



Kunststoff-Wärmeübertrager für industrielle Anwendungen beim Einsatz kritischer Medien

Autoren: Daniel Zipplies, Bernd Platzer, Günther Pflug, Stefan Reinemann, Torsten Bräunig, Alexander Brodt

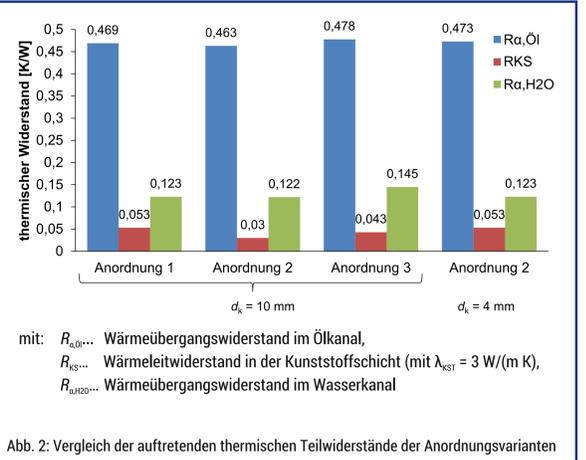
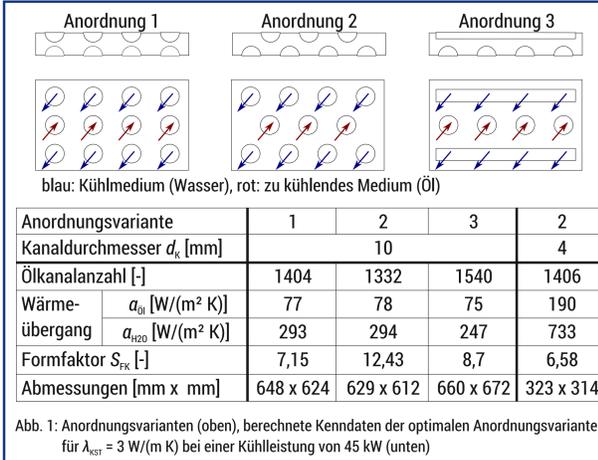
Ausgangslage
Zielstellung

- Ausgangslage
Industrielle Wärmeübertrager bestehen fast ausschließlich aus metallischen Werkstoffen.
Bei aggressiven Medien (Seewasser, synthetischen Öle etc.) Verwendung von korrosions- und säurebeständigen Legierungen für höhere Standzeiten, jedoch verbunden mit:
deutlich geringeren Wärmeleitfähigkeiten,
erhöhten Material- und Fertigungskosten.
Kunststoffe stellen durch ihre chemische Resistenz eine interessante Alternative dar, sofern durch geeignete Füllstoffe ausreichende Wärmeleiteigenschaften erreicht werden.
Zielstellung
Entwicklung eines nahezu vollständig aus Kunststoff bestehenden Wärmeübertragers mit folgenden Eigenschaften (vgl. Tab. 1):
Leistungsvermögen eines herkömmlichen metallischen Rohrbündel-Wärmeübertragers in Edelstahlausführung
zulässige Bauraumvergrößerung um 20 % je Dimension
hohe Beständigkeit gegen aggressive Medien
Erzeugung eines gut wärmeleitfähigen (lambda_kst = 1 bis 3 W/(m K)) und für die Betriebsbedingungen geeigneten Kunststoff-Komposits
Erarbeitung eines kunststoffgerechten Apparateaufbaus losgelöst von klassischen Bauformen von Wärmeübertragern

Tab. 1: Anforderungsprofil des Kunststoff-Wärmeübertragers
Table with 2 columns: Kennwert, Zielforderung. Rows include max. Betriebsdruck (16 bar), max. Betriebstemperatur (100 °C), Bauraum (885 x 235 x 200 mm³), Kühlleistung (45 kW), Durchflussmenge Öl/H₂O (100 l/min / 50 l/min), Eintrittstemperaturen Öl/H₂O (60 °C / 25 °C), zulässiger Druckverlust Öl/H₂O (0,4 bar / 0,1 bar).

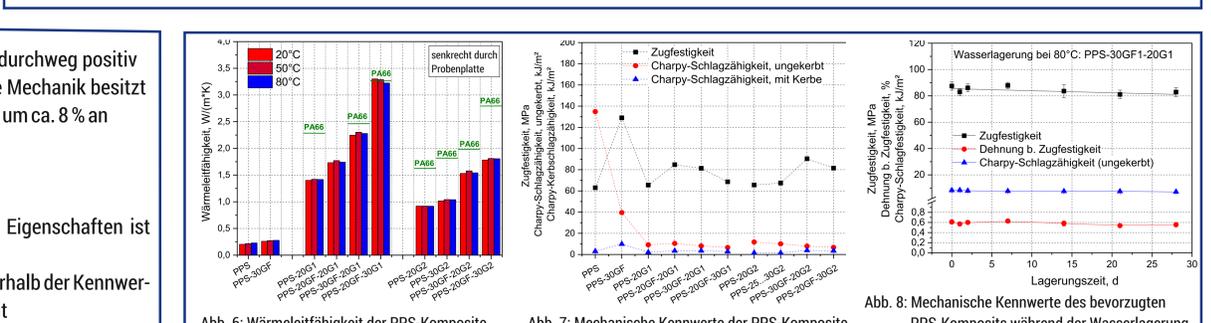
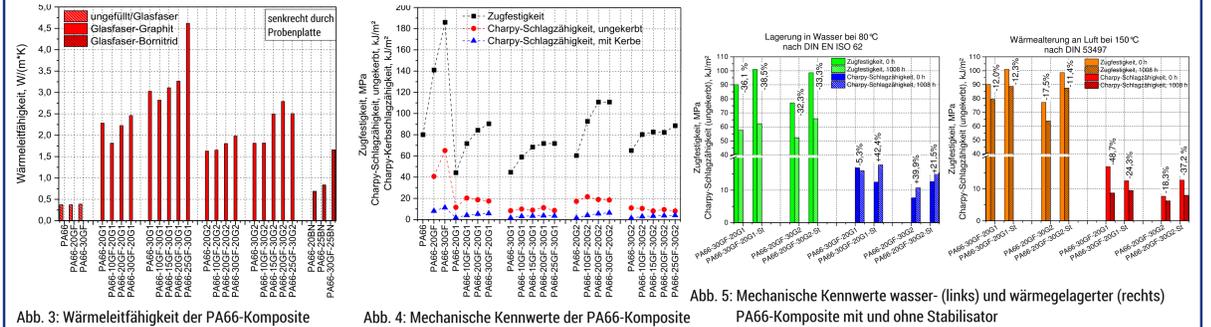
Wärmeübertragerkonzept

- klassische Bauarten von Wärmeübertragern (Rohrbündel-, Platten-Wärmeübertrager) in reiner Kunststoffausführung hinsichtlich der Fertigbarkeit und der Druckbeständigkeit ungeeignet
Hybridbauweise aus miteinander verspannten Kunststoff-Einzelplatten mit eingebrachten Kanalstrukturen gewählt
Untersuchung von drei unterschiedlichen Möglichkeiten der Kanal-anordnung (Abb. 1, oben) mit entwickeltem Berechnungsmodell
Vorzugsvariante Anordnung 2 (Abb. 1, unten):
höchster Formfaktor (Wärmeleitung zwischen den Kanälen)
kleinste erforderliche Kanalanzahl
geringster Bauraum, jedoch deutlich über der Zielstellung
deutliche, aber noch nicht ausreichende Reduzierung des Bau-raums durch verringerten Kanaldurchmesser d_k = 4 mm
begrenzende Faktoren sind die Wärmeübergangswiderstände der medienführenden Kanäle (Abb. 2)
Verbesserung des lokalen Wärmeübergangs nötig



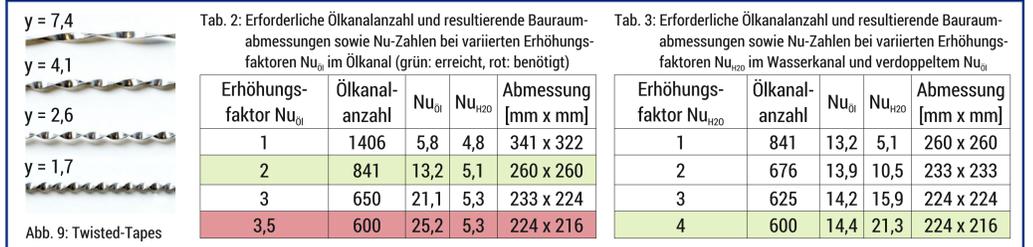
Kunststoffentwicklung

- zwei Kunststoff-Systeme auf Basis von PA66 bzw. PPS:
wärmeleitfähige Additive: Graphit G1 (d_m = 1000 µm), Graphit G2 (d_50 = 16-21 µm), Bornitrid BN (d_50 = 12 µm)
Verstärkungsstoff: Glasfaser GF (l_f = 4,5 mm)
Ergebnisse PA66-Komposite:
deutlich erhöhte Wärmeleitfähigkeit bei Graphit-Additiven (Abb. 3)
Graphit G1 erzeugt bei gleichen Füllgraden höhere Wärmeleitfähigkeiten als Graphit G2, Bornitrid liefert geringste Werte
mechanische Kennwerte fallen durch wärmeleitfähige Additive aufgrund der Kerbwirkung merklich ab (Abb. 4)
Graphit G1 beeinflusst die mechanischen Eigenschaften der Komposite mehr als Graphit G2
Lageruntersuchungen (Abb. 5) zeigen bei Medieneinfluss fallende mechanische Kennwerte, wobei sich ein zusätzlicher Stabilisator (St) durchweg positiv auswirkt und das Komposit PA66-30GF-20G1-St vorwiegend die beste Mechanik besitzt
bei Wasserlagerung steigt Wärmeleitfähigkeit von PA66-30GF-20G1-St um ca. 8 % an
Komposit PA66-30GF-20G1-St als günstigstes PA66-System gewählt
Ergebnisse PPS-Komposite:
PPS im Vergleich zu PA66 chemisch beständiger, weniger hydrophil
bester Kompromiss zwischen Wärmeleitfähigkeit und mechanischen Eigenschaften ist das Komposit PPS-30GF-20G1 (Abb. 6, 7)
bei Lagerversuchen nahezu konstante mechanische Eigenschaften oberhalb der Kennwerte des PA66-Kompositis (Abb. 8) bei gleichbleibender Wärmeleitfähigkeit



Wärmeübergang

- Verbesserung des Wärmeübergangs in den Einzelkanälen durch Twisted-Tapes (Abb. 9)
Laborversuche zur Ermittlung der maximalen Nu-Zahlen (dimensionslose Kennzahl des lokalen Wärmeübergangs) beim Einsatz von Twisted-Tapes in den Einzelkanälen:
Ölkanal: Nu-Zahl-Erhöhung um den Faktor 2,3 (Twisted-Tape y = 1,7) ggü. Leerrohr
Wasserkanal: Nu-Zahl-Erhöhung um den Faktor 4,3 (Twisted-Tape y = 1,7) ggü. Leerrohr
zur Erreichung der angestrebten Bauraumabmessungen sind mit den labortechnisch erreichten Faktorerhöhungen von 2 im Öl- und 4 im Wasserkanal sowohl öl- als auch wasserseitig Twisted-Tape-Einbauten erforderlich (vgl. Variationsrechnungen Tab. 2, 3)



Demonstrator-tests

- Konstruktionsentwürfe der modular aufgebauten Kunststoff-Wärmeübertrager:
Variante aus PA66-Komposit mit metallischen Rohreinlegern auf der Ölseite (Abb. 10)
Variante aus PPS-Komposit (bessere mechanische Kennwerte) ohne metallischen Rohreinleger
Auslegung von horizontalen und vertikalen Verteilkanälen für eine gleichmäßige Strömungsverteilung auf die Einzelkanäle (Abb. 11) unterstützt durch CFD-Simulationen
erfolgreiche Tests an skalierten Prototypen mit 10 x 10 Ölkanälen (Abb. 12) zur Validierung des Berechnungsmodells -> gute Vorhersage mit dem Berechnungsmodell
über das Berechnungsmodell ausgelegte Kunststoff-Wärmeübertrager (Abb. 10) erfüllt weitestgehend die im Anforderungsprofil (Tab. 1) festgelegten Leistungsparameter
weitere Tests an größeren Prototypen mit Kühlleistungen des Referenz-Wärmeübertragers sind nötig

