

**Interreg**  
Alpine Space



Co-funded by  
the European Union

Cool\*Alps



FH Salzburg



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Bauteilaktivierung

Praxis und Forschung

Technik  
Gesundheit  
Medien

# Inhalt

- **Kurzvorstellung Forschung an der FH Salzburg**
- **Grundlagen: Was ist eine Bauteilaktivierung?**
  - Funktion, Aufbau, Materialien, Heizlast, Speichermasse, Regelung, Energieflexibilität
- **Innovative Projekte aus der Forschung**
  - Bauteilaktivierung im Holz
  - Bauteilaktivierung in der Sanierung
  - Bauteilaktivierung im Neubau
- **Praktischer Teil - Wie wird gerechnet?**
  
- PAUSE
  
- **Trends in Praxisprojekten**



FH Salzburg  
Smart Building



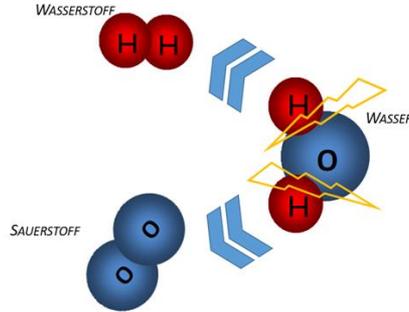
ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Forschung Smart Building und Smart Cities

## Themen und Verantwortliche



[https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/europarl/circular\\_economy/circular\\_economy\\_de.svg](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/europarl/circular_economy/circular_economy_de.svg)



FH Salzburg



© Bundesstiftung Baukultur, Design auf Grundlage: Erfurth Kluger Infografik; Überarbeitung durch: Heimann und Schwantes

## Kreislaufwirtschaft & Energy Design

Dipl. Ing. (FH)  
Lutz Dorsch, M.BP.

## Power2Gas (H2)

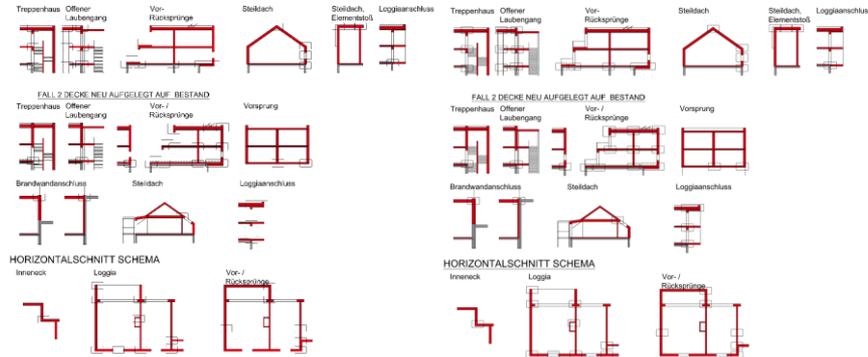
FH-Prof. DI (FH)  
DI Dr. Georg Brunauer

## Quartiers- und Stadtentwicklung

FH-Prof. DI (FH) Dr.  
Stefan Netsch, M.Eng.

# Forschung Smart Building und Smart Cities

## Themen und Verantwortliche



Detailübersicht Holzbausystem



## Gebäudehüllen

FH-Prof. Arch. DI Dr.  
Michael Grobbauer

## Energiesysteme

FH-Prof. DI Dr.  
Markus Leeb

# Grundlagen



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Bauteilaktivierung ?

- Betonkerntemperierung
- Betonkernaktivierung
- Thermisch aktivierte Bauteil Systeme TABS
- Thermische Bauteilaktivierung TBA

# Was ist eine Bauteilaktivierung



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Quelle: © Z+B

Als thermische Bauteilaktivierung werden Heiz- oder Kühlsysteme bezeichnet, bei denen wasserführende Rohrleitungen durch Wände, Decken oder Böden führen und deren Speichermassen aktiv nutzen.

# Was ist eine Bauteilaktivierung



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- Voraussetzungen: Gute thermische Hüllqualität
- System der Bauteilaktivierung hat große Übertragungsflächen/Speichermassen
- Wärmeabgabe in den darunterliegenden Raum
- Heizen und Kühlen
- Hoher Strahlungsanteil

## Vorlauftemperaturen

Heizbetrieb

26-30°C

Kühlbetrieb

18-23°C



Quelle: © Z+B

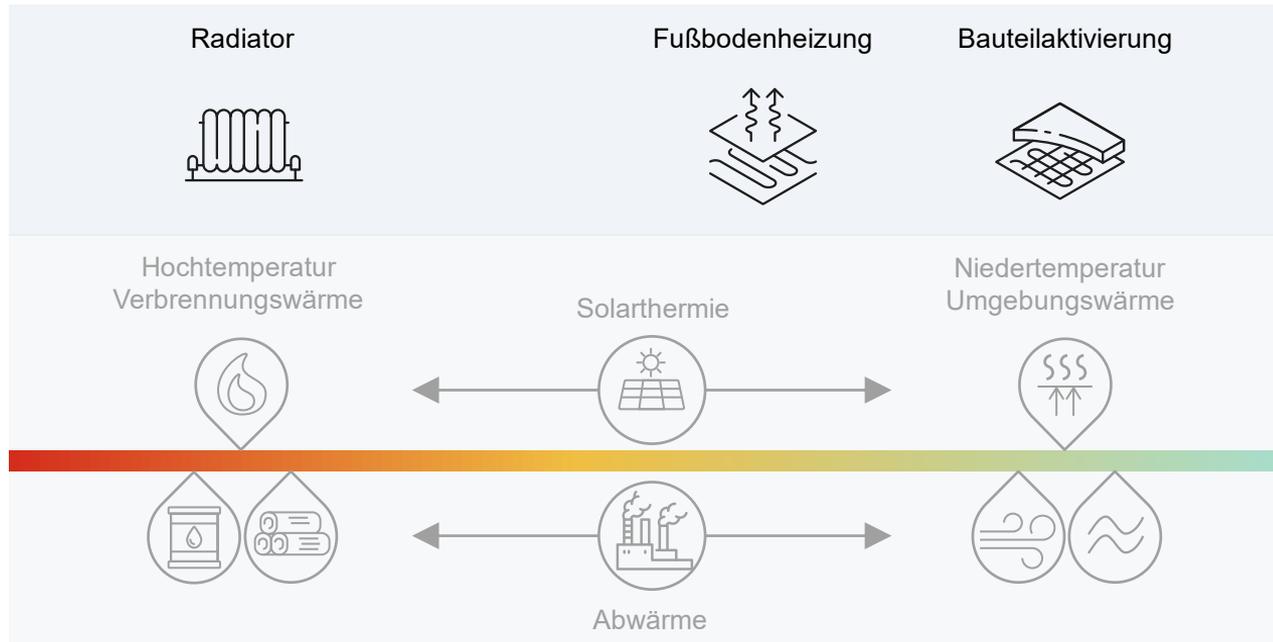
# Was ist eine Bauteilaktivierung



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



# Was ist eine Bauteilaktivierung



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- **Warum Beton?**
  - hohe Wärmeleitfähigkeit und Übertragungsleistung
  - Heizen:  $25 \text{ W/m}^2 - 50 \text{ W/m}^2$
  - Kühlen:  $40 \text{ W/m}^2 - 70 \text{ W/m}^2$
  - hohes spezifisches Gewicht von  $2.300 \text{ kg/m}^3$
- **Warum über Geschossdecke aktivieren?**
  - Ideal für Kühlung
  - Strahlungsaustausch
  - Speichermasse
  - Fußbodenaufbau

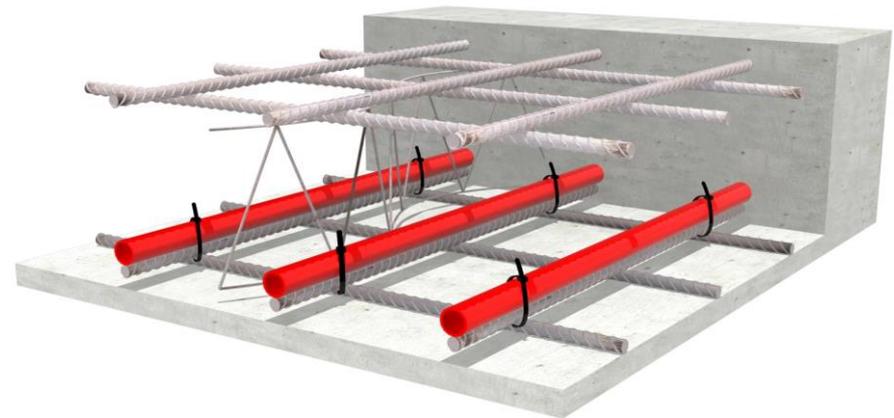


Abb: Aufbau Bauteilaktivierung

Bildquelle: Z+B, Schwabl

# Was ist eine Bauteilaktivierung



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Abbildungen: Bauteilaktivierung der Wände und der Decke auf dem Versuchsgelände der Zukunftsagentur Bau Salzburg

Quelle: Zukunftsagentur Bau, Innovationslandkarte

# Was ist eine Bauteilaktivierung



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Abbildungen: Blue Living Grödig

Bildquelle: Zukunftsagentur Bau, Innovationslandkarte

# Was ist eine Bauteilaktivierung

- TABS vs FBH
- Speicherwirksame Massen: Verwendung von Bauteilen, welche in jedem Gebäude vorhanden sind.
- Wärmeabgabe in den darunterliegenden Raum
- Ein System zum Heizen und Kühlen
- Niedrige Vorlauftemperaturen

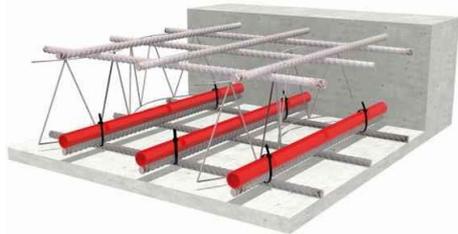


Abb: Aufbau Bauteilaktivierung

Bildquelle: Z+B, Schwabl



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

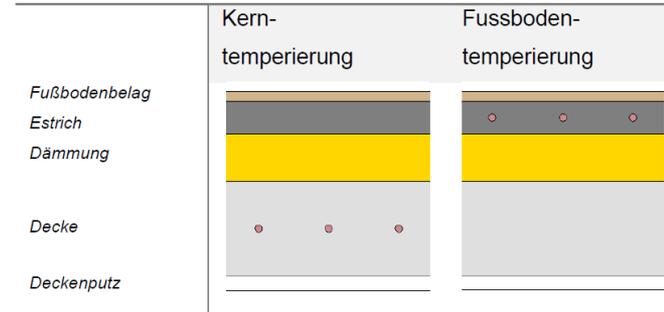


Abb: Aufbauten TABS vs FBH

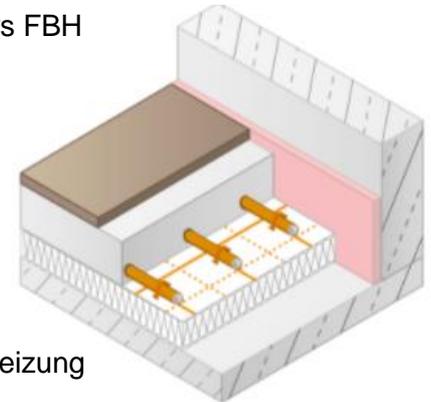


Abb: Aufbau Fußbodenheizung

Bildquelle: Variotherm

# Behaglichkeit

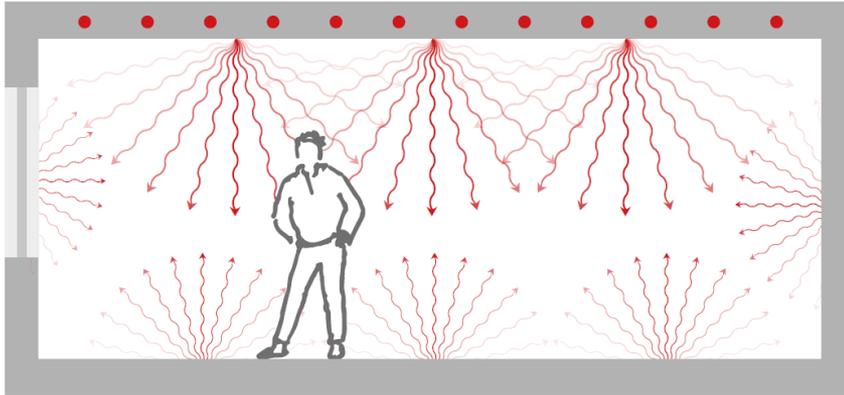


FH Salzburg  
Smart Building



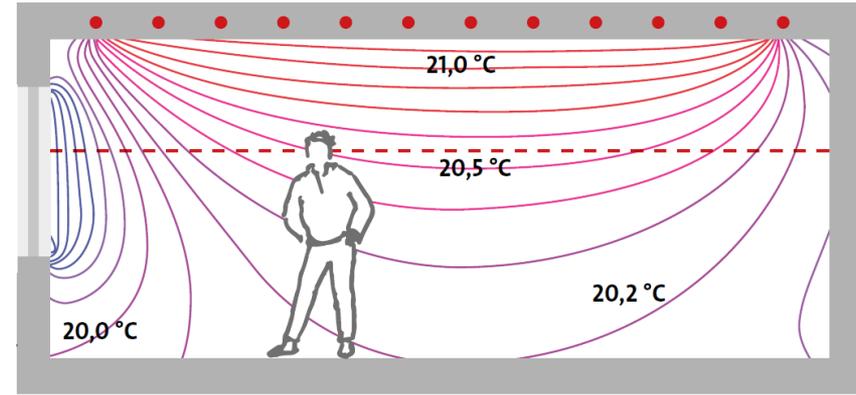
ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

aktivierte Decke



Quelle: © Z+B

aktivierte Decke



Quelle: © Z+B

Fußboden



Behaglichkeit durch hohen Strahlungsanteil jedoch ohne „merkbar“ Heizung und Kühlung



Ganzjährig angenehm temperierte Räume



Keine Turbulenzen und keine Staub Aufwirbelung

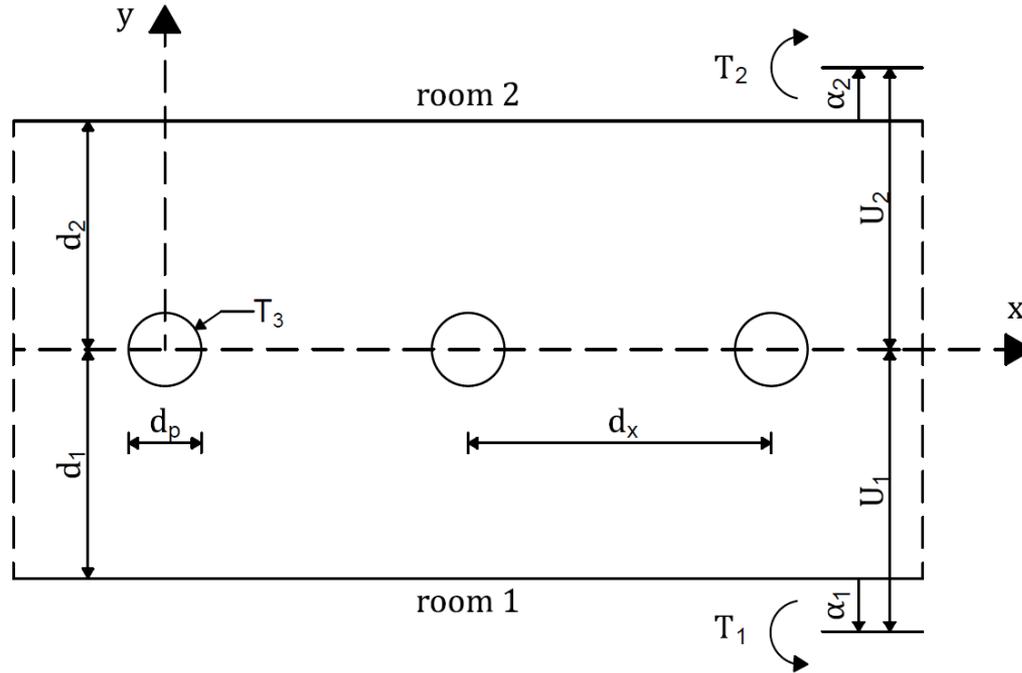
# Wärmeübertragungsleistungen



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



## Nomenklatur

$d$	Schichtdicke
$d_p$	Rohrdurchmesser
$d_x$	Rohrabstand
$T$	Temperatur
$U$	Wärmedurchgangskoeffizient
$x$	Koordinate, horizontal
$y$	Koordinate, vertikal
$\alpha$	Wärmeübergangswiderstand

## Wichtigste

### Einflussparameter

- Heizmitteltemperatur  $T_3$
- Verlegeabstand  $d_x$
- Einbringungstiefe  $d_1$
- Materialität

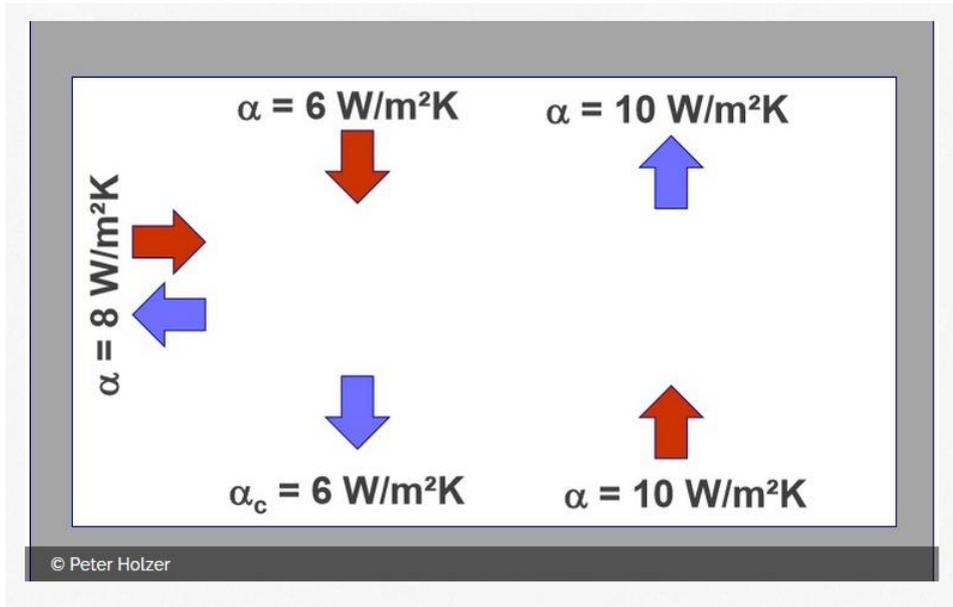
# Wärmeübertragungsleistungen



FH Salzburg  
Smart Building

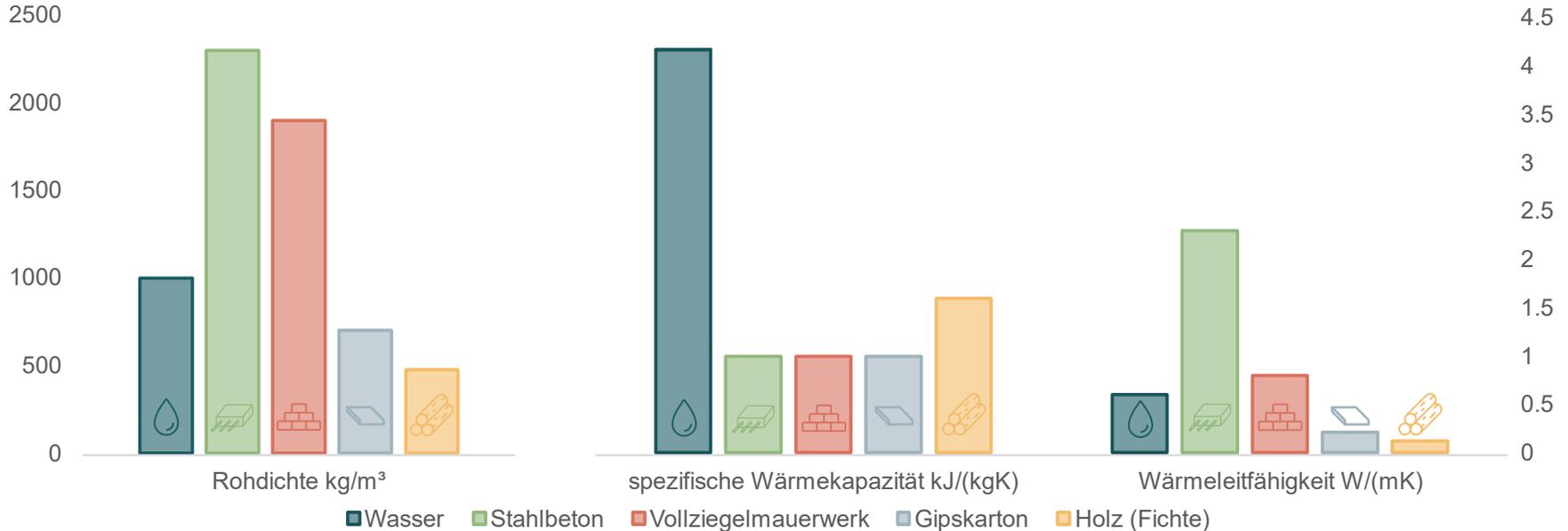


ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Erzielbare  
Wärmeübertragungsleistungen je  
nach aktiviertem Bauteil im Heiz- und  
Kühlbetrieb

# Materialeigenschaften



Eigene Darstellung, Quelle Eigenschaften: ÖNORM B 8110-7

# Bauteilaktivierung in der Sanierung

Auswirkung der Positionierung auf die Speichermasse

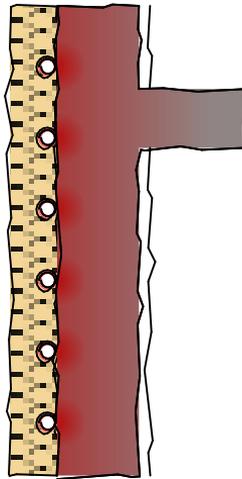


FH Salzburg  
Smart Building

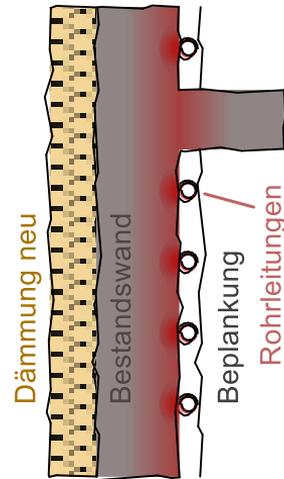


ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

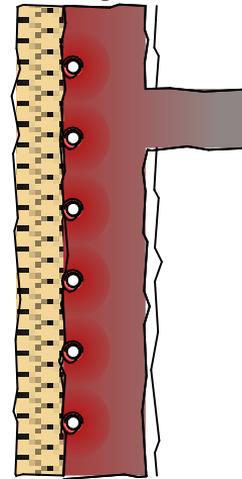
Außenliegend



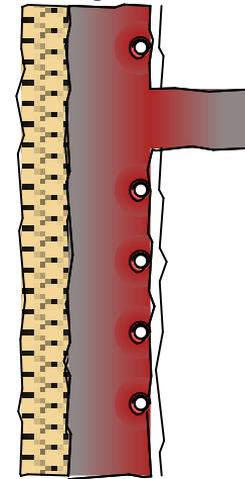
Innenliegend



Außenliegend integriert



Innenliegend integriert



# Bauteilaktivierung in der Sanierung

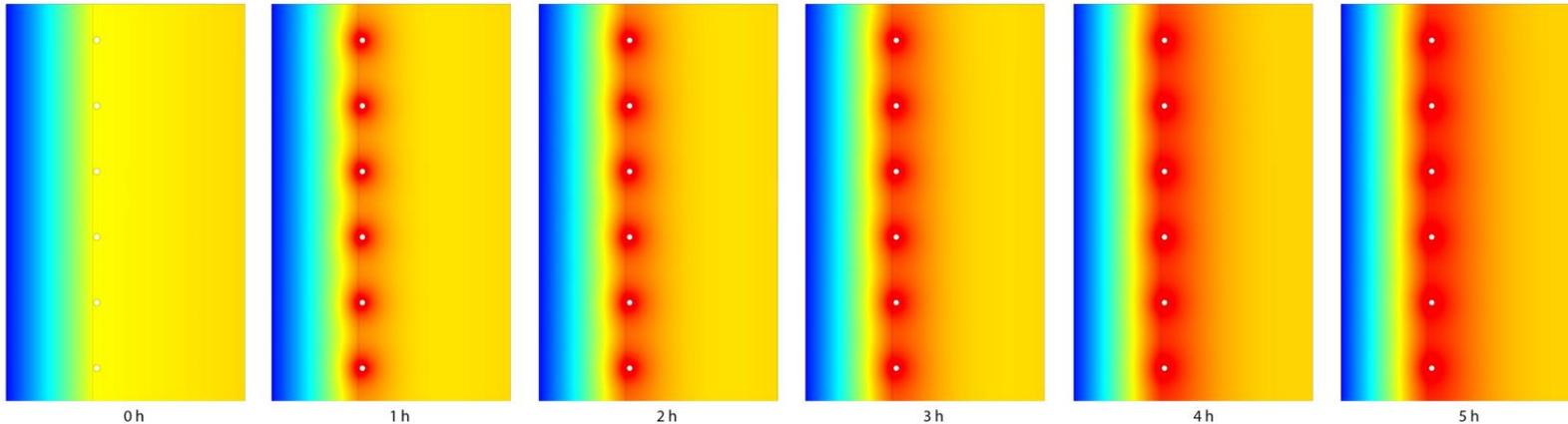
Aufheizvorgang einer von außen aktivierten Betonwand mit Dämmung



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



0h

1h

2h

3h

4h

5h

## Randbedingungen:

Außentemperatur = 0°C

Innentemperatur = 22°C

Heizmitteltemperatur = 35°C

# Bauteilaktivierung in der Sanierung

Auswirkung der Positionierung auf den Wärmestrom

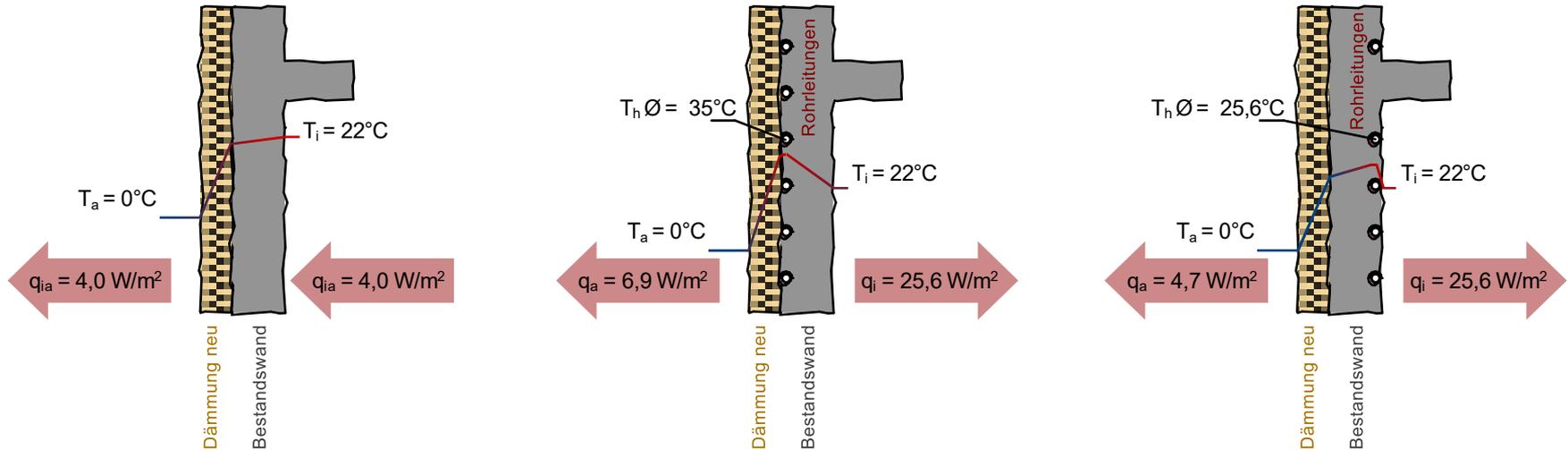


FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

$$U_{AW} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



# Bauteilaktivierung in der Sanierung

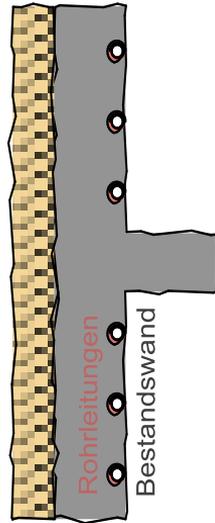


FH Salzburg  
Smart Building

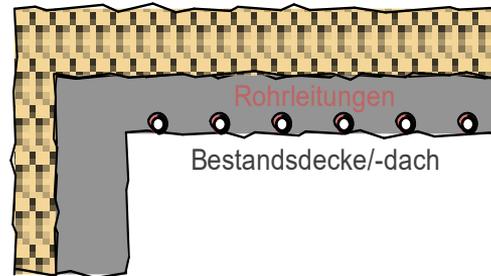


ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

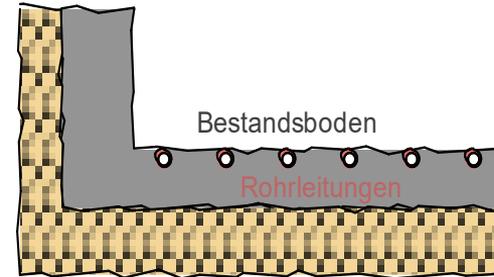
Außenwand



Decke/Dach



Boden



# Bauteilaktivierung in der Sanierung

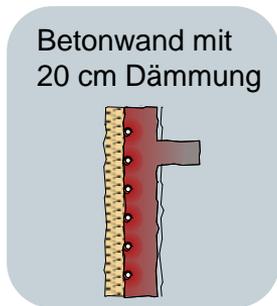


FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom U-Wert der Bestandswand und Dämmung



U-Wert* Bestand [W/m²K]	U-Wert* Dämmung neu [W/m²K]										
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
0,50	65%	48%	38%	32%	27%	24%	21%	19%	17%	16%	
0,60	69%	53%	43%	36%	31%	27%	24%	22%	20%	18%	
0,70	72%	57%	46%	39%	34%	30%	27%	25%	22%	21%	
0,80	75%	60%	50%	43%	37%	33%	30%	27%	25%	23%	
0,90	77%	63%	53%	46%	40%	36%	32%	29%	27%	25%	
1,00	79%	65%	55%	48%	43%	38%	35%	32%	29%	27%	
1,10	80%	67%	58%	51%	45%	41%	37%	34%	31%	29%	
1,20	82%	69%	60%	53%	47%	43%	39%	36%	33%	31%	
1,30	83%	71%	62%	55%	49%	45%	41%	38%	35%	33%	
1,40	84%	72%	63%	57%	51%	46%	43%	39%	37%	34%	
1,50	85%	74%	65%	58%	53%	48%	44%	41%	38%	36%	
1,60	86%	75%	66%	60%	54%	50%	46%	43%	40%	37%	
1,70	86%	76%	68%	61%	56%	51%	47%	44%	41%	39%	
1,80	87%	77%	69%	63%	57%	53%	49%	46%	43%	40%	
1,90	88%	78%	70%	64%	59%	54%	50%	47%	44%	41%	
2,00	88%	79%	71%	65%	60%	55%	51%	48%	45%	43%	
2,10	89%	80%	72%	66%	61%	57%	53%	49%	46%	44%	
2,20	89%	80%	73%	67%	62%	58%	54%	51%	48%	45%	
2,30	90%	81%	74%	68%	63%	59%	55%	52%	49%	46%	
2,40	90%	82%	75%	69%	64%	60%	56%	53%	50%	47%	
2,50	90%	82%	76%	70%	65%	61%	57%	54%	51%	48%	
2,60	91%	83%	76%	71%	66%	62%	58%	55%	52%	49%	
2,70	91%	83%	77%	71%	67%	63%	59%	56%	53%	50%	
2,80	91%	84%	78%	72%	68%	63%	60%	57%	54%	51%	
2,90	92%	84%	78%	73%	68%	64%	61%	57%	54%	52%	
3,00	92%	85%	79%	74%	69%	65%	61%	58%	55%	53%	

Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an Schmidt et al. 2017

# Regelung für TABS



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

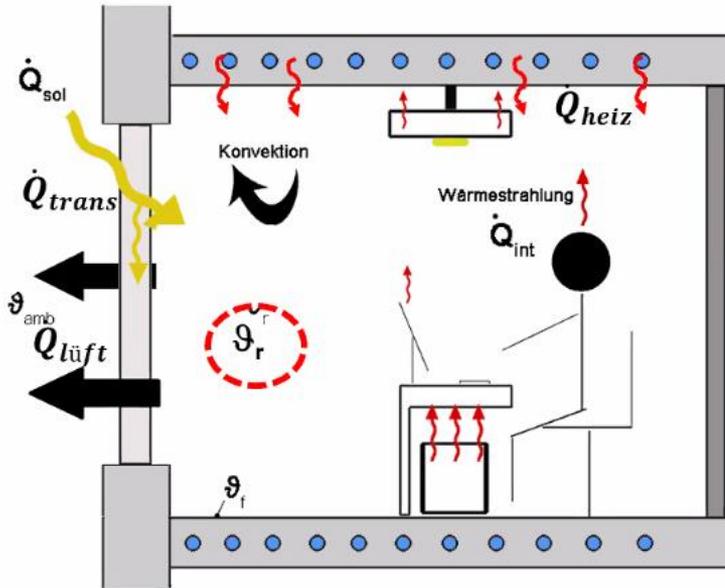


Abb: Wärmequellen für die TABS Steuerung

Bildquelle: Elmar Bollin

## Störgrößen

- Außentemperatur
- Solare Einstrahlung
- Interne Wärmegewinne

## Messgrößen

- Außentemperatur
- Raumtemperatur
- Oberflächentemperatur

# Temperatursensoren für TABS



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

Kerntemperaturfühler

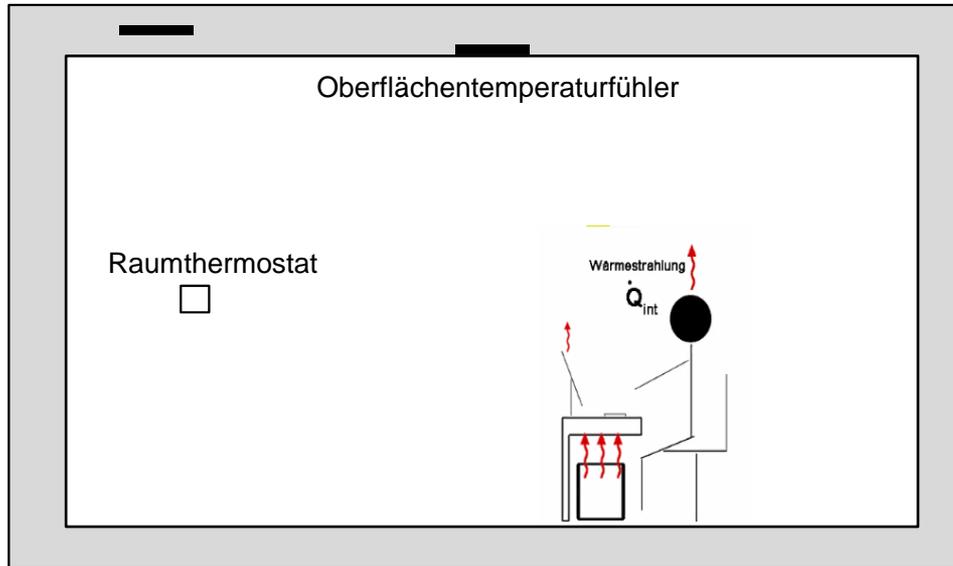


Abb: Temperatursensoren für die TABS Steuerung

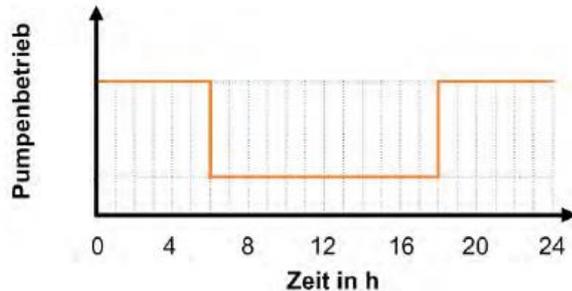
**Raumthermostat:** Erfasst die Raumtemperatur (Kontrollfunktion)

**Oberflächentemperaturfühler:**  
Gibt Auskunft über die aktuelle Oberflächentemperatur, wichtig für die Berechnung der Wärmeübertragung vom Baukörper zum Raum (maximal +/- 4/5°C unterschied zu Raumtemperatur)

**Kerntemperaturfühler:**  
Gibt Auskunft über den Beladungsstatus des Baukörpers. Welche Energiemenge ist aktuell im Baukörper vorhanden

# Regelung für TABS

- Speicherbehaftete Regelstrecke - Trägheit des Systems an Steuerung anpassen
- Speicherwirksame Massen einbeziehen (Überladung/ Unterladung)
- Beladungszeiträume durch Umwälzpumpen anpassen (Erhöhung der Temperaturdifferenz von Heizmedium zu Bauteil; An lokale EE Produktion anpassen)
- Sektorenkopplung- Nutzung EE Überschussstrom (PV/Wind)

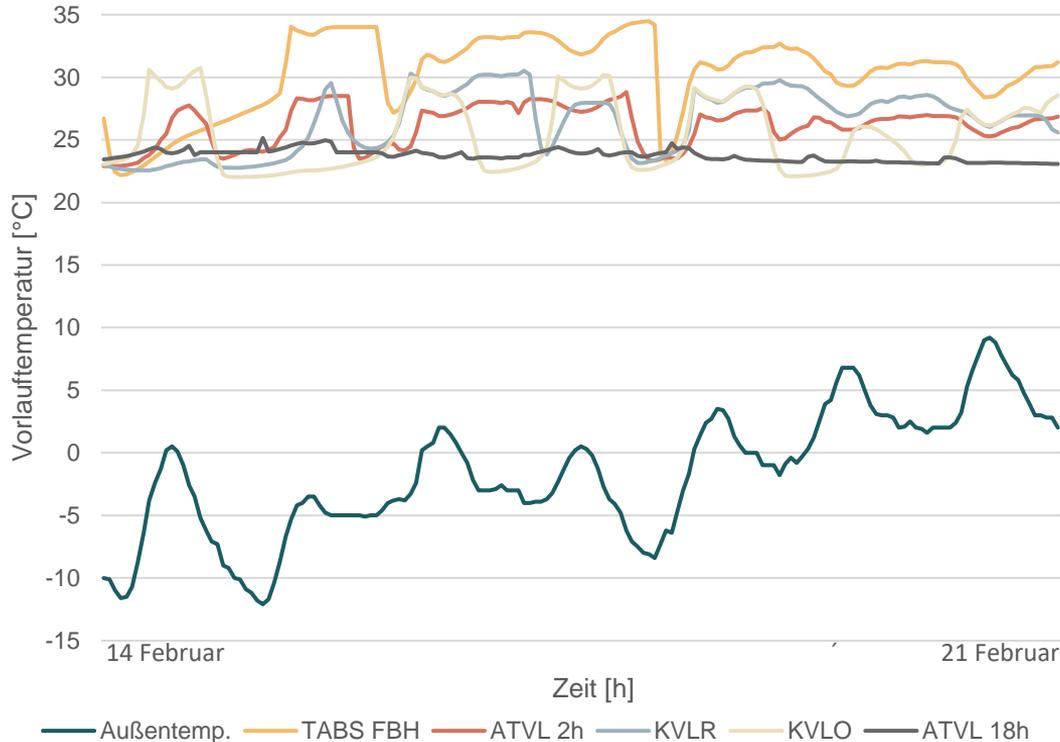


Beladungszeiten können an Erzeuger angepasst werden, damit dieser möglichst effizient arbeiten kann.

Abb: Beladungszeiten für TABS

Bildquelle: Bauteilaktivierung: Einsatz – Praxiserfahrungen - Anforderungen

# Regelstrategien



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Abb. Gebäudemodell

Legende:

TABS FBH: Fußbodenheizungssteuerung mit TABS

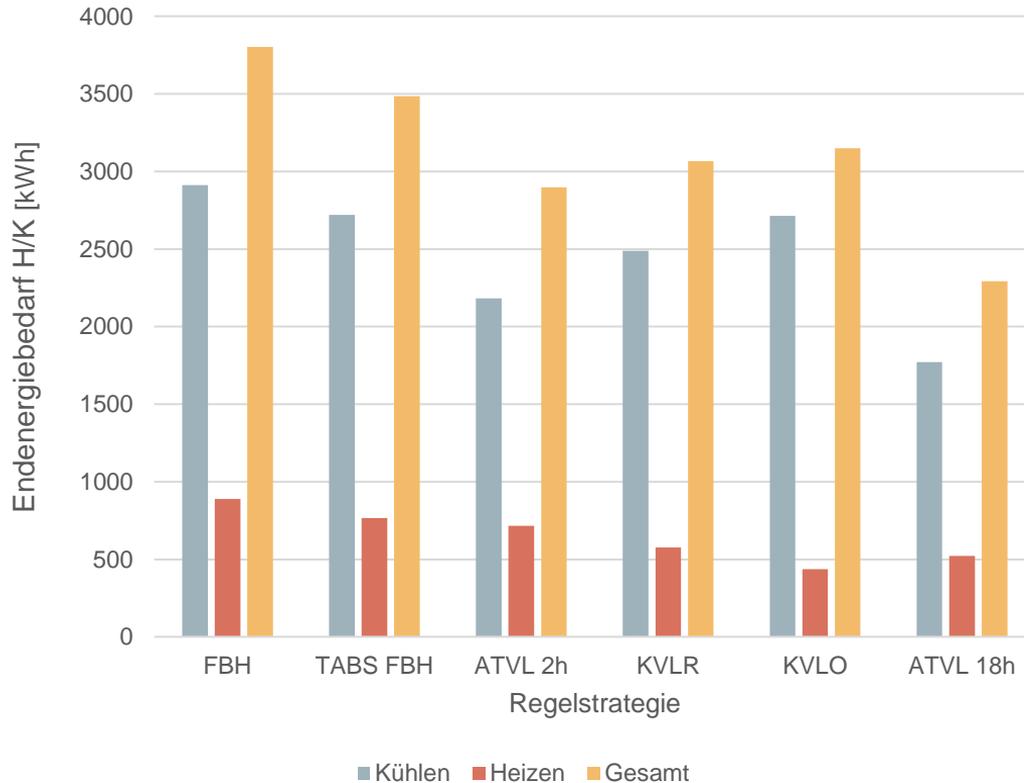
ATVL 2h: Außentemp. Vorlauftemperatur

KVLO: Konstante VL-Temp. nach Oberflächentemperatur

KVLr: Konstante VL-Temp. nach Raumtemperatur

ATVL 18h: Außentemp. Vorlauftemperatur mit 18h Mittelwert

# Regelstrategie



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Abb. Gebäudemodell

Legende:

TABS FBH: Fußbodenheizungssteuerung mit TABS

ATVL 2h: Außentemp. Vorlauftemperatur

KVLO: Konstante VL-Temp. nach Oberflächentemperatur

KVLR: Konstante VL-Temp. nach Raumtemperatur

ATVL 18h: Außentemp. Vorlauftemperatur mit 18h Mittelwert

# Heizlast

Normen Allgemein – Anwendung Unterschiede  
PHPP-Tool  
Dynamische Gebäudesimulation

Problematik der zu hohen Heizlast laut Norm bei der Bauteilaktivierung

# Heizlast Berechnungsarten Norm



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

## Berechnungsarten

ÖNORM H5056	2019 01 15
ÖNORM H7500-1	2015 02 15
ÖNORM EN12831	2003 12 01
zukünftig: ÖNORM H12831-1: (vorerst nur Entwurf) statt H7500-1	2018 01 15
ÖNORM EN12831-1: statt EN12831	2018 01 15
ÖNORM H7500-3	2015 02 15

H7500-1: Heizungssysteme in Gebäuden -  
Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast  
für Gebäude mit einem mittleren U-Wert  $\geq 0,5$   
 $W/(m^2 \cdot K)$

## Derzeit:

Das zuständige Komitee 058 empfiehlt, bis zur  
Behebung der Fehler die "alte" ÖNORM H 7500-  
1 (2015) mit der "alten" ÖNORM EN 12831  
(2003) einzusetzen.

Quelle: <https://www.heizlast.at/haustechnik-normen-infos/heizlast-oenorm-h-7500-1/>

Mit diesen Normen kann Bauteilaktivierung nicht adäquat abgebildet werden.

# Vergleich Heizlast



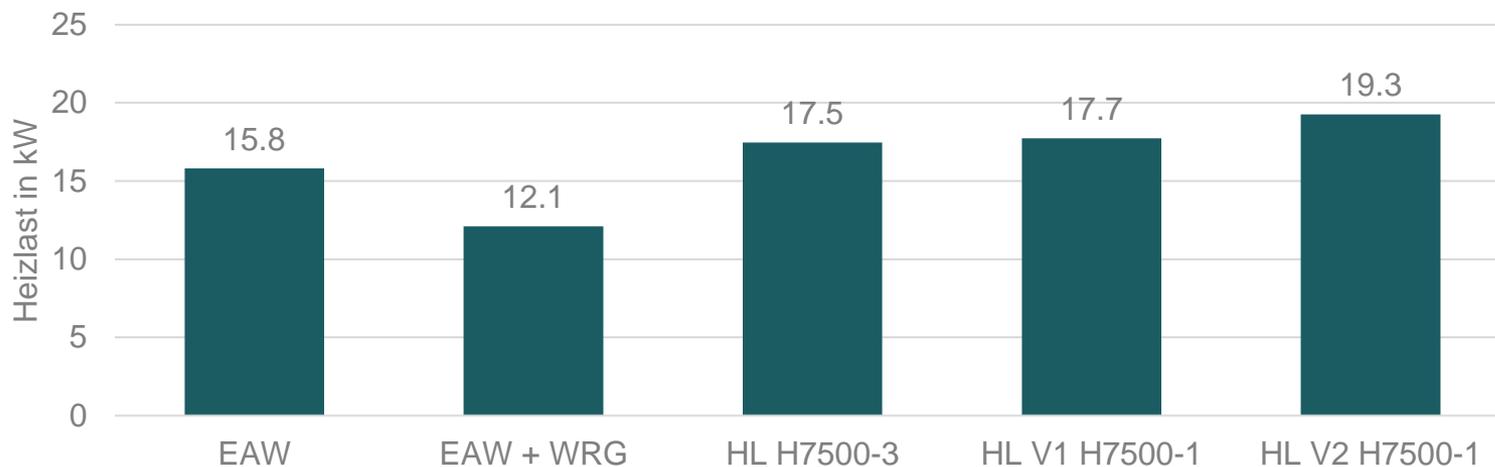
FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

Abweichungen zwischen +22% bis -23%

Heizlast - Neubau  $U_m=0,26 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$



Abweichungen zwischen +46%  
gegenüber EA plus WRG

# Heizlast TABS

## Installierte Heizleistung / Heizlast

Nr	Projekt	BGF	Brutto- Volumen	lc	Heizlast ohne WRG	Heizlast mit WRG	Install. Heiz- leistung	Install. Heizleistung/ Heizlast
		m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	[ - ]	kW	kW	kW	%
1	KVZ Hallwang	1.538	7.950	2,76	75	30	-	-
2	MFH A Elsbethen	688	2.280	1,90	17	11	12	109%
3	MFH B Elsbethen	681	2.258	1,88	17	11	12	110%
4	VS Hallwang	2.861	12.477	2,67	137	54	20	37%
5	TS Hallwang	1.449	7.607	3,89	149	41	10	24%
6	SZN Lieferung	4.610	33.769	2,98	186	121	54	45%
7	RH Oberndorf	1.751	7.143	2,49	88	36	Nahwärme	0%
8	WM Werkstatt	815	4.407	2,38	44	19	15	78%
9	WM Büro/Ausstellung	478	2.509	2,38	26	11	9	78%
10	SH Büro	4.833	23.716	2,38	258	116	81	69%
11	SH Lager	10.008	106.640	4,76	532	269	187	69%
12	SH Wohnung	235	964	2,22	6	4	3	69%

Quelle: Kongress Energieeffiziente Gebäude Salzburg 2050

Praxisbeispiele von FIN- Future is now  
Kuster Energielösungen GmbH

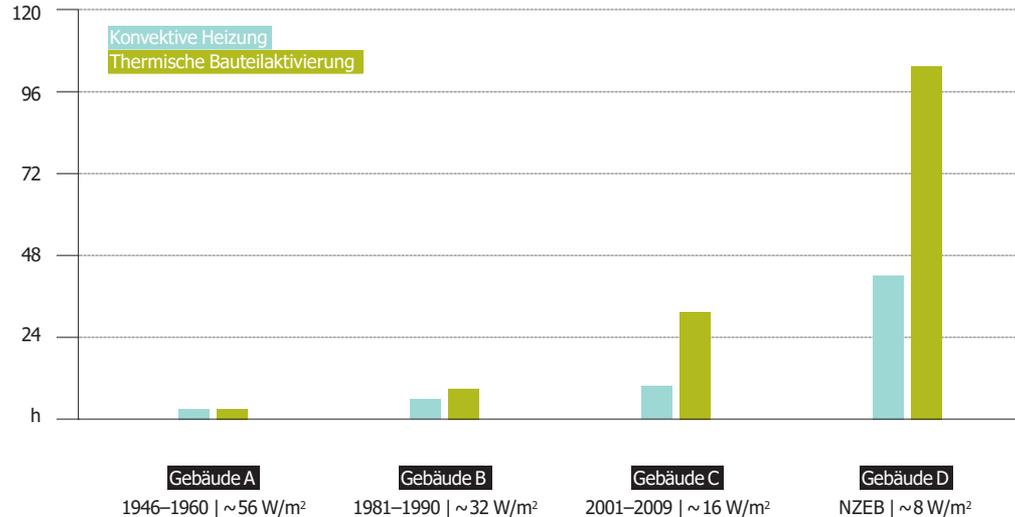
# Energieflexibilität



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Quelle: Fact Sheet Thermische Bauteilaktivierung (Klima- und Energiefonds, 2020)

Während ein Gebäude mit einer durchschnittlichen Heizleistung von ca. 32 W/m<sup>2</sup> (Gebäude B) innerhalb von etwa 3 Stunden von 22 auf 20 °C operative Raumtemperatur absinkt, dauert für ein sehr gut gedämmtes Gebäude (Gebäude D) der gleiche Temperaturabfall rund 42 Stunden.

Durch den Einsatz von Bauteilaktivierung wird diese Auskühlzeit zumindest verdoppelt.

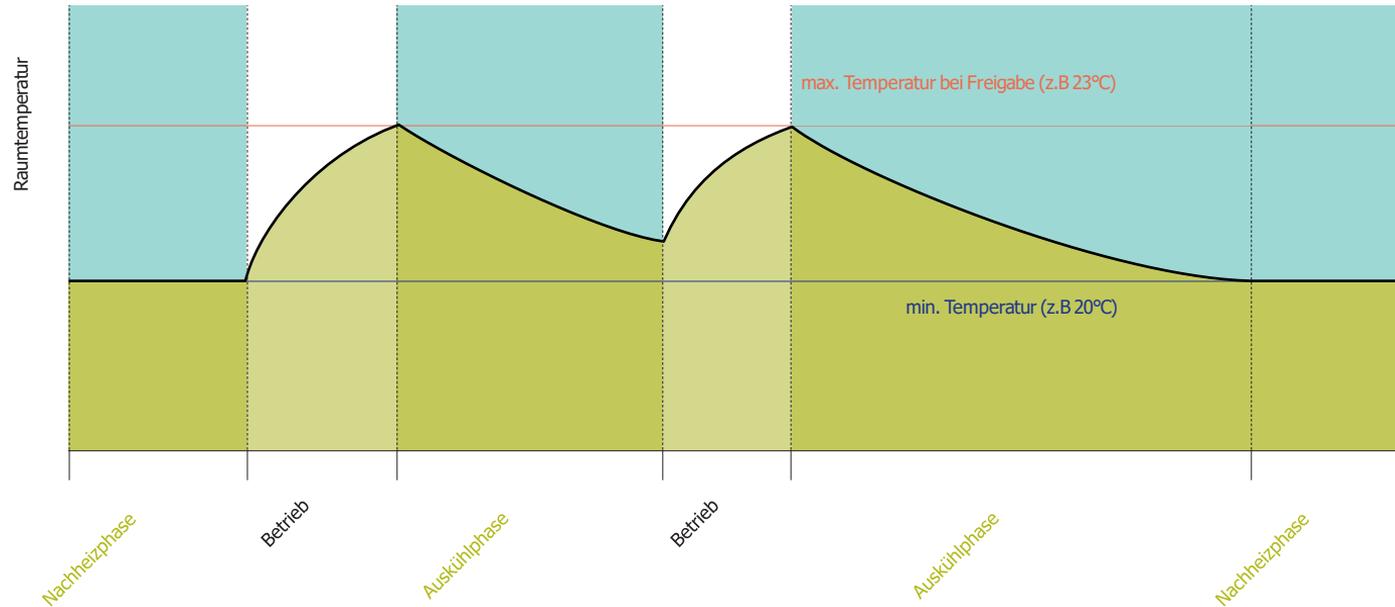
# Energieflexibilität



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Quelle: Fact Sheet Thermische Bauteilaktivierung (Klima- und Energiefonds, 2020)

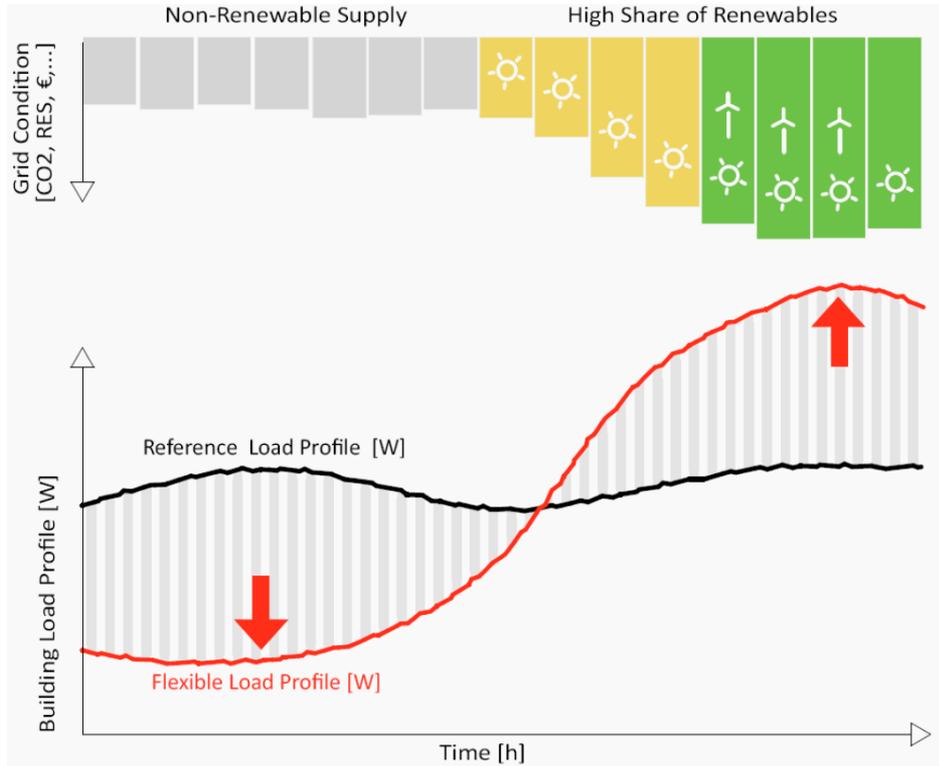
# Energieflexibilität



FH Salzburg  
Smart Building

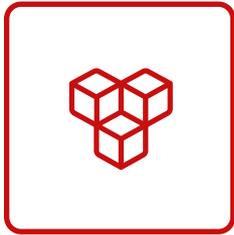


ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

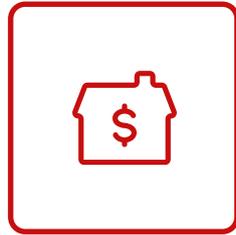


Quelle: Energy-Flexible Zero-Energy Buildings – The impact of building design on energy flexibility (Tobias Weiss, 2019)

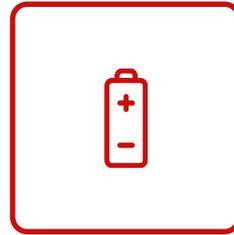
# Vorteile der Nutzung von thermischen Speichermassen für Energieflexibilität



Keine zusätzlichen Bauteile notwendig



Kostengünstig



Großes, ungenutztes Speicherpotential



Lokale Verfügbarkeit

# Netzregulierung mit TABS



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

Thermische Bauteilaktivierung im EFH

Monitoring 2016–2018: Projekt EFH mit Windstromüberschuss und WP

Speicherung von  
**Windkraft** in Form  
von thermischer  
Energie in der  
**Gebäudestruktur**

Ein System zum  
**Heizen und  
Kühlen**



Daten: S.Spaun VÖZ

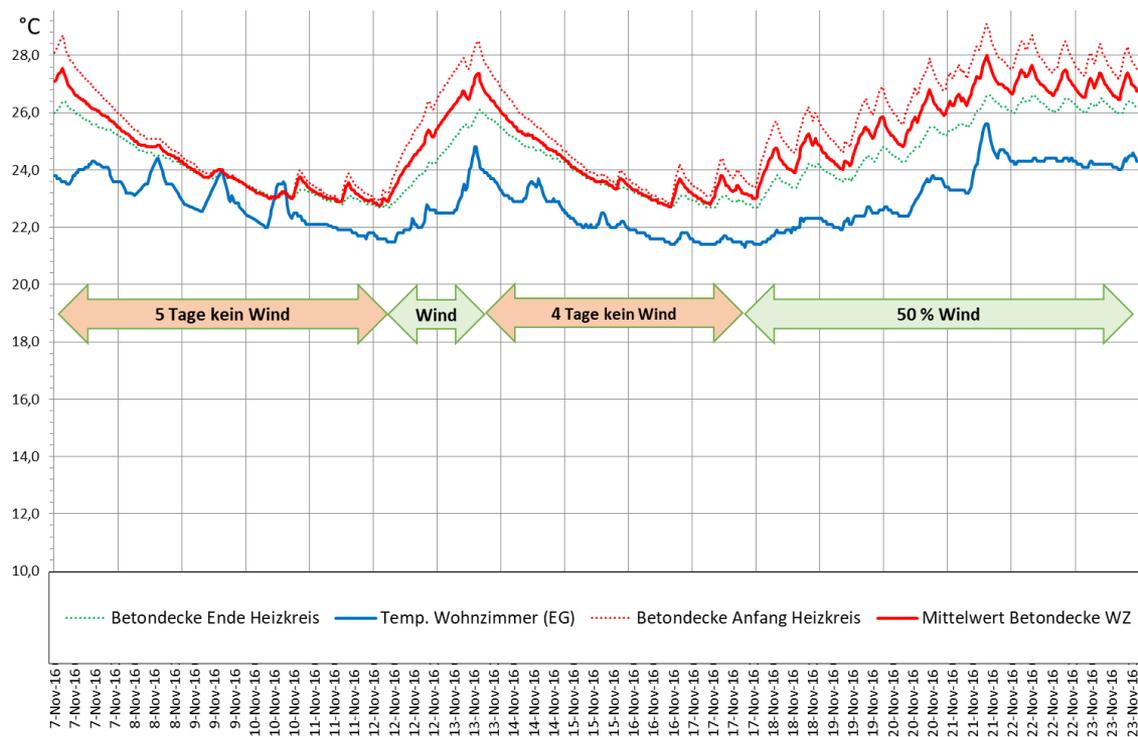
# Monitoring – Ergebnisse



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



S.Spaun VÖZ

# Beton speichert **Überschuss-Windkraft**

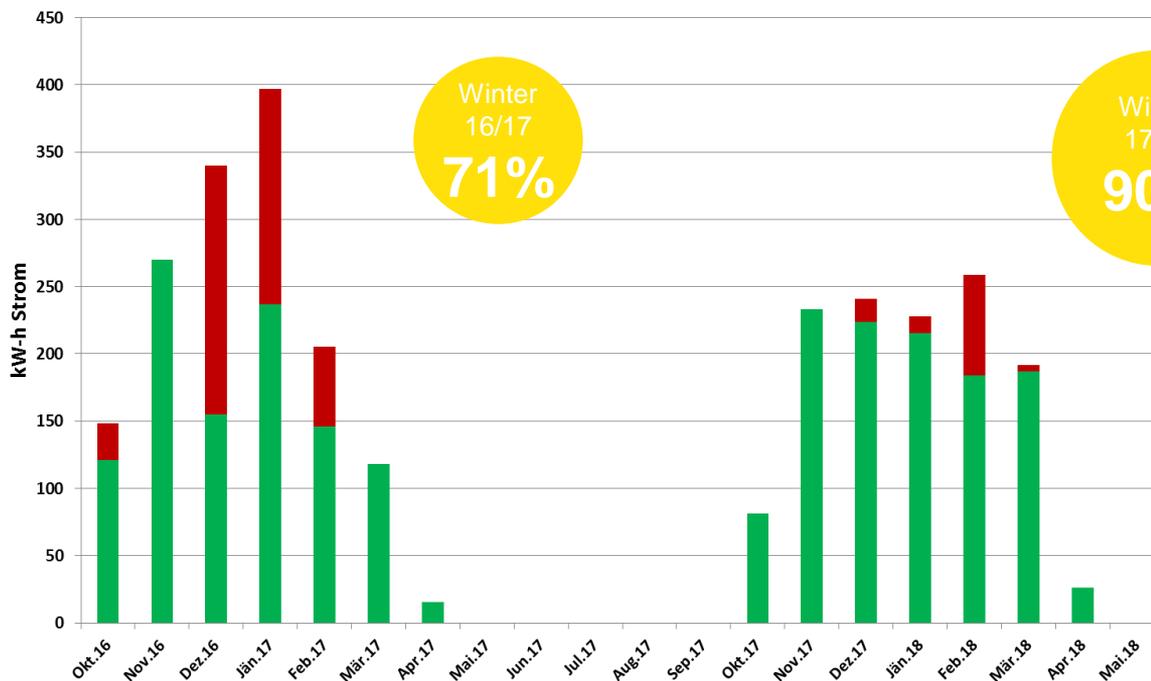
Heizen: Anteil von **Wind(überschuss)strom** für Wärmepumpe



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



S.Spaun VÖZ

# Bauplanung / Baumanagement

## Auf gute Vorplanung achten:

Abstimmung Baufirma – Installateur

Sonderfälle im Detail durchdenken (zB. Schallschutz / abgehängte Decken)

## Auslegung und Dimensionierung:

Dynamische Gebäudesimulation von Vorteil, trotz Mehrkosten!

Erneuerbares Energiekonzept - Energieflexibilität

# Vorteile und Grundsätze TABS



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

Ein System zum Heizen und Kühlen

Niedrige Vorlauftemperaturen – hohe Energieeffizienz

Hohe Behaglichkeit durch hohen Strahlungsanteil

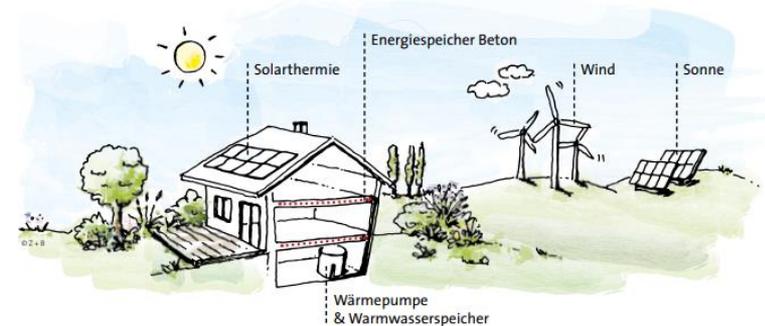
Selbstregelungseffekt

Speichermasse

Lastverschiebung

Koppelung an volatile erneuerbare Energien

Kostengünstig



Quelle: Planungsleitfaden Energiespeicher Beton



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Innovative Projekte aus der Forschung

# Innovationslandkarte Bauteilaktivierung



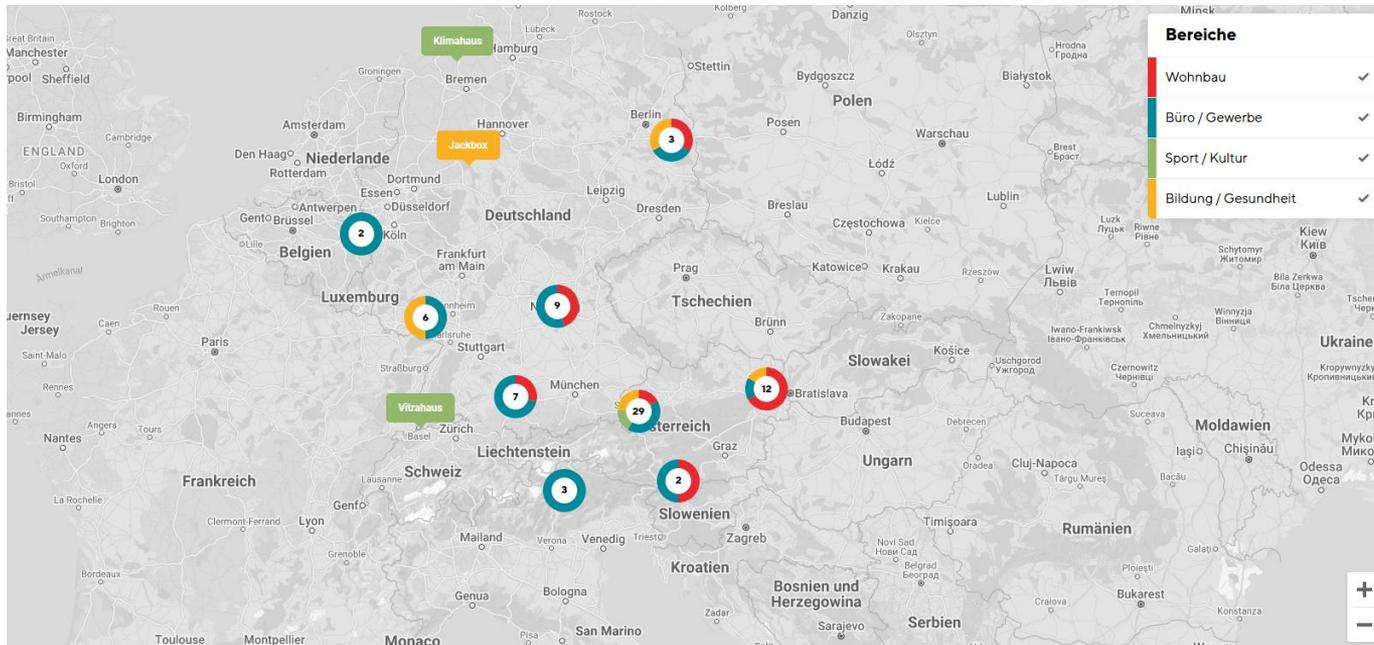
FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Kontakt



Quelle: <https://www.zukunft-bau.at/bauteilaktivierung>



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Bauteilaktivierung Holz

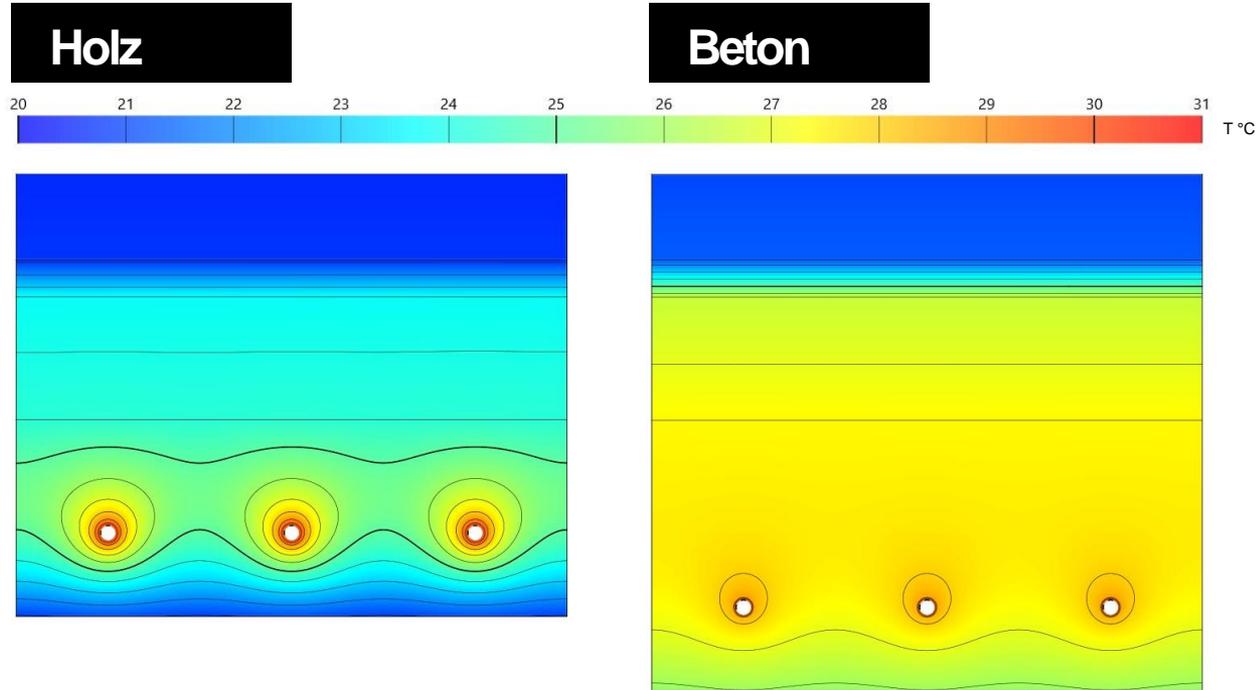
# Bauteilaktivierung Holz



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



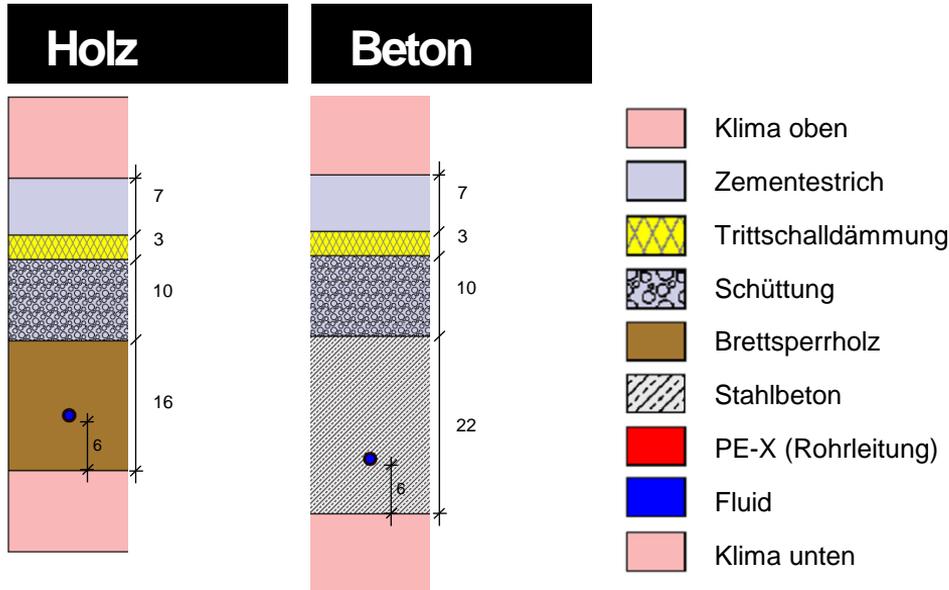
# Bauteilaktivierung Holz & Beton



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Parametervariationen:

- Einbringtiefe/Überdeckung
- Rohrabstand
- Einbringungsart
- Heiz- und Kühlmitteltemperatur
- Wärmedurchlasswiderstand
- Rohrdimensionen
- Fließgeschwindigkeit
- Wärmeleitfähigkeit

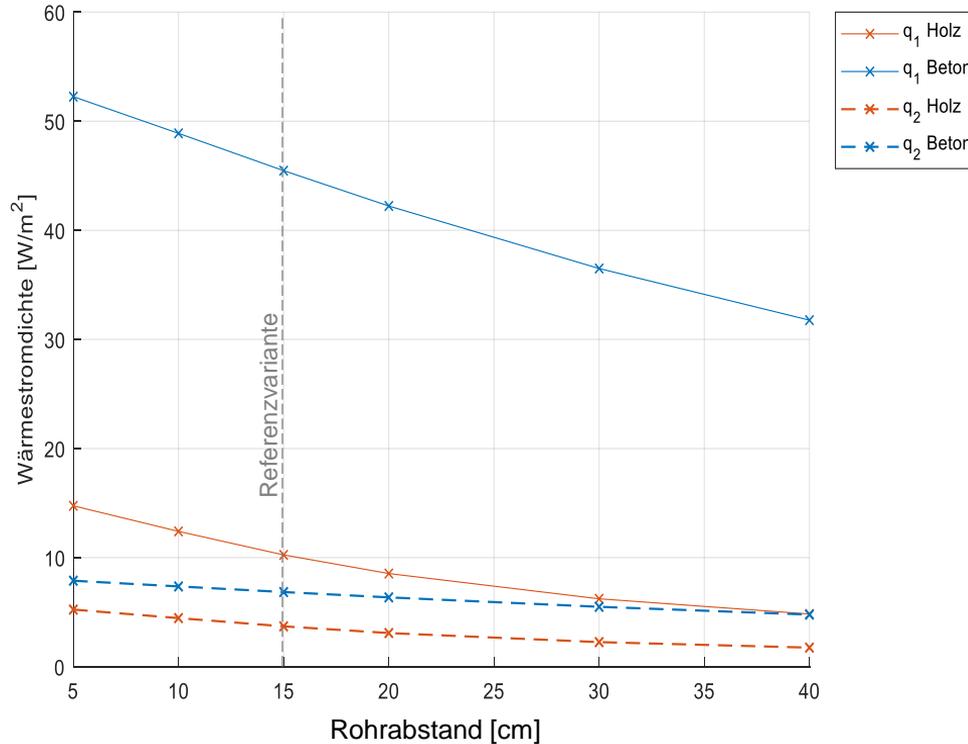
# Bauteilaktivierung Holz & Beton



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Wichtigste Parameter:

- Überdeckung = 6 cm
- $\lambda = 0,13$  W/mK
- Einbringung: bündig
- Temperatur = 30°C

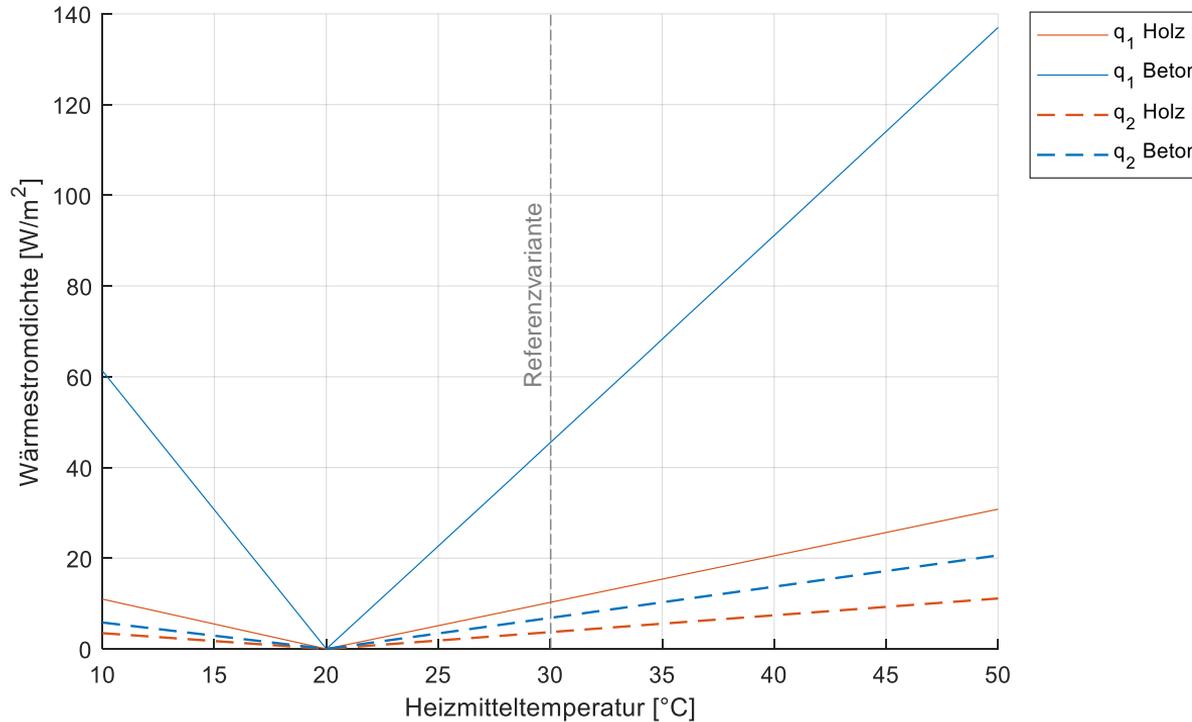
# Bauteilaktivierung Holz & Beton



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Wichtigste Parameter:

- Überdeckung = 6 cm
- $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$
- Einbringung: bündig
- Rohrabstand = 15 cm

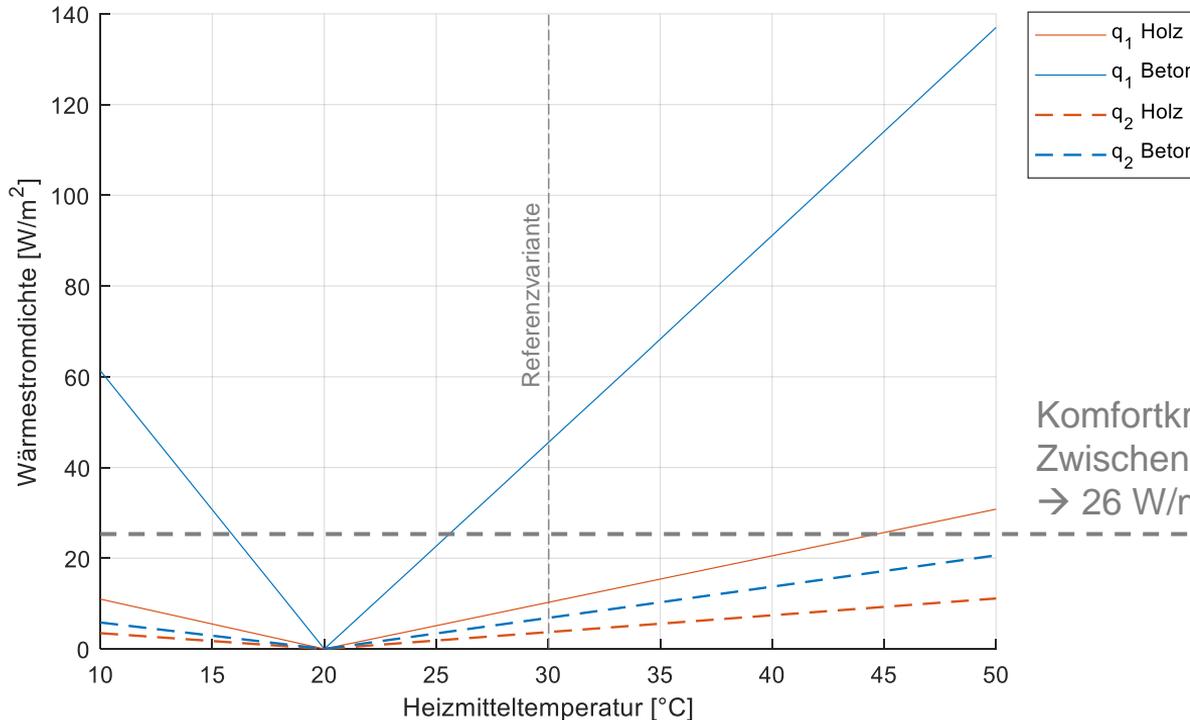
# Bauteilaktivierung Holz & Beton



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

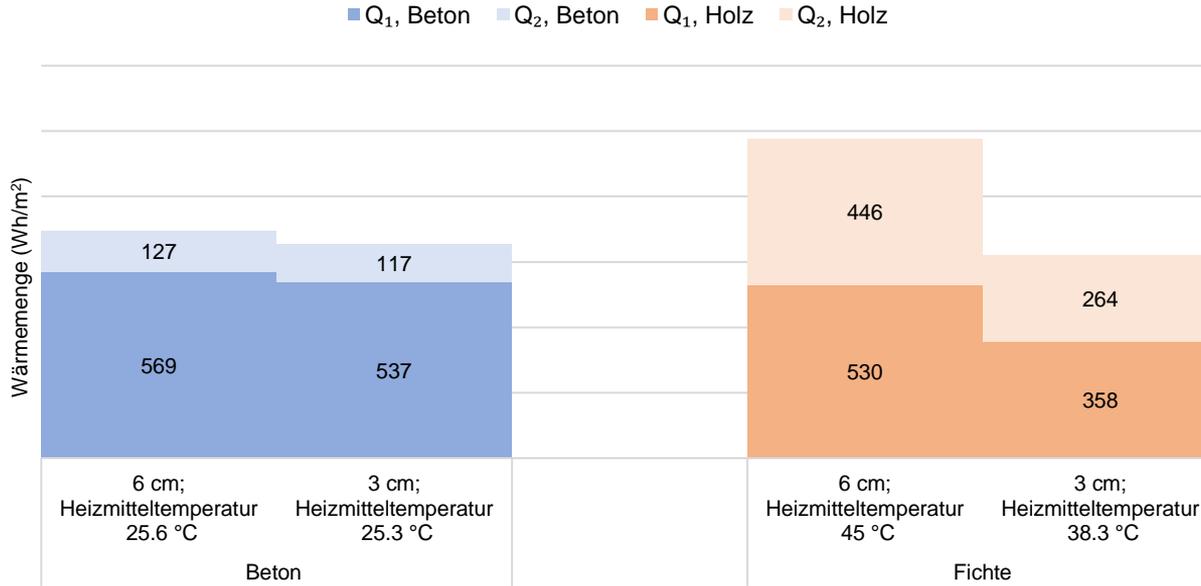


Wichtigste Parameter:

- Überdeckung = 6 cm
- $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$
- Einbringung: bündig
- Rohrabstand = 15 cm

Komfortkriterium: max. 4 K Temperaturdifferenz  
Zwischen Oberflächen- und Raumlufttemperatur  
→  $26 \text{ W/m}^2$

# Bauteilaktivierung Holz & Beton



Ausgangsbedingung: Gleiche Wärmestromdichte von 26 W/m<sup>2</sup> (4 K Temperaturdifferenz) in allen Varianten.

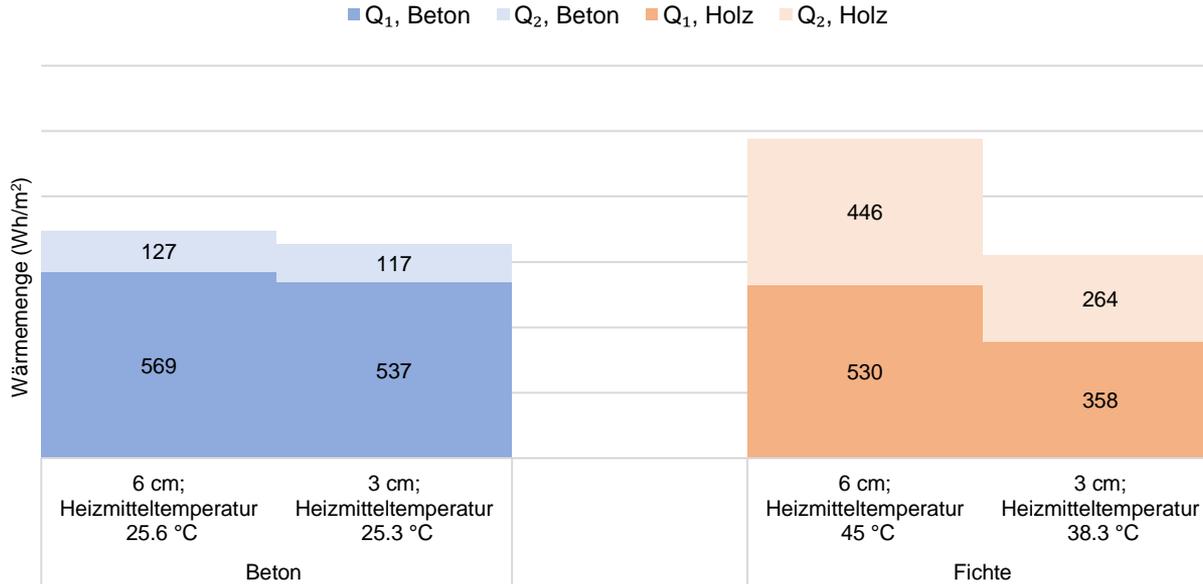
# Bauteilaktivierung Holz & Beton



FH Salzburg  
Smart Building



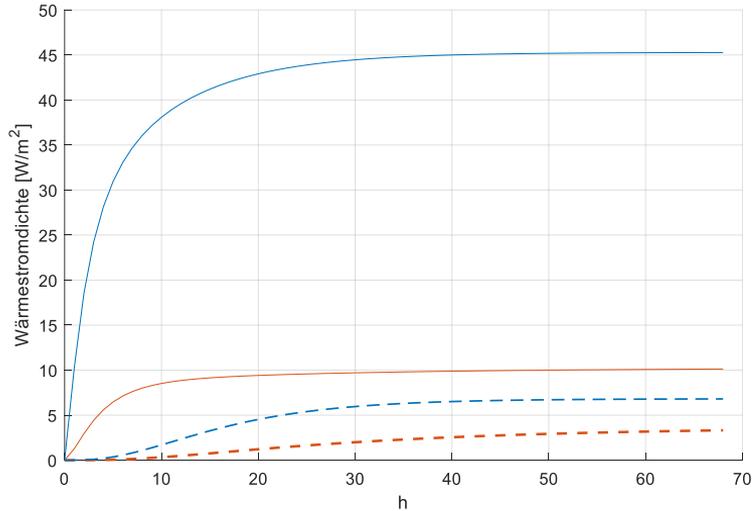
ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



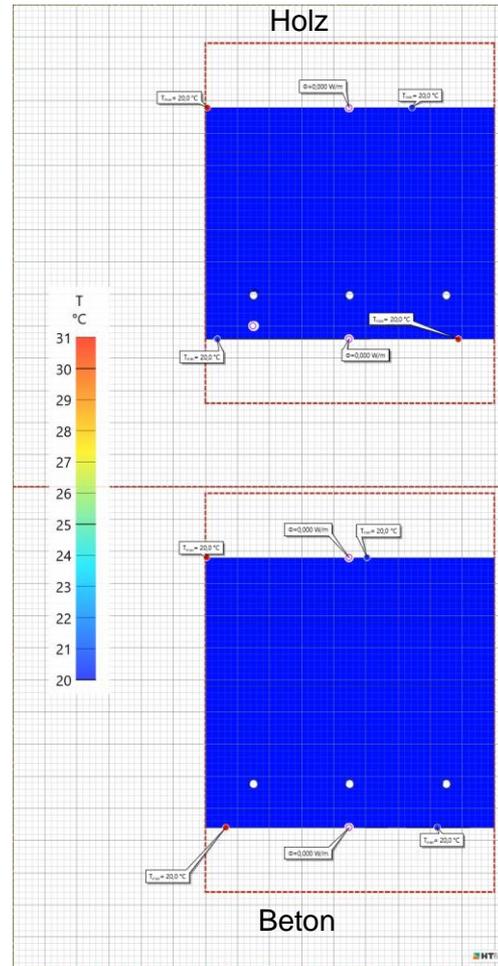
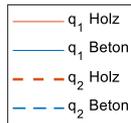
**Speicherfähigkeit:**  
50 m<sup>2</sup> TABS entspricht je nach Variante in etwa 670-1140 l Pufferspeicher

Ausgangsbedingung: Gleiche Wärmestromdichte von 26 W/m<sup>2</sup> (4 K Temperaturdifferenz) in allen Varianten.

# Bauteilaktivierung Holz



- Heizmitteltemperatur = 30 °C
- Fließgeschwindigkeit = 0,2 m/s
- Einbringung: bündig
- Rohrabstand = 15 cm
- Überdeckung = 6cm



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

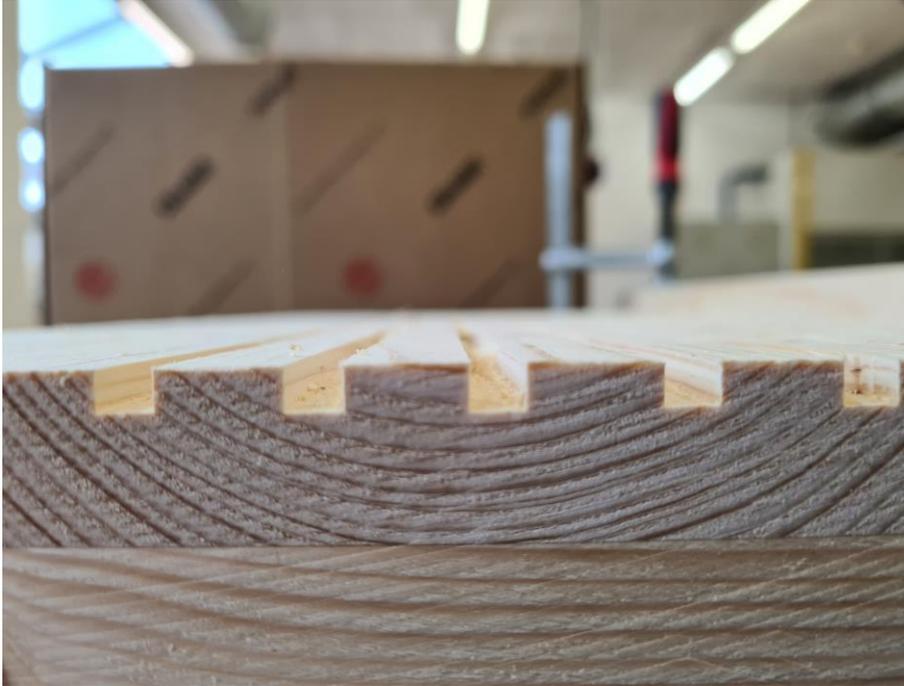
# Bauteilaktivierung Holz



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



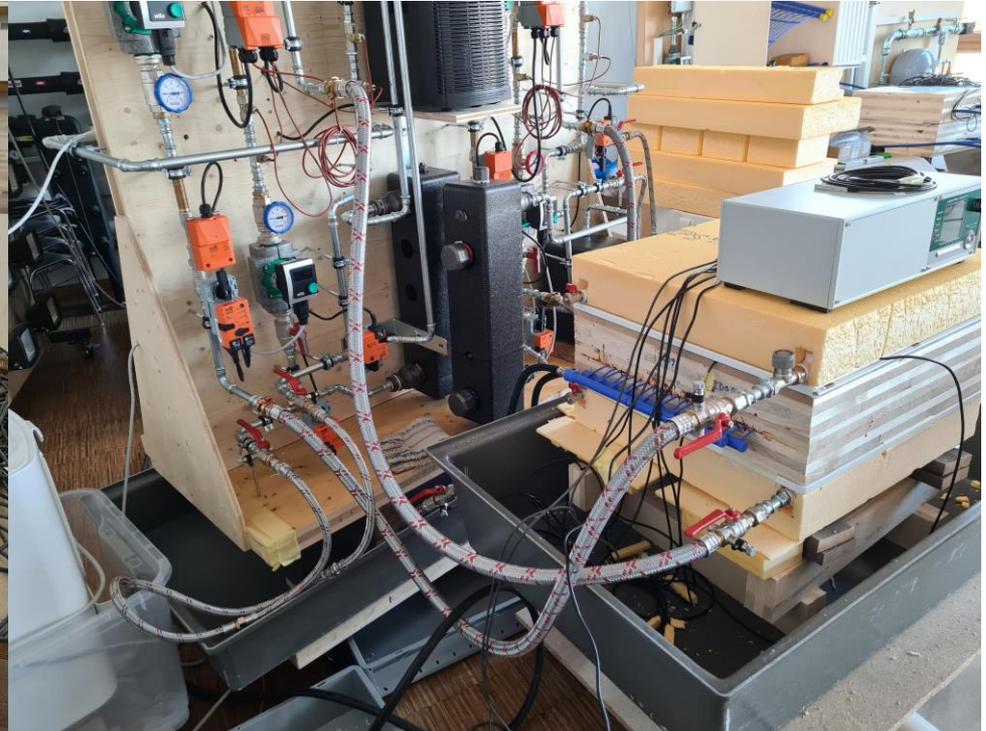
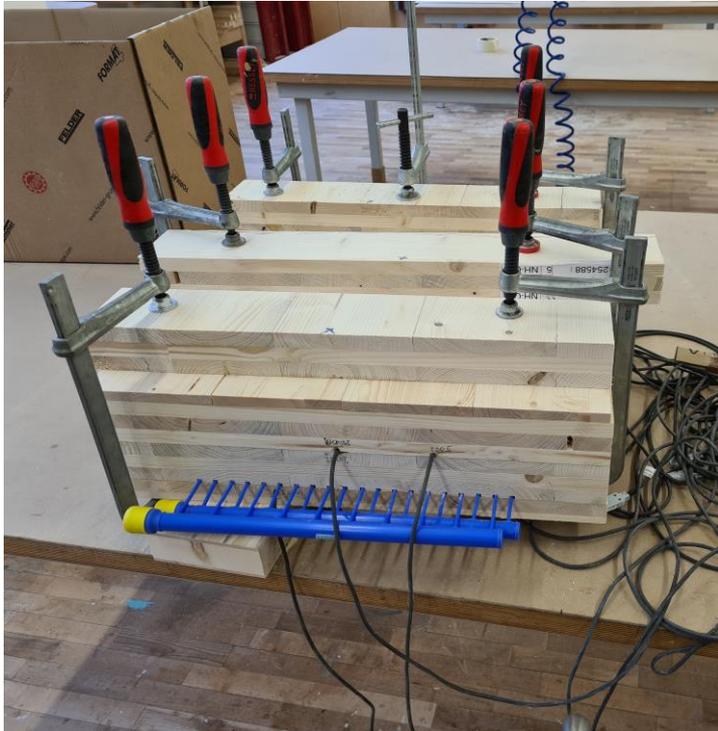
# Bauteilaktivierung Holz



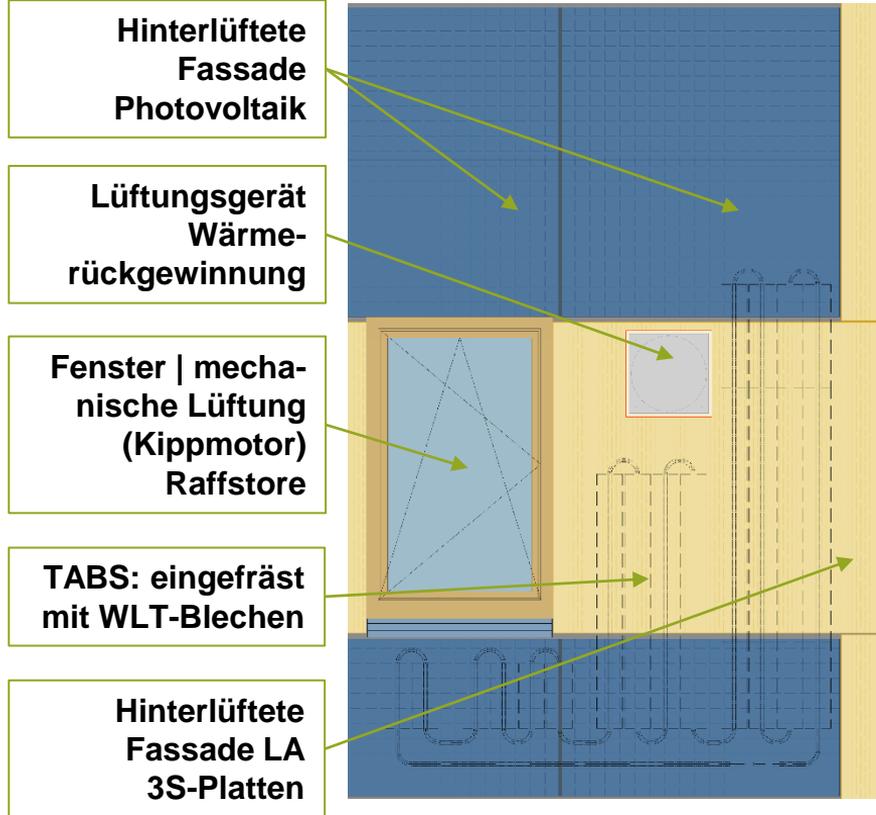
FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



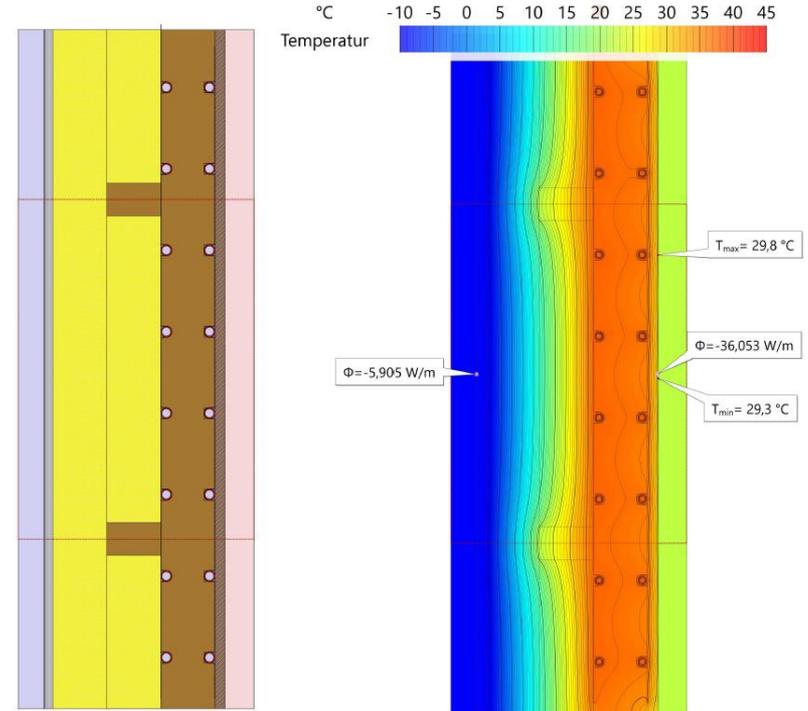
# Multifunktionsfassade



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



# Multifunktionsfassade





FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Bauteilaktivierung in der Sanierung

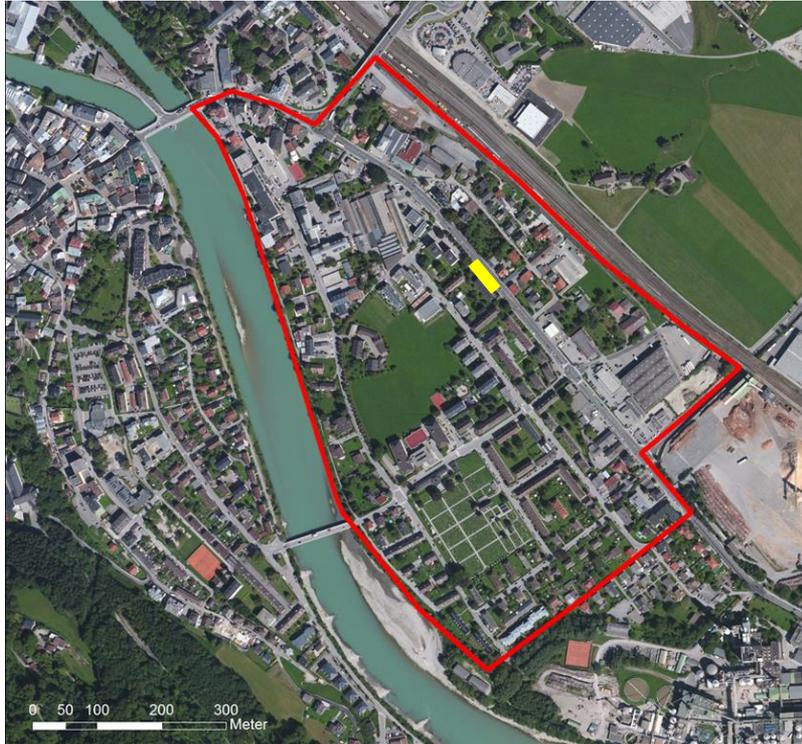
# Projektgebiet



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



Lage des Demobjektes im Projektgebiet innerhalb der Stadt Hallein, eigene Bearbeitung



Lage der Gemeinde Hallein in Österreich  
Quelle: [https://www.sn.at/wiki/images/c/c9/Karte\\_5400.png](https://www.sn.at/wiki/images/c/c9/Karte_5400.png)

# Ziele - Multifunktionsfassade



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- Schonung des Bestandes
- Mieter müssen nicht abgesiedelt werden
- Kooperation mit lokalen Unternehmen
- Vorfertigung
- Schallschutz
- Feuchteschutz
- Dämmung
- Beheizung



Quelle: Architekt Paul Schweizer

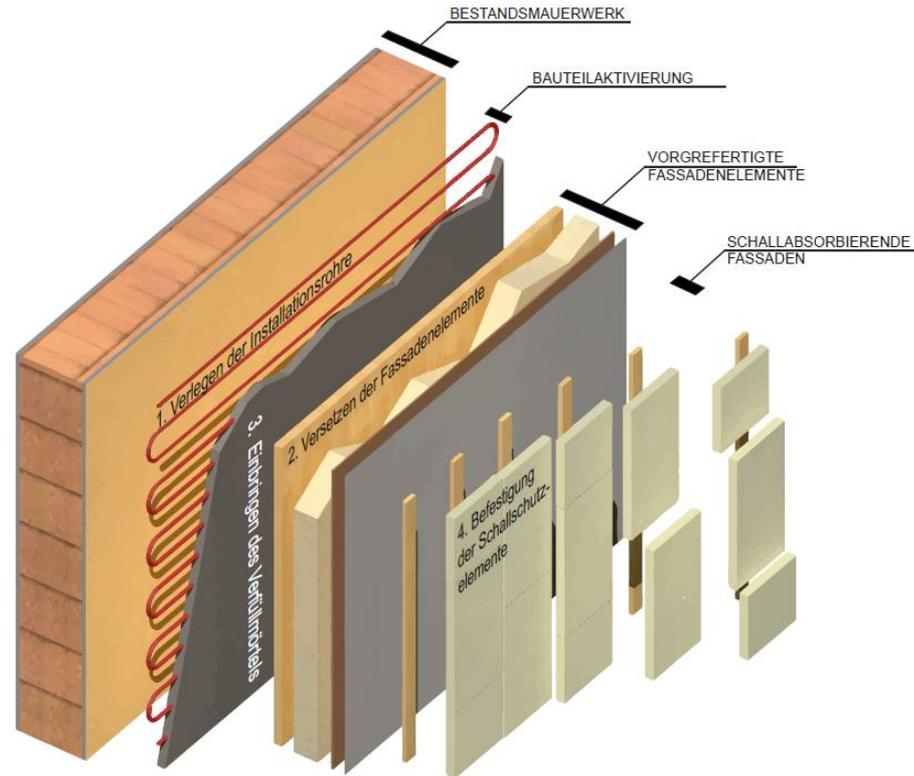
# Aufbau



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



# Monitoring – Regelstrategie

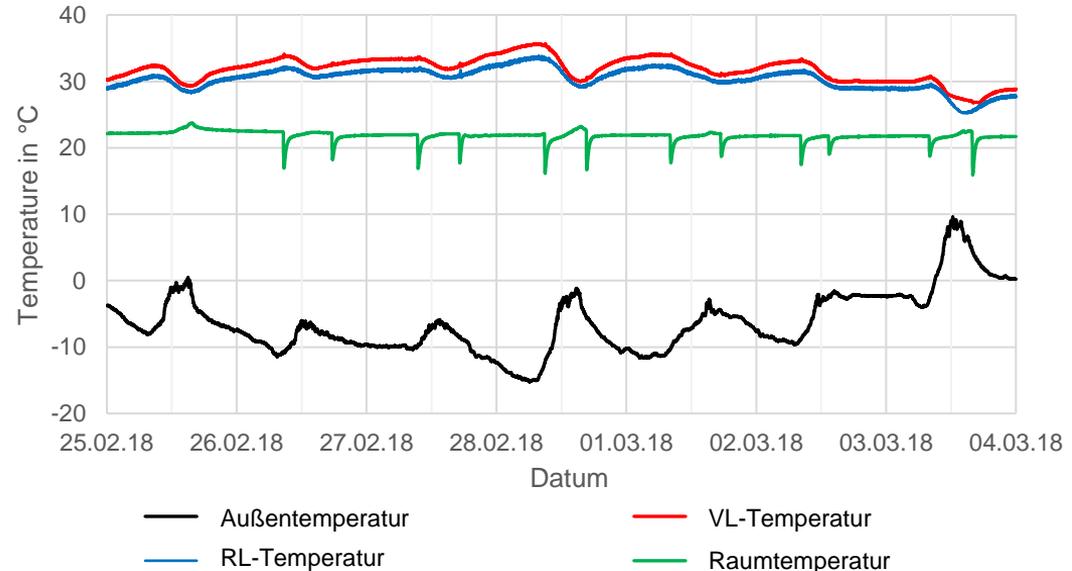


FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- Regelstrategie:
  - 35 °C Vorlauftemperatur bei -15 °C Außentemperatur
  - Lineare Abnahme auf 20 °C bei 20 °C Außentemperatur
  - Dämpfung: Mittelwert 3 h
  - Massenstrom: ~ 470 l/h
- Raumtemperatur: 22 °C
- Lüftung: natürlich



Gemessene Temperaturverläufe, eigene Darstellung

# Monitoring – Ergebnisse Validierung Wärme



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- Zieltemperatur von 21,5 °C kann erreicht und gehalten werden
- Bezogen auf den gesamten Messraum mit 10,62 m<sup>2</sup> ergibt sich eine mittlere spezifische Heizlast des Raumes von 22,98 W/m<sup>2</sup>
- Über die benannte Kälteperiode hinweg beläuft sich die Leistung der Wandheizung auf durchschnittlich 244 W Lüftung: natürlich
- Durch die außenliegenden Heizungselemente wird ein Anteil der Energie nach Außen verloren. D.h. die Überdämmung der außenliegenden Heizungen ist elementar.
- bei einer Vorlauftemperatur von 35°C und einer Raumtemperatur von 20° C macht der Anteil der durch das Fassadenelement als Verlust abgegebenen Energie etwa 35 % aus



Umsetzung Phase 2









  
Salzburg  
Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Monitoringergebnisse 1. Messjahr



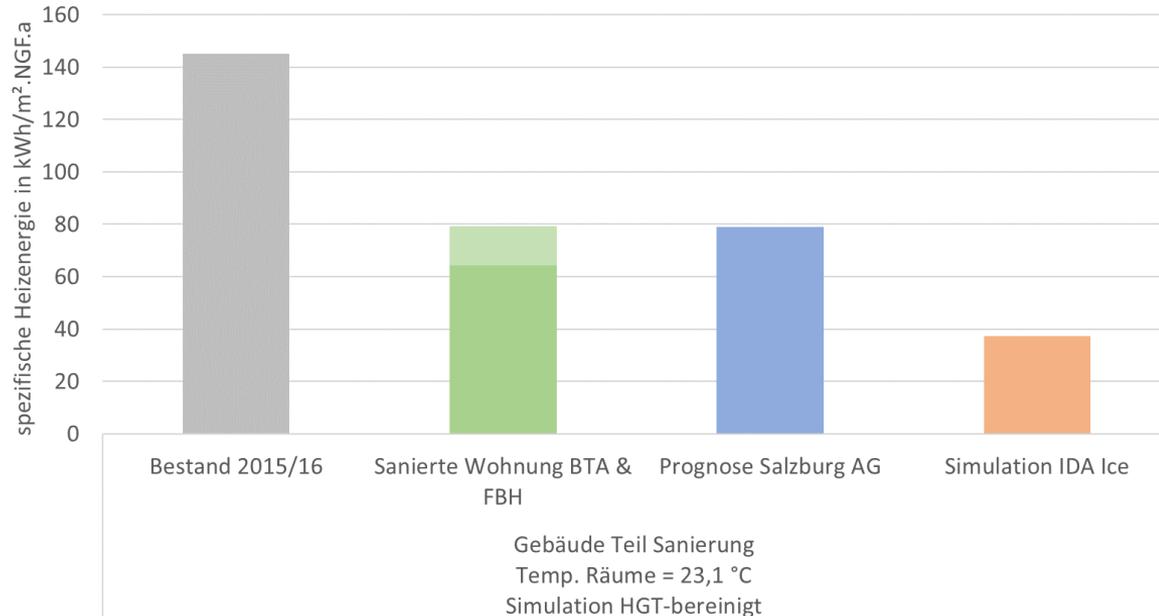
FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- Verbesserung um **45%** im Vergleich zum Bestand
- RT in Heizperiode 01.11.2019 bis 29.02.2020 von 23,1°C
- deutlich erhöhte Raumtemperaturen im Vergleich zur Zieltemperatur von 22°C in der Simulation
- Zusätzlich: teilweise permanente Fensterlüftung festgestellt
- Höhere Vorlauftemperatur tats.
- fehlende Sommerschaltung: auch in den Sommermonaten in einigen Räumen permanent geringfügig zugeheizt

Gegenüberstellung Bestand 2015/16 zu Verbrauch Sanierung Periode  
15.3.2019-14.3.2020, Prognose SAG und Simulation



# Monitoringergebnisse 2. Messjahr



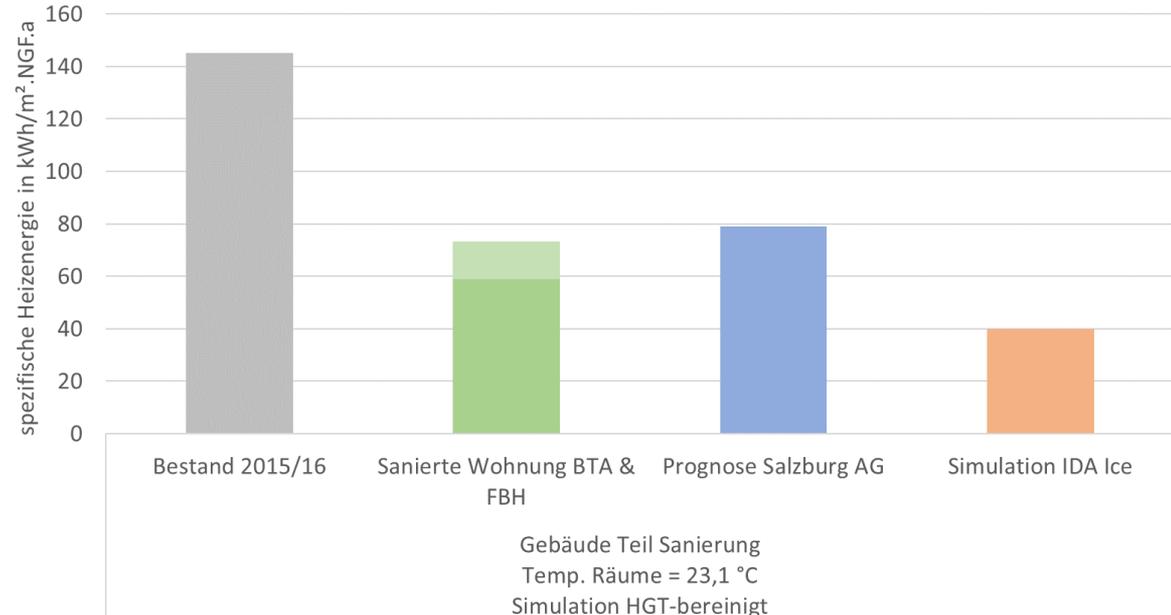
FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- Implementierung Sommerschaltung im August 2020, hydraulischer Abgleich
- Auswertung für gleiche Heizperiode 01.11.2019 bis 29.02.2020
- Verbesserung um **50%** im Vergleich zum Bestand
- Betrachtung einzelner Wohnungen im Verhältnis zu gemittelten Werten für alle Wohnungen  
heterogenes Bild, Einfluss des Nutzerverhaltens wesentlicher Faktor in Verbrauchsstruktur
- Nutzereinschulung  
Bewusstseinsbildung

Gegenüberstellung Bestand 2015/16 zu Verbrauch Sanierung Periode  
08.03.2020 - 07.03.2021, Prognose SAG und Simulation



# weitere Umsetzungen und Ideen



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



*CEPA®-Fassadentechnologie*



*<https://www.klimaaktiv.at/> Große Neugasse in Wien*



# Versuchsgebäude und Prüfstand – Twin<sup>2</sup>Sim

## Manipulation

Prototypenbau  
Einbau  
Messtechnik

## Versuchsflächen Photovoltaik und Solarthermie

BIPV / BAPV  
BIST /BAST  
Langzeitverhalten

## Gebäudehüllen- prüfstand

Behaglichkeit  
Wärme- & Feuchteschutz  
Bauteilaktivierung  
Luftströmung & Lüftung  
Tages- und Kunstlicht  
Integrierte Gebäudetechnik  
Schallschutz  
Digitaler Zwilling

## Versuchsflächen Photovoltaik und Solarthermie

BIPV / BAPV  
BIST /BAST  
Langzeitverhalten

## Multifunktions- labor

Kleinversuche  
Messungen

## Versuchsraum Wasserstoff

Power2Gas  
Brennstoffzelle

## Versuchsflächen Photovoltaik und Solarthermie

BIPV & BIST

## Versuchsräume Gebäudetechnik

Behaglichkeit  
Bauteilaktivierung  
Luftströmung & Lüftung  
Heizung & Kühlung  
Abgabesysteme  
Integrierte Gebäudetechnik  
Automation  
Digitaler Zwilling

## Versuchsräume Fassade

Behaglichkeit  
Wärme- & Feuchteschutz  
Bauteilaktivierung  
Luftströmung & Lüftung  
Tages- und Kunstlicht  
Integrierte  
Gebäudetechnik  
Schallschutz  
Digitaler Zwilling



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Bauteilaktivierung im Neubau

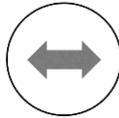
# MGG 22



TBA



Heizen&Kühlen



Netzflexibilität

**Bauherrschaft:** Neues Leben,  
Wien und M2plus Immobilien  
GmbH

**Fertigstellung:** 2019

**Architektur:**

Sophie und Peter Thalbauer;  
Thaler Thaler Architekten;  
Architekt Alfred Charamza

**Fachplanung:** FIN Future in Now



KBF

# MGG 22

## Wohnbauten:

Kombination aus 100 % erneuerbarer Energie (davon mehr als 80 % Wind-Überschuss-Strom), Erdwärme (Tiefensonden) und TBA für Heizen und Kühlen

Sole-Wasser Wärmepumpe und Ausnutzung der Wind-Überschussenergie.

Sämtliche 160 Einheiten sind Mietwohnungen.



Zement + Beton



## IEA ES Task 43

Storage for renewables and flexibility through standardized use of building mass

<https://iea-es.org/task-43/>



A) How can such storages be **built** in new construction and refurbishment?



B) How can they be **operated** and **integrated** into systems?



C) How to do **business** and satisfy (end) **customers** and **residents**?



D) How to increase **reliability** and **trust** in the technology?



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Praxisnahe Berechnungsbeispiele

# Ausgewählte Grundlagen



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- Wie gut muss die Gebäudehülle sein, damit Heizen bzw. Kühlen allein mit Bauteilaktivierung zu empfehlen ist?
- Wie groß soll die aktivierte Bauteilfläche sein?
- Wie wirkt sich die Konstruktion auf die erzielbare Leistung der Bauteilaktivierung aus?
- Wieviel Wärme kann gespeichert werden?

# Übung 1: Wie hoch ist der Wärmestrom im Heiz- bzw. im Kühlfall?

Angaben:

- Geometrie (siehe Bild)
- Raumtemperatur
  - Heizfall: 22°C
  - Kühlfall: 26°C
- Oberflächentemperatur Bauteilaktivierung
  - Heizfall: 26°C
  - Kühlfall: 22°C
- Wärmeübergangskoeffizient (siehe Tabelle)



Formel:

$$\phi = \alpha \cdot (T_1 - T_2) \cdot A$$

- $\phi$  Wärmestrom in Watt
- $\alpha$  Wärmeübergangskoeffizient in  $W/(m^2K)$
- $A$  Fläche der Bauteilaktivierung in  $m^2$
- $T_1$  Oberflächentemperatur Bauteilaktivierung in K
- $T_2$  Temperatur Raumluft in K

Oberfläche	$\alpha [Wm^{-2}K^{-1}]$	Quelle
Decke beheizt	<b>6,50</b>	ÖNorm EN 1264-5
Decke gekühlt	<b>10,80</b>	ÖNorm EN 1264-5
Decke unkonditioniert, Wärmefluss nach unten	<b>5,88</b>	ÖNorm EN ISO 6946
Decke unkonditioniert, Wärmefluss nach oben	<b>10,00</b>	ÖNorm EN ISO 6946
Fußboden beheizt	<b>10,80</b>	ÖNorm EN 1264-5
Fußboden gekühlt	<b>6,50</b>	ÖNorm EN 1264-5

# Übung 1: Wie hoch ist der Wärmestrom im Heiz- bzw. im Kühlfall?

Lösung:

$$\alpha_h = 6.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\alpha_c = 10.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$A = 7 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} = 35 \text{ m}^2$$

$$\text{Heizfall: } \phi = 6.5 \cdot (26 - 22) \cdot 35 = 910 \text{ W} \quad \rightarrow 26.0 \text{ W}/\text{m}^2$$

$$\text{Kühlfall: } \phi = 10.8 \cdot (22 - 26) \cdot 35 = -1512 \text{ W} \quad \rightarrow -43.2 \text{ W}/\text{m}^2$$



Empfohlenes (langfristiges) Komfortkriterium:  $\Delta T = 4 \text{ K}$   
zwischen Oberflächen- und Raumtemperatur

# Übung 2: Wie groß ist die erforderliche Fläche bei gegebener Heiz- bzw. Kühllast?

Angaben:

- Raumtemperatur
  - Heizfall: 22°C
  - Kühlfall: 26°C
- Oberflächentemperatur Bauteilaktivierung
  - Heizfall: 26°C
  - Kühlfall: 22°C
- Wärmeübergangskoeffizient (siehe Tabelle)
- Heiz- und Kühllast:

$$\phi_H = 1900 \text{ W}$$

$$\phi_C = -1700 \text{ W}$$

Formel:

$$\phi = \alpha \cdot (T_1 - T_2) \cdot A$$

Oberfläche	$\alpha$ [Wm <sup>2</sup> K <sup>-1</sup> ]	Quelle
Decke beheizt	<b>6,50</b>	ÖNorm EN 1264-5
Decke gekühlt	<b>10,80</b>	ÖNorm EN 1264-5
Decke unkonditioniert, Wärmefluss nach unten	<b>5,88</b>	ÖNorm EN ISO 6946
Decke unkonditioniert, Wärmefluss nach oben	<b>10,00</b>	ÖNorm EN ISO 6946
Fußboden beheizt	<b>10,80</b>	ÖNorm EN 1264-5
Fußboden gekühlt	<b>6,50</b>	ÖNorm EN 1264-5

# Übung 2: Wie groß ist die erforderliche Fläche bei gegebener Heiz- bzw. Kühllast?

Lösung:

$$\text{Heizfall: } A = 1900 / (6.5 \cdot (26 - 22)) = 73 \text{ m}^2$$

$$\text{Kühlfall: } A = 1700 / (10.8 \cdot (22 - 26)) = 39 \text{ m}^2$$

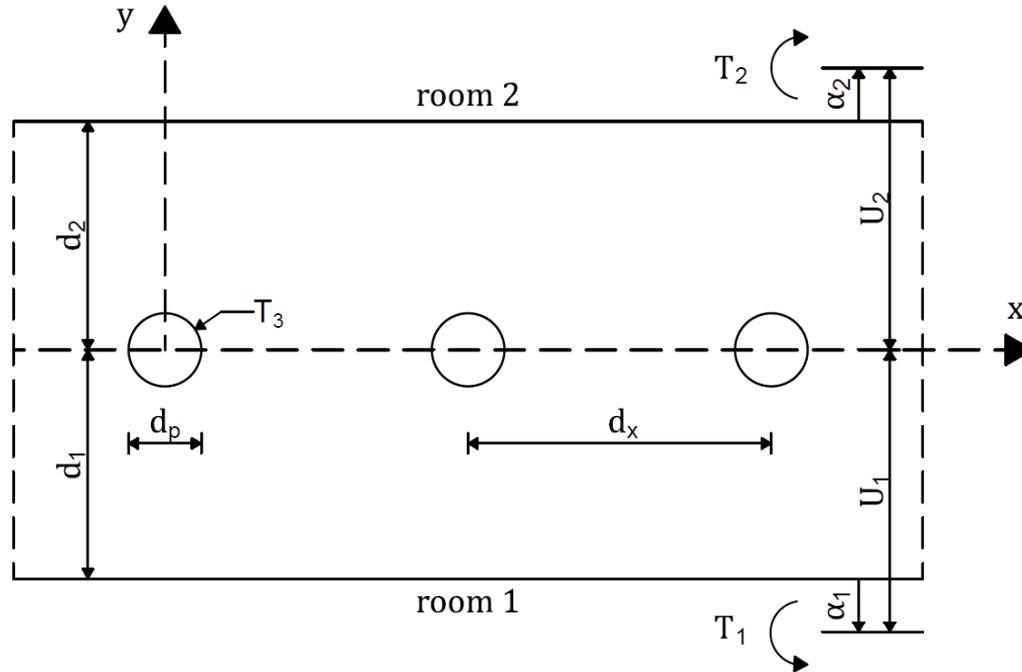
# Wärmeverteilung im Bauteil



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN



## Nomenklatur

$d$	Schichtdicke
$d_p$	Rohrdurchmesser
$d_x$	Rohrabstand
$T$	Temperatur
$U$	Wärmedurchgangskoeffizient
$x$	Koordinate, horizontal
$y$	Koordinate, vertikal
$\alpha$	Wärmeübergangswiderstand

Flächenbezogene Wärmeabgabeleistung  $q$  ?

# Übung 3: Wie hoch ist die flächenbezogene Wärmeabgabeleistung?



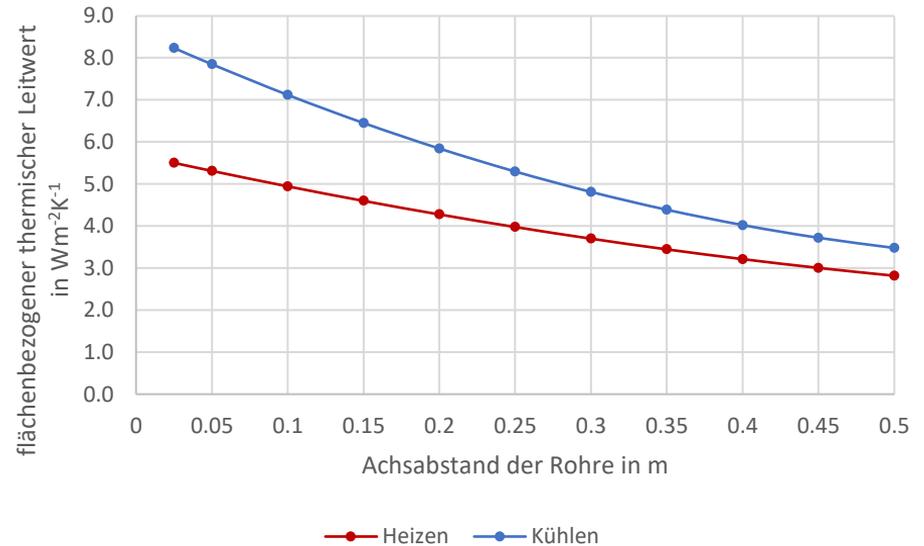
FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

In sehr guter Näherung ist  $q$  proportional zur Differenz aus der Temperatur des Heizmittels im Rohr  $\theta_r$  und der Solltemperatur im unter der Decke liegenden Raum  $\theta_u$ . Es gilt somit:

$$q = \Lambda_{r,u} \cdot (\theta_r - \theta_u)$$



Abhängigkeit des flächenbezogenen thermischen Leitwerts  $\Lambda_{r,u}$  vom Achsabstand der Rohre in Beton © Klaus Krec̃

# Übung 3: Wie hoch ist die flächenbezogene Wärmeabgabeleistung?

Angaben:

- Koeffizienten zur Berechnung von  $\Lambda_{r,u}$  (siehe Tabelle, Angaben für folgendes System: Rohr 17x2 mm; Betonüberdeckung 5 cm)
- Rohrabstand: 15 cm
- Raumtemperatur
  - Heizfall: 22°C
  - Kühlfall: 26°C
- Heizmitteltemperatur
  - Heizfall: 27°C
  - Kühlfall: 21°C

Formeln:

$$q = \Lambda_{r,u} \cdot (\Theta_r - \Theta_u)$$

$$\Lambda_{r,u} = a \cdot d^2 + b \cdot d + c$$

$q$	flächenbezogene Wärmeabgabeleistung in W/m <sup>2</sup>
$\Lambda_{r,u}$	flächenbezogener thermischer Leitwert in W/(m <sup>2</sup> K)
$\Theta_r$	Heizmitteltemperatur in K
$\Theta_u$	Temperatur Raumluft in K
$d$	Rohrabstand in m
$a, b, c$	Koeffizienten

	a	b	c
Heizung	4,53	-8,04	5,70
Kühlung	12,20	-16,43	8,64

Quelle: Energiespeicher Beton (Kreč, 2016)

# Übung 3: Wie hoch ist die flächenbezogene Wärmeabgabeleistung?

Lösung:

Heizfall:

$$\Lambda_{r,u,h} = 4.53 \cdot 0.15^2 - 8.04 \cdot 0.15 + 5.7 = 4.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$q_h = 4.6 \cdot (27 - 22) = 23 \text{ W}/\text{m}^2$$

Kühlfall:

$$\Lambda_{r,u,c} = 12.2 \cdot 0.15^2 - 16.43 \cdot 0.15 + 8.64 = 6.45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$q_c = 6.45 \cdot (21 - 26) = -32.25 \text{ W}/\text{m}^2$$

Um die in Übung 1 berechnete Heizleistung ( $26.0 \text{ W}/\text{m}^2$ ) bzw. Kühlleistung ( $-43.2 \text{ W}/\text{m}^2$ ) mit gegebenem System zu erreichen, muss die Heizmitteltemperatur erhöht (bzw. im Kühlfall abgesenkt) werden.

# Übung 4: Wie groß ist der erforderliche Rohrabstand?

Angaben:

- Koeffizienten zur Berechnung von  $\Lambda_{r,u}$  (siehe Tabelle, Angaben für folgendes System: Rohr 17x2 mm; Betonüberdeckung 5 cm)
- Raumtemperatur: 22°C
- Heizmitteltemperatur: 27°C
- Heizlast: 19 W/m<sup>2</sup>

	a	b	c
Heizung	4,53	-8,04	5,70
Kühlung	12,20	-16,43	8,64

Quelle: Energiespeicher Beton (Kreč, 2016)

Formeln:

$$q = \Lambda_{r,u} \cdot (\Theta_r - \Theta_u)$$

$$\Lambda_{r,u} = a \cdot d^2 + b \cdot d + c \leftarrow \mathbf{a-b-c-Formel} \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$q$	flächenbezogene Wärmeabgabeleistung in W/m <sup>2</sup>
$\Lambda_{r,u}$	flächenbezogener thermischer Leitwert in W/(m <sup>2</sup> K)
$\Theta_r$	Heizmitteltemperatur in K
$\Theta_u$	Temperatur Raumluft in K
$d$	Rohrabstand in m
$a, b, c$	Koeffizienten

# Übung 4: Wie groß ist der erforderliche Rohrabstand?



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

Lösung:

$$\Lambda_{r,u,h} = 19 / (27 - 22) = 3.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$d = \frac{-(-8.04) - \sqrt{-8.04^2 - 4 \cdot 4.53 \cdot (5.7 - 3.8)}}{2 \cdot 4.53} = 0.28 \text{ m}$$

**Schlussfolgerung:** wird zum Beispiel ein Rohrabstand von 0.25 m gewählt, so kann die erforderliche Heizlast von 19 W/m<sup>2</sup> jedenfalls abgedeckt werden

Exceltool verfügbar unter: <https://www.bauteilaktivierung.info/tba-planung/gebaeudetechnik/>

## Übung 5: Wieviel Wärme kann gespeichert werden? Wie groß müsste ein äquivalenter Pufferspeicher sein?



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

Angaben:

- Wohnfläche: 70 m<sup>2</sup>
- Deckenstärke: 20 cm
- Dichte
  - Beton: 2300 kg/m<sup>3</sup>
  - Wasser: 1000 kg/m<sup>3</sup>
- Spezifische Wärmekapazität
  - Beton: 1000 J/(kgK)
  - Wasser: 4190 J/(kgK)
- Temperaturdifferenz
  - Bauteilaktivierung:  $\Delta T = 4 \text{ K}$
  - Pufferspeicher:  $\Delta T = 40 \text{ K}$

Formel:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

## Übung 5: Wieviel Wärme kann gespeichert werden? Wie groß müsste ein äquivalenter Pufferspeicher sein?

Lösung:

$$\Delta Q = 2300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 14 \text{m}^3 \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 4 \text{K} = 128800 \text{ kJ} \quad \rightarrow \frac{128800}{3600} = 35.8 \text{ kWh}$$

$$V = \frac{128800}{1000 \cdot 4.19 \cdot 40} = 0.768 \text{m}^3 \rightarrow 768 \text{ l}$$

## Übung 5: Wieviel Wärme kann gespeichert werden? Wie groß müsste ein äquivalenter Pufferspeicher sein?

Erhöhung  $\Delta T = 8 \text{ K}$ :

$$\Delta Q = 2300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 14 \text{m}^3 \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 8 \text{K} = 257600 \text{ kJ} \quad \rightarrow \frac{257600}{3600} = 71.6 \text{ kWh}$$

$$V = \frac{257600}{1000 \cdot 4.19 \cdot 40} = 1.54 \text{m}^3 \rightarrow 1540 \text{ l}$$

Schlussfolgerung: großes Speicherpotential durch thermische Bauteilaktivierung vorhanden.  
Vorteile: Lastverschiebung, bessere Nutzbarkeit von erneuerbarer Energie...

# Fazit

- Grobauslegung der Bauteilaktivierung mit einfachen Berechnungen möglich
- Detailliertere Berechnungen und individuelle Systeme:
  - Berechnung nach ÖNORM EN 1264-2 und 1264-5
  - Dynamische Gebäude- oder Bauteilsimulationen
- Detaillierte Heizlastberechnung mit PHPP oder dynamischer Gebäudesimulation notwendig

# Planungsleistungen für thermische Bauteilaktivierung

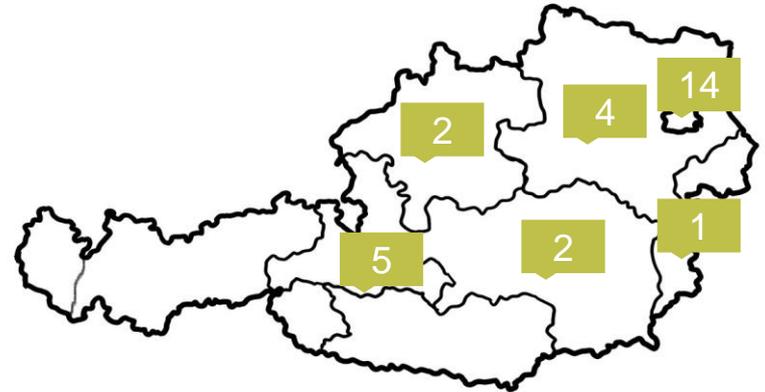


- Beauftragung von **Planungsdienstleistungen** für die Konditionierung von konkreten **Geschoßwohngebäuden** mit optimierter Nutzung erneuerbarer Energie durch den Einsatz von **thermisch aktivierten Gebäudemassen als Wärmespeicher**
- Zur stärkeren Nutzung von
  - **lokal erzeugter erneuerbarer Energie (30%)**
  - **erneuerbarem „Überschussstrom“ (50%)** aus dem Netz (Lastverschiebung)
  - **Flexibilisierungsoptionen** in Mikro-, Nah- und Fernwärmenetzen, z.B.:
    - Leistungsverschiebung
    - Nutzung des Fernwärmerücklaufs
- **Zielgruppe**
  - Wohnungs-Neubauten mit min. 5 Wohneinheiten
  - Innovative Sanierungen von Geschoßwohnbauten

# Zahlen Daten Fakten



- 28 Projekte laufend
- 8 Projekte Meilenstein 1 (Detail- und Umsetzungsplanung) erreicht
- 160.000 m<sup>2</sup> BGF
- ca. 1.850 Wohneinheiten
- 2 Sanierungsprojekte
- 3 Projekte im wissenschaftlichen Monitoring
- **Achtung: Anträge können bis 15.12.2023 12:00 Uhr gestellt werden**



# Planungsleistungen für thermische Bauteilaktivierung



Details zum Programm und zu den Förderbedingungen [www.tba.klimafonds.gv.at](http://www.tba.klimafonds.gv.at)



Informationsseite zum Thema „Thermische Bauteilaktivierung“  
[www.bauteilaktivierung.info](http://www.bauteilaktivierung.info)



Fact Sheet „Bauteilaktivierung“ [www.bauteilaktivierung.info/factsheet](http://www.bauteilaktivierung.info/factsheet)



Innovationslandkarte Bauteilaktivierung / Projekte  
<https://www.zukunft-bau.at/innovationslandkarte/bauteilaktivierung>



Allgemeine Infos <https://www.klimafonds.gv.at/service/anmeldung-newsverteiler/>





FH Salzburg



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

# Kontakt

Michl Moltinger

[michael.moltinger@fh-salzburg.ac.at](mailto:michael.moltinger@fh-salzburg.ac.at)

T [+43 50 2211-2718](tel:+435022112718)

Markus Leeb

[markus.leeb@fh-salzburg.ac.at](mailto:markus.leeb@fh-salzburg.ac.at)

T [+43 50 2211-2703](tel:+435022112703)

Daniel Heidenthaler

[daniel.heidenthaler@fh-salzburg.ac.at](mailto:daniel.heidenthaler@fh-salzburg.ac.at)

T [+43 50 2211-2726](tel:+435022112726)

Technik  
Gesundheit  
Medien

# Literaturverzeichnis



FH Salzburg  
Smart Building



ZENTRUM  
ALPINES  
BAUEN

- Austrian Standards International (2021), ÖNORM EN 1264-2. Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung - Teil 2: Fußbodenheizung: Prüfverfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung unter Benutzung von Berechnungsmethoden und experimentellen Methoden
- Austrian Standards International (2021), ÖNORM EN 1264-5. Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung - Teil 5: Bestimmung der Wärmeleistung von Wand- und Deckenheizung sowie Kühlleistung von Fußboden-, Wand- und Deckenkühlung
- Friembichler, F., Handler, S. & Krec, K. (2016). Thermische Bauteilaktivierung. Energiespeicher Beton : Planungsleitfaden Einfamilien- und Reihenhäuser (Berichte aus der Energie- und Umweltforschung, 1. Auflage).
- Heidenthaler, D.; Leeb, M.; Schnabel, T.; Huber, H. (2021): Comparative analysis of thermally activated building systems in wooden and concrete structures regarding functionality and energy storage on a simulation-based approach, Energy, 121138 (2021), 10.1016/j.energy.2021.121138
- Heidenthaler, D., Gnigler, M., Leeb, M., Embacher, M. & Schweizer, P. (2019). Life-Cycle Costs of a Minimally Invasive Refurbishment Approach in Comparison to a Standard Refurbishment. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (S. 12003).
- Kreč, K. (2016). Energiespeicher Beton (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Hrsg.) (Berichte aus der Energie- und Umweltforschung).
- Schmidt, C.; Luther, G.; Altgeld, H.; Maas, S.; Groß, B.; Scholzen, F. (2017): „Außenliegende Wandtemperierung“ – LowEx-Anwendung zur Temperierung von Bestandsgebäuden und thermischen Aktivierung der Bestandswand: theoretische Grundlagen und Kennwerte, Bauphysik 39, Heft 4, 10.1002/bapi.201710028