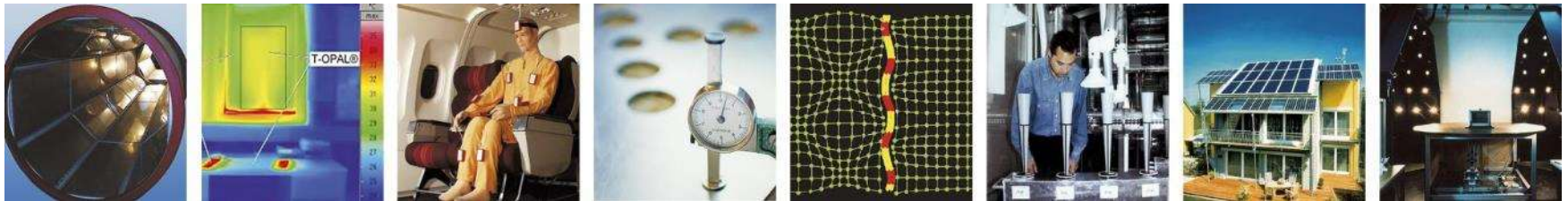

Energetische Modernisierung und Denkmalschutz: Stand der Technik und aktuelle Trends

Gunnar Grün

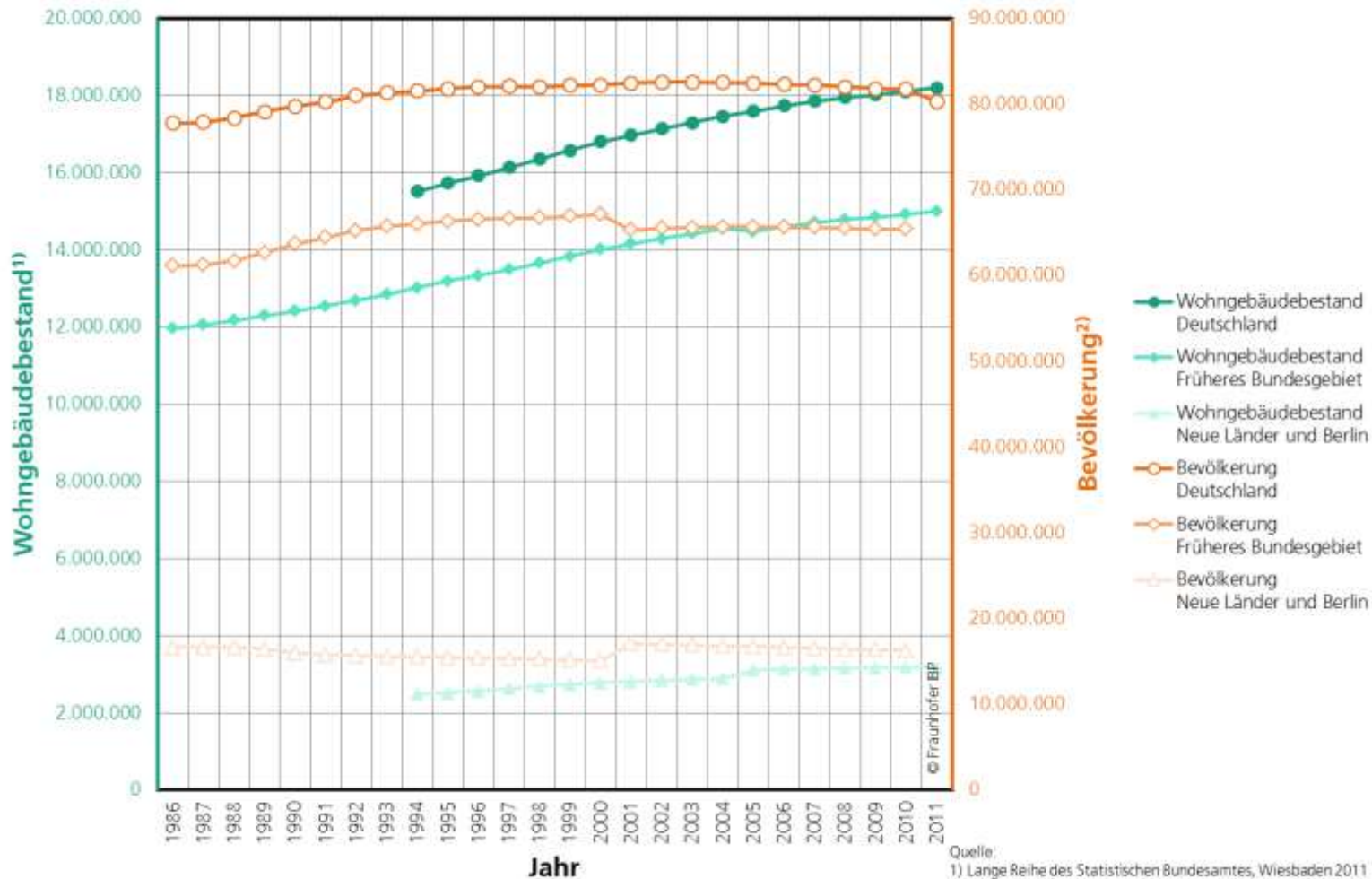
Bamberg, 20. Mai 2015

Auf Wissen bauen



Energetische Modernisierung im Bestand

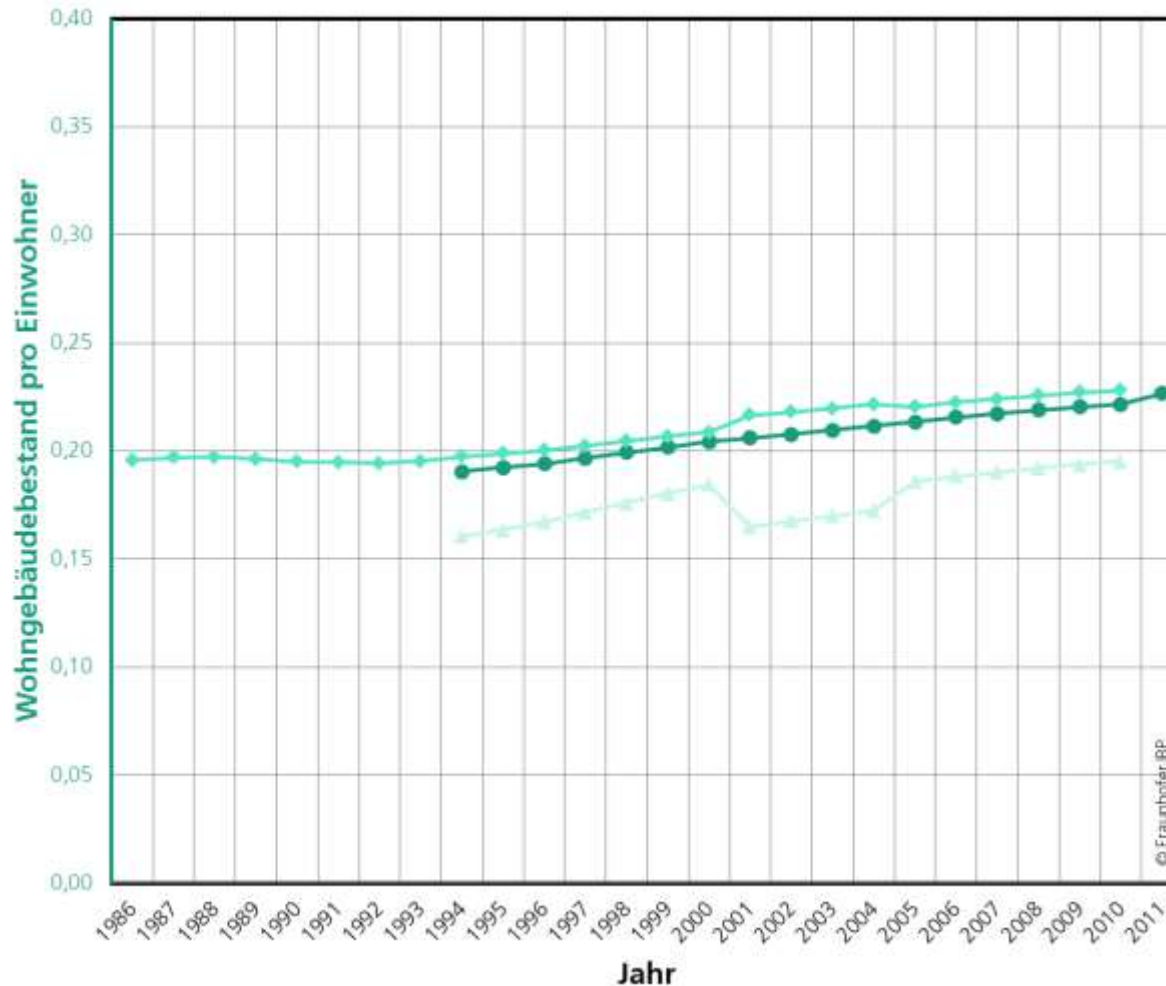
Wohngebäudebestand vs. Bevölkerung



Quelle:
 1) Lange Reihe des Statistischen Bundesamtes, Wiesbaden 2011
 2) Lange Reihe des Statistischen Bundesamtes, Wiesbaden 2012

Energetische Modernisierung im Bestand

Wohngebäudebestand pro Einwohner



Auf jeden 4. bis 5. Einwohner kommt ein Wohngebäude

- Wohngebäude pro Einwohner Deutschland
- Wohngebäude pro Einwohner Früheres Bundesgebiet
- Wohngebäude pro Einwohner Neue Länder und Berlin

© Fraunhofer IBP

Energetische Modernisierung im Bestand

Randbedingungen

- Rückgang Neubautätigkeit
- Altbauanteil (zahlenmäßig): ~77 %
- Altbauanteil (energetisch): ~95 %

Baudenkmäler

- ca. 3-5 % der Gebäude in Deutschland
- Bayern: In der Bayerischen Denkmalliste sind eingetragen:
 - ~120.000 Baudenkmäler
 - ~ 900 Ensembles



Energetische Modernisierung im Bestand

- Schrumpfende Bevölkerung
 - Steigende Zahl an Wohngebäuden (davon ca. 3-5% Baudenkmäler)
- **Weniger Investoren für den Erhalt der Bausubstanz verfügbar!**

Ziele der Denkmalpflege

Die Denkmalpflege beschäftigt sich mit den Maßnahmen, die zur Bewahrung von Denkmälern als gemeinsames Erbe notwendig sind.

→ andere methodische Herangehensweise als bei Standard-Sanierungen!

Artikel 3 der Charta von Venedig:

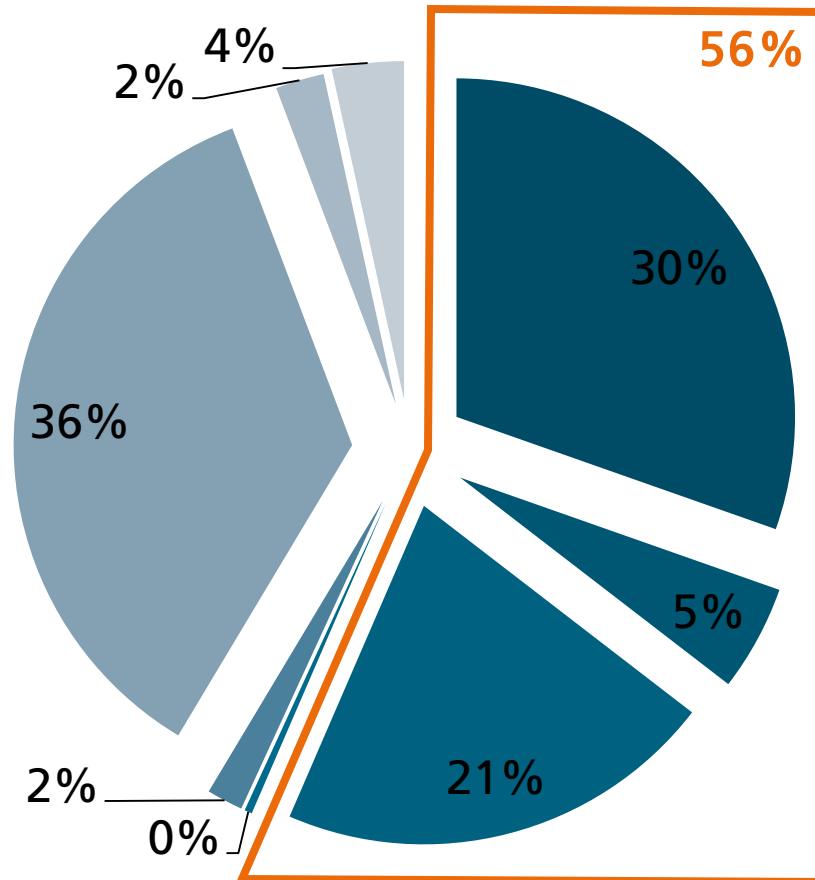
„Ziel der Konservierung und Restaurierung von Denkmälern ist ebenso die Erhaltung des Kunstwerks wie die Bewahrung des geschichtlichen Zeugnisses.“

Primäre Prinzipien der Erhaltung:

- beständige Pflege
- Bestreben nach Nutzung
- Substanzerhalt
- Geschichtszeugnis
- Verbundenheit integrierter Kunstwerke

Restaurierungen = Ausnahmemaßnahmen mit dem Ziel ästhetische und historische Werte zu bewahren und zu erschließen.

Endenergieverbrauch 2013

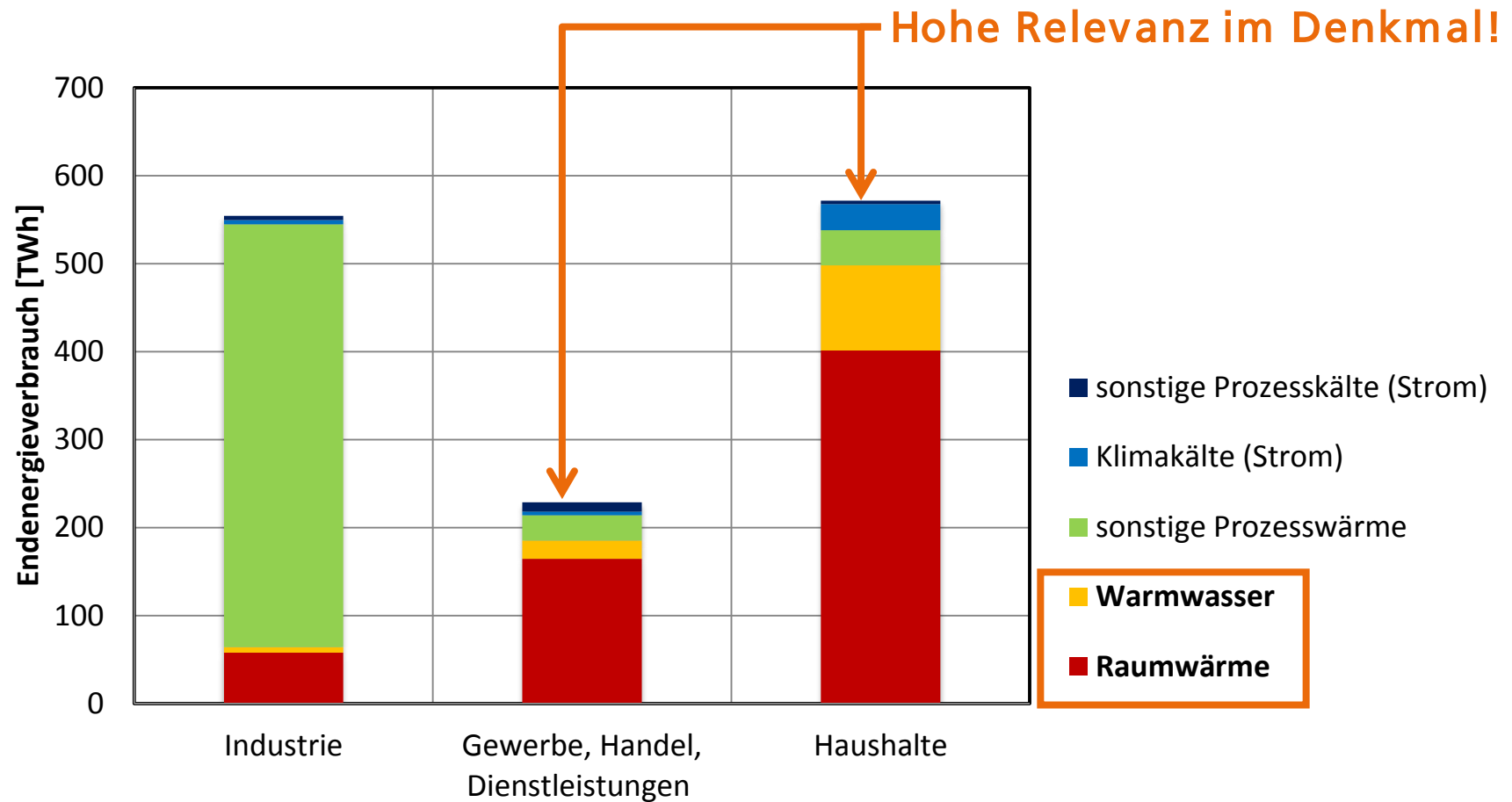


Wärmebedarf entscheidend!

- Raumwärme
- Warmwasser
- sonstige Prozesswärme
- Klimakälte
- sonstige Prozesskälte

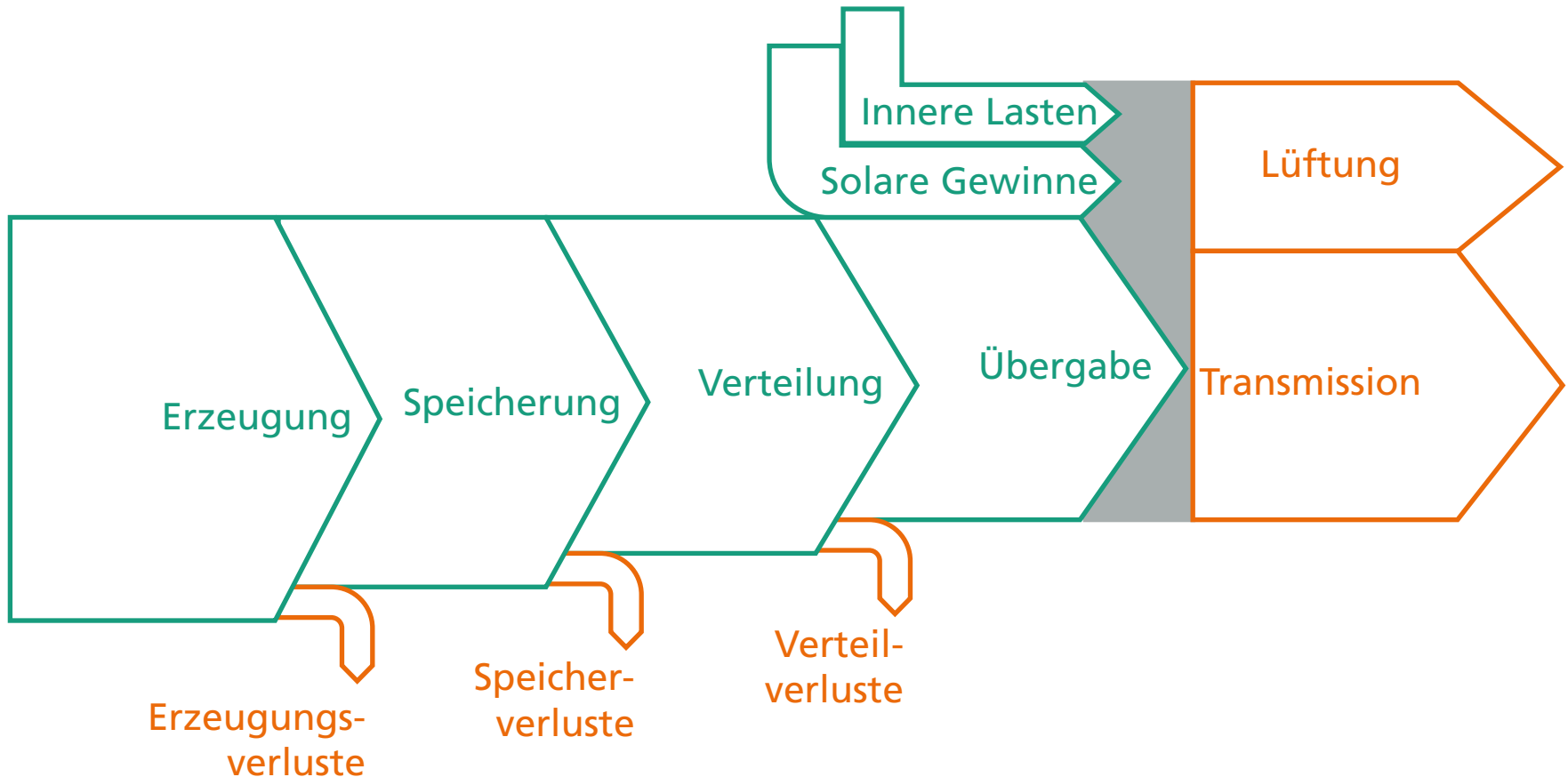
Quelle: BMWi Energiedaten, 2013

Endenergieverbrauch im Sektor „Wärme“



Quelle: Fraunhofer IBP, Daten aus AGEb 2013

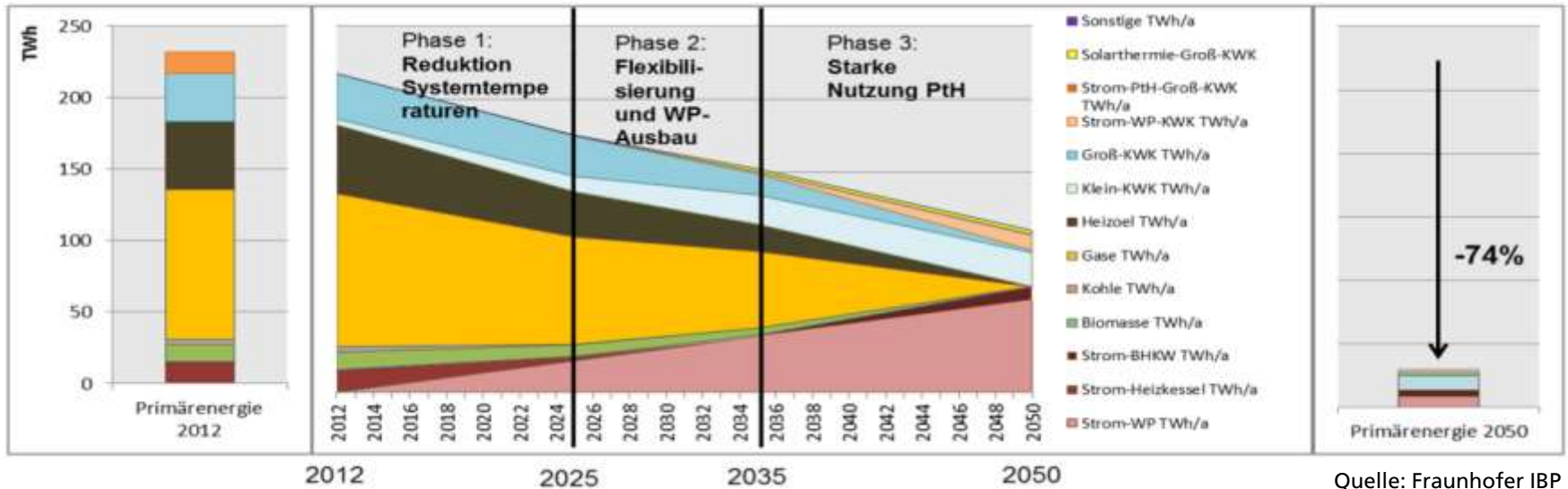
Energiefluss: Wärmebedarf



Wärmebereitstellung



Roadmap Wärmebedarf Gewerbe



Schlüsseltechnologien für den Ausbau eines zukünftigen Energiesystems:

- Kraft-Wärme-Kopplung
- Wärmepumpen in verschiedenen Leistungsklassen
- ➔ notwendiger Ausbau der Nah- und Fernwärme

Wärmebereitstellung mit erneuerbaren Energien

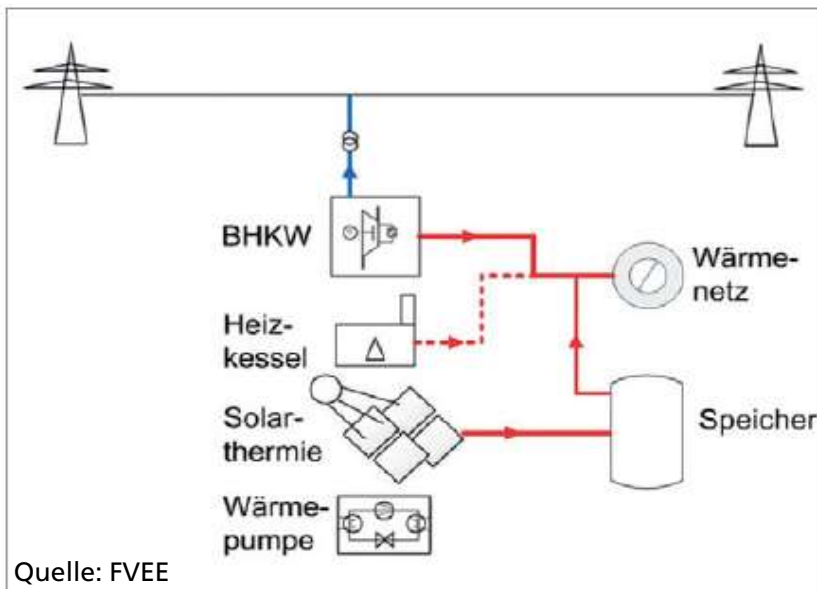
Rolle der Nahwärmeversorgung

Prinzipien erneuerbarer Wärmeerzeugung:

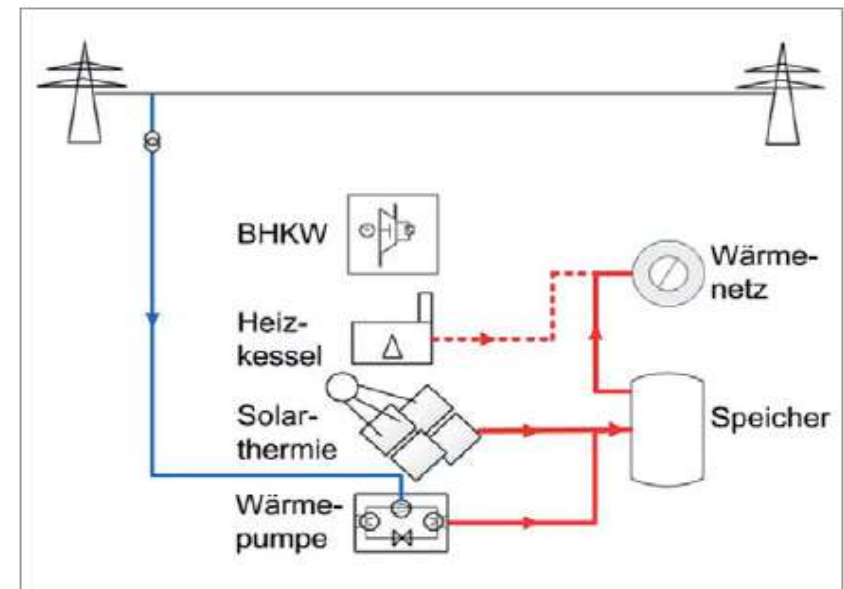
- Solarthermie
 - Denkmal: oft wegen Erscheinungsbild ungeeignet
- Biomasse
 - Denkmal: eher nur als Kleinf Feueranlage
 - besser: dezentrale Wärmeerzeugung → **Nahwärme**
- Umweltwärme
 - Denkmal: Wärmepumpen oft ästhetisch unerwünscht
 - Geeignet im Form von Lüftungs-Wärmerückgewinnung
- Geothermie
 - Denkmal: häufig kein Platz im historischen Quartier
 - Besser als dezentrale Wärmeerzeugung → **Nahwärme**

Intelligente Wärmenetze

Betrieb Wärmeerzeuger bei hohen Strompreisen



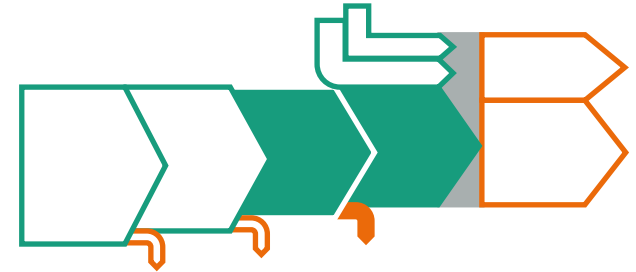
Betrieb Wärmeerzeuger bei niedrigen Strompreisen



Denkmal:

- Nutzung als thermischer Speicher zur Lastverschiebung
- Einsatz von Wärmepumpen zum „Aufladen“ bei niedrigen Strompreisen
- Achtung: ist ein Treiber der Systemtemperatur!

Wärmeübergabe „LowEx“



Im Denkmal:

- Wesentlich: Wärme (Raumheizung, Warmwasser)
- Reduktion der Systemtemperaturen forcieren!
- Einsatz des passenden Exergieniveaus!
z.B. mittels Wärmepumpe, Nahwärme, etc.
- Vorlauftemperaturen früher:
 - 70-90°C (wg. Nutzung Schwerkraft)
- Vorlauftemperaturen heute:
 - 55°C (Niedertemperaturheizkörper)
 - 35°C (Flächenheizung, NT-Gebläsekonvektor)
 - Reduktion Strahlungsverluste
 - Erhöhung konvektiver Wärmeübergang

Wandheizungssysteme

Forschungsprojekt „Innovative Wandheizungssysteme“:

- Optimierung von Wandheizungssystemen unter realen Bedingungen für Altbausanierung und Denkmalpflege
- Untersuchung zu Energie und Exergie, Behaglichkeit und hygrothermischen Fragestellungen

Vorgehen:

- Rechnerische Untersuchungen
- Vorversuche auf dem Freigelände des IBP
- Messungen im Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern

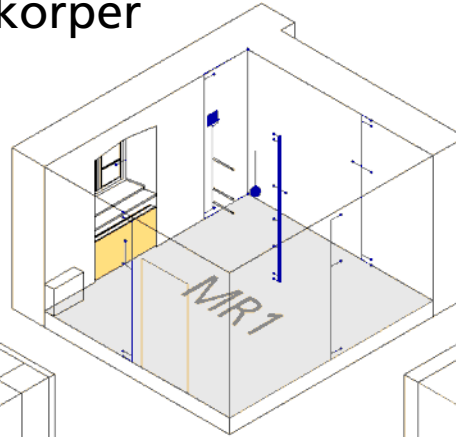


Gefördert durch:

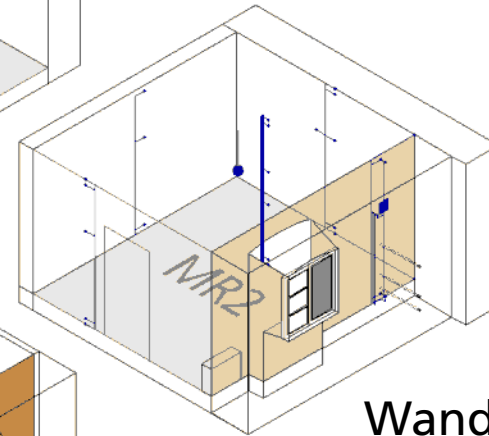
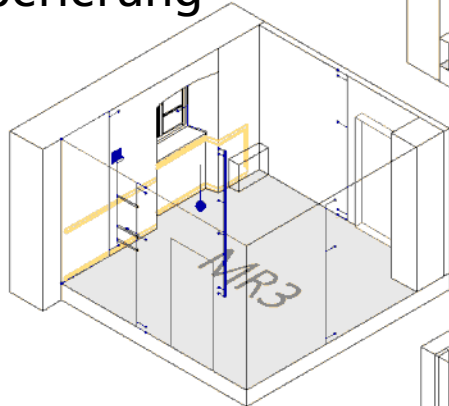
Effektivität unterschiedlicher Wandheizungen

Untersuchung am Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern

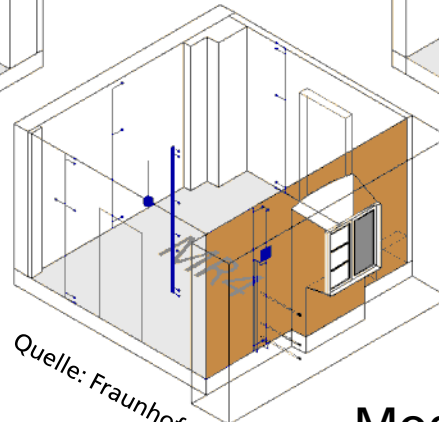
Strahlungsheizkörper



Bauteiltemperierung



Wandheizung mit
Entkopplungsmatte



Modulare Wandheizung

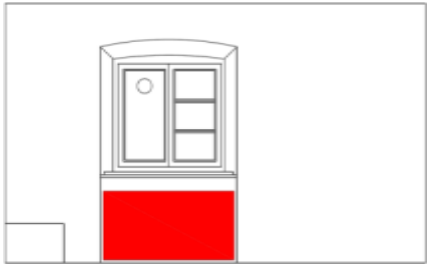
Quelle: Fraunhofer IBP

Gefördert durch:

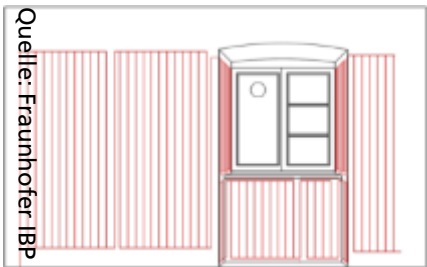
Effektivität unterschiedlicher Wandheizungen

Untersuchung am Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern

Messraum 1:
Strahlungsheizkörper



Messraum 2:
Wandheizung (inkl.
Wirrgelegematte)

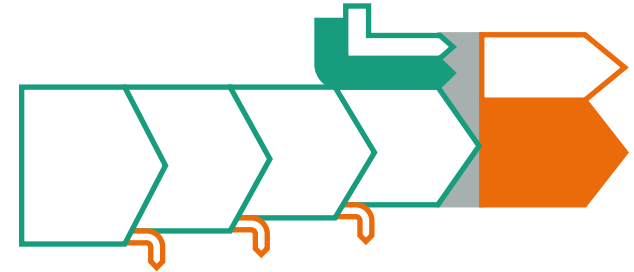


Referenz: elektrischer R:

- Gleiche effektive Wärmeabgabe bei Wandheizungen möglich, wie in der Referenz mit Radiator
- Sehr geringe Vorlauftemperaturen möglich
- Dabei hohe Dämmwirkung bzw. Innendämmung unter der Wandheizung notwendig
- Einschränkungen der Wirkung u.a. durch:
 - Verstellte Wände, da sonst kein Strahlungseffekt
 - Eingeschränkte Montage an der Wand
- Achtung: andere Referenztemperatur und konvektiver Wärmeübergangswert bei U-Wert Berechnung
- Achtung: Heizlastberechnung sinnvoll nur bei instationärer Betrachtung

Gefördert durch:

Transmissionswärmeverluste



Prinzip 1: Minimierung der Verluste durch Gebäudehülle

- = Dämmung
- Im Denkmal: häufig nur innen möglich → **Innendämmung**
 - Authentizität Fassade
 - Ästhetischer Eindruck der Fassade
 - Achtung: Schadensrisiko (Tauwasser, Schimmel)
 - Achtung: Flächenminderung



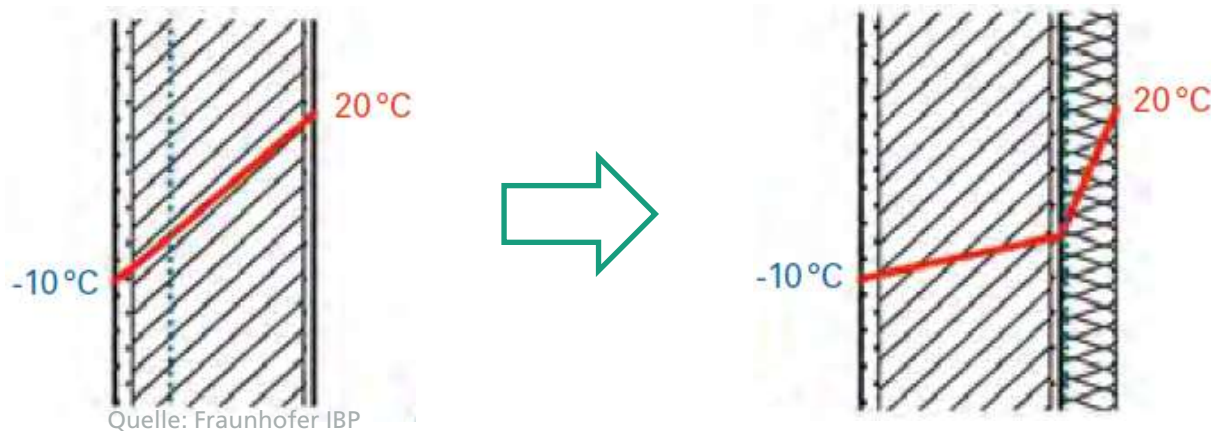
Prinzip 2: Optimierung solarer Gewinne

- Im Winter: Maximierung (geringerer Heizbedarf)
- Im Sommer: Minimierung (kein Kühlbedarf !)
- Im Denkmal: eher geringes Potenzial



Quelle: Sonnenhaus-Institut e.V.

Innendämmung & Bauphysik



Herausforderung: Tauwasserausfall → Schimmelpilzrisiko

- Eine Hinterströmung der Innendämmung ist unbedingt zu vermeiden
→ vollflächige Verklebung, flexible Dämmstoffe hier vorteilhaft
- Fehlstellen im Regelquerschnitt sind zu vermeiden
manche Materialien (z.B. Kalziumsilikat) bieten aufgrund deren hohen Beständigkeit eine gewisse Fehlertoleranz
- Problematik der Innendämmung an einbindender Wand bzw. Decke ist entgegen der Lehrmeinung eher unbedeutend
Grund: Einbindende Wand/Decke bildet an dieser Stelle eine Wärmebrücke

Innendämmung & Denkmalpflege

Denkmalpflegerische Fragestellung:

- Reversible Montage
- Schadensfreiheit originaler Putze und Malschichten
- **Bewahrung historischer Original-Befunde**

- Forschungsprojekt EnOB: Innendämmung am Fraunhofer-Zentrum Benediktbeuern



© Fraunhofer IBP



© Fraunhofer IBP

EnOB:Innendämmung – Auswahl Dämmstoffe

| | | |
|----------------------------------|------------------------|---------------------|
| 2 Aerogeldämmputze | (0,028 bis 0,030 W/mK) | } Dämmputze |
| Rohrkolbendämmung Typha | (ca. 0,050 W/mK) | } Dämmstoffplatten |
| Mineralschaumplatten | (0,042 W/mK) | |
| Historisches Material Schilfrohr | (ca. 0,055 W/mK) | } Schütt-Dämmstoffe |
| Zellulose-Flocken | (0,038 bis 0,040 W/mK) | |
| Perlite | (0,050 W/mK) | } Dämmstoffmatten |
| Mineralwolle | (0,035 W/mK) | |
| Aerogelmatten | (0,018 W/mK) | |

Gefördert durch:

Innendämmung aus Rohrkolben (Typha)



© Fraunhofer IBP, Theuerkorn

Vorteile von Typha als Baumaterial:
Durch spezielle Blattstruktur

- Schilfpflanze mit hoher natürlicher mikrobieller Resistenz (keine Biozide notwendig)
- Schwammähnliches Gewebe mit geringer Wärmeleitfähigkeit ($\lambda \approx 0.032 \text{ W/mK}$)
- Struktur mit sehr hoher Druckfestigkeit
- Geringe Entflammbarkeit

Innendämmung aus Rohrkolben (Typha)



Vorteile der Magnesit- gebundenen Typha-Platte:

- Hohe Druckfestigkeit niedriger Wärmeleitfähigkeit ($\lambda \approx 0.052 \text{ W/mK}$)
- Hohe Wärmekapazität
- gute akustische und brandschutztechnische Eigenschaften
- mittlerer Diffusionswiderstand
- Kapillaraktiv
- Gute Bearbeitbarkeit mit üblichen Werkzeugen
- 100 % kompostierbar
- **In Denkmalpflege akzeptiert**

Innendämmung & Reversibilität

Bei Innendämmsystemen mit Schütt- oder Einblasdämmung und vorgeständerter Konstruktion einfache Lösung: z.B. Japanpapier als Zwischenlage

➔ Entwicklungsbedarf für auf den Untergrund verklebte Dämmsysteme

➔ Anwendung eines flüchtigen Bindemittels

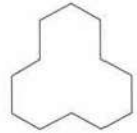
➔ Cyclododecan
umfangreiche Erfahrungen aus dem Restaurierungsbereich

■ Als Spray bildet sich ein amorpher, feinstporiger Belag mit hohen Verdunstungsgeschwindigkeiten

■ In der Schmelze ergibt dies einen dichten Film mit sehr langen Verdunstungszeiten.

➔ Applikation der Schmelze

Cyclododecan



Chemische Bezeichnung:
Cyclododecan

Schmelzpunkt:
58–61 °C

Siedepunkt:
243 °C

Löslichkeit:
unlöslich in stark polaren Lösemitteln,
sehr gut löslich in unpolaren Lösemitteln,
wie Alkanen oder chlorierten Kohlen-
wasserstoffen



Gefördert durch:

Überprüfung der Reversibilität im Labor

- Anbindung an Cyclododekan: Mörtel mit nichtpolarem Latex als Bindemittel
- Anbindung für Klebemörtel: Leichtputzsystem als Untergrundmaterial
- Test nach 1jähriger Standzeit: keine beschädigte Malschicht!

Testfelder



Cyclododekan



Leichtputzsystem

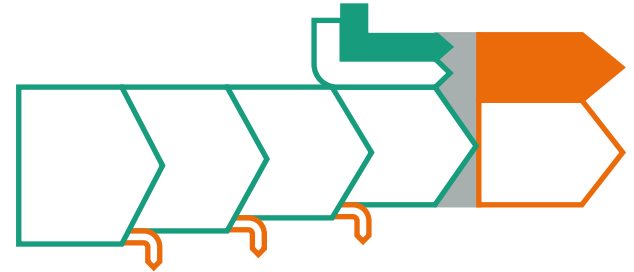


Reversibilitätstest



Gefördert durch:

Lüftungswärmeverluste



Prinzip 1: ungewollte Lüftungsverluste minimieren

- Instandsetzung / energetische Modernisierung Fenster
- Im Denkmal: bis zu gewissem Grad umsetzbar
 - Substanzerhalt: kein Verlust an Material, Erhalt des Erscheinungsbilds ...
 - Reversibilität: schadenfreie Wiederherstellung des vorherigen Zustands

Prinzip 2: interne Lasten wiederverwerten

- Wärmerückgewinnung (WRG) bei mechanischer Lüftung
- Im Denkmal: häufig Platzprobleme, instationäre Raumnutzung
 - Eingeschränkte Rohrführung
→ Nutzung Kreislaufverbundsysteme (KVS)
 - Dezentral angeordnete Wärmetauscher notwendig
→ Umschalt-WRG: geringe Masse = geeignet für instationären Betrieb

Systeme der Wärmerückgewinnung

Prinzipien der Wärmerückgewinnung

■ rekuperativ

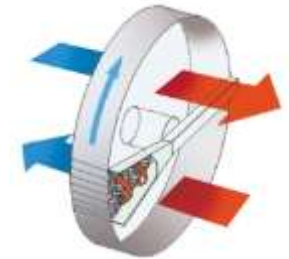
- Plattenwärmetauscher
- Rohrbündelwärmeübertrager

■ regenerativ

- bewegliche Speichermasse (Rotationswärmetauscher)
- **statische Speichermasse (Umschalt-WRG)**
- **Kreislaufverbundsysteme**

■ Wärmepumpen

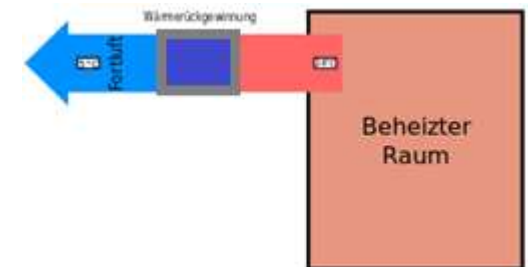
- Luft-/Wasser-WP
→ Nutzung für das Erwärmen von Warmwasser oder Fußbodenheizung (Vorlauf: ~35°C)



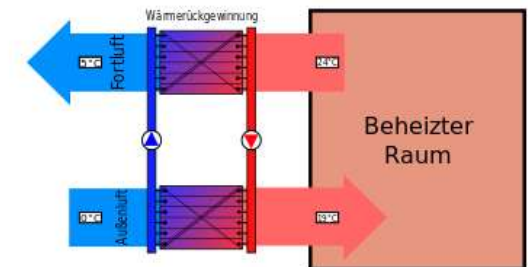
Quelle: www.gea-heatexchangers.com

WRG-Grad

0,7-0,8



0,6-0,9



0,3-0,5

© Otterinfo

Instandsetzung historischer Fenster

Viele alte Bestandsfenster bestehen aus:

- Einfachverglasung
- Holzrahmen

→ Energetische Ertüchtigung

→ Aber schlicht auch: **fachgerechte Reparatur** durch

- Gang- und Schließbarmachen des Fensters,
- Abdichtung der Anschlüsse zwischen Fensterstock und Mauerwerk,
- Austausch oder partielle Erneuerung des Fensterrahmens,
- Ertüchtigen der Beschläge,
- Malermäßige Instandsetzung.

= Voraussetzung sowie Ausgangspunkt für die nachfolgenden energetischen Ertüchtigungsmöglichkeiten der Bestandsfenster.

Bekannte energetische Ertüchtigungsmöglichkeiten

Fensteraustausch und Einbau Isolierglasfenster nach historischem Vorbild

↓ **Substanzerhalt**

Erweiterung vom Einfachfenster zum Kastenfenster mit Futterkasten

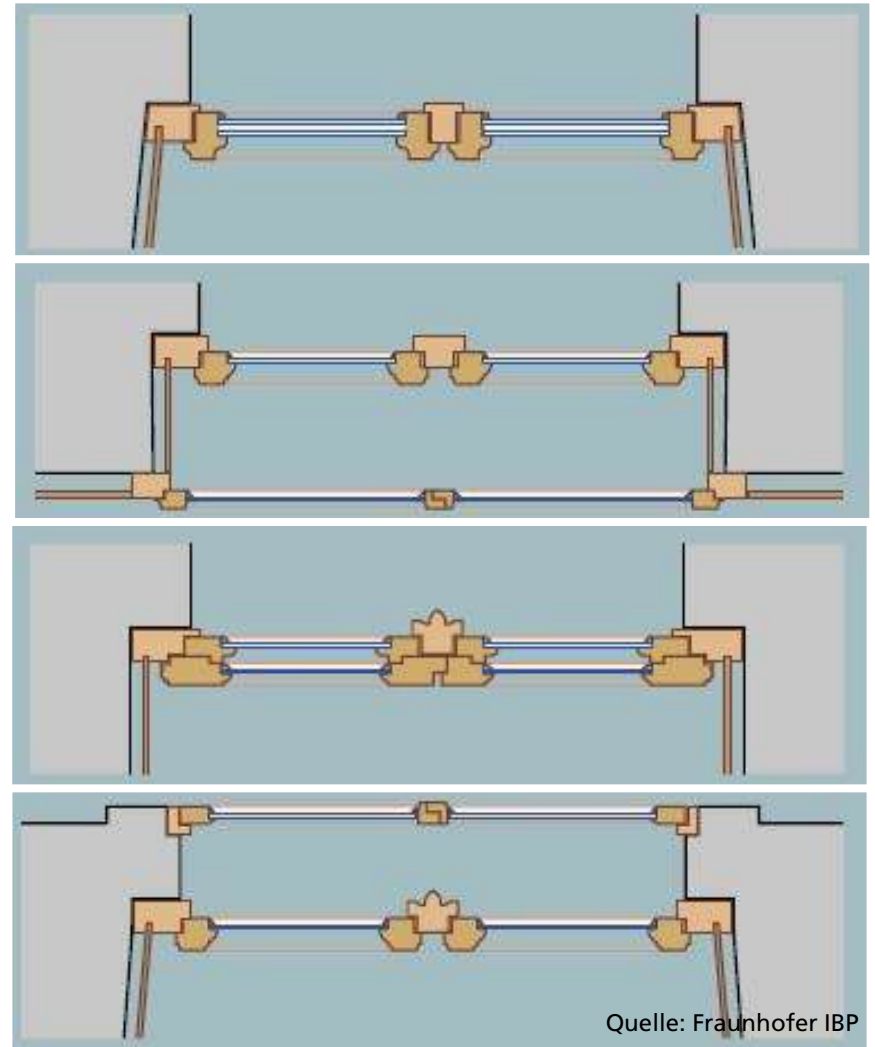
↗ **Erscheinungsbild**

Erweiterung vom Einfachfenster zum Verbundfenster nach innen

↗ **Substanzerhalt**

Bestehendes Einfachfenster mit vorgeblendetem Winterfenster

↗ **Erscheinungsbild**



Quelle: Fraunhofer IBP

Beispielfenster in der Alten Schäferei, Benediktbeuern

Außenansicht



Innenansicht



Beispielfenster in der Alten Schäfflerei, Benediktbeuern

Sanierungskonzepte

| Konzept | Denkmal- verträglich? | Am Bau realisierbar? |
|--|--------------------------|-------------------------|
| Instandsetzung der Bestandsfenster | ja | ja |
| Fensteraustausch und Einbau eines neuen Isolierglasfensters nach historischem Vorbild | nein | ja |
| Fensteraustausch und Einbau eines Kastenfensters nach historischem Vorbild | nein | ja |
| Einsetzen neuer Verglasungen in den Bestandsrahmen | vorstellbar | ja |
| Bestehendes Einfachfenster mit vorgeblendetem Isolierglasfenster nach historischem Vorbild | nein | nein |
| Bestehendes Einfachfenster mit vorgeblendetem Winterfenster | nein | ja |
| Einbau einer Energievorsatzscheibe | ja | ja |
| Erweiterung vom Einfachfenster zum Verbundfenster nach außen | nein | nein |
| Erweiterung vom Einfachfenster zum Verbundfenster nach innen | nein | nein |
| Erweiterung vom Einfachfenster zum Kastenfenster mit Futterkasten | vorstellbar | ja |
| Erweiterung des Einfachfensters mit einem Innenvorfenster | vorstellbar | ja |

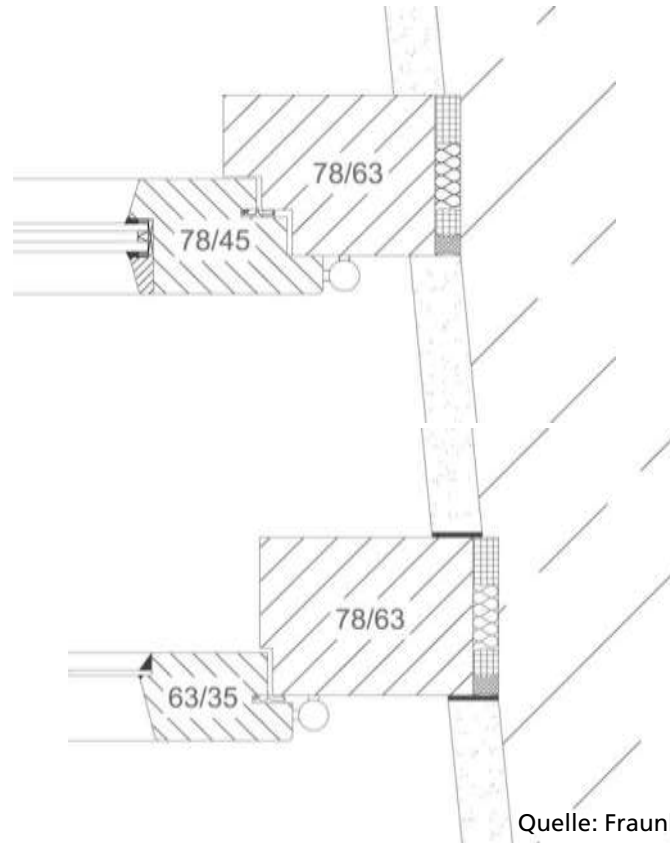
Konzept: Einfachfenster mit Innenvorfenster

komplett neues Holzfenster nach historischem Vorbild

Verglasung:

a) 11mm Isolierglas:
 $U_w = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

b) 4mm Einfachscheibe aus Floatglas:
 $U_w = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Herausforderung: Bauteilanschluss

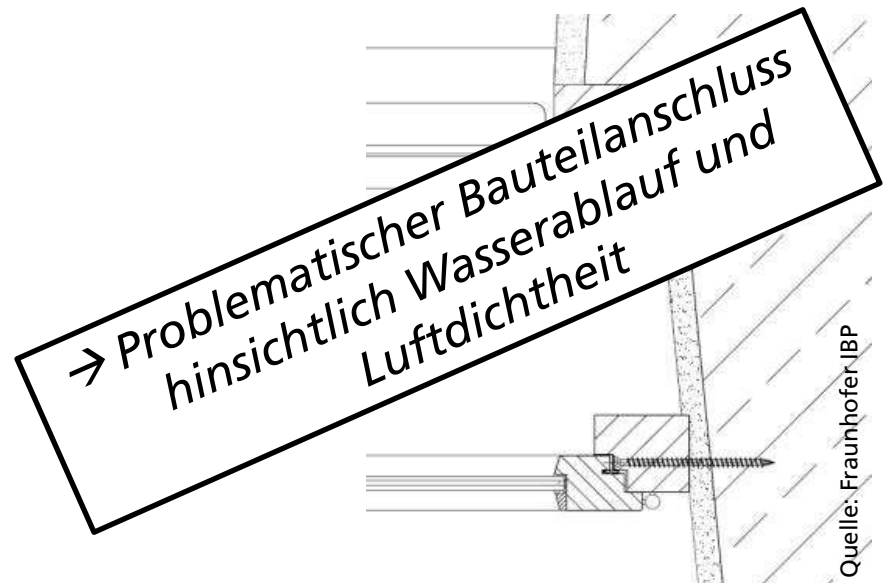
Variante 1: „technisch korrekt“

- Neue Fensterebene wird „technisch korrekt“ eingebracht (Silikonfuge, Kompriband)
- Montage mittels Verklotzung und PU-Ortschaum



Variante 2: „denkmalverträglich“

- Neue Fensterebene wird eingehobelt und verschraubt
- Zum Abdichten wird Hanf verwendet



Überblick

Technologien

- Leitungsgebundene Wärmeversorgung
- LowEx-Heizungssysteme, Wandheizungen
- Innendämmungen & Reversibilität
- Lüftung & Wärmerückgewinnung
- Fensterertüchtigung

Ausführungsbeispiele

Modellvorhaben 2011 & 2012 des BMUB:

„Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“ (EKF)

2012



KfW-Effizienzhaus Denkmal

KfW-Effizienzhaus Denkmal

Baudenkmale:

- Gebäude, die aufgrund ihrer städtebaulichen, geschichtlichen oder künstlerischen Bedeutung als Kulturdenkmal eingestuft sind.
- Als Baudenkmal nach Denkmalschutzgesetz der Länder eingetragen.

sonstige besonders erhaltenswerten Bausubstanz:

- Definition rechtlich unbestimmt.
- Einstufung durch Kommune (Denkmalbehörde, Stadtplanungsamt oder Bauamt), wenn die Immobilie
 - in einem Sanierungs- oder Erhaltungsgebiet steht,
 - in den Schutzbereich einer Altstadtsatzung fällt oder
 - aus anderen Gründen zur örtlich erhaltenswerten Bausubstanz zählt.

KfW-Effizienzhaus Denkmal

Transmissionswärmeverlust (= Sanierung der Gebäudehülle)

- keine festen Vorgaben
- Nachweis durch Sachverständigen für Baudenkmale, dass alle mit den gestalterischen Auflagen zum Erhalt der Bausubstanz zu vereinbarenden Maßnahmen durchgeführt werden

Jahres-Primärenergiebedarf

- 160 % des errechneten Wertes für das EnEV-Referenzgebäude
- Ausnahmen bei Nachweis durch Sachverständigen für Baudenkmale
 - Ertüchtigung der Gebäudehülle nicht ausreichend möglich
 - regenerative Energien können nicht / nur eingeschränkt genutzt werden
 - Alle technisch möglichen Maßnahmen werden umgesetzt unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit und späterer Nutzung

KfW-Effizienzhaus Denkmal

Sachverständiger für Baudenkmale:

- Nachgewiesene Kompetenzen:
 - Energietechnische Kenntnisse
 - baukulturelles Fachwissen
- Einbindung zwingend erforderlich (sowohl bei der Sanierung zum KfW-Effizienzhaus als auch bei bestimmten Einzelsanierungsmaßnahmen)
- Stellt die für die Beantragung notwendigen Bestätigungen aus
- Führt die energetische Fachplanung und Baubegleitung durch
- Unterstützt Einholung von erforderlichen Genehmigungen
- Unterstützt Abstimmung der energetischen Planung mit den gestalterischen Anforderungen der zuständigen Behörden

Sachverständige für Baudenkmale

Energieberater für Baudenkmale und sonstige besonders erhaltenswerte Bausubstanz im Sinne des § 24 EnEV

- Nachgewiesene Qualifikation durch anerkannte Fortbildung
- Anerkennung durch Koordinierungsstelle Energieberater für Baudenkmale

Warum Sachverständige für Baudenkmale?

- Sensibilisierung im Bereich denkmalpflegerischer Fragestellungen
- Kenntnis der besonderen Rahmenbedingungen im Denkmalschutz
- Methodensicherheit in der Denkmalpflege
- Vertiefte Kenntnis und Verständnis über bauphysikalische Kompatibilität
- „Übersetzer“ zwischen Denkmalpflege, baulicher Ausführung und Investor

KfW-Effizienzhaus Denkmal

Weiterführende Links:

- <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Energetische-Sanierung/KfW-Effizienzhaus-Denkmal/>
- <http://www.energieberater-denkmal.de/>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Gunnar Grün

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstr. 10
83626 Valley

Energie Campus Nürnberg
Fürther Str. 250
90429 Nürnberg

Telefon: +49 8024 643-228
gunnar.gruen@ibp.fraunhofer.de

www.ibp.fraunhofer.de