

HFES bieten eine kostengünstige, umweltschonende Alternative zu Reinigungssystemen auf Wasserbasis

Jason Kehren, 3M Company

Eine Vielzahl verschiedener Lösungsmittel stehen heute zur Auswahl. Doch das Produkt mit den richtigen Eigenschaften zu finden, kann sich als schwierig erweisen

Anfang der 1980er Jahre waren FCKWs (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) das bevorzugte Reinigungsmittel in der Festplattenbranche. Umweltbedenken, insbesondere das hohe Ozonabbaupotenzial, führten jedoch dazu, dass die Produktion dieser Lösungsmittel Mitte der 1990er eingestellt wurde. Zum damaligen Zeitpunkt gab es keine anderen Lösungsmittel, die mit den Eigenschaften von FCKWs mithalten konnten. In der Folge stellte die Branche auf Wasser basierende Reinigungssysteme um. Diese boten zunächst Vorteile gegenüber Lösungsmitteln, z. B. niedrigere Rohstoffkosten und weniger Umweltbedenken, sowie geringe oder gar keine Gesundheits- oder Sicherheitsprobleme. Doch da mit zunehmender Flächendichte auch die Komplexität und Empfindlichkeit von Bauteilen stieg, schauten sich Hersteller nach Alternativen zu auf Wasser basierenden Reinigungsmitteln um, um Probleme in puncto Reinigungsleistung, Trocknung und Korrosion zu lösen. Eine neue Klasse von Lösungsmitteln, nämlich segregierte Hydrofluorether (HFES), zeichnet sich durch ein attraktives Zusammenspiel von Eigenschaften aus, die den gestiegenen Anforderungen Rechnung tragen und stellt außerdem einen kostengünstigen Ersatz für Reinigungssysteme auf Wasserbasis dar.

Reinigungslösemittel: Zusammenspiel der Eigenschaften

Alternative Reinigungsmittel zu FCKWs und auf Wasser basierenden Systemen müssen die richtige Kombination aus Sicherheits-, Umwelt- und Leistungseigenschaften vorweisen (siehe Tabelle 1). Die richtige Kombination dieser Eigenschaften hängt von der Anwendung ab.

Sicherheit	Umwelt	Leistung
Geringe Toxizität	Nachhaltige Einhaltung der Vorschriften	Kosteneffizienz
Nicht brennbar	Kein Ozonabbaupotenzial	Selektives Lösungsvermögen
	Keine VOC	Materialkompatibilität
	Kurze atmosphärische Lebensdauer	Hohe Stabilität
	Niedriges Treibhauspotenzial	Hohe Qualität
	Geringe Löslichkeit in Wasser	Gute Reinigungsleistung

HFES sind Lösungsmittel, die eine gute Kombination dieser drei Eigenschaften vorweisen. In diesen Molekülen sind alle Wasserstoffatome ohne Fluorsubstitution an Kohlenstoffe gebunden und werden von fluorierten Kohlenstoffen durch den Ethersauerstoff, d. h. R_nOR_n segregiert.

Reinigungssysteme mit HFES tragen den Anforderungen in puncto Sicherheit am Arbeitsplatz und Umwelt Rechnung, während sie gleichzeitig eine mit FCKWs und auf Wasser basierenden Prozessen bessere Leistungsfähigkeit zu bieten haben. 3M bietet eine Reihe von Lösungsmitteln auf HFE-Basis, die mit dieser ausgewogenen Kombination punkten.

HFES in reiner Form

Reine HFES der Firma 3M kommen beim Reinigen von Leichtölen, halogenierten Substanzen und Partikeln zum Einsatz.

- Novec 7100 (Methylnonafluorbutylether, Siedepunkt 60 °C)
- Novec 7100DL
- Novec 7200 (Ethylnonafluorbutylether, Siedepunkt 78 °C)
- Novec 7200DL
- Novec 7500 (2-Trifluormethyl-3-Ethoxydodecafluorhexan, Siedepunkt 128 °C)

Novec 7100DL und Novec 7200DL sind hochreine Ausführungen von Novec-7100 und Novec-7200 für besonders empfindliche Anwendungen. Diese Produkte eignen sich für den Reinigungseinsatz bei Ionen, Metallen und nicht flüchtigen Kohlenwasserstoffen, Estern und Silikon.

Azeotrope und Mischungen

Ein Azeotrop ist eine Mischung aus zwei oder mehreren Komponenten, die am Siedepunkt ohne eine Veränderung der Zusammensetzung verdampfen. Azeotrope bieten in Reinigungsverfahren aufgrund ihrer gleichförmigen Zusammensetzung signifikante Vorteile mit Blick auf Prozesssicherheit und Kontrolle. Azeotrope werden als Reinigungsmedium für mittelschwere Öle, Flussmittelrückstände, Schmierstoffe aus Kohlenwasserstoff und Silikonöle eingesetzt. Dazu gehören:

- Novec 71 IPA (Novec 7100 und Isopropanolazeotrop)
- Novec 71DE (Novec 7100 und Trans- 1,2-Dichlorethylenazeotrop)
- Novec 71DA (Novec 7100, Trans- 1,2-Dichloroethylen- und Ethanolazeotrop)
- Novec 71D90 (Novec 7100 und Trans-1,2-Dichlorethylenmischung)

Co-Solvent-System

Bei dem sogenannten Co-Lösungsmittelsystem oder Co-Solvent-System werden reine HFES, in der Regel Novec 7100, als Trägerlösungsmittel mit einem Spülmittel kombiniert. Das Ergebnis ist ein schwerflüchtiges, organisches Lösungsmittel. Das organische Lösungsmittel erhöht die Reinigungskraft des Systems, während HFE dazu dient, dieses



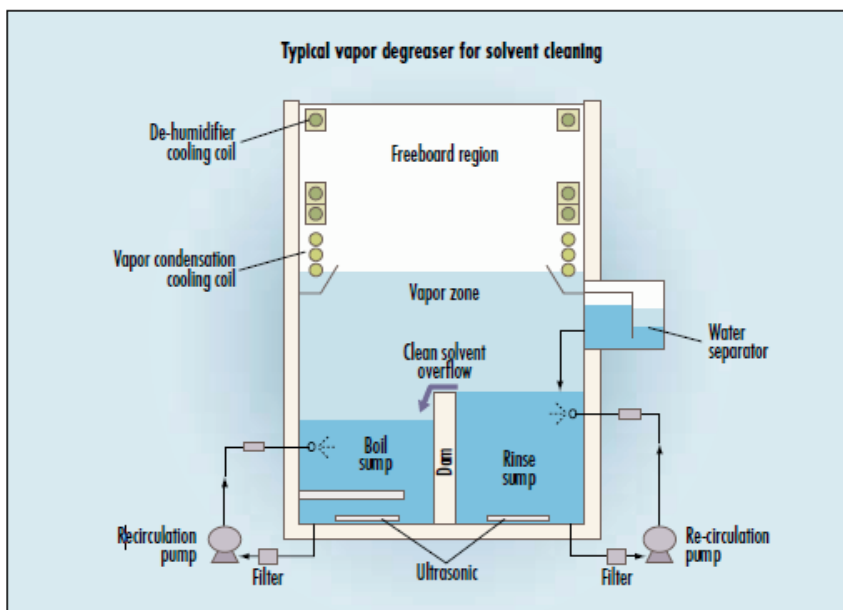


Abbildung 1. Typischer Dampffettungsanlage für die Reinigung mit Lösungsmitteln

Lösungsmittel von den Teilen abzuspülen und eine reaktionsträge, nicht brennbare Dampfdecke zu bilden. Reinigungssysteme auf Basis von Co-Lösungsmitteln werden zum Entfernen von Schwerölen, Fetten, Flussmittelrückständen, Klebstoffen und Schmelzklebstoffen verwendet.

Dampffettungsanlagen

Dampffettungsanlagen sind das bevorzugte System für die Reinigung mit Lösungsmitteln, da sie eine Reihe von Prozessvorteilen bieten. Die einzelnen Bauteile einer typischen Dampffettungsanlage sind in Abbildung 1 dargestellt. Die wichtigsten Bereiche für das Reinigungsverfahren sind das Reinigungsbecken, das Spülbecken und die Dampfzone. Die flüchtige Reinigungsflüssigkeit verdampft im Reinigungsbecken und sammelt sich in der Dampfzone an. Die verdampfte Flüssigkeit in der Dampfzone kondensiert und fließt zurück in das Spülbecken, das beim Überlaufen HFE in wieder in das Reinigungsbad zurück leitet. Durch dieses System befindet sich kontinuierlich destillierte, saubere Flüssigkeit in Dampfzone und Spülbecken, wobei sich die nicht flüchtigen Verunreinigungen im Reinigungsbecken ansammeln. Die Flüssigkeit kann mit Filtern und Adsorptionszylindern in den Rezikulationsleitungen gereinigt werden.

Das typische Reinigungsverfahren bei reinen und azeotropen Lösungsmitteln besteht aus drei Schritten: Eintauchen in die Dampfzone, Eintauchen in das Spülbad und abschließendes Verweilen in der Dampfzone.

Die Bauteile werden in der Regel unter Raumbedingungen in die Entfettungsanlage eingeführt. Beim Eintauchen in die Dampfzone kondensiert das Lösungsmittel auf dem Bauteil, sobald sich das thermische Gleichgewicht einstellt. Der Kondensationsprozess bewirkt, daß größere Verunreinigungen von dem Werk-Stück entfernt werden, bevor es in das Tauchbecken geht. Anschließend werden die Teile dann in das Tauchbecken überführt, wo die Lösungseigenschaften des Reinigungsmediums, das Umwirbeln und Temperatureinflüsse ihre reinigenden Effekte entfalten. Zusätzlich können Ultraschall und Sprühlanzen eingesetzt werden, um die Reinigung in dieser

Phase verbessern. Beim zweiten Aufenthalt in der Dampfzone kann das Lösungsmittel abtropfen, bevor das Teil schließlich aus der Dampffettungsanlage gezogen wird. Schließlich kann während der Verweilzeit in der dampffreien Zone das zurückbehaltene Lösungsmittel von den Teilen verdunsten, wodurch Ausschleppverluste reduziert werden. Sowohl bei reinen wie azeotropen Lösungsmitteln ist das Eintauchen im Reinigungsbecken in der Regel nur bei schweren Verunreinigungen der Teile erforderlich.

Lösungsmittel auffangen

Zu den wichtigsten Aspekten, die es in Bezug auf chemische Reinigungsmittel zu bedenken gilt, gehören ganz klar die Gesamtkosten für die Reinigung. Daher ist es erforderlich, den Lösungsmittelverlust zu begrenzen. Es gibt zwei Hauptursachen für Lösungsmittelverlust in Dampffettungsanlagen: Verlust durch Diffusion

und Ausschleppverlust. Diffusionsverlust tritt ein, wenn sich die Moleküle der Lösungsmittel aus der gesättigten Dampfzone durch die dampffreie Zone zu den Öffnungen des Dampffetteters hinbewegen. Die Verlustrate durch Diffusion ist abhängig vom Siedepunkt der Lösungsmittel und dem Molekulargewicht. Bei einem Anstieg von Siedepunkt und Molekulargewicht sinkt die Verlustrate durch Diffusion. Durch folgende Veränderungen an der Reinigungsanlage können Diffusionsverluste reduziert werden:

1. Dampffreie Zone erhöhen, um den Dampfverlust nach dem Reinigen zu verringern.
2. Installation einer sekundären Kühleinheit, um den Lösemitteldampf in der dampffreien Zone stärker zu kondensieren.
3. Einsatz eines abgedichteten Dampffetteters, um Öffnungen für Diffusionsverlust zu reduzieren.

Zu Ausschleppverlusten kommt es, wenn Lösungsmittelreste auf den Teilen, die aus der Reinigungsanlage entnommen werden, verbleiben. Diese Verluste sind von der Verdampfungswärme, der Oberflächenspannung und der Viskosität des Lösungsmittels abhängig. Bei geringerer Verdampfungswärme kann das Lösungsmittel besser auf dem Bauteil verdunsten. Lösungsmittel mit niedrigerer Oberflächenspannung und Viskosität laufen leichter vom Bauteil ab und verfangen sich in geringerem Umfang in geometrisch

	Novec 7100	CFC-113
Expositionsrichtlinien, 8 Std. TWA (ppm)	750	1.000
Akute letale Konzentration 4-hr LC50 (ppm)	> 100.000	55.000
Expositionsgrenze (ppm)	Keine	Keine
Brennbar	Nein	Nein

Tabelle 2. Vergleich der Sicherheitseigenschaften von Novec 7100 CwFC-11.

kompliziert konstruierten Bauteilen. So lassen sich Ausschleppverluste reduzieren:

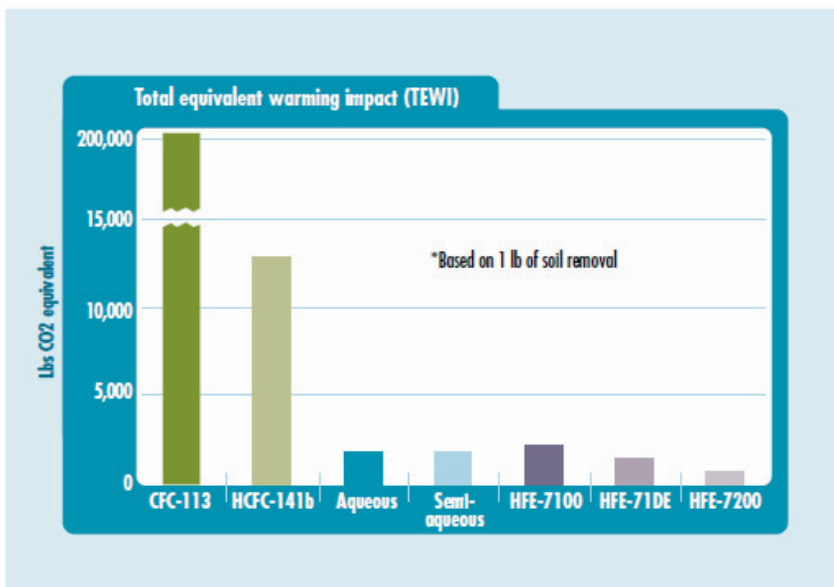


Abbildung 2. TEWI für verschiedene Reinigungssysteme

1. Verweilzeit des Bauteils in der dampffreien Zone erhöhen, damit auf dem Bauteil verbliebenes Lösungsmittel verdunsten kann.
2. Die Dampfzone optimal aufheizen, um das auf den Bauteilen verbliebene Lösungsmittel ablaufen zu lassen
3. Ein Vakuumsystem in die Reinigungsanlage einbauen, um auf dem Bauteil verbliebene Flüssigkeit aufzufangen.
4. Einsatz geeigneter Transportkörbe, in denen sich das Lösungsmittel nicht verfängt.

Diffusions- und Ausschleppverluste wirken sich in signifikantem Maße auf die Betriebskosten eines Reinigungsverfahrens aus. Ein teureres Lösungsmittel mit geringeren Diffusions- und Ausschleppverlusten kann zu deutlich niedrigeren Betriebskosten führen als preislich günstigere Lösungsmittel mit höheren Verlusten.

Vorteile der Reinigung mit HFE-Lösungsmitteln

Die Reinigung mit Lösungsmitteln bietet gegenüber der Reinigung auf Wasserbasis zahlreiche Vorteile. Zu den wichtigsten Unterschieden der beiden Prozesse gehören: Die Teile kommen sauber und trocken aus der Anlage, die Prozessanforderungen sind wesentlich geringer, die Reinigung ist effektiver und es wird weniger Flüssigkeit in komplexen Werkstücken festgehalten.

Bei der Lösungsmittelreinigung wird normalerweise eine Dampfentfettungsanlage für die Reinigung eingesetzt. Die Lösungsmittel in dem Entfetter werden erhitzt, sodass die zurückbehaltenen Flüssigkeiten mühelos verdunsten können und die Werkstücke sauber und trocken aus der Reinigungsanlage herauskommen. Dadurch wird ein langwieriger Trockenprozess überflüssig und es werden weniger Verfahrensschritte benötigt. In der Regel wird das Reinigen auf Wasserbasis bei Raumbedin-

gungen, oder bei Temperaturen von weit unter 100 °C durchgeführt. In verschiedenen auf Wasser basierenden Prozessen werden Tenside zur

Verbesserung der Reinigung eingesetzt. Bei diesen Prozessen ist nicht nur die Wahrscheinlichkeit von Tensid-Rückständen auf den Werkstücken höher, sondern auch die Anhaftung des Reinigungs-mediums. Ein HFE-Lösungsmittelverfahren hingegen vermindert das Problem von Korrosion und Re-Kontaminierung der Komponenten und verringert außerdem noch die Verfahrenszeit und die Anlagekosten. Die Reinigung mit Lösungsmitteln bietet darüber hinaus auch einige Prozessverbesserungen gegenüber der auf Wasser basierenden Reinigung. Beispielsweise sind die Prozessabfallstoffe deutlich geringer, denn die Lösungsmittel werden kontinuierlich destilliert and wieder verwendet. Verfahren auf Wasserbasis verbrauchen bei der Reinigung enorme Wassermengen, die

wiederaufbereitet werden müssen.

Bei Reinigungssystemen auf HFE-Lösungsmittelbasis gibt es auch weniger Probleme mit der Auslegung der Anlage. Denn diese Systeme benötigen eine geringe Reinraumfläche und verbrauchen weniger Strom. Auf Wasser basierende Systeme hingegen sind viel komplexer und größer und erfordern außerdem zusätzlich Trocknungsaggregate. Darüber hinaus bedürfen die Anlagen häufig für jede Anwendung eine maßgeschneiderte Auslegung. Deshalb zeichnet sich die Reinigung mit HF-Lösungsmitteln aus Verfahrenssicht durch geringere Betriebs- und Investitionskosten aus.

Dank ihrer niedrigeren Oberflächenspannung können HFE-Lösungsmittel in Bauteilen mit komplexeren Geometrien bessere Reinigungsleistung erzielen als auf Wasser basierende Verfahren. Außerdem laufen Lösungsmittel von Teilen besser ab und verfangen sich daher weniger in komplexen Gebilden. Das wiederum mindert die Bedenken mit Blick darauf, wie sich das Reinigungsmittel auf die Bauteile (z.B. Form von Korrosion) oder auf nachgelagerte Prozesse auswirkt.

		Kosten in \$ pro Tag	Kosten in \$ pro Tag
		Auf Wasserbasis	Lösungsmittel
Investitionskosten	Anlage	211,48 \$	69,58 \$
	Flüssigkeit	-	1,53 \$
Betriebskosten	Flüssigkeitsverlust	95,60 \$	20,26 \$
	Strom	92,10 \$	13,81 \$
Kosten pro Tag		399,18 \$	104,98 \$
Kosten pro Platte		0,0135 \$	0,0043 \$

Tabelle 3. 3M – Ergebnisse des von Kerry entwickelten Cost-of-Ownership-Modells.

Einige Anwender bringen Lösungsmittel mit schlechten Sicherheits- und Umwelteigenschaften in Verbindung. Doch nicht alle Lösungsmittel sind gleich. HFE-Lösungsmittel sind in beiden dieser Bereiche vorteilhaft. Tabelle 2 veranschaulicht, dass die Sicherheitseigenschaften von HFEs mit denen von FCKW-113 vergleichbar sind. Sie sind nicht brennbar, haben keine Expositionsbegrenzung und hohe AEGL-Werte.

Angesichts der deutlich unterschiedlichen Eigenschaften, die Reinigungssysteme auf Lösungsmittel- und auf Wasserbasis aufweisen, kann sich ein Vergleich der Umwelteigenschaften dieser Systeme als schwierig erweisen.

Der sogenannte TEWI-Wert als Kennzahl für den Gesamtbeitrag zur Erderwärmung wurde vom US-Energieministerium und der AFEAS (Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study) entwickelt, um die Einflüsse verschiedener industrieller Reinigungsmittel auf den Klimawandel zu vergleichen. Bei dieser Methode wird das für die Reinigung eines Pfunds Verschmutzung erzeugte CO₂ errechnet. Einbezogen werden dabei alle Beiträge zur Erderwärmung – der direkte Beitrag des Lösungsmittels ebenso wie der indirekte durch den Energieverbrauch. Die Ergebnisse zeigen: HFE-Reinigungssysteme schneiden im Vgl. zu wässrigen und halb-wässrigen Systemen gut ab (s. Abb. 2).

Reinigungskosten im Vergleich:

Lösungsmittel kontra auf wasserbasierende Systeme

Trotz der Vorteile von Lösungsmitteln fällt es vielen Herstellern schwer, sich mit dem Preisunterschied zwischen Wasser und Lösungsmitteln zu arrangieren. Wasser wird in der Regel als kostenloses Gut betrachtet, während der Preis für Lösungsmittel im Bereich von 3 bis 20 US-Dollar pro Pfund liegt. Allerdings ist es wichtig, alle Faktoren zu beachten, die zu den Anschaffungs- und Betriebskosten von Reinigungssystemen beitragen. Ein Cost-of-Ownership-Modell muss die Betriebskosten (Strom, Flüssigkeitsrecycling und Flüssigkeitsverlust, z. B. in Form von Fließrate sowie Diffusions- und Ausschleppverluste) und die Fixkosten (Auffüllen mit Flüssigkeit und Ausrüstungskosten inklusive Apparate, Reinraumfläche, Recycling- und Trockenanlagen) ebenso berücksichtigen wie Instandhaltung, Ausfallzeiten und Ertragseffekte.

Die Firma 3M und Kerry Ultrasonics LTD, ein britischer Hersteller von Ultraschallreinigungs- und Kunststoffmontageanlagen, erarbeiteten gemeinsam ein Cost-of-Ownership-Modell. Dabei verglichen sie den Einsatz von Lösungsmitteln und von auf Wasser basierenden Systemen für ein Plattenreinigungsverfahren in Singapur. Die Annahmen für dieses Modell sind im Folgenden dargestellt. Die aufgeschlüsselten errechneten Kosten sind in Abb. 3 dargestellt.

Annahmen für die HFE-Lösungsmittelreinigung

- Kerry Lösungsmittelreinigungsanlage Modell 350
 - 44 l Kapazität
 - 13,93 Quadratmeter Stellfläche
 - 64 Teile pro Korb
 - 16 Körbe pro Stunde

- HFE kostet \$ 20,13 pro Pfd.
- 5 Prozent Lösemittelverlust pro Woche

Diffusions-, Ausschlepp- und Recyclingverluste auf der Grundlage von Kundeninformationen.

Annahmen für die Reinigung auf Wasserbasis

- Kerry Reinigungsanlage Modell 525
 - 3 Tanks mit einer Kapazität von 228 l
 - 71,92 Quadratmeter Fläche
 - 88 Teile pro Korb
 - 14 Körbe pro Stunde
- Wasserkosten \$ 61,72/Tag
 - Pauschal: 1.000 bis 40.000 l
- Fließrate Spültank 8 gal/Min.
 - 30 Prozent Abwasser, 70 Prozent recycelt

Allgemeine Annahmen

- 5 Jahre Abschreibung
- Stromkosten: \$ 0,091 pro kW
- Reinraumkosten von \$ 500 pro Quadratmeter
- Rohstoffkosten auf Basis der Singapur Preise.

Das Modell zeigt, dass die Reinigung mit HFE-Lösungsmitteln geringere Anlagen- und Betriebskosten aufweist. Die Gesamtkosten für die gereinigte Platte sind im Vergleich dazu bei der Reinigung auf Wasserbasis mehr als dreimal so hoch: \$ 0,0135/Platte gegenüber \$ 0,0043/Platte. Obwohl die Ergebnisse bei speziellen Anwendungen variieren: Die Reinigung mit HFE-Lösungsmittel in einem den Anforderungen gerechten Dampfentfetter hat bei ähnlichen oder niedrigeren Kosten für die Flüssigkeitsaufbereitung niedrigere Anschaffungs- und Stromkosten als ein auf Wasser basierender Prozess.

Schlussfolgerungen

Aufgrund ihrer niedrigen Oberflächenspannung und der Reinigungsumgebung im Dampfentfetter können HFEs moderne Komponenten mit ihren komplexen Geometrien gut reinigen – ganz ohne die Bedenken, die in Bezug auf Korrosion und Reinigungseffizienz bei einem auf Wasser basierenden Reinigungsverfahren bestehen. Darüber hinaus bietet ein HFE-Reinigungssystem viele Umweltvorteile und stellt eine kostengünstige und sichere Reinigungsalternative zu Reinigungssystemen auf Wasserbasis dar.

Jason Kehren ist Mitarbeiter im technischen Kundendienst der Performance Materials Division von 3M und leistet in dieser Eigenschaft Unterstützung bei Reinigungs- und Beschichtungsanwendungen von Lösungsmittel in der Festplattenbranche. Er hat einen Hochschulabschluss in Chemieingenieurwesen der University of Minnesota sowie einen B.A. in Chemie des Augsburg College.

Wichtige Information:

Achten Sie bitte selbst vor Verwendung unseres Produktes darauf, ob es sich für den von Ihnen vorgesehenen Verwendungszweck eignet. Ansprüche wegen Fehlens einer zugesicherten Eigenschaft können nur geltend gemacht werden, wenn im Einzelfall eine bestimmte Eigenschaft ausdrücklich und schriftlich von der

liefernden 3M Gesellschaft zugesichert worden ist. Im Übrigen richten sich sämtliche Gewährleistungs- und Haftungsansprüche nach den Allgemeinen Verkaufsbedingungen der liefernden 3M Gesellschaft. 3M und Novec sind eingetragene Marken der 3M Company.

3M

3M Deutschland GmbH
Elektronic Markets Materials Products

Carl-Schurz-Straße 1
41453 Neuss
Tel: ++49 (0)2131/14-5999
Fax: ++49 (0)2131/14-5998
www.3M.com/de/Novec

Achten Sie bitte selbst vor Verwendung unserer Produkte darauf, ob sie sich für den von Ihnen vorgesehenen Verwendungszweck eignen. Ansprüche wegen Fehlens einer zugesicherten Eigenschaft können nur geltend gemacht werden, wenn im Einzelfall eine bestimmte Eigenschaft ausdrücklich und schriftlich von der Verkaufsleitung der liefernden 3M Gesellschaft zugesichert worden ist.

Printed in Germany. Please recycle.
© 3M 2010. All rights reserved.
10.2010 Index 0