

Wienerberger Mauerwerkstage 2017

# Bauen mit dem Klimawandel

Wärmeschutz in Simulation und Praxis

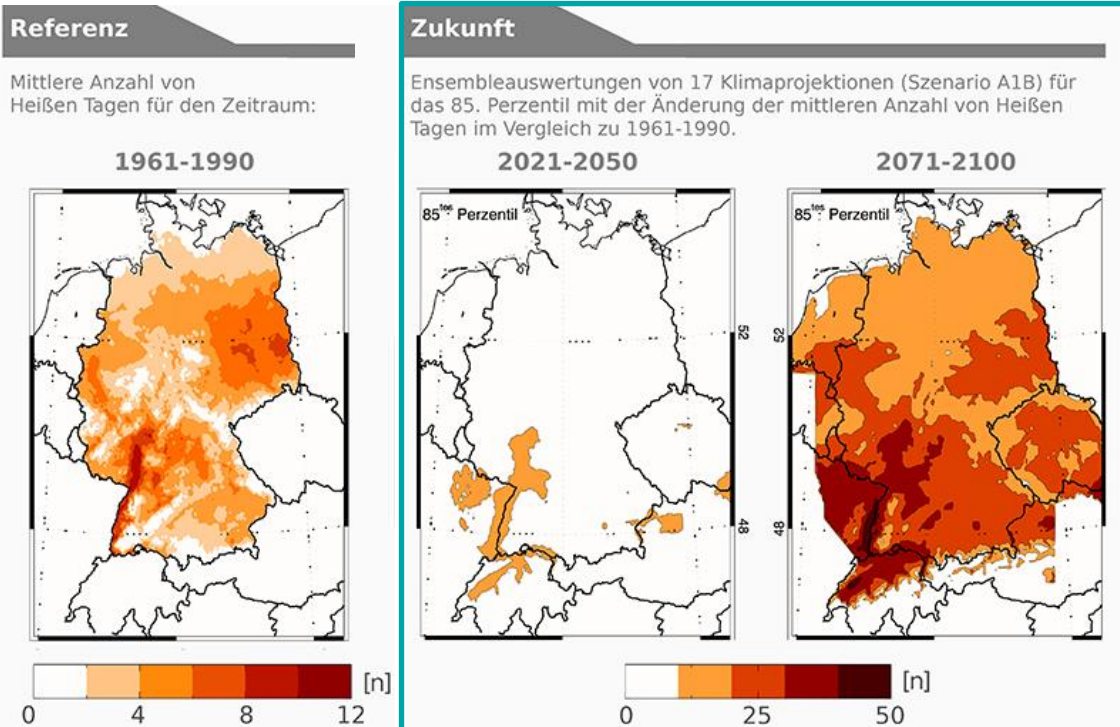
Dipl.-Phys. Ing. Andreas Lahme

# Inhaltsübersicht

1. Klimawandel
2. Klimawandel und Gebäudekonzepte
3. Sommerlicher Wärmeschutz
4. Vergleich Massivbauweise – Leichtbauweise (Einführung)
5. Modellhaus (Untersuchungsobjekt)
6. Thermisches Verhalten (Massivhaus – Holzhaus)
7. Heizung (Massivhaus – Holzhaus)
8. Energiekonzepte (Massivhaus)
9. Unterschiede Massivhaus – Holzhaus (Zusammenfassung)
10. Ergänzung (Auslegung, Simulation, Perfektes Raumklima)

# 1. Klimawandel

Es wird heißer in Deutschland.



- Die Anzahl heißer Tage nimmt zu in der Zukunft.
- Heißer Tag: Maximaltemperatur  $\geq 30^{\circ}\text{C}$

▲ Anzahl der heißen Tage im Referenzzeitraum (1961-1990) und in der Zukunft

# 1. Klimawandel

## Mehr als nur mehr heiße Tage

Klimawandel in Deutschland heißt:

- Regionen mit warmem Klima: mehr heiße Tage und Tropennächte
- Regionen mit trockenem Klima: höhere Sommer- und Wintertemperaturen
- Regionen mit kühlem Klima: mehr Extremereignisse wie Flusshochwasser und Sturmfluten
- Regionen mit Mittelgebirgsklima: zunehmende Durchschnittstemperaturen, mehr Niederschläge (seltener als Schnee)
- Regionen mit Gebirgsvorlandklima: höhere Sommertemperaturen, mehr heiße Tage
- Regionen mit Gebirgsklima: mehr Starkereignisse und Winterniederschläge, weniger Sommerniederschläge, überdurchschnittliche Erwärmung

## 2. Klimawandel und Gebäudekonzepte

### Wachsende Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes

- Der Klimawandel stellt bereits jetzt eine Herausforderung für zu entwickelnde Gebäude dar.
- Angepasstes Bauen an höhere Temperaturen ist somit das Gebot der Stunde.
- Hauskonzepte in **Massivbauweise** mit thermischer Speichermasse und angepasster technischer Gebäudeausrüstung bieten Vorteile für den sommerlichen Wärmeschutz.

# 3. Sommerlicher Wärmeschutz

## Allgemeine Anforderungen

### Schutz vor Überhitzung der Raumtemperatur

- Minimierung der solaren Wärmeeinträge
  - Wärmedämmung: Aufgrund des vorgeschriebenen hohen Wärmedämmstandards ist Transmission von Wärme durch die Außenwände in den Innenraum als Ursache für Überhitzung inzwischen nachrangig. Hauptursache bleibt solarer Eintrag durch Fenster.
  - Exemplarische Maßnahmen: effiziente Verschattung; geeignete Verglasung; Gebäudeentwurf: Fensterfläche minimieren
  - Flankierend: Minimierung der internen Wärmelasten (energiesparende Geräte, energieeffiziente Betriebsweise; energiesparende Beleuchtung, tageslichtabhängige Regelung)
  
- Bewertungskriterium z.B. laut DIN 4108-2:2003-07 [1]
  - Überhitzung der Raumtemperatur nicht mehr als 10% der Nutzungszeit über dem Grenzwert:
    - Sommer-Klimaregion A: 25°C, Sommer-Klimaregion B: 26°C, Sommer-Klimaregion C: 27°C
  - Anlagentechnik: Erforderlicher Kühlenergiebedarf möglichst gering

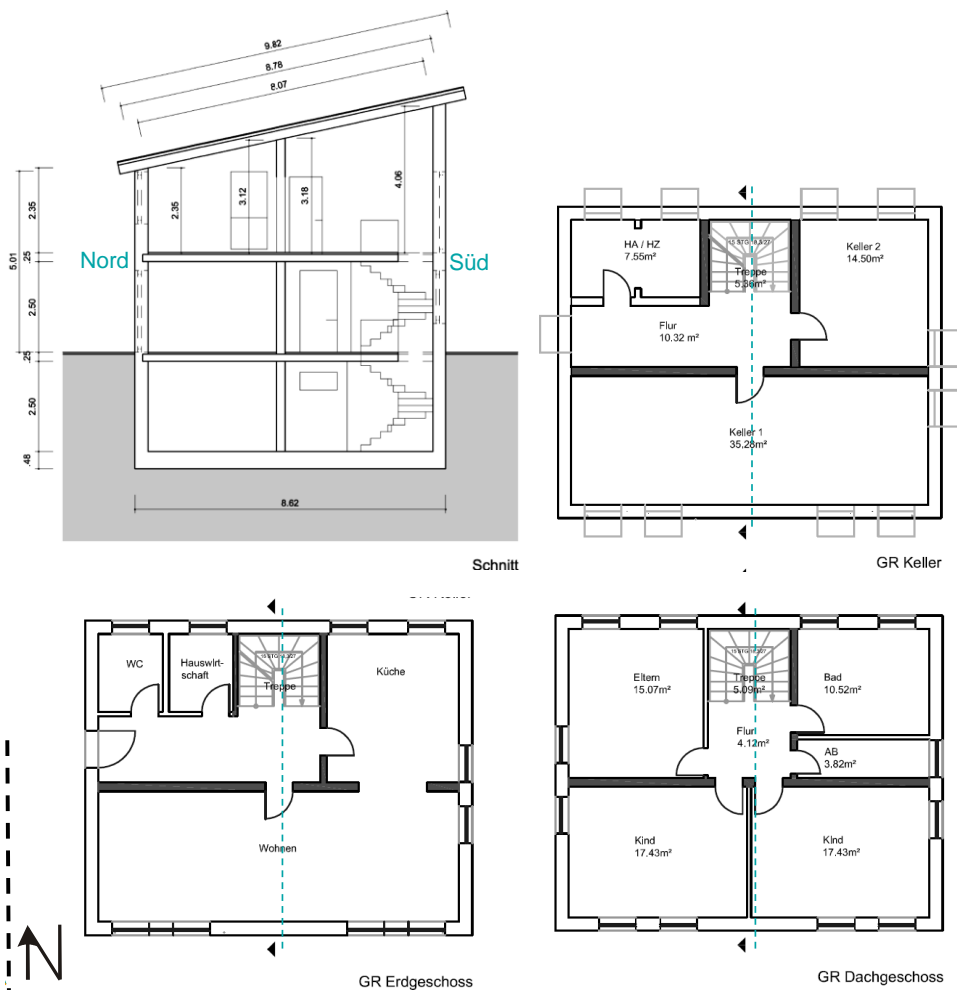
# 4. Vergleich Massivbauweise – Leichtbauweise

## Aufgabenstellung

- Massivbauweise verfügt im Vergleich zur Leichtbauweise über erheblich mehr thermische Speichermasse.
- Um die Wirkung und den Nutzen von thermischer Speichermasse im Gebäude für den Wärmeschutz darzustellen, erfolgt ein Vergleich von Massivbauweise und Holzbauweise.
- Dazu wird ein exemplarisches Gebäude mittels thermischer Gebäudesimulation und TGA-Simulation untersucht.
  - Die Wirkung der Bauweisen auf Raumklima und Heiz-Energiebedarf aufgezeigt.
  - Damit wird die Bedeutung der Bauweise für den Wärmeschutz verdeutlicht.

# 5. Massivbauweise – Leichtbauweise

## EFH-Typenhaus



- Einfamilienhaus
- Geschosse: KG, EG, DG
- Orientierung: Gartenseite nach Süden
- Standort: Potsdam [1]
- Wärmedämmstandard: U-Wert Außenwand 0,28 W/(m²K) [2]



# 5. Massivhaus – Holzhaus

## EFH-Typenhaus

- Massive Bauweise: Planziegel (Poroton T9)
- Leichtbauweise: Holzrahmenbau

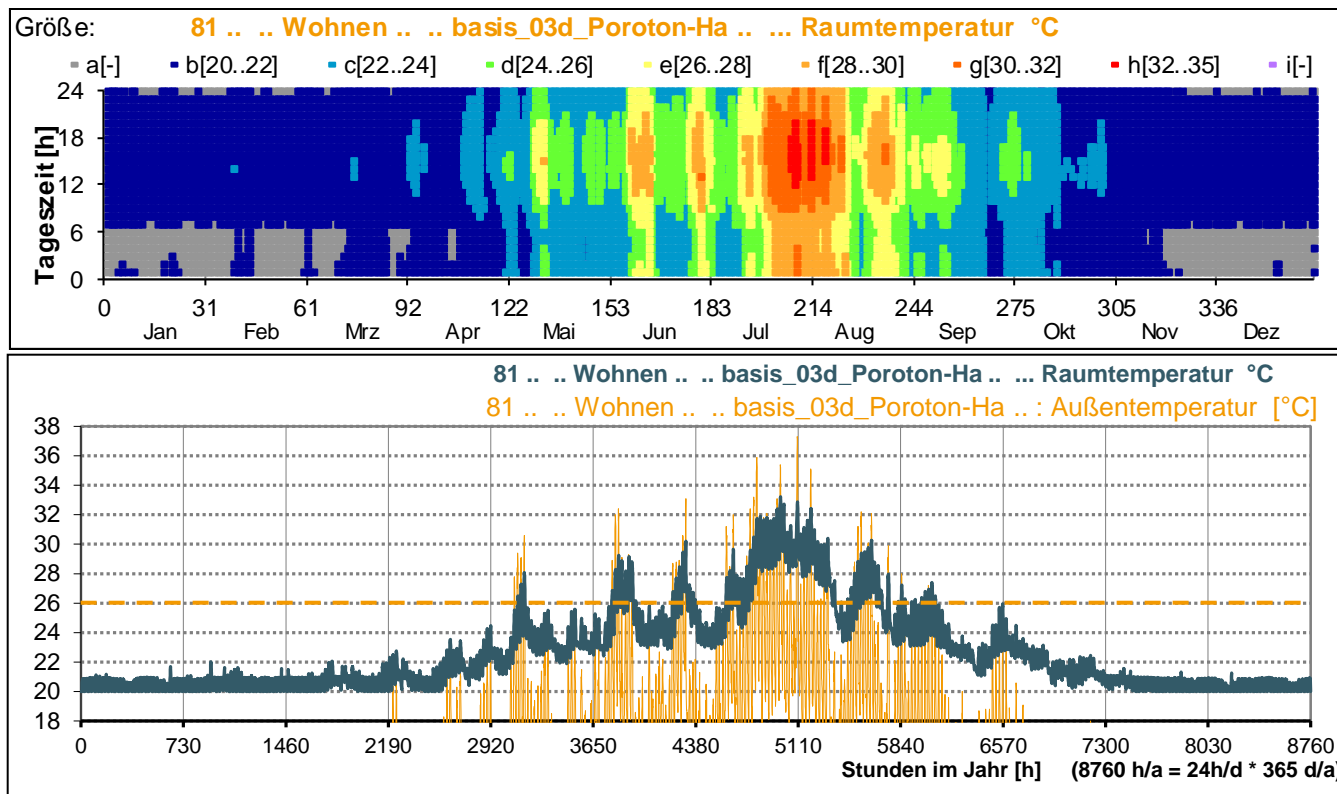
Bauweisen		
Nr.	Variante	Kurzbeschreibung
1	<b>Ziegel</b>	AW Poroton T9 (d=33,5 cm); U=0,28 W/(m <sup>2</sup> K) IW Ziegel (d=17,5 cm bzw. d=11,5 cm); U=1,53 W/(m <sup>2</sup> K) bzw. U=1,88 W/(m <sup>2</sup> K) Geschossdecken massiv; KG-EG U=0,30 W/(m <sup>2</sup> K); EG-OG U=0,88 W/(m <sup>2</sup> K)
5	<b>Holzbau (Referenzfall)</b>	AW Holzrahmenbau (d=29,8 cm); U=0,28 W/(m <sup>2</sup> K) IW Holzrahmenbau (d=15,5 cm bzw. d=10 cm); U=0,33 W/(m <sup>2</sup> K) bzw. U=0,61 W/(m <sup>2</sup> K) Geschossdecken leicht; KG-EG U=0,30 W/(m <sup>2</sup> K); EG-OG U=0,83 W/(m <sup>2</sup> K)



- Von den o.g. Unterschieden bei der Bauweise abgesehen, haben beide Modellhäuser die gleichen Eingangsparameter und Randbedingungen.

# 6. Thermisches Verhalten (Massivhaus)

## Mittlere Raumtemperatur im Jahresgang



- Winter: thermischer Komfort (Wohnräume 20°C; Flur, Abstellr. 17°C) ist sichergestellt durch Heizung
- Ab Außentemperaturen von ca. 16°C kann es zu Innenraumtemperaturen über 26°C kommen.
- In 4,7% der Nutzungszeit steigt die Innenraumtemperatur über 26 °C.

# 6. Thermisches Verhalten (Massivhaus)

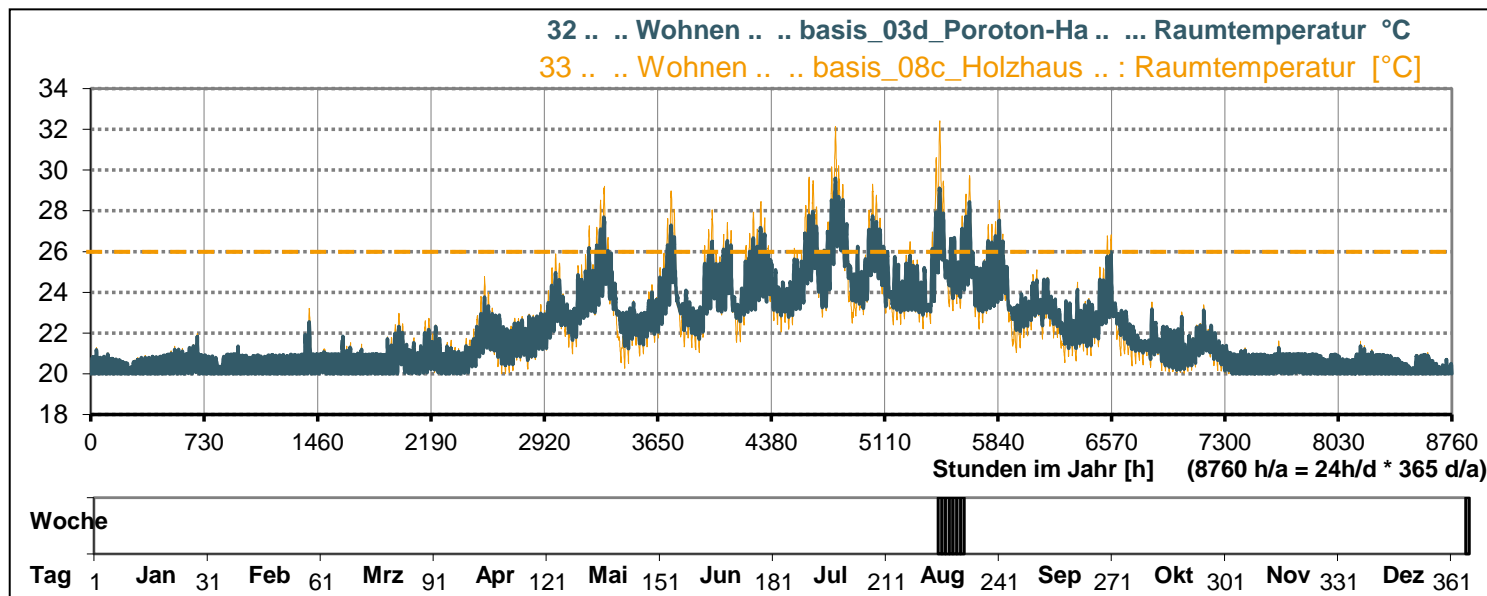
Kennwerte zum thermischen Komfort in den einzelnen Räumen

Komfort: Raumtemperatur (während der Nutzungszeit)											
Variante	TZ-Name	Netto-Fläche	Netto-Volumen	Betriebsstunden	Untergrenze	Raumtemperatur			Obergrenze	Raum-ÜberTemp-GradStunden	Überhitzungshäufigkeit
						Min	Mittel	Max			
		m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	h/a	°C	°C	°C	°C	°C	Kh/a	%/a (h/a)
Massivhaus	TZ-01--KG---Kelle	75	187	8760	12	9,2	11,4	14,0	26	-	-
Massivhaus	TZ-02--EG+DG---Ersch	25	66	8760	17	18,3	21,0	26,0	26	-	-
Massivhaus	TZ-03--EG--S+O-Wohne	38	95	8760	20	20,0	22,2	29,0	26	282	3,5% (310 h)
Massivhaus	TZ-04--EG--N-WC	4	10	8760	20	20,0	21,2	26,2	26	-	-
Massivhaus	TZ-05--EG--N-HW	4	10	8760	20	20,0	21,9	27,1	26	26	0,7% (65 h)
Massivhaus	TZ-06--EG--N+O-Kuech	15	38	8760	20	20,0	22,8	30,3	26	1084	1,5% (1008 h)
Massivhaus	TZ-07--DG--N+W-Elter	15	42	8760	20	20,0	21,9	29,8	26	314	3,7% (325 h)
Massivhaus	TZ-08--DG--N-Bad	10	26	8760	20	20,0	21,6	28,7	26	125	1,8% (161 h)
Massivhaus	TZ-09--DG--O-AB	5	16	8760	17	17,0	21,2	28,4	26	203	2,9% (253 h)
Massivhaus	TZ-10--DG--S+W-Kind1	19	69	8760	20	20,0	22,2	30,5	26	523	5,3% (460 h)
Massivhaus	TZ-11--DG--S+O-Kind2	19	69	8760	20	20,0	22,2	30,4	26	504	5,1% (444 h)
Massivhaus	Gesamtgebäude	124	359	8760	20	20,0	22,2	29,6	26		4,7%

- Für jeden Raum (thermische Zone) wurde der Temperaturverlauf berechnet.
- Die Raumtemperatur verläuft in den einzelnen Räumen unterschiedlich.

# 6. Thermisches Verhalten (Massivhaus – Holzhaus)

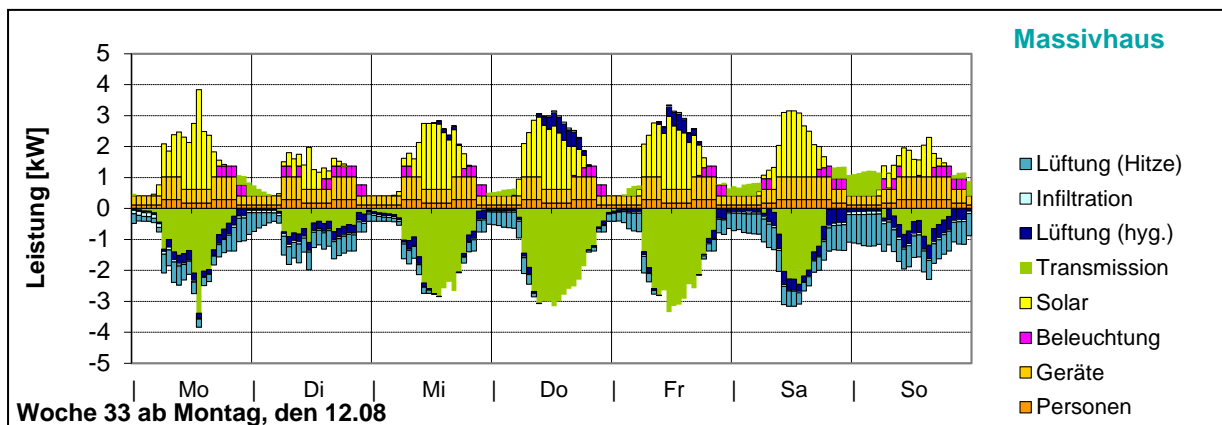
## Mittlere Raumtemperatur im Jahresgang



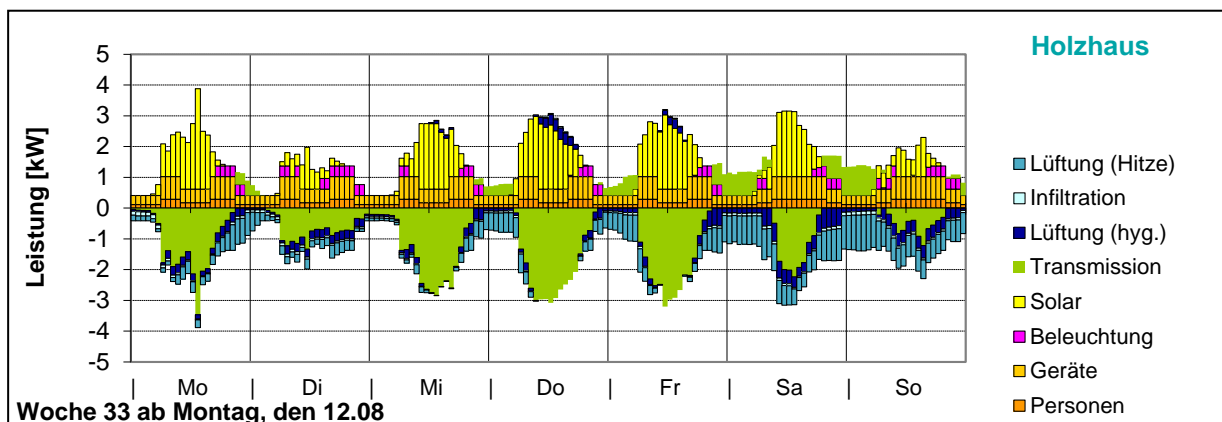
- Winter:
  - kaum Unterschiede zwischen Massivhaus und Holzhaus
- Sommer:
  - Spitzentemperaturen im Massivhaus bis 2,8 K niedriger als im Holzhaus
  - Gemittelte Überhitzungshäufigkeit: Massivhaus 4,7%; Holzhaus 7,2%
  - Erhöhung der Innenraumtemperaturen im Massivhaus langsamer als im Holzhaus
  - Absinken der Innenraumtemperaturen bei fallenden Außentemperaturen im Massivhaus nicht so rasch und so tief wie im Holzhaus (Tiefstwerte bis ca. 1 K höher als im Holzhaus)

# 6. Thermisches Verhalten (Massivhaus – Holzhaus)

## Energiebilanz in der extremen Sommerwoche



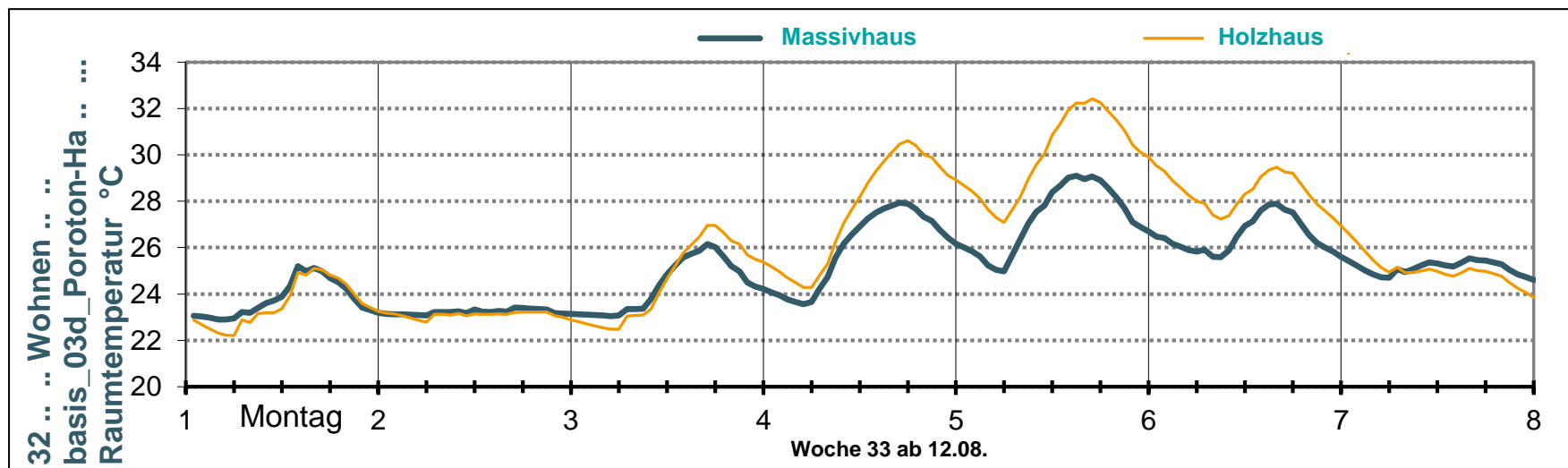
- Kaum Unterschiede in der Energiebilanz
- Wärmequellen Solar, Geräte, Personen und Beleuchtung sind gleich
- Im Holzhaus etwas mehr Lüftung gegen Hitze



▲ Energiebilanz des Gesamtgebäudes in der extremen Sommerwoche für beide Bauweisen

# 6. Thermisches Verhalten (Massivhaus – Holzhaus)

Raumtemperatur in der extremen Sommerwoche

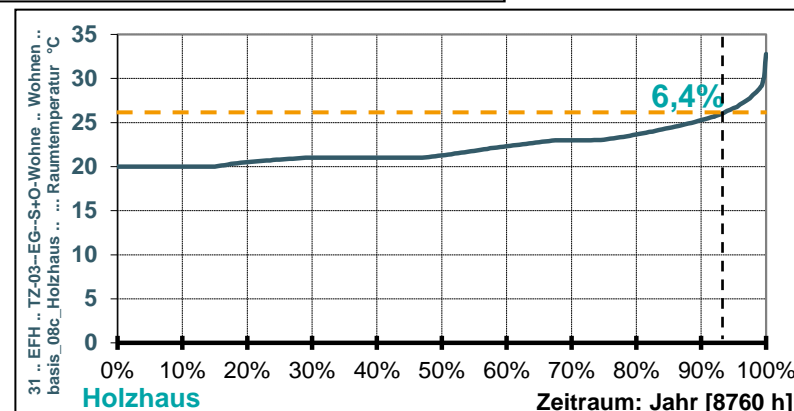
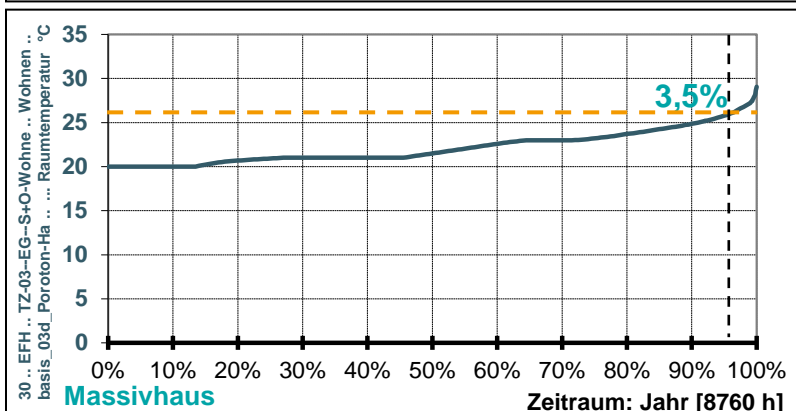
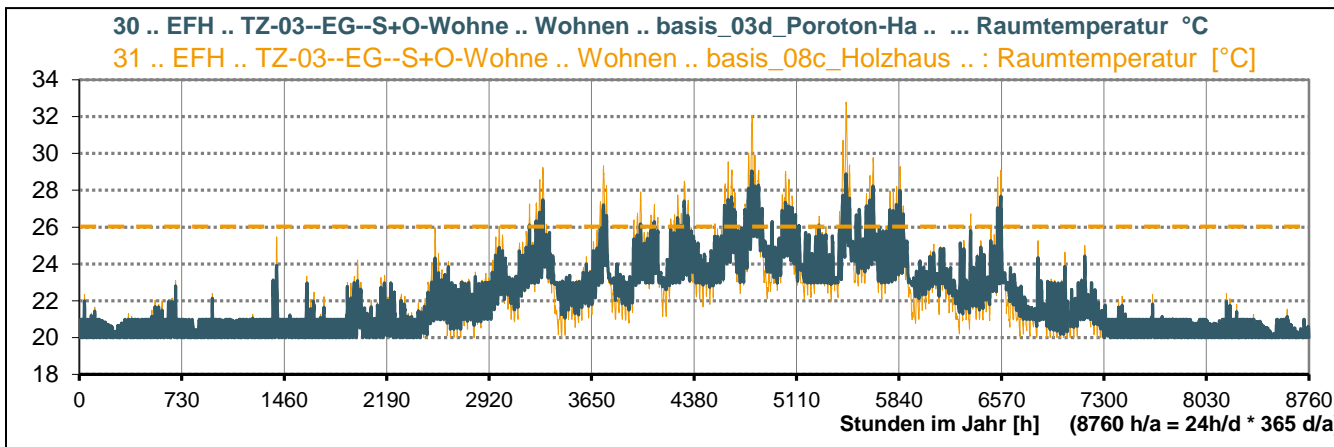


▲ Gemittelte Raumtemperatur des Gesamtgebäudes in der extremen Sommerwoche für beide Bauweisen

- Trotz gleicher Wärmelasten zeigen sich Unterschiede beim Verlauf der Innenraumtemperatur:
  - Die Temperaturschwankung im Holzhaus ist größer.
  - Die Spitzentemperaturen im Holzhaus sind bis 2,8 K höher als im Massivhaus.

# 6. Thermisches Verhalten (Massivhaus – Holzhaus)

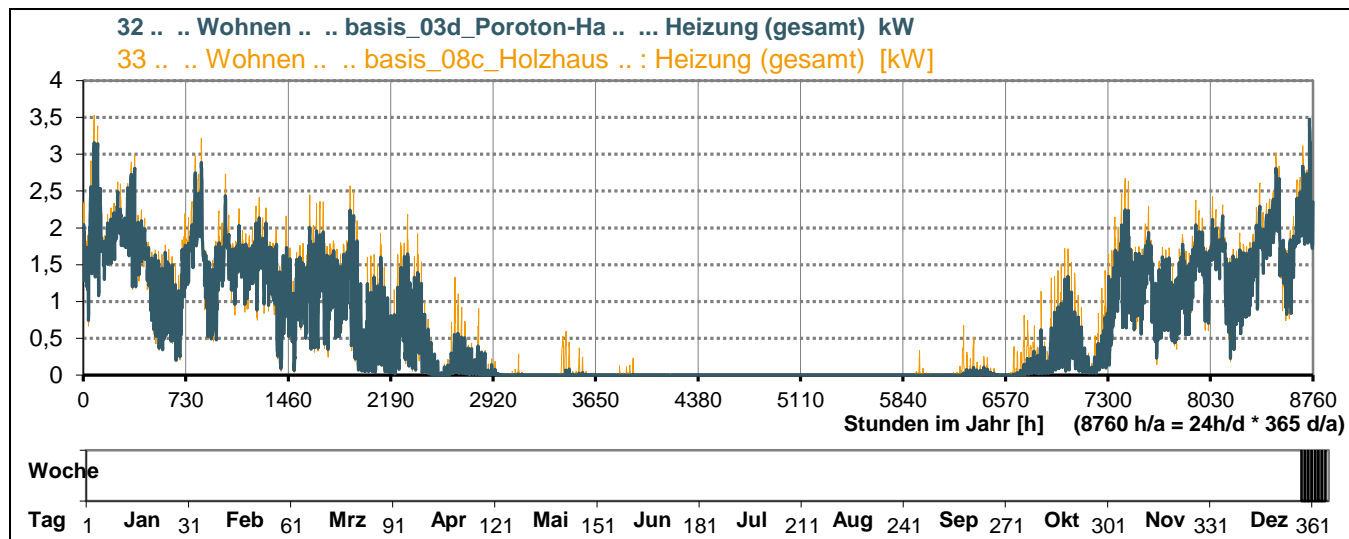
## Thermischer Komfort in exemplarischem Raum: **Wohnzimmer**



- Die Überhitzungshäufigkeit des Wohnzimmers ist im Holzhaus fast doppelt so groß wie im Massivhaus (um 2,9 Prozentpunkte bzw. 248 h/a größer).

# 7. Heizung (Massivhaus – Holzhaus)

## Heizleistungen im Jahresgang

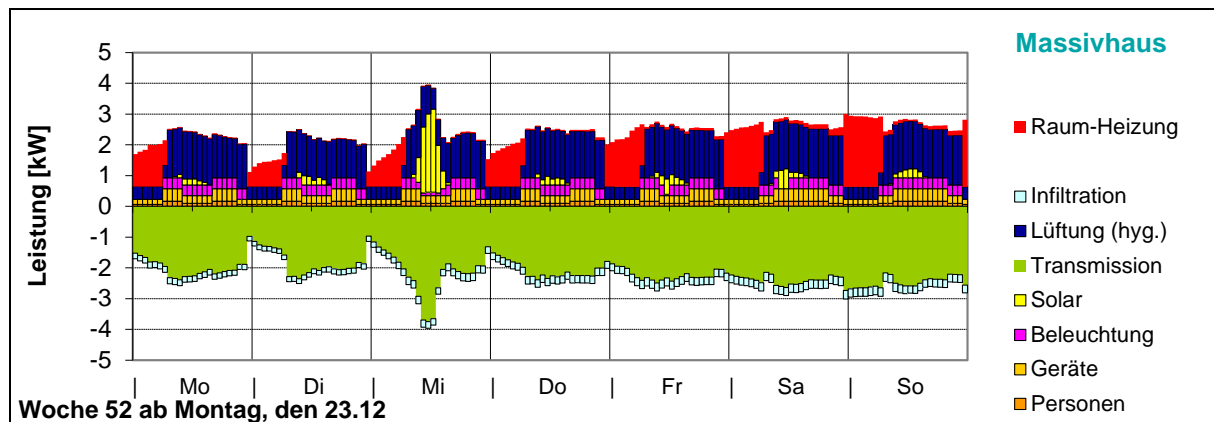


- Heizperiode Massivhaus Ende September bis April, im Holzhaus auch im Mai noch vereinzelt Heizung erforderlich
- Die höchsten Heizleistungen treten Ende Dezember/Anfang Januar und Anfang Februar auf.
- Beim Massivhaus sind die Heizleistungen meistens etwas geringer als beim Holzhaus.
- Der Heizenergiebedarf ist beim Massivhaus geringer, die maximale Heizleistung ist etwa gleich:
  - Massivhaus: 5,365 MWh/a; 3,47 kW (30,5 W/m<sup>2</sup>)
  - Holzhaus: 5,712 MWh/a; 3,53 kW (31,0 W/m<sup>2</sup>)

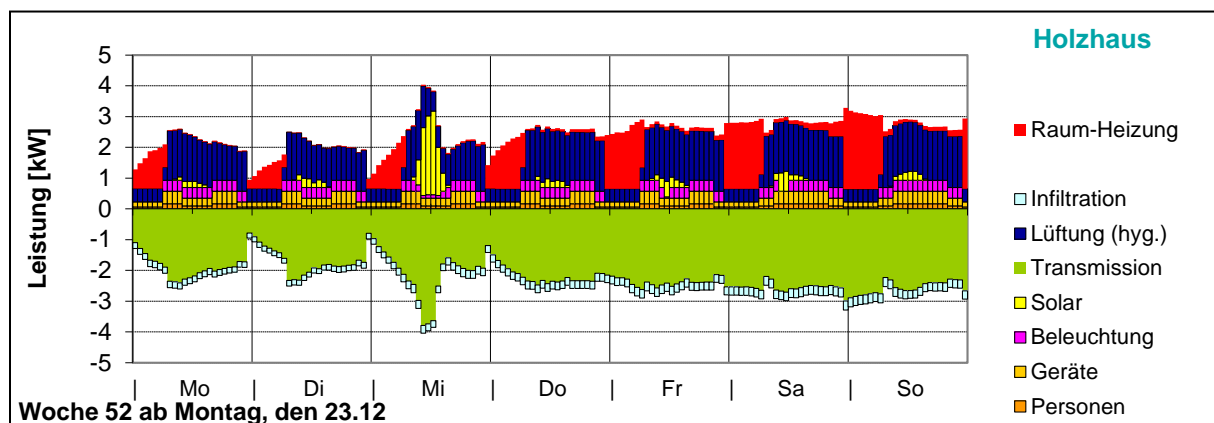


# 7. Heizung (Massivhaus – Holzhaus)

## Energiebilanz in der extremen Winterwoche



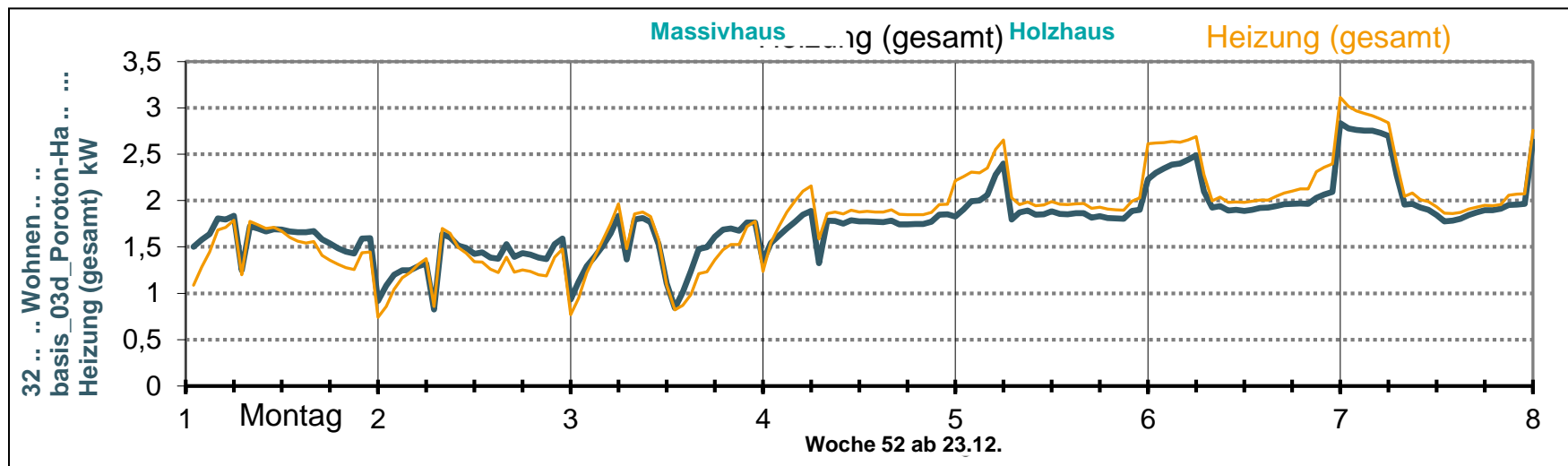
- Die Wärmequellen Solar, Geräte, Personen und Beleuchtung sind gleich.
- Im Holzhaus sind meist geringfügig größere Heizleistungen erforderlich.



▲ Energiebilanz des Gesamtgebäudes in der extremen Winterwoche für beide Bauweisen

# 7. Heizung (Massivhaus – Holzhaus)

Heizleistungen in der extremen Winterwoche

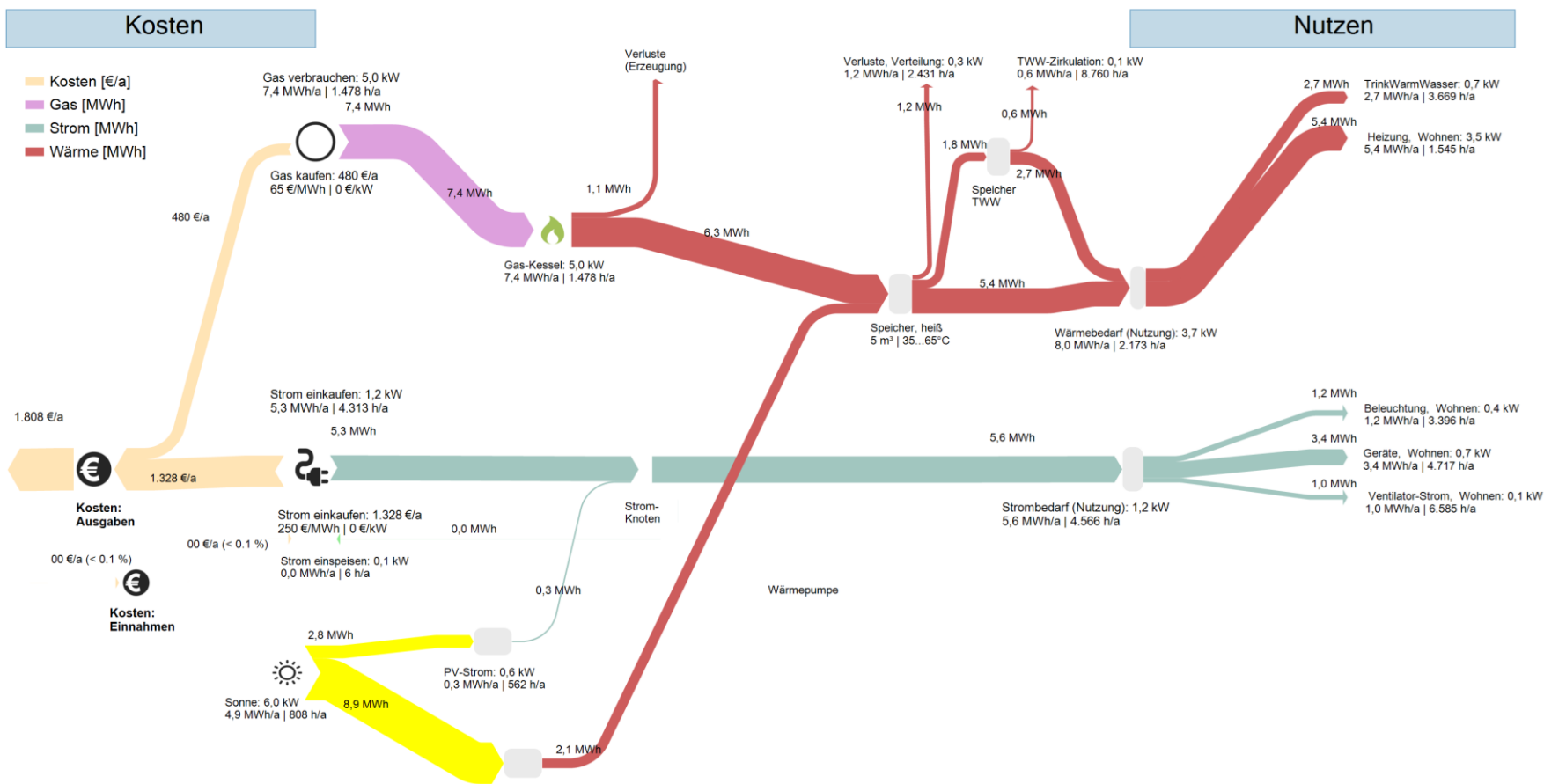


▲ Verlauf der Heizleistung des Gesamtgebäudes in der extremen Winterwoche für beide Bauweisen

- Im Holzhaus sind meistens etwas größere Heizleistungen zur Sicherstellung des thermischen Komforts im Winter erforderlich als im Massivhaus.
  - Massivhaus: max. 3,47 kW
  - Holzhaus: max. 3,53 kW

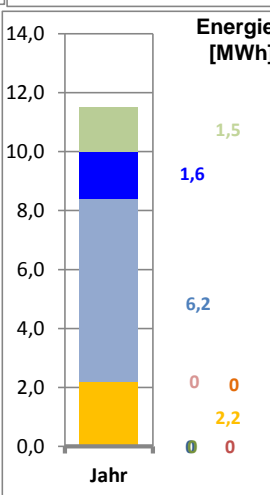
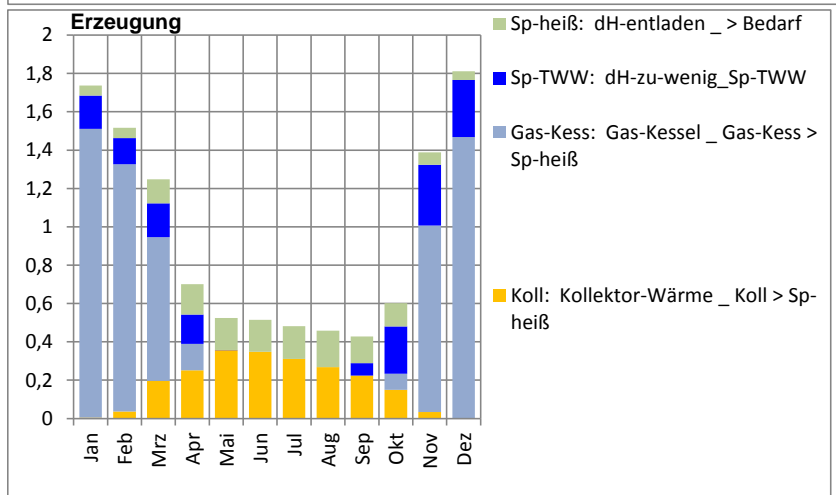
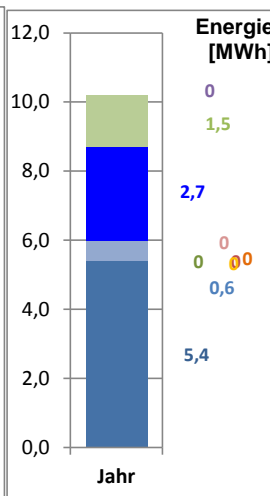
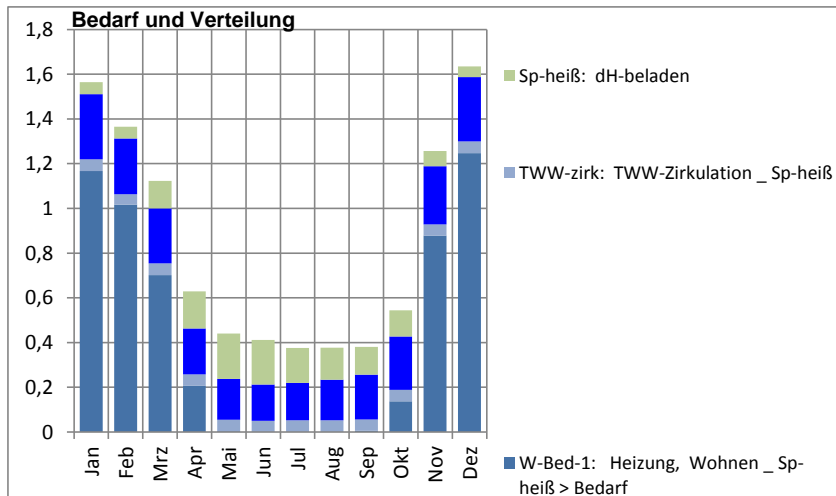
# 8. Energiekonzept Gas + Solar (Massivhaus)

## Energieflussdiagramm



# 8. Energiekonzept Gas + Solar (Massivhaus)

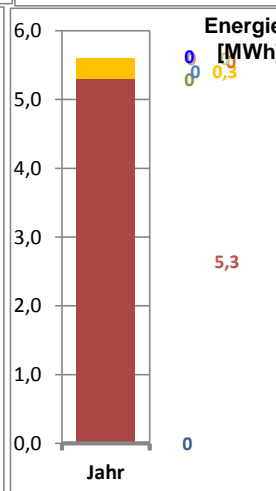
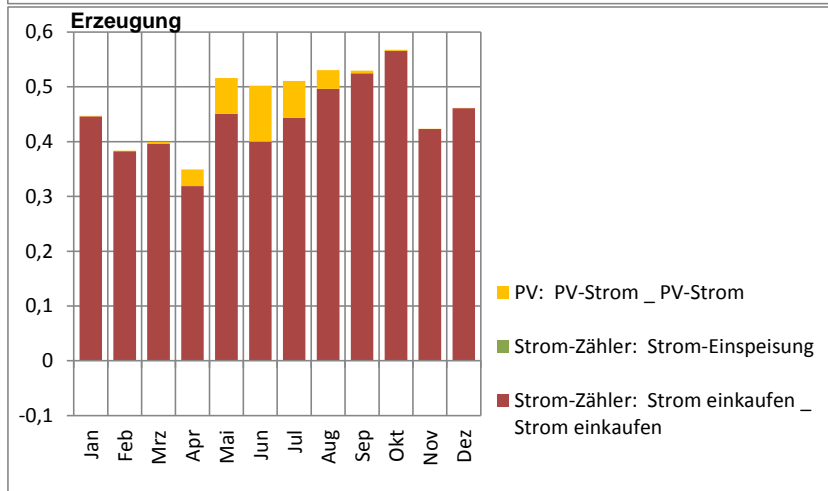
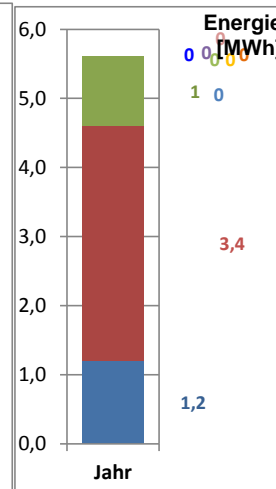
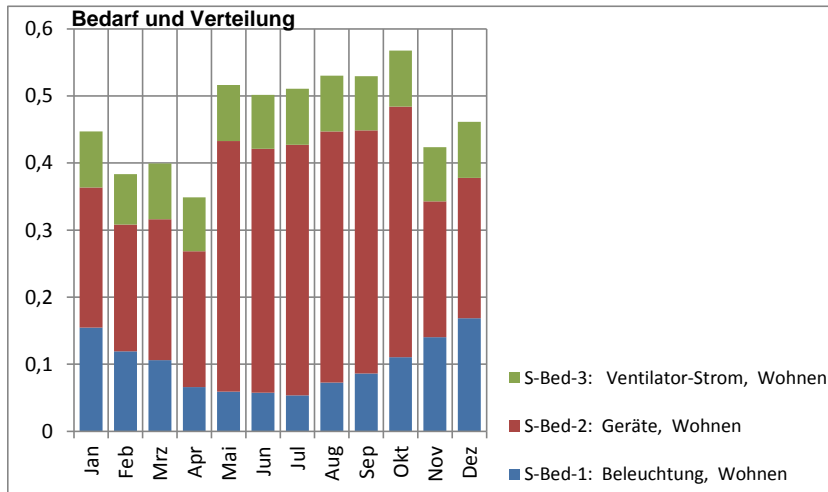
## Energieversorgung Wärme



- Energieversorgung durch die Hauptkomponenten Stromnetz, Gaskessel, Solarthermie und PV
- Der Hauptteil des Wärmebedarfs wird durch den Gaskessel gedeckt.
- Im Sommer ist kein Gaskessel-Betrieb erforderlich, da der Wärmebedarf (TWW) aus der Solarthermie gedeckt wird.

# 8. Energiekonzept Gas + Solar (Massivhaus)

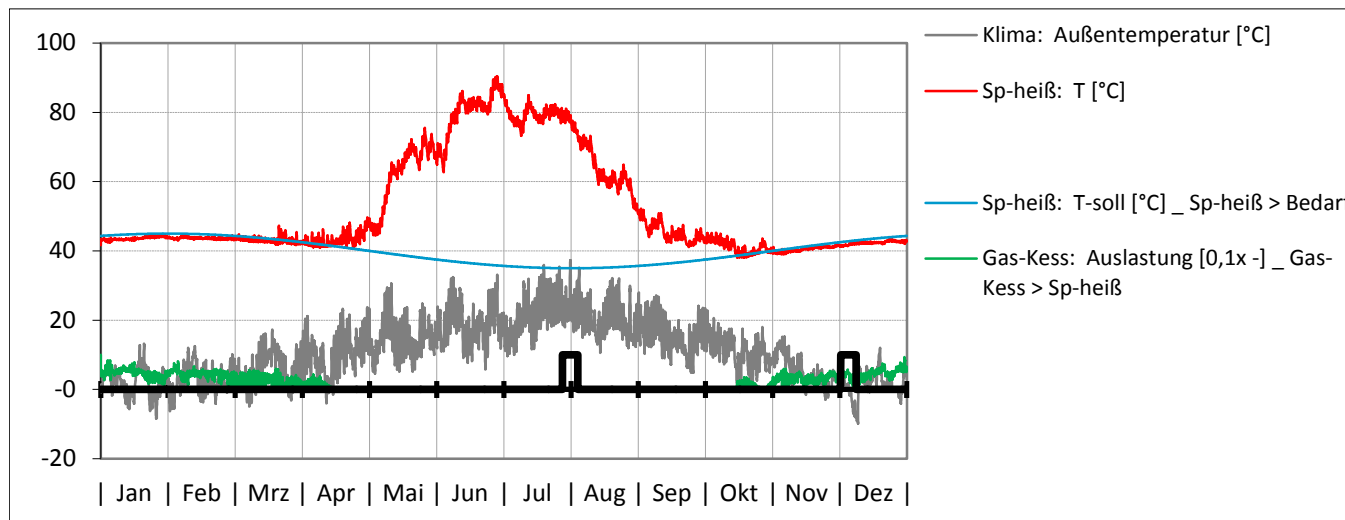
## Energieversorgung Strom



- Energieversorgung durch die Hauptkomponenten Gaskessel, Solarthermie und PV
- Der meiste Strombedarf stammt von den Geräten.
- Der Bedarf für den Ventilatorstrom entspricht etwa dem für künstliche Beleuchtung.
- Der Deckungsanteil aus PV ist sehr gering.

# 8. Energieversorgungskonzept (Massivhaus)

## Gaskessel-Auslastung und Speicher-Temperatur im Jahresgang

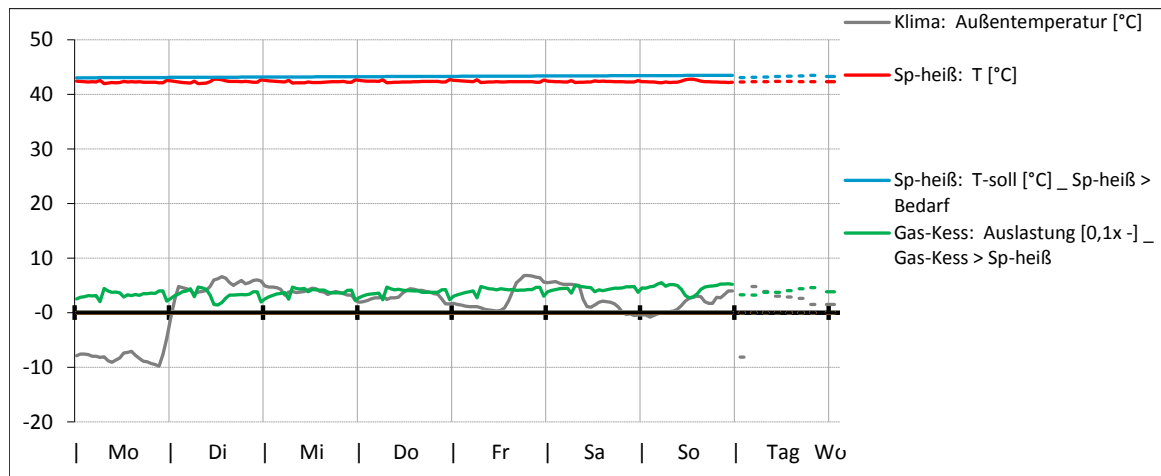


▲ Verlauf der Gaskessel-Auslastung und der Wärmespeicher-Temperatur des Massivhauses im Jahresgang

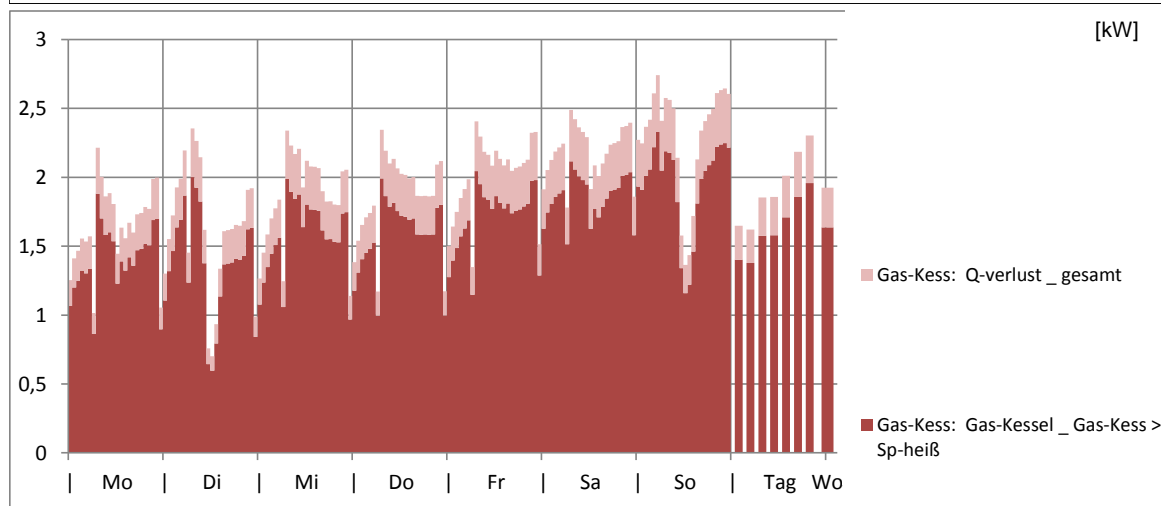
- Der eingesetzte Gaskessel (5 kW) ist im Winter im Mittel zu ca. 50% ausgelastet.
- Die Temperatur im Wärmespeicher erreicht im Winterhalbjahr ca. 45°C. Im Sommer wird der Speicher aus der Solarthermie beladen und erreicht z.T. über 80°C.

# 8. TGA Energieversorgung (Massivhaus)

Gaskessel-Auslastung, Speicher-Temperatur und Leistung in der extremen Winterwoche

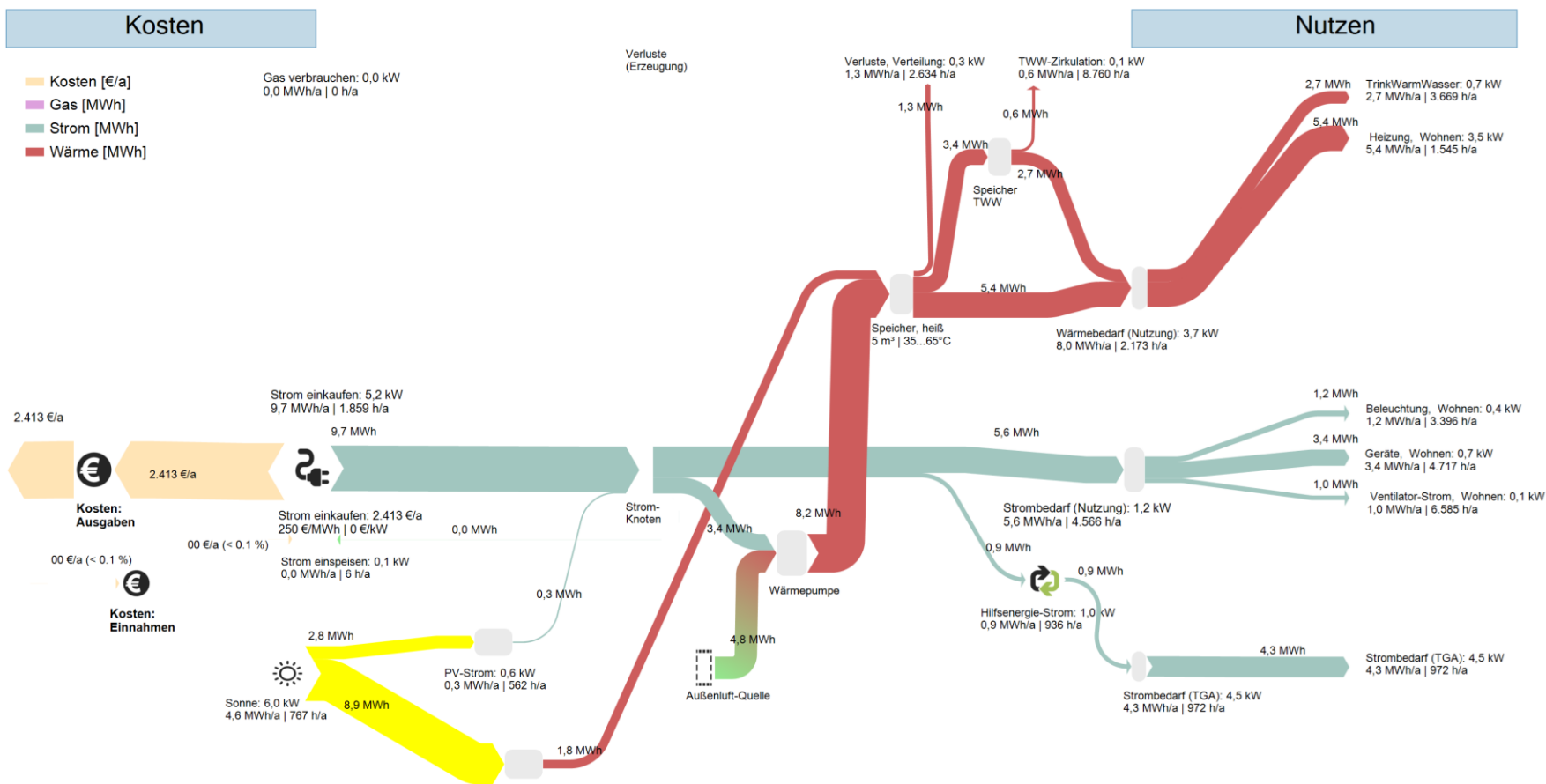


- Speicher-Auslastung zwischen 40% und 60%
- Speichertemperatur ca. 44°C
- Nachts ist die Kessel-Leistung meist erheblich größer als tagsüber.



# 8. Energiekonzept WP-Außenluft + Solar (Massivhaus)

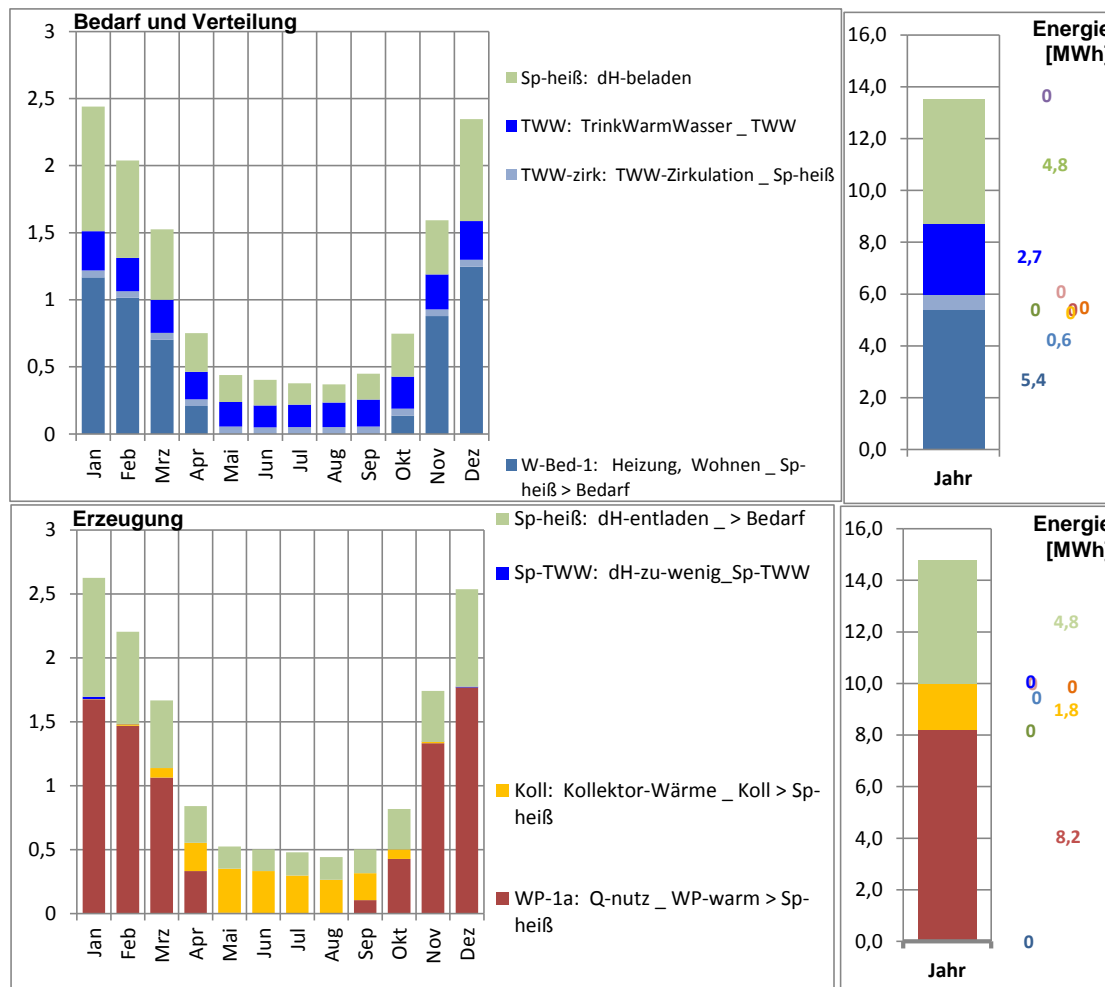
## Energieflussdiagramm





# 8. Energiekonzept WP-Außenluft + Solar (Massivhaus)

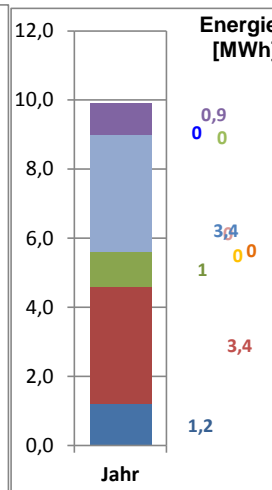
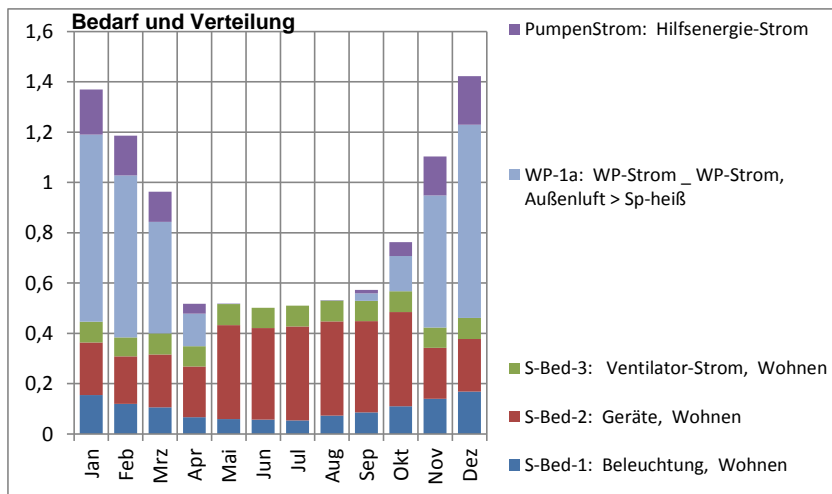
## Energieversorgung Wärme



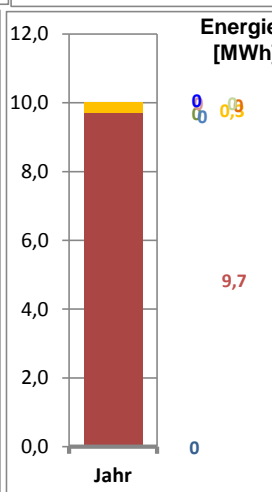
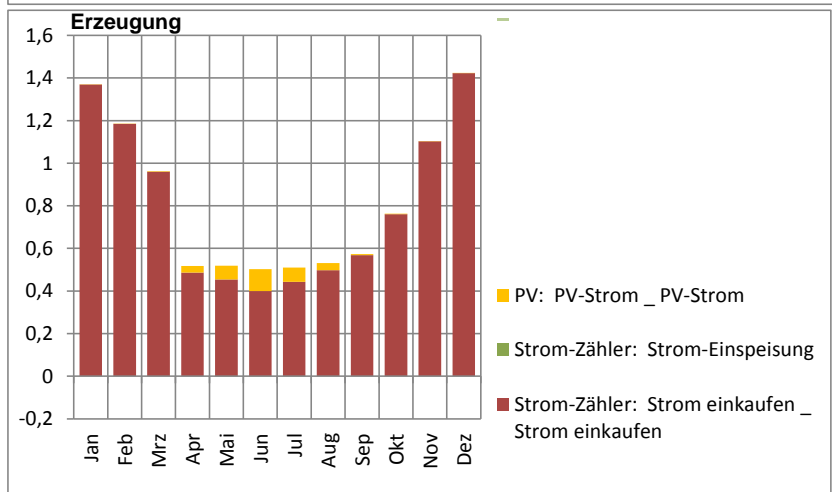
- Energieversorgung durch die Hauptkomponenten Stromnetz, Außenluft-Wärmepumpe, Solarthermie und PV
- Über die Hälfte des Wärmebedarfs wird aus der Wärmepumpe gedeckt.
- Im Sommer ist kein WP-Betrieb erforderlich, da der Wärmebedarf (TWW) aus der Solarthermie gedeckt wird.

# 8. Energiekonzept WP-Außenluft + Solar (Massivhaus)

## Energieversorgung Strom



- Etwa die Hälfte des Strombedarfs entsteht durch die Wärmepumpe.
- Der Deckungsanteil aus PV ist sehr gering.



# 9. Massivhaus – Holzhaus

## Zusammenstellung der Unterschiede

- Heizung
  - Heizperiode Ende September – Anfang Mai; heizfreie Zeiträume in den Übergangsmontaten April und Oktober beim Massivhaus größer als beim Holzhaus
  - Heizenergiebedarf Massivhaus 6,1% geringer als beim Holzhaus
  - Massivhaus häufig geringere Heizleistungen als Holzhaus; max. Heizleistung Massivhaus mit ca. 3,5 kW etwa gleich wie beim Holzhaus
- Thermischer Komfort im Sommer
  - Überhitzungshäufigkeit Massivhaus 2,5%-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Überhitzungszeitraum Massivhaus Juni – August; Holzhaus auch noch im September
  - Maximaltemperatur Massivhaus 2,8 K geringer als beim Holzhaus
- Temperaturverhalten
  - Winter: praktisch keine Unterschiede zwischen Massivhaus und Holzhaus
  - Sommer: Erhöhung der Innenraumtemperaturen im Massivhaus langsamer als im Holzhaus; Absinken der Innenraumtemperaturen bei fallenden Außentemperaturen im Massivhaus nicht so rasch und so tief wie im Holzhaus (Tiefstwerte bis ca. 1 K höher als im Holzhaus)

# 9. Vorteile Massivhaus

## Fazit

Für den Klimawandel stellt sich das Massivhaus durch sein stabileres thermisches Verhalten infolge größerer thermischer Speichermasse vorteilhaft dar.

- **trägeres Temperaturverhalten:**
  - geringere Temperaturschwankungen
  - überhitzt im Sommer nicht so schnell, kühlt im Winter nicht so schnell aus
- **besserer thermischer Komfort im Sommer:**
  - geringere Überhitzungshäufigkeit
  - niedrigere Spitzentemperaturen
- **Heizverhalten:**
  - weniger Heizenergiebedarf
  - geringere Spitzenleistungen
- **TGA (Energieversorgung):**
  - energieeffizientere Betriebsweise

# 9. Klimawandel: Massivhaus – Holzhaus

Vergleich: heutiges Klima und prognostiziertes Klima für 2035

- Klima heute (2010)
  - Min. -13,5°C; Mittel 9,5°C, Max. 35,4°C
- Klima 2035
  - Min. -9,8°C; Mittel 10,8°C, Max. 37,3°C

Bauweise	Klimadaten	Überhitzungshäufigkeit	Heizenergiebedarf	max. Heizleistung
Massivhaus	heute	4,7%	5,365 MWh/a	3,47 kW
Holzhaus	heute	7,2%	5,712 MWh/a	3,53 kW
Massivhaus	2035	13,5%	4,940 MWh/a	3,07 kW
Holzhaus	2035	14,7%	5,261 MWh/a	3,39 kW

- Die Überhitzungshäufigkeit für 2035 nimmt im Vergleich zu heute drastisch zu.
  - 2035 überhitzt das Massivhaus immerhin noch 1,2%-Punkte weniger als das Holzhaus.
- Der Heizbedarf für 2035 nimmt im Vergleich zu heute etwas ab.
  - 2035 hat das Massivhaus weiterhin ca. 300 MWh/a weniger Heizenergiebedarf als das Holzhaus.

## 9. Ausblick: Massivhaus – Holzhaus

### Weitere Parameter zur Betrachtung

- Kühlung
  - Einsatz maschineller Kühlung wurde hier nicht untersucht, da keine Kühlung erforderlich ist (thermischer Komfort ist moderat eingehalten)
  - Da das Massivhaus weniger Überhitzung und geringere Maximaltemperaturen aufweist, lässt sich folgern, dass der Kühlenergiebedarf zur weiteren Komfortsteigerung geringer ist als beim Holzhaus.
- Begrenzte Heizleistung
  - Das Massivhaus ist thermisch stabiler, daher wird es im Falle unzureichender Heizleistung im Holzhaus schneller zu kalt als im Massivhaus.

# 9. Ausblick: Zukunftsthemen

Die etwas andere Zusammenfassung und Anregungen zum Nachdenken

## ▪ **Der Gebäudespeicher**

- wirkt nur, wenn er Temperatur-Änderungen erfährt.
- wirkt passiv durch langsamere Erwärmung im Sommer gegen Überhitzung.
- wirkt aktiv durch eine Vor-Heizung im Winter zur Effizienzsteigerung der Heizung.

## ▪ **Die optimale Dämmstärke der Außenwand**

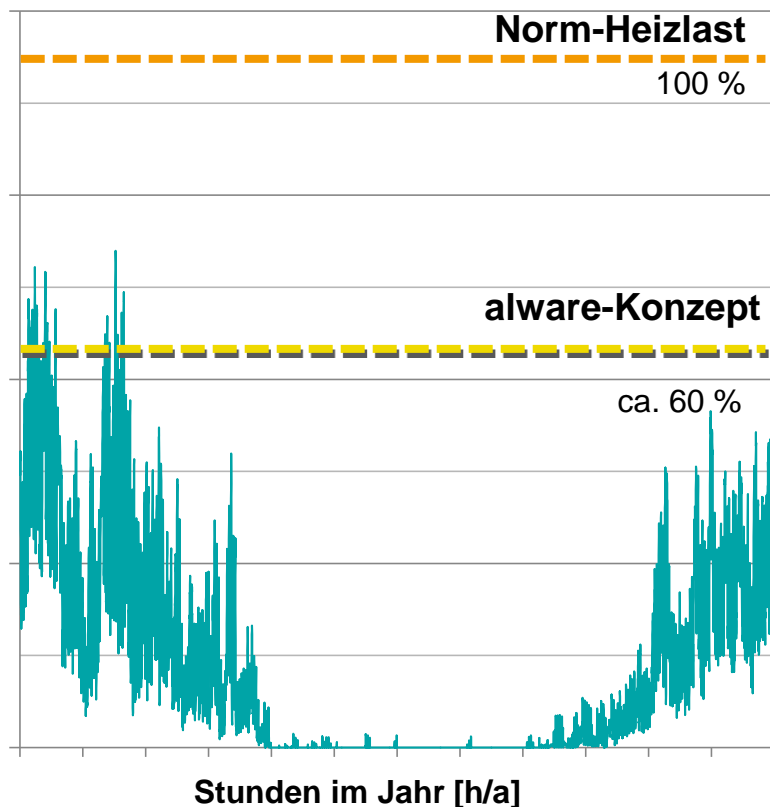
- ist möglicherweise nicht die hohe geforderte Dämmwirkung der Vorschriften.
- ist wahrscheinlich ein weniger gedämmter Stein mit mehr Speicherfähigkeit und mehr Statik.

# 10. Simulation im Vergleich zur Norm

Empfehlung: TGA-Anlagen nach Simulation auslegen

## Stündliche Heizleistungen

[kW]

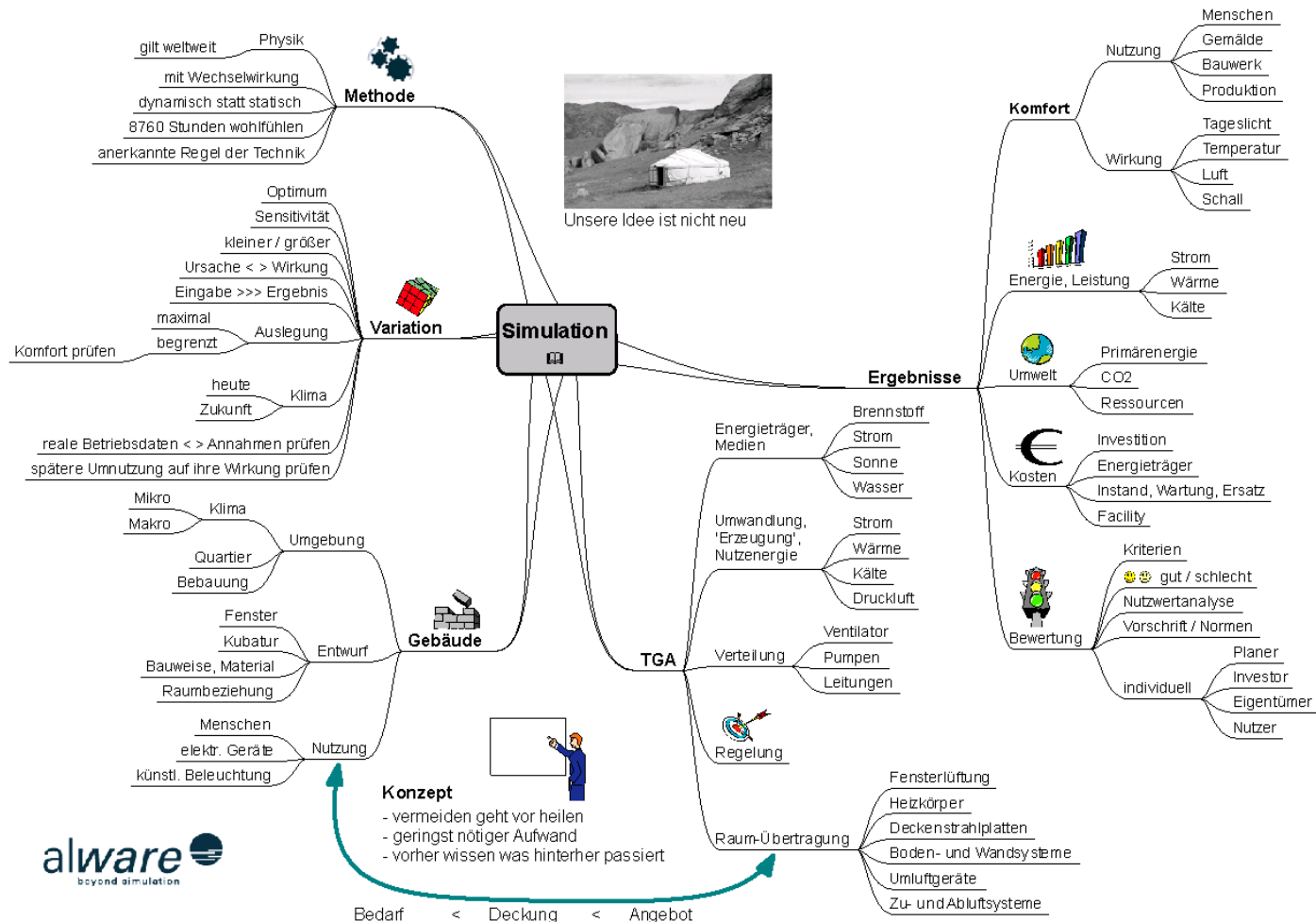


- Die TGA-Anlage wird kleiner ausgelegt als nach Norm.
- Investitions- und Betriebskosten werden reduziert.



# 10. Simulation

Übersicht: Mehr als nur eine Berechnung ...



# 10. Simulation

Profitieren Sie von unserer Erfahrung.

Über diese Internetseite gelangen Sie zu der am Vortragsende angekündigten Möglichkeit.

**[www.Perfektes-Raumklima.de](http://www.Perfektes-Raumklima.de)**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

**Ihr Ansprechpartner**

Dipl.-Phys. Ing. Andreas Lahme

**alware** GmbH

Rebenring 37

38106 Braunschweig

Telefon 0531 25072-80

Fax 0531 25072-81

E-Mail [info@alware.de](mailto:info@alware.de)

Internet [www.alware.de](http://www.alware.de)