

Die Auslegung von Luft/Wasser Gegenstromapparaten mit flächigen Polypropylen Einbauten zur Vergrößerung der Austauschoberfläche beruht häufig auf Reinstoffdaten der beteiligten Komponenten Wasser, Luft und Polypropylen. Insbesondere die geringen Oberflächenenergien von unpolaren Thermoplasten deuten auf eine schlechte Benetzbarkeit hin. Eine Vielzahl von grundlegenden Berechnungsmodellen verwendet die kritische Grenzflächenspannung als eine unveränderliche Materialkenngröße zur Bestimmung der benetzten Oberfläche. Im Nachfolgenden wird gezeigt, dass sich die unter Laborbedingungen ermittelten Werte in der Praxis deutlich anders darstellen.

© twobase/latola.de

Größere Stoffaustauschleistung

Verbesserung der Benetzbarkeit von Kunststoffpackungen

Eine der wichtigsten Anforderungen an geschüttete oder strukturierte Stoffaustauschbetten ist, eine möglichst große wirksame Oberfläche für den Stoffaustausch bereit zu stellen.

Unter anderem hängt die wirksame Oberfläche von der Grenzflächenspannung zwischen der Flüssigkeit und den Materialeigenschaften der Oberfläche der Austauschelemente ab. Der Einfluss der Grenzflächenspannung auf die effektive Oberfläche wurde in vielen Forschungsarbeiten untersucht und entsprechende empirische Bestimmungsgleichungen hierzu aufgestellt. Bekannt ist, dass insbesondere Wasser mit seiner hohen Grenzflächenspannung Kunststoffflächen schlecht benetzt. Dieser Tatsache wird bei einigen grundlegenden Arbeiten mittels der Materialkennwerte ausreichend Rechnung getragen was bei flächigen Stoffaustauschelementen in Kunststoff dann zu einem berechneten Benetzungsgrad von zum Teil weniger als 50% bei üblichen Berieselungsdichten führt.

Ein Umstand der bei Tests selten berücksichtigt wird, ist das Verhalten der Grenzflächenspannung über die Zeit. Nach einer gewissen Zeitdauer verbessern sich die Benetzungseigenschaften und somit der Benetzungsgrad deutlich. Eine annähernde Verdopplung der benetzten Oberflächen ist selbst bei sauberem Wasser wie z. B. Trinkwasser gegeben.

Oberflächenenergien

Auf Grund ihrer chemischen Eigenschaften haben die Grundmaterialien von Packungen bestimmte Oberflächenenergien. Im Zusammenspiel mit der Grenzflächenspannung der aufgegebenen Flüssigkeit stellt sich ein Kontaktwinkel ein, der über die Benetzbarkeit des Systems entscheidet.

Die Oberflächenenergie steigt mit zunehmender Polarität der Oberfläche an. Bei Po-

lypropylen ist diese Oberflächenenergie relativ niedrig (30 mN/m (Lake, 2009)). Dies führt dazu, dass Medien wie Wasser, die selbst eine hohe Oberflächenenergie besitzen, zunächst nicht gut auf diesen Materialien benetzen, sondern Rinnsale oder Tropfen bilden.

Es gibt aber Prozesse, die eine Änderung der Oberflächenenergie bewirken. Neben technisch aufwändigen Verfahren wie beispielsweise eine Plasmabehandlung oder Fluorierung reicht auch ein längerer Kontakt mit ionenhaltigem Wasser aus, um die Benetzbarkeit von Polypropylen nachhaltig zu verbessern. Um diesen Effekt zu zeigen, wurden Folien in einem offenen Behälter in Wasser mit verschiedenen Ionenkonzentrationen eingelegt. Testmedien waren:

- Leitungswasser mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 416 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Entionisiertes Wasser mit einem Zusatz von 0,32 g/l Kochsalz (0,0055 molare Lösung)
- Entionisiertes Wasser (nach VDE 0510)

Die Folien waren dabei vollständig mit dem Wasser in Kontakt, es gab keine zusätzliche Durchmischung des Wassers. Die Folie wurde in regelmäßigen Abständen aus dem Wasser entnommen und an der Luft stehend getrocknet. Anschließend wird mit Hilfe von einem Testtintenset (in Anlehnung an DIN 53364), welches zwischen 30 und 72 mN/m in 2 mN/m Schritten gestaffelt ist, die Oberflächenenergie der Folie bestimmt.

Ergebnisse

In Abbildung 1 sieht man die Ergebnisse dieser Versuche. Beim Leitungswasser hat man bereits nach 150 Stunden eine sehr hohe Oberflächenenergie erreicht. Beim Versuch mit der 0,0055 molaren Kochsalzlösung dauert der Prozess kaum länger. Im Fall des destillierten Wassers verlangsamt sich der Prozess deutlich, aber auch hier kann man mit der Zeit eine Erhöhung der Oberflächenenergie messen. Daran erkennt man, dass sich die Oberflächenenergie eines Materials, welches in ständigem Kontakt mit wässrigen Lösungen befindet, mit der Zeit auf jeden Fall erhöht, selbst der offene Kontakt des entionierten Wassers mit der Atmosphäre weist diesen Effekt auf.

Insbesondere bei geringen Berieselungsdichten hat die Benetzbarkeit einer strukturierten Packung einen wesentlichen Einfluss auf deren effektive Oberfläche und Leistungsfähigkeit. Bei niedriger Oberflächenenergie kann durch die Bildung von Rinnsalen deutlich weniger Oberfläche genutzt werden als bei einer hohen Oberflächenenergie, so dass sich Leistungsmessungen an neuen Füllkörpern (30 mN/m) und solche an „eingefahrenen“ Füllkörpern (72 mN/m) extrem unterscheiden können.

Praxisversuch

Beispielhaft wurden bei GEA 2H Water Technologies Wärmeaustauschmessungen im Gegenstrom (System Wasser/Luft) am Packungstyp MASSdek 150 HTC durchgeführt und die Ergebnisse durch Division der Höhe durch die Merkelzahlen in HTU-Werte umgerechnet.

Hier wurden genau diese beiden Oberflächenenergieextreme bei einer Berieselungsdichte von 15 m/h gegenübergestellt. Wie man sieht, ist der HTU-Wert einer neuen Packung mit niedriger Oberflächenenergie in diesem Fall etwa doppelt so hoch wie der HTU-Wert einer sehr gut benetzbaren, ein-



Dr.-Ing. Nina Woicke,
Leitung Forschung & Entwicklung GEA 2H Water Technologies



Dipl.-Ing. FH Michael Müller,
Vertrieb Stoffaustauschkomponenten GEA 2H Water Technologies



Dipl.-Ing. FH Marco Puschmann,
Vertrieb Stoffaustauschkomponenten GEA 2H Water Technologies

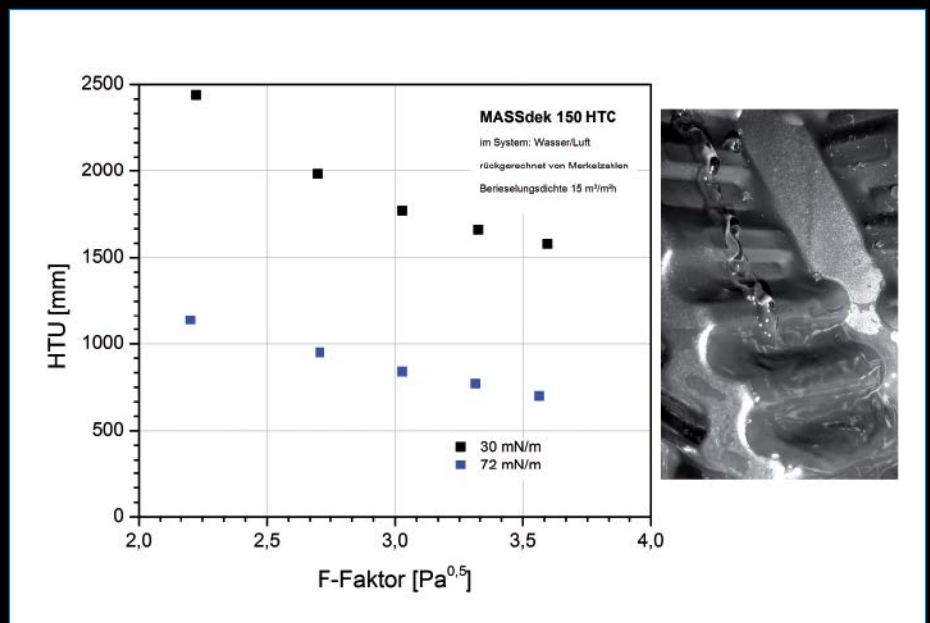


Abb. 1: Veränderung der Oberflächenenergie von Polypropylenoberflächen

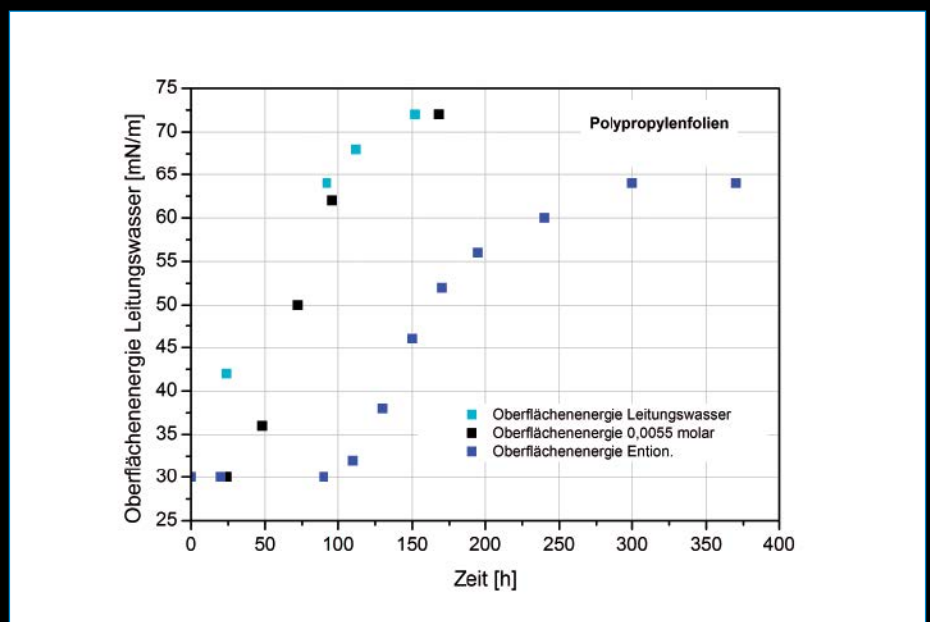


Abb. 2: Vergleich des HTU Wertes bei unterschiedlicher Oberflächenenergie bei einer Berieselungsdichte von 15 m³/m²h

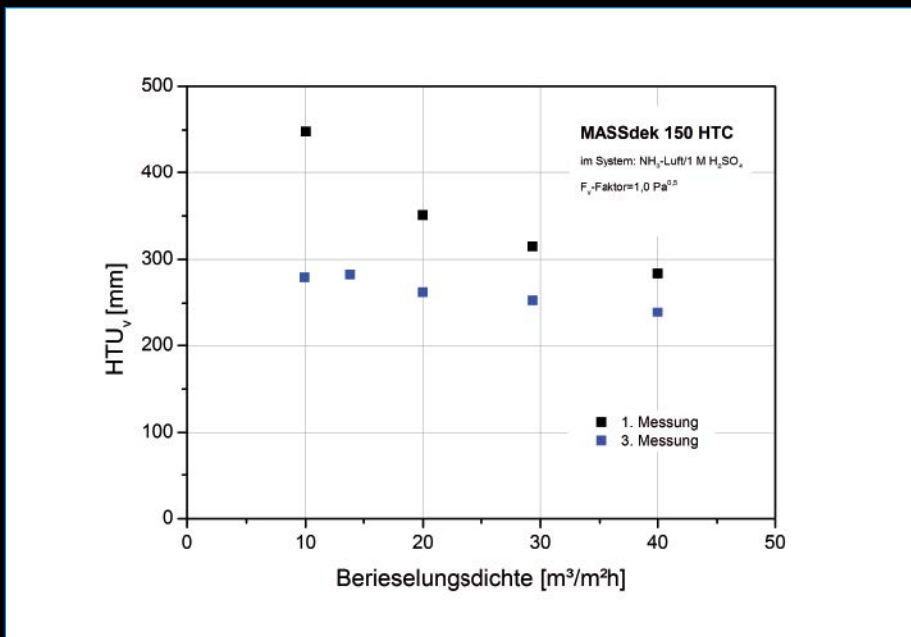


Abb. 3: Vergleich des HTU Wertes bei nacheinander geschalteten Messreihen des MASSdek 150 HTC.

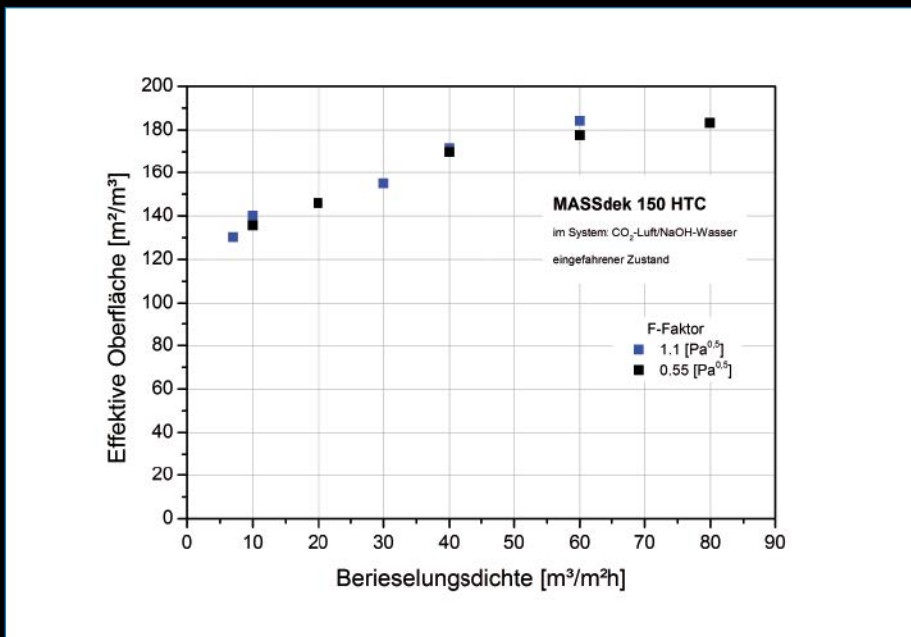


Abb. 4: Effektive Oberfläche in Abhängigkeit der Berieselungsdichte.

gefahrenen Packung. Ähnliche Ergebnisse an Kunststoffpackungen können auch in der Literatur gefunden werden (Reuter & Kröger, 2005).

Auf der rechten Seite von Abbildung 2 sieht man eine optische Verdeutlichung des Phänomens: Die obere Hälfte der Folie hat die anfängliche, niedrige Oberflächenenergie, die untere Hälfte ist entsprechend vorbehandelt worden und weist eine deutlich höher Oberflächenenergie auf. Man erkennt, dass sich das Rinnsal an dem Übergang sich sofort in

einem dünnen Film verteilt, wenn der eingefahrene Bereich der Folie erreicht wird.

Die gleiche Tendenz kann man bei Stoffaustauschversuchen des gleichen Packungstyps bei der Firma Envimac am System NH₃-Luft beobachten (s. Abb. 3).

Dabei sind die Packungen bei der dritten Messung im eingefahrenen Zustand, während bei der ersten Messung noch keine ausreichende Oberflächenenergie vorhanden war. Wieder gibt es deutliche Unterschiede beim HTU-Wert. Die Veränderung der HTU-Werte

wurde dabei ausschließlich durch die Fortsetzung der Messungen in der gleichen Messkolonne erzielt.

Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, die Leistungsfähigkeit einer strukturierten Kunststoffpackung und die damit zusammenhängende effektive Oberfläche nicht im Neuzustand, sondern nur im eingefahrenen Zustand mit verbesserter Oberflächenenergie zu vermessen. Dieser Zustand stellt sich wie gezeigt bei Prozessen mit wässrigen Systemen im Lauf des Betriebs ein. Für die Packung MASSdek 150 HTC (geometrische Oberfläche von 150 m²/m³) wurde für eingefahrenen Packungen am System CO₂-Luft/NaOH-Wasser die effektive Oberfläche des Füllkörpers (Duss, Meierhofer, & Nutter, 2001) bestimmt.

In Abbildung 4 sieht man die Abhängigkeit der effektiven Oberfläche von der Berieselungsdichte. Bei einer gut eingefahrenen Packung erhält man hohe effektive Oberflächen, die bei höheren Berieselungsdichten (bei einem F-Faktor von 1,1 Pa^{0,5} etwa ab einer Berieselungsdichte von 20 m³/m²h) die geometrische sogar übersteigt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der Film mit zunehmender Berieselungsdichte eine höhere Welligkeit bekommt (Al-Sibai, 2004), die diese zusätzliche Oberfläche erzeugt.

Wie hier dargelegt, stellen sich die systemtypischen effektiven Oberflächen nur nach einer ausreichenden Anlaufzeit ein. Messungen in Testkolonnen als auch Berechnungsmodelle müssen diesen Zusammenhang berücksichtigen.

Literatur

- [1] Al-Sibai, F. (2004). Experimentelle Untersuchung der Strömungscharakteristik und des Wärmeübergangs bei welligen Rieselfilmen. Aachen: RWTH.
- [2] Duss, M., Meierhofer, H., & Nutter, D. E. (2001). Effective Interfacial Area and Liquid Holdup of Nutter Rings at High Liquid Loads. Chem. Eng. Technol., 716-723.
- [3] Lake, M. (2009). Oberflächen-technik in der Kunststoffverarbeitung: Vorbehandeln, Beschichten, Funktionalisieren und Kennzeichnen von Kunststoffoberflächen. München: Carl Hanser Verlag.
- [4] Reuter, H., & Kröger, D. (2005). Effects of wettability on the performance of cross-fluted counterflow. 13th IAHR Cooling Tower Conference. Poitiers, France.

Kontakt

GEA 2H Water Technologies GmbH
GEA Heat Exchangers
 Tel.: +49 2233 6999 526
 michael.mueller@gea.com
 www.gea-2h.com