

# Facing the Challenges

## Neue Verfahren gegen Produktivitätseinbrüche in der Elektronikfertigung

Von Dr. Ing. Friedrich Nolting  
© copyright diplan 2008



## Einleitung

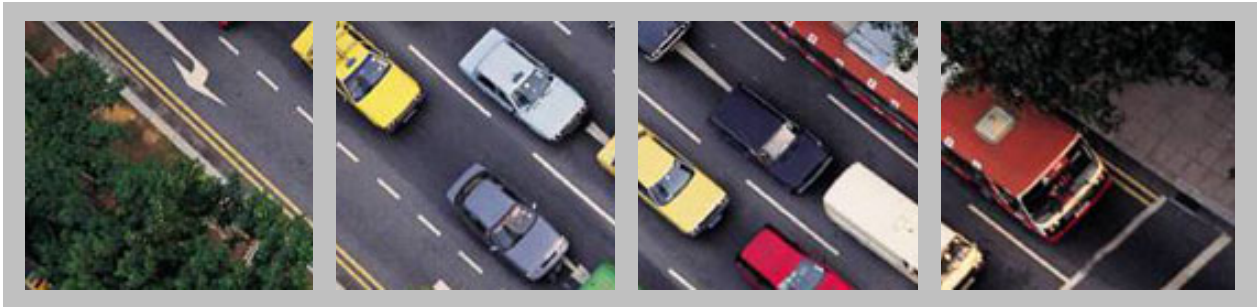
Die weltweiten Elektronikfertigungen mit einem Jahresvolumen von etwa 600 Millionen Euro stehen unter einem immer stärker werdenden Druck, der im Wesentlichen durch 3 Faktoren verursacht wird:

**Immer kürzere Produktlebenszyklen** verursachen in den Produktionsbetrieben einen Wandel weg von der Serienfertigung hin zum Musterbau mit allen damit verbundenen Konsequenzen. Der Produkteinführungsprozess muss beschleunigt werden und die Produktionsgüte sowie Produktqualität muss auch nach Neuanläufen innerhalb immer kürzer werdender Fristen weiter gesteigert werden.

**Höhere Produkt- und Bauteilkomplexität** führt bei neuen Produkten zudem zu einer

höheren Bestückdichte auf den Leiterplatten und zu immer feiner werdenden Bauteilstrukturen. Verschiedene Bauteilalternativen, z.B. verursacht durch Bauteilfertigungsschwankungen bei Leuchtdioden, führen zu immer komplexer werdenden Stücklisten mit nur noch schwer handhabbaren Bestückprogrammalternativen.

**Eigenfertigung, Outsourcing oder Produktionsverlagerung** in Billiglohnländer sind Alternativen, die sich heute vielen Betrieben der Elektronikindustrie stellen und die Herausforderung wird auf unterschiedliche Weise angenommen. Wurden die Fertigungen der Unterhaltungselektronik fast vollständig verlagert, so sind andererseits große Produktbereiche aus der Automatisierungstechnik, Medizin und Luftfahrt sowie die sicherheitsrelevanten Automobilelektronikteile weiterhin Gegenstand der Fertigungsstandorte in so genannten Hochpreisregionen.



Etwa 25 bis 30% des weltweiten Elektronikfertigungsvolumens wird durch Auftragsfertiger abgedeckt. Die Zuwachsraten waren hier seit dem Jahr 2000 ständig zweistellig mit einem momentanen Trend zur Sättigung. Verursacht waren die Wachstumsschübe im Wesentlichen durch den dramatisch anschwellenden Mobiltelefonmarkt und das Outsourcing von Produkten, die am Weltmarkt nur über den Preis vermarktet wurden.

Neben diesen High-Volume-Low-Mix-Elektronikfertigern besteht aber weiterhin der Markt zu etwa zwei Dritteln aus Betrieben, die ihre eigenen Produkte fertigen und unter den gleichen Zwängen zur Kostenoptimierung stehen wie die Lohnfertiger. Zusätzlich verstärkt sich bei den „Nicht-Lohnfertigern“ noch der Kostendruck durch neue weltweite Fertigungsstandorte, die aufgrund der räumlichen Nähe zu den Abnehmern aufgebaut wurden. Diese neuen Fertigungsstandorte liefern häufig schwer nachvollziehbares Zahlenmaterial über Produktqualität und Kosten, das aber dennoch gern für einen Vergleich herangezogen wird, um insbesondere den Kostendruck an Standorten in Hochpreisregionen weiter zu erhöhen.

Dabei sind typischerweise die Kapitalbindungen in die Produktionseinrichtungen und in die Bauteile (Bestände) mit Abstand die Kostenführer, unabhängig vom Standort. Insbesondere die SMT-Bestückmaschinen bzw. -linien erreichen leicht einen erforderlichen Kapitaleinsatz von 1 Million Euro.

Das unter Kostendruck stehende Management hat nun die Aufgabe diesen beträchtlichen Kapitaleinsatz nicht nur zu rechtfertigen, sondern die maximale Wertschöpfung zu erreichen. Das kann naturgemäß nur mit einer ganzheitlichen Betrachtung erreicht werden, indem neben der einzelnen Maschine die gesamte Linie, der gesamte Produktionsprozess und auch das gesamte Umfeld optimiert werden.

Gemessen werden die erreichten Verbesserungen heute mit einer Vielzahl von Kennwerten. Genannt seien hier Nutzungsgrad, DPM, First Pass Yield und OEE-Rate. Allen Kennwerten gemein ist die eigentliche Zielsetzung ihrer Anwendung: einen maximalen Produktionsausstoß mit einer optimalen Produktqualität bei gleichzeitig optimaler Anlagenutzung (Kapital) ohne Verschwendung von Material und Personal zu erreichen.

Dieses Grundsatzpapier betrachtet im Folgenden einige wesentliche Herausforderungen, denen sich jeder Elektronikbetrieb zukünftig stellen muss, um seine Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und dem Kostendruck zu widerstehen:

- Beherrschung der Bauteilvielfalt
- effektivere Auftragseinstellung
- übergreifende Programmversorgung
- angepasste Rüststrategien
- einfache Materialrückverfolgung



## Beherrschung der Bauteilvielfalt

Bauteile, die nicht in der richtigen Menge, mit unerwarteter Qualität, geänderter Verpackungsform oder nicht zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung stehen, verursachen einen beträchtlichen Produktivitätsausfall in der Elektronikfertigung.

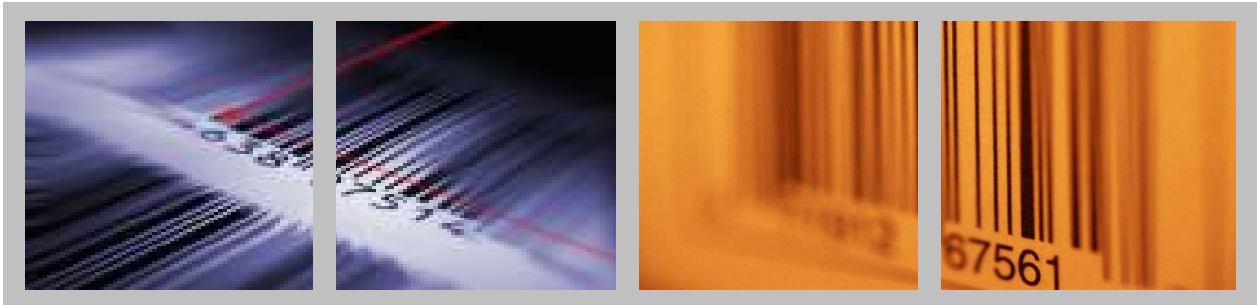
Viele Betriebe verlassen sich bei der Auftragsfreigabe auf ihr PPS- oder Lagerverwaltungssystem, das die Verfügbarkeit des benötigten Materials vorgaukelt. Die Herausforderung besteht allerdings in der Bereitstellung der richtigen Mengen, am richtigen Ort und zum erforderlichen Zeitpunkt. Hier versagen PPS- und Lagerverwaltungssysteme in der Elektronikfertigung regelmäßig. Die Ursachen hierfür sind:

**Bauteilrollen werden bereits in anderen Rüstungen verwendet** und sind daher im Lager nicht mehr verfügbar. Da SMD-Bauteile ausschließlich in größeren Gebinden gehandhabt werden, ist bei Aufrüstung eines Gebindes in einer Rüstung die Gesamtmenge des Gebindes blockiert. Diesen Umstand berücksichtigen PPS- und Lagerverwaltungssysteme nicht. Wird nun ein Bauteil von dem nur ein Gebinde vorhanden ist in einer Rüstung bereits

verwendet, so steht es für die Fertigung eines zweiten Auftrages nicht zur Verfügung, womit dieser trotz Freigabe durch das PPS de facto nicht gefertigt werden kann.

Potenziert wird dieser Umstand noch durch die Produktion auf mehreren Fertigungslinien, für die gemeinsam eine Verfügbarkeitsprüfung auf Gebindeebene erfolgen muss, ansonsten können die geplanten Produkte weder termin- noch volumengerecht gefertigt werden.

Ein weiterer Umstand ist in diesem Zusammenhang das **Nichtauffinden von Material**, das z.B. laut Lagerverwaltungssystem noch in ausreichender Stückzahl vorhanden sein sollte. Nicht nur in großen Fertigungsbetrieben, sondern auch schon bei Low-Volume-Fertigern stehen zahlreiche Feeder, Rüsttische, Lagerplätze oder Maschinenstellorte zur Verfügung, die ein hohes Ausmaß an alternativen „Suchorten“ für bestimmte Materialien bieten. Soll nun ein Fertigungsauftrag gestartet werden, bei dem noch Bauteile fehlen, so machen sich häufig die Maschinenbediener auf die Suche und „finden“ nach entsprechendem Zeitaufwand auch das benötigte Material. Diese Vorgehensweise hat allerdings schwerwiegende Konsequenzen für eine korrekte Materialbestandsführung in der Produktion. So kann ein Gebinde bereits für andere Aufträge reserviert sein, oder im Lager liegt eine Rolle, die eigentlich aufgrund ihres Alterungsprozesses eher verbraucht werden sollte.



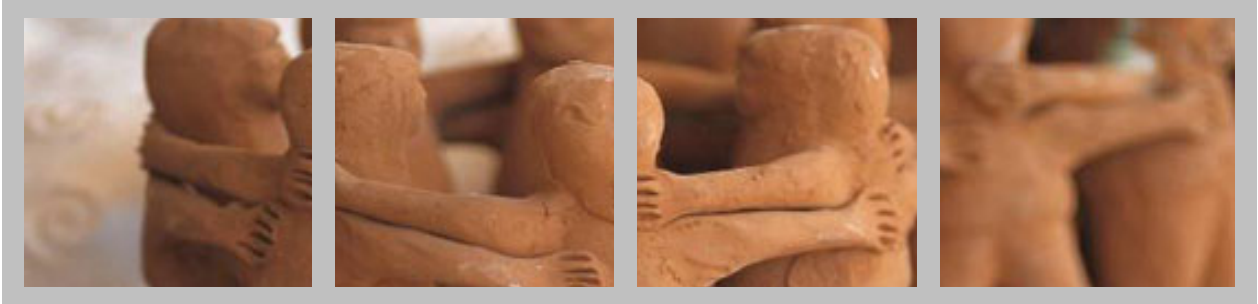
Die Auswirkungen dieser Arbeitsweisen führen naturgemäß zu erhöhten Materialbeständen mit entsprechenden Kosten und verschwendeten Personalressourcen für überflüssige Suchtätigkeiten.

**Feuchtigkeitsempfindliche Bauteile** (MSD - Moisture Sensitive Devices) sind eine weitere Ursache für die Erhöhung der Komplexität in der SMD-Lagerverwaltung. MSD-Bauteile dürfen nur einen vorher festgelegten Zeitraum der normalen Umgebungsluft ausgesetzt werden und müssen, wenn sie nicht in dieser Zeit auf Leiterplatten verbaut wurden, anschließend getrocknet oder sogar getempert werden. Prozesszeiten von mehreren Tagen verbieten es, dieses Material während des Temperns für die Fertigung zu verwenden. Während dieser Zeit ist im PPS-System allerdings die Materialverfügbarkeit mit einer kalkulierten Bauteilmenge gegeben. Das heißt, es werden auch Aufträge freigegeben, die dieses MSD-Material benötigen, was wiederum zu Produktionsausfällen führt, da die MSD-Bauteile aus physikalischen Gründen periodisch nicht zur Verfügung stehen.

Eine weitere Ursache für Fehlmengen im SMD-Lagerbestand ist das **Nichtberücksichtigen von Bauteilverlustmengen** in der Fertigung. Werden angebrochene Bauteilrollen und Gebinde nach Einsatz in der Fertigung wieder zurückgelagert, so ist die Berechnung der tatsächlich noch

vorhandenen Restmenge je Gebinde nicht trivial. Berechnet man nämlich nur die bestückten Bauteile aus der einfachen Formel gefertigte Leiterplatten mal Stücklistenpositionen, so wird den Bauteilverlusten in der Fertigung nicht Rechnung getragen. Verursacht werden diese Verluste im Wesentlichen durch die Bestückungsmaschinen, die aufgrund von Fehlzugriffen oder Pipettenproblemen nicht zu 100% jedes Bauteil, das abgeholt wird, auch bestücken. Reagiert wird auf diesen Umstand zum einen mit der retrograden Materialbuchung im ERP-System und in der Regel mit einem Bestellzuschlagsfaktor, der vereinfacht ausgedrückt für einen geplanten Mehrbestand an Bauteilen sorgt.

Natürlich verbergen sich hinter solchen Mehrbeständen zum einen erhebliche Kapitalkosten und zum anderen lösen die Mehrbestände auch nicht das Problem der auftretenden Bauteilfehlmengen, da Fehlmengen individuell stark schwanken und über einen Pauschalfaktor nicht abgebildet werden können. Zudem erfordern wachsende Bestandsdifferenzen zwischen PPS sowie Lager und Fertigung regelmäßige Inventuren, die wiederum sehr zeit- und personalkostenintensiv sind. Meistens müssen die manuell erfassten Mengendaten dann auch noch auf die gleiche Weise im PPS/ERP- und Lagerverwaltungssystem korrigiert werden, um die tatsächlich vorhandenen Mengen mit der Fertigung wieder abzugleichen.



## Effektivere Auftragseinsteuerung

Getrieben von den freigegebenen Aufträgen aus dem PPS/ERP sollte eine SMD-Fertigung immer den vorgegebenen Planungen folgend arbeiten. Zum einen entspricht naturgemäß die Realität nicht dieser Planvorgabe und zum anderen ist deren Befolgung auch nicht immer sinnvoll, wie die folgenden Überlegungen noch zeigen werden.

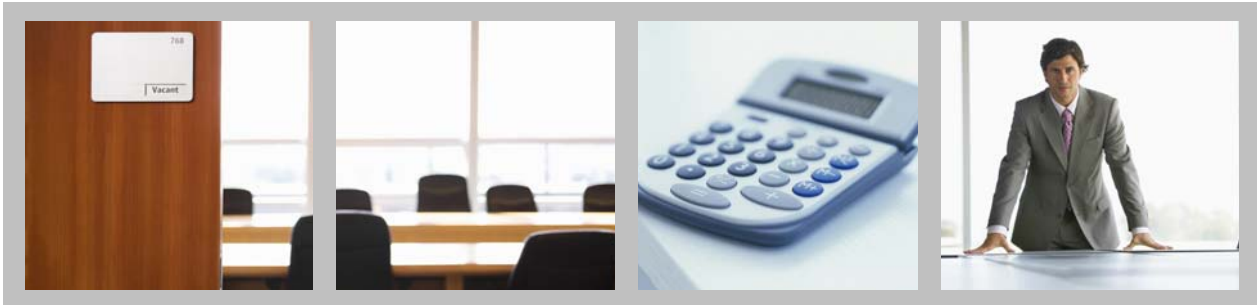
Grundsätzlich arbeiten die Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme ERP/PPS nach einem Regelwerk, in dem geprüft wird, welcher Fertigungsauftrag aufgrund von Materialverfügbarkeit, Kapazitätsauslastung und Terminierung für die Produktion vorgegeben werden sollte. In der SMD-Fertigung werden die beiden Faktoren Materialverfügbarkeit und Kapazität allerdings durch verschiedene Auftragsreihenfolgen ständig verändert. Feste planbare Materialverfügbarkeiten, wie in den obigen Überlegungen bereits ausgeführt, stehen nicht zur Verfügung. Und warum kann nicht mit festen Kapazitäten gerechnet werden? Ein kleines Beispiel soll dies verdeutlichen:

## Nebenzeiten fressen Kapazitäten

Wird eine Leiterplatte in großer Serie auf einer SMD-Maschine oder -linie gefertigt, so erreichen die Bestückanlagen nach einer gewissen Einschwingphase eine kalkulierbare Bestückleistung, die auch in einem PPS/ERP-System sinnvoll hinterlegt und für die Planung herangezogen werden kann. Bestückt man die gleiche Leiterplatte jetzt in kleiner Losgröße, so verursachen z.B. Rüstwechselzeiten, Lötprofilumstellung, Förderbandbreitenverstellung und Feederjustage erhebliche Nebenzeiten, die unter ungünstigen Umständen die reine Bestückungszeit sogar übertreffen.

Zu sehr ungünstigen Verhältnissen zwischen Nebenzeiten und Kapazitätsnutzungszeiten führen auch die strikten Reihenfolgevorgaben für die Abarbeitung von Aufträgen aus dem PPS/ERP. Dabei folgt die SMD-Fertigung nicht einer nebenzeitenoptimierenden Strategie sondern nur dem PPS-Zeitreihenfolgeplan. Der lässt aber z.B. die Nebenzeiten für Umrüstungen, Temperaturwechsel am Lötöfen und Änderung des Prozessablaufes von bleihaltiger zu bleifreier Produktion außer Acht.

Ein weiterer ungünstiger Faktor der zu erhöhten Nebenzeiten führen kann ist die beidseitige Bestückung der Leiterplatten. Diese an sich führt noch nicht zur Zeitverschwendung. Werden allerdings Top- und Bottom-Seite grundsätzlich gemeinsam in einer Rüstung gefertigt und dieses



geschieht auch noch im Low-Volume-High-Mix-Produktionslosgrößenbereich, so führen geringe Kapazitätsausnutzungen bei stark unterschiedlichen Bestückinhalten der Top- und Bottom-Seiten zu erheblichen Leistungseinbußen der gesamten SMD-Anlage.

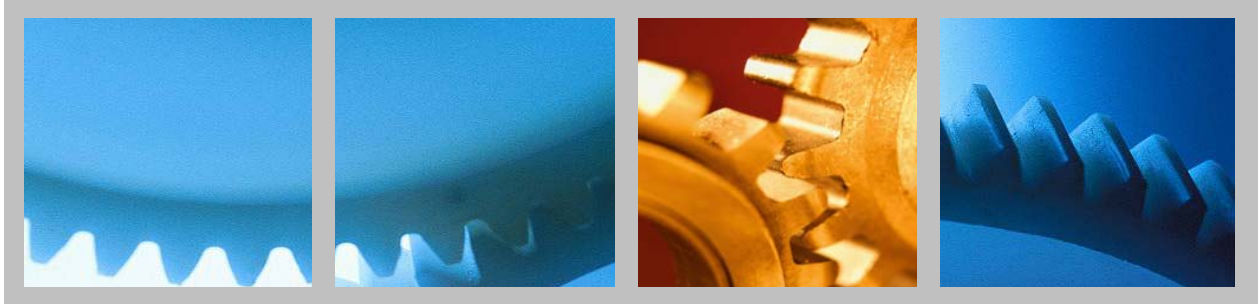
Prioritäts- oder Eilaufträge sind eine weitere Ursache für Kapazitätsverschwendung im großen und ungeplanten Stil. Jedes „Einschieben“ eines Auftrages in eine geplante oder sogar bereits aufgerüstete Folge von Leiterplatten hat dramatische Auswirkungen auf die Bestückanlagennutzung, denn es wird in der Regel nicht nur die schon vorbereitete Rüstung wieder umgestellt, sondern die schon angefallenen Nebenzeiten für das Ursprungslos müssen nach der Fertigung des Prio-Auftrages noch einmal in Kauf genommen werden.

Ein weiterer Kapazitätsfresser ist die nicht synchrone Übertragung von Auftragsdaten mit einer Stückliste zu den dazugehörigen Daten aus der Entwicklung. Da die Datenquellen verschieden sind, stoßen nicht vereinheitlichte Informationen bei der Verarbeitung für den Bestückungsprozess aufeinander. Passt die Stückliste z.B. nicht zu den CAD-Daten, so ergeben sich im einfachsten Fall nur Aufwendungen für den Fertigungsplaner. In vielen Fällen führen die Daten aber zu ungeplanten Produktvarianten, die Fertigungskapazitäten binden und im schlimmsten Fall Nacharbeit oder eine komplette Neuproduktion verursachen.

## Übergreifende Programmversorgung

Wie auch immer die Auftragseinplanung erfolgt, so ist für die eigentliche Produktion die Bereitstellung sämtlicher erforderlicher Daten und Einstellgrößen für alle an der Fertigung eines Produktes beteiligten Maschinen und Anlagen Grundvoraussetzung. Weiterhin sind auch die am Prozess beteiligten Personen, wie Bediener und Montagepersonal, mit den für ihre Aufgaben wichtigen Informationen zu versorgen.

**Fehlende Informationen** in einzelnen Bereichen werden durch die Parallelität der Datenübermittlung verursacht, da diese unabhängig voneinander gehandhabt und für die verschiedenen Erfordernisse bereitgestellt werden. Die CAD-Daten werden zur Bestückprogrammgenerierung verwendet. Teile davon, wie die Gerber-Daten, dienen zur Anfertigung der Siebdruckschablonen und wieder andere Schaltungsdaten erlauben die Generierung von Grunddaten für Funktionstester. Diese Fragmentierung der Informationsflüsse ohne Verbindung untereinander führt zu einer weiteren Quelle nicht synchroner Daten, da an jeder Stelle Änderungen gemacht werden können, die sich auf die Ursprungsdaten auswirken sollten, es aber informationstechnisch und vor allem automatisch nicht tun.



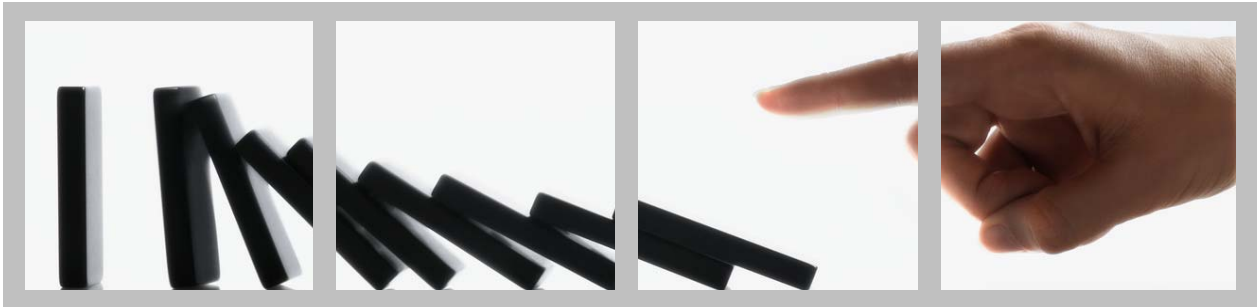
Bauteilstammdatenfehler sind eine weitere Ursache für ungeplante Maschinen- und Anlagenstillstände. Jede am Bestückungsprozess beteiligte Maschine benötigt Bauteilstammdaten mit einem mehr oder weniger großen Anteil an Parametern, die die Verarbeitung und den speziellen Prozess in der Anlage beschreiben. Diese Daten müssen häufig sogar direkt auf der betreffenden Anlage erstellt werden und können nicht zentral verwaltet oder editiert werden. Sind die Daten erstellt, so muss strengstens darüber gewacht werden, dass die Bauteilstammdaten auch identisch bleiben. Ändert sich etwas am Bauteil, müssen die Parameterdaten nachgezogen werden. Geschieht dies nicht, fallen Anlagenteile aus, oder, was häufig gravierender ist, die Produktqualität erleidet Einbrüche.

## Angepasste Rüststrategien

Wurden die notwendigen Grunddaten bereitgestellt, so kann mit der Vorbereitung der eigentlichen Produktion begonnen werden. Ein erster Schritt ist hierbei die Aufrüstung bzw. das so genannte Setup der beteiligten Produktionseinrichtungen.

Ist der Elektronikfertiger nicht in der Lage, die Bauteile an seinen Bestückmaschinen **vollständig offline aufzurüsten und zu verifizieren**, verursacht er hierdurch erhebliche Kapazitätseinbußen und Kosten. Die Anlagen müssen erst abgerüstet und anschließend wieder neu aufgerüstet werden, bevor die Produktion wieder beginnen kann, wodurch wiederum Stillstandszeiten verursacht werden. Dem gegenüber stehen die erforderlichen Investitionen in zusätzliche Bauteilförderer und Aufrüsttische, die für eine Offline-Rüstung bereitzustellen sind. Hier gilt es eine dynamische Grenzkostenbetrachtung zu erstellen, die den Investitionskosten für das Offline-Setup die Verlustkosten aus den genannten Produktionsstillständen gegenüberstellt.

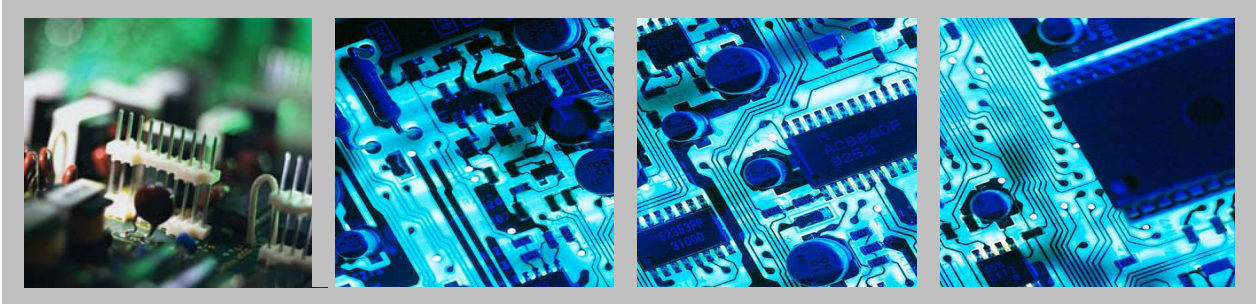
Ein weiterer Kapazitätsminderer ist die Aufrüstung der Anlagen mit Bauteilen, die nicht **beim Auslagern gleich geprüft** wurden. Werden erst mit der ersten gefertigten Leiterplatte die Rüstung und die Bauteile geprüft, so ergeben sich dadurch erhebliche Maschinenstillstandszyklen bis es zu einer vollständig kontrollierten und fehlerbereinigten Produktion kommt. Gleiches gilt auch für das Nachfüllen von Bauteilen während der laufenden Produktion. Wird hier nicht zwingend kontrolliert, so verursachen falsche Bauteile im ungünstigsten Fall erhebliche Nacharbeits- oder Ausschusskosten, wenn ein ganzes Los fehlerhaft gefertigt wurde und dieser Fehler erst im Testbereich festgestellt wird.



Der einfachste Weg um Rüstzeiten an den Produktionsanlagen zu verringern beruht auf dem Prinzip möglichst **nicht bei jedem Auftragswechsel auch einen Rüstwechsel** der Anlage durchzuführen. Da viele Elektronikfertiger aber den Aufwand scheuen, die große Varianz an Bauteilen, Förderern und Rüstalternativen zu verwalten und zu optimieren, werden immer noch ganze Anlagen bei Auftragswechsel komplett ab- und anschließend wieder aufgerüstet. Dadurch verbessert sich augenscheinlich die auftragspezifische Optimierung und Kontrolle eines einzelnen Loses aber andererseits wird die Gesamtproduktivität und Anlagennutzung sehr stark gemindert. Analysiert man nun die anstehenden Fertigungsaufträge, so können in der Regel mehrere **Produkte zu Rüstfamilien zusammengefasst** werden, da gleiche Bauteile auf die verschiedenen Leiterplatten bestückt werden. Werden diese Analysen durch geeignete Hilfsmittel unterstützt oder sogar automatisiert, so können bei Low-Volume-High-Mix-Fertigern erhebliche Kapazitätsreserven in der Fertigung schon allein dadurch genutzt werden, dass sich die Anzahl der Aufrüstvorgänge deutlich verringert. Beachtet werden muss dabei allerdings die tendenziell schlechtere Nutzung der einzelnen Bestückmaschinen bei Linienanordnungen durch schlechteres Balancing der Maschinen untereinander. Wird nur für ein einzelnes Produkt eine Linienaufrüstung optimiert, so kann hierfür auch ein optimales Balancing berechnet werden.

Geschieht dies nun für mehrere verschiedene Produkte in einer Rüstfamilie, so ergibt sich zwangsläufig für den einzelnen Auftrag ein schlechteres Balancingergebnis im Vergleich zur Einzeloptimierung. Intelligente Methoden unterstützen hier den Anwender bei der Entscheidung, ab welcher Austaktungsschiefelage einer Produktionsanlage der Rüstzeitgewinn geringer wird als der Produktionszeitverlust.

Für den Großserienfertiger ergeben sich Leistungseinbußen durch **Maschinenstillstände, die verursacht werden durch auslaufendes Material**. Neuere Bestückmaschinentypen erlauben das Nachfüllen der Bauteilrollen während der laufenden Fertigung. Dieses Feature wird umso bedeutender, je höher die Bestückleistung der Maschinen im Verhältnis zu den Gebindegrößen der Bauteilrollen wird. Immer schnellere Maschinen verbrauchen das aufgerüstete Material in immer kürzer werdender Zeit, was zu immer häufigerem Nachfüllbedarf führt. Wird nun das Nachfüllen der Bauteile nicht rechtzeitig durchgeführt, so verursachen gleiche Maschinenstillstandszeiten immer größerer Kapazitätsverluste. Wird ein leerlaufender Feeder durch den Bediener erst entdeckt, wenn kein Bauteil im Feeder mehr vorhanden ist, so wird die Maschine und schlimmstenfalls die gesamte Anlage solange stehen bleiben, bis das korrekte Material zum Auffüllen besorgt und der Feeder wieder aufgefüllt wurde.



### Bottlenecks

Wurden alle Bauteile korrekt aufgerüstet und rechtzeitig nachgefüllt, so kommt es dennoch zu Leistungseinbußen, wenn man die Gesamtfertigungslinie einer Elektronikproduktion betrachtet. In der Linie arbeiten einzelne Maschinen augenscheinlich ohne Störung aber dennoch an ihrer Leistungsgrenze. Der Gesamtausstoß der Linie ist nicht optimal und dafür kann es verschiedene Ursachen geben:

Zunächst einmal werden die Programmerstellungen von Maschinen für diese singular durchgeführt und nicht in einem Linienverbund betrachtet. In einer Fertigungslinie kommt es aber insbesondere im Produktmischbetrieb immer zu so genannten **Balanceverlusten**, die sich aus den unterschiedlichen Taktzeiten der Maschinen einer Linie zwangsläufig ergeben. Die Taktzeit einer gesamten Linie wird immer durch die langsamste Maschine in der Linie determiniert und gibt damit auch den Ausstoß für die gesamte Linie vor.

Eine weitere Ursache für Leistungsverluste ist die mangelnde Kenntnis und Berücksichtigung aller Faktoren, die auf den Bestückungsprozess einwirken. Zu nennen sind hier Bauteilabmessungen, Kamerazeiten, Pipettenwechselzeiten, Verfahrzeiten der Bestückköpfe und vieles mehr.

Werden diese Faktoren bei der Bestückzeitberechnung nicht mit einkalkuliert, so kann auch keine korrekte Maschinentaktzeit berechnet werden. Daraus ergibt sich wiederum, dass bei Linienanordnung der Maschinen das Balancing zwischen den Maschinen nicht korrekt berechnet wird, was zu großen Leistungseinbußen beim gesamten Linienausstoß führt.

Neben diesem Nichtberücksichtigen wichtiger Einflussfaktoren auf die Bestückzeit ist die **Beurteilung der Bauteilparameter** selbst von ausschlaggebender Bedeutung für die Bestückung. Nur mit tiefgreifenden Prozesskenntnissen über die Bestückung in den Maschinen kann fachlich korrekt definiert werden, wie ein Bauteil in den jeweiligen Maschinentypen zu handhaben ist, mit welcher Nozzle es bestückt werden kann (auch alternativ), welche Offsets zu berücksichtigen sind und wie die optische Vermessung des Bauteils optimal erreicht wird.

Läuft eine erste Produktserie über die Bestückmaschinen, so sollten sich nach der Beseitigung der grundlegenden Fehler, wie fehlerhafte Bestückwinkel, abweichende Bestückposition oder falsche Bauteilwerte, im Bestückprozess keine Fehler mehr zeigen. Die Leiterplatte wird korrekt bestückt und alles scheint in Ordnung zu sein. Aber die Bestückleistungsminderer, die in der fehlerhaften Parametrierung der Bauteilgrunddaten stecken, werden nicht offensichtlich.



Hat der Programmierer z.B. reduzierte Anfahr- und Bremsbeschleunigungen für einzelne Bauteile eingegeben, so fallen diese bei der Betrachtung des raschen Maschinenablaufs nicht auf. Hintergrund dieser meist durch den Operator durchgeführten Eingriffe sind häufig mangelnde Prozess- oder Wartungskennnisse, die nicht die Ursache abstellen sondern durch Reduktion der Bestückgeschwindigkeit das vermeintliche Problem beseitigen. Hat zum Beispiel ein Förderer Transportprobleme aufgrund mangelnder Wartung, so kann durch eine reduzierte Abholzykluszeit der Bestückprozess aufrecht erhalten werden. Damit wird allerdings die Gesamtausbringung der Anlage negativ beeinflusst, anstatt die eigentliche Ursache für das Problem zu beseitigen. Erschwerend für den Prozessbetrachter kommt hinzu, dass diese „Leistungskiller“ im Bestückungsprozess nur durch geeignete Hilfsmittel und aufbereitete Informationen erkannt werden können. Werden diese Informationen nicht visualisiert, so kann auch nicht korrigierend eingegriffen werden.

Natürlich sollte der Betreiber von Bestückungslinien ein virulentes Interesse daran haben, dass die hohen Investitionen in eine solche Anlage sich einerseits auszahlen, andererseits die Investition aber auch geschützt sind, das heißt die Anlage entsprechend gewartet wird.

Bei der Wartung von Bestückungsmaschinen gibt es zahlreiche Elemente und Faktoren, die einen entscheidenden Einfluss auf die Bestückungsleistung der Maschinen haben.

So können erhöhte Abholfehler beim Aufnehmen der Bauteile aus den Gurttaschen verschiedene Ursachen haben: zu geringes Vakuum, verschmutzte Pipetten, verschlissene Nozzles, verstellte Feeder und schlechte Wartung aller dieser genannten Komponenten. Die eigentliche Ursache liegt nun in den selbstoptimierenden Bestückungsprozessen, die diese Fehler nicht offensichtlich machen, da durch schnelles mehrfaches Abholen und erneute Pickup-Versuche dem Operator keine Fehler augenscheinlich werden. Natürlich wird auch bei sehr schnellen Prozessen durch nichtproduktive Mehrfachversuche der Prozess insgesamt verlangsamt. Bestückleistungseinbußen sind zwangsläufig die Folge. Ohne zielgerichtete Informationen für Bediener und Wartungspersonal haben diese keine Chance, die Fehler zu entdecken, geschweige denn geeignete Maßnahmen zur Abstellung einzuleiten. Ohne geeignete Hilfsmittel zur Dokumentation und Verfolgung der Maschinenleistung und ohne Überwachung der Änderung von wichtigen Maschinenparametern wird die Bestückleistung eines Automaten im Laufe der Zeit stark nachlassen und auf einem niedrigen Niveau verbleiben.



## Die Herausforderungen annehmen

Eine entscheidende Erkenntnis aus den zuvor beschriebenen Produktivitätskillern möchte ich gleich voranstellen: allein durch mehr Personal, Vieraugenprinzip oder Multi-Sektion-Management werden keine nachhaltigen Verbesserungen erzielt. Erst ein durchgängiges Konzept, das sich den aufgezeigten Schwachstellen sequentiell annimmt und möglichst automatisiert die Informationen verarbeitet, wird langfristig und nachhaltig Erfolg liefern. Um die Aufgaben der Reihe nach anzugehen, ergeben sich folgende Schwerpunkte:

- zentrale Programmversorgung mit Schnittstellen zu PPS und CAD
- Auftragsverarbeitung mit optimaler Rüststrategie und Logistikanbindung
- Daten-, Auftrags- und Materialflusssteuerung und Überwachung
- Online-Produktionsperformance-Monitoring mit Traceabilitydatenerfassung

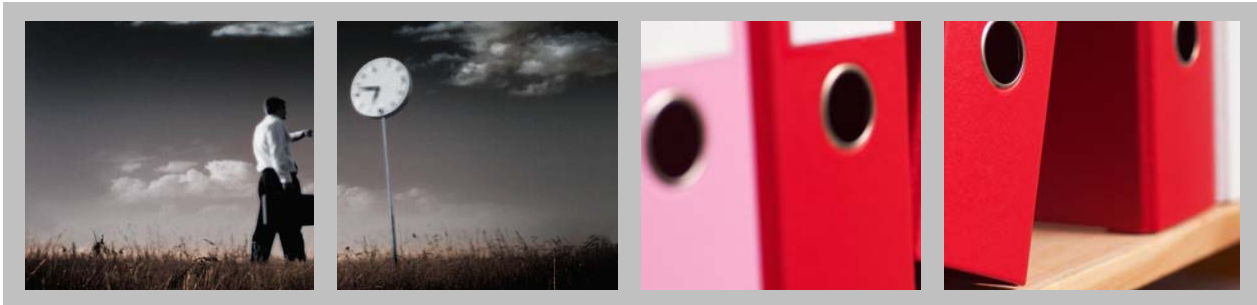
Für alle Themen müssen automatisierte Hilfsmittel bereitgestellt werden, die zudem noch an die jeweiligen Bedürfnisse und Erwartungen der

Anwender in einem Produktionsbetrieb angepasst sein müssen. Maschinenbediener, Fertigungsleiter und Management erwarten jeweils auf ihre Interessenslage zugeschnittene Informationen, die es ihnen erlauben, Verbesserungsmaßnahmen einzuleiten, bevor die Gelegenheit dazu verstreicht oder neue brisantere Aufgaben anstehen.

### Zentrale Programmversorgung

Hintergrund für die Notwendigkeit zum Aufbau einer zentralen Programmversorgung ist das Problem der Dateninkonsistenzen bei verteilten Systemen. In der Entwicklung wird mit CAD-Systemen gearbeitet, die z.B. auf eigene Bauteilbibliotheken zugreifen. Daten aus der Entwicklung werden über Interfaces an die Fertigung transferiert und dort in Bestückprogramme für Neuanläufe und Serienproduktion umgewandelt. Für die Bestückprogrammerzeugung wird dabei auf andere Datenbanken zurückgegriffen, die ähnliche Bauteilinformationen wie im CAD-System enthalten.

Nur wenn automatisierte Verfahren hier mögliche Abweichungen zwischen CAD-Bauteilbibliothek und Bestückprogramm-bauteilbibliothek erkennen und aufzeigen, ergibt sich ein sicherer und konsistenter Abgleich der Daten.



Nach der Erstellung der ersten Muster und der üblichen Fehlerbeseitigung bei Produktneuanläufen (NPI) werden die Bestückprogramme in der Regel für die Serienfertigung freigegeben. Aber auch jetzt bergen wieder zwei Datenquellen die Gefahr für erneute Fehlleistungen in der Elektronikproduktion. Nun sollten nämlich zu den Bestückprogrammdateien die Auftragsstücklisten aus dem PPS/ERP-System für jeden Auftrag neu gemergt werden. Geschieht dies nicht automatisiert, so ergeben sich zwangsläufig Abweichungen zwischen der durch das PPS/ERP beauftragten Leiterplatte und der mit dem ggf. falschen Bestückprogramm gefertigten Leiterplatte. Werden nun alle beteiligten Informationsquellen über ein zentrales Werkzeug mit zentraler Datenbank geführt, so können hier sowohl im NPI-Zyklus als auch im Serienproduktionszyklus die Abweichungen und Inkonsistenzen im Datenbestand leicht aufgezeigt und beseitigt werden. Ein weiterer wichtiger Vorteil einer zentralen Bestückprogrammversorgung besteht in der Bereitstellung aller Fertigungsdokumente aus einer Quelle. Im Zuge der Einführung papierloser Produktion ist mit der zentralen Erfassung und Verwaltung aller Dokumente bereits ein wesentlicher Grundstein gelegt. Werden diese nun zu den Bestückprogrammvarianten gepflegt und automatisiert ein Änderungsdienst angeboten, so kann die Bereitstellung von immer aktuellen Fertigungsdokumenten dadurch weitgehend sichergestellt werden.

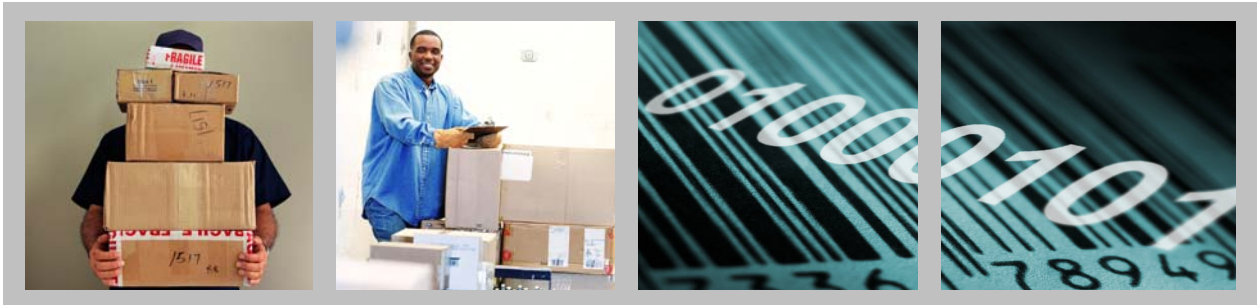
### Auftragsverarbeitung mit optimaler Rüststrategie

Wurden die Auftragsdaten von PPS/ERP über geeignete Services importiert, so besteht nun die Aufgabe darin, Fertigungsaufträge für die Bestücklinien unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen zu erstellen.

Die Besonderheit bei der Einplanung von Fertigungsaufträgen in einer Elektronikfertigung liegt in der starken Prozesszeitänderung in Abhängigkeit von folgenden Parametern:

- Rüstfamilie oder Festrüstung
- Abtaktungsgüte
- Ofenprofilumstellung
- Transportbreitenumstellung

Versucht man nun die Randbedingungen für eine Vielzahl von Aufträgen in einer Fertigung mit mehreren Produktionslinien einzuplanen, so scheiden deterministische Verfahren aufgrund der mathematischen Komplexität aus. Erst die Simulation verschiedener Szenarien mit geeigneter Softwareunterstützung erlaubt es hier, eine optimale Einsteuerstrategie zu ermitteln.



### Die Logistikkette

Materialbestände werden seit geraumer Zeit bereits in immer geringeren Mengen für die Fertigung vorgehalten, um die Bestandskosten zu senken. Das hat oft zur Folge, dass aufgrund sehr gering definierter Sicherheitsbestände die erforderlichen Mengen bestimmter Bauteile nicht ausreichen, um kurzfristig zu produzierende Aufträge fertigstellen zu können. Dieses Problem wird mit länger werdenden Lieferzeiten der SMD-Bauteile zusätzlich verschärft. Ein Entgegenwirken durch höhere Bestandsbildung kommt aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage und ist in vielen Fällen auch nicht erforderlich, da häufig die benötigten Bauelemente vorhanden sind, jedoch aufgrund fehlender Transparenz nicht gefunden werden. Durch eine umfassende Bestandsverwaltung in den zumeist automatisierten Lagern kann man den Ansatz für mehr Transparenz schaffen. Diese Verwaltung setzt jedoch voraus, dass nicht nur die Existenz und der Lagerort der Bauelemente bekannt sind, sondern vor allem auch deren exakte Menge.

Gerade in Fertigungen mit mehreren Linien stellt sich oft das Problem, dass Bauelemente, die eigentlich bestandsmäßig vorhanden sein müssten, irgendwo in der Produktion, im Wareneingang, im Lager oder in einem Vorrüsbereich sind. Diese zu finden ist dann

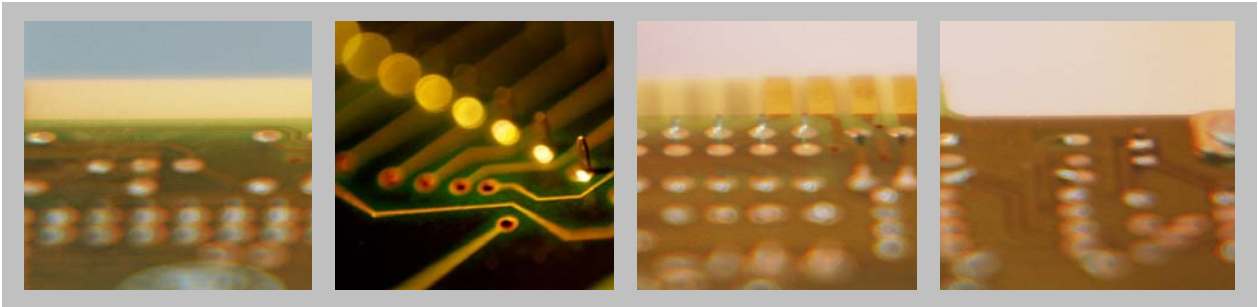
sehr aufwändig und zeitraubend. Hierfür Abhilfe zu schaffen ist die Zielsetzung der umfassenden diplan LES (Logistics Execution System) -Lösung. Die Kernfunktionalität ermöglicht zu jedem Zeitpunkt, die tatsächlich vorhandenen Gebinde und deren Mengen zu lokalisieren. Dies zu erreichen setzt voraus, dass einige Rahmenbedingungen im logistischen Ablauf der Bauelementeverarbeitung und an den Maschinen zu erfüllen sind.

Der Kern des Logistikkonzeptes ist das diplan SMT Warehouse, in dem neben den erforderlichen Bediendialogen die Datenhaltung und die Kommunikation mit anderen Softwaremodulen sowie mit der Maschinenebene enthalten sind.

Die Datenhaltung basiert auf einer relationalen Datenbank und wird im Regelfall auf einem beim Kunden vorhandenen Server gehalten. Am weitesten verbreitet sind Oracle sowie MS-SQL-Server.

Das Gesamtkonzept ist modular aufgebaut und verfügt im Standard über folgende Funktionen:

- Generierung von individuellen Barcodes für Bauelementegebinde im Wareneingang bzw. bei der Einlagerung
- Verfolgung des aktuellen Bauelemente-Lagerortes mit Statusinformationen und Suchfunktion
- Erfassung traceability-relevanter Daten, wie z.B. Hersteller, Charge, Datum usw.
- Standardauswertung für statistische Zwecke



- Generierung von Auslagerungsanweisungen für vorgegebene Aufträge
- Ein- bzw. Rücklagerung von Bauelementen

Kundenspezifisch lassen sich Sonderfunktionen für Inventurzwecke oder zum automatischen Anstoß von Nachbestellungen in Abhängigkeit von Mindestbeständen in die Lösung integrieren.

Viele Elektronikfertigungen verfügen über eigene Softwaresysteme, um ihr Material im Lagersystem zu verwalten. Hierfür stellt das übergreifende Logistikkonzept geeignete Schnittstellen zur Verfügung, um diese Verwaltung mit einzubinden. So werden dem Lagersystem die Informationen übergeben, welches Material eingelagert werden soll. Das FIFO-Prinzip wird im diplan SMT Warehouse abgebildet, da für jedes einzelne Gebinde bekannt ist, wann es eingelagert wurde. Z.B. beim Auslagern wird das FIFO-Prinzip angewendet, das heißt, dass jeweils die älteste Rolle ausgelagert wird, auch wenn die Anzahl der Bauteile auf dieser Rolle nicht ausreichend sein sollte, um einen Auftrag zu fertigen. Dann wird die zweitälteste Rolle ausgelagert usw.

Weiterhin ist es möglich, eine Materialanforderung von der Bestücklinie an das Lager abzusetzen. Wurde das Material ausgelagert, erhält es in der zentralen Datenbank einen entsprechenden Status. Dieses Material kann dann sowohl im Vorrüsbereich, als auch direkt in der Fertigung verwendet werden. Entsprechend der weiteren Verwendung wird ein weiterer neuer Status gesetzt usw.

### Vorrüsbereich

Eine große Varianz der Baugruppen und Bauteile sowie stark schwankende Losgrößen verlangen zunehmend mehr Flexibilität in der SMD-Bestückung. Die Maschinenlieferanten haben dem durch den Einsatz von Wechseltischen Rechnung getragen. Durch die Verwendung von mehreren Tischesätzen an einer SMD-Bestücklinie wird der Anwender in die Lage versetzt, parallel zur laufenden Fertigung in einem Vorrüsbereich die Folgerüstung vorzubereiten. Der Rüstungswechsel und der damit verbundene Maschinenstillstand können auf ein Minimum verkürzt werden.

Die Nutzung der Wechseltische ist besonders effizient wenn es gelingt, möglichst alle zeitintensiven Rüstvorgaben unabhängig von der Linie durchzuführen. Vor der Nutzung der Wechseltische sollte daher die Rüstkontrolle erfolgen, die grafisch und damit papierlos veranschaulicht, wo welches Bauteil aufzurüsten ist. In der diplan-Lösung werden mit einem tragbaren Handscanner die Bauteil-Barcodes und Abholspuren/-fächer miteinander verglichen und gecheckt.



Fehlermeldungen unterstützen den Bediener bei der Korrektur falscher Rüstungen. Die Freigabe des Tisches erfolgt erst, nachdem alle Bauteile überprüft wurden.

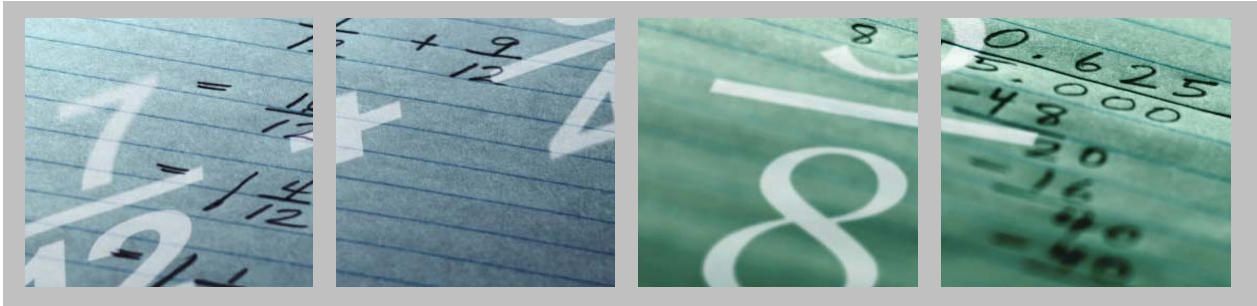
Das SMT Warehouse liefert nach dem Scannen des Individualbarcodes die erforderlichen Daten wie Sachnummer des Bauteils, Menge auf dem Gebinde und, wenn erforderlich, Chargenkennzeichnung, WE-Nummer und Lieferant an den Vorrüstplatz zurück. Damit brauchen diese Werte nicht mehr extra gescannt oder eingegeben werden.

### Abrüsten

Im Vorrüstbereich erfolgt sowohl das Aufrüsten von Wechseltischen als auch das Abrüsten der Wechseltische. Im System ist bekannt, welche Rüstung sich auf dem Wechseltisch befindet. In die Datenbank des SMT Warehouse werden automatisch die Restmengen der Bauelementegebinde des abzurüstenden Wechseltisches übernommen.

### Rüstverifikation an der Linie

Mit Hilfe einer Feederfüllstandsüberwachung und Rüstverifikation ist es während der laufenden Fertigung möglich zu überprüfen, ob sich die richtige Rüstung an der Linie befindet bzw. ob der richtige Wechseltisch an die richtige Maschine auf der richtigen Seite angeschlossen wurde. Beim Bestücken wird das nahende Ende der in der Rüstung vorrätigen Bauelemente in geeigneter Weise frühzeitig erkannt und visualisiert. Die Saldierung der an den Bestückautomaten gerüsteten Bauelementemengen geschieht durch die einmalige Erfassung der aufgerüsteten Menge zu Beginn der Auftragsvorgabe mit einer neuen Rüstung. Während der Fertigung kommt es mitunter zu Nachfüllvorgängen, die ebenfalls mengenmäßig erfasst werden. Die Mengenerfassung erfolgt durch das Scannen des Gebindebarcodes des nachzufüllenden Gebindes. Dem Zuführen von Bauelementen steht deren Verbrauch gegenüber, der von den Bestückautomaten protokolliert wird.



## Zusammenfassung

Den Herausforderungen in der Elektronikfertigung lässt sich nur mit einem intelligenten Gesamtkonzept begegnen. Bestandteile dieses automatisierten Konzeptes sind:

**Produktionsprozesskontrolle** auf Bestücklinien-ebene mit:

- automatischer Programmversorgung
- Synchronisierung mit Rüstungen
- Verifikation aller Bauteile und Boards
- fortlaufender Sicherstellung korrekten Nachfüllens

**Überwachung und Visualisierung** der laufenden Fertigung mit:

- Verifikation und Speicherung der korrekten Ausrüstung und Bestückung möglichst für jedes Board
- Aufzeichnung aller Bestückfehler für die korrekte Performanceverlustberechnung
- Protokollierung des Maschinenstatus (Produktion, Warten, Blockiert, Störung) und Generierung von entsprechenden Reports
- Protokollierung und Darstellung der Gesamtanlagenutzung mit geplanter und tatsächlicher Stückzahl
- Überwachung der Feederwartung mit automatischer Anzeige bei Fehlerhäufung oder Zeitüberschreitung

**Materialverwaltung und Traceability** mit den Bestandteilen:

- Wareneingangsprüfung und Datenerfassung
- Einzelgebindedatenerzeugung und Belabelung
- Ein- und Auslagerprozessüberwachung
- Überwachung der Offenzeit feuchteempfindlicher Bauteile (MSD)
- Übernahme von Vorgaben zu Fertigungsaufträgen von PPS/ERP
- Abgleich der Bedarfe und Bestände
- auftragsbezogene Kommissionierung der Einzelgebände unter Berücksichtigung von FIFO
- Online-Erzeugung von Transportaufträgen und Nachbezug der Bauteile
- ständige Bereitstellung einer Online-Inventur
- Rückmeldung auftragsbezogener Bauteilverbräuche
- ständige Lokalisierung der vorhandenen Einzelgebände mit ihrer aktuellen Menge
- Zuordnung von Bauteil- und Leiterplattenchargendaten zu den gefertigten Produkten
- komplette Fertigungshistorie zu jeder gefertigten Leiterplatte bezogen auf eine Seriennummer

### Zum Autor

Dr. Friedrich W. Nolting ist geschäftsführender Gesellschafter und verantwortlich für die Produktentwicklungen bei diplan. Vor der Mitbegründung der Firma diplan war Dr. Nolting leitender Oberingenieur am Institut für Fertigungstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg. Hier war er maßgeblich am Aufbau des Automatisierungslabors mit Einrichtungen zur Elektronikfertigung beteiligt. Durch die langjährige Tätigkeit im Umfeld der Bestückmaschinen erwarb sich Dr. Nolting branchenübergreifende Anerkennung im Bereich moderner Produktionsverfahrensoptimierung.

#### **diplan GmbH**

Wetterkreuz 27

91058 Erlangen

Germany

Phone: +49 9131 7778 0

Fax: +49 9131 7778 88

#### **diplan Shanghai (Software) Ltd.**

No.379 PuDong Nan Road, 12C2 Jinsui Mansion

200120 Shanghai

China

Phone: +86 21 5882 4882

Fax: +86 21 5882 4881

#### **diplan Asia Pte. Ltd**

Block 135, Unit 05-02,

Middle Road, Bylands Building

188975 Singapore

Phone: +65 6748 8458

Fax : +86 21 5882 4881