

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-Verbrauchsmaterials 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-Reinigungsfilzen 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 gerätechtechnisch 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 Gremienarbeit - 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	4. Elektrische Oberflächen-Ladungen ⁽⁴⁾	81
1.7 Ehrungen und Preise	39	<i>im Reinraum-Betrieb</i>	
1.8 Gedanken zum Thema <i>Industrie 4.0</i>	40	4.1 Physikalische Grundlagen der Triboelektrizität	81
1.9 Ausblick	42	4.1.1 Der Oberflächen-Widerstand	83
1.10 Literatur	42	4.1.2 Elektrostatische Aufladungen in der Praxis	84
2. Reinheit als Systemparameter	43	4.2 ESD im Reinraum	85
2.1 Der Reinheitsbegriff	43	4.2.1 Elektrische Ladungen im Fertigungs-Prozess	86
2.2 Reine Fertigungsverfahren - Neue Verunreiniger	44	4.2.2 Ionisatoren-Wartung	89
2.3 Wie rein ist eine Oberfläche?	45	4.2.3 Zusammenfassung	89
2.4 Oberflächen-Reinheit als Systemparameter	47	4.3 Triboelektrische Ladungen des Reinraum-Verbrauchsmaterials	89
2.5 Hausaufgaben für Anwender und Lieferanten	49	4.3.1 Beschreibung des Fallschlittens nach Ehrler	90
2.6 Fazit	50	4.3.2 Beschreibung der Abklingzeit-Messplatzes nach Chubb	91
2.7 Literatur	50	4.3.3 Hinweise zu den beiden Messmethoden	92
3. HiTech-Wischmittel - Eigenschaften und Normen	51	4.3.4 Durchführung der Prüfungen	92
<i>Normung und Prüfung von HiTech-Wischmitteln im Rahmen ihrer Gebrauchs-Belastung</i>		4.4 Reinigungs-Tücher	94
3.1 Einführung: Normung und Prüfung von HiTech-Wischmitteln	51	4.4.1 Zusammenfassung	96
3.2 Gebrauch von HiTech-Reinigungstüchern	53	4.5 Reinraum-Papier	97
3.2.1 Anwendungsklassen und Lieferformen	53	4.5.1 Die Gleithemmung	98
3.2.2 Handhabungs-Zyklen von HiTech-Wischmitteln	55	4.5.2 Farbige Reinraum-Papiere	100
3.2.3 Eigenschaften von Mikrofilamentgarn-Tüchern	56	4.5.3 Zusammenfassung Reinraum-Papier	100
3.2.4 Kanten-Versiegelung und Profile	56	4.6 Anmerkung und Dank	100
3.3 Physikalische Vorgänge bei wischenden Reinigungsvorgängen	58	4.7 Literatur	101
3.3.1 Haftkräfte bei wischenden Reinigungsvorgängen	58	Kapitel Metrologie	
3.3.2 Wechselwirkungen zwischen Wischmittel, Verunreinigung und Objekt-Oberfläche	60	5. Spuren-Analytik chemischer Rückstände in textilen Produkten der Reintechnik ⁽⁶⁾	103
		<i>HiTech-Reinigungs-Tücher, Overall, 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	9. Visualisierung von Mikro-Verunreinigungen ⁽³⁾	193		
<i>Die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungs-Tüchern</i>		<i>Kollektor-Platte für Flüssigkeits-Rückstände, Materialabdrücke und Partikel</i>			
6.1	Einführung	157	9.1	Visualisierung von Reinheits-Zuständen	193
6.2	Ökonomie des wischenden Reinigens	158	9.2	Entwicklung eines Indikator-Systems	194

9.3	Materialien, Geräte und Software	195	11.6	Mechanische und elektrische Textil-Prüfung	221
9.4	Versuchsdurchführung	196	11.6.1	Höchstzugkraft- / Dehnungs-Messgerät	221
9.5	Ergebnisse	197	11.6.2	Mechanisches Dicken-Messgerät	221
9.6	Literatur	197	11.6.3	Elektrischer Oberflächen-Widerstand	221
10.	Elektronen-Mikroskop im PC-Format	199	11.6.4	Elektrostatische Reinheitsmessung nach Labuda	222
	<i>beim Einsatz in der Reintechnik</i>		11.6.5	Rotations-Voltmeter (Feldmühle)	222
10.1	Das Thermo-Fisher-Scientific PHENOM-Elektronen-Mikroskop	200	11.6.6	Klimakammer	222
10.2	Fazit	202	11.7	Reinheits-Prüfsysteme	223
11.	Prüf- und Forschungslabor der Reintechnik als Beispiel ⁽²⁾	209	11.7.1	Linear-Wischsimulator MK I nach Labuda und Schöttle	223
	<i>Das Instrumentarium (Stand 05.2021)</i>		11.7.2	Linear-Wischsimulator MK II-A nach Labuda	223
11.1	Einführung	209	11.7.3	Rotations-Wischsimulator Mark II nach Labuda und Schöttle	223
11.2	Mikroskopie	211	11.7.4	Rotations-Wischsimulator Mark III nach Labuda und Schöttle	224
11.2.1	Raster-Elektronenmikroskop (mit EDX)	211	11.7.5	Streulicht Partikel-Visualisierung	224
11.2.2	Optisches Mikroskop	211	11.7.6	Kollektor-Platte CC 900	224
11.2.3	DIC-Mikroskop	211	11.7.7	Ultraschallreinigungs-Prüfmaschine	225
11.2.4	Raster-Kraft-Mikroskop (AFM)	212	11.8	Nachwort	226
11.2.5	REM-Proben-Trocknungsgerät	212	12.	Druckabhängiger Partikel-Kollektor	227
11.2.6	Auto-Sputter-Coater	212	12.1	Mechanik und Bedienung	227
11.3	Chemische Analytik	213	12.2	Effektivität der Entfernung von Partikeln	228
11.3.1	Gaschromatograph mit Massenspektrometer	213	12.3	Methode der Messung	228
11.3.2	Festphasen-Mikroextraktions-Sonde (SPME)	213	12.4	Anwendungen	230
11.3.3	TOC-Analysator - organischer Gesamtkohlenstoff	213	12.5	Einschränkungen	231
11.3.4	FTIR Spektrometer	214	12.6	Bildübertragung und Analyse	232
11.3.5	Kapillar-Elektrophorese-Messplatz	214	12.7	Welt der Mesopartikel	233
11.3.6	Laser-Fluoreszenz-Messgerät	214	12.8	Beispiele	234
11.3.7	Leitfähigkeits-Messgerät	215	12.9	Anmerkung	234
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-Partikel-zähler 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	Quarkristall-Mikrowaage	220			
11.5.5	Tropfeneinsinkzeit-Messgerät	220			
11.5.6	Oberflächen-Rauheits-Messgerät	220			

Kapitel Verbrauchsmaterial der Reintechnik

13.	Reinraum-Verbrauchsmaterial	235
	<i>Aspekte, Prüfmethode, 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-Überwachung ist sinnlos	265
13.2.11	Beispiel: getränkte Reinigungstücher	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-Massenspektrometrie	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	14.1	Herstellungs-Verfahren und Basis-Materialien	277
13.3.11	Vorsicht bei sogenannten Praxis-Tests	252	14.2	Reinraum-Spezialhandschuhe	278
13.3.12	Einfaches Prüf-Instrumentarium universell einsetzbar	253	14.3	Qualitätsprüfung von Reinraum-Handschuhen	279
13.3.13	Ausgewählte Prüfmethoden	255	14.4	Aktuelle Prüfmethoden	281
13.3.14	Prüfung der Gebrauchs-Partikelfreisetzung von Reinraum-Handschuhen	255	14.5	Reinraum-Handschuhe und Elektrostatik	281
13.3.15	Handschuhe, Prüfung 1: IEST-Tauch-Methode	255	14.6	Reinigung von Handschuhen im Tragezustand	282
13.3.16	Handschuhe, Prüfung 2: C&C-Manu-Stretch-Test	256	14.7	Hypoallergene Schutzhandschuhe	283
13.3.17	Prüfung der Gebrauchs-Partikel-Abgabe von Reinigungstüchern	257	14.8	Tragekomfort und Handschuhkosten	283
13.3.18	Reinigungs-Tücher: IEST-Tauch-Methode	258	14.9	Das Konzept der „handschuhlosen“ Fertigung in Reinräumen der Industrie	284
13.3.19	Reinigungs-Tücher: Gelboflex-Methode	258	14.10	Literatur	285
13.3.20	Reinigungs-Tücher: C&C-Transfer-Test	259	15. Papier von erhöhter Oberflächen-Reinheit ⁽⁶⁾	287	
13.3.21	Reinigungs-Tücher: Piezoelektrische Wägung	259		<i>für den Einsatz im Reinraum</i>	
13.3.22	Prüfung der Gebrauchs-Partikel-Abgabe von Reinraum-Bekleidung	261	15.1	Reinraum-Papier-Fertigung	289
13.3.23	Prüfung 1: ASTM-Methode	261	15.2	Reintechnische Prüfmethoden	290
13.3.24	Prüfung 2: Helmke-Drum-Test	261	15.3	Reinraum-Papier im Drucker und Kopierer	293
13.3.25	Prüfung 3: Containment-Methode	262	15.4	Ausgasung bei erhöhten Temperaturen	295
13.4	Argumente	262	15.5	Die Oberflächenglätte	296
13.4.1	Gebrauchs-bedingte Partikelfreisetzung des Reinraum-Verbrauchsmaterials relativ zur Gesamt-Partikel-Menge im Groß-Reinraum liegt bei < 2 %.	262	15.6	Die Chargendifferenzen	297
13.4.2	Mensch und Bekleidung	263	15.7	Neue Applikationen: Organische Transistoren auf Papiersubstrat	297
13.4.3	Handschuhe	263	15.8	Literatur	298
13.4.4	Reinigungs-Tücher	264	16. HiTech-Reinigungs-Tücher Handhabungs-Varianten ⁽⁵⁾	299	
13.4.5	Fazit	264		<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. Riefenbildung in Glas- und glasartigen Oberflächen	305
<i>durch das wischende Reinigen</i>	
17.1 Ursachen der Riefen- und Kratzerbildung	305
17.2 Relative Härte der Reibpartner	306
17.3 Sonderfall Zeolithe	306
17.4 Visualisierung von Riefen und Kratzern	306
17.5 Vermeidung von Riefenbildung	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 modifizierba- ren 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 Prüfmethode 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 Viertes 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



Lodevicus Hermans



Heinz-Josef Kiggen



Christian Wendt

Autor und Herausgeber



Win Labuda

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 Vertriebspezialist bei der Carl Zeiss Microscopy GmbH, 2014 Gründung des Unternehmens M-Imaging, Beratung für die Lichtmikroskopie, Hamburg, Koautor.

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.

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.

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.

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.