

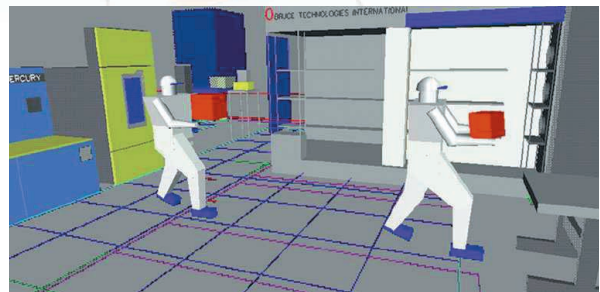


## Chipfabriken virtuell bauen

Ein Rat, lieber Leser, Investieren Sie Ihr Geld in eine Chipfabrik: Da Sie dies hier nur virtuell tun können, profitieren Sie vom nächsten Halbleiterboom leider ebenfalls nur virtuell. Derweil sind Ihre Erkenntnisse auf alle Produktionslinien oder Logistiksysteme übertragbar.

»Dienstleistungen für Modellfabriken sowie die Optimierung, Automatisierung oder Steuerung der Produktion sind unser Metier.« Dr. Thomas Arzt leitet die Fachgruppe Wafer-Fab-Simulation- und -Automation bei der Freiburger Clean Room Consulting GmbH, sein Augenmerk gilt der Virtuellen Fabrik: »Derzeit gilt die Discrete Event Simulation als einzig erfolgversprechender Weg, Produktionslinien oder Logistiksysteme bei vorgegebenen Durchlaufzeiten auf ihre Performance hin zu untersuchen.« Im Klartext: Solche What-If-Szenarien können Entscheidungen bereits in einer frühen Planungsphase auf verlässliche Füße stellen, es geht dabei ums Modellieren von Produktionslinien oder Logistiksystemen innerhalb eines Computermodells.

Für Arzt geht es derweil ums Stichwort Wafer Fab, also die Untermenge Halbleiterfabrik und als Kapitalgeber, lieber Leser, sollten Sie sich eine detaillierte Simulationsanalyse bereits zu Beginn der Entwurfsphase erstellen lassen - also bereits in diesem Stadium einen optimalen Kompromiß zwischen der künftigen Ressourcenauslastung und der Produktdurchlaufzeit in Ihrer Fabrik suchen. Vorgegeben sind Arzts Simulationswerkzeuge FactoryFLOW (von Engineering Animation), AutoMod/AutoSched (AutoSimulations) sowie ARENA/Wafer Fabrication Template (Systems Modeling), mit dem sich auch der Mediendurchsatz des geplanten Geräteparks in Abhängigkeit von der Produktions-



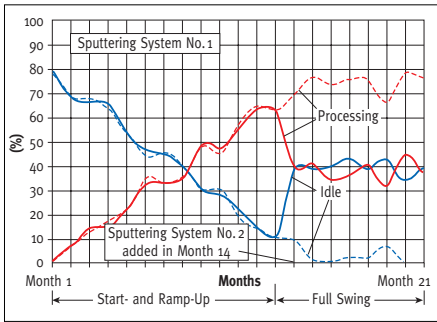
strategie in einer Chiplinie ermitteln läßt. Und als richtige Strategie für die Simulationsanalyse rät Arzt derweil, die Produktionsabläufe in vier iterativen Schritten zu simulieren:

- optimieren des vorgegebenen Geräteparks
- verkleinern der Durchlaufzeiten aller beteiligten Produkte
- verbessern der Operatorenauslastung
- ermitteln der richtigen Losgrößen

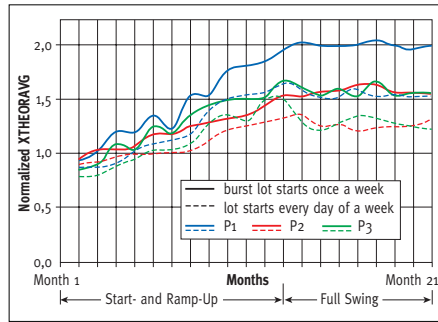
Vor Schritt eins ergaben sich durch Materialflußanalysen mit FactoryFLOW unterschiedliche Modellfabriken, unter denen sich das hinsichtlich Transportaufwand und Transportzeit am besten geeignete ja auswählen und dann mit den ursprünglichen Eckdaten für die Kapazitätsanalyse (Tabelle 1a) kombinieren läßt. Anschließend wird unter AutoSched ein dynamisches Simulationsmodell (Bild 1) ermittelt und siehe da:

Das Sputter-System der schönen Fabrik könnte als Flaschenhals wirken: Wenn die Idle-Time unter zehn Prozent fällt, droht ein Engpaß. Nicht unbedingt erfreut geben Sie als Kapitalgeber das OK für ein weiteres virtuelles Sputter-System und lassen dieses rechtzeitig installieren. Arzt kann Ihre Miene jedoch wieder aufhellen: Die vier geplanten Stepper und die vier RIE/Plasma-Ätzer sind nämlich nur moderat ausgelastet und ein zweiter Simulationslauf bestätigt, daß Sie jeweils nur drei Geräte brauchen. Derweil beeinflussen leider auch die Batchzeiten der Diffusionsöfen die nun gerätemäßig optimierte Auslastungsrate.

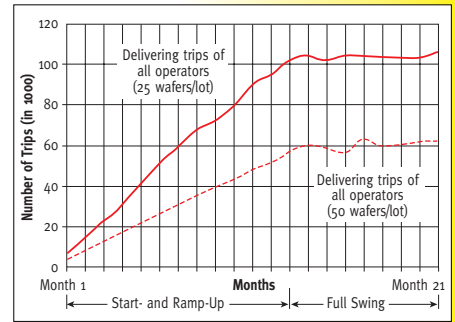
Zwischenergebnis: 800 000 virtuelle Dollar gespart, für einen optimalen Gerätepark - der nun als Ausgangsbasis dient, für



**Die Idle-Time eines »Close-to-Bottleneck«-Sputter-Systems soll nicht unter die Marke von 5 bis 10% sinken**



**Die Einlastungsstrategie zeigt einen wesentlichen Einfluß auf die mittleren Durchlaufzeiten. Das auf der y-Achse aufgetragene normierte X-Theor-AVG entspricht dem tatsächlichen X-Theor-AVG, normiert auf die anvisierte Durchlaufzeit.**



**Die erforderlichen Transportvorgänge für die Operatoren liegen für 50 Wafer/Los weitaus niedriger als für 25**

\* Bei der Berechnung der Auslastung sind die Los-Transportzeiten nicht berücksichtigt.

Untersuchungen zur Verkleinerung der Work in Process und Durchlaufzeiten. Denn kurze Durchlaufzeiten wirken in Richtung Produktionskosten und Reaktionsmöglichkeiten auf wechselnde Nachfrage wohltuend – und verkleinern die Kontamination der gefertigten Ware.

Arzt ersetzt zunächst die eingesetzten Fifo- und Fifo-Batch-Regeln durch andere Standardregeln (rule\_HXT: highest times (X) theoretical, rule\_LBA: least balance ahead, rule\_LLA: least lots ahead) – allerdings ohne große Auswirkung auf die Durchlaufzeit selbst. Rule\_HXT verkleinert zwar deren Varianz, aber Fifo und Fifo-Batch qualifizieren sich dennoch als adäquate Arbeitsregeln. Zumal sie für das Manufacturing-Execution-System (MES) Logistik und Steuerung für die Produktion) leicht einzuführen und umzusetzen sind.

Trotzdem sollte Arzt auch die Regel für die Einlastung unter die Lupe nehmen und schrittweise ändern: Statt alle Lose einmal pro Woche gemeinsam einzuspeisen, lassen sich diese ja auch kontinuierlich starten: »Waferstarts auf einzelne Tage zu verteilen heißt, die mittlere Durchlaufzeit beachtlich zu verkürzen.« Siehe Bild 2, Arzt hat hier die fürs Verteilen von Ausfallzeiten im Gerätepark eingesetzten empirischen Daten eher pessimistisch angepaßt, und so geht er davon aus, daß die künftig reale Chip-Linie die simulierten Durchlaufzeiten locker erreicht.

Sind die Operatoren denn dabei ausgelastet? Gute Frage, Herr Investor: Laut Vorgabe soll die Mannschaft in einzelnen Bays arbeiten, der Schichtplan besteht aus drei Schichten zu je acht Stunden und an sieben Tagen pro Woche. Und jeder Operator darf dabei nur in seinem Bereich stehende Maschinen rüsten und bedienen. Ein Simulationslauf mit den bisher ermittelten Daten zeigt jedoch, daß etwa die Operatoren im Bay Photolithographie fünfzig Prozent ihrer Zeit mit dem Einrichten und Bedienen der Geräte beschäftigt sind. Tabelle zeigt jedoch auch, daß die virtuellen Damen und Herren im Naß-Ätz-Oxid- oder RIE/Plasma-Bereich viel zu viel Zeit übrig haben.

Also gilt's umzustrukturieren und unausgelasteten Operatoren etwa Verantwortung für zwei nebeneinanderliegende Bereiche

einzuräumen. Und siehe da: Vergrößerte Verantwortung lastet weniger Operatoren besser aus. Die Tabelle zeigt jedoch auch, daß sich die Auslastung nach der Vergrößerung des Wirkungsbereichs noch weiter austarieren läßt und dabei genügend Zeit für die wichtigen zusätzliche Aktivitäten bleibt, wie etwa Reaktionen auf unerwartete Ereignisse, Fortbildung oder Wartung und Test der Geräte.

### Eckdaten des ursprünglichen AutoSched Simulationsmodells

Ursprünglicher Equipmentpark	Bestimmt durch klassische (statische) Spreadsheet-Analyse
Equipmentkenndaten	Datenblätter (WPH), Erfahrungswerte (MTBF/MTTR)
Störverhalten (WPH/MTBF/MTTR)	
Produktionszeit	24 Stunden am Tag, 7 Tage in der Woche
Produkte	3 Produkte (P1, P2, P3)
Produktmix	P1 : P2 : P3 = 37% : 37% : 26% (Full Swing)
Rework	5%
Ursprüngliche Einlastungsstrategie	Alle Los-Starts einmal pro Woche
Los Dispatching Regeln	FIFO/FIFO-Batch
Batchkriterien (Diffusions-Öfen)	Gleicher Prozessschritt, gleiche Prozessdauer
Batchkriterien (übriges Batch-Equipment)	Gleicher Prozessschritt
Anfängliche Losgröße	50 Wafer pro Los
Anfängliche Personalstärke pro Bereich (8h Schicht)	Photo: 2; Diffusion: 2; Implantation: 1; Naßsätsen (Oxid): 2; RIE/Plasma: 2; Naßsätsen (Metall): 1

### Eckdaten des optimierten AutoSched Simulationsmodells

Optimaler Equipmentpark	Bestimmt durch Analyse der Equipmentauslastung mittels AutoSched
Equipmentkenndaten	Datenblätter (WPH), Erfahrungswerte (MTBF/MTTR)
Störverhalten (WPH/MTBF/MTTR)	
Produktionszeit	24 Stunden am Tag, 7 Tage in der Woche
Produkte	3 Produkte (P1, P2, P3)
Produktmix	P1 : P2 : P3 = 37% : 37% : 26% (Full Swing)
Nacharbeit	5%
Optimierte Einlastungsstrategie	Kontinuierliche Los-Starts jeden Tag der Woche
Los Dispatching Regeln	FIFO/FIFO-Batch
Batchkriterien (Diffusions-Öfen)	Gleicher Prozessschritt, gleiche Prozessdauer
Batchkriterien (übriges Batch-Equipment)	Gleicher Prozessschritt
Losgröße	50 Wafer pro Los
Optimierte Personalstärke pro Bereich (8h Schicht)	Photo: 2; Diffusion und Naßsätsen (Oxid): 3; Implantation: 1; Naßsätsen (Metall) und RIE/Plasma: 2

**Eckdaten des a) ursprünglichen und b) optimierten AutoSched-Simulationsmodells**

**Simuliert Kosten von geplanten Fabriken:  
Dr. Thomas Arzt von CRC, Freiburg**



Zwischenergebnis: 300 000 virtuelle Dollar an Personalkosten gespart, die Arzt beim Austarieren der Losgrößen nicht wieder verlieren sollte, denn er fragt: »Soll die Halbleiterfabrik einem Trend der Halbleiterfertigung folgen und mit 25 statt der bisher angenommenen 50 Wafer pro Los arbeiten?«

Mit den bislang definierten Daten, halbierten Losgrößen und der doppelten Anzahl an Losstarts erzielt er ein überraschendes Simulationsergebnis. Denn die Durchlaufzeiten der drei virtuell gefertigten Chips vergrößern sich um den Faktor Drei bis Vier; gleiches gilt für die Work in Process und bei voller Auslastung erreicht keiner der zwei Parameter einen Gleichgewichtszustand.

Ursache: Die doppelte Zahl der Los-Starts verdoppelt nicht nur die Zahl der Transporte, sondern auch die Anzahl der Rüstvorgänge an nahezu allen Geräten (Bild 3). Damit nimmt die Auslastung der Operatoren zwar zu, aber diese verträdeln viel Zeit mit Transporten. So warten Lose länger auf die Bearbeitung und diese Wartezeiten schlagen bei den Durchlaufzeiten durch.

Ein zweiter Simulationslauf mit doppelter Operatorenzahl pro Bucht untermauert das Ergebnis: die Durchlaufzeiten pendeln sich hier auf dem doppeltem Niveau der vorgegebenen Werte ein. Damit ist klar, die neue Halbleiterfabrik sollte auf 50 Wafer ausgelegt sein. Eine Überprüfung des bestmöglichen Geräteparks zum Projektabschluss bestätigt die ermittelten Betriebsparameter als optimiert für die Produktionslinie.

Summe der Zwischenergebnisse: Die gesparte Investitionssumme liegt im erwarteten Rahmen zwischen zwei und fünf Prozent, von 30 geplanten Operatoren (drei Schichten) müssen sechs nicht eingestellt und angelehrt werden.

*Afra Köhler*

CRC **410**

#### Operator-Auslastung für die zunächst vorgesehenen Operator-Klassen

Anzahl Operator	Rüsten+Bedienen	Idle-Zeit
2 Operator im Photolithographie-Bereich	50%	50%
2 Operator im Diffusions-Bereich	25%	75%
2 Operator im Naßätz-Oxid-Bereich	10%	90%
2 Operator im RIE/Plasma-Bereich	10%	90%
1 Operator im Naßätz-Metall-Bereich	30%	70%

#### Operator-Auslastung für die neuen Operator-Klassen

Anzahl Operator	Rüsten+Bedienen	Idle-Zeit
2 Operator im Photolithographie-Bereich	50%	50%
3 Operator in den Diffusions- und Naßätz-Oxid-Bereichen	25%	75%
2 Operator in den Naßätz-Metall- und RIE/Plasma-Bereichen	30%	70%

**Auslastung der Operatoren bei Vollproduktion  
a) vor und b) nach der Klassenanpassung.**