

KAPITEL: WASSER ZUR WÄRMESPEICHERUNG

# AUFGABEN UND ARTEN VON

## (WASSER-)WÄRMESPEICHERN

### PROF. MARIO ADAM



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>

Ein Kooperationsvorhaben empfohlen durch die:



INNOVATION DURCH KOOPERATION

Gefördert durch:

Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



a d a m



# Erneuerbare Energien und Effizienztechnologien

Prof. Dr.-Ing. Mario Adam

E<sup>2</sup> - Erneuerbare Energien und Energieeffizienz  
ZIES - Zentrum für Innovative Energiesysteme

Hochschule Düsseldorf  
Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik

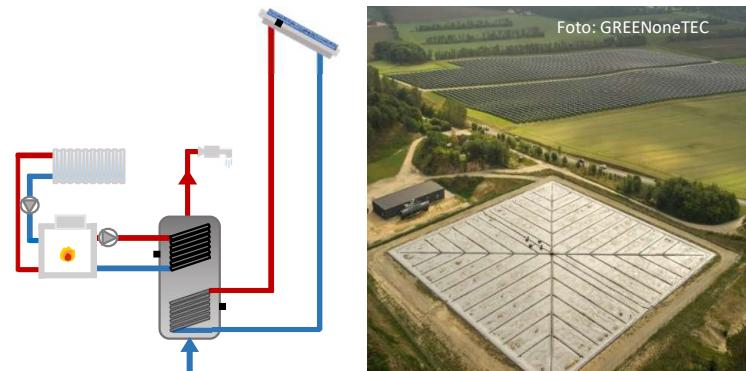
## Kapitel „Wasser zur Wärmespeicherung“

**Aufgaben und Arten von (Wasser-)Wärmespeichern**

# Aufgaben von Wärmespeichern

- zeitlicher Ausgleich zwischen Wärmeangebot und -bedarf, z.B. Solarenergie tagsüber speichern und abends/nachts zum Verbrauch bereitstellen  
(analog: im Sommer speichern, im Winter verbrauchen)
- häufiges Ein-/Ausschalten („takten“) von Heizgeräten vermindern und damit Verschleiß + Anfahrverluste/-emissionen z.B. bei BHKW, Wärmepumpen, Holzkesseln
- kurzfristig verfügbare Leistung erhöhen z.B. mit Wärmepumpe mit 4 kW Nennleistung (= Heizlast EFH-Neubau) 30 min Speicher laden, um mit 20 kW 6 min zu Duschen (jeweils 2 kWh)
- Volumenströme angeschlossener Wärmeerzeuger/-verbraucher hydraulisch entkoppeln (d.h. Volumenströme dürfen unterschiedlich sein)

Wärmespeicher für Solarenergie  
Kurzzeitspeicher      Langzeitspeicher



Mini-BHKW mit  
Pufferspeicher zur  
Taktverringerung  
und Erhöhung der  
WW-Spitzenleistung

# Physikalische Möglichkeiten zur Wärmespeicherung

## Sensibel: Temperaturänderung

- **Wasser**: bis rd. 100°C, 1 l ... 200.000 m<sup>3</sup>
- Erdreich, Aquifere: nur nahe Umgebungstemperatur
- Sand, Steine/Kies, Beton, etc.: auch hohe Temperaturen möglich

## Latent: Phasenwechsel

- Phase Change Materials (PCM): Wasser /Eis, Paraffine, Salze ...
- Phase Change Slurries (PCS): (pumpfähige) flüssig/fest-Gemische

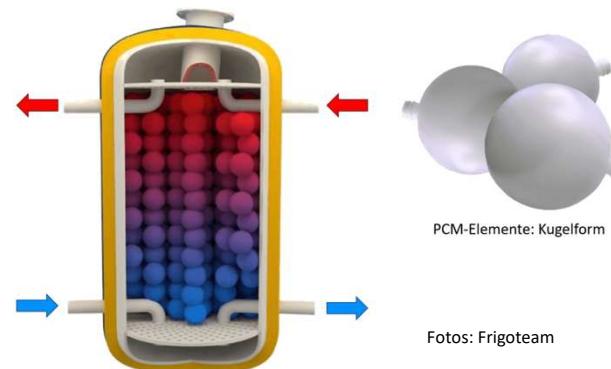
## Thermochemische / Thermo-physikalische Reaktionen

- chemische Reaktionen: Salzhydrate, Hydroxide, Carbonate, Metallhydride, ...
- physikalische Ad/Absorption von Wasser: Silikagel, Zeolith, LiBr, LiCl, ...

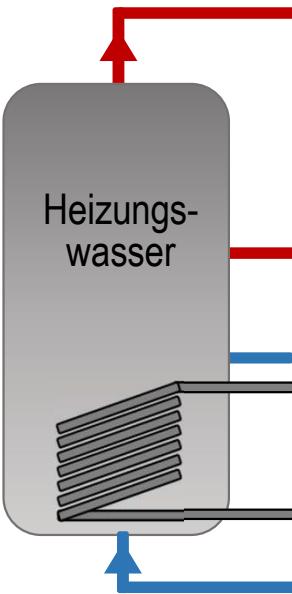
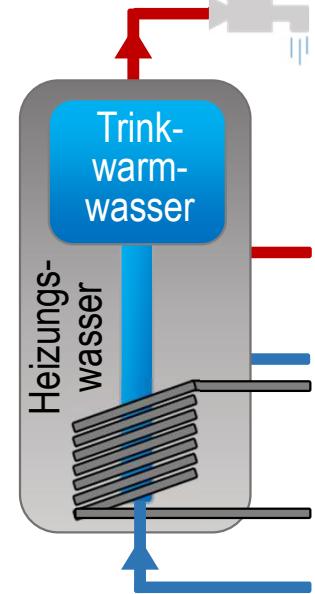
## Wichtige Speicher-Eigenschaften

- Speicherkapazität (pro m<sup>3</sup> bzw. pro kg)
- Speicherwirkungsgrad bzw. Wärmeverluste
- Lade-/Entladeleistung
- Kosten
- Speicherzyklen
- Umwelteigenschaften

Speicher mit eingekapseltem PCM  
plus Wasser als Wärmeträger



# Arten von Wasser-Wärmespeichern (I)

Puffer-Speicher	(Trink)Warmwasser-Speicher	Kombi-Speicher	Anzahl Wärmequellen
			<b>monovalent</b> = 1 Wärmequelle zur Beheizung
Material	Material (korrosions-/druckfest!)		<b>bivalent</b> = 2 Wärmequellen zur Beheizung
<ul style="list-style-type: none"><li>• Stahl</li><li>• Kunststoff</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Stahl, innen emailliert</li><li>• Edelstahl</li></ul>		<b>trivalent</b>
			<b>multivalent</b>

# Arten von Wasser-Wärmespeichern (II)

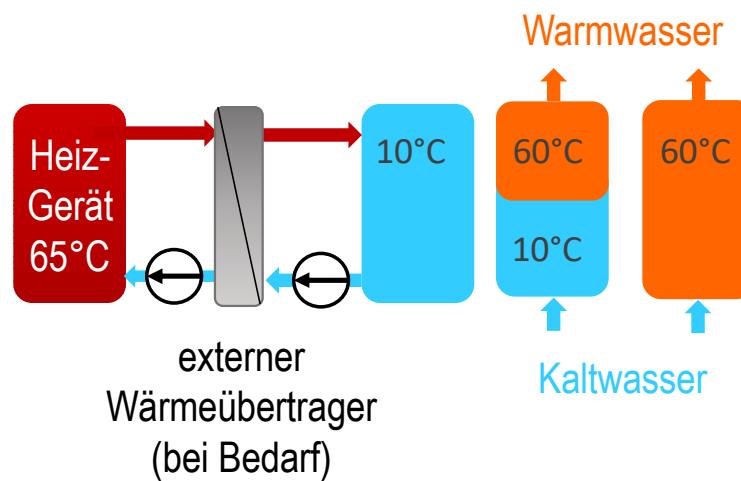
## Indirekt beheizte Speicher

- beheizt über innen liegenden Rohrschlangen-Wärmeübertrager
- Durchmischung bei Speicherladung



## Schichtenspeicher

- beheizt über externen Wärmeübertrager (bei erforderlicher Medientrennung) oder direkten Heizgeräte-Anschluss
- unmittelbar nach Ladebeginn steht heißes Wasser zur Verfügung → gleicher Komfort mit kleineren Speichern
- gleichbleibend kühles Rücklaufwasser zum Heizgerät → größerer Wirkungsgrad



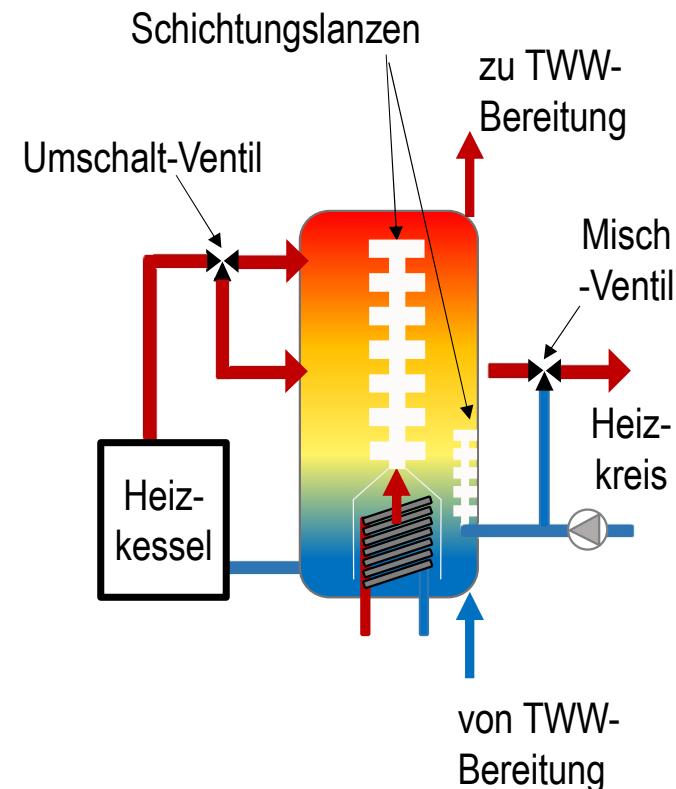
# Temperaturschichtung in Wasser-Wärmespeichern

## Natürliche Temperaturschichtung

- oben warm und unten kalt
- Grund: warmes Wasser ist leichter als kaltes (hat geringere Dichte)

## Erhalt der Temperatur-Schichtung

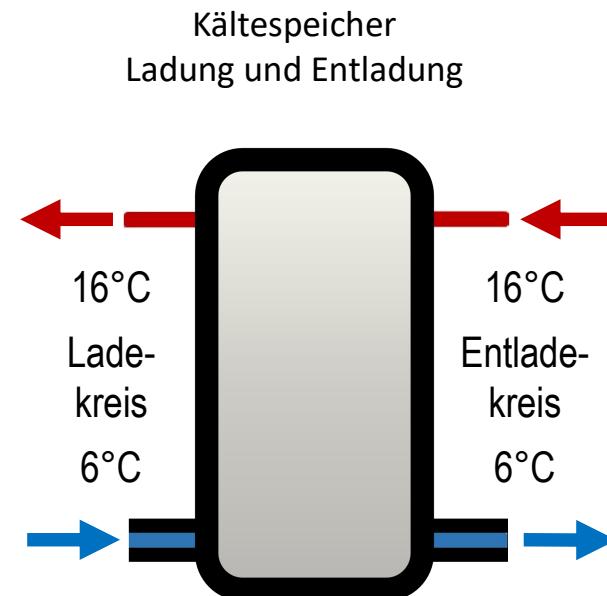
- Nachheizung: nur im oberen Teil
- Trinkwarmwasser (TWW): Kaltwasser-Eintritt unten, Warmwasser-Austritt oben
- Heizung: Vorlauf-Austritt unter TWW-Speicherteil
- eintretende Volumenströme, deren Temperatur variiert (Beispiele: Vorlauf thermischer Solaranlagen, Rücklauf aus Heizungskreis), möglichst in Speicherschicht gleicher Temperatur einspeisen, durch
  - Schichtungslanzen
  - Umschalt-Ventile für unterschiedliche Speicherhöhen



# Unterschiede Wärme- / Kältespeicher

## konstruktive und energetische Unterschiede von Kälte- im Vergleich zu Wärmespeichern

- Einströmung und Ausströmung an umgekehrten Stellen, bei Kältespeicher
  - bei Ladung: unten rein und oben raus
  - bei Entladung: unten raus und oben rein
- luftdichte Wärmedämmung (im Bild schwarz), sonst Kondensation von Raumluftfeuchtigkeit an kalten Oberflächen (Speicher, Kaltwasserrohre)
- meist deutlich geringere nutzbare Temperaturdifferenz von rund 10 K (6 ... 16°C)
  - geringere Speicherkapazität bei gleichem Volumen
  - geringere Wärmeeinträge bzw. „Kälteverluste“
  - geringere Dichteunterschiede und Schichtungsstabilität
  - Latentspeicher sind bei Kälte interessanter als bei Wärme, z.B. Eisspeicher



KAPITEL: WASSER ZUR WÄRMESPEICHERUNG

# WÄRMEVERLUSTE VON (WASSER-)WÄRMESPEICHERN

## PROF. MARIO ADAM



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>  
Weitere Lizenz- und Quellenhinweise siehe Ende des Foliensatzes

Ein Kooperationsvorhaben empfohlen durch die:



INNOVATION DURCH KOOPERATION

Gefördert durch:

Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



a d a m



# Erneuerbare Energien und Effizienztechnologien

Prof. Dr.-Ing. Mario Adam

E<sup>2</sup> - Erneuerbare Energien und Energieeffizienz  
ZIES - Zentrum für Innovative Energiesysteme

Hochschule Düsseldorf  
Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik

## Kapitel „Wasser zur Wärmespeicherung“

**Wärmeverluste von (Wasser-)Wärmespeichern**

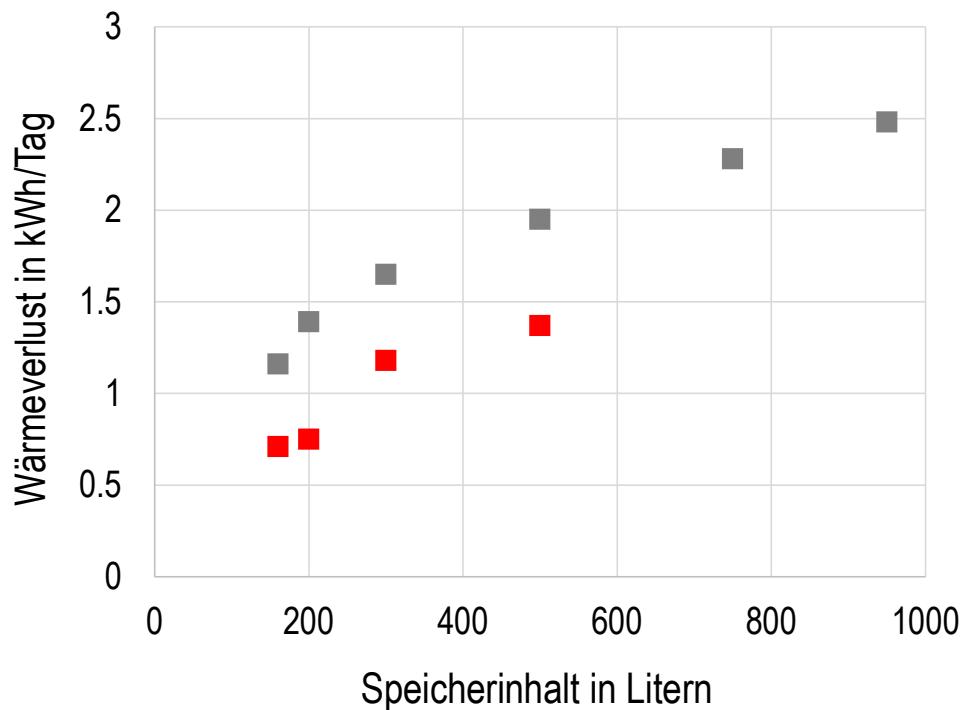
# Norm-Wärmeverlust von Wasser-Wärmespeichern

## gemäß Messung nach DIN EN 15332

- $T(\text{Speicher}) = 60^\circ\text{C}$
- $T(\text{Raum}) = 20^\circ\text{C}$
- alle Rohranschlüsse mit „Stopfen“ verschlossen und wärmegedämmt
- elektrisch beheizt

Beispiel: Speicherbaureihe „Vitocell“ der Fa. Viessmann

- mit Hartschaumdämmung (Vitocell 100)
- plus Vakuumdämmpanneele (Vitocell 300)



Datenquelle: Viessmann, Internetaufruf 02/2023

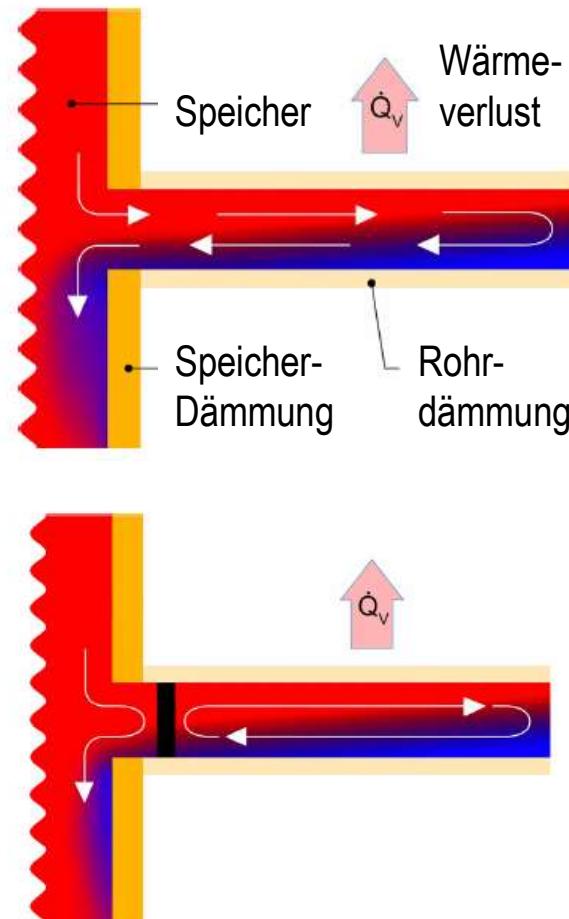
# Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen

## Wirkprinzip

- Warmes Wasser im Rohr kühlt sich ab, sinkt nach unten
- abgekühltes Wasser strömt unten aus dem Rohr in den Speicher, warmes Wasser aus dem Speicher strömt oben in das Rohr nach
- lässt sich durch (geschlossenes) Ventil am Speicheranschluss nicht unterbinden, da Wärmeleitung über metallische Verbindung

## Resultat

- heißes Wasser aus dem Speicher dringt mehrere Meter tief ins Rohr ein
- Rohr wirkt wie eine „Kühlrippe“
  - zusätzliche Wärmeverluste
  - Beeinträchtigung der Temperaturschichtung im Speicher



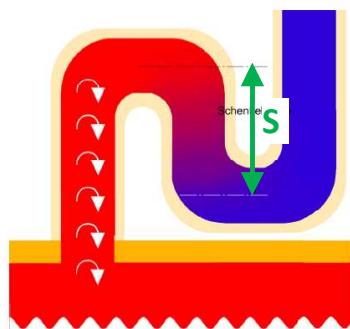
Quelle: Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen, ISFH, 2014

# Einrohrzirkulation - Wirksame Abhilfemaßnahme

## Z- oder Siphon-förmiger Rohranschluss

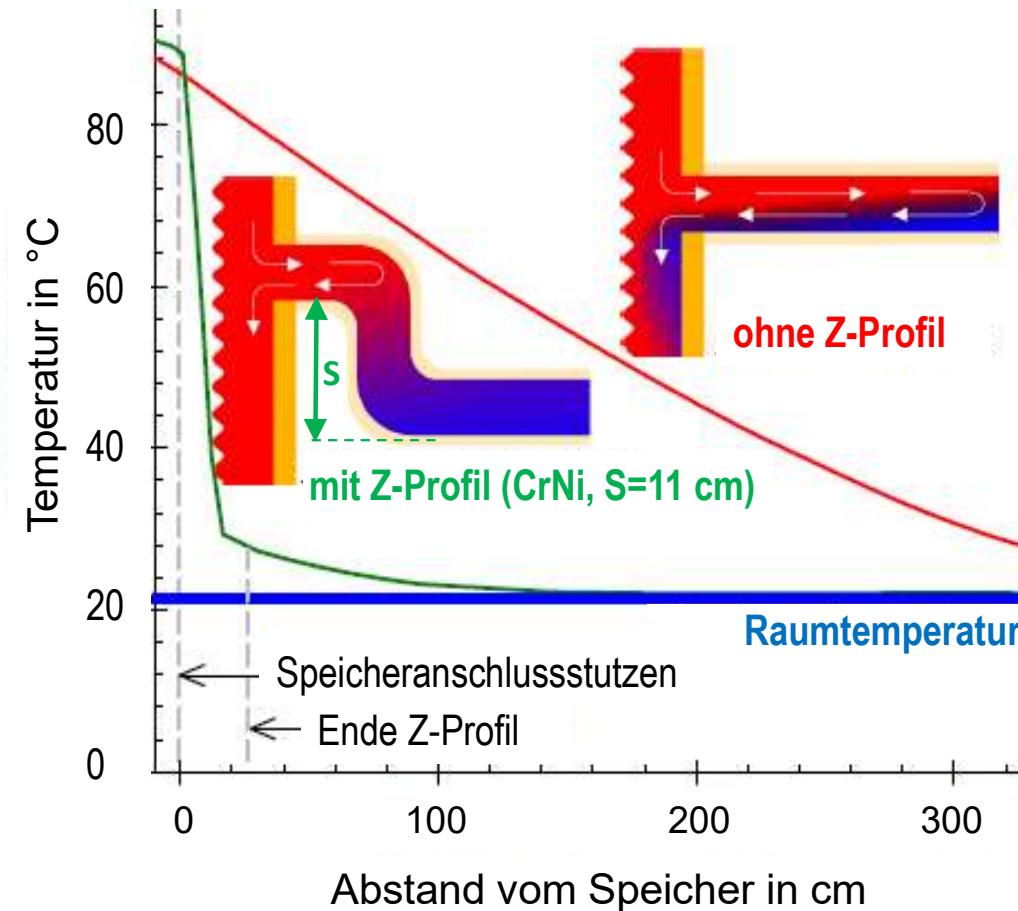
- seitlich am Speicher: Z-förmig oder als Siphon
- oben am Speicher: als Siphon

Ausführung als Siphon



Quelle: Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen, ISFH

## Temperaturprofil im Rohranschluss



# Einrohrzirkulation - Abhilfemaßnahmen im Vergleich

## Wärmeverlust ohne Abhilfe

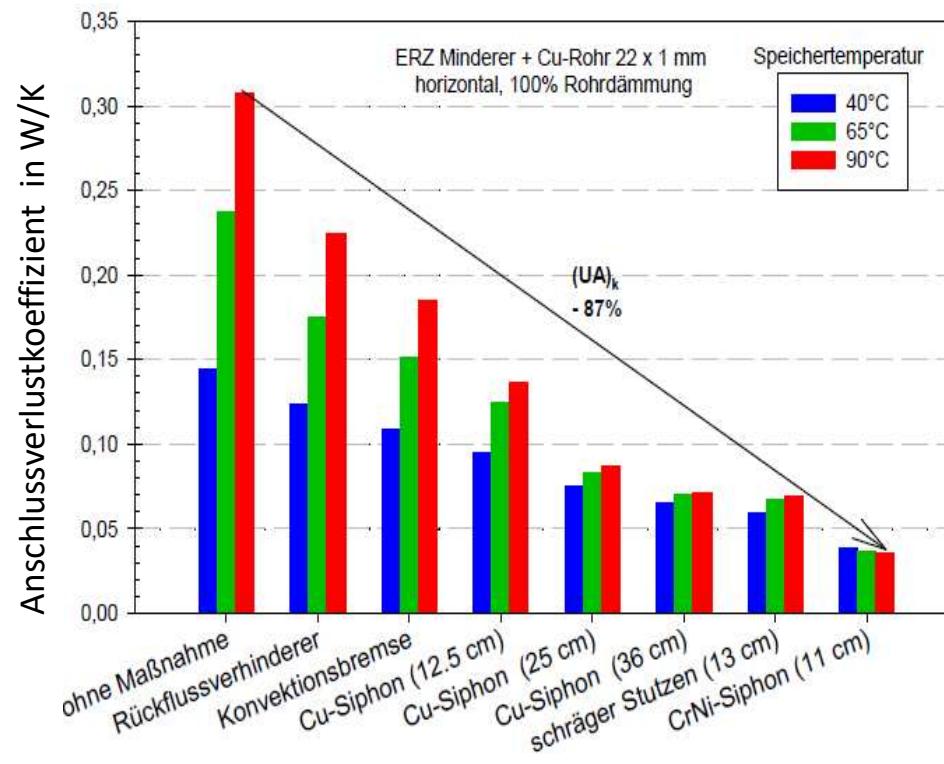
Beispiel

- $0,24 \text{ W/K} * 24 \text{ h/d} * 45 \text{ K} = 0,26 \text{ kWh/d}$
- 4 Rohrschlüsse, wenig Durchströmung: 1 kWh/d

## Empfohlene Schenkel-längen S für Z-/Siphon-förmige Anschlüsse

- als Kuper-Rohr ausgeführt
  - 12x1: 13 cm
  - 18x1: 21 cm
  - 28x1: 34 cm
- als CrNi-Edelstahlrohr oder in Kunststoff ausgeführt
  - 12x1: 5,5 cm
  - 18x1: 9 cm
  - 28x1: 14 cm

Wärmeverluste durch Rohrverbindungen an Wasserspeichern seitlicher Speicheranschluss mit Cu-Rohr, 22x1 mm, horizontal verlegt, 22 mm Rohrdämmung



Quelle: Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen, ISFH, 2014

# Lizenz- und Quellenhinweise

**Folie 1:** Viessmann, Internetaufruf 02/2023

**Folie 2:** Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen, ISFH, 2014

**Folie 3:** Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen, ISFH, 2014

**Folie 4:** Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen, ISFH, 2014

# KAPITEL: WASSER ZUR WÄRMESPEICHERUNG

# AUSLEGUNG VON

# (WASSER-)WÄRMESPEICHERN

## PROF. MARIO ADAM



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>

Ein Kooperationsvorhaben empfohlen durch die:



INNOVATION DURCH KOOPERATION

Gefördert durch:

Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



a d a m



# Erneuerbare Energien und Effizienztechnologien

Prof. Dr.-Ing. Mario Adam

E<sup>2</sup> - Erneuerbare Energien und Energieeffizienz  
ZIES - Zentrum für Innovative Energiesysteme

Hochschule Düsseldorf  
Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik

## Kapitel „Wasser zur Wärmespeicherung“

**Auslegung von (Wasser-)Wärmespeichern**

# Eigenschaften von Wasserspeichern - Beispiel

<b>Unistor VIH R 300, Auszüge aus Datenblatt (indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher)</b>	
Speicherinhalt	300 l
Tatsächlicher Speicherinhalt	295 l
Zulässiger Betriebsdruck	10 bar
max. Warmwassertemperatur	85°C
max. Heizwasservorlauftemperatur	110°C
Heizungswärmeübertrager: Fläche	1,6 m <sup>2</sup>
Heizungswärmeübertrager: Wasserinhalt	10,7 l
Bereitschaftsenergieverlust (T_Speicher = 60°C, T_Raum = 20°C,	1,8 kWh/d
Warmwasserdauerleistung (stationärer Betrieb mit T_Heizwasser_Eintritt/Austritt = 85/65°C, T_Trinkwasser_Eintritt/Austritt = 10/45°C) *	46 kW 1130 l/h TWW
Leistungskennzahl N <sub>L</sub> *	11



\* nach DIN 4708

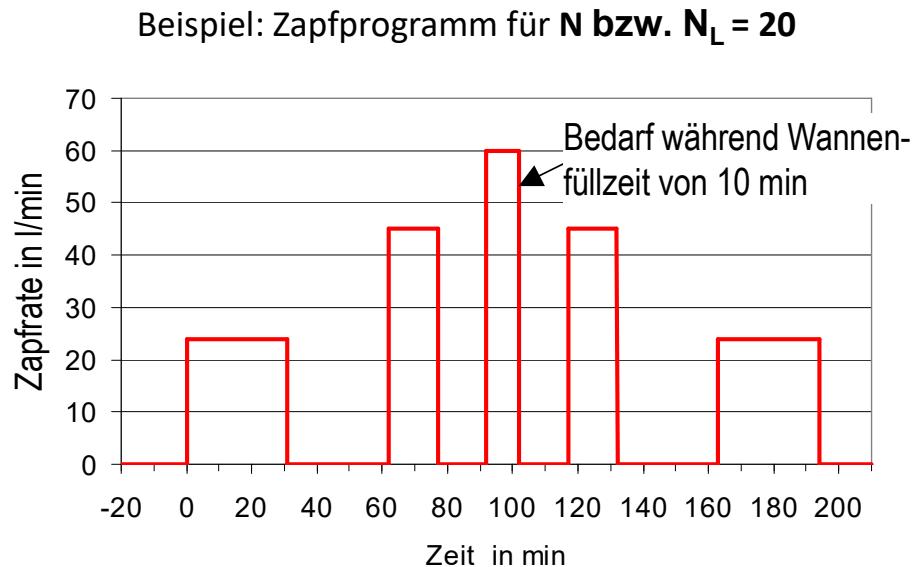
Quelle: Vaillant, 2021

# Auslegung mit Leistungskennzahl $N_L$ (DIN 4708)

- Zapfprogramm, abgeleitet aus
  - „Bedarfskennzahl N“ des Gebäudes = f (Ausstattung), z.B. Normwohnung mit 140 l Badewanne, 2 Zapfstellen, 3,5 Personen → N=1; aufsummiert über alle Wohnungen
  - statistisch ermittelten Gleichzeitigkeiten der Zapfungen bei mehreren Wohneinheiten
  - Kaltwasser/Warmwasserzapf-Temperatur = 10/45°C
- Speicher/Heizgeräte-Kombination, welche dies erfüllt, besitzt Leistungskennzahl  $N_L = N$  (mit Nachheizung, mit Leistung Heizgerät = Dauerleistung Wärmeübertrager im Speicher)

Beispiel: Zapfprogramm für  
**N bzw.  $N_L = 1$**  (etwas vereinfacht):

- 7 min zapfen mit 10 l/min (z.B. Duschen)
- 20 min Pause
- 10 min zapfen mit 14 l/min (z.B. Badewanne füllen)
- 20 min Pause
- 7 min zapfen mit 10 l/min (z.B. Duschen)



# Andere Auslegungsverfahren

## Richtwerte für Speicher in Ein-/Zweifamilienhäusern

- ohne bzw. mit Solarthermie: 1 bzw. 2 x Warmwasser-Tagesbedarf
- Tagesbedarf: am besten aus Messungen (große Unterschiede); ansonsten z.B. mit Mittelwert von rd. 30 l mit 60°C pro Person

## VDI-Richtlinie 6002 für Solarspeicher

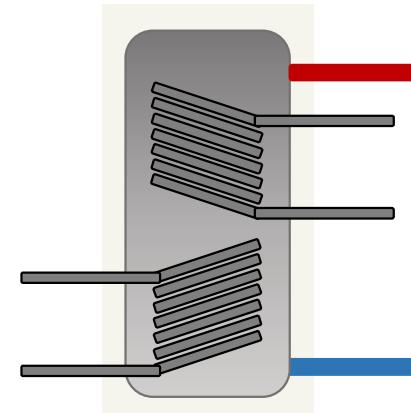
- rd. 50 l/m<sup>2</sup> Kollektorfläche; Kleinanlagen mit 4-6 m<sup>2</sup> bzw. 10-15 m<sup>2</sup> Kollektorfläche → ca. 300 l bzw. 750 l
- vor allem bei Großanlagen: am besten mit gemessenen Verbrauchswerten per Simulation optimieren

## DIN EN 12831 Teil 3 (2017)

- für alle Gebäude, Nutzungsarten (DIN 4708 nur Wohngebäude)
- Summenlinienverfahren: Abgleich Bedarfskennlinie mit der zur Verfügung stehenden Wassermenge plus Leistungsangebot zur Nacherwärmung über Zeitraum eines Tages

## Vorgaben für Speichergrößen in Förderprogrammen

- bei Holzpellet- bzw. Scheitholzvergaser-Kesseln: mind. 30 bzw. 55 l/kW Kesselleistung
- bei Solarthermie mit Flach-/Vakuumröhrenkollektoren: 40 / 50 l/m<sup>2</sup> Kollektorfläche



TWW-Speicher mit Solar-  
Wärmeübertrager unten und  
Nachheiz-Wärmeübertrager  
oben

KAPITEL: WASSER ZUR WÄRMESPEICHERUNG

# MAßNAHMEN GEGEN LEGIONELLEN IN TRINKWARMWASSER-SYSTEMEN

PROF. MARIO ADAM

ORCA.nrw



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>

Ein Kooperationsvorhaben empfohlen durch die:



INNOVATION DURCH KOOPERATION

Gefördert durch:

Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



a d a m



# Erneuerbare Energien und Effizienztechnologien

Prof. Dr.-Ing. Mario Adam

E<sup>2</sup> - Erneuerbare Energien und Energieeffizienz  
ZIES - Zentrum für Innovative Energiesysteme

Hochschule Düsseldorf  
Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik

## Kapitel „Wasser zur Wärmespeicherung“

**Maßnahmen gegen Legionellen in Trinkwarmwasser-Systemen**

# Legionellen und Legionellen-Prophylaxe

- Lungenentzündung-Gefahr durch Legionellen-Bakterien
  - durch Einatmen von Wassertröpfchen mit hoher Legionellenkonzentration z.B. bei offenen Rückkühlwerken, Befeuchtern in Klimaanlagen, Whirlpools, Duschen
  - völlig ungefährlich: Trinken, auch in großen Mengen!
- erstmals erkannt: 1976 bei Kongress von Veteranen der Amerikanischen Legion (namensgebend)
- kaltes Trinkwasser enthält immer Legionellen-Bakterien!
  - beste Vermehrung bei 25...45°C
  - kaum Vermehrung unter 25°C und bei 45...55°C
  - Abtötung ab 55°C
- Vorbeugende Maßnahmen
  - DVGW-Arbeitsblatt W 551: um Kontamination in Trinkwassersystemen vorzubeugen
  - 42. BImSCHV: Anlagen-Meldepflicht und Beprobung des Wassers bei Verdunstungskühlern, Kühltürmen, Nassabscheidern, um Austrag von Legionellen in die Luft vorzubeugen

„Legionellenampel“



# DVGW-Arbeitsblatt W 551

## Keine Vorschriften

- 1-2 Familienhäuser
- Kleinanlagen: Warmwasser-Speicher < 400 l und jede Zuleitung zu einer Zapfstelle < 3 l  
Zuleitung = Rohrinhalt von WW-Speicher/Erwärmer bis zur Zapfstelle  
Rohr 12x1/15x1/18x1 → Innendurchmesser 10/13/16 mm → 3 l ≈ 38,2 m / 22,6 m / 14,9 m

## Vorschriften für WW-Großanlagen

Großanlage = Warmwasser-Speicher > 400 l oder eine Warmwasser-Zuleitung > 3 l

- Gesamter WW-Speicher-Inhalt 1 x pro Tag auf 60°C erhitzen (= „thermische Desinfektion“) oder Entkeimung durch mechanische Legionellenfilter, UV-Strahlung oder Chlorierung
- Temperatur am Austritt des zentralen WW-Erwärmers:  $\geq 60^\circ\text{C}$
- Zirkulation: Rücklauf max. 5 K kälter als am Austritt WW-Speicher/Erwärmer, nicht länger als 8 h unterbrochen
- Wasser-Beprobung auf Legionellen: alle 3 Jahre (jedes Jahr bei öffentlichen Gebäuden), an zentralen Stellen der Anlage, nicht an jeder Zapfstelle (s.a. Trinkwasserverordnung §14b)

# ORCA.nrw

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM

RUB

Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg

Hochschule Düsseldorf  
University of Applied Sciences  
HSD

iSEA  
Stromrichter-  
technik und  
Elektrische  
Antriebe

RWTH AACHEN  
UNIVERSITY

FH AACHEN  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ein Kooperationsvorhaben empfohlen durch die:

DIGITALE  
HOCHSCHULE  
NRW

INNOVATION DURCH KOOPERATION

Gefördert durch:

Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>



a d a m