

Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.

Wärmespeicher – Ein Baustein der Energiewende



Dipl.-Phys. Manfred Reuß

ZAE Bayern, Walther-Meißner-Str.6, 85748 Garching
reuss@muc.zae-bayern.de; www.zae-bayern.de

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

MOTIVATION



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Mehr erneuerbare Energien integrieren
- Fluktuierende Energiequellen ausgleichen
- Energieeffizienz steigern
- Ungenutzte Energien müssen nutzbar gemacht werden

➤ **Energiespeicherung**

MOTIVATION



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Steigerung der Energieeffizienz
- Ungenutzte Energien nutzbar machen

- **Abwärmenutzung**
- **Thermische Energiespeicher!**



MOTIVATION



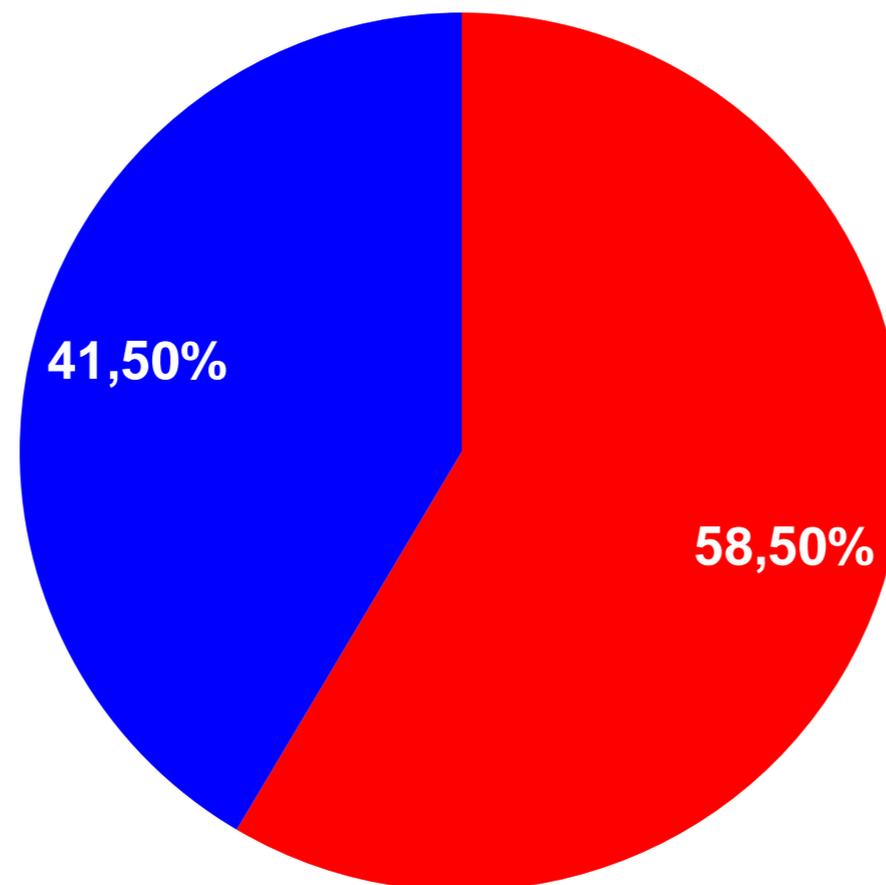
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Mehr erneuerbare Energien integrieren
- Fluktuierende Energiequellen ausgleichen
- **Elektrizität - elektrische Energiespeicher**
- **Thermische Energiespeicher**



Was wir brauchen ist Wärme & Kälte!



Wärme & Kälte
Sonstiges – Strom,
Mobilität, ...

NOTWENDIGKEIT DER SPEICHERUNG

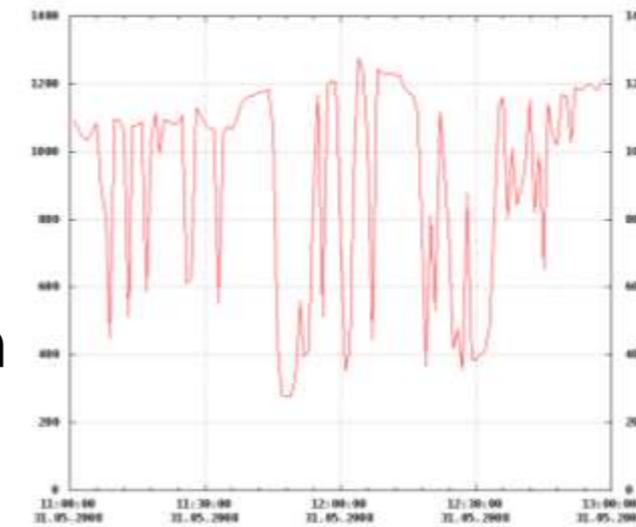


ZAE BAYERN

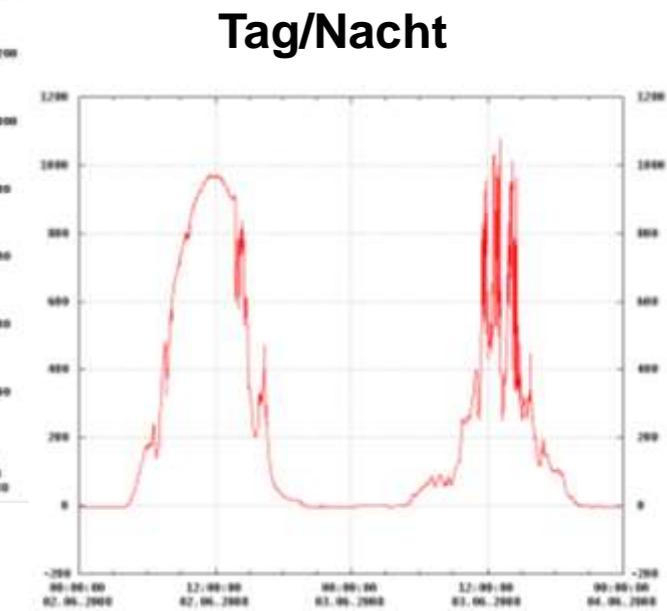
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Solares Strahlungsangebot (Wärmequelle) und Nachfrage (Wärmebedarf) differieren

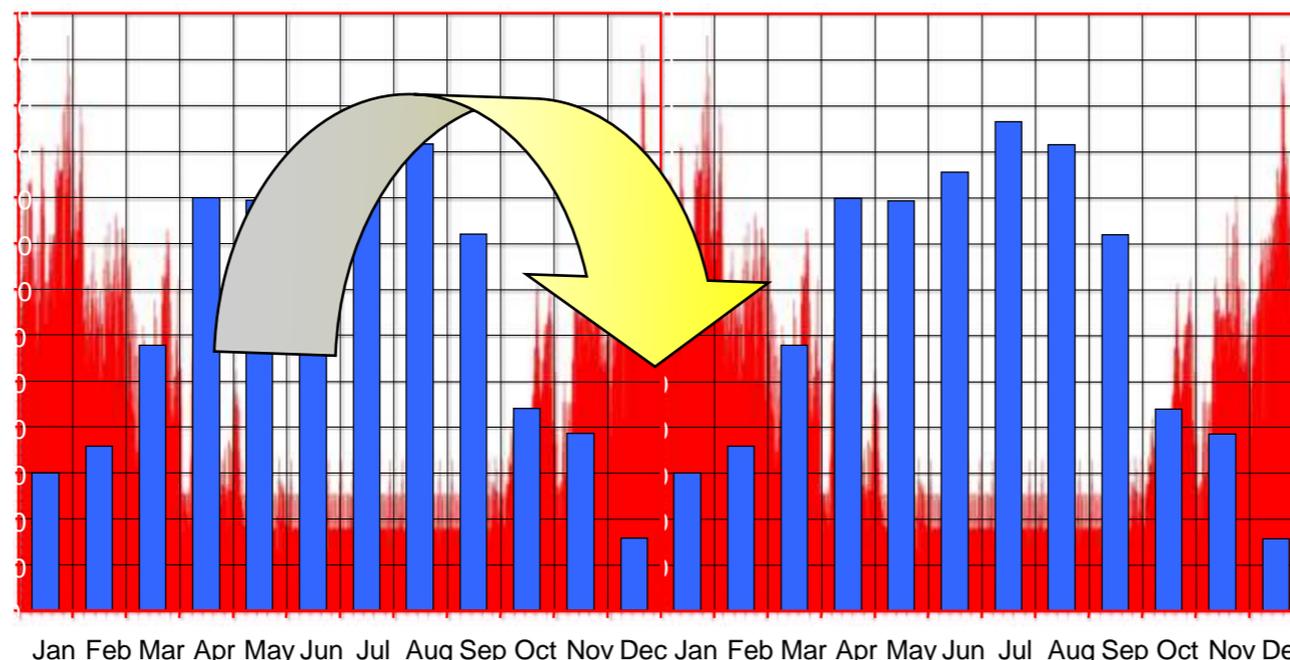
- zeitlich
- in der Leistung
- Kurzzeit-Leistungsschwankungen
- Tag/Nacht Variation
- Sommer/Winter



Kurzzeit/Minutenbereich



Tag/Nacht



Saisonale Schwankungen

heat demand 
solar energy 

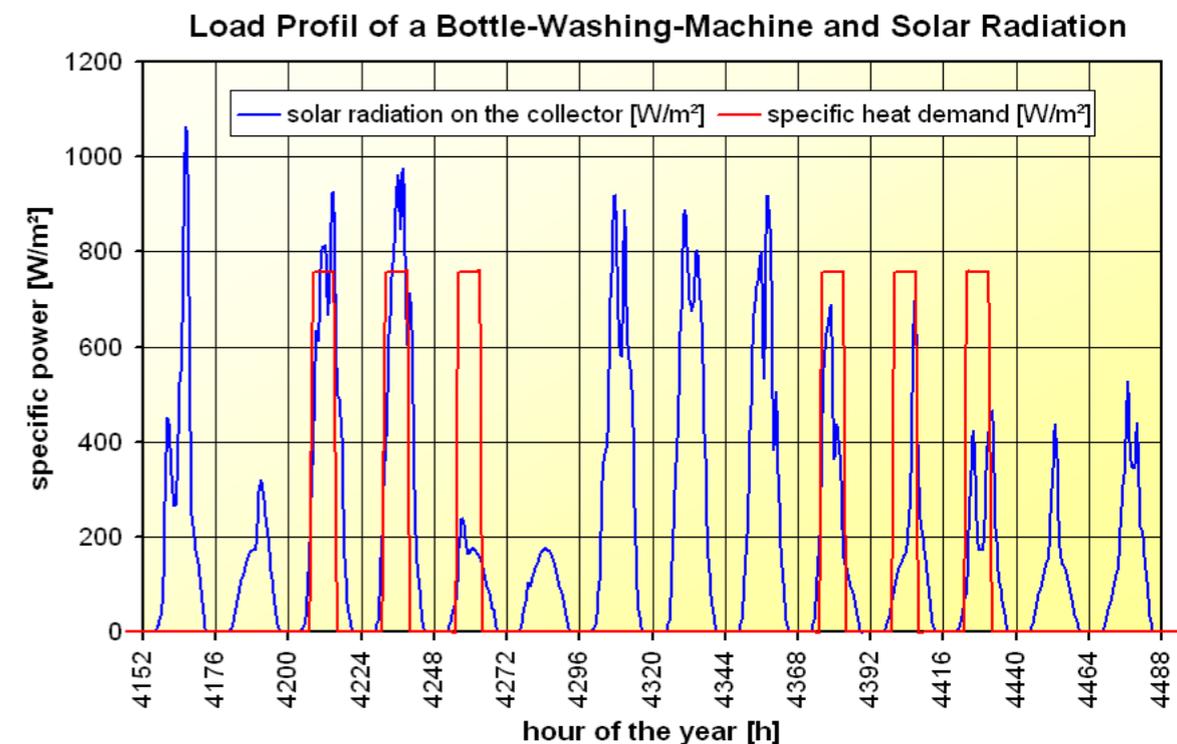
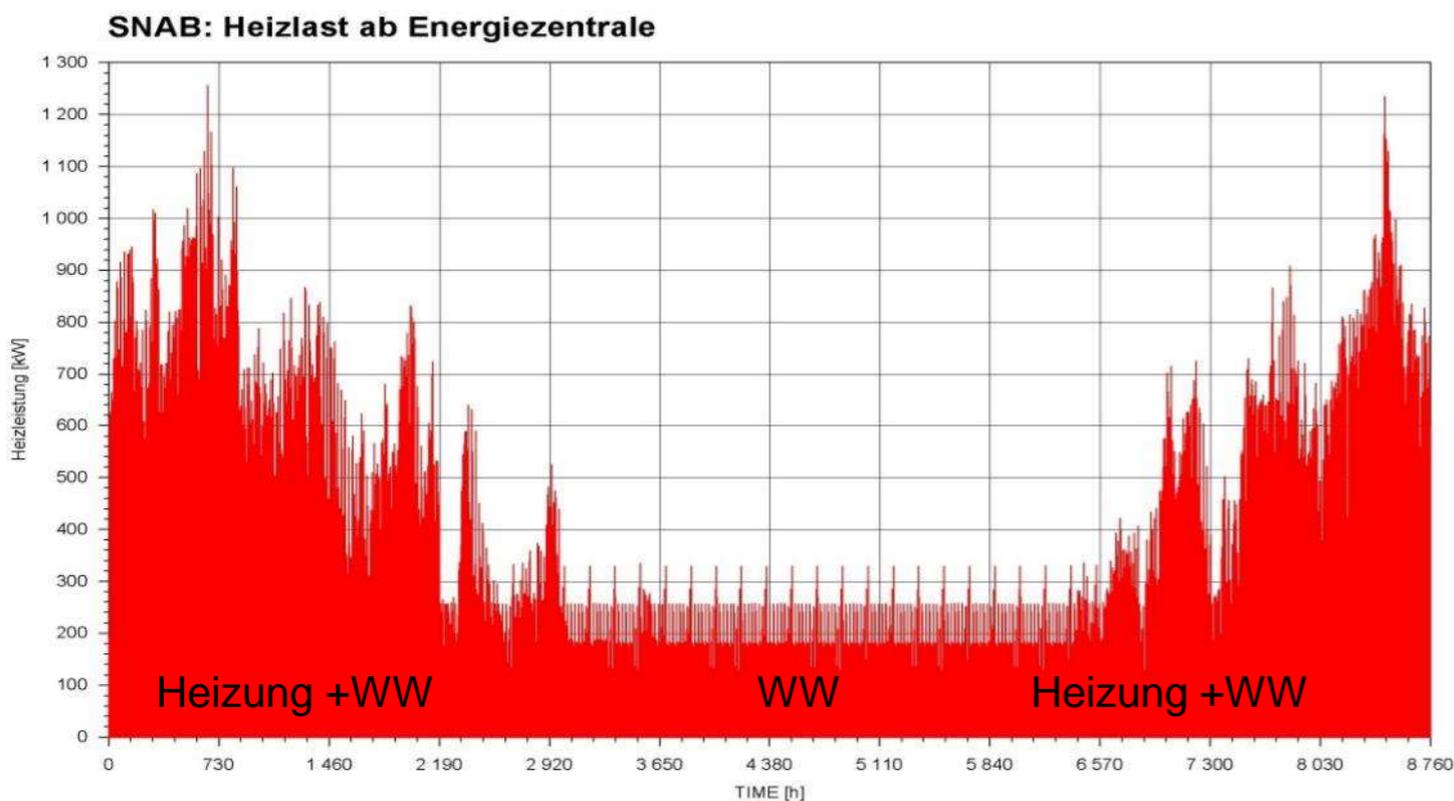
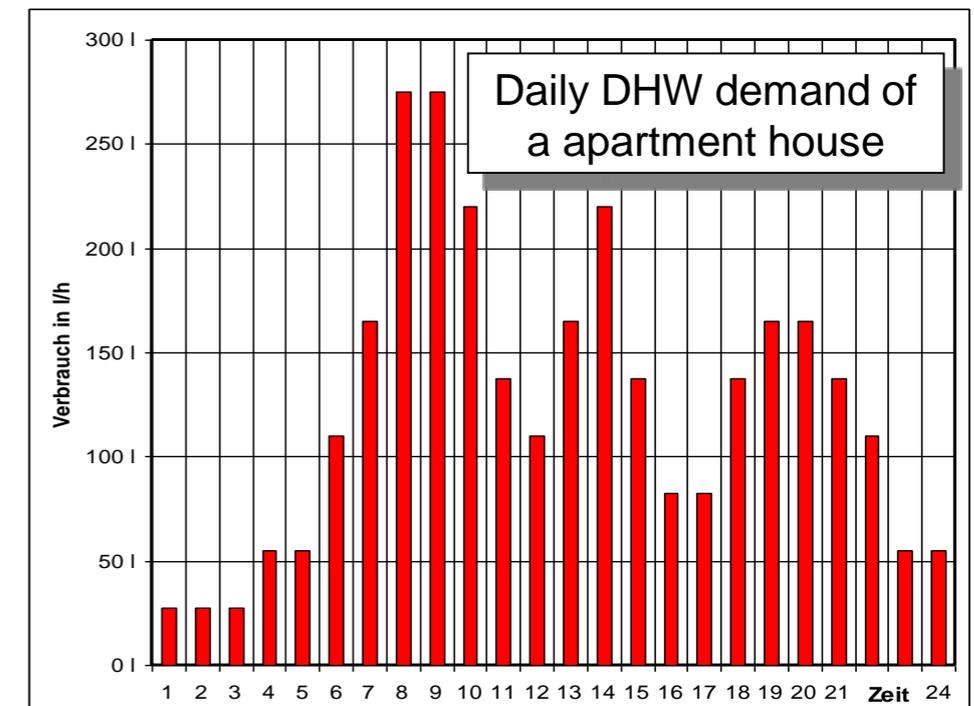
DYNAMIK DES WÄRMEBEDARFS



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- WW hat eine typische Tagesdynamik
- Heizung hat eine stark saisonale Dynamik
- Prozesswärme ist sehr stark geprägt von der Anwendung, z.B. nur 3 – 4 Tage/Woche Bedarf



THERMISCHE ENERGIESPEICHER



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Methoden der thermischen Energiespeicherung:

- Speicherung fühlbarer Wärme
Speicherkapazität $\approx 100 \text{ MJ/m}^3$
Speichervolumen $\approx 10 \text{ m}^3$
- Speicherung latenter Wärme
Speicherkapazität $\approx 300 - 500 \text{ MJ/m}^3$
Speichervolumen $\approx 2,5 \text{ m}^3$
- Thermochemische Wärmespeicherung
Speicherkapazität $\approx 1000 \text{ MJ/m}^3$
Speichervolumen $\approx 1 \text{ m}^3$



THERMISCHE ENERGIESPEICHER



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- **Speicherung sensibler Wärme**



© ZAE Bayern

- Warmwasser-Speicher
- Erdwärmesonden u.Ä.
(Underground Thermal Energy Storage, UTES)

- **Speicherung latenter Wärme**



© ZAE Bayern

- Makro- / Mikro-
verkapselte Phasen-
Wechsel-Materialien
(PCM), Slurries

- **Thermo-chemische Energiespeicherung**



© ZAE Bayern

- Adsorptions- (Zeolith) und
Absorptions-Speicher (LiCl)
- Thermo-chemische
Materialien (TCM)

SENSIBLE WÄRMESPEICHER – AUSWAHL SPEICHERMATERIAL



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

bis 100 °C:

- Speichermedium Wasser erfüllt alle Anforderungen
- Speichermedium Untergrund für Langzeitspeicher

100 °C - 200 °C:

- Druckheißwasserspeicher
- druckloser Speicher mit Thermalöl
 - niedrige Wärmekapazität ($c_{\text{vol.}} = 1,5 - 2,0 \text{ MJ/m}^3$)
 - hoher Preis
 - Kombination mit Feststoffen möglich ($c_{\text{vol.}} = 2,5 - 3,0 \text{ MJ/m}^3$)

> 200 °C:

- Feststoffe
 - Gesteinsschüttungen
 - Gusseisen
 - Keramikwerkstoffe $T > 600 \text{ °C}$
- Thermalöl

SPEICHERKONSTRUKTION



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Behältermaterial muss für das Speichermedium geeignet sein:

- => Temperatur
- => Druck
- => Korrosion

Materialien:

- => Stahl, Edelstahl, Kunststoff, Beton, Untergrund ...

Speichergeometrie:

- => schlanker, hoher Zylinder ($H/D = 2:1 - 5:1$)

Wärmedämmung:

- => gängige Dämmmaterialien – Temperatur- und Feuchtebeständigkeit, Vakuumsuperisolation

Transport:

- => Größenbeschränkung – Transport auf der Straße, Einbringen ins Gebäude

Langzeitwärmespeicher – Untergrundspeicher: Wasser-, Aquifer-, Erdwärmesonden-Speicher, Kies/Wasser-Speicher, Hybridspeicher

AUSFÜHRUNG VON WASSERSPEICHERN



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Kurzzeitwärmespeicher - BWW: Tages-/Pufferspeicher



AUSFÜHRUNG VON WASSERSPEICHERN



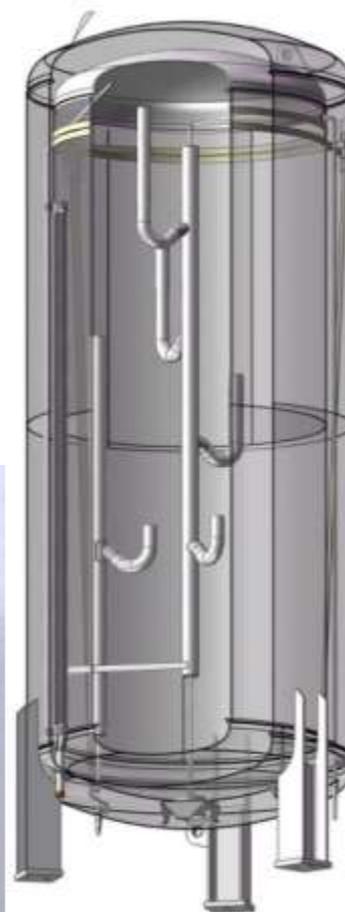
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Langzeitspeicher BWW + Heizen: Monats- oder Saisonalspeicher



Bild: Sonnenhaus Institut

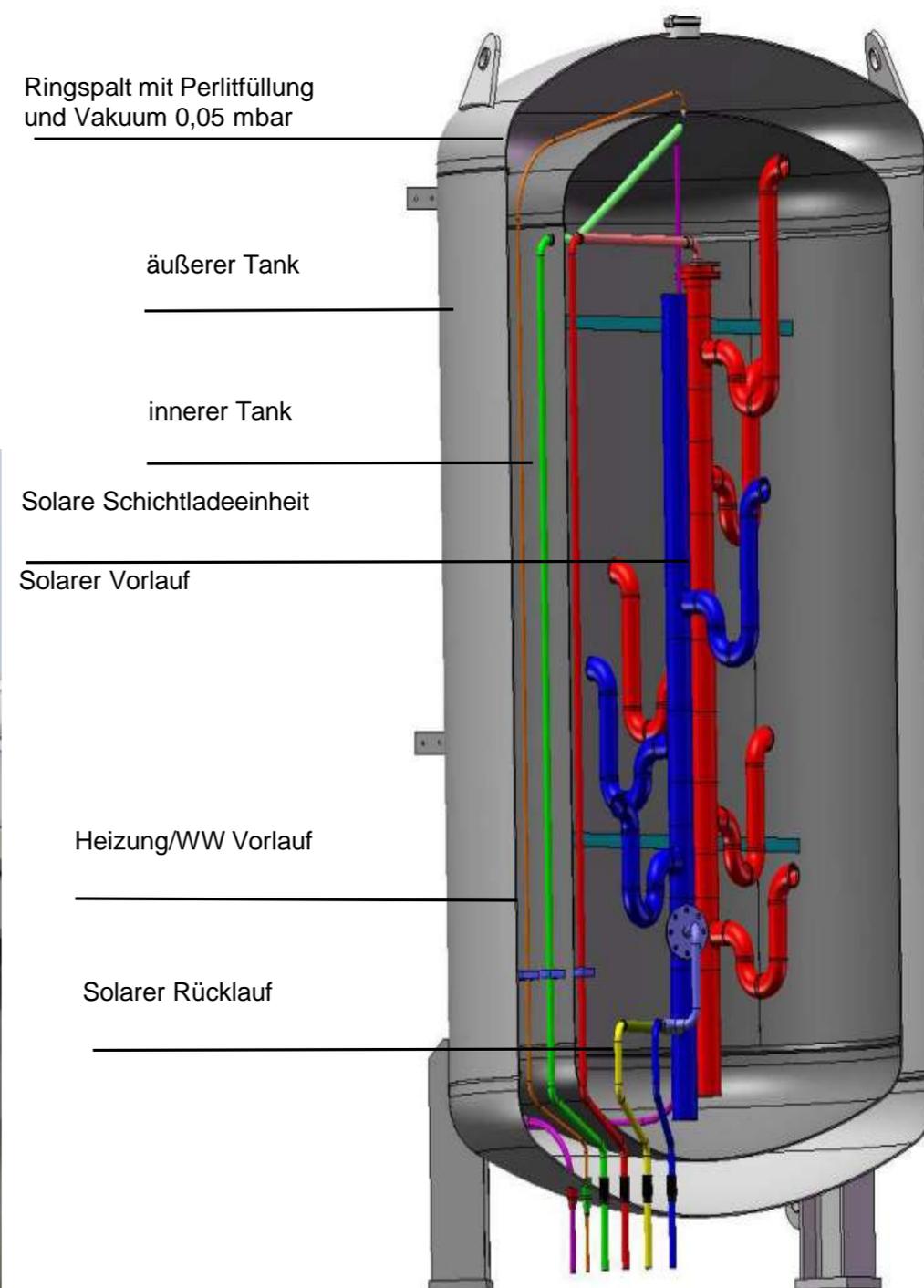
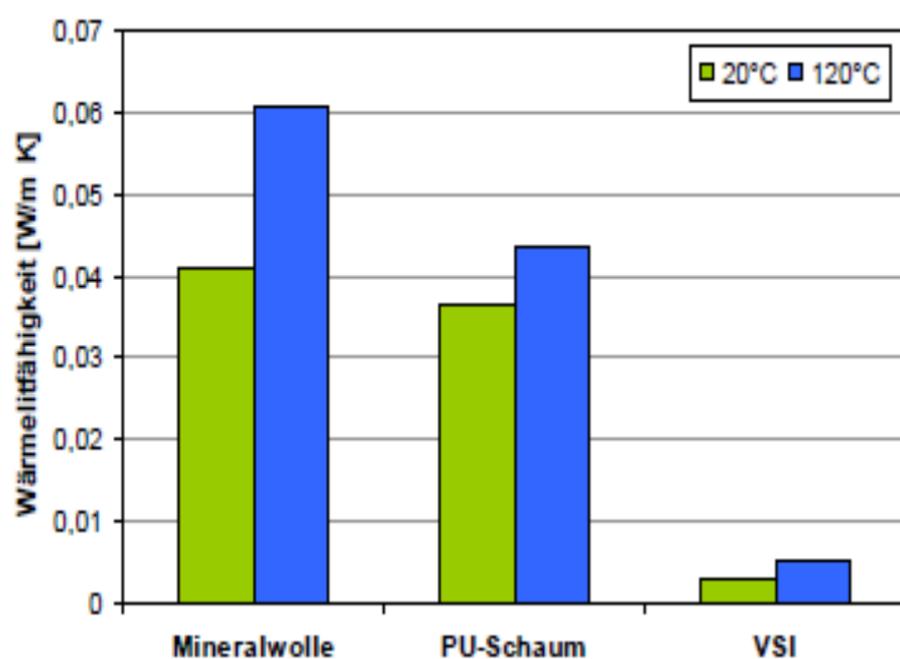


VSI-SPEICHER

Heißwasserspeicher mit minimierten Wärmeverlusten

Doppelwandiger Stahlbehälter

- Zwischenraum mit mikroporöser Pulverisolation
- evakuiert auf 0,01 bis 0,05 mbar
- Konvektion und Gaswärmeleitung unterdrückt
- Wärmetransport durch Strahlung reduziert durch opake Füllmaterial (Perlit)
- Festkörperwärmeleitung gering (hochporöse Struktur des Perlit)
- $\lambda_{VSI} \sim 1/5 \lambda_{PUR}$

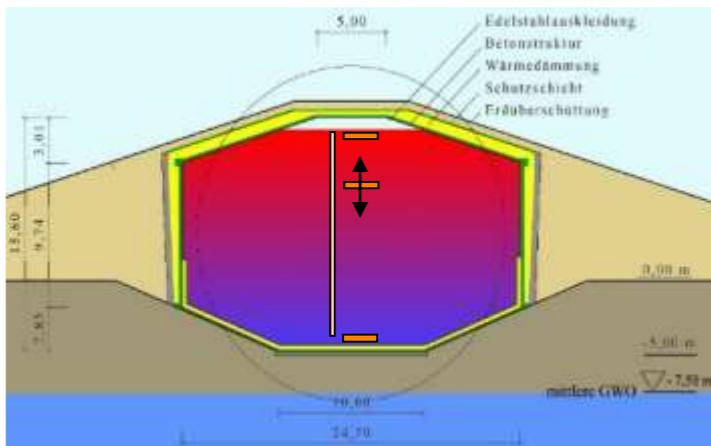


HEIßWASSERSPEICHER



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Großspeicher – günstige Geometrie (O/V-Verhältnis):

- Betonbehälter mit
- Wärmedämmung
- Edelstahl-Innenauskleidung
- oder aus Hochleistungsbeton

Anwendung:

- solare Nahwärme mit saisonalem Speicher



UNTERGRUND-WÄRMESPEICHER



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Auswahl des Speichertyps:

hängt von den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten am Standort ab

Wärmetransport beim Be- und Entladen:

wichtig bei der Auswahl und Konstruktion des Speichers

Speichermedium

gleichzeitig auch Wärmetransportfluid, z.B. Wasserspeicher

=> Be- und Entladeleistung kann über den Volumenstrom geregelt werden

Feststoff (Erdwärmesonden-Speicher)

=> Wärmetransport durch Wärmeleitung

=> Be- und Entladeleistung erheblich geringer

=> zusätzlich Pufferspeicher zur Leistungsanpassung

ERDWÄRMESONDEN-SPEICHER

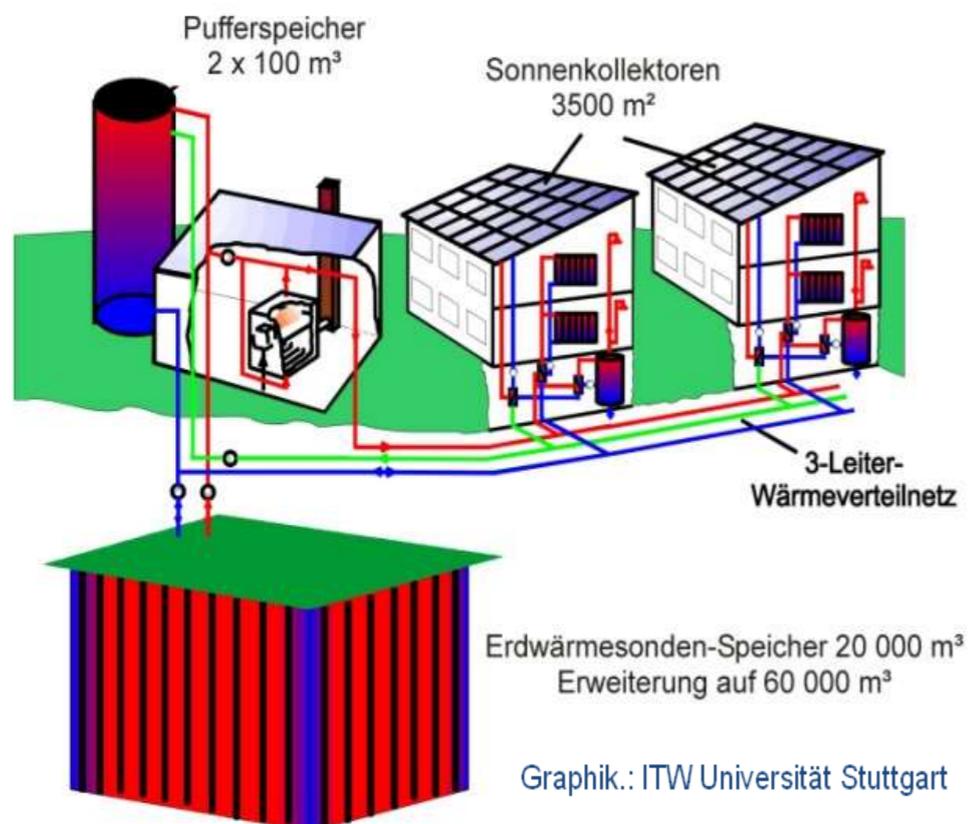


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Erdwärmesonden-Speicher

- Speichermedium => Untergrund (Gestein)
- Erdwärmesonden als Wärmeübertrager
- Machbarkeit von der Geologie des Standortes abhängig
- verlustarme Langzeitspeicherung – Temperaturen < 90 °C
- Niedertemperaturspeicher zum kombinierten Heizen und Kühlen
- konduktiver Wärmetransport
- begrenzte Übertragungsleistung => Pufferspeicher erforderlich
- realisiert in der solaren Nahwärmanlage Neckarsulm



KOMBINIERTER WASSER-/ ERDWÄRMESONDEN-SPEICHER

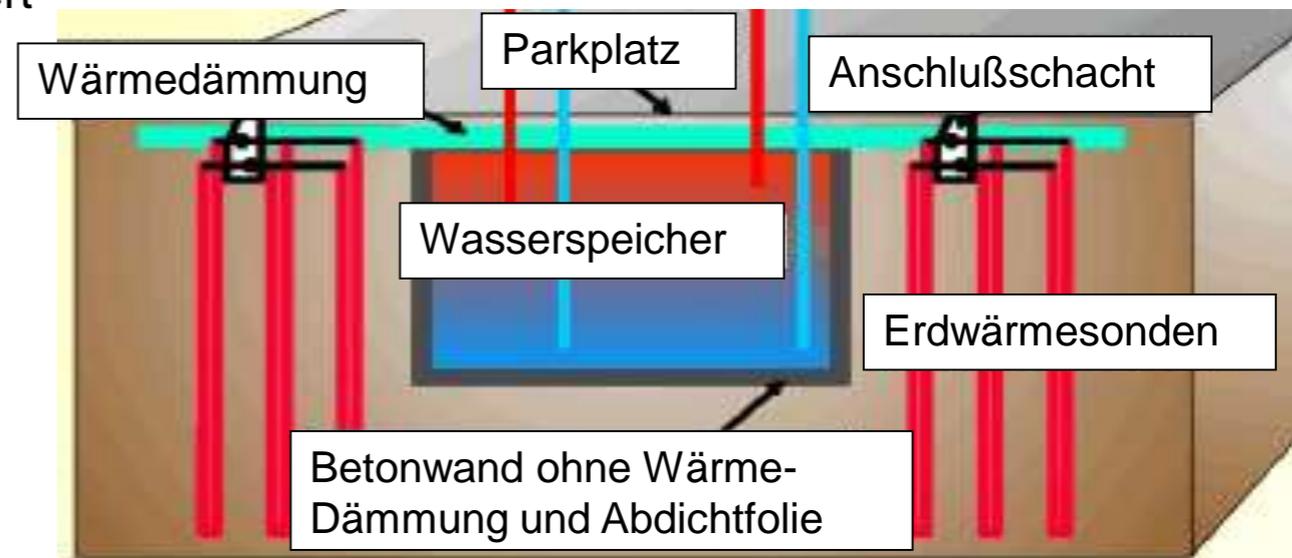


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Hybrid-Speicher

- Pufferspeicher ist in das Erdwärmesonden-Feld integriert
- Pufferspeicher thermisch an den Erdwärmesonden-Speicher gekoppelt
- Wärmeverluste des Wasserspeichers sind Wärmegewinne im Sondenfeld
- realisiert in der solaren Nahwärme Attenkirchen



REICHSTAG IN BERLIN

Aquifer Wärme- und Kältespeicher als integraler Bestandteil des Energieversorgungskonzeptes des Parlamentsgebäudes



AQUIFERSPEICHER IM REICHSTAG

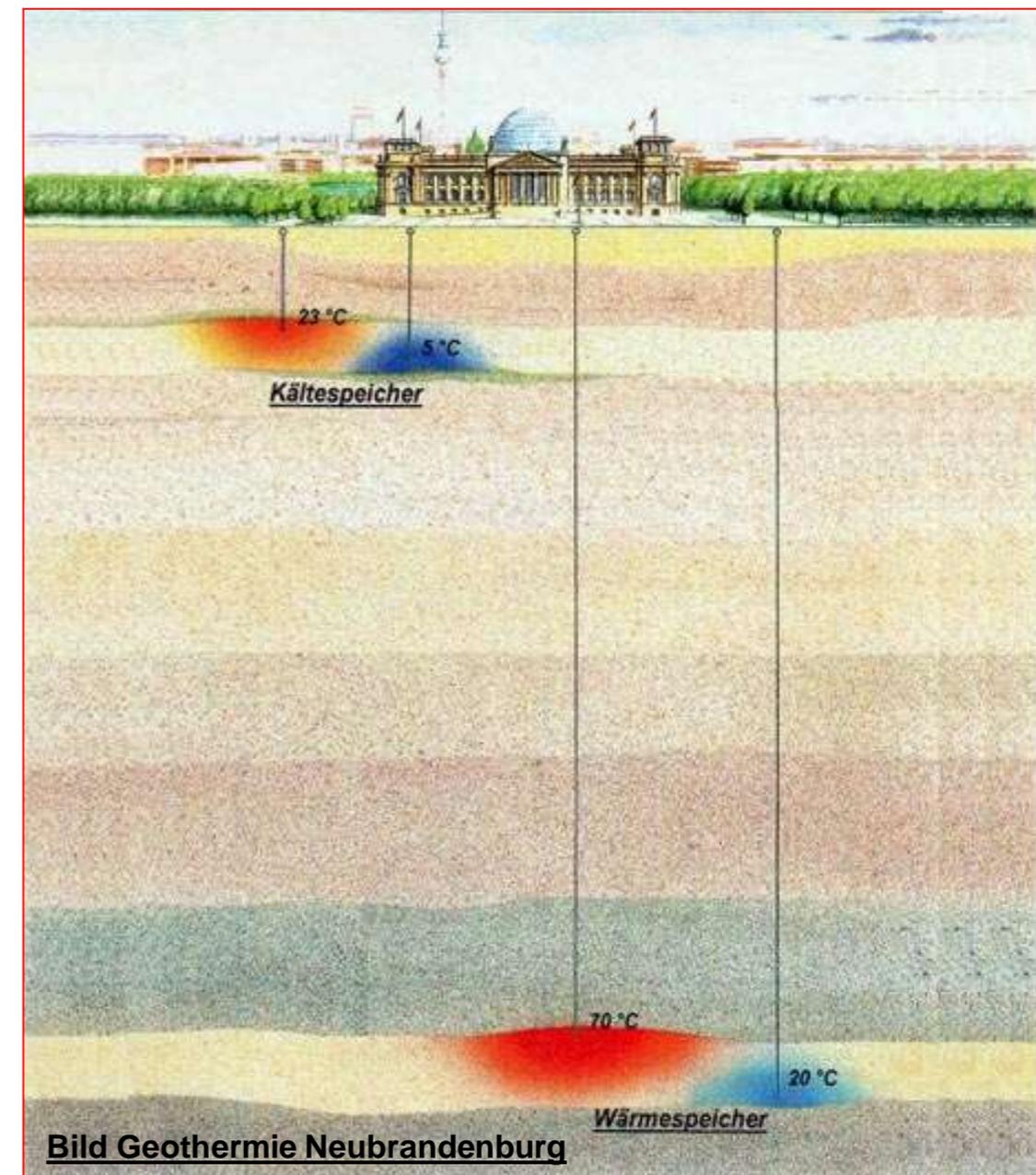


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Wärme- und Kältespeicher

- Kraft-/Wärme-/Kältekopplung
- BHKW-Abwärme im Sommer als Antrieb für Absorptionskältemaschinen zur Kühlung der Gebäude.
- Überschüsse werden im **300 m tiefen Aquifer** bis zum Winter gespeichert Laden: 2650 MWh/a bei ~ 70°C
- Entladung im Winter zur Beheizung der Bundestagsbauten: 2050 MWh/a bei 60 – 25°C
- **Aquifer in 60 m Tiefe** zur Kältespeicherung –Laden im Winter: 4250 MWh/a bei ~5°C, Entladen im Sommer: 2950 MWh/a bei 6 – 10°C



SPEICHER FÜR BWW - SYSTEMANFORDERUNGEN



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Anforderungen:

- Einfach Einbindung in das bestehende BWW-System
- Thermische Schichtung
- Einbindung Trinkwasserzirkulation
- Thermische Desinfektion im Trinkwasserbereich – Legionellenschutz

SPEICHER FÜR BWW - SYSTEMEINBINDUNG



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Systemeinbindung

- Hydraulische Trennung zwischen Solarkreis (Sole) und Speicher (BWW)
- Beladen: Einspeisen von oben, Entnahme unten
- Entladen: Strömungsrichtung wird umgekehrt
- Ein- und Auslauf so gestalten, dass eine möglichst scharfe Temperaturgrenzschicht entsteht und erhalten bleibt
- BWW-Speicher muss korrosionsbeständig sein

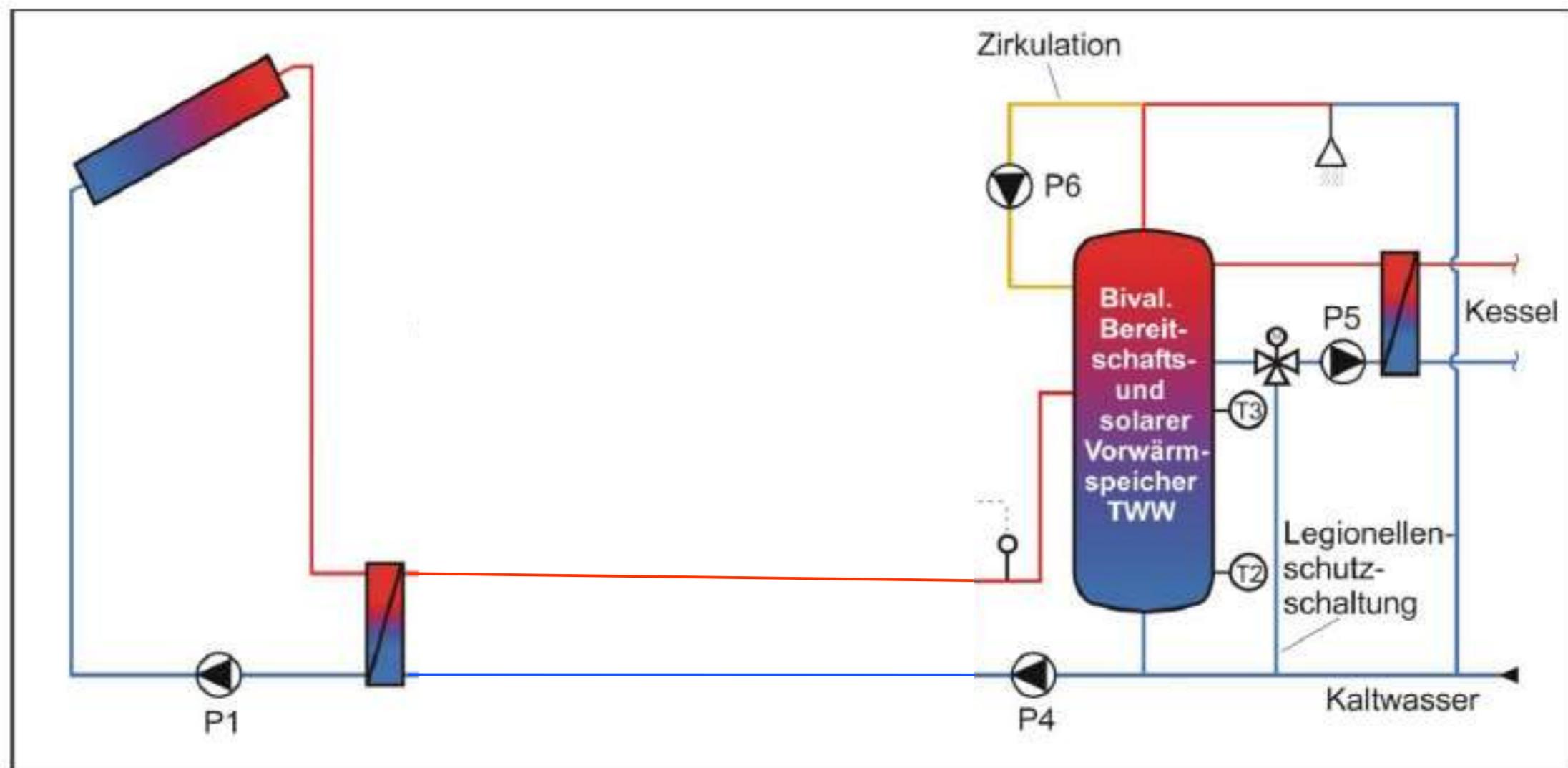
BEISPIEL: ANLAGENKONZEPT



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Trinkwassererwärmung mit bivalentem Solarvorwärm- und Bereitschaftsspeicher



Quelle: ZfS - Rationelle Energietechnik GmbH - R.Croy

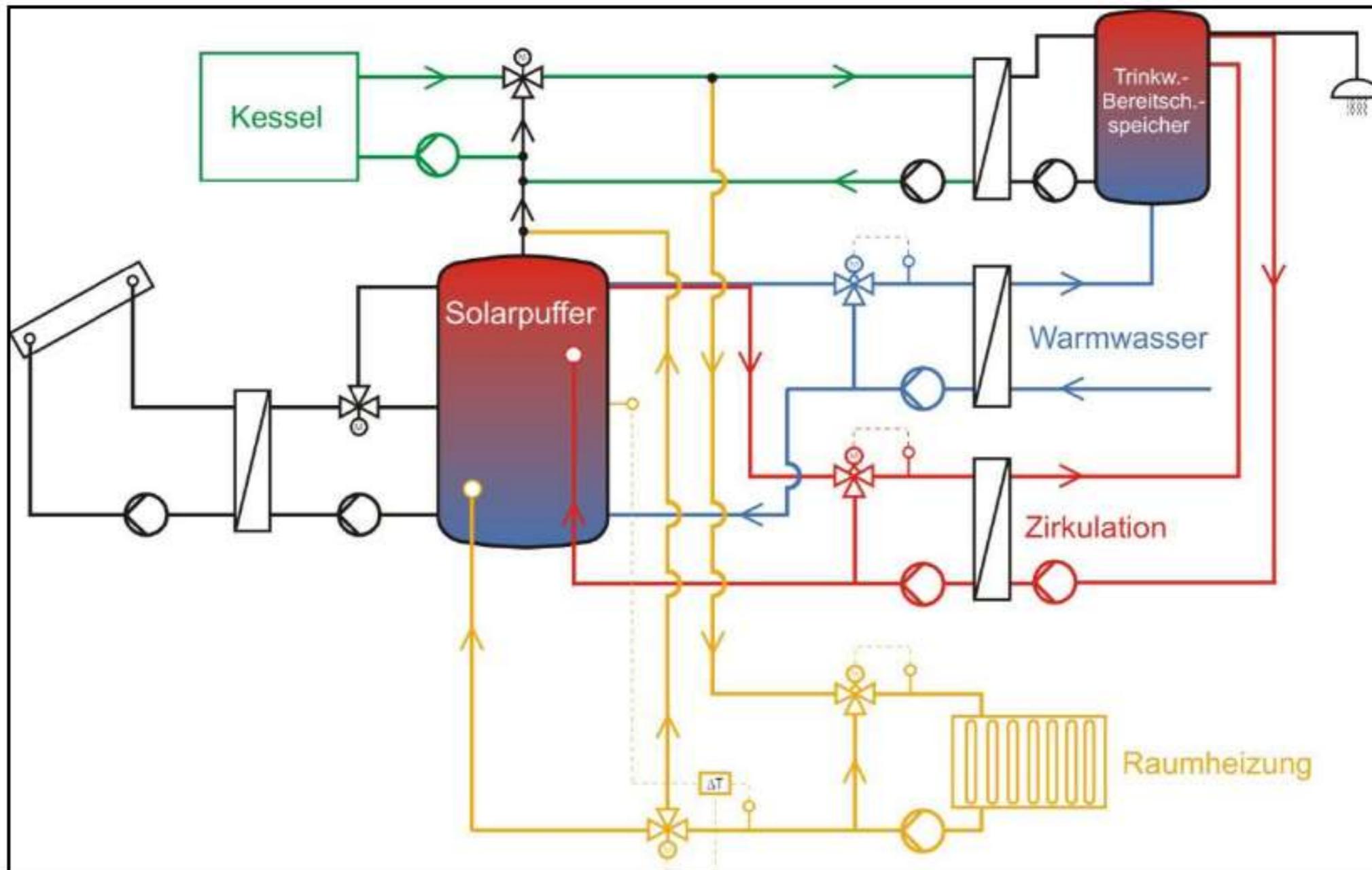
BWW UND SOLARE HEIZUNGSUNTERSTÜTZUNG

Kombianlagen – BWW und Heizung

Systemlösungen unterscheiden sich durch ihre Speicherkonzepte und die hydraulische und regel-technische Einbindung der Zusatzheizung

- Wärmespeicherung in den Speichermassen des Gebäudes
- Wärmespeicherung im Brauchwasserboiler
- Wärmespeicherung im Heizungspufferspeicher
- Sonderkonstruktionen wie Tank in Tank
- ...

Kombianlage mit Anbindung der an den Solarpufferspeicher



Quelle: ZfS - Rationelle Energietechnik GmbH - R.Croy

HEIZEN UND BWW MIT WÜ-STATIONEN



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

1-Speichersystem mit effizienter Schichtung

- Zwei-Leiter Netz
- + reduzierte Wärmeverluste
- + höhere solare Deckung
- + Wirtschaftlichkeit
- + Komfortsteigerung

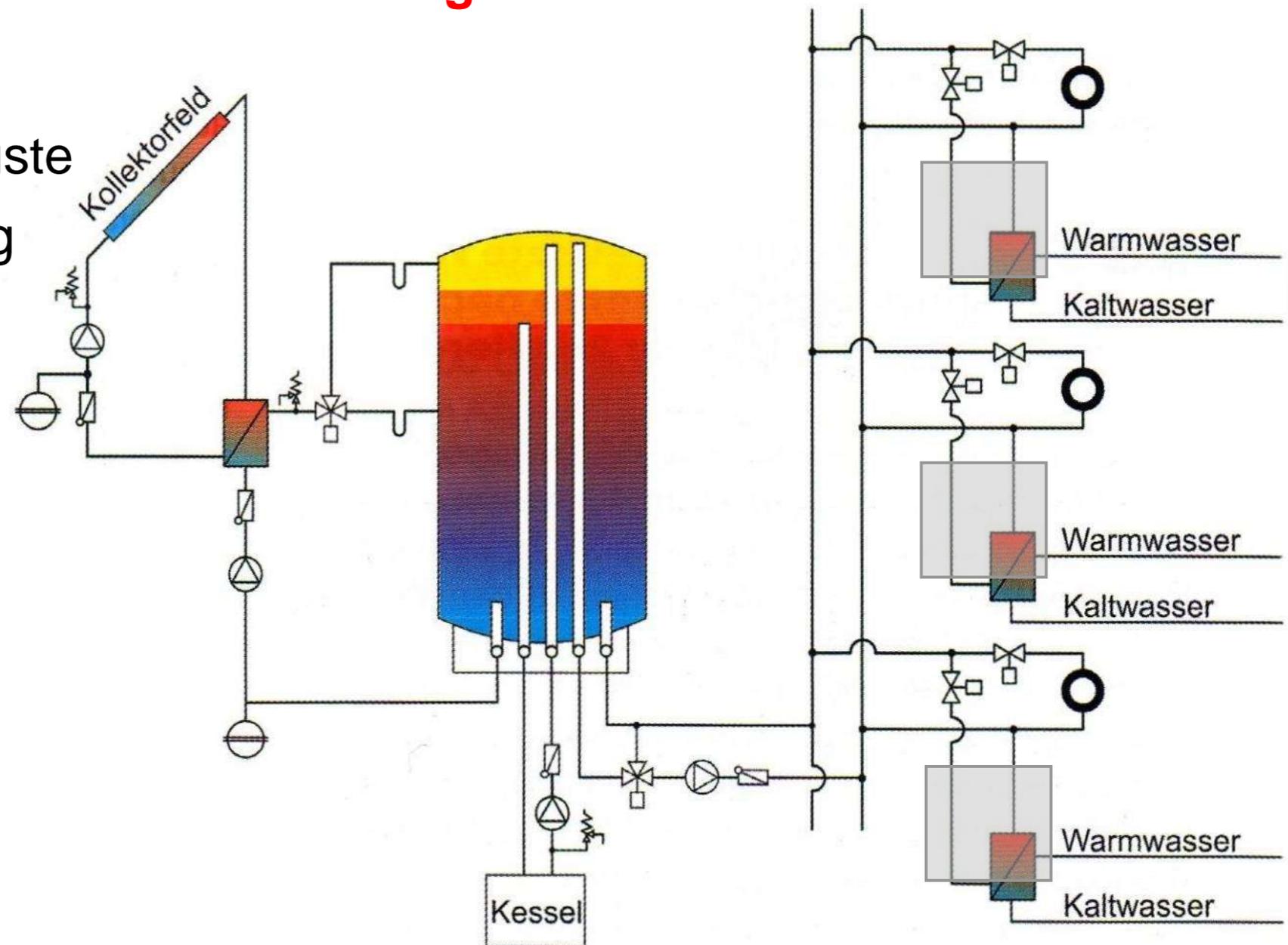


Bild: AEE Intec

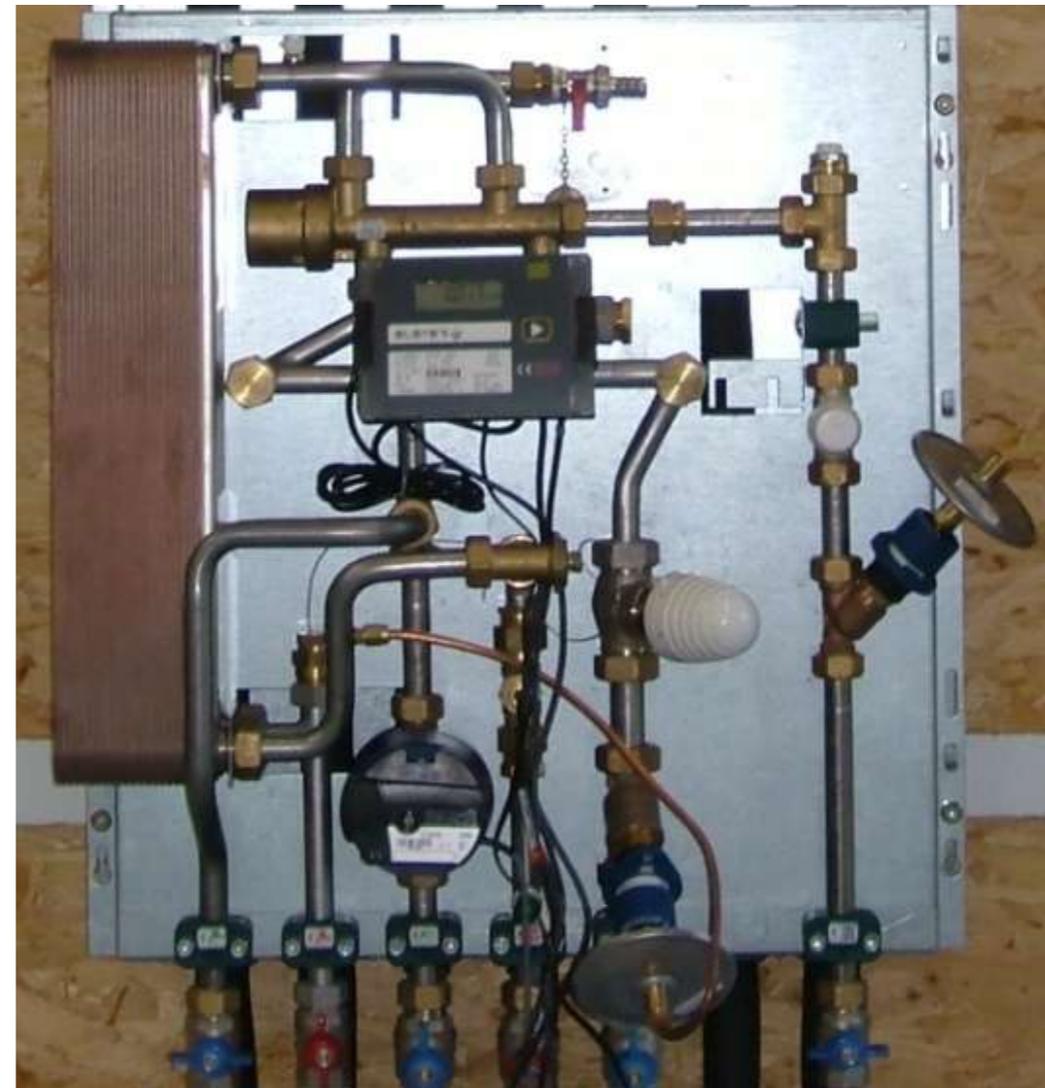
DEZENTRALEN WÜ-STATION (HEIZEN UND BWW)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Wohnungsübergabestationen mit Frischwasserbereitung
+ Wasserhygiene
+ geringer Regelaufwand



SOLARES HEIZEN



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



TEMPERATURSCHICHTUNG



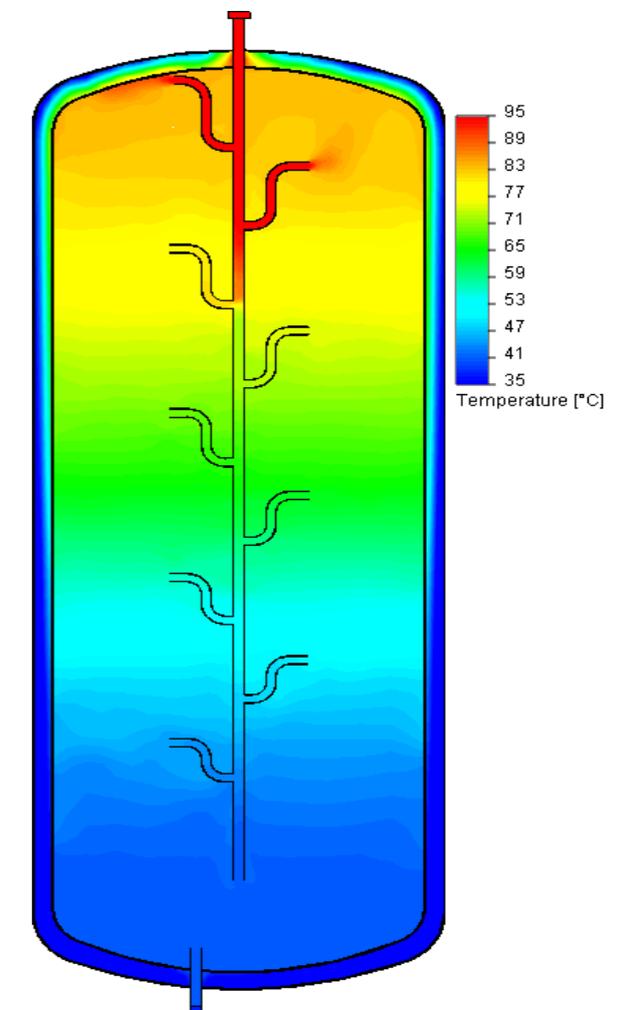
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Temperaturschichtung hat Betriebsvorteile - Idealfall:
Entladen des gesamte Wärmeinhalts auf hohem
Temperaturniveau

Betriebsvorteile (höhere Effizienz) bei Wärmebereitstellung
mit: Solarkollektoren, Wärmepumpen oder
Brennwertgeräten

innenliegende Rohrwärmeübertrager eignen sich nicht zum
Aufbau einer ausgeprägten Schichtung insbesondere bei
einem Beladewärmeübertrager im unteren
Speicherbereich



TEMPERATURSCHICHTUNG

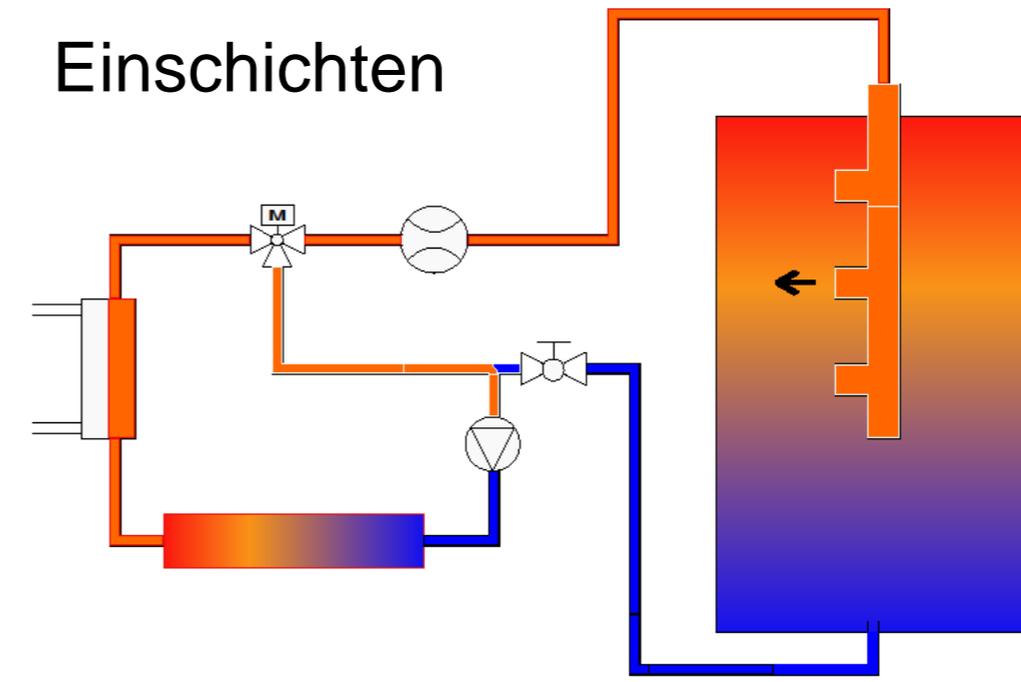
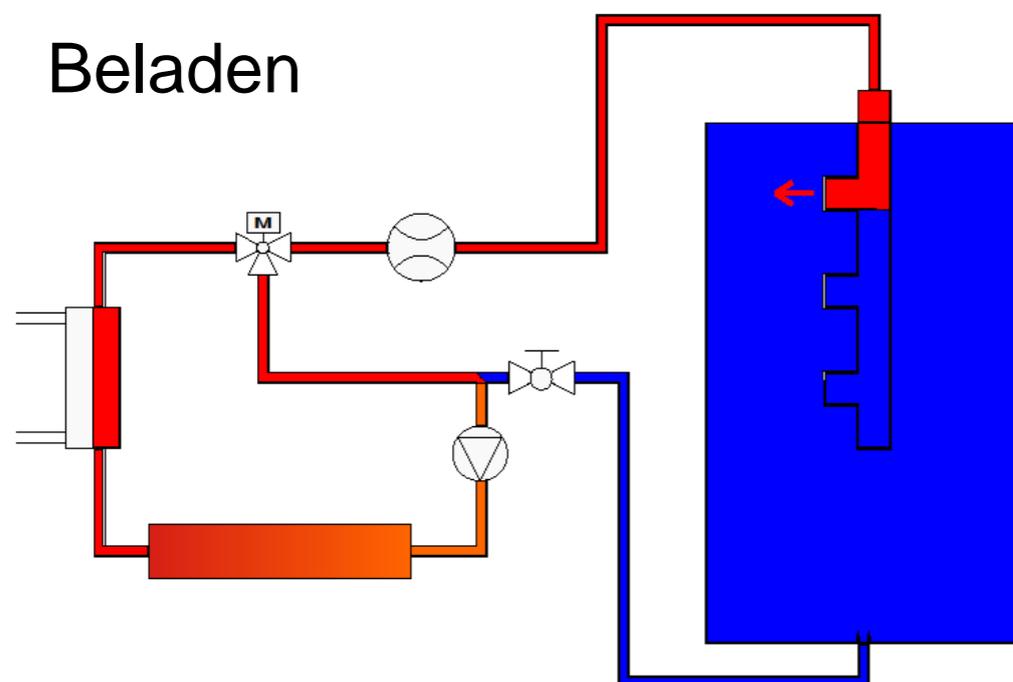


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Schichtung:

1. Erzeugen einer Temperaturschichtung beim Beladen
2. Einleitung des Fluids in die Schicht derselben Temperatur

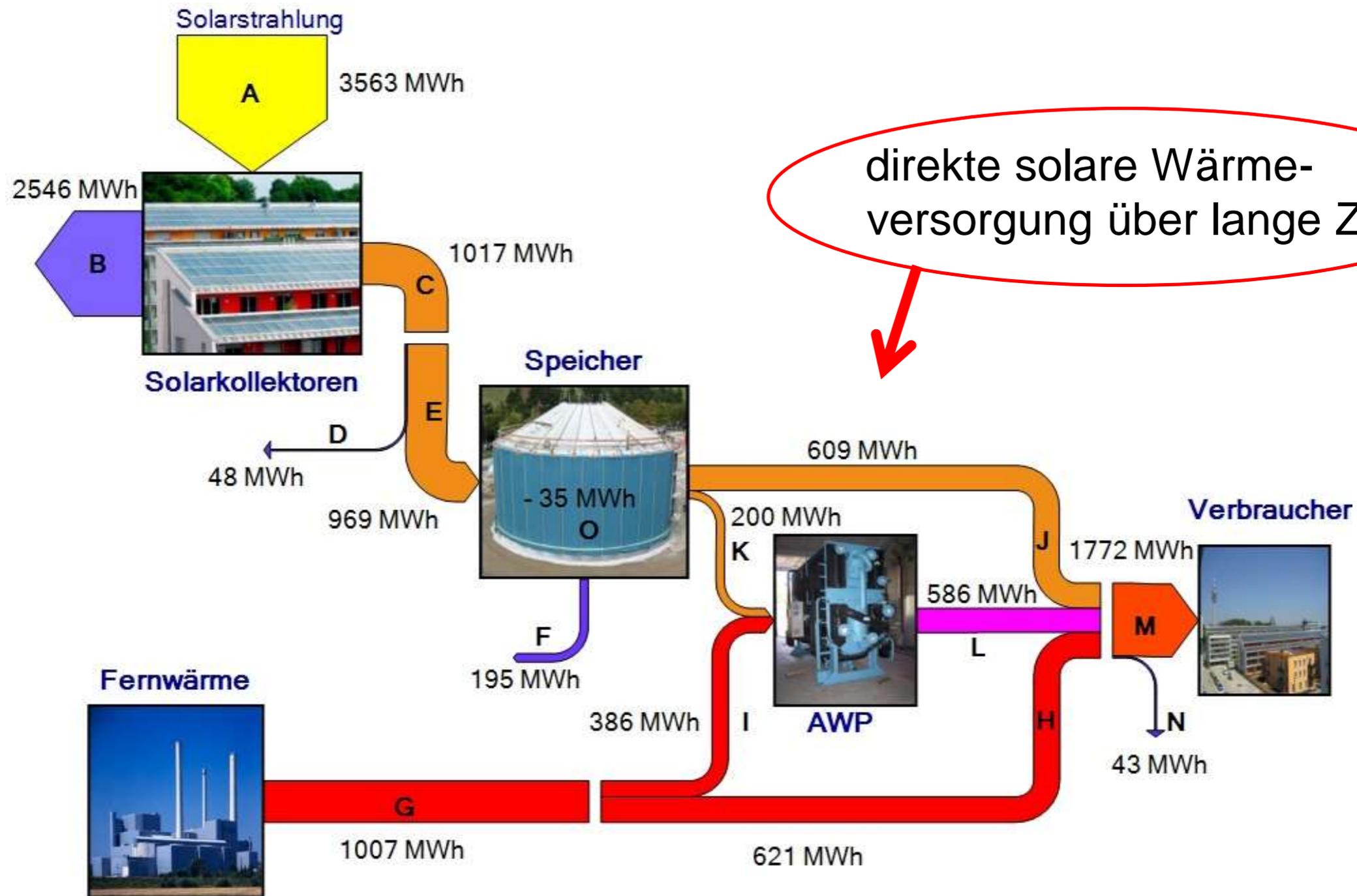


TEMPERATURSCHICHTUNG



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Schichtung bei großen saisonalen Speichern ist besonders vorteilhaft:



TEMPERATURSCHICHTUNG



ZAE BAYERN

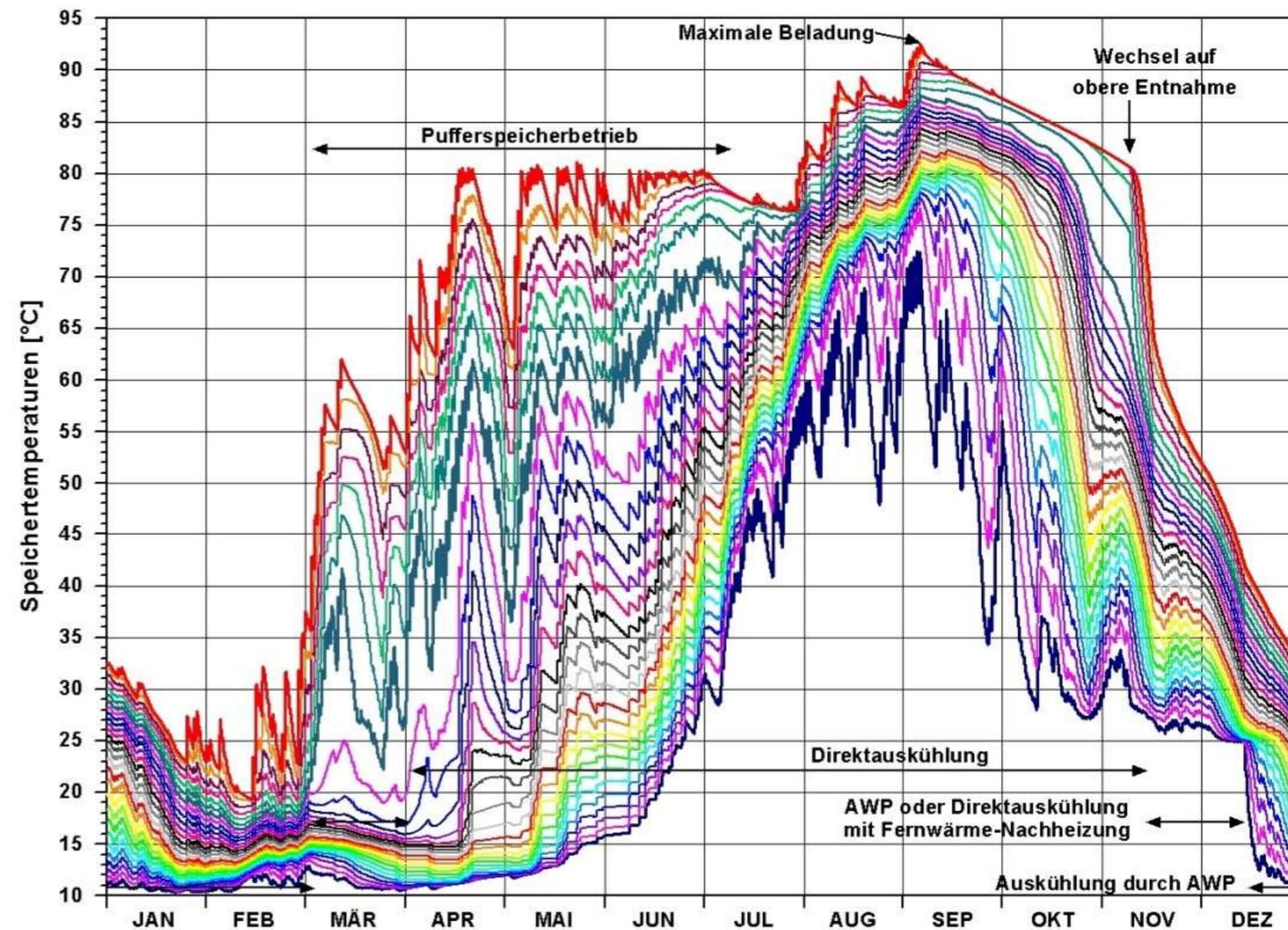
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Schichtung bei großen saisonalen Speichern:

Frühjahr: gezieltes Aufheizen des oberen Puffervolumens

in kurzer Zeit auf 60 °C
Netzvorlauftemperatur

dann Speicher von oben
nach unten durchladen



ZUKÜNFTIGE EINSATZBEREICHE



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



heute

Langzeitspeicher

bis 100 °C



nahe Zukunft

industrielle Prozesswärme

100 - 300°C



weitere Zukunft

Solarkraftwerke

400 - 700°C

Source: Wikipedia

ZUSAMMENFASSUNG



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Wärmespeicherung ist zwingend zur Anpassung von Angebot und Bedarf
- Sensible Speicher dominieren heute den Markt für Kurz-, Mittel- und Langzeitspeicher insbesondere aus wirtschaftlichen Gründen
- Langzeitspeicher benötigen eine hocheffiziente Wärmedämmung oder müssen sehr groß gebaut werden
- Sensible Speicher müssen im Kontext mit einem System betrachtet werden
- Unterschiedliche Arten der Systemeinbindung
z.B. Brauchwarmwasserbereitung / Heizungsunterstützung ...
- Besonders zukunftsweisend ist die Lösung mit Pufferspeicher und Wohnungsübergabestationen mit Frischwassererwärmung
- Schichtung in Wärmespeichern, betriebstechnische Vorteile und verbesserte Gesamteffizienz
- Entwicklungen in Richtung höherer Temperaturen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung