

**Abb. 1** HiTech-Reinigungs-Gestrick Typ Sonit®-MDM, REM-Foto 2500-fach, Bildbreite 107 µm, oben: nicht dekontaminiert, unten: aquatisch dekontaminiert (keine Partikel).

**Win Labuda**

## **Neue ISO-Norm für Reinraum-Verbrauchsmaterial - Kommentar**

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

Clear & Clean - Forschungslabor, Stand 06.2023  
Version 1.1 D

## Inhalt

- 1- Spezifische Normungsprobleme
- 2- Nicht-plausibler metrologischer Ansatz
- 3- Die Gelboflex-Problematik
- 4- Mikrofilamentgarn-Tücher
- 5- Prüfgeräte für die Partikelfreisetzung
- 6- Redaktionelle Vorschläge
- 7- Normungsethik
- 8- Zusammenfassung
- 9- Abschließende Empfehlungen
- 10- Literatur
- 11- Glossar
- 12- Tabelle der Prüfmethode und Geräte

## Einleitung

*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, Klebe-Etiketten, 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 also 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 hier aus dem o. a. Verbrauchsmaterial-Spektrum ausschließlich das Thema HiTech-Reinigungstücher und deren reinheitstechnische Eignung, Anwendung, Metrologie und nicht zuletzt auch die mit ihnen assoziierte deutschsprachige Semantik.*

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 Reinheits-kontrollierte Umgebung hinein. Insbesondere sind es die hochgradig dekontaminierten synthetischen Reinigungstücher von denen erwartet wird, dass durch ihren wischenden Gebrauch partikuläre und filmische Verunreinigungen der Objekt-Oberflächen auf die Tuch-Oberfläche übertragen und anschließend aus der Reinheits-kontrollierten Umgebung entfernt werden. Zu den HiTech-Industrien zählen vor Allem die *Biotechnik-*, die *Halbleiter-*, die *Laser-*, die *Pharma-Industrie* sowie die *Präzisions-Optik* und nicht zuletzt die *Raumfahrt-Industrie*. Die spezifikationsgemäß empfohlene Luft- und

## 1- Erläuterung Produkt-spezifischer Normungsprobleme

Oberflächen-Reinheit reiner Fertigungs-Umgebungen (siehe DIN EN ISO 14644-1, EG-GMP, VDI 2083 9.1 und 9.2) zwingt die Anwender zum Einsatz von Verbrauchs-Materialien hoher Applikations-Reinheit [1, 2].

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 *Reinigungstücher* betreffend, ganz unterschiedliche technische Anforderungen. Suchen wir dabei nach Gemeinsamkeiten, so sind es 3 Kriterien, die für jedes HiTech-Reinigungstuch zutreffen: Das ist der Wunsch nach optimaler:

- *Lösungsmittel-Absorption*,
- *Verunreinigungs-Retention* und
- *Reinigungs-Effektivität*

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 Strickstoff-Tüchern aus synthetischem Mikrofilament-Garn ist immerhin die Aufgabe zudedacht, submikrone Verunreinigungen von den Objekt-Oberflächen der Labor- oder Fertigungsumgebung vollends zu entfernen.

Während nahezu aller Wischmittel-basierten HiTech-Reinigungs-Prozeduren befinden sich die Reinigungstücher im Lösungsmittel-getränkten Zustand. Teil-getränkte Tücher können problematisch im Hinblick auf Partikel- und Faserstreuung aber auch auf triboelektrische Funkenbildung sein (Entzündungs-Gefahr!). 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 Alkohol-Konzentrationen in den Abstufungen 9, 30 und 70 % durchgesetzt. Ein nicht unwesentlicher Teil der marktgängigen HiTech-Reinigungstücher ist jedoch bereits im Anlieferungszustand Lösungsmittel-getränkt und wird verpackt im wiederverschließbaren Polybeutel oder im Trageeimer mit Verschleißdeckel angeboten.

Die *Reinigungs-Effektivität* eines bestimmten HiTech-Reinigungstuchs für verschiedene Oberflächenarten bzw. Rauheiten und unter dem Einfluss unterschiedlicher Lösungsmittel lässt sich im Rahmen von *Reinigungs-Prozeduren* durch Vergleich der *Oberflächen-Kontaminations-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 [ $m_w$ | $m_{tr}$ ]
- Wischmittel-Anpressdruck [ $g$ | $cm^2$ ]
- mittlere Rauheit der Objektoberfläche [Ra  $\mu m$ ]
- Kurtosis der Rauheits-Verteilung [Sku]
- relative Geschwindigkeit zwischen Objektoberfläche und Wischmittel [m/s]
- Anzahl der Oberflächen-Berührungspunkte (Papillen) pro Flächeneinheit [Anzahl-Konz.]
- Durchreißkraft des Prüflings [N]
- chemische Komposition des Lösemittels [Beispiel=  $C_3H_8O$ ]
- Ansprech-Empfindlichkeit der Messvorrichtungen, Beispiel [ng]

Um wischende Reinigungs-Vorgänge praxisnah zu *simulieren*, deren Simulations-Tauglichkeit zu ermitteln und z. B. die Reinigungs-Effektivität des zu prüfenden HiTech-Reinigungstuchs zu bestimmen, bedarf es bestimmter technischer Voraussetzungen. Von simulations-technischer zentraler Bedeutung sind dabei 4 Voraussetzungen:

- eine der Realität entsprechende Verunreinigung oder Verunreinigungs-Kombination
- eine praxisnah nachgebildete Objektoberfläche
- die Einhaltung der gleichförmigen Relativbewegung zwischen Objektoberfläche und Prüfling bei konstantem Anpressdruck und nicht zuletzt:
- metrologische Systeme von ausreichend hoher Nachweis-Empfindlichkeit, zur Bestimmung filmischer und partikulärer Oberflächen-Verunreinigungen.

Voraussetzung für die internationale Normungs-Tauglichkeit technischer Bauteile, Geräte und Systeme ist u. a. deren durchgehende Parametrisierbarkeit und die internationale Verfügbarkeit geeigneter Mess-Systeme. Diese stößt bei den Messaufgaben der Oberflächen-Reinheit oftmals an physikalisch-technische Grenzen.

Angesichts der vorstehend offenbarten Komplexität ist es fraglich, ob Normung im Rahmen dieser Variablen-Vielfalt in den Grenzbereichen der Technologie überhaupt sinnvoll durchführbar ist. Normung ist prinzipiell dann absurd, wenn der Normzustand nicht mit ökonomisch angemessenem Aufwand

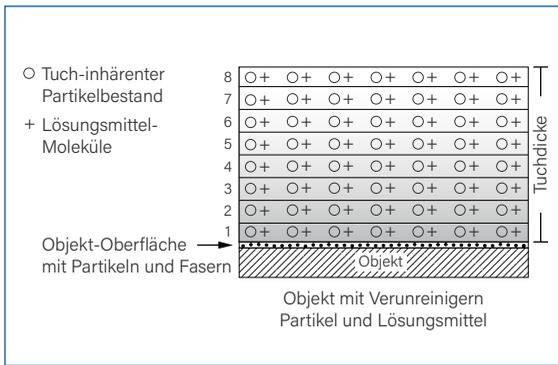
herbeizuführen ist und daher von der Fachwelt nicht nachvollzogen wird oder werden kann. Normungstätigkeit verliert aber auch dann ihren Sinn, wenn in ihrem Rahmen Messverfahren spezifiziert werden, die nicht zum erwünschten Erkenntnisziel führen. Insofern kann Normung auch willkürlicher Eingriff in die technische Gestaltungs-Freiheit von Entwicklern und Herstellern sein. Jedes Normungsvorhaben sollte daher von den Normungsgremien selbst und unter pflichtgemäßer Kontaktnahme mit den interessierten Anwenderkreisen auch im Hinblick auf dessen Notwendigkeit infrage gestellt werden, etwa um abzuwägen, ob der durch eine Norm bewirkte Regulierungs-Vorteil aus Anwender-Sicht größer 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-Anwendungs-Empfehlung übernommene Messtechnik betreffend - teils durch konzeptuelle Irrtümer der einstigen und aktiven amerikanischen Kollegen vom IEST (Institute of Environmental Sciences and Technology - USA) belastet. Diese formulierten im Oktober 1987 eine erste Praxis-Empfehlung für „*Wipers used in cleanrooms and controlled environments, IES-RP-CC04-87-T2*“ [3]. Nach Beseitigung der Konzept-Irrtümer würde eine berichtigte Norm ISO 14644-18 einen geänderten Parameter und andere Prüftechnik, nämlich *Oberflächenreinheit nach wischender Reinigungsprozedur* erforderlich machen. Deren Durchführung ist im unteren mikro- und nanometrischen Partikel-Bereich sehr aufwändig, im mittleren Größen-Bereich von zum Beispiel 2,5-10 µm ist sie vom Aufwand her vielleicht vertretbar (siehe Abs. *Oberflächen-orientierte Partikel-Messtechnik*, S. 7). Dass das zuständige deutsche Normungs-Gremium, der Arbeitsausschuss NA 041-02-21 AA Reinraumtechnik SpA CEN/TC 243 und ISO/TC 209 im DIN-Normenausschuss >Heiz- und Raumlufttechnik sowie deren Sicherheit< 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 justitiabel, weil der Normierungs-Irrtum 1 bis 2 Jahrzehnte lang in der Literatur angemerkt wurde.

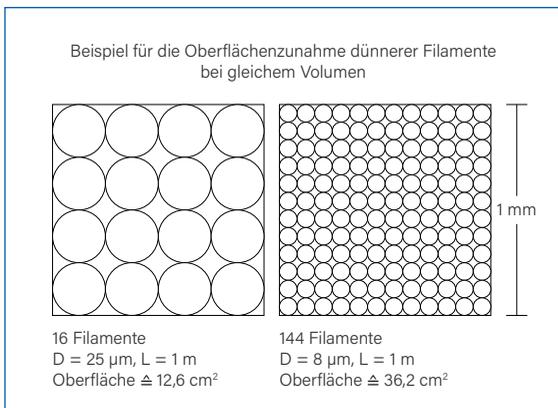
## 2- Nicht plausibler metrologischer Ansatz

Wird ein HiTech-Reinigungstuch in Bezug auf seine Reinigungs-Effektivität für partikuläre und filmische Verunreinigungen geprüft, so ist die Prämisse, dass die Oberflächen-Verunreinigung im Rahmen der Reinigungs-Prozedur in *möglichst kurzer Zeit* und *möglichst vollständig* vom Wischmittel absorbiert und entfernt wird. Verfahrensziel ist also die Herbeiführung einer optimal reinen *Objektoberfläche*. Danach hat das benutzte Reinigungstuch - verfahrenstechnisch gesehen - seine Funktion erfüllt und wird normalerweise entsorgt.

Analytisches Erkenntnis-Ziel der Reinigungs-Tauglichkeit ist demzufolge die Erfassung der filmischen Masse- und partikulären Anzahl-Konzentration des Rückstands auf der Objekt-ober-



**Abb. 2** Schema, Darstellung eines Reinigungstuchs im Profil, hier eingeteilt in 8 imaginäre Lagen. Bei einer Wischprozedur kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen den unteren 1 - 3 Lagen des Tuchs und der Objekt Oberfläche. Geprüft wird aber (nach IEST-RP-CC 004.4) so, als würden alle Lagen in einer vollflächigen Wechselwirkung mit der Objekt-Oberfläche stehen.



**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.

fläche und zwar vor vs. nach erfolgter Reinigungsprozedur. Aus der Gegenüberstellung der beiden Konzentrationswerte lässt sich der Reinigungs-Effektivitätswert für die unterschiedlichen Verunreinigungsarten (filmisch, partikulär, Fasern) zweifelsfrei errechnen. Zur Durchführung relevanter Messungen sind Messgeräte zur Bestimmung der Anzahl und Größe Partikel und Fasern auf der Oberfläche sowie Mikrogramm-Waagen zur Bestimmung der Masse der filmischen Verunreinigung erforderlich.

Das vorstehend angeführte messtechnische Prozedere ist prinzipiell konform mit dem Erkenntnisziel. Dies trifft jedoch für die in der Praxis-Empfehlung IEST-RP-CC 004.4 spezifizierten Durchführungs-Bestimmungen nach Abs. 7 und 8 nicht zu. Die Kenntnis der Anzahl-Konzentration aus dem Wischmittel extrahierter Partikel, Fasern und Fragmente oder auch der extrahierten Masse chemischer Bestandteile sagt nichts aus über Masse oder Anzahl-Konzentration des partikulären und Faser-Rückstands auf der Objekt Oberfläche. Dies trifft insbesondere deswegen zu, weil beim wischenden Reinigungs-Vorgang vor allem die Verschiebekräfte des Wischvorgangs wirksam werden. Aus Erläuterungs-technischen Gründen haben wir in Abb. 2 ein Reinigungstuch der Dicke nach in 8 imaginäre Lagen geteilt. Im gesamten Tuchgebilde befinden sich - den Lösungsmittel-getränkten Zustand vorausgesetzt, sowohl (○) Partikel, einschl. Oligomeren, die den intrinsischen Garn- oder Faser-Oberflächen angelagert sind oder sich im interstitiellen Raum zwischen den Fasern/Filamenten im Lösungsmittel befinden und (+) Lösungsmittel, sowie Moleküle der Textil-Ausrüstung.

Beim Kontakt eines mit Lösungsmittel getränkten Wischtuchs mit einer trockenen Objekt Oberfläche kommt es an den Grenzflächen zunächst zu einer Veränderung der Adhäsionskräfte zwischen der jeweiligen Verunreinigung und der Objekt Oberfläche. Dadurch können an der Objekt Oberfläche anhaftende Partikel von ihren Ruheplätzen gelöst und in die flüssige Umgebung hinein freigesetzt werden. Bei der Wischprozedur treten die unteren Tuschichten mit der Objekt Oberfläche, den Partikeln und möglicherweise auch mit den Rückständen der textilen Ausrüstungsstoffe in Wechselwirkung. Abhängig von den tensidhaltigen Anteilen dieser Stoffe kann es dabei zu einer Mizellenbildung kommen, die dann zu einer weiteren Verringerung der Adhäsionskräfte zwischen den Partikeln etc. und der Objekt Oberfläche führen kann.

Diese Systeme unterliegen jedoch einer gewissen Unwägbarkeit, da Tensidrückstände aus der textilen Ausrüstung der Garne sowohl mit dem alkoholischen Lösungsmittel als auch mit der Kontamination unbekannter chemischer Zusammensetzung auf der Objekt Oberfläche in Kontakt kommen würden. Darüber hinaus hängen die oben hervorgehobenen Effekte bei den Annahmen über den Grad der „feinen“ oder „präzisen“

Reinigung von HiTech-Oberflächen auch davon ab, inwieweit das Porenvolumen des textilen Wischtuchs mit der Verunreinigungsmasse gefüllt ist. Die durchschnittliche Verunreinigungsmasse sollte eine Dicke von 25 % der Tuchdicke nicht überschreiten. Die oberen Tuschichten (in Abb. 2 heller dargestellt) sind je nach Füllgrad weniger oder gar nicht am Stoffaustausch mit der Objektoberfläche beteiligt. Nach der IEST-Testmethode beeinflussen jedoch alle Partikel des Tuchs aufgrund des dort vorgesehenen Extraktionsprozesses das Messergebnis. Durch die Verdrängungskräfte bei der Wischprozedur werden neu entstandene Partikel von den Objektoberflächen „weggedrückt“, so dass am Ende des Reinigungsvorgangs hier stark reduzierte Partikelmengen vorliegen – immer vorausgesetzt, dass die Objektoberflächen von geringer Rauheit ist. Auch dieser Effekt wird im IEST-Testverfahren nicht simuliert.

Insofern ist der metrologische Ansatz des IEST-Prüfkonzepts nicht plausibel und sollte verworfen werden. Wischendes Reinigen ist als physikalisch-chemisches Phänomen betrachtet wegen der Vielzahl der gegebenen Interaktionen eben komplex, vor Allem wegen der dabei relevanten chemisch-physikalischen Oberflächen-Phänomene.

#### **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 *Oberflächen-Reinheit* bezogene Prüfmethode für den Nachreinigungs-Zustand von Objekt-Oberflächen wie auch für die Partikelbelegung vor und nach wischender Reinigungs-Prozedur (Reinigungs-Effektivität) vorgesehen ist. Dafür böten sich im Prinzip die folgenden Erfassungs-Möglichkeiten an:

##### Partikel-Abklatsch-Methode

- **Partikel-Stempel** (gefedert) - Clean Controlling GmbH - D-78576 Emmingen-Liptingen. Adhäsiver Partikelaufnahme für die mikroskopische Betrachtung, Zählung und elektronische Ergebnis-Verarbeitung.

##### Oberflächen-Partikel-Visualisierung

- **CC-Microlite** - Clear & Clean GmbH - D-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 GmbH - D-71296 Heimsheim. Oberflächen-Partikelscanner ab Partikel-Durchmesser 5 µm auf glatten Oberflächen. Auf Oberflächen erhöhter Rauheit mittels adhäsivem Zwischenträger (Abklatschmethode).

- **CIX 100** - Evident Europe GmbH (Olympus) D-20355 Hamburg. Scanning Mikroskop für Partikeldurchmesser von 2,5 µm bis 42 mm.
- **Partikel-Scanning-Systeme** außerdem von Keyence: (VHX6000), Leica (Emspira III) und Zeiss (Axio-Zoom V16).
- **Differential-Interferenz-Kontrast-Mikroskopie (DIC)** nach Nomarski oder Jamin-Lebedeff ist sehr gut zur visuellen Inspektion von filmartigen und ggf. partikulären Oberflächen-Kontaminationen bis zu Vergrößerungs-Maßstäben von 1000fach geeignet. Dies in Kombination mit dem linearen Wischsimulator nach Labuda/Schöttle Typ MK1 ergibt eine zuverlässige Hardware-Kombination zur Visualisierung der Reinigungs-Effektivität von HiTech-Präzisions- und Feinreinigungstüchern, auch in Kombination mit unterschiedlichen Lösungsmitteln. Nachteil der Methode ist allerdings die nicht gegebene digitale Ergebnis-Darstellung.

Gebrauchszyklen von HiTech-Reinigungstüchern <b>im trockenen Anlieferungszustand</b>	Gebrauchszyklen von HiTech-Reinigungstüchern <b>im Lösemittel-getränkten Anlieferungszustand</b>
1. ⚡ Trockenlagerung in reinheitsgerechter Verpackung	1. 💧 Feuchtlagerung in reinheitsgerechter Verpackung
2. ⚡ manuelle Verpackungsentnahme	2. 💧 manuelle Verpackungsentnahme
3. 💧 Lösemittel-Tränkung 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 Lösemittel-Getränkten und zu keiner Zeit im Trockenzustand. Die Simulation eines Lösungsmittel-getränkten Tuchs durch ein Trockenes gemäß Gelboflex-Test scheint also absurd und die Methode sollte zurückgezogen werden.

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

### **Auswirkungen von Normungs-Fehlern**

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass der hier als wesentlich erkannte und dokumentierte Spezifizierungs-Irrtum tatsächlich dazu geführt hat, dass die amerikanische und in der Folge auch die internationale HiTech-Industrie Jahrzehnte lang im Glauben an die Plausibilität der IEST-Prüfmethode auf den Einsatz reinigungstechnisch besser geeigneter Tücher verzichtet hat. Jedenfalls hat der Autor selbst bereits vor 20 Jahren erfahren, dass bei einem im Land Sachsen ansässigen US-Unternehmen das reinigungs-technisch effektivere Tuch A mit dünneren Filamenten vom Prüflabor des Unternehmens verworfen wurde, weil es nach der IEST-Methode RP-CC 004.2 geprüft worden war und dabei naturgemäß mehr Partikel in die Prüflüssigkeit hineingelangen als bei dem aus dickeren Filamenten bestehenden, wengleich reinigungs-technisch 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 Reinigungs-Effektivität, sprich geringerer Reinigungs-Zeit [4] und dem höherem effektivem Reinheitsgrad profitieren können.

Nachstehend folgt eine Erläuterung der technischen Zusammenhänge: Strickstoff-Tücher aus dünneren Filamenten im Garnstrang (kleinster äquiv. Filament- $\varnothing$  = ca. 2  $\mu$ m) erlauben gemeinhin stricktechnisch eine höhere Maschenzahl pro  $\text{cm}^2$  Textilfläche zu realisieren. Tücher mit mehr Maschen/ $\text{cm}^2$  haben (bei nicht proportionaler Korrelation) eine höhere Reinigungs-Effektivität als solche mit weniger Maschen/ $\text{cm}^2$ . Dies gilt insbesondere für die Verunreiniger-Kategorien dünne organische Schichten von geringer bis mittlerer Viskosität und für Submikron-Partikel (Phänomen: Mikrofasern-Tuch). Gleichzeitig gilt: Dünnere Filamente haben eine größere Oberfläche pro Volumeneinheit als dickere (Abb. 3). Daraus folgt: Bei homogener Partikelverteilung haben Tücher mit dünneren Filamenten pro Volumeneinheit 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-Extraktion) gelangen naturgemäß bei der Prüfung von Tüchern aus Mikrofilamentgarn deutlich mehr Partikel in die Prüflüssigkeit als bei der Prüfung von Tüchern mit größeren Filament-Durchmessern.

**Wir stellen fest, dass die Anzahl der aus einem HiTech-Reinigungs-Tuch extrahierten Partikel für die Beurteilung der zu erwartenden oder eingetretenen Oberflächen-Reinheit als auch der Beurteilung des Kennwerts der *Reinigungs-Effektivität* vollkommen belanglos ist.**

Grundlage für die Missbilligung ist die Tatsache, dass in der Methode der wischende Reinigungs-Vorgang selbst und dessen wirksame physikalische Kräfte, insbesondere der Wiedereinbindungs-Effekt von Friktions-Partikeln, nicht integriert sind.

### 3- Die Gelboflex-Problematik (ISO 9073-10)

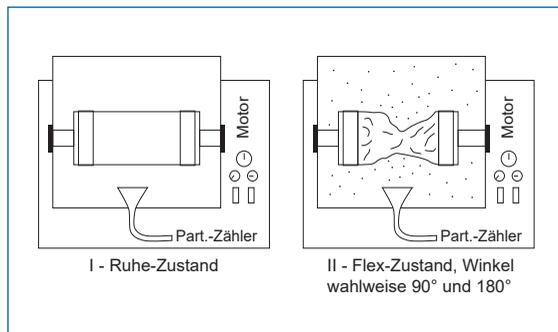


Abb. 4 Schema Flextester nach Gelbo in zwei Zuständen

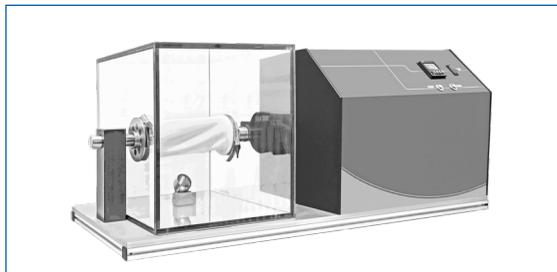
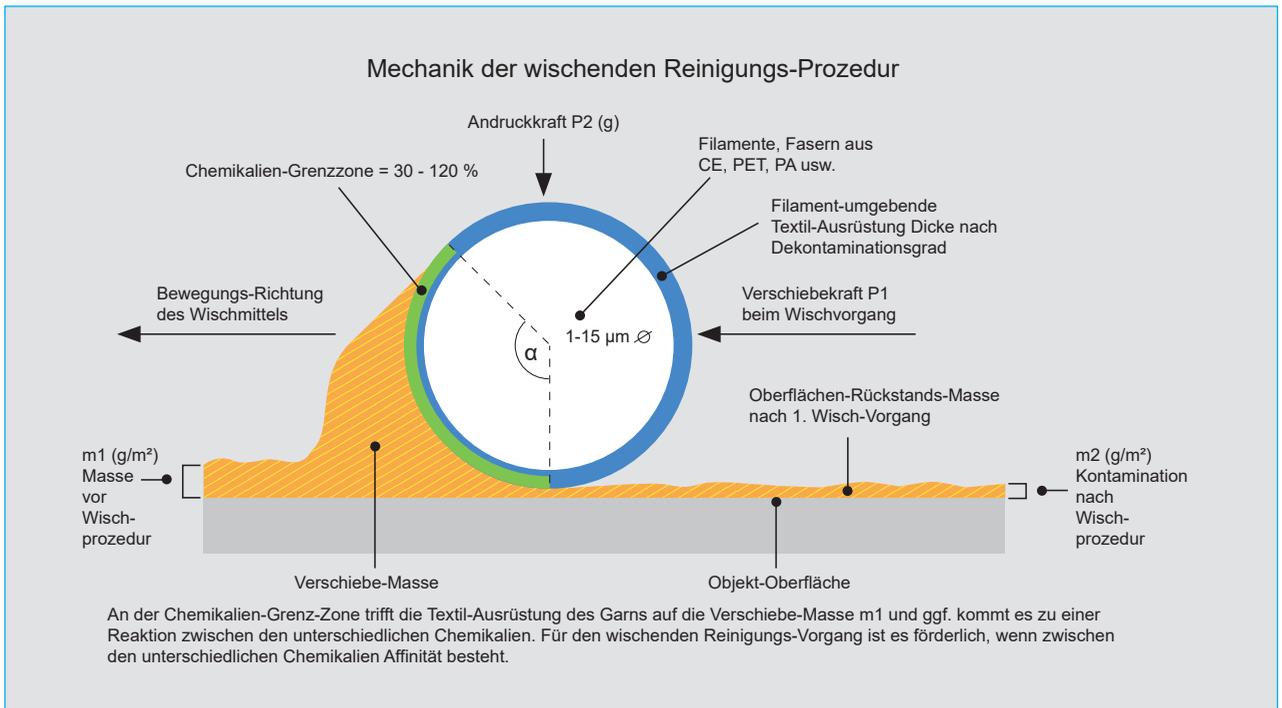


Abb. 5 Flextester nach Gelbo

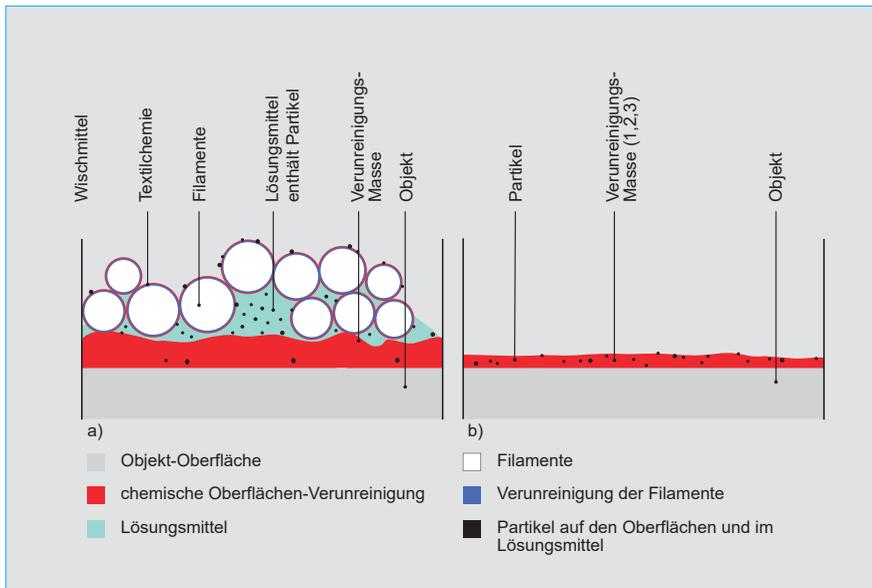
An anderer Stelle der ISO 14644-18 (siehe Tab. D4, Anhang D, Seite 47) wird auf die Norm ISO 9073-10 - Prüfverfahren für Vliesstoffe im Trockenzustand verwiesen, in der eines der so genannten *modifizierten Gelboflex-Verfahren* empfohlen ist [5]. Das Gerät hat sich, wie wir glauben, zu Unrecht einen gewissen Bekanntheitsgrad unter den Prüfgeräten für das Reinraum-Verbrauchsmaterial erobert. Prinzipiell handelt es sich um ein Prüfsystem, das selbst für die Prüfung von im Trockenzustand eingesetzten Reinigungstüchern nur bedingt geeignet ist. In Wahrheit werden HiTech-Reinigungstücher jedoch *nahezu niemals* 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 Flüssigkeit bzw. Spritzer wirksam wird und es daher kaum zu einer Partikel-generierenden Flächenreibung kommt. In Tabelle 1 wird eine Übersicht über die Tränkungs-Zustände von HiTech-Reinigungstüchern in der Abfolge ihrer Gebrauchszyklen gezeigt.

Im Rahmen einer angenommenen Gesamt-Gebrauchsdauer von 60 s für eine einzige Praxis-relevante Reinigungs-Applikation von HiTech-Reinigungstüchern beläuft sich deren *Expositionszeit im Trockenzustand* auf wenige Sekunden. Die Erfahrung lehrt, dass bei realistischer Durchführung des sog. *modifizierten Gelboflex-Test* nach ISO 9073-10 [5] (Partikelfreisetzung im Trockenzustand) unzureichende Partikelmengen entstehen. Daher werden viel zu lange Testzeiten gewählt, die dann als Prüfergebnis zu unrealistisch überhöhten Partikelmengen führen. Werden jedoch die Testzeiten der realen Gebrauchs-induzierten Partikelfreisetzung angepasst, so genühten bereits 2 oder 3 Geräte-Torsionen, um simulatorisch ausreichend zu sein. Dabei ist jedoch die Handhabungs-bedingte ungewollte Partikel-Freisetzung bei der Prüfungs-Vorbereitung größer als die Messungs-(Torsions-)bedingte, so dass große Standard-Abweichungen der Messwerte die Folge sind und sich das Ergebnis erfahrungsgemäß oft als unbrauchbar erweist. Eine Verbesserung der Prüftechnik wurde durch die Einführung von Magnethalteringen für die Prüflinge erreicht. Der fehlerhafte wissenschaftliche Prüf-Ansatz hingegen konnte dadurch nicht revidiert werden. Simulatorisch bestimmender Parameter für den wischenden Reinigungs-Vorgang ist die dabei auftretende Friktions-Kraft mit ihrem physikalischen Stress in Bezug auf den Prüfling. Dieser Parameter ist durch das Tordieren des Prüflings nicht realitätsnah simuliert.

Die Gelboflex-Methode gehört aus den o. a. Gründen nicht in den Reigen der Prüfmethoden, 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.



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



**Abb. 7** Schema: Schnittbilder einer verunreinigten Oberfläche während und nach einer wischenden Reinigungsprozedur, a) lösungsmittel-getränktes Reinigungstuch in Wechselwirkung mit der kontaminierten (rot) Objektsoberfläche, b) verringerte Verunreinigungs-Masse auf der Objektsoberfläche nach der wischenden Reinigungsprozedur.

zu Abb. 7:  
Nach einem oder mehreren Reinigungsprozessen gemäß Abb. 7 a) sind auf der Objektsoberfläche folgende Rest-Substanzen und Objekte, siehe Abb. 7 b)

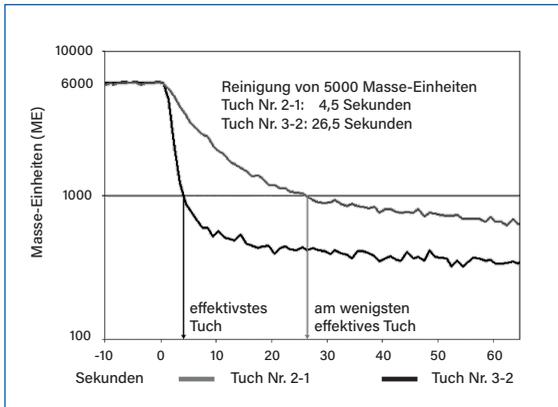
- 1 - Verunreinigungsmasse im Zustand b)
- 2 - filmische und partikuläre Verunreinigung von den Wischmittel-Filamenten
- 3 - partikuläre Verunreinigung aus Lösungsmittelresten

Es gibt einen endlichen Oberflächen-Verunreinigungs-Zustand, der sich durch fortgesetzte wischende Reinigungsprozeduren nicht weiter reduzieren lässt.

Seither waren - gleich Paley - Viele von uns der scheinbaren Simplizität der Methode spirituell erlegen - der Autor nicht ausgenommen. Ein außer-universitäres Automatisierungs-Institut bietet seit Langem sogar Eignungs-Zertifikate für HiTech-Reinigungstücher auf der Basis dieser Methode mit 5-jähriger Gültigkeitsdauer an (- einmal rein immer rein -) und ein deutscher omnipotenter Reinraum-Zubehör-Händler mit „auch Wischmittel-Affinität“ hat jüngst ein modisch ansprechendes Agitations-Gestell für die Prüfung trockener HiTech-Reinigungstücher vorgestellt, wengleich es die applikationsgemäß eben nur sehr selten gibt.

#### 4- Mikrofilamentgarn-Tücher

HiTech-Reinigungstücher mit der höchsten Fein- und Präzisions-Reinigungs-Effektivität sind aus Stoffen, die aus synthetischem Multifilamentgarn (PET, PA oder PP) gestrickt und ggf. aufwändig dekontaminiert sind. Multifilamentgarn wird in unterschiedlicher Anzahl an Filamenten und mit Durchmesser 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: *Mikrofaser-Tuch*).



**Abb. 8** Rotations-Wischsimulator Mk III (nach Labuda und Schöttle), Bandbreite der Reinigungs-Effektivität markt-gängiger HiTech-Reinigungstücher. Gegenüberstellung des Tuchs mit der höchsten (27 s) vs. geringsten spezifischen Reinigungszeit (4 s).

Je geringer der durchschnittliche Filament-Durchmesser eines Multifilament-Garns ist, desto größer ist die Garn-Oberfläche pro Volumeneinheit (siehe Abb. 3). Unter der Annahme homogener Partikel-Verteilung auf den Filament-Oberflächen steigt theoretisch also mit zunehmender Feinheit der Filamente die intrinsische Partikelbeladung im Volumen. Das bedeutet: Ein Polyesterstuch der Abmessungen 23 x 23 cm<sup>2</sup> und einer Masse von 10 g, das aus Garnen des Kreis-äquivalenten Filament-Durchmessers 10 µm gestrickt ist, hat eine deutlich geringere intrinsische Gesamt-Oberfläche als eines solchen aus Garnen von lediglich 5 µm Durchmesser.

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

1. umgebendes Medium (DIW oder DIW+IPA)
2. Materialfeuchte
3. Tensid-Ausrüstung
4. Verzahnungs-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 Partikelsamm-lung (extrahieren und zählen) nicht Erkenntnis-bildend sein, u. a. weil nach dieser Methode die gemessene Partikel-Anzahl-Konzentration vom Filament-Durchmesser des spezifizierten Garns abhängt. Das so ermittelte Ergebnis korreliert zudem keinesfalls mit dem aufschlussreichsten Reinheits-Kennwert

wischender Reinigungs-Prozeduren: *der Oberflächen-Reinheit* nach einem wischenden Reinigungs-Vorgang.

## 5- Prüfgeräte für die Partikelfreisetzung aus textilen Flächengebilden

Nachdem wir feststellen mussten, dass das 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 beim IEST beruhte, entschlossen wir uns zur eigenen Geräteentwicklung unter Leitung des erfahrenen Maschinenbau-Ingenieurs Klaus Schöttle. Mit ihm zusammen wurden dann eine ganze Reihe von Simulatoren entwickelt und vom DTNW in Krefeld, einem anuniversitären Textilforschungszentrum, bewertet. Diese sind heute bei uns einsatzbereit und unentbehrlich für unsere Wischmittel- und Reinheits-Forschung [9,14] (siehe auch Abs. 2 *Oberflächen-orientierte Partikel Messtechnik*). Die Tabelle Abs. 12 im Anhang A soll in Kurzform die Methodik verschiedener Prüfmethode und deren Simulationsansatz erläutern.

## 6- 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 zgedachten Gebrauchszweck. Dieser ist nicht Wischen, sondern Reinigen. Reinigungstätigkeit steht hier also im Zusammenhang mit HiTech-Fertigungs-Umfeld. Daher sollte die Produkt-Bezeichnung 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 Bezeichnungs-Unterschied 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.

## 7- Normungsethik

Normung technischer Produkte und Systeme ist von der Intention her dem Allgemeinwohl verpflichtet. Dadurch erhält sie - gleichbedeutend mit ihrer fachlichen - auch eine ethische Komponente. Seit dem Schadstoff-Betrug der Kfz.- Industrie wissen wir, dass wir Ingenieursethik wieder beleben müssen, insbesondere dann, wenn Umwelt-Probleme davon betroffen sind. Dies wirft ein Bündel berechtigter Fragen auf wie beispielsweise: 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 von Ausschuss-Mitgliedern vom freien Zugang zu den Normenausschüssen, selbst in einer Eigenschaft als korrespondierende Mitglieder (wie bei der Erarbeitung der ISO-Norm 14644-18 auch tatsächlich geschehen), ausschließen. Es wird so einer Cliquenbildung und potentiell einer Vorteilsnahme Vorschub geleistet. Es gibt aber auch zu denken, wenn sich in einem nationalen Normenausschuss Vertreter nahezu aller national bekannten Hersteller einer bestimmten Produkt-Gruppe finden, aber nicht ein Einziger von unabhängigen wissenschaftlichen Instituten oder Behörden.

Es ist zudem problematisch, wenn beispielsweise 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 dann 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].

Und noch eine Anmerkung: Bei der umfänglichen Literatur, die zum Thema Prüfmethode für HiTech-Reinigungstücher alleine mir aus der Feder geflossen ist, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der eine oder andere Normenentwickler um den fehlerhaften Ansatz in der Methode IEST-RP-CC-4.4 gewusst hat. Dennoch hat die Arbeitsgruppe 4 der IEST keine Änderung vorgesehen, sondern den Fehler von der Version 4.3 der Praxis-Empfehlung in die Version 4.4 fortgeschleppt. Auch diese Unterlassung fällt unseres Erachtens unter Normenethik.

## 8- Zusammenfassung

8.1 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-RP-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-Anzahl-Konzentration nach Flüssigkeits-Immersion).

8.2 Die aus Unbedacht in diese ISO-Norm übernommenen o. a. IEST-Prüfmethode beinhalten nahezu ausschließlich die Bestimmung der (intrinsischen) Volumen-Produktreinheit (Reinheitsparameter), während die eigentlich vom Anwender gewünschte Oberflächen-basierte *Reinigungsleistung* des Wischmittels (dynamischer Leistungsparameter) dort nicht adressiert ist.

8.3 Zwischen der Volumen-Reinheit eines HiTech-Reinigungstuchs (als Raumgebilde) und der Gebrauchs-bedingten Verunreinigung einer Objektoberfläche (als Flächengebilde) besteht keine z. Zt. bekannte Korrelation. Ein auf der Basis der IEST-Methode entstandenes Prüfergebnis ist für die Anwender nicht akzeptabel, weil irreführend, und kann zu fehlerhaften Produkt-Bewertungen und kostenträchtigen Fehl-Schlüssen führen (siehe Abs. *Auswirkungen von Normungs-Fehlern*, S. 9).

8.4 Es wurden daher vom Autor Vorschläge unterbreitet, mit welchen Prüfmethode und Instrumenten die Partikel-freisetzung 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.

## 9- Abschließende Empfehlungen 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 (beispielsweise in Deutschland: 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]). In den USA ist der international bekannte Technologe Dr. Kash Mittal einer der fundiertesten Fachleute für die Gebiete Oberflächen-Reinheit und Adhäsion. Er ist Herausgeber oder Mit-Herausgeber von über 200 Fachbüchern. Ihn für eine Revision zu gewinnen wäre ein großer Gewinn.

Das Problem der Volumen-Extraktion zur Herbeiführung eines Erkenntnis-Gewinns in Bezug auf die Oberflächen-Reinheit nach Wisch-Vorgängen betrifft auch die Themen NVR-Messungen und ionische Kontamination, welchen von den gleichen bedenkenswerten Normungsfehlern tangiert sind.

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, wenngleich 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.

## 10- 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 Textilforschungs-Zentrum 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-immernierten 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 Reinräumen*, DTNW Deutsches Textilforschungs-Zentrum Nord-West, Institut der Universität Duisburg, Juni 2002, E. Schollmeyer, T. Textor (9 Seiten)
- [15] *Partikel-Kontamination in Reinräumen erkennen und kontrollieren*, (Firmenschrift) Marcel Hopfe, PMT Partikel-Messtechnik GmbH - 71296 Heimsheim
- [16] *Tensid-induzierte Verformung von Flüssigphasengrenzen für die Herstellung mikroskopisch strukturierter Partikel* (Dissertation), Helena Marie vom Stein, Univ. Augsburg, Jan. 2023
- [17] *Aqueous Surfactant-Alcohol-Systems: A review*, R. Zana, Institut C. Sadron (CRM, CNRS), Strasbourg, France, *Advances in Colloid and Interface Science*, 57 (1995) 1-64, Elsevier Science B.V.

## 11- Glossar

Objektoberfläche	ein Objekt nach außen hin begrenzende Oberfläche. Beispiel: Fensterscheibe, Tischtennisball, optische Linse, auch extrinsische Oberfläche genannt.
HiTech-Wischmittel	Reinigungsmittel zur wischenden Aufnahme und Retention von Verunreinigungen in Reinnräumen und Reinen Bereichen.
HiTech-Reinigungstuch	textiles Flächengebilde zur Aufnahme und Retention von Verunreinigungen in Reinnräumen und Reinheits-kontrollierten Bereichen.
intrinsische Oberfläche	auch innere Oberfläche (in cm <sup>2</sup> ) genannt, Volumen-bezogene Oberfläche von Raumgebilden deren „innere Oberfläche“ in ihrer Flächenausdehnung die äußere Oberfläche übertrifft (Beispiele: Luft- und Flüssigkeitsfilter, Schaumstoffe, textile Gebilde, Erdboden).
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 Lösungskräfte.
Techniken des Reinen Arbeitens	alle industriellen und handwerklichen Tätigkeiten, die ausschließlich im Rahmen erhöhter Umgebungsreinheit durchgeführt werden müssen.

## 12- Tabelle der Prüfmethode und Geräte Anhang A

Normen, Methoden, Instrumentarium	Prüf-Ziel und Prüf-Ergebnis	Erläuterung der Simulation und Kritik
<b>IEST-RP-CC004.4</b> (Prüf-Hinweis in ISO 14644-18)	<b>gesuchter Kennwert</b> Partikel-Konzentration pro Flächen-Einheit einer Prüfoberfläche  <b>die falsche Methode</b> Partikel-Anzahl-Konzentration in einer Prüf-Flüssigkeit	<b>Partikel-Extraktion</b> durch Tauchen und Bewegen des Prüflings (Tuchabschnitt) im DI-Wasser-Bad. Darin befindliche Partikel werden gesammelt, gezählt und klassifiziert.  <b>Kritik</b> 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.
<b>ISO 9073-10</b> (Prüf-Hinweis in ISO 14644-18)	<b>gesuchter Kennwert</b> Partikelkonzentration pro Flächen-Einheit einer Prüfoberfläche  <b>die falsche Methode</b> Partikelkonzentration in der Luftpartikel-Wolke einer Agitations-Umgebung	<b>Torsions-Belastung</b> HiTech-Reinigungstücher 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.  <b>Kritik 1</b> 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).  <b>Kritik 2</b> Die Prüfbelastung des HiTech-Reinigungstuchs wird aus Gründen einer eindrucksvolleren Statistik im Vergleich zur Gebrauchs-Belastung oft zu hoch gewählt (Simulationsfehler).
<b>C&amp;C-Methode W-PF-LWS</b> Linear-Wischsimulator Typ MK I oder MK II - nach Labuda/Schöttle	<b>gesuchter Kennwert</b> Reinigungsleistung von HiTech-Reinigungstüchern  <b>gemessener Kennwert</b> Reinigungsleistung von HiTech-Reinigungstüchern	<b>Partikelfreisetzung durch Materialabrieb</b> Der Prüfling (Reinigungstuch-Abschnitt) wird entsprechend der reproduzierbaren Parameter (Geschwindigkeit, Prüfgewicht, Prüffläche) linear über eine reine, alternativ eine definiert verunreinigte Objektfläche bewegt. Der Verunreinigungs-Grad wird vor und nach dem Wisch-Vorgang analytisch bestimmt.  <b>Lösungsansatz</b> Sowohl die Reinigungsleistung als auch der Materialabrieb von HiTech-Reinigungstüchern für partikuläre und filmische Verunreinigungen können so unter realitätsnahen Bedingungen simuliert werden.
<b>C&amp;C-Methode W-PF-RWS</b> Rotations-Wischsimulator nach Labuda/Schöttle	<b>gesuchter Kennwert</b> Anzahl der bei einer Wischprozedur freigesetzten Partikel  <b>gemessener Kennwert</b> Anzahl im Rahmen einer Wisch-prozedur freigesetzten Partikel	<b>Partikelabrieb</b> 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).  <b>Lösungsansatz</b> Nach dieser Methode wird die Anzahl freigesetzter Partikel simuliert, die beim wischenden Reinigen von einem feuchten Reinigungstuch auf eine Prüfoberfläche übertragen werden.
<b>C&amp;C-Methode W-FA</b> Rotations-Wischsimulator nach Labuda/Schöttle	<b>Leistungs-Parameter</b> Max. Reinigungsleistung pro Zeiteinheit von HiTech-Reinigungstüchern  <b>gemessener Kennwert</b> durch eine Wischprozedur entfernte Verunreinigungsmasse tot. und pro Zeiteinheit	<b>Verunreinigungs-Abtrag</b> 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 geringer werdende Masse des Ölfilms wird durch Laserfluoreszenz-Messung bestimmt.  <b>Lösungsansatz</b> Der Verunreinigungs-Abtrag durch div. Wischmittel für z. B. dünne Ölfilme kann in Masse-Einheiten pro Zeiteinheit bestimmt werden.

W= Wischprozedur PF= Partikelfreisetzung LWS= Lineare-Wischsimulation RWS=Rotative Wischsimulation  
RFA= Rotativer Filmabtrag