

Bilder © Clear & Clean

Abb. 1: HiTech-Reinigungs-Gestrick Typ Sonit-MDM, 2500-fach, Bildbreite 107 µm, oben: nicht dekontaminiert, unten: aquatisch dekontaminiert

Im November 2022 endete die 2-monatige Einspruchsphase für die o. a. Norm und damit hat nun formal auch das Reinraum-Verbrauchsmaterial eine Eingliederung in das internationale Normensystem ISO gefunden. Die Norm soll fortan Empfehlung sein dafür, wie alle diese Reinigungstücher, Mopps, Swabs, Handschuhe, Spezialpapiere, Notizbücher, Klebeetiketten, Plastiktüten und nicht zuletzt Bekleidungsstücke vorteilhaft für die Anwender auszuwählen, zu prüfen und anzuwenden sind. Ein großes Werk also für viele kleine Teile, ohne die ein moderner Reinraum jedoch nicht funktionieren würde.

Studieren wir den 50 Seiten umfassenden ISO-Normentwurf mit der gebotenen Sorgfalt, so beeindruckt zunächst dessen Umfang und Detailreichtum. Gleichzeitig kommen jedoch auch Fragen und Bedenken auf. Einige davon wollen wir nachstehend behandeln. Aus Gründen der notwendigen Beschränkung kommentieren wir aus dem o. a. Verbrauchsmaterial-Spektrum ausschließlich das Thema HiTech-Reinigungstücher und deren reinheitstechnischer Eignung, Anwendung, Metrologie und nicht zuletzt auch die mit ihnen assoziierte deutschsprachige Semantik.

Neue ISO-Norm für Reinraum-Verbrauchsmaterial

Ein Kommentar von Win Labuda

DIN EN ISO 14644-18:2022 Entwurf
(Kurzbezeichnung ISO 14644-18) Bewertung der Reinraumtauglichkeit von Verbrauchsmaterialien: Produktgruppe HiTech-Reinigungstücher



Win Labuda

Im Unterschied zu Standard-Reinigungstüchern für den häuslichen oder allgemeinen Betriebsbedarf besteht bei HiTech-Reinigungstüchern die Forderung nach reduzierter, gebrauchsbewingter Partikel-, Faser- und Chemikalien-Freisetzung in die Reinheitskontrollierte Umgebung. Insbesondere sind es die hochgradig dekontaminierten synthetischen Reinigungstücher von denen erwartet wird, dass durch ihren wischenden Gebrauch partikuläre und filmische Verunreinigungen der Objektflächen an die Tuchoberfläche gebunden und dadurch aus der Reinheitskontrollierten Umgebung entfernt werden. Zu den HiTech-Industrien zählen vor Allem die Biotechnik-, die Halbleiter-, die Laser-, die Pharmaindustrie sowie die Präzisionsoptik und nicht zuletzt die Raumfahrtindustrie. Die spezifikationsgemäß empfohlene Luft- und Oberflächen-Reinheit reiner Fertigungsumgebungen (siehe DIN EN ISO 14644-1, EG-GMP, VDI 2083 9.1 und 9.2) zwingt die Anwender zum Einsatz von Verbrauchsmaterialien hoher Applikations-Reinheit^[1, 2].

Erläuterung Produkt-spezifischer Normungsprobleme

Normung sollte stets auch von der Erwartungslage der Anwender bestimmt sein. Nun gibt es im Zusammenhang mit dem Produkt HiTech-Reinigungstücher nicht den Anwender, sondern ihrer sind es viele und sie haben das Produkt Tücher betreffend ganz unterschiedliche technische Anforderungen. Suchen wir also nach Gemeinsamkeiten, so sind es drei Kriterien, die für jedes HiTech-Reinigungstuch zutreffen: Das ist der Wunsch nach optimaler:

- Lösungsmittel-Absorption
- Reinigungseffektivität
- Verunreinigungs-Retention

HiTech-Reinigungstücher sind bei ihrem aktuellen technischen Stand und bei sinnvollem Gebrauch Präzisionswerkzeuge moderner Fertigungskultur. Das Tuch mit der feinsten bekannten Struktur besteht aus 470.000 Einzelmaschen bei einem Filament-Durchmesser von 4 µm. Manchen Strickstofftüchern aus synthetischem Mikrofilament-Garn ist immerhin die Aufgabe zugeordnet, submikrone Verunreinigungen von den Objektflächen der Labor- oder Fertigungsumgebung vollends zu entfernen.

Während nahezu aller HiTech-Reinigungsprozeduren befinden sich die Tücher im Lösungsmittelgetränkten Zustand. Als Standard-Lösungsmittel hat sich in der Reintechnik ein Gemisch aus analytisch reinem 2-Propanol und DI-Wasser bewährt. Dabei haben sich dem jeweiligen Bedarf angepasste Alkoholkonzentrationen in den Abstufungen 9, 30 und 70 % durchgesetzt. Ein großer Teil der marktgängigen HiTech-Reinigungstücher ist bereits im Anlieferungszustand Lösungsmittel-getränkt.

Die Reinigungseffektivität eines bestimmten HiTech-Reinigungstuchs für verschiedene Oberflächenarten bzw. Rauheiten und unter dem Einfluss unterschiedlicher Lösungsmittel lässt sich im Rahmen von Reinigungsprozeduren durch Vergleich der Oberflächenkontaminations-Zustände vor und nach einer wischenden Reinigungsprozedur gravimetrisch durch Präzisions-Dickenmessung wie z.B. der Ellipsometrie oder nach der Labuda-Rotations-Wischsimulation mittels Laserfluoreszenz in Masseinheiten bestimmen. Aus dem Quotienten der beiden messtechnisch ermittelten Reinheitszustände ergibt sich die

Verunreinigungs-Reduzierung (Reinigungs-Effektivität unter Berücksichtigung der Reinigungszeit) als bedeutendster technischer Kennwert einer Reinigungsprozedur. Dabei sind die Oberflächen-Reinheit als auch deren Herbeiführung, Erhaltung und Minderung prinzipiell Oberflächen-bezogene Phänomene, bei denen die nachstehend benannten technischen Kenngrößen für den Erfolg einer Reinigungs-Prozedur bedeutsam sind:

- Verunreinigungsmasse – Viskosität [cSt]
- Lösungsmittel-Absorption des Wischmittels [ml], [ml/min]
- Materialfeuchte des Wischmittels [m_w/m_w]
- Wischmittel-Anpressdruck [g/cm²]
- mittlere Rauheit der Objekt-Oberfläche [Ra µm]
- Kurtosis der Rauheits-Verteilung [Sku]
- relative Geschwindigkeit zwischen Objekt-Oberfläche und Wischmittel [m/s]
- Anzahl der Oberflächen-Berührungspunkte (Papillen) pro Flächeneinheit [Anzahl-Konz.]
- Durchreibkraft des Prüflings [N]
- chemische Komposition des Lösemittels [Beispiel= C₃ H₈O]
- Ansprech-Empfindlichkeit der Messvorrichtungen, Beispiel [ng]

Um einen wischenden Reinigungs-Vorgang praxisnah zu simulieren, dessen Prozess-Tauglichkeit zu ermitteln und die Reinigungs-Effektivität des zu prüfenden HiTech-Reinigungstuchs zu bestimmen, bedarf es bestimmter technischer Voraussetzungen. Von simulationstechnischer Bedeutung sind dabei vier Voraussetzungen:

- eine der Realität entsprechende Verunreinigungs-Kombination
- eine praxisnah nachgebildete Objektfläche
- die Einhaltung der gleichförmigen Relativbewegung zwischen Objektfläche und Prüfling bei konstantem Anpressdruck
- plausible metrologische Systeme von ausreichend hoher Nachweis-Empfindlichkeit, bei der Bestimmung filmischer und partikulärer Oberflächen-Verunreinigungen.

Voraussetzung für die Normungstauglichkeit technischer Teile, Geräte und Systeme ist u.a. deren Parametrisierbarkeit, und insbesondere auch die ausreichende Ansprechempfindlichkeit der Messsysteme. Diese stößt bei den Messauf-

gaben der Oberflächen-Reinheit oftmals an technische und physikalische Grenzen.

Angesichts dieser o.a. Komplexität ist es fraglich, ob eine Normung bei dieser Tiefe und bei dieser Variablen-Vielfalt überhaupt sinnvoll durchführbar ist. Normung ist prinzipiell dann absurd, wenn der Normzustand nicht mit ökonomisch angemessenem Aufwand herbeizuführen ist und daher von der Fachwelt nicht nachvollzogen wird oder werden kann. Normungstätigkeit verliert aber auch dann ihren Sinn, wenn in ihrem Rahmen Messverfahren spezifiziert werden, die nicht zum erwünschten Erkenntnisziel führen. Insofern kann Normung auch willkürlicher Eingriff in die technische Gestaltungsfreiheit von Produktherstellern sein. Jedes Normungsvorhaben sollte daher von den Normungsgremien selbst und unter pflichtgemäßer Kontaktnahme mit den interessierten Anwenderkreisen auch im Hinblick auf die Notwendigkeit einer bestimmten Normung infrage gestellt werden, etwa um festzustellen, ob der durch die Norm-Implementierung bewirkte Regulierungsvorteil aus Anwendersicht geringer ist als die mit der Normung verbundenen Hersteller- und Anwender-seitigen Einschränkungen und Beschwerden.

Was den Normen-Entwurf ISO 14644-18 betrifft, so ist er – die von einer IEST übernommenen Messtechnik betreffend – teils durch konzeptuelle Irrtümer der einstigen amerikanischen Kollegen vom IEST (Institute auf Environmental Sciences and Technology) belastet. Diese formulierten im Oktober 1987 eine erste Praxis-Empfehlung für "Wipers used in cleanrooms and controlled environments, IES-RP-CC04-87-T^[3]". Nach Beseitigung der Konzept-Irrtümer würde eine berichtigte Norm ISO 14644-18 einen geänderten Parameter und andere Prüftechnik, nämlich Oberflächenreinheit nach Wischvorgang erforderlich machen. Deren Durchführung ist im unteren mikro- und nanometrischen Partikelgrößenbereich sehr aufwändig, im mittleren Bereich von z.B. 2,5–10 µm ist sie vom Aufwand her jedoch vertretbar (siehe Abs. Oberflächen-orientierte Partikel-Messtechnik, S. 52). Dass der Normenausschuss die Übernahme der betreffenden Abschnitte 7 und 8 aus der aktuellen IEST-RP-CC 004.4-Empfehlung vollzogen hat ist schlicht inakzeptabel und möglicherweise auch justiziabel.

Nicht plausibler metrologischer Ansatz

Wird ein HiTech-Reinigungstuch in Bezug auf seine Reinigungs-Tauglichkeit für partikuläre und filmische Verunreinigungen geprüft, so ist die Prämisse, dass die Oberflächen-Verunreinigung im Rahmen der Reinigungsprozedur in möglichst kurzer Zeit und möglichst vollständig vom Wischmittel absorbiert wird. Verfahrensziel ist also eine optimal reine Objekt Oberfläche. Nach deren Herbeiführung hat das benutzte Reinigungstuch – verfahrenstechnisch gesehen – seine Funktion eingebüßt und wird entsorgt.

Erkenntnisziel ist demzufolge die Kenntnis der Masse- und Anzahl-Konzentration des Rückstands auf der Objekt Oberfläche und zwar vor vs. nach erfolgter Reinigungsprozedur. Aus der Gegenüberstellung der beiden Konzentrationswerte lässt sich der Reinigungs-Effektivitätswert für die Verunreinigungsarten (filmisch und partikulär) errechnen. Zur Durchführung der relevanten Messungen sind sowohl Messgeräte für die Anzahl- und Größenbestimmung der partikulären als auch Mikrogramm-Waagen für die Massebestimmung der filmischen Verunreinigung nötig.

Das oben angeführte messtechnische Procedere ist prinzipiell konform mit dem Erreichen des Erkenntnisziels. Dies trifft für die in der Praxisempfehlung IEST-RP-CC 004.4 spezifizierten

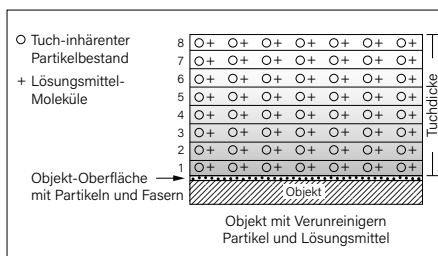


Abb. 2: Schema, Darstellung eines Reinigungstuchs im Profil, hier eingeteilt in acht imaginäre Lagen. Bei einer Wischprozedur kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen den äußeren ein bis zwei Lagen des Tuchs und der Objekt-Oberfläche. Geprüft wird aber oftmals so, als würden alle Lagen in einer vollflächigen Wechselwirkung mit dem Objekt stehen.

Durchführungs-Bestimmungen nach Abs. 7 und 8 nicht zu. Die Kenntnis der Anzahl-Konzentration aus dem Wischmittel extrahierter Partikel und Fasern oder auch der extrahierten Masse chemischer Bestandteile sagt nichts aus über Masse als auch Anzahl-Konzentration des partikulären und Faser-Verunreinigungsrückstands auf der Objekt Oberfläche. Dies trifft insbesondere zu, nachdem die Verschiebekräfte des Wischvorgangs wirksam geworden sind. Aus Erläuterungs-technischen Gründen haben wir ein Reinigungstuch der Dicke

nach in acht imaginäre Lagen geteilt (Abb. 2). Im gesamten Tuchgebilde befinden sich – den Lösungsmittel-getränkten Zustand vorausgesetzt – Partikel, die den intrinsischen Garn- oder Faser-Oberflächen angelagert sind oder sich in dem Zwischenraum zwischen den Fasern/Filamenten im Lösungsmittel befinden und + Lösungsmittelmoleküle. Wenn das Lösungsmittel-getränkte Tuch mit der Objekt Oberfläche in Berührung gebracht wird, so kommt es zunächst zu einer Haftkräfte-Verminderung an den Grenzflächen der partikulären Verunreinigung auf der Oberfläche (Mizellen). Die Lagen interagieren mit der Oberfläche und deren Partikel- und organischem Belag. Die oberen Lagen (heller) sind am Stoffaustausch weniger oder nicht beteiligt, wenngleich sie bei der IEST-Methode im Rahmen des Extraktionsvorgangs das Messergebnis bestimmen. Durch die Verschiebekräfte des Wischvorgangs werden die Partikel von der Oberfläche weggeschoben, so dass sich am Ende der Reinigungsprozedur auf derselben – geringe Rauheit vorausgesetzt – kaum Partikel befinden. Insofern ist der metrologische Ansatz des IEST-Prüfkonzepts nicht plausibel und sollte verworfen werden. Aber das heißt nicht dass ein anderer Ansatz wahrheitsgemäßere Resultate zeitigt, Wischendes Reinigen ist als physikalisch-chemisches Phänomen betrachtet eben sehr komplex.

Oberflächen-orientierte Partikel-Messtechnik

Es stellt sich die Frage warum in den amerikanischen Prüfungs-Empfehlungen IEST-RP-CC-004.4 (Abs.7), die jetzt in die ISO 14644-18 Eingang gefunden haben, keine auf den Parameter Oberflächenreinheit bezogene Prüfmethode für den Nachreinigungs-Zustand von Objekt Oberflächen wie auch für die Partikelbelegung vor und nach wischender Reinigungsprozedur (Reinigungseffektivität) vorgesehen ist. Dafür böten sich bspw. die folgenden Erfassungsmöglichkeiten an:

Partikel-Abklatsch-Methode

- **Partikel-Stempel** (gedepert) – Clean Controlling, 78576 Emmingen-Liptingen.
Adhäsiver Partikelnehmer für die mikroskopische Betrachtung, Zählung und elektronische Verarbeitung.

Oberflächen-Partikel-Visualisierung

- **CC-Microlite** – Clear & Clean, 23568 Lübeck.
Streulicht-Visualisierungs-Gerät für die mikroskopische Betrachtung, Zählung und elektronische Verarbeitung für Partikel auf Kollektorplatten aus Schwarzglas – Typ CC900, CC901

Oberflächen-Partikel-Messung

- **Part-Sens 4.0** – PMT, 71296 Heimsheim.
Oberflächen-Partikelscanner ab Partikel-Durchmesser 5 µm auf glatten Oberflächen. Auf Oberflächen erhöhter Rauheit mittels adhäsivem Zwischenträger (Abklatschmethode).
- **CIX 100** – Evident Europe (Olympus), 20355 Hamburg.
Scanning Mikroskop für Partikeldurchmesser von 2,5 µm bis 42 µm.
- **Partikel-Scanning-Systeme** außerdem von Keyence: (VHX6000), Leica (Emspira III) und Zeiss (Axio-Zoom V16).

Auswirkungen von Normungs-Fehlern

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass der hier als wesentlich erkannte und dokumentierte Spezifizierungsirrtum tatsächlich dazu geführt hat, dass die amerikanische und in der Folge auch die internationale HiTech-Industrie Jahrzehnte lang im Glauben an die Richtigkeit der IEST-Prüfmethode auf den Einsatz reinigungstechnisch besser geeigneter Tücher verzichten musste. Jedenfalls hat der Autor selbst vor 20 Jahren erfahren, dass bei einem in Sachsen ansässigen US-Unternehmen das reinigungs-technisch effektivere Tuch A mit

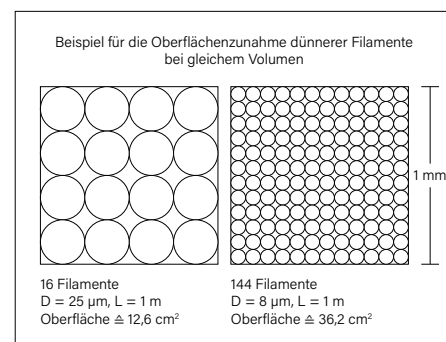


Abb. 3: Schema, innere Filament-Oberfläche von HiTech-Reinigungstüchern. Je dünner die Filamente im Garnstrang desto größer die intrinsische Garnoberfläche, desto größer die Anzahl extrahierter Partikel.

dünnere Filamenten vom Prüflabor des Unternehmens verworfen wurde, weil es nach der IEST-Methode RP-CC 004.2 geprüft worden war und dabei mehr Partikel in die Prüflüssigkeit hineingelangen als bei dem aus dickeren Filamenten bestehenden, wenngleich mindereffektiven Tuch B eines amerikanischen Herstellers. Wäre das Tuch

nach einer Realitäts-nahen, sprich Oberflächen-basierten Methode geprüft worden, so hätte man dem Tuch A den Vorzug gegeben und von dessen höherer Reinigungseffektivität – geringerer Reinigungs-Dauer^[4] und höherem effektivem Reinheitsgrad profitieren können.

Erläuterung der technischen Zusammenhänge:

Strickstoff-Tücher aus dünneren Filamenten im Garnstrang (kleinster äquiv. Filament-ø = ca. 2 µm) haben gemeinhin eine höhere Maschenzahl pro cm² Textilfläche. Tücher mit mehr Maschen/cm² haben (bei nicht proportionaler Korrelation) eine höhere Reinigungseffektivität als solche mit weniger Maschen/cm². Dies gilt insbesondere für

die Verunreiniger-Kategorien dünne organische Schichten von geringer bis mittlerer Viskosität und Submikron-Partikel. Gleichzeitig gilt: Dünne Filamente haben eine größere Oberfläche pro Volumeneinheit als dickere (Abb. 3). Daraus folgt: Bei homogener Partikelverteilung haben Tücher mit dünneren Filamenten eine größere Partikelbeladung als solche mit dickeren. Ein Beispiel: Bei Anwendung der Recommended Practice IEST-RP-CC-4.4- Abs. 7.1 Sample Preparation (Volumen-Tauchmethode) gelangen naturgemäß bei der Prüfung von Tüchern aus Mikrofilamentgarn deutlich mehr Partikel in die Prüfflüssigkeit als bei der Prüfung von Tüchern mit größeren Filament-Durchmessern.

Wir stellen fest, dass die Anzahl der aus einem HiTech-Reinigungs-Tuch im Rahmen einer Bewegungs-unterstützten Lösungsmittel-Immersion freigesetzten Partikel für die Beurteilung der partikulären Reinheit einer Objekt Oberfläche nach wischender Reinigungsprozedur als auch der Beurteilung des viel bedeutenderen Kennwerts der Reinigungseffektivität vollkommen belanglos ist. Die Methode ist daher bestenfalls für die Bestimmung des vergleichenden Auswaschgrads von Mehrwegbekleidung geeignet. Grund ist, dass die Methode den Wischvorgang selbst, mit seinen ganz anderen wirksamen physikalischen Kräften, nicht simuliert.

Die Gelboflex-Problematik (ISO 9073-10)

An anderer Stelle der ISO 14644-18 (siehe Tab. D4, Anhang D, S. 47) wird auf die Norm ISO 9073-10 – Prüfverfahren für Vliesstoffe im Trockenzustand verwiesen, in der eines der so genannten modifizierten Gelboflex-Verfahren empfohlen ist^[5]. Das Gerät hat sich, wie wir glauben, zu Unrecht einen gewissen Bekanntheitsgrad unter den Prüfgeräten für das Reinraum-Verbrauchsmaterial erobert. Prinzipiell handelt es sich um ein Prüfungssystem, das bestenfalls für die Prüfung von Reinigungstüchern im Trockenzustand geeignet ist. In Wahrheit werden HiTech-Reinigungstücher jedoch kaum im Trockenzustand eingesetzt. Wenn es dennoch geschieht, dann hauptsächlich zur Aufnahme von Flüssigkeits-Lachen und Spritzern (spill control) wobei vor Allem die Flüssigkeits-Absorption der Tücher durch Auflegen des Tuchs auf die verschüttete Flüssigkeitslache bzw. Spritzer wirksam wird und es daher kaum zu einer Partikel generierenden Flächenreibung kommt. In Tabelle 1 wird eine Übersicht über die Tränkungs-

stände von HiTech-Reinigungs-Tüchern in der Abfolge ihrer Gebrauchszyklen gezeigt.

Im Rahmen der angenommenen 60 s Gesamt-Gebrauchsdauer von Reinigungstüchern für eine einzige Praxis-relevante Reinigungs-Applikation beläuft sich deren Expositionszeit im Trockenzustand nur auf wenige Sekunden. Die Erfahrung lehrt, dass bei Durchführung des sog. modifizierten Gelboflex-Test nach ISO 9073-10^[5] (Partikelfreisetzung im Trockenzustand) aus Gründen einer verbesserten Mess-Statistik die viel zu lang eingestellten Testzeiten zu weit überhöhten Partikelmengen führen. Werden jedoch die Testzeiten der realen Gebrauchs-induzierten Partikelfreisetzung angepasst, so genügten bereits einige

wenige Geräte-Torsionen, um simulatorisch ausreichend zu sein. Dabei ist jedoch oftmals die Handhabungs-bedingte Partikelfreisetzung bei der Prüfungsvorbereitung des Messplatzes größer als die Torsions-bedingte, so dass große Standardabweichungen der Messwerte die Folge sind und sich das Ergebnis erfahrungsgemäß oft als unbrauchbar erweist.

Die Gelboflex-Methode gehört aus den o.a. Gründen nicht in den Reigen der Prüfmethode, die für die Eignungs-Prüfung von Reinigungstüchern empfohlen werden können. Die Methode wurde – wenn sich der Autor recht erinnert – von Edward Paley (Texwipe) im Mai 1985 in der US-amerikanischen Zeitschrift MICRO vorgestellt und beschrieben. Seither waren – gleich Paley – Viele von uns der spirituellen Simplität der Methode erlegen – unser Labor nicht ausgenommen. Ein außer-universitäres Automatisierungs-Institut bietet sogar Eignungs-Zertifikate für HiTech-Reinigungstücher auf der Basis dieser Methode mit 5-jähriger Gültigkeitsdauer an (– einmal rein immer rein –) und ein Reinraum-Zubehör-Händler hat jüngst ein modisch ansprechendes Agitations-Gestell für die Prüfung von trockenen HiTech-Reinigungstüchern vorgestellt, obwohl diese wie man weiß, zur Anwendung fast immer mit Lösungsmittel getränkt werden.

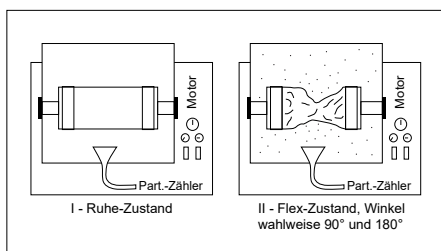


Abb. 4: Schema Flextester nach Gelbo in zwei Zuständen

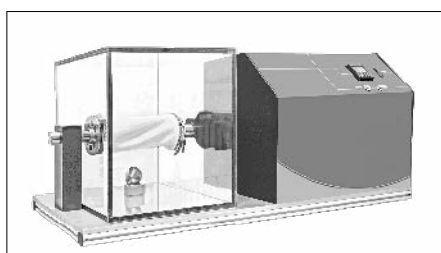


Abb. 5: Flextester nach Gelbo

Gebrauchszyklen von HiTech-Reinigungstüchern im trockenen Anlieferungszustand	Gebrauchszyklen von HiTech-Reinigungstüchern im Lösungsmittel-getränkten Anlieferungszustand
1. ⚡ Trockenlagerung in reinheitsgerechter Verpackung	1. 💧 Feuchtlagerung in reinheitsgerechter Verpackung
2. ⚡ manuelle Verpackungsentnahme	2. 💧 manuelle Verpackungsentnahme
3. 💧 Lösemittel-Trängung mittels Spritzflasche	3. 💧 zweimaliges Falten des Tuchs (z. B. zu 8 Gebrauchs-Oberflächen)
4. 💧 zweimaliges Falten des Tuchs (z. B. zu 8 Gebrauchs-Oberflächen)	4. 💧 Tuchtransport zum Applikationsort
5. 💧 Tuchtransport zum Applikationsort	5. 💧 wischende Reinigungsprozedur
6. 💧 wischende Reinigungsprozedur	6. 💧 Entsorgung des HiTech-Reinigungstuchs
7. 💧 Entsorgung des HiTech-Reinigungstuchs	
Bei dieser Reinigungs-Prozedur befindet sich das Reinigungs-Tuch lediglich während der Zyklen 1 und 2 - also für die Dauer von ca. 4 s = 6,66 % von insgesamt ca. 60 s der mittleren Gesamt-Gebrauchsdauer - im Trocken-Zustand. Eine Gelboflex-Simulation von HiTech-Reinigungstüchern ist schon daher nicht plausibel.	Bei dieser Anwendung befindet sich das Reinigungs-Tuch von der Lagerung bis zur Reinigungs-Prozedur im Lösungsmittel-Getränkten und zu keiner Zeit im Trockenzustand. Die Simulation eines getränkten Tuchs durch ein Trockenes gemäß Gelboflex-Test scheint also absurd.

Tab. 1: Die einzelnen Gebrauchszyklen von HiTech-Reinigungstüchern im trockenen und im Lösungsmittel-getränkten Anlieferungszustand.

Mikrofilamentgarn-Tücher

HiTech-Reinigungstücher mit der höchsten Fein- und Präzisions-Reinigungs-Effektivität sind aus Gestrick-Stoffen, die aus synthetischem Multifilamentgarn (PET, PA oder PP) gestrickt und ggf. aufwändig dekontaminiert sind. Multifilamentgarn wird in unterschiedlicher Anzahl an Filamenten und mit Durchmessern von 0,4 bis ca. 20 µm gefertigt. Je dünner die Filamente der Garne sind, aus denen ein HiTech-Reinigungstuch gestrickt ist, desto höher ist dessen Reinigungs-Effektivität sowohl für Teilchen im Mikron-Bereich und darunter sowie für dünne, filmartige Verunreinigungen im mikrometrischen Dickenbereich (siehe auch Wikipedia: Mikrofasertuch).

Je geringer der Filament-Durchmesser eines Multifilament-Garns ist, desto größer ist die Garn-Oberfläche pro (eng gepackter) Volumeneinheit (siehe Abb. 3). Unter der Annahme homogener Partikel-Verteilung auf den Filament-Oberflächen steigt also mit zunehmender Feinheit der Filamente die intrinsische Partikelbeladung im Volumen. Das bedeutet: Ein Polyester Tuch der Abmessungen 23 x 23 cm und einer Masse von 10g, das aus Garnen des Kreis-äquivalenten Filament-Durchmessers 10 µm gestrickt ist, hat eine deutlich geringere intrinsische Gesamtoberfläche als wenn es aus Garnen bestünde, die einen Filament-Durchmesser von lediglich 5 µm aufweisen. Aus dieser Erkenntnis heraus lässt sich herleiten, dass die Partikel-Anzahl-Konzentration auf der intrinsischen Oberfläche von Mikrofaser- und Mikrofilamente-Tüchern mit geringer werdendem Filament-Durchmesser zunimmt.

Es soll aber nicht unerwähnt bleiben, dass es für die Partikelfreisetzung aus textilen Gebilden wie HiTech-Reinigungstüchern mehrere Modifikatoren gibt. Das sind:

- 1. umgebendes Medium (DIW oder DIW+IPA)
- 2. Materialfeuchte
- 3. Tensid-Ausrüstung
- 4. Verzweigungs-Grad der Garne
- 5. Texturierung der Garne
- 6. elektrische Feldeinflüsse

Allein schon aus den o.g. Gründen kann die in der amerikanischen IEST-RP-CC 4.4^[6] spezifizierte Art der Partikelsammlung nicht Erkenntnisbildend sein, u.a. weil nach dieser Methode die gemessene Partikel-Anzahl-Konzentration vom Filament-Durchmesser des spezifizierten Garns abhängt. Das so ermittelte Ergebnis korreliert also keinesfalls mit dem tatsächlich aufschlussreichsten Reinheits-Kennwert in den HiTech-Industrien: nämlich der Oberflächen-Reinheit.

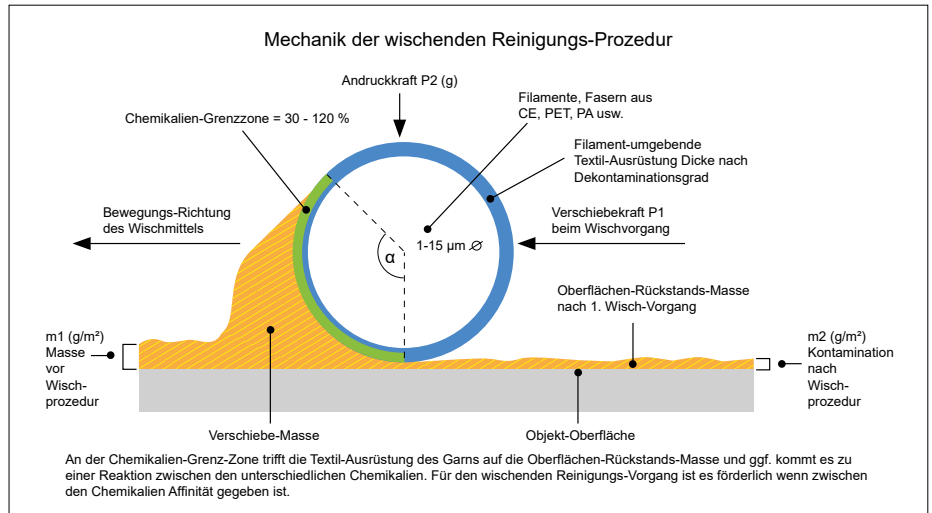


Abb. 6: Erläuterungs-Schema: Mechanik der wischenden Reinigungs-Prozedur

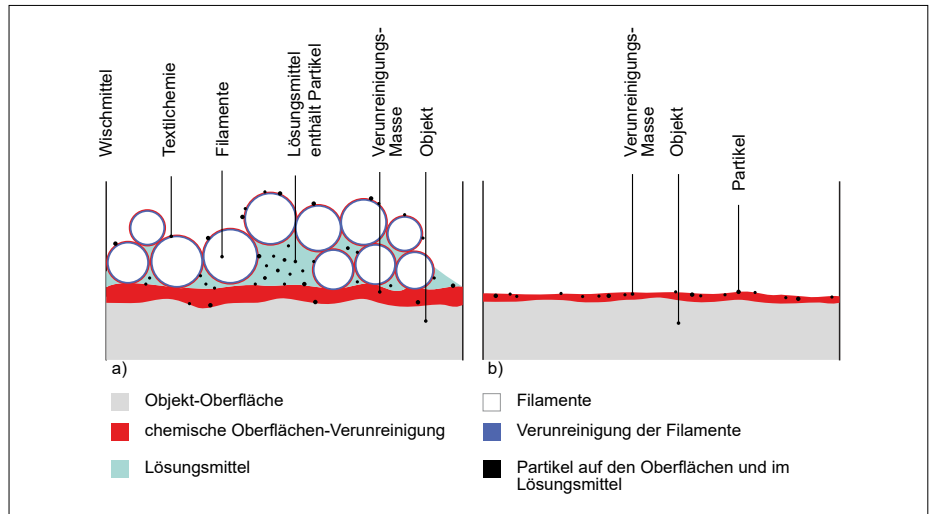


Abb. 7: Schema, Schnittbilder einer verunreinigten Oberfläche während und nach einer wischenden Reinigungs-prozedur,

a) lösungsmittel-getränktes Reinigungs-Tuch in Wechselwirkung mit der kontaminierten Objekt-Oberfläche, b) verringerte Verunreinigungs-Masse auf der Objekt-Oberfläche nach der wischenden Reinigungsprozedur Nach einem oder mehreren Reinigungsvorgängen gemäß Abb. 7 a) sind auf der Objekt-Oberfläche folgende Rest-Substanzen und Objekte, siehe Abb. 7 b)

1. Verunreinigungs-masse im Zustand b)
2. filmische und partikuläre Verunreinigung von den Wischmittel-Filamenten,
3. partikuläre Verunreinigung aus Lösungsmittelresten. Es gibt einen endlichen Oberflächen-Verunreinigungs-Zustand, der sich durch fortgesetzte wischende Reinigungsprozeduren nicht reduzieren lässt.

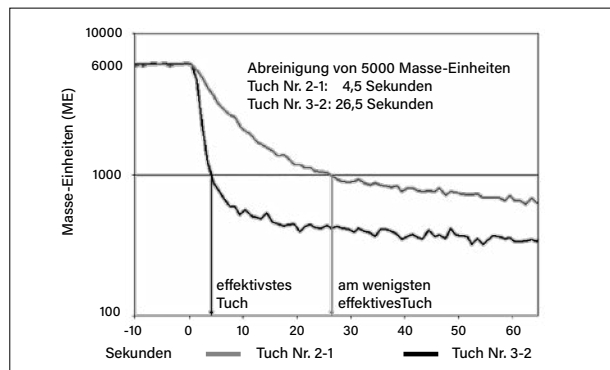


Abb. 8 Rotations-Wischsimulator Mk III (Labuda und Schöttle), Bandbreite der Reinigungs-Effektivität marktgängiger HiTech-Reinigungstücher, Gegenüberstellung des Tuchs mit höchster vs. geringster spezifischer Reinigungszeit.

Prüfgeräte für die Partikelfreisetzung aus textilen Flächengebilden

Nachdem wir feststellen mussten, dass das weltweite Angebot an Prüfgeräten für unsere speziellen Zwecke – nämlich der praxisnahen Simulation und gleichzeitigen Messung der gebrauchsbedingten Partikelfreisetzung aus textilen Flächengebilden, insbesondere HiTech-Reinigungstüchern – auf einer Reihe von Fehlannahmen der einstigen Methoden-Entwickler beruhte, entschlossen wir uns zu einer eigenen Geräteentwicklung unter Leitung eines erfahrenen Maschinenbau-Ingenieurs. Mit ihm zusammen wurden dann eine ganze Reihe von Simulatoren entwickelt, die heute bei uns einsatzbereit und unentbehrlich für unsere Wischmittel und Reinheits-Forschung sind. Die Tabelle im Anhang soll in Kurzform die Methodik verschiedener Prüfmethoden und deren Simulationsansatz erläutern.

Redaktionelle Vorschläge

In einigen Passagen der deutschsprachigen Norm-Ausgabe (Entwurf) sind Begriffe aus etymologischer Sicht nicht glücklich gewählt. Gelegentlich entsprechen sie außerdem nicht der Gebrauchs-Fachsprache.

Der Begriff *Schmutz*, *Schmutzstoff* stammt von ahd., idg. beflecken, feucht, schimmelig, schmierig im Sinne von ekelig. Wir gebrauchen daher das den mikro-materiellen Verunreinigungen eher angepasste, neutrale Wort: Verunreinigung, Verunreiniger, das sich auf partikuläre, filmische und auch molekulare und volatile Verunreiniger anwenden lässt.

Der Begriff *Wischtuch* kennzeichnet nicht den dem Produkt zugeordneten Gebrauchszweck. Dieser ist nicht Wischen, sondern Reinigen. Reinigungstätigkeit steht hier also im Zusammenhang mit HiTech-Fertigungs-Umfeld. Daher sollte die Produktbezeichnung anstelle von Wischtuch oder Reinraum-Wischtuch besser *HiTech-Reinigungstuch* lauten, wie es auch schon in Katalogen zu finden ist. Der Anwender aber auch der Handel und die Hersteller sind um einen Begriff verlegen, der z.B. *Standard-Reinigungstuch* von „*HiTech-Reinigungstuch*“ trennt und somit auch einen Bezeichnungsunterschied für die unterschiedlich bepreisten Produkte schafft.

Der Begriff *Wischer* ist in der deutschen Sprache nicht als textiles Gebilde sondern als Scheibenwischer (bewegte Reinigungsvorrichtung für die Automobil-Scheibenreinigung) bekannt. Die direkte Übersetzung aus engl. „wiper = Wischer“ ist in diesem Fall also nicht richtig.

Normungsethik

Normung technischer Produkte und Systeme ist von der Intention her dem Wohl der Allgemeinheit verpflichtet. Dadurch erhält sie – gleichbedeutend mit ihrer fachlichen – auch eine ethische Komponente. Seit dem Schadstoffbetrug der Kfz.-Industrie wissen wir, dass wir Ingenieursethik wieder lernen müssen, insbesondere dann, wenn Umweltprobleme davon betroffen sind. Dies wirft ein Bündel berechtigter Fragen auf wie bspw.:

Darf Normung dem Zweck dienen, ausländische Unternehmen vom Inlandsmarkt fernzuhalten? Dürfen sich Mitarbeiter extra-universitärer Institute in der Normungsarbeit engagieren, während ihr Institut gleichzeitig im Prüfzertifikate-Geschäft tätig ist?

Sind Ausschließungs-Paragrafen wie § 10.2 der Richtlinie für Normenausschüsse im DIN, Ausg. September 2013 potenziell diskriminierend? Gehören sie abgeschafft? (Text: Falls in der Geschäftsordnung des Normenausschusses nicht anders festgelegt, entscheidet der Arbeitsausschuss über seine Zusammensetzung selbst). Damit lassen sich Unliebsame, Andersdenkende oder Mitbewerber vom freien Zugang zu den Normenausschüssen, selbst als korrespondierende Mitglieder, wie bei der Erarbeitung dieser ISO-Norm auch tatsächlich geschehen, ausschließen. Es wird so der Cliquesbildung und potenziell der Korruption Vorschub geleistet. Es gibt aber auch zu denken, wenn sich in einem nationalen Normenausschuss Vertreter nahezu aller national bekannten Hersteller einer bestimmten Produktgruppe finden, aber nicht ein Einziger von unabhängigen wissenschaftlichen Instituten oder Behörden dazu gehört.

Es ist zudem problematisch, wenn bspw. Normen- oder Richtlinien-Institute durch Herstellerfirmen oder Verbände großzügig gesponsert werden, wie dies in manchen Ländern durchaus der Fall ist. Muss der Ausschuss-Vorsitzende oder jemand Anderes dafür sorgen, dass im Ausschuss alles mit rechten Dingen zugeht? Hat er ein Untersagungsrecht oder gar eine Untersagungs-Pflicht? Normung kann am Ende nur dann erfolgreich sein, wenn sie auf der Grundlage ungehinderter Ingenieursethik erfolgt^[7].

Zusammenfassung

- In der neuen ISO-Norm 14644-18 (Entwurf) werden für die Eignungsprüfung von HiTech-Reinigungstüchern für Reinraum-Umgebungen Prüfmethode aus anderen Spezifikationen z.B. IEST-PP-CC004.4 Abs. 7 und 8 übernommen, welche aufgrund eines prüftechnischen Konzept-Irrtums beim Produkt Wischmittel/Reinigungstücher einseitig und praxisfern auf die Bestimmung eines theoretischen Kontaminations-Risikos ausgerichtet sind (Partikel-Extraktion nach Immersion).
- Die aus Unbedacht in diese ISO-Norm übernommenen o.a. IEST-Prüfmethode beinhalten nahezu ausschließlich die Bestimmung der intrinsischen Produktreinheit (Reinheitsparameter), während die eigentlich vom Anwender gewünschte oberflächenbasierte Reinigungsleistung des Wischmittels (dynamischer Leistungsparameter) dort nicht bedacht ist.
- Zwischen der Volumen-Reinheit eines HiTech-Reinigungstuchs (als Raumgebilde) und der gebrauchsbedingten Verunreinigung einer Objekt-oberfläche (als Flächengebilde) besteht keine z.Zt. bekannte Korrelation. Ein solcherart entstandenes Prüfergebnis ist für die Anwender nicht akzeptabel und kann zu fehlerhaften Produkt-Bewertungen und kostenträchtigen Fehl-Schlüssen führen (siehe Abs. Auswirkungen von Normungs-Fehlern, S. 52).

- Es wurden daher vom Autor Vorschläge unterbreitet, mit welchen Prüfmethode und Instrumenten die Partikelfreisetzung von HiTech-Reinigungstüchern mit höherem Wahrscheinlichkeitsgrad anwenderseits bestimmbar und das Kontaminations-Risiko für die reine Umgebung realistischer und praxisnäher bewertbar ist. Dies soll aber gleichzeitig als Einladung an andere Autoren und Erfinder gewertet werden, sich hier mit neuen und besseren Ideen einzubringen.

Abschließende Empfehlung des Autors

Die 2022 fertig gestellte Norm DIN ISO 14644-18 (Entwurf) soll wegen der in ihr enthaltenen gravierenden konzeptuellen, metrologischen Fehler zunächst an einen sachkundigen Bearbeiterkreis verwiesen und dort, wo es nötig ist – im Sinne einer berichtigten Metrologie – neu bearbeitet werden. Gleichzeitig soll die Notwendigkeit der Implementierung einer solch umfangreichen Norm für das Produkt Reinraum-Verbrauchsmaterial grundsätzlich neu diskutiert und bewertet werden. Vielleicht lässt sich das Dokument auch im Sinne seiner erweiterten Praktikabilität vereinfachen. Für das Normungsgremium sollen exponierte Fachkräfte aus der Textiltechnologie gewonnen werden (bspw. Professor Dr. Robert Groten, TH Niederrhein, Professor Dr. Jochen Gutmann Universität Duisburg-Essen, Professor Dr. Torsten Textor von der Textil-Fakultät, Reutlingen University, der sich schon früher mit textiltechnischen Prüfungen für die Techniken des Reinen Arbeitens beschäftigt hat^[9]).

Der Anhang B „Auswirkungen von Verbrauchsmaterialien auf Reinheitsgrade in Reinräumen“ soll gestrichen werden. Der Inhalt ist wegen seiner akademischen Praxisferne nicht als Teil oder Anhang einer ISO-Norm geeignet, wengleich er als Fachaufsatz Interesse finden könnte (siehe zum gleichen Thema den Aufsatz Nr. 35 des Autors in der ReinRaumTechnik 2/2017-Sonderbeilage, wo das Thema bereits damals erstmals behandelt wurde. Ein Kardinal-Problem ist die Einführung von Gefährdungsklassen betreffend die unterschiedlichen Verbrauchsmaterialien in Bezug auf die Umgebungs-Reinheit und die dadurch notwendige Metrologie).

Dieser Kommentar bezieht sich vornehmlich auf das Produkt HiTech-Reinigungstücher. Der neue ISO 14644-18-Norm-Entwurf von 2022 bezieht sich jedoch auf das gesamte Spektrum des sog. Reinraum-Verbrauchsmaterials, dessen Spezifizierungs-Problematik separat reevaluiert werden müsste.

Normen, Methoden, Instrumentarium	Prüf-Ziel und Prüf-Ergebnis	Erläuterung der Simulation und Kritik
UEST-RP-CC004.4 (Prüf-Hinweis in ISO 14644-18)	gesuchter Kennwert Partikel-Konzentration pro Flächen-Einheit einer Prüfoberfläche die falsche Methode Partikel-Anzahl-Konzentration in einer Prüf-Flüssigkeit	Partikel-Extraktion durch Tauchen und Bewegen des Prüflings (Tuchabschnitt) im DI-Wasser-Bad. Darin befindliche Partikel werden gesammelt, gezählt und klassifiziert. Kritik Prüfergebnis ist hier: Extrahierte Partikel pro Volumen-Einheit des Wischmittels. Das Ergebnis steht in keinem Zusammenhang mit dem gesuchten Kennwert: Partikel pro Flächeneinheit nach wischender Reinigungs-Prozedur.
ISO 9073-10 (Prüf-Hinweis in ISO 14644-18)	gesuchter Kennwert Partikelkonzentration pro Flächen-Einheit einer Prüfoberfläche die falsche Methode Partikelkonzentration in der Luftpartikel-Wolke einer Agitations-Umgebung	Torsions-Belastung HiTech-Reinigungs-Tücher werden im Trockenzustand durch oszillierende Torsions-Spannung mechanisch beansprucht. Die in eine Prüfkammer-Umgebung hinein freigesetzten Luftpartikel werden mittels Luftpartikel-zähler angesaugt, elektronisch gezählt und klassifiziert. Kritik 1 HiTech-Reinigungstücher werden nahezu ausschließlich im Lösungsmittel-getränkten Zustand eingesetzt. Der Messwert nach der Norm ISO 9073-10 ist daher ohne Bezug zum gesuchten Kennwert (Reinheits-Zustand der Prüfoberfläche). Kritik 2 Die Prüfbelastung des HiTech-Reinigungstuchs wird aus Gründen einer eindrucksvolleren Statistik im Vergleich zur Gebrauchs-Belastung oft zu hoch gewählt (Simulationsfehler).
C&C-Methode W-PF-LWS Linear-Wischsimulator Typ MK I oder MK II - nach Labuda/Schöttle	gesuchter Kennwert Reinigungsleistung von HiTech-Reinigungstüchern gemessener Kennwert Reinigungsleistung von HiTech-Reinigungstüchern	Partikelfreisetzung durch Materialabrieb Der Prüfling (Reinigungstuch-Abschnitt) wird entsprechend der reproduzierbaren Parameter (Geschwindigkeit, Prüfgewicht, Prüffläche) linear über eine reine, alternativ eine definiert verunreinigte Objektoberfläche bewegt. Der Verunreinigungs-Grad wird vor und nach dem Wisch-Vorgang analytisch bestimmt. Lösungsansatz Sowohl die Reinigungsleistung als auch der Materialabrieb von HiTech-Reinigungstüchern für partikuläre und filmische Verunreinigungen können so unter realitätsnahen Bedingungen simuliert werden.
C&C-Methode W-PF-RWS Rotations-Wischsimulator nach Labuda/Schöttle	gesuchter Kennwert Anzahl der bei einer Wischprozedur freigesetzten Partikel gemessener Kennwert Anzahl im Rahmen einer Wisch-prozedur freigesetzten Partikel	Partikelabrieb Bei der Labuda-Schalenmethode wird der Prüfling (Reinigungstuch-Abschnitt) in einer V4A-Prüfschale unter leichtem Druck über definiert raue bzw. profilierte Schalenböden rotiert (Rauheit, Kurtosis, Kreuz-Profil). Anschließend werden in die Schale hinein freigesetzte Partikel ausgespült, gezählt und klassifiziert. Lösungsansatz Nach dieser Methode wird die Anzahl freigesetzter Partikel simuliert, die beim wischenden Reinigen von einem feuchten Reinigungstuch auf eine Prüfoberfläche übertragen werden.
C&C-Methode W-FA Rotations-Wischsimulator nach Labuda/Schöttle	Leistungs-Parameter Max. Reinigungsleistung pro Zeiteinheit von HiTech-Reinigungs-Tüchern gemessener Kennwert durch eine Wischprozedur entfernte Verunreinigungsmasse tot. und pro Zeiteinheit	Verunreinigungs-Abtrag durch ein HiTech-Reinigungstuch von einer rotierenden V4A-Walze, die mit einer dünnen Ölschicht belegt ist. Diese wird bei Gravitations-bedingtem Andruck des Prüflings (Reinigungstuch) an die rotierende Walze gereinigt. Die im Verlauf der Prüfung geringere werdende Masse des Ölfilms wird durch Laserfluoreszenz-Messung bestimmt. Lösungsansatz Der Verunreinigungs-Abtrag durch div. Wischmittel für z. B. dünne Ölfilme kann in Masse-Einheiten pro Zeiteinheit bestimmt werden.

Tabelle Anhang A: W = Wischprozedur PF = Partikelfreisetzung LWS = Lineare-Wischsimulation RWS = Rotative Wischsimulation RFA = Rotativer Filmabtrag

Objekt-Oberfläche	ein Objekt nach außen hin begrenzende Oberfläche. Beispiel: Fensterscheibe, Tischtennisball, optische Linse, auch extrinsische Oberfläche genannt.
HiTech-Wischmittel	Reinigungsmittel zur Aufnahme und Retention von Verunreinigungen in Reinnräumen und Reinen Bereichen.
HiTech-Reinigungstuch	textiles Flächengebilde zur Aufnahme und Retention von Verunreinigungen in Reinnräumen und Reinen Bereichen
intrinsische Oberfläche	auch innere Oberfläche (in cm ²) genannt, Volumen-bezogene Oberfläche von Raumgebilden deren „innere Oberfläche“ in ihrer Flächenausdehnung die äußere Oberfläche übertrifft (Beispiele: Luft- und Flüssigkeitsfilter, Schaumstoffe, textile Gebilde, Erdböden).
Partikel- und Faseremission	durch zusätzlich zur Gravitationskraft wirkende physikalische Schub- oder Zugkräfte vom bisherigen Ruheort entfernte Teilchen.
Partikel- und Faserstreuung	allein durch Gravitationskraft mobilisierte Partikel, Fasern und Schwebeteilchen (engl. particle shedding).
Partikel-Freisetzung	allgemeiner Begriff für die Lösung von Partikeln von ihrem derzeitigen Ruheort, ohne Hinweis auf die verursachenden Lösungs-Kräfte.
Techniken des Reinen Arbeitens	alle industriellen und handwerklichen Tätigkeiten, die ausschließlich im Rahmen erhöhter Umgebungsreinheit durchgeführt werden müssen oder werden.

Glossar

Literatur

- [1] VDI 2083 Blatt 9.2 Reinraumtechnik – Verbrauchsmaterialien im Reinraum
- [2] DIN EN ISO 14644-1 Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration
- [3] IES-RP-CC-004-87-T – Testing Cleanrooms (ersetzt durch [6])
- [4] Reinigungs-Leistung unterschiedlicher Wischmittel – die spezifische Reinigungszeit und -Leistung von Fein- und Präzisions-Reinigungstüchern, Win Labuda, Clear & Clean-Schriften, 2009, Lübeck
- [5] DIN EN ISO 9073-10:2005-03, Textilien – Prüfverfahren für Vliesstoffe – Teil 10: Analyse von Faserfragmenten und anderen Partikeln im trockenen Zustand
- [6] IEST-RP-CC004.4 (2019) Evaluating Wiping Materials Used in Cleanrooms and Other Controlled Environments
- [7] Forschungsfinanzierung: Wie die Wirtschaft die Wissenschaft beeinflusst, Sven Kästner, Deutschlandfunk Kultur, 1. Okt. 2020
- [8] Belastungsdiagramm für Reinraum-Tücher, Win Labuda, VDI-Report 1095, 1994, Stuttgart, VDI-Verlag
- [9] Evaluating wiping materials used in cleanrooms and other controlled environments. Lecture by Prof. Dr. Torsten Textor, DTNW – Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West – im Rahmen der 41th International Detergency Conference Mai 2003 in Düsseldorf.
- [10] DE102020001874B4 – Vorrichtung zur Visualisierung von Partikeln, Faserfragmenten und anderen Materialteilchen und Materialschichten, Win Labuda
- [11] Das Oligomerenproblem bei Polyesterfasern, Giselher Valk (1976) 65 S. VS-Verlag für Sozialwissenschaften, ISBN 978-3-531-02526-1
- [12] Reinigung und Reinhaltung funktionaler Oberflächen: Prüftechnik-Prozeduren-Verbrauchsmaterial, Win Labuda et al. (ab Juni 2023) 400 S. 2023, bei Clear & Clean in Lübeck und online
- [13] Hygienesichere Oberflächen im nicht-immergierten System, Inka Mai, Dissertation zur Dr. Ing, TU Braunschweig, Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, Juni 2018
- [14] Fachliche Beurteilung von zwei Spezifikationen für die Prüfung der Gebrauchseigenschaften von Wischtüchern für den Einsatz in Reinnräumen, DTNW Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West, Institut der Universität Duisburg, Juni 2002, E. Schollmeyer, T. Textor (9 Seiten)
- [15] Partikel-Kontamination in Reinnräumen erkennen und kontrollieren, (Firmenschrift) Marcel Hopfe, PMT Partikel-Messtechnik GmbH, 71296 Heimsheim

KONTAKT

Win Labuda

Clear & Clean – Werk für Reintechnik GmbH, Lübeck
Tel.: +49 451 3895-00
info@clearclean.de
www.clearclean.de

WILEY



Vielen Dank für **25 Jahre**
Treue, Vertrauen & gute Zusammenarbeit.



© invizbk - fotolia.com



www.chemanager-online.com/reinraumtechnik

Lesen Sie die
ReinRaumTechnik
lieber online?



<https://bit.ly/32cPmfM>