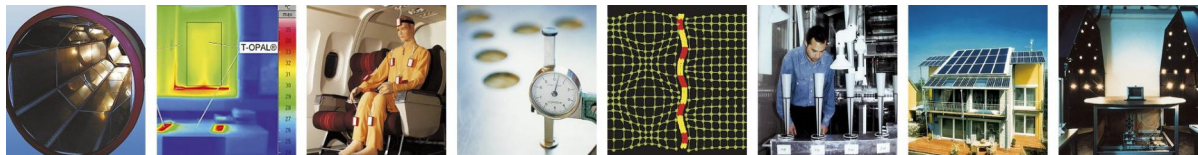


# Neue Argumente für den Einsatz von Wärmedämmung: Resilienz, schwankende Energieversorgung, Raumklimazonierung

Dämmstoffsymposium Stuttgart – 11. Oktober 2016 – Prof. Dr. Hartwig Künzel

- Einleitung
  - Energieeinsparung durch Raumklimazonierung (Zwischenwanddämmung)
  - Resilienz durch Wärmedämmung
  - Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung
  - Schlussfolgerungen
- Auf Wissen bauen



© Fraunhofer IBP

 **Fraunhofer**  
IBP

## Einleitung

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

**IBP-MITTEILUNG**

**539**

42 (2015) NEUE FORSCHUNGSERGEBNISSE, KURZ GEFASST

Kristin Lengsfeld, Martin Krus,  
Hartwig Künzel, Helmut Künzel

**BEURTEILUNG DES LANGZEITVERHALTENS  
AUSGEFÜHRTER  
WÄRMEDÄMMVERBUNDSYSTEME**

- Alter der WDVS etwa zwischen 30 und 45 Jahren
- Technische Mängel sind die Ausnahme
- Optische Mängel meist witterungsbedingt oder Planungs- / Ausführungsfehler
- Alterungsverhalten und Wartungsaufwand sind bei Fassaden mit WDVS nicht anders zu bewerten als bei konventionell verputzten Außenwänden



30 Jahre ohne Renovierung

© Fraunhofer

 **Fraunhofer**  
IBP

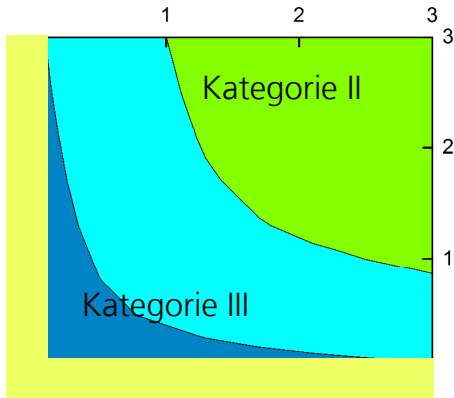
# Einleitung

## Thermische Behaglichkeit

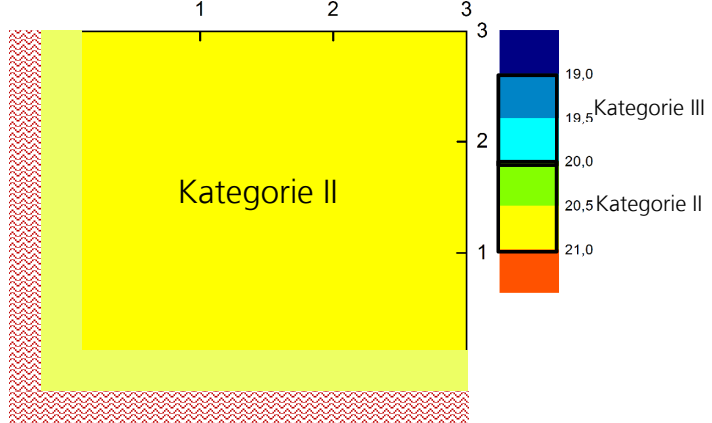
Operativtemperaturverteilung im Zwischengeschoss eines MFH

Bei ungedämmten Gebäuden ist mit Komforteinschränkungen in Außenwandnähe zu rechnen

Ungedämmt:  $U = 1.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



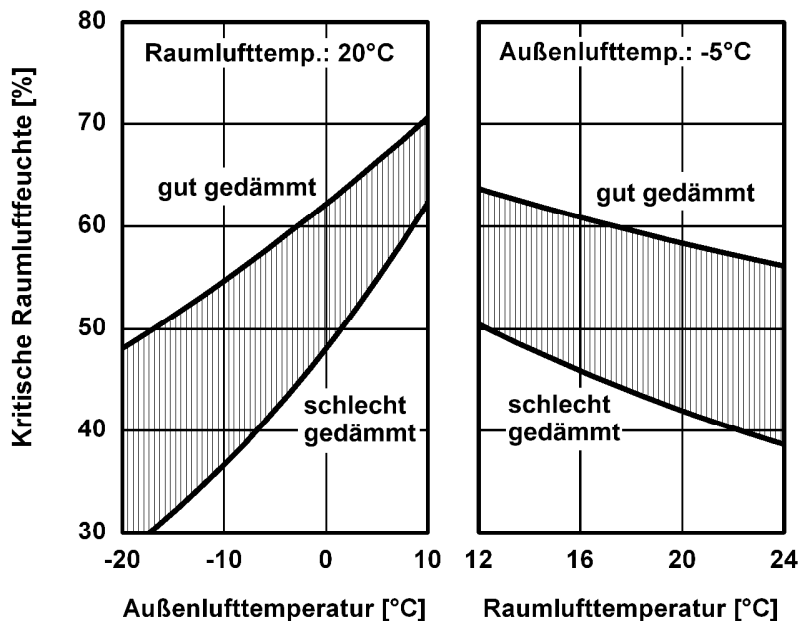
Gedämmt:  $U = 0.24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Randbedingung: Außentemperatur:  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ , Raumlufttemperatur:  $21 \text{ }^\circ\text{C}$   
 Decke und Boden Oberflächentemperatur:  $21 \text{ }^\circ\text{C}$

# Einleitung

## Hygiene: der R-Wert bestimmt die Grenzen für die Raumluftfeuchte



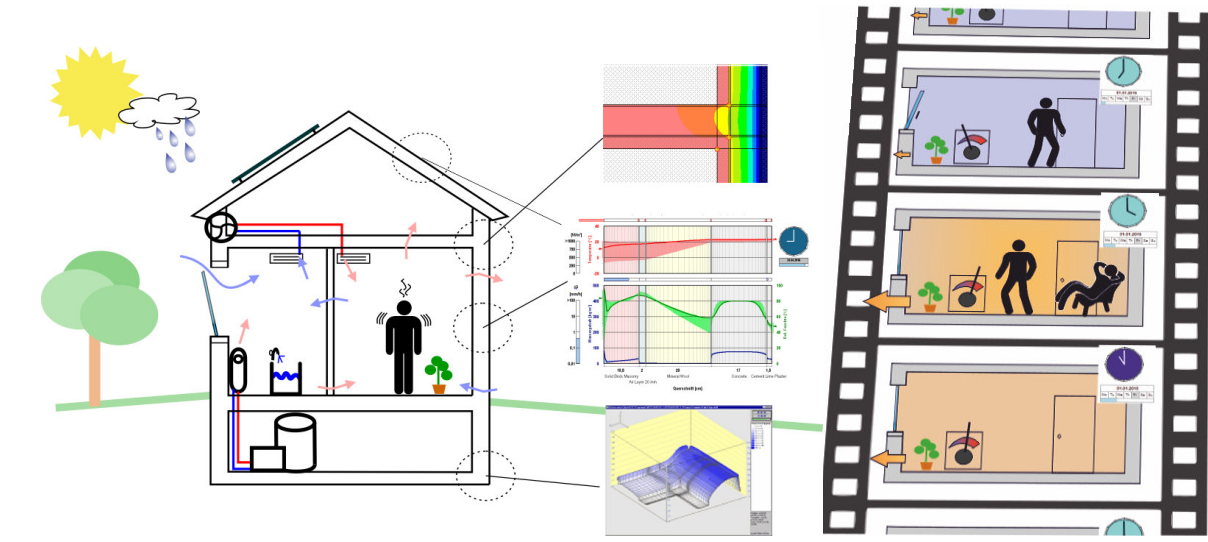
Schimmelpilzbefall in Ecken und Laibungen sicher vermeiden durch Kontrolle der Raumluftfeuchte:

Schraffierter Bereich:  $0,55 - \text{ca. } 2 \text{ m}^2\text{K/W}$

# Einleitung

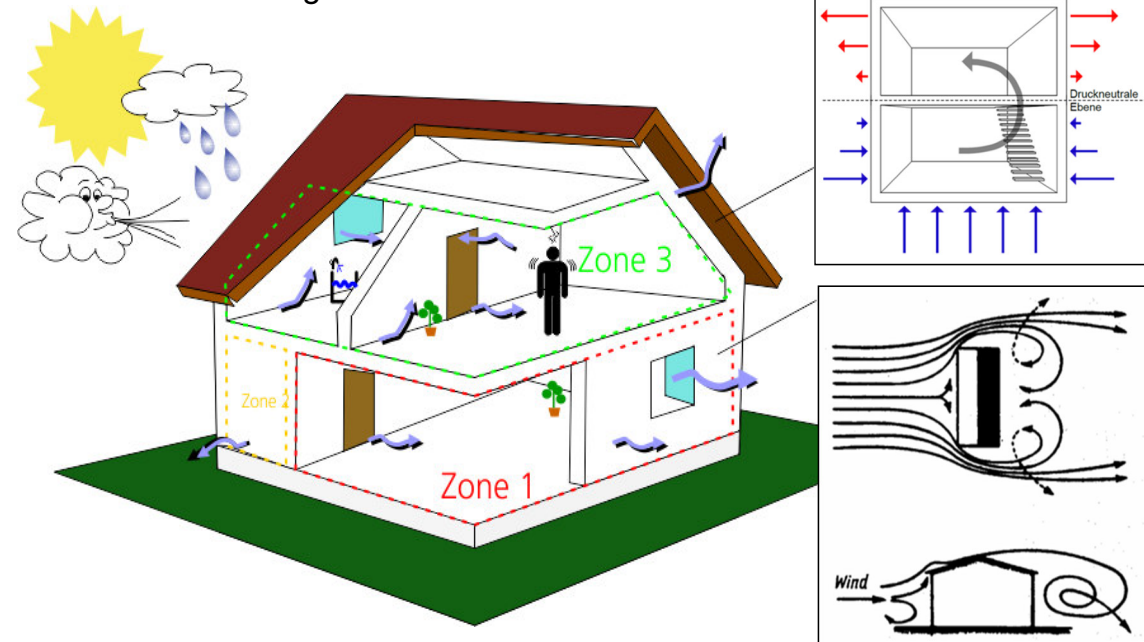
Hygrothermische Gebäudesimulation – Simulationswerkzeug **WUFI Plus**

- Instationäre Simulation von Gebäudebauteilen und Raumklima



# Einleitung

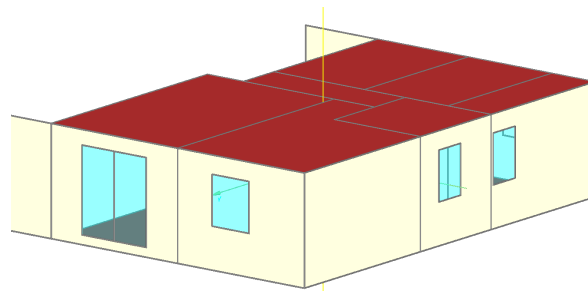
Simulationswerkzeug **WUFI Plus**



Simulation der Durchströmung aller Zonen des Gebäudes angetrieben durch Wind, thermischen Auftrieb und Lüftungsanlagen (Druck-/ Widerstandsmodelle)

# Raumklimazonierung

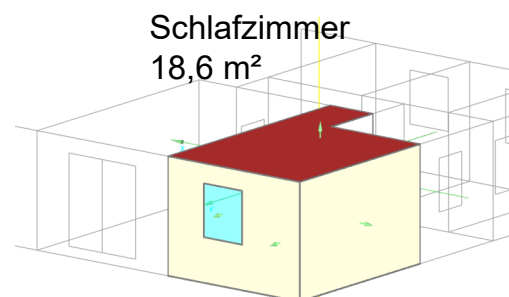
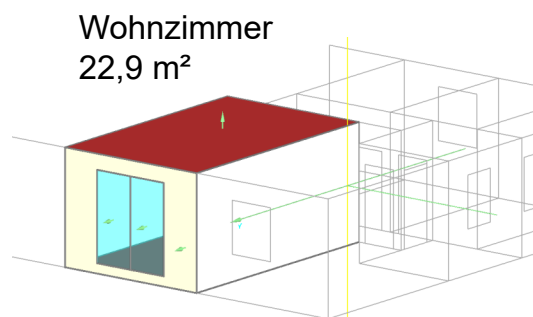
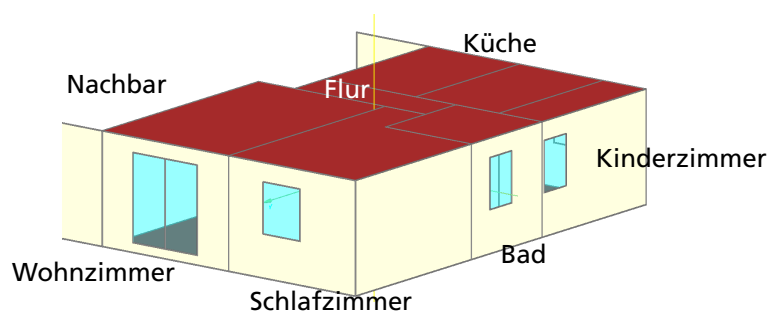
Wohnung im Mehrfamilienhaus mit ungenutztem Raum



- Eckdaten: Baujahr 1983, Wohnfläche 78 m<sup>2</sup>
- Außenwand U-Wert = 0,65 W/m<sup>2</sup>K (Hochlochziegel)
- Fenster U-Wert = 3,22 W/m<sup>2</sup>K, g = 0,7
- Luftwechsel Infiltration + Fensterlüftung = 0,3 1/h
- Ist eine Zwischenwanddämmung im ungenutzten Schlafzimmer sinnvoll?

# Raumklimazonierung

ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (1983)

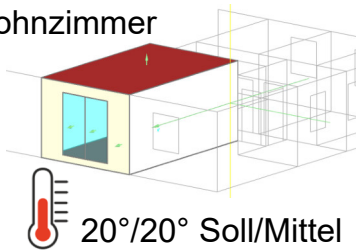


# Raumklimazonierung

ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (1983)

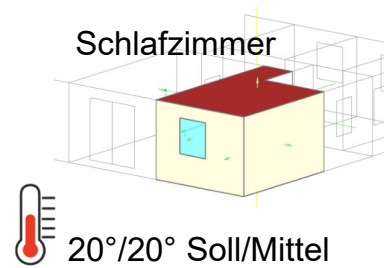
Referenz

Wohnzimmer



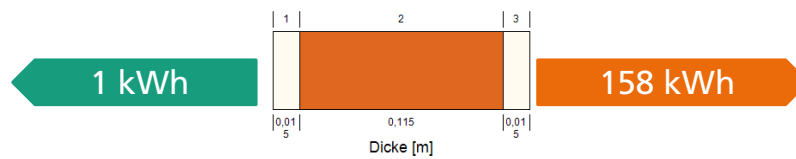
Heizwärmebedarf  
2290 kWh/Jahr

Schlafzimmer



Heizwärmebedarf  
1680 kWh/Jahr

Zwischenwand

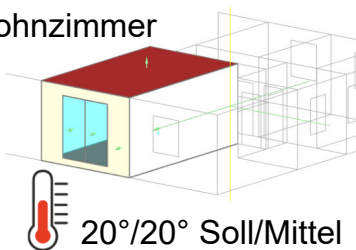


Wohnung Heizwärmebedarf 8390 kWh/Jahr

# Raumklimazonierung

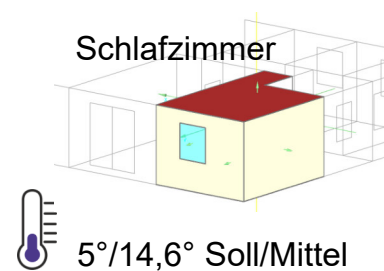
ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (1983)

Wohnzimmer



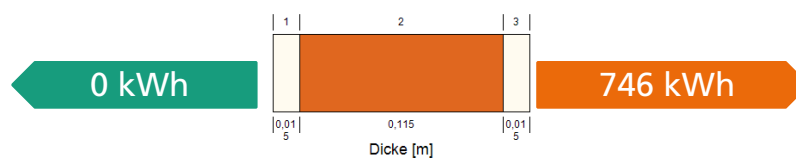
Heizwärmebedarf  
2853 kWh/Jahr

Schlafzimmer



Heizwärmebedarf  
0 kWh/Jahr

Zwischenwand



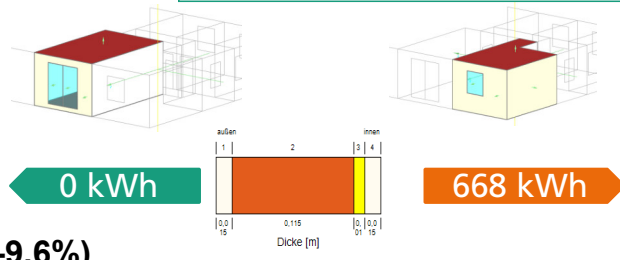
Wohnung Heizwärmebedarf 7700 kWh/Jahr (-8,2 %)

# Raumklimazonierung

ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (1983)

+ Zwischenwand-Dämmung  
Mineralfaser  $\lambda=0,04 \text{ W/mK}$

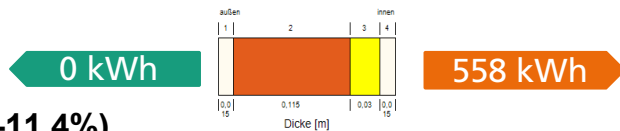
Variation Zwischenwand-Dämmstärke



1 cm Zwischenwanddämmung  
5° / 12,9° Soll / Mittel  
Heizwärmebedarf 7587 kWh/Jahr (-9,6%)

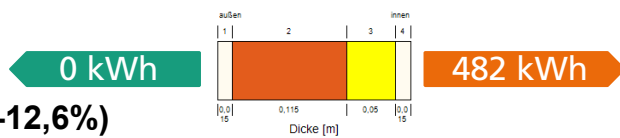
0 kWh 668 kWh

3 cm Zwischenwanddämmung  
5° / 11,4° Soll / Mittel  
Heizwärmebedarf 7430 kWh/Jahr (-11,4%)



0 kWh 558 kWh

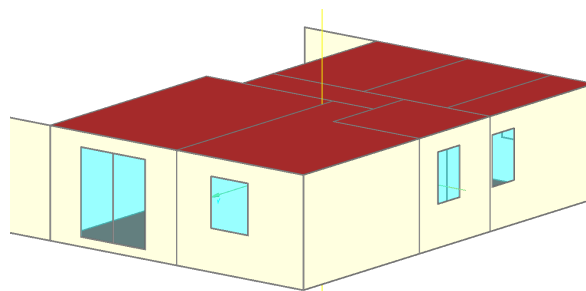
5 cm Zwischenwanddämmung  
5° / 11,6° Soll / Mittel  
Heizwärmebedarf 7315 kWh/Jahr (-12,6%)



0 kWh 482 kWh

# Raumklimazonierung

ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (1983)



■ Heizwärmebedarf im Vergleich zum beheizten Schlafzimmer

Referenz 8390 kWh → ohne Zwischenwanddämmung 7700 kWh (-8,2 %)

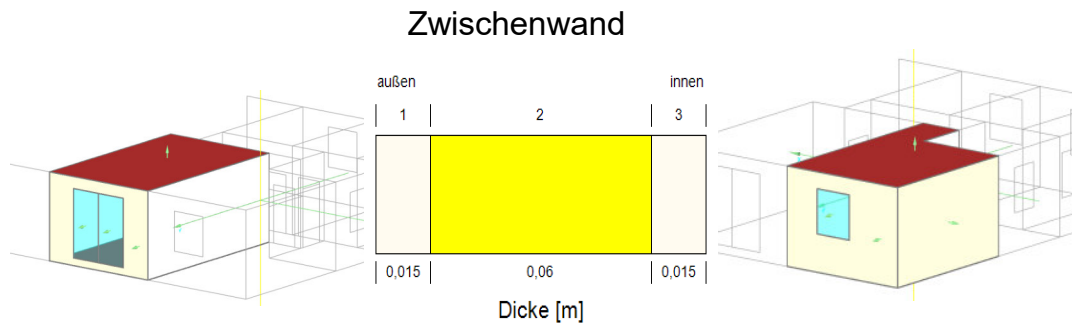
→ mit 5 cm MW-ZW-Dämmung 7315 kWh (-12,6 %)

# Raumklimazonierung

ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (1983)

Leichtbau Innenwände

- Leichtbau Innenwand statt Ziegel

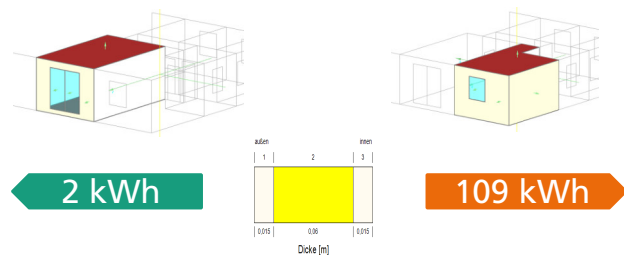


# Raumklimazonierung

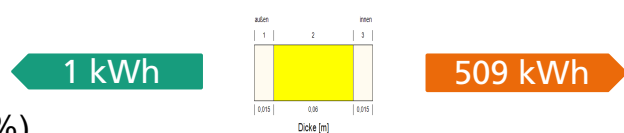
ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (1983)

Leichtbau Innenwände

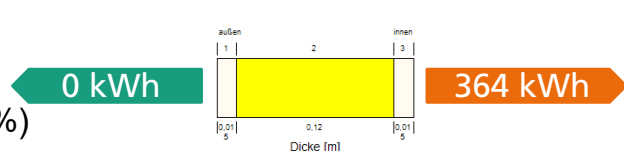
20° / 20,5° Soll / Mittel  
Heizwärmebedarf 8360 kWh



6 cm Zwischenwanddämmung  
5° / 12,5° Soll / Mittel  
Heizwärmebedarf 7292 kWh (-12,8%)

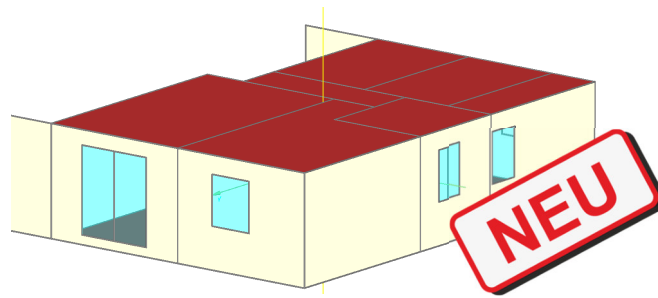


12 cm Zwischenwanddämmung  
5° / 11° Soll / Mittel  
Heizwärmebedarf 7080 kWh (-15,3%)



# Raumklimazonierung

ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (EnEV 2014 ab 2016)

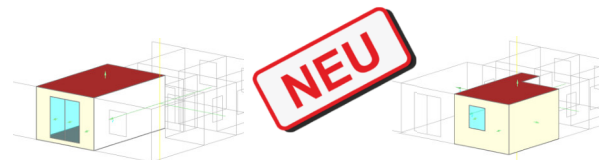


- Eckdaten:      Neubau
- Außenwand    U-Wert = 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Hochlochziegel)
- Fenster        U-Wert = 1,30 W/m<sup>2</sup>K, g = 0,6
- Luftwechsel   Infiltration + Fensterlüftung = 0,3 1/h
- Ist eine Zwischenwanddämmung im ungenutzten Schlafzimmer sinnvoll?

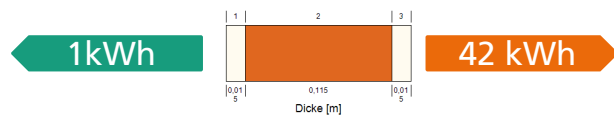
# Raumklimazonierung

ungenutztes Schlafzimmer – Wohnung (1983)

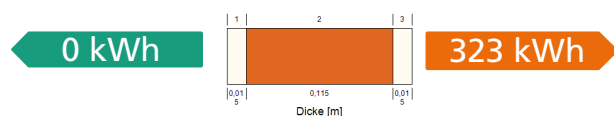
Ziegel Innenwände




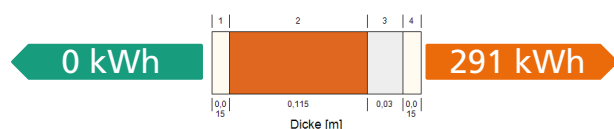
 20°/xx° Soll/Mittel  
Heizwärmebedarf 3167 kWh



 5°/18° Soll/Mittel  
Heizwärmebedarf 3060 kWh  
(-3,4 %)



 5°/17° Soll/Mittel  
Heizwärmebedarf 3033 kWh  
(-4,2 %)





# Schlussfolgerungen Raumklimazonierung

## Vorteile der Raumklimazonierung / Zwischenwanddämmung

- Bei gut gedämmter Gebäudehülle bringt das Abschalten der Heizung in einzelnen Räumen auch mit Zwischenwanddämmung nur geringe Energieersparnis.
- Bei ungedämmten oder schlecht gedämmten Gebäuden führt das Abschalten der Heizung in ungenutzten Räumen Gebäuden zu spürbaren Einsparungen, die sich durch gedämmte Zwischenwände noch erhöhen lassen.

## Resilienz durch Wärmedämmung

**Unwetter führen weltweit immer wieder zu Stromausfällen, die von mehreren Stunden bis zu einigen Tagen andauern können.**

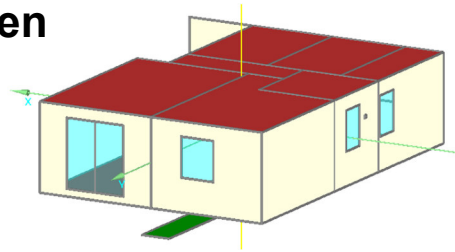
Vor allem im Winter ist in solchen Fällen mit einem **Totalausfall der Heizung** zu rechnen, was je nach Dauer zu Komforteinbußen für die Nutzer bis hin zu Schäden am Gebäude führen kann.

Auch andere Faktoren, wie Kurzschlüsse, Wassereinbruch, Fehlbedienung, Nachlässigkeit, etc. können einen Heizungsausfall verursachen

Mithilfe der instationären **hygrothermischen Gebäudesimulation** kann das Verhalten von Gebäuden nach einem Ausfall der Heizung in Abhängigkeit seiner Nutzung berechnet werden.

Das folgende Beispiel zeigt die Abnahme der Temperatur im Raum bei unterschiedlichen Szenarien.

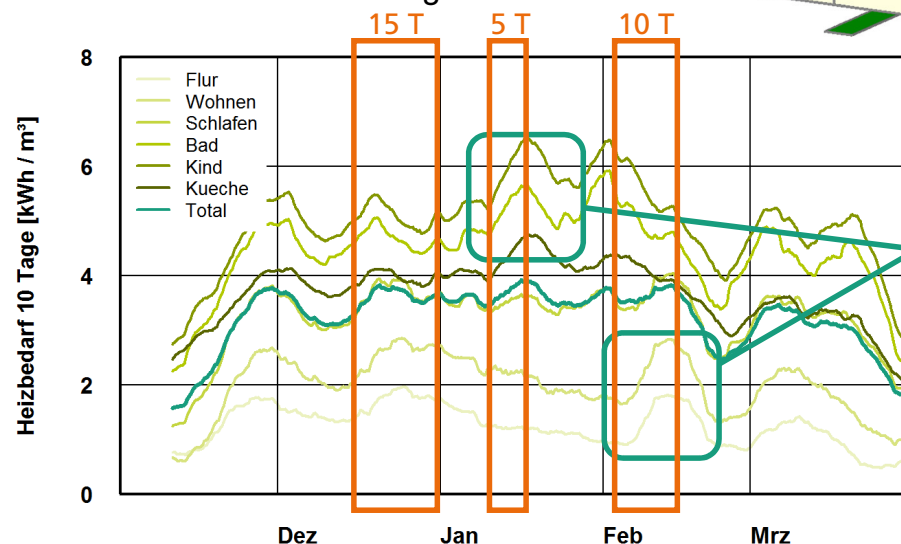
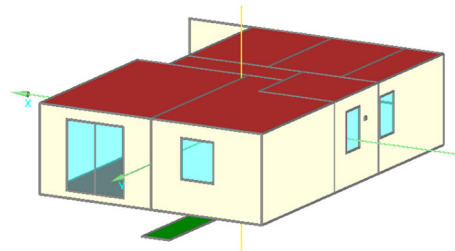
# Resilienz – Betrachtungsvarianten



- Mehrzonen-Gebäude in Massivbauweise
- Standort: Holzkirchen
- Drei Dämm-Standards
  - Altbau     $U\text{-Wand} = 0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$      $U\text{-Fenster} = 3.2 \text{ W/m}^2\text{K}$      $n_{50} = 5 \text{ 1/h}$
  - EnEV     $U\text{-Wand} = 0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$      $U\text{-Fenster} = 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$      $n_{50} = 3 \text{ 1/h}$
  - Passiv     $U\text{-Wand} = 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$      $U\text{-Fenster} = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$      $n_{50} = 1 \text{ 1/h}$
- Szenarien:
  - Ohne Interne Lasten (Urlaubsabwesenheit und alles aus) – Infiltration
  - Ohne Interne Lasten (Abwesenheit) – gekipptes Fenster (LW  $\sim 0.4 \text{ 1/h}$ )
  - Mit Internen Lasten durch Personen (Unwetter)

# Resilienz - Auswahl der Perioden

- Urlaubsabwesenheit – 2 Wochen
- Katastrophe – 10 Tage
- Unwetterschaden – 5 Tage

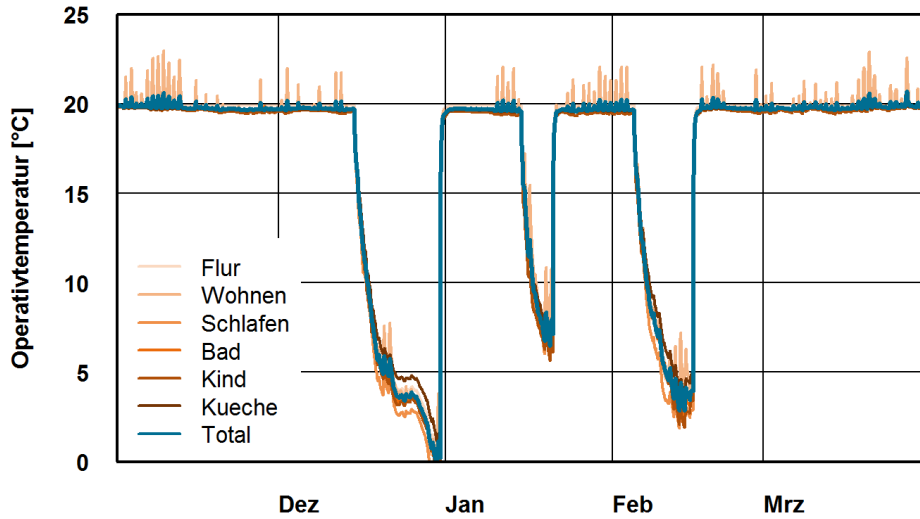


Gewählte  
Perioden

Verschiedene Zonen haben unterschiedliche „kritischste Zeiten“ während der Heizperiode

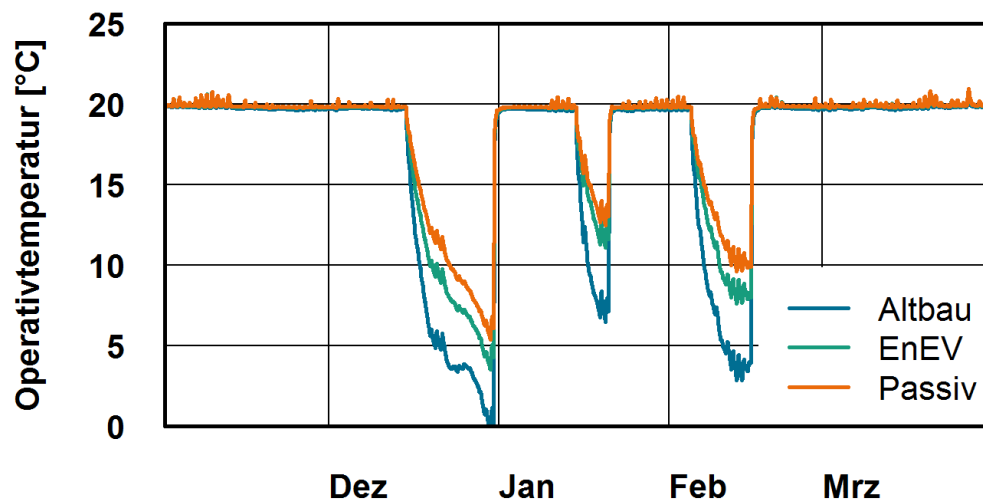
# Resilienz – Bedingungen in verschiedenen Zonen

- Temperatenausgleich zwischen Zonen durch Innenwände und interzonalen Luftwechsel
- Ableitung der mittleren Temperatur der gesamten Wohnung (Altbau)



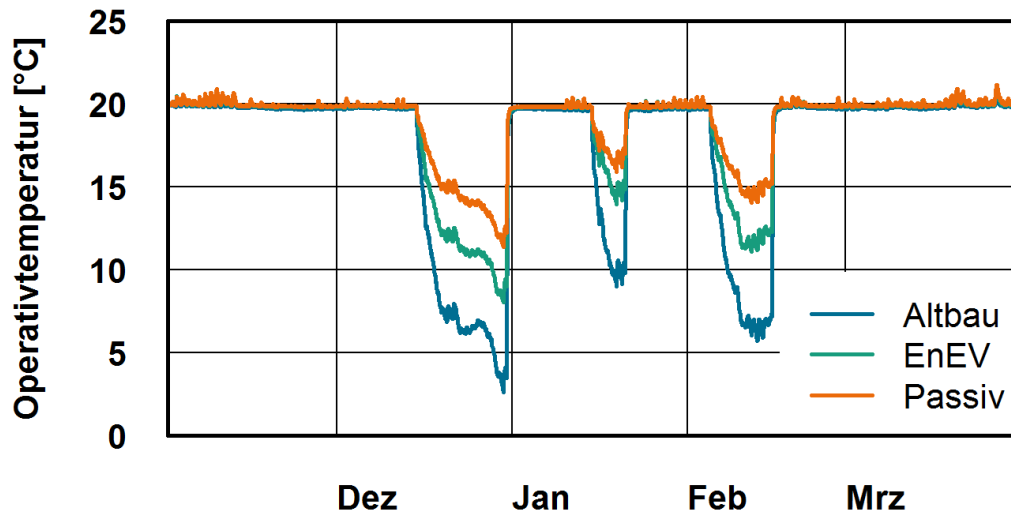
# Resilienz – Urlaubsabwesenheit

- Keine inneren Lasten
- Nur Infiltrationsluftwechsel gemäß Gebäudedichtheit



# Resilienz - Unwetter

- Mit Personenlasten innen bei höherem Dämmstandard:
- Bei Perioden bis zu 5 Tagen immer noch akzeptable Temperaturen
- Auch lange Perioden bis 10 Tage keine Temperaturen unter 10 °C



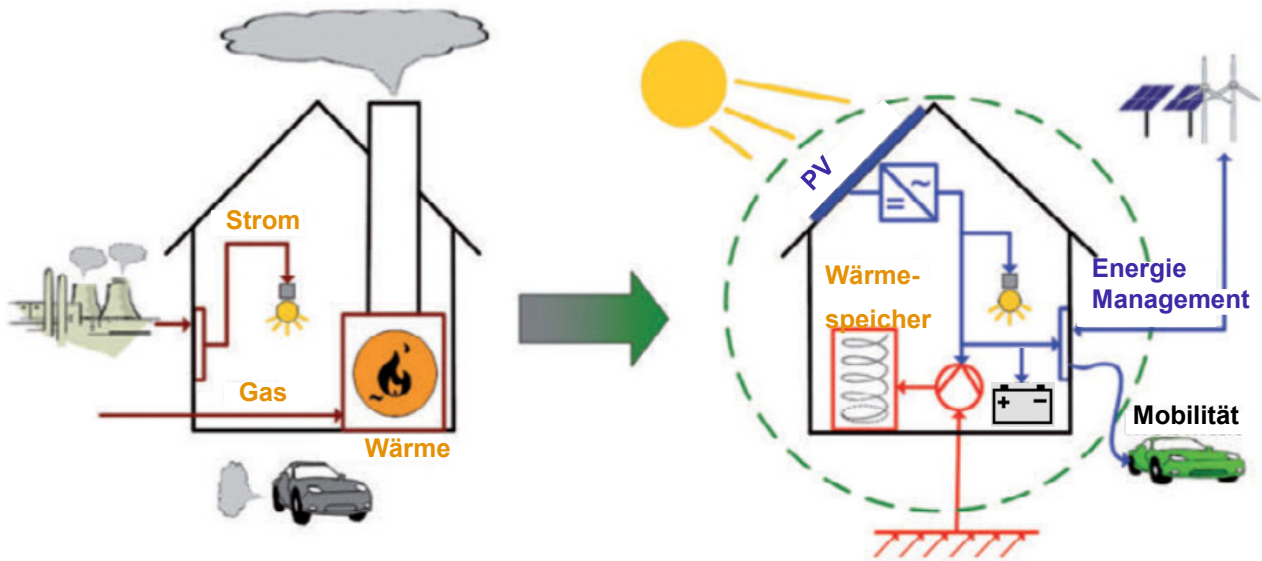
## Schlussfolgerungen Resilienz

### Vorteile einer guten Wärmedämmung

- Hoch gedämmte Gebäude sind bei Ausfall der Energieversorgung weniger schadensanfällig als ungedämmte oder schlecht gedämmte Gebäude
- Das Absinken der Raumtemperatur und damit der thermische Behaglichkeit verläuft bei hoch gedämmten Gebäuden deutlich langsamer
- Eine Notversorgung ist leichter zu bewerkstelligen

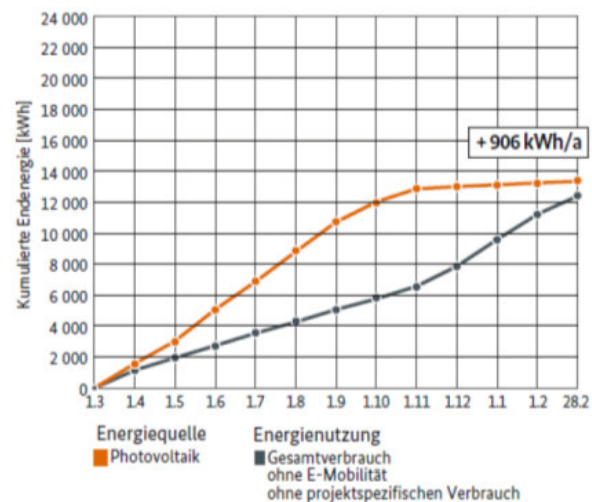
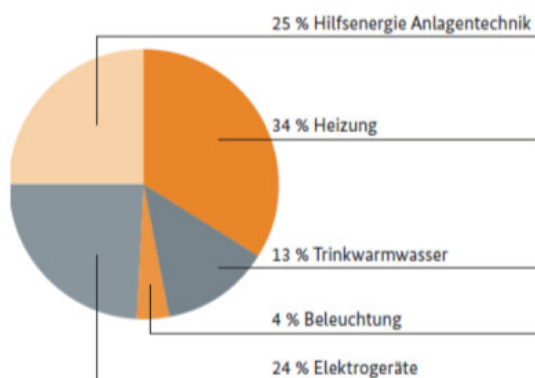
# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

## Plus-Energiehäuser – Gibt es auch ein Minus?



Vom Energieverbraucher zum –produzent ??

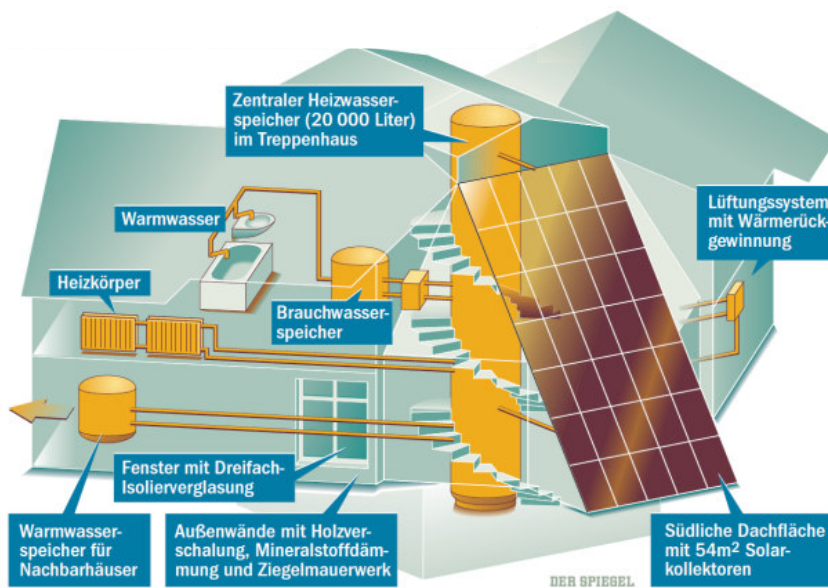
## Beispiel Effizienzhaus Plus in Berlin



Zeitversatz (Phasenverschiebung) zwischen Produktion und Verbrauch

# Gebäude als saisonale Energiespeicher

## Solarer Warmwasserspeicher

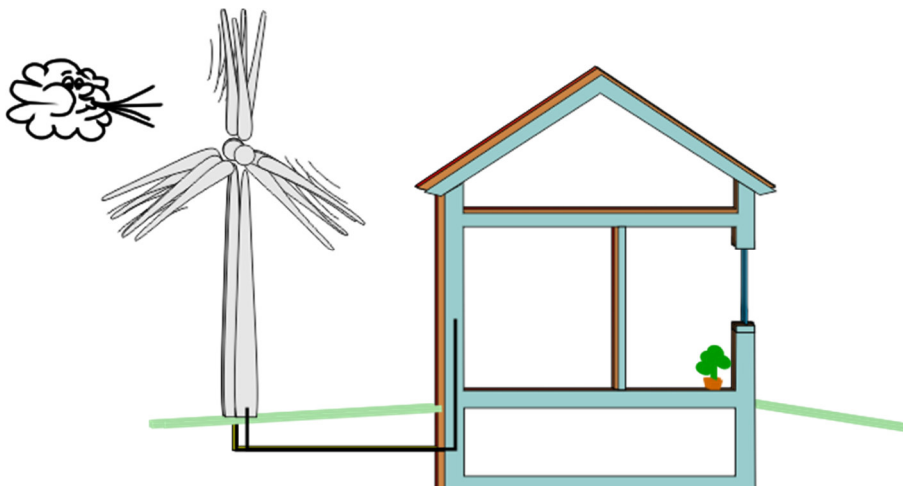


Berlin  
Spandau

Nullheizenergiehaus – möglich aber sehr aufwändig

## Gebäude als intermittierender Energiespeicher zur Überbrückung von windarmen Perioden

- Beladung von Gebäuden bei Starkwindereignissen: Windheizung 2.0
- Überbrückung zwischen Starkwindereignissen möglichst ohne Wärmebedarf
- Überheizung vermeiden



# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

Kennwerte der Konstruktionen des **Einfamilienhauses Sanierungsfalls** im Projekt Windheizung

Beispiel

Außenwand

Baustandard	Bauteil	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Sanierung EnEV Niveau (H'T REF 140%)	Dach	0,35 W/m <sup>2</sup> K
	Außenwand	0,45 W/m <sup>2</sup> K
	Fenster	1,5 W/m <sup>2</sup> K (g = 0,65; τ = 0,8)
	Bodenplatte/Wand gegen Erdreich	0,6 W/m <sup>2</sup> K
	Wand/Decke ge- gen unbeheizt	0,45 W/m <sup>2</sup> K
Sanierung KfW 55 Niveau (H'T REF 70%)	Dach	0,1 W/m <sup>2</sup> K
	Außenwand	0,18 W/m <sup>2</sup> K
	Fenster	1,0 W/m <sup>2</sup> K (g = 0,55; τ = 0,75)
	Bodenplatte/Wand gegen Erdreich	0,2 W/m <sup>2</sup> K
	Wand/Decke ge- gen unbeheizt	0,3 W/m <sup>2</sup> K

# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

Klimadaten – Starkwindereignisse und Überbrückungsperioden

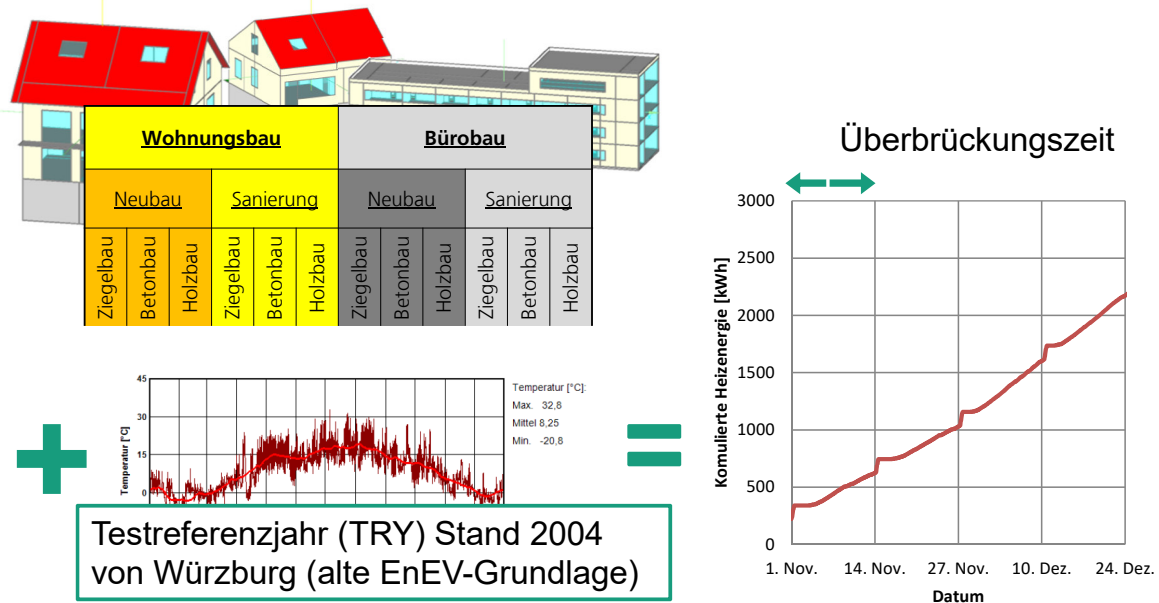
Vergleich der Wetterstationen					
	Starkwind (Heizperiode 1.10 - 31.3)		Dauer zwischen 2 Starkwind mit >= 5h (Heizperiode)		
	Mittelwert [h]	95.Quantil [h]	Max [Tage]	Mittelwert [Tage]	95.Quantil [Tage]
Cuxhaven	7,8	32	27,8	3,3	10,7
Emden	5,71	20	36,8	4,5	16
Fehmarn	10	42	23,4	5,4	7
Norderney	8,4	35	30,5	3,1	10
Schleswig	5,55	21	46,9	6,8	26,9
UFS Deutsche Bucht	17,5	72,5	32,9	2,3	6
<b>Mittelwert</b>	<b>9,2</b>	<b>37,1</b>	<b>33,1</b>	<b>4,2</b>	<b>12,8</b>

- Mittleres Starkwindereignis dauert 9,2 Stunden
- 95.Quantil vom Überbrückungszeitraum zwischen 2 Starkwindereignissen dauert 12,8 Tage

# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

## Grobanalyse

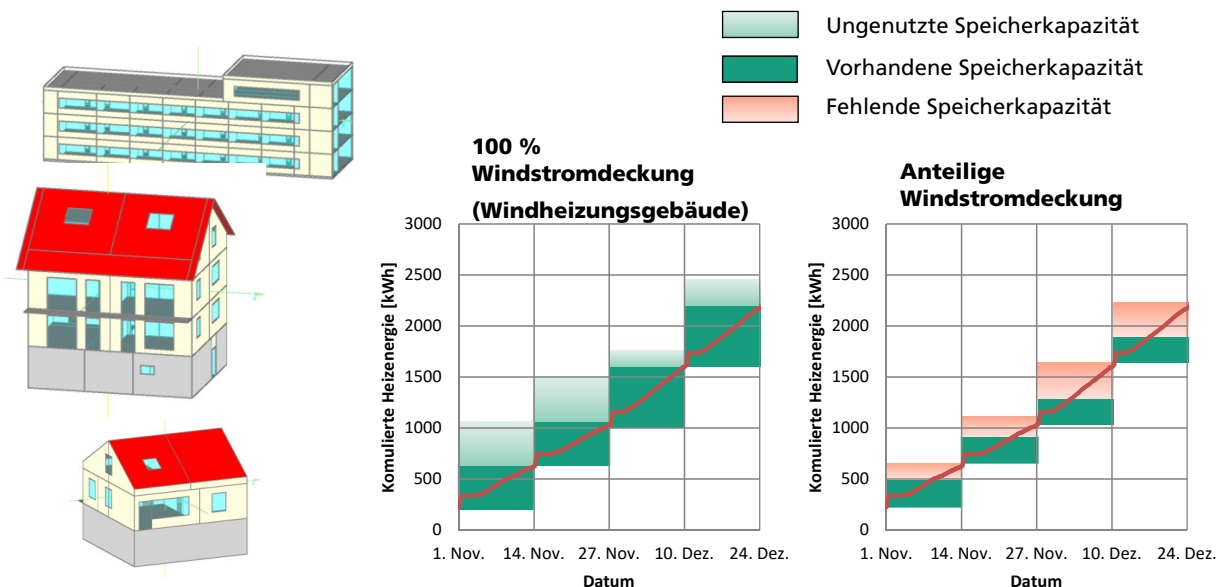
- Simulation Heizwärmebedarfs verschiedener Gebäudetypen



# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

## Grobanalyse

- Feststellung von „Speicherbedarf“ zwischen Heizperioden

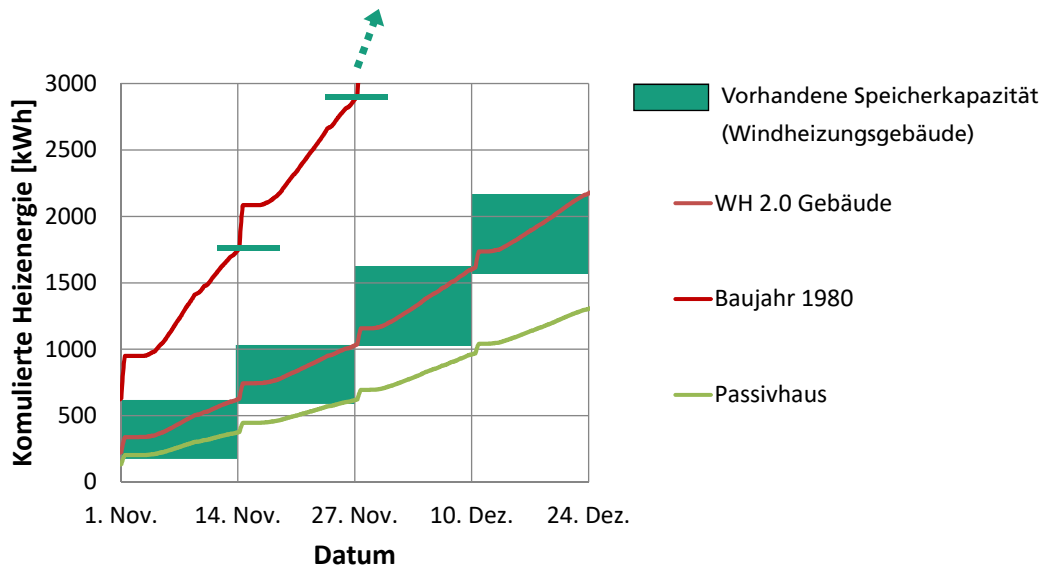




# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

## Grobanalyse

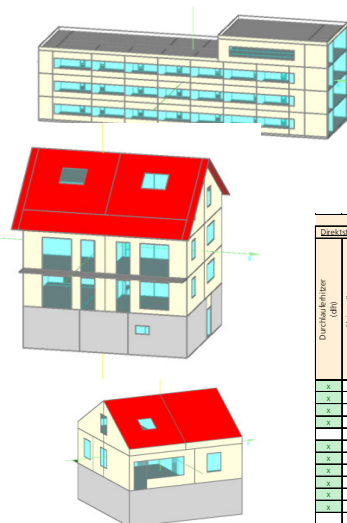
- Vergleich von verschiedenen Dämmstandards



# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

## Grobanalyse

- Auswertung für ca. 4500 Gebäudetyp – Material – Technik Varianten
- Auswahl energetisch und wirtschaftlich geeigneter Varianten

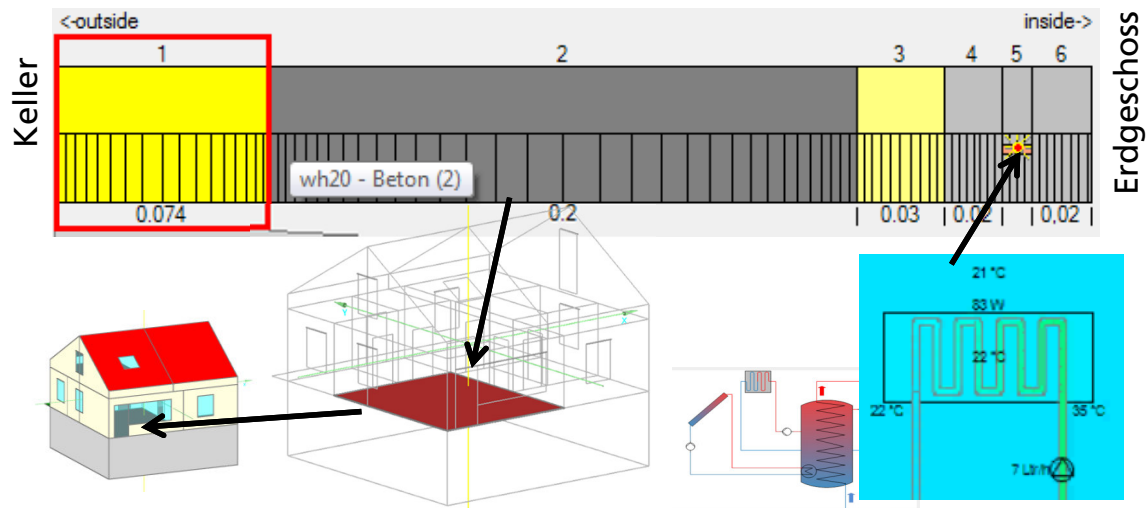


Dachstruktur	Erzeuger				Speicher										Überlagerung		Einfamilienhaus (IH) / ZH				Bürohaus (BH)			
	Wärmepumpe	Wärmepumpe	Wärmepumpe	Wärmepumpe	PC-M	Baugelösung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	
Dachstruktur	Wärmepumpe	Wärmepumpe	Wärmepumpe	Wärmepumpe	PC-M	Baugelösung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	Überlagerung	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

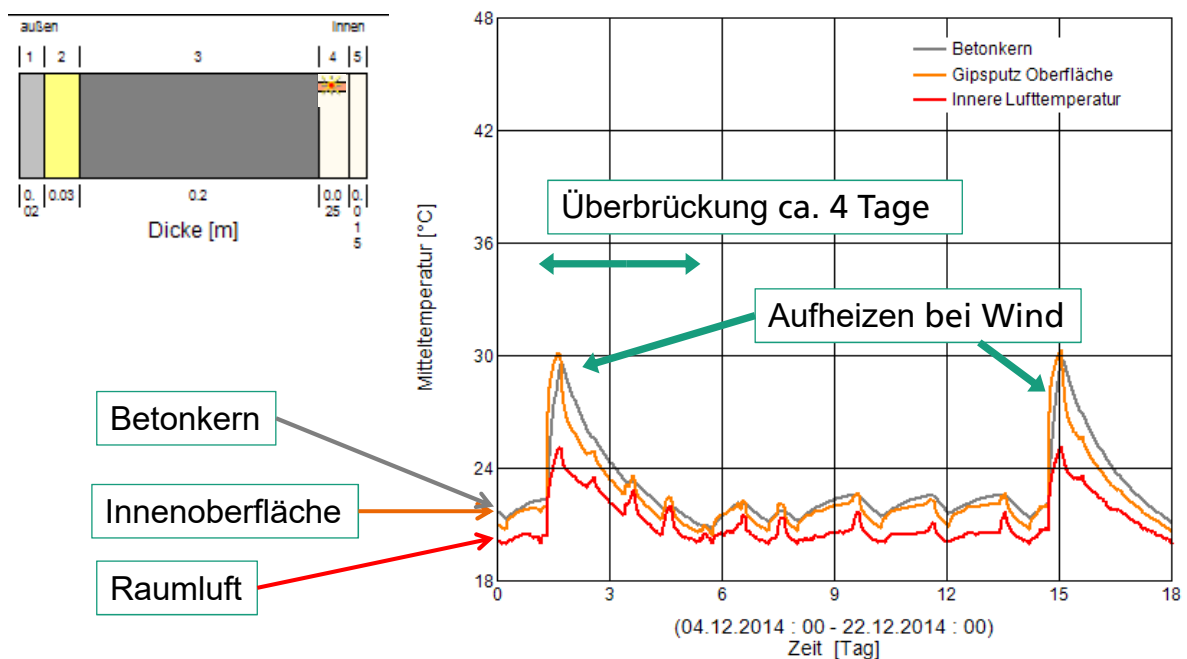
## Detailanalyse

- Weiterführende Betrachtung von Raumklima und Nachhaltigkeit
- Simulation mit Anlagentechnik ► Gebäudebauteile werden beladen



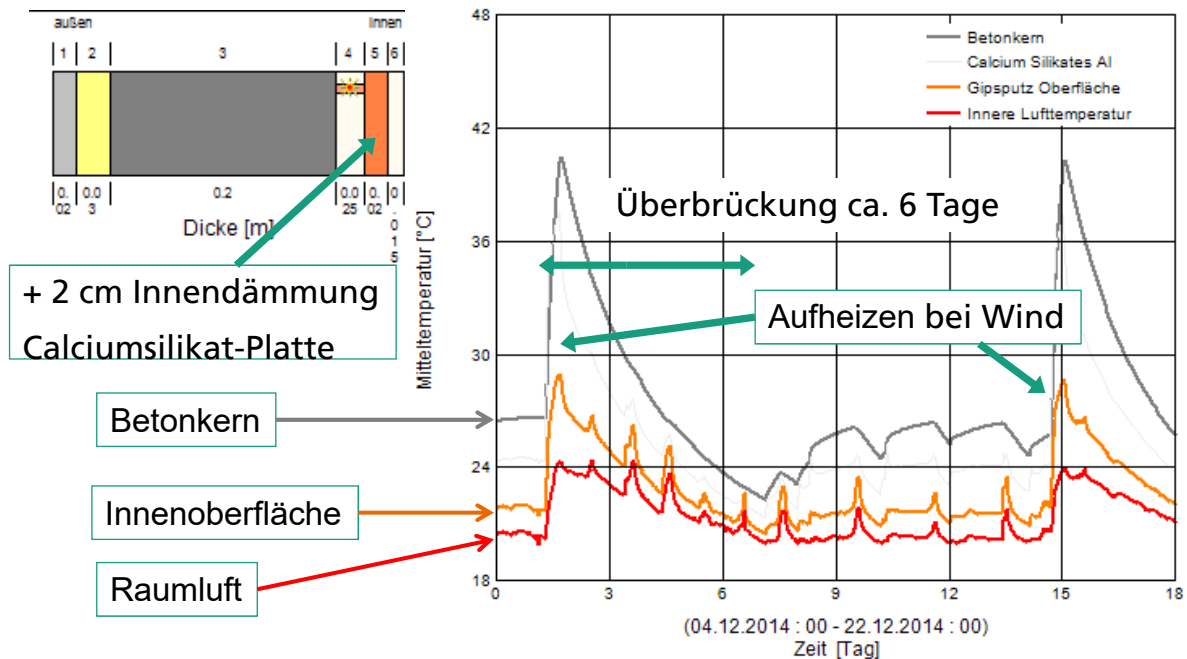
# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

## Detailanalyse: Temperaturverlauf aktiviertes Deckenbauteil



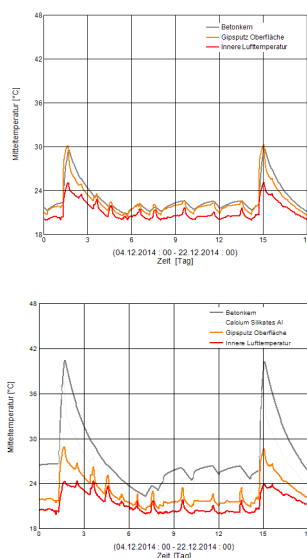
# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

## Detailanalyse: Temperaturverlauf aktiviertes Deckenbauteil **mit Überdämmung**



# Nutzung von Starkwindereignissen zur Gebäudebeheizung

## Detailanalyse: Temperaturverlauf aktiviertes Deckenbauteil **mit Überdämmung**



- Möglicher Temperaturhub im Innenbauteil schon bei 2 cm Innendämmung deutlich höher
- bei annähernd gleichen, oder gar gesenkten Oberflächentemperaturen
- längeres speichern von zeitlich günstiger Wärmeproduktion
- aktive Entladung überdämmter Innenbauteile erscheint vielversprechend

# Erkenntnisse aus Windheizungsprojekt

- Windheizungsgebäude (Einfamilienhaus) sowohl im Neubau als auch im sanierten Bestand möglich
- Generell alle Bauweisen (Ziegel, Beton, Holz) möglich.  
Die Variante Holzbau allerdings nur in Kombination mit einem Windperiodenspeicher
  
- Zwei grundlegende Realisierungswege:
  - Großer Windperiodenspeicher (Wasserspeicher oder Steinspeicher) mit klassischen Übergabesystemen (Radiator, Flächenheizsystem)  
Windstromanteile bis nahe 100 % möglich
  - Bauteilspeicher (Decke, (schwere) Innenwand)  
Windstromanteile von 40 – 60 % möglich  
(ohne BWW höhere Deckung möglich)

## Schlussfolgerungen

### Vorteile der Gebäudedämmung neben der klassischen Energieeinsparung

- Besseres Raumklima und Vorteile für die Hygiene (Schimmelpilzfreiheit)
- Eine gut gedämmte Gebäudehülle erhöht die Widerstandsfähigkeit eines Gebäudes z.B. bei Stromausfällen oder Heizungsversagen deutlich
- Gut gedämmte Gebäudehüllen ermöglichen die alleinige Gebäudebeheizung durch Überschussstrom auch während typischer mehrtägige EE-Mangelperioden