

Abb. 1 Linear-Wischsimulator Mk I nach Labuda zur Messung der Reinigungs-Effektivität von Präzisions-Reinigungstüchern

Win Labuda

Die Bewertung des Rein- raum-Verbrauchsmaterials

Clear & Clean - Forschungslabor
überarbeitete Ausgabe 5-2020

Die weltweit angebotenen Reinigungs-tücher für Reinraum-Einsatz variieren erheblich in ihrer Leistungsfähigkeit [Lit. 1]. Fünfzehn geprüfte Tücher unterschiedlicher Hersteller und Typen zeigten Unterschiede in ihrer Reinigungs-Effektivität zwischen 15 und 75 % Masseabtrag pro linearem Weg (400 mm). Der Zeitaufwand für die meisten Reinigungsprozeduren ist u. a. direkt abhängig von der Reinigungs-Effektivität der eingesetzten Tücher. Bei den Arbeitsplatzkosten von z. B. ca. € 0,80 pro Minute in der europäischen Halbleiterindustrie verursacht der Einsatz von Reinigungstüchern vergleichsweise geringer Leistungsfähigkeit bei mittleren und großen Anwendern alarmierende Mehrkosten im Bereich von bis zu € 100.000,- p. a.

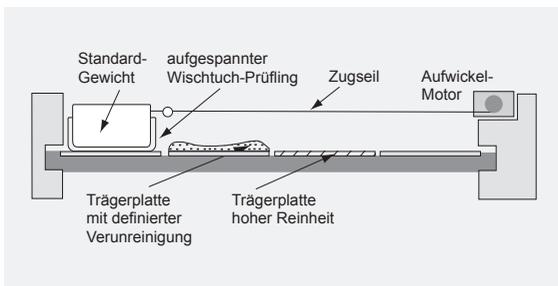


Abb. 2 Linear-Wischsimulator Mk I nach Labuda zur Messung der Reinigungs-Effektivität von Präzisions-Reinigungstüchern (Schema-Zeichnung)

Die Entwicklung vergleichender Prüfmethode für die Leistungsfähigkeit von HiTech-Reinigungstüchern ist daher eine vordringliche Aufgabe der Reintechnik. Im Clear & Clean-Forschungslabor wird daran eifrig gearbeitet. Zwei von drei entwickelten Prüfmethode einschl. Instrumentarium sind bereits anwendbar. Die Auswahl von HiTech-Reinigungstüchern sollte aus den o. g. Gründen nach ihren Gebrauchskosten und nicht nach ihren Materialkosten erfolgen. Eine Formel zur Errechnung der Gebrauchskosten wird nachstehend aufgeführt und Fallbeispiele erhellen den Zusammenhang von z. B. Reinigungszeit mit unterschiedlichen Tüchern und den daraus resultierenden Gebrauchskosten. Der Ansatz der Verbrauchsmaterial-Bewertung nach der Gebrauchskosten-Rechnung eignet sich auch für andere Verbrauchsprodukte, welche bisher ohne genaue Kenntnis ihrer Gebrauchskosten eingesetzt werden.

Kostenarten und Zusammenhänge

Jedes industrielle Verbrauchsprodukt, dessen bestimmungsgemäßer Einsatz wesentlich mit einer Handhabung einhergeht, läßt sich zumindest nach zwei möglichen Kostenkriterien bewerten: nach den Materialkosten und den Kosten seiner Handhabung. Diese Erkenntnis wird vom Anwender jedoch in vielen Fällen nicht zur Grundlage einer optimalen Produktauswahl gemacht. Das Argument für einen vorteilhaft erscheinenden Einkaufspreis bestimmt die Produktauswahl insbesondere dann, wenn die Bestimmungshoheit zwischen Einkaufsseite und Produktion nicht ausreichend balanciert ist. Diese Materialkosten-basierte Denkweise wird durch die Tatsache begünstigt, dass zum Zeitpunkt einer Produktauswahl die Zeitkosten seiner Handhabung zumeist noch nicht bekannt sind. Ist die Entscheidung für ein bestimmtes Produkt jedoch einmal gefallen, so bleibt es zumeist für einen längeren Zeitraum dabei, weil mehrere kurzfristig durchgeführte Produktwechsel in einem Unternehmen kritisch betrachtet werden. Der vorliegende Aufsatz weist am Beispiel der Produktgruppe Präzisions-Reinigungstücher auf Bewertungsfehler und erhebliche Mehrkosten hin, welche sich oftmals aus dieser Art der Entscheidungsfindung ergeben.

Reinigungstücher als Produktionsmittel

Präzisions-Reinigungstücher sind Produktionsmittel zur Erzeugung von Oberflächenreinheit. Sie werden im Rahmen von Reinigungsprozeduren der HiTech-Industrien eingesetzt. Der Begriff Präzision bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich mit dem Tuch auch geringgradige Verunreinigungen sicher und gleichmäßig entfernen lassen und nicht etwa aus dem Tuch freigesetzte Stoffe die funktionale Reinheit der Oberfläche beeinträchtigen könnten. Reinigungsprozeduren mit Tüchereinsatz sind unterschiedlich zeitaufwendig. Sie dauern zwischen 40 Sekunden und einigen Minuten. Der Zeitaufwand für eine Reinigungsprozedur ist wesentlich abhängig

- von der Reinigungs-Effektivität der benutzten Reinigungstuch-Lösungsmittel-Kombination
und
- vom Trainingszustand der ausführenden Personen.

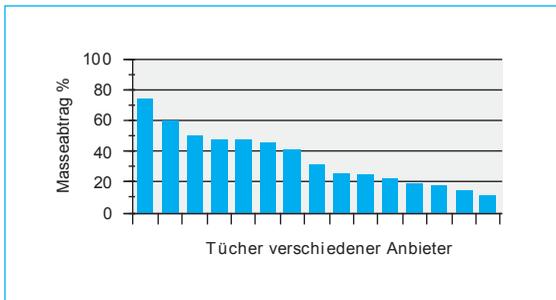


Abb. 3 Reinigungs-Effektivität von Reinigungstüchern für Reinraum-Einsatz (dünn-schichtige Partikel-Fett-Gemische)

Die einzig sinnvolle Bewertung von Präzisions-Reinigungstüchern erfolgt daher nach ihren Gebrauchskosten und nicht nach ihren Materialkosten. Die Gebrauchskosten ergeben sich aus den Materialkosten zuzügl. der Kosten des Zeitaufwands für eine Reinigungsprozedur. Am Beispiel Präzisions-Reinigungstücher läßt sich sehr gut darstellen, dass die Materialkosten (der Einkaufspreis) einzelner Verbrauchsmaterialien keine sinnvolle Bewertungskategorie sind, wenn sie nicht im Zusammenhang mit dem Zeitverbrauch gesehen werden, welcher bei dem ausgewählten Produkt mit der Durchführung der ihm zugeordneten Funktion einhergeht. Es ergibt sich, dass einkäuferischer Erfolg z.B. im Rahmen eines Produktwechsels durch Senkung der Materialkosten (welche leicht darstellbar sind) eine überproportionale Erhöhung der Fertigungskosten nach sich ziehen kann (welche der betreffenden Materialänderung zumeist nicht mehr zugeordnet werden). Als Lösung werden daher vorgeschlagen:

- Einführung einer prozessorientierten Produktbetrachtung von Verbrauchsmaterialien beim Anwender
und
- Einführung von Prüfmethode und Instrumentarium, welche die zeitlichen Aspekte der Produktanwendung und Entwicklung eines geeigneten Instrumentariums einschließen.

Die Gebrauchskosten von Reinigungstüchern ergeben sich aus:

$$GK = MK + (AK \times ZA)$$

GK = Gebrauchskosten

MK = Materialkosten

AK = Arbeitsplatzkosten / min

ZA = Zeitaufwand in min

Die Arbeitsplatzkosten ergeben sich aus den laufenden Betriebskosten eines Unternehmens einschl. der Abschreibungen dividiert durch die Anzahl der Mitarbeiter. Sie können gesamtbetrieblich oder abteilungsspezifisch errechnet werden.

Die Reinigungs-Gesamtkosten (RGK) addieren sich wiederum aus den

GK - Gebrauchskosten der Reinigungstücher

zuzüglich der

RBK - Reinigungs-Begleitkosten.

Das sind Kosten, welche mit dem Einsatz von Reinigungstüchern mittelbar verbunden sind. Sie bestehen aus den folgenden Einzelposten:

Bereitstellungskosten (BK)

Hol- und Bringkosten (HBK)

Kosten des Entnahme-Überschusses (KE)

Entsorgungskosten (ESK)

Die Reinigungs-Gesamtkosten (RGK) für Reinigungs-Prozeduren mit Einsatz von Reinigungstüchern lassen sich dann wie folgt errechnen:

$$\mathbf{RGK = MK + (AK \times ZA) + (BK + HBK + KE + ESK)}$$

RGK = Reinigungsgesamtkosten

MK = Materialkosten

AK = Arbeitsplatzkosten

ZA = Zeitaufwand

BK = Bereitstellungskosten

HBK = Hol- und Bringkosten

KE = Kosten des Entnahme-Überschusses

ESK = Entsorgungskosten

Erkenntnisse aus der Kostenstruktur

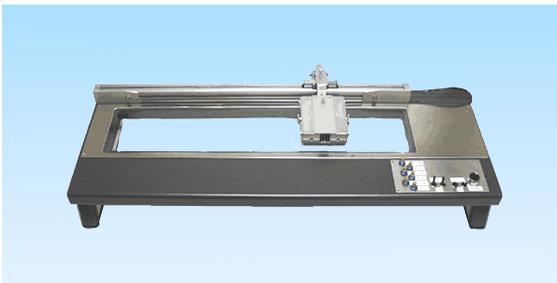


Abb. 4 Linear-Wischsimulator Mk II nach Labuda zur Messung des Flüssigkeitsrückstands

Aus den bisherigen Ausführungen lassen sich die folgenden Erkenntnisse ableiten:

- Jeder wischende Reinigungsvorgang verursacht eine Reihe von Reinigungsbegleitkosten RBK, welche in ihrer Höhe die Materialkosten MK bei weitem übersteigen können.
- Die Materialkosten MK von Reinigungstüchern können erheblich geringer sein als die Kosten des Zeitaufwands ZA, der mit ihrem Einsatz verbunden ist oder als die Reinigungs-Begleitkosten RBK.
- Je höher die Arbeitsplatzkosten in einem Betrieb sind, desto mehr erhöht der Zeitaufwand ZA die Gebrauchskosten GK von Reinigungstüchern. Daraus folgt wiederum, dass die Reinigungs-Effektivität von Reinigungstüchern in Hochlohn-

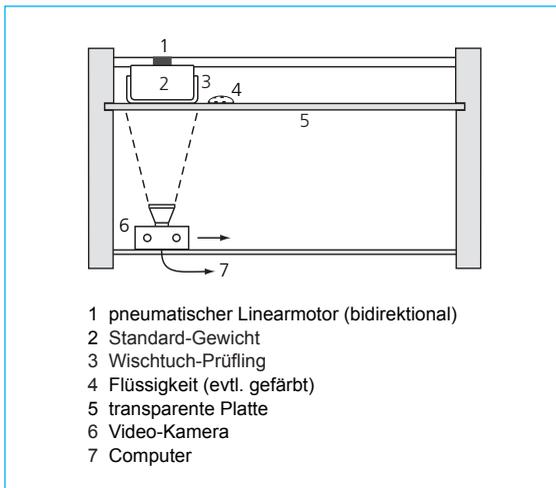


Abb. 5 Linear-Wischsimulator Mk II nach Labuda zur Bestimmung des Flüssigkeitsrückstandes nach feuchtem Reinigungsvorgang (Schema-Zeichnung)

Erarbeitung von Bewertungsmethoden



Abb. 6 Flüssigkeitsrückstand nach einem Wischvorgang bei Reinigungstüchern verschiedener Anbieter

Ländern höher sein muss als in Niedriglohn-Ländern, um ein vergleichbares Gebrauchskosten-Niveau zu erzielen.

- Mit zunehmenden Arbeitsplatzkosten erhöht sich auch der Bedarf an Reinigungstüchern mit geringerem Zeitbedarf für die Reinigungsprozeduren, also mit höherer Reinigungs-Effektivität.
- Die Auswahlkompetenz für anwendungsgerechte Reinigungstücher und so auch die Bestimmungshoheit verlagert sich notwendigerweise vom Facharbeiter zum Ingenieur mit Refa-Ausbildung.
- Der Anwender hat einen Bedarf an vergleichenden Bewertungsmethoden und Geräten, mit welchen sich der unterschiedliche Zeitaufwand für die Durchführung einer „Standard“-Reinigungsprozedur an einer Vielzahl von Reinigungstüchern messen und darstellen lässt. Je direkter diese Methoden einen Reinigungsvorgang simulieren, desto höher ist das Vertrauen darin. Die Einführung einer solchen Standard-Prüfmethode könnte z.B. für unterschiedliche Verunreinigungsstandards erfolgen.
- Die Zusammenarbeit mit ortsnahen Tücherherstellern, welche eine Beratungskompetenz (in der betreffenden Landessprache) haben, wird interessanter, um die Anpassung der optimierten Reinigungs-Effektivität der Tücher an die Erfordernisse der anwenderspezifischen Reinigungsprozeduren sicherzustellen.

Die Erkenntnisse, die sich aus der o. a. Kostenstruktur ergeben, ließen sich dann leichter in die Praxis umsetzen, wenn es eine zuverlässige Prüfmethode gäbe, mit deren Hilfe sich der Zeitaufwand für eine Auswahl an Reinigungstüchern auf der Basis ausgewählter Standard-Verunreiniger vergleichbar darstellen ließe. Dazu müssen die Verunreiniger bekannt sein, welche es zu beseitigen gilt.

Der mengenmäßig höchste Bedarf an Präzisions-Reinigungstüchern besteht zur Zeit in der Halbleiter-Industrie. Normalerweise lassen sich die Verunreinigungen in den Reinräumen der Halbleiter-Industrie einer oder mehrerer der folgenden Stoffgruppen zuordnen:

- DI-Wasser-Lachen und/oder Tropfen
- Fettschichten-Partikel-Gemische
- Rückstände aus dem Plasma-Ätz-Verfahren
- Ätzresist-Rückstände

Für diese Verunreiniger muss die Prüfmethode geeignet sein.

Bereits existierende Prüfmethoden

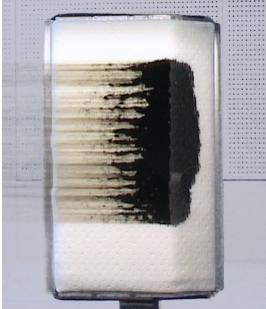


Abb. 7



Abb. 8

Für die Reinigungs-Effektivität von Reinigungstüchern bei einem vorbestimmten Wischweg wurden vom Autor für Flüssigkeitsreste einerseits und für dünne Fettschichten andererseits entsprechende Prüfmethode einschl. Instrumentariums entwickelt und vorgestellt:

- Linear-Wischsimulator Mk I nach Labuda zur Messung der Reinigungs-Effektivität für dünne Fettschichten von Präzisions-Reinigungstüchern (Abb. 1 und 2).
- Linear-Wischsimulator Mk II nach Labuda zur Bestimmung des Flüssigkeitsrückstandes nach feuchten Reinigungsvorgängen (Abb. 4, 5, 7 und 8).

Diese beziehen sich jedoch auf den Masseabtrag pro festgelegtem Weg. Das Ergebnis dabei ist Masseabtrag in % der aufgetragenen Verunreinigungsmenge für die Reinigungs-Effektivitäts-Prüfung und Masserückstand nach erfolgtem Reinigungsvorgang für die Erfassung des Flüssigkeitsrückstands. Die Ergebnisse dieser Prüfungen lassen eine mittelbare Bewertung der Gebrauchsgüte von Präzisions-Reinigungstüchern ohne Weiteres zu.

Aus der beachtlichen Differenz der erhaltenen Meßergebnisse für die Leistungsmerkmale Reinigungs-Effektivität und Flüssigkeitsrückstand, wie sie aus Abb. 3 und 6 ersichtlich sind, läßt sich bereits erkennen, dass es unter den angebotenen Tüchern viele mit geringer Reinigungs-Effektivität gibt. Im Rahmen der Prüfungen wurden ausschließlich Präzisions-Reinigungstücher mehrerer bekannter amerikanischer Marken-Hersteller und drei Tücher eines deutschen Herstellers geprüft.

Noch deutlicher als durch die Diagramme gekennzeichnet, läßt sich die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Tücher verschiedener Anbieter anhand der Schlierenbilder aus Abb. 7 und 8 darstellen. Dabei handelt es sich um den Vorgang des „Wegwischens“ einer schwarz gefärbten Tintenlache von 2,5 ml auf einer Glasoberfläche. Die Dynamik der Tintenverteilung im Tuch und die resultierende Schlierenbildung (Flüssigkeitsrückstand) wird während des Wischvorgangs mit Hilfe einer Videokamera von unterhalb der Glasplatte gefilmt. Hier wird deutlich, dass bei dem Tuch der Abb. 7 kaum eine Aufnahme der Verunreinigung stattfindet, sondern lediglich eine Verteilung derselben, während das Tuch der Abb. 8 beim Wischvorgang die gesamte Verunreinigung schlierenfrei von der Oberfläche entfernt hat. Man kann daraus auch bereits auf unterschiedlichen Zeitbedarf für die Reinigungsprozeduren und auf einen unterschiedlich hohen Tücherbedarf schließen.

Was der Anwender in Wahrheit genauer erfahren möchte, ist jedoch die Reinigungszeit, welche unter vorgegebenen Prüfbedingungen vergeht, bis ein bestimmtes Maß an Oberflächenreinheit erreicht ist.

Die Kosten von Fehlentscheidungen bei der Tücherauswahl

Fallbeispiel 1

Zur Lösung dieser Aufgabe bedarf es einer speziellen Prüfeinrichtung, welche zur Zeit entwickelt wird.

Anhand einiger Fallbeispiele aus der Praxis sollen die Kosten von Fehlentscheidungen bei der Produktauswahl aufgezeigt werden.

Bedarf: 500.000 Reinigungstücher pro Jahr

Lieferant 1
Bezugspreis: € 0,45 / Stück

Lieferant 2
Bezugspreis: € 0,11 / Stück

Die Reinigungstücher weisen bei der visuellen und haptischen Bewertung scheinbar keine markanten Unterschiede auf. Eine Anwenderprüfung im Werk wird anhand von 20 Mustern von einem Vorarbeiter durchgeführt. Der Vorarbeiter stellt fest: Das Tuch 2 reinigt genauso gut wie das Tuch 1.

Naturgemäß bestellt der Einkäufer fortan das Tuch von Lieferant 2. Er kann eine markante Kostensenkung von 75 % = € 170.000 Einsparung pro Jahr verbuchen und erhält dafür entsprechendes Lob. Der bisherige Lieferant 1 wird mit einem Negativ-Image belegt, weil sein Produkt offenbar viel zu teuer war. In der Fertigung funktioniert das neue Produkt ohne Beanstandungen.

Nach drei Jahren werden in einer turnusmäßigen Zeitstudie die Reinigungsarbeiten neu bewertet. Im Vergleich stellt sich heraus: Bei vergleichbaren Bedingungen dauert die Reinigungsprozedur mit dem neuen Tuch über 100 Tücher gemittelt nur unwesentlich länger: Anstelle von 2 Minuten und 9 Sekunden brauchen die Mitarbeiter durchschnittlich 2 Minuten und 58 Sekunden. Die Arbeitsplatzkosten betragen in dem Bereich des Unternehmens € 1,03 / min.

Nach der vergleichenden Gebrauchskostenrechnung ergibt sich folgende Bewertung:

$$\begin{aligned} \text{GK} &= (\text{MK1} - \text{MK2}) - [(\text{AZ1} - \text{AZ2}) \times \text{AK} : 60] = \\ &= (0,45 - 0,11) - [(129 - 178) \times 1,03 : 60] = \\ &= 0,34 - 49 \times 0,0172 = € 0,503 \end{aligned}$$

AK = Arbeitsplatzkosten
GK = Gebrauchskosten
MK1 = Materialkosten von Tuch 1
MK2 = Materialkosten von Tuch 2
AZ 1 = Arbeitszeit mit Tuch 1
AZ2 = Arbeitszeit mit Tuch 2

Während der (trügerische) Einkaufserfolg zunächst € 170.000 / Jahr betrug, ergibt sich nun bei der Einsatzzeit-orientierten Produktbetrachtung ein vergleichsweise Verlust von € 251.500 / Jahr durch den Einsatz des preisgünstigen Tuchs. Diese Kostensteigerung wird jedoch beim Einkauf nicht einmal erkannt. Sie erhöht zumeist unerkannt die Rubrik „Fertigungskosten“. Ohne Zeit-Kontrolle wäre der Vorgang nie aufgefallen. Wo liegen die Fehler:

1. *beim Einkäufer*: unterschwellige Annahme, dass ein „low-Image-Produkt“ wie Reinigungstücher keine markanten Qualitätsunterschiede haben kann

2. *beim Facharbeiter*: beeindruckt durch den „ähnlichen“ Reinigungserfolg, Außerachtlassung der genauen, statistisch basierten Zeitaspekte beim Reinigungsvorgang und daher vor-schnelle Freigabe des Produkts zum Einsatz

3. *Qualifizierungsproblem*: Die Auswahl von Präzisions-Reinigungstüchern soll von einschlägig ausgebildetem Personal erfolgen.

4. *Materialpreis-Fixierung*

Fallbeispiel 2 – Mehrfach-Entnahmen

Bedarf: 800.000 Standard-Reinraumbtücher pro Jahr

Lieferant 1

Bezugspreis: € 0,048 / Stück

Verpackung: flachgelegte Tücher in PE-Tüte verpackt

Lieferant 2

Bezugspreis: € 0,090 / Stück

Verpackung: Spender für Einzeltuch-Entnahme im Interfalz-System

Der Anwender entscheidet wegen des deutlich geringeren Bezugspreises für Lieferant 1. Die später durchgeführte Kostenrechnung ergibt folgendes Bild:

Bei einer Studie des Produkteinsatzes stellt sich heraus, dass die Entnahme der Tücher aus der Verpackung Probleme bereitet. Weil die Tücher in der Verpackung flach übereinander gestapelt sind, haften sie relativ stark aneinander. So geschieht es leicht, dass unbemerkt mehrere Tücher gleichzeitig entnommen werden. Die Tücher sind beim Entnahmevorgang nicht sichtbar, denn die Hand befindet sich während der Entnahme im gestreckten Zustand in der Polyethylen-Verpackung.

Probeweise wurden insgesamt 200 Tücher aus zwei Verpackungen à 100 Stück entnommen. Die entnommenen Mengen wurden nach jeder Entnahme registriert. Dies führte zu folgendem Ergebnis:

28 Einfach-Entnahmen
62 Doppel-Entnahmen
16 Dreifach-Entnahmen

Von 200 Tüchern wurden also nur 106 Tücher (53 %) anwendungsgemäß genutzt. Der Rest wurde unnötig mitbenutzt. Im Vergleich zur spendergebundenen Einzeltuch-Entnahme ergibt sich folgender Effektivnutzen der (viel teureren) Spender-Tücher:

$800.000 \times 0,048 : (1 - 0,53) = \text{€ } 81.702,13$
für die Flatpack-Tücher des Lieferanten 1

$800.000 \times 0,090 : 1 = \text{€ } 72.000,-$
für die Spender-Tücher des Lieferanten 2

Durch Einsatz der fast doppelt so teuren Spender-Tücher würde eine Ersparnis von 11,9 % erzielt, entsprechend € 9.702,13,-.

Fallbeispiel 3 - Stillstandskosten

Beim Plasma-Ätz-Prozess im Rahmen der Halbleiterfertigung bilden sich in den Ätzkammern schichtförmige Verunreinigungen, welche im Rahmen turnusmäßiger Instandhaltungsarbeiten etwa monatlich beseitigt werden müssen. Zur Durchführung dieser Arbeiten muss die Anlage einige Stunden lang außer Betrieb gesetzt werden. Für die Reinigungsarbeiten werden Präzisions-Reinigungstücher eingesetzt. Es darf angenommen werden, dass die Qualität der Präzisions-Reinigungstücher die Dauer der Außerbetriebnahme der Anlagen direkt beeinflusst. Diese Annahme bedarf jedoch einer Sicherstellung im Rahmen einer gezielten Untersuchung (z. B. Diplomarbeit) in Zusammenarbeit mit erfahrenen Instandhaltern.

Wenn eine solche Anlage (Kosten ca. 1 Mio. €) außer Betrieb gesetzt ist, so werden für den Zeitraum der Außerbetriebnahme keine Teile auf derselben gefertigt. Das bedeutet, in dieser Zeit können auf der Basis dieser Anlage keine Produkturnsätze, somit auch keine Erlös- (Umsatz-)beiträge oder Unternehmensgewinne realisiert werden. Der Erlösbeitrag einer solchen Anlage liegt dem Vernehmen nach in Zeiten hoher Auslastung zwischen 2000 und 10.000 € / Stunde. Jede Minute, welche eine solche Anlage aufgrund effizienterer Reinigungstücher eher einsatzbereit ist, erhöht den Erlösbeitrag also um 33 bis 165 €. Bei einem Bestand von 80 solcher Anlagen in einem Halbleiterwerk und 12 Reinigungsprozeduren pro Jahr ergibt sich pro Minute Zeitersparnis ein erhöhter Erlösbeitrag von

$33 \times 80 \times 12 = 30.680 \text{ € min. pro ersparter Minute und Jahr}$
bis zu

$165 \times 80 \times 12 = 158.400 \text{ € max. pro ersparter Minute und Jahr}$

Voraussetzung für diese Verbesserung bei der Wertschöpfung ist, dass vom Instandhaltungs-Management die realisierten Zeitgewinne auch in die Zeitvorgaben für die Instandhalter aufgenommen werden.

Literatur

[1] Labuda, W. „Zeitbedarf und Oberflächenreinheit bei wischenden Reinigungsprozeduren“, Clear & Clean-Schriften, 2009, Lübeck