

Null Toleranz für Partikel

Partikel, Keime und elektrostatische Aufladung bedeuten eine große Herausforderung bei der Produktion von Mikrostrukturen. Von Raum-in-Raum-Lösungen bis hin zum **REINRAUM** ist vieles möglich. Bei der Umsetzung gilt: so viel wie nötig, so wenig wie möglich.



Bild 1. Die Auslegung eines Reinraums hängt davon ab, wie empfindlich der Prozess ist, der vor Partikeln oder Keimen geschützt werden soll

GERNOD DITTEL

Reinheit ist harte Arbeit. Denn in der Umgebungsluft wimmelt es von Staub-, Schmutz- und sonstigen Partikeln sowie Aerosolen in fester wie auch in flüssiger Form. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Ruß, Rauch, Feinstaub, Bakterien, Viren, Keime oder Pollen. Ebenso befinden sich in unserer Umgebung permanent Gase, zum Beispiel Stickoxide oder Schwefeldioxid. Hinzu kommen elektromagnetische Strahlungen wie Funk-, Mobiltelefon- und sonstige Strahlen. All diese Partikel, chemischen Substanzen und Ladungen sind natürlich auch in Fertigungsbereichen anzutreffen – dort häufig sogar in erhöhtem Maße.

Wo durch Maschinenabrieb, Schmier- und Kühlöle, Säure- und Laugenbecken ohnehin massenhaft Störstoffe emittiert werden, fällt zunächst kaum ins Gewicht, dass auch die Mitarbeiter selbst unglaubliche Mengen an Haaren, Schuppen, Hautresten oder Wassertröpfchen absondern. Auch diese wirken sich – ist das Produkt oder der Produktionsprozess nur empfindlich genug – in fataler Weise aus. Die Strukturweite einer elektronischen Leiterbahn auf einem heute üblichen Mikrochip beträgt rund 250 nm. Ein Haar ist 300-mal so dick. Ein solcher Balken, über die

Leiterbahnen gelegt, würde den Chip unbrauchbar machen. Es gibt also gute Gründe, warum nicht nur Köche Hauben tragen, sondern auch Arbeitskräfte im Reinraum. Um den Mikrochip in Ausschuss zu verwandeln, genügt sogar schon ein Partikel in der Größe von einem Zehntel der Strukturweite, also mit einem Durchmesser von 25 nm.

Miniaturisierung fordert anspruchsvolle Reinraumtechnik

Die immer weiter fortschreitende Miniaturisierung von Oberflächen- und Schaltstrukturen in der Mikroelektronik setzt eine noch gründlichere Reinraum-

> KONTAKT

AIT – Adriatic Institute of Technology

I-60131 Ancona, AN
Tel. +39 71 2866-072
info@ait-institute.com
www.ait-institute.com

Dittel Engineering

82444 Schlehndorf
Tel. +49 8851 61590-0
info@dittel-ce.de
<http://dittel-engineering.de>



Bild 2. Ob eine kleine Reinraumzone oder ein kompletter Reinraum notwendig ist, sollte sorgfältig geprüft werden



Bild 3. Keine Lösung von der Stange: Besonderheiten von Produktionsabläufen und -prozessen müssen berücksichtigt werden

technik voraus: Heute werden Mikrochips bereits mit Strukturen unter 180 nm Breite bis hinab zu 32 nm gefertigt. Das liegt weit unter der Wellenlänge des Lichts. Um so exakt in wirtschaftlicher Weise fertigen zu können, darf kein Partikel dazwischenkommen. Die Produktionsbedingungen kommen dem Anspruch von null Toleranz nahe – und das bei der Arbeit in einem Bereich der Kristallgitter in den obersten 1000 Atomlagen. Abweichungen in der Chipstruktur sind nur in einer Größe von eins zu zehn Milliarden erlaubt. Das entspräche einem winzigen Schlagloch von einem Zehntel Millimeter Tiefe auf einer Strecke von Rosenheim bis Kiel.

Unsichtbare Probleme

Nicht zu sehen sind die elektrostatischen Aufladungen, die innerhalb von Reinräumen ebenso sorgfältig vermieden werden müssen wie Partikel oder Keime. Das Phänomen der Entladung, das sich im Alltag häufig beim Griff zur Türklinke nach dem Überqueren

eines Teppichs zeigt, ist im Reinraum ein großes Problem. Während Menschen erst Aufladungen ab einer Größe von rund 2000 Volt Entladespannung spüren, können kleine Strukturen in der Mikroelektronik bereits bei Entladungen von einigen 10 Volt zerstört oder geschädigt werden. Zudem steigt mit der Aufladung auch die Anziehungskraft für Partikel – zu besichtigen zum Beispiel am ewig schmutzigen Fernsehbildschirm. Eine Verstärkung kritischer Partikel-Depositionen ist bereits bei Aufladungen von 50 bis 100 Volt nachweisbar. Die qualitätsmindernden Auswirkungen der Elektrostatik insbesondere in der Mikrostrukturfertigung sind daher schon bei der Planung von Fertigungsstätten zu beachten, indem statische Elektrizität der jeweiligen Atmosphäre eliminiert wird. Maßnahmen dazu sind die Erdung der betroffenen Gegenstände, die Verwendung von antistatischen oder statisch ableitenden Materialien sowie die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit, mal mit einem einfachen Befeuchter, mal mit der kostspieligen

Bild 4. Die Umsetzung eines kompletten Reinraums braucht Zeit, Unternehmen sollten diesen Faktor in die Planung einbeziehen



Klimaanlage. Denn ist die Luft feucht, verteilen sich die Elektronen besser auf den jeweiligen Raum.

Kosten steigen mit der Reinraumklasse

Welche Reinraumklasse nötig ist, hängt vom Produkt ab. Je nachdem, wie empfindlich der Prozess ist, der vor Partikeln oder Keimen geschützt werden soll, unterscheiden sich die Reinräume in ihrer Auslegung (**Bild 1**). Zur Umsetzung der Anforderungen wurden standardisierte Luftreinheitsklassen festgelegt. Jede dieser Reinheitsklassen steht für eine bestimmte Partikelkonzentrationsgrenze oder für eine Konzentrationsgrenze für koloniebildende Einheiten (KBE), also Keime. Daraus folgt dann der jeweilige technische Aufwand (**Bild 2**). Es gilt das Prinzip: so viel wie nötig, so wenig wie möglich. Denn sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten steigen mit der Reinheitsklasse.

Wegen der hohen Kosten großflächiger Reinräume und der Grenzen der Reinheit des Arbeitsfaktors Mensch sind alternative Reinraumkonzepte auf dem Vormarsch, in denen lediglich punktuell die gewünschte hohe Reinheitsklasse herrscht.

Laminar-Flow-Konzepte

Beim Stichwort Reinraum denken viele an die riesigen Hallen der Mikrochip-Fabriken. Solche Hallenaufbauten in hoher Reinraumklasse werden jedoch immer seltener gebaut. Der Grund: Sie benötigen im Unterhalt viel zu viel Energie, weshalb sie für viele Anwendungen schlicht unrentabel sind. Kostentreibend wirken sich zum Beispiel allein die Vorkehrungen aus, um bei einer Störung oder Wartung eines Teils der Anlage einen Totalausfall zu vermei-

den. Mehrere redundante Systeme müssen für diesen Fall zur Verfügung stehen – ein enormer Aufwand. Deshalb taucht immer öfter die Frage auf, ob solche großtechnischen Anlagen wirklich erforderlich sind. Schließlich geht es nicht darum, ein möglichst großes Volumen an Luft umzuwälzen und zu reinigen, sondern lediglich um das Ziel, das Produkt und die Mitarbeiter vor Kontamination zu schützen. Das können auch kleinere Reinraumzonen leisten.

Raum-in-Raum-Konzepte

Die Belüftung spielt für die Qualität des Reinraums eine große Rolle. Hierbei sind zwei Konzepte zu unterscheiden. Durch die kontinuierliche Zufuhr gereinigter Luft kann entweder eine Verdünnung der Konzentration der luftgetragenen Schwebstoffteilchen erreicht werden oder deren Verdrängung (Turbulent/Laminar Flow). Laminarboxen sind so kleine Reinräume, dass Mitarbeiter nicht mehr hineingehen. Sie können lediglich mit den Händen hineingreifen. In der dreiseitig umschlossenen Kabine herrscht ein entweder horizontaler oder vertikaler laminarer Luftstrom, um die nötige Reinheit zu erzielen. In diesen LF-Boxen ist bereits der Grundgedanke des Raum-in-Raum-Systems enthalten. Statt mit viel Mühe großflächig für Reinheit zu sorgen, werden durch geschickte Unterteilung und Abtrennung Zonen verschiedener Reinheitsgrade eingerichtet. Höchste Reinheit herrscht also nur dort, wo es wirklich darauf ankommt. Dieses Raum-in-Raum-Konzept senkt die Kosten deutlich. Grundsätzlich sollten sich Reinraumanwender im Vorfeld einer Installation intensiv Gedanken machen und folgende Ratschläge beherzigen: ■ Produktanalyse zu Beginn. Bei der Planung einer Fertigung unter reinraumtechnischen Bedingungen



Bild 5. Durch die Entwicklungen in Richtung Industrie 4.0 wird sich auch die Arbeit in Reinnräumen verändern, wie hier in der Mikroelektronikbranche

ist die strikte und kompromisslose Produktanalyse unter Berücksichtigung der einschlägigen Richtlinien und Verordnungen notwendig. Als Faustregel gilt: Bei technischen Produkten sind die Vorgaben des Kunden maßgeblich, bei medizinischen Produkten die einzuhaltenden Normen und Standards.

■ Ausreichend Zeit für die Vorbereitung. Es gibt keinen Reinraum von der Stange (**Bild 3**). Falsche Planung rächt sich schnell. Wie bei jeder Prozessplanung gilt es, die beste Kombination aus Aufwand und Nutzen zu finden. Statt sechs Wochen dauert solch ein ambitioniertes Vorhaben eher sechs Monate und länger (**Bild 4**).

■ Interdisziplinärer Ansatz. Im Reinraum hängt eins mit dem anderen zusammen, die einzelnen reinraumtechnischen Subsysteme sind eng miteinander verknüpft. Daher bleiben nachträgliche Korrekturen, die an einer Stelle vorgenommen werden, nicht ohne Folgen: Eine andere Maschine verlangt andere Lüftungskonzepte, diese wiederum ziehen eine Änderung der Laufwege nach sich oder gar Umbaumaßnahmen. Daher sind an der Planung mehrere Fachleute zu beteiligen: Außer Vertretern des Verarbeiters gehören Reinraumexperten und Spezialisten des Maschinen- und des Werkzeugbaus sowie der Materialversorgung zum Team. Je nach geplante Produktionsaufwand können Fachleute aus den Feldern Rohstoffe, Weiterverarbeitung, Verpackung und Handhabung hinzugezogen werden.

■ So viel Reinraum wie nötig. Viel hilft nicht immer viel. Raum-in-Raum-Konzepte sind häufig nicht nur kostengünstiger als großflächige Lösungen, die hohe Investitions- und Betriebskosten verursachen, sondern sorgen oft auch für höhere Reinheit.

Industrie 4.0 ist kein Selbstläufer

Was die Zukunft betrifft, wird sich die Arbeit in Reinnräumen durch die technischen Möglichkeiten der Industrie 4.0 drastisch ändern (**Bild 5**). Aus der Mensch-Maschine-Kommunikation wird die Maschine-Maschine-Kommunikation, Steuerungen lassen sich immer feiner justieren und besser überwachen.

So schön diese technologische Zukunft auch werden mag, sie ist weder alleinseligmachend, noch entwickelt sie sich automatisch. Der entscheidende Faktor ist und bleibt der Mensch. Was jetzt Industrie 4.0 genannt wird, steigert die Leistungsfähigkeit aller technologieorientierten Branchen – und damit auch die der Reinraumindustrie. Die immer weiter fortschreitende Vernetzung und Digitalisierung bietet einen hervorragenden Nährboden für Innovationen. Doch die kommen nicht von allein, sondern müssen aktiv angestoßen werden. Damit Deutschland seinen Rang in der Riege der technologisch führenden Länder behalten kann, bedarf es vieler Anstrengungen vonseiten der Unternehmer und des Staates. ■

MI110581

AUTOR

Prof. Dr. GERNOD DITTEL ist Präsident von Dittel Engineering in Schlehdorf sowie dem AIT- Adriatic Institut of Technology und lehrt an der Carinthia University in Villach/ Österreich sowie am Lehrstuhl für Neue Technologien an der Xi'an Jiaotong Technical University in China.