

GemEB - Ein Softwarewerkzeug für den Energienutzungsplan zur Berechnung von Energiebedarfsdichten in Siedlungsgebieten

Berechnung des Wärmebedarfs unter Einbeziehung von Sanierungskonzepten nicht-historischer
und historischer Wohngebäude in Siedlungsgebieten

GemEB - Ein Softwarewerkzeug für den Energienutzungsplan zur Berechnung von Energiebedarfsdichten in Siedlungsgebieten

Berechnung des Wärmebedarfs unter Einbeziehung von Sanierungskonzepten nicht-historischer und historischer Wohngebäude in Siedlungsgebieten

Impressum:

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

Autoren:

Dipl.-Ing. Architekt Oliver Zadow
B.A.Sc. Amelie Lesser

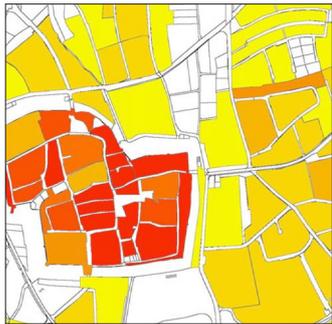
Stand:

19. Dezember 2012

Inhaltsverzeichnis

1.	Hintergrund und Problemstellung	6
1.1.	Wärmebedarfsberechnung über spezifische statistische Werte	8
1.2.	Zielgruppe	10
2.	Programmaufbau	11
2.1.	Programmstruktur	11
2.2.	Vereinfachtes Heizperiodenverfahren	12
2.3.	Automatisierte Berechnungen	13
2.3.1.	Nicht-historische und historische Gebäude	13
2.3.1.1.	Nicht-historische Gebäude	13
2.3.1.2.	Historische Gebäude	13
2.3.2.	Geometriedatenermittlung	14
2.3.2.1.	GemEB Referenzgebäude	14
2.3.2.2.	Tatsächliche Fassadenlängen	14
2.3.3.	Berechnungszeitraum für bereits geschehene und zukünftige energetische Sanierungsmaßnahmen	16
2.3.3.1.	Berechnung des Ist-Zustands	16
2.3.3.2.	Berechnung von Zukunftsszenarien	17
2.3.4.	Historische Gebäude	18
3.	Anwendung	20
3.1.	Systemvoraussetzungen	20
3.2.	Installation und Inbetriebnahme	20
3.3.	Benutzeroberfläche	21
3.3.1.	Berechnungsmodus	21
3.3.2.	Input	22
3.3.3.	Output	23
3.4.	Auswerten der Ergebnisse	23
4.	Ausblick	24
4.1.	Erhöhte Datengenauigkeit	24
4.2.	Verbesserung der Sanierungszyklen	24

4.3.	Angepasste Referenzgebäude	25
4.4.	Anlagentechnik	25
4.5.	Darstellungsoptionen	26
5.	Fazit	26
6.	Literaturverzeichnis	27
7.	Abbildungsverzeichnis	28



Wärmedichtekarte, Bildquelle: [Drittenpreis et al., 2012]

1. Hintergrund und Problemstellung

Mit der Erarbeitung des „Leitfaden Energienutzungsplan“ [Hausladen et al., 2011] durch den Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gerhard Hausladen an der Technischen Universität München im Auftrag des Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), des Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT) und der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren (Obb) ist ein Planungsinstrument entstanden, das Energie als wichtiges Element in die Raumplanung einbindet.

Die Erstellung eines Energienutzungsplans (ENP) gliedert sich dabei im allgemeinen in drei Phasen (vgl. Abb. 01): Die Bestands- und Potenzialanalyse, die derzeit den arbeitsaufwendigsten Teil darstellt, die Konzeptentwicklung und daran anschließend die Umsetzung.

Die hohe Förderung zur Aufstellung eines ENP seitens der Bayerischen Staatsregierung unterstreicht die hohe Aktualität. Ähnlich wie ein Flächennutzungsplan (FNP) in der räumlichen Planung zeigt der ENP als informelles Planungsinstrument ganzheitliche energetische Konzepte und Planungsziele auf.

Dennoch ist bei Städten und Gemeinden oftmals eine Unsicherheit insbesondere bei Entscheidungen zur weiteren Vorgehensweise zu beobachten. So werden beispielsweise konzeptionelle Ansätze eines

ENP nicht zwingend mit konkreten Machbarkeitsstudien oder konkreten Planungen hinterlegt. Dies ist auch nicht immer möglich, da die Konzeptansätze erst Ergebnis des ENP sind. Umfang, Art und Anzahl der zu vertiefenden Untersuchungen sind im Vorfeld nur schwer abschätzbar.

Im Gegenzug entwickelt sich gerade eine sehr hohe Erwartungshaltung der Städte und Gemeinden an den Detaillierungsgrad von enthaltenen Einzelkonzepten. Dies ist sicherlich auch der derzeitigen Förderlandschaft geschuldet. So sind Untersuchungen im Rahmen des Förderprogramms ENP sehr offen gehalten und können beispielsweise bis hin zu energetischen Sanierungskonzepten öffentlicher Liegenschaften gehen. Diese Detailschärfe ist aus Sicht der Autoren jedoch auf Ebene des ENP nicht sinnvoll.

Oben beschriebene Entwicklungen zeigen jedoch deutlich, dass für politische Entscheidungen unter Beteiligung der Öffentlichkeit die entstandenen ersten Grobkonzepte eines ENP weiter zu vertiefen und mit einfachen, auch überschlägigen Wirtschaftlichkeitsdaten zu hinterlegen sind. Dies kann bereits im Rahmen des ENP oder besser in einem zweiten Schritt geschehen. So ist sichergestellt, dass Alternativkonzepte nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Zur Vereinfachung der Bearbeitung und damit auch zur Kostenersparnis, ist es deshalb notwendig, einfache Werkzeuge für diese Analyse und Bewertung zu schaffen.

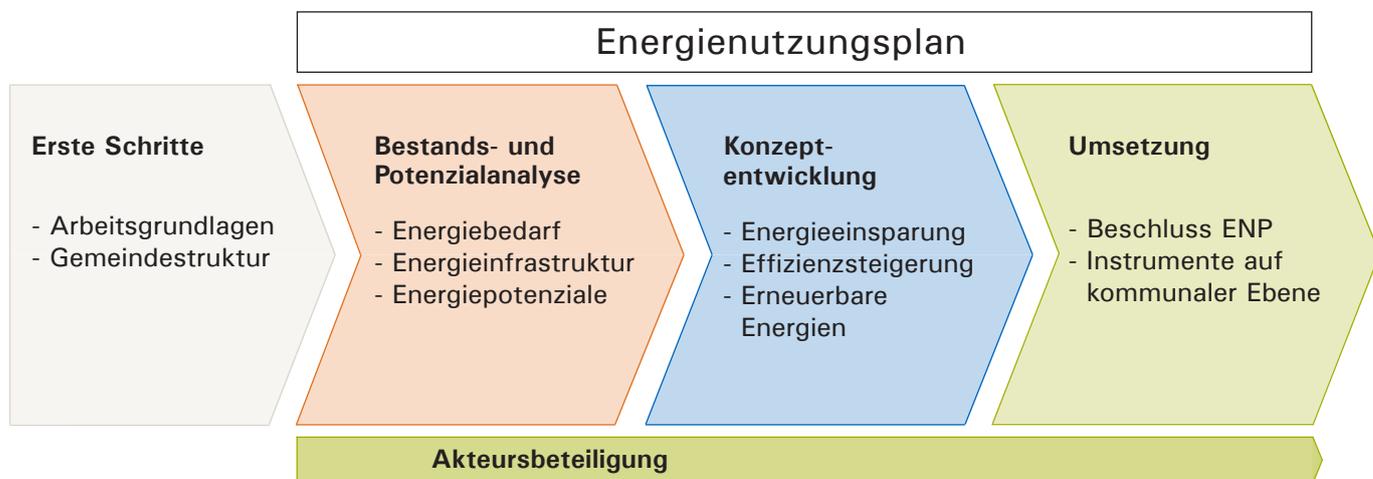


Abb. 01: Phasen bei der Erstellung eines Energienutzungsplans (ENP) nach [Hausladen et al., 2011], S.5

Abb. 02 zeigt die Vorgehensweise in der Phase der Bedarfs- und Potenzialanalyse eines Energienutzungsplans in welcher die Bilanzierungssoftware GemEB hauptsächlich zum Einsatz kommt. Sie liefert den räumlich differenzierten Wärmebedarf des Gebietes im Ist-Zustands und in Zukunftsszenarien. Die Ermittlung der Energiedichten muss in einem hinreichend genauen Detaillierungsgrad erfolgen, da die Daten spätestens bei der vertieften Bearbeitung wieder Verwendung finden.

Die Wärmebedarfsdichte steht in engem Zusammenhang damit, ob erneuerbare Energien zentral oder dezentral genutzt werden können. So ist es mit GemEB beispielsweise möglich die Auswirkung einer Sanierung von Bauteilen (z.B. oberste Geschossdecken) bestimmter Gebäudegruppen gezielt zu untersuchen. Durch die Hinterlegung grober Sanierungskosten lassen sich Aussagen über Wirtschaftlichkeit bereits in relativ frühen Planungsstadien treffen.

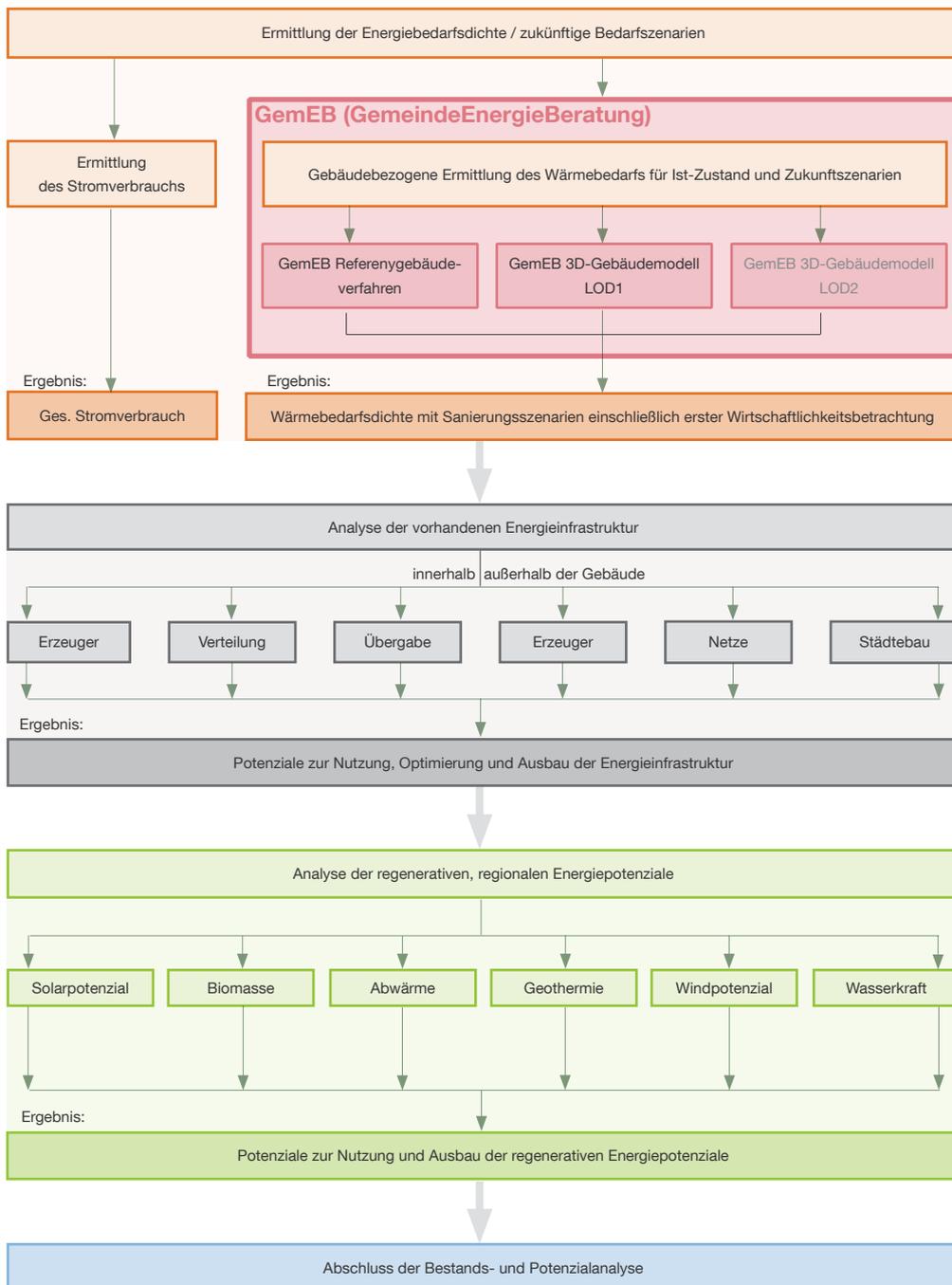


Abb. 02: Vorgehensweise bei der Bedarfs- und Potenzialanalyse eines ENP und der Einordnung der Bilanzierungssoftware GemEB in der Bearbeitung

1.1. Wärmebedarfsberechnung über spezifische statistische Werte

In der Bearbeitung der Bestands- und Potenzialanalyse eines Energienutzungsplans ist eine schnelle und einfache Methode den Heizwärmebedarf eines Siedlungsgebiets über spezifische statistische Durchschnittswerte zu ermitteln. Gebäude gleichen Typs und Baualters weisen meist vergleichbare Formen, Konstruktionsarten und Baumaterialien auf. Darüber lässt sich jeder Baualtersklasse ein spezifischer statistischer Wert zu Heizwärme- und Trinkwarmwasserbedarf zuweisen. Wird dieser mit der jeweiligen Energiebezugsfläche (Wohnfläche, bzw. beheizte Nutzfläche) des Gebäudes multipliziert, erhält man den Jahreswärmebedarf des Gebäudes (vgl. [Zadow et al., 2012]).

Zugrunde liegen hier flächenbezogene Bedarfskennwerte für Heizwärme der Stu-

die „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 in Baualtersklassen und Gebäudetypen ab. Abweichende Gebäude vom Bundesdurchschnitt können so nur in einer ersten Näherung abgebildet werden. Bereits durchgeführte oder zukünftige Sanierungsmaßnahmen können über einen pauschalen Sanierungsabschlag berücksichtigt werden (vgl. Abb. 03).

Wenn viele Gebäude in einem Siedlungsgebiet von diesen standardisierten Gebäudeklassen in der Größe stark abweichen, ergibt sich bei diesem Verfahren unter Umständen ein verfälschtes Ergebnis. So lassen z.B. erste Untersuchungen in [Zadow et al., 2012] ein Abweichen des Heizwärmebedarfs von bis zu 30 % bei doppelter, bzw. halber Wohnfläche einzel-

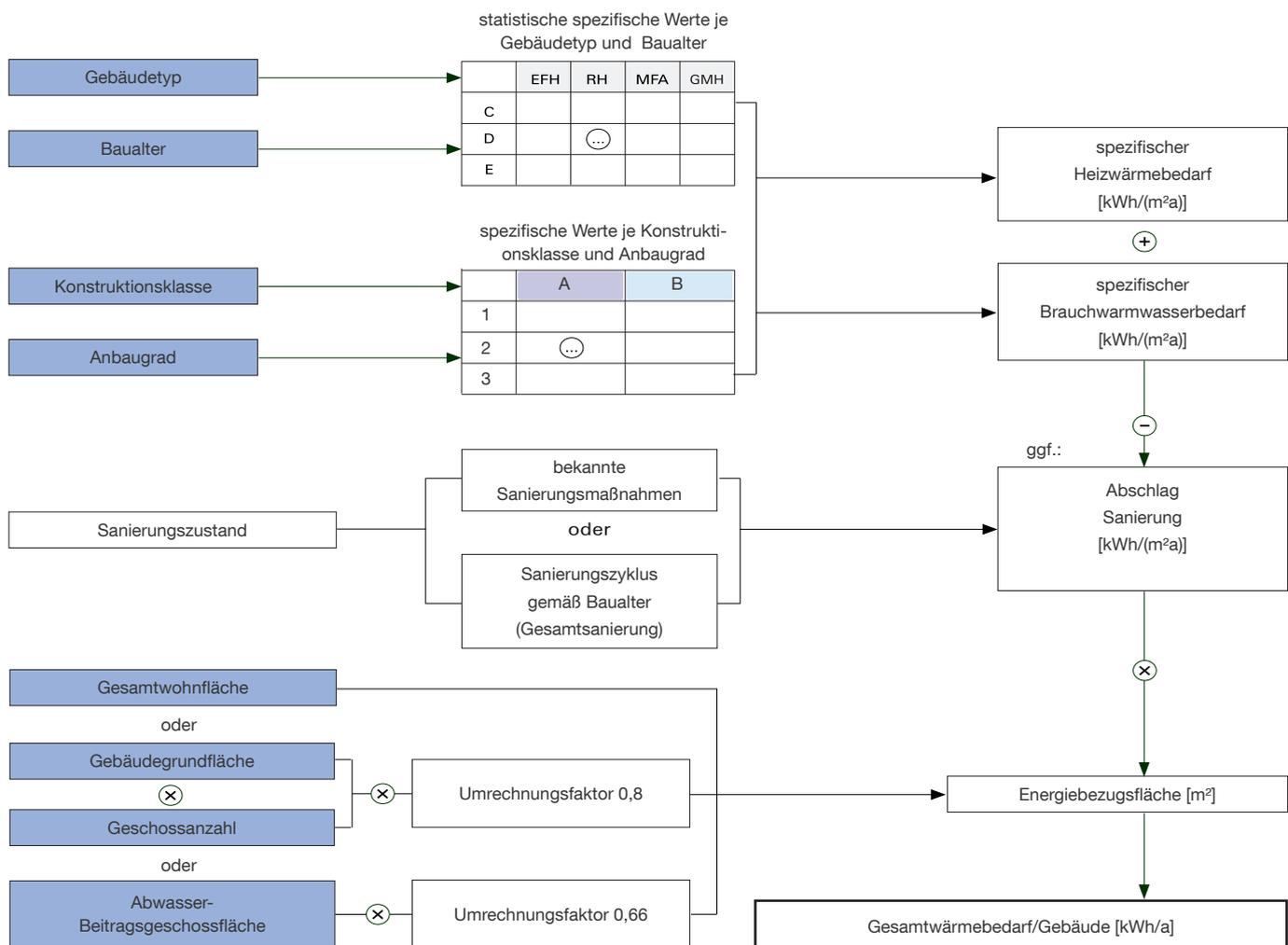


Abb. 03: Pauschale Wärmebedarfsermittlung historischer und nicht-historischer Quartiere nach nach [Hausladen et al., 2011] und [Drittenpreis et al., 2012]

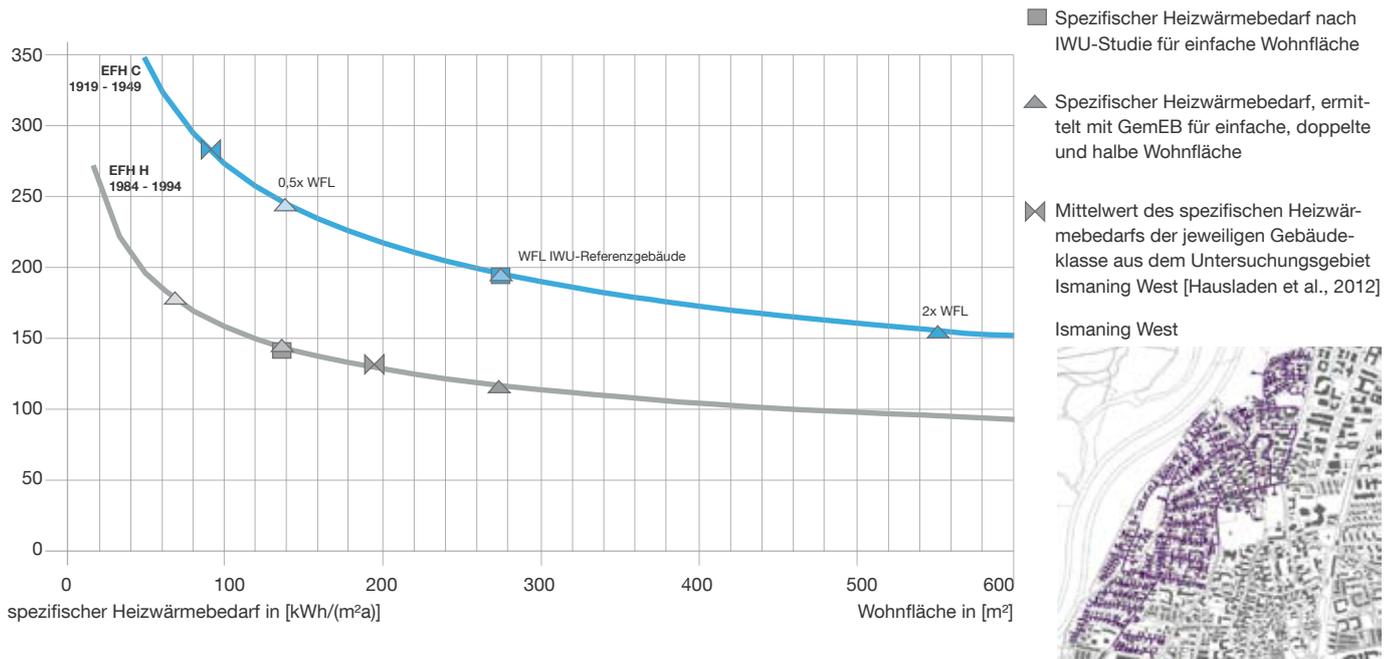


Abb. 04: Spezifischer Jahresheizwärmebedarf in Abhängigkeit der Wohnfläche

ner 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, wenn mit zunehmender Wohnungsgröße durch Teilbeheizung die durchschnittlichen Raumtemperaturen sinken und damit auch der spezifische Heizwärmeverbrauch geringer ausfällt. Bei Altbauten und historischen Gebäuden ist dieser Effekt verstärkt festzustellen (vgl. auch [Born et al., 2003, S.1]).

In Abb. 04 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 auf dem Verlauf hervorgehoben. Als Viereck ist der Wert der jeweiligen Baualtersklasse für den bundesdurchschnittlichen Heizwärmebedarf und Wohnfläche nach [IWU, 2005] dargestellt. Für das EFH C sind dies beispielsweise 194 kWh/m²a und 275 m². Als absoluter Heizwärmebedarf ergibt sich somit 53.350 kWh/a. Das vereinfachte Heizperiodenverfahren der Bilanzierungssoftware

GemEB gibt für diese Wohnfläche für das EFH C denselben Wert aus.

Für die halbe Wohnfläche von 138,5 m² ergibt sich für das EFH C spezifisch 243 kWh/m²a und absolut 33.413 kWh/a. Rechnet man mit dem IWU-Wert von 194 kWh/m²a ergibt sich jedoch nur ein Wert von 26.869 kWh/a, eine Abweichung von knapp 25 %. Mit Doppeldreieck ist in Abb. 04 zum Vergleich noch der Mittelwert im Untersuchungsgebiet "Ismaning-West" aus [Zadow et al., 2012] der vorkommenden Gebäudeklassen angegeben. Für das EFH C ergibt sich beispielsweise hier eine Abweichung von ca. 47 %. "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." [Zadow et al., 2012]

Die Software GemEB arbeitet als Plugin der Geoinformationssoftware Quantum GIS. Für die Berechnungen mit den übergebenen Daten aus der GIS-Datenbank findet für jedes einzelne Gebäude ein vereinfachtes Heizperiodenverfahren nach

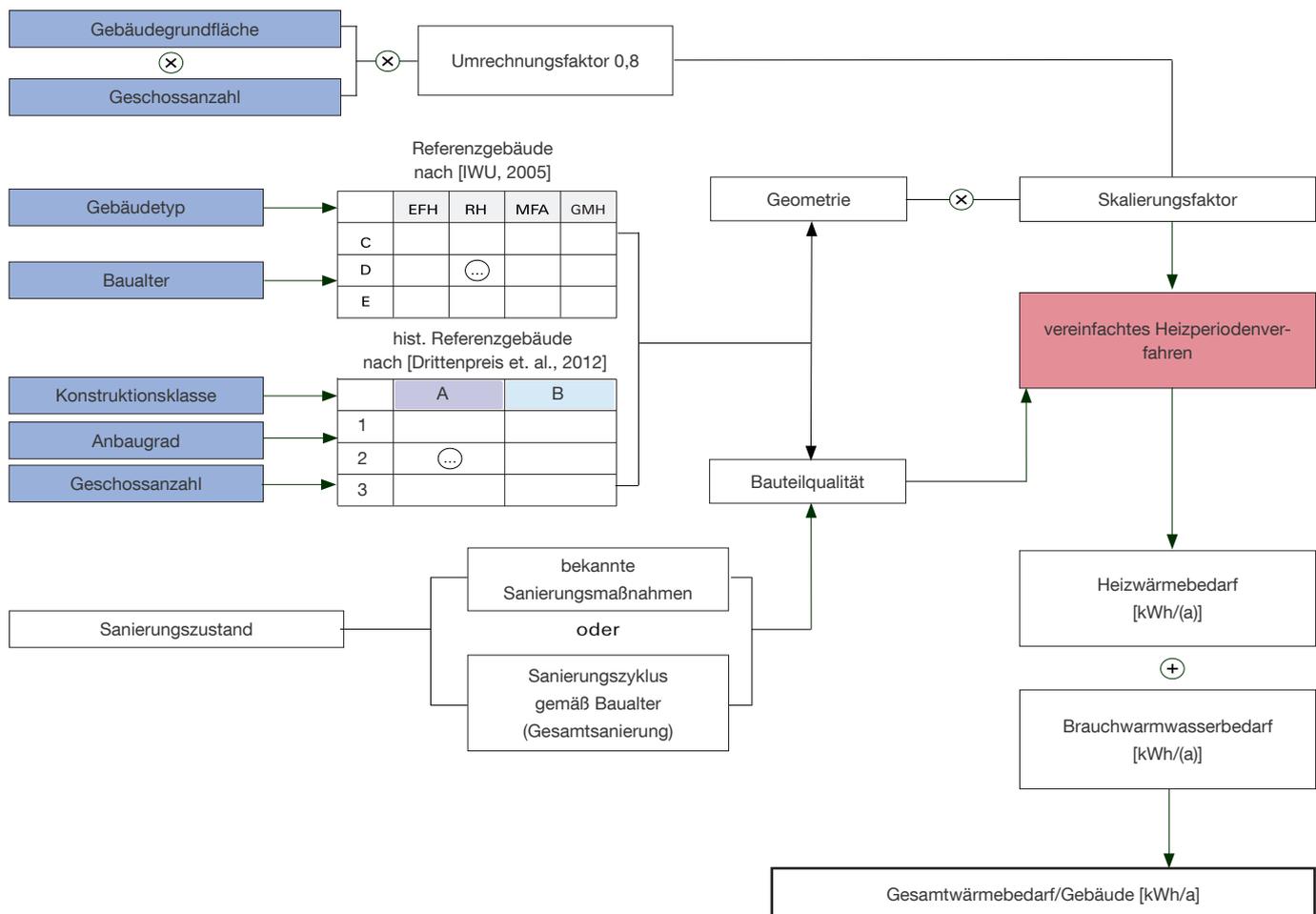


Abb. 05: Wärmebedarfsermittlung mit der Bilanzierungssoftware GemEB

DIN V 4108-6 Anwendung. In Abb. 05 ist das Funktionsschema dargestellt. In einem ersten Schritt werden die Daten (Wohnfläche, Gebäudetyp und Baualter) aus der .dbf-Datei der GIS um die für die Bilanzierung notwendigen Daten zur Gebäudegeometrie, Orientierung und die entsprechenden U- und g-Werte ergänzt.

Zugrunde liegt hier ebenfalls der Gebäudedatensatz aus [IWU, 2005]. Zu jedem dort hinterlegten Gebäudetyp in Abhängigkeit der Baualtersklasse sind in diesem Datensatz neben den spezifischen durchschnittlichen Heizwärmebedarfswerten auch 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. [Zadow 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.

1.2. Zielgruppe

GemEB bietet bei der Erstellung eines ENP in der Bearbeitung der Bedarfs- und Potenzialanalyse große Vorteile in der Ermittlung des Wärmebedarfs und seiner zukünftigen Entwicklung in Siedlungsgebieten. Durch die einfache Bedienung und durch die Grundlage tatsächlicher geometrischer Daten lässt sich die Bearbeitungszeit bei höherer Genauigkeit verkürzen. Dies bietet für die Erstellung eines ENP und in der weiteren Bearbeitung große Kostenersparnisse.

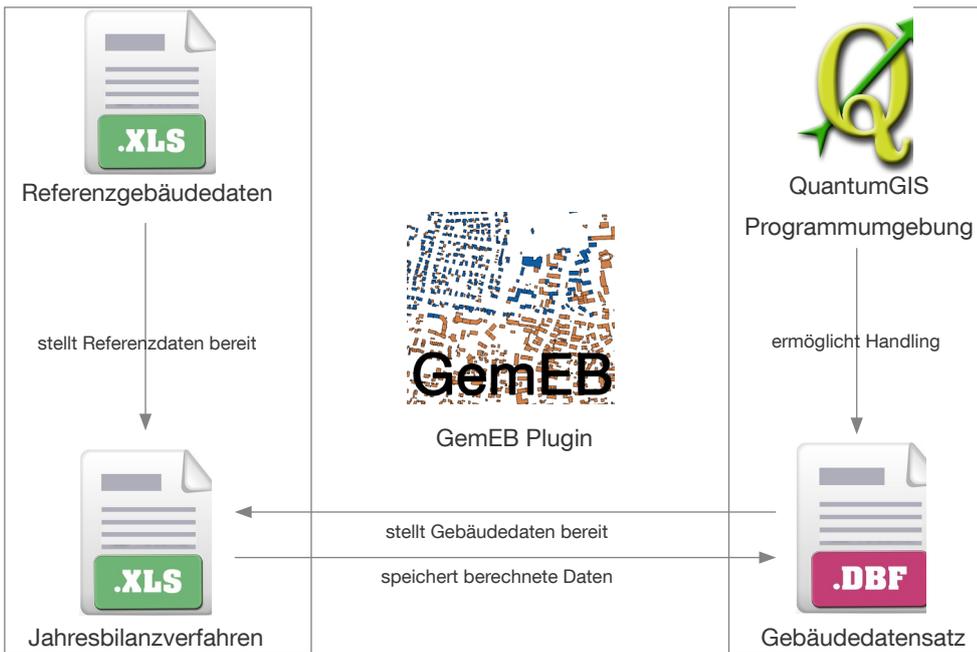


Abb. 06: Komponentenstruktur der Bilanzierungssoftware GemEB

Die Hauptzielgruppe des Programms besteht aus Planern und Energieberatern, Wissenschaftlern im Bereich Städtebau und Energieversorgung, sowie Beratungsunternehmen und Gemeinden die Energienutzungspläne erstellen wollen.

Das Programm soll auf leicht erhältlichen und möglichst bereits weit verbreiteten Programmstrukturen aufbauen. Zur breiten Anwendbarkeit und Weiterentwicklung wird GemEB daher als OpenSource-Software angeboten, die von interessierten Anwendern erweitert und angepasst werden kann.

2. Programmaufbau

Die Software arbeitet als Plugin der Geoinformationssoftware Quantum GIS. Mit den Daten aus der GIS-Datenbank wird auf Gebäudeebene ein vereinfachtes Heizperiodenverfahren berechnet. In Abb. 05 ist ein vereinfachtes Funktionsschema der Berechnung dargestellt.

Mit Microsoft Windows, Microsoft Excel sowie Quantum GIS basiert GemEB auf Softwarekomponenten, die in der Zielgruppe weit verbreitet sind, bzw. im Falle von Quantum GIS kostenlos online zum Download zur Verfügung stehen.

2.1. Programmstruktur

GemEB wird über die Python-Schnittstelle des Programms Quantum GIS (QGIS) aufgerufen. QGIS ist ein Freeware-Programm zur Verarbeitung von Geoinformationsdaten. Die QGIS-Schnittstelle erlaubt es, GemEB als Plugin nahtlos in die QGIS-Umgebung einzubetten und ermöglicht so einen schnellen Zugang zu GemEB, als auch zu den Daten, die damit verarbeitet werden sollen.

Die Struktur teilt sich in zwei Programmteile (Abb. 06): Die Python-Skripte sind zunächst für die Einbindung in die Programmumgebung QGIS zuständig. Des Weiteren wird hierüber das Einlesen der Daten der einzelnen Gebäude, sowie die Anpassung der Daten entsprechend der Geometrie und Sanierungsoptionen vorgenommen und das anschließende Speichern der im Folgenden berechneten Kennwerte abgewickelt.

Die Excel-Arbeitsmappe erhält jeweils Daten für ein spezielles, angepasstes Gebäude in Form von Zahlenwerten zu Bauteilflächen und Materialkennwerten, Luftwechselraten und Wärmebrückenfaktoren sowie in bestimmten Fällen Werte zu vorherigem Energiebedarf und –kosten. Die Mappe erfüllt dabei die Aufgabe einer

Excel-Anwendungen

Bei der Verwendung von GemEB ist zu beachten, dass Excel während des Rechenvorganges nicht manuell geöffnet oder geschlossen bzw. verwendet wird, um einen Konflikt mit dem Zugriffsrechten des Plugins zu vermeiden.



Quantum GIS
Kostenlose Geoinformationssystem-Software, verfügbar unter: www.qgis.org. Derzeit verfügbar in der Version: QGIS 1.8 Lisboa; Mindestversion für GemEB: QGIS 1.6 Copiapó

Kürzel für die Datenbank	EFH_A
Gebäudetyp	EFH
Baujahr	vor 1918
beheizte Wohnfläche [m ²]	199
mittlere lichte Raumhöhe [m]	2,3
beheiztes Gebäudevolumen nach EnEV [m ³]	787,8
Anzahl Vollgeschosse	2
Anzahl Wohneinheiten	1
Objekt-Bauweise	
Bauteil 1 (oberer Gebäudeabschluss)	
Art	Dachschräge
Fläche [m ²]	134,19
U-Wert im Istzustand	1,8
Bauteil 2 (Wandflächen)	
Bezeichnung (Text)	Außenwände
Fläche [m ²]	171,78
U-Wert im Istzustand	1,8
Bauteil 3 (unterer Gebäudeabschluss)	
Bezeichnung (Text)	Fußboden
Fläche [m ²]	85,46
U-Wert im Istzustand	1,04
<i>wer Ende der jeweiligen Bauteile, die im nachfolgenden erläutert sind</i>	
Bauteil 4 (zusätzliche OGD / Dächer)	
Bezeichnung (Text)	
Fläche [m ²]	
U-Wert im Istzustand	
Bauteil 5 (zusätzliche Außenwände)	
Bezeichnung (Text)	
Fläche [m ²]	
U-Wert im Istzustand	
Bauteil 6 (zusätzliche Fußböden)	
Bezeichnung (Text)	
Fläche [m ²]	
U-Wert im Istzustand	
Transparente Bauteile	
Nr. 1 Text Konstruktion	Einfachverglasung in Holzrahmen
Bezeichnung (Text)	
Fläche [m ²]	Südfensterflächen
U-Wert (Gesamt-Fenster)	0,88
g-Wert (senkr. Strahlungseinfall)	0,96
Reduktionsf nicht-senkr. Einstr., Verschatt., Rahmen,	0,36
Nr. 2 Text Konstruktion	Einfachverglasung in Holzrahmen
Bezeichnung (Text)	
Fläche [m ²]	West/Ost-Fenster
U-Wert (Gesamt-Fenster)	1,88
g-Wert (senkr. Strahlungseinfall)	0,96
Reduktionsf nicht-senkr. Einstr., Verschatt., Rahmen,	0,36
Nr. 3 Text Konstruktion	Einfachverglasung in Holzrahmen
Bezeichnung (Text)	
Fläche [m ²]	Nordfensterfläche
U-Wert (Gesamt-Fenster)	3,34
g-Wert (senkr. Strahlungseinfall)	0,96
Reduktionsf nicht-senkr. Einstr., Verschatt., Rahmen,	0,36
<i>wer Ende der transparenten Bauteile, die im nachfolgenden erläutert sind</i>	
Nr. 4 Text Konstruktion	
Bezeichnung (Text)	
Fläche [m ²]	
U-Wert (Gesamt-Fenster)	
g-Wert (senkr. Strahlungseinfall)	
Reduktionsf nicht-senkr. Einstr., Verschatt., Rahmen, Verschmutz.	
Grundrissstyp	1
Anbaustruktur	
Kellergeschosstyp	2
Dachgeschosstyp	4
Gebäuden	

Abb. 07: Die Studie [IWU, 2005] fasst typische Kennwerte für die jeweilige Baualtersklasse und den Gebäudetyp zusammen. Zu den Kennwerten gehören neben der beheizten Wohnfläche und Gebäudevolumen auch typische Bauteilgrößen und entsprechende U-Werte, die in der Bauzeit des Gebäude üblich waren, wie hier für EFH-A beispielhaft dargestellt.

Blackbox in welche Bauteilparameter eingegeben werden und die berechneten Zahlenwerte nach den Vorgaben eines vereinfachten Heizperiodenverfahrens nach DIN 4108-6 für Gebäude ausgibt. Die einzelnen Datenblätter werden dabei nicht gespeichert sondern nur die gewünschten Ergebniswerte ausgelesen und anschließend die Zellen der Arbeitsmappe mit den Daten des nächsten Gebäudes überschrieben.

Der eingelesene Layer dient ausschließlich dazu, die Daten auszulesen und wird ebenfalls nicht überspeichert. Alle Informationen aus dem Input-Layer, inklusive aller Vektorinformationen der Shape-Datei, werden in einen neuen Layer kopiert, ergänzt und jeweils nach jedem Gebäude in dem neuen Layer abgespeichert.

2.2. Vereinfachtes Heizperiodenverfahren

Das Heizperiodenverfahren in der Excel-Arbeitsmappe erhält die Daten jeweils pro Gebäude und berechnet nach dem vereinfachten Heizperiodenverfahren der DIN V 4108-6 verschiedene Energiekennwerte für das Gebäude. Nachfolgend wird das angewendete Berechnungsverfahren in Anlehnung an die DIN V 4108-6 kurz vorgestellt. Der Heizwärmebedarf wird in GemEB wie folgt berechnet:

$$Q_h = Gt \cdot f_{\text{nutz}} \cdot (H_T + H_V) - 0,95 \cdot (Q_S + Q_i) \quad [kWh/a]$$

mit:

- Gt Gradtagszahl [Kd]
- f_{nutz} Verlustanpassungsfaktor [-]
- H_T Transmissionswärmeverlust [W/K]
- H_{VV} Lüftungswärmeverlust [W/K]
- Q_S solare Gewinne [kWh/a]
- Q_i interne Gewinne [kWh/a]

Dabei gilt:

$$H_T = \sum(A_j) \cdot U_{WB} + \sum(A_i \cdot U_i \cdot F_{xi}) \quad [W/K]$$

$$H_V = c_{\text{Luft}} \cdot n \cdot V_e \quad [W/K]$$

mit

- A_j Bauteilflächen [m²]
- U_i Bauteil-U-Werte [W/m²K]
- F_{xi} Temperatur-Korrekturfaktor [-]
- U_{WB} Wärmebrückenfaktor [W/mK]
- n Luftwechselrate [1/h]

Die solaren Gewinne sind abhängig von der Fensterfläche, des Gesamtenergiedurchlagssgrads und der Orientierung; eine bauliche Verschattung kann mit der Bilanzierungssoftware GemEB nicht berücksichtigt werden. Die internen Gewinne sind abhängig vom beheizten Gebäudevolumen V_e .

Der Wärmebrückenfaktor wird in GemEB zunächst mit 0,1 W/mK angenommen. Er wird auf 0,05 W/mK gesenkt, wenn eine Sanierung der Außenwände durchgeführt wurde. Ähnlich wird die Luftwechselrate (die zunächst vom Baualter abhängt) nach einer Sanierung der Fenster um 0,1 1/h reduziert. Sie kann jedoch nicht unter 0,6 1/h fallen. Im Regelfall wird von einer Gradtagszahl von 66 Kh/a ausgegangen, dieser Wert kann jedoch über die Benutzeroberfläche angepasst werden.

Wie bereits erwähnt, lassen sich mit größer werdenden Wohnungen und mit schlechterem energetischen Standard niedrigere Innentemperaturen, bzw. Teilbeheizungen feststellen. Die dadurch geringeren Energieverbräuche beschreibt [Born et al., 2003] mit dem Faktor f_{Nutzung} . Dieser ist empirisch ermittelt und dient zur Anpassung des rechnerischen Bedarfs an den Verbrauch. Er ergibt sich zu:

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

Dabei gilt:

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

mit:

- A_{EB} beheizte Wohnfläche [m²]

Diese hier durchgeführte Anpassung des Bedarfs an den Verbrauch ist nicht Bestandteil der DIN V 4108-6.

Neben dem Heizwärmebedarf kann GemEB auch verschiedene andere Energiekennwerte ausgeben, wie z.B. den Trinkwasserwärmebedarf Q_W oder den Endenergiebedarf Q_E . Dieser ergibt sich aus:

$$Q_E = Q_h \cdot \eta_h + Q_W \cdot \eta_W \quad [kWh/a]$$

mit:

- η_h Jahresnutzungsgrad Heizung [-]
- η_W Jahresnutzungsgrad Wasser [-]

2.3. Automatisierte Berechnungen

Die Hauptvorteile von GemEB liegen in der Automatisierung der Durchführung des Heizperiodenverfahrens für eine Vielzahl von Gebäuden. Dabei besteht die Möglichkeit, aus begrenzten Informationen zu den jeweiligen Gebäuden, vereinfachte Abschätzungen zu deren Geometrie treffen zu können sowie die Möglichkeit gebäudebezogene Sanierungen einzuarbeiten.

2.3.1. Nicht-historische und historische Gebäude

GemEB ist in der Lage, zwei verschiedene Gebäudekategorien zu unterscheiden: Gebäude, die in die Klassifizierung nach [IWU, 2005] fallen, sowie historische Gebäude, die in einer eigenen Kategorie beschrieben werden. Diese sollen im Folgenden näher betrachtet werden.

2.3.1.1. Nicht-historische Gebäude

In der Studie "Deutsche Gebäudetypologie - Systematik und Datensätze" des Deutschen Instituts Wohnen und Umwelt [IWU, 2005] wurden deutsche Gebäudetypologien definiert und deren typischen Bauteildaten erfasst. Abb. 07 zeigt beispielhaft die Daten, die die Studie für die Baualtersklasse A und den Gebäudetypen Einfamilienhaus (EFH) bereit hält.

Anhand der Baualtersklasse und des Gebäudetyps des realen Gebäudes, kann aus [IWU, 2005] für jeden Gebäudetyp aller Baualtersklassen ein Referenzgebäude entnommen werden. Die Daten zu den Referenzgebäuden enthalten Informationen zu der durchschnittlichen Gebäudegröße und den einzelnen Bauteilen. Die Materialkennwerte der Bauteile können direkt für das zu berechnende Gebäude verwendet werden, die Bauteilabmessungen werden vor der Bilanzierung in Abhängigkeit der tatsächlichen Gebäudegröße skaliert (siehe Abschnitt 2.3.2).

Der energetische Zustand der Bauteile wird pauschal nach Baualtersklassen berücksichtigt. Sofern nicht andere Informationen, beispielsweise einer bereits durchgeführten Sanierung vorliegen, wird für die Berechnung von diesem energetischen Stand ausgegangen. Bei Fehlen der Informationen zu bereits durchgeführten

Sanierungen lässt sich über vorgegebene Sanierungszyklen einzelner Bauteile ein "sanierter" Ist-Zustand für ein Siedlungsgebiet simulieren (siehe Abschnitt 2.3.3).

2.3.1.2. Historische Gebäude

Baualtersklasse A und B sind die ältesten Baualtersklassen die in [IWU, 2005] beschrieben werden. Sie umfassen alle Gebäude die vor 1918 errichtet wurden. Unterschieden wird hier lediglich in Fachwerk und Massiv. Untersuchungen in [Drittenpreis et al., 2012] zeigen jedoch, dass diese grobe Unterscheidung für Altstadtquartiere mit einem hohen Anteil an historischen Gebäuden zu ungenau ist.

Einen entscheidenden Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat nämlich neben dem Wärmedämmstandard der Gebäudehülle die Kompaktheit der Gebäude, welche wiederum abhängig vom Anbaugrad und der Anzahl der Geschosse ist. "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." [Drittenpreis et al., 2012] Um diese Einflüsse besser berücksichtigen zu können wurde die historisch energetische Gebäudetypologie (HEGT) entwickelt.

Diese Typologie ist auch in GemEB hinterlegt und kann für historische Gebäude alternativ statt der IWU-Baualtersklassen A und B verwendet werden. Für historische Gebäude erfolgt die Erhebung der U-Werte und Bauteilflächen einzelner Gebäude während der Berechnung dann analog der in Abschnitt 2.3.1.1 beschriebenen Methodik der Referenzgebäudegeometrieangepassung, jedoch entsprechend der Referenzgebäudeliste der HEGT.

Für die Bearbeitung eines historischen Quartiers unter Zuhilfenahme von HEGT sind zunächst die Einzelgebäude dem Anbaugrad und der Konstruktionsklasse entsprechend einzuordnen. Hier stehen zwei Konstruktionsklassen (eine energetisch bessere bzw. eine energetisch schlechtere) zur Wahl. Ein eventuell bereits energetisch saniertes Gebäude muss dann

1 freistehend / geringer Anbaugrad	 
2 mittlerer Anbaugrad	 
3 hoher Anbaugrad	 

Abb. 08: Die historischen Gebäude werden in drei Anbaugrade unterteilt. Ab dem Anbaugrad 2 wird angenommen, dass die kürzeste Seite als Hoffassade stärker energetisch saniert werden kann (vgl. Abschnitt 2.3.4).

je nach vorgenommener Sanierung entweder in die bessere Konstruktionsklasse oder je nach Umfang der Sanierung in eine nicht-historische Baualtersklasse eingestuft werden.

Neben der Einteilung nach der energetischen Qualität in die entsprechende Konstruktionsklasse, besteht jedoch die Möglichkeit - falls genaue Daten einzelner Bauteile vorliegen - individuelle U-Werte aus der .dbf-Datei einzulesen. Wenn nicht lückenlos Daten für alle Bauteile des Gebäudes vorliegen, können die unbekannten Bauteilwerte wieder mit Standardwerten beschrieben werden.

Auf weitere Besonderheiten bei historischen Gebäuden wird in Abschnitt 2.3.4 genauer eingegangen.

2.3.2. Geometriedatenermittlung

In der Basisvariante wird die Geometrie des zu berechnenden Gebäudes, bzw. die Größe seiner Bauteile, über einen Anpassungsfaktor und das entsprechende Referenzgebäude ermittelt. Alternativ können auch die Längen der Gebäudefassaden entsprechend der Orientierung aus der .dbf-Datei direkt eingelesen werden. Über die mittlere Gebäudehöhe aus dem LOD 1 (Level-of-Detail) 3D-Gebäudemodell der Landesvermessungsämter können dann die Fassadenflächen nach tatsächlicher Orientierung und Anbausituation abgeschätzt werden.

2.3.2.1. GemEB Referenzgebäude

Nach der in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Methodik, wird in Abhängigkeit der Baualtersklasse und des Gebäudetyps ein Referenzgebäude gewählt. Das Referenzgebäude entspricht dabei dem Bundesdurchschnitt der jeweiligen Baualtersklasse nach [IWU, 2005] oder eines Referenzgebäudes nach HEGT.

Neben den U-Werten der einzelnen Bauteile, enthält das Referenzgebäude auch typische Werte zu den Flächen der einzelnen Bauteile sowie der Wohnfläche (Energiebezugsfläche) des Referenzgebäudes.

Die Anpassung der Bauteilflächen an den vorhandenen Datenbestand basiert auf

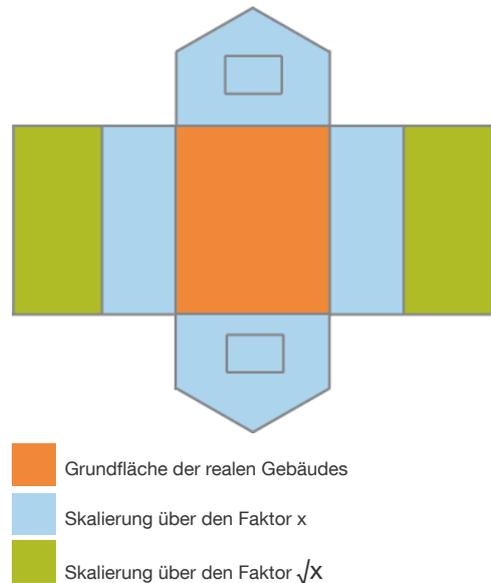


Abb. 09: Im Referenzgebäudeverfahren werden Boden-, Keller- und Dachflächen proportional zu dem Faktor x skaliert, Außenwand- und Fensterflächen proportional zum Faktor \sqrt{x} .

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} ." [Zadow et al., 2012] (vgl. Abb. 09).

2.3.2.2. Tatsächliche Fassadenlängen

In digitalen Flurkarten liegen die Gebäude im Grundriss vor. Daraus lassen sich in der Regel durch Geodatenverarbeitung in GIS die tatsächlichen Fassadenlängen und deren Orientierung sowie die Anbausituation der Einzelgebäude ableiten.

Können über eine andere Datenquelle oder über eine Ortsbegehung weitere Informationen zur mittleren Gebäudehöhe, bzw. Geschossanzahl erhoben werden, so lassen sich Fassadenflächen und deren Orientierung noch genauer abschätzen als über das Referenzgebäudeverfahren.

Ein 3-D Gebäudemodell des Detaillierungsgrads LOD 1 stehen derzeit flächendeckend für Bayern zur Verfügung. Das sogenannte "Klötzchenmodell" wird vom

Landesvermessungsamt zur Verfügung gestellt und beinhaltet u.a. eine mittlere Gebäudehöhe. Um bei der Geometrieermittlung auf diese Daten zurückgreifen zu können, ist es möglich die Fassadenlängen entsprechend der vier Hauptorientierungen in GemEB einzulesen und zusammen mit der Information über die mittlere Gebäudehöhe weiter zu verarbeiten.

Dies kann gerade bei sehr verwinkelten Gebäuden von Vorteil sein und eine genauere Abschätzung der vorhandenen Fassadenflächen liefern. Abb. 10 zeigt beispielsweise ein Gebäude mit einer Grundfläche von 285 m² in einer sehr verwinkelten Bauweise (oben) und mit einer kompakten Grundfläche (unten). Während das verwinkelte Gebäude einen Gebäudeumfang von 77,6 m aufweist, besitzt das Gebäude mit der kompakten aber gleich großen Grundfläche einen Gebäudeumfang von 68,9 m. Damit ergibt sich ein Unterschied von fast neun Meter.

Im IWU-Datensatz wird der Grad der Kompaktheit in Abhängigkeit der Baualtersklasse und des Gebäudetyps als statistisches Mittel berücksichtigt. Für historische Gebäude ist eine solche Mittelung aufgrund der sehr heterogenen Struktur nicht möglich. Eine überschlägige Berücksichtigung ist nur über den Anbaugrad möglich. Das Referenzgebäude aus der HEGT-Typologie entspricht deshalb einem kompakten Grundriss.

Weichen Gebäude in einem Siedlungsgebiet erheblich vom Bundesdurchschnitt ab oder soll ein historisches Stadtquartier genauer als mit dem überschlägigen Anbaugrad bestimmt werden, kann es sinnvoll sein, die Fassadengrößen über die tatsächlichen Fassadenlängen und mittleren Gebäudehöhen abzuschätzen.

GemEB kombiniert dann die Geometrieinformationen aus dem Referenzgebäude mit den eingelesenen Außenwandlängen. Da aus der mittleren Gebäudehöhe keine Informationen über die genaue Dachform entnommen werden kann, werden die Flächen der Dachschrägen aus dem skalierten Referenzgebäude verwendet. Abb. 11 zeigt, welche Flächen aus den eingelesenen Fassadenlängen und der mitt-

leren Gebäudehöhe und welche aus dem Referenzgebäude abgeleitet werden.

Die Flächen der jeweiligen Außenwände werden aus dem Produkt der eingelesenen Wandlänge, der Geschossanzahl und der Geschosshöhe oder der mittleren Gebäudehöhe abzüglich der Fensterflächen gebildet. Die Geschosshöhe entspricht der Raumhöhe des Referenzgebäudes zuzüglich 30 cm Konstruktionsaufbau der Decke.

$$A_{\text{Wand, Himmelsrichtung}} = L_{\text{Wand, Hi.}} \cdot h_{\text{Geschoss}} \cdot \text{Geschosszahl} \cdot (1 - ff) \quad [\text{m}^2]$$

Die Fensterflächen ff werden aus pauschalen Fensterflächenanteilen erhoben, die in [Loga et al., 2005] in Abhängigkeit der Baualtersklasse, des Gebäudetyp und des Anbaugrads angegeben werden.

$$A_{\text{Fenster, Himmelsrichtung}} = L_{\text{Wand, Hi.}} \cdot h_{\text{Geschoss}} \cdot \text{Geschosszahl} \cdot ff \quad [\text{m}^2]$$

Neben der genaueren Abschätzung der Bauteilflächen der Fassaden werden bei diesem Verfahren solare Gewinne entsprechend der tatsächlichen Gebäudeorientierung und der Anbausituation berücksichtigt.

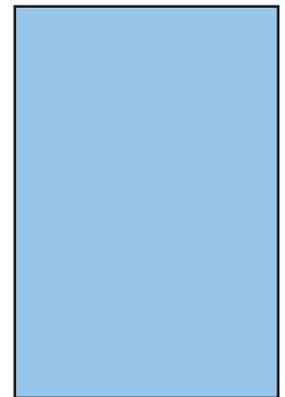
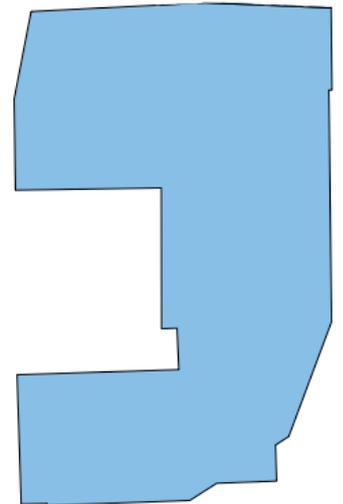
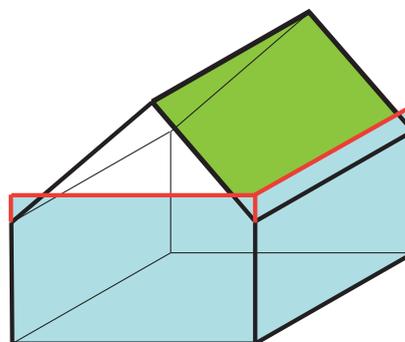


Abb. 10: Gebäude in einer sehr verwinkelten Bauweise (oben) und mit einer kompakten Bauweise aber gleich großen Grundfläche (unten)



- Produkt aus Länge und mittlerer Höhe
- Abschätzung aus skaliertem GemEB-Referenzgebäude

Abb. 11: im LOD1-Verfahren werden Grundfläche, Wandlängen und mittlere Gebäudehöhe eingelesen; Fenster, Dachflächen und oberste Geschossdecke werden mit dem GemEB-Referenzgebäude ermittelt.

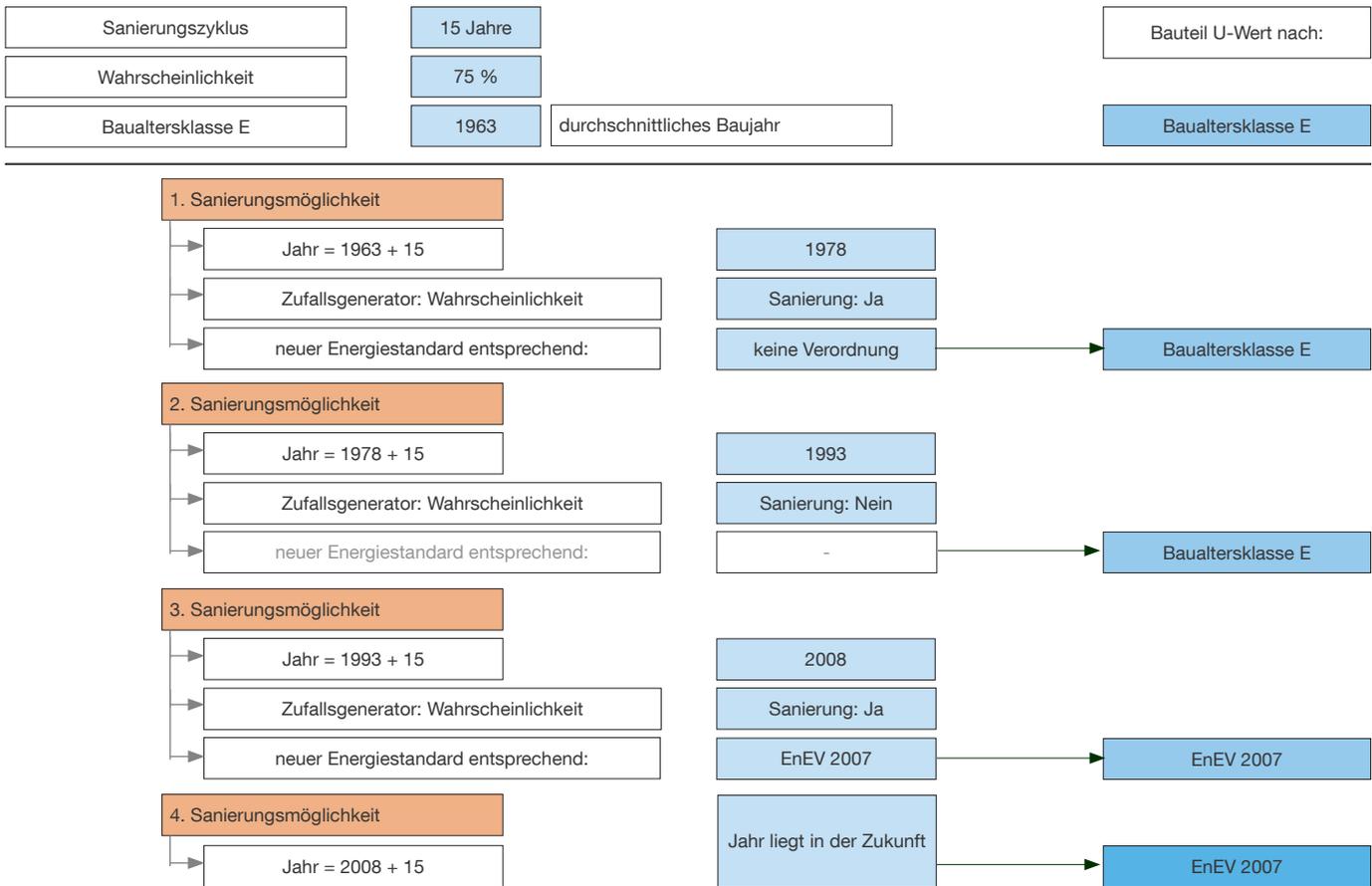


Abb. 12: Ermittlung des Sanierungsstands eines Gebäudes der Baualtersklasse E für die Berechnung des Ist-Zustands

2.3.3. Berechnungszeitraum für bereits durchgeführte und zukünftige energetische Sanierungsmaßnahmen

Da die Gebäudedaten in [IWU, 2005] im energetisch unsanierten, also im Zustand der Erbauung, vorliegen, ist es sinnvoll zunächst ein Sanierungsszenario abzuschätzen. Sind genaue Daten über den Sanierungsstatus vorhanden, kann dieser Schritt übersprungen werden.

In einem weiteren Schritt können basierend auf dem Ist-Zustand über verschiedenen lange Zeiträume unterschiedliche Sanierungsszenarien berechnet werden. Dies ermöglicht eine Abschätzung verschiedener Annahmen zu bestimmten Zeiten in der Zukunft.

2.3.3.1. Berechnung des Ist-Zustands

Für die Bilanzierung des Ist-Zustands ist es natürlich nicht ausreichend nur die energetische Qualität der Gebäude aus dem Errichtungsjahr zu kennen. Informa-

tionen über durchgeführte energetische Maßnahmen sind jedoch meistens nicht flächendeckend vorhanden.

Aus diesem Grund ist es in GemEB möglich den Sanierungsstatus der einzelnen Gebäude in Abhängigkeit des Baualters abzuschätzen. Die Einstellungen hierfür können im Reiter "Berechnungsmodus > Ist" vorgenommen werden. Benötigt wird ein Sanierungszyklus $Z_{\text{Sanierung}} [a]$ sowie eine Sanierungswahrscheinlichkeit $Pr(S) [\%]$ für jedes Bauteil.

Sanierungszyklen der einzelnen Bauteile können der Literatur entnommen werden. Die Wahrscheinlichkeit mit der die einzelnen Bauteile saniert werden, basiert auf Erfahrungswerten des jeweiligen Bearbeiters.

Beginnend im durchschnittlichen Baujahr J_{Bau} des Gebäudes steht jedes Bauteil einzeln jeweils im Z-ten Jahr zur Sanierung an. Mit der angegebenen Wahrscheinlich-

keit $Pr(S)$ wird das Bauteil dann energetisch saniert, bzw. mit der Wahrscheinlichkeit $1-Pr(S)$ nicht saniert. Dies wiederholt sich nach $Z_{Sanierung}$ -Jahren erneut.

In der Regel haben Gebäude bei Sanierungsmaßnahmen, die vor in Kraft treten der ersten Wärmeschutzverordnung 1982 durchgeführt wurden, keine energetische Aufwertung erfahren. Dort ist der Mindestwärmeschutz maßgebend. In den folgenden Jahren schrieb die Gesetzgebung einen immer besseren Wärmeschutz bis hin zur zurzeit gültigen Energieeinsparverordnung 2009 vor. Für das Maß der erreichten energetischen Verbesserung ist somit das Jahr, in dem die Bauteilsanierung durchgeführt wurde entscheidend.

Ist ein Bauteil zur Sanierung ausgewählt, wird zunächst geprüft, welcher energetische Standard bei einer Sanierung in dem Jahr $J_{Sanierung,i}$ zu erwarten ist. Der U-Wert wird dann mit dem zur Zeit der Sanierung geforderten U-Wert des Bauteils überschrieben, falls dieser besser ist als der vorhandene.

So werden Jahr für Jahr bis zum Ist-Jahr, derzeit 2012, ausgewählte Gebäude energetisch saniert. Bereits sanierte Bauteile haben im nächsten Zyklus die gleiche Sanierungswahrscheinlichkeit, wie Bauteile, die zuvor noch nicht saniert wurden. Abb. 12 stellt diesen Vorgang beispielhaft für ein Gebäude der Baualtersklasse E dar.

Auf Grund der oben beschriebenen Zufälligkeit der Sanierungen kann nicht auf Einzelgebäude geschlossen werden. Energieausweise und Energieberatungen einzelner Gebäude können die Berechnungsergebnisse somit nicht ersetzen. Die Ergebnisse ergeben jedoch eine hinreichend genaue Wärmebedarfsverteilung für Siedlungsgebiete als Ganzes.

2.3.3.2. Berechnung von Zukunftsszenarien

Zur Bildung von Zukunftsszenarien kann in der Version GemEB 2.0 für einen beliebigen Zeitraum ab dem Ist-Jahr eine jährliche Sanierungsrate vorgegeben werden. Alternativ können Potenziale einzelner Sanierungsmaßnahmen, wie z.B. die Däm-

mung der obersten Geschossdecken oder Sanierungen auf bestimmte energetische Niveaus untersucht werden. Dabei ist eine Differenzierung in historische und nicht-historische Gebäude möglich.

Zukunftsszenarien bauen auf den in Abschnitt 2.3.3.2 beschriebenen Berechnungen zum Ist-Zustand auf. Die Berechnungen basieren auf den selben Daten wie zuvor die Berechnung des Ist-Zustands. Diese sind die Bauteilflächen und ihre Orientierung, die ermittelten U-Werte, bzw. bei transparenten Bauteilen g-Werte und der bisherige Endenergiebedarf in [kWh] mit den Jahresenergiekosten in [€]. Letztere werden für eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsberechnung benötigt.

Für die Erstellung eines Zukunftsszenarios wird zunächst ein Zieljahr eingegeben, bis zu welchem die Sanierungszyklen angewendet werden. Als Betrachtungszeitraum erscheint eine Berechnung bis in etwa 15 bis 30 Jahren als sinnvoll. Nach 15 Jahren haben sich die Sanierungen statistisch gleichmäßig verteilt, eine Vorhersage über 30 Jahre erscheint als zu spekulativ.

Anders als bei der vorangegangenen Berechnung des Ist-Zustands, können für die Erstellung von Zukunftsszenarien zwei verschiedene Optionen angewendet werden. Der bauteilbezogene Sanierungsmodus wird im Zukunftsmodus analog der Beschreibung in 2.3.3.1 durchgeführt. Hier

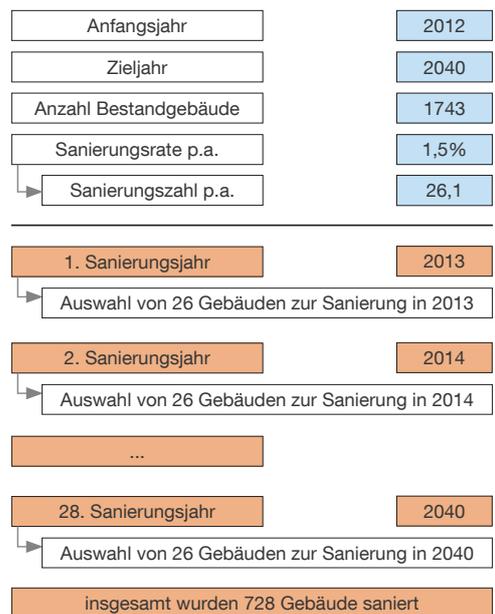


Abb. 13: Im Modus Zukunftsszenario Vollsaniierungsrate wird in jedem Jahr ein bestimmter Prozentsatz an Bestandsgebäuden vollsaniert

Bauteil	Wahrscheinlichkeit [%]				U-Wert % (EnEV)			
Außenwand Hofseite	20	80	80	80	80	100	100	100
Außenwand Straßenseite	10	50	80	80	80	80	100	100
Fenster Hofseite	70	100	100	100	70	80	100	100
Fenster Strassenseite	60	70	80	80	70	80	100	100
oberste Geschossdecke	80	90	90	90	100	100	100	100
Keller	10	10	10	10	60	80	80	80

1	Denkmallisteneintrag
2	ortsbildprägend
3	ortsstrukturprägend
4	historisch (ohne Denkmalschutzstatus)

Abb. 14: GemEB-Eingabemaske für historische Gebäude: Sanierungswahrscheinlichkeit und zu erreichendes energetisches Niveau der Bauteile in Bezug auf die EnEV in Abhängigkeit des Denkmalschutzstatus

werden im Betrachtungszeitraum jedes Jahr bei jedem einzelnen Gebäude für alle Bauteile entsprechend dem zugehörigen Sanierungszyklus der Sanierungszustand gemäß Abb. 13 festgelegt. Die U-Werte im sanierten Zustand beziehen sich auf Prognosen der EnEV Anforderungen für das Jahr 2013 und 2020 jeweils mit einer Verschärfung der Anforderungen um ca. 15 %. Die genauen Werte können in der GemEB-Datei "GemEB_DatenDict.xls" eingesehen werden.

Alternativ können Zukunftsszenarien mit einer pauschalen jährlichen Sanierungsrate für das gesamte Siedlungsgebiet berechnet werden. Im Vollsaniierungsmodus wird durch den Benutzer eingegeben, wie hoch die jährliche Sanierungsrate sein soll. Laut der Deutschen Energieagentur muss die jährliche Bestandssanierungsrate von derzeit 1% auf rund 2% gehoben werden um die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung zu erreichen (vgl. [dena, 2012]). Demnach sollten jedes Jahr 2% des Gebäudebestands grundsaniert werden und dabei sämtliche Bauteile auf den derzeitigen energetischen Gebäudestandard gebracht werden.

GemEB ermittelt im Vollsaniierungsmodus zunächst die Anzahl der Gebäude im

betrachteten Bestand. Mit der jährlichen Sanierungsrate ergibt sich daraus, wie viele einzelne Gebäude pro Jahr saniert werden sollen. Vom Folgejahr des Ist-Jahres an (z.B. 2013) bis zum gewünschten Jahr für die Prognose (z.B. 2040) weist GemEB nun zufällig jedem Jahr die entsprechende Anzahl an Gebäuden zu. Abb. 13 stellt beispielhaft die Zuweisung von Sanierungsjahren in einem Siedlungsgebiet dar.

2.3.4. Energetische Sanierungsmaßnahmen bei historischen Gebäuden

Gerade in Altstadtquartieren mit einem hohen Anteil an historischen Gebäuden hat die meist vorherrschende hohe bauliche Dichte einen großen Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Die Baualtersklassen nach [IWU, 2005] berücksichtigen diesen Umstand nicht ausreichend. Für die Berechnungen des Einsparpotenzials durch energetische Sanierung sind zudem denkmalpflegerische und bauphysikalische Belange zu beachten.

Während Sanierungen von nicht-historischen Gebäuden nach Maßgabe der zum Zeitpunkt der Sanierung gültigen Wärmeschutzverordnung (WschVO) oder Energieeinsparverordnung (EnEV) durchgeführt werden, wird bei historischen Gebäuden nach Denkmalstatus (Denkmallisteneintrag,

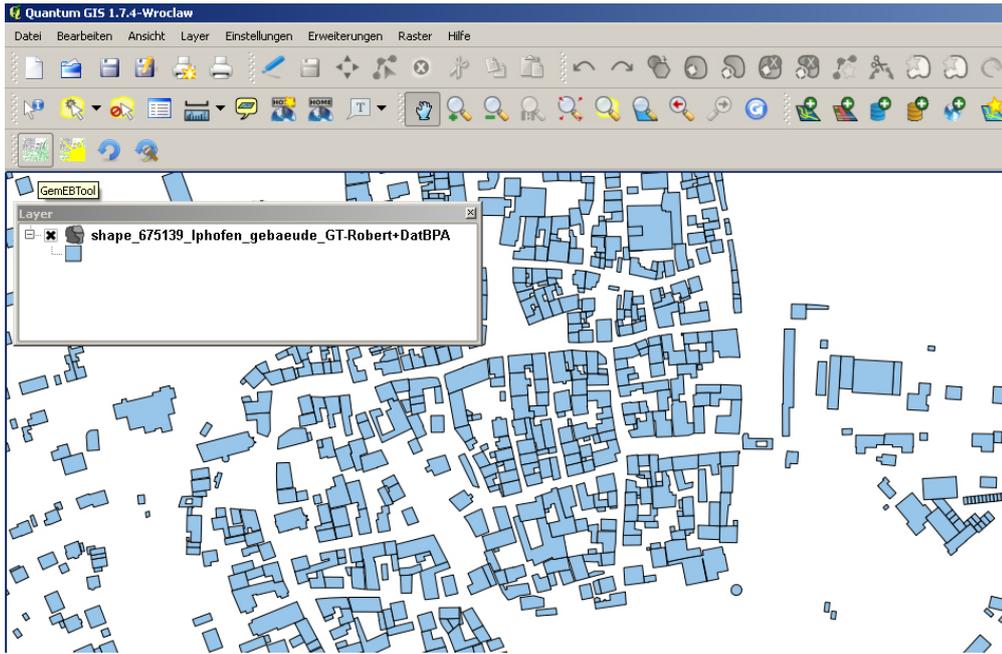


Abb. 15: Benutzeroberfläche Quantum GIS: Auf der Zeichenfläche wird die Shape-Datei des untersuchten Layers dargestellt.

ortsbildprägend und ortstrukturprägend) 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 basierend darauf im Zufallsprinzip über Sanierungsmaßnahmen entschieden wird, ist auch hier ein Rückschluss auf Einzelgebäude trotz gebäudescharfer Bilanzierung nicht möglich.

Der für die energetische Sanierung angewendete U-Wert ergibt sich dann zu dem nach EnEV geforderten U-Wert geteilt durch den Abminderungsfaktor.

$$U_{\text{saniert}} = U_{\text{EnEV}} \cdot 1/f_{\text{Abminderung}}$$

Abb. 14 zeigt einen Auszug aus der Benutzeroberfläche mit den Voreinstellungen für die vier Denkmalschutzklassen "mit Denkmallisteneintrag", "ortsbildprägend",

ortstrukturprägend" und "historisch (ohne Denkmalschutzstatus)". Die Einstellungen können vom Nutzer entsprechend des zu untersuchenden Siedlungsgebiets angepasst werden.

Sollte für den Input-Parameter "Denkmalschutzklasse" kein Attribut zugewiesen werden, klassifiziert GemEB alle historischen Gebäude als "historisch (ohne Denkmallisteneintrag)" (siehe Abschnitt 3.3.2 "Input").

Straßenseitig und an einsehbaren Fassaden lassen sich mit zunehmender denkmalpflegerischer Relevanz energetische Maßnahmen an der Außenseite nur schwer oder gar nicht umsetzen. Sanierungen an der straßenabgewandten Seite sind denkmalpflegerisch eher unproblematisch, sofern diese von der Straße nicht eingesehen werden können. GemEB unterscheidet deshalb zwischen Straßen- und Hofseite.

Liegen die Fassadenlängen aus der digitalen Flurkarte vor, wird ab einem Anbaugrad von zwei pauschal die kürzeste Fassade als uneinsehbare Hoffassade angenommen. Liegen diese Informationen nicht vor, wird die geometrieangepasste Westfassade des Referenzgebäudes verwendet.



Bildquelle: [Drittenpreis et al., 2012]

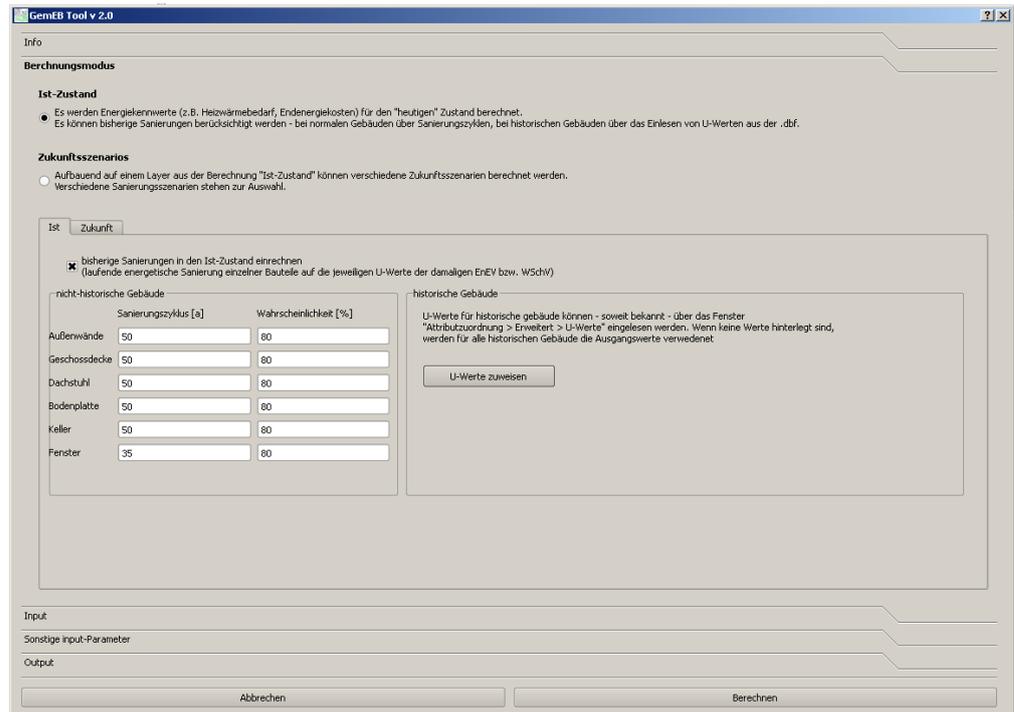


Abb. 16: GemEB-Benutzeroberfläche - Ist-Zustand: In dem Reiter "Berchnungsmodus" kann ausgewählt werden, ob ein Ist-Zustand oder ein Zukunftsszenario berechnet werden soll. Im unteren Fensterteil öffnet sich der entsprechende Reiter mit Angaben zu den Sanierungszyklen jeweils für nicht-historische und historische Gebäude.

3. Anwendung

GemEB ist ausschließlich für die Wärmebedarfsermittlung von Wohngebäuden konzipiert worden. Das hinterlegte Heizperiodenverfahren lässt die Bilanzierung von Nicht-Wohn- und gemischt genutzten Gebäuden nicht zu. Für wohnähnliche Nutzungen kann vereinfacht GemEB angewendet werden. Alle anderen Nutzungen müssen auf andere Art (bspw. durch Verbrauchswerte) ergänzt werden. Zukünftige Entwicklungen können nicht abgebildet werden.

Alle Einstellungen können in GemEB vor Beginn der Berechnungen über die Benutzeroberfläche getroffen werden. Grundlage der Berechnungen ist die digitale Flurkarte in Form eines GIS-Vektordatenlayers. Dazu liest das Programm Daten aus der .dbf-Datei des Vektorlayers ein und schreibt die berechneten Werte als zusätzliche Daten in eine Kopie des Input-Layers.

3.1. Systemvoraussetzungen

GemEB wird über die Pluginfunktion des Geoinformationssystems Quantum GIS (QGIS) eingebettet und kann von dort schnell und umfassend auf die gewünschten GIS-Daten, insbesondere die .dbf-Datei in Form einer Attributetabelle, zugreifen.

Es wird mindestens die Version Quantum GIS 1.6 Copiapó benötigt.

Auf Grund der Verwendung des Python-Moduls "pywin" beim Aufrufen von Excel, ist GemEB auf eine Windows Plattform angewiesen. Gleiches gilt bisher für die Verwendung von Microsoft Excel.

3.2. Installation und Inbetriebnahme

Um GemEB als Plugin in der QGIS Oberfläche laden zu können, muss zunächst der GemEB Dateordner mit sämtlichen Programmdateien im Plugin-Ordner von QGIS abgelegt werden. Der Plugin-Ordner befindet sich in der Regel unter:

C:\Dokumente und Einstellungen\Benutzerprofil\qgis\python\plugins

Der GemEB-Ordner sollte nicht umbenannt werden, um Verwechslungen in der QGIS Oberfläche zu vermeiden. Ist der Ordner an der richtigen Stelle abgelegt, kann in der QGIS Oberfläche über den Menüpunkt

Erweiterungen > Erweiterungen verwalten

der QGIS-Erweiterungsmanager aufgerufen werden. In dem Erweiterungsmanager muss neben dem Icon für GemEB ein Haken gesetzt werden, um das Plugin zu aktivieren. GemEB kann nun über die Werk-



Quantum GIS

Kostenlose GIS-Software, verfügbar unter: www.qgis.org.

Derzeit verfügbar in der Version:

QGIS 1.8 Lisboa;

erforderliche Mindestversion für

GemEB: QGIS 1.6 Copiapó

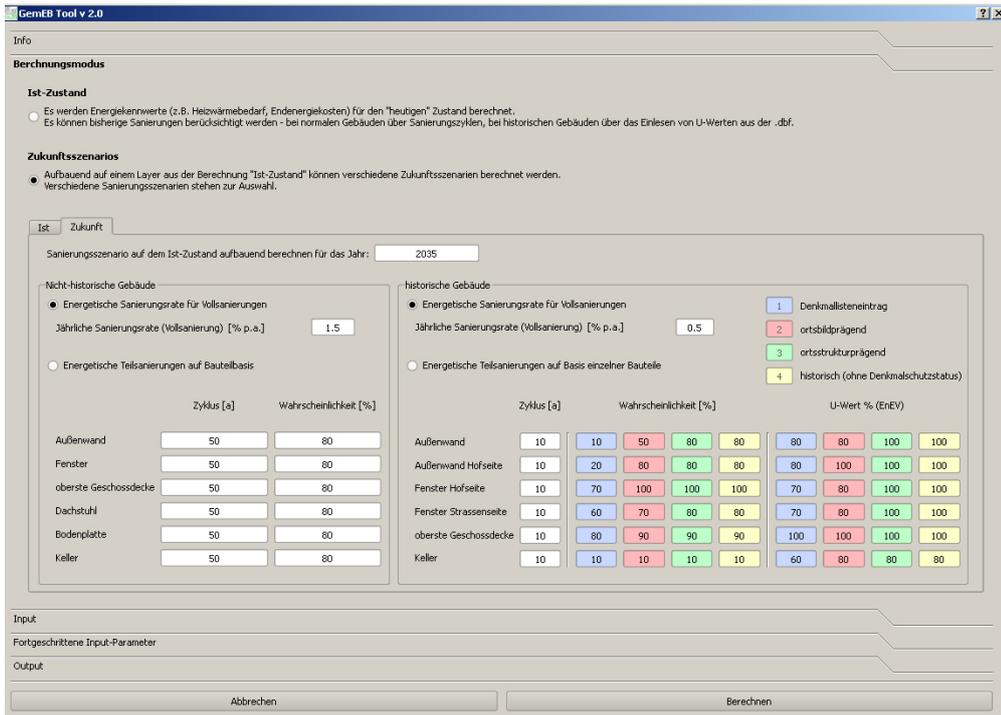


Abb. 17: Das Fenster für Berechnungen im Zukunftsmodus ist ähnlich gestaltet wie das für Ist-Zustände. Hinzu kommt eine detaillierte Eingabe für die Sonderklasse historische Gebäude und ihre vier verschiedenen Denkmalschutzklassen, sowie das Eingabefeld für den Betrachtungszeitraum. Über die Radioknöpfe kann für moderne und historische Gebäude ein Gebäudebezogener Vollsaniierungsmodus, oder ein bauteilbezogener Teilsaniierungsmodus gewählt werden

zeugleiste, sowie über den Menüpunkt

Erweiterungen > GemEB

aufgerufen werden.

3.3. Benutzeroberfläche

Die Reiter in der Benutzeroberfläche sind so angeordnet, dass der Benutzer diese von oben nach unten durcharbeiten kann. Manche Einstellungen bewirken ein Ausgrauen bzw. Hervorheben von späteren Einstellungen, wenn diese z.B. auf Grund der Wahl des Rechenmodus nicht zutreffen.

3.3.1. Berechnungsmodus

Wie in Abschnitt 2.3.3 beschrieben, können mit dem Programm der Ist-Zustand sowie darauf aufbauende Zukunftsszenarien berechnet werden. Der gewünschte Modus kann über den Reiter "Berechnungsmodus" ausgewählt werden (vgl. Abb. 16 und 17).

Im Berechnungsmodus "Ist-Zustand" können Sanierungen, die im betrachteten Zustand bereits durchgeführt worden sind, berücksichtigt werden. Hier wird zwischen nicht-historischen und historischen Gebäuden unterschieden.

Die Bauteile nicht-historischer Gebäude stehen nach ihrer Fertigstellung alle $Z_{Sanierung}$ Jahre zur Sanierung an und werden dann jeweils mit der Wahrscheinlichkeit $Pr(S)$ tatsächlich auf den zum Sanierungszeitpunkt vorgegebenen energetischen Standard gebracht (siehe Abschnitt 2.3.3.1). Die Sanierungszyklen und -wahrscheinlichkeiten können über die Eingabemaske festgelegt werden und gelten jeweils für alle Gebäudetypen und Baualtersklassen nach [IWU, 2005].

Bei historischen Gebäuden, wird davon ausgegangen, dass energetische Sanierungen bisher nur in einem vernachlässigbaren Maße stattgefunden haben. Sollten jedoch U-Werte einzelner Bauteile bekannt sein, die nicht denen der jeweiligen Konstruktionsklassen entsprechen, können diese direkt aus der .dbf-Datei eingelesen werden. Die entsprechende Eingabemaske kann über die Schaltfläche "U-Werte zuweisen" aufgerufen werden. Diese entspricht der Eingabemaske für die U-Wert-Zuweisung in Zukunftsszenarien.

Wird auf dem Reiter "Berechnungsmodus" die Berechnung eines Zukunftsszenarios ausgewählt, wird das entsprechende Feld im unteren Teil des Fensters aufgerufen. Hier wird zuerst der Betrachtungszeit-

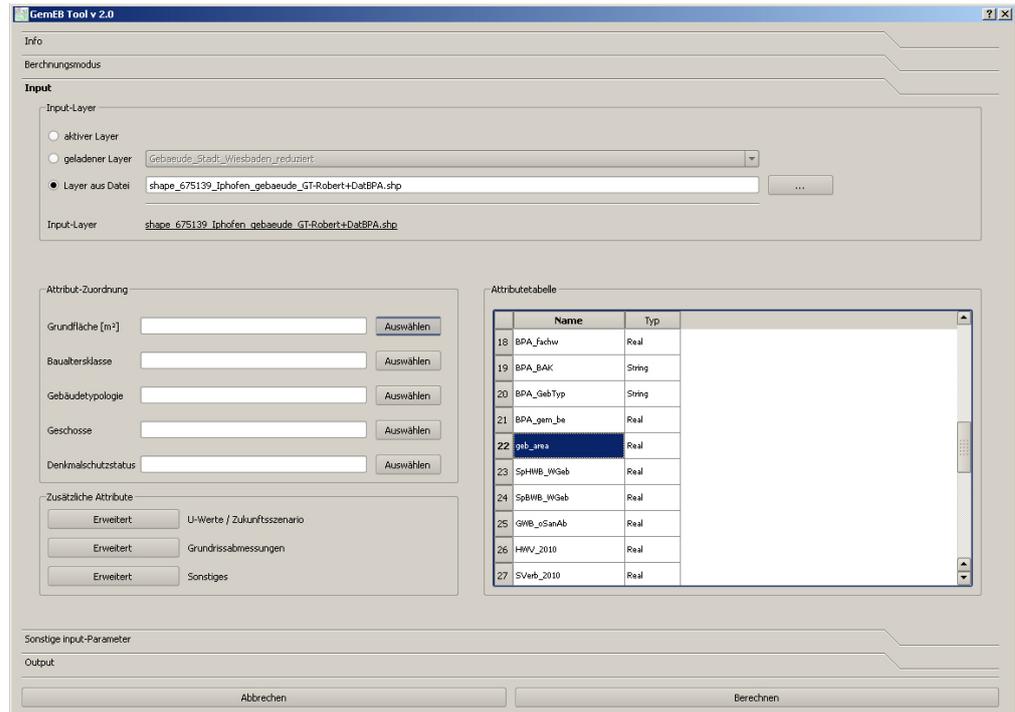


Abb. 18: GemEB-Benutzeroberfläche - Input: Auf dem Reiter "Input" wird zunächst der Input-Layer ausgewählt. Sobald der Layer gewählt wurde, werden seine Attribute in der Tabelle (rechts) angezeigt und können den zur Berechnung benötigten Variablen (links) zugeordnet werden. Weitere Attributzuordnungen können über die "Erweitert"-Knöpfe (links unten) aufgerufen werden.

Geschossanzahl

Die Geschossanzahl eines Gebäudes kann auch als Dezimalzahl eingetragen werden, z.B. bei einem 2-geschossigen Gebäude mit ausgebauten Dachstuhl als "2,5". Bei der Findung eines Referenzgebäudes wird dann bei historischen Gebäuden ein 2-geschossiges Gebäude angenommen, jedoch die Wohnfläche entsprechend berechnet mit:

$$\text{Grundfläche} \cdot 0,8 \cdot 2,5$$

ASCII-Encoding

Der Name sowie der Datei-Pfad der Layer darf keine Sonderzeichen oder Umlaute wie ä, ö, ü, ß enthalten.

raum bzw. das Zieljahr der Berechnungen angegeben. Des Weiteren kann jeweils pro Gebäudekategorie (nicht-historisch / historisch) gewählt werden, ob der gebäudebezogene Vollsaniierungsmodus mit einer jährlichen Saniierungsrate angewendet werden soll, oder der bauteilbezogene Teilsaniierungsmodus, in dem jedes Bauteil einzeln zu einer möglichen Sanierung herangezogen wird. Bei historischen Gebäuden wird in beiden Modi außerdem nach den vier möglichen Denkmalschutzklassen unterschieden (vgl. Abschnitt 2.3.4)

3.3.2. Input

Auf dem Reiter "Input" (Abb. 18) muss zunächst ausgewählt werden, auf welcher Datengrundlage Berechnungen angestellt werden sollen. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten, einen Vektor-Layer auszuwählen. Sollte bereits ein Layer in QGIS geladen und ausgewählt sein, so wird dieser automatisch als Rechengrundlage ausgewählt. Alternativ kann ein anderer bereits geladener Layer ausgewählt oder ein neuer Layer in die QGIS-Oberfläche geladen werden. Sobald ein Layer ausgewählt wurde, aktualisiert sich die Attribut-tabelle (rechts unten) in der die Namen der verschiedenen Attribute des Layers angezeigt werden. Über die Attribut-Zuweisung

wird festgelegt, in welcher Spalte des Input-Layers die jeweilige Information zur späteren Berechnung zu finden ist.

Zur Berechnung benötigt GemEB zu jedem nicht-historischen Gebäude das berechnet werden soll, Informationen zur Gebäudegrundfläche (in [m²]), Baualtersklasse und Gebäudetyp nach [IWU, 2005] und die Geschossanzahl. Sollen auch historische Gebäude betrachtet werden, können hier zusätzlich Angaben zur Denkmalschutzklasse mit den Werten: "0" oder "NULL" bis "4" eingelesen werden, wobei "0" für nicht-historische Gebäude steht. Fehlt diese Zuweisung, wird jedes Gebäude der Typologie "historisch" als "ohne Denkmallisteneintrag" klassifiziert.

Zusätzlich zu diesen grundlegenden Werten, gibt es Berechnungsvarianten die weitere Input-Parameter benötigen. Diese Werte sind allesamt Output-Werte einer Ist-Zustand-Berechnung.

Im Zukunftsmodus oder wenn im Ist-Zustand bereits Informationen zu Bauteil-U-Werten vorliegen, müssen die U-Werte [W/m²K] aller Bauteile, die g-Werte [-] der transparenten Bauteile, der Wärmebrückenfaktor [W/mK] und die Luftwechselrate [1/h] angegeben werden. Wenn in Zukunftsszenarien auch Wirtschaftlich-

keitsberechnungen angestellt und einfache Amortisationszeiten [a] ausgegeben werden sollen, müssen auch Endenergiebedarf [kWh/a] und Jahresenergiekosten [€/a] angegeben werden. Das entsprechende Fenster kann über "Erweitert > U-Werte / Zukunftsszenario" aufgerufen werden.

Wenn detaillierte Informationen zu den Wandlängen für alle zu berechnenden Gebäude vorliegen, können diese über das Fenster "Erweitert > Gebäudeabmessungen" zugewiesen werden. Falls vorhanden, können auch mittlere Gebäudehöhen vorgegeben werden. Liegen in dieser Spalte für ein Gebäude keine Informationen vor, wird die Gebäudehöhe gemäß Abschnitt 2.3.2.2 berechnet.

Sollen nicht alle Gebäude des GIS-Layers berechnet werden, kann unter "Erweitert > Sonstiges" ein Auswahlgebiet für die Berechnung zugewiesen werden. Es werden dann nur Gebäude betrachtet, die hier ausgewählt wurden. Alle anderen Gebäude werden nicht in den Output-Layer übernommen. Das kann bei sehr umfangreichen Datenmengen die Berechnungen beschleunigen, wenn nur ein bestimmter Teilbereich des Siedlungsgebiets untersucht werden soll.

Nicht-Wohngebäude, deren Wärmebedarf nicht über GemEB berechnet werden kann, müssen "manuell", z.B. über Verbrauchswerte in den Datensatz eingepflegt werden. Damit diese zusammen mit den berechneten Werten in einer Wärmedichtekarte dargestellt werden können, werden über den Input-Parameter "Bruttonutzenergiebedarf" diese Werte in die Output-Spalte "Bruttonutzenergiebedarf" übernommen.

Somit kann ohne weitere Bearbeitung eine flächendeckende Abnahmedichte dargestellt werden, die beispielsweise auch als Datensatz für das Wärmenetzsimulationsprogramm rf-Wärme (Robert-Fröhler-Wärme) verwendet werden kann.

Auf dem Reiter "Input (Erweitert)" können zusätzliche Rechenparameter eingestellt werden. Die folgenden Parameter werden dann auf alle Gebäude des Layers angewendet: Gradtagszahl, Nutzungsgrad Heizung und Trinkwarmwasserbereitung, Kosten für Wärmeträger und Strom.

3.3.3. Output

Über den Reiter "Output" wird der Name des Output-Layers bestimmt und die gewünschten Output-Parameter gewählt. Der Output-Layer trägt den Namen des Input-Layers, dem ein frei wählbares Suffix angehängt wird. Der Output-Layer der Berechnung eines Zukunftsszenarios mit einer jährlichen Sanierungsrate von 1,5 % kann so beispielsweise wie folgt benannt werden:

musterstadt_gebaeude_SanRate1-5.shp

Der neue Layer wird in den gleichen Zielordner gespeichert, aus dem der Input-Layer geladen wurde. Neben den Standarddateien .shp, .dbf und .shx werden außerdem die .qpj- und .prj-Dateien des Layers bzw. Projekts gespeichert.

Auf dem Reiter "Output" kann außerdem bestimmt werden, welche Ergebnisse der Berechnung ausgegeben werden sollen. Dazu können die verschiedenen Parameter wie in Abb. 20 dargestellt, ausgewählt werden. Soll der Output-Layer dieser Berechnung als Input-Layer für eine weitere Berechnung im Zukunftsmodus dienen, müssen mindestens die Output-Parameter der Gruppen "Bauteile" und "Kosten" ausgewählt werden.

3.4. Auswerten der Ergebnisse

Sind alle Einstellungen über die Benutzeroberfläche getroffen worden, so kann der Berechnungsvorgang über den Knopf "Berechnen" gestartet werden. Eine Fortschrittsleiste zeigt während des gesamten Berechnungsvorgangs an, wie viele Gebäude bereits bearbeitet wurden und wie viele noch ausstehen.

Die Ergebnisse der Berechnung schreibt GemEB in den Output-Layer entsprechend der Auswahl an Output-Parametern auf dem Reiter "Output". Sie werden in der Attributetabelle als Zahlenwerte angegeben (Abb. 19).

Da die Berechnungen des Wärmebedarfs auf Wahrscheinlichkeiten beruhen und basierend darauf im Zufallsprinzip über bereits erfolgte oder zukünftige Sanierungsmaßnahmen entschieden wird, ist ein Rückschluss auf Einzelgebäude trotz

Layer-Name

Sollte bereits ein gleichnamiger Layer in der QGIS-Oberfläche geladen sein, kann kein neuer Layer erstellt werden und der Berechnungsvorgang bricht automatisch mit einer Fehlermeldung ab. Wenn ein Layer überschrieben werden soll oder ein gleichnamiger Layer aus einem anderen Projekt geladen ist, muss der bereits bestehende Layer zunächst aus der QGIS Oberfläche entfernt werden, damit der neue Layer erstellt werden kann.

HWB	HWB_m2	TWW
241289.67	122.47	58251.41
156140.78	149.57	30866.93
175377.38	141.58	36626.07
221335.17	127.26	51425.02
233177.91	124.34	55449.49
147941.64	153.48	28500.24
122436.15	168.31	21508.5
170961.98	143.28	35279.57
192969.78	135.44	42127.85
252666.13	120.03	62240.53
153026.19	151.01	29961.46
179102.96	140.19	37773.16
195887.81	134.51	43060.76
141488.73	156.82	26676.88

Abb. 19: Darstellung eines Teils der Ergebnisse aus GemEB in der Attributetabelle von QGIS

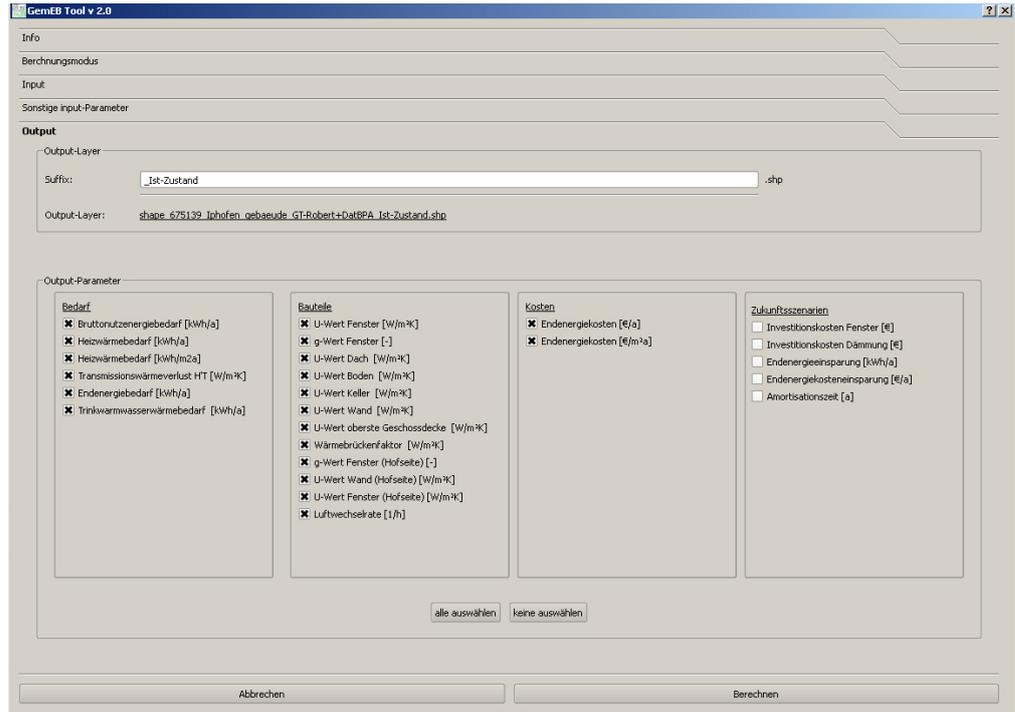


Abb. 20: GemEB-Benutzeroberfläche - Output: Auf dem Reiter "Output" wird der Name des Output-Layers (oben) festgelegt. Dieser setzt sich aus dem Namen des Input-Layers und einem frei wählbaren Suffix zusammen. Des Weiteren können die Output-Parameter (unten) gewählt werden, die dann in den Output-Layer geschrieben werden.

Berechnungsdauer

Die Berechnungsdauer variiert stark, je nach verfügbarer Rechenleistung und Größe des Layers. Um die Berechnung zu beschleunigen, sollten - gerade bei großen Betrachtungsgebieten (10.000 +), bei denen nur ein begrenzter Anteil Wohngebäude vorzufinden ist - nicht-relevante Gebäude herausgenommen werden.

gebäudescharfer Bilanzierung nicht möglich. Für die Darstellung eines Siedlungsgebiets als Ganzes sind die Ergebnisse jedoch hinreichend genau. Hierzu werden die Einzeldaten im Rahmen der Analyse der Gemeindestruktur entwickelten Rastereinheiten auf städtebaulicher Ebene zusammengefasst. Eine solche Zusammenfassung ist auch aus Datenschutzgründen zwingend notwendig. Der "Leitfaden Energienutzungsplan" [Hausladen et al, 2011] stellt diese Auswertung Schritt für Schritt dar (siehe auch Abb. 22).

4. Ausblick

GemEB fand bereits in zwei Forschungsprojekten erfolgreich in der Bedarfs- und Potentialanalyse des Energienutzungsplans Verwendung. Es wurde dabei immer den aktuellen Fragestellungen angepasst und entsprechend der Erfahrungen aus der Anwendung weiterentwickelt. So entstand ein hilfreiches Softwarewerkzeug für den Energienutzungsplan, das jedoch stetig weiter entwickelt werden soll.

Die nächste Entwicklungsstufe, die eine Berechnung mit 3D-Gebäudedaten des Detaillierungsgrads LOD 2 ermöglicht, steht bereits in Aussicht. Zusätzlich sollen verschiedene Änderungen in Algorithmus und Oberfläche zu einer erhöhten Bedienerfreundlichkeit und Flexibilität des Programms führen. Die folgenden Punkte stellen Anregungen und Ideen dar und zeigen Verbesserungspotenziale von GemEB 2.0.

4.1. Erhöhte Datengenauigkeit

GemEB 2.0 arbeitet bislang mit einem Referenzgebäudegeometrieverfahren, bzw. mit 3D-Gebäudedaten des Detaillierungsgrads LOD 1. Das sogenannte "Klötzchenmodell" beinhaltet lediglich Daten zur Gebäudegrundfläche und einer mittleren Gebäudehöhe. Derzeit ist eine

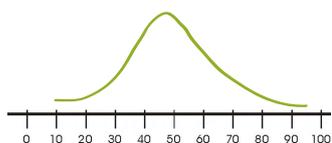


Abb. 21: Eine Normalverteilung der Sanierungswahrscheinlichkeit mit entsprechendem Mittelwert und Standardabweichung kann ein realistischer Sanierungsszenario abbilden.

bayernweite Erfassung des Gebäudebestands als sogenanntes LOD 2 3D-Gebäudemodell in Arbeit. Dieses beinhaltet dann genaue Daten zu Dachausrichtung, First- und Traufhöhen.

In welcher Form genau diese Daten GemEB zur Verfügung gestellt werden sollen, ist im Rahmen der Weiterentwicklung zu klären, bzw. festzulegen. Die umfassenden Geometriedaten lassen genauere Berechnungen mit GemEB erwarten.

4.2. Verbesserung der Sanierungszyklen

Bei Sanierungsszenarien im Berechnungsmodus Zukunftsszenario wird das Baualter der Gebäude nicht berücksichtigt. Gebäude der Baualtersklasse C werden mit der gleichen Wahrscheinlichkeit zur Sanierung ausgewählt, wie neuere Gebäude, z.B. der Baualtersklasse J. Im Teilsanierungsmodus kommen Bauteile von Gebäuden gleicher Baualtersklasse jeweils immer im gleichen Jahr zur Sanierung. Dadurch ergeben sich gerade bei relativ langen Sanierungszyklen pro Bauteil Clusterungen.

Die Rechenalgorithmen und die Auswahlverfahren für energetische Sanierungen sollen dahingehend verbessert werden, dass sich als Ergebnis in beiden Sanierungsmodi eine Normalverteilung (s. Abb. 21) der Sanierungen in den einzelnen Baualtersklassen und Bauteilen ergibt.

4.3. Angepasste Referenzgebäude

Dem Referenzgebäudegeometrieverfahren in GemEB hinterliegen derzeit Daten aus [IWU, 2005]. Die dort hinterlegten Daten zeigen den Bundesdurchschnitt der Bauteile im einzelnen. Sie ergeben zusammengefügt deshalb nicht immer ein realistisches durchschnittliches Referenzgebäude.

Des Weiteren bleiben regionale Unterschiede der energetischen Qualität bei nicht-historischen Gebäuden in diesem Verfahren unberücksichtigt. Der Einfluss auf die Berechnungsergebnisse eines regionalen Referenzgebäudes soll deshalb in weiteren Untersuchungen geprüft werden.

4.4. Anlagentechnik

In der früheren Version GemEB 1.3 gab es bereits Ansätze, auch gebäudespezifisch



Klassifizierung der Wohngebäude

Klassifizierung der historischen Gebäude nach HEGT (Anbaugrad, Konstruktionsklasse und Geschossanzahl)

Klassifizierung der Gebäude nach IWU (Baualtersklasse und Gebäudetyp)



Wärmebedarf Wohngebäude



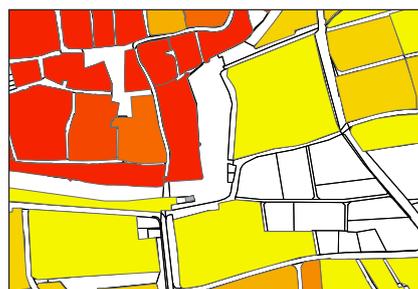
Wärmeverbrauch

öffentliche Liegenschaften, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistung



Rasterung

Quartiersbezogene Betrachtung



Wärmedichtekarte

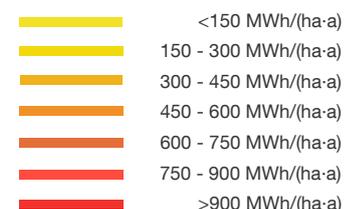


Abb. 22: Piktogramme - Erstellung einer Wärmebedarfsdichtekarte [Drittenpreis et al., 2012]

Heizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen in die Berechnungen mit einzubeziehen. Dadurch können Berechnungen zum Primärenergiebedarf sowie zur Wirtschaftlichkeit angestellt werden.

Diese Funktion soll wieder aufgenommen werden um Anlagen über die DIN V 4701-10 bewerten können. Verknüpft mit Informationen zu Bestandsanlagen können interessante Vergleiche der Szenarien in Hinblick auf Primärenergieeinsparung und energetische Amortisation von Sanierungsmaßnahmen getroffen werden. Solche Daten könnten, z.B. über die zuständigen Kaminkehrer im Rahmen der Erstellung eines Energienutzungsplans für das entsprechende Gemeindegebiet verfügbar sein.

4.5. Darstellungsoptionen

GemEB dient der Vereinfachung der Erstellung von Energienutzungsplänen. Ein wichtiger Bestandteil eines ENPs ist die Analyse und Darstellung der Ergeb-

nisse. Als Auswertungshilfsmittel, gerade in Bezug auf Wärmebedarfsdichtekarten, soll ein Tool zur Darstellung dieser Werte zur Seite gestellt werden. Dieses wird sich an den Vorgaben des "Leitfaden Energienutzungsplan" [Zadow et al., 2012] (vgl. Abb. 22) orientieren.

5. Fazit

GemEB ist ein hilfreiches Werkzeug für den Energienutzungsplan, das die Erstellung von Wärmedichtekarten enorm vereinfacht. Es kann aus einfachen und leicht verfügbaren Daten gute Näherungen für den Wärmebedarf in historischen und nicht-historischen Quartieren liefern und aussagekräftige Szenarien berechnen.

Im Zusammenspiel mit anderen Programmen wie dem Nahwärmenetz-Simulationsprogramm rfWärme wird es zu einem wichtigen Instrument in der Energieplanung werden. Hierzu werden auch maßgeblich die zukünftigen Entwicklungen weiterer Werkzeuge für den Energienutzungsplan beitragen.

6. Literaturverzeichnis

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

[dena, 2012] Kohler, S.: Jahrhundertaufgabe Energiewende: Wo stehen wir? - Einsatz von Wärmedämmung im Sanierungs- und Neubaubereich, Berlin 2012, URL: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/Vortraege_GF/sk/120911_SK_Pressegespraech_des_Gesamtverbands_Daemmstoffindustrie_GDI_Berlin_Jahrhundertaufgabe_Energiewende_-_Wo_stehen_wir_-_Einsatz_von_Waermedaemmung_im_Sanierungs-_und_Neubaubereich.pdf [Stand: 11.11.2012]

[Drittenpreis et al., 2012] Drittenpreis, J., Schmid, T., Zadow, O.: Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes am Beispiel der Stadt Iphofen, München, 2012.

[Hausladen et al., 2011] Hausladen, G., Wagner, T., Bonnet, C., Schimid, T., Tzscheutschler, P., Burhenne, R.: Leitfaden Energienutzungsplan (Hrsg) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur und Technologie (StMWIVT), Oberste baubehörde im Bayerischen Staatsministeriumdes Inneren (OBB), München, 2011.

[IWU, 2003] Institut für 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 [Stand: 11.11.2012]

[IWU, 2005] Institut für Wohnen und Umwelt (IWU): Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze, Darmstadt, 2005, URL: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland.pdf [Stand: 11.11.2012]

[Zadow et al., 2012] Zadow, O., Fröhler, R., Vohlidka, P., Schinabeck, J.: EnEff:Wärme – Pilotprojekt Ismaning - Energieleitplanung, Forschung und Entwicklung | Heft 22, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hrsg.), Frankfurt am Main, Oktober 2012

7. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 01: Phasen bei der Erstellung eines Energienutzungsplans (ENP) S. 6
- Abb. 02: Vorgehensweise bei der Bedarfs- und Potenzialanalyse S. 7
- Abb. 03: Pauschale Wärmebedarfsermittlung S. 8
- Abb. 04: Spezifischer Jahresheizwärmebedarf S. 9
- Abb. 05: Wärmebedarfsermittlung mit der Bilanzierungssoftware GemEB S. 10
- Abb. 06: Komponentenstruktur der Bilanzierungssoftware GemEB S. 11
- Abb. 07: Typische Kennwerte nach [IWU, 2005] S. 12
- Abb. 08: Anbaugrade historischer Gebäude S. 13
- Abb. 09: Flächenskalierung im Referenzgebäudeverfahren S. 14
- Abb. 10: Gebäude verwinkelter und kompakter Bauweise S.15
- Abb. 11: LOD1-Verfahren S. 15
- Abb. 12: Beispielhafte Ermittlung des Sanierungsstands eines Gebäudes S. 16
- Abb. 13: Modus Zukunftsszenario Vollsanierrate S. 17
- Abb. 14: GemEB-Eingabemaske für historische Gebäude S. 18
- Abb. 18: GemEB-Benutzeroberfläche - Input S. 22
- Abb. 19: Attributetabelle von QGIS S. 23
- Abb. 20: GemEB-Benutzeroberfläche - Output S. 24
- Abb. 21: Normalverteilung der Sanierungswahrscheinlichkeit S. 24
- Abb. 22: Piktogramme - Erstellung einer Wärmebedarfsdichtekarte S. 25

