

System für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Dipl.-Inform. Philipp Dreiss
aus Stuttgart

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. E. Westkämper

Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Spath

Tag der Einreichung: 23. Mai 2007

Tag der mündlichen Prüfung: 27. November 2007

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

2007

IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation (IAO), Stuttgart,
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart
und Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

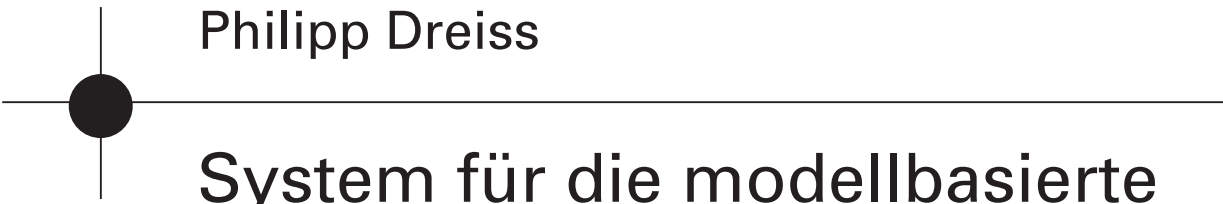
Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath

Philipp Dreiss



System für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung

Nr. 467

Dr.-Ing. Dipl.-Inform. Philipp Dreiss

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN (10) 3-939890-23-5, ISBN (13) 978-3-939890-23-2

Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost Jetter Verlag, Heimsheim 2007.

Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper Hans-Jörg Bullinger Dieter Spath

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart.

Herrn Professor Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper danke ich für seine wissenschaftliche Betreuung und Förderung der Arbeit sowie die Übernahme des Hauptberichts. Herrn Professor Dr.-Ing. Dieter Spath danke ich für die Durchsicht meiner Arbeit und für die Übernahme des Mitberichts. Meinen Dank möchte ich ebenso Herrn Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Rolf Dieter Schraft, Herrn Dr.-Ing. Johann Dorner und Herrn Dipl.-Ing. Joachim Seidelmann für die wohlwollende organisatorische Unterstützung und Förderung dieser Arbeit aussprechen.

Ich danke allen Kolleginnen und Kollegen der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion für die vielen Anregungen, die konstruktive Kritik und die Unterstützung während der Entstehung der Arbeit. Mein Dank gilt weiterhin allen Studentinnen und Studenten, die in Form von Praktika und Diplomarbeiten zu dieser Arbeit beigetragen haben.

Einen besonderen Dank möchte ich Herrn Dr.-Ing. Ralf Muckenhirn, Herrn Dr.-Ing. Akhauri Prakash Kumar, Herrn Dr.-Ing. Thomas Kaufmann und Frau Dipl.-Inform. Barbara Erdmann für die Zusammenarbeit und die vielen hilfreichen Anregungen aussprechen.

Für die Unterstützung bei der Entstehung dieser Arbeit danke ich Herrn Dr.-Ing. Andreas Scheibe und Herrn Dipl.-Phys. Hartmut Eigenbrod. Insbesondere Herrn Frederic Ditten danke ich für die ausführliche Durchsicht dieser Arbeit.

Zum Dank für ihre Unterstützung und den großen Rückhalt vor und während der Entstehung dieser Arbeit widme ich dieses Buch meiner Ehefrau Hanna Dreiss aus tiefstem Herzen sowie meinen Eltern Gabi und Prof. Dr. Uwe Dreiss, die meine bisherige persönliche und berufliche Entwicklung maßgeblich gefördert und geprägt haben.

Brüssel, im Dezember 2007

Philipp Dreiss

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen.....	13
1 Einleitung.....	17
1.1 Problemstellung.....	17
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	19
2 Ausgangssituation bei der Integration von Anlagen.....	21
2.1 Produkte der Halbleiterfertigung.....	21
2.2 Produktionsstätten und Markt.....	22
2.3 Prozesstypen für die Produktion von Halbleitern.....	22
2.4 Architektur der IT-Systeme in der Produktion.....	24
2.5 Grundlegende Anforderungen.....	25
3 Analyse der Integration von Anlagen und Konzeption des Systems.....	27
3.1 Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion.....	27
3.1.1 Funktionen der Anlagenautomatisierung.....	29
3.1.2 Erfüllung von Standards in der Halbleiterbranche.....	33
3.1.3 Integrationschnittstellen.....	36
3.1.4 Integrationsplattformen.....	38
3.1.5 Abhängigkeiten der Automatisierungsgrade.....	38
3.2 Konzeption der modellbasierten Integration.....	40
3.2.1 Anforderungen für das Konzept der modellbasierten Integration.....	40
3.2.2 Abbildung von Struktur und Aufbau der Anlagen.....	42
3.2.3 Abbildung des Automatisierungsverhaltens der Anlagen.....	43
3.2.4 Verifizierung der Modelle.....	44
3.2.5 Generierung der Integrationschnittstellen.....	45
3.3 Abgrenzung und Zusammenfassung der Anforderungen an das System.....	46
4 Stand der Technik der modellbasierten Integration von Anlagen.....	51
4.1 Anlagenintegration.....	51
4.1.1 Vorgehensweise bei der Integration.....	51
4.1.2 Visuelle Programmierung.....	52
4.1.3 Objektorientierte Modellierung der Domäne.....	53
4.2 Informations- und Anwendungsintegration.....	53

4.2.1	Architekturen bei der Integration von Informationen.....	54
4.3	Modellgetriebene Architekturen.....	55
4.3.1	Klassifizierung von Quellcodegeneratoren.....	56
4.3.2	Plattformunabhängige Datenmodelle.....	57
4.3.3	Plattformabhängige Datenmodelle.....	57
4.3.4	Datenmodelle für die Spezifikation einer Plattform.....	58
4.4	Zusammenfassung.....	58
5	Entwicklung des Systems für die modellbasierte Integration von Anlagen.....	59
5.1	Basismodelle.....	59
5.1.1	Anlagenstrukturmodell.....	59
5.1.2	Anlagenfunktionenmodell.....	64
5.1.3	Qualifizierungsmodell.....	69
5.2	Modellbasierte Propagation.....	77
5.2.1	Transformation.....	78
5.2.2	Berechnung der Vollständigkeit der Propagation.....	84
5.2.3	Propagationsmodell.....	86
5.3	Architektur des Systems.....	90
5.3.1	Dienstorientierte Architektur.....	90
5.3.2	Entwicklung der Benutzeroberflächen.....	91
5.3.3	Verteilung der Dienste.....	91
5.3.4	Freigabe und Verfolgung der Änderungen im System.....	91
5.3.5	Versionierung der Änderungen im System.....	91
5.3.6	Anlagenverwaltung.....	92
5.3.7	Propagationsmaschine.....	92
5.4	Architekturmodell des Systems.....	94
5.4.1	Einordnung der Anlagenmodelle in das System.....	95
5.5	Anwendungsfälle des Systems im Gesamtprozess.....	95
5.5.1	Planen der Bereiche und Prozesstypen in einer Fabrik.....	96
5.5.2	Spezifikationen, Anforderungen und Tests.....	96
5.5.3	Einkaufsprozesse und Transaktionen.....	97
5.5.4	Verfolgung der Erfüllung von Spezifikationen und Verhandlungen.....	98
5.5.5	Verwaltung und Integration von Testergebnissen.....	99
5.5.6	Definition der Modelle im System.....	99
5.5.7	Auswahl und Konfiguration der Integrationsplattform.....	99

5.5.8	Generierung der Integrationsschnittstelle.....	99
5.5.9	Integration im Softwareentwicklungsprozess.....	99
5.5.10	Verifizierung der Integration nach Vollständigkeit.....	102
5.5.11	Aktivierung der Integrationsschnittstelle auf der Anlage.....	102
5.6	Zusammenfassung.....	103
6	Realisierung des Systems für die modellbasierte Integration.....	105
6.1	Anlagenverwaltung.....	106
6.2	Propagationsmaschine.....	108
6.2.1	Integration einer Anlage.....	108
6.2.2	Generierung der Integrationsschnittstelle.....	110
6.3	Zusammenfassung.....	116
7	Bewertung und Nutzen.....	117
7.1	Unterstützung beim Aufbau einer Produktion.....	117
7.2	Bewertung des Prozesses.....	119
7.3	Bewertung des Systems.....	120
7.3.1	Auswertung der Automatisierungsgrade.....	120
7.4	Zusammenfassung.....	121
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	123
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	123
8.2	Ausblick auf weitere Entwicklungen.....	125
9	Summary and future prospects.....	127
9.1	Summary of the results.....	127
9.2	Future prospects.....	131
10	Literaturverzeichnis.....	133

Abkürzungen und Formelzeichen

A	Anforderung
ACM	Automation Capabilities Management
AFM	Anlagenfunktionenmodell
APC	Advanced Process Control
ASM	Anlagenstrukturmodell
B	Bedingung
BDE	Betriebsdatenerfassung
CAN	Controller Area Network
CMP	Chemical Mechanical Polishing
CPU	Central Processing Unit
CVD	Chemical Vapor Deposition
D	Auswertungsdefinitionsmenge
DCOM	Distributed Component Object Model
DMZ	Demilitarized Zone in Computernetzwerken
DWH	Data Warehouse
E	Erfüllung einer Anforderung
F	Fragment
Fab	Fabrik, Produktionsstätte für Halbleiter
FB	Fehlerbehandlung
FDC	Fault Detection and Classification
$G_{\text{Propagation}}$	Graph einer Propagation
GEM	Generic Equipment Model
HSMS	High Speed SECS Message Language
HTTP/S	Hypertext Transfer Protocol (Secure)
i, j, k, m, n	Indizes

I	Vollständigkeitskennzahl einer Propagation
IC	Integrated Circuit
IP	Integrationsplattform
IT	Informationstechnologie
K	Automatisierungskennzahl
L	Automatisierungsgrad
MDA	Model Driven Architecture
MDE	Maschinendatenerfassung
MPU	Multi Processor Unit
nm	Nanometer
OMG	Object Management Group
OPC	Openness, Productivity, Collaboration; OLE for Process Control
P	Propagationskennzahl
QM	Qualifizierungsmodell
R	Transformationsreferenz
RMS	Recipe Management System
S	Standardschnittstelle
SECS	Semiconductor Equipment Communication Standard
SEMI	Semiconductor Equipment and Materials International
SOAP	Simple Object Access Protocol
SRF	Supplier Response Form
SSL	Secure Socket Layer
T	Transformation
TCP/IP	Transmission Control Protocoll; Internet Protocol
TB	Teil-Quellcodebaustein
TM	Transformationsmodell
TOS	Tool Operating Specification

TP	Testplan
UML	Unified Modeling Language
V	Kanten eines Baumes oder Graphen
VB	Variabler Quellcodebaustein
V _S	Version der Standardschnittstelle
V _{IP}	Version der Integrationsplattform
WSDL	Web Service Description Language
XML	Extensible Markup Language
Z	Kennzahl zusammenhängender Eignungskartenpakete

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Unternehmen in der Halbleiterbranche sehen sich zunehmend komplexeren Marktanforderungen ausgesetzt, die sie durch Verbesserung der Produktion kompensieren können. Die unablässig zunehmende Komplexität ergibt sich aus der stetigen Verkleinerung der Strukturbreiten von Integrierten Schaltkreisen, der Steigerung des Funktions- und Leistungsumfangs von Halbleiterbauelementen, dem steigenden Automatisierungsgrad der Produktion sowie der sich ständig verkürzenden Dauer für den Aufbau von Produktionsstätten [Infineon04a, ITRS04].

Integration von Halbleiterfertigungsanlagen

Die Integration zielt darauf, einen durchgehenden Informationsfluss in der durch IT-Systeme gesteuerten und überwachten Produktion („Digitale Produktion“ [Jacobi06, Westk07]), vom Fertigungssteuerungssystem bis hin zu den einzelnen Fertigungsanlagen, bereitzustellen.

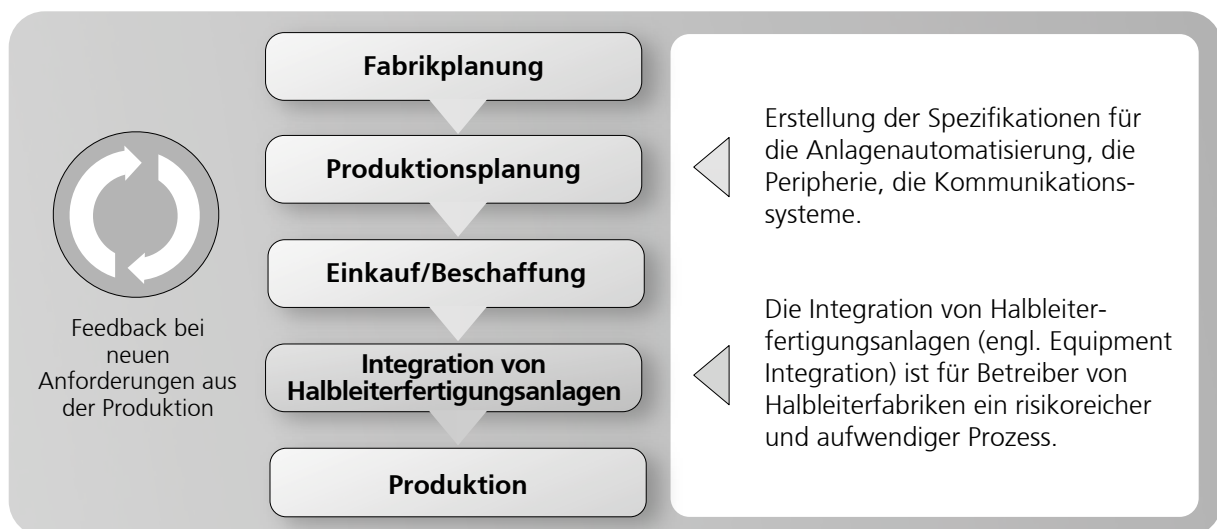


Abbildung 1.1: Verkürzung der Aufwände bei der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen

Beim Aufbau von Produktionsstätten für die Halbleiterfertigung werden, wie in Abbildung 1.1 dargestellt, mehrere Phasen durchlaufen. Die Phasen der Planung, der Beschaffung und der Integration sollen dabei deutlich verkürzt und verbessert werden.

Entwicklung des Halbleitermarktes

Durch die zunehmende Durchdringung von Integrierten Schaltkreisen in vielen Branchen, wie Automobil, Telekommunikation, Computer- und Unterhaltungselektronik, erhöht sich der Be-

darf an neuen Fertigungstechnologien und weiteren Produktionsstätten ständig. Der Halbleitermarkt erlebt weltweit ein deutliches Umsatzwachstum, wie in Abbildung 1.2 dargestellt [Osborne06, WSTS06].

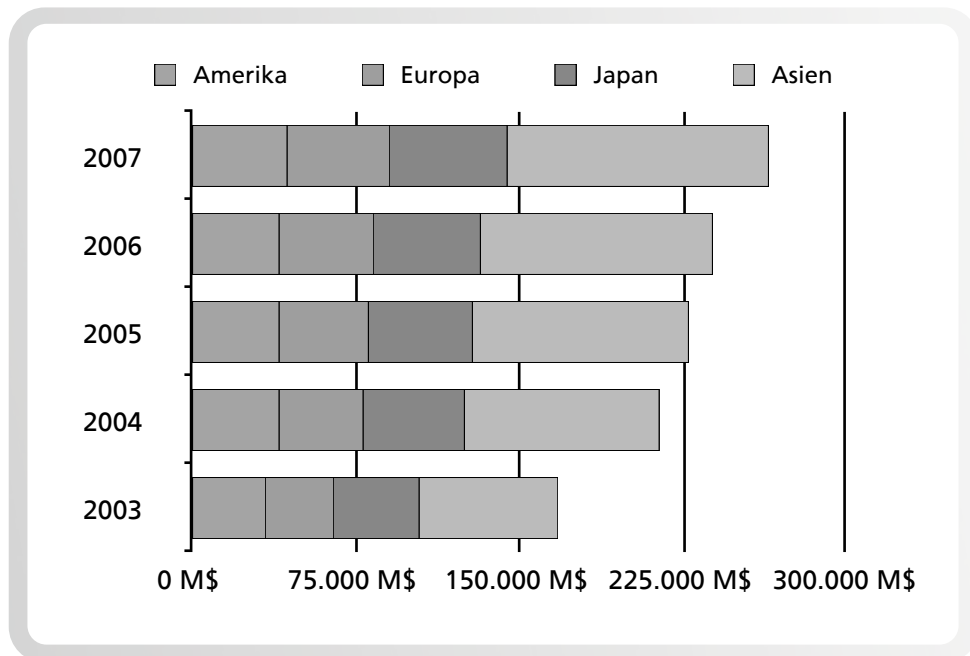


Abbildung 1.2: Entwicklung des Halbleitermarktes seit 2003

Diese Expansion in Verbindung mit den Anforderungen an einen schnellen Aufbau bzw. eine Erweiterung der Produktion erfordert eine klare, transparente und effektive Vorgehensweise bei der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen.

Umsatz mit Halbleiterfertigungsanlagen

Eine Produktionsstätte besteht derzeit durchschnittlich aus bis zu 600 Halbleiterfertigungsanlagen.

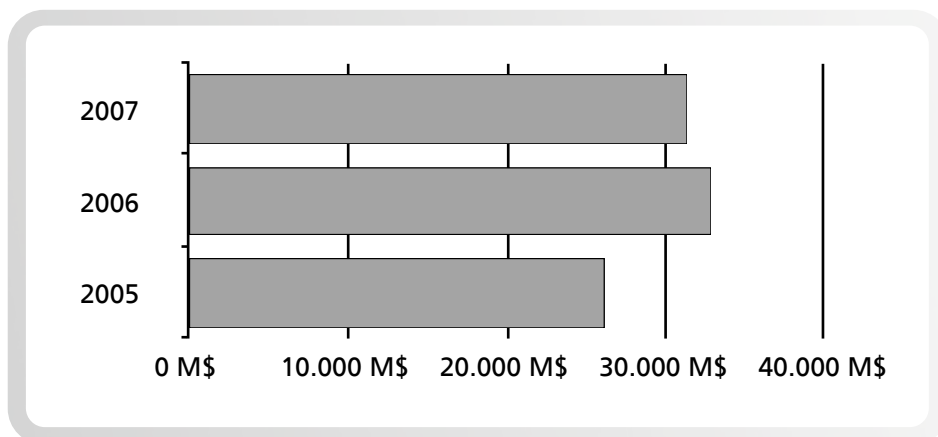


Abbildung 1.3: Entwicklung der Investitionen in Halbleiterfertigungsanlagen seit 2005

Die Investitionen der Halbleiterbranche beim Aufbau der Produktionen sind entsprechend des Gesamtwachstums der Branche gestiegen [Gartner06], wie in Abbildung 1.3 gezeigt.

Die Entwicklung einer effektiven Vorgehensweise bei der Integration einer großen Anzahl von Anlagen muss beim dargestellten Umfang durch die Entwicklung eines Systems für die modellbasierte Integration von Halbleiterfertigungsanlagen unterstützt werden.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur modellbasierten Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion leisten. Dabei wird ein System zur Unterstützung bei der Integration für die Betreiber von Halbleiterfabriken und die Anlagenhersteller entwickelt. Ziel des Systems ist es, die Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion einer Halbleiterfabrik zu vereinfachen und eine prozessübergreifende Vorgehensweise, von der Planung einer Fabrik bis zur Produktion, zu ermöglichen. Durch die prozessübergreifenden Eigenschaften des Systems soll darüber hinaus ein durchgängiger Informationsfluss von der Spezifikation bis zur Erfassung von Informationen aus dem laufendem Betrieb der Anlagen bereitgestellt werden.

Für die Ableitung der grundlegenden Anforderungen an ein System der modellbasierten Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung wird auf die Ausgangssituation bei der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen eingegangen.

Basierend auf der Analyse der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion und den damit verbundenen Anwendungsfällen wird das System für die modellbasierte Integration konzipiert. Aus diesem Konzept und der Analyse der Integration ergeben sich die Anforderungen, die ein System für die modellbasierte Integration zu erfüllen hat.

Anschließend wird der Stand der Technik bei der Integration von Anlagen in die Produktion von Halbleitern, sowie der Informations- und Anwendungsintegration betrachtet. Da das Konzept der modellbasierten Integration auf der Generierung von Quellcode durch Transformation von Modellen basiert, werden verschiedene Vorgehensweisen und Methoden für die Generierung dargestellt.

Die Entwicklung des Systems wird auf der Konzeption aufbauend Schritt für Schritt hergeleitet und die erforderlichen Modelle definiert.

Die Realisierung des Systems für die modellbasierte Integration, sowie die Bewertung und der Nutzen des Systems zeigen den Einsatz bei der Unterstützung des Aufbaus einer Halbleiterfabrik für die Produktion von Speicherbausteinen.

2 Ausgangssituation bei der Integration von Anlagen

Die Produkte, die aus Halbleitern hergestellt werden, sind vielfältig und erfordern stetig neue und verbesserte Elemente. Zur Betrachtung der Ausgangssituation bei der Integration von Anlagen in die Halbleiterproduktion werden einige Produkte kurz vorgestellt und die damit verbundene Entwicklung der Strukturbreite gezeigt. Die einzelnen Prozessschritte bei der Fertigung der Produkte werden in diesem Kapitel erläutert und die Integration der Halbleiterfertigungsanlagen in die IT-Landschaft der Produktion beschrieben.

Daraus leiten sich die grundlegenden Anforderungen und Kriterien für die Konzeption und die Entwicklung eines Systems zur modellbasierten Integration ab.

2.1 Produkte der Halbleiterfertigung

In Halbleiterfabriken werden die integrierten Schaltkreise oder Chips auf Scheiben (engl. wafer) mit einem Durchmesser von derzeit 300 mm gefertigt. In diesen 300-mm-Fabriken entstehen hauptsächlich die folgenden Produkte, welche von verschiedenen Branchen in weiteren Produkten verwendet werden:

- *DRAM-Speicher und NAND Flash-Speicher* – Speicherbausteine für Server, Desktop-Computer, Notebooks und Geräte aus der Unterhaltungselektronik (Spielkonsolen, MP3-Musik-Player, u.v.m.).
- *Mikrocontroller und Mikroprozessor (CPU bzw. MPU)* – Prozessoren mit ein oder mehreren Kernen für den Einsatz in Servern, Desktop-Computern, Notebooks sowie Geräten aus der Unterhaltungselektronik.
- *Logik-Chips* – Spezielle Produkte mit individueller Logik für bestimmte Branchen, wie beispielsweise Chips für Airbags in der Automobilindustrie oder Mobilfunkgeräte und Telefone.
- *LCD (Liquid Crystal Display)* – Bildschirme für Computer, Fernseher und Geräte aus der Unterhaltungselektronik.
- *CCD Bildsensoren (Charged Coupled Device)* – Chips für die Bilderfassung von Digitalkameras und Videorekordern.

2.2 Produktionsstätten und Markt

Derzeit gibt es weltweit rund 80 300-mm-Halbleiterfabriken von Betreibern, wie z.B. AMD, IBM, Infineon Technologies AG / Qimonda AG, Intel, Micron, Samsung, Sony, ST Microelectronics, Texas Instruments und TSMC in denen jeweils durchschnittlich 50.000 300-mm-Scheiben pro Monat für die Fertigung in Strukturbreiten zwischen 45 nm und 130 nm für die Prozessierung gestartet werden [Osborne06]. Pro Jahr entstehen im Durchschnitt zehn neue 300-mm-Fabriken, für deren Produktion in der Aufbauphase eine große Anzahl von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion integriert werden müssen [Osborne06].

2.3 Prozesstypen für die Produktion von Halbleitern

Die Herstellung von Integrierten Schaltkreisen wird in einem bis zu 75 Tage andauernden Produktionsablauf durchgeführt. In dieser Zeit durchlaufen die Scheiben, die ursprünglich aus hochreinem Silizium bestehen, mehrere Stationen, um die spezifizierten Schaltungen in den gewünschten Strukturbreiten (derzeit bis zu 45 nm in der Serienproduktion) zu fertigen [Osborne06].

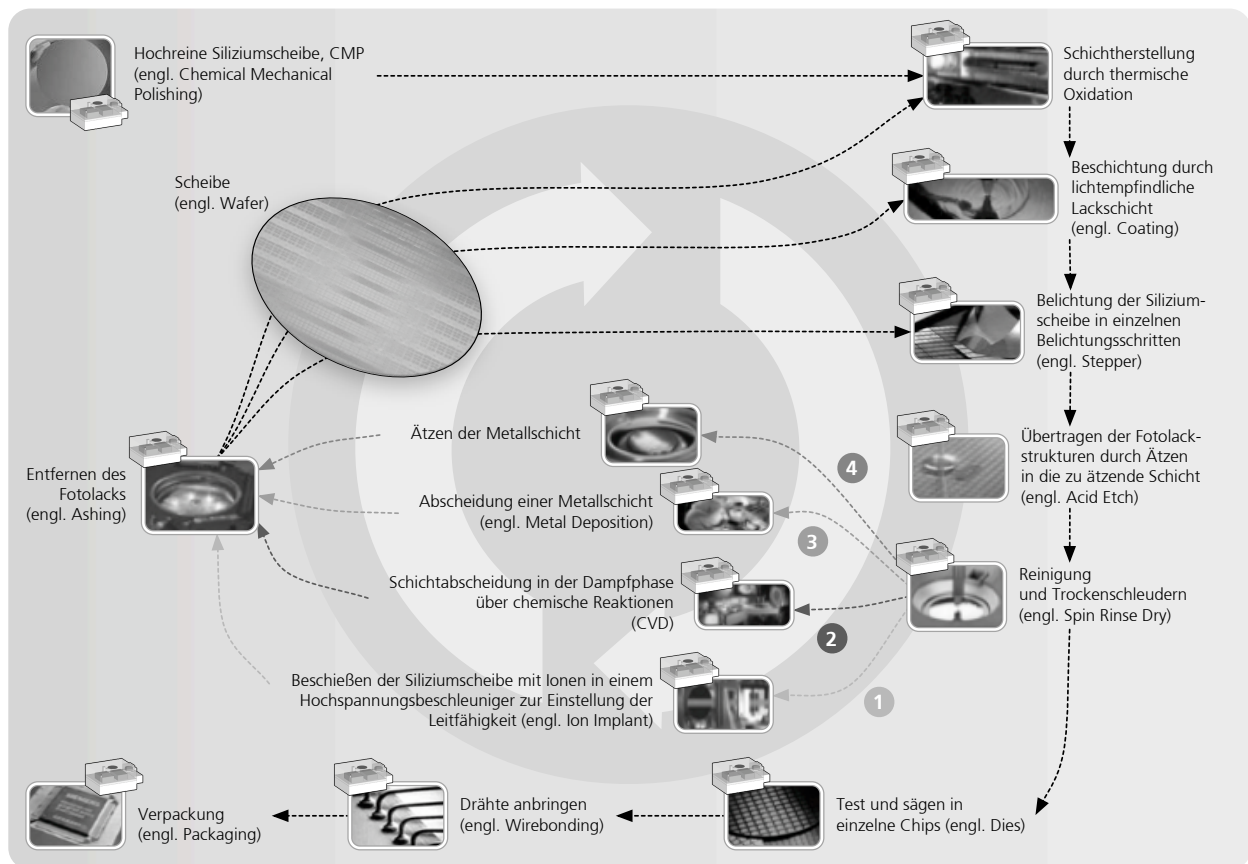


Abbildung 2.1: Produktionsablauf bei der Fertigung von Integrierten Schaltkreisen

Die in Abbildung 2.1 dargestellten Prozesstypen [Seelig06, Fullman06], wie z.B. Chemisch Mechanisches Polieren, Oxidation, Beschichtung, Belichtung, Ätzen, Reinigung, Abscheidung, Sägen, Drähte anbringen bis hin zum Verpacken, werden in der Produktion von jeweils mehreren Anlagen (Halbleiterfertigungsanlagen) hoch automatisiert durchgeführt. Für jeden Prozesstyp werden Anlagentypen spezifiziert und von den Betreibern der Fabriken bei Anlagenherstellern für den Aufbau der Produktion eingekauft.

Basierend auf der Fabrik- und Produktionsplanung wird das Layout der Produktion definiert. Dieses legt die Anordnung und die Standorte der Anlagentypen und der Anlagen für die Prozesstypen in einzelnen Bereichen, wie in Abbildung 2.2 dargestellt, fest.

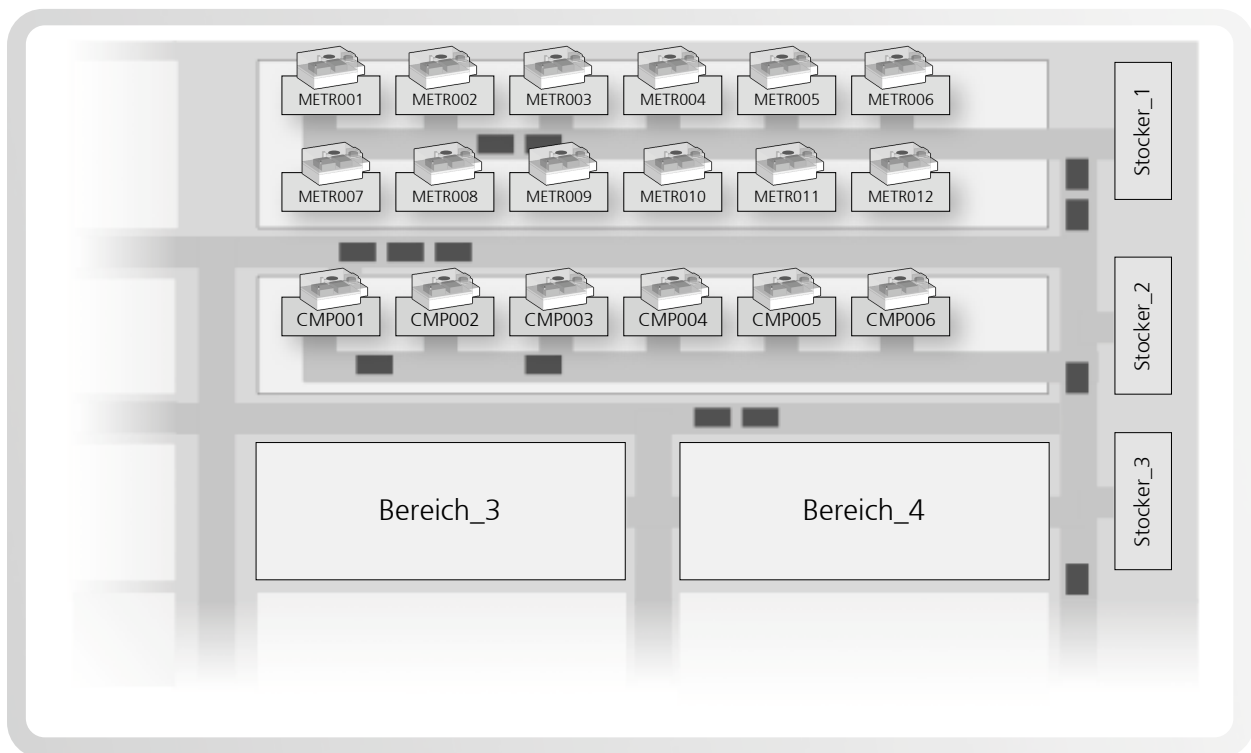


Abbildung 2.2: Anordnung der Halbleiterfertigungsanlagen innerhalb einer Produktionsstätte

Für den Transport der Scheiben wird ein automatisiertes Transportsystem installiert [STG05]. Dieses beinhaltet den Transport durch Kassetten (engl. carrier) in der Produktion. Diese Kassetten können in automatisierten Regalen (engl. stocker) zwischengelagert werden. Die sich in der Produktion befindlichen Scheiben sind ca. zu einem Drittel in den Anlagen, ca. zu einem Drittel in den Regalen und befinden sich ca. zu einem Drittel beim Transport.

Die Produktion und die Anlagen befindet sich in einem Reinraum, so dass zusätzliche Anforderungen an die Anlagen gestellt werden. Jede einzelne Anlage ist mit einer internen reinen

Umgebung (engl. mini environment) ausgestattet, welcher einer höheren Reinraumklasse entsprechen muss und beim Be- und -Entladen der Scheiben aus dem Transportsystem aufrecht erhalten werden muss.

Bei der Integration der Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion wird das Layout der Fabrik- bzw. Produktionsplanung übernommen, so dass sich die Abbildung der realen Produktion in den IT-Systemen der Produktion darstellt.

2.4 Architektur der IT-Systeme in der Produktion

Die Halbleiterproduktion ist, wie in Abbildung 2.3 dargestellt, vom Einsatz einer stark integrierten und heterogenen IT-Landschaft geprägt. Für die Steuerung der Produktion kommen eine Reihe von IT-Systemen, wie die Fertigungssteuerung, die Anlagenintegration und Anwendungen für die Überwachung der Anlagen, zum Einsatz.

Während der Aufbauphase einer Produktion werden die Anlagen an die IT-Systeme angeschlossen. Diese Kopplung der Anlagen an übergeordnete Systeme wird durch den Einsatz von Systemen für die Anlagenintegration durch Integrationsschnittstellen realisiert.

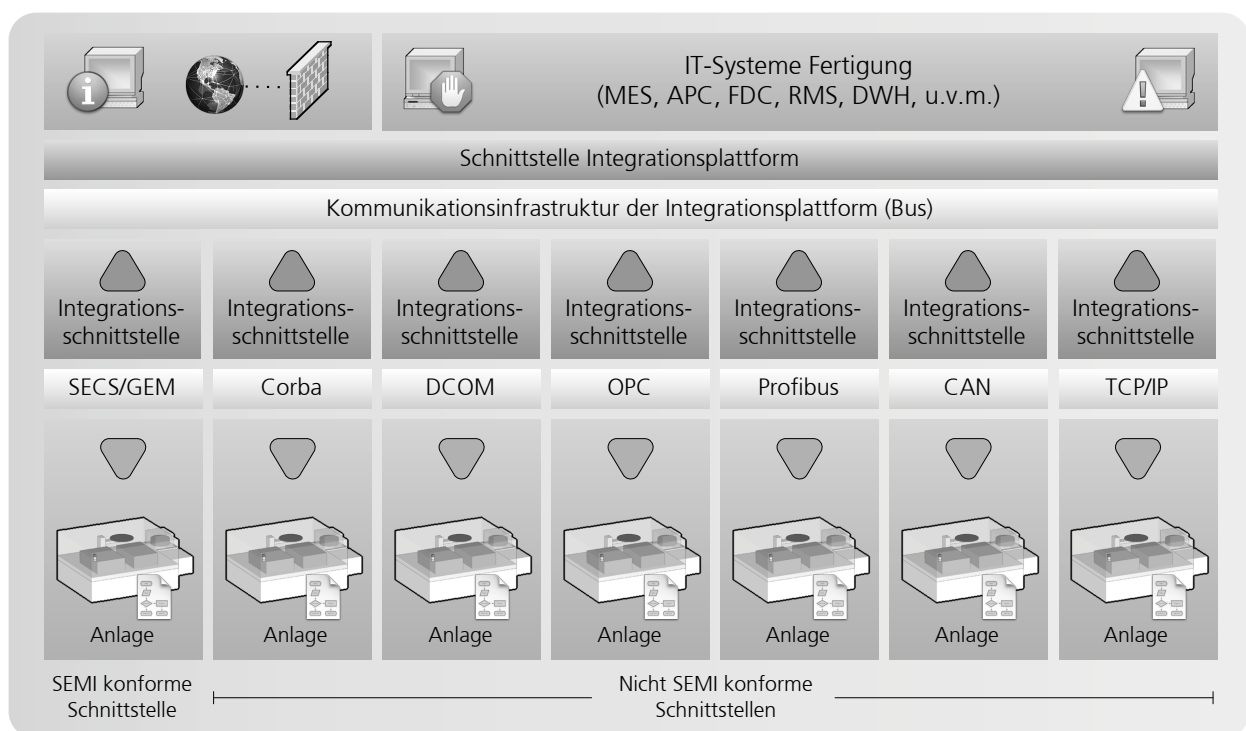


Abbildung 2.3: IT-Fertigungsarchitektur in der „Digitalen Produktion“

Durch die Integrationsschnittstellen werden die Anlagen in standardisierter Form für übergeordnete Systeme transparent und können einheitlich in die Steuerung der gesamten

Produktion einbezogen werden. Die Verhaltensweisen der Standardschnittstellen der Anlagen sind durch die Spezifikationen der SEMI-Standards [SEMI06] festgelegt, wodurch sich ein einheitliches Konzept für die Integration aller Anlagen ableiten lässt. Schnittstellen mit anderen Protokollen, wie z.B. Corba, DCOM, OPC, Profibus, CAN-Bus oder proprietär TCP/IP basiert sind in der Halbleiterproduktion ausserhalb einer Anlage selten im Einsatz [STG05].

2.5 Grundlegende Anforderungen

Bei Betrachtung der Ausgangssituation bei der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion lassen sich die Optimierung und die Entwicklung eines Systems für die modellbasierte Integration ableiten. Die Anlagenintegration ist nach den folgenden Kriterien zu verbessern [Infineon04a]:

- Steigerung der Transparenz und der Effektivität bei der Entwicklung und Implementierung von Integrationsschnittstellen.
- Bereitstellung eines einheitlichen, verteilten und skalierbaren Systems für die Durchführung und Verfolgung der Entwicklungen mit durchgängigem Informationsfluss über alle betroffenen Geschäftsprozesse hinweg; von der Planung bis hin zur Produktion.
- Erhöhung der Wiederverwendbarkeit von bereits entwickelten Komponenten der Integrationsschnittstellen.
- Definition von Modellen für die Erstellung, Entwicklung und Bereitstellung der Integrationsschnittstellen.

Durch die Entwicklung eines Systems für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung können diese grundlegenden Anforderungen erfüllt werden.

3 Analyse der Integration von Anlagen und Konzeption des Systems

Für die Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion ist es notwendig die informationstechnischen Anforderungen genau zu kennen. Zusätzlich ist die Kombination der IT mit dem domänenspezifischen Wissen über die Anlagen und Halbleiterfertigungsprozesse entscheidend für die Realisierung einer durchgängigen IT-Landschaft.

Dieses Kapitel analysiert die Aspekte aus der Sicht der Anlagenautomatisierung bei der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen. Das Ziel bei der Integration ist ein durchgängiger Informationsfluss zwischen den übergeordneten Systemen und den Anlagen.

Basierend auf der Analyse wird das Konzept abgeleitet und konkrete Anforderungen für die in Kapitel 5 beschriebene Entwicklung aufgestellt.

3.1 Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion

Die Halbleiterfertigungsprozesse, die in einer Halbleiterfabrik die Produktion von integrierten Schaltkreisen bzw. Chips ermöglichen, werden auf einzelnen Anlagen realisiert. Jeder Prozessschritt eines Loses (25 Scheiben), der in einem Prozessplan definiert ist, wird auf einer während der Produktion dynamisch zu bestimmenden Anlage durchgeführt.

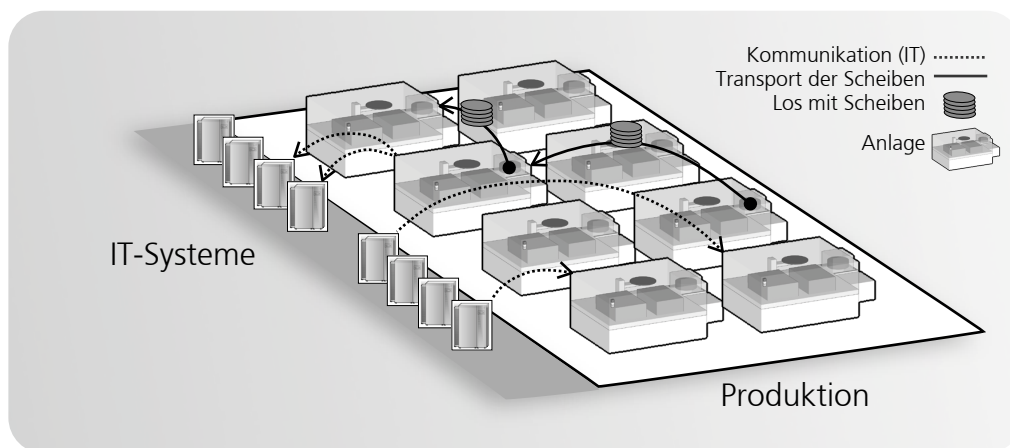


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung der Fertigungsanlagen in der Produktion und des logischen Transports der Scheiben in einem Fabrikausschnitt

Für eine hochautomatisierte Produktion ist die Integration der Anlagen ausschlaggebend. Hochautomatisiert bedeutet in einer Halbleiterfabrik, dass die Anlagen alle notwendigen Informationen und Anweisungen für die Durchführung eines Prozesses von Systemen in der Produktion erhalten, die den Überblick über den gesamten Ablauf in der Fabrik haben.

Für den Transport der Scheiben, auf denen die Chips gefertigt werden, kommen automatisierte Transportsysteme mit Zwischenstationen in automatisierten Regalen [STG05] zum Einsatz. Die Übergabe der Scheiben aus dem Transportsystem in die Anlage erfolgt nach einem standardisierten Ablaufplan. Daraus ergibt sich die Anforderung, dass jede Anlage in der Produktion diesen Standardablauf für das Be- und Entladen der Scheiben, wie in Abbildung 3.1 schematisch dargestellt, beherrschen soll, ohne dass vom Bedienpersonal (engl. operator) manuell eingegriffen werden muss [STG05].

Durchführung der Integration von Anlagen in die Produktion

Die Halbleiterfertigungsanlagen verfügen über eine über das TCP/IP Netzwerk [SEMI-E37-06] integrierbare Standardschnittstelle, deren Funktionalitäten die geforderten Anforderungen an die Automatisierung erfüllen soll. Integriert werden die Anlagen mit dem Hauptfokus von Systemen wie der Fertigungssteuerung. Zwischen der Fertigungssteuerung und den Standardschnittstellen der Anlagen wird die Anlagenintegration mit der Hilfe von auf dem Markt erhältlichen Integrationsplattformen entwickelt [Systema06, VECC06].

Die Abstraktion durch die Anlagenintegration ermöglicht die Verwendung von Schnittstellen, die auf die individuelle IT-Infrastruktur des Betreibers der Fabrik zugeschnitten werden kann.

Über die entwickelten Integrationsschnittstellen zwischen den Standardschnittstellen der Anlagen und den Systemen in der Produktion soll eine möglichst vollständige Steuerung und Diagnose der Anlagen unter Produktionsbedingungen durchgeführt werden können.

Dieser Katalog von Funktionalitäten definiert das Lastenheft an die Anlagenautomatisierung und teilt sich in Anforderungen an die Hard- und Software.

Einteilung bei der Fabrikplanung in Fertigungsbereiche

Die Anlagen werden nach Typ in definierte Bereiche innerhalb der Fabrik eingeteilt; alternativ können Anlagen nach übergeordneten Prozessen gruppiert werden.

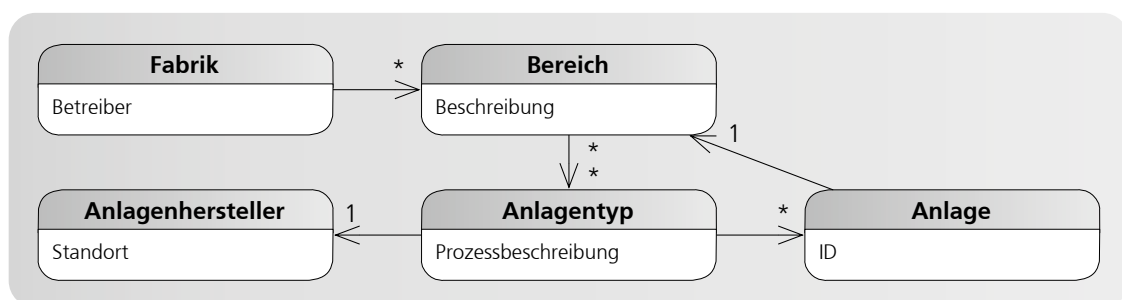


Abbildung 3.2: Verwaltung von Anlagentypen und Anlagen

Aus Sicht der Automatisierung ist die Gruppierung nach den Anlagentypen, wie in Abbildung 3.2 dargestellt, die übliche Vorgehensweise [CIMFW97]. Dadurch können Anforderungen an die Anlagen selbst über ihre abstrakte Typendefinition verwaltet werden. Für real existierende Anlageninstanzen werden spezielle Ausprägungen in abgeleiteter Form definiert.

3.1.1 Funktionen der Anlagenautomatisierung

Die Anforderungen an die Automatisierung einer Halbleiterfertigungsanlage setzen sich aus Hardwarekomponenten und Softwarefunktionalität zusammen. Die Hardware erfüllt die Anforderungen an die Reinheitsbestimmungen für die Halbleiterfertigung und die Be- und Entladeeinheiten [Schliesser98]. Die Anforderungen an die Software sind die Standardschnittstelle für die Steuerung, die Identifikation von Scheiben, die Initialisierung, die Steuerung von Be- und Entladeeinheiten und die Diagnose von Prozessdaten.

Initialisierung beim Start

Die Initialisierung der Anlage wird beim Anschalten unter normalen Bedingungen und ohne Material durchgeführt. Nach einer Softwareaktualisierung muss die Anlage ebenfalls neu gestartet und die Initialisierung durchgeführt werden.

Während der Initialisierung sind standardisierte Abläufe durchzuführen. Diese Abläufe beinhalten die folgenden Schritte [ISMIFlow04]:

- *Initialisierung der Anlagenmodelle [SEMI-E30-06]* – Die allgemeine Initialisierung der Modelle (engl. Generic Equipment Model) testet das Kommunikationsinterface, initialisiert die Verwaltung der Ereignisse und Nachrichten, synchronisiert die interne Zeitgebung, initialisiert die Verwaltung der Alarmer, startet die Terminaldienste und initialisiert die Überwachung der Wertebereiche von Parametern.
- *Anlagenspezifische Initialisierung* – Die spezifische Initialisierung einer Anlage beinhaltet die Einstellung der internen Konstanten, Alarmer und Diagnoseinformationen.
- *Initialisierung der Be- und Entladeeinheit [SEMI-E87-06]* – Teil dieses Ablaufes der Initialisierung sind die Einstellung der internen Konstanten, Alarmer und Diagnoseinformationen der Be- und Entladeeinheit.
- *Initialisierung der Komponenten für die Verfolgung von Material [SEMI-E90-06]* – Bei der Initialisierung der Verfolgung der Scheiben innerhalb der Anlage werden die Zustandsmaschinen und möglichen internen Positionen für das Material initialisiert.

Standardschnittstelle für die Steuerung

Für die Steuerung von Halbleiterfertigungsanlagen über das Netzwerk wird das SECS/GEM Standardprotokoll verwendet. Dieses Protokoll ist TCP/IP basiert und spezifiziert mehrere Szenarien und Verhaltensweisen der Anlagen.

Die typischen Szenarien für die Steuerung sind der Zustand der Anlage, der Zustand der Steuerungs- und der Diagnoseeinheit, der Status und die Kontrolle des sich in der Anlage befindlichen Materials, die Behandlung von Ausnahmeständen, das Verwalten und Abfragen der Diagnosedaten, das Verwalten der Prozesspläne, die Rezeptverwaltung und Organisation der Durchführung von Prozessen für die Fertigung.

Standardschnittstelle für die Überwachung von anlageninternen Diagnosedaten

Für die Trennung der Steuerungsschnittstelle von der Schnittstelle für die Diagnosedaten kann eine Anlage optional mit der standardisierten Schnittstelle „Interface-A“ [SEMI-E134-06, Ci-metrix05, Crispieri05, Dreiss05b] für die Verwaltung der Diagnosedaten (engl. Data Collection Management) ausgestattet werden.

Der Standard beschreibt nicht nur das Verhalten und die Funktionalität der Schnittstelle, sondern auch das Format in dem die Konfiguration durchgeführt werden soll und das Format der Daten in dem die Informationen von der Anlage ausgelesen werden können. Bei dieser Architektur wird die Verwendung von Web Services als Kommunikationsprotokoll auf der Anlage selbst vorgeschrieben.

Das „Data Collection Management“-Paket besteht in der Funktionalität aus den folgenden Komponenten:

- *Beschreibung der Anlagenkomponenten* [SEMI-E125-06, SEMI-E120-06] – Für die Konfiguration der Diagnoseabfragen wird als Grundlage ein Modell für die Beschreibung der sich in der Anlage befindlichen Komponenten (engl. Equipment Self Description) verwendet. Hier sind die Parameter der einzelnen Module definiert und können bei der Konfiguration referenziert werden.
- *Konfiguration der Diagnoseabfragen* [SEMI-E134-06] – Die Konfiguration der Abfragen von Diagnosedaten, die während den Fertigungsprozessen auftreten, werden durch die Aktivierung von mehreren Diagnoseplänen (engl. Data Collection Plans) für die Überwachung definiert. Die Anlage übermittelt die Informationen ent-

sprechend dieser Pläne an die Systeme zurück, welche die Anfragen ursprünglich gestellt haben.

Durch die Kombination der Beschreibung der Anlagenkomponenten und der darauf basierenden Konfiguration der Diagnosedaten wird die Funktionalität für die Überwachung von anlageninternen Daten realisiert.

Prozesskontrolle und Anpassung von Rezepten

Eine Anwendung der erweiterten Diagnoseschnittstelle ist die anlagenübergreifende Prozesskontrolle (engl. Advanced Process Control, bzw. APC) [Maeritz03, Zimmer04, Weber04]. Durch die Prozesskontrolle werden Informationen nicht nur innerhalb einer Anlage korreliert (In-Situ), sondern über die Prozessparameter beim Start eines Prozesses in Abhängigkeit der Ergebnisse eines anderen Prozesses angepasst. Die anlagen- und prozessübergreifende Prozesskontrolle wird durch ein externes System in die IT der Produktion integriert, welches die Diagnosepläne selbst und deren Ergebnisse in Datenbanken verwaltet.

Basierend auf den in der Produktion definierten Modellen für die Prozesskontrolle der einzelnen Anlagen wird die Rezeptanpassung der nachfolgenden Prozesse durch statistische und mathematische Methoden für die Auswertung der Daten berechnet [STG05].

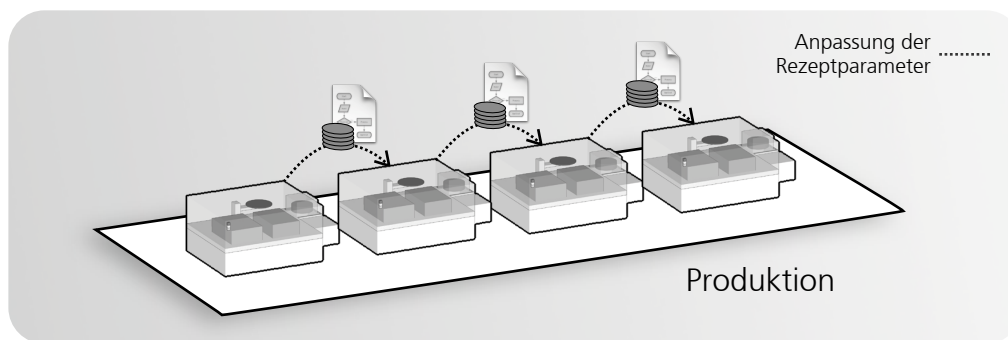


Abbildung 3.3: Prozesskontrolle und Anpassung von Rezepten

Für die Auswertung der Diagnosedaten können alle in der Beschreibung der Anlage zur Verfügung gestellten Parameter abgefragt und verwendet werden.

Ablauf beim Be- und Entladen der Scheiben

Beim Beladen der Anlage mit Scheiben teilt die Kassette der Anlage durch definierte Nachrichten mit, dass sie sich an die Anlage anschließen wird. Dabei reserviert sie eine der Ladeeinheiten, wie in Abbildung 3.4 abgebildet, für sich. Wenn diese Kommunikation erfolgreich war, kann sich die Kassette an die Anlage anschließen.

Sind Anlage und Kassette, wie in Abbildung 3.4 dargestellt, verbunden worden, wird die Kassette und deren Inhalt überprüft.

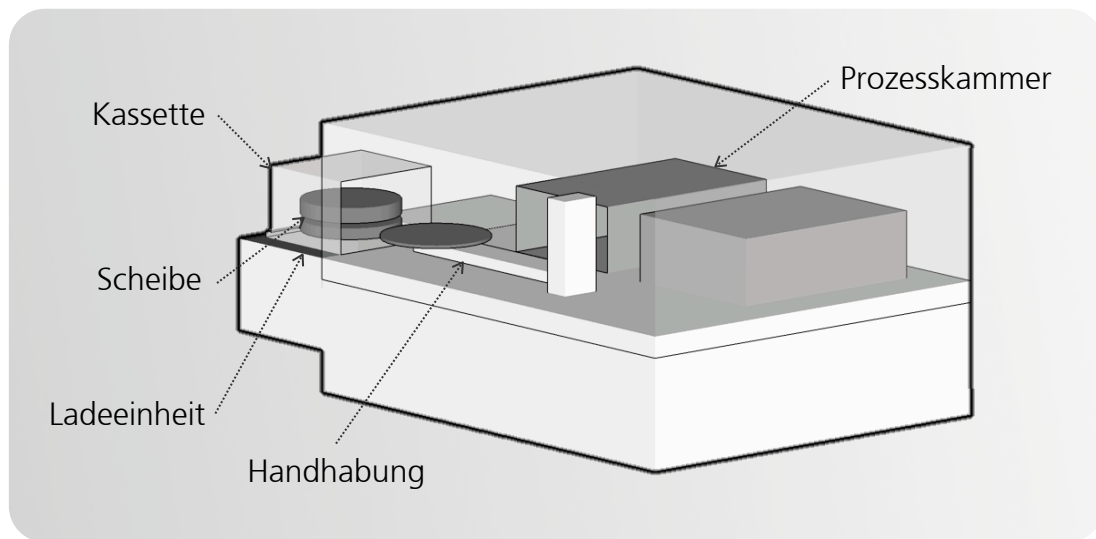


Abbildung 3.4: Ladevorgang der Scheiben durch die Handhabung aus der Kassette

Die Kassette besitzt für jede Scheibe, die in ihr transportiert wird einen Einschub (engl. slot), aus dem die Handhabung der Anlage die Scheiben herausnimmt und wieder einsetzen kann.

Die Positionen der Scheiben in den Einschüben werden vor einer Handhabung auf Fehler hin überprüft (engl. slot map verification). Die Anlage erstellt dann eine Nachricht, dass das Beladen ohne Fehler durchgeführt werden konnte und sendet sie an übergeordnete IT-Systeme.

Nach der Durchführung der Prozessabläufe und der Bearbeitung jeder einzelnen Scheibe wird die Kassette wieder automatisiert von der Anlage getrennt und über das Transportsystem an den nächsten Zielort gebracht.

Verwaltung der Steuerungs- und Prozessabläufe

Ein Steuerungsablauf (engl. control job) [SEMI-E94-06] besteht aus mehreren Prozessabläufen (engl. process jobs) [SEMI-E40-06]. Diese Ablaufstrukturen werden von übergeordneten IT-Systemen in der Produktion, wie der Fertigungssteuerung, an die Anlagen übertragen und von der Anlage selbst verwaltet, ausgeführt und überwacht.

Die Liste der Prozessabläufe ist innerhalb der Steuerungsabläufe als Warteschlange konzipiert. Die Standardschnittstelle der Anlage bietet Funktionalitäten für die Verwaltung dieser Warteschlange nach außen hin an. Damit kann die Liste abgefragt werden und einzelne Prozessabläufe können hinzugefügt und gelöscht werden.

Der Steuerungsablauf definiert die Abarbeitung der Prozessabläufe in der Anlage und kann die Warteschlange den Prioritäten nach aktualisieren. Für das Prozessieren können entweder einzelne Scheiben in der Kasette oder alle Scheiben ausgewählt werden.

Materialverfolgung innerhalb der Anlage

Befinden sich die Scheiben innerhalb der Anlage, muss zu jedem Zeitpunkt die Position des Materials abrufbar sein. Anlagen können, je nach Konfiguration und Aufbau, mehrere Prozesskammern besitzen und mehrere Prozesse gleichzeitig ausführen. Für jede Scheibe wird dabei eine Liste der Positionen innerhalb der Anlage verwaltet, um den gesamten Weg verfolgen und an die IT-Systeme in der Produktion weitergeben zu können.

Verfolgung der Produktivität von Anlagen

Das Ziel der Verfolgung der Produktivität (engl. Equipment Performance Tracking) [SEMI-E116-06] von Anlagen ist es, für alle sich in der Produktion befindlichen Anlagen einheitliche Analysen erstellen zu können. Daraus lässt sich die gesamte Effektivität der Fabrik ableiten. Die Zustände, die eine Anlage annehmen kann, sollen für alle Anlagentypen gültig sein, so dass die Anlagen unabhängig vom Prozesstyp in der Produktivität vergleichbar werden.

Für diese Funktionalität muss die Anlage in einem Modell in ihre Komponenten zerlegt werden. Komponenten sind z.B. die einzelnen Prozesskammern, Messeinheiten oder Handhabungssysteme. Für jede Komponente werden die möglichen Aufgaben (engl. tasks) definiert. Sie können im Fall der Handhabung der Transport einer Scheibe aus der Kasette in eine Kammer der Anlage sein. Im Modell wird die Zeit für die Durchführung dieser Aufgabe definiert. Sie kann später im produktiven Betrieb mit den tatsächlichen Ist-Werten verglichen werden. Innerhalb eines Prozesses kann eine Aufgabe der Vorgang zum Vorheizen einer Kammer sein, bevor die Scheibe dort prozessiert werden kann.

3.1.2 Erfüllung von Standards in der Halbleiterbranche

Die in Abschnitt 3.1.1 vorgestellten Grundfunktionalitäten der Anlagenautomatisierung werden durch in der Halbleiterbranche geltenden Standardspezifikationen durch den SEMI-Standard vereinheitlicht.

Abbildung 3.5 zeigt einen Überblick über die wichtigsten Spezifikationen an die Anlagenautomatisierung. Diese Spezifikationen beziehen sich für die Kategorien Steuerung und Diagnosedaten auf jeweils eine Netzwerkschnittstelle, die von der Anlage bereitgestellt wird.

Die Standards bilden die Ausgangsbasis für die Integration der Anlagen in die Produktion. Durch die theoretisch gleiche Basis der Schnittstellenverhaltensweisen der Anlagen lässt sich die Integration einer großen Zahl von Anlagen durch die Wiederverwendung von Bausteinen bei der Softwareentwicklung optimieren.

Für diese Optimierung muss die tatsächliche Erfüllung der Anforderungen aus den Standards frühzeitig verifiziert werden.

Kategorie	Standards für die Automatisierung von Halbleiterfertigungsanlagen	
	Standard	Beschreibung
Steuerung	E5	Kommunikationsprotokoll für die Steuerung (engl. SECS-II)
	E30	Definition des Anlagenmodells (engl. Generic Equipment Model)
	E37	Transport des Kommunikationsprotokolls über TCP/IP (engl. High Speed Messaging Service – HSMS)
	E40	Prozessabläufe in der Anlage (engl. Standard for Processing Management)
	E87	Spezifikation für das Transportsystem (engl. Specification for Carrier Management)
	E90	Spezifikation für die Materialverfolgung in der Anlage (engl. Specification for Substrate Tracking)
Diagnosedaten	E94	Spezifikation für die Verwaltung von Steuerungsaufgaben (engl. Specification for Control Job Management)
	E120	Definition der Anlagenstruktur (engl. Common Equipment Model)
	E121	Verwendung von XML durch Anwendungen in der Produktion von Halbleitern (engl. Style and Usage of XML for Semiconductor Manufacturing Applications)
	E125	Selbstbeschreibung der Anlagen (engl. Equipment Self Description)
	E132	Verwaltung der Zugriffsrechte (engl. Authorization and Authentication)
	E134	Verwaltung der Diagnoseabfragen (engl. Data Collection Management)

Abbildung 3.5: Überblick der wichtigsten SEMI [SEMI06] Standards für die Automatisierung

Die Zusammenfassung der Anforderungen an die Automatisierung in einem Lastenheft besteht ca. 80% aus Definitionen, die in den Standards zu finden sind. Zusätzlich zu den Anforderungen aus den Standards werden spezifische Anforderungen des Fabrikbetreibers formuliert.

Automatisierungsgrade von Halbleiterfertigungsanlagen

Wie in Abbildung 3.6 dargestellt ist, werden die Lastenhefte durch die Anlagenhersteller mittels Zusicherungen in Form von Pflichtenheften bestätigt oder im Fall, dass eine Anforderung nicht erfüllt werden kann, nicht bestätigt [Infineon04b]. Durch die Anzahl der erfüllten Anforderungen errechnet sich der Automatisierungsgrad einer Anlage. Der Automatisierungsgrad macht eine Aussage darüber, mit welchem Aufwand eine einzelne Anlage in die Produktion integrierbar ist.

Die im Lastenheft definierten Anforderungen werden durch automatisierte Tests der Standards verifiziert. Bei nicht bestandenen Tests muss der Anlagenhersteller die Software auf der Anlage nachbessern, bis die geforderte Funktionalität erreicht wird.

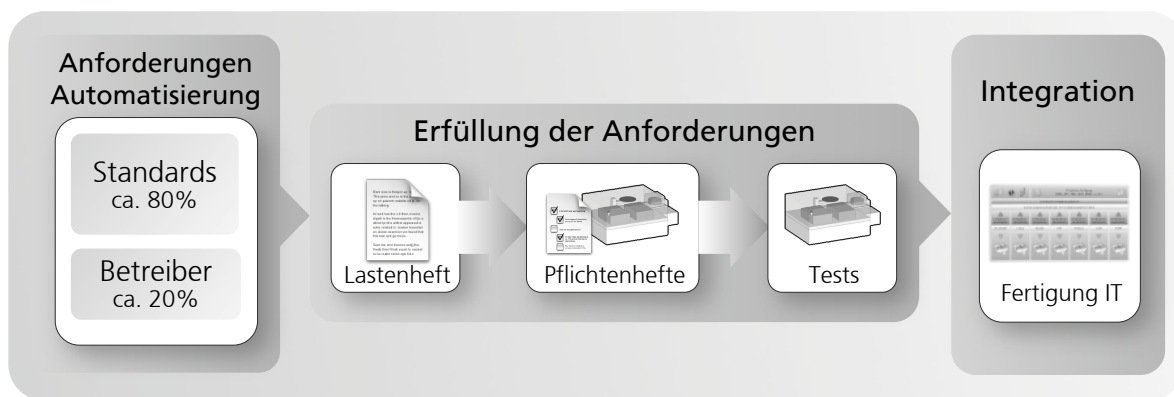


Abbildung 3.6: Prozess bei der Ermittlung der Automatisierungsgrade von Anlagen bis zur Integration in die Produktion

Durch die Definition eines Katalogs von Mindestanforderungen können jene Anlagen identifiziert werden, denen elementare Funktionalitäten der Automatisierung fehlen, wodurch eine Integration in die Produktion nur durch aufwendige und manuelle Softwareentwicklung realisiert werden kann.

Ziel des in Abbildung 3.6 skizzierten Prozesses ist eine Integration der Anlagen mit möglichst geringer manueller bzw. individueller Programmierung.

Definition von Modellen für die Integration von Anlagen in die Produktion

Durch die gezielte und anforderungsgenaue Definition, Verfolgung und Verifizierung der Funktionalitäten der Automatisierungsschnittstellen lässt sich das Konzept der Entwicklung und Definition von Modellen für die Integration von Anlagen ableiten.

Eine funktionsorientierte Erstellung von Lastenheften, basierend auf Standardverhaltensweisen [Dreiss04] kann durch die Einführung und Verwendung von Modellen für die Integration

der Anlagen realisiert werden. Modelle mit Verhaltensweisen der Anlagen können für die Programmierung der Integrationsschnittstellen verwendet werden.

Modellbasierte Integration durch Transformation

Sind die Modelle im Detaillierungsgrad fein genug, so dass einzelne Elemente genau definierte Funktionen beschreiben, können die Modelle für die Generierung von Quellcodebausteinen durch die Transformation der Modelle verwendet werden. Die Quellcodebausteine enthalten die Realisierungen der durch die Anforderungen beschriebenen Funktionen.

Die Integration der Anlagen wird in der Produktion durch die Entwicklung von Integrationsschnittstellen realisiert [Infineon04a], deren Aufbau im folgenden Abschnitt beschrieben ist.

3.1.3 Integrationsschnittstellen

Für die Herstellung eines durchgängigen Informationsflusses und einer einheitlichen Integration von Anlagen in die Produktion wird für jede Anlage eine Integrationsschnittstelle entwickelt.

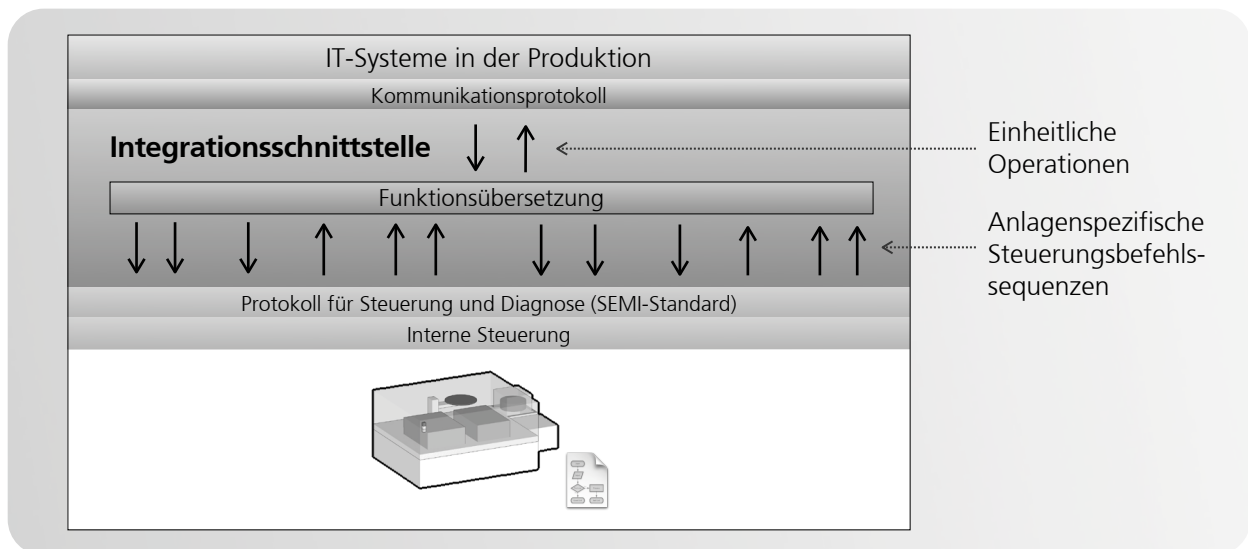


Abbildung 3.7: Integration durch Schnittstellen mit Übersetzung und Bereitstellung von einheitlichen Funktionen für übergeordnete IT-Systeme in der Produktion

Die Integrationsschnittstelle nimmt eine Funktionsübersetzung vor, wie in Abbildung 3.7 gezeigt. Das Ziel dieser Schnittstelle ist es spezielle und aufwendige Steuerbefehle, die für die Steuerung einer Anlage notwendig sind, für die IT-Systeme in der Fertigung einheitlich und vereinfacht anzubieten.

Die Funktionsübersetzung wird mit einheitlichen Operationen von den IT-Systemen in der Produktion aufgerufen. Die Integrationsschnittstelle führt dann, entsprechend der individuel-

len Verhaltensweisen der Anlagen, erweiterte Befehle auf der Anlage aus, um die einheitlichen Operationen vollständig abschließen zu können.

Die anlagenspezifischen Steuerungsbefehlssequenzen basieren auf den in Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Standards. Bei der Entwicklung der jeweiligen Integrationsschnittstellen für die Anlagen ist es notwendig, dass die Standardschnittstellen tatsächlich die geforderten Anforderungen erfüllen und kaum individuelle Verhaltensweisen haben. Aus diesem Grund ist der beschriebene Prozess für die Ermittlung der Automatisierungsgrade der Anlagen die entscheidende Basis für die Entwicklung der Integrationsschnittstellen mit den einheitlichen Operationen, welche von den IT-Systemen in der Produktion verwendet werden.

Aus der Analyse der Standardschnittstellen zur Anlage hin und den Automatisierungsanforderungen lässt sich das Konzept für die modellbasierte Generierung der Integrationsschnittstellen für eine einheitliche Bereitstellung von Operationen für die Steuerung der Standardschnittstellen der Anlagen unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Eigenschaften ableiten.

Schnittstellen zu anderen Systemen

Die Integrationsschnittstelle bietet einen einheitlichen Zugangsmechanismus für die übergeordneten IT-Systeme in der Produktion. Die folgenden Systeme sind die in der Produktion vorhandenen Konsumenten der Schnittstellen:

- *Fertigungssteuerung* – Das Fertigungssteuerungssystem (engl. Manufacturing Execution System) kennt alle Anlagen, die eine Integrationsschnittstelle bereitstellen und kontrolliert die Ausführung der Prozessabläufe für alle Anlagen in der Produktion [SEMI-E81-06].
- *Rezeptverwaltung* – Vor der Ausführung eines Prozesses auf einer Anlage werden die Parametereinstellungen über die Definitionen in den Rezepten auf die Anlage durch die Rezeptverwaltung übertragen [SEMI-E42-06].

Weitere Systeme sind Prozesskontrolle, Fehlererkennung und -klassifizierung (engl. Fault Detection and Classification), Datenbanken, Verwaltung von Verbrauchs- und Gebrauchsmaterial, Planung der Prozessaufträge (engl. scheduling, dispatching) und Wartung (engl. preventive maintenance) [SEMI-E134-06].

Durch die Vielfalt der Systeme in der Produktion, die auf die Bereitstellung der Integrationschnittstellen der Anlagen in einer einheitlich definierten Form angewiesen sind, ist ein umfassendes Konzept für die Entwicklung und Verwaltung der Schnittstellen erforderlich.

Die Entwicklung der Schnittstellen wird durch die Verwendung von Integrationsplattformen realisiert. Diese bieten Bibliotheken für die Kommunikation der Schnittstelle mit der Standardschnittstelle der Anlage.

3.1.4 Integrationsplattformen

Für die Verwendung der auf einer Anlage bereitgestellten Funktionen, die dem Standard entsprechend umgesetzt zur Verfügung stehen wird bei der Implementierung der Integrationschnittstellen auf den Bibliotheken von Integrationsplattformen aufgebaut, die bei der Entwicklung verwendet werden. Die Bibliotheken enthalten die Umsetzung der Spezifikationen, die in den Standards definiert sind, und stellen diese in verschiedenen Programmiersprachen zur Verfügung. Durch diese Vereinfachung muss ein Entwickler nicht auf der direkten Ebene die Kommunikation mit den Anlagen implementieren, sondern kann auf die Bausteine in vereinfachter Form zurückgreifen und die anlagenspezifischen Steuerungsbefehlssequenzen, wie in Abbildung 3.7 gezeigt, realisieren.

3.1.5 Abhängigkeiten der Automatisierungsgrade

Bei der Entwicklung der Integrationsschnittstellen sind, wie in Abschnitt 3.1 und durch die Einführung der Integrationsplattformen gezeigt, mehrere Schichten zu betrachten. Von deren Status hängt der Automatisierungsgrad einer Anlage ab:

- Standardschnittstelle
- Integrationsplattform
- Integrationsschnittstelle

Alle drei genannten Komponenten liefern eine bestimmte Anzahl und Qualität an Funktionen. Die Entwicklung der Integrationsschnittstelle basiert auf den beiden ersten Komponenten der Standardschnittstelle und der Integrationsplattform.

Dies bedeutet insbesondere, dass sich bei Änderung einer dieser beiden Basiskomponenten die Funktionalität der Integrationsschnittstelle verändert und durch neue Versionen den Automatisierungsgrad verringern oder erhöhen kann.

Abbildung 3.8 zeigt die Abhängigkeiten der Versionen der Komponenten bei der Entwicklung der Integrationsschnittstellen und die jeweiligen Automatisierungsgrade der Anlagen. Die Verfolgung der Entwicklung dieser Kennzahlen gibt bei der Integration einer großen Anzahl von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion den Gesamtstatus des Integrationsfortschritts für eine Fabrik an.

Abhängigkeiten bei der Ermittlung des Automatisierungsgrades

Der Automatisierungsgrad $L (V_{IP(i)} \times S)$ für eine Integrationsschnittstelle wird in Abhängigkeit der Version der Standardschnittstelle V_S und der Version der Integrationsplattform $V_{IP(i)}$ ermittelt, wobei durch den Index i , mit $i > 0$ mindestens eine Integrationsplattform definiert sein muss [Qimonda06a].

Das Ziel ist es, während der Integrationsphase durch die Entwicklung aller drei Komponenten für den Automatisierungsgrad L den geforderten Wert 100% zu erreichen. Ist der Automatisierungsgrad der Anlage bei den geforderten 100%, so sind die Funktionen der Integrationschnittstelle vollständig implementiert.

Automatisierungsgrad $L (V_{IP(i)} \times S)$		Integrationsplattform A Version 2: Version der Integrationsschnittstelle $V_{IP(i)}$							
		Vers.	1	2	3	4	5	6	...
Version der Standardschnittstelle auf der Anlage V_S	1	60%							
	2		65%						
	3			70%					
	4			65%	70%	90%	100%		
	...								

Abbildung 3.8: Versionierungsmatrix der Automatisierungsgrade einer Anlage für verschiedene Integrationsplattformen

Integrierter Informationsfluss

Eine strukturierte Vorgehensweise bei der Verfolgung der Automatisierungsgrade kann durch die Abbildung der Informationen, wie z.B. Anforderungen und Testergebnisse, sowie der Integrationseigenschaften in Modellen, erreicht werden [Qimonda06a]. Das Konzept der Modellabbildung, basierend auf den in der Analyse ermittelten Anforderungen, lässt im weiteren Schritt die Generierung von Integrationsschnittstellen zu.

Durch eine modellbasierte Generierung der Schnittstellen kann ein integrierter Informationsfluss von der Spezifikation der Automatisierungsanforderungen bis zur Integration der Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion realisiert werden [Qimonda06a].

Definition von Modellen für die Generierung der Integrationsschnittstellen

Durch eine modellbasierte Generierung der Integrationsschnittstellen können die Quelltexte der Programme durch Compilierung in ausführbare Programme transformiert werden [Kelly05].

Die ausführbaren Programme oder Teilprogramme werden dann an die sich in der Produktion befindlichen Anlagen ausgeliefert. Die Anlagen müssen eine Erweiterung besitzen, um die ausführbaren Programme unter Beachtung der Sicherheitsrichtlinien [Dreiss05a] entgegenzunehmen. Nach Erhalt und erfolgreicher Aktivierung der Integrationsschnittstellen in Form von ausführbaren Programmen oder Teilprogrammen stehen die definierten und generierten Operationen der IT in der Produktion zur Verfügung.

Anpassungen von generierten Integrationsschnittstellen

Die modellbasierte Generierung kann unter Umständen durch vom Standard abweichende Verhaltensweisen der Standardschnittstellen einzelner Anlagen nicht vollständig durchgeführt werden, wodurch das Konzept eine Phase im Prozess enthalten muss, in der die generierten Integrationsschnittstellen verifiziert und gegebenenfalls angepasst werden können. Nach einer durch das Entwicklungsteam durchgeführten Analyse, Verifizierung und Anpassung dieser Integrationsschnittstellen kann die Auslieferung und Aktivierung auf den speziellen Anlagen durchgeführt werden.

3.2 Konzeption der modellbasierten Integration

Ausgehend von der Analyse der Automatisierungsanforderungen und der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die IT einer Produktion wird ein Konzept für ein System für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung entwickelt.

3.2.1 Anforderungen für das Konzept der modellbasierten Integration

Für die Integration von Anlagen müssen die Automatisierungsanforderungen in den Komponenten der Integrationsschnittstellen umgesetzt werden, um den Automatisierungsgrad, der in einer Produktion gefordert ist, bereitstellen zu können.

Daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen (1) - (5) für das Konzept der modellbasierten Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die reale Produktion:

- (1) *Verifizierbare Erfüllung der Anforderungen an die Anlagenautomatisierung* – Die Funktionen, die für die Automatisierung der Anlage durch die Standardschnittstellen bereitgestellt werden, müssen in Lastenheften in einzeln Datensätzen, und für die

Verfolgung in geeigneten Formaten organisiert werden können. Die Zusicherungen der Anlagenhersteller sind für die Verfolgung der Änderungen und eine automatisierte Auswertung zu konzipieren. Anforderungen müssen mit Testfällen verknüpft werden können, dass sie durch die Durchführung der Tests verifiziert werden können.

- (2) *Definition von Modellen für die Anlagen* – Für eine einheitliche und transparente Organisation sind alle Informationen, welche die Anlagentypen, die Anlagen und die Integration betreffen in dafür vorgesehenen Modellen aufzubauen. Sie sind die Basis für die im Konzept zu entwickelnde modellbasierte Integration der Halbleiterfertigungsanlagen. Zusätzlich zu den Modellen für die Anlagen müssen die Daten und Anweisungen für die Transformation der Modelle in die Programme für die Integrationschnittstellen durch eine übersichtliche Verwaltung organisiert werden können.
- (3) *Automatisierte und effiziente Generierung der Integration von Anlagen* – Die durch Anforderung (2) geforderte Strukturierung bildet die Basis für die Transformation der Integrationschnittstellen aus Modellen. In der Konzeption sind Anforderungen für eine automatisierte und effiziente Generierung der Integrationschnittstellen aufzustellen, damit sich die Aufwände bei der Integration durch den Einsatz des Systems verringern lassen, und sich die Qualität der Programme für Schnittstellen verbessern lässt. Die manuelle Modifikation der generierten Programme muss vor Aktivierung auf einer Anlage möglich sein.
- (4) *Referenzierung von Integrationsplattformen* – Da die Integrationschnittstellen auf den Bibliotheken der Integrationsplattformen aufgebaut werden, muss die Verwaltung und Referenzierung mehrerer Integrationsplattformen möglich sein. Durch die Loslösung der Anlagenmodelle von den Modellen für die Transformation können die Integrationsplattformen ausgetauscht werden. Der Einsatz einer aktualisierten oder neuen Integrationsplattform erfordert dann nur die Aktualisierung der Definition für die Modelle der Transformation, jedoch nicht zwingend die Veränderung der einzelnen Anlagenmodelle.
- (5) *Definition von Integrationsszenarien* – Die durch die Generierung erstellten Integrationsszenarien werden an die IT-Infrastruktur der Anlagen ausgeliefert und dort ak-

tiviert. Nach der Aktivierung sind auf den Anforderungen der Automatisierung aufbauend Szenarien für den Test der Schnittstellen durchzuführen. Durch die Testergebnisse kann die Vollständigkeit des Funktionsumfangs der Integrationsschnittstellen ermittelt werden.

3.2.2 Abbildung von Struktur und Aufbau der Anlagen

Aus den in Abschnitt 3.2.1 definierten Anforderungen leitet sich für die Konzeption des Systems die Entwicklung von Schemata für die Abbildung der Anlagenstrukturen und des Anlagenaufbaus in Modellen, wie in Abbildung 3.9 dargestellt, ab.

Abbildung in Modellen

Die Modelle sind Abbildungen der Anlagen und repräsentieren diese in einem vorgegebenen und strukturierten Format, welches von IT-Systemen verarbeitet werden kann. Der Aufbau einer Anlage ist für die Integration in die IT der Produktion wichtig. Die sich in der Anlage befindlichen Komponenten liefern Funktionen, die Bestandteil der Automatisierung sind. Jede Komponente soll im Modell ihre Funktionalität und Abhängigkeiten zu weiteren Komponenten beschreiben, so dass durch die Zusammensetzung der Abbildungen ein hierarchisches Modell entsteht, welches im Gesamten die Funktionen der Anlagen aus Sicht der Automatisierung beschreibt, wie Abbildung 3.9 dargestellt.

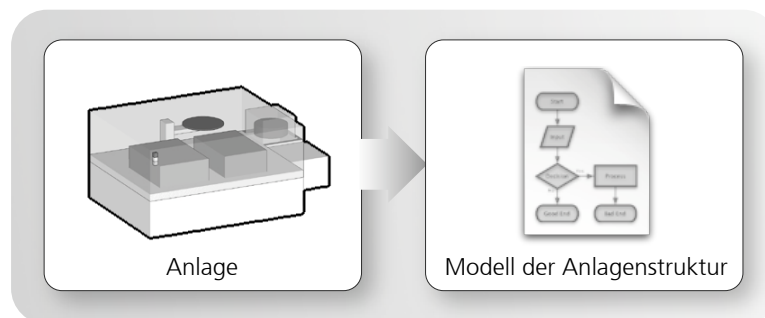


Abbildung 3.9: Abbildung der Anlagenstruktur als Anlagenstrukturmodell

Die Modelle der Anlagen müssen zu Beginn erstellt werden, da die Integration der Anlagen ohne die Modelle nicht durchgeführt werden kann. Bei einer Änderung der Struktur der Anlagen durch die Erweiterung mit neuen Komponenten oder der Änderung bestehender Komponenten muss das Modell der Anlage entsprechend aktualisiert werden.

Jede Komponente beschreibt die für die Integration relevanten Informationen in Attributen fest. Diese Informationen definieren die Ein- und Ausgabeattribute in Form von Parametern für jede Komponente. Eingaberelevante Parameter sind für die Steuerung und die Konfigura-

tion notwendig, wobei die Definition von Parametern als Basis für die Überwachung und Diagnose der Anlagen dienen soll.

Die Erstellung der Modelle ist im ersten Schritt die Aufgabe des Anlagenherstellers. Basierend auf der ersten Konfiguration der Anlage wird das Modell mitgeliefert. Bei individueller Konfiguration der Anlage durch den Betreiber kann dieser die Modelle anpassen. Die Modelle über die Struktur der Anlagen beinhalten die in den SEMI-Standards definierten Modelle, wie z.B. der Anlagenselbstbeschreibung.

3.2.3 Abbildung des Automatisierungsverhaltens der Anlagen

Der in Abbildung 3.6 dargestellte Prozess für die Ermittlung der Erfüllungsgrade der Anforderungen an die Automatisierungsfunktionen ermittelt den Automatisierungsgrad einer Anlage. Teil der Konzeption ist die durchgängige Informationsverarbeitung von der Spezifikation in der Fabrik- bzw. Produktionsplanung über Durchführung der Integration der Anlagen während der Inbetriebnahme bis hin zur Produktion.

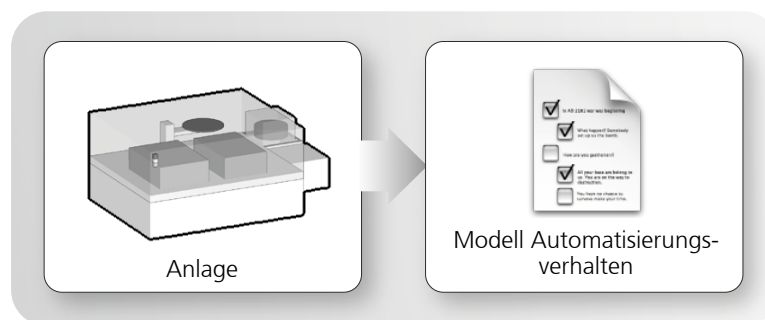


Abbildung 3.10: Abbildung des Automatisierungsverhaltens als Anlagenfunktionenmodell

Das Lastenheft für die Beschreibung der Funktionen der Automatisierung, wie in Abbildung 3.9 dargestellt, wird in einzelne Anforderungen zerlegt, welche eindeutig identifizierbar sein müssen. Diese Menge an Anforderungen muss in sich den zu erzielenden Automatisierungsgrad vollständig beschreiben und alle notwendigen und eventuell in der Zukunft wichtigen Funktionsbeschreibungen beinhalten.

Verknüpfung mit Programmelementen

Die Anforderungen beschreiben durch Programmierung realisierbare Funktionen, welche bei der Entwicklung der Integrationsschnittstelle auf Basis einer Integrationsplattform in Form eines ausführbaren Teilprogramms umgesetzt werden.

Das Lastenheft entsteht aus der Spezifikation der Integrationsschnittstellen und deren Anforderungen an die Automatisierung der Anlagen. Die Umsetzung der Funktionen in Programme

oder Teilprogramme geschieht derzeit noch meist durch klassische Softwareentwicklung in einzelnen, zeitaufwendigen Projekten [Infineon04a]. Durch die Definition von Modellen für die Abbildung des Automatisierungsverhaltens einer Anlage, wie in Abbildung 3.10 gezeigt, kann die Umsetzung der Funktionen durch eine modellbasierte Generierung der Programme realisiert werden. Die Modelle der Automatisierungsverhaltensweisen enthalten die Verknüpfungen von einzelnen oder mehreren Anforderungen zu Quellcodebausteinen, die in zusammengesetzter Form die Programme oder Teilprogramme der Integrationsschnittstelle ergeben sollen. Mittels der Verifizierung der tatsächlichen Erfüllungsgrade der Anforderungen durch exakte Abfragen mit Testfällen bilden die generierten Programme das tatsächliche Verhalten der Anlage bei Aufruf der Funktionen ab.

Jeder Anlagentyp und jede Anlage bringt individuelle Konfigurationen und Besonderheiten im Verhalten mit sich, folglich müssen diese Eigenschaften zusätzlich zu den Anforderungen ermittelt, verwaltet und bei der Generierung der Integrationsschnittstellen berücksichtigt werden.

3.2.4 Verifizierung der Modelle

Vor der Durchführung der modellbasierten Generierung von Integrationsschnittstellen müssen die Modelle auf Vollständigkeit hin überprüft werden. Die Definition der Verifikation wird in Qualifizierungsmodellen durchgeführt.

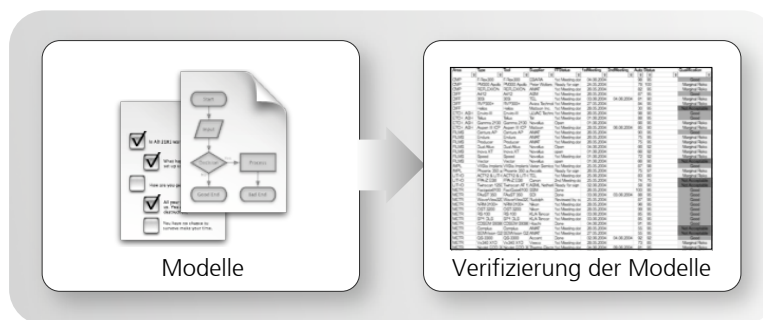


Abbildung 3.11: Verifizierung der Modelle durch das Qualifizierungsmodell

Abbildung 3.11 stellt die Verifizierung der Modelle schematisch dar. Bei einer Verifizierung der Modelle werden Kennzahlen berechnet, die darüber entscheiden, ob eine Anlage mit ihren Erfüllungsgraden ausreichende Funktionalität anbietet, um diese in einer Integrationschnittstelle umzusetzen.

Da sich die Version der Standardschnittstellen der Anlagen und die Version der Integrationsplattform je nach Entwicklungsstand ändern, muss die Verifizierung der Modelle solange

durchgeführt werden können, bis der geforderte Automatisierungsgrad einer Anlage erreicht ist.

Die Kennzahlen dienen auch dazu, vor der Beschaffung der Anlagen überprüfen zu können, ob die für den Einkauf geplante Anlage in die Produktion einheitlich integrierbar ist.

3.2.5 Generierung der Integrationsschnittstellen

Das Modell der Anlagenstruktur (Anlagenstrukturmodell) und das Modell der Automatisierungsverhaltensweisen (Anlagenfunktionenmodell) sind die Basismodelle für die Generierung der Integrationsschnittstellen der Anlagen. Die einheitliche Strukturierung der Informationen in den Modellen ermöglicht die Erstellung von Schnittstellen für eine große Anzahl von Anlagen gleichen Typs. Sie basieren auf den gleichen Transformationsanweisungen. Diese wiederum beinhalten die Quellcodebausteine, die durch die modellbasierte Generierung zusammengesetzt und an spezifische Verhaltensweisen und Strukturen der Anlagen angepasst werden.

Basismodelle

Durch die Definition von Basismodellen, wie Anlagenstrukturmodell und Anlagenfunktionenmodell, die nicht von einer Integrationsplattform abhängig sind, können die Integrationsschnittstellen aus den Modellen für mehr als eine Integrationsplattform generiert werden, wie in Abbildung 3.12 dargestellt.

Die Basismodelle müssen für jede Anlage erstellt werden, wobei das Modell einer Anlage an das Modell des Anlagentyps und des jeweiligen Bereiches angepasst ist. Dadurch können Definitionen von Komponenten und Verhaltensweisen wieder verwendet werden.

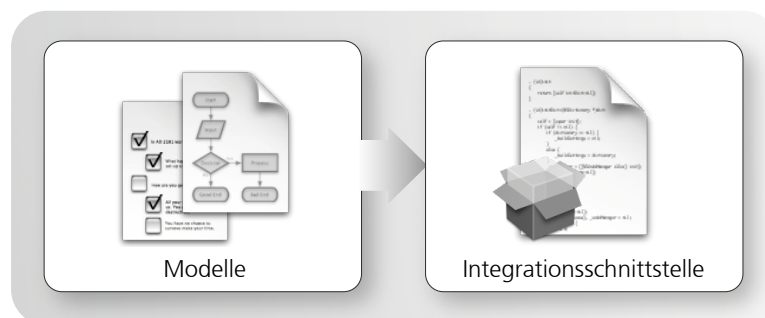


Abbildung 3.12: Modellbasierte Generierung der Integrationsschnittstellen aus dem Modell der Anlagenstruktur und dem Modell des Automatisierungsverhaltens

Für die Entwicklung der Integrationsschnittstellen ist es das Ziel, möglichst viele Definitionen und Teilmodelle bei der Erstellung neuer Modelle zu integrieren, um dadurch die Zeiten für die Integration zu verkürzen und die Qualität der Software zu verbessern.

Transformation der Basismodelle

Die Basismodelle werden durch Transformation der Struktur und der Inhalte für eine ausgewählte Integrationsplattform in die Integrationsschnittstelle umgewandelt. Die Transformation wird ebenfalls in einem Modell, dem Transformationsmodell, definiert. Es enthält die Transformationsanweisungen und die Quellcodebausteine, mit denen die Funktionalität der Integrationsschnittstelle realisiert werden können.

Zusammenführung der Modelle im Propagationsmodell

Der gesamte Vorgang der Generierung der Integrationsschnittstellen auf Basis von Modellen durch Transformation wird im folgenden Propagation genannt. Die Propagation der Informationen wird im Propagationsmodell definiert. Das Propagationsmodell beinhaltet die Basismodelle, das Anlagenstrukturmodell und das Anlagenfunktionenmodell, das Qualifizierungsmodell und das Transformationsmodell, sowie die Eigenschaften und Konfigurationen der Integrationsplattformen.

Bei der Ausführung der Propagation auf Basis des Propagationsmodells werden Ausnahmen und Fehler in einem Protokoll gesammelt. Das Ergebnis der Propagation, die generierte Integrationsschnittstelle, wird nach der Propagation durch Tests auf die vollständige Bereitstellung der Funktionalität überprüft.

Für den Fall, dass die vollständige Funktionalität nicht erreicht werden kann, muss der generierte Quellcode der Integrationsschnittstelle durch manuelle Anpassung verbessert werden. Das Ziel der Vorgehensweise durch die Propagation ist es, möglichst wenige Anpassungen an den Schnittstellen durchführen zu müssen.

Verteilung der Integrationsschnittstellen in die IT der Produktion

Sobald die Integrationsschnittstelle erfolgreich getestet worden ist, so kann diese in Form eines ausführbaren Programms oder Teilprogramms an die Anlage ausgeliefert werden. Nach der Übertragung der Schnittstelle kann diese durch eine Aktivierungskomponente auf der Anlage für die IT der Produktion zur Verwendung bereitgestellt werden.

3.3 Abgrenzung und Zusammenfassung der Anforderungen an das System

Bei der Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung wird für jede zu integrierende Anlage eine Integrationsschnittstelle entwickelt. Während des Aufbaus der Fabriken für die Produktion von Integrierten Schaltkreisen wie Speicher, Prozessoren und Mikrocontrollern werden in kurzer Zeit mehrere hundert Anlagen in die Infrastruktur der IT integriert.

Eine Integrationsschnittstelle für eine Anlage wird durch die Entwicklung von Software programmiert und in Form von ausführbaren Programmen auf den Anlagen installiert.

Durch die hohe Anzahl der Halbleiterfertigungsanlagen in einer Produktion und die hohen Anforderungen an die Automatisierung ist die Entwicklung einer Vorgehensweise und eines Systems für die Integration eine große Herausforderung.

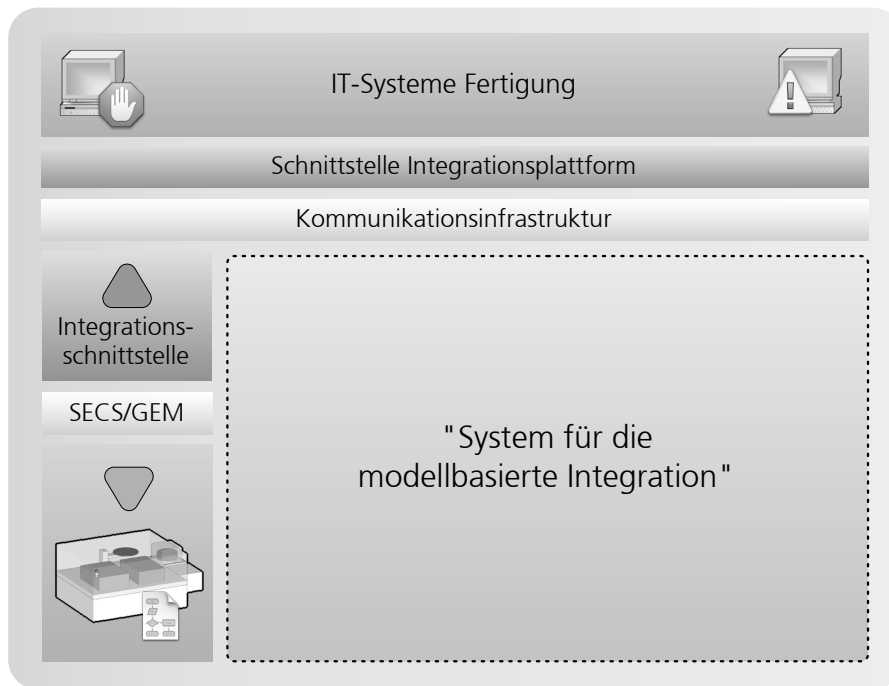


Abbildung 3.13: Konzeption der Erweiterung der IT in der Produktion um das System für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung

Abbildung 3.13 zeigt die Erweiterung der in Abbildung 2.3 dargestellten IT-Infrastruktur in der Produktion um das System für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung.

Aus der Analyse der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die IT-Infrastruktur der Produktion einer Fabrik und der Konzeption des Systems für die modellbasierte Integration der Anlagen ergeben sich die folgenden Anforderungen (1) - (10):

- (1) *Abbildung der Fabrik- und Produktionsgegebenheiten* – Das System muss eine einheitliche Benutzeroberfläche für die transparente und effiziente Organisation der Produktionsprozesse und der Ressourcen bieten. Für die Verwaltung von mehreren Fabrikstandorten werden diese in Bereiche, Anlagentypen und Anlagen unterteilt [Infineon05a]. In der Phase der Fabrik- und Produktionsplanung, sowie in der Phase der Integration und Produktion muss das System Funktionen für die Organisation

relevanter Daten, Abläufe und Dokumente auf der Ebene von Bereichen, Anlagentypen und Anlagen bereitstellen. Je nach Abschnitt eines Geschäftsprozesses müssen spezielle, rollenabhängige Sichten auf das System flexibel und individuell für die Anwender konfigurierbar sein [Infineon04c].

- (2) *Verwaltung der Anforderungen* – Der größte Teil der Anforderungen wird nicht vom Fabrikbetreiber selbst, sondern durch die Standardisierung der Automatisierung durch SEMI-Standards spezifiziert. Das System muss in der Lage sein, die Anforderungen aus den Standards, sowie zusätzliche Anforderungen des Fabrikbetreibers in Lastenheften zu verwalten, wobei die einzelnen Anforderungen getrennt von einander im System definierbar sein müssen [Infineon05a]. Die einzeln definierten Anforderungen müssen den Erfüllung der Anlagenhersteller mit der gesamten Verfolgung der Änderungen zugeordnet werden können. Die Erfüllung der Anforderungen sollen in Form von Pflichtenheften organisiert werden, damit auch die Auswertung der Erfüllungsgrade automatisiert durchgeführt werden kann.
- (3) *Verifizierbare Ermittlung der Erfüllung von Anforderungen* – Durch die Verknüpfung von Anforderungen zu Testfällen und den Testprotokollen mit den tatsächlichen Erfüllungszuständen der geforderten Funktionen der Automatisierung einer Anlage kann der tatsächliche Automatisierungsgrad der Anlagen berechnet werden [Infineon04d]. Das System für die modellbasierte Integration muss diese Funktionalität realisieren, insbesondere die Verknüpfung der Anforderungen zu den Testfällen [Infineon04e].
- (4) *Definition von strukturierten Modellen* – Die Erstellung von Modellen auf Basis der im System realisierten Schemata unterstützt den Einsatz von einheitlichen und transparenten Vorgehensweisen für die Integration der Anlagen in die Produktion. Für die Abbildung der Strukturen und der Verhaltensweisen der Anlagen aus dem Blickwinkel der Automatisierung muss mit dem System die Erstellung und Bearbeitung der repräsentierenden Modelle durchführbar sein.
- (5) *Definition von Quellcodebausteinen und Transformationen* – Das System muss die Verwaltung von Quellcodebausteinen ermöglichen. Die Quellcodebausteine sind bei der späteren Transformation der Modelle die Basis für die Generierung der Integrationsschnittstellen der Anlagen. Erweiterte Funktionen sind die Verknüpfung von

Bausteinen untereinander, um eine zusammenhängende Transformation der Modelle zu ermöglichen. Die Quellcodebausteine bestehen aus verschiedenen Komponenten, wie Kontrollstrukturen, Variablen und Textbausteinen.

- (6) *Referenzierung mehrerer Integrationsplattformen* – Die Programmierung der Integration der Anlagen in die IT der Produktion basiert auf der Verwendung von Integrationsplattformen [Qimonda06a]. Je nach Anforderungen des Fabrikbetreibers kommen in den Fabrikstandorten verschiedene Plattformen zum Einsatz. Die mit dem System für die modellbasierte Integration von Anlagen definierbaren Modelle können für mehrere von der Plattform abhängige Integrationsschnittstellen verwendet werden. Die Modelle sind zunächst plattformunabhängig. Durch die Referenzierung einer Integrationsplattform und die Durchführung der Transformation entstehen die plattformspezifischen Formen der Integrationsschnittstellen.
- (7) *Automatisierte Generierung der Integrationsschnittstellen* – Auf Basis der Anforderungen (1) bis (6) muss das System die modellbasierte Generierung der definierten Integrationsschnittstellen aus den Modellen ermöglichen. Der Vorgang der Generierung selbst muss mit einer Benutzeroberfläche durch Verwendung entsprechender Dienste des Systems durchführbar sein. Nach einer Vollständigkeitsprüfung der Modelle muss die Generierung durch Propagation der Modelle nachvollziehbar und durch effiziente Fehlerbehandlung unterstützt werden. Die generierten Integrationsschnittstellen müssen durch manuelle Überarbeitung modifizierbar sein.
- (8) *Verteilung, Aktivierung und Überwachung der Schnittstellen* – Nach der Generierung der Integrationsschnittstellen für die Halbleiterfertigungsanlagen folgt die Verteilung und Aktivierung der Schnittstellen. Das System muss eine Funktion für die Übertragung der Schnittstellen in Form von ausführbaren Programmen - unter Berücksichtigung aller relevanten Sicherheitsaspekte [Dreiss05a] - unterstützen. Gegebenenfalls ist die Anlage mit Teilen des Systems auszustatten, um die Übertragung zu ermöglichen. Nach erfolgreicher Übertragung der Integrationsschnittstellen müssen diese aktiviert und deaktiviert werden können. Durch die Aktivierung steht den IT-Systemen in der Produktion die Funktionalität der Anlage zur Verfügung und kann genutzt werden. Aktivierte Integrationsschnittstellen müssen nach Gesichtspunkten der Performanz und Verfügbarkeit zu überwachen sein.

- (9) *Definition von Integrationsszenarien* – Für den Test der durch die Integrationschnittstellen bereitgestellten Funktionen muss das System die Durchführung verschiedener Abläufe aus der Automatisierung in Integrationsszenarien unterstützen. Integrationsszenarien bestehen im Wesentlichen aus den im Abschnitt 3.1 beschriebenen Punkten. Die Unterstützung bei der Durchführung der Tests der Integrationschnittstellen stellt die vollständige Realisierung der geforderten Funktionen sicher.
- (10) *Verteilte und flexible Architektur des Systems* – Das System muss je nach IT-Infrastruktur flexibel einsetzbar sein, um eine leichte Skalierbarkeit zu gewährleisten. Einzelne Dienste müssen durch in der gegebenen Infrastruktur bereits vorhandene Dienste ersetzbar sein, so dass sich das System in bestehende Geschäftsprozesse integrieren lässt und ein durchgängiger Informationsfluss erreicht wird [Infineon04a, Qimonda06b]. Die Bereitstellung des Systems muss sich auf mehreren verteilten Hardware-Komponenten durchführen lassen.

4 Stand der Technik der modellbasierten Integration von Anlagen

Für die modellbasierte Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion muss ein System entwickelt werden, welches domänenspezifisches Wissen über die Produktionsabläufe und die einzelnen Prozesse der Halbleiterfertigung abbildet und gleichzeitig die Anforderungen einer modernen IT-Architektur erfüllt.

In diesem Kapitel wird der Stand der Technik der modellbasierten Integration von Halbleiterfertigungsanlagen erläutert. Es wird gezeigt, welche Vorgehensweisen für die Integration von Anlagen in die Fertigung derzeit existieren und welche Architekturen und Methoden die Informationstechnologie für den Aufbau komplexer IT-Systeme bietet.

4.1 Anlagenintegration

Bei der Anlagenautomatisierung in der Halbleiterbranche spielen die SEMI-Standards eine zentrale Rolle. In diesen Standards werden die Verhaltensweisen von Schnittstellen für die Integration einheitlich spezifiziert. Durch die Integration der Anlagen in die Produktion wird die Brücke zu den steuernden und den anfragenden IT-Systemen hergestellt. Die Anlagenintegration ermöglicht den vertikal durchgängigen Informationsfluss zwischen den Anlagen und den übergeordneten IT-Systemen welche für die Steuerung zuständig sind, sowie die Überwachung und die Diagnose von Prozess- und Anlageninformationen.

Umgesetzt wird die Anlagenintegration durch die Entwicklung von Integrationsschnittstellen, die in Form von Programmen die abstrakten Befehle der übergeordneten IT-Systeme in spezifische Kommunikationsbefehle auf Protokollebene ausführen [Systema06, VECC06].

4.1.1 Vorgehensweise bei der Integration

Die derzeitige Vorgehensweise bei der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion ist durch die enorme Komplexität von vielen manuellen Schritten geprägt und wird meist in einzelnen voneinander getrennten Projekten für die Integration der Anlage durchgeführt [Infineon04a]. Testergebnisse der Standardschnittstellen werden manuell verwaltet, ausgewertet und nicht digital mit den ursprünglichen Anforderungen aus den Spezifikationen für die Anlagenautomatisierung verknüpft. Beim Aufbau neuer Produktionsstätten oder dem Ausbau existierender Produktionen werden zwischen 400 und 600 Anlagen in kurzer Zeit für die Produktion vorbereitet und integriert [Osborne06]. Die Übersicht über den Sta-

tus und Fortschritt der Integration wird durch herkömmliche Softwaretools unterstützt, welche unzureichend und nur mit sehr hohem Konfigurationsaufwand an die domänenspezifischen Anforderungen beim Aufbau einer Halbleiterfabrik angepasst werden können [Infineon04b].

Integrationsplattformen

Die Entwicklung der Integrationsschnittstellen wird durch manuelle Programmierung basierend auf den Bibliotheken der Integrationsplattformen durchgeführt. Je nach Hersteller der Integrationsplattform bieten diese zusätzliche Werkzeuge für die Vereinfachung und Verbesserung der Entwicklung der Integration an. Vordefinierte Objekte und Bausteine zum steuern, parametrisieren und visualisieren ermöglichen den Entwicklern eine schnelle Erstellung eigener Automatisierungskomponenten. Dabei existiert bereits, je nach Anforderung, eine Vielzahl von Komponenten für die Kommunikation mit einer Anlage der Halbleiterbranche:

- SECS/GEM [SEMI-E37-06]

In weiteren Branchen wird die Anlagenintegration über eine Reihe von standardisierten Schnittstellen und Protokollen durchgeführt, wie beispielsweise:

- OPC [OPC06]
- CAN-Bus oder Profibus
- TCP/IP basiert (Ethernet – proprietäres Protokoll)
- RS232 basiert (Serielle Schnittstelle – proprietäres Protokoll)
- Web Services [W3C01] bzw. SOAP [W3C03] basiert
- DCOM
- SIMATIC (herstellerspezifisches Protokoll)

Der Einsatz von nur einem einheitlichen und sich branchenweit in den Halbleiterproduktionen verbreiteten Protokolls, wie SECS/GEM, ermöglicht eine durchgängig standardisierte Vorgehensweise bei der Integration der Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion.

4.1.2 Visuelle Programmierung

Anstelle der Programmierung von Integrationsschnittstellen in einer Programmiersprache, geschieht die Programmierung auf visueller Basis [Seelig06]. Die visuelle Programmierung wird in Form von Kontrollflussdiagrammen durchgeführt. Die Entscheidungsbedingungen können Kontrollpunkten hinzugefügt werden. Diese Kontrollpunkte (engl. control nodes) können auch Teilprogramme oder komplette Programme beinhalten. Hier findet innerhalb der Ent-

wicklung stets der Wechsel zwischen graphischer Modellierung und der Entwicklung von Programmen statt, wodurch die Komplexität der Automatisierung schnell zu sehr großen Diagrammen führt.

4.1.3 Objektorientierte Modellierung der Domäne

Im Sinne der objektorientierten Softwareentwicklung werden bei einer domänenspezifischen Modellierung Klassen und Objektinstanzen in der Sprache der Benutzer der Systeme (Prozess-Ingenieure) dargestellt [Seelig06]. Dadurch kann ein Großteil der Entwicklung der Anlagenintegration von den Fachabteilungen ohne die Hilfe von IT-Personal durchgeführt werden.

4.2 Informations- und Anwendungsintegration

Es wird in der Informationstechnologie zwischen der Integration von Informationen und der Integration von Anwendungen unterschieden [Leser07]. Die Anwendungsintegration basiert auf dem Austausch von Nachrichten zwischen den Systemen [Conrad06]. Die Informationsintegration bietet Verfahren für die Integration bestehender Datenbestände. Beide Themen beinhalten die Abbildung von heterogenen Strukturen und Semantiken.

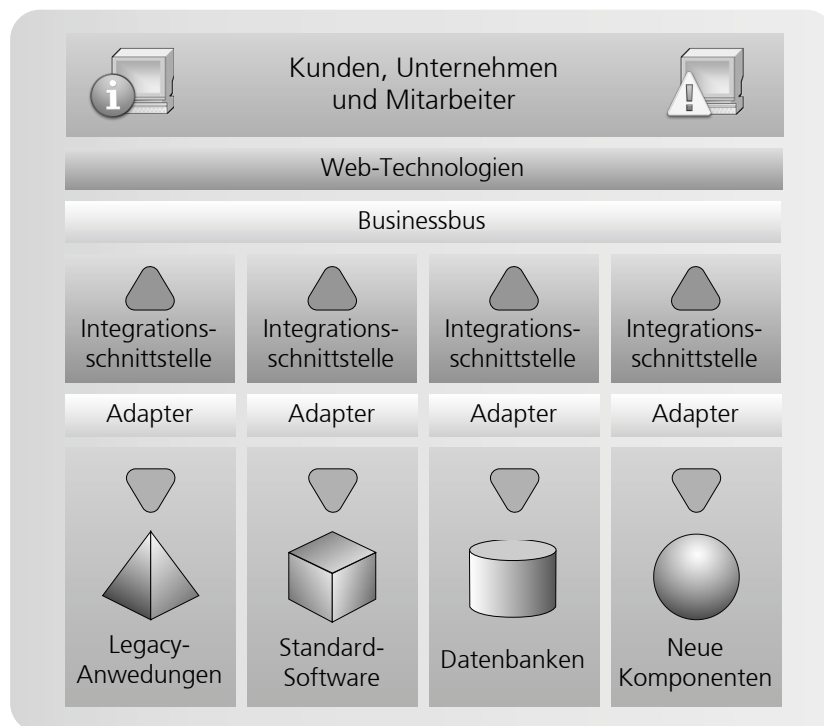


Abbildung 4.1: Informations- und Anwendungsintegration

Die Informationsintegration liefert Methoden und die damit verbundene Architekturen für die Definition von Anfragesprachen und die Verarbeitung von Datenmengen. Die Anwendungsintegration ist eine Vorgehensweise, die Mechanismen der Bereitstellung von integrierten In-

formationen für andere Anwendungen zur Verfügung stellt, wie in Abbildung 4.1 gezeigt. Bei der Integration von heterogenen und teilweise autonomen Anwendungen wird durch einheitliche Schnittstellen und Protokolle versucht, die Zeiten und die Aufwände durch intelligente Konzepte zu verringern.

4.2.1 Architekturen bei der Integration von Informationen

Die Grundarchitektur der Informationsintegration sieht ein integriertes Informationssystem vor, welches bei der Verarbeitung von Anfragen durch andere Systeme auf verschiedene Datenquellen zugreifen kann. Diese Datenquellen sind üblicherweise Datenbanken, das Dateisystem, Anwendungen, Web Server, Web Services und weitere integrierte Informationssysteme [Leser07]. Die Hauptaufgabe eines integrierten Informationssystems besteht darin, den Zugang zu vorhandenen Datenquellen herzustellen.

Transparenz beim Zugriff auf die Informationen

Der Zugriff auf die integrierten Datenquellen ist für die Benutzer und die anderen Systeme so einfach wie möglich, was durch die Schaffung einer transparenten Zugriffsebene erreicht wird. Transparenz bedeutet im Zusammenhang mit integrierten Informationssystemen, dass die internen Strukturen und Datenquellen nicht nach außen gegeben werden können [Leser07].

Das Ziel eines integrierten Informationssystems ist es, einen möglichst hohen Grad an Transparenz für die Benutzer bereitzustellen, wodurch der Aufwand und die Komplexität bei der Konfiguration von Anfragen gering gehalten werden kann. Die Transparenz bestimmt somit eine generische und einheitliche Repräsentation der einzelnen Datenquellen als Ganzes.

Materialisierte und virtuelle Integration

Bei der Bereitstellung der Informationen durch die integrierten Informationssysteme wird, wie in Abbildung 4.2 dargestellt, zwischen materialisiertem und virtuellem Aufbau unterschieden [Leser07].

Der materialisierte Ansatz, in Abbildung 4.2 als „Data Warehouse“ abgebildet, beinhaltet eine eigene Datenbank, von der die Informationen bei einer Anfrage direkt abgefragt werden können [Jarke02]. Die integrierte Datenbank enthält eine Kopie der Inhalte der angebundnen Datenbanken, die periodisch aktualisiert werden müssen.

In Abbildung 4.2 ist der virtuelle Ansatz in Form eines Mediators abgebildet [Busse02]. Dieser muss bei einer Anfrage auf die Datenquellen über einen Wrapper zugreifen und die Ergebnis-

se zurückgeben. Der Mediator hält keine eigene Datenbank bereit, sondern stellt sie nur virtuell zur Verfügung.



Abbildung 4.2: Materialisierte und virtuelle Integration [Leser07]

Methoden zur Abfrage von Informationen

Um Informationen bereitstellen zu können, werden verschiedene Methoden verwendet. Die Spezifikation eines neuen Schemas einer Datenstruktur kann durch die Einbeziehung bestehender Schemata erfolgen [Leser07].

Die Abfrage der Informationen bringt Hürden mit sich, die beispielsweise mit strukturiertem Wissen in Form von Ontologien überbrückt werden können [Das04, Meixner04]. Durch den Einsatz von Ontologien werden semantische Unterschiede in den Daten erkannt und individuell verarbeitet. Dadurch besteht die Erweiterung der Datenverarbeitung auf struktureller bzw. schematischer Ebene durch die Analyse der Inhalte und der Informationen.

4.3 Modellgetriebene Architekturen

Der Ansatz der modellgetriebenen Architektur (MDA) verwendet Modelle als Basis für die Entwicklung von Software. Das bedeutet insbesondere, dass zu erstellende Systeme modelliert und nicht programmiert werden [MDA03]. Durch den Einsatz einer solchen Vorgehensweise und mit unterstützenden Softwaretools soll die Qualität der Systeme und die Geschwindigkeit bei der Entwicklung deutlich verbessert werden [Brown04].

Diese Spezifikation für modellgetriebene Architekturen ist durch die Object Management Group (OMG) in Zusammenarbeit mit über 800 Firmen entstanden. Einige Softwarehersteller bieten derzeit bereits Produkte für die Integration der neuen Komponenten in bestehende Entwicklungswerkzeuge an [IBM06, Borland06].

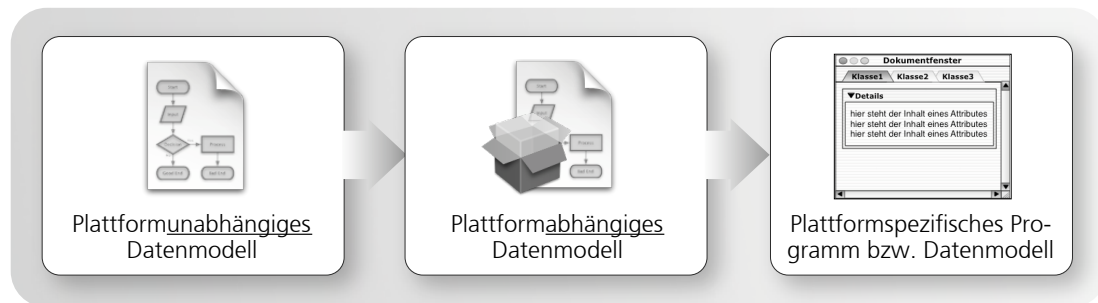


Abbildung 4.3: Vorgehensweise bei der Verwendung von modellgetriebenen Architekturen

Die Bestandteile der modellgetriebenen Architektur sind, wie in Abbildung 4.3 gezeigt, im Wesentlichen das plattformunabhängige und das plattformabhängige Modell. Die Plattform beschreibt dabei die Umgebung in der das zu entwickelnde System ausgeführt werden soll.

Die Modelle werden schließlich durch Transformation in ausführbare Programme oder Programmteile umgewandelt. Prinzipiell lassen sich für die Generierung von Quellcode durch Transformation die im folgenden Abschnitt beschriebenen Klassen identifizieren.

Mittels der modellgetriebenen Architektur werden hauptsächlich Ebenen für den Zugriff auf Daten in einer Datenbank durch die Verwendung von Bibliotheken generiert. Ergänzend können Benutzeroberflächen für die Betrachtung und Manipulation von Daten erstellt werden.

4.3.1 Klassifizierung von Quellcodegeneratoren

Für die Generierung von Quellcode gibt es verschiedene Ansätze [Giese05]. Je nach Freiheitsgrad und Komplexität bei der Entwicklung eines Systems sind die folgenden Konzepte für eine Realisierung denkbar:

- *Generatoren für die Syntaxtransformation* – Elementare Transformation von einer Struktur (Pseudocode) in eine andere Struktur (z.B. Java).
- *Spezialisierte Generatoren* – Die elementare Transformation wird hier mit Spezialwissen aus einer bestimmten Domäne ergänzt, um vordefinierte Bausteine und Klassen einsetzen zu können. Hierbei werden meistens bereits domänenspezifische Begriffe im Pseudocode verwendet, um daraus bei der Transformation vordefinierte Befehlssequenzen integrieren zu können.

- *Spezialisierbare Generatoren* – Je nach Grad der Konfigurierbarkeit von spezialisierten Generatoren können diese einen Freiheitsgrad für die Spezialisierung bereitstellen. Damit sind sie domänenorientiert und können je nach Einsatzgebiet detaillierter konfiguriert und angepasst werden.
- *Programmierbare Generatoren* – Je nach Anforderungen kann ein spezialisierbarer Generator in der Offenheit der Konfiguration zu eingeschränkt sein. Ein programmierbarer Generator ermöglicht die Erweiterung des Verhaltens des Generators selbst durch Programmierung.
- *Modellbasierte Generatoren* – Die Transformation der Strukturen wird auf der Erstellung von Modellen aufgebaut und bietet die größte Flexibilität bei der Generierung von Quellcode.

Die einzelnen Konzepte sind nicht eindeutig von einander abzugrenzen, so können je nach der Situation bei der Entwicklung eines Systems auch Kombinationen zum Einsatz kommen. Beim Einsatz einer modellgetriebenen Architektur werden modellbasierte Generatoren verwendet.

4.3.2 Plattformunabhängige Datenmodelle

Bei der Modellierung werden während der Erstellung der plattformunabhängigen Modelle alle Aspekte der Zielplattform außer Acht gelassen.

Dabei wird der Schwerpunkt auf die Konfiguration der Domäne gelegt. Es wird nicht spezifiziert in welcher Form das System umgesetzt werden soll [MDA03]. Typischerweise werden die Verhaltensweisen eines Systems durch die Definition von Diensten und Operationen modelliert. Das System wird in einzelne Komponenten oder Teilsysteme zerlegt, und die Abhängigkeiten untereinander werden in abstrakter Form definiert. Als Hilfsmittel bei der Modellierung werden Softwaretools für die Erstellung von UML-Diagrammen (Klassen-, Aktivitäts- und Sequenzdiagramme) verwendet [IBM06, Borland06, OMG06].

4.3.3 Plattformabhängige Datenmodelle

Das plattformabhängige oder plattformspezifische Modell enthält alle Information, die für die Generierung des Systems entsprechend einer spezifischen Plattform notwendig sind. Es kombiniert das plattformunabhängige Modell mit der Zielplattform [MDA03].

4.3.4 Datenmodelle für die Spezifikation einer Plattform

Die Zielplattform wird ebenfalls in einem Modell definiert. Dieses enthält die technischen Konzepte in Form von Diensten, die von der Plattform bereitgestellt werden. Das Modell enthält spezielle Klassen und Definitionen von Komponenten, die durch ein plattformabhängiges Modell referenziert werden können [MDA03].

4.4 Zusammenfassung

Die modellbasierte Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion stellt hohe Anforderungen an ein System, mit dem die Integration durchgeführt werden soll. Ein solches System, welches die Anforderungen zufriedenstellend erfüllt, ist nicht erhältlich. Aus diesem Grund wurde die aktuelle Vorgehensweise bei der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion, Methoden und Architekturen der Informationsintegration sowie Vorgehensweisen und Architekturen für die Generierung von Quellcode untersucht.

Das folgende Kapitel beschreibt die Entwicklung eines Systems für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung. Die Basis der Entwicklung sind die in der Konzeption identifizierten Anforderungen, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben.

5 Entwicklung des Systems für die modellbasierte Integration von Anlagen

In diesem Kapitel wird die Entwicklung eines System beschrieben, mit dem basierend auf verschiedenen Modellen die Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die IT-Landschaft der Produktion automatisiert und mit einer unterstützenden Vorgehensweise durchgeführt werden kann. Die Durchführung der Integration wird mittels Transformation von Anlagenstrukturmodell, Anlagenfunktionenmodell und Qualifizierungsmodell der Anlagen erstellt.

5.1 Basismodelle

Die im System definierbaren Modelle bilden zum einen den physikalischen Aufbau, und zum anderen das Verhalten der Automatisierungsschnittstellen der jeweiligen Anlage ab. Die Konfiguration der Transformation ist im Propagationsmodell enthalten.

5.1.1 Anlagenstrukturmodell

Der physikalische Aufbau der Anlage wird im Anlagenstrukturmodell definiert. Dieses Modell enthält alle wesentlichen Komponenten und deren hierarchischen Abhängigkeiten. Die Anlagen werden hier in einzelne Komponenten, wie Module, Teilsysteme sowie Ein- und Ausgabegeräte aufgeteilt. Jede einzelne dieser Komponenten beschreibt in weiteren Attributen eine Zustandsmaschine und deren Ereignisse sowie die spezifische Fehlerbehandlung und die Parameter für die Abfrage von Prozess- und Maschinendaten.

Zustandsmaschinen der Komponenten

Die Zustandsmaschine einer Komponente definiert die möglichen Verhaltensweisen der einzelnen Komponenten. Durch definierte Ereignisse ändert sich je nach der Definition im Modell der Zustand. Für die Erfassung der Betriebsdaten einer Halbleiterfertigungsanlage oder einer internen Komponente ist beispielsweise eine passende Zustandsmaschine durch den SEMI-Standard E10 [SEMI-E10-06] definiert. Mögliche Zustände sind dabei die folgenden:

- Produktiv
- In Bereitschaft
- Geplanter, ungeplanter und technischer Nutzungsausfall

Die Anlage muss sich der Definition entsprechend in einem der im SEMI-Standard E10 definierten Zustände befinden. Je nach Abhängigkeit der Komponenten werden die Zustände der Komponenten an sich weiter oben in der Hierarchie befindlichen Komponenten weitergege-

ben. Diese können dann je nach Konfiguration wiederum Ihre Zustandsmaschinen an den Gesamtzustand der Anlage anpassen.

Definitionen der Parameter

Jede Komponente kann weitere Komponenten besitzen. Die untergeordneten Komponenten sind dann wiederum Module, Teilsysteme oder Ein- und Ausgabegeräte. Jede Komponente selbst definiert Parameter zur Ein- und Ausgabe. Dadurch wird festgelegt, welche Werte in den Parametern einstellbar sind und welche Daten aus der Komponente ermittelt werden können. Typischerweise sind hier Parameterwerte hinterlegt, die von einem Sensor in der Anlage geliefert werden, z.B. Temperatur, Druck und Durchlaufgeschwindigkeiten von Verbrauchsmitteln.

Zusätzlich sind in der Definition die Grenzen und Normalwerte der Parameter hinterlegt, so dass bei der Auswertung der Parameterwerte Grenzüberschreitungen ergänzend zu statistischen Auswertungen und Berechnungen durchgeführt werden können.

Das Anlagenstrukturmodell als Abbildung der realen Anlage

Für die modellbasierte Integration einer Anlage ist das Anlagenstrukturmodell eines der wesentlichen Bestandteile bei der späteren Propagation zur standardisierten Anlagenschnittstelle in die IT-Infrastruktur der Produktion.

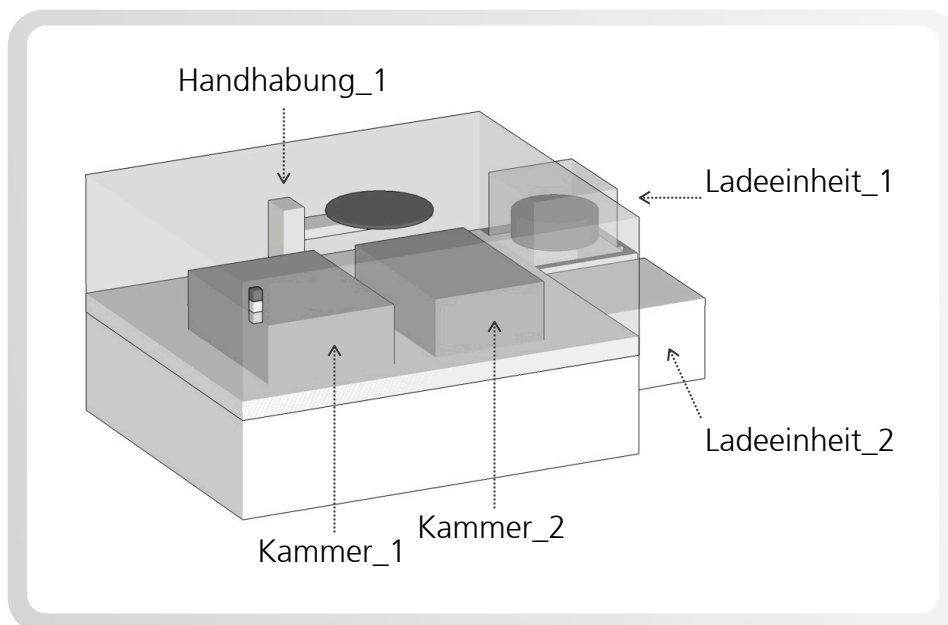


Abbildung 5.1: Schematischer Aufbau einer Halbleiterfertigungsanlage und Modulen

Das Modell enthält in hierarchischer Form den Aufbau der Komponenten einer Anlage. Einzelne Prozesskammern sind mit ihren jeweiligen Sensoren und Aktoren beschrieben. Auch die

Handhabung für den internen Transport der Scheiben vom externen Transportsystem (Ladeeinheiten), wie in Abbildung 5.1 gezeigt, in eine der internen Kammern, ist hier ebenfalls beschrieben.

Dem System steht das Modell als Dokument in standardisiertem und strukturiertem Format und einem definiertem Schema entsprechend zur Verfügung. Für die Erstellung des Dokumentes ist in erster Linie der Anlagenhersteller verantwortlich. Mit der Lieferung der Anlage muss das Modell als Dokument vorliegen. Bei Umrüstung der Anlage durch den Betreiber muss eine Aktualisierung der digitalen Abbildung im Dokument durchgeführt werden. Die Anlage selbst kann die Auslieferung des Dokumentes durch einen bereitgestellten Dienst über das Netzwerk der Produktion erlauben.

Für eine statische Repräsentation eines solchen Anlagenstrukturmodells kann der im SEMI-Standard E125 „Equipment Self Description“ [SEMI-E125-06] und E120 „Common Equipment Model“ [SEMI-E120-06] spezifizierte Aufbau als Grundlage verwendet werden. In diesem Standard sind Definitionen von Einschränkungen möglich. Diese Einschränkungen beziehen sich zunächst auf die Verfügbarkeit von Parameterwerten. Für ein vollständiges Strukturmodell ist eine Erweiterung um mögliche Grenzwerte der Parameter notwendig. Die Grenzwerte einzelner Parameter in den Komponenten können vom Betreiber der Anlage eigenständig verwaltet werden.

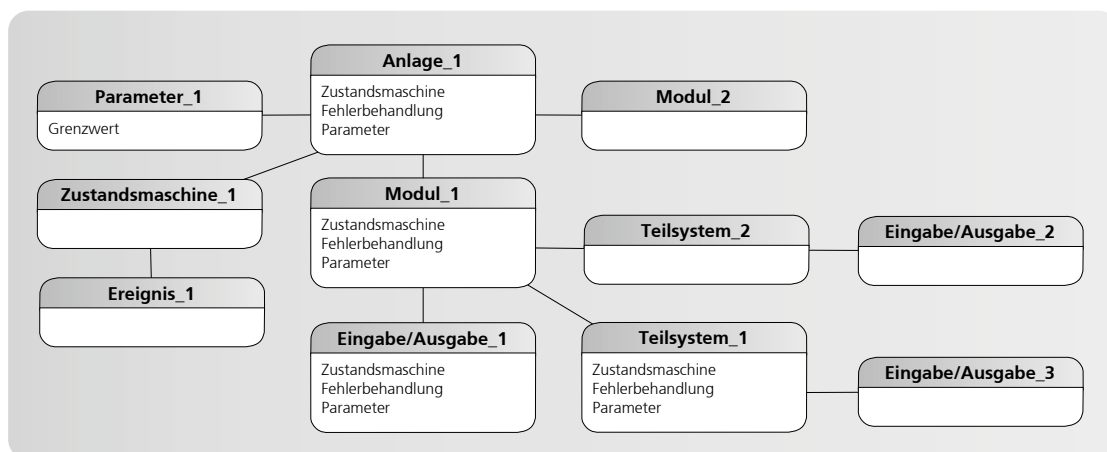


Abbildung 5.2: Diagramm eines Anlagenstrukturmodells für die Beschreibung einer Anlage

Die Attribute des Anlagenstrukturmodells definieren die Eigenschaften der Komponenten. Attribute jeder Komponente können wie in Abbildung 5.2 gezeigt die Zustandsmaschine mit entsprechenden Ereignissen und Übergängen, Details zur Fehlerbehandlung sowie die Beschreibungen der Parameter sein.

Bereich	Anlagenstrukturmodell	
	Element	Wert
Allgemeiner Bereich	▼ Anlagenstrukturmodell	ASM_CMPZ45
	Anlagen_ID	CMPZ45
	Anlagenhersteller	Anlagenhersteller_A
	Anlagentyp	Polieren
	Anlagen_Host	10.0.26.45
Zustandsmaschinen	▼ Zustandsmaschine	BDE_1
	▼ Zustand	Bereit
	▼ Ereignis	Prozess starten
	▼ Übergang	
	Zielzustand	Produktiv
	▼ Zustand	
	▶ Ereignis ...	Prozess anhalten
	▶ Ereignis ...	Wartung durchführen
	...	
	...	
Parameter	▼ Prozesstyp	Polieren_1
	▼ Rezeptparameter	
	▼ Parameter	Druck_1
	▼ Grenze	
	Min	0
	Max	80
	▶ Grenze ...	
	▶ Grenze ...	
	▶ Parameter	Temperatur_1
	▼ Grenze	
	Min	35
	Max	100
...		
Module und Teilsysteme	▼ Modul	Kammer_1
	Prozesstyp	Polieren_1
	▶ Zustandsmaschine ...	BDE_1
	▶ Fehlerbehandlung ...	FB_1
	▼ Zustandsmaschine	MDE_1
	▶ Teilsystem ...	Sensor_1
	▶ Teilsystem ...	Sensor_2
	▶ Teilsystem ...	Sensor_3
	▶ Modul ...	Kammer_2
	▶ Modul ...	Handhabung_1
...		

Abbildung 5.3: Schema der Teilbereiche des Anlagenstrukturmodells

Eine Modellinstanz in Form eines strukturierten Dokumentes enthält die dem Schema entsprechenden Werte zu den einzelnen Elementen des Modells.

In der folgenden Abbildung 5.3 sind Ausschnitte eines Modells zu sehen. Diese Anlage ist vom Typ CMP (Chemisch Mechanisches Polieren). Beim CMP Prozess gibt es eine Vielzahl von Parameter und Rezept Einstellungen, die in der Modellinstanz zu definieren sind [Kumar05].

Definition der Fehlerbehandlung im Modell

Treten in den einzelnen Komponenten Fehler auf, so ist jede Komponente dafür verantwortlich den Fehler an die übergeordnete Komponente zu senden. Ein Fehler kann von jeder Komponente ausgelöst werden. Beispielsweise können beim internen Transport der Scheiben durch das Handhabungssystem Fehlermeldungen erzeugt werden oder ein Sensor kann bestimmte Informationen durch einen aufgetretenen Fehler nicht mehr liefern. Das Anlagenstrukturmodell legt die Hierarchie der Fehlerbehandlung fest.

Bereich	Anlagenstrukturmodell	
	Element	Wert
Fehlerbehandlung	▼ Fehlerbehandlung	FB_1
	▼ Zustand	Bereit
	▼ Fehlerereignis	Messdaten nicht verfügbar
	▼ Übergang	
	Zielzustand	Fehler
	▼ Zustand	
	▶ Fehlerereignis ...	Aktor_3 reagiert nicht

Abbildung 5.4: Definition der Fehlerbehandlung im Anlagenstrukturmodell

Die Anlage liefert asynchron über die Integrationsschnittstelle zur IT-Infrastruktur der Produktion die Information über das Auftreten des Fehlers. Je nach Schweregrad des aufgetretenen Fehlers können übergeordnete Systeme entscheiden, wie die Ausnahme behandelt wird. In der Regel wird ein schwerwiegender Fehler zu einem sofortigen Stop der Anlage führen und dann werden entsprechende Benachrichtigungsmeldungen erstellt.

Über die Definition der Fehler und der Hierarchie der Fehlerbehandlung im Modell stehen Eigenschaften und Informationen zur Verfügung, die bei der Erstellung der Integrationsschnittstelle mit einzubeziehen sind. Für jede im Modell definierte Fehlersituation muss die später in die Produktion integrierte Schnittstelle entsprechende Funktionalität besitzen.

Verteilte Einzelmodelle innerhalb einer Anlage

Eine Modellinstanz kann je nach Konfiguration aus einzelnen Dokumentfragmenten zusammengesetzt werden. Für die Erzeugung eines vollständigen Anlagenstrukturmodells kennt jede Komponente ihre Teilmodelle und bezieht die untergeordneten Teilmodelle ein. Auf Anfrage eines hinsichtlich der Anlage externen Systems werden diese Teilmodelle zu dem gesamten Anlagenstrukturmodell zusammengeführt.

Der Vorteil der verteilten Modelldefinition liegt in der Aktualisierbarkeit der einzelnen Dokumentfragmente. Auf diese Art und Weise ist es möglich Teilsysteme auszutauschen, ohne die Gesamtkonfiguration explizit ändern zu müssen. Die Veränderung der Instanz für die ausgetauschte oder umgerüstete Komponente ist ausreichend, da das Gesamtmodell aus den einzelnen Teilen zusammengesetzt werden kann.

5.1.2 Anlagenfunktionenmodell

Das im vorigen Abschnitt besprochene Anlagenstrukturmodell beinhaltet hauptsächlich statische Informationen. Das explizite Verhalten einer Anlage für einzelne Szenarien bezüglich der Automatisierung wurde nicht berücksichtigt. Das Anlagenfunktionenmodell enthält alle wesentlichen Details des Verhaltens und des Automatisierungsgrades einer Anlage. Ausschlaggebend für das Anlagenfunktionenmodell ist die Aufstellung der Anforderungen an die Automatisierung der Anlagen in einem Lastenheft, wobei dieses aus einer Liste eindeutig identifizierbaren und verifizierbaren Datensätzen mit den Anforderungen besteht, welche von Anlagenherstellern in einzelnen Pflichtenheften bei Erfüllung zu bestätigen sind.

Basierend auf den geforderten und erfüllten Anforderungen an die Automatisierung einer Anlage wird im Bereich der Integrationseigenschaften des Anlagenstrukturmodells festgelegt, wie und ob einzelne Funktionen der Anlage an externe Systeme in der Produktion bereitgestellt werden sollen.

Ergänzend sind im Anlagenfunktionenmodell die Eigenschaften hinsichtlich der Integrationsplattform definiert, welche bei der Propagation der Integrationsschnittstelle einer Anlage verwendet werden soll. Diese Eigenschaften sind für die Funktionalität der Integrationsplattform spezifisch und aktivieren einzelne Merkmale, die bei der Propagation zu berücksichtigen sind.

Funktionen der Automatisierung einer Anlage

Für die Realisierung der in Halbleiterfabriken geforderten hochautomatisierten, digitalen Produktion müssen die Anlagen, entsprechende Funktionen von übergeordneten Systemen,

wie das Fertigungssteuerungssystem, verstehen und ausführen können. Entscheidend ist bei der Integration einer hohen Anzahl von Anlagen, dass sich jede Anlage weitgehend standardisiert, also der Spezifikation im Lastenheft entsprechend verhält. Im Idealfall kann das Lastenheft zum großen Teil aus Anforderungen erstellt werden, die in den SEMI-Standards definiert sind. Die Standards definieren Verhaltensweisen, Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle einheitlich für alle in die Fertigung zu integrierenden Anlagen. Diese Anforderungen sind Bestandteil des Anlagenfunktionenmodells und definieren folglich, wie sich eine Anlage in der digitalen Produktion verhalten muss.

Jede Anlage muss sich beim Beladen von zu prozessierendem Material (Scheiben) entsprechend der Spezifikation verhalten, wie in Abbildung 5.5 gezeigt. Im Lastenheft, in dem die Anforderungen an die Automatisierung definiert sind, wird dieses Verhalten festgelegt. Jede Anlage, die in die Produktion integriert wird, muss diese Anforderungen erfüllen. Das bedeutet insbesondere, dass nach der Verifizierung der Funktionalität die zu generierende Integrationschnittstelle diese ebenfalls unterstützen muss. Die Integrationschnittstelle selbst muss bei der Verwendung der Funktionen zur Anlage hin von einheitlichem Verhalten ausgehen können.

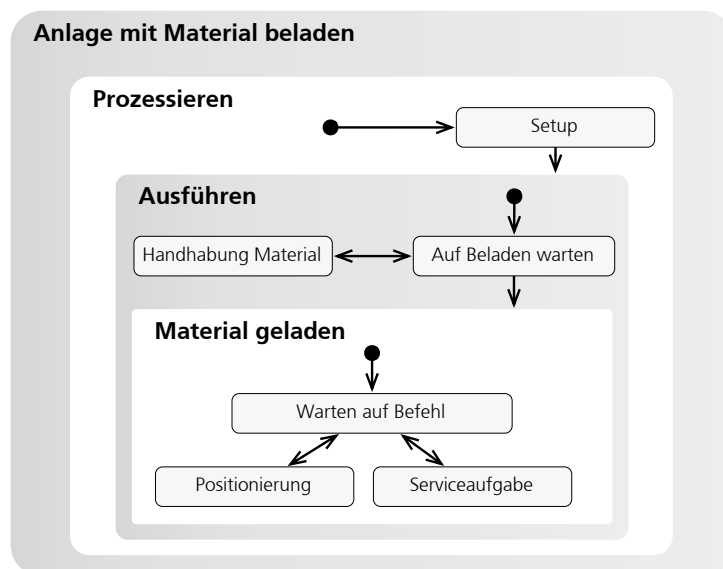


Abbildung 5.5: Überblick: Standardisiertes Verhalten einer Anlage beim Beladen mit Material (Scheiben)

Die folgenden Szenarien der Automatisierung können als Anwendungskomponenten eingesetzt werden:

- Abfrage der Betriebsdaten
- Abfrage der Diagnose- und Maschinendaten

- Anbieten eigener Dienste und Verwendung anderer Dienste
- Ausliefern und Aktualisieren der Integrationsschnittstelle

In einem Schema ist der geforderte Aufbau der Modellinstanzen eindeutig definiert. Die Instanzen für einzelne Anlage können dann syntaktisch mit dem Schema überprüft werden. So können strukturelle Fehler in den Modellen vor der Analyse für die Interpretation der Daten erkannt werden.

Bereich	Anlagenfunktionenmodell	
	Element	Wert
Allgemeiner Bereich	▼ Anlagenfunktionenmodell	AFM_CMPZ45
	Anlagen_ID	CMPZ45
	Anlagenhersteller	Anlagenhersteller_A
	Anlagentyp	Polieren
	Anlagen_Host	10.0.26.45
Anforderungen aus Lastenheft und deren Erfüllung aus den Pflichtenheften	▼ Anforderungspaket	Spezifikation_Automatisierung_1
	ID	SA_01
	...	
	▼ Kapitel	04 Be- und Entladen
	▼ Anforderung	Die Anlage soll das standardisierte Verhalten beim Laden von Material unterstützen, wie in Abbildung 5.5 beschrieben.
	ID	1
	Priorität	Zwingend erforderlich
	Erfüllungsstatus	✓ Wird erfüllt.
	Bemerkungen	In der Setup Phase können die Parameter P ₁ und P ₂ zusätzlich initialisiert werden.
	▼ Abschnitt	01 Beladen
	▼ Anforderung	...
	Erfüllungsstatus	✓ Wird erfüllt.
	▼ Anforderung	...
	Erfüllungsstatus	✗ Wird nicht erfüllt.
	▶ Abschnitt	01 Initialisierung
▶ Kapitel	05 BDE - Produktivität	
▶ Kapitel	06 MDE - Diagnose	

Abbildung 5.6: Teilbereich: Anforderungen aus dem Lastenheft des Anlagenfunktionenmodells

Aus dem Lastenheft werden die Anforderungsbeschreibungen in das Modell übernommen, aber auch die Erfüllungsgrade der Anlagenhersteller aus den zugehörigen Pflichtenheften. Die

Erfüllung der Anforderungen wird im Modell mit den realen Testergebnissen aus den Testprotokollen verbunden

Ein Lastenheft besteht, wie in Abbildung 5.6 dargestellt, aus mehreren Anforderungspaketen. Diese können in einzelne Kapitel und Abschnitte unterteilt werden. Die Anforderungen sortieren sich je nach Ebene in die Hierarchie ein und werden mit einer eindeutigen ID und mit einem Index für die Gewichtung gekennzeichnet. Eine einzelne Anforderung wird über den Hierarchiepfad im Dokument identifiziert. Für jede Anforderung wird der Erfüllungsstatus des Anlagenherstellers mit abgelegt.

Basierend darauf werden bei der Generierung der Integrationsschnittstelle Funktionen und Methoden bereitgestellt. Bei Anforderungen mit einer Gewichtung von 100%, deren Erfüllung nicht zugesagt wird, kann als Folge die Schnittstelle nicht erzeugt werden. Durch die Konfiguration des Qualifizierungsmodells wird vor der Propagation sichergestellt, dass die Anlagen den geforderten Automatisierungsgrad erreichen.

Verifizierung der Anforderungserfüllung

Für die sichere Bestimmung der Erfüllungsgrade der Anforderungen ist jede Anforderung, wie in Abbildung 5.7 gezeigt, mit einem konkreten Testfall verbunden.

Bereich	Anlagenfunktionenmodell	
	Element	Wert
Verifizierung der Erfüllungsgrade	▼ Testplanprotokoll	TP_Automatisierung_1
	ID	TP_01
	Software_Version_Anlage	Version 2.02
	▼ Kapitel	06 MDE - Diagnose
	▼ Testergebnis	✓ Bestanden.
	Testfall	01 Initialisieren
	ID	1
	Zeitstempel	2005-10-02 08:52:33
	▼ Verifizierung	
	Anforderung	SA_01.06.027
	Anforderung	SA_01.06.028
	Bemerkung	...
	▶ Testergebnis	✗ Nicht bestanden.

Abbildung 5.7: Teilbereich: Verifizierung der Erfüllungsgrade des Anlagenfunktionenmodells

Dieser Testfall muss entweder automatisiert oder manuell ausführbar sein. Erst eine fehlerfreie Durchführung von vollständigen Testplänen kann über den realen Automatisierungsgrad einer

Anlage entscheiden. Die Testprotokolle enthalten weitere Informationen, ob automatisiert oder manuell getestet wurde.

Da die Software der Standardschnittstelle auf einer Anlage auch zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlichen Versionen installiert sein kann, werden auch die Informationen über die Versionen festgehalten.

Definition der Integrationseigenschaften einer Anlage

Die Integrationseigenschaften einer Anlage definieren die tatsächliche Konfiguration der Anlage und damit die Dienste, die sie über die IT-Infrastruktur in die Produktion anbieten wird. Die angebotenen Dienste müssen individuell konfigurierbar sein.

Die im Lastenheft definierten Anforderungen lassen sich auf verschiedenen Ebenen zu Diensten zusammenfassen. Dadurch ergeben mehrere zusammenhängende Anforderungen in der Spezifikation einen konfigurierbaren Dienst, welcher der IT in der Produktion angeboten wird und von anderen autorisierten Systemen verwendet werden kann.

Abbildung 5.8 zeigt, wie die Integrationseigenschaften (hier Prozesskontrolle) einer Anlage im Anlagenfunktionenmodell konfiguriert werden können.

Bereich	Anlagenfunktionenmodell	
	Element	Wert
Integrations- eigenschaften	▼ Integrationseigenschaft	Prozesskontrolle
	▼ Eigenschaft	Rezeptanpassung
	▶ Aktivieren	Ein
	▶ Konfiguration	...
	▶ Eigenschaft	...

Abbildung 5.8: Teilbereich: Integrationseigenschaften des Anlagenfunktionenmodells

Für die Aktivierung der Prozesskontrolle in der Produktion muss eine Reihe von weiteren Diensten auf den Anlagen vorhanden sein:

- Betriebsdatenerfassung
- Maschinen- und Prozessdatenerfassung
- Anpassung von Rezepten über variable Parameter
- Flexible Logistik bei der Planung der Lose (engl. dispatcher) durch die Fertigungssteuerung

Auf jeder Anlage werden über das Anlagenfunktionenmodell im Teilbereich der Integrationseigenschaften die notwendigen und abhängigen Dienste konfiguriert und aktiviert.

Definition der spezifischen Eigenschaften für Integrationsplattformen

Im Gegensatz zu den Integrationseigenschaften, die das Verhalten der Anlage in die IT der Produktion definieren, legen die Eigenschaften der Integrationsplattform fest, wie in Abbildung 5.9 gezeigt, welche anlagenspezifischen Einstellungen zur Anlage hin notwendig sind, um Dienste vollständig anbieten zu können.



Abbildung 5.9: Abgrenzung der Integrationseigenschaften von den spezifischen Eigenschaften der Integrationsplattform

5.1.3 Qualifizierungsmodell

Die in den beiden Basismodellen für die Anlagenstruktur und die Anlagenfunktionen definierten Informationen zu jedem Anlagentyp sind wie in Abbildung 5.10 dargestellt der Ausgangspunkt für die Propagation zur Integrationsschnittstelle der Anlagen diesen Typs.

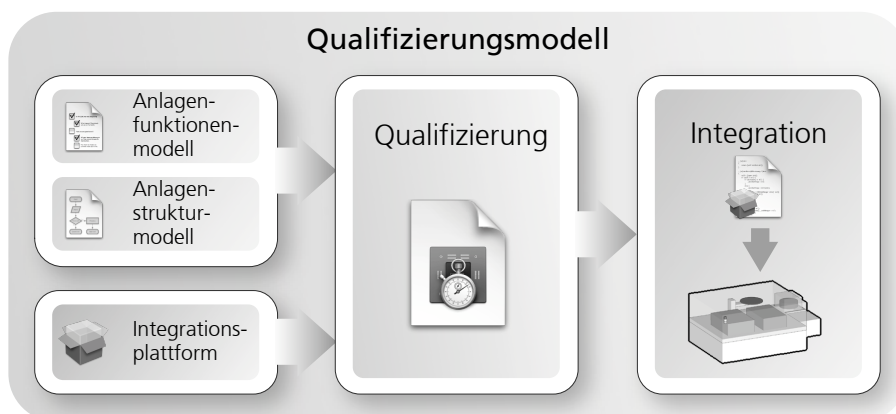


Abbildung 5.10: Qualifizierung vor der Propagation

Im System können für jede Anlage die beiden Basismodelle definiert werden, wobei Informationen, wie die Erfüllung der Anforderungen aus dem Lastenheft nur für den Typ der Anlage ermittelt werden können. Die Qualifizierung der Basismodelle ist für den weiteren Verlauf des Integrationsprozesses eine große Herausforderung.

Beide Modelle müssen einen durch das Qualifizierungsmodell berechenbaren Grad der Vollständigkeit erreicht haben, damit diese für die Generierung der Schnittstellen verwendet werden können.

Aus der Sicht der Vollständigkeit müssen die Modelle inhaltlich entsprechend verbessert werden, bis die Qualifikation erreicht ist.

Beim Abbruch dieses Prozesses bedeutet das für die spezielle Anlage, dass sie schwer in die IT-Infrastruktur integrierbar ist und damit auch nur mit erheblichem Mehraufwand Teil der Produktion werden kann.

Qualifizierung des Anlagenstrukturmodells

Die Abbildung der Anlagenstruktur im Modell kann zunächst durch die Verwendung von Standardhilfsmitteln auf syntaktischer Ebene überprüft werden. Durch die Definition der Modelle als Schema können dem Schema entsprechende Dokumente validiert werden.

Für die Qualifizierung reicht es jedoch nicht aus, das Modell nur auf Syntaxfehler hin zu überprüfen, sondern entscheidend ist viel mehr die Einschätzung der Semantik, also ob die Inhalte ausreichend und logisch definiert sind. Abhängigkeiten zwischen Zustandsmaschinen, Modulen und Teilsystemen sowie den Parameterdefinitionen können im Kontext aufgelöst werden. Im Detail kann automatisiert überprüft werden, ob die folgenden wesentlichen Punkte vom Modell der Anlage erfüllt werden:

- Definition der referenzierten Zustandsmaschinen im Modell
- Definition der referenzierten Teilbereiche für die Fehlerbehandlung
- Existenz der referenzierten Teilbereiche und Module

Die Zustandsmaschinen werden anschließend einer weiteren Prüfung unterzogen. Die definierten Zustände können in einer Testumgebung automatisiert instanziiert werden. Die Testinstanzen können dann in einer Simulation die einzelnen Übergänge emulieren, wodurch grundlegende Fehler, wie Zirkelbezüge oder nicht aufgerufene Zustände, entdeckt werden können.

Zusätzlich zu der Überprüfung der semantischen Inhalte der Modelle können, basierend auf der definierten Struktur mit einzelnen Komponenten in der Anlage, Standardtests durchgeführt werden. Ist im Modell an einer bestimmten Stelle ein Sensor definiert, so muss er bei einer Abfrage gemäß der Definition antworten. Diese Funktionen werden über die automatisierte Qualifizierung des Anlagenfunktionenmodells abgedeckt, welche basierend auf der Vollständigkeitsprüfung des Strukturmodells durchgeführt werden kann.

Qualifizierung des Anlagenfunktionenmodells

Die im Anlagenfunktionenmodell definierten Anforderungen an die Automatisierung einer Halbleiterfertigungsanlage, die Erfüllungsgrade, die vom Anlagenhersteller gegeben werden, sowie die Testergebnisse mit detaillierten Verhaltensweisen der Standardschnittstelle werden mittels konfigurierbaren Eignungskarten untersucht.

Bereich	Qualifizierungsmodell	
	Element	Wert
Eignungskartenpakete für die Qualifizierung der Anlagenfunktionenmodelle	▼ Qualifizierungsmodell	QM_01
	▼ Eignungskartenpaket	EP_01
	Gewichtung	80%
	Propagation	Aktiv
	Verifizierung	Aktiv
	▼ Eignungskarte	01 Be- und Entladen
	▼ Anforderungsabfrage	SA_01.01.06.027
	Gewichtung	15%
	Verifizierung	Aktiv
	▼ Anforderungsabfrage	SA_01.01.06.028
	Gewichtung	75%
	Verifizierung	Aktiv
	▼ Anforderungsabfrage	(SA_01.01.06.03* Oder SA_01.01.06.04*) Nicht (...)
	Gewichtung	10%
	Verifizierung	Aktiv
	▶ Eignungskarte	06 Diagnose
	▼ Eignungskartenpaket	EP_02
	Gewichtung	15%
Propagation	Nicht definiert.	
Verifizierung	Nicht aktiv.	
	...	

Abbildung 5.11: Definition der Eignungskarten im Qualifizierungsmodell

Die Grundfunktionalitäten der Automatisierung werden durch die Verknüpfung mehrerer Anforderungen in den Eignungskartenpaketen definiert.

Ein Eignungskartenpaket kann aus mehreren Eignungskarten bestehen, wie in Abbildung 5.11 dargestellt. In einer Eignungskarte sind hierarchisch und mit Gewichten gekennzeichnet Abfragen auf die Erfüllungsgrade und die Testergebnisse definierbar. Eignungskartenpakete und Eignungskarten sind ebenfalls mit definierbaren Gewichten konfigurierbar. Bei der Durchführung der Qualifizierung werden zu den Paketen rekursiv die Erfüllungsgrade aus der Datenquelle abgefragt.

Ist nun das Eignungskartenpaket vollständig mit den Informationen aus der Datenquelle ergänzt worden, kann anschließend die rekursive Berechnung der Kennzahlen durchgeführt werden. In der Definition einer Anforderung wird die dort definierte Priorität mit berücksichtigt. Steht dort, dass die Anforderung zwingend erforderlich ist, so wird die Berechnung bei Nichterfüllung entsprechende Kennzahlen ergeben. Anforderungen, die nicht zwingend erforderlich sind, werden die Berechnung der Kennzahlen weniger stark beeinflussen.

Für jedes Paket kann die Verifizierung optional berücksichtigt werden. Liegen Informationen für die Verifizierung vor, können diese Testergebnisse die Erfüllungsgrade überschreiben. Durch die Aktivierung der Verifizierung werden die Kennzahlen berechnet.

Um bei der Definition der Anforderungsabfrage für mehrere Anforderungen die Erfüllungszustände in einem Schritt zu ermitteln, können Ergebnismengen konfiguriert werden. Durch den Einsatz von logischen Operatoren („und“, „oder“, „nicht“) und Maskenzeichen („*“) als Platzhalter können mehrere Anforderungen ähnlich wie mit Datenbanksystemen definiert werden. Der Erfüllungsgrad wird in der Summe gemittelt.

Interpretation von Regeln innerhalb der Modelle

An mehreren Stellen in den Modellen sind die Attributwerte nicht mit einfachen Typen zu beschreiben, deren Werte aus einer definierten Liste ausgewählt werden können. Im Fall der Anforderungsabfrage (Abbildung 5.11) wird ein grammatischer Konstrukt als Eingabe definiert, zum Beispiel: (SA_01.01.06.03* Oder SA_01.01.06.04*) Nicht (...)

Diese Regel wird in einer Zeichenkette abgelegt. Diese Zeichenkette muss bei der Propagation interpretiert werden, um eine korrekte Auswertung der Definition zu erreichen.

Hierzu muss die Zeichenkette in einzelne Merkmale, bzw. Tokens zerlegt werden, um nach einer Interpretation die folgende Struktur in der Abbildung zur Verfügung zu stellen:

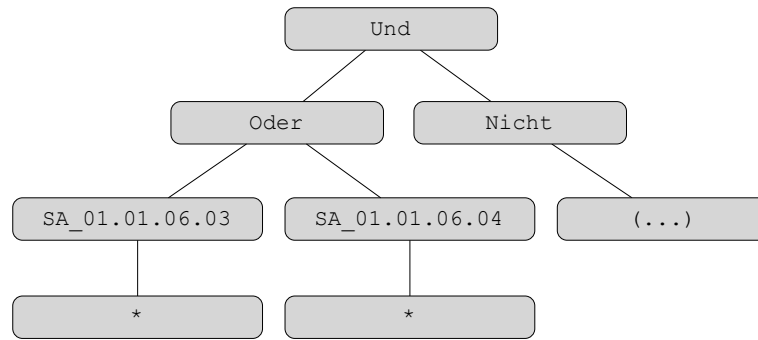


Abbildung 5.12: Zerlegen von Zeichenketten in einzelne Merkmale

Durch die Definition von problemspezifischen und kontextfreien Grammatiken kann eine Interpretation der Zeichenketten durchgeführt werden.

Grammatiken werden in der Praxis durch konfigurierte Parser repräsentiert. Diese Parser enthalten die Definition der Grammatik. Sie erlauben zum einen die Transformation von Inhalten in andere Formate und zum anderen die Interpretation und Überprüfung von Inhalten nach definierten Regeln [Aho92].

Eine LL(k) Grammatik ist eine Grammatik der Klassen LL(k). Die Klasse LL(k) definiert eine Top-Down-Untersuchung der Inhalte mit der Eingabe eines Vorausschauparameters k, der eine Anzahl von k Zeichen von links nach rechts entlang der Zeichenkette berechnet (Linksableitung). Diese Grammatik wird durch einen LL(k) Parser realisiert.

Bei der Analyse der Modelle werden die komplexen Zeichenketten durch die Definition von Grammatiken und der Realisierung der passenden Parser interpretiert.

Analyse aus mehreren Perspektiven

Im Qualifizierungsmodell können mehrere Pakete, wie in Abbildung 5.11 gezeigt, definiert sein. Dadurch besteht die Möglichkeit, ein Funktionenmodell aus mehreren Perspektiven zu analysieren. Die Schnittmenge, wie in Abbildung 5.13 dargestellt, über die mit Gewichten bewerteten Pakete, berechnet die Kennzahl der Anlagenfunktionenmodelle.

Um später bei der Propagation auf Teile der Qualifizierungsmodelle referenzieren zu können, können einzelne Pakete für die Propagation aktiviert und deaktiviert werden.

Die Schnittmenge der Eignungskartenpakete repräsentiert die minimale Funktionalität der Automatisierung der Anlagen. Auf dieser minimalen Auswahl an Funktionen bauen weitere Funktionen auf, die gegebenenfalls optional umgesetzt werden können.

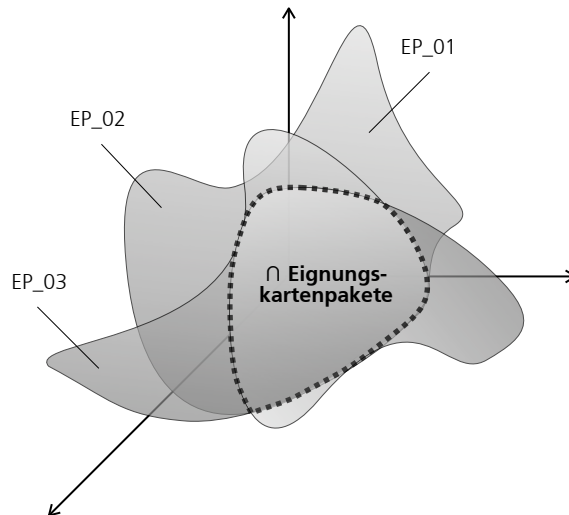


Abbildung 5.13: Schnittmenge der Eignungskartenpakete

Berechnung des Automatisierungsgrades

Die Berechnung der Auswertung eines Qualifizierungsmodells für eine Anlage zeigt nach der Ausführung die folgenden Ergebnisse wie in Abbildung 5.14 gezeigt.

Berechnung der Auswertung eines Qualifizierungsmodells				
	Element	Wert	Erfüllung	Kennzahl
Ergebnisse der Auswertungen für eine Anlage	▼ Eignungskarte	01 Be- und Entladen		95%
	Checksumme_Gewichte	100%		
	Version	6 (2005-10-05)		
	▼ Anforderungsabfrage	SA_01.01.06.027	✓ Wird erfüllt.	
	Gewichtung	15%		100%
	▼ Anforderungsabfrage	SA_01.01.06.028	✓ Wird erfüllt.	
	Gewichtung	75%		100%
	▼ Anforderungsabfrage	(SA_01.01.06.03* ...	★ Teils erfüllt.	
	▼ ∑ Abfrage		10	
	▶ ∑ Erfüllt		5	
	▶ ∑ Nicht_Erfüllt		5	
Gewichtung	10%		50%	

Abbildung 5.14: Berechnung des Automatisierungsgrades

Die Berechnung der Automatisierungskennzahl der Anlage K_{Anlage} erfolgt durch die rekursive Auswertung der Erfüllungsgrade E zu den einzelnen Anforderungen A unter Berücksichtigung derer Prioritäten.

Im Standardfall wird eine positive Erfüllung E_p mit 100% bewertet werden, wobei eine Nicht-Erfüllung E_n mit 0% eingestuft wird. Diese beiden Extremwerte sind die oberen Grenzen innerhalb der Auswertungsdefinitionsmenge D . Je nach Anwendungsfall können auch Zwischenschritte definiert werden.

So wird zunächst die folgende Funktion zur Ermittlung einer Automatisierungskennzahl K auf einer beliebigen Ebene im Qualifizierungsmodell definiert:

$$K(A, E) = A_{Prio} * D(E) \quad 5.1$$

Bei Berücksichtigung der Verteilung der Gewichte auf einer Ebene, wie in Abbildung 5.14 in der Wertespalte gezeigt, ergibt sich nun die Erweiterung für K :

$$K(A, E) = (A_{Prio} * D(E)) * A_{Gewicht} \quad 5.2$$

Die zusammenhängende Kennzahl einer Ebene in den Eignungskartenpaketen Z_{Ebene} kann nun mittels der Summe der einzelnen Automatisierungskennzahlen berechnet werden:

$$Z_{Ebene} = \sum_{k \in K_{Ebene}} K(A_k, E_k) \quad 5.3$$

Die rekursive Auswertung der Automatisierungskennzahl von K_{Anlage} ist jetzt aus den aufgestellten Definitionen für den Fall, dass E kein Blatt ist, wie folgt berechenbar:

$$Z_{Ebene_{i+1}} = \sum_{k \in K_{Ebene_i}} Z_{Ebene_i} \quad 5.4$$

Ist E ein Blatt, d.h. es folgen keine weiteren Ebenen mehr, die berechnet werden müssten, so wird $Z_{Ebene} = K(A, E)$ festgesetzt.

Bei einem Ergebnis einer Anforderungsabfrage, die eine Menge von E enthält, wird über die einzelnen Elemente von E der Durchschnitt mit

$$Z_{Menge} = \frac{Z_{Ebene}}{|K_{Ebene}|} \quad 5.5$$

berechnet.

Während das Qualifizierungsmodell in der Planungsphase definiert wird, kann später die Auswertung der Modelle für jede Anlage beliebig oft durchgeführt werden. Dadurch lässt sich die Entwicklung des Automatisierungsgrades verfolgen.

Alle Änderungen der Anforderungen werden automatisch versioniert, um eine lückenlose Verfolgung von Anfang an zu erreichen. Aus diesem Grund wird, wie in Abbildung 5.14 zu sehen, die Versionsnummer und das Datum der Erstellung der Version mitgeführt.

Berechnung von kontextbezogenen Qualifikationskennzahlen

Der Aufbau einer Halbleiterfabrik besteht aus einzelnen Bereichen, wie beispielsweise der Beschichtung durch Lackschichten, dem Chemisch Mechanischen Polieren, der Diffusion, der Belichtung, dem Ätzen und der Messung. Es ist in der Phase der Integration der Produktionsanlagen von entscheidender Bedeutung einen Überblick über die Kennzahlen der Qualifizierungen des Integrationsfortschritts einzelner Bereiche - bestehend aus einzelnen Anlagen - und somit der gesamten Fabrik zu behalten.

Dadurch lassen sich wie in Abbildung 5.15 gezeigt, frühzeitig Schwachstellen erkennen, um zusätzliche manuelle Entwicklungsaufwände für die Integration abzuschätzen.

Ziel ist es, für die gesamte Fabrikplanung einen möglichst hohen Automatisierungsgrad in allen Bereichen zu erreichen.

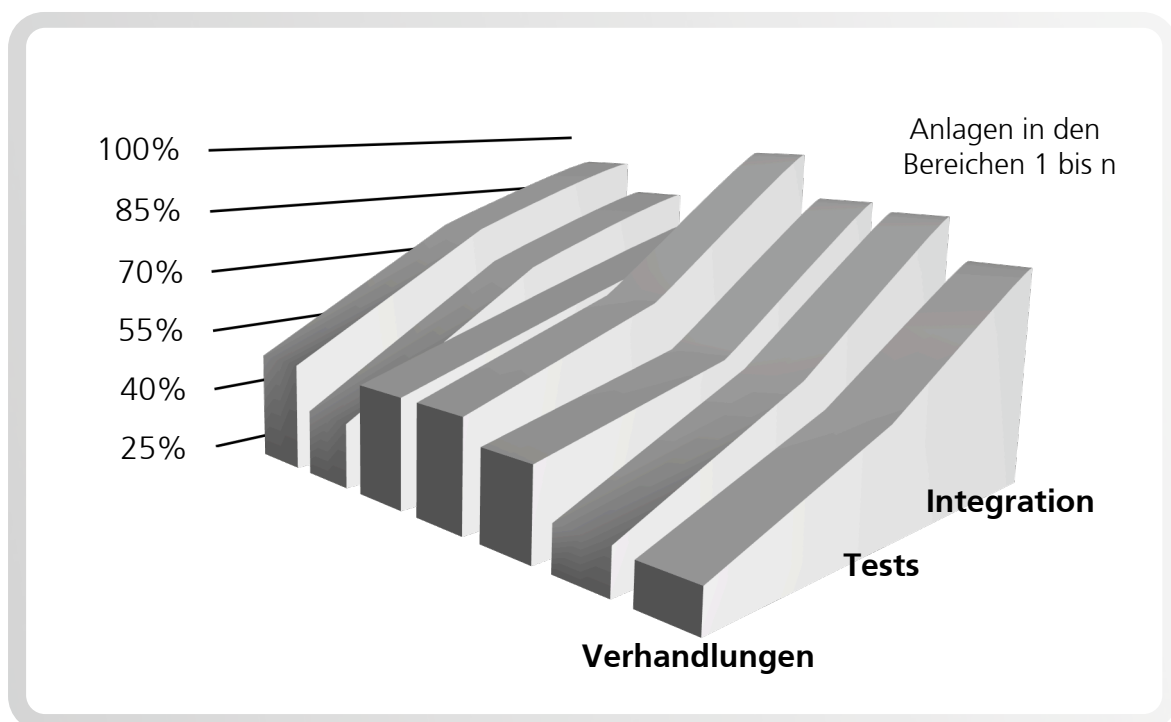


Abbildung 5.15: Beispiel einer Entwicklung der Automatisierungsgrade als Kennzahlen der einzelnen Bereiche in der Produktion während der Aufbauphasen

Je niedriger die Kennzahl eines einzelnen Bereiches ist, desto weniger werden die Anforderungen an die Automatisierung erfüllt.

Mit der Definition

$$Z_{\text{Bereich}} = \frac{\sum_{k \in K_{\text{Anlagen}}} Z_{\text{Ebene1}}(\text{Anlagen}[k])}{|K_{\text{Anlagen}}|} \quad 5.6$$

wird die Automatisierungskennzahl Z_{Bereich} eines Bereiches in der Produktion berechnet und kann mit anderen Kennzahlen verglichen werden.

5.2 Modellbasierte Propagation

Durch die in Abschnitt 5.1 definierten und strukturierten Elementarinformationen, wie technische Anforderungen, Testergebnisse, Integrationseigenschaften und Modulbeschreibungen zu einer Anlage sind die Basismodelle definiert. Das Anlagenstrukturmodell und das Anlagenfunktionenmodell enthalten die Definition von Struktur und Verhalten zu jeder einzelnen Anlage bzw. zu jedem Anlagentyp.

Durch die modellbasierte Propagation werden diese Informationen ausbreitend zu Funktionsbausteinen transformiert, die dann auf den Anlagen gestartet werden können. Durch die Installation der Schnittstelle und der darunter liegenden Funktionen ist die betreffende Halbleiterfertigungsanlage einheitlich und standardisiert in die IT der Produktion integriert.

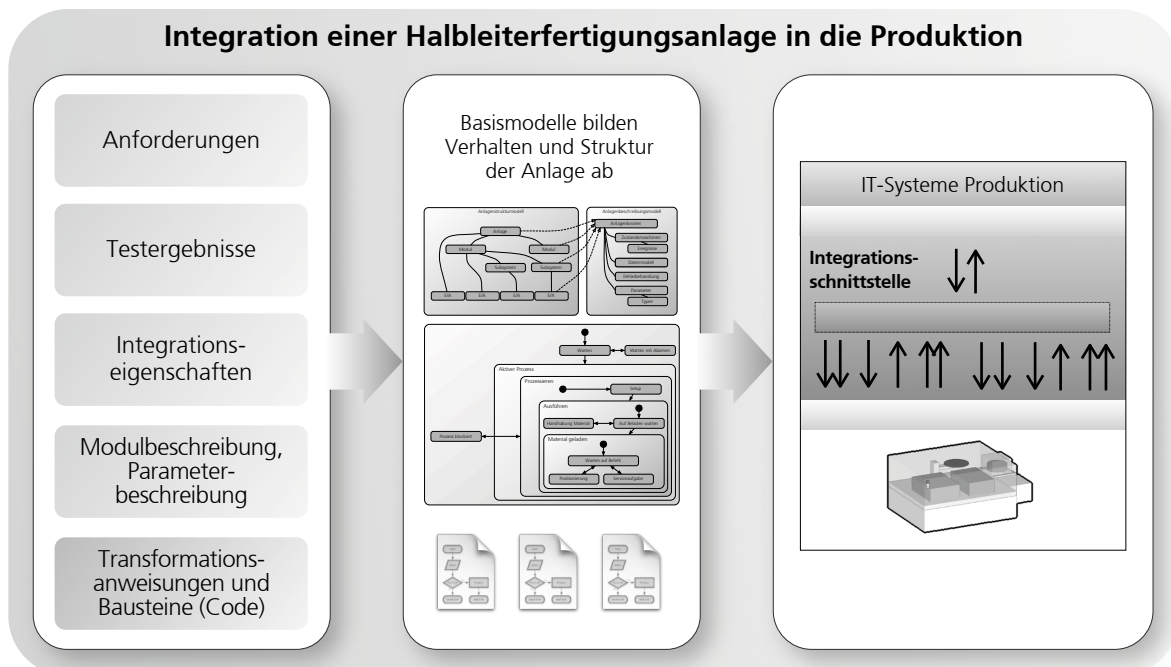


Abbildung 5.16: Informationsfluss bei der Generierung der Integrationsschnittstelle durch Transformation von Basismodellen

Notwendig für die Durchführung der Transformation ist die Verifizierung über das bereits definierte Qualifizierungsmodell.

Sind die Informationen der beiden Basismodelle ausreichend vollständig, so kann die modellbasierte Propagation, wie in Abbildung 5.16 gezeigt, vorgenommen werden.

Der hier beschriebene Ablauf und der damit verbundene Informationsfluss aus den Modellen hin zu den Funktionsbausteinen, die auf der Anlage aktiviert werden können, werden durch die Definition eines Propagationsmodells realisiert. Dieses Modell wird für die Integrationsplattform einmalig definiert und muss für jede Anlage eines Anlagentyps einsetzbar sein. Über den Typ einer Anlage hinaus muss je nach dem Bereich, in dem sich die Anlage befindet, das Propagationsmodell angepasst werden. Sind die bereichs- und typenabhängigen Modelle definiert, kann die Transformation durchgeführt werden.

5.2.1 Transformation

Als Teil des Propagationsmodells wird in diesem Abschnitt das Transformationsmodell eingeführt. Das Transformationsmodell enthält, wie in Abbildung 5.17 gezeigt, die konkreten Anweisungen für die Generierung der Integrationsschnittstellen der Anlagen. Während der Durchführung der Transformation werden die relevanten Bezüge zu den Basismodellen abgefragt. Diese Bezüge haben direkten Einfluss auf das generierte Ergebnis.

Die eigentliche Entwicklung der Integrationsschnittstellen besteht innerhalb des entwickelten Systems aus der Entwicklung einer generischen, mehrfach anwendbaren Form der Schnittstellen.

Diese werden anschließend durch die Basismodelle für jede Anlage in Form von individuellen Ausprägungen generiert. Im ersten Schritt werden relevante Quellcodebausteine definiert, die einzelne Funktionen kapseln und durch Kooperation mit anderen Bausteinen geforderte Anwendungskomponenten der IT in der Produktion abbilden. Diese Abhängigkeiten zwischen den Bausteinen ermöglichen eine modulare und flexible Generierung der Funktionen.

Prinzipiell kann noch zusätzlich zwischen unveränderlichen und variablen Bausteinen unterschieden werden, wobei die variablen Bausteine je nach Verwendung bestimmte Funktionen ein- oder ausblenden können. In der Realisierung beinhalten die Transformationen weitere intergrierte Transformationen, die plattform- und programmiersprachenunabhängig ausführbar sind.

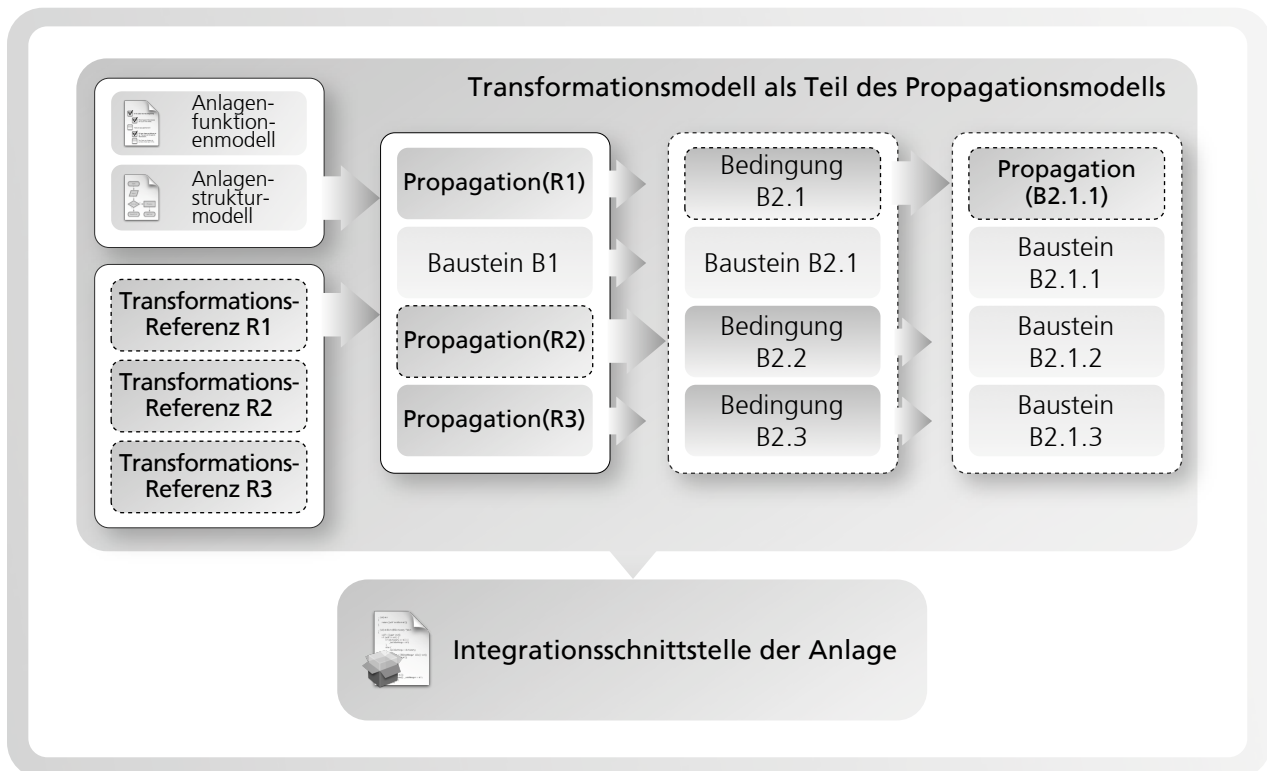


Abbildung 5.17: Transformationsmodell

Quellcodebausteine

Die Quellcodebausteine sind, wie in Abbildung 5.18 gezeigt, in sich gültige Dokumente, welche in Textform innerhalb eines Elementes den programmiersprachenspezifischen Quellcode enthalten. Die Programmiersprache kann beliebig sein, abhängig von den Bibliotheken, die von dem Hersteller oder Entwickler der Integrationsplattform geliefert werden. In den folgenden Beispielen sind die Bausteine in Pseudocode dargestellt.

Ein unveränderlicher Quellcodebaustein, wie in Abbildung 5.18 gezeigt, besteht aus festen Textbausteinen und ist damit die einfachste Form eines Bausteins.

```
Vorlage:
  Instruktion:
    Methode_1:
      Funktion_1;
      Funktion_2;
    Ende der Methode;
  Ende von Instruktion;
Ende der Vorlage;
```

Abbildung 5.18: Unveränderlicher Quellcodebaustein für die Aktivierung von Diagnosedaten einer Anlage

Diese Formen von Bausteinen werden an den Stellen im Propagationsmodell eingesetzt, an denen relativ einfache und unspezifische Funktionen gefordert sind. Sie sind für jede Anlage gleich.

Variable Quellcodebausteine

Die Motivation für die Einführung der variablen Bausteine liegt darin, dass die wesentlichen bereitzustellenden Funktionen anlagenspezifisches Verhalten liefern müssen. Diese Eigenschaft kann nur durch die individuelle Anpassung von Bausteinen für die Anlagen selbst erreicht werden, denn in den wenigsten Fällen verhalten sich Anlagen gleichen Typs in der realen Produktion identisch.

Der Einsatz der variablen Bausteine wird durch die Verwendung von Bausteinparametern realisiert. Diese Parameter und deren Werte enthalten einen Baustein von seinen übergeordneten auf ihn selbst referenzierenden Bausteinen.

```
Vorlage:
  Instruktion:

      Methode_1 mit Variablen (Variable_1, Variable_2):

          Funktion_1;
          Funktion_2;

          Aufruf_Methode_2 mit Variable(Variable_1);

      Ende der Methode;

  Ende von Instruktion;
Ende der Vorlage;
```

Abbildung 5.19: Zusammengesetzte Zeichenketten durch die Verwendung variabler Quellcodebausteine

Abhängig von den Werten der Parameter kann im Baustein während der Transformation entschieden werden, welche weiteren Bausteine zu integrieren und welche Teile zu ignorieren sind. Parameter können auch, wie in Abbildung 5.19 dargestellt, für die Zusammensetzung von Zeichenketten verwendet werden.

Im hier gezeigten Beispiel wird die eindeutige ID der Anlage im zu generierenden Quellcode eingesetzt. In Abbildung 5.20 ist schematisch dargestellt, wie Parameterwerte während der Propagation an die referenzierten Bausteine übergeben werden können.

In diesem Fall werden den beiden Parameter <VB1> und <VB2> in der Propagation durch Abfrage der Basismodelle die entsprechenden Werte „EZ002_32-Event“ und „EZ002_33-Event“ zugewiesen und an die Bausteine zur Weiterverarbeitung übergeben.

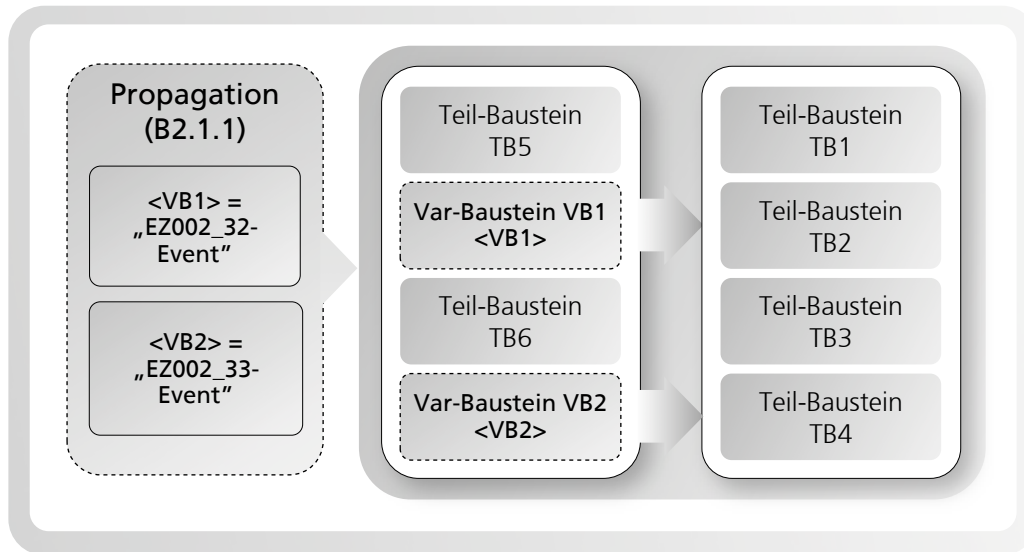


Abbildung 5.20: Übergabe von Parameterwerten während der Propagation

In den variablen Quellcodebausteinen VB1 und VB2 können dann abhängig von den Werten der Parameter Kontrollstrukturen die weitere Propagation entscheiden. Zum Beispiel kann VB1 entscheiden, ob im weiteren Verlauf Teil-Baustein TB1 bis TB4 herangezogen werden sollen.

Erreicht die Propagation einen Teil-Baustein ohne weitere Transformationsanweisungen, so hat sie einen Endpunkt erreicht, an dem keine weiteren Elemente transformiert werden können.

Abhängigkeiten von Quellcodebausteinen

Der Ablauf einer Propagation orientiert sich hauptsächlich an den Abhängigkeiten unter den Quellcodebausteinen. Wie in Abbildung 5.21 zu sehen ist, gibt es zunächst für jede Transformation innerhalb der Propagation einen definierten Einstiegspunkt. Durch Abfrage der Basismodelle wird zunächst die Verfügbarkeit der geforderten Funktionen, die im Baustein verwendet werden, geprüft.

Je nach Konfiguration der Integrationseigenschaften im Anlagenfunktionenmodell wird der Aktivierungsstatus der definierten Funktionen ebenfalls abgefragt. Dadurch besteht die Möglichkeit, einzelne Dienste für die Propagation zu aktivieren und zu deaktivieren.

Der durch Abbildung 5.21 gezeigte Propagationspfad startet am „Einstiegspunkt“ und geht dann weiter über den elementaren Dienst „DiensteEntdeckenUndAnbieten“. Dieser Dienst teilt sich weiter in die untergeordneten Dienste „Entdecken“ und „Anbieten“. Im Detail besteht

der Dienst „Anbieten“ im weiteren Verlauf wiederum aus den untergeordneten Diensten „Initialisierung“, „Aktualisierung“ und „Deaktivierung“.

Jeder dieser Bausteine enthält die in der Programmiersprache der Integrationsplattform entwickelten Befehle für die Realisierung des Dienstes.

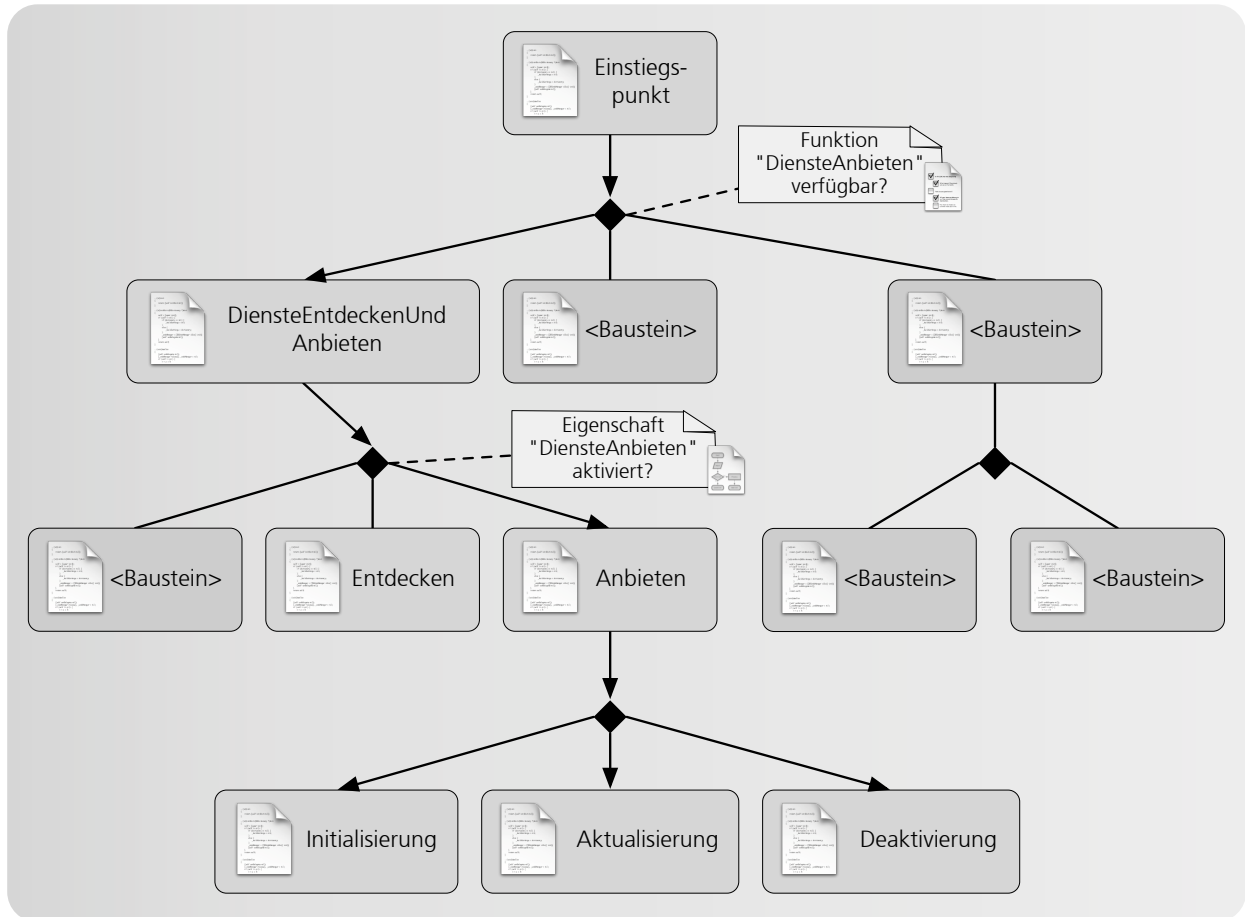


Abbildung 5.21: Propagationspfad über die Quellcodebausteine

Transformationsreferenzen

Um die Verbindung der vorgestellten Bausteine definieren zu können, wird die Transformationsreferenz eingeführt. Jeder Quellcodebaustein kann weitere Bausteine referenzieren, indem er die Referenzen zu weiteren Transformationen und Bausteinen entsprechend eines Pseudo-Codes definiert. In Abbildung 5.22 wird gezeigt, wie die Referenzen in einem Baustein definiert und ausgeführt werden.

```
...
Transformationsreferenz:

    Verwende Transformationsreferenz_1;
    Verwende Transformationsreferenz_2;
    Verwende Transformationsreferenz_3;

    Ausführen der Transformationsreferenz_1;
    ...
Ende der Transformationsreferenz;
...
```

Abbildung 5.22: Integration von weiteren Transformationen und Bausteinen

Die Logik innerhalb eines Bausteins kann, wie in Abbildung 5.23 gezeigt, durch die Verwendung von Kontrollstrukturen und Schleifenkonstrukten entwickelt werden.

```
Definition von Transformationsreferenz_1:
...
#Bemerkung: Kontrollstrukturen in einem Baustein

Wenn Variable_1 gleich „Service aktivieren“ Dann

    Funktion_1;

    Für jedes Element in Variablenliste_1 führe aus

        Funktion_2;
        Funktion_3;

    Ende der Ausführung für jedes Element;

Ende der Wenn Abfrage;
...
Ende der Definition;
```

Abbildung 5.23: Quellcodebaustein mit Kontrollstruktur und Schleifenkonstrukt

Innerhalb dieser Konstrukte wird die Generierung der Integrationsschnittstelle durchgeführt. Dies ermöglicht es, basierend auf den Basismodellen Quellcodefragmente mit speziellen Ausprägungen zu wiederholen und durch die Parametrisierung in Verbindung mit den Kontrollstrukturen eine situationsabhängige Propagation durchführen zu lassen.

Die Propagation wird während und nach Beenden der Ausführung auf ihre Vollständigkeit überprüft. Dadurch soll gewährleistet sein, dass die generierte Schnittstelle den vollen Funktionsumfang hat und für die ersten Tests von Szenarien bereit ist oder ob Anpassungen an den generierten Schnittstellen notwendig sind.

Im Falle, dass Anpassungen an dem generierten Quellcode notwendig sind, muss das Ergebnis manuell in einer externen Entwicklungsumgebung ergänzt und angepasst werden.

5.2.2 Berechnung der Vollständigkeit der Propagation

Bei der Ausführung der Transformationen während der Propagation von den Basismodellen zu der Integrationsschnittstelle werden die Zwischenergebnisse protokolliert. Das ist notwendig, um Hinweise bei unvollständiger Generierung erzeugen zu können.

Die Propagation wird wie in Abbildung 5.24 dargestellt als gerichteter und azyklischer Graph $G_{Propagation}$ (Baum) aufgebaut. Der dargestellte Graph besteht aus zwei möglichen Knotentypen. Ein wie in diesem Abschnitt beschriebener unveränderlicher Baustein wird als F_{Index} (Fragment) gekennzeichnet. Weiterführende Transformationen sind als T_{Index} (Transformation) definiert. Knoten vom Typ Transformation können im Graphen weitere Kinder haben. Im Gegensatz dazu sind Fragmente grundsätzlich Blätter und haben keine weiteren Kindelemente.

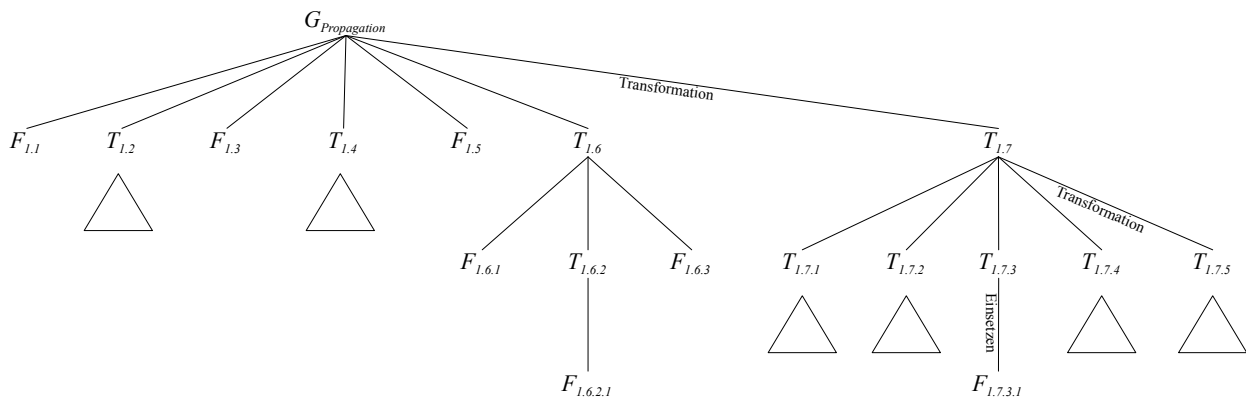


Abbildung 5.24: Propagationsbaum

Durch die Topologie des Baumes wird das erwartete Ergebnis für die Propagation definiert. Basierend auf dieser Sollgröße können während der Generierung Zwischenergebnisse analysiert und bewertet werden. Entsprechen die transformierten Knoten nicht dem erwarteten Ergebnis, so erhält man eine unvollständige Propagation. Die Ursachen sind in den Inhalten der Basismodelle zu finden. Mögliche Fehlkonfigurationen im Anlagenfunktionenmodell, die durch die Qualifizierung nicht geprüft werden, können zu Ausnahmen führen, die innerhalb der Transformation nicht automatisiert abgefangen werden.

Für die Berechnung der Vollständigkeit sei der Baum der Propagation $G_{Propagation}$ wie folgt definiert, wobei E die Knoten (Fragmente und Transformationen) und V die Kanten des Baumes darstellen:

$$G_{Propagation} = (V, E) : E \in F \cup T$$

Dann sei f eine Funktion, die als Eingabe einen beliebigen Knoten E haben kann und als Ausgabe eine natürliche Zahl haben kann:

$$f : E \rightarrow \{0..1\} \quad 5.8$$

Die Sollgröße der Propagationskennzahl P wird durch den Betrag über dem Baum wie im Folgenden beschrieben berechnet:

$$P = |G_{Propagation}| = \sum_{F_i \in F} f(F_i) + \sum_{T_j \in T} f(T_j) \quad 5.9$$

Für die Berechnung der aktuellen Größe der Kennzahl einer Propagation wird der Wertebereich der Funktion λ definiert als

$$\lambda : G \rightarrow \mathbb{R}_0^+ \quad 5.10$$

mit G als Eingabe für die folgende Berechnung:

$$I = \lambda(G_{Propagation}) = \frac{\sum_{F_i \in F} f(F_i) + \sum_{T_j \in T} f(T_j)}{|F \cup T|} \quad 5.11$$

Mit der Berechnung von I kann jetzt eine Aussage über die Vollständigkeit der Propagation gemacht werden:

Die Propagation ist vollständig, wenn die Bedingung

$$I = 1 \quad 5.12$$

erfüllt ist. Für einen Wert mit

$$I < 1 \quad 5.13$$

ist das Ergebnis unvollständig.

Abbildung 5.25 zeigt den Aufbau des Fehlerprotokolls, in welches während der Ausführung ausgegeben wird, welche Fehler aufgetreten sind und an welcher Stelle ihr Auftreten war. Der Typ des Fehlers wird ebenfalls festgehalten.

Beim Auftreten von Fehlern und Warnungen im Fehlerprotokoll müssen das Anlagenfunktionenmodell und das Anlagenstrukturmodell manuell überprüft werden und die Propagation neu gestartet werden.

Die Fehlermeldungen aus der grammatikalischen Analyse werden ebenfalls im Fehlerprotokoll ausgegeben. Die Parser werden bei einzelnen statischen Elementen bereits während der Eingabe instanziiert, um Fehler frühzeitig zu identifizieren und zu beseitigen.

Da die Grammatiken zusätzlich zu den statischen Komponenten dynamische Daten in den variablen Bausteinen enthalten können, die nur zur Propagationszeit ermittelt und eingesetzt werden können, gibt es zusätzliche Fehlertypen bei der grammatikalischen Analyse, die kontextabhängig auftreten.

Die dynamischen und kontextabhängigen Fehler entstehen bei der Interpretation der Zeichenketten, die in den Wertebereichen der Modellelemente aus verschiedenen Bausteinen und Parametern zusammengesetzt werden.

		Fehlerprotokoll zur Ausführung einer Propagation	
		Element	Wert
Auftreten von Fehlern und Warnungen im Fehlerprotokoll	▼ Fehlerprotokoll		FP_1
		Zeitstempel	2005-11-12 18:22:43
		Propagationskennzahl	0,88
		Zusammenfassung	Schwerwiegende Fehler
		...	
		▼ Fehler	
		▼ Variable Bausteine	
		▼ Baustein	3.4
		Beschreibung	Der Parameter <VB3> ist nicht definiert.
		▶ Baustein	10.4.8
		...	
		▶ Bausteine	
		▼ Warnungen	
		▶ Variable Bausteine	
	▶ Bausteine		

Abbildung 5.25: Fehlerprotokoll bei einer Propagation

5.2.3 Propagationsmodell

Im Propagationsmodell werden alle bisher definierten Modelle integriert und deren Interaktion festgelegt. Hier werden alle relevanten Informationen zu einer vollständigen Basis zusammengefasst. Dieses Modell, und insbesondere dessen vorgestellten Teilmodelle, wie

- Anlagenstrukturmodell,

- Anlagenfunktionenmodell,
- Qualifizierungsmodell und
- Transformationsmodell

bilden die Kernelemente für die Integration der Halbleiterfertigungsanlagen in die „Digitale Produktion“ einer Halbleiterfabrik, wie in Abbildung 5.26 dargestellt.

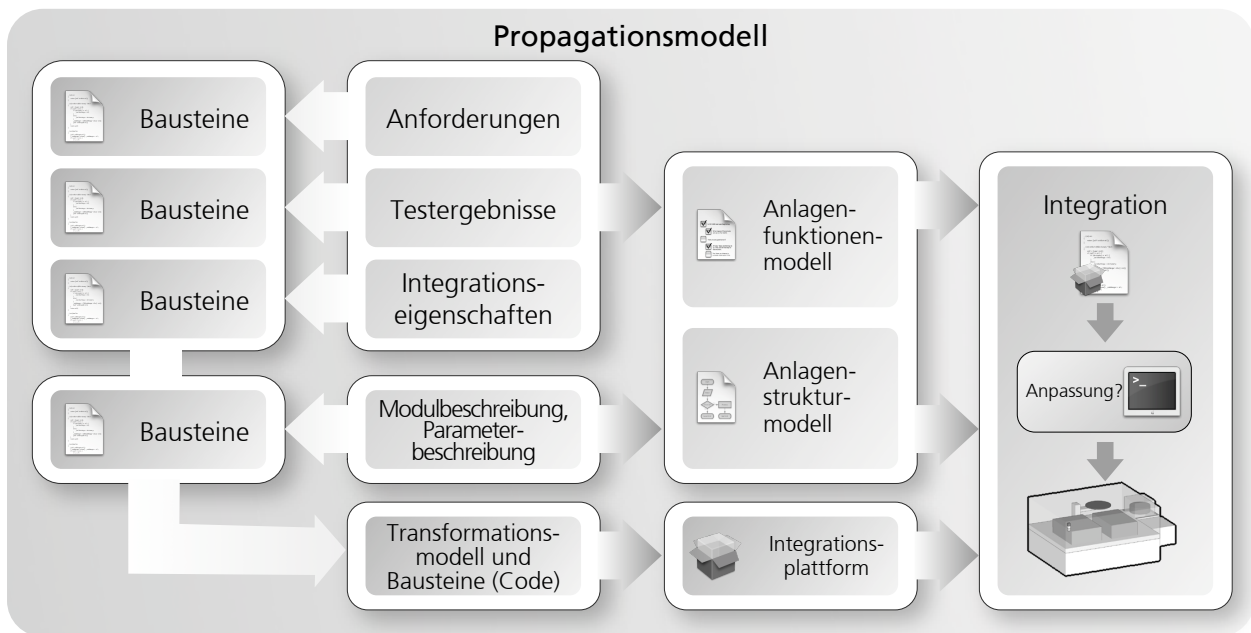


Abbildung 5.26: Propagationsmodell

Anzahl der Modellinstanzen

Im Softwareentwicklungsprozess lässt sich der Aufwand für die Integration einer Anzahl n von Anlagentypen und einer Anzahl m_n (zu n Anlagentypen gibt es m_n davon abhängige Anlagen) von Anlagen wie folgt abschätzen:

- Anlagenstrukturmodell und Anlagenfunktionenmodell müssen zunächst n mal für jeden Anlagentyp erstellt werden. Für die jeweiligen Anlageninstanzen m_n eines Typs müssen gegebenenfalls Anpassungen an den Modellen durchgeführt werden.
- Das Qualifizierungsmodell sowie das Transformationsmodell müssen mindestens einmal existieren. Je nach Planung der Fabrik und der Anzahl der Produktionslinien und Bereiche, abhängig von den Prozesstypen, können auch verschiedene Varianten dieser Modelle existieren.

Durch die Top-Down Hierarchie vom Bereich, über die Anlagentypen bis hin zur Anlage selbst, können die Aufwände verbessert werden. Im ersten Schritt beginnt die Spezifikation der An-

forderungen auf der Bereichsebene, dann auf den Typen und schließlich auf der Anlagenebene, wobei die Modelldefinitionen jeweils von der übergeordneten Ebene übernommen und für die aktuelle Ebene angepasst werden.

Zusammenführung der Teilmodelle und Komponenten zum Propagationsmodell

Wie in Abbildung 5.27 dargestellt, muss für die Ausführung der Generierung einer Variante des Transformationsmodells eine Integrationsplattform, jeweils eines der Basismodelle, ein Qualifizierungsmodell und ein Transformationsmodelle ausgewählt werden.



Bereich	Propagationsmodell	
	Element	Wert
Integrationsplattform	▼ Integrationsplattform	EA_FW_WSDL_01
	▶ Konfiguration	CFG_01
Anlagenstrukturmodelle	▶ Anlagenstrukturmodell	ASM_CMPZ45
	▶ Anlagenstrukturmodell	ASM_CMPZ46
	...	
Anlagenfunktionenmodelle	▶ Anlagenfunktionenmodell	AFM_CMPZ45
	▶ Anlagenfunktionenmodell	AFM_CMPZ46
	...	
Qualifizierungsmodelle	▶ Qualifizierungsmodell	QM_01
	...	
Transformationsmodelle	▼ Transformationsmodell	TM_01
	▼ Transformationsreferenzen	
	▼ Name	TR1
	Transformations-Quellcode	<pre> ... <xsl:stylesheet ...> <!-- Transformationsreferenzen --> <xsl:include href="PropagationRequirements.xsl"> <xsl:include href="PropagationTestResults.xsl"> <xsl:include href="PropagationGeneralProperties.xsl"> <!-- Ausführung der definierten Transformationen --> <xsl:apply-templates select="//GeneralProperties" /> ... </xsl:apply-templates> ... </pre> 
	▼ Bausteine	
	▼ Variable Bausteine	
	▼ Name	VB1
	Baustein-Quellcode	<pre> <PE_Template> <instruction> <!-- Parameterdefinition --> <xsl:param name="equipment_ID"/> public int activateDCP(...) { EDACommand DCPRequest = new EDACommand(DCPRequest.initDCP(...)); DCPRequest.configDCP(...); ... int result = DCPRequest.activateDCP(<xsl:copy-of select="//equipment_ID" />); return result; } </instruction> </PE_Template> </pre> 
	▶ Unveränderliche Bausteine	

Abbildung 5.27: Überblick über die Zusammenführung der entwickelten Modelle

Die generierte Integrationsschnittstelle

Nach der Ausführung der Generierung sind in Abhängigkeit von den aktivierten Basismodellen die dazu gehörigen Schnittstellen erzeugt worden, wie in Abbildung 5.28 gezeigt. Je nach Aufbau der Transformationsreferenzen ist bei der Generierung eine bis mehrere Klassen in mindestens einer Datei entstanden. Die Klassen sind je nach Struktur der verwendeten Programmiersprache in Paketen oder Domänen verwaltet.

```
Paket „de.fraunhofer.ipa.pe.driver“:
...
Klasse EADriver_CMPZ45 spezialisiert EquipmentAutomationDriver:

    Variable_1 = „Service aktivieren“;

    Konstruktor für EADriver_CMPZ45:
        Aufruf der Superklasse;

        Ausgabe in das Protokoll („Integrationsschnittstelle instanziiert“);
        Befehl an die Anlage senden: „Init“;

        ...

    Ende des Konstruktors;

Ende der Klasse;
...
```

Abbildung 5.28: Ausschnitt einer generierten Integrationsschnittstelle (Konstruktor einer Klasse)

Die Klassen können nach der Generierung in eine beliebige Entwicklungsumgebung importiert werden. Dort können manuelle Anpassungen vorgenommen werden. Bei direkten Änderungen der erstellten Klassen werden keine Rückschlüsse auf die Modelle verfolgt. Wird nach manueller Änderung die Integrationsschnittstelle erneut generiert, so werden die Änderungen gegebenenfalls überschrieben. Um diese Problematik zu umgehen, werden in der Entwicklungsumgebung die generierten Klassen importiert und Erweiterungen durch das manuelle Hinzufügen von neuen Klassen durch Vererbung im Sinne von objektorientierter Programmierung [Booch99] gelöst. Die abgeleiteten Klassen können die zusätzliche Logik beinhalten und bei einer Neugenerierung werden diese somit nicht überschrieben.

Die Compilierung der Integrationsschnittstelle kann entweder von dem hier vorgestellten System oder der eingesetzten Entwicklungsumgebung durchgeführt werden.

Ziel beim Einsatz des vorgestellten Systems ist es, die Anzahl der Anpassungen der generierten Integrationsschnittstellen möglichst gering, sowie den Umfang der Anpassung möglichst klein zu halten.

5.3 Architektur des Systems

Die in den Abschnitten 5.1 und 5.2 vorgestellten Modelle des Systems repräsentieren die Datensicht. Diese Modelle werden, wie in Abbildung 5.29 dargestellt im Gesamtsystem eingeordnet. Das System stellt die eigentliche Anwendung dar, um die Modelle erstellt, verwaltet und die Propagation ausgeführt werden kann.

Das System wird ergänzend in die existierende IT-Landschaft und zu den Anlagen in der Produktion integriert, vgl. dazu Abschnitt 2.4. Die vorhandenen IT-Systeme und Anlagen werden auf der linken Seite gezeigt. Die neuen Komponenten sind die Teile des entwickelten Systems. Dieser Abschnitt beschreibt die Integration des neuen Systems in die bestehende IT-Infrastruktur und wie die Komponenten im Einzelnen, sowie die Komposition der Dienste untereinander entwickelt wurden.

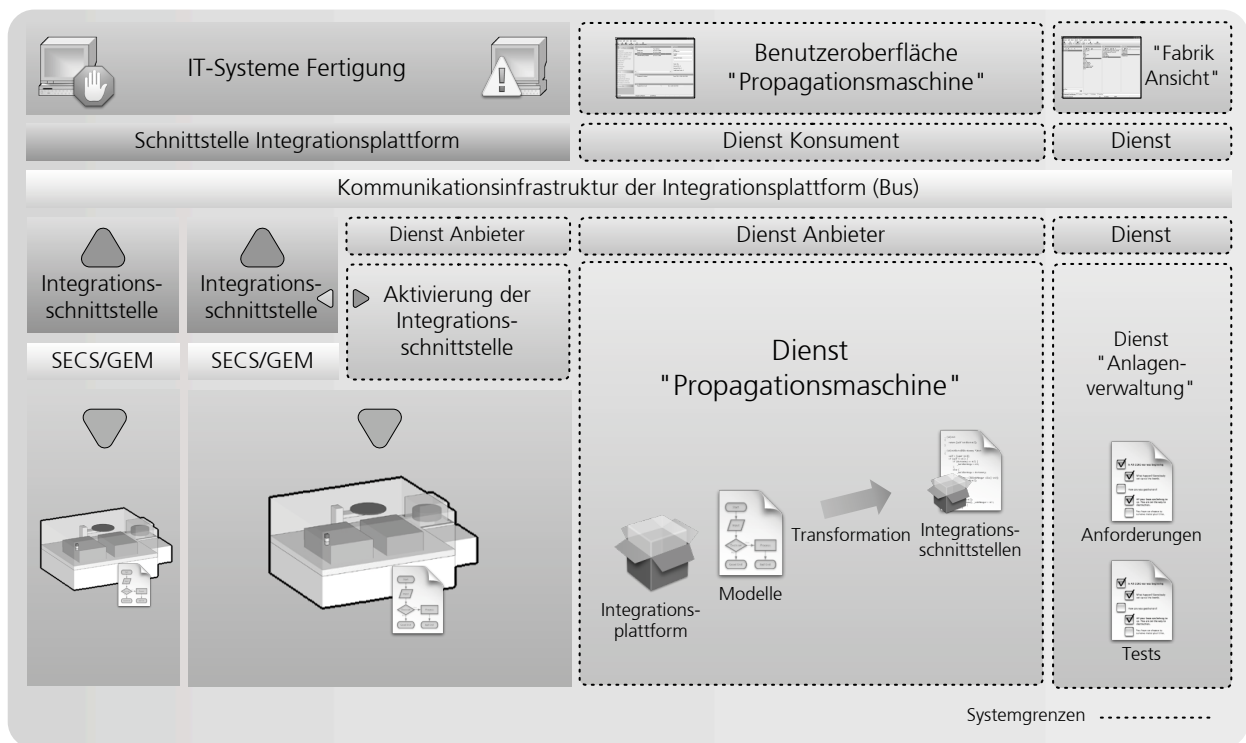


Abbildung 5.29: Architektur und Überblick des Systems

5.3.1 Dienstorientierte Architektur

Die grundlegenden Elemente und Strukturen der Architektur sind lose gekoppelte Dienste, die sich leicht miteinander kombinieren und wieder voneinander lösen lassen. Jeder Dienst ist ausschließlich für seine Daten verantwortlich und stellt seine Informationen mittels implementierten Funktionen über eine standardisierte Schnittstelle anderen Diensten zur Verfügung.

Diese Architektur wird als dienstorientierte oder serviceorientierte Architektur (SOA) bezeichnet [Leser07].

5.3.2 Entwicklung der Benutzeroberflächen

Auf das im Anwendungsserver entwickelte Dienste-Verzeichnis kann jeder autorisierte Konsument zugreifen. Für die Bedienung des Systems wird eine Benutzeroberfläche in Form einer Windows-Anwendung entwickelt, die mit dem Server über Web Services kommuniziert und die bereitgestellten Dienste konsumiert.

Zwei wesentliche Oberflächen sind zum einen die „Fabrik-Ansicht“ (Ansicht der Prozesse in der Fabrikplanung) und zum anderen die „Propagationsmaschine“. Die „Fabrik-Ansicht“ ermöglicht die Verwaltung der Anlagen und dazugehörigen Modelle, wie Anlagenstrukturmodell und Anlagenfunktionenmodell. Die Oberfläche der „Propagationsmaschine“ stellt die Funktionen für die Durchführung der Propagation zur Verfügung und verwaltet das Qualifizierungs-, das Transformationsmodell und das übergeordnete Propagationsmodell.

5.3.3 Verteilung der Dienste

Die entwickelten Anwendungen „Propagationsmaschine“ und „Anlagenverwaltung“ und deren Dienste können je nach Anforderung auf mehrere Knoten verteilt werden. Dadurch lassen sich die Anfragen der Konsumenten bei hoher Nachfrage verteilen. Durch den Einsatz des Anwendungsservers kann die Verteilung während der Laufzeit des Systems skaliert werden.

5.3.4 Freigabe und Verfolgung der Änderungen im System

Bei einem verteilten System muss der Zugriff auf die Daten der Dienste per Autorisierung erfolgen. Die Inhalte der Daten und Modelle werden mit einem konfigurierbaren Zugriffsmechanismus geregelt. Jeder Benutzer muss eine Rolle im System haben, die bestimmte Rechte für den Aufruf von Funktionen und Diensten hat. Änderungen müssen gegebenenfalls von Benutzern mit anderer oder gleicher Rolle freigegeben werden.

5.3.5 Versionierung der Änderungen im System

Sind Änderungen im System freigegeben, werden diese auf Datensatzebene protokolliert und können jederzeit untersucht werden. Für die Umsetzung dieses Konzepts wurde eine integrierte Versionierungskomponente entwickelt, welche automatisch, bei Änderungen in der Datenbank die vorherigen Versionen der Datensätze archiviert bzw. reaktivieren kann.

5.3.6 Anlagenverwaltung

Für die Aufbauplanung einer Fabrik hinsichtlich der Zusammenstellung der Anlagen und deren Einteilungen in verschiedene Bereiche wird die Anlagenverwaltung verwendet. Dieser Teil des Systems deckt die Geschäftsprozesse von der Produktionsplanung bis zur Erstellung des Anlagenfunktionenmodells und dessen Qualifizierung ab. Hier werden die Spezifikationen verwaltet und den Anlagentypen und Anlagen zugewiesen. Die Erfüllung der Anforderungen und die Verhandlungen mit Herstellern von Anlagen werden ebenfalls in der Anwendung verfolgt.

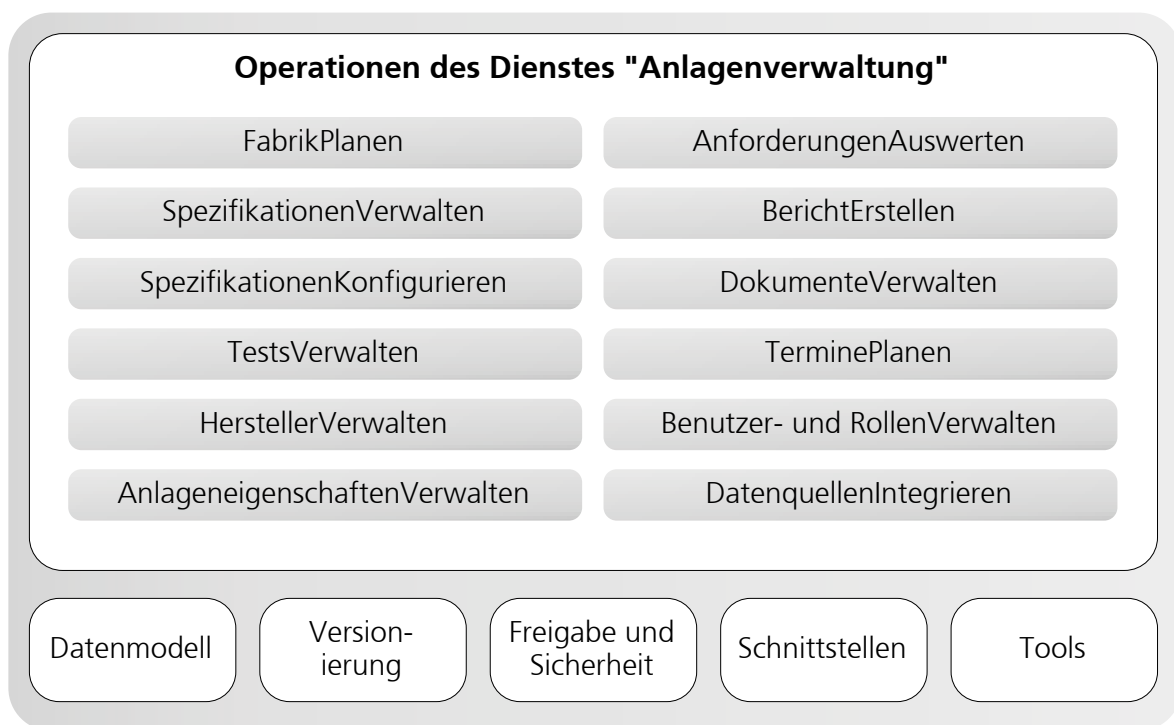


Abbildung 5.30: Auszug der bereitgestellten Operationen des Dienstes „Anlagenverwaltung“

Die wichtigsten Operationen des Dienstes sind in Abbildung 5.30 dargestellt. Querschnittsfunktionen wie Versionierung, Freigabe, Sicherheitskonzepte und Schnittstellen zu anderen Systemen sind Bestandteile der Anwendung.

5.3.7 Propagationsmaschine

Der Dienst der Propagationsmaschine führt die Transformation der Basismodelle in die Integrationsschnittstellen der Anlagen durch.

Der Dienst, wie in Abbildung 5.31 gezeigt, stellt durch die Operation „AnlagenModellHinzufügen“ die Funktion bereit, dass die Modelle aus der Anlagenverwaltung der Propagations-

maschine übergeben werden können. In diesem Teilsystem sind die für die Propagation relevanten Modelle, wie das Transformationsmodell und das Propagationsmodell definiert.

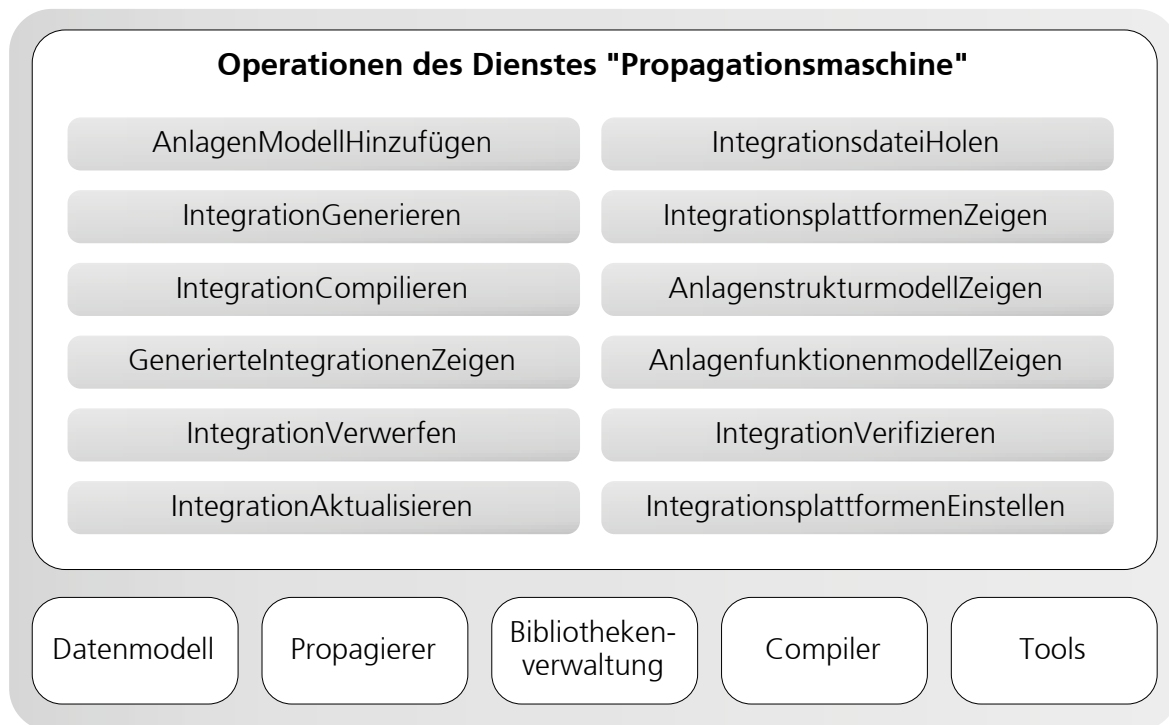


Abbildung 5.31: Auszug der bereitgestellten Operationen des Dienstes „Propagationsmaschine“

Die Integrationsplattformen, die in der Produktion verwendet werden, können hier konfiguriert werden. Der Propagierer und Compiler sind die Hauptkomponenten für die Durchführung der Transformation und der darauf basierenden Compilierung der Integrationschnittstellen durch das System.

5.4 Architekturmodell des Systems

Das Architekturmodell beschreibt die Informationen des Systems und deren Relationen zueinander. Das in Abbildung 5.32 dargestellte UML Klassendiagramm [Booch99, OMG06, Oesterreich04] zeigt basierend auf der Analyse des Geschäftsprozesses eine Übersicht der Informationen des gesamten Systems.

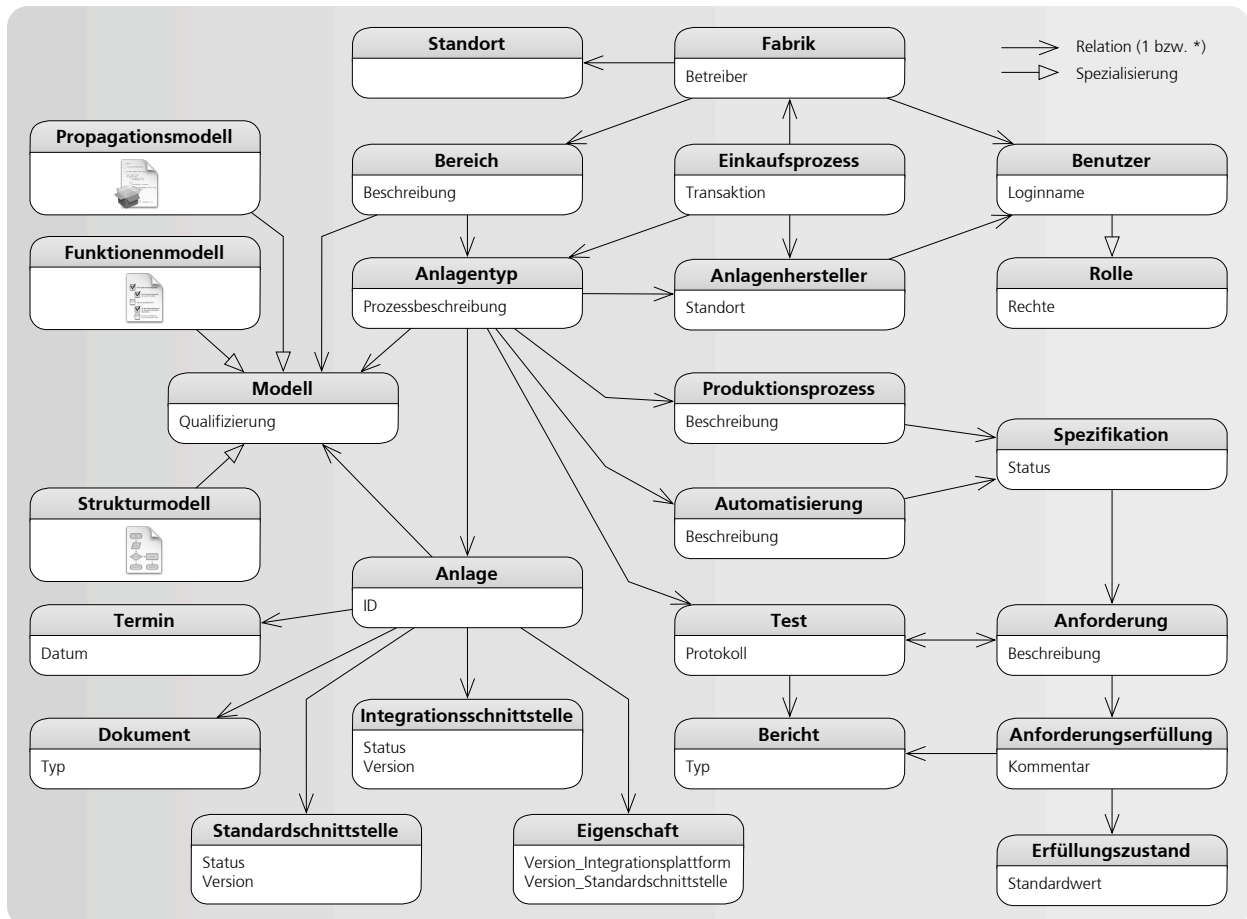


Abbildung 5.32: Überblick über das umspannende Datenmodell der Geschäftsprozesse „Vom Einkauf bis zur Integration“ dargestellt als UML Klassendiagramm

Aus den Informationen werden die im Diagramm dargestellten Entitäten ermittelt und diese in Verbindung gesetzt. Ein offener Pfeil stellt eine Relation und ein geschlossener Pfeil eine Spezialisierung bzw. Generalisierung dar. So sind beispielsweise Propagationsmodell, Funktionsmodell und Strukturmodell Spezialisierungen der generischen Entität Modell, die eine Qualifizierung beinhaltet. Durch die Vererbung mittels der Spezialisierung erhalten die anderen Modelle ebenfalls das Attribut „Qualifizierung“.

5.4.1 Einordnung der Anlagenmodelle in das System

Die einzelnen Modelle sind in den Abschnitten 5.1 und 5.2 detailliert spezifiziert worden. Das Diagramm in Abbildung 5.32 zeigt die Zuordnung der Modellentitäten in das Gesamtbild. Wie dort zu sehen ist, sind alle Modelle an einen Bereich, einen Anlagentyp oder eine Anlage geknüpft. Dadurch ist es im ersten Schritt möglich einem ganzen Bereich die Modelle zuzuordnen und je nach Spezialisierung mit den einzelnen Typen oder Anlagen weitere Anpassungen der Modelle zu verknüpfen.

5.5 Anwendungsfälle des Systems im Gesamtprozess

In Abbildung 5.33 ist der generelle Ablauf von der Produktionsplanung über den Einkauf und die Integration bis hin zur Produktion beim Aufbau neuer Produktionsstätten dargestellt. Die Produktionsplanung wird mit dem vorgestellten System bei der Spezifikation der Halbleiterfertigungsanlagen, insbesondere nach den Aspekten der Automatisierung, unterstützt.

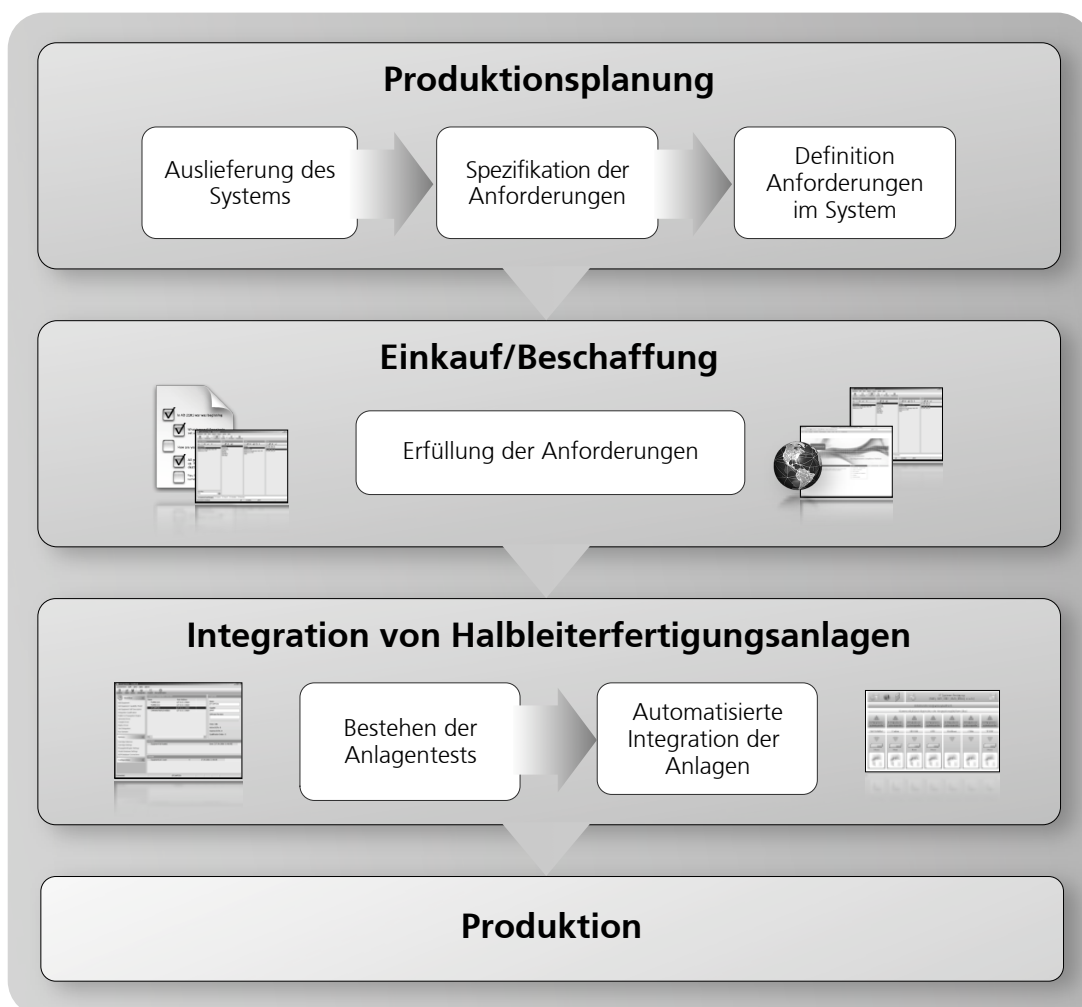


Abbildung 5.33: Anwendungsfälle des Systems im Gesamtprozess

Für eine durchgängige Unterstützung der einzelnen Geschäftsprozesse mit integriertem Informationsfluss durch das System, müssen die Dienste in der IT der Produktion im ersten Schritt angepasst und ausgeliefert werden. Sobald die Rollen und Benutzer dem Prozess angepasst worden sind, werden Mitarbeiter, je nach Anforderung, in der Benutzung des Systems geschult. Jeder Teilprozess hat eigene spezielle Rollen, an die das System anzupassen ist. Zu Beginn der Verhandlungen mit Anlagenherstellern können diese Benutzer nur die dafür relevanten Funktionen ausführen. Bei der Integration der Anlagen durch IT- und Prozessingenieurpersonal sind dann erweiterte Funktionen in der Benutzeroberfläche und den Diensten selbst, abhängig von der Rolle eines Benutzer, freigeschaltet.

Durch die flexible und modulare Architektur kann das System dynamisch an bestehende Geschäftsprozesse angepasst werden und schreibt somit keine streng zu befolgende Vorgehensweise vor.

5.5.1 Planen der Bereiche und Prozesstypen in einer Fabrik

Die Operation „FabrikPlanen“ ist zunächst für die Verwaltung einzelner Standorte und Fabriken zuständig. Entsprechend des in Abbildung 5.32 dargestellten Architekturmodells können die Fabriken im Detail mit Bereichen, Anlagentypen und schließlich mit den Anlagen selbst ausgestattet werden. Abhängig von der Produktionsplanung und den geplanten Prozesstypen können die Bereiche individuell konfiguriert werden. Die Bereiche werden entsprechend der Produktionsschritte benannt. Diese sind die in Abschnitt 2.4 dargestellten Schritte, die für die Herstellung eines Halbleiterchips notwendig sind. Jeder dieser Bereiche enthält die Typen von Anlagen der Hersteller, die den Prozess des Bereiches beherrschen.

Eine alternative Konfiguration ist die Verwendung der Produktebene. In der Produktebene definiert der Herstellungsprozess eines Produktes, jene Anlagentypen, die produktbezogen verwendet werden müssen. Da Anlagentypen grundsätzlich in mehreren Bereichen untergebracht werden können, ist es auch möglich sie in mehreren Produktspezifikationen zu referenzieren. In diesen Produktordnern befinden sich dann die Anlagentypen.

5.5.2 Spezifikationen, Anforderungen und Tests

Beginnend beim Einkauf und der Beschaffung der Halbleiterfertigungsanlagen werden eine Reihe von Spezifikationen erstellt, die den Anlagentypen zugeordnet werden. Die Spezifikationen sind im Allgemeinen aus den folgenden Bereichen zusammengestellt:

- Abnahme der Anlagen und von weiteren Leistungen

- Anforderungen an die Reinheitsbedingungen in der Anlage
- Automatisierung der Anlage
- Dokumentation und generelle Bestimmungen
- Gebäudeverwaltung
- Ge- und Verbrauchsmaterialienverwaltung
- Hardwareaufbau der Anlagen
- Investitionskosten
- Logistik
- Qualitätswesen
- Sicherheitsbestimmungen und Regularien
- Support

Das in dieser Arbeit vorgestellte System ist in der Lage, all diese Spezifikationen oder Lastenhefte in den Anforderungen abzubilden. Für die Definition der Basismodelle sind jedoch die Anforderungen an die Automatisierung ausschlaggebend. Die Anforderungen aus der Automatisierung können durch Testpläne automatisiert verifiziert werden und bilden die Informationsquelle für das Anlagenfunktionenmodell. Alle weiteren Anforderungen werden von den Anlagenhersteller durch den Erfüllungszustand erfasst. Diese Daten bilden die Grundlage für den Einkauf und die Beschaffung der Anlagen.

Die Spezifikationen, die in Form von Lastenheften und während der Verhandlungen in Form von Pflichtenheften verwaltet werden, müssen mit der Benutzeroberfläche der Anlagenverwaltung erstellt und verwaltet werden. Die Anforderungen der Spezifikationen werden durch verknüpfte Testpläne überprüft. Die Verwaltung der Testpläne und die Zuordnung der einzelnen Testfälle zu den Anforderungen erfolgt über die Operation „SpezifikationVerwalten“. Die Spezifikationen können den Anlagentypen über die Operation „SpezifikationKonfigurieren“ zugeordnet werden.

5.5.3 Einkaufsprozesse und Transaktionen

Ein Einkaufsprozess findet zwischen einem Anlagenhersteller und dem Betreiber der Fabrik statt. Diesem Prozess ist zunächst, während den Verhandlungen, der Anlagentyp zugeordnet und später, nach Abnahme der Pflichtenhefte, die Anlagen des entsprechenden verhandelten Typs. Das System verwaltet diese Einkaufsprozesse in Transaktionen, in denen der Anlagenhersteller die den Anlagentypen zugeordneten Spezifikationen erfüllen muss.

Für die Durchführung der Transaktionen wird der Anlagenhersteller auch Benutzer des Systems. Seine Rolle erlaubt ihm ausschließlich die Nutzung des Portalbetriebs im Internet.

5.5.4 Verfolgung der Erfüllung von Spezifikationen und Verhandlungen

Zur Erfüllung einer Anforderung der Spezifikation gehört mindestens ein bestandener Testfall eines Testplans.

Die Pflichtenhefte und deren Änderungshistorie werden innerhalb der Anwendung verfolgt. Mit den Anlagenherstellern finden mehrere Besprechungen innerhalb des Verhandlungsprozesses statt, in der sich der Erfüllungszustand und der damit verbundene Automatisierungsgrad eines Anlagentyps durch die Klärung und detaillierte Beschreibung von spezifizierten Funktionen im Lastenheft verändert. Die Informationen über die Erfüllung von Anforderungen sowie Terminabsprachen erfasst der Anlagenhersteller durch den Zugang direkt über das Portal im Internet.

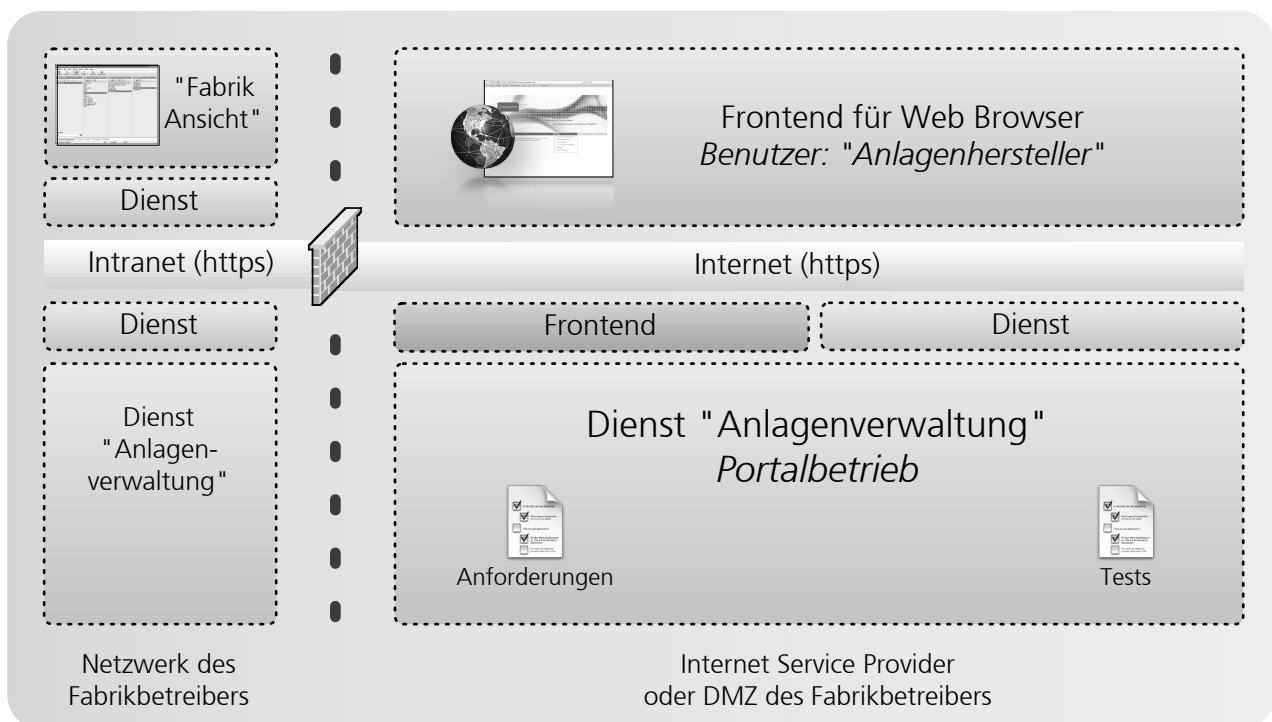


Abbildung 5.34: Synchronisation der Lasten- und Pflichtenhefte über Portalbetrieb im Internet

Über den in Abbildung 5.34 dargestellten Portalbetrieb kann der Fabrikbetreiber die Informationen mit dem lokalen System in der Fabrik synchronisieren und weiterverarbeiten. Aus Sicherheitsgründen sind die Datenbanken des Portals mit Zugang für die Anlagenhersteller und die Datenbanken beim Betreiber voneinander getrennt und können nur über dedizierte Dienste aktiv synchronisiert werden.

5.5.5 Verwaltung und Integration von Testergebnissen

Durch die Ausführung der Testpläne werden Testergebnisse in Form von Testprotokollen erstellt. Diese Testpläne können manuelle und automatisierte Schritte beinhalten, die von externen Test-Programmen [STG05] durchgeführt werden. Die Testpläne beziehen sich in erster Linie auf die Standardschnittstelle nach den SEMI-Standards E4, E5, E30, E37, E40, E84, E87, E90, E94 der Anlagen [Georgi04, Georgi06].

5.5.6 Definition der Modelle im System

Die Operation „AnlagenModellHinzufügen“ hat als Eingabe das Anlagenstrukturmodell und das Anlagenfunktionenmodell für eine ausgewählte Anlage oder ihren Typ. Die Basismodelle sind in diesem Fall bereits durch die Anlagenverwaltung und das dortige Qualifizierungsmodell verifiziert worden um einen ausreichend großen Automatisierungsgrad erreichen zu können.

5.5.7 Auswahl und Konfiguration der Integrationsplattform

Sind im Propagationsmodell mehrere Integrationsplattformen bereitgestellt, so kann mit dem Dienst die gewünschte Plattform aktiviert und konfiguriert werden. Ein wesentlicher Teil der Konfiguration ist die Verwaltung der Version der Plattform. Je nach Version sind verschiedene Funktionen und Parametereinstellungen möglich.

5.5.8 Generierung der Integrationsschnittstelle

Der Propagierer beginnt die Transformation an dem im Transformationsmodell definierten Einstiegspunkt (siehe auch Abbildung 5.21).

Abhängig von der ausgewählten Integrationsplattform und den Basismodellen wird die Transformation durch einen Transformationsaufruf ausgeführt. Das Ergebnis ist im ersten Schritt ein Dokument, welches die generierte Integrationsschnittstelle enthält. Für die Compilierung des Dokumentes wird der compilierfähige Quellcode extrahiert und dem Compiler [Hubert01] übergeben.

5.5.9 Integration im Softwareentwicklungsprozess

Erst bei einer fehlerfreien Ausführung ist die generierte Integrationsschnittstelle in einem geeigneten Zustand, so dass sie an die Anlage ausgeliefert und dort installiert werden kann. Vor der Auslieferung und Installation auf einer Anlage, wird die Schnittstelle mit ihren Funktionen in einer Testumgebung instanziiert und die Basisfunktionalität, welche durch die Propagation erzeugt wurde getestet.

Die Verwendung des hier beschriebenen Systems, sowie die damit verbundene Vorgehensweise muss in die bestehende Infrastruktur der IT-Entwicklungsabteilung und bereits bestehende Prozesse integriert werden. Softwareentwickler müssen in die Verwendung des Systems eingeführt werden und Rollen innerhalb eines Projektes müssen definiert werden.

Bereits in der frühen Phase der Entwicklung der Basismodelle müssen Prozess-Ingenieure, die über detailliertes Fachwissen bezüglich der Prozesse der Anlagen verfügen, eingebunden werden. Die Modelle müssen, wenn möglich von IT- und Prozesspersonal gemeinsam entwickelt werden um frühzeitig Schwachstellen identifizieren zu können.

Testen der Integrationsschnittstelle

Die hohe Geschwindigkeit und der geringe Aufwand bei der eigentlichen Generierung hilft, die Schnittstellen für eine große Anzahl von Anlagen automatisiert und modellbasiert zu entwickeln. In einer 300-mm-Halbleiterfabrik werden rund 600 Halbleiterfertigungsanlagen in sehr kurzer Zeit integriert.

Die Auswirkungen bereits kleiner Fehler in den Basismodellen sowie den Qualifizierungsmodellen und dem Transformationsmodell können sich problematisch auf den Betrieb der Anlagen auswirken. Aus diesem Grund muss sichergestellt werden, dass die geforderte Qualität und Funktionalität in den Diensten tatsächlich vorhanden ist.

Je nach angewandtem Softwareentwicklungsprozess müssen die generierten Ergebnisse nach den Regeln der Qualitätssicherung getestet werden [Kumar99]. Dazu werden Tests auf verschiedenen Ebenen durchgeführt:

- Einzelne Funktionen und Dienste werden durch Unit-Tests durchgeführt. Diese Tests machen grundsätzliche Probleme auf unterster Ebene der Module sichtbar.
- Um das Zusammenarbeiten der einzelnen Dienste untereinander zu testen, werden Integrations-Tests durchgeführt.
- Um die Integrationsschnittstelle vollständig zu testen, werden Systemtests durchgeführt. Dies beinhaltet Belastungstests und Langzeittests des gesamten Systems.
- Durch den Installations- bzw. Auslieferungstest wird sichergestellt, dass sich die Integrationsschnittstelle fehlerfrei auf der Anlage einrichten lässt. Die Auslieferung kann entweder manuell oder vom System selbst über die Aktualisierungsschnittstelle der Anlage automatisiert erfolgen.

Sind diese Ebenen des Testplans erfolgreich durchlaufen worden, kann die Integrationschnittstelle auf der Anlage für den produktiven Betrieb aktiviert werden. Bei der Aktualisierung der Schnittstelle muss dieser Plan erneut erfolgreich durchlaufen werden.

Bei der Durchführung der einzelnen Tests sind die von den Integrationsschnittstellen verwendeten persistenten Datenspeicher (Datenbanken) stets in identische Ausgangssituationen zu bringen.

Dies kann über die automatisierte Leerung und Befüllung von Datenbanken mit Testdaten erfolgen.

Vorgehensweise bei der Entwicklung von Transformationsmodellen

Für die Entwicklung der Transformationsmodelle ist nach der hier beschriebenen Vorgehensweise vorzugehen [Herring03], um sicherzustellen, dass alle relevanten Aspekte berücksichtigt worden sind:

- Erstellen von Beispielergebnissen (Beispielquellcode und Klassen), die durch die Transformation generiert werden sollen. Dadurch wird während der Entwicklung klar, was als Ergebnis zu erwarten ist und in welcher Form die Eingangsinformationen gestaltet sein müssen.
- Durch die Entwicklung des Designs der Transformation soll vor der eigentlichen Entwicklung das Konzept erstellt werden. Teil des Konzeptes ist die Definition, welche Quellcodebausteine, variabler oder unveränderlicher, notwendig sind. Die Definition der Abhängigkeiten der Bausteine wird durch die Transformationsreferenzen abgebildet.
- Der nächste Schritt ist die Definition der Eingangsgrößen aus den Basismodellen. Zu definieren ist, welche Informationen in welchen Formaten in die Transformationen zu übernehmen sind. Die Basismodelle sind gegebenenfalls um bestimmte, notwendige Informationen zu erweitern, wobei diese Änderungen entsprechend in den Qualifizierungsmodellen mitzuführen sind.
- Nachdem im Design die benötigten Bausteine und Transformationsreferenzen identifiziert wurden, können diese jetzt entwickelt werden. Je nach Erfahrungsstand der Entwickler kann entweder Top-Down von der Einstiegsreferenz zu den Bausteinen oder umgekehrt vorgegangen werden. Einzelne Dienste sind durch die Einteilung in Pakete klar von einander zu trennen.

- Im letzten Schritt werden die entwickelten Bausteine und Transformationsreferenzen im Transformationsmodell integriert und einem Propagationsmodell hinzugefügt. Nach der Aktivierung des neuen Transformationsmodells können nun die ersten Ausgaben generiert und getestet werden.

Die Erstellung von Beispielquellcode und Klassen im ersten Schritt ist die erste zur Verfügung stehende Instanz der Integrationsschnittstelle. Diese Instanz muss in sich fehlerfrei und gut strukturiert aufgebaut sein, denn die dort definierte Struktur wird später auf die Anzahl der Halbleiterfertigungsanlagen bei der Generierung multipliziert. Aus diesen Gründen ist eine intensive Testphase dieser Klassenreferenz notwendig.

Wie in Abbildung 5.26 dargestellt, können in einem Propagationsmodell mehrere Transformationsmodelle nebeneinander existieren. Dadurch kann ein neu entwickeltes, verbessertes oder einer neuen Integrationsplattform angepasstes Transformationsmodell bei der Generierung auf die bestehenden Basismodelle zugreifen.

5.5.10 Verifizierung der Integration nach Vollständigkeit

Die in Abschnitt 5.2.2 beschriebene Berechnung der Vollständigkeit der Propagation kann durch das System ausgeführt werden. Die während einer Propagation erzeugten Protokollinformationen werden ausgewertet und zusammengefasst. Entsprechend der Formel 5.11 werden die Kennzahlen der Transformationen berechnet und als Status angezeigt. Nach der Verifizierung der generierten Integrationsschnittstelle kann diese, wie im folgenden Abschnitt beschrieben, an die Anlage ausgeliefert und installiert werden.

5.5.11 Aktivierung der Integrationsschnittstelle auf der Anlage

Die Integrationsschnittstelle kann manuell für die Anlage installiert werden. Die Integrationschnittstellen werden auf weiteren zur Anlage externen Systemen (im folgenden Integrationsserver genannt) installiert, wobei auf einem dieser Systeme mindestens eine Integrationschnittstelle ausgeführt wird.

Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten System wird, wie in Abbildung 5.35 dargestellt, der Integrationsserver mit einem Dienst für die Installation und die Aktualisierung der einzelnen Integrationschnittstellen der Anlagen ausgestattet. Durch diesen Dienst können einzelne Integrationschnittstellen aktiviert, deaktiviert und überwacht werden. Beim Ausfall oder bei auftretenden Ausnahmen der Integrationschnittstelle kann der überwachende Dienst reagieren und für die ununterbrochene Bereitstellung der Schnittstellen sorgen.

Die Integrationsschnittstelle an sich ist mindestens eine binäre, ausführbare Klassendatei, die von der Propagationsmaschine an die Standardschnittstelle für die Aktivierung der jeweiligen Integrationsschnittstellen übertragen wird. Der auf dem Integrationsserver laufende Anwendungsserver kann diese Klassen zur Laufzeit kontrolliert laden und aktualisieren.

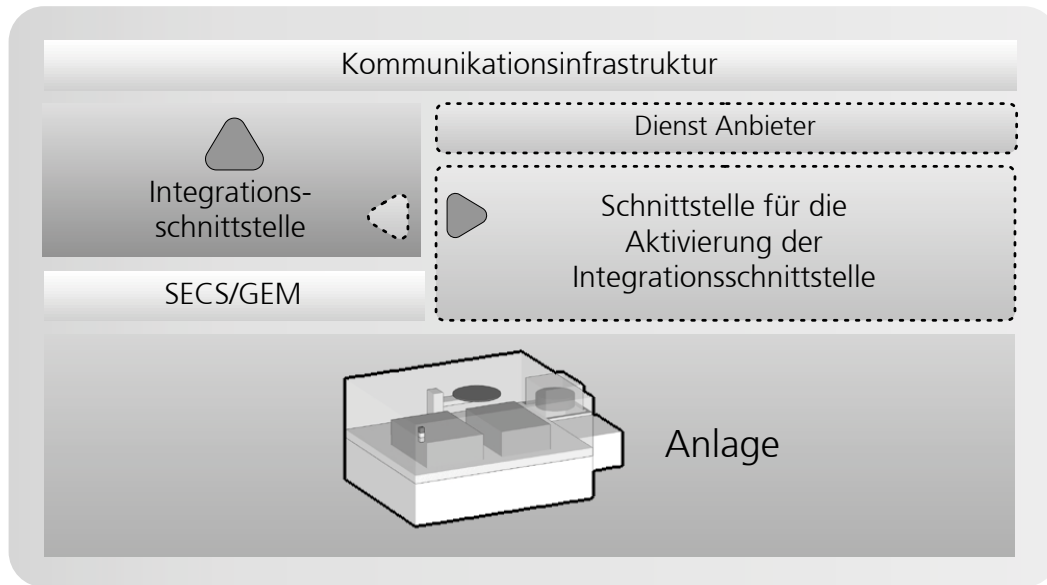


Abbildung 5.35: Schnittstelle für die Aktivierung der Integrationsschnittstellen auf dem Integrationsserver

Nachdem die Klassen einer Integrationsschnittstelle vom Server geladen und aktiviert worden sind, stehen die Dienste der Integrationsschnittstelle für die Anlage bereit und können von anderen IT-Systemen in der Produktion, wie z.B. Fertigungssteuerung, konsumiert werden.

5.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein System für die modellbasierte Integration entwickelt, welches die Anforderungen aus Abschnitt 3.3 erfüllt. Für die Strukturierung der Informationen, die in den Geschäftsprozessen vom Einkauf bis einschließlich der Integration der Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion relevant sind, wurden verschiedene Modelle entwickelt. Eine Anlage wird durch die beschriebenen Modelle abgebildet. Für die Integration einer Anlage in die Produktion werden, basierend auf dem Anlagenstrukturmodell und dem Anlagenfunktionenmodell, durch das Propagationsmodell die Informationen, die in den Modellen aufbereitet sind, in ein zur Anlage hin ausführbares Programm transformiert. Dieses Programm realisiert die Integrationsschnittstelle, welche die Funktionen der Anlage in einem standardisierten Format der IT-Landschaft der Produktion zur Verfügung stellt. Vor der Propagation der Informationen werden Zusammenhänge und Vollständigkeit verifiziert.

Für die Durchführung der Realisierung des Systems wird die zu den Modellen korrespondierende Architektur des Systems und dessen Komponenten vorgestellt. Das Architekturmodell des Systems stellt die Zusammenhänge der einzelnen Entitäten dar. Auf den Modellen und der Architektur aufbauend wird gezeigt, wie eine zu realisierende Anwendung innerhalb der einzelnen Geschäftsprozesse unterstützend eingesetzt werden kann. Das entwickelte System zeigt die Integration der einzelnen Schritte, um einen durchgängigen Informationsfluss über die Geschäftsprozesse hinweg erreichen zu können.

6 Realisierung des Systems für die modellbasierte Integration

Im folgenden Kapitel wird die Realisierung der in Kapitel 5 zuvor gezeigten Entwicklung vorgestellt. Diese basiert auf der Konzeption eines Systems für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung.

Der in Abschnitt 5.3 geforderte Aufbau im Sinne einer dienstorientierten, verteilten und gekapselten Architektur wurde unter Verwendung eines Anwendungsservers mit der Anbindung an eine relationale Datenbank realisiert.

Anwendungsserver und Benutzeroberflächen

Die Entwicklung des Systems wurde auf dem J2EE („Java 2 Enterprise Edition“) [Sun06] kompatiblen Anwendungsserver „WebObjects“ in der Version 5.3.1 [WebObj06] aufgebaut, welcher als integrierte Komponente eine flexible und umfangreiche Abstraktionsschicht („Enterprise Objects Framework“) [WebObj06] durch objektrelationales Mapping für den Zugriff auf persistente Daten in der Datenbank liefert. Der Anwendungsserver stellt die spezifizierten Dienste in Form von Web Services zur Verfügung. Der Zugriff auf die Dienste erfolgt im Fall der „Anlagenverwaltung“ und der „Propagationsmaschine“ über eine native Windows Anwendung, deren Oberflächen im Folgenden erklärt werden.

Der Portalbetrieb der „Anlagenverwaltung“ dient der Kommunikation mit Anlagenherstellern und wurde ebenfalls in der „WebObjects“ Umgebung als Web Oberfläche realisiert.

Sicherheit des Systems

Da es sich bei den im System befindlichen Informationen um vertrauliche Daten handelt und sichergestellt werden muss, dass das Rollen- und Rechtekonzept nach dem aktuellen Stand der Technik implementiert wird, werden alle Daten während der Kommunikation verschlüsselt. Die Verschlüsselung regelt nach passender Konfiguration der Anwendungsserver mittels der SSL Technologie.

Versionierung von Informationen

Um den Anforderungen der Rückverfolgbarkeit zu entsprechen, sind alle Datensätze nach ihrer Änderung durch das System zu archivieren. Durch die Datensatz basierte Archivierung ist es möglich alle Änderungen zu verfolgen, ihren Ursprung festzustellen und gegebenenfalls archivierte Versionen zu reaktivieren.

Die Versionierung spielt bei der Verfolgung der Erfüllung der Anforderungen durch die Anlagenhersteller und der Testergebnisse eine zentrale Rolle, um den zeitlichen Verlauf des Automatisierungsgrades der Anlagen darstellen und überwachen zu können.

6.1 Anlagenverwaltung

Die Fabrik-Ansicht ist die Benutzeroberfläche für die Verwendung des Dienstes Anlagenverwaltung. und besteht im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:

- Anlagenverwaltung (engl. „EquipmentTypeManager“) und Explorer, wie in Abbildung 6.1 gezeigt
- Eigenschaften der Anlagentypen und Anlagen, wie in Abbildung 6.2 gezeigt
- Verwaltung der Spezifikationen und Benutzerrechten

Die Komponenten sind, wie in Abbildung 6.1 dargestellt, durch die Implementierung der gezeigten Anwendung realisiert worden:

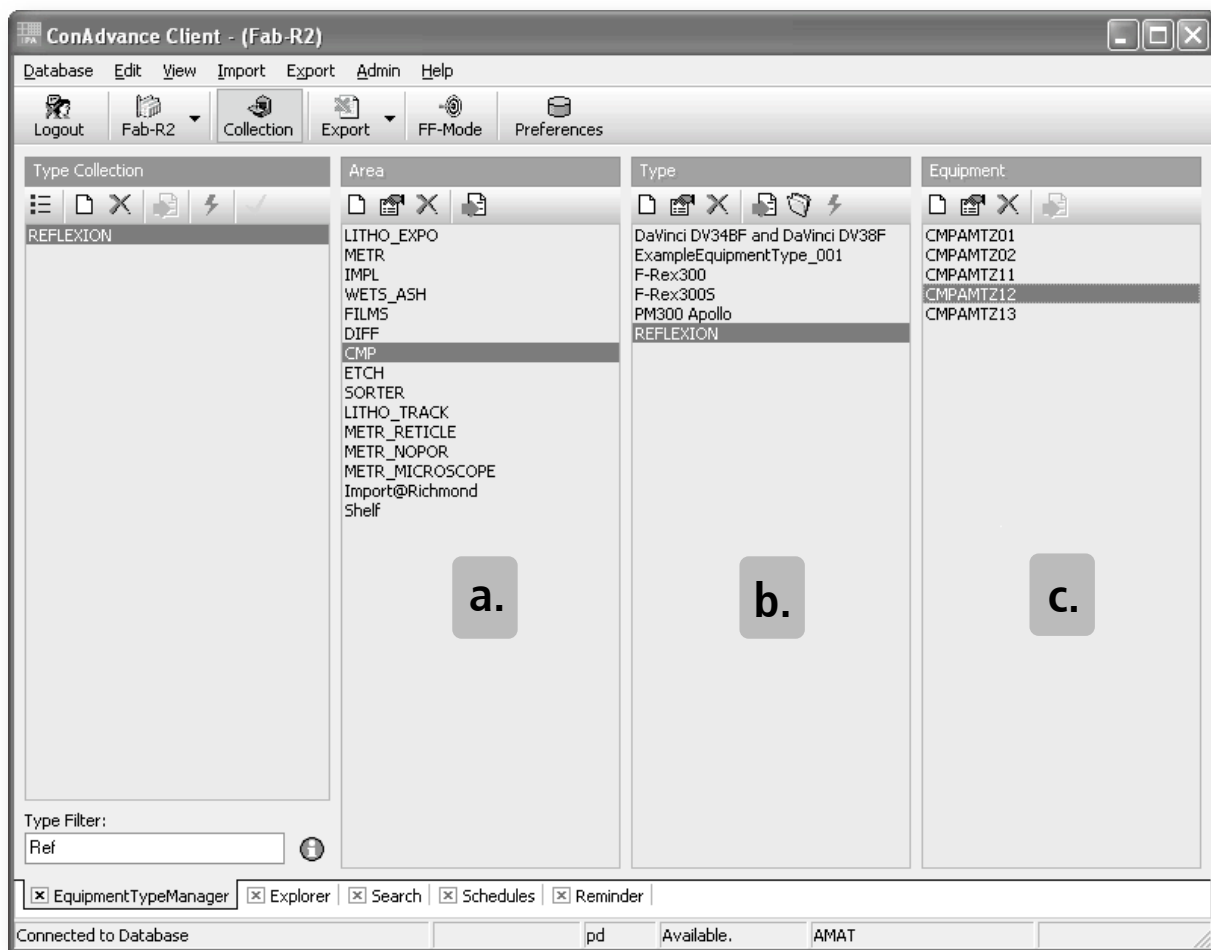


Abbildung 6.1: Konsumieren der Anlagenverwaltung mit der „Fabrik-Ansicht“

Die Komponenten Anlagenverwaltung und Explorer ermöglichen das Hinzufügen, Ändern, Verschieben und Löschen der Bereiche (Abbildung 6.1 – Ausschnitt a.), Anlagentypen (Abbildung 6.1 – Ausschnitt b.) und Anlagen (Abbildung 6.1 – Ausschnitt c.). Ein Anlagentyp kann in mehreren Bereichen referenziert werden. Bei selektierten Einträgen in den Spalten kann in den Funktionsleisten (siehe „Type Collection“, „Area“, „Type“ und „Equipment“ in Abbildung 6.1) die entsprechende Funktion ausgelöst werden. Je nach Entität stehen zusätzliche spezielle Funktionen zur Verfügung. Bei einem ausgewählten Anlagentyp (siehe „Type“ in Abbildung 6.1 – Ausschnitt b.) kann bei Auswahl der Akte in der Funktionsleiste eine Liste verfügbarer, innerhalb des Systems freigegebener Spezifikationen angezeigt und dem Anlagentyp zugewiesen werden.

Wie in Abbildung 6.2 dargestellt, werden bei der Auswahl eines Anlagentyps oder einer Anlage weitere Dialogfenster geöffnet, mit denen die Eigenschaften konfiguriert werden können. Die dem Anlagentyp zugewiesenen Spezifikationen werden ebenfalls angezeigt, weiterhin können die Erfüllung der Anforderungen hier modifiziert (Abbildung 6.2 – Ausschnitt a.) werden. Die Verifizierung der Erfüllung und die Ermittlung des Automatisierungsgrades kann in Abhängigkeit der Versionierung der Informationen ausgeführt werden (Abbildung 6.2 – Ausschnitt b.).

The screenshot displays a software interface for managing requirements and test results. It is divided into three main sections labeled a, b, and c.

Section a: Shows a requirement entry with a compliance status. The requirement is: "5.1.1.1.1.1 The equipment will perform Host Initialization as illustrated." The compliance status is "Comply".

Section b: Shows a summary table for automation scale percentages. The overall index is 69%. The table lists various requirements and their corresponding scale percentages.

	Must Have	Nice to Have	Scale %
2. General Supplier Requirements	X		86
3.1. Relevant Hardware Standards and Guidelines	O		48
3.2. Additional Infineon Hardware Features and Exp	O		49
4.1. Relevant Software Standards and Guidelines	X		84
4.2. Additional Infineon Software Features and Exp	X		98
4.3. Advanced Process Control	O		55
4.4. SEMI E116 EPT Requirements	-		20
5.1. Host Initialization	X		100
	X		84

Section c: Shows a table of test results for various requirements. The table includes columns for requirement ID, status, and timestamp.

Requirement ID	Status	Timestamp
/TG-5715/TC-5716	Pass	2004-06-23 13:13:30
/TG-5715/TC-5722	Pass	2004-06-23 13:13:47
/TG-5715/TC-5726	Pass	2004-06-23 13:14:10
/TG-5727/TC-5728	Pass	2004-06-23 13:03:18
/TG-5727/TC-5729	Pass	2004-06-23 13:03:33
/TG-5727/TC-5730	Pass	2004-06-23 13:03:48
/TG-5727/TC-5731	Pass	2004-06-23 13:04:03
/TG-5727/TC-5732	Fail	2004-06-23 13:06:52
/TG-47043/TC-5719		2004-06-23 13:12:45
/TG-47043/TC-5720		
/TG-47043/TC-5721		
/TG-47043/TC-5723	Fail	2004-06-23 13:14:57
/TG-47043/TC-5733		2004-06-23 13:15:02
/TG-5734/TC-5736		
/TG-5734/TC-5737		

Abbildung 6.2: Erfassung der Erfüllung von Anforderungen (a.), der Testergebnisse (c.) und Berechnung von Kennzahlen für den Automatisierungsgrad (b.)

Für die Verifizierung der Erfüllungsgrade der Anforderungen werden die Testpläne und, wie in Abbildung 6.2 – Ausschnitt c. zu sehen ist, die Testprotokolle verwaltet. Ein nicht beständenes Testergebnis in einem Testprotokoll (Abbildung 6.2 – Ausschnitt c.) kann zu den verknüpften Anforderungen (Abbildung 6.2 – Ausschnitt a.) zurückverfolgt werden.

Die Qualifizierungsmodelle sind ebenfalls in Abhängigkeit von Bereich, Anlagentyp oder Anlage konfigurierbar über diese Komponente des Systems zu verwalten. Abbildung 6.2 zeigt unterhalb der Kennzahl für den Automatisierungsgrad (Abbildung 6.2 – Ausschnitt b.) Teilbereiche des Qualifizierungsmodells und deren dazugehörige berechnete Kennzahlen.

Die integrierte Terminplanung verwaltet zu den Anlagentypen und Anlagen basierend eines konfigurierbaren Standardablaufs eine Terminreihenfolge, die überwacht wird. Termine sind vom Typ „Besprechung mit Hersteller“, „Anlagentest“, „Abnahme“, „Einkauf“, „Lieferung“ u.v.m.

6.2 Propagationsmaschine

Mit Hilfe der Benutzeroberfläche zum Dienst der Propagationsmaschine werden die Basismodelle geladen, und nach der Qualifizierung wird die Generierung der Integrationsschnittstelle durchgeführt. Ist eine Integrationsschnittstelle generiert worden, kann die Binärdatei mit den Klassen an den Integrationsserver übertragen werden. Nach der Aktivierung der Schnittstelle können verschiedene Testszenarien durchgeführt werden.

6.2.1 Integration einer Anlage

Die Integration einer Halbleiterfertigungsanlage wird mit der Anwendung gemäß dem in Abbildung 6.3 – Ausschnitt a. dargestellten Ablauf durchgeführt.

Im ersten Schritt können eine bestimmte Anlage aus der Anlagenverwaltung ausgewählt und deren Basismodelle geladen werden. Darauf aufbauend wird die Qualifizierung der Integration ausgeführt und zugleich die Transformation im Testmodus gestartet. Nach einer erfolgreichen Qualifizierung wird der Propagationsmaschine mitgeteilt, dass die ausgewählte Anlage für die Generierung ihrer Integrationsschnittstelle bereit ist. Nach der Transformation durch das Propagationsmodell ist die Schnittstelle generiert und kann nach der Compilierung auf den Integrationsserver übertragen und getestet werden. Der Bereich, der in Abbildung 6.3 mit „c“ markiert ist, zeigt die Anlagen, für die der Integrationsablauf bereits konfiguriert oder durchgeführt wurde.

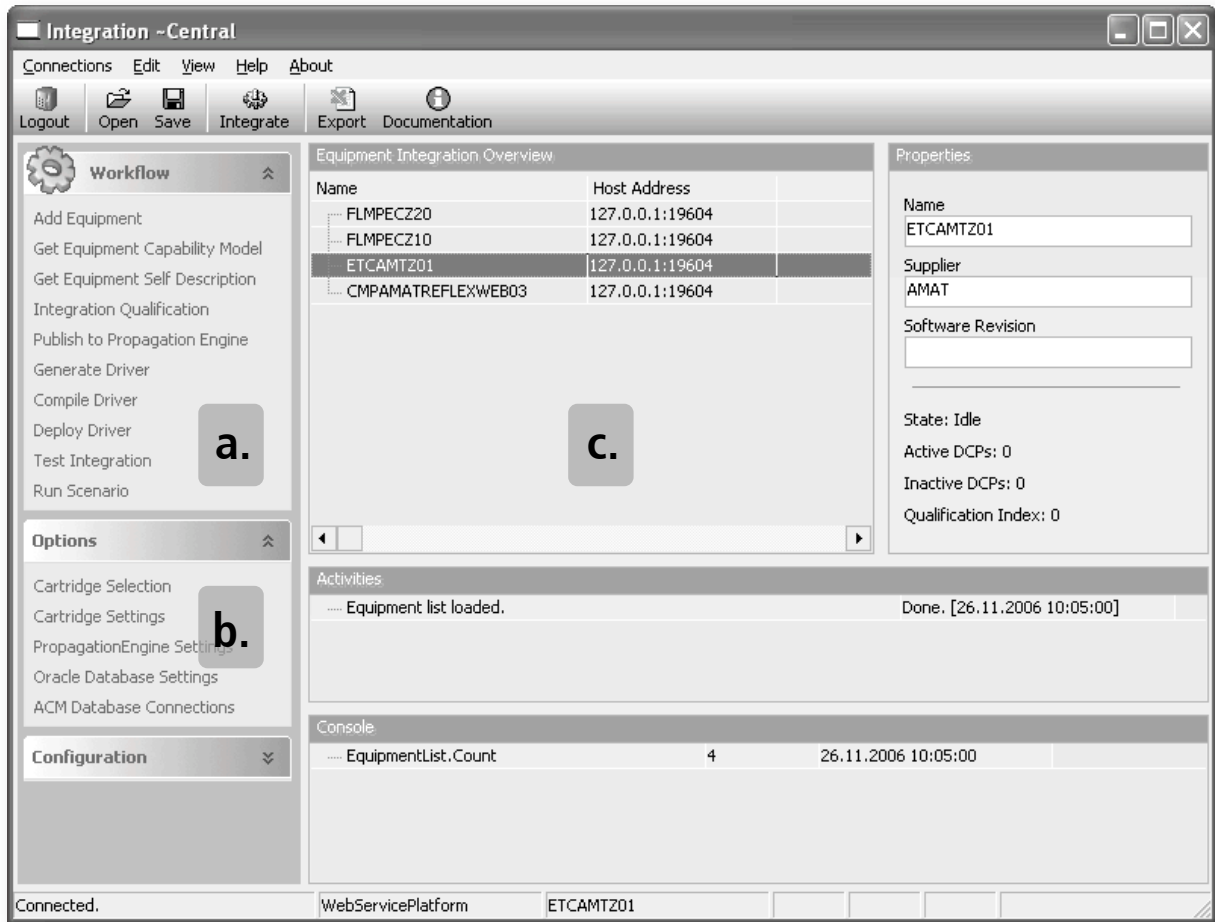


Abbildung 6.3: Anlagenintegration

Vor der Durchführung einer Propagation muss aus dem Propagationsmodell eine Integrationsplattform ausgewählt und auf dem Server aktiviert werden. In Abbildung 6.3 – Ausschnitt b. kann die Integrationsplattform ausgewählt und konfiguriert werden.

Basismodelle

Abbildung 6.4 zeigt das aus der Erfüllung der Anforderungen und den Testergebnissen generierte Anlagenfunktionenmodell.

Da die Basismodelle für die Weiterverarbeitung in der Propagationsmaschine im XML Schema entsprechendem XML Dokument gehalten werden, können sie mit den XSLT Anweisungen des Transformationsmodells transformiert werden.

Zur Überprüfung wird das XML Dokument, wie in Abbildung 6.4 dargestellt, als Baum in der Benutzeroberfläche angezeigt. In gleicher Art und Weise wird vor der Propagation das Anlagenstrukturmodell angezeigt.

Node	ID	Key	Value	Description
ETCAMT201 [Host Address: 127.0.0.1:19604]				
Capabilities				
Item		1.0	True	
RequirementSetCompliance				
RequirementCompliance	RC000001			
Requirement	RD000001			StartProcess
Compliance				
Comply				
Comment				
Some Clarification.				
RequirementCompliance	RC000002			
Requirement	RD000001			StopProcess
Compliance				
Comply				
Comment				
Some Clarification.				
RequirementCompliance	RC000005			
Requirement	RD000005			getAlarmEventReports
Compliance				
Comply				
Comment				
Some Clarification.				
RequirementCompliance	RC000006			
Requirement	RD000006			getTraceData
Compliance				
Comply				
Comment				
Some Clarification.				
RequirementCompliance	RC000003			
Requirement	RD000001			

Abbildung 6.4: Anlagenfunktionenmodell in der Benutzeroberfläche

6.2.2 Generierung der Integrationsschnittstelle

Sind alle Modelle einer Anlage geladen, so kann die Generierung der Schnittstelle gestartet werden. Abbildung 6.5 – Ausschnitt a. zeigt das Ergebnis der Generierung als XML Dokument in dem der generierte Quellcode der Integrationsschnittstelle in mehreren Abschnitten eingebettet ist.

Transformation

Die Transformation durch XSLT wird auf der Benutzeroberfläche über den Dienst der Propagationsmaschine ausgeführt. Die Operation „IntegrationGenerieren“ des Dienstes, wie in Abschnitt 5.3.7 beschrieben, definiert die Basismodelle intern als Eingabe. Das Transformationsmodell bestehend aus den XSLT Anweisungen wird als weitere Eingabe für die Propagation definiert. Die Integrationsplattform ist ebenfalls durch das Transformationsmodell definiert.

Abbildung 6.5 zeigt die Umsetzung eines Quellcodebausteins mittels XSLT. XSLT liefert per Definition Anweisungen und Befehle für Kontrollstrukturen und Schleifenkonstrukte, die hier eingesetzt werden. Variablen werden in Form von `<xsl:copy-of select="$equipment_ID"/>` Anweisungen integriert, wobei das select-Attribut den Namen der Variablen definiert.

Durch die Verwendung von `<xsl:for-each select="Item">` wird die Schleife über die Menge die Einträge von „item“ ausgeführt.

```
<xsl:template match="GeneralProperties">
...
  <!-- Kontrollstrukturen in einem Baustein -->

  <xsl:if test="$path='Constructor'">

    public EADriver_<xsl:copy-of select="$equipment_ID"/>() {
      super();

      <xsl:for-each select="Item">
        <xsl:if test="
          @Key='EnableServicePublisher' and @Value='True'">
          ...
        </xsl:if>
      </xsl:for-each>

    }

  </xsl:if>
...

```

Abbildung 6.5: Quellcodebaustein mit Kontrollstruktur und Schleifenkonstrukt mit XSLT

Auflösen der Grammatiken

Enthalten die Werte der Elemente in den Modellen nicht nur einfache Zeichenketten, sondern wie in Abschnitt 5.1.3 beschriebene komplexe Informationen, so wird die Transformation durch die grammatikalische Analyse der Werte ergänzt.

Für die grammatikalische Analyse der Zeichenketten werden Werkzeuge integriert, mit denen die geforderte Funktionalität realisierbar ist. Bei der Entwicklung dieses Systems wurde hierzu die Bibliothek „ANTLR“ [ANTLR06] verwendet, mit der Grammatiken definiert und aus den Spezifikationen die Parser generiert und integriert werden können.

So werden für die Interpretation der Anforderungsabfragen und weiterer zu interpretierender Elemente die Definitionen der Grammatiken in ANTLR für die Basismodelle und das Qualifizierungsmodell erstellt.

An den betroffenen Quellcodebausteinen wird während der Transformation der passende Parser instanziiert und die Interpretation der Daten ausgeführt. Eine Zeichenkette wird durch die Interpretation und anschließende Transformation in das dem Schema entsprechende Format der Modelle umgewandelt.

Compilierung

Bei der Compilierung werden die Abschnitte aus dem generierten XML Dokument aus der Transformation in Ordnern entsprechend der Paketstruktur verteilt.

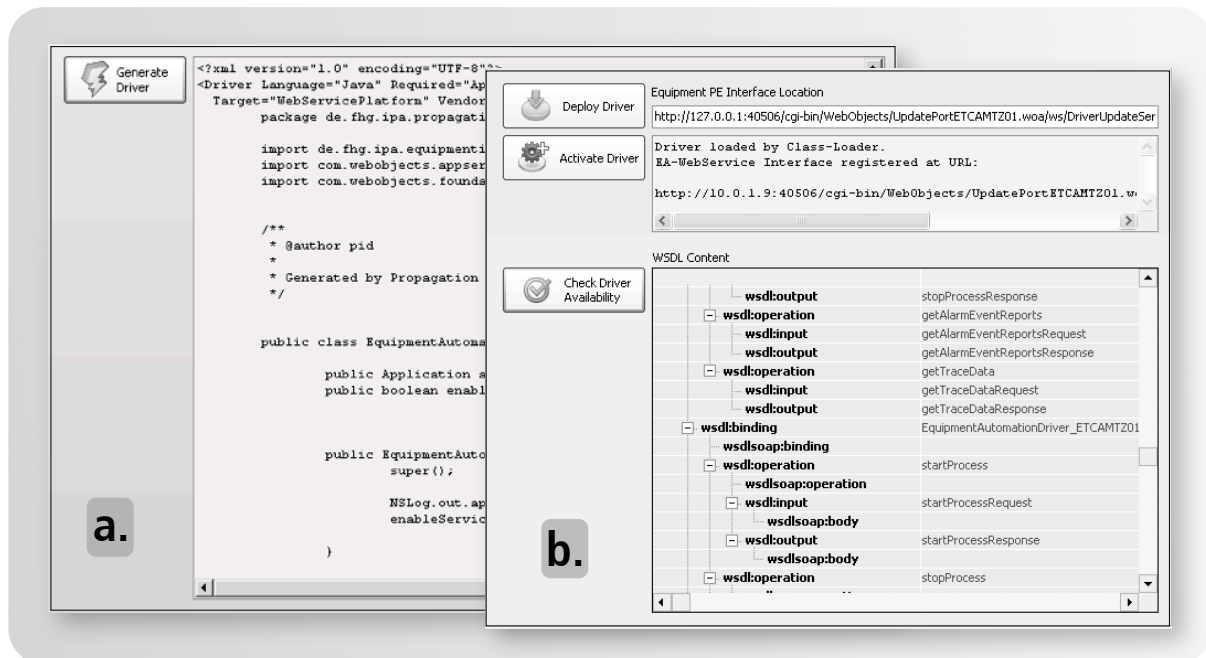


Abbildung 6.6: Generierte Schnittstelle (a.), Auslieferung und Überprüfung der Verfügbarkeit (b.)

Die Abschnitte bestehen in der Realisierung des Systems aus Java Klassen. In den Klassen referenzierte Bibliotheken und externe Komponenten sind entweder bereits im Klassenpfad des Systems bekannt gegeben oder sie werden dem Compiler als Parameter mit übergeben.

Auslieferung der Integration an die Anlage

Das Ergebnis der Compilierung sind mehrere binäre Klassendateien, die dem Integrationsserver übergeben werden. Abbildung 6.6 – Ausschnitt b. zeigt den Ablauf von der Auslieferung (engl. deployment) über die Aktivierung bis zur Überprüfung der Verfügbarkeit und der Abfrage der Schnittstellenbeschreibung im WSDL Format.

Die Auslieferung an den Integrationsserver erwartet eine Netzwerkadresse mit exakter Beschreibung der Zugriffsspezifikation und Angabe des Aktualisierungsdienstes („DriverUpdateService“). Die Adressen der Dienste befinden sich in einem dynamischen Verzeichnis, in dem die Integrationsserver mit ihren Adressen und bereitgestellten Adressen zu finden sind.

Abbildung 6.7 zeigt die Verteilung der Dienste und Anwendungen in der Realisierung. Der Integrationsserver bietet den Aktualisierungsdienst für die ihm bekannten Anlagen an.

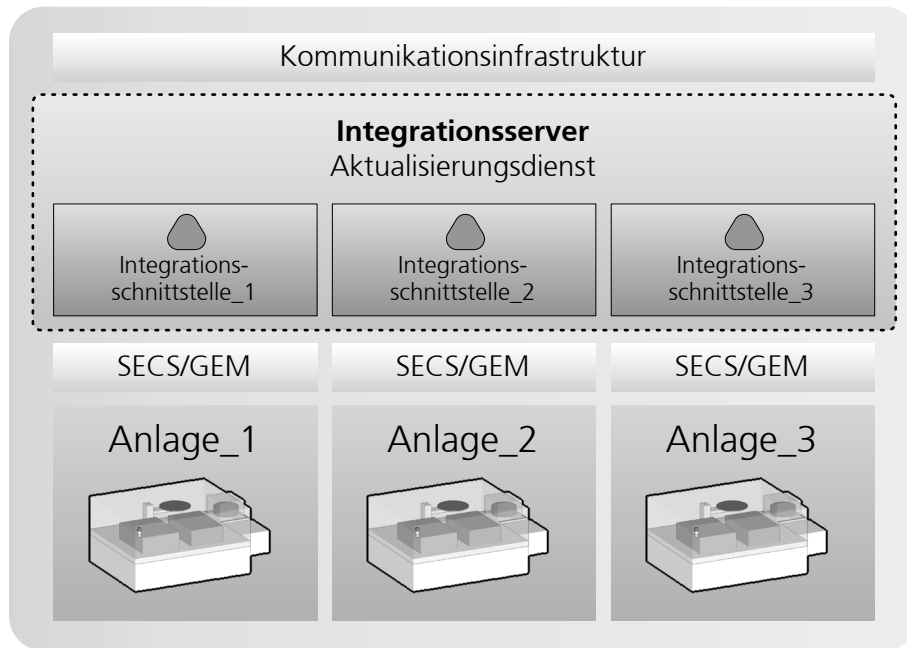


Abbildung 6.7: Integrationsserver mit Dienst für die Auslieferung und Aktualisierung

Über den Aktualisierungsdienst nimmt der Integrationsserver die binären Klassendateien der Integrationsschnittstellen entgegen, legt sie in seiner internen Struktur ab und aktiviert die Klassen. Durch die Aktivierung, wie in Abbildung 6.6 – Ausschnitt b. gezeigt, wird die Ausgabe des dynamischen Klassenladers der Virtuellen-Maschine von Java zurückgegeben.

Bei erfolgreicher Aktivierung der Integrationsschnittstelle auf dem Integrationsserver gibt dieser die Adresse der neu aktivierten Schnittstelle zurück und registriert diese gegebenenfalls im dynamischen Verzeichnis, wodurch die Verfügbarkeit der Schnittstelle publiziert wird.

Im letzten Schritt kann die zurückgegebene Adresse der Schnittstelle für eine Verifizierung der Aktivierung verwendet werden. Abbildung 6.6 – Ausschnitt b. zeigt diesen Vorgang mit der Rückantwort der Integrationsschnittstelle auf dem Integrationsserver.

Nach diesem Ablauf steht die Schnittstelle der IT in der Produktion zur Verfügung. Durch das standardisierte Publizieren der Dienste können Systeme in der Produktion die Schnittstelle konsumieren und integrieren.

Im folgenden Abschnitt wird zusätzlich nach der Aktivierung der syntaktischen Verifizierung der Integrationsschnittstelle über die WSDL Definition die Funktionalität über definierte Test-szenarien exemplarisch gezeigt.

6.2.3 Test der Integrationsschnittstelle auf dem Integrationsserver

Um das Verhalten der Integrationsschnittstelle zu überprüfen, werden Testpläne aufgestellt und in Testszenarien durchgeführt. Anhand der Testergebnisse wird festgestellt, ob die spezifizierten Dienste und deren Operationen fehlerfrei funktionieren und ob produktionsrelevante Szenarien bezüglich der Automatisierung in der Digitalen Produktion, vollständig zur Verfügung stehen.

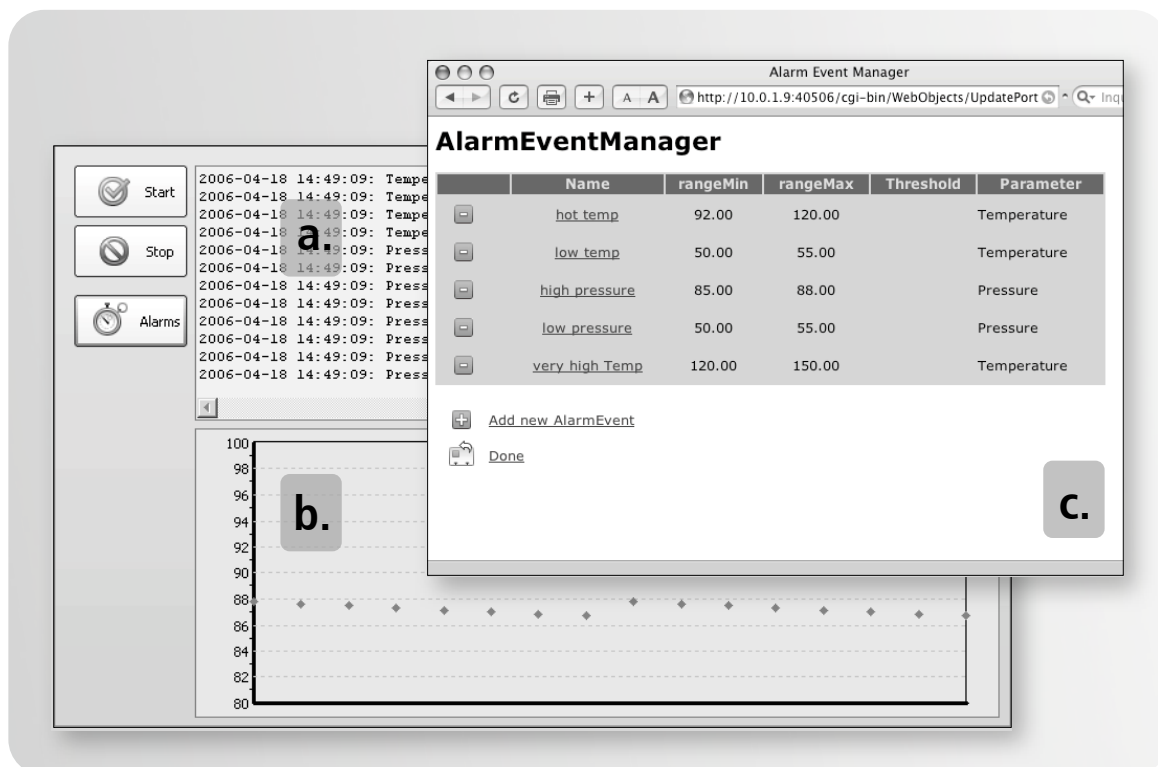


Abbildung 6.8: Testszenario per Web Service Proxy (a. und b.) und Web Browser Zugriff (c.)

Szenarien sind beispielsweise die Initialisierung, das Be- und Entladen von Material, das Verwalten der Prozess- und Steuerungsaufgaben sowie die Maschinendatenerfassung für die Auswertung von Diagnosedaten der Anlagen und der Prozesse. Beinhaltet die generierte Integrationsschnittstelle die Komponente für die Maschinendatenerfassung nach der Spezifikation gemäß der Standardisierung nach SEMI, so kann sie hinsichtlich dieser Operationen getestet werden.

Abbildung 6.8 beinhaltet einen solchen Test. Der Standard spezifiziert die Verwaltung von „Data Collection Plans“ für die Einstellung der abzufragenden Parameter. Abbildung 6.8 zeigt in Ausschnitt a. die Ergebnisse einer Abfrage der Diagnoseparameter als einfache Textausgabe. In Ausschnitt b. sind die Ergebnisse in einem Diagramm dargestellt. Die Ergebnisse kom-

men durch die Anfrage des hier gezeigten Prototypen von der Anlage über die Integrationschnittstelle im standardisierten Format zurück.

Ausschnitt c. in Abbildung 6.8 zeigt den Zugriff auf die Integrationschnittstelle über einen Standard HTML Browser über das Netzwerk für die Konfiguration der Parameterabfragen.

Überwachung der Integrationschnittstellen

Durch den Einsatz eines Monitors oder Lastverteilers auf dem Integrationsserver können aus Sicht der Qualitätssicherung der IT weitergehende Aussagen gemacht werden. Unabhängig von der integrierten Ressource kann, wie in Abbildung 6.9 gezeigt, über die Auswertung der Informationen des Monitors der Status und detaillierte Diagnoseinformationen der Auslastung der IT-Infrastruktur gemacht werden.

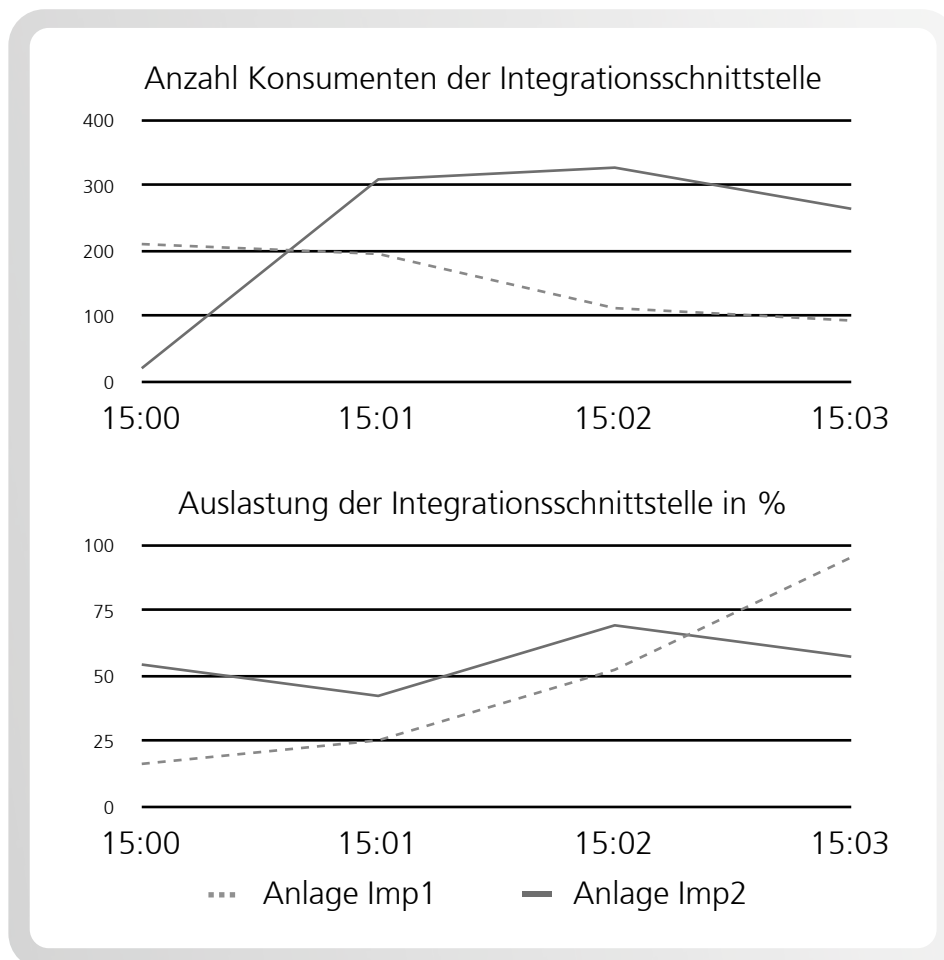


Abbildung 6.9: Auslastung der Integrationschnittstellen auf dem Integrationsserver

Betrachtet man diese Informationen für die gesamte Produktion, können Auslastungsengpässe (Rechenleistung CPU) übersichtlich identifiziert werden und durch geeignete Verteilungs-

strategien, wie z.B. durch die Erhöhung der Instanzen einer Schnittstelle oder durch die Erweiterung und Skalieren der Hardware, die Auslastung optimiert werden.

Verhalten der Schnittstellen beim Einsatz mit großen Datenmengen

Zahlreiche Untersuchungen beschäftigen sich mit der Performanz des Web Service Standards beim Einsatz mit großen Datenmengen [Baunach04]. Diese Untersuchungen zeigen, dass allein die Verwendung von XML als Datenformat bei der Kommunikation die Datenmenge durchschnittlich um den Faktor 10 erhöht. Dem gegenüber gibt es den Vorteil der zusätzlich zu den Daten beschreibenden Elemente von Informationen.

Daten, die an einer Quelle entstehen, müssen zuerst immer in das XML Format konvertiert, dann übertragen und anschließend wieder in das Datenmodell der Datensinke konvertiert werden. Die herausragenden Vorteile liegen in der schnellen Integrationszeit der Dienste, die auf XML Protokollen, wie beispielsweise Web Services basieren. Die heute zur Verfügung stehende Hardware ist in der Lage, den Faktor 10 bei den Datenmengen und der Prozessorzeit für Konvertierungen („Serialisieren“ und „Deserialisieren“) zu kompensieren. Entscheidend beim Einsatz von Web Services ist ein gut durchdachtes und frühzeitig durch Tests in Form von Prototypen überprüfetes Design der Dienste und Operationen [Meier06, Dreiss05c].

6.3 Zusammenfassung

Kapitel 6 zeigt die durchgeführte Realisierung des Systems für die modellbasierte Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung.

Das System wurde auf einer flexiblen und verteilten Architektur aufgebaut und entspricht den in Kapitel 5 spezifizierten Anforderungen. Die Basismodelle, das Qualifizierungsmodell, sowie das Transformations- und Propagationsmodell können im System definiert und konfiguriert werden. Aus dem Propagationsmodell wird durch die Ausführung der Transformationen die Integrationsschnittstelle generiert. Diese ist ein ausführbares Programm, welches nach Überprüfung und Durchlaufen definierter Tests, auf dem Integrationsserver installiert wird.

Die beiden Dienste Anlagenverwaltung und Propagationsmaschine wurden inklusive ihrer Operationen umgesetzt, und es wurden die passenden Benutzerschnittstellen entwickelt.

In Kapitel 7 wird die Anwendung des Systems in einem Industrieprojekt vorgestellt, dabei ist das System an mehreren Standorten zum Einsatz gekommen.

7 Bewertung und Nutzen

Die Bewertung des Systems und der sich daraus ableitende Nutzen werden anhand eines Referenzbeispiels in einer Industrieanwendung gezeigt. Hierbei besteht die Aufgabe in der Unterstützung beim Aufbau einer Halbleiterfabrik für die Bereiche Einkauf (Anforderungen an die Automatisierung) und der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen. Ein Beispielprodukt der Speicherchipfertigung ist in Abbildung 7.1 abgebildet.

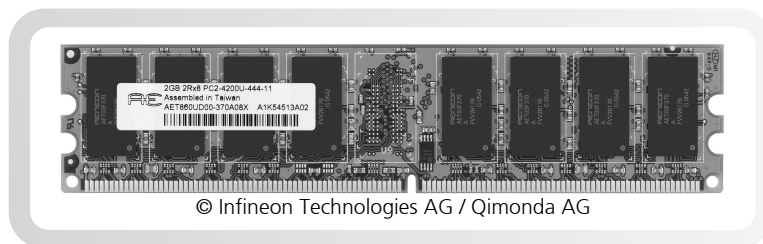


Abbildung 7.1: Produktbeispiel: 2 Giga Byte Speicherchip (DRAM)

7.1 Unterstützung beim Aufbau einer Produktion

Für die Produktion von Speicherchips wird eine Fabrikhalle mit rund 600 Halbleiterfertigungsanlagen ausgestattet. Die Fertigung wird auf 300-mm-Scheiben durchgeführt. Dafür müssen die Anlagen speziell ausgerüstet sein. Der Automatisierungsgrad einer 300-mm-Anlage und die damit einhergehende Komplexität der Integration in die Produktion stellen für die Betreiber, die Anlagenhersteller und die Integratoren eine große Herausforderung dar.

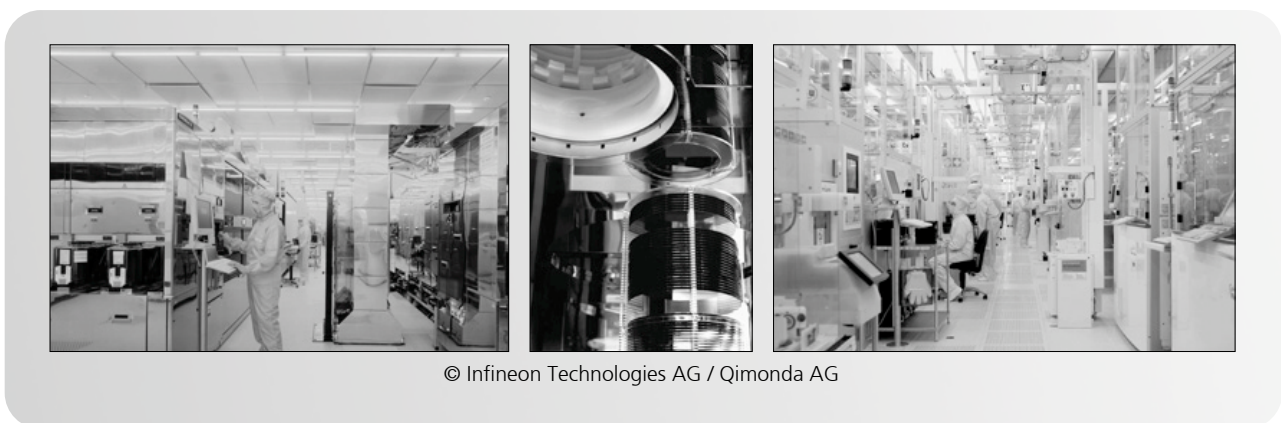


Abbildung 7.2: Anlagentypen im Reinraum der Produktion: Lithographie, Thermische Oxidation und CVD

Die 600 Halbleiterfertigungsanlagen in dieser Produktion werden in Summe von ca. 100 verschiedenen Anlagenherstellern geliefert. Der Betreiber der Fabrik muss diese Anlagen schnell und effizient in die Produktion integrieren, wofür die Anforderungen an die Automatisierung

in einem Lastenheft, TOS („Tool Operating Specification“ [Georgi04, Georgi06]) genannt, geführt werden. Dieses Lastenheft besteht aus rund 520 einzelnen Anforderungen, woraus sich eine Summe von rund 500.000 Anforderungen ergibt, die durch das System in der ersten Phase verwaltet werden.

In Abbildung 7.2 sind der Reinraum einer Halbleiterfabrik und die einzelnen Anlagen dargestellt. Die Anlagen im Einzelnen sind exemplarisch in Abbildung 7.3 dargestellt.



Abbildung 7.3: Halbleiterfertigungsanlagen

Der Prozess, welcher durch das System unterstützt wurde, wird „Automation Capabilities Management“ [Gnostic06, Marshall05, Peer06] genannt. In diesem Prozess werden zunächst die Anforderungen an die Automatisierung spezifiziert und anschließend durch eine große Anzahl von automatisierten Tests auf den Anlagen verifiziert, bis die geforderten Automatisierungsgrade erreicht werden können.

Automation Capabilities Management (ACM) - Prozess

Der Automation Capabilities Management Prozess beinhaltet die Anforderungserfüllung an die softwarespezifischen Funktionen entsprechend der SEMI-Standards für 300-mm-Halbleiterfertigungsanlagen. Ziel ist es die Standardschnittstellen der Anlagen mit dem geforderten Automatisierungsgrad für die Integration in die Produktion vorzubereiten. Bereits seit einigen Jahren setzen die Betreiber von Halbleiterproduktionen den ACM-Prozess ein.

Die Lastenhefte sind im Format der TOS aufgebaut und die Pflichtenhefte der Anlagenhersteller in Rückantwortdokumenten (engl. Supplier Response Forms) [Infineon04b]. Diese Dokumente werden nach der Verhandlung Teil der Verträge beim Einkauf der Anlagen. Der durch die Auswertung der Pflichtenhefte berechnete Automatisierungsgrad muss den Anforderungen vor der Beauftragung entsprechen.

Die Abbildung 7.4 zeigt den angewandten Prozess [Infineon04a]. Nach der Spezifikationsphase der Anforderungen in der Planungsphase (engl. Requirements Engineering) erfolgt die Pha-

se in der die Rückantworten der Anlagenhersteller - die Pflichtenhefte (engl. supplier responses) - eintreffen.

Nach dem Einkauf (engl. purchase order) werden die Anlagen in die Fabrikhalle geliefert und weitere, detailliertere Tests (engl. Automation Factory Acceptance Test) durchgeführt. Anschließend kann mit der Integration der Anlagen (engl. Equipment Integration) begonnen werden.

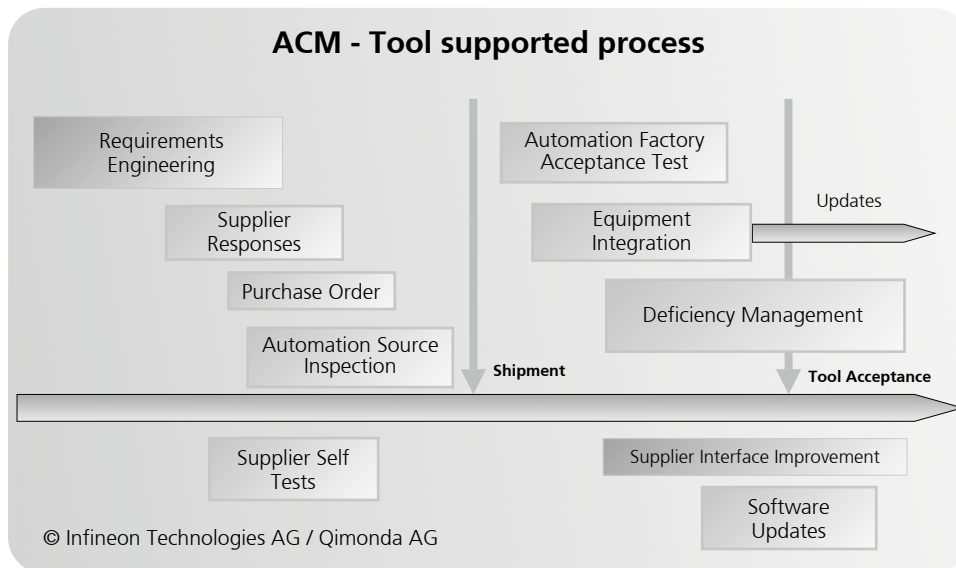


Abbildung 7.4: Automation Capabilities Management Prozess bei Infineon Technologies AG / Qimonda AG

Die Tests stellen die geforderte Funktionalität gemäß der SEMI-Standards fest. Die Verfolgung der Testergebnisse wird in einer aufwändigen Phase der Verwaltung der Mängel (engl. deficiency tracking) durchgeführt. Die Mängel beseitigt der Anlagenhersteller durch die Aktualisierung der Software auf der Anlage (engl. software updates), womit die Standardschnittstellen der Anlage verbessert werden.

Ist diese Phase beendet, wird die Anlage vom Betreiber abgenommen und die Anlage ist gemäß den Anforderungen an die Automatisierung in die Produktion integriert.

7.2 Bewertung des Prozesses

Durch die Unterstützung der Geschäftsprozesse durch das entwickelte System in der Phase der Verfolgung der Erfüllung der Anforderungen während den Verhandlungen des Betreibers mit den Anlagenherstellern konnte, in dem im Abschnitt 7.1 beschriebenem Fall und eine Verkürzung des Aufwandes auf 25% erreicht werden [Dreiss06].

7.3 Bewertung des Systems

Bei der Integration der Anlagen konnten die Anzahl der zu entwickelnden Integrationschnittstellen im Vergleich zu einem anderen Produktionsstandort, wie in Abbildung 7.6 dargestellt, trotz einer höheren Anzahl von Anlagentypen um rund 20%, die Anzahl der Anpassungen an den Schnittstellen um ca. 80% verringert werden [Dreiss06].

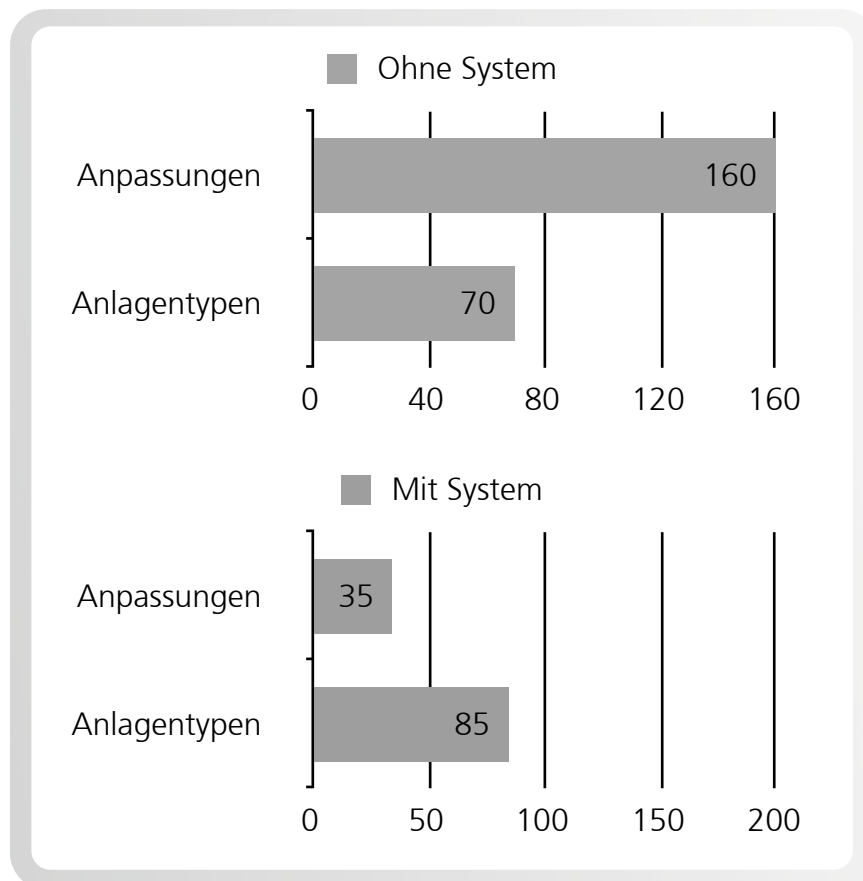


Abbildung 7.5: Anzahl der benötigten Anpassungen der Integrationsschnittstellen

Basis für die in Abbildung 7.5 gezeigte Verbesserung ist die konsequente Verfolgung und Ermittlung der Automatisierungsgrade der Anlagentypen und Anlagen. Durch das überwiegend einheitliche und den SEMI-Standards entsprechende Verhalten der Anlagen konnte die Integration mit geringer individueller Anpassung der Schnittstellen durchgeführt werden.

7.3.1 Auswertung der Automatisierungsgrade

Der Einsatz des Systems ist hauptsächlich durch die Bedienung der Benutzeroberfläche geprägt. Alle Anwendungsfälle, die für das System beschrieben wurden, sind im System wieder zu finden.

Abbildung 7.6 zeigt Beispiele der Berichte, die aus dem System heraus in gängige Office-Anwendungen exportiert werden können.

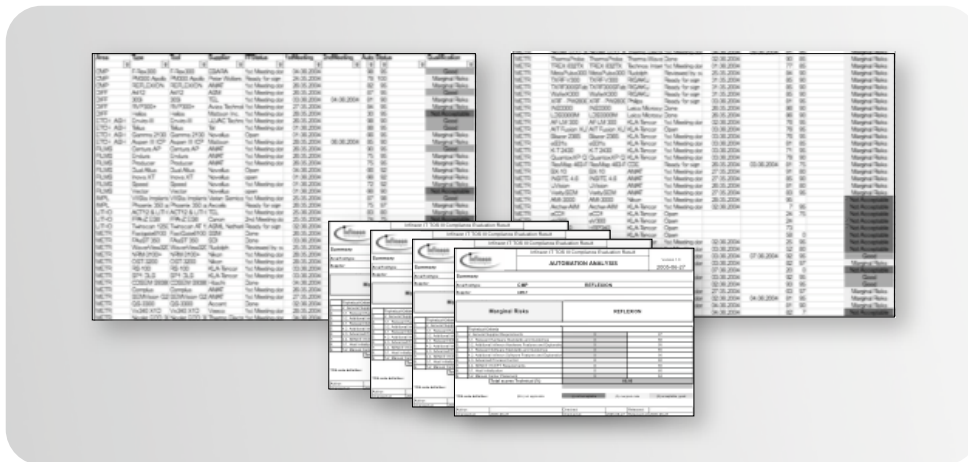


Abbildung 7.6: Auswertung der Automatisierungsgrade und Berichterstellung

Übersichtstabellen und Einzelberichte zu den Anlagentypen und den Anlagen zu den Automatisierungsgraden dokumentieren je nach Anforderung den Stand des Aufbaus der Produktion.

7.4 Zusammenfassung

Kapitel 7 zeigt die Anwendbarkeit und den Einsatz des in Kapitel 5 entwickelten und in Kapitel 6 realisierten Systems in der Industrie. Die Anwendung des Systems hat bestehende Geschäftsprozesse unterstützt und mit einander verbunden.

Die Verbindung der Prozesse konnte in einem durchgängigen Informationsfluss umgesetzt werden, wodurch die Effektivität und Transparenz des Gesamtprozesses gesteigert werden konnte.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der zur Verfügung stehende Zeitrahmen für den Aufbau von Produktionsstätten für die Herstellung von Halbleiterprodukten nimmt stetig ab. Gleichzeitig steigt die Komplexität der Automatisierung der zu integrierenden Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion an. Die Vorgehensweise bei der Anlagenintegration wird in einzelnen Softwareentwicklungsprojekten für jede Anlage durchgeführt, wobei stark darauf geachtet wird möglichst viele Elemente und Programmteile aus bestehenden Entwicklungen erneut zu verwenden. Ein System für eine einheitliche Vorgehensweise bei der Integration soll die Zeiten und Aufwände bei der Aufbauphase der Produktionsstätten optimieren, verbessern und gleichzeitig, durch eine transparente Organisation der Artefakte, bestehende Softwareentwicklungsprozesse erweitern.

Durch die Betrachtung der Ausgangssituation bei der Integration von Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion hat sich gezeigt, dass die IT-Landschaft innerhalb der Halbleiterproduktionen aus vielen verteilten und heterogenen Systemen für die Steuerung der Produktionsabläufe besteht. Die Anlagen selbst werden durch die Entwicklung von einheitlichen Integrationsschnittstellen an übergeordnete Systeme in der Produktion gekoppelt, so dass eine standardisierte Steuerung, unabhängig vom Prozess der einzelnen Anlagen, erfolgen kann.

Bei der Analyse der Integration der Halbleiterfertigungsanlagen in die Produktion ergeben sich große Herausforderungen für die Konzeption und die Entwicklung. Die Szenarien für die Automatisierung der Anlagen durch die Bereitstellung einheitlicher Integrationsschnittstellen werden durch die Bereitstellung von Standardschnittstellen realisiert, die für die gesamte Halbleiterbranche verbindlich sind. Dies bedeutet insbesondere, dass die Verhaltens- und Funktionsweisen von Halbleiterfertigungsanlagen prozessübergreifende Gemeinsamkeiten aufweisen, welche die Basis für eine modellbasierte Integration bilden.

Es wurden mehrere Modelle konzipiert, um die Anforderungen aus der Analyse erfüllen zu können. Das Anlagenstrukturmodell und das Anlagenfunktionenmodell, sowie das Qualifizierungsmodell und das Transformationsmodell werden im Propagationsmodell verknüpft. Teile der Modelle enthalten die Strukturen und die Verhaltensweisen der Anlagen. Diese werden durch das Qualifizierungsmodell verifiziert und schließlich wird durch Transformation mit Hilfe des Propagationsmodells die Integrationsschnittstelle generiert. Dieses Konzept stellt zusätzli-

che Anforderungen an die Entwicklung, wie die Abbildung der Fabrik- und Produktionsgegebenheiten, die Verwaltung von Spezifikationen in Form von einzelnen Anforderungen, die Definition von strukturierten Modellen und die Referenzierung von Integrationsplattformen. Zusätzlich sollen generierte Integrationsschnittstellen an die Anlagen ausgeliefert und dort aktiviert werden können.

Im Stand der Technik wurden Vorgehensweisen für die Integration von Halbleiterfertigungsanlagen dargestellt. Die Integrationsplattformen bieten Bibliotheken für die Integration und Kommunikation mit den Anlagen und ermöglichen eine schnellere und effektivere Entwicklung. Die Halbleiterfertigungsanlagen liefern eine Standardschnittstelle für die Kommunikation, so dass bei der Modelldefinition von einer einheitlichen Struktur ausgegangen werden kann. Für die Einbindung von Informationen und Anwendungen zeigte der Stand der Technik verschiedene generische Ansätze für die Verarbeitung von Informationen und Modellen. Die Generierung von Quellcodebausteinen kann durch verschiedene Ansätze erfolgen. In der Informationstechnologie ist derzeit der Ansatz einer modellgetriebenen Architektur stark verbreitet, welcher für die Generierung von Benutzeroberflächen und Zugriffsebenen für persistente Daten vielfach Einsatz findet. Zusammenfassend zeigt der Stand der Technik bei der modellbasierten Integration von Anlagen in die Halbleiterfertigung, dass es keine Systeme gibt, welche die gesamten Anforderungen der Konzeption zufriedenstellend erfüllen können. Aus diesem Grund wurde ein System spezifiziert, welches die Anforderungen vollständig erfüllt.

Die Geschäftsprozesse, die in der Problembeschreibung dargestellt wurden, von der Planung einer Fabrik und der Produktion, den Einkauf über die Integration bis hin zur Produktion von Halbleiterprodukten, wurden in der Entwicklung des Systems spezifiziert und durch entsprechende Modelle definiert. Die Architektur des Systems beinhaltet die Modelle, wie das Anlagenstrukturmodell für die Abbildung der Struktur der Anlagen, das Anlagenfunktionenmodell für die Abbildung der Funktions- und Verhaltensweisen, das Qualifizierungsmodell für die Verifizierung der Daten und das Transformationsmodell für die Einbindung von Integrationsplattformen und die Definition von Transformationsanweisungen für die Generierung der Integrationsschnittstellen. Umfassend definiert das Architekturmodell alle relevanten Entitäten und deren Beziehungen untereinander sowie zu den entwickelten Modellen. Basierend auf der Architektur und den beschriebenen Modellen werden Anwendungsfälle besprochen, die vom System zum einen der Anlagenverwaltung und zum anderen der Propagationsmaschine un-

terstützt werden sollen. Für die Zusammenarbeit von Fabrikbetreibern und Anlagenherstellern wird das System um einen spezifischen Portalbetrieb im Internet erweitert, wodurch die Daten für die Anlagenintegration, wie die Erfüllung von Anforderungen organisiert werden können.

Umgesetzt wurde die spezifizierte Entwicklung in einer Realisierung des Systems für die modellbasierte Integration auf Basis eines Anwendungsservers, einer flexibel skalierbaren und verteilten Architektur. Das System entspricht der Entwicklung der Geschäftsprozesse von der Spezifikation in der Planung bis hin zur Integration in die Produktion und kann die jeweiligen Anforderungen erfüllen. Der Zugriff auf das System erfolgt über eine Reihe von frei konfigurierbaren Benutzeroberflächen, die von den Benutzern entsprechend ihrer Rollen und ihrem Status im Geschäftsprozess, verwendet werden kann.

Die Bewertung der Realisierung und der sich daraus ableitende Nutzen wurde in einem Referenzprojekt in der Industrie ermittelt. Das System wurde in der realisierten Form unterstützend beim Aufbau einer 300-mm-Halbleiterfabrik eingesetzt.

8.2 Ausblick auf weitere Entwicklungen

Bedarf für die Weiterentwicklung besteht in der Erweiterung des Systems für die Anbindung von Anlagenemulatoren für die Durchführung von Simulationen beim Aufbau von Produktionsstätten. Dadurch kann die später reale Produktion frühzeitig im System getestet werden, um die Planung vorab zu optimieren. In diesem Fall werden mit dem System nicht die Integrationsschnittstellen auf realen Anlagen, sondern auf mehreren Servern instanziiert, worauf eine zu entwickelnde oder zu integrierende virtuelle Fabrik für die Durchführung einer Simulation zugreifen kann.

Eine optimale Integration des Systems in bestehende Softwareentwicklungsprozesse würde durch die Anbindung von auf dem Markt üblichen Quellcode-Verwaltungssystemen für die Verwaltung und Bearbeitung generierter Integrationsschnittstellen realisiert werden können.

Nicht alle Szenarien sind im realisierten System für die Automatisierung einer Anlage vollständig abgebildet. Eine Vervollständigung der Szenarien kann den Nutzen deutlich erhöhen und kann auf dem derzeitigen Entwicklungsstand aufgebaut werden.

Durch einen Transfer in andere Branchen, wie z.B. die Automobilbranche, kann das System, aufbauend auf der existierenden Implementierung und einer weiteren Analyse der Integration von Anlagen in der Automobilproduktion, erweitert und um ein mögliches Einsatzgebiet ergänzt werden.

9 Summary and future prospects

9.1 Summary of the results

The demands of the semiconductor market are becoming more and more complex for the companies which manufacture semiconductor products. This complexity is driven by a constant reduction of density and compactness, the growth of the number of functions and requirements for energy consumption of semiconductor elements, the emerging degree of automation within the production and the reduction of time and effort during the ramp up of semiconductor fabrications and the according business processes (see Fig 9.1).

Both - the time frame, which is available to ramp up a semiconductor manufacturing fabrication, has been constantly reduced to meet the demand of the market and the complexity of the automation of the semiconductor equipment to be integrated has increased. In order to fulfill these requests a methodology is required.

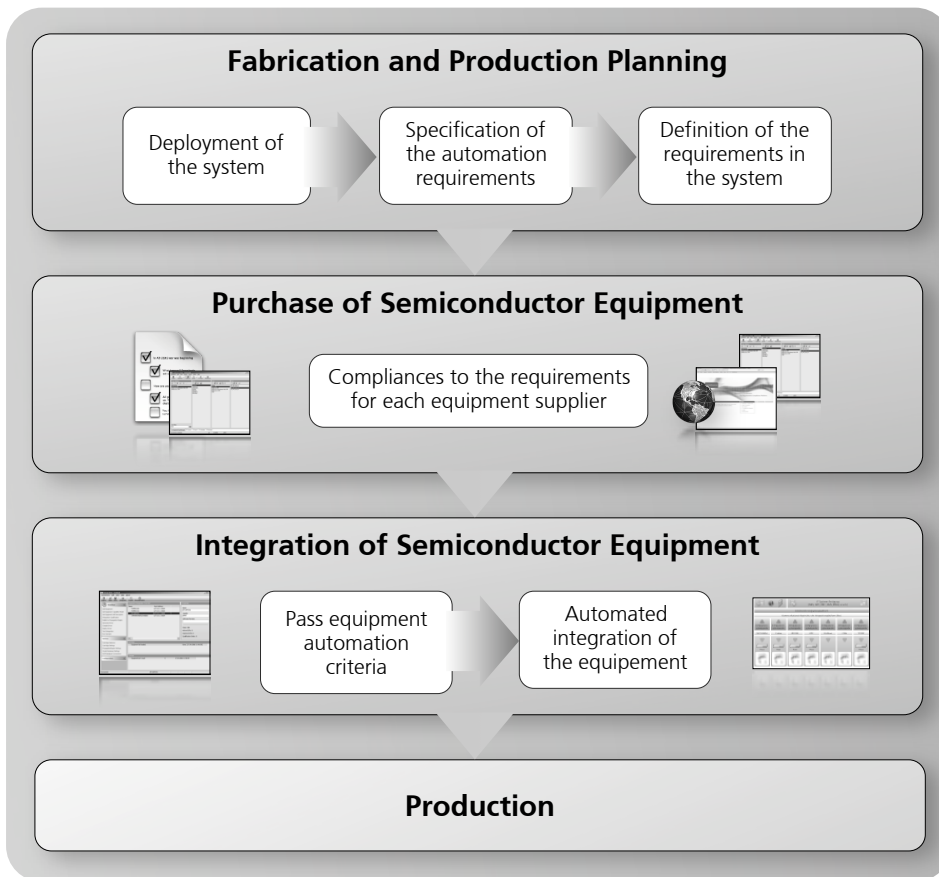


Figure 9.1: Use cases of the system according to the overall business processes during ramp up

Currently the approach to the process of equipment integration is by setting up software development projects for each type of equipment and to apply them to the equipment individually.

During this activity there is a strong focus on the reusability of already implemented components and functionality. A system for a homogeneous methodology for the integration of semiconductor equipment supposed to reduce and to optimize time consumption and efforts during the ramp up of semiconductor fabrications. Furthermore, it is to establish a transparent management of defined artifacts to extend already existing software development processes in place.

Considering the current situation of integration of semiconductor equipment into production, a strongly distributed and heterogeneous IT-landscape for the control of the production flow emerges. The equipment is integrated by developing integration-interfaces for the communication with the top level IT-Systems in the production, irrespective of the process type the equipment is to achieve a standardized control mechanism.

During the analysis of the process and the techniques for the equipment integration into the production huge challenges are arising for the conception and development of a system for the model-based integration of equipment into the semiconductor manufacturing. The scenarios for equipment automation are realized by providing standardized interfaces, which are relevant for the whole semiconductor industry. This means especially that the behaviors and functions of semiconductor equipment show similarities among a number of process types, which build the foundation of a model-based integration.

While the conception of the system was took place, several models were created to comply with the requirements, which had been identified in the analysis of the integration of semiconductor equipment into the production. The equipment structure model and the equipment behavior model, as well as the qualification model and the transformation model are linked together in the propagation model. Parts of the models contain the structure and the behavior of the equipment which are to be verified by the qualification model. Afterwards they are transformed by the propagation model into the integration interfaces.

This concept defines significant additional requirements for the development of the system, such as the representation of the actual situation of the fabrication and the production, the management of specifications based on single identifying requirements for the equipment

automation, the definition of structured models and referencing multiple integration platforms. Furthermore, the generated integration interface is to be deployed to the equipment and activated to be used by other IT-Systems in the production environment.

The assay of the state of the art in this work takes into account the current methodologies of the integration of semiconductor equipment. Integration platforms provide frameworks and libraries for the communication with the equipment and allow a more efficient and less time consuming development. Semiconductor equipment provide a standardized interface for communication, thus the definition of the models can be done based on a similar structure for each equipment type. The integration of information and applications in the field of information technology is currently providing a set of generic approaches for managing data, information and models. The generation of source code can be realized in different ways. The state of the art shows, that the concept of a model-driven architecture (MDA) is widely used. These days MDA is applied to the generation of user interfaces and access layers to persistent data. Regarding the assay of the state of the art for a model-based integration of equipment into the semiconductor manufacturing it can be concluded that right now no systems are available, which comply with the requirements of the concept with full satisfaction. Therefore a system was specified in the development fulfilling the requirements completely.

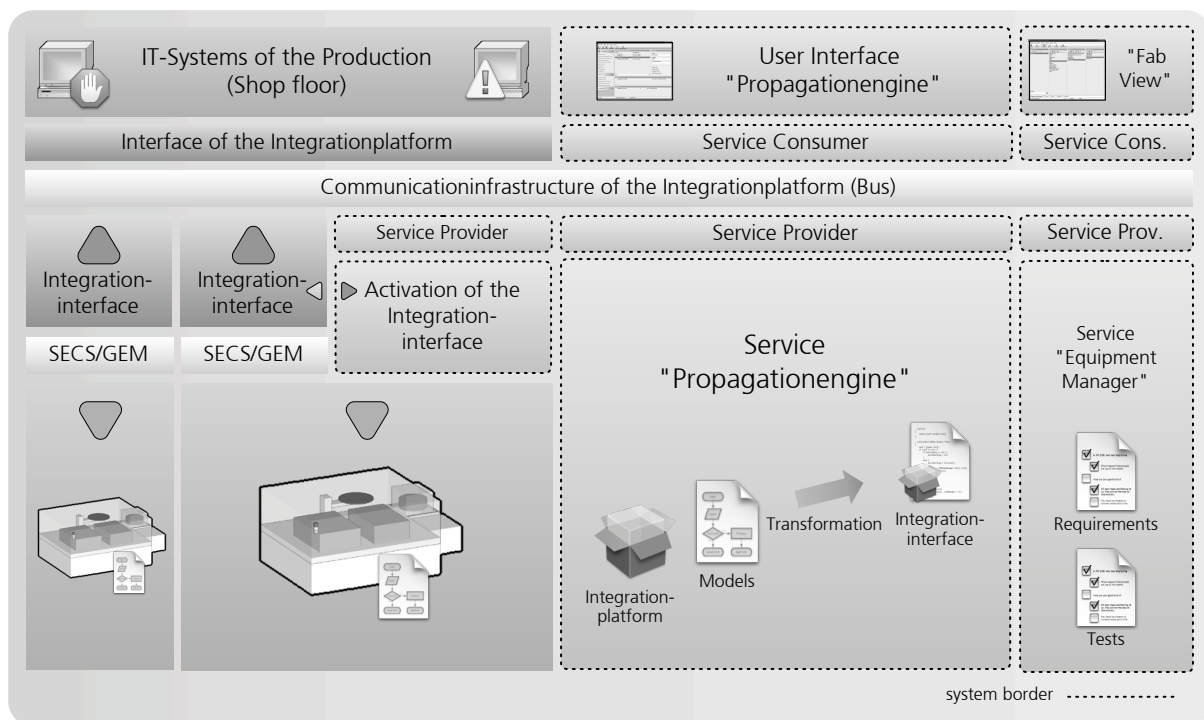


Figure 9.2: Architecture and overview of the system

The business processes, which have been discussed in problem domain description, are specified in the development and defined by the according models. However, the business processes begin with the planning of a fabrication and its production, continue with the purchase of equipment and its integration and are finalized with the production of semiconductor products. The architecture of the system includes the models, like the equipment structure model for the representation of the components and the modules of the equipment, the equipment behavior model representing the behavior and its functions, the qualification model for verification of the contents of the both mentioned models and the transformation model to include references to the integration platforms and the definition of the transformation queries for the generation of the integration interfaces.

The architecture model defines all relevant entities and their relations to the specified models described above. Based on this architecture and the models the use cases are shown, which are to be supported by the system, especially the equipment manager and the propagation engine (see Fig. 9.2).

For the collaboration of the fabrication managers, who are responsible for the ramp up and the production, and the equipment suppliers an online portal representation is specified and added.

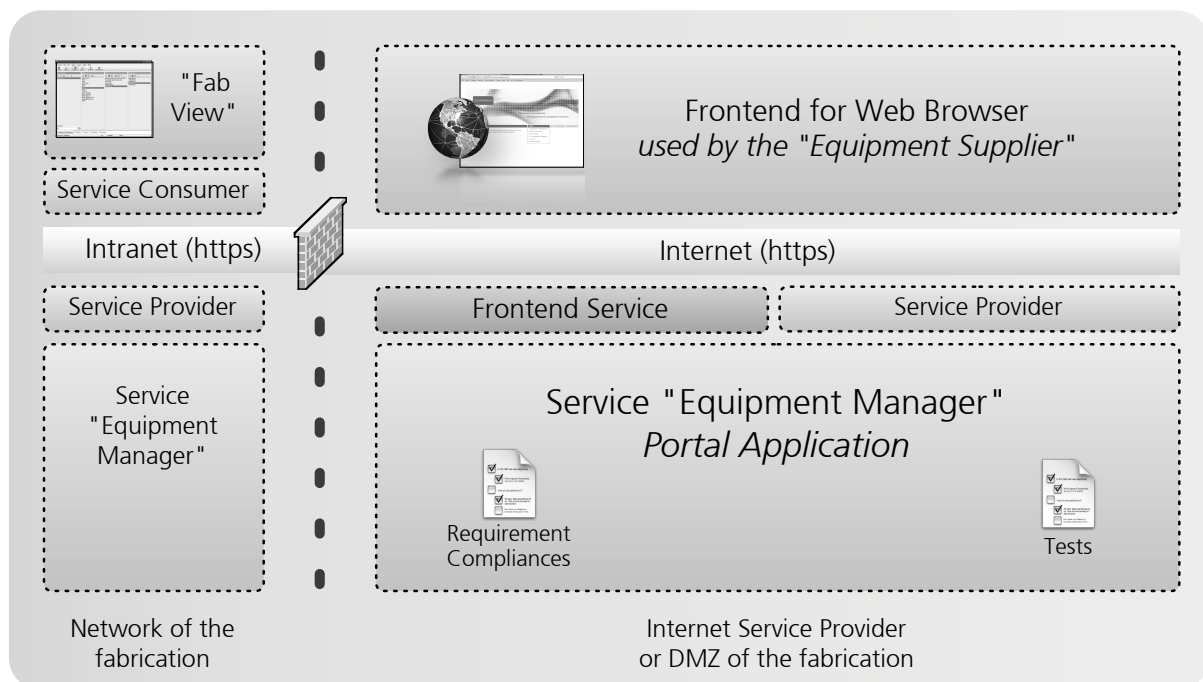


Figure 9.3: Portal application expansion for the collaboration with equipment supplier

This web portal is designed to organize the exchange of relevant information, such as documents for the equipment integration, the compliances to the requirements within the specifications and the schedules (see Fig. 9.3). The realization of the development has been implemented based on an application server, a flexible, scalable and distributed architecture. It has been implemented to match the specified business processes from the specification of the requirements to the integration of the equipment into the production. Access to the system has been realized by a graphical and configurable user interface, which is available for the user depending on their roles and status in the business process.

The evaluation of the realization and the usability of the system have been done within a project with the industry. The system has been installed and deployed in a realized version for the support during the ramp up of a 300 mm fabrication.

9.2 Future prospects

A need for the future work is the expansion of the system. It should be able to integrate the equipment emulators for the execution of the simulation during the ramp up of semiconductor fabrications. With such an expansion the production concept could be verified in early stages in order to optimize the real infrastructure.

An integration of the system in existing software development processes could be optimized with the connection to source code versioning systems, which are available on the market. Having a component as described, it would be used for the management and modification of the generated integration interfaces.

Within the current realization not all existing scenarios for equipment automation are fully covered. A complete set of automation requirements, which would have to be implemented, would increase the usability of the system. This could be built on top of the current implementation.

Transferring the solution to other industries, such as the automotive sector, could be realized, if it were based on the current system. It would have to include an additional analysis phase investigating the integration of equipments and machines into the manufacturing of automobiles.

10 Literaturverzeichnis

- [Aho92]** Aho, A. V.;Ullmann, J. D.:
„Foundations of Computer Science.“
New York: Computer Science Press, 1992.
- [Albertini05]** Albertini, R.:
„Model-Based Design.“
In: MegaLink Precision 12 (2005), Nr. 9, S. 20-22.
- [ANTLR06]** Mills, A.:
„Another Tool for Language Recognition.“ (ANTLR)
Birmingham, The University Of Birmingham, 2006.
- [Baunach04]** Baunach, S.:
„Transition to XML: Current Industry Trends.“
In: Up-Coming e-Manufacturing & e-Diagnostics Standards for Efficient
Production Control, 05. Oktober 2004, Mailand, Italien.
SEMI Europe Standards Autum Event 05. - 08. Oktober, Vimercate, Italien,
Vortrag Nr. 13.
- [Bernstein00]** Bernstein, P. A.; Halevy, A. Y.; Pottinger, R.:
„A Vision of Management of Complex Models.“
In: SIGMOD Record 29 (2000), Nr. 4, S. 55-63.
- [Bernstein02]** Bernstein, P. A.; Guinchiglia, F.; Kementsietsidis, A. (u.a.):
„Data management for peer-to-peer computing: A vision.“
Proceedings of the 5th International Workshop on the Web and Databa-
ses. WEBDB 2002, Chadison, Wisconsin, 06. - 07. Juni 2002
<http://db.ucsd.edu/webdb2002/papers/15.pdf>
(Letzter Zugriff: 29. Januar 2007)
- [Bleiholder05]** Bleiholder, J.; Naumann, F.:
„Declarative Data Fusion – Syntax, Semantics, and Implementation.“
In: Advances in Databases and Information Systems
Berlin, Heidelberg: Springer, 2005 (LNCS; 3631), S. 58 - 73

- [Booch99]** Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobsen, I.:
„Unified Modelling Language User Guide.“
Addison-Wesley, 1999.
- [Borland06]** Borland „CodeGear“ - Tools:
<http://www.borland.com/us/products/ide.html>
(Letzter Zugriff: 19. Januar 2007)
- [Brachman04]** Brachman, R. J.; Levesque, H. J.:
„Knowledge Representation and Reasoning.“
Elsevier, 2004.
- [Brown04]** Brown, A.:
„An Introduction to Model Driven Architecture.“ (2004)
<http://www-128.ibm.com/developerworks/rational/library/3100.html>
(Letzter Zugriff: 25. Oktober 2006)
- [Busing04]** Busing, D.; Gartland, K.:
„Equipment Engineering Capabilities (EEC) Guidelines.“
International SEMATECH Manufacturing Initiative (ISMI) & JEITA/Selete Col-
laboration, 2004.
- [Busse02]** Busse, S.:
*„Modellkorrespondenzen für die kontinuierliche Entwicklung mediatorba-
sierter Informationssysteme.“*
Logos Verlag, 2002.
- [Byrne92]** Byrne, P. F.; Youlton, D. S.; Heiman, K. R. (u.a.):
*„Automated preventive maintenance of plasma etch systems with the SECS
protocol.“*
In: Proceedings of the International Electronics Manufacturing Technolo-
gies Symposium
13th IEMT, 28. - 30. September 1992, Piscataway. IEEE, 1992, S. 135-137.
- [Cali04]** Cali, A.; Calvanese, D.; De Giacomo, G. (u.a.):
„Data integration under integrity constraints.“
In: Information Systems 29 (2004), Nr. 2, S. 147-163.

- [Cheng02]** Cheng, F. T.; Teng, C. Y.:
„An object-based controller for equipment communications in semiconductor manufacturing.“
In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 18 (2002), Nr. 5/6, S. 387-402.
- [Chrisos98]** Chrisos, J.; Nestel, P. J.:
„Integration risks in 300-mm wafer fab automation.“
In: Solid State Technology 41 (1998), Nr. 7, S. 193-202.
- [Christal06]** Christal, L.; Crispieri, G.; Fulton, S.; Rist, L.; Rosier, C.:
„Equipment Data Acquisition (EDA) Evaluation Method: Version 3.“
Austin, Texas, USA: ISMI, 2006
<http://www.ismi.sematch.org/docubase/document/4664btr.pdf>
(Letzter Zugriff: 30. Januar 2007)
- [Cimetrix05]** Cimetrix
„Introduction to the SEMI Interface A Standards.“ (2005)
<http://www.cimetrix.com/SEMIInterfaceAStandards.cfm>
(Letzter Zugriff: 08. Dezember 2006)
- [CIMFW97]** International SEMATECH Manufacturing Initiative:
„CIM Framework Specification 2.0.“
<http://www.sematech.org>
(Letzter Zugriff: 15. März 2005)
- [Codegen06]** Code Generation Alliance: „Code Generation Network.“ (2006)
<http://www.codegeneration.net/>
(Letzter Zugriff: 10. November 2006)
- [Conrad06]** Conrad, S.; Hasselbring, W.; Koschel, A. (u.a.):
„Enterprise Application Integration.“
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2006.

- [Crispieri05]** Crispieri, G.:
„*Equipment Data Acquisition (EDA) Usage Scenarios.*“
Austin, Texas, USA: ISMI, 2005
<http://www.ismi.sematch.org/docubase/document/4579btr.pdf>
(Letzter Zugriff: 30. Januar 2007)
- [Das04]** Das, S.; Chong, E.; Eadon, G. (u.a.):
„*Supporting Ontology-based Semantic Matching in RDBMS.*“
In: 30th Conference on Very Large Databases.
VLDB, 31. August - 03. September 2004, Toronto, Kanada, S. 1054-1065.
- [Dreiss04]** Dreiss, P.; Muckenhirn, R.; Dorner, J.; Kumar, A. P.:
„*Capability management framework for clinical equipment in laboratory.*“
In: Association for Laboratory Automation: LabAutomation 2004. Final Program & Abstracts: The premier international conference on laboratory automation. 01. - 05. Februar 2004, San Jose, USA, S. 159.
- [Dreiss05a]** Dreiss, P.; Bichlmeier, J.:
„*Authorization and authentication standard (overview and status).*“
Production Control, 05. Oktober 2004, Mailand, Italien.
SEMI Europe Standards Autumn Event 05. - 08. Oktober, Vimercate, Italien.
- [Dreiss05b]** Dreiss, P.; Willmann, R.:
„*Diagnostic data acquisition (DDA) data collection management standards (overview and status).*“
Production Control, 05. Oktober 2004, Mailand, Italien.
SEMI Europe Standards Autumn Event 05. - 08. Oktober, Vimercate, Italien.
- [Dreiss05c]** Dreiss, P.:
„*Flexible manufacturing application integration (MAI) in photovoltaic production environments.*“
In: Fraunhofer IPA: Advanced production technologies in the photovoltaic industries, 27. September 2005, Stuttgart.

- [Dreiss06]** Dreiss, P.; Erdmann, B.:
„Tool Supported Capability Management for Semiconductor High Volume Equipment Integration.“
In: 5. Requirements Engineering Tagung: Reconf 2006, 08. März 2006, München.
- [Eckstein04]** Eckstein, R.; Eckstein, S.:
„Datenmodellierung“
Heidelberg: dpunkt.verlag, 2004.
- [Fong01]** Fong, A. C. M.; Hui, S. C.:
„An intelligent online machine fault diagnostics system.“
In: Computing & Control Engineering 12 (2001), Nr. 5, S. 217-223.
- [Fullman06]** Fullman Kinectics:
„The Semiconductor Process“
http://sharif.edu/~hessabi/Adv_VLSI/slides/SEMICOND.HTM
(Letzter Zugriff: 02. November 2006)
- [Gamma95]** Gamma, E.; Helm, R.; Johnson, R. (u.a.):
„Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software.“
Addison-Wesley, 1995.
- [Gartner06]** Gartner, Inc.:
„Semiconductor Capital Equipment Demand Hot in 2006 but Will Cool in 2007.“
http://www.gartner.com/DisplayDocument?ref=g_search&id=493228
(Letzter Zugriff: 02. Dezember 2006)
- [Georgi04]** Georgi, R.:
„IC Maker e-Manufacturing Requirements.“
In: Sematech: e-Manufacturing / e-Diagnostic Workshop, 20. April 2004, München.

- [Georgi06]** Georgi, R.:
„General e-Manufacturing Requirements and first ,Interface A’ Experiences.“
In: Sematech: e-Manufacturing Workshop, 14. Juli 2006, San Francisco, USA.
- [Giese05]** Giese, C.; Schilling, R.:
„Modellgetriebene Generatorentwicklung.“
In: Objekt-Spektrum (2005) 3, S. 77-83.
- [Gnostic06]** Fa. Gnostic Systems, USA:
<http://www.gnosticsystems.com/services.html#acm>
(Letzter Zugriff: 05. November 2006)
- [Gramann98]** Gramann, U.; Fraunhofer, F.; Sturm, R. (u.a.):
„New concepts for electronic manufacturing facilities by using semiconductor equipment standards and models.“
In: DVS-Berichte 191 (1998), S. 108-112.
- [Halevy03]** Halevy, A. Y. (u.a.):
„Schema mediation in peer data management systems.“
In: Proceedings of the 19th International Conference on Data Engineering.
05. - 08. März 2003, Bangalore, Indien.
Piscataway, New York, USA: IEEE, 2003, S. 505-516.
- [Herring03]** Herrington, J.:
„Code Generation in Action.“
Manning, 2003.
- [Hogel04]** Hogel, T.; Marshall, L.:
„Semiconductor FAB Automation Capabilities Management.“
In: Semiconductor Fabtech 11 (2004), S. 57-62.
- [Hubert01]** Hubert, R.:
„Convergent Architecture: Building model-driven J2EE systems with UML.“
New York: Wiley, 2001.

- [Hung05]** Hung, M. H.; Cheng, F. T.; Yeh, S. C.:
„Development of a Web-Services-Based e-Diagnostics Framework for Semiconductor Manufacturing Industry.“
In: IEEE Transactions On Semiconductor Manufacturing 18 (2005), Nr. 1,
S. 122-135.
- [IBM06]** IBM „Rational“ - Tools:
<http://www.ibm.com/rational>
(Letzter Zugriff: 01. Juni 2006)
- [Infineon04a]** Erdmann, B.; Kaufmann, T.:
Infineon, Dresden
Gespräch: *„Einkauf und Integration von Halbleiterfertigungsanlagen für den Aufbau einer neuen Produktion.“*
13. April 2004, 9:00h, Dresden.
- [Infineon04b]** Erdmann, B.; Georgi, R.:
Infineon, Dresden
Gespräch: *„Verwaltung von Lastenheften und Pflichtenheften für die Spezifikation der Anlagenautomatisierung.“*
14. April 2004, 9:00h, Dresden.
- [Infineon04c]** Erdmann, B.; Georgi, R.:
Infineon, Dresden
Gespräch: *„Definition von Rollen im Geschäftsprozess für die Verwaltung der Anlagen im System.“*
15. April 2004, 9:00h, Dresden.
- [Infineon04d]** Erdmann, B.; Georgi, R.:
Infineon, Richmond (Virginia), USA
Gespräch: *„Anforderungen an ein System für die Kommunikation mit Anlagenherstellern und Analyse der Automatisierungsgrade.“*
24. Mai 2004, 9:00h, Richmond (Virginia), USA.

- [Infineon04e]** Erdmann, B.; Georgi, R.:
Infineon, Richmond (Virginia), USA
Gespräch: „*Integration von Testergebnissen in das System für die Verwaltung von Anlagen und Spezifikationen.*“
04. Juni 2004, 9:00h, Richmond (Virginia), USA.
- [Infineon05a]** Erdmann, B.; Georgi, R.:
Infineon, Dresden
Gespräch: „*Erweiterung des Systems für die Anlagenverwaltung für den Einsatz an mehreren verteilten Standorten.*“
12. April 2005, 9:00h, Dresden.
- [Infineon05b]** Erdmann, B.; Georgi, R.:
Infineon, Dresden
Gespräch: „*Erweiterung des Systems für die Verwaltung mehrerer Spezifikationen und Auswertungsstrategien.*“
13. April 2005, 9:00h, Dresden.
- [ISMIFlow04]** Fulton, S.; Van Eck, B.; Goodall, R.; Modrey, L.:
„*300 mm Operational Flowcharts and Scenarios, V. 10.*“ (2004)
In: International SEMATECH Manufacturing Initiative, 2006.
- [ITRS04]** International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)
„*Semiconductor Industry Association, Joint Report on Factory Integration, 2004 Update.*“
<http://public.itrs.net>
(Letzter Zugriff: 08. Dezember 2006)
- [Jacobi06]** Jacobi, H.-F.; Lentjes, H.-P.:
„*Innovationscluster: Digitale Produktion.*“
http://www.fraunhofer.de/fhg/profile/cluster/digitale_produktion.jsp
(Letzter Zugriff: 05. Januar 2007)
- [Kan05]** Kan, W.:
„*An examination of variability and its basic properties for a factory.*“
In: IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing 18 (2005), Nr. 1,
S. 214-221.

- [Kelly05]** Kelly, S.
„Software-Modellierung ohne Kunstgriffe. Mit domänenspezifischer Modellierung zu hundertprozentiger Code-Generierung.“
In: Elektronik 54 (2005), Nr. 1, S. 64-69.
- [Köster00]** Köster, L.; Meyer, M.; Thomson, T.:
„Automatische Code-Generierung für Steuergeräte. Neue Methoden der Code-Optimierung.“
In: Elektronik 49 (2000), Nr. 18, S. 116-122.
- [Krieger03]** Krieger, K. L.; Palm, H.; Geng, H. (u.a.):
„Modellbasierte Funktionsentwicklungsmethoden im Übergang in die Serienentwicklung.“
In: 4. Symposium, Steuerungssysteme für den Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen.
23. - 24. Oktober 2003, Berlin, S. 231-245.
- [Kumar99]** Kumar, A. P.:
„Software Test Plan Guidelines Internal Report Part 4/5.“
Stuttgart: Fraunhofer IPA, 1999.
- [Kumar05]** Kumar, A. P.:
„Agent Based Diagnostic System for the Defect Analysis during Chemical Mechanical Polishing (CMP).“
Heimsheim: Jost-Jetter Verlag, 2005.
(IPA-IAO Forschung und Praxis 421)
Zugl. Stuttgart, Univ., Fak. Maschinenbau, Inst. für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Diss. 2005.
- [Leser07]** Leser, U.; Naumann, F.:
„Informationsintegration – Architekturen und Methoden zur Integration verteilter und heterogener Datenquellen.“
Heidelberg: dpunkt.verlag, 2007.
- [Maeritz03]** Maeritz, J.; Schels, A.:
„Production Enhancement of Lithography through APC Methods.“
In: Future Fab International (2003) Nr. 15, S. 58-63.

- [Marshall05]** Marshall, L.; Doss, C.:
„Automation Capabilities Management Reducing Automation Risk in 300mm Fabs.“
In: 2nd ISMI Symposium on Manufacturing Effectiveness, 24. - 26. Oktober 2005, Austin, Texas.
<http://ismi.sematech.org/ismisymposium/past/II/index.htm>
(Letzter Zugriff: 30. Januar 2007)
- [Maurer03]** Maurer, T.; Esslinger, A.; Sydow, T.:
„Vom Prozessmodell zur lauffähigen Anwendung.“
In: Objekt-Spektrum (2003), Nr. 1, S. 58-61.
- [MDA03]** Object Management Group (OMG):
„MDA Guide Version 1.0.1“ (2003)
<http://www.omg.org>
(Letzter Zugriff: 03. Dezember 2006)
- [Meier06]** Meier, M.; Dreiss, P.; Muckenhirn, R.:
„Building a web service technology-based factory IT-landscape using Web-Objects.“
In: Worldwide Developers Conference (WWDC) 2006, 07. - 11. August 2006, San Francisco, USA.
- [Meixner04]** Meixner, U.:
„Einführung in die Ontologie.“
Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2004.
- [Melnik04]** Melnik, S.:
„Generic Model Management: Concepts and Algorithms.“
Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2004.
- [Muckenh04]** Muckenhirn, R.; Dreiss, P.; Dorner, J.; Kumar, A. P.:
„Future clinical analysis: Component based framework for modular hardware and software integration of different clinical equipment.“
In: Association for Laboratory Automation: LabAutomation 2004. Final Program & Abstracts: The premier international conference on laboratory automation. 01. - 05. Februar 2004, San Jose, USA, S. 107.

- [Naumann99]** Naumann, F.; Leser, U.; Freytag, J. C.:
„*Quality-driven Integration of Heterogeneous Information Systems.*“
In: 25th Conference on Very Large Database Systems.
VLDB, 7. - 10. September 1999, Edinburgh, England, S. 447-458.
- [Naumann02]** Naumann, F.; Ho, C. T.; Tian, X. (u.a.):
„*Attribute Classification Using Feature Analysis.*“
San Jose, Kalifornien, USA: IBM Almaden Research Center, 2002.
- [Oestereich04]** Oestereich, B.:
„*Objektorientierte Softwareentwicklung: Analyse und Design mit der UML 2.0.*“
München u.a.: Oldenbourg, 2004.
- [OMG06]** Object Management Group:
„*Unified Modelling Language Specification 1.5.*“
<http://www.omg.org>
(Letzter Zugriff: 02. Dezember 2006)
- [OPC06]** OPC Foundation:
<http://www.opcfoundation.org>
(Letzter Zugriff: 02. Dezember 2006)
- [Osborne06]** Osborne, M.:
„*300mm activity report: December 2005 to March 2006.*“
In: Fabtech 29th Edition (2006), S. 9-20.
- [Peer06]** Peer Group, Inc.:
„*ACM Professional Services - Ensuring your equipment arrives Automation Ready.*“
<http://www.peergroup.com/c/datasheets/acm.pdf>
(Letzter Zugriff: 19. Dezember 2006)
- [Pendleton02]** Pendleton, M.:
„*Tool integration for the e-fab.*“
In: European Semiconductor 24 (2002), Nr. 3, S. 27-30.

- [Pendleton06]** Pendleton, M.; Hogel, T.:
„Automation: Integration and Testing Automation Conformance Testing: The Solution to Effective Fab Automation Equipment Integration.“
In: Semiconductor Manufacturing Magazine, 7 (2006), Nr. 7.
- [Qimonda06a]** Erdmann, B.; Wang, J.:
Qimonda - vorm. Infineon, Sushu, China
Gespräch: *„Erweiterung des Systems um die Konfiguration von Eigenschaften der Anlagenintegration und der Integrationsplattformen.“*
31. Juli 2006, 9:00h, Sushu, China.
- [Qimonda06b]** Erdmann, B.:
Fraunhofer IPA, Stuttgart
Gespräch: *„Definition d. Schnittstellen zu externen Systemen der Anlagensteuerung in der Produktion.“*
28. November 2006, 9:00h, Stuttgart.
- [Rebetzky04]** Rebetzky, A.:
„Die digitale Fabrik in der Halbleiterindustrie.“
In: CADplus (2004), Nr. 2, S. 46-49.
- [Schliesser98]** Schliesser, J.:
„Untersuchung von Reinheitssystemen zur Herstellung von Halbleiterprodukten.“
Berlin u.a. : Springer, 1999.
(IPA-IAO Forschung und Praxis 281)
Zugl. Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions- und Fertigungstechnik, Inst. für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Diss. 1998.
- [Seelig06]** Seelig, U.; Liebold, U.; Tönne, A.:
„Erfolgreiche Großprojekte mit CincomSmalltalk.“
OOP 2006, 16. - 20. Januar 2006, München.
- [SEMI06]** SEMI International Standards, 2006:
<http://www.semi.org>
(Letzter Zugriff: 05. Januar 2007)

- [SEMI-E10-06]** Norm SEMI E10-0600: *„Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability and Maintainability (RAM).“*
In: SEMI International Standards, 2006.
- [SEMI-E30-06]** Norm SEMI E30-1103, int. Standard, 2006:
„Generic Model for Communications and Control of Manufacturing Equipment (GEM).“
- [SEMI-E37-06]** Norm SEMI E37-0303, int. Standard, 2006:
„High-Speed SECS Message Services (HSMS) Generic Services.“
- [SEMI-E40-06]** Norm SEMI E40-0703, int. Standard, 2006:
„Specification for Processing Management.“
- [SEMI-E42-06]** Norm SEMI E42-0299, int. Standard, 2006:
„Recipe Management Standard: Concept, Behavior and Message Services.“
- [SEMI-E81-06]** Norm SEMI E81-0600, int. Standard, 2006:
„Provisional Specification for CIM Framework Domain Architecture.“
- [SEMI-E87-06]** Norm SEMI E87-0703, int. Standard, 2006:
„Specification for Carrier Management (CMS).“
- [SEMI-E90-06]** Norm SEMI E90-0703, int. Standard, 2006:
„Specification for Substrate Tracking.“
- [SEMI-E94-06]** Norm SEMI E94-0703, int. Standard, 2006:
„Specification for Control Job Management.“
- [SEMI-E116-06]** Norm SEMI E116-0703, int. Standard, 2006:
„Specification for Equipment Performance Tracking.“
- [SEMI-E120-06]** Norm SEMI E120-0703, int. Standard, 2006:
„Specification for Common Equipment Model.“
- [SEMI-E125-06]** Norm SEMI E125-0703, int. Standard, 2006:
„Specification for Equipment Self Description.“
- [SEMI-E134-06]** Norm SEMI E134-1105, int. Standard, 2006:
„Specification for Data Collection Management.“

- [STG05]** Peiden, K.; Walsh, D.; Weber, A. (Standards Technology Group):
„SEMI Standards GEM300 and EDA.“
In: SEMI Europe Standards Autumn Conference and Meetings,
25. - 26. Oktober, Leuven, Belgien.
- [Systema06]** Systema Cell Controller:
<http://www.systema-gmbh.de>
(Letzter Zugriff: 05. Juli 2006)
- [Sun06]** Sun Microsystems, Java:
<http://www.sun.com/java>
(Letzter Zugriff: 06. März 2006)
- [VDI/VDE91]** Norm VDI/VDE 3694:
„Lastenhefte/Pflichtenhefte für den Einsatz von Automatisierungssystemen“
- [VECC06]** AIS - VECC Cell Controller: „VECC Equipment Integration“:
<http://www.ais-automation.com/anlagenintegration0.html>
(Letzter Zugriff: 18. Dezember 2006)
- [W3C01]** Norm W3C: „Web Services Description Language (WSDL) 1.1“ (2001):
<http://www.w3.org/TR/wsdl>
(Letzter Zugriff: 08. Dezember 2006)
- [W3C03]** Norm W3C: „SOAP Specification 1.2.“ (2003):
<http://www.w3.org/TR/soap12>
(Letzter Zugriff: 18. Januar 2006)
- [Weber04]** Weber, A.:
„APC: 2004 Technology and Market Update.“
In: Semiconductor International, 01. Juli 2004.
- [WebObj06]** Apple „WebObjects Application Server“:
<http://www.apple.com/webobjects>
(Letzter Zugriff: 01. Dezember 2006)

- [Westk02]** Westkämper, E.; Warnecke, H.-J.:
„Einführung in die Fertigungstechnik.“ 5. Aufl.
Stuttgart: Teubner, 2002.
- [Westk06a]** Westkämper, E.:
„Einführung in die Organisation der Produktion.“
Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.
- [Westk06b]** Westkämper, E.:
„Digitale Produktion - Herausforderung und Nutzen.“
In: Schriftliche Fassung der Vorträge zum Fertigungstechnischen Kolloquium (FtK), 20. und 21. September 2006, Stuttgart, S. 469-490.
- [Westk07]** Westkämper, E.:
„Digitale Produktion.“
Technologieführer: Grundlagen - Anwendungen - Trends.
Berlin: Springer, 2007, S.434-439.
- [WSTS06]** World Semiconductor Trade Statistics (WSTS):
<http://www.wsts.org>
(Letzter Zugriff: 01. Dezember 2006)
- [Zimmer04]** Zimmermann, J.:
„Standards – Clearing the Fog on APC.“
In: Future Fab International (2004) Nr. 16.