

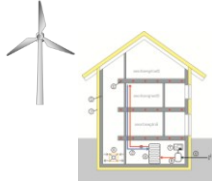


Energieinfrastruktur der Zukunft: Projekt Windheizung 2.0

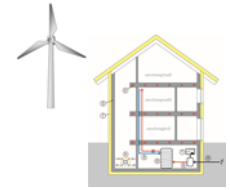
Energiespeicherung und
Stromnetzregelung
mit hocheffizienten Gebäuden

Martina Reinwald
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Martina.Reinwald@lfu.bayern.de

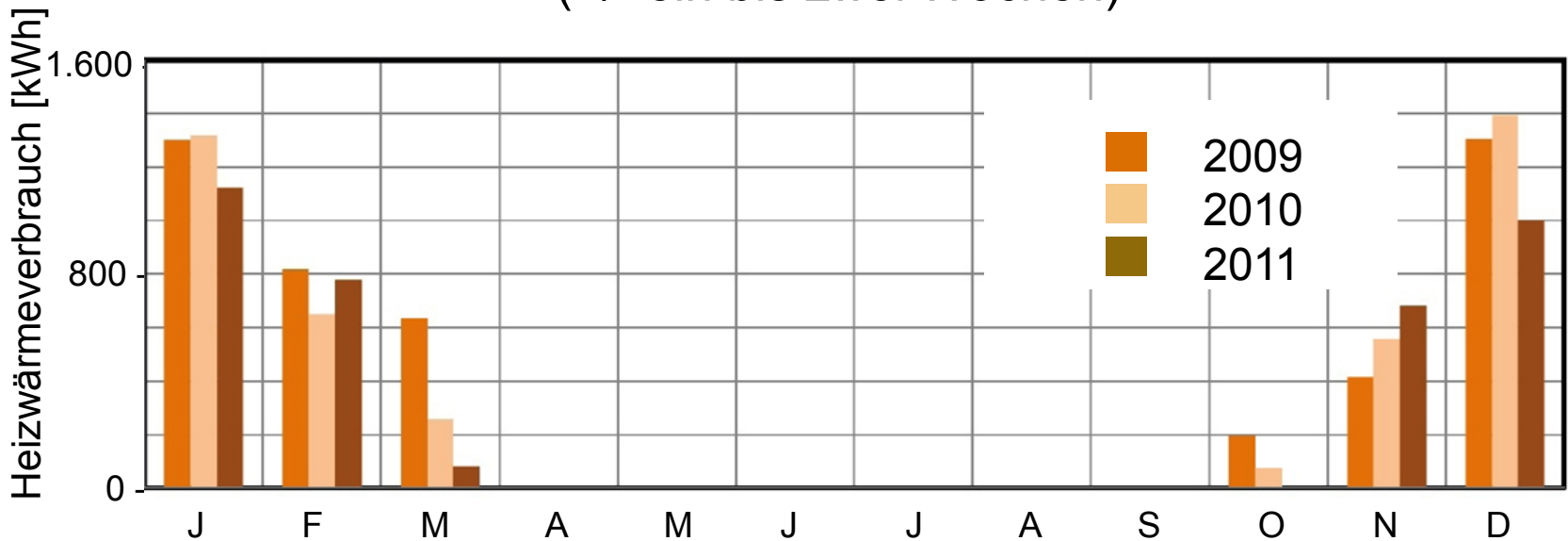
Gliederung des Vortrags

1. Ausgangslage 
2. Projektziele 
3. Projektdurchführung 
4. Ergebnisse 
5. Ausblick 

Ausgangslage



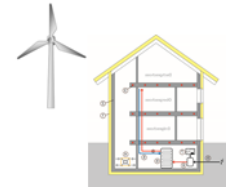
- **Hohe Kosten** für das **Heizsystem**, auch für **hocheffiziente Gebäude**
- **Kurze Heizperiode:** von Anfang November bis Ende Februar
(+/- ein bis zwei Wochen)



Heizwärmeverbrauch in einem Passivhaus im 3-Jahresvergleich

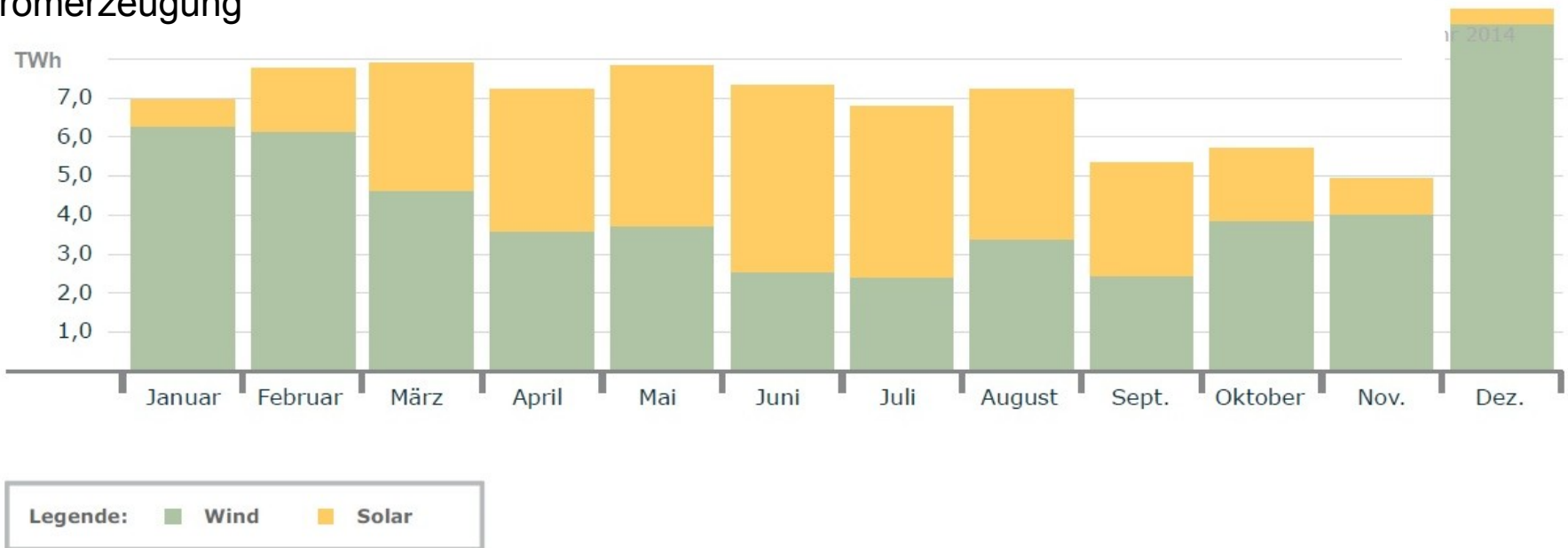
Quelle: Eigene Messungen im Passivhaus

Monatliche Stromerzeugung in Deutschland in 2014



Stromerzeugung aus **Wind** ist im **Winter doppelt so hoch wie im Sommer**
 → deckt sich mit Heizperiode hocheffizienter Gebäude

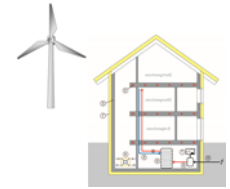
Stromerzeugung



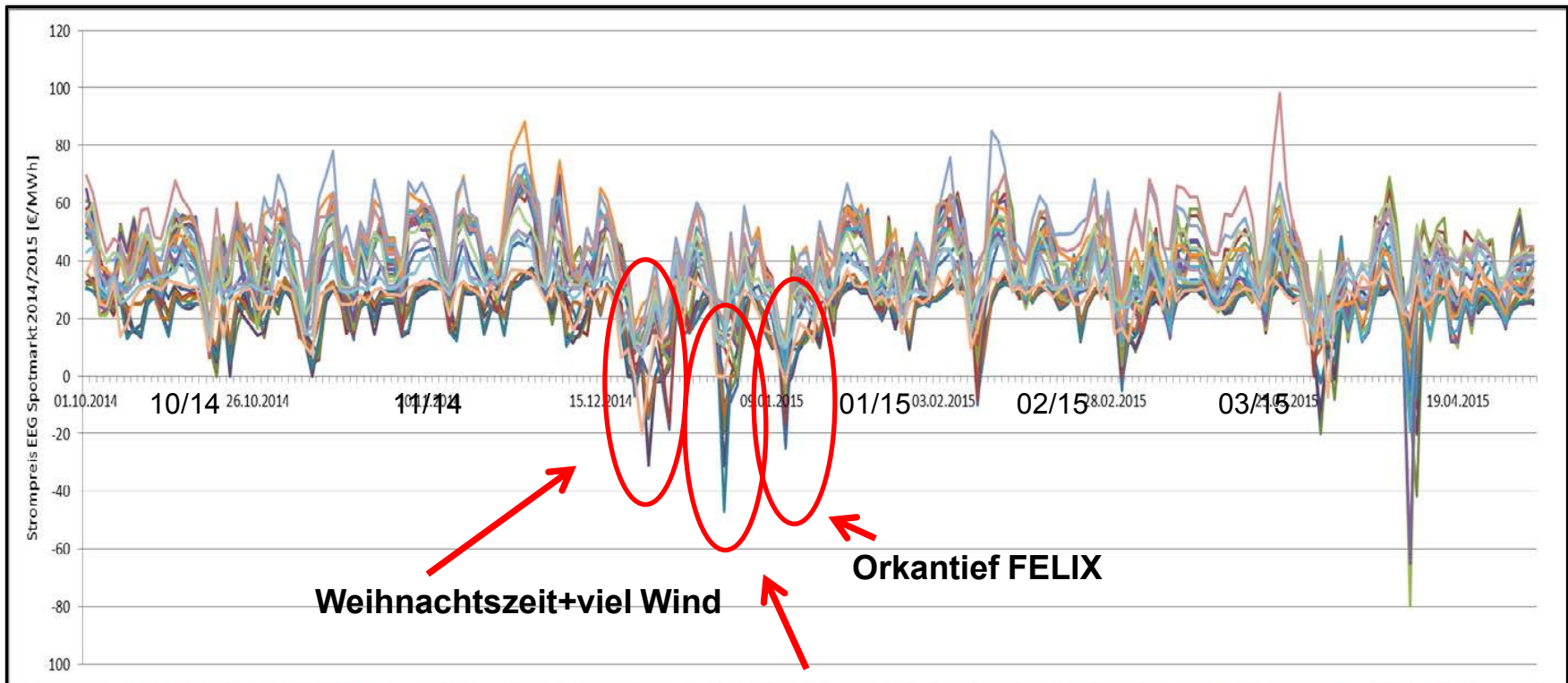
Quelle: Fraunhofer ISE. Online im Internet (26.04.2016):
<http://www.energiegenossenschaft-mainkinzigtal.de/images/FraunhoferSeite12.jpg>



Börsenstrompreise im Winter 2014/15



Auftreten von **negativen Strompreisen** an der Börse bei Stromüberschüssen, u. a. ausgelöst durch Winterstürme



Quelle: Fraunhofer IBP

02.01.2015

Gliederung des Vortrags

1. Ausgangslage 
2. Projektziele 
3. Projektdurchführung 
4. Ergebnisse 
5. Ausblick 

Projektrahmen



Versorgungssicherheit/
Systemverträglichkeit



Wirtschaftlichkeit



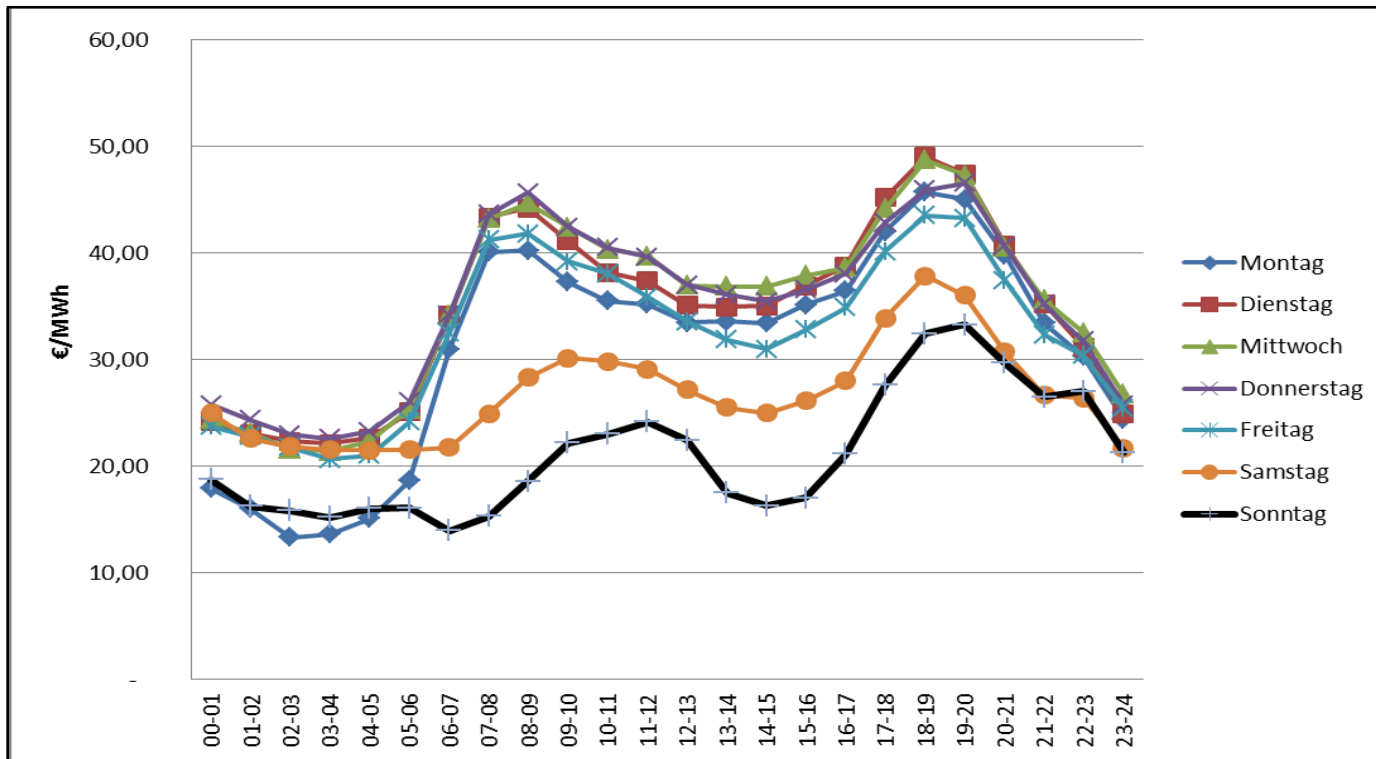
Nutzerkomfort



Umweltverträglichkeit



Durchschnittlicher Intraday Preis am Spotmarkt Phelix EEX, Heizperiode 2014/2015



Quelle: Fraunhofer IBP



Projektziele



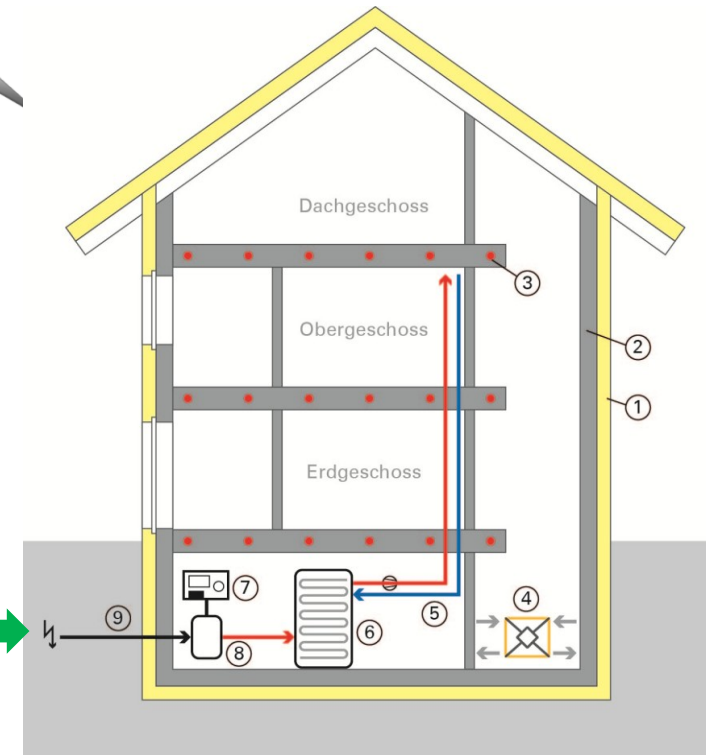
- **Kostengünstiges Beheizungssystem** für hocheffiziente Gebäude
- **Stromnetzdienliche Abnahme:**
 - Erzeugungsorientiert: Stromabnahme bei „Stromüberschuss“
 - Lastorientiert: Stromabnahme bei geringer Stromnachfrage



Grundvoraussetzungen für das Erreichen der Projektziele



- **hocheffizientes Gebäude**
- **viel Energie in kurzer Zeit aufnehmen**
- **Massen zur Speicherung und Pufferung**



→ Überbrückung **möglichst langer Zeit ohne weitere Wärmezufuhr**
(1 - 2 Wochen)



Vergleich Wetterstationen, Heizperiode 1.10. – 31.3.



	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
Finken	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	2,9	6
Mittelwert	9,2	37,1	33,1	4,2	12,8

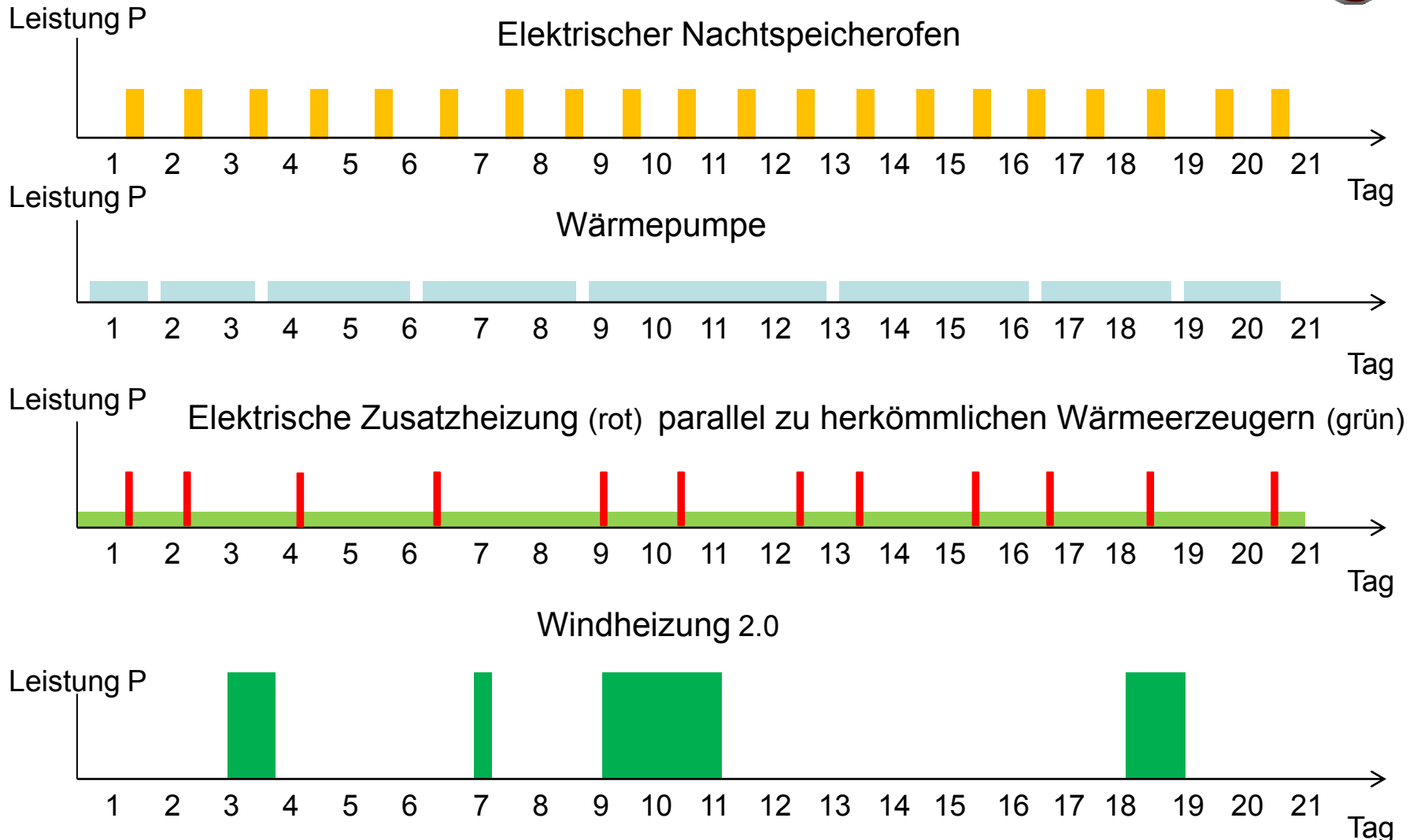
Quelle: DWD, Durchschnitt aus den Wetterjahren 2003 bis 2013

→ Dauer eines durchschnittlichen Starkwindereignisses: 9 Stunden

→ Dauer zwischen zwei Starkwindereignissen: 12,8 Tage



Stromabnahme verschiedener PtH-Systeme (exemplarisch)



Gliederung des Vortrags

1. Ausgangslage 
2. Projektziele 
3. Projektdurchführung 
4. Ergebnisse 
5. Ausblick 

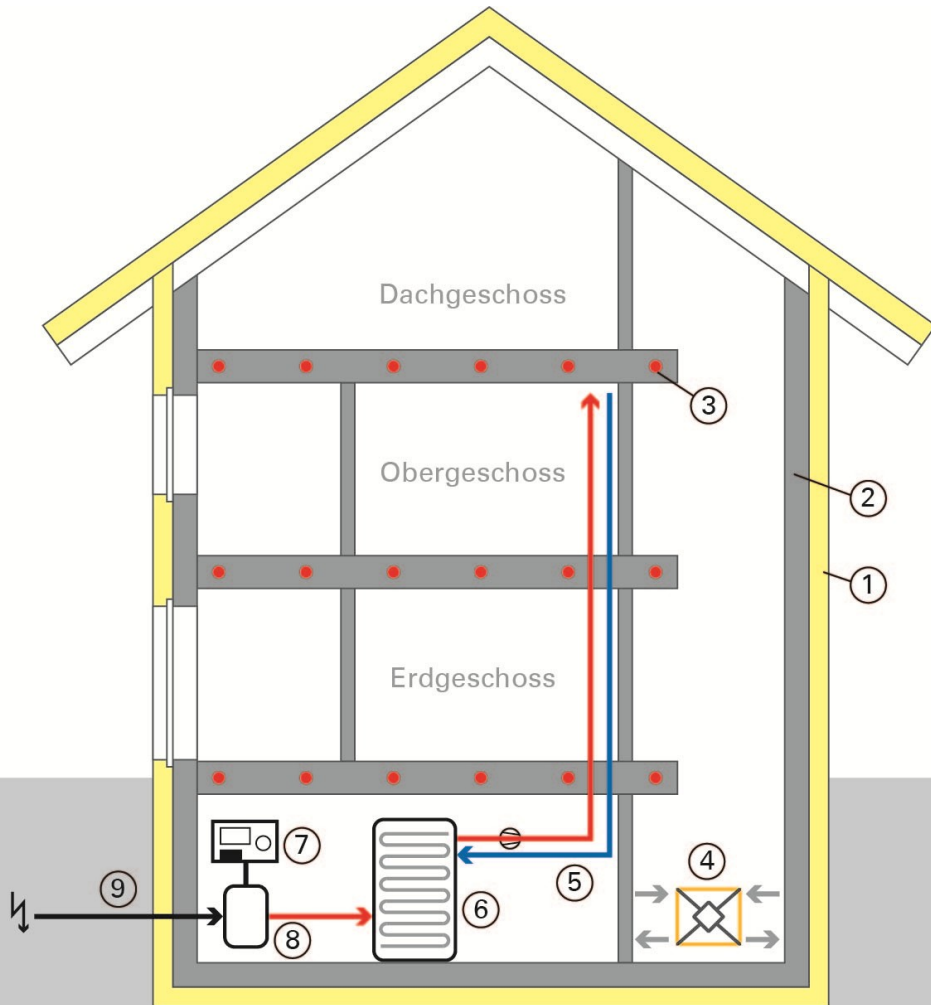
Projektdurchführung



- Erste **Messungen** in einem Versuchsgebäude mit Betonkernaktivierung
 - Grobanalyse verschiedener **TGA-Varianten**
 - Durchführung von umfangreichen **Gebäudesimulationen**
- „**Erfolgsfaktoren und Hemmnisse**“ für die Gebäudekonstruktion



Aufbau des Versuchsgebäudes



Versuchsgebäude Schema Wohnhaus im Passivhausstandard

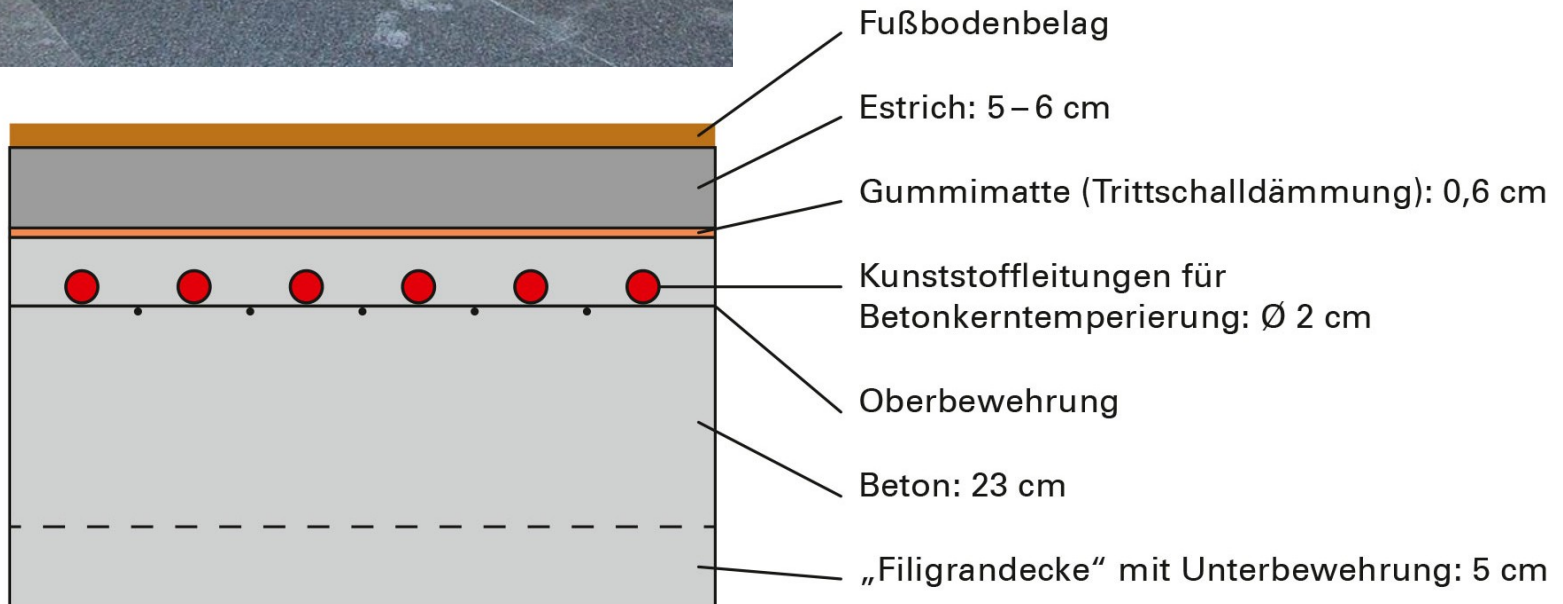
- ① Wärmedämmung
- ② Massive Bauteile
- ③ Bauteilaktivierung (BTA)
- ④ Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- ⑤ Vor- und Rücklauf BTA
- ⑥ Pufferspeicher, 2500 l
- ⑦ Regelungseinheit
- ⑧ Wärmeerzeugung mittels Überschussstrom, 25 kW
- ⑨ Stromanschluss

Quelle: Eigene Darstellung

Aufbau der Bauteilaktivierung



Wärmedurchlässige Trittschalldämmung aus 6 mm Gummimatten unter dem Fließestrich



Nutzerkomfort

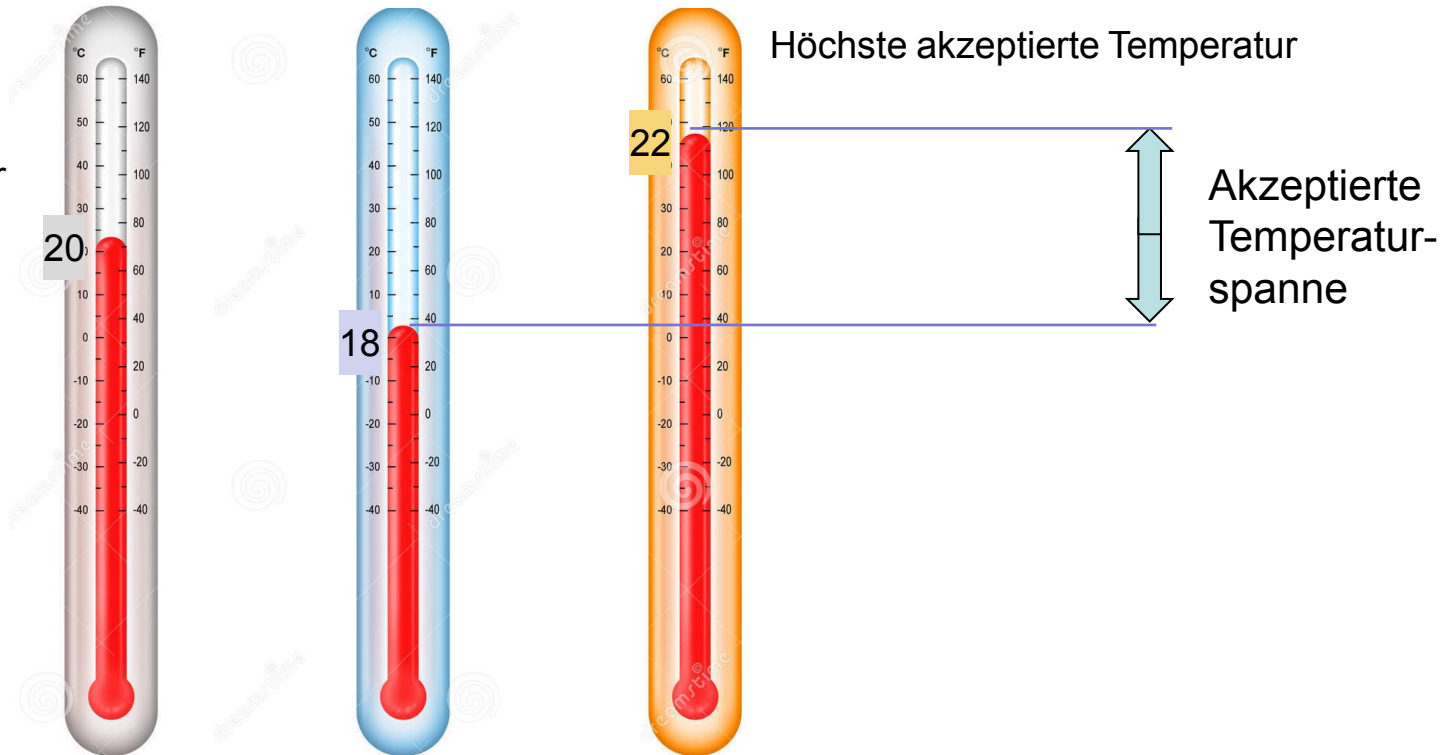


Der Nutzer entscheidet selbst über die Temperaturhöhe und –breite.

Niedrigste akzeptierte Temperatur

Höchste akzeptierte Temperatur

Durchschnittliche individuelle Wohlfühltemperatur



Gliederung des Vortrags

1. Ausgangslage 
2. Projektziele 
3. Projektdurchführung 
4. Ergebnisse 
5. Ausblick 



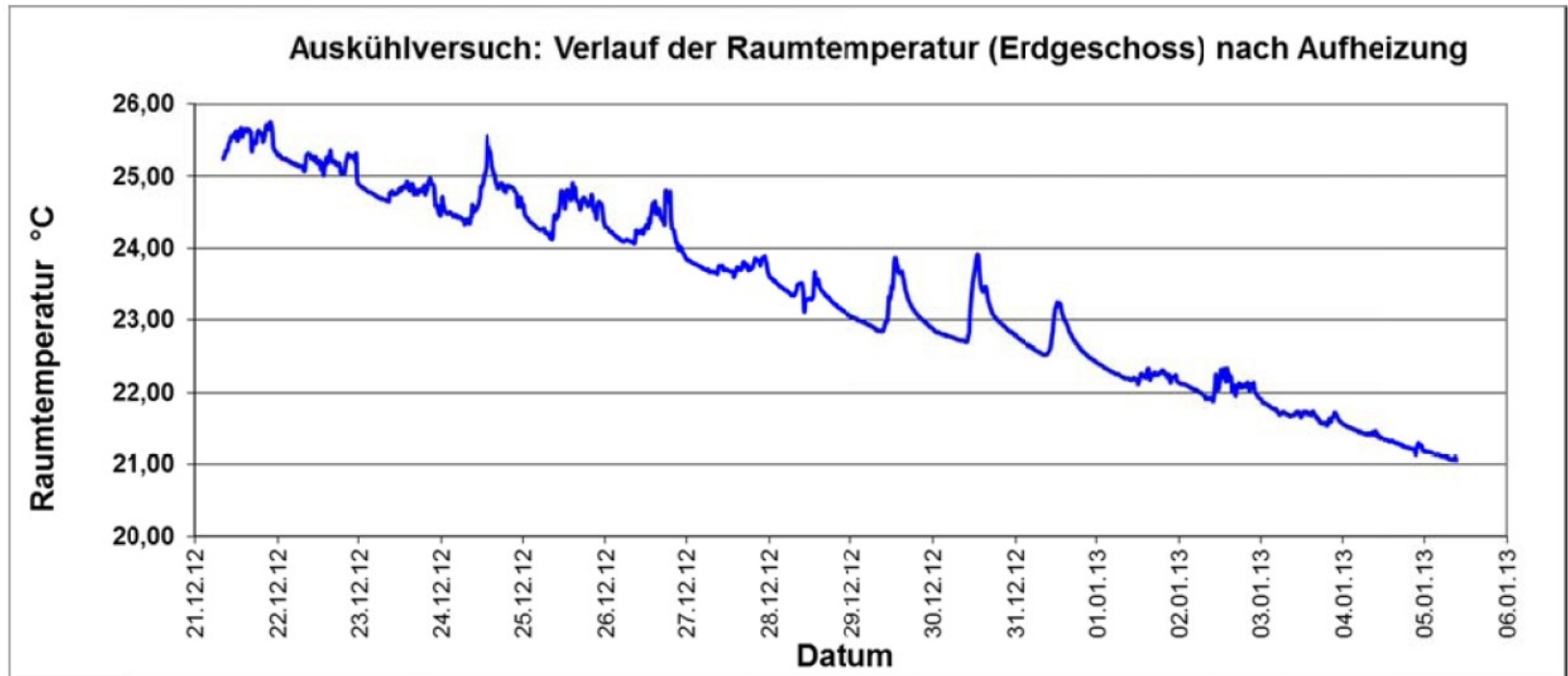
Projektergebnisse aus dem Versuchsgebäude



- Demonstration einer **vollautomatischen Steuerung** anhand ausgewählter Parameter (Versuchssignal Windenergieanlagen)
- Es konnte ein **hoher Wohnkomfort** erzielt werden für Nutzer, die 2 Kelvin Raumtemperaturschwankung akzeptieren (hier 22 – 24 °C).
- **Hohes Lastverschiebepotential:**
 - herkömmliche Power-to-Heat-Systeme = 1 Tag
 - Windheizung 2.0 > 1 Woche



Messergebnisse Speicherversuch im Versuchsgebäude



Quelle: Eigene Darstellung aus Versuchsergebnissen

→ **extreme Speicherwirkung** des massiven hocheffizienten Gebäudes:
Auskühlung des Gebäudes in 15 Tagen um 4,5 Grad nach vorheriger Aufladung



Betrachtung möglicher Technologien



Erstellung einer Matrix mit sinnvollen Kombinationsmöglichkeiten:

- der verschiedenen Baumaterialien:
Ziegel, Beton, Holz
- Strom-Wärmewandlern:
Durchlauferhitzer, Luft-Wärmepumpe
- verschiedenen Speichermöglichkeiten:
Wasserspeicher, Bauteilaktivierung (BTA)
- Wärme-Übergabe-Systeme:
Fußbodenheizung, Radiatoren, Decken , Wände



Varianten für die Detailanalyse – Beispiel EFH Neubau



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Durchlauferhitzer/Heizschwert	Strom-Wärmewandler								
Luft-Wärmepumpe									
Kleiner Speicher (Auslegungssp.)									
Großer Speicher (Windperiodensp.)									
BTA-Decke	Wärme-Übergabe-Systeme								
BTA-Innenwände									
BTA-Decke Überdämmt									
BTA-Innenwände Überdämmt									
Deckenoberflächen									
Wandoberflächen									
Fußbodenheizung									
Radiatoren									

Varianten für die Detailanalyse – Beispiel EFH Neubau



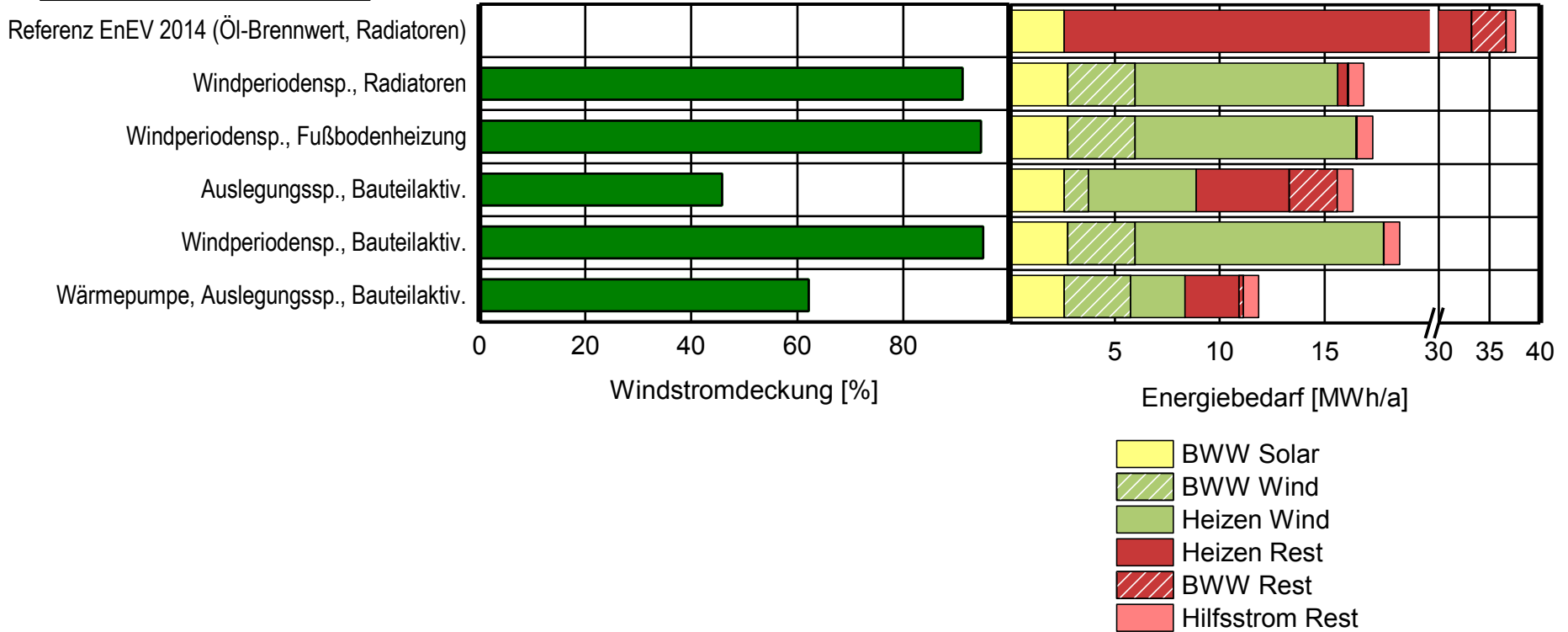
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Durchlauferhitzer/Heizschwert	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Luft-Wärmepumpe					x				
Kleiner Speicher (Auslegungssp.)			x		x				x
Großer Speicher (Windperiodensp.)	x	x		x		x	x	x	
BTA-Decke			x	x	x				
BTA-Innenwände						x			
BTA-Decke Überdämmt									x
BTA-Innenwände Überdämmt									
Deckenoberflächen							x		
Wandoberflächen								x	
Fußbodenheizung		x							
Radiatoren	x								

Quelle: Fraunhofer IBP

Ergebnisse: Windstromdeckung und Energiebedarf



Neubau - Ziegelbauweise

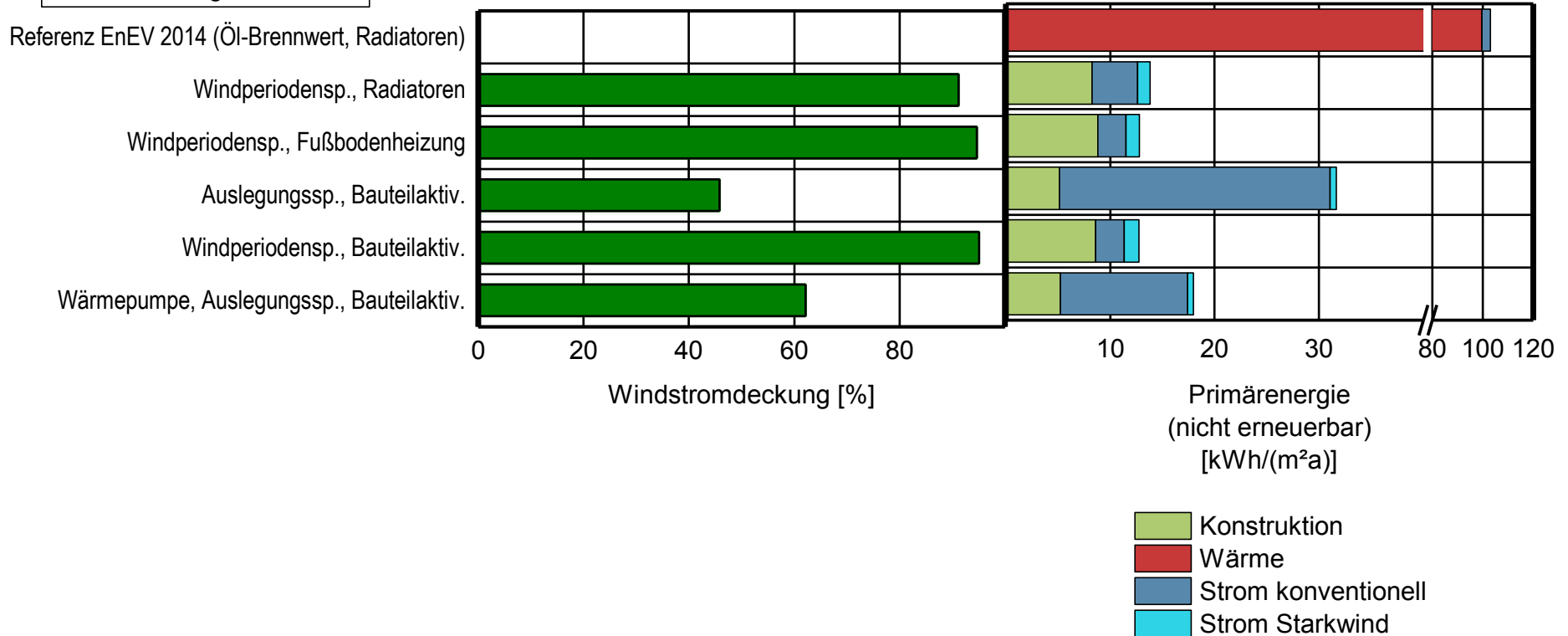


Quelle: Fraunhofer IBP

Ergebnisse: Windstromdeckung und Primärenergie



Neubau - Ziegelbauweise



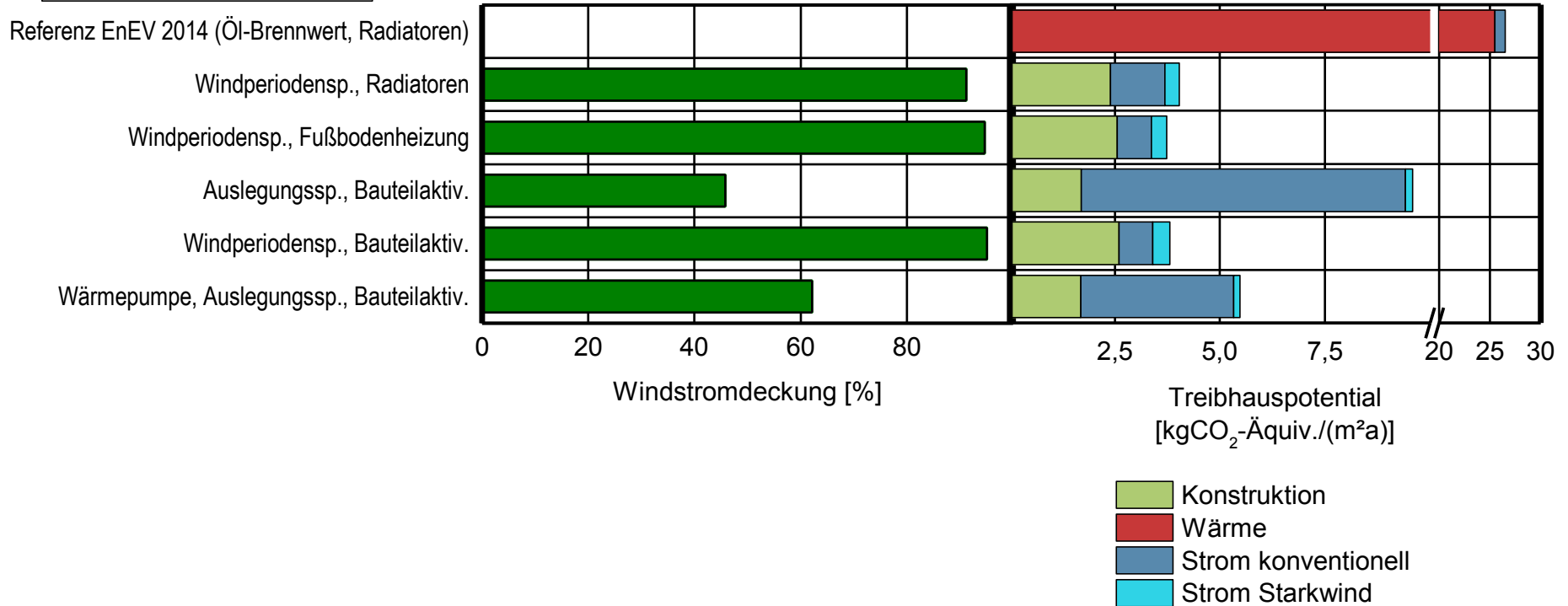
Quelle: Fraunhofer IBP



Ergebnisse: Windstromdeckung und Treibhauspotential



Neubau - Ziegelbauweise

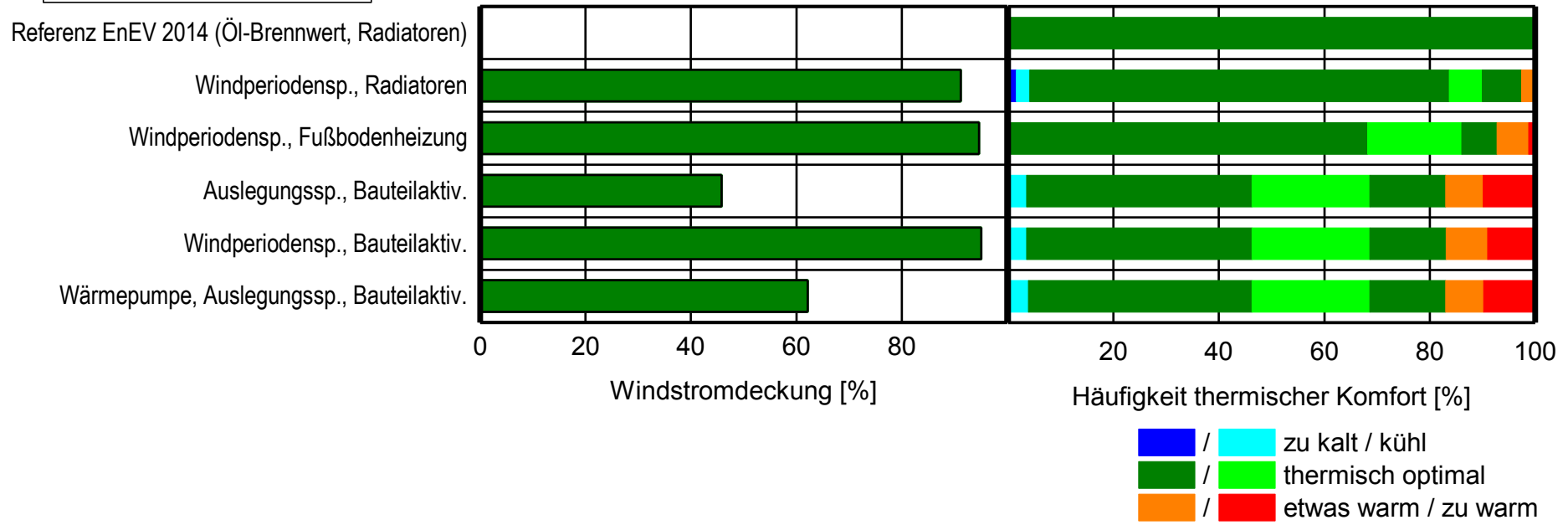


Quelle: Fraunhofer IBP

Ergebnisse: Windstromdeckung und Komfort



Neubau - Ziegelbauweise



Quelle: Fraunhofer IBP



Erfolgsfaktoren



- **Windheizungsgebäude** (Ein-/ und Zweifamilienhaus) im Neubau und energetisch sanierten Bestand grundsätzlich **möglich**
- Hoher Wärmedämmstandard bzw. **geringer Heizwärmebedarf**
- Derzeit zwei grundlegende Realisierungswege:
 - **großer Windperiodenspeicher** (Wasser- oder Steinspeicher)
 - **Bauteilspeicher** (Decke oder schwere Innenwand)
- Direkte **elektr. Beheizung mit Durchlauferhitzer** ist einziger Strom-Wärmewandler;
ggf. Kombination mit (kostengünstiger) **Wärmepumpe** zur Deckung des Restenergiebedarfs.

weitere Ergebnisse



- Hohe elektrische Anschlussleistung nötig
- Bisher kein Windstromtarif und kein entsprechendes Steuerungssignal verfügbar → für Wirtschaftlichkeit ist Stromtarif entscheidend
- Bei BTA: sorgfältige Planung zur Einhaltung der Komfortanforderungen sowie optimierte Regelungskonzepte
- Platzbedarf für großen Wasserspeicher erforderlich

Gliederung des Vortrags

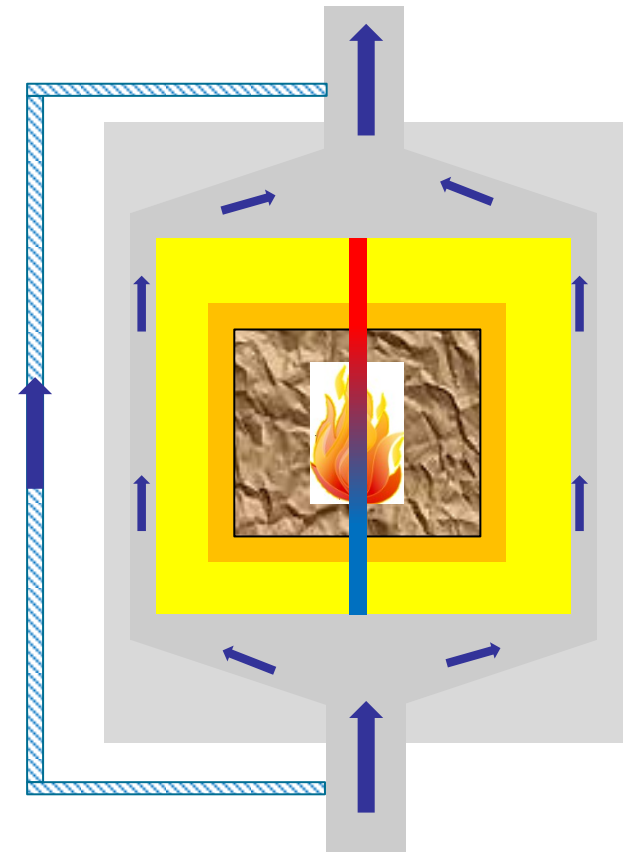
1. Ausgangslage 
2. Projektziele 
3. Projektdurchführung 
4. Ergebnisse 
5. Ausblick 

Ausblick



Die nächsten Schritte:

- Entwicklung, Herstellung und Erprobung eines Hochtemperatur-Elektrospeichers sowie der Wärmespeicherung in Bauteilen
- Optimierung BTA (Be- und Entladung)
- Weiterentwicklung von Steuerungssignalen und Regelungstechnik

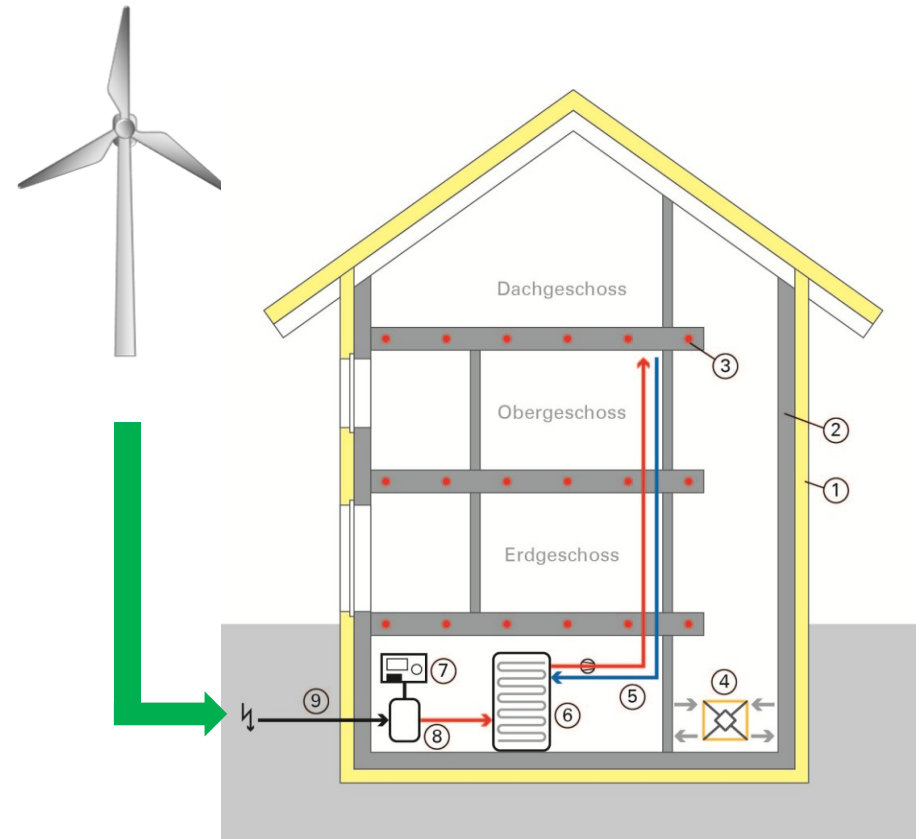


Quelle: Fraunhofer IBP

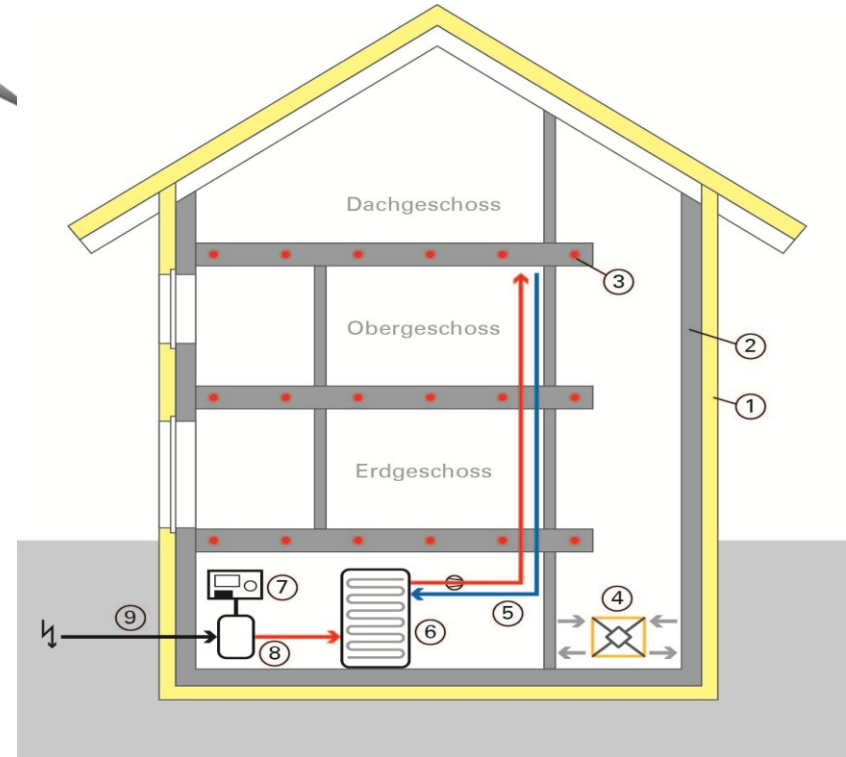
Ausblick



- Umsetzung und Erprobung von Windheizung 2.0 in einem Versuchsgebäude und anschließend im realen Gebäude
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Optimierungen



DANKE!



Kontakt:
Martina Reinwald
Telefon: 0821/9071-5731
E-Mail: Martina.Reinwald@lfu.bayern.de

Grundprinzipien der Integration von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien:

„Erneuerbare Energien müssen die Energieeffizienz ergänzen, nicht ersetzen.“

„Die Verschwendung fossiler Energieträger darf nicht durch die Verschwendung erneuerbarer Energien ersetzt werden.“

Vergleich Wetterstationen in BY, Heizperiode 1.10. – 31.3.



	Starkwind (Heizperiode 1.10 - 31.3)		Dauer zwischen 2 Starkwind mit ≥ 5 h (Heizperiode)		
	Mittelwert	95.Quantil	Max	Mittelwert	95.Quantil
Würzburg	5,3 h	19 h	33 Tage	4,1 Tage	17 Tage
Regensburg	4,3 h	15,4 h	58 Tage	8,5 Tage	39 Tage
Kempten	3,3 h	11 h	59 Tage	15,8 Tage	48 Tage
Augsburg	6,0 h	22 h	54 Tage	10,5 Tage	20 Tage

Quelle: DWD, Durchschnitt aus den Wetterjahren 2003 bis 2013

Das Passivhauskonzept als Stand der Technik bei Wohngebäuden

- **Hohe Behaglichkeit und Wohnkomfort**
- **Gesundes Wohnklima (Schimmelfreiheit)**
- **Einsparung Energie 90 % gg. Bestand**
- **Sehr niedrige Betriebskosten**
- **Versicherung für die Zukunft**

Wohnkomfort 25. Okt. 2008:
innen 23° C, außen - 4° C

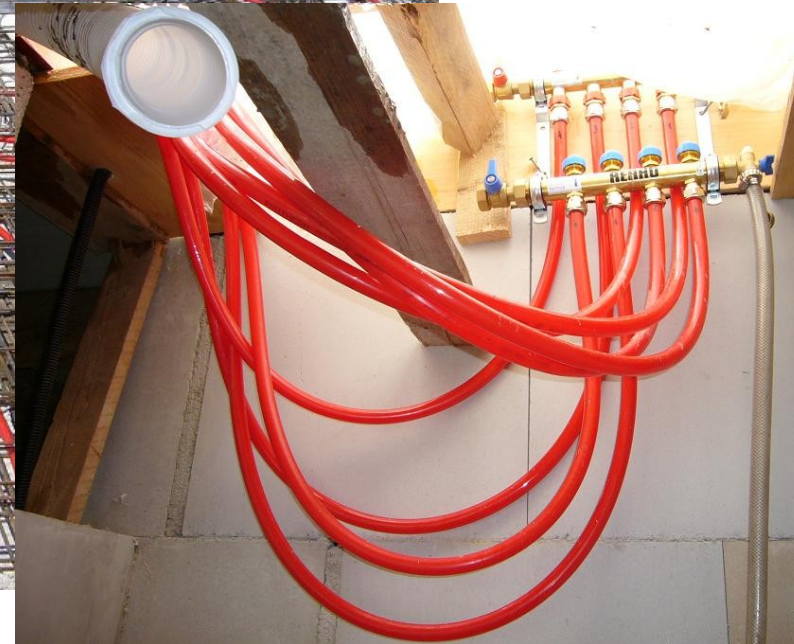


Konzept: Hohe Wärmepufferung durch Massivbauweise Ziel: Gleichmäßige Temperatur, Heizen nur einmal pro Woche

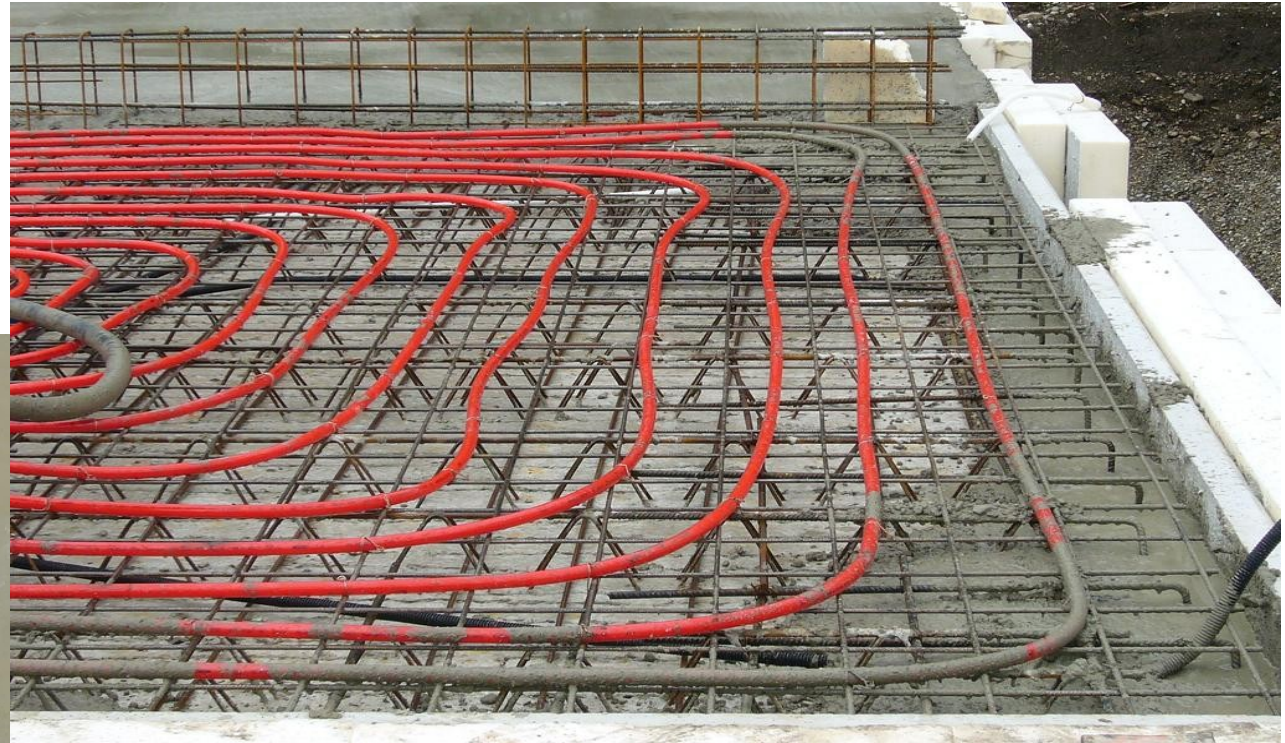
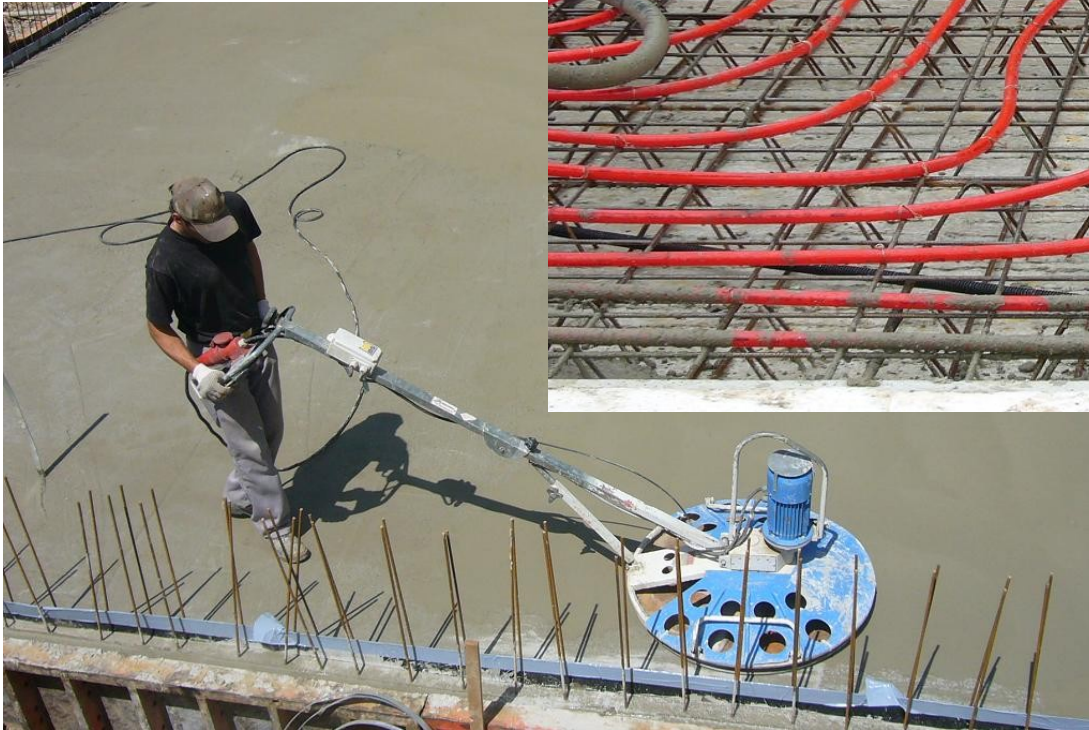


Bilder:
hohe Wärmespeicherung durch
Verwendung von Kalksandstein
als Wandbaustoff und Beton für
Decken und Bodenplatte
= kostengünstigste Speicherform

Erwärmung der Betondecken mittels Betonkernaktivierung auf ca. 25° C (bei Vorlauftemperatur 30° C)



Anbringung der Heizrohre auf der Oberbewehrung (gegen den Rat des Herstellers)



**Bild:
Flügel Schleifer zur Glättung der
Betonoberfläche und
Rißvermeidung**

Verwendung von Bodenbelägen mit gutem Wärmedurchgang



**Bilder:
Bodenbeläge aus
Feinsteinzeug,
Klebekork und
Klebparkett**

Integration der Lüftungsverteilung in die Betondecke



Bisherige Erfahrungen

Heizenergieverbrauch: ca 3-4 m³ Hartholz pro Jahr = ca. 5.500 kWh

Stromverbrauch: ca. 2.400 kWh pro Jahr

Solarwärmegewinn: ca. 5.500 kWh pro Jahr

Sommertemperatur < 24° C, 23 ° C möglich

**Erste Oktoberhälfte: Erwärmung durch Sonne auf 25° C,
Ende Okt. 21° C**

Positiv: hohe Temperaturpufferung durch Massivbauweise

Temp-Anstieg im unverschatteten Haus nach Sonnentag im Sept/Okt:

Hausdurchschnitt ca. 0,25 Grad

kurzfristiger Anstieg der Lufttemperatur in SW-Zimmer 1,5 – 2 Grad