

Wie in der Thermoskanne

Vakuum-superisolierte Tanks im Brauereieinsatz

Durch Modernisierung der Sudhaustechnologie und eine deutlich verminderte Gesamtverdampfung konnte der spezifische Wärmebedarf vieler Brauereien in den letzten Jahren merklich reduziert werden. Bei vielen Betrieben hat sich seitdem eine Stagnation eingestellt und es wird deutlich, dass bei sinkendem Wärmebedarf der Einfluss von fixen Wärmeverbrauchern immer dominierender wird.

Eine weitere Senkung des spezifischen Wärmebedarfes ist daher häufig nur durch Optimierung der Wärmerückgewinnung, Einbindung ungenutzter Abwärmequellen und eine Verringerung von Wärmeverlusten möglich. Diese Wärmeverlustquellen sind vor allem die Wärmeerzeugung im Kesselhaus, das Wärmeverteilnetz sowie Verluste von Maschinen, Gefäßen und Warmwasserspeichertanks.

Insbesondere solche Leitungen und Behälter, die ganzjährig auf Druck oder bei einer Solltemperatur gehalten werden, haben einen wesentlichen Einfluss auf den thermischen Grundlastbedarf. Dieser ist in einer geordneten Dauerlinie der thermischen Leistung deutlich erkennbar und macht oft mehr als 20 Prozent des jährlichen Gesamtwärmebedarfes aus. Der Minimierung von Wärmeverlusten muss daher in Zukunft noch mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Bei kleineren und mittleren Betrieben wird aus Rationalisierungsgründen teilweise eine Trennung von Sud- und Abfüllwochen angestrebt. Aus energetischer Sicht ergeben sich einerseits Vorteile durch verringerte Auskühlungsverluste der Gefäße im Sudprozess zum Beispiel bei Doppelsuden, andererseits entstehen fast immer Probleme im Warmwasserhaushalt, wenn die während der Sud-

woche angesammelte Warmwassermenge wegen zu geringem Speichervolumen oder zu hoher Speicherverluste nicht in die Abfüllwoche „hinübergerettet“ werden kann.

Die Auskühlungsverluste sind meist so hoch, dass eine Warmwasserreserve innerhalb von 4 bis 4,5 Tagen zum Beispiel von Mittwochabend bis Montag früh mehr als 30°C durch Transmission und Abstrahlung verliert. Bis zum Ende der Folgewoche kann der Behälter fast bis auf Umgebungstemperatur abgekühlt sein.

Ziel wäre es also, die Wärmeverluste von Warmwasserspeichern wie Brauwasser-, Betriebswarmwasser- oder Energiespeichertanks so zu verringern, dass die Verluste innerhalb einiger Tage nicht mehr ins Gewicht fallen. Auch Laugeabsetztanks oder CIP-Behälter sind häufig mangelhaft isoliert und verursachen ebenfalls merkliche Verluste.

Stand der Technik ...

... ist bei warmen Behältern die Aufbringung einer Wärmedämmung von 100 bis 200 mm Mineralwolleplatten auf den Tank und die Verkleidung mit Trapez- oder Glattblech. Neben der Behälterdämmung gibt es weitere zum Teil bedeutende Verlustquellen:

– Teilweise unisolierte Anteile der Behälterwand (z.B. Mannlöcher)

- Durchdringungen für Temperaturmessstellen (z.B. 6 Stück Pt 100 in der Zarge)
- Stützen (meist bis zum Flansch unisoliert)
- Wärmebrücken innerhalb der Dämmung (Befestigung Außenmantel und Dämmstoff)
- Behälterfüße bzw. Standzargen oder Pratzten sowie Kranösen.

Aus diesen zusätzlichen Verlusten resultiert die starke Abweichung der in der Praxis beobachteten Abkühlraten gegenüber den theoretisch berechneten Werten, die sich alleine aus der reinen Wärmeleitung durch die Dämmschicht ergeben. Häufig sind Zuschläge von 60 von 120 Pro-

Franz Stolz

Studium an der TU München-Weihenstephan mit Abschluss zum Diplom-Braumeister 1988; Teilnahme am Weiterbildungsprogramm Energie- und Umweltmanagement der TU Berlin; 20-jährige Berufspraxis in der Energieberatung und Planung/Optimierung von Energieanlagen; Zugelassener Berater der KfW für Energieeffizienzberatungen und Sachkundiger der BAfA für Kälteanlagen; 2012 Firmengründung FS Industrielle Energieberatung (www.fs-enertec.de)



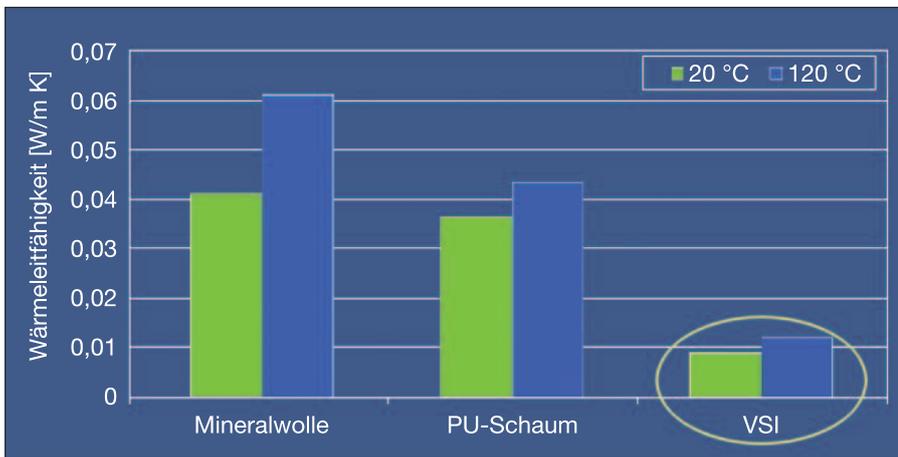


Abb. 1: Temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit verschiedener Dämmstoffe

zent gegenüber den theoretischen Werten notwendig, um der Realität nahezukommen.

Bei einer Berechnung der Wärmeverluste sind neben einer zeitlich veränderlichen Außentemperatur auch die im Mittel vorhandene Innentemperatur, die Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitwerte des Dämmstoffes selbst sowie die Strahlungseinflüsse auf den äußeren Wärmeübergang zu beachten. Eine genaue Berechnung der Effekte durch Wärmebrücken ist schwierig und wird daher üblicherweise nicht durchgeführt, sondern durch Zuschlagswerte berücksichtigt.

Prinzipiell sind große Behälter durch das günstigere Verhältnis von Volumen zu Oberfläche hinsichtlich der

spezifischen Verluste und insbesondere hinsichtlich des Temperaturabfalls im Vorteil gegenüber kleinen Behältern. Bei gleicher Dämmstärke von 100 mm beträgt zum Beispiel der theoretische Temperaturabfall eines 10-m³-Tanks bei 80 °C ohne Zuschläge 2,0 K/d, während ein gleich gedämmter 50-m³-Tank nur 1,25 K/d verliert. In der Praxis fallen die relativen Unterschiede allerdings durch vorhandene Wärmebrücken noch höher aus.

Im Idealfall werden Warmwasserreserven von Plattenkühler, Pfaduko und anderen angeschlossenen Wärmequellen mit einer leicht erhöhten Warmwassertemperatur (z. B. 85 °C) und ausreichender Menge gespeist, die über der Solltemperatur der Ent-

nahme (z. B. 80 bis 82 °C) liegt, so dass geringe Auskühlungsverluste der Behälter noch nicht zu einem zwangsläufigen Nachheizen mittels Primärenergie führen. Durch die höhere Erzeugungstemperatur sinken aber gleichzeitig die erzeugten Warmwassermengen. Der Wirkungsgrad der Wärmetauscher (z. B. der Pfaduko-Wirkungsgrad) sinkt in gewissem Maße und zusätzlich steigen auch die Speicherverluste weiter an, wodurch wieder Nachteile entstehen.

In der Praxis findet man häufig sehr unzureichend isolierte Tanks, die eine zu geringe Dämmstärke von 60 bis 80 mm aufweisen, unvollständig isoliert sind oder an denen die nach Reparaturen entfernte Isolierung nicht mehr aufgebracht wurde. Auch durchfeuchtete und damit wirkungslose Isolierungen sind nicht selten. Solche Schwachstellen können durch eine direkte Messung der Oberflächentemperatur oder durch Thermografie leicht sichtbar gemacht werden. Häufig genügt schon eine aufgelegte Hand, um Fehlstellen zu erkennen. Eine intakte Dämmung sollte auf der Außenseite der Umarmelung nicht mehr als 2 bis 3 K wärmer als die Umgebung sein.

Alternative Dämmstoffe wie PU-Ortschaum, wie sie bei Kälteisolierungen eingesetzt werden, sind für Warmwassertanks bisher wenig verbreitet, obwohl der Schaum in der Regel bis 95 °C temperaturbeständig ist und eine um 30 bis 50 Prozent geringere Wärmeleitfähigkeit aufweist. Um Schäden bei der Einbringung zu vermeiden, müssen die Behälter teilweise vor Ort geschäumt werden. Eine gleichmäßige Schaumqualität und die Vermeidung von Lunkern ist unter diesen Bedingungen schwerer zu gewährleisten.

VSI-Technologie

Vakuum-Superisolation (VSI) ist eine hocheffiziente Methode zur Wärmedämmung mit fünf- bis zehnfach besserer Dämmwirkung gegenüber konventionellen Dämmstoffen (siehe Abb. 1). Das Funktionsprinzip ähnelt einer Thermoskanne, wo der Zwischenraum eines doppelwandigen Behälters evakuiert und dadurch der Gaswärmehtransport unterdrückt wird.

Damit ist bereits eine gute Dämmwirkung verbunden, jedoch findet noch ein Infrarot-Strahlungsverlust von heißer zu kalter Behälterwand statt. Dieser wird durch Einbringen eines mikroporösen Pulvers unterbunden, wobei die zusätzliche Fest-



Abb. 2: Fertigung eines VSI-Tanks

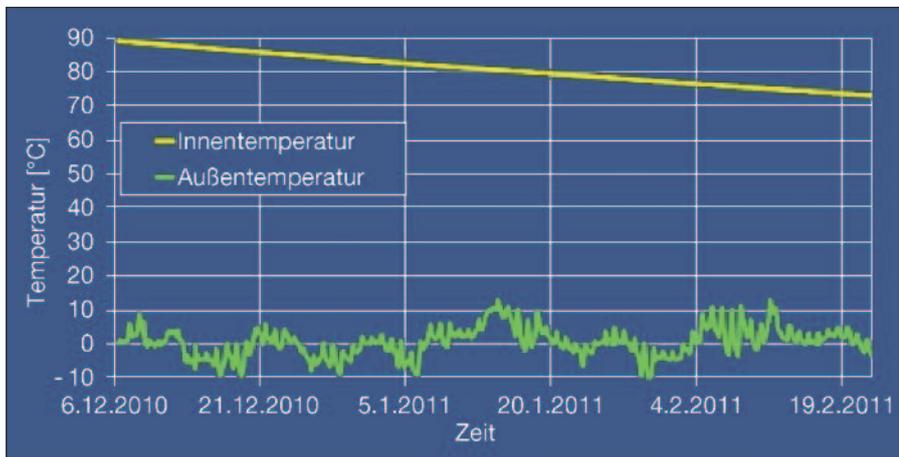


Abb. 3: Temperaturabfall im Versuchstank (Quelle: ZAE)

körperwärmeleitung sehr gering ist und eine kostengünstige Evakuierung ins Feinvakuum (< 0,1 mbar) zur totalen Unterdrückung der Gaswärmeleitung ausreicht.

Der Tank besteht aus einer Innen- und einer Außenhülle, die jeweils hermetisch dicht verschweißt sind (siehe Abb. 2). Der Zwischenraum wird mit einer Perlite-Schüttung gefüllt und anschließend auf 0,05 mbar evakuiert. Zur Vermeidung von Wärmebrücken sind die Anschlüsse und Messstellen innerhalb der Dämmschicht zum Behälterboden geführt.

Praxismessungen an VSI-Tanks

Das ZAE Bayern in Garching hat einen VSI-Tank im Rahmen eines laufenden Forschungsprojektes vermessen und die theoretisch erwarteten niedrigen Verlustwerte bestätigt (siehe Abb. 3 und 4). Ein ungestörter 16-m³-Versuchstank hatte in einem Testzeitraum von 11 Winterwochen nur einen Temperaturabfall von insgesamt 18 K bzw. im Durchschnitt 0,23 K/d. Im Labor ergab sich für Speichertemperaturen von 90°C bei



Abb. 4: Versuchstank Firma Hummelsberger

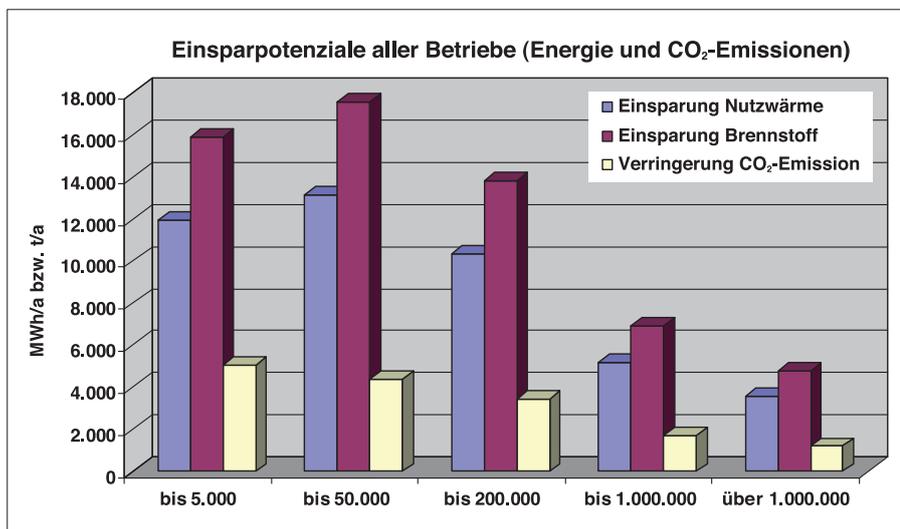


Abb. 5: Einsparpotenziale laut Modellrechnung

einem Vakuumdruck von 0,01 mbar für die effektive Gesamtwärmeleitfähigkeit der VSI-Dämmung ein Wert von lediglich 7 mW/k*m gegenüber 30 bis 50 mW/K*m für konventionelle Dämmungen.

Bisher werden die Behälter nur als Verdrängungsspeicher und aus Schwarzstahl gefertigt und sind daher optimal als Energiespeicher in geschlossenen Kreisläufen einsetzbar. Es ist je-

doch durchaus möglich, Innentanks aus VA 1.4301 oder 1.4571 bzw. 1.4401 einzusetzen und die Behälter sowohl als Verdrängungsspeicher als auch Leerlauf tanks für Trink- bzw. Brauwasser zu bauen.

Die Vorteile eines VSI-Tanks sind:

- Um den Faktor 5 bis 10 geringere Wärmeverluste als konventionelle Tanks

Tabelle 1: Wirtschaftlichkeit Beispieltank

Typ	Einheit	konventionell	VSI
Nutzinhalt	m ³	12	12
Durchmesser außen	mm	1 800	2 000
Höhe zyl. Teil	mm	5 600	5 600
Dämmstärke	mm	100	200
Dämmstoff		Mineralwolle	VSI/Perlite
Temperatur Tank	°C	82	82
Außentemperatur i. M.	°C	8	8
Verluste der Dämmung	kW	1,18	0,14
Verluste der Wärmebrücken	kW	0,80	0
Verluste gesamt	kW	1,98	0,14
Abkühlrate berechnet	K/d	3,4	0,23
Jahresverluste theoretisch	kWh/a	17 345	1 226
Nettowärmepreis	ct/kWh	10,6	10,6
Wärmekosten der Verluste	Euro/a	1 839	130
Differenz der Wärmekosten	Euro/a		1 709
Mehrkosten VSI-Tank ca.	Euro		10 300
ROI der Mehrkosten	a		6

- Keine Wärmebrücken in der Dämmschicht, kalte Außenhülle
- Keine Nachteile bei Außen aufstellung
- Langjährig konstant niedrige Verluste, Vakuum nachträglich wiederherstellbar
- Keine Feuchte- oder Degradationsprobleme
- Als Druckbehälter auch ohne Mannloch zulässig
- Keine Probleme mit chloridhaltigen Dämmstoffen.

Die Nachteile sind:

- Ohne Mannloch nicht befahrbar (Endoskopie durch Inspektionsöffnungen möglich)
- Mehrkosten durch erhöhten Fertigungsaufwand
- Bisher nur bis ca. 65 m³ Nutzinhalt und aus Schwarzstahl lieferbar.

Wirtschaftlichkeit

Am Beispiel eines permanent bei 82°C warm gehaltenen, vollgeladenen und 12 m³ fassenden Verdrängungsspeichers aus Stahlblech S 235, der im Freien aufgestellt ist, ergibt sich die Wirtschaftlichkeitsberechnung, wie in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Berechnung zeigt, dass die jährliche Nutzwärmeersparnis bei ca. 16 100 kWh liegt. Bei einer Heizölföherung ergeben sich Einsparungen von rund 1 700 Euro/a. Die Mehrkosten des VSI-Tanks liegen in dieser Größe gegenüber einem mit 100 mm Mineralwolle gedämmten Tank bei ca. 10 300 Euro. Die statische Amortisationsdauer (ROI) beträgt damit 6 Jahre. Gegenüber einem mit 200 mm gleich stark gedämmten Tank ergeben sich 7,6 Jahre.

Wärmekosten

Bei den meisten Betrieben beträgt der Jahresnutzungsgrad der Wärmeversorgung bei Dampfanlagen inklusive Netzverlusten, Eigenbedarf und Nachdampfverlusten nur 70 bis 75 Prozent. Bei schlecht ausgelasteten Anlagen liegen die Werte teilweise noch deutlich darunter, da die Standby-Verluste anteilig sehr hoch sind. Aus 100 kWh Brennstoff bzw. ca. 10 m³ Erdgas oder ca. 9,9 Liter Heizöl werden also nur etwa 70 bis 75 kWh Nutzwärme. Damit ergeben sich bei aktuellen Brennstoffpreisen folgende Nettowärmepreise:

Erdgas: 7,4 ct/kWh bei 5,0 ct/kWh
bzw. 55 ct/m³

Heizöl: 10,6 ct/kWh bei ca. 75 ct/l

Potenziale in der Brauwirtschaft

Um die insgesamt derzeit auftretenden Verluste von Warmwasserbehältern und die Potenziale der gesamten Branche bei einer flächendeckenden Einführung dieser Technologie abzuschätzen, müssen sinnvolle Annahmen zur Anzahl und den installierten Behältergrößen getroffen werden.

Bei einem Betrieb mit getrennter Brau- und Betriebswasserreserve und ggf. noch einem zusätzlichen Energiespeichertank zur Würzeerhitzung sind zum Beispiel schon drei Behälter vorhanden, die jeweils eigene Verluste mit sich bringen.

In einer Modellrechnung (siehe Abb. 5) wurden fünf verschiedene Betriebsgrößenklassen unterschieden, für die die Anzahl existierender deutscher Brauereien bekannt ist. Diesen wurden dann typische Sud- und Behältergrößen zugewiesen und die jeweiligen Jahresverluste für den Bestand und für die VSI-Technologie berechnet. Multipliziert mit der Anzahl der Betriebe je Klasse ergibt sich zumindest eine Abschätzung der Gesamtverluste der Tanks.

Die Verluste je Betrieb liegen größenabhängig in einem Bereich zwischen ca. 15 und 120 MWh/a. Ein Millionenbetrieb hat laut Modellrechnung nur etwa achtmal höhere Verluste in diesem Bereich als eine 5 000-hl-Brauerei. Die Gesamtverluste von Warmwasserbehältern in der Brauwirtschaft lassen sich auf ca. 48 000 MWh/a abschätzen. Durch Einführung der VSI-Technologie könnten diese auf ca. 4 000 MWh/a also um ca. 90 Prozent reduziert werden. Dies wäre mit einer Brennstoffeinsparung von ca. 59 000 MWh/a und einer Reduktion von grob etwa 16 000 t/a CO₂ verbunden.

Fazit:

Die größten Vorteile der VSI-Technologie ergeben sich für Brauereien bei langen Standzeiten, relativ geringer Behältergröße, hoher Speichertemperatur und kalter Umgebung. Bei weiter steigenden Brennstoffkosten wird die Wirtschaftlichkeit auch für Behälter > 30 m³ erreicht.