19: Funktionsschema GemEB 1.3 und Erweiterung um historische Gebäude in GemEB 2.0 S.27
- Abb. 20: Referenzgebäudeverfahren nach GemEB S.28
- Abb. 21: Spez. Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit der Wohnfläche historischer Gebäude der Konstruktionsklasse A exemplarisch für zweigeschossige Gebäude; Werte für halbe, einfache und doppelte Wohnfläche sind hervorgehoben S.29
- Abb. 22: Spez. Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit der Wohnfläche historischer Gebäude der Konstruktionsklasse B exemplarisch für zweigeschossige Gebäude; Werte für halbe, einfache und doppelte Wohnfläche sind hervorgehoben S.29
- Abb. 23: Energieabnahme unter Berücksichtigung künftiger behutsamer Sanierungsmaßnahmen für den Innerstädtischen Bereich von Iphofen und für Hellmitzheim S. 33
- Abb. 24: HEGT:Gebäudetypologie (Werte für 2 bis 4 Geschosse) S.38
- Abb. 25: Prozentuale Verteilung der Anzahl der nach HEGT klassifizierten historischen Wohngebäude und Wohngebäude ab Baualterklasse C der Stadt Iphofen S. 42
- Abb. 26: Prozentuale Verteilung des Gesamtwärmebedarfs historischer und nicht historischer Wohngebäude der Stadt Iphofen S. 42
- Abb. 28: Städtebauliche Struktur Iphofens - hohe bauliche Dichte der historischen Altstadt - lockere Bebauungsstruktur in umliegenden Quartieren S.43
- Abb. 27: Wärmebedarfsdichte der IST-Situation im Stadtbereich Iphofen S.43
- Abb. 29: Anteil des Gebäudebestands im Quartier der vor 1979 erbaut wurde S.44
- Abb. 30: Wärmebedarfsdichte Zukunft: jährliche Sanierungsrate 1,5% - Anschlussgrad 70% 45
- Abb. 31: Grundsätzliche Konstruktionstypen (v.l.n.r.: Zierfachwerk, Massiv, Konstruktives Fachwerk) S.46
- Abb. 32: Verteilung der Konstruktionstypen in Iphofen S.46
- Abb. 33: Gestaltprägende Fassaden, Typische Elemente S.47
- Abb. 34: Denkmalschutzklassifizierung S.47
- Abb. 35: Anbaugrad der Gebäude in Iphofen S.48
- Abb. 36: Sanierungsstände S.49
- Abb. 37: Prozentuale Anteile demnächst zu sanierender Gebäude im Zeitraum der nächsten 10 bis 15 Jahre und Überlagerung der Denkmalschutzklassifizierung S. 49
- Abb. 38: Heizwärmebedarf der Wohngebäude Stadt Iphofen IST S. 51
- Abb. 39: Iphofen AltstadtSzenario 2035 (a) S.51
- Abb. 40: Iphofen AltstadtSzenario 2035 (b) S.51
- Abb. 41: Iphofen AltstadtSzenario 2035 (c) S.51
- Abb. 42: HEGT:Gebäudetypologie - Kennzeichnung der Typologie (Werte für 2 bis 4 Geschosse) S.52
- Abb. 43: Einsparpotenzial\* in kWh/(m<sup>2</sup>a) einer Außenwanddämmung mit 15 cm WLK 035 für Konstruktionsklasse A und B S. 53
- Abb. 44: Wasserdampfdiffusionswiderstand  $\mu$  unterschiedlicher Baustoffe S.54

- Abb. 45: Einsparpotenzial in kWh/(m<sup>2</sup>a) einer Innenwanddämmung mit 7 cm und WLG 060 für Konstruktionsklasse A und B S.56
- Abb. 46: Eigenschaften von Innendämmsystemen - Wärmeschutz, Dampfdiffusionsfähigkeit und Kapillarität (nach [WTA Merkblatt E8-5-06/D]) S.56
- Abb. 47: U-Werte unterschiedlicher Dämmstoffstärken und WLG, für Konstruktionsklasse A und B S.57
- Abb. 48: U-Werte unterschiedlicher Putzstärken für Konstruktionsklasse A und B S. 59
- Abb. 49: Einsparpotenzial Wärmedämmputz in kWh/(m<sup>2</sup>a) (5cm WLG 090) S. 59
- Abb. 50: Eignung von Materialien für die Verfachung - Historisches Baumaterial, Wärmeschutz, Dampfdiffusionsfähigkeit und Kapillarität (nach [WTA Merkblatt 8-3-99/D]) S. 61
- Abb. 51: Einsparpotenzial in kWh/(m<sup>2</sup>a) durch den Austausch von Kastendoppelfenstern oder Isolierverglasungen (1975 bis 1994) mit neuen Fenstern U=1,3 W/(m<sup>2</sup>K) (2-SVG) S. 63
- Abb. 52: Verglasungsarten, U-Werte und Temperaturen von Innenoberflächen. Temperatur -10°C (außen) und 20°C (innen) [HMUELV, 2012]. S. 65
- Abb. 53: Einsparpotenzial in kWh/(m<sup>2</sup>a) durch die Dämmung der Obersten Geschosdecke von 20 cm WLG 040 S. 69
- Abb. 54: Einsparpotenzial in kWh/(m<sup>2</sup>a) Dämmung mit 6 cm WLG 035 einer Kellerdecke U=0,8 W/m<sup>2</sup>K S. 71
- Abb. 55: Einsatz unterschiedlicher Wärmeübertragungssysteme in historischen Gebäuden S. 78
- Abb. 56: Typische Temperaturniveaus auf Seite der Verbraucher nach [Hausladen et al., 2011] S. 80
- Abb. 57: Filterung Infrastruktur auf städtebaulicher Ebene und gebäudebezogen S. 81
- Abb. 58: Vorhandene Energieinfrastruktur der Stadt Iphofen S. 82
- Abb. 59: Versorgungsgrade Gas und Öl sowie Kesselalter in Iphofen und in den Gemeindeteilen Mönchsondheim und Hellmitzheim S. 83
- Abb. 60: Filterung Zentrale / Dezentrale Nutzung S. 85
- Abb. 61: Potenzialverteilung Solareinstrahlung in unterschiedlichen Gemeindeteilen S. 87
- Abb. 62: Potenzialverteilung Solareinstrahlung in unterschiedlichen Gemeindeteilen S. 87
- Abb. 63: Schritte zur Findung von geeigneten Windkonzentrationszonen (WKZ) auf dem Gemeindegebiet Iphofen S. 92
- Abb. 64: Übersicht Potenziale (Gemeinde Iphofen) S. 93
- Abb. 65: Schritte zum Konzept - Überlagerung verschiedener Karten und Ergebnisse S. 94
- Abb. 66: Anwendung der Filterung anhand der Wärmebedarfsdichtekarte, Infrastruktur und Energiepotenziale S. 95
- Abb. 67: Adaption von neuen und bestehenden Anlagekomponenten - erneuerbare Energieträger S. 96
- Abb. 68: Adaption von neuen und bestehenden Anlagekomponenten - fossile Energieträger S. 96
- Abb. 69: Mindestwärmepreise eines Siedlungsgebiets aus den 50er und 60er Jahren, Ist-Zustand (unten) und Zukunftsszenario bei Vollsanierung (oben) in Abhängigkeit des Anschlussgrads (nach [Hausladen et al., 2012], S.90, Abb. 5.33 u. S. 95 Abb. 6.9) S. 97
- Abb. 70: Mindestwärmepreise der Altstadt Iphofen, Ist-Zustand (unten) und Zukunftsszenario bei Vollsanierung (oben) in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 97
- Abb. 71: Wärmenetz "Ismaning FH", Siedlungsgebiet aus den 50er und 60er Jahren [Hausladen et al., 2012] S. 98
- Abb. 72: Wärmenetz "Altstadt Iphofen" S. 98
- Abb. 73: Variante 1 (Abwärme): Mindestwärmepreise Altstadt Iphofen - Ist-Zustand (blau), Zukunftsszenario bei 1,5 % Sanierungsrate (orange) und Vollsanierung (grün) in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 99
- Abb. 74: Variante 2 (Hackschnitzelheizwerk): Mindestwärmepreise Altstadt Iphofen - Ist-Zustand (blau), Zukunftsszenario bei 1,5 % Sanierungsrate (orange) und Vollsanierung (grün) in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 99
- Abb. 75: Variante 3 (nur Gaserzeugung): Mindestwärmepreise Altstadt Iphofen - Ist-Zustand (blau), Zukunftsszenario bei 1,5 % Sanierungsrate (orange) und Vollsanierung (grün) in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 99
- Abb. 76: Entwicklung der Amortisationszeiten bei steigenden Sanierungskosten historischer Gebäude für eine jährliche historisch verträgliche Sanierungsrate von 1,5 % bis ins Jahr 2035 exemplarisch für den Anschlussgrad 70 % S. 101
- Abb. 77: Spezifischer Primärenergiebedarf der Altstadt Iphofen für historische und nicht-historische Gebäude im Ist-Zustand und in den Zukunftsszenarien für dezentrale und zentrale Wärmeversorgung S. 102
- Abb. 78: Energienutzungsplan - Wärmekonzeptkarte Stadt Iphofen S. 103
- Abb. 79: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 106
- Abb. 80: Mindestwärmepreise Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 106
- Abb. 81: Lastverhalten Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 106
- Abb. 82: Mindestwärmepreise Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 106
- Abb. 83: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 107
- Abb. 84: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads, Grundlast aus BHKW, 700 kW<sub>therm</sub> S. 107
- Abb. 85: Mindestwärmepreise Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 107
- Abb. 86: Lastverhalten Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads S. 107

- Abb. 87: Lastverhalten Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads, Grundlast aus BHKW,  $700 \text{ kW}_{\text{therm}}$  S.107
- Abb. 88: Mindestwärmepreise Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads S.107
- Abb. 89: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads S.108
- Abb. 90: Lastverhalten Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrades, Grundlast aus BHKW,  $700 \text{ kW}_{\text{therm}}$  S.108
- Abb. 91: Mindestwärmepreise Ist-Zustand in Abhängigkeit des Anschlussgrads S.108
- Abb. 92: Lastverhalten Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads S.108
- Abb. 93: Lastverhalten Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrades, Grundlast aus BHKW,  $700 \text{ kW}_{\text{therm}}$  S.108
- Abb. 94: Mindestwärmepreise Zukunftsszenario in Abhängigkeit des Anschlussgrads S.108
- Abb. 95: Spezifische Kosten (unten) und Verbrauch (oben) in Abhängigkeit der eingespeisten Energie bezogen auf den Gesamtwärmebedarf der Netzausbauvariante "Altstadt" im IST-Zustand bei 70 % Anschlussgrad S.110
- Abb. 96: Heizwärmebedarfswerte der untersuchten Gebäude der Konstruktionsklasse A in Abhängigkeit des Anbaugrads S.115
- Abb. 97: Heizwärmebedarfswerte der untersuchten Gebäude der Konstruktionsklasse A in Abhängigkeit der Kompaktheit S.115
- Abb. 98: Heizwärmebedarfswerte der untersuchten Gebäude der Konstruktionsklasse A in Abhängigkeit der Kompaktheit S.116
- Abb. 99: Bildung der Konstruktionsklassen [[DZHD a], [RKW, 1983] S.117



## 5.4. Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Bezugswerte für die Ermittlung des Wärmebedarfs [Hausladen et al., 2011] S.20
- Tab. 2: Spezifische Heizwärmebedarfswerte (Nutzenergie) für Wohngebäude [kWh/(m<sup>2</sup>a)], nach [Born et al. 2011] S.21
- Tab. 3: Spezifische Brauchwarmwasserbedarfswerte für Wohngebäude [kWh/(m<sup>2</sup>a)], nach [Hausladen et al., 2011] S.21
- Tab. 4: Übersichtsmatrix zur Ermittlung des Wärmebedarfs/-verbrauchs modifiziert nach [Hausladen et al., 2011] S.23
- Tab. 5: HEGT:Sanierungsmatrix - Konstruktionsklasse A S.36
- Tab. 6: HEGT:Sanierungsmatrix - Konstruktionsklasse B S.37
- Tab. 7: HEGT:Wirtschaftlichkeitstendenz nach Anbaugrad und Konstruktionsklasse S.41
- Tab. 8: Zukunftsszenarien Stadt Iphofen S.50
- Tab. 9: Einsparpotenziale energetischer Maßnahmen nach thermischer Qualität der Bestandskonstruktion S.72
- Tab. 10: Randbedingungen und Ergebnisvergleich bei einem Anschlussgrad von 70 % der beiden Netze "Ismaning FH" [Hausladen et al., 2012] und "Altstadt Iphofen" S.97
- Tab. 11: Randbedingungen Netz "Altstadt Iphofen" S.99
- Tab. 12: Sanierungswahrscheinlichkeit und zu erreichendes EnEV-Niveau in Abhängigkeit des Denkmalschutzstatus: Denkmallisteneintrag (1), ortsbildprägend (2), ortsstrukturprägend (3) S.100
- Tab. 13: Zugrundegelegte Sanierungskosten [Hinz, 2011] S.100
- Tab. 14: Randbedingungen für die Netzausbauvarianten "Altstadt-Nord", "Altstadt-Ost" und "Altstadt" S.105
- Tab. 15: Referenzgebäude - Basisdaten zu Berechnungen, Geometrie, U-Werte S.113
- Tab. 16: Kostentendenzen energetischer Maßnahmen an der Gebäudehülle S.118
- Tab. 17: Kostentendenzen energetischer Maßnahmen Gebäudetechnik S.119