

Win Labuda et al.

Zur Reinheit funktionaler Oberflächen

Inhaltsverzeichnis: Gesammelte Fachaufsätze

Reinheits-orientierte Mess- und Prüftechnik
Prozeduren des wischenden Reinigens
Verbrauchsgüter der Reintechnik



FACHBUCH-INHALT
JUNI 2023

mit einem Vorwort von Heinz-Josef Kiggen

Einführung von Heinz-Josef Kiggen

Vor den 1970er Jahren waren die Industriezweige, die wir heute als HiTech-Industrien bezeichnen, noch spärlich gesät und der Bedarf in diesen Bereichen an reinen Fertigungsmethoden war gering. In den 70er Jahren begann dann jedoch die noch junge Halbleiter-Industrie an Fahrt aufzunehmen, und diese Entwicklung erforderte immer mehr hochreine Materialien, Maschinen und Fertigungs-Prozesse.

Einem internationalen von den USA ausgehenden Trend entsprechend, wurden aus „partikelarmen“ Fertigungsräumen mit reinen Arbeitsbänken schnell größere Reinräume mit Laminarstrom-Luftumwälzung. Die Fertigungs-Ausbeuten der Halbleiter-Fertigungs-Prozesse waren zu Anfang noch recht limitiert. Die Halbleiter-Industrie lernte jedoch schnell, dass für die Ausbeute-Optimierung die Reduzierung der Partikeldichte eine der Voraussetzungen war. Bald erkannte man auch den schädlichen Einfluss ionischer Kontamination auf die Fertigungs-Prozesse und die nachhaltige Zuverlässigkeit der Schaltkreise. Eine Vielzahl von Maßnahmen wurde eingeleitet, um schädliche Kontamination vom Prozessgeschehen fern zu halten.

Zu diesem Zweck wurde zunächst das Reinraum-Personal mit reinen Overalls, Handschuhen und Mundschutz versehen. Die Mitarbeiter in den Overalls wurden vor dem Betreten der Reinräume durch Blasluftschleusen geführt. Für den Reinraum und die darin befindlichen Maschinen wurden Reinigungsintervalle mit ionenarmen Reinigungsmitteln erarbeitet. Partikel-Messgeräte und Überwachungssysteme wurden entwickelt, beziehungsweise verfeinert, um das Kontaminations-Geschehen zu begrenzen und erforderliche Reduktionsmaßnahmen messtechnisch zu begleiten.

In Bezug auf die Auswahl des Reinraum-Verbrauchs-materials war man als Prozessingenieur zu Beginn der achtziger Jahre noch recht sorglos, wohl weil die Prozess-basierte Ausbeute-Optimierung zunächst den klaren Vorrang hatte. Es gerieten dann jedoch bald auch Overalls, Handschuhe und chemische Reinigungsmittel in den Fokus der Fertigungs-Ingenieure. Schließlich erkannte man die Komplexität der wischenden Reinigungsprozesse, als man nämlich bemerkte, dass der Reinheitszustand z. B. von Plasma-Ätzmaschinen direkte Auswirkungen auf die Stillstandzeiten dieser extrem teuren Anlagen und somit auf die Produktivität hat.

Bereits Mitte der siebziger Jahre hatte Win Labuda, der Haupt-Autor dieses Buches, einen deutschen Elektrokonzern mit seinen Hochtemperatur-Reinigungsfilen für Laser-Toner-Drucksysteme beliefert. Bald entstand ein weiterer Bedarf: Wischmittel der geforderten Materialreinheit und Reinigungseffektivität für die Reinigung von IBM-Speicherplatten. Die gab es zu der Zeit lediglich in den USA. Ein Besuch bei Mr. Edward Paley von der US-Firma Texwipe Inc. im Jahr 1974 hatte Labuda die Augen dafür geöffnet, dass im Bereich textiler Verbrauchsmaterialien hoher Materialreinheit auch für den späteren Einsatz in den Reinräumen der Halbleiterindustrie ein

weltweiter, großer Markt entstehen würde. Zunächst verkaufte Labuda als freier Distributor die Texwipe-Produkte in Deutschland. Mitte der achtziger Jahre erhielt Labudas Neugründung *Clear & Clean GmbH* dann vom Siemens Halbleiterwerk in Regensburg den Auftrag für die langfristige Belieferung der Megabit Waferfab Regensburg mit HiTech-Wischmitteln und anderen Reinraum-Verbrauchsmaterialien. Die Bestellung war allerdings an die Bedingung der Errichtung einer laufenden Qualitätsüberwachung durch Clear und Clean mit einem von Siemens gerätetechnisch vorgegebenen Prüfinstrumentarium geknüpft. Die aus dieser Vorgabe erwachsene Verpflichtung zur Aneignung und Dokumentation spezieller Material- und Fertigungskenntnisse führte letzten Endes zur Gründung des Clean & Clean-Forschungslabors im Jahr 1990.

Win Labuda war Mitte der achtziger Jahre für uns von der Halbleiter-Industrie der rechte Mann zur rechten Zeit. Er brachte die Erfahrung in der Herstellung technischer Textilien mit, war ein hoch engagierter Produktentwickler und bereit, uns die Entwicklung der komplizierten Prüftechnik für Reinheits-basierte Textilprodukte abzunehmen. Die gab es bei uns in der Halbleiter-Branche nicht und in die wollten wir auch nicht investieren. Eines von Labudas Anliegen war - insbesondere auch im Rahmen der Grenienarbeit - die Entwicklung praxisnaher Simulationsmethoden im Sinne realitätsorientierter Produktprüfung. Akzeptierte Standard-Prüfmethoden erwiesen sich immer wieder als praxisfremd: So ist es bei der Bewertung eines HiTech-Reinigungstuchs weniger wichtig, wie viele Partikel sich bei Anlieferung im Tuch befinden. Es ist hingegen sehr wichtig, zu wissen, wie viele davon am Ende auf der gereinigten Objektoberfläche verbleiben und diese kontaminieren.

In den vergangenen 40 Jahren hat Labuda 40 Fachaufsätze publiziert und ungezählte Vorträge gehalten. Seit Beginn der Zweitausender Jahre hat er die Schwerpunkte seiner Forschung auf die Oberflächenreinheit, die Physik der wischenden Reinigungsprozedur und die chemischen Prozesse der Dekontamination textiler Werkstoffe gelegt. Das vorliegende Buch, das er nun pünktlich zu seinem 85. Geburtstag vorstellt, ist Labudas ‚opus magnum‘. Es enthält einen reichen Wissensfundus aus 50 Jahren aktiv gelebter Reintechnik und Reinheitsforschung zugleich. In diesem Sinne ist das Werk eine sinnfällige Ergänzung zu dem VDI-Standardwerk „Reinraumtechnik“ von Gail/Gommel und ein bedeutender Beitrag zur Reinraumtechnik schlechthin.

Dr. rer. nat. Heinz-Josef Kiggen
im Mai 2023

„Zur Reinheit funktionaler Oberflächen – Gesammelte Fachaufsätze“, Win Labuda et al., 2023,
ISBN 978-3-9825567-0-3.

Einführung von Heinz-Josef Kiggen	16	3.4 Geltende Normen und Prüf-Spezifikationen für HiTech-Wischmittel	62
Urgestein der Reinraumtechnik wird 85	19	3.4.1 Übersicht über etablierte Prüf-Spezifikationen nach ISO, VDI und IEST	62
<i>Ein Gespräch mit Dr. Roy Fox und Dr. Heiko Baumgartner für die GIT ReinRaumTechnik - Anniversary Edition, Wiley-VCH Verlag Mai 2023</i>		3.4.2 Nicht plausibler metrologischer Prüf-Ansatz der IEST-RP-CC004.4	64
Kapitel Grundsätzliches		3.4.3 Die Gelboflex-Problematik (ISO 9073-10)	67
1. Zur Geschichte des Reinen Arbeitens	29	3.4.4 Verbesserte Prüfmethoden nach Labuda und Schöttle	68
1.1 Von Reinheit und Reinraum	30	3.4.5 Exkurs: EU-GMP	72
1.2 Die Pioniere des Reinen Arbeitens	32	3.4.6 Ein Kommentar von Win Labuda zur Normungsethik	74
1.3 Die Anfangsjahre	34	3.5 Fazit	75
1.4 Transistor - Beginn einer Zeitenwende	35	3.6 Begriffliches	77
1.5 Normung in der Reinraumtechnik	38	3.7 Literatur	79
1.6 Medizin und Pharmaindustrie	39		
1.7 Ehrungen und Preise	39		
1.8 Gedanken zum Thema <i>Industrie 4.0</i>	40		
1.9 Ausblick	42		
1.10 Literatur	42		
2. Reinheit als Systemparameter	43	4. Elektrische Oberflächen-Ladungen ⁽⁴⁾ im Reinraum-Betrieb	81
2.1 Der Reinheitsbegriff	43	4.1 Physikalische Grundlagen der Triboelektrizität	81
2.2 Reine Fertigungsverfahren - Neue Verunreiniger	44	4.1.1 Der Oberflächen-Widerstand	83
2.3 Wie rein ist eine Oberfläche?	45	4.1.2 Elektrostatische Aufladungen in der Praxis	84
2.4 Oberflächen-Reinheit als Systemparameter	47	4.2 ESD im Reinraum	85
2.5 Hausaufgaben für Anwender und Lieferanten	49	4.2.1 Elektrische Ladungen im Fertigungs-Prozess	86
2.6 Fazit	50	4.2.2 Ionisatoren-Wartung	89
2.7 Literatur	50	4.2.3 Zusammenfassung	89
3. HiTech-Wischmittel - Eigenschaften und Normen	51	4.3 Triboelektrische Ladungen des Reinraum-Verbrauchsmaterials	89
<i>Normung und Prüfung von HiTech-Wischmitteln im Rahmen ihrer Gebrauchs-Belastung</i>		4.3.1 Beschreibung des Fallschlittens nach Ehrler	90
3.1 Einführung: Normung und Prüfung von HiTech-Wischmitteln	51	4.3.2 Beschreibung der Abklingzeit-Messplatzes nach Chubb	91
3.2 Gebrauch von HiTech-Reinigungstüchern	53	4.3.3 Hinweise zu den beiden Messmethoden	92
3.2.1 Anwendungsklassen und Lieferformen	53	4.3.4 Durchführung der Prüfungen	92
3.2.2 Handhabungs-Zyklen von HiTech-Wischmitteln	55	4.4 Reinigungs-Tücher	94
3.2.3 Eigenschaften von Mikrofilamentgarn-Tüchern	56	4.4.1 Zusammenfassung	96
3.2.4 Kanten-Versiegelung und Profile	56	4.5 Reinraum-Papier	97
3.3 Physikalische Vorgänge bei wischenden Reinigungsvorgängen	58	4.5.1 Die Gleithemmung	98
3.3.1 Haftkräfte bei wischenden Reinigungsvorgängen	58	4.5.2 Farbige Reinraum-Papiere	100
3.3.2 Wechselwirkungen zwischen Wischmittel, Verunreinigung und Objekt-Oberfläche	60	4.5.3 Zusammenfassung Reinraum-Papier	100
		4.6 Anmerkung und Dank	100
		4.7 Literatur	101
Kapitel Metrologie			
5. Spuren-Analytik chemischer Rückstände in textilen Produkten der Reintechnik ⁽⁶⁾	103		
<i>HiTech-Reinigungs-Tücher, Overalls, Atemmasken, reines Papier und Andere</i>			
5.1 Einführungsthemen	103		
5.1.1 Einleitung: Hilfsstoffe für die Techniken des Reinen Arbeitens	103		

5.1.2	Auswahl der Prüflinge für die dokumentierten Testreihen	108	6.3	Bestimmung der Verunreinigungsmasse durch Laserfluoreszenz	159																																																																																																
5.1.3	Oberflächen-Berechnung von Filamentgarn	109	6.4	Eine geeignete Standard-Verunreinigung	159																																																																																																
5.1.4	Kardinalfrage: Oberflächen-Reinheit oder Material-Reinheit	113	6.5	Labuda-Rotations-Wischsimulator Mark III	161																																																																																																
5.2	Metrologie der Oberflächen-Reinheit	115	6.6	Die Messung der spezifischen Reinigungszeit	161																																																																																																
5.2.1	Mikroskopische Visualisierung nach Druck-Transfer	115	6.7	Veranschaulichung der Funktion des Labuda-Rotations-Wischsimulator Mark III-Prüfgeräts	162																																																																																																
5.2.2	Randwinkel-Messung	116	6.8	Die Ergebnisse dieser Studie	163																																																																																																
5.2.3	Zentrifugale Klebkraft-Bestimmung	119	6.9	Die Messung der Reinigungszeit	164																																																																																																
5.2.4	Oberflächen-Analyse mittels ToF-SIMS	120	6.10	Zehn Tücher im Test	164																																																																																																
5.2.5	Time of Flight – Secondary Ion Mass Spectroscopy / Flugzeit-Sekundär-ionen-Massenspektrometrie	120	6.11	Die spezifische Reinigungs-Effektivität	165																																																																																																
5.2.6	Visualisierung mittels DIC-Mikroskopie / DIC-Mikroskopie in der Materialforschung	121	6.12	Gestrick und Vliesstoff im Vergleich	166																																																																																																
5.2.7	Schichtdicken-Messung durch Ellipsometrie	123	6.13	Dünne Schichten und Partikel als gemeinsame Verunreiniger	166																																																																																																
5.2.8	Massebestimmung durch Piezo-Gravimetrie	125	6.14	Klassensystem für Reinigungs-Tücher	169																																																																																																
5.2.9	Die Fluoreszenz-Spektroskopie zur Bestimmung der Effektivität wischender Reinigungs-Systeme	127	6.15	Fazit	170																																																																																																
5.2.10	Infrarotspektroskopie (FTIR) zur chemischen Oberflächen-Analytik	129	6.16	Dank	171																																																																																																
5.3	Metrologie der Material-Reinheit	130	6.17	Literatur	171																																																																																																
5.3.1	Zeta-Durchfluss-Potential-Bestimmung	130	7.	Oberflächen-Reinheit nach wischenden Reinigungs-Prozeduren⁽⁵⁾	173																																																																																																
5.3.2	Der Entladungs-Zeitwert	133	7.1	Prüfmethode und Instrumentarium	173	5.3.3	Ionenbestand von HiTech-Wischmitteln	136	7.2	Ergebnisse	175	5.3.4	Zur TOC-Analytik (Total Organic Carbon)	139	7.3	Der Flüssigkeits-Rückstand nach mehreren Wischbewegungen	177	5.3.5	VOC-Ausgasung, Bestimmung mittels SPME Festphasen-Extraktion nach Pawliszyn und GC-MS	144	7.4	Die Auswirkung des Flüssigkeits-Rückstands auf die Reinigungs-Effektivität und den Zeit-aufwand bei Reinigungs-Vorgängen	179	5.3.6	Zur Anreicherung von Ausgasungen in wiederaufbereiteten HiTech-Overalls	149	7.5	Der Einfluss der Bewegungs-Parameter auf den Flüssigkeits-Rückstand	179	5.3.7	Ausgasung von Atem-Masken (Schutzklasse FFP2)	149	7.6	Die Inhaltsstoffe des Flüssigkeits-Rückstands	180	5.4	Ein Nachwort	155	7.7	Fazit	181	5.5	Glossar	155	7.8	Literatur	181	5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183	5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194
7.1	Prüfmethode und Instrumentarium	173																																																																																																			
5.3.3	Ionenbestand von HiTech-Wischmitteln	136	7.2	Ergebnisse	175	5.3.4	Zur TOC-Analytik (Total Organic Carbon)	139	7.3	Der Flüssigkeits-Rückstand nach mehreren Wischbewegungen	177	5.3.5	VOC-Ausgasung, Bestimmung mittels SPME Festphasen-Extraktion nach Pawliszyn und GC-MS	144	7.4	Die Auswirkung des Flüssigkeits-Rückstands auf die Reinigungs-Effektivität und den Zeit-aufwand bei Reinigungs-Vorgängen	179	5.3.6	Zur Anreicherung von Ausgasungen in wiederaufbereiteten HiTech-Overalls	149	7.5	Der Einfluss der Bewegungs-Parameter auf den Flüssigkeits-Rückstand	179	5.3.7	Ausgasung von Atem-Masken (Schutzklasse FFP2)	149	7.6	Die Inhaltsstoffe des Flüssigkeits-Rückstands	180	5.4	Ein Nachwort	155	7.7	Fazit	181	5.5	Glossar	155	7.8	Literatur	181	5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183	5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194						
7.2	Ergebnisse	175																																																																																																			
5.3.4	Zur TOC-Analytik (Total Organic Carbon)	139	7.3	Der Flüssigkeits-Rückstand nach mehreren Wischbewegungen	177	5.3.5	VOC-Ausgasung, Bestimmung mittels SPME Festphasen-Extraktion nach Pawliszyn und GC-MS	144	7.4	Die Auswirkung des Flüssigkeits-Rückstands auf die Reinigungs-Effektivität und den Zeit-aufwand bei Reinigungs-Vorgängen	179	5.3.6	Zur Anreicherung von Ausgasungen in wiederaufbereiteten HiTech-Overalls	149	7.5	Der Einfluss der Bewegungs-Parameter auf den Flüssigkeits-Rückstand	179	5.3.7	Ausgasung von Atem-Masken (Schutzklasse FFP2)	149	7.6	Die Inhaltsstoffe des Flüssigkeits-Rückstands	180	5.4	Ein Nachwort	155	7.7	Fazit	181	5.5	Glossar	155	7.8	Literatur	181	5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183	5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194												
7.3	Der Flüssigkeits-Rückstand nach mehreren Wischbewegungen	177																																																																																																			
5.3.5	VOC-Ausgasung, Bestimmung mittels SPME Festphasen-Extraktion nach Pawliszyn und GC-MS	144	7.4	Die Auswirkung des Flüssigkeits-Rückstands auf die Reinigungs-Effektivität und den Zeit-aufwand bei Reinigungs-Vorgängen	179	5.3.6	Zur Anreicherung von Ausgasungen in wiederaufbereiteten HiTech-Overalls	149	7.5	Der Einfluss der Bewegungs-Parameter auf den Flüssigkeits-Rückstand	179	5.3.7	Ausgasung von Atem-Masken (Schutzklasse FFP2)	149	7.6	Die Inhaltsstoffe des Flüssigkeits-Rückstands	180	5.4	Ein Nachwort	155	7.7	Fazit	181	5.5	Glossar	155	7.8	Literatur	181	5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183	5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																		
7.4	Die Auswirkung des Flüssigkeits-Rückstands auf die Reinigungs-Effektivität und den Zeit-aufwand bei Reinigungs-Vorgängen	179																																																																																																			
5.3.6	Zur Anreicherung von Ausgasungen in wiederaufbereiteten HiTech-Overalls	149	7.5	Der Einfluss der Bewegungs-Parameter auf den Flüssigkeits-Rückstand	179	5.3.7	Ausgasung von Atem-Masken (Schutzklasse FFP2)	149	7.6	Die Inhaltsstoffe des Flüssigkeits-Rückstands	180	5.4	Ein Nachwort	155	7.7	Fazit	181	5.5	Glossar	155	7.8	Literatur	181	5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183	5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																								
7.5	Der Einfluss der Bewegungs-Parameter auf den Flüssigkeits-Rückstand	179																																																																																																			
5.3.7	Ausgasung von Atem-Masken (Schutzklasse FFP2)	149	7.6	Die Inhaltsstoffe des Flüssigkeits-Rückstands	180	5.4	Ein Nachwort	155	7.7	Fazit	181	5.5	Glossar	155	7.8	Literatur	181	5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183	5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																														
7.6	Die Inhaltsstoffe des Flüssigkeits-Rückstands	180																																																																																																			
5.4	Ein Nachwort	155	7.7	Fazit	181	5.5	Glossar	155	7.8	Literatur	181	5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183	5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																				
7.7	Fazit	181																																																																																																			
5.5	Glossar	155	7.8	Literatur	181	5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183	5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																										
7.8	Literatur	181																																																																																																			
5.6	Dank	155	8.	Silikonöl (Polysiloxan) als Verunreiniger⁽⁶⁾	183																																																																																																
5.7	Literatur	155		<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>		6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																																						
	<i>analytische Bestimmung und Reinigung</i>																																																																																																				
6.	Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel	157	8.1	Anwendungen	183		<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																																												
8.1	Anwendungen	183																																																																																																			
	<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183	6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																																																		
8.2	Mischbarkeit, Lösbarkeit	183																																																																																																			
6.1	Einführung	157	8.3	Als Verunreiniger	183	6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																																																								
8.3	Als Verunreiniger	183																																																																																																			
6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	8.4	Relevanz	184	9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																																																														
8.4	Relevanz	184																																																																																																			
9.	Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen⁽³⁾	193	8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																																																																				
8.5	HiTech-Reinigungs-Tücher	184																																																																																																			
	<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>		8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																																																																										
8.6	Prüfzertifikate: Vorsicht!	185																																																																																																			
9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193																																																																																																			
9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194																																																																																																			

9.3	Materialien, Geräte und Software	195		
9.4	Versuchsdurchführung	196		
9.5	Ergebnisse	197		
9.6	Literatur	197		
10.	Elektronen-Mikroskop im PC-Format	199		
	<i>beim Einsatz in der Reintechnik</i>			
10.1	Das Thermo-Fisher-Scientific PHENOM-Elektronen-Mikroskop	200		
10.2	Fazit	202		
11.	Prüf- und Forschungslabor der Reintechnik als Beispiel⁽²⁾	209		
	<i>Das Instrumentarium (Stand 05.2021)</i>			
11.1	Einführung	209		
11.2	Mikroskopie	211		
11.2.1	Raster-Elektronenmikroskop (mit EDX)	211		
11.2.2	Optisches Mikroskop	211		
11.2.3	DIC-Mikroskop	211		
11.2.4	Raster-Kraft-Mikroskop (AFM)	212		
11.2.5	REM-Proben-Trocknungsgerät	212		
11.2.6	Auto-Sputter-Coater	212		
11.3	Chemische Analytik	213		
11.3.1	Gaschromatograph mit Massenspektrometer	213		
11.3.2	Festphasen-Mikroextraktions-Sonde (SPME)	213		
11.3.3	TOC-Analysator - organischer Gesamtkohlenstoff	213		
11.3.4	FTIR Spektrometer	214		
11.3.5	Kapillar-Elektrophorese-Messplatz	214		
11.3.6	Laser-Fluoreszenz-Messgerät	214		
11.3.7	Leitfähigkeits-Messgerät	215		
11.3.8	Mikrowellen-Extraktionssystem	215		
11.3.9	Reinstwasser-Generator	215		
11.3.10	Flüssigkeits-Tensiometer	216		
11.3.11	Präzisions- und Analysenwaagen	216		
11.3.12	Soxhlet-Extraktions-Apparat	216		
11.3.13	UV/VIS-Spektrometer	217		
11.4	Partikel-Analytik	217		
11.4.1	Zähler für luftgetragene Partikel	217		
11.4.2	Tragbarer Oberflächen-Partikelzähler nach Klumpp	217		
11.4.3	Flüssigkeits-Partikelzähler	218		
11.4.4	Zähler für luftgetragene Nanopartikel	218		
11.4.5	Nanopartikel im flüssigen Medium	218		
11.5	Oberflächen-Analytik	219		
11.5.1	Ellipsometer	219		
11.5.2	Plasma-Reinigungsanlage	219		
11.5.3	Zentrifugale Adhäsions-Analyse	219		
11.5.4	Quarzkristall-Mikrowaage	220		
11.5.5	Tropfeneinsinkzeit-Messgerät	220		
11.5.6	Oberflächen-Rauheits-Messgerät	220		
	Mechanische und elektrische Textil-Prüfung	221		
11.6.1	Höchstzugkraft- / Dehnungs-Messgerät	221		
11.6.2	Mechanisches Dicken-Messgerät	221		
11.6.3	Elektrischer Oberflächen-Widerstand	221		
11.6.4	Elektrostatische Reinheitsmessung nach Labuda	222		
11.6.5	Rotations-Voltmeter (Feldmühle)	222		
11.6.6	Klimakammer	222		
11.7	Reinheits-Prüfsysteme	223		
11.7.1	Linear-Wischsimulator MK I nach Labuda und Schöttle	223		
11.7.2	Linear-Wischsimulator MK II-A nach Labuda	223		
11.7.3	Rotations-Wischsimulator Mark II nach Labuda und Schöttle	223		
11.7.4	Rotations-Wischsimulator Mark III nach Labuda und Schöttle	224		
11.7.5	Streulicht Partikel-Visualisierung	224		
11.7.6	Kollektor-Platte CC 900	224		
11.7.7	Ultraschallreinigungs-Prüfmaschine	225		
11.8	Nachwort	226		
12.	Druckabhängiger Partikel-Kollektor	227		
12.1	Mechanik und Bedienung	227		
12.2	Effektivität der Entfernung von Partikeln	228		
12.3	Methode der Messung	228		
12.4	Anwendungen	230		
12.5	Einschränkungen	231		
12.6	Bildübertragung und Analyse	232		
12.7	Welt der Mesopartikel	233		
12.8	Beispiele	234		
12.9	Anmerkung	234		
	Kapitel Verbrauchsmaterial der Reintechnik			
13.	Reinraum-Verbrauchsmaterial	235		
	<i>Aspekte, Prüfmethoden, Argumente - Eine Zustands-Analyse</i>			
13.1	Vorwort	235		
13.2	Aspekte	235		
13.2.1	Nur eine kleine Minderheit	237		
13.2.2	Komplexität der Reinigungs-Aufgaben	237		
13.2.3	Verbrauchsmaterial-Markt in Zahlen	238		
13.2.4	Reinheit und Kontamination	238		
13.2.5	Fertigungs-Prozess als kybernetisches System	239		
13.2.6	Prozess-spezifische Kontaminations-Barriere	240		
13.2.7	Partikuläre Kontamination	240		
13.2.8	Oligomere - Partikel aus dem Innern der textilen Struktur	240		

13.2.9	Biotische partikuläre Kontamination	241	13.3.6	Reinraum-Verbrauchsmaterial ist nur bedingt Spezifizierungs- und Zertifizierungs-tauglich	265																																																																																																																																				
13.2.10	Filmische Kontamination	242	13.4.7	Zertifizierung ohne Hersteller-Über-wachung ist sinnlos	265																																																																																																																																				
13.2.11	Beispiel: getränkte Reinigungs-Tücher	243	13.4.8	Pro und kontra für die Einführung geänderter Verbrauchsmaterial-Spezifikationen	267																																																																																																																																				
13.3	Prüfmethoden	244	13.5	Zusammenfassung	268																																																																																																																																				
13.3.1	Realität und Simulation von Partikelfreisetzung	244	13.6	Widmung	271																																																																																																																																				
13.3.2	Plausible Simulations-Kenngrößen	236	13.7	Danksagung	271																																																																																																																																				
13.3.3	Beispiel: Reinraum-Handschuhe	246	13.8	Anhang	271																																																																																																																																				
13.3.4	Beispiel: Endotoxin-Partikel	247	13.8.1	US-Spezifikation - Commercial item description (CID)	271																																																																																																																																				
13.3.5	Beispiel: Oligomer-Partikel	247	13.8.2	ASTM-American Society for Testing and Material	272																																																																																																																																				
13.3.6	Realität und Simulation filmischer Kontamination	248	13.8.3	Reinraum-Verbrauchsmaterial-Spezifikationen	273																																																																																																																																				
13.3.7	Gasförmige Kontamination (VOCs)	249	13.9	Literatur	274																																																																																																																																				
13.3.8	ToF-SIMS Sekundärionen-Massen-spektrometrie	251	14.	Einweg-Handschuhe der Reintechnik	277																																																																																																																																				
13.3.9	Tropfenkonturanalyse	251	<i>Elastische Barriere zwischen Mensch und Produkt</i>																																																																																																																																						
13.3.10	Kollektor-Platte, Transfer-Platte	251	13.3.11	Vorsicht bei sogenannten Praxis-Tests	252	14.1	Herstellungs-Verfahren und Basis-Materialien	277	13.3.12	Einfaches Prüf-Instrumentarium universell einsetzbar	253	14.2	Reinraum-Spezialhandschuhe	278	13.3.13	Ausgewählte Prüfmethoden	255	14.3	Qualitätsprüfung von Reinraum-Handschuhen	279	13.3.14	Prüfung der Gebrauchs-Partikel-freisetzung von Reinraum-Handschuhen	255	14.4	Aktuelle Prüfmethoden	281	13.3.15	Handschuhe, Prüfung 1: IEST-Tauch-Methode	255	14.5	Reinraum-Handschuhe und Elektrostatik	281	13.3.16	Handschuhe, Prüfung 2: C&C-Manu-Stretch-Test	256	14.6	Reinigung von Handschuhen im Tragezustand	282	13.3.17	Prüfung der Gebrauchs-Partikel-Abgabe von Reinigungs-Tüchern	257	14.7	Hypoallergene Schutzhandschuhe	283	13.3.18	Reinigungs-Tücher: IEST-Tauch-Methode	258	14.8	Tragekomfort und Handschuhkosten	283	13.3.19	Reinigungs-Tücher: Gelboflex-Methode	258	14.9	Das Konzept der „handschuhlosen“ Fertigung in Reinräumen der Industrie	284	13.3.20	Reinigungs-Tücher: C&C-Transfer-Test	259	14.10	Literatur	285	13.3.21	Reinigungs-Tücher: Piezoelektrische Wägung	259	15.	Papier von erhöhter Oberflächen-Reinheit⁽⁶⁾	287	13.3.22	Prüfung der Gebrauchs-Partikel-Abgabe von Reinraum-Bekleidung	261	<i>für den Einsatz im Reinraum</i>			13.3.23	Prüfung 1: ASTM-Methode	261	15.1	Reinraum-Papier-Fertigung	289	13.3.24	Prüfung 2: Helmke-Drum-Test	261	15.2	Reientechnische Prüfmethoden	290	13.3.25	Prüfung 3: Containment-Methode	262	15.3	Reinraum-Papier im Drucker und Kopierer	293	13.4	Argumente	262	15.4	Ausgasung bei erhöhten Temperaturen	295	13.4.1	Gebrauchs-bedingte Partikel-freisetzung des Reinraum-Verbrauchsmaterials relativ zur Gesamt-Partikel-Menge im Groß-Reinraum liegt bei < 2 %.	262	15.5	Die Oberflächenglätte	296	13.4.2	Mensch und Bekleidung	263	15.6	Die Chargendifferenzen	297	13.4.3	Handschuhe	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297	13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299
13.3.11	Vorsicht bei sogenannten Praxis-Tests	252	14.1	Herstellungs-Verfahren und Basis-Materialien	277																																																																																																																																				
13.3.12	Einfaches Prüf-Instrumentarium universell einsetzbar	253	14.2	Reinraum-Spezialhandschuhe	278																																																																																																																																				
13.3.13	Ausgewählte Prüfmethoden	255	14.3	Qualitätsprüfung von Reinraum-Handschuhen	279																																																																																																																																				
13.3.14	Prüfung der Gebrauchs-Partikel-freisetzung von Reinraum-Handschuhen	255	14.4	Aktuelle Prüfmethoden	281																																																																																																																																				
13.3.15	Handschuhe, Prüfung 1: IEST-Tauch-Methode	255	14.5	Reinraum-Handschuhe und Elektrostatik	281																																																																																																																																				
13.3.16	Handschuhe, Prüfung 2: C&C-Manu-Stretch-Test	256	14.6	Reinigung von Handschuhen im Tragezustand	282																																																																																																																																				
13.3.17	Prüfung der Gebrauchs-Partikel-Abgabe von Reinigungs-Tüchern	257	14.7	Hypoallergene Schutzhandschuhe	283																																																																																																																																				
13.3.18	Reinigungs-Tücher: IEST-Tauch-Methode	258	14.8	Tragekomfort und Handschuhkosten	283																																																																																																																																				
13.3.19	Reinigungs-Tücher: Gelboflex-Methode	258	14.9	Das Konzept der „handschuhlosen“ Fertigung in Reinräumen der Industrie	284																																																																																																																																				
13.3.20	Reinigungs-Tücher: C&C-Transfer-Test	259	14.10	Literatur	285																																																																																																																																				
13.3.21	Reinigungs-Tücher: Piezoelektrische Wägung	259	15.	Papier von erhöhter Oberflächen-Reinheit⁽⁶⁾	287																																																																																																																																				
13.3.22	Prüfung der Gebrauchs-Partikel-Abgabe von Reinraum-Bekleidung	261	<i>für den Einsatz im Reinraum</i>																																																																																																																																						
13.3.23	Prüfung 1: ASTM-Methode	261	15.1	Reinraum-Papier-Fertigung	289	13.3.24	Prüfung 2: Helmke-Drum-Test	261	15.2	Reientechnische Prüfmethoden	290	13.3.25	Prüfung 3: Containment-Methode	262	15.3	Reinraum-Papier im Drucker und Kopierer	293	13.4	Argumente	262	15.4	Ausgasung bei erhöhten Temperaturen	295	13.4.1	Gebrauchs-bedingte Partikel-freisetzung des Reinraum-Verbrauchsmaterials relativ zur Gesamt-Partikel-Menge im Groß-Reinraum liegt bei < 2 %.	262	15.5	Die Oberflächenglätte	296	13.4.2	Mensch und Bekleidung	263	15.6	Die Chargendifferenzen	297	13.4.3	Handschuhe	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297	13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																											
15.1	Reinraum-Papier-Fertigung	289																																																																																																																																							
13.3.24	Prüfung 2: Helmke-Drum-Test	261	15.2	Reientechnische Prüfmethoden	290	13.3.25	Prüfung 3: Containment-Methode	262	15.3	Reinraum-Papier im Drucker und Kopierer	293	13.4	Argumente	262	15.4	Ausgasung bei erhöhten Temperaturen	295	13.4.1	Gebrauchs-bedingte Partikel-freisetzung des Reinraum-Verbrauchsmaterials relativ zur Gesamt-Partikel-Menge im Groß-Reinraum liegt bei < 2 %.	262	15.5	Die Oberflächenglätte	296	13.4.2	Mensch und Bekleidung	263	15.6	Die Chargendifferenzen	297	13.4.3	Handschuhe	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297	13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																																	
15.2	Reientechnische Prüfmethoden	290																																																																																																																																							
13.3.25	Prüfung 3: Containment-Methode	262	15.3	Reinraum-Papier im Drucker und Kopierer	293	13.4	Argumente	262	15.4	Ausgasung bei erhöhten Temperaturen	295	13.4.1	Gebrauchs-bedingte Partikel-freisetzung des Reinraum-Verbrauchsmaterials relativ zur Gesamt-Partikel-Menge im Groß-Reinraum liegt bei < 2 %.	262	15.5	Die Oberflächenglätte	296	13.4.2	Mensch und Bekleidung	263	15.6	Die Chargendifferenzen	297	13.4.3	Handschuhe	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297	13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																																							
15.3	Reinraum-Papier im Drucker und Kopierer	293																																																																																																																																							
13.4	Argumente	262	15.4	Ausgasung bei erhöhten Temperaturen	295	13.4.1	Gebrauchs-bedingte Partikel-freisetzung des Reinraum-Verbrauchsmaterials relativ zur Gesamt-Partikel-Menge im Groß-Reinraum liegt bei < 2 %.	262	15.5	Die Oberflächenglätte	296	13.4.2	Mensch und Bekleidung	263	15.6	Die Chargendifferenzen	297	13.4.3	Handschuhe	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297	13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																																													
15.4	Ausgasung bei erhöhten Temperaturen	295																																																																																																																																							
13.4.1	Gebrauchs-bedingte Partikel-freisetzung des Reinraum-Verbrauchsmaterials relativ zur Gesamt-Partikel-Menge im Groß-Reinraum liegt bei < 2 %.	262	15.5	Die Oberflächenglätte	296	13.4.2	Mensch und Bekleidung	263	15.6	Die Chargendifferenzen	297	13.4.3	Handschuhe	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297	13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																																																			
15.5	Die Oberflächenglätte	296																																																																																																																																							
13.4.2	Mensch und Bekleidung	263	15.6	Die Chargendifferenzen	297	13.4.3	Handschuhe	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297	13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																																																									
15.6	Die Chargendifferenzen	297																																																																																																																																							
13.4.3	Handschuhe	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297	13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																																																															
15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297																																																																																																																																							
13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	15.8	Literatur	298	13.4.5	Fazit	264	16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299		<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>		16.1	Knautschball-Formung	299	16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																																																																					
15.8	Literatur	298																																																																																																																																							
13.4.5	Fazit	264																																																																																																																																							
16.	HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten⁽⁵⁾	299																																																																																																																																							
	<i>und wirksame Oberfläche bei Reinigungs-Prozeduren</i>																																																																																																																																								
16.1	Knautschball-Formung	299																																																																																																																																							
16.2	Tampon 1-Formung	299																																																																																																																																							

16.3	Tampon 2-Formung	299
16.4	Lagen-Formung	300
16.5	Vorbemerkungen zum Experimentellen	300
16.6	Reinigungs-Prozeduren mit der	
	Knautschball-Formung	301
16.7	Experimentelles	302
16.8	Spurenbilder der verschiedenen	
	Reinigungsversuche	303
16.9	Ergebnisse	303

Kapitel Wischendes Reinigen

17.	Riebenbildung in Glas- und glasartigen	
	Oberflächen	305
	<i>durch das wischende Reinigen</i>	
17.1	Ursachen der Rieben- und Kratzerbildung	305
17.2	Relative Härte der Reibepartner	306
17.3	Sonderfall Zeolithe	306
17.4	Visualisierung von Rieben und Kratzern	306
17.5	Vermeidung von Riebenbildung	309
18.	Das wischende Entfernen nanoskaliger	
	Kontamination von Oberflächen	311
18.1	Objekt-Oberflächen	312
18.2	Nanopartikel und Gesundheit	312
18.3	Nanopartikel - Abreinigung	313
18.4	Instrumentarium für die Nanotechnik	315
18.5	Fazit der Versuche	315
18.6	Literatur	316
19.	Die Kosten des wischenden Reinigens	
	im Reinraumbetrieb	317
19.1	Kostenblöcke der Handhabung von	
	Reinigungs-Tüchern	317
19.2	Reinigungszeiten - Reinigungskosten	319
19.3	Kostenverteilung	319
19.4	Senkung der technisch modifizierbaren Kosten	310
19.4.1	Reduzierung der Zugriffszeiten	311
19.4.2	Verhinderung von Mehrfach- Entnahmen	311
19.4.3	Einsatz von Spezialtüchern	312
19.4.4	Flüssigkeits-Rückstand nach dem	
	Wischvorgang - ein bedeutender	
	Kostenfaktor	313
19.4.5	Einsatz von vorgefeuchteten	
	Tüchern	315
19.5	Problematik der Produktbewertung	315
19.6	Prüfmethoden nach Labuda	316
19.7	Entsorgung und ökologische	
	Gesichtspunkte	317
19.8	Fazit	317
19.9	Literatur	317

Kapitel Umwelt

20.	HiTech-Wischmittel-Ökologie	329
	<i>zwischen Nachhaltigkeit, Partikelfreisetzung und Preis</i>	
20.1	Schwerpunkt Nachhaltigkeit	330
20.2	Cellulosics	331
20.3	Viskose (CV)	332
20.4	Viskose-Herstellung	332
20.5	Cupro (CU)	333
20.6	Eigenschaften der Viskose	333
20.7	Synthetics	334
20.7.1	PET Polyester	335
20.7.2	Polyamid	336
20.8	Composites	336
20.9	Erkenntnisse	337
20.9.1	Erster Erkenntnissatz	337
20.9.2	Zweiter Erkenntnissatz	337
20.9.3	Dritter Erkenntnissatz	338
20.9.4	Vierter Erkenntnissatz	338
20.10	Zusammenfassung für CELLULOSICS	338
20.11	Fazit	339
20.12	Widmung	340
20.13	Beispiel: Kompostierung des Reinigungs- vlies Typ ABSORMAT®	340

Kapitel Grundsätzliches

Glossar	341
Weiterführende Literatur	344
Koautoren, Lektoren, Autor	388
Ko-Autoren: ⁽¹⁾ Gerstmann, Martin, ⁽²⁾ Hagen, Volker,	
⁽³⁾ Haupt, Stefan, ⁽⁴⁾ Hermans, Lodevicus,	
⁽⁵⁾ Siegmann, Sven, ⁽⁶⁾ Wendt, Christian	

Zur Reinheit funktionaler Oberflächen

Koautoren, Lektoren



Volker Hagen

Koautoren, Lektoren, Autor

Hagen, Volker, Diplom-Physiker, 1999 Diplom, 1999-2003 Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Rastersonden-Mikroskopie am Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg, 2004-2014 Vertriebsspezialist bei der Carl Zeiss Microscopy GmbH, 2014 Gründung des Unternehmens M-Imaging, Beratung für die Lichtmikroskopie, Hamburg, Koautor.



Lodevicus Hermans

Hermans, Lodevicus, Diplom-Physiker, Diplom 1979 an der Technischen Universität Eindhoven, 35 Jahre lang Siemens/Infineon Senior Staff Engineer Contamination Control, Infineon, Initiator der Clear & Clean-Verbrauchsmaterial-Forschung zusammen mit Win Labuda, Koautor, Technischer Berater des Herausgebers.



Heinz-Josef Kiggen

Kiggen, Heinz-Josef, Diplom-Physiker, Promotion 1979 an der RWTH Aachen, 25 Jahre lang Quality Manager bei Texas Instruments Deutschland GmbH in Freising, davor dort Leiter der analytischen Labore, Chef-Lektor der vorliegenden Publikation, Qualitätsberater der Clear & Clean Werk für Reintechnik GmbH, insbesondere für die Themen Reinheits-Überwachung und zeitgerechte Prüf-Intervalle.



Christian Wendt

Wendt, Christian, Diplom-Chemieingenieur (FH), Diplom 2012 an der Fachhochschule Lübeck, anschließend 6 Jahre lang als Projektingenieur an der TH und Universität zu Lübeck tätig, seit 2018 Leiter der Forschung & Entwicklung der Clear & Clean GmbH und verantwortlich für die Labordatenerstellung, Koautor.

Autor und Herausgeber



Win Labuda

Labuda, Win, Gründer des Clear & Clean-Forschungslabors für Oberflächen-Reinheit und wischende Reinigungs-Prozeduren, Technischer Kaufmann, Fachautor für Oberflächen-Reinheit, Unternehmer, 1979 Gründer der Clear & Clean Werk für Reintechnik GmbH, Autor und Mitautor von 42 Fachaufsätzen und 10 Patenten zum Thema Oberflächen-Reinheit und Verbrauchsmaterial der Reintechnik.

Die ehemaligen Clear & Clean-Mitarbeiter Martin Gerstmann, Stefan Haupt und Sven Siegmann waren sowohl bei der experimentellen Daten-Erstellung und bei einigen Publikationen auch als Autoren oder Koautoren beteiligt. Wir danken ihnen für ihre jeweiligen Beiträge zu unserer Fachliteratur.