

Energiewende im Heizungskeller

Low-Ex Systeme

Sebastian Herkel, Fraunhofer ISE

mit

J. Glembin, ISFH

D. Theis, IZES

E. Sperber, DLR

J. Binder, ZSW

Hintergrund

- Beitrag des Gebäudesektors zur Klimaschutzziele
- Bestandsgebäude sind die große Herausforderung
- **Notwendig: Kombination von baulichem Wärmeschutz und Dekarbonisierung der Heizungstechniken**

Sektor-bezogene Klimaschutzziele

	Reduktion energiebedingter CO ₂ -Emissionen von 2008 bis 2030	
Sektor	um	auf dann
Raumwärme/Warmwasser	62%	68 Mio t
Verkehr	22%	144 Mio t
Industrie/GHD	10%	62 Mio t
Stromerzeugung	57%	162 Mio t
Sonstige Umwandlungssektoren	35%	21 Mio t
SUMME	45%	456 Mio t

Klimapolitisch vorgesehene, Sektor-bezogene relative und absolute CO₂-Einsparungen von 2008 bis 2030 (nach /UBA, 2013/ und /BMWi 2013/)

Zielmatrix – baulicher Wärmeschutz / Dekarbonisierung Heizungstechniken

Endenergie RW	Endenergie RW + WW	spezifische CO ₂ -Emissionen für Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) in % bezogen auf den Wert in 2008																			
		100%	96%	94%	92%	89%	87%	84%	82%	80%	77%	75%	73%	70%	68%	66%	63%	61%	59%	56%	54%
% (2008)	% (2008)	CO ₂ -Emissionen für Raumwärme und Warmwasser in % bezogen auf den Wert in 2008																			
100%	100%	100.0	96.2	93.9	91.5	89.2	86.8	84.5	82.1	79.8	77.4	75.1	72.7	70.4	68.0	65.7	63.4	61.0	58.7	56.3	54.0
95%	96%	95.6	92.0	89.7	87.5	85.2	83.0	80.7	78.5	76.3	74.0	71.8	69.5	67.3	65.0	62.8	60.6	58.3	56.1	53.8	51.6
90%	91%	91.2	87.7	85.6	83.4	81.3	79.2	77.0	74.9	72.7	70.6	68.5	66.3	64.2	62.0	59.9	57.8	55.6	53.5	51.4	49.2
85%	87%	86.8	83.5	81.4	79.4	77.4	75.3	73.3	71.3	69.2	67.2	65.2	63.1	61.1	59.1	57.0	55.0	52.9	50.9	48.9	46.8
80%	82%	82.4	79.2	77.3	75.4	73.4	71.5	69.6	67.7	65.7	63.8	61.9	59.9	58.0	56.1	54.1	52.2	50.3	48.3	46.4	44.5
75%	78%	78.0	75.0	73.2	71.4	69.5	67.7	65.9	64.0	62.2	60.4	58.5	56.7	54.9	53.1	51.2	49.4	47.6	45.7	43.9	42.1
70%	74%	73.6	70.8	69.0	67.3	65.6	63.9	62.1	60.4	58.7	57.0	55.2	53.5	51.8	50.1	48.3	46.6	44.9	43.2	41.4	39.7
65%	69%	69.2	66.5	64.9	63.3	61.7	60.0	58.4	56.8	55.2	53.6	51.9	50.3	48.7	47.1	45.4	43.8	42.2	40.6	38.9	37.3
60%	65%	64.8	62.3	60.8	59.3	57.7	56.2	54.7	53.2	51.7	50.1	48.6	47.1	45.6	44.1	42.5	41.0	39.5	38.0	36.5	34.9
55%	60%	60.4	58.1	56.6	55.2	53.8	52.4	51.0	49.6	48.1	46.7	45.3	43.9	42.5	41.1	39.7	38.2	36.8	35.4	34.0	32.6
50%	56%	55.9	53.8	52.5	51.2	49.9	48.6	47.3	45.9	44.6	43.3	42.0	40.7	39.4	38.1	36.8	35.4	34.1	32.8	31.5	30.2
45%	52%	51.5	49.6	48.4	47.2	46.0	44.7	43.5	42.3	41.1	39.9	38.7	37.5	36.3	35.1	33.9	32.7	31.4	30.2	29.0	27.8
40%	47%	47.1	45.3	44.2	43.1	42.0	40.9	39.8	38.7	37.6	36.5	35.4	34.3	33.2	32.1	31.0	29.9	28.8	27.7	26.5	25.4

relative Werte (nach H.-M. Henning, Fraunhofer ISE)

Zielmatrix – baulicher Wärmeschutz / Dekarbonisierung Heizungstechniken

Endenergie RW	Endenergie RW + WW	spezifische CO ₂ -Emissionen für Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) in % bezogen auf den Wert in 2008																			
		100%	96%	94%	92%	89%	87%	84%	82%	80%	77%	75%	73%	70%	68%	66%	63%	61%	59%	56%	54%
E _{ERW}	E _{ERW+EEWW}	CO ₂ -Emissionen für Raumwärme und Warmwasser in % bezogen auf den Wert in 2008																			
% (2008)	% (2008)	100.0	96.2	93.9	91.5	89.2	86.8	84.5	82.1	79.8	77.4	75.1	72.7	70.4	68.0	65.7	63.4	61.0	58.7	56.3	54.0
100%	100%	95.6	92.0	89.7	87.5	85.2	83.0	80.7	78.5	76.3	74.0	71.8	69.5	67.3	65.0	62.8	60.6	58.3	56.1	53.8	51.6
95%	96%	91.2	87.7	85.6	83.4	81.3	79.2	77.0	74.9	72.7	70.6	68.5	66.3	64.2	62.0	59.9	57.8	55.6	53.5	51.4	49.2
90%	91%	86.8	83.5	81.4	79.4	77.4	75.3	73.3	71.3	69.2	67.2	65.2	63.1	61.1	59.1	57.0	55.0	52.9	50.9	48.9	46.8
85%	87%	81.9	79.9	78.0	76.1	74.1	72.2	70.2	68.3	66.3	64.3	62.3	60.3	58.3	56.3	54.3	52.3	50.3	48.3	46.4	44.5
80%	82%	78.5	76.7	74.9	73.1	71.2	69.4	67.5	65.6	63.7	61.8	59.9	58.0	56.1	54.1	52.2	50.3	48.3	46.4	44.5	42.1
75%	78%	75.2	73.5	71.8	70.1	68.3	66.5	64.7	62.9	61.1	59.3	57.5	55.7	53.9	52.1	50.3	48.5	46.7	44.9	43.1	41.3
70%	74%	71.9	70.3	68.7	67.1	65.4	63.8	62.1	60.5	58.9	57.3	55.7	54.1	52.5	50.9	49.3	47.7	46.1	44.5	42.9	41.3
65%	69%	68.6	67.1	65.6	64.1	62.5	61.0	59.5	57.9	56.4	54.9	53.3	51.8	50.3	48.7	47.1	45.6	44.1	42.5	41.0	39.5
60%	65%	65.3	63.9	62.5	61.1	59.6	58.2	56.7	55.3	53.8	52.4	50.9	49.5	48.0	46.6	45.1	43.7	42.2	40.8	39.3	37.9
55%	60%	55.9	53.8	52.5	51.2	49.9	48.6	47.3	45.9	44.6	43.3	42.0	40.7	39.4	38.1	36.8	35.4	34.1	32.8	31.5	30.2
50%	56%	51.5	49.6	48.4	47.2	46.0	44.7	43.5	42.2	41.1	39.9	38.7	37.5	36.3	35.1	33.9	32.7	31.4	30.2	29.0	27.8
45%	52%	47.1	45.3	44.2	43.1	42.0	40.9	39.8	38.7	37.6	36.5	35.4	34.3	33.2	32.1	31.0	29.9	28.8	27.7	26.5	25.4
40%	47%																				

**Reduktion
Raumwärme 60%:
▶ 20% Dekarbonisierung**

relative Werte (nach H.-M. Henning, Fraunhofer ISE)

Zielmatrix – baulicher Wärmeschutz / Dekarbonisierung Heizungstechniken

Endenergie RW	Endenergie RW + WW	spezifische CO ₂ -Emissionen für Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) in % bezogen auf den Wert in 2008																													
		100%	96%	94%	92%	89%	87%	84%	82%	80%	77%	75%	73%	70%	68%	66%	63%	61%	59%	56%	54%										
% (2008)	% (2008)	CO ₂ -Emissionen für Raumwärme und Warmwasser in % bezogen auf den Wert in 2008																													
100%	100%	100.0	96.2	93.9	91.5	89.2	86.8	84.5	82.1	<div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 10px; text-align: center;"> <h2 style="margin: 0;">Reduktion Raumwärme 40%: ▶ 61% Dekarbonisierung</h2> </div>										4.0											
95%	96%	95.6	92.0	89.7	87.5	85.2	83.0	80.7	78.5											1.6											
90%	91%	91.2	87.7	85.6	83.4	81.3	79.2	77.0	74.9											9.2											
85%	87%	86.8	83.5	81.4	79.4	77.4	75.3	73.3	71.3											6.8											
80%	82%	82.4	79.2	77.3	75.4	73.4	71.5	69.6	67.7											4.5											
75%	78%	78.0	75.0	73.2	71.4	69.5	67.7	65.9	64.0											2.1											
70%	74%	73.6	70.8	69.0	67.3	65.6	63.9	62.1	60.4											58.7	57.0	55.2	53.5	51.8	50.1	48.3	46.6	44.9	43.2	41.4	39.7
65%	69%	69.2	66.5	64.9	63.3	61.7	60.0	58.4	56.8											55.2	53.6	51.9	50.3	48.7	47.1	45.4	43.8	42.1	40.6	38.9	37.3
60%	65%	64.8	62.3	60.8	59.3	57.7	56.2	54.7	53.2											51.7	50.1	48.6	47.1	45.6	44.1	42.5	41.0	39.5	38.0	36.5	34.9
55%	60%	60.4	58.1	56.6	55.2	53.8	52.4	51.0	49.6											48.1	46.7	45.3	43.9	42.5	41.1	39.7	38.2	36.8	35.4	34.0	32.6
50%	56%	55.9	53.8	52.5	51.2	49.9	48.6	47.3	45.9	44.6	43.3	42.0	40.7	39.4	38.1	36.8	35.4	34.1	32.8	31.5	30.2										
45%	52%	51.5	49.6	48.4	47.2	46.0	44.7	43.5	42.3	41.1	39.9	38.7	37.5	36.3	35.1	33.9	32.7	31.4	30.2	29.0	27.8										
40%	47%	47.1	45.3	44.2	43.1	42.0	40.9	39.8	38.7	37.6	36.5	35.4	34.3	33.2	32.1	31.0	29.9	28.8	27.7	26.5	25.4										

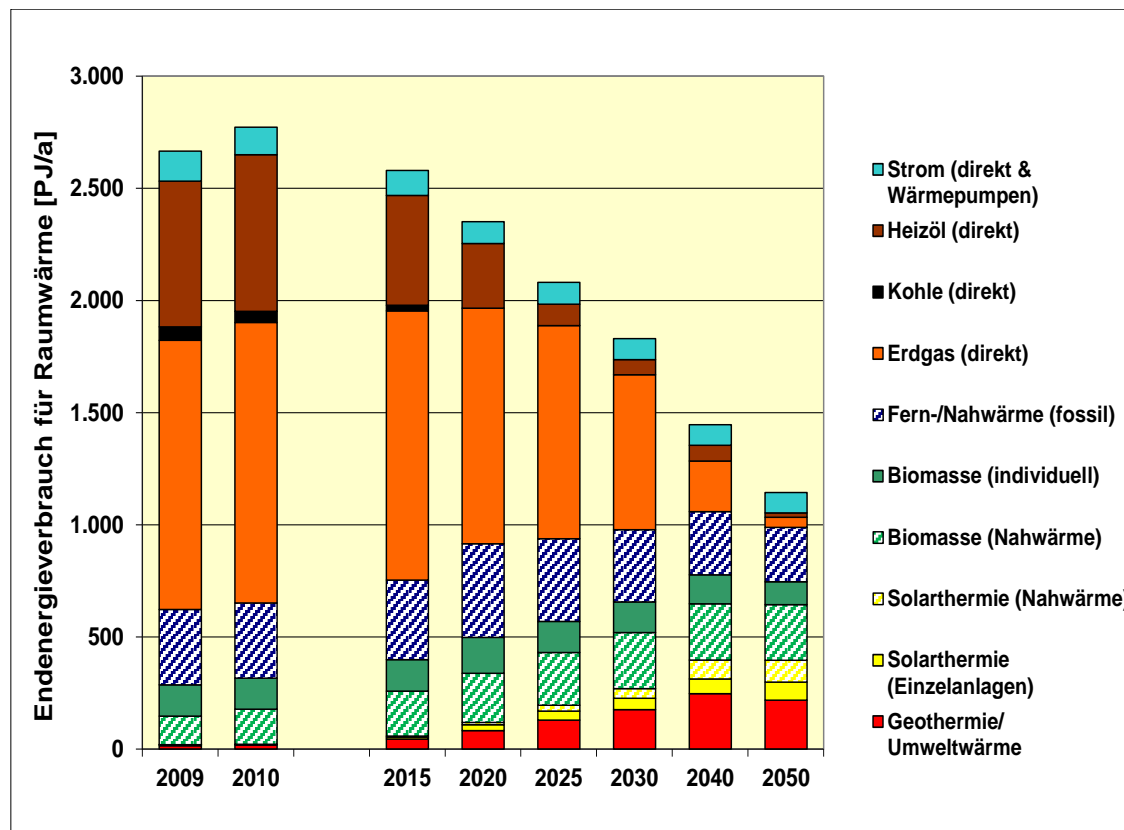
relative Werte (nach H.-M. Henning, Fraunhofer ISE)

Strukturwandel im Raumwärmesektor

gemäß DLR-Leitstudie 2011 Szenario A

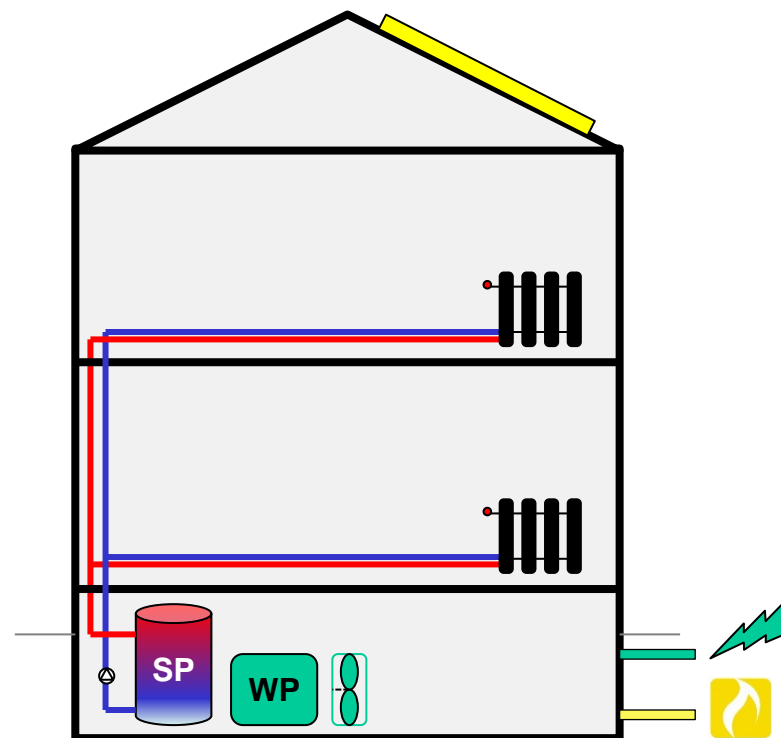
Ausgewogener Mix bis 2050:

- Reduktion EEV Raumwärme um ca. 60 %
- Von verbleibendem Bedarf knapp 60 % aus EE gedeckt
- Öl- und Erdgaskessel fast gänzlich aus Raumwärmemarkt verbannt
- Stärkere Vernetzung von Strom- und Wärmemarkt durch KWK und Wärmepumpen
- Hohes Wachstum bei Wärmepumpen und ggf. Solarthermie
- LowEx Systeme werden zentrale Technologie



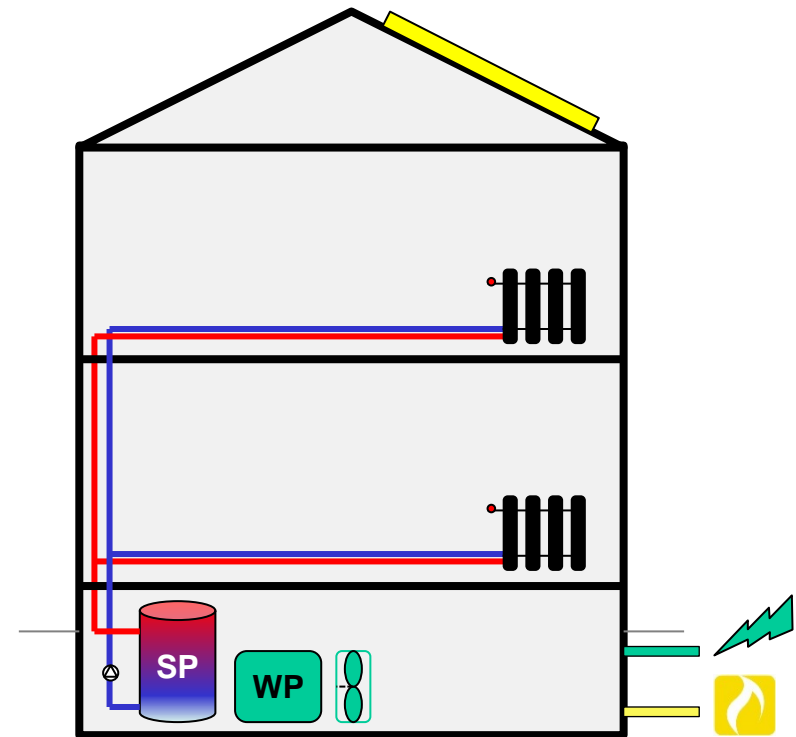
LowEx Technologien für die Energiewende im Heizungskeller

- **Wandler**
 - Elektrische Wärmepumpen
 - Thermische Wärmepumpen
 - Solarthermie
 - Fernwärme
 - (KWK, Brenner)
- **Quellen**
- **Speicher**
- **Verteilung und Übergabesysteme**
- **Interaktion**
 - Elektrisches Netz
 - Gasnetz / Biomasse
 - (Wärmenetze)



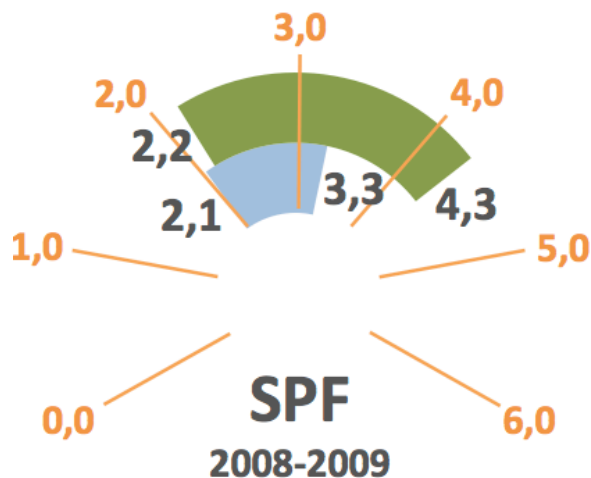
LowEx Technologien für die Energiewende im Heizungskeller

- **Wandler**
 - Elektrische Wärmepumpen
 - Thermische Wärmepumpen
 - Solarthermie
 - Fernwärme
 - (KWK, Brenner)
- **Quellen**
- **Speicher**
- **Verteilung und Übergabesysteme**
- **Interaktion**
 - Elektrisches Netz
 - Gasnetz / Biomasse
 - (Wärmenetze)

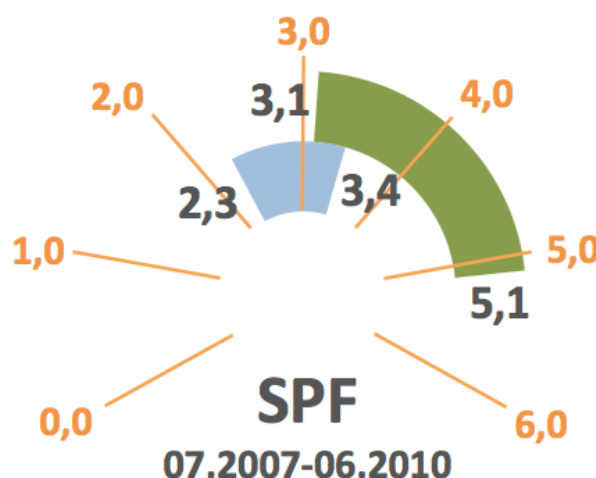


Arbeitszahlen Wärmepumpen – Überblick, Bandbreiten

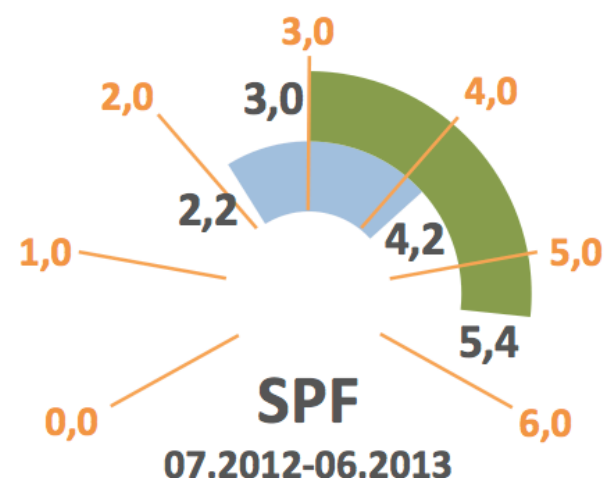
WP im Gebäudebestand



Neubau (WP Effizienz)



Neubau (WP Monitor)



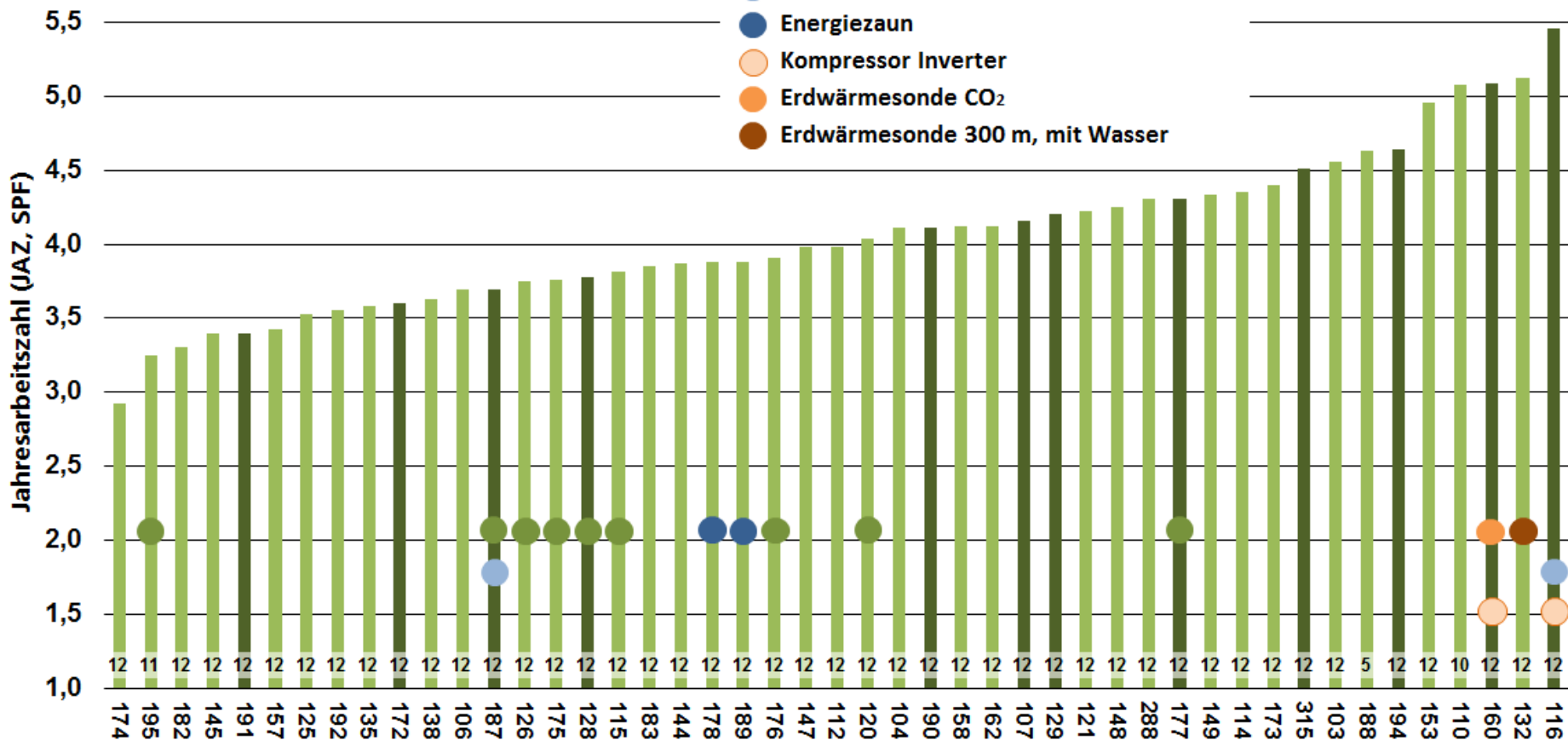
- Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen
- Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

JAZ Sole/Wasser – Wärmepumpen

Projekt „WP Monitor“, Juli 2012 – Juni 2013

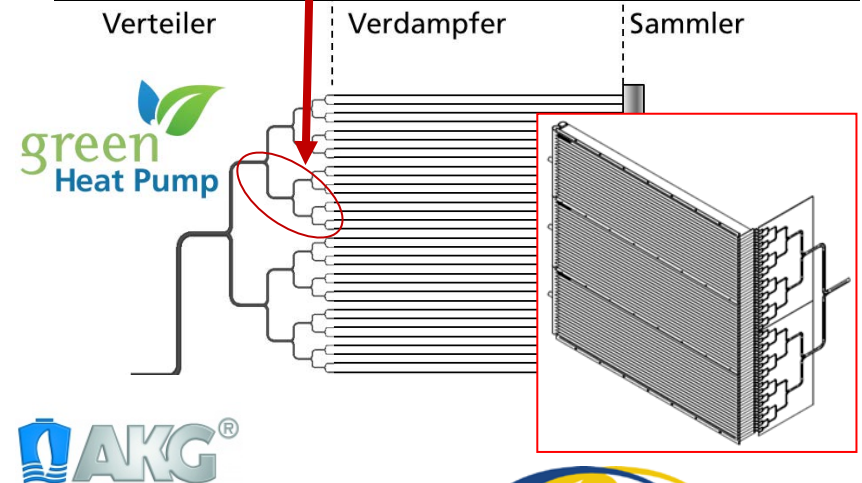
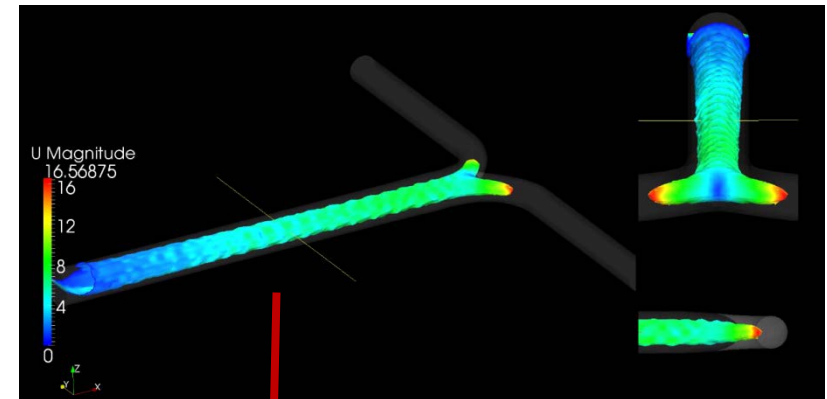
Anlagen aus dem Projekt "WP Effizienz"
neue Anlagen

- Erdreichkollektoren
- Direktverdampfung
- Energiezaun
- Kompressor Inverter
- Erdwärmesonde CO₂
- Erdwärmesonde 300 m, mit Wasser



Optimierung Wärmepumpen Kältemittelkreis

- Effizienz von Luft-Wasser Wärmepumpen steigern: Hohe Leistung und geringe Umweltbelastung
- durch den Einsatz von erweiterten Systemintegrationskonzepten
 - Beispiel: Substitution herkömmlicher Kältemittel durch z.B. R290 (Propan)
- Durch Optimierung auf Komponentenebene
 - Beispiel: Optimierung Druckverlust Fluidverteiler und Wärmetauscher

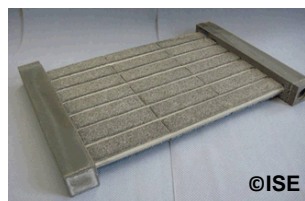
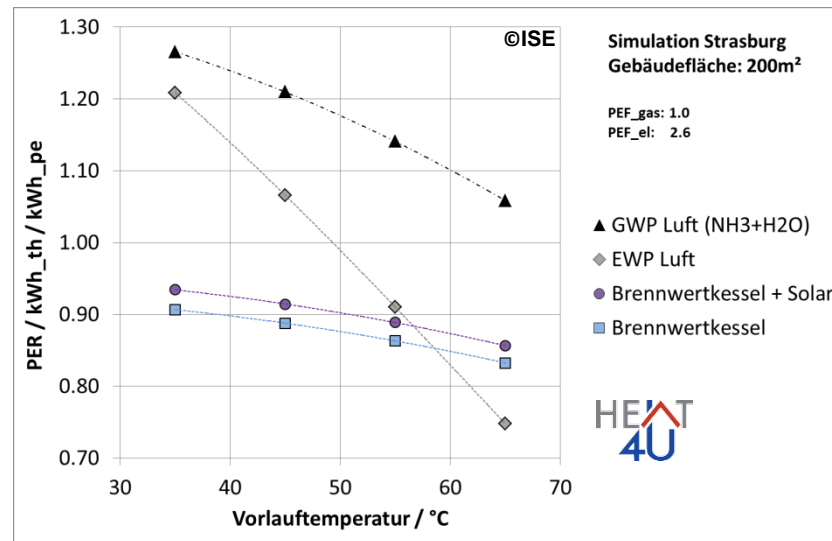
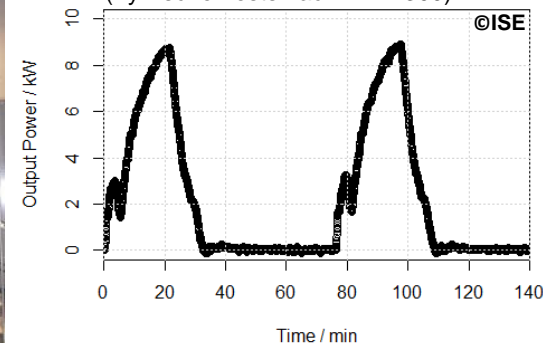


Thermisch angetriebene Wärmepumpen

- **Luft-Wasser Absorptionswärmepumpen im Bestand:**
 - Gute Charakteristik auch bei hohen Vorlauftemperaturen (NH₃+Wasser Absorption)
 - Vermessung im Labor und im Feld (Projekt Heat4U – EU FP7)
- **Entwicklung von Adsorptionswärmepumpen:**
 - Steigerung Leistungskennzahlen durch neue Kompositmaterialien und Wärmeübertragerkonzepte

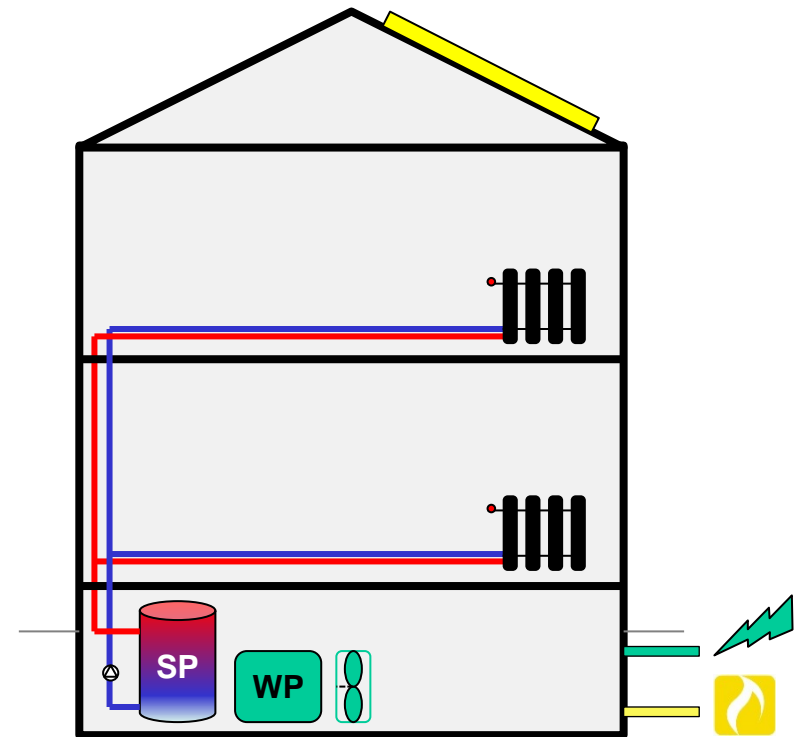


Experimentelle Charakterisierung (Zyklische Tests nach EN12309)



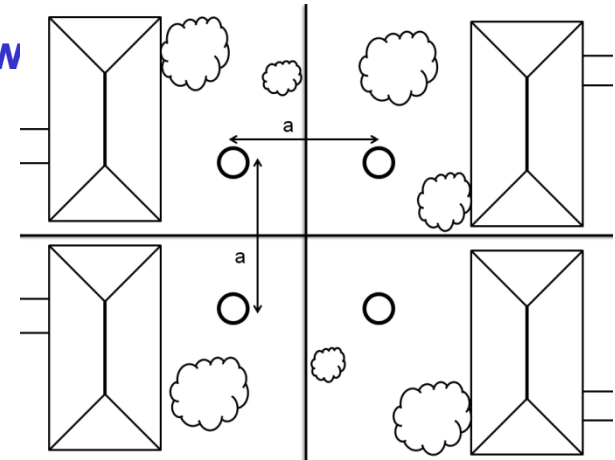
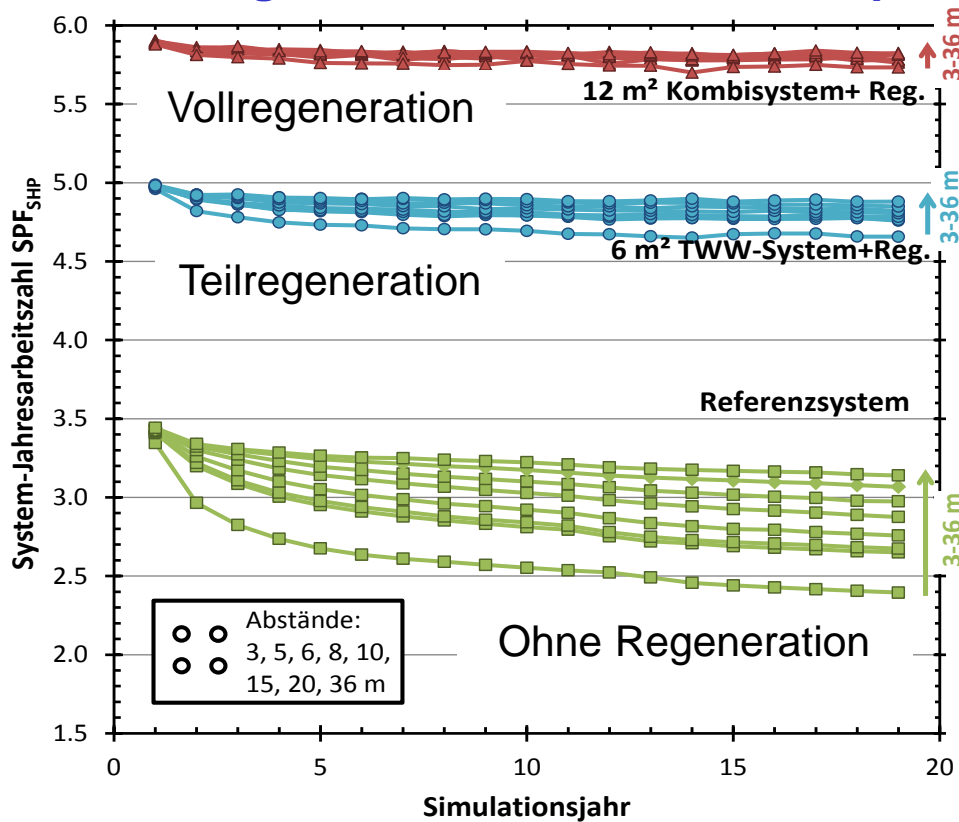
LowEx Technologien für die Energiewende im Heizungskeller

- **Wandler**
 - Elektrische Wärmepumpen
 - Thermische Wärmepumpen
 - Solarthermie
 - Fernwärme
 - (KWK, Brenner)
- **Quellen**
- **Speicher**
- **Verteilung und Übergabesysteme**
- **Interaktion**
 - Elektrisches Netz
 - Gasnetz / Biomasse
 - (Wärmenetze)



Solare Regeneration von Erdwärmesondenfeldern

Siedlungen mit vielen Sonden entspricht Erdw

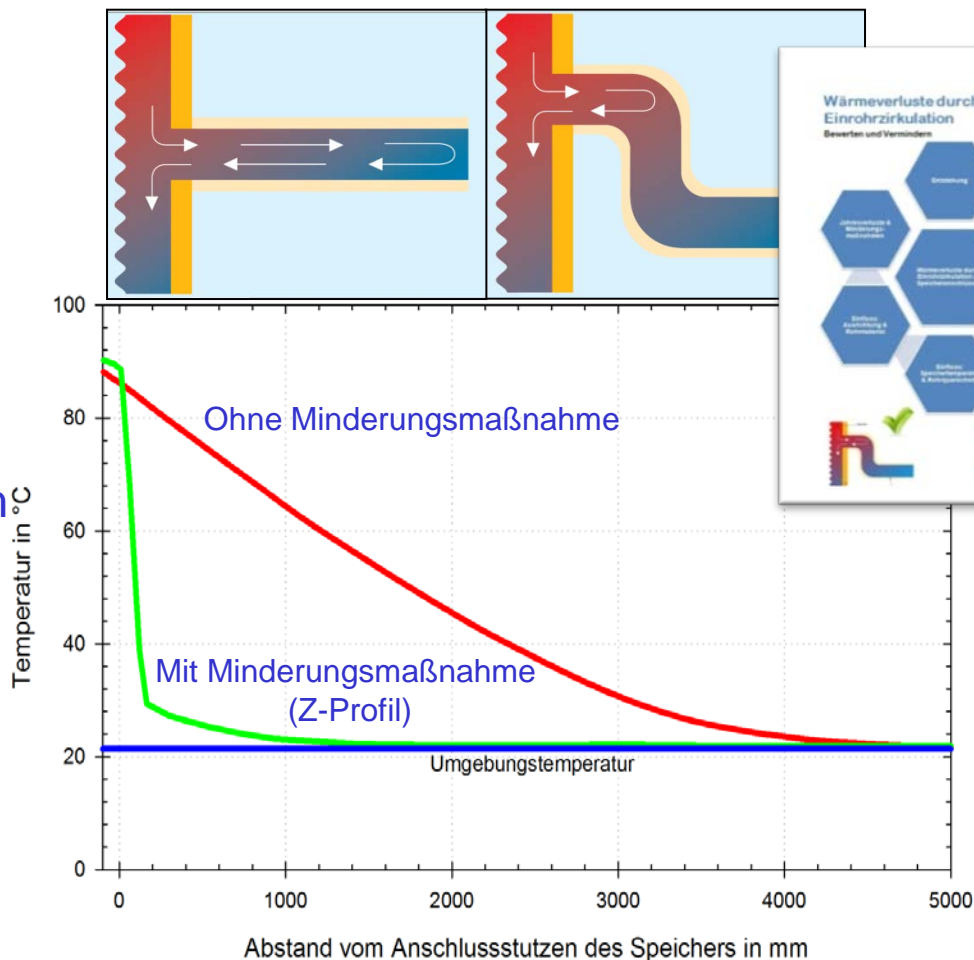


- Ohne Regeneration: Langfrist-Drift mit Mehrverbrauch
- Solare Regeneration vermeidet Problem vollständig
- Vereinfacht Planung und Genehmigung

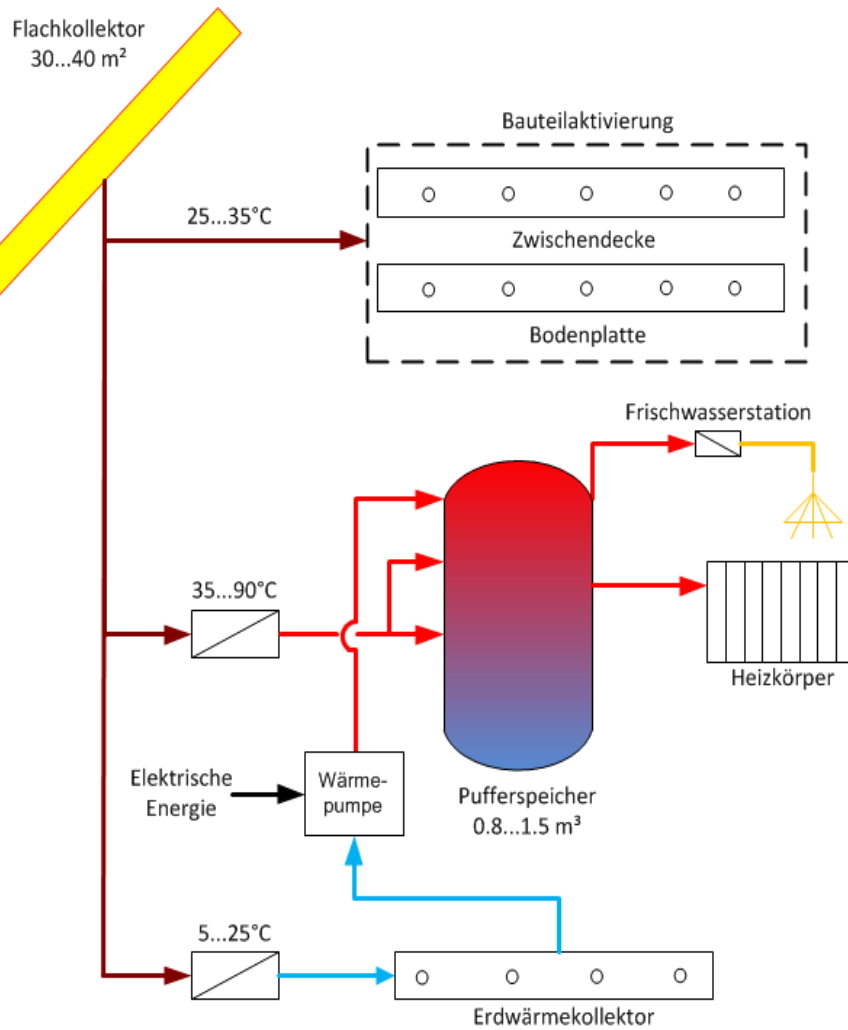
Einrohrzirkulation – unerwünschter Effekt

Einrohrzirkulation (ERZ)

- tritt auf an Speichern, Kesseln, Verteilern, ...
- Verluste in typischen EFH-Speichern: 200-400 kWh/a
- damit allein verantwortlich für ca. 0,15% der Endenergie in D
- Kostengünstig vermeidbar
- Praxishandbuch liegt vor (www.isfh.de)



Sonnenhaus mit kleinem Speicher



- Solare Bauteilaktivierung
- Nutzung bereits vorhandener Gebäude-Speichermasse
- Kostengünstig ausführbar
- Solare Wärme direkt nutzbar, keine Zwischenspeicherung nötig
- Niedrige Temperatur – hoher Ertrag
- Projektergebnisse
- Gleich hohe solare Deckung wie Sonnenhaus mit großem Speicher
- Höhere solare Erträge im Winter
- Neue Regelung belädt die Senke mit dem größtem Einspareffekt

RESOL®

Sonnenhaus mit kleinem Speicher



- Experimentalgebäude
- Fertigstellung Herbst 2014
- Erwarteter Endenergiebedarf 8,5 kWh/m²a (elektrisch)
- Überprüfung der
 - positiven Simulationsergebnisse
 - Robustheit des Konzepts
- Kostenreduktion bereits bei erstem Prototyp gezeigt

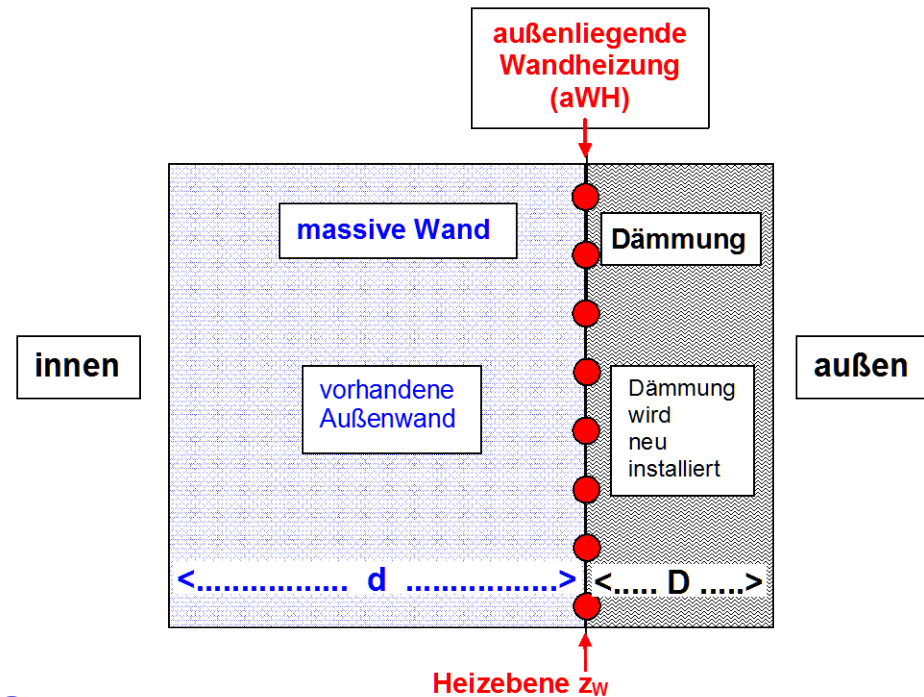


Übergabesysteme

Außenliegende Wandheizung

Kernthema des Projektes ist die außenliegende Wandheizung (aWH)

- Einsatz von LowEx-Wärme möglich
- Massive Außenwand ist auch als Wärme- oder Kältespeicher nutzbar (thermische Bauteilaktivierung)
- Sanierung des Heizsystems „von außen“ möglich, dabei geringe Beeinträchtigung für die Bewohner
- Aktueller Stand:
 - Simulationsstudien mit TRNSYS bzgl. Potenzial der aWH/aLH (u.a. Primärenergieeinsparung)



Forschungsprojekt „LEXU II – Feldtest“
 „Low Exergy Utilisation – Einsatz von außenliegender Wandheizung bei der Gebäudesanierung“

Übergabesysteme

Außenliegende Wandheizung

Erweiterung der aWH zu einer außenliegenden Luftheizung (aLH)

Durch Einbau eines Luftspalts wird die aWH zur Frischluftherwärmung genutzt.

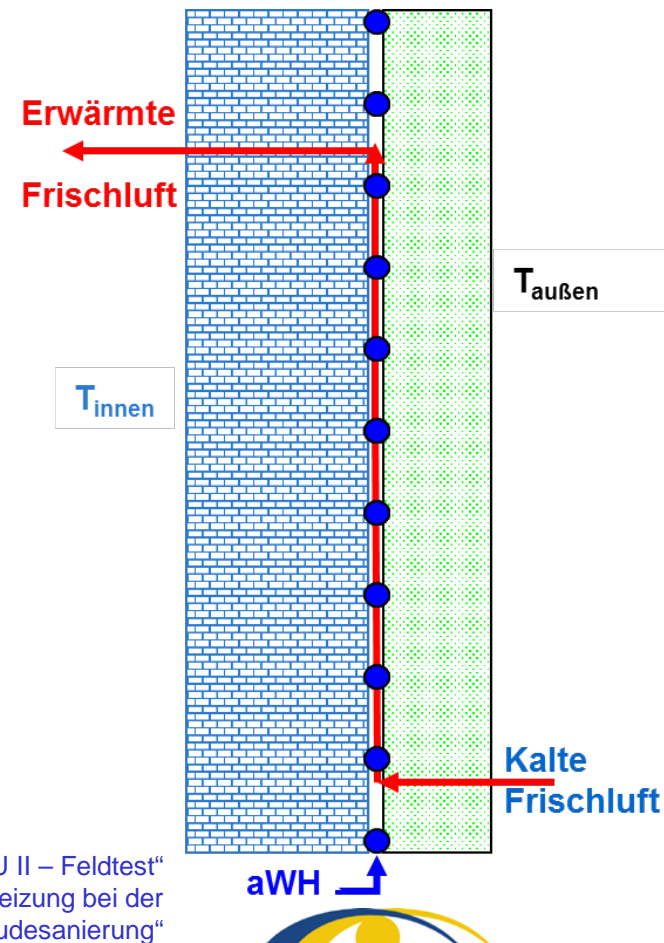
Positive Effekte:

- Nutzung von noch niedrigeren Temperaturen
- Die träge regelbare aWH wird durch die schnell reagierende aLH ergänzt
- Volle Deckung des Heizwärmebedarfs über Kombination aWH/aLH erscheint möglich

Gefördert durch:



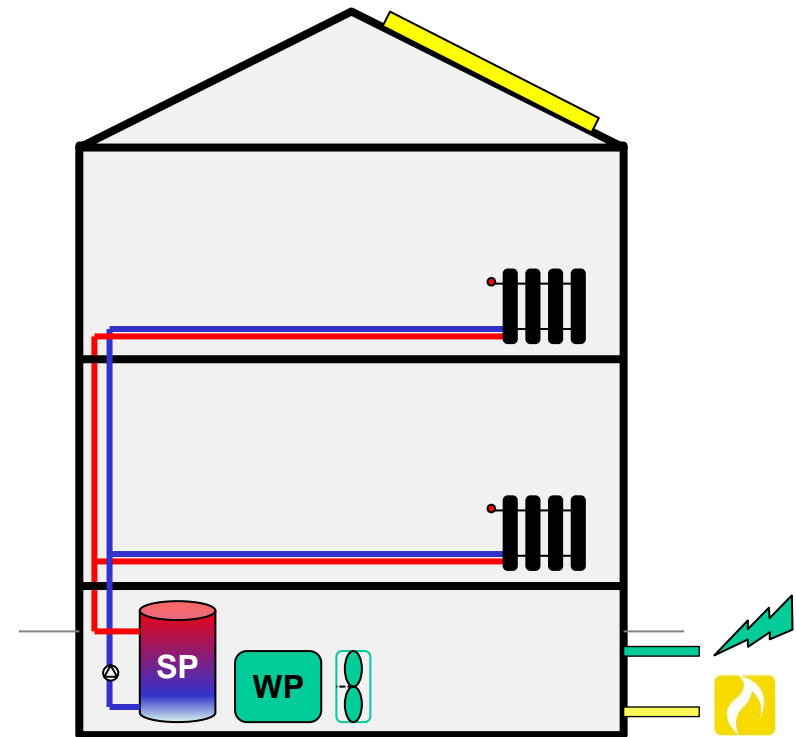
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Forschungsprojekt „LEXU II – Feldtest“
 „Low Exergy Utilisation – Einsatz von außenliegender Wandheizung bei der Gebäudesanierung“

LowEx Technologien für die Energiewende im Heizungskeller

- **Wandler**
 - Elektrische Wärmepumpen
 - Thermische Wärmepumpen
 - Solarthermie
 - Fernwärme
 - (KWK, Brenner)
- **Quellen**
- **Speicher**
- **Verteilung und Übergabesysteme**
- **Interaktion**
 - Elektrisches Netz
 - Gasnetz / Biomasse
 - (Wärmenetze)

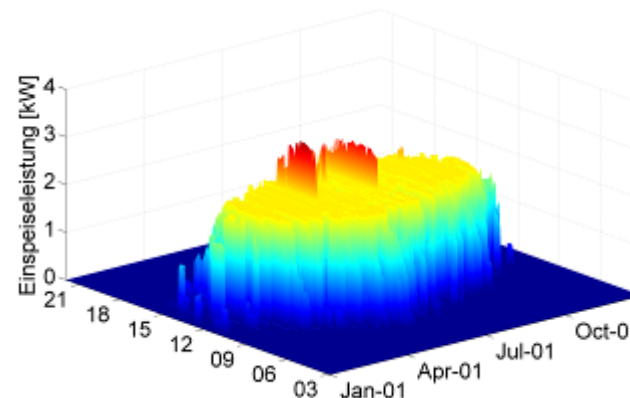


Lastmanagement und Netzentlastung

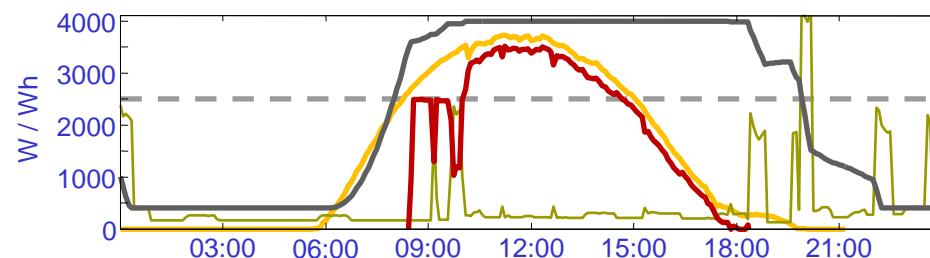
Optimierungsziele für die Wärmepumpensteuerung und die Speichernutzung:

- soviel Eigenverbrauch wie möglich
- sowenig Leistungsspitzen ins Netz wie möglich

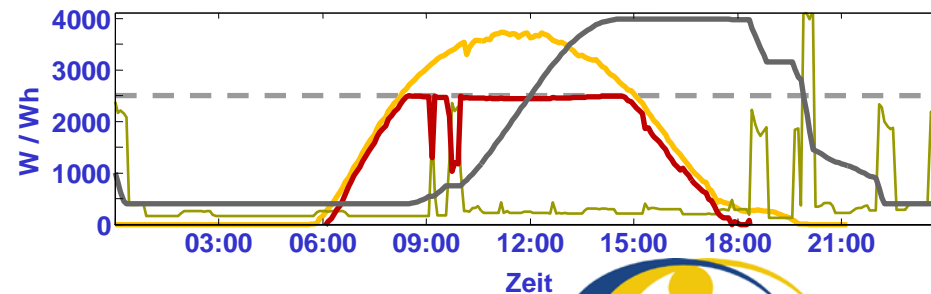
- Maximale Einspeiseleistung
- PV Leistung [W]
- Verbrauch [W]
- Eingespeiste Leistung [W]
- Energieinhalt der Batterie [Wh]



Direktes Laden



Verzögertes Laden bzw. „Peak Shaving“

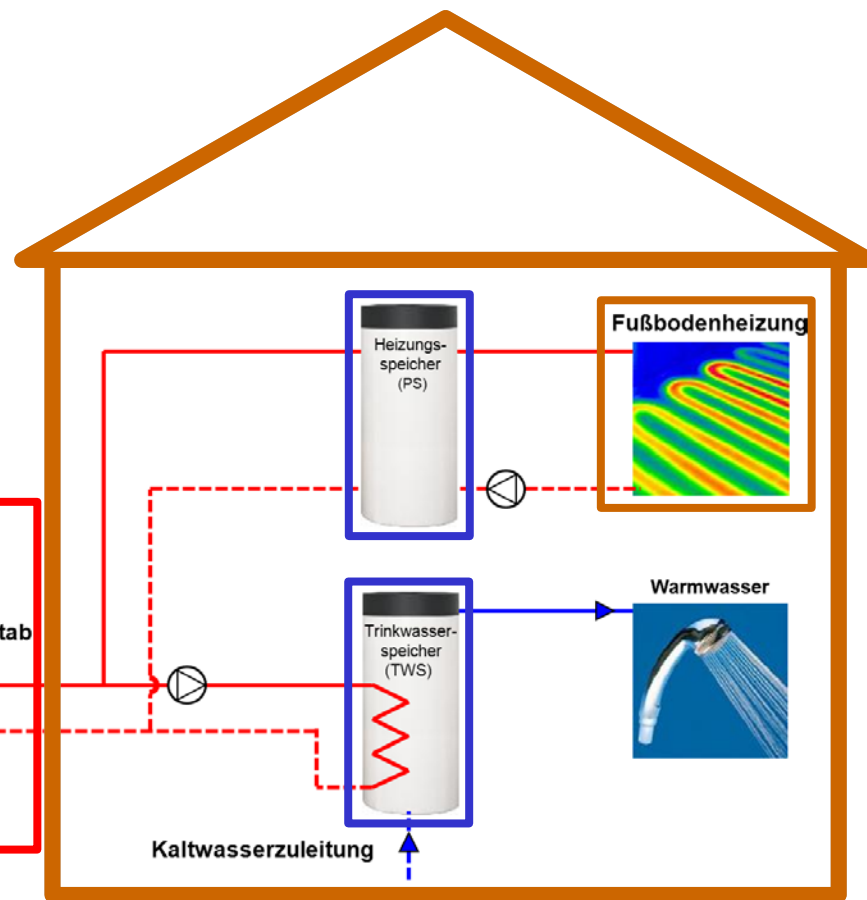
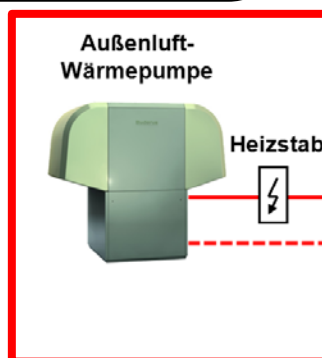


Lastverschiebungspotenzial Wärmepumpensysteme

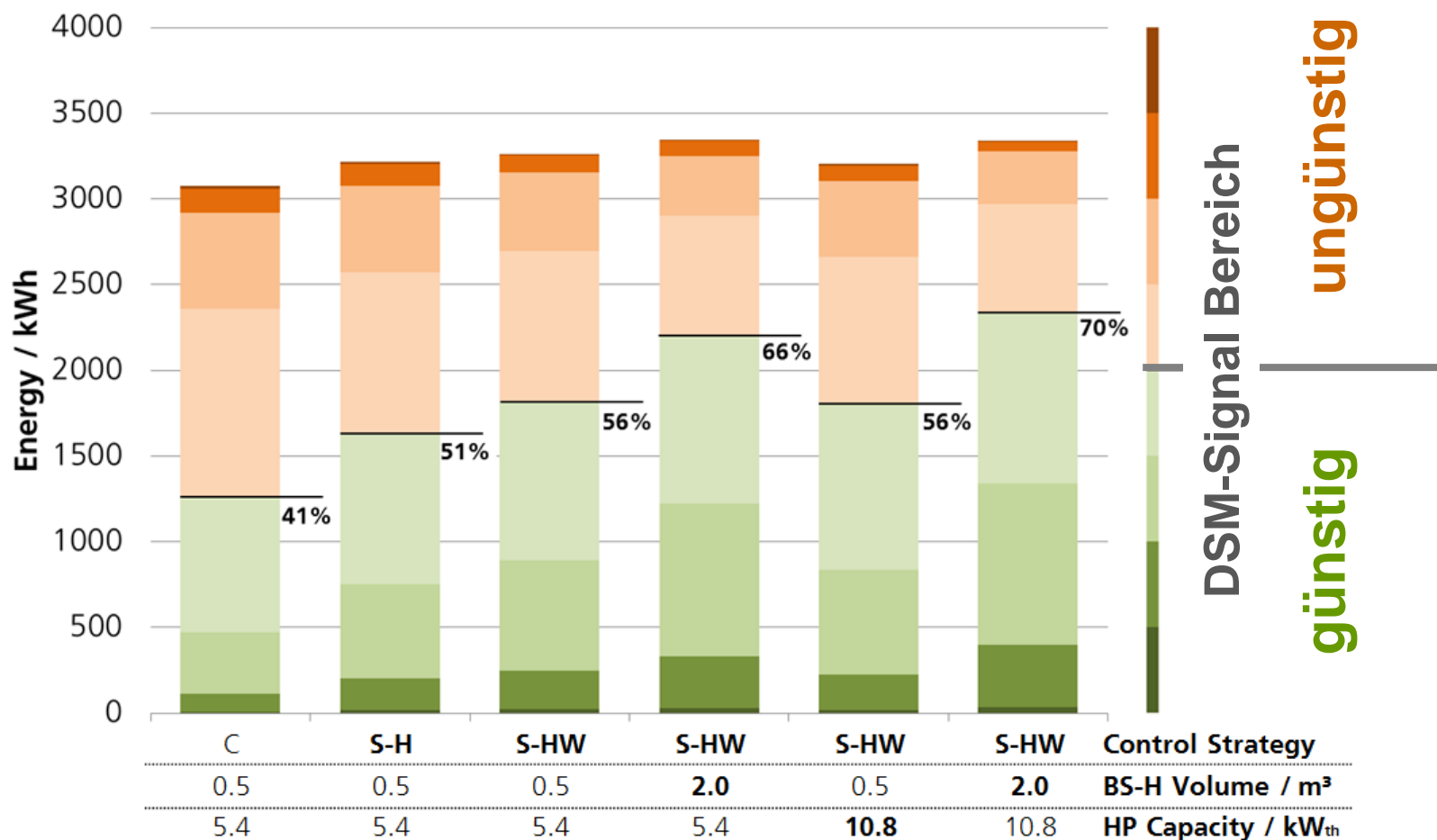
Dimensionierung und Betriebsart

Speicherkapazität in Heiz- und TW-Speichern

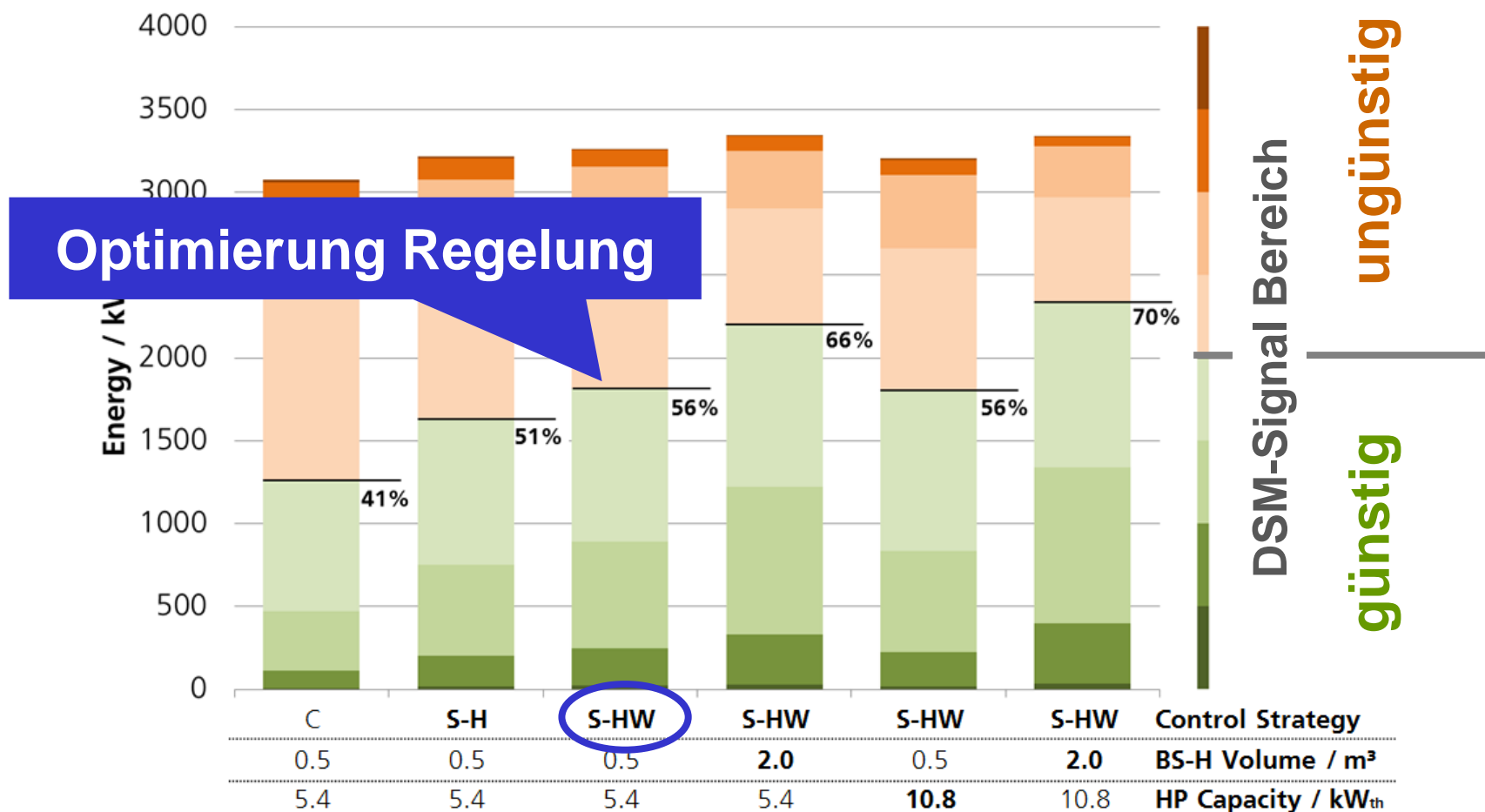
**Aktivierung von
Gebäudemasse und
Fußbodenheizung**



Lastverlagerung in den netzdienlichen Bereich

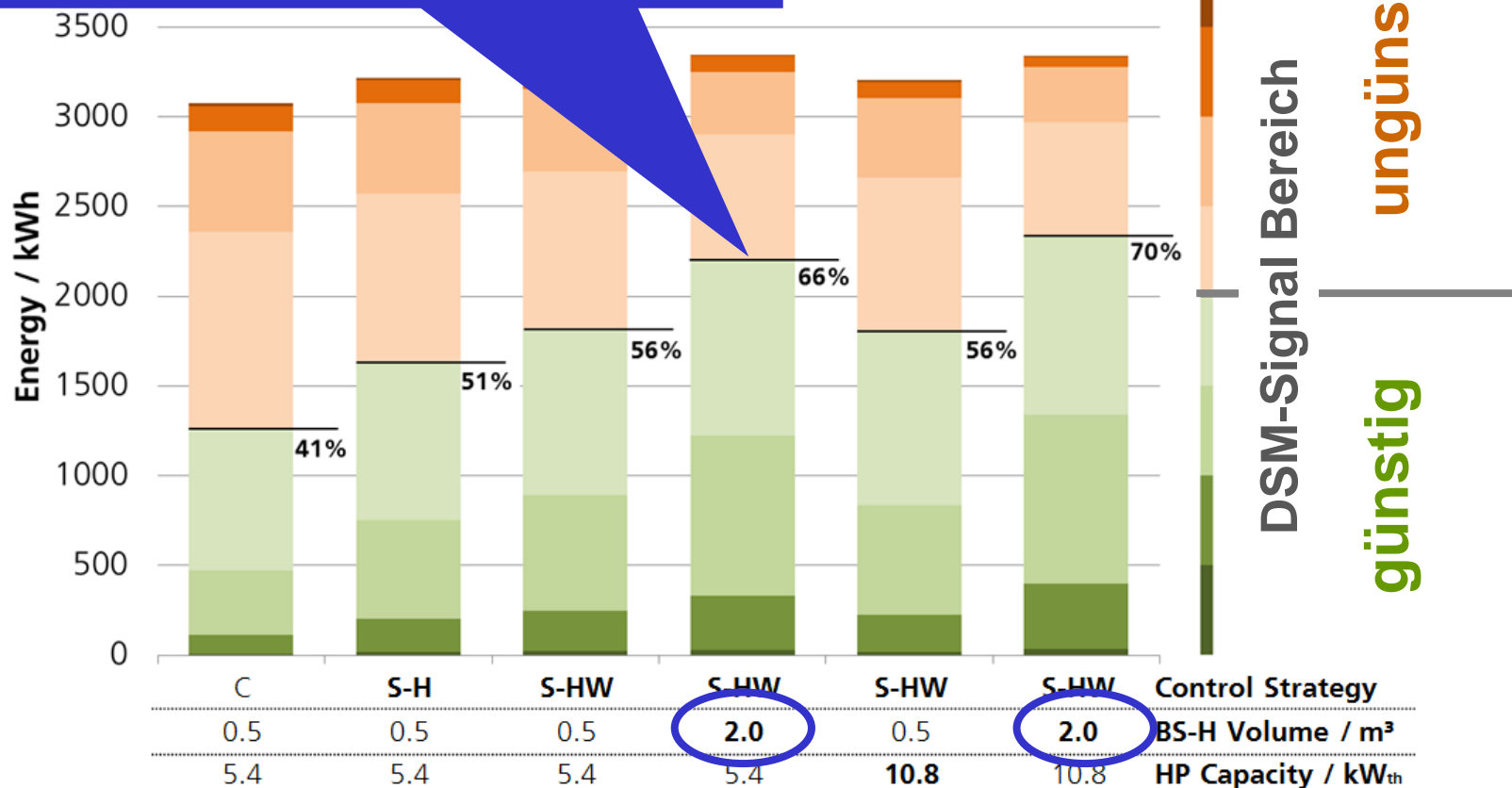


Lastverlagerung in den netzdienlichen Bereich



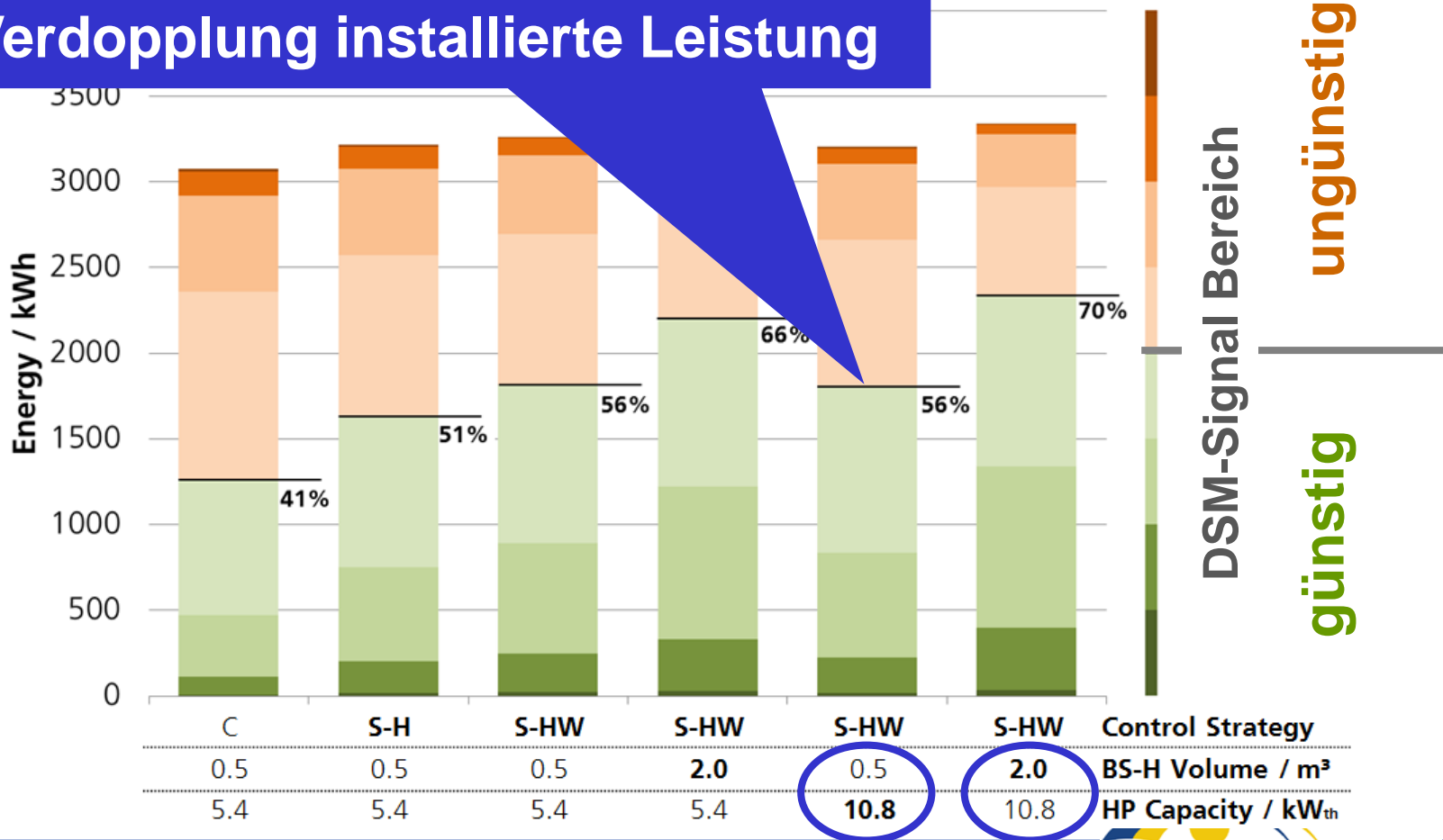
Lastverlagerung in den netzdienlichen Bereich

Erhöhung Speicherkapazität



Lastverlagerung in den netzdienlichen Bereich

Verdopplung installierte Leistung

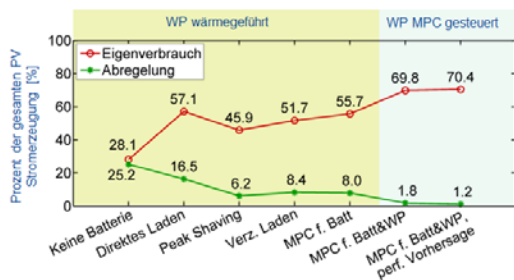


Lastverschiebepotentiale PV / Wärmepumpensysteme



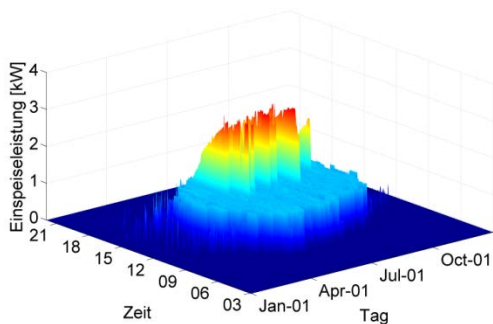
Einfamilienhaus mit angepaßter PV-Anlage an den Jahresverbrauch der Haushaltsgeräte

- Eigenverbrauch und Autarkie von ~30%



Weitere Erhöhung der Eigenversorgung durch zeitliche Anpassung des Bedarfs an das Solarangebot:

- angepaßten Betrieb der Wärmepumpe (Lastmanagement / modellprädiktive Regelung)
- elektrische und thermische Speicherung



Gleichzeitig netzdienlicher Betrieb erreichbar

Fazit

- **Nutzung von Umweltwärme in großem Umfang in Bestandsgebäuden**
 - Elektrische Wärmepumpen werden backstop Technologie
 - Thermische Wärmepumpen und Hybridsysteme erlauben eine schnelle Umstellung bei gut ausgebautem Gasnetz
 - Jeweils Anpassung und Optimierung der Quellen- und Senkenseite
- **mKWK, Biomassekessel dort wo hohe Temperaturen unvermeidlich sind**
- **Systemische Aspekte werden wichtiger: Integration in Sanierungsprozess und Interaktion mit den Netzen**

