

HANSER



Leseprobe

zu

PLM in der Smart Factory

von Josef Schöttner

Print-ISBN: 978-3-446-47962-3

E-Book-ISBN: 978-3-446-48038-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446479623>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort	XVII
1 Anforderungen an Industrieunternehmen	1
1.1 Innovationsdynamik	1
1.2 Produktkomplexität	2
1.3 Produktqualität	3
1.4 Kundenlösungen	4
1.5 Wirtschaftlichkeit	5
2 Produktionsformen für Kundenlösungen	7
2.1 Design to Order/Engineer to Order	8
2.2 Make to Order	9
2.3 Assemble to Order	10
2.4 Pick to Order	11
2.5 Configure to Order	12
2.6 Make to Stock	13
2.7 Zielsetzung und Abgrenzung	14
3 Baukastenkonstruktion	19
3.1 Grundlagen	19
3.1.1 Baukasten-Konstruktionsprinzip	20
3.1.1.1 Teile und Baugruppen	21
3.1.1.2 Geometriebausteine, Teile und Baugruppen	24

3.1.2	Aufbau der Konstruktionsbausteine	28
3.1.2.1	Parametrisch-assoziatives Geometriemodell	28
3.1.2.2	Geometrieparameter und Teilemerkmale	36
3.1.2.3	Merkmalverknüpfte Geometriemodelle	38
3.1.3	Mastermodell und Masterzeichnung	44
3.1.4	Baukastenelemente und Produktstruktur	47
3.1.5	Nichtgeometrische Baukastenelemente	55
3.1.5.1	Nachweisführung	55
3.1.5.2	Teileprogramm	59
3.1.5.3	Arbeitsplan	63
3.2	Standardisierungsarten	69
3.2.1	Normierte Standardteile	69
3.2.1.1	ABC-Teileanalyse	72
3.2.1.2	Geometrieanalyse	74
3.2.1.3	Parameteranalyse	75
3.2.1.4	Definition der Sachmerkmale	76
3.2.1.5	Aufbau der Klassifikationsstruktur	77
3.2.1.6	Aufbau des Mastermodells	78
3.2.1.7	Aufbau der Masterzeichnung	79
3.2.1.8	Normierung	81
3.2.1.9	Anlage der Modell- und Teilevarianten	84
3.2.1.10	Anlage der Standardzeichnungen	86
3.2.1.11	Normierte Produkte	88
3.2.1.12	Normierte Elemente eines Produktbaukastens	89
3.2.2	Modulare Funktionseinheiten	91
3.2.2.1	Hierarchische Funktionsstruktur	92
3.2.2.2	Funktions- und Produktstruktur	93
3.2.2.3	Basis- und Funktionseinheit	94
3.2.2.4	Modulschnittstellen	97
3.2.3	Plattform-Standardisierung	99
3.2.3.1	Plattform	100
3.2.3.2	Modulvarianten	102
3.2.3.3	Modulare Baukästen	103
3.2.3.4	Bodengruppenvarianten aus Ähnlichkeitsteilen	106

3.2.4	Dynamische Auslegung	107
3.2.4.1	Teilevarianten aus normierten Geometriebausteinen ...	108
3.2.4.2	Laufzeitgenerierte Bauteile	118
3.3	Strategische Bedeutung	119
3.3.1	Kundenorientierung	120
3.3.2	Nutzenpotenziale	122
3.3.2.1	Zeiteinsparung	123
3.3.2.2	Kostenreduzierung	124
3.3.2.3	Qualitätsverbesserung	124
3.3.3	Wettbewerbsstärke	125
3.3.4	Industrie 4.0	127
4	Reorganisation von Entwicklung und Konstruktion	129
4.1	Aufgaben der Entwicklungskonstruktion	129
4.1.1	Neuentwicklung und Reengineering	130
4.1.1.1	Detaillieren der Aufgabenstellung	130
4.1.1.2	Entwicklung der Funktionsstruktur	131
4.1.1.3	Festlegung der Wirkprinzipien	134
4.1.1.4	Entwicklung der Produktstruktur	138
4.1.1.5	Bau eines Prototyps	141
4.1.1.6	Festlegung der Gleich-, Alternativ- und Ergänzungsteile	143
4.1.1.7	Aufbau der Variantenkonfiguration	145
4.1.2	Zusammensetzung des Baukastensystems	146
4.2	Aufgaben der Auftragskonstruktion	148
4.2.1	Konfigurieren der Produktvariante	150
4.2.2	Ausführen von Sonderheiten	151
4.2.3	Erstellen der Bauunterlagen	152
4.2.4	Übergabe der Bauunterlagen an Logistikprozesse	154
4.2.5	Rückkopplung der Auftragskonstruktion mit der Entwicklungskonstruktion	155
4.3	Einfluss auf nachgelagerte Prozesse	156
4.3.1	Vertrieb	156
4.3.2	Beschaffung	157
4.3.3	Produktion	158

5	Mass Customization	161
5.1	Produktkonfiguration	162
5.1.1	Bau- und Anwendungsunterlagen der Produktvariante	164
5.1.1.1	Produktstruktur/Stückliste	164
5.1.1.2	Geometrisches Produktmodell	166
5.1.1.3	Montageplan	178
5.1.1.4	Produktdokumentation	180
5.1.2	Klassifikation von Produktvarianten	181
5.2	Auftragsabwicklung	183
5.2.1	Individualkonstruktion	183
5.2.2	Individualkonfiguration	184
6	Produktdatenmanagement und Product Lifecycle Management	187
6.1	Produktdaten ohne PDM-Methodik	188
6.1.1	Produktdaten gleich Nutzdaten	188
6.1.2	Fehlende Grunddaten	189
6.1.2.1	Stammdaten	189
6.1.2.2	Strukturdaten	190
6.2	Grundlegendes	192
6.2.1	Fachliche Kategorien von Produktdaten	192
6.2.2	Datentechnische Kategorien von Produktdaten	194
6.2.3	Zielsetzung für Produktdaten	195
6.2.4	Speicherung von Produktdaten	196
6.2.5	Integration von Produktdaten	197
6.2.6	Ersteller und Nutzer von Produktdaten	199
6.2.7	PDM-Funktionalität	200
6.2.8	PDM-Systemarchitektur	202
6.3	Darstellung von Produktdaten	203
6.3.1	Objektklassen	203
6.3.2	Objekte	205
6.3.3	Objektrelationen	208

6.4	Teilemanagement	209
6.4.1	Teilestammsatz	209
6.4.1.1	Grundaufbau	209
6.4.1.2	Typspezifische Ergänzungen des Grundaufbaus	240
6.4.2	Teileklassifikation	280
6.4.2.1	Teilebeschreibende Merkmale	280
6.4.2.2	Klassenbildung	281
6.4.2.3	Klassifikationsstruktur	283
6.4.2.4	Klassifikationsmerkmale	286
6.4.2.5	Merkmalverknüpfung und Merkmalvererbung	297
6.4.2.6	Mehrfach-Klassifikation	299
6.4.2.7	Klassifikationstechniken	301
6.4.2.8	Kopie eines Merkmalsatzes mit TSS-Anlage	305
6.4.2.9	Klassifikationsstandards	306
6.4.2.10	Semantische Klassifikation	308
6.4.2.11	Recherche-Möglichkeiten	309
6.5	Dokumentenmanagement	315
6.5.1	Dokumentkategorie „Unterlage“	317
6.5.1.1	Unterlagenstammsatz	319
6.5.1.2	Unterlagendatensatz	327
6.5.2	Dokumentkategorie „Modell“	335
6.5.2.1	Modellstammsatz	337
6.5.2.2	Modelldatensatz	342
6.5.3	Dokumentkategorie „Zeichnung“	357
6.5.3.1	Zeichnungsstammsatz	359
6.5.3.2	Zeichnungsdatensatz	366
6.5.4	Dokument- und Teilerevision	375
6.5.5	Dateiversion	376
6.5.6	Dateiformate	378
6.5.7	Notiz	380
6.5.8	Volltextrecherche	381
6.5.9	Dokumentklassifikation	384

6.6	Produktstrukturmanagement	385
6.6.1	Aufbau der Produktstruktur	386
6.6.1.1	Hierarchische Beziehung zwischen Teilen	387
6.6.1.2	Zulässige hierarchische Beziehungen zwischen Teiletypen	394
6.6.1.3	Symmetrische Beziehung zwischen Teilen	396
6.6.1.4	Unterlagenverknüpfung mit Teilerelation	399
6.6.1.5	Alternativteile-Relation	400
6.6.1.6	Sammelrelation	402
6.6.1.7	Positionsnummer	404
6.6.2	Bedeutung der Stückliste	407
6.6.3	Integrale Produktstruktur	408
6.6.3.1	Sicht auf Produktstruktur	409
6.6.3.2	Gerichtete Verknüpfung von Sichten	410
6.6.3.3	Konstruktionsbaugruppe partiell vormontieren	412
6.6.3.4	Konstruktionsbaugruppe auflösen	414
6.6.3.5	Prozessbasierte Sichtenstruktur	417
6.6.4	Standardoperationen auf Produktstruktur	418
6.6.4.1	Ableitung von Stücklistenarten	418
6.6.4.2	Vergleich von Produktstrukturen	420
6.6.4.3	Kopie einer Produktstruktur	422
6.6.4.4	Teileverwendungsnachweis	425
6.6.5	Anwendungsfälle mit Bezug zur Produktstruktur	426
6.6.5.1	Produktbezogene Dienstleistungsarten	426
6.6.5.2	Ersatzteil-Set	427
6.6.5.3	Fertigteile mit Vorstufenteilen	428
6.6.5.4	Hilfsteil „Halbzeug-Zuschnitt“	429
6.6.5.5	Hilfsteil „Pseudo-Baugruppe“	432
6.6.5.6	Hilfsteil „Formelement“	435
6.6.5.7	Baugruppe mit vereinfachter Geometrie	437
6.6.5.8	Katalogteil-Demontage	439
6.6.5.9	Lose Konfigurationen	440
6.6.5.10	Schweißbaugruppe mit Härtezonen	442
6.6.5.11	Schweißnaht in der Produktstruktur	446

6.6.5.12	Service-Baugruppe	449
6.6.5.13	Software in der Produktstruktur	451
6.6.6	Regelwerk für Teilerevision	452
6.6.6.1	Austauschbarkeit eines geänderten Teils	453
6.6.6.2	Verwendbarkeit einer Baugruppe nach Revision eines ihrer Teile	453
6.6.6.3	Revisionierung einer Baugruppe nach Austausch eines ihrer Teile	456
6.7	Vorkalkulation und Mitlaufende Kalkulation	459
6.7.1	Kalkulationsansatz im Engineering-Zyklus	459
6.7.2	Kalkulationsstammsatz	461
6.7.2.1	Grundaufbau	462
6.7.2.2	Ergänzungen für Teilekalkulation	465
6.7.2.3	Ergänzungen für Baugruppenkalkulation	467
6.7.3	Übergang von der Vorkalkulation zur Mitlaufenden Kalkulation	469
6.7.4	Verkaufspreis	470
6.7.5	Wissensbasierte Kalkulation	472
6.8	Physisches Produkt in der Teileverwaltung	473
6.8.1	Stammsatz physisches Teil	474
6.8.1.1	Verwendungen des physischen Teils	477
6.8.1.2	Relationen des physischen Teils	477
6.8.2	Erzeugung des physischen Teils	478
6.8.3	Anwendungsfälle	480
6.8.3.1	Montage	480
6.8.3.2	Bemusterung	481
6.8.3.3	Prüfung	483
6.8.3.4	Reklamation	485
6.8.3.5	Service	486
6.9	Variantenmanagement	487
6.9.1	Variantenkonfiguration	488
6.9.1.1	Variantenstammsatz	489
6.9.1.2	Regel	491
6.9.1.3	Relationen zwischen den Regeln	501
6.9.1.4	Relationen der Variantenbaugruppe	502

6.9.1.5	Relationen des Variantenteils	502
6.9.1.6	Aufbau einer Variantenkonfiguration	504
6.9.2	Produktkonfiguration	514
6.9.2.1	Erzeugen einer Produktvariante	514
6.9.2.2	Ausleiten der Stückliste aus der Produktvariante	518
6.9.2.3	Klassifikation der konfigurierten Produktvariante	519
6.10	Workflow-Management	520
6.10.1	Prozessverständnis	520
6.10.2	Prozessbeschreibung	522
6.10.3	Prozessinstanz	525
6.10.4	Prozess-Tailoring	527
6.10.5	Prozessausführung	528
6.10.5.1	Simulation	529
6.10.5.2	Interaktion	530
6.10.5.3	Dokumentation	531
6.10.6	Kollaborationsprozesse	532
6.10.6.1	Prozess mit festgelegter Abfolge	533
6.10.6.2	Ad-hoc-Prozess	534
6.10.7	Datenbezogene Prozesse	535
6.10.7.1	Erstellung von Produktdaten	536
6.10.7.2	Freigabe von Produktdaten	537
6.11	Projektmanagement	539
6.11.1	Projektstammsatz	539
6.11.1.1	Projektarten	542
6.11.1.2	Projekttypen	543
6.11.1.3	Projektphasen	545
6.11.1.4	Projektstatus	562
6.11.2	Produktdatenverknüpfung	562
6.11.3	Projektteam	563
6.11.3.1	Projektteam und Rolle	564
6.11.3.2	Rolle und User	565
6.11.3.3	Rolle, Gruppe und User	566
6.11.3.4	Arbeits-, Prüf- und Ablagebereich	568
6.11.4	Projektstrukturplan	569

6.11.4.1	Projektstrukturelement	570
6.11.4.2	Projektaufgabe	574
6.11.5	Projektplanung	588
6.11.5.1	Strukturplan	589
6.11.5.2	Netzplan	590
6.11.5.3	Balkenplan	591
6.11.5.4	Workflow	593
6.11.5.5	Vorwärtsplanung und Rückwärtsterminierung	595
6.11.6	Projektüberwachung	597
6.11.6.1	Report für Sammelaufgabe	597
6.11.6.2	Report auf allen Strukturebenen eines Projekts	598
6.11.7	Mitarbeiterkapazität	600
6.11.7.1	Verfügbarkeit für Projektplanung	601
6.11.7.2	Verfügbarkeit für Forecast-Planung	602
6.11.8	Projektordner	603
6.12	Änderungsmanagement	606
6.12.1	Änderungsfälle	607
6.12.2	Standardisierte Problemmeldungen	608
6.12.3	Gewichtung von Problemmeldungen	609
6.12.4	Problemmeldung	611
6.12.5	Bewertung von Problemmeldungen	616
6.12.6	Produktpflegefall	617
6.12.7	Bearbeitung der Änderungsfälle	622
6.12.7.1	Standardänderung	622
6.12.7.2	Marginaländerung	648
6.12.7.3	Ad-hoc-Änderung	652
6.12.7.4	Datenkorrektur	656
6.12.7.5	Änderungen im Projektrahmen	659
6.13	Anforderungsmanagement	661
6.13.1	Anforderungsstruktur	662
6.13.1.1	Anforderungskopf	663
6.13.1.2	Anforderungsdefinition	666
6.13.2	Anforderungsbeispiel „Scooter“	671
6.13.3	Änderung der Spezifikation	672

6.13.3.1	Änderung einer Anforderungsdefinition	673
6.13.3.2	Änderung des Anforderungskopfs	673
6.13.4	Konsistenz zwischen Produkt/System und Spezifikation	675
6.14	Nummerung	676
6.14.1	Nummernsysteme	676
6.14.1.1	Verbundnummernsystem	677
6.14.1.2	Parallelnummernsystem	677
6.14.2	Identifikationsnummer	678
6.14.2.1	Objektnummer	679
6.14.2.2	Revisionsnummer	681
6.14.2.3	Publikationsrevisionsnummer	682
6.14.2.4	Versionsnummer	683
6.14.3	Klassifikationsnummer	684
6.14.3.1	Schlüsselnummer aus Klassensystem	685
6.14.3.2	Schlüsselnummer aus kodierten Objektattributen	687
6.14.3.3	Klassifikationsnummern durch alternative Klassenpfade	688
6.14.4	Logistik-Teilenummer	689
6.14.5	Ablösung von Verbundnummern	690
6.14.5.1	Import von Bestandsartikeln	691
6.14.5.2	Anlage und Transfer von Neuteilen	692
6.14.6	Teile- und Dokumentnummern	693
6.14.6.1	Beziehungen zwischen Teil und Unterlage	693
6.14.6.2	Beziehungen zwischen Teil und Modell	693
6.14.6.3	Beziehungen zwischen Teil und Zeichnung	694
6.15	Nomenklatur	695
6.15.1	Benennungsbildung	695
6.15.1.1	Einwortbenennung	696
6.15.1.2	Mehrwortbenennung	697
6.15.1.3	Kurzformen	697
6.15.1.4	Begriffsmerkmale	699
6.15.2	Benennungskataloge	699
6.15.3	Mehrsprachigkeit	700
6.15.4	Begriffslexikon	701

6.15.5	Ablösung von Benennungen	702
6.15.5.1	Import von Bestandsartikeln	703
6.15.5.2	Anlage und Transfer von Neuteilen	704
6.16	Datenverwaltung	705
6.16.1	Vault-Konzept	705
6.16.1.1	Physischer Vault	707
6.16.1.2	Logischer Vault	708
6.16.1.3	Vault, Rechte und Rollen	709
6.16.1.4	Öffentlicher Vault	710
6.16.1.5	Privater Vault	711
6.16.1.6	Regelwerk für Berechtigungen	712
6.16.2	Vault-Operationen auf Objekte	713
6.16.2.1	Schreibrecht nehmen/zurückgeben	715
6.16.2.2	Revisionieren	716
6.16.2.3	Versionieren	717
6.16.2.4	Check-out	718
6.16.2.5	Verlagern	718
6.16.2.6	Check-in	720
6.16.3	Ideen-Pool	722
6.16.4	Verteilte Datennutzung	723
6.16.4.1	Datenreplikation	723
6.16.4.2	Zentrale Metadaten und dezentrale Nutzdaten	724
6.16.4.3	Offline-Datenreplikation	726
6.16.4.4	Datenausleitung	727
6.16.4.5	Datenaustausch	728
6.16.4.6	Cloud-basierte Kollaborationsplattform	731
6.17	Systemintegration	733
6.17.1	Autorensysteme mit Arbeitsergebnissen in Dateiform	734
6.17.2	Autorensysteme mit Datenbank und Arbeitsergebnissen in Dateiform	740
6.17.3	Autorensysteme mit Arbeitsergebnissen in der Datenbank	745
6.17.4	Geschäftsanwendungen	748
6.18	PDM im Kontext von Industrie 4.0	751
6.18.1	Ziele der Digitalisierungsstrategie Industrie 4.0	752

6.18.2 Virtuelles Produkt mit produkt- und prozessbeschreibenden
Daten 754

6.18.3 PDM und MES in der Integrationslösung PLM 755

6.18.4 Physisches Produkt und Daten aus Betriebsphase 756

Literaturverzeichnis 759

Abkürzungsverzeichnis 761

Index 769



Vorwort

Seit der Publikation meines ersten Fachbuchs mit dem Titel *Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie* (ISBN 978-3-446-21152-0) sind über zwanzig Jahre vergangen. Außer, dass die Software-Anbieter für ihre Systeme heutzutage die Bezeichnung Product Lifecycle Management (PLM) anstelle von Produktdatenmanagement (PDM) verwenden, hat sich an den Problemen, mit denen sich die Anwender konfrontiert sehen, nicht übermäßig viel geändert. Infolge des umfangreichen Einsatzes von CAx-Systemen wurde der produktive Umgang mit Produktdaten schon damals sowohl für die Nutzer als auch für die IT-Verantwortlichen zur Herausforderung. Mit der gegenwärtig rasch voranschreitenden Digitalisierung wird diese Problemlage noch verschärft. Folglich sind die Ansprüche an Produktdatenmanagement heute höher denn je. Der Bedarf der Märkte an individualisierbaren Produkten und Systemen sowie der anhaltende Kostendruck erfordern zudem PDM-Lösungen, die die Nutzung strategischer Engineering-Methoden unterstützen – je nach Geschäftsmodell in der Entwicklungskonstruktion bei Serienherstellern oder Sondermaschinenbauern oder in Entwicklungs- und Auftragskonstruktion im Falle von seriennahen Auftragsfertigern. Hierbei sind die üblichen Standardlösungen für Teile-, Produktstruktur-, Dokumenten-, Änderungs-, Projekt- und Workflow-Management alleine nicht mehr ausreichend. Es werden darüber hinausgehende Lösungsansätze für den Aufbau eines spezifischen PDM-Systems benötigt.

Diese Thematik ist Gegenstand des vorliegenden Buches. Es beschreibt nicht nur die Funktionalität von am Markt angebotener Software der System-Klasse PDM. Vielmehr schildert es darüber hinaus sofort umsetzbare Konzepte und wertvolle Erfahrungen aus dreißigjähriger Beratertätigkeit in der Fertigungsindustrie, und dies sowohl in Mittelstandsbetrieben als auch in Großunternehmen. Die detailliert dargelegten Konzepte sind praxisbewährt und vermitteln überdies ein tiefgehendes Verständnis und Know-how zu Produktdatenmanagement und zu dem, was es in dieser innovativen Form zu leisten vermag. In Ergänzung dazu erfolgt die Beschreibung von

PLM als IT-Integrationslösung mit den Geschäftsanwendungen PDM (Produktdatenmanagement), ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System) etc. und den Autorensystemen MCAD (Mechanical Computer-aided Design), ECAD (Electronic Computer-aided Design), CAP/CAM (Computer-aided Planning/Computer-aided Manufacturing), CAQ (Computer-aided Quality Assurance), CASE (Computer-aided Software Engineering), CAO (Computer-aided Office Automation) usw. Damit lässt sich zum einen der Produktentwicklungsprozess vollständig digital ausführen, und zum anderen sind – darauf aufbauend – die Prozesse für Beschaffung und Produktion gleichfalls digital plan- und steuerbar.

PLM wird in dieser Publikation nicht – wie das häufig der Fall ist – als „moderneres“ Synonym für PDM verwendet. Schon die ersten PDM-Systeme am Markt waren in der Lage, die technischen Produktdaten aus den Engineering-Prozessen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg zu verwalten. Im Datenmodell dieser System-Klasse ist die Revisionierbarkeit von Objekten verankert und folglich die Verwaltung ihrer Änderungshistorie gegeben. Insofern ist die Verwendung des Akronyms PLM für PDM-Software eher irreführend als hilfreich. Da die Produktentstehung auf den beiden Prozessen Engineering und Logistik beruht und diese mithilfe der Systeme PDM und ERP ausgeführt werden, ist es nicht möglich, das Lifecycle Management der digitalen Produkt- und Prozessdaten allein mit PDM-Software zu bewerkstelligen, auch wenn diese PLM genannt wird. PDM-Software verwaltet virtuelle Teile und ERP-Software reale – also konkrete – Artikel mit Chargen- oder Seriennummer, d. h., der Lifecycle für eine Teile- bzw. Artikelnummer lässt sich nur mit einer integralen Lösung aus PDM- und ERP-System realisieren. Hierbei handelt es sich um die sogenannte PLM-Arbeitsplattform. Was dieser noch fehlt, ist ein Ansatz für das digitale Handling eines physischen Teils oder Produkts in der Erprobungs-, Analyse- oder Nutzungsphase. Zur Erfüllung dieser Anforderung wird ein innovatives Konzept vorgestellt, das – enthalten in einer PLM-Integrationslösung – Lifecycle Management in jeder Prozessphase uneingeschränkt unterstützen kann.

Des Weiteren spielt die PLM-Arbeitsplattform für die Umsetzung der Strategie Industrie 4.0 eine wichtige Rolle. Industrie 4.0 ist nicht nur die dynamische Orchestrierung der industriellen Fertigung auf der Basis von Web-Technik, sondern die Digitalisierung der gesamten Wertschöpfung. Dafür wird Datendurchgängigkeit von der Konstruktion bis zu den Service-Arbeiten gebraucht. Dies erfordert eine Erweiterung der Arbeitsplattform PLM um die Komponente MES. Digitales Engineering auf der integralen Arbeitsplattform PLM erzeugt hierbei die Datenquelle für ERP- und MES-Prozesse. Das ERP-System erhält Stamm- und Strukturdaten (Teile und Stücklisten) sowie Links auf Nutzdaten (Zeichnungen etc.) für Planung, Beschaffung und Beauftragung. An MES gehen Nutzdaten Zeichnung, Arbeits-, Montage- und Prüfplan, NC-Programm usw. für Fertigung, Montage und Qualitätssicherung. Außerdem nimmt die PDM-Datenbank Arbeitsdaten aus der Betriebsphase von Kundenmaschinen mithilfe einer IIoT-Plattform auf. So lassen sich ungewollte Stillstandzeiten durch vorausschauende Service-Planung vermeiden.

Damit die digital arbeitende Fabrik (Smart Factory) Realität werden kann, ist eine Integrationslösung erforderlich, die mindestens aus den drei Geschäftsanwendungen PDM, ERP und MES besteht. Obwohl PDM-Software zweifellos ein zentraler Baustein dieser Strategie ist, liegt das Augenmerk bei Industrie-4.0-Projekten meist auf den Logistikprozessen Planung und Steuerung und somit auf ERP und MES. Die hohe Dynamik bei den Kundenanforderungen und folglich die flexible Fertigung benötigen jedoch eine Datenquelle, die diese hohe Anforderungsdynamik prozesssicher erfassen und dokumentieren kann. ERP-Systeme sind in ihrem Datenmodell nicht darauf ausgelegt. Sie fungieren als „Elektronischer Organisator“, der freigegebene Daten aus den Engineering-Prozessen aufnimmt und diese lesend für Planungsaufgaben nutzt. PDM-Systeme sind hingegen als „Elektronische Werkbank“ konzipiert, die es erlaubt, Produkt- und Prozessdaten mit hoher Änderungsdynamik zu erzeugen und zu verwalten. Beide Systeme versorgen entsprechend ihrer Bestimmung die diversen MES-Module. Mit diesen Fakten ist es an der Zeit, PDM neben ERP und MES in den Fokus von Industrie 4.0 – der „Intelligenten Fabrik“ – zu nehmen. Im Übrigen unterstützt PDM-Software als zentrale PLM-Komponente nicht nur die flexible Fertigung, sondern auch die Engineering-Methoden Teilestandardisierung, Produktmodularisierung, Baukastenkonstruktion, Produktkonfiguration und demzufolge die Strategie Mass Customization. Dies steigert die Wiederholteilerate, sorgt für eine Erhöhung der Stückzahlen und reduziert die Stückkosten, wodurch die Wirtschaftlichkeit der flexiblen Fertigung zusätzlichen „Schub“ erfährt.

Die technischen Möglichkeiten, eine digital arbeitende Fabrik aufzubauen, sind mittlerweile alle vorhanden. Was zur konkreten Verwirklichung notwendig ist, sind eine Vision, eine Strategie und eine zukunftsweisende Konzeption. Intention dieses Publikation ist es, Ihnen Hilfestellungen, Anregungen, wertvolle Informationen und Erfahrungen aus meiner langjährigen Beraterpraxis mit auf den Weg zu geben. Im Übrigen bilden die PDM/PLM-Konzepte dieses Buches auch die Grundlage für den Aufbau und die Nutzung des Virtuellen Produkts/Digitalen Zwillings im digitalen Cyber-Arbeitsraum, dem sogenannten „Metaverse“, in dem die physische Realität standortübergreifend virtuell abgebildet wird.

An dieser Stelle möchte ich allen Personen und Unternehmen danken, die Anregungen gegeben und Bildmaterial für dieses Buch zur Verfügung gestellt haben, insbesondere meinem lieben Freund, Prof. Dr.-Ing. Qi Guoning von der Universität Hangzhou, der leider viel zu früh verstorben ist. Besonders herzlichen Dank richte ich an meine Frau Renate für ihre Unterstützung, ihr Verständnis, ihren Rat und ihre Anregungen. Ohne ihr Engagement wäre das Buch in dieser Form nicht möglich gewesen.

Hohenthann bei München, im Juli 2023

Josef Schöttner

1

Anforderungen an Industrieunternehmen

Die Fertigungsindustrie sah sich in jeder Phase der technisch-wissenschaftlichen Entwicklung mit herausfordernden Aufgaben konfrontiert. Dies begann mit der Mechanisierung der Arbeit im Zuge der Industrialisierung, setzte sich fort in der Massenproduktion durch Fließbandfertigung und fand ihren Höhepunkt in der Automatisierung der Arbeitsprozesse durch elektronische Informationstechnik zu Beginn der 1970er-Jahre. Gegenwärtig erleben wir den nächsten Abschnitt in der Reihe der industriellen Evolutionen. Mit Web-Technik kommunizierende – sogenannte cyber-physische – Produktionssysteme sollen die Basis für die „Intelligente Fabrik“ sein, mit der die massiven Veränderungen infolge der Globalisierung der Wirtschaft bewältigt werden können. Hierbei handelt es sich zweifellos um einen vielversprechenden Ansatz zur Verbesserung der Wettbewerbsstärke eines Fertigungsunternehmens. Dennoch wird dies allein nicht ausreichen, um die künftigen Anforderungen der internationalen Märkte erfüllen zu können. Es wird nötig sein, auch in den fertigungsvorgelagerten Arbeitsprozessen der Produktentwicklung neue Wege zu gehen.

1.1 Innovationsdynamik

Die Zahl der Wettbewerber zeigt schon seit Jahren einen kontinuierlichen Anstieg. Egal ob Maschinen-, Anlagen- oder Fahrzeugbau, neue Anbieter, insbesondere in Schwellenländern, werden die Wettbewerbssituation vieler – auch etablierter – Unternehmen weiter verschärfen. Hinzu kommt ein hoher Grad an Marktsättigung im Bereich der Konsumgüter in Regionen mit hohem Lebensstandard. Dies führt bei manchem Unternehmen gerade in wichtigen Märkten zu einer stagnierenden oder gar abnehmenden Nachfrage. Dies ist eine bedrohliche Situation, der nur mit ständig neuen Kaufanreizen begegnet werden kann. Hohe Innovationskraft und Innovationsdynamik sind notwendig, um den Wettbewerb bei diesen Gegebenheiten erfolgreich

gestalten zu können. Da der technische Fortschritt nicht jederzeit völlig neuartige Produkte möglich macht, sind in immer kürzeren Zyklen partielle Neuerungen zu realisieren, die in der Lage sind, den Kunden zum Kauf eines modifizierten Produkts zu bewegen, obwohl das alte noch zuverlässig seine Aufgabe erfüllt. Innovationen dieser Art betreffen Produktmerkmale wie Design, Handhabung, Funktion oder Energieverbrauch. Im Besonderen der Energieverbrauch gewinnt angesichts des Klimawandels zusehends an Bedeutung. Bei weltweit wachsendem Bedarf, im Privat- ebenso wie im Geschäftsbereich, sind Produkte mit geringem Strom- oder Treibstoffverbrauch sehr gefragt. Innovationen in diesem Sektor versprechen demzufolge eine große Nachfrage. Doch auch Trends im Zuge der Digitalisierung spielen eine immer wichtigere Rolle. Mit neuen Produktideen den Prozess der digitalen Transformation aktiv mitzugestalten, schafft voraussichtlich in allen Absatzmärkten beste Zukunftsperspektiven.

1.2 Produktkomplexität

Mit der Zunahme der technischen Möglichkeiten und den steigenden Anforderungen der Nutzer, nimmt auch die Komplexität besonders in den Bereichen Maschinen- und Anlagenbau weiter zu. Vor allem mechatronische Systeme mit einem hohen Maß an Funktionsvariabilität und Anwendungsflexibilität sind hier zu nennen. Diese umfassen Mechanik/Hydraulik/Pneumatik-, Elektrik/Elektronik- sowie Software-Komponenten und wirken vielschichtig zusammen. Um die Entwicklung und den Bau solcher Systeme wirtschaftlich zu beherrschen, sind einige grundlegende Voraussetzungen erforderlich. Dazu gehören eine Modularisierung und außerdem ein abgestimmter fachübergreifender Entwicklungsprozess. Hierin ist die Automatisierung das Bindeglied und zugleich verantwortlich für den Grad an Komplexität. Als Querschnittstechnologie verlangt die Automatisierung das „konzertierte“ Zusammenwirken der Arbeitsgebiete Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik. Bereits in der Konzeptphase müssen alle fachlichen Belange hinsichtlich Aufbau, Funktion und Verhalten des Systems berücksichtigt bzw. geklärt werden. Es ist eine große Herausforderung, wenn die Mitarbeiter der involvierten Fachbereiche verschiedenen Organisationseinheiten (Abteilungen) und nicht einer Funktionseinheit (Geschäftsprozess) zugeordnet sind. Noch schwieriger ist die Zusammenarbeit, wenn die mechanische Konstruktion, wie meist historisch bedingt, im Mittelpunkt der Produktentwicklung steht, denn schließlich sind intensive Kommunikation und Team-Bewusstsein für die Schaffung hochkomplexer Systeme unerlässlich. Nicht minder wichtig ist die Zusammenführung der Arbeitsergebnisse zu einer vollständigen Produktdokumentation, allem voran die mechatronische Produktstruktur/Stückliste. Da die Datenmenge in der Regel in direktem Zusammenhang mit dem Komplexitätsgrad einer Maschine oder Anlage steht, ist die sukzessive Verknüpfung der Produkt- und Prozessdaten ent-

sprechend dem Arbeitsfortschritt unverzichtbare Notwendigkeit. Eine geeignete Systemplattform dafür bereitzustellen, ist folglich eine der Kernaufgaben in jedem Fertigungsunternehmen.

1.3 Produktqualität

Produktqualität ist auch in unserer schnelllebigen Zeit ein gewichtiger Wettbewerbsfaktor. Qualitativ hochwertige Güter (Haushaltsgeräte, Automobile, Werkzeugmaschinen etc.) haben, sofern sie zudem ein solides Preis-Leistungs-Verhältnis bieten, beste Absatzchancen. Dies gilt insbesondere für Produkte, die mit einem wohlklingenden Marken-Image behaftet sind. Qualität zu „bauen“ ist also für jedes produzierende Unternehmen ein Muss. Wie aber zeigt sich Qualität, und wodurch wird sie bestimmt? Zuverlässigkeit, Leistung, Sicherheit, Energieverbrauch etc. sind elementare Merkmale zur Bewertung der Güte eines Produkts. Darüber hinaus sind die Kriterien Recycling-Fähigkeit, Ressourcen-Schonung, Klimabilanz und Umweltauswirkungen ein Maßstab. Verantwortlich für die Produkteigenschaften sind in erster Linie die Mitarbeiter des Technischen Büros (TB). Die Produktentwicklung hat den größten Einfluss auf die Produktqualität. Zum einen werden von den Engineering-Bereichen die konstruktiven Lösungen zur technischen Umsetzung des Pflichtenhefts festgelegt, und zum anderen bestimmt die Qualität der angefertigten Bauunterlagen die Qualität der Produktion. Damit in den komplexen Engineering-Prozessen die besten Ergebnisse erzielt werden können, genügt es nicht, nur zu definieren, was zu erbringen ist, es ist überdies zu klären, wie bzw. mit welcher Vorgehensweise ein Ergebnis erbracht werden soll. Beruhen Prozessdurchläufe auf persönlichen Sichtweisen von Mitarbeitern, besteht die Gefahr, bei gleichen Aufgaben projektabhängige Resultate zu bekommen. Dies hat zur Folge, dass etwa bei der Ausführung von Kundenaufträgen kein einheitliches Qualitätsniveau gewährleistet werden kann. Tritt bei dieser Sachlage bei einem Kunden in der Nutzungsphase ein Qualitätsproblem auf, ist es kaum möglich, die Ursachen zu ermitteln, da keine allgemein gültigen reproduzierbaren Abläufe vorliegen bzw. dokumentiert sind.

Um bei allen Arbeiten gleichbleibend die geforderte Ergebnisqualität sicherzustellen, ist ein methodisches Regelwerk zur Qualitätssicherung (QS) erforderlich. Den Rahmen dazu bildet die Normenfamilie ISO 900x und im Automobilbau darauf basierend die IATF 16949. Damit kann eine Systematik für umfassendes Qualitätsmanagement (QM) entwickelt werden, die die individuellen Gegebenheiten und Ziele eines Unternehmens in den Mittelpunkt stellt. Das Ergebnis – im QM-Handbuch dokumentiert – ist Leitfaden für alle produktbezogenen Aufgaben. Für Produktentwicklung und Arbeitsplanung bedeutet dies, dass von der Konzeption bis zur Fertigstellung der Produkt- und Prozessdaten alle Tätigkeiten mit qualitätssichernden Maßnahmen (z. B. Design- und Prozess-FMEA) erfolgen (Bild 1.1). Produktqualität wird auf diese Weise

systematisch geplant, organisiert und fortwährend geprüft. Die Vorgaben für diese Art von Qualitätsplanung und -sicherung (Advanced Product Quality Planning, APQP) lassen sich mit integralem Daten-, Prozess- und Projektmanagement einer hochentwickelten PLM-Arbeitsplattform erfüllen. Sie sammelt und verteilt die anfallenden Produkt- und Prozessdaten in allen Phasen der Projektabwicklung. Besondere Bedeutung haben hierbei spezifisch definierte Freigabeverfahren am Ende jeder Phase des Entwicklungsprozesses. Sie gewährleisten nicht nur, dass die Anforderungen der Kunden bzw. Auftraggeber erfüllt werden, auch die Zahl später Änderungsschleifen und folglich die Höhe der Änderungskosten lassen sich deutlich absenken.

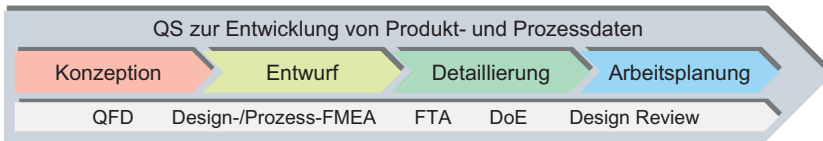


Bild 1.1 Qualitätssicherung für Produktentwicklung und Arbeitsplanung (AP)

1.4 Kundenlösungen

Sowohl im Investitions- als auch im Konsumgüterbereich verlangen Kunden immer häufiger nach individualisierten Produkten, die zu einem günstigen Preis und in guter Qualität angeboten werden. Einheitsprodukte mit den Mitteln der Massenproduktion zu bauen, ist für ein wirtschaftliches Auskommen vielfach nicht mehr ausreichend. Nötig sind Prozessstrukturen, mit denen flexibel und profitabel auf individuelle Kundenwünsche reagiert werden kann. Vor allem bei internationaler Ausrichtung ist dies unerlässlich, da allein schon gesetzliche, gesellschaftliche und/oder kulturelle Besonderheiten in den Regionen zu einer gewissen Diversifikation zwingen. Die Herausforderung ist, Produktvarianten systematisch nach der Methode „Massenhafte Spezialanfertigung“ anbieten zu können. Dazu ist es nötig, das Produktportfolio auf der Grundlage von Erfahrungen und Marktanalysen auf entsprechende Produktbaukästen abzubilden. Diese bestehen aus Standard- bzw. Gleichteilen sowie aus alternativen und gegebenenfalls optionalen bzw. ergänzenden Teilevarianten.

Im Falle von Konsumgütern (Smartphone, Staubsauger, Fahrrad etc.) genügt es im Allgemeinen, Produktmerkmale wie Form, Größe, Material, Funktion, Leistung etc. in einer bestimmten Bandbreite zu offerieren. Die Zahl der Varianten lässt sich auf diese Weise relativ gut eingrenzen, und das Produktionsprogramm bleibt folglich in einem überschaubaren Rahmen. Anders verhält es sich bei vielen Investitionsgütern. Hier entsteht durch die Fülle kundenspezifischer Individualanforderungen nicht selten eine enorme Zahl an Produktvarianten. Jeder Kundenauftrag ist de facto ein neues Produkt. Mit klassischer Auftragskonstruktion ist diese Situation kaum zu bewältigen.

Der Aufwand für Entwicklung, Arbeits- und Prozessplanung sowie für Beschaffung und Produktion ist hoch, ebenso die Durchlaufzeiten und Kosten. Um dieses Dilemma zu umgehen, muss vornehmlich herkömmliche Konstruktionsarbeit durch intelligente Konstruktionsmethodik ersetzt werden. Die Herausforderung lautet auch hier: Kundenlösungen müssen weitgehend mit Produktbaukästen konfiguriert anstatt aufwendig und unwirtschaftlich konstruiert werden.

1.5 Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit ist die zentrale Anforderung an jedes Industrieunternehmen schlechthin. Sie ist die Voraussetzung für eine „gesunde“ Entwicklung und darüber hinaus zur Sicherung des Fortbestands. Wirtschaftlichkeit wird erreicht, wenn bei einem am Markt erzielbaren Verkaufserlös genügend Marge zur Verfügung steht, also eine günstige Kostenstruktur vorliegt. Hierfür ist hohe Produktivität in den Wertschöpfungsprozessen notwendig. Dafür verantwortlich zeichnen die Bereiche Produktentwicklung, Arbeitsplanung, Produktionsplanung und Beschaffung sowie Teilefertigung und Montage. Besonders großen Einfluss auf die Prozessleistung und somit auf Produktivität und Wirtschaftlichkeit haben die der Fertigung vorgelagerten Arbeiten (Bild 1.2). Produktentwicklung und Arbeitsplanung sind anspruchsvolle Aufgaben mit hohem Personaleinsatz. Etwa 70 % der Entwicklungskosten sind Personalkosten. Mit einem durchschnittlichen Anteil von ca. 5 % an den Produktkosten ist dies ein verhältnismäßig kleiner Kostenblock. Produktentwicklung und Arbeitsplanung legen jedoch zusammen rund 90 % der Produkt(ions)kosten fest. Wenn Produktivität und Wirtschaftlichkeit gesteigert bzw. Kosten gesenkt werden sollen, ist das nur durch geeignete Veränderungen in den fertigungsvorgelagerten Prozessen zu bewirken.

Die Einflussmöglichkeiten von Beschaffung und Produktion sind vergleichsweise gering. Um die Kosten für Teilefertigung und Montage insbesondere bei kleinen Losgrößen trotzdem so niedrig wie möglich zu halten, sind hochautomatisierte flexible Fertigungsmittel notwendig. Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) mit hohem Automatisierungsgrad können den Fertigungsdurchlauf merklich verkürzen. Dennoch wird das Fundament für Wirtschaftlichkeit im Technischen Büro gelegt. Automatisierung als Methodik muss bereits in der Konstruktion ein Thema sein. Nicht alle Teile eines neuen Kundenauftrags müssen neu konstruiert werden. Mit Teilevarianten aus einem intelligenten Konstruktionsbaukasten lässt sich die Entwicklung immer neuer Teile vermeiden oder zumindest stark einschränken. Teilwiederverwendung ist in dieser Hinsicht die wirtschaftlichste aller Methoden. Sie reduziert die Aufwände für Entwicklung und Konstruktion, für Arbeits- und Prozessplanung, für Produktionsplanung und Beschaffung, für Teilefertigung und sogar für Montage sowie für Qualitätssicherung und weitere Aufgaben. Außerdem lassen sich Material, Werkzeuge, Vorrichtungen und Prüfmittel einsparen.

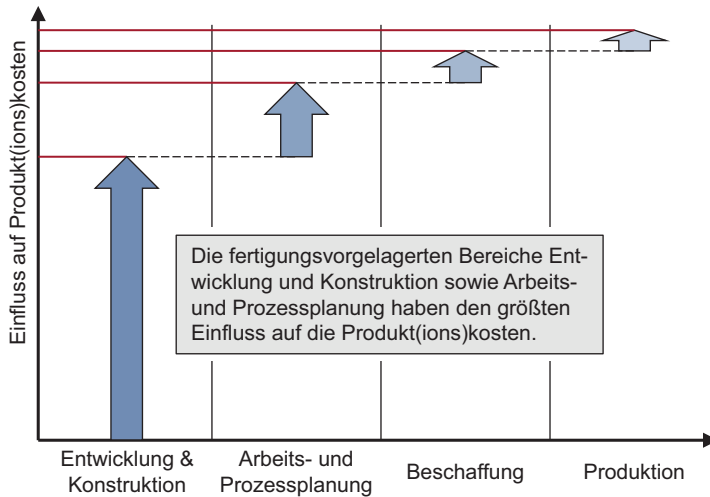


Bild 1.2 Einfluss der Arbeitsbereiche auf die Produkt(ions)kosten

Der Schlüssel für das wirtschaftliche Gesamtergebnis eines Fertigungsunternehmens liegt ohne Zweifel in den fertigungsvorgelagerten Prozessen. Die Denk- und Handlungsweise hauptsächlich in der Mechanik-Konstruktion bestimmt sowohl die Durchlaufzeit in der Produktentwicklung als auch die Dauer des Auftragsdurchlaufs insgesamt. Wenn der Fokus nur auf der Verkürzung der Durchlaufzeit im Technischen Büro liegt, kommt es durch den intensiven Einsatz von leistungsfähigen CAE-Anwendungen wie CAD, FEA und DMU zu einer unkontrollierten Teilevermehrung. Die teilebeschreibenden Geometriemodelle und Zeichnungen sind zwar relativ schnell angefertigt, gleichzeitig entstehen aber hohe Folgekosten in den Logistikprozessen Produktionsplanung, Beschaffung, Teilefertigung, Montage und Qualitätsprüfung. Die alternative Strategie, nämlich der Aufbau eines Konstruktionsbaukastens und in der Folge der Aufbau von Produktbaukästen, ist der bessere Weg. Ein standardisierter Teilevorrat und folglich eine hohe Flexibilität bei Individualanforderungen bei gleichzeitiger Senkung der Produkt(ions)kosten ermöglichen günstige Preise, beständige Qualität und garantieren einen hohen Absatz bei guter Wirtschaftlichkeit.

2

Produktionsformen für Kundenlösungen

Eine Lösung für individuelle Kundenanforderungen zu realisieren, verlangt bei konventioneller Vorgehensweise einen hohen Aufwand für die Entwicklung der Bauunterlagen. Konventionelle Vorgehensweise heißt, jeder Kundenauftrag wird praktisch als neues Entwicklungsprojekt betrachtet. Mit CA-Engineering-Tools werden somit mehr oder weniger viele teure „Einzelstücke“ entwickelt. Zu jedem neuen Teilemodell kommen eine neue Zeichnung, ein neuer Arbeitsplan, ein neues NC-Programm und gegebenenfalls weitere neue Produkt- oder Prozessdokumente (FEM-Analyse, Prüfplan etc.) hinzu. Dies führt neben einem hohen Aufwand im Technischen Büro zudem zu hohen Fertigungs- und Montagekosten. Da die Stückzahlen bei individuellen Kundenaufträgen meist nur 1+ betragen, lassen sich die Kosten für die Entwicklung der Bauunterlagen nicht wie bei der Serienproduktion auf die einzelnen Erzeugnisse verteilen. So ergeben sich unabwendbar hohe Stückkosten. Um den Stückpreis dennoch wettbewerbsfähig zu gestalten, muss notgedrungen auf Marge verzichtet werden, was letztlich eine unbefriedigende Umsatzrendite mit sich bringt.

Die bessere Alternative zur klassischen Auftragskonstruktion ist die Abwicklung spezifischer Kundenaufträge auf der Grundlage eines Baukastensystems. Anstatt das Rad für jeden Kundenauftrag in anderer Ausführung neu zu erfinden, können fachliche Kompetenz und Kreativität des Entwicklungspersonals anderweitig eingesetzt werden. Der Aufbau eines Baukastensystems ist eine lohnende Investition. Mit erprobten standardisierten Baukomponenten sind hohe Qualität und Zuverlässigkeit, kurze Lieferzeiten, hohe Wettbewerbsfähigkeit und schließlich wirtschaftliche Kundenprojekte möglich. In Abhängigkeit vom Geschäftsmodell kommt es jeweils darauf an, die geeignete Produktionsform für die Ausführung von profitablen Kundenaufträgen zu etablieren.

2.1 Design to Order/Engineer to Order

Die Produktionsform „Design to Order“ (DTO) beschreibt den gängigen Prozess im Sondermaschinenbau. Die Leistungserbringung erfolgt im Rahmen einer Auftragskonstruktion. Das Produkt wird für den Kunden nach dessen Vorgaben konstruiert und gefertigt. Der Auftraggeber (Kunde) ist stark in das Projekt eingebunden. Das Produkt muss in weiten Teilen oder sogar komplett konstruktiv neu aufgebaut werden. Bis auf Norm- und Katalogteile und gegebenenfalls einige bereits vorhandene nutzbare Entwicklungsteile (Buchsen, Halter, Hebel etc.) kommen überwiegend auftragsbezogene Neuteile zum Tragen. Je mehr neue Auftrags- bzw. Sonderteile notwendig sind, umso länger dauert der Auftragsdurchlauf und umso höher sind die Produktkosten. Mit einem Standardisierungsprojekt lässt sich hier einiges verbessern. Ein Konstruktionsbaukasten mit immer wiederkehrenden Teilevarianten für bestimmte Funktionen (Lagerung, Transport, Positionieren etc.), die bis zu einem gewissen Umfang auch im Sondermaschinenbau möglich sind, kann den Gesamtaufwand für den Bau kundenspezifischer Maschinen merklich verringern.

Die Produktionsform „Engineer to Order“ (ETO) ist die gängige Methode im Anlagenbau. Ähnlich wie bei einem DTO-Auftrag wird die Leistung für einen bestimmten Kunden erbracht. Zwischen Kunde und Auftragnehmer findet üblicherweise eine intensive Zusammenarbeit statt. Wenn für erforderliche Anlagenkomponenten keine standardisierten Module verfügbar sind, müssen diese entsprechend der Projektierung bzw. Auslegung neu konstruiert und gebaut werden (Bild 2.1).

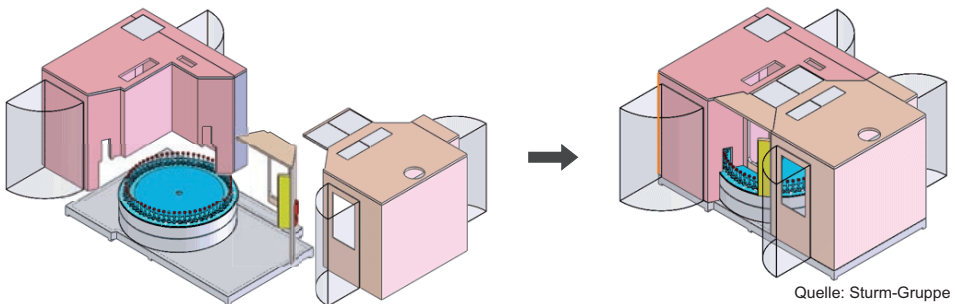


Bild 2.1 Beispiel: Layout-Konzept einer Beschichtungsanlage

Selbst wenn sich für alle projektierten Anlagenkomponenten Standardmodule am Markt beschaffen lassen, ist häufig noch das Problem der Modulschnittstellen zu lösen. Die Standardmodule müssen ein funktionierendes Gesamtsystem ergeben. Der Anlagenbau bringt daher noch größere Herausforderungen mit sich als der Sondermaschinenbau. Besonders kritische Punkte sind die Kalkulation und die Terminplanung sowie der Kapitalbedarf. Da Anlagen meist ein erhebliches Auftragsvolumen

aufweisen und lange Projektlaufzeiten bedingen, besteht die Gefahr, dass ein Teil der kalkulierten Rendite auf der Strecke bleibt. Dieses Risiko lässt sich mit einem Anlagenbaukasten, der alle Module des betreffenden Anlagentyps einschließt, deutlich reduzieren.

Die Produktionsformen „Design to Order“ und „Engineer to Order“, egal ob im Maschinen- oder Anlagenbau, erfordern einen hohen Aufwand in allen Bereichen der Auftragsabwicklung. Wenn die notwendigen Komponenten für eine definierte Aufgabenstellung nicht vorhanden oder nicht zu beschaffen sind, müssen diese neu konstruiert und hergestellt werden. Selbst wenn für eine kundenspezifische Maschine oder Anlage etliche Standardkomponenten genutzt werden können, ergibt sich aus den Bauunterlagen (Zeichnungen, Arbeitspläne, NC-Programme, Stücklisten etc.) ein eigener Fertigungs- und Montageablauf. Für völlig neue Anforderungen aus völlig neuen Anwendungen oder Anwendungsgebieten lässt sich der Aufwand einer Einzel- bzw. Sonderanfertigung nicht vermeiden. Sollte sich aus einem vermeintlich „exotischen“ Auftrag im Nachgang ein neuer Maschinen- oder Anlagentyp mit gutem Geschäftspotenzial herauskristallisieren, stellt sich die Frage, ob die Entwicklung eines Konstruktions- oder gar Produkt- bzw. Anlagenbaukastens auf längere Sicht eine rentable Investition darstellen würde.

2.2 Make to Order

Die Produktionsform „Make to Order“ (MTO) wird auch als „Build to Order“ (BTO) bezeichnet. Es handelt sich dabei um eine klassische Auftragsfertigung. Die angebotenen Produkte (Boote/Jachten, Fertighäuser, Schienenfahrzeuge etc.) sind Varianten einer oder mehrerer Produktfamilien. Jede Variante ist mit festgelegten Merkmalen und Eigenschaften (z. B. Farbdesign, Kapazität und Ausstattung) definiert (Bild 2.2). Änderungswünsche sind grundsätzlich möglich, machen allerdings je nach Umfang mehr oder minder aufwendige Konstruktionsarbeit notwendig. Aus einer konfigurierten Produktvariante einer Produktfamilie entsteht durch Anpassungskonstruktion ein spezifisches Auftragsprodukt. Jedes Auftragsprodukt, das auf diese Weise hergestellt wird, hat grundsätzlich eine Verbindung zu seiner standardisierten Ausgangsvariante. Dies ermöglicht in jeder Prozessphase eine eindeutige Rückverfolgbarkeit der ausgeführten Arbeiten. So ergibt sich zu jeder Zeit ein transparentes Bild über die realisierten Anpassungswünsche von Kunden in Bezug auf die angebotenen Produktvarianten. Aus diesem Wissen lassen sich weitere verkaufsfördernde standardisierte Produktvarianten für die jeweiligen Produktfamilien ableiten.



Quelle/Copyright: ALSTOM

Bild 2.2 Beispiel: Straßenbahn-Baureihe

Die MTO-Produktion beginnt erst mit dem Auftragseingang. Die Vorhaltung von Materialien schließt daher meist nur Rohteile, Halbzeuge und Kaufteile ein. Doch auch Gleichteile, die in jedes Kundenprodukt einfließen, werden nach Möglichkeit auf Lager produziert. Aufwendige Baukomponenten hingegen werden rein auftragsbezogen gefertigt oder beschafft. Ohne sichere Absatzprognose ist bei hochwertigen Erzeugnissen (z. B. Schienenfahrzeuge) mit relativ großer Varianz aus wirtschaftlicher Sicht eine Vorproduktion nicht tragbar. So ist nahezu die gesamte Leistungserbringung (Disposition, Beschaffung, Fertigung und Montage) immer an einen Kundenauftrag gekoppelt. Durch die im Normalfall geringeren Stückzahlen pro Auftrag sind die Produktionskosten etwas höher; dafür ist andererseits die Kapitalbindung für lagerhaltige Fertigware geringer. Außerdem lassen sich mit variantem Lieferprogramm Kundenwünsche bereits größtenteils erfüllen, gleichzeitig kann schnell und flexibel auf neue Anforderungen und Markttrends reagiert werden.

2.3 Assemble to Order

Die Produktionsform „Assemble to Order“ (ATO) ist ein Mix aus auftragsneutraler Teilefertigung einschließlich teilweiser oder vollständiger Vormontage sowie auftragsbezogener Endmontage. Wie bei der MTO-Auftragsproduktion beruht die ATO-Lager- und -Auftragsfertigung auf einem Lieferprogramm mit definierten Produktvarianten einer oder mehrerer Produktfamilien/Baureihen. Beispiele hierfür sind Baumaschinen, Kraftfahrzeuge, Werkzeugmaschinen etc. Jede Produktvariante stellt einen eindeutigen Zusammenbau (Konfiguration) mit spezifischen Merkmalen und Eigenschaften (z. B. Bauart, Farbe, Ausstattung und Leistung) dar (Bild 2.3). Obwohl bei ATO-Produkten häufig aus einer enormen Zahl an Produktvarianten gewählt werden kann, sind bei diversen Angeboten sogar noch Änderungswünsche (z. B. Sonderfarbe) ohne großen Aufwand machbar. Weitergehende Anliegen (z. B. Maßänderungen), sofern diese überhaupt realisierbar sind, können hingegen einen gewissen konstruktiven Aufwand hervorrufen.



Bild 2.3 Beispiel: Automobil-Baureihe

Mit dem Auftragseingang beginnen die Montagearbeiten mit entsprechenden lagerhaltigen Komponenten (Teile, Baugruppen und Module) und gegebenenfalls mit abgerufenen Just-in-Time-Lieferungen. Der Bedarf an einer Vorfertigung hinsichtlich der Stückzahlen basiert auf einer prognostizierten Nachfrage. Besonders bei hochwertigen Gütern ist eine zuverlässige Bedarfsprognose unerlässlich. Größere Abweichungen von den Planzahlen füllen das Lager und binden Kapital. Eine schnelle Auftragsabwicklung mit der ATO-Produktionsform ist daher nur bei geringer Lagerhaltung und mittleren bis großen Erzeugnis-Stückzahlen ertragreich. Mit zunehmender Zahl an Produktvarianten wird eine verlässliche Bedarfsprognose immer schwieriger, und die Zahl an Gleichteilen nimmt tendenziell ab. Gleichzeitig erhöht sich die Zahl an Teilevarianten. Für die auftragsneutrale Vorfertigung bedeutet dies, dass mit kleineren Fertigungslosen gearbeitet werden muss. Ob Industriegüter (Baumaschinen, Landmaschinen, Werkzeugmaschinen etc.) wirtschaftlicher mit der Produktionsform „Assemble to Order“ oder „Make to Order“ herzustellen sind, lässt sich nur unter Berücksichtigung aller spezifischen Gegebenheiten seriös entscheiden. Es besteht im Zweifelsfall die Möglichkeit, den Grad an ATO-Vorfertigung um kritische Baukomponenten mit hoher Varianz und hohen Kosten zu verringern.

2.4 Pick to Order

Der Begriff „Pick to Order“ (PTO) beschreibt die Auftragsabwicklung bei einem Lieferprogramm mit geringer Varianz. Die Unterschiede der möglichen Produkte einer Familie sind vergleichsweise einfach zu erfassen und ihr Komplexitätsgrad ist eher gering. Zur Auswahl einer der Varianten ist nicht unbedingt ein Produktkonfigurator erforderlich (Bild 2.4). Es existieren üblicherweise keine oder nur geringe Abhängigkeiten zwischen den Baukomponenten. Die Zusammenstellung bzw. Konfiguration einer Kundenvariante kann meist ohne Mühe mit einer Variantenstückliste oder einem Produktkatalog erfolgen.

Arbeitsplatzleuchte

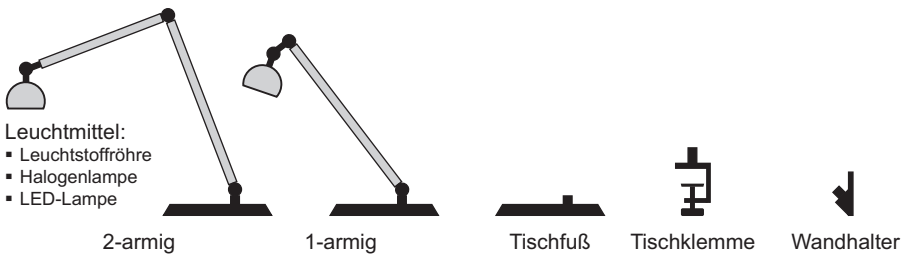


Bild 2.4 Varianz einer Arbeitsplatzleuchte

Bei Produktvarianten mit hoher Ähnlichkeit und geringer Komplexität ist ein hoher Vorfertigungsgrad machbar, insbesondere dann, wenn die Anzahl der Varianten sich in einem überschaubaren Rahmen bewegt. Die Elemente Standard-, Alternativ- und Ergänzungsteil können größtenteils lagerhaltig geführt werden. Dies setzt eine gute Kenntnis der Kundennachfrage voraus. Jede ausgewählte Produktvariante geht als Kundenauftrag direkt in die Endmontage. Das Beispiel „Arbeitsplatzleuchte“ zeigt ein typisches PTO-Produkt. Zu den aufgeführten Produktmerkmalen/-eigenschaften (z. B. Leuchtmittel) können bei Lieferung in andere Märkte/Länder noch technisch bedingte Varianten (z. B. Netzstecker und Vorschaltgerät) hinzukommen. Auch Farbe und weitere Design-Merkmale können die Varianz, nicht aber die Komplexität, noch etwas erhöhen.

2.5 Configure to Order

Die Produktionsformen „Make to Order“ (MTO) und „Assemble to Order“ (ATO) beruhen – wie bereits dargelegt – auf einem Lieferprogramm mit definierten Produktvarianten einer oder mehrerer Produktfamilien bzw. Baureihen. Eine Produktvariante setzt sich allgemein aus Grund-, Alternativ- und gegebenenfalls Ergänzungsbausteinen zusammen (siehe Abschnitt 4.1.1.6). Bei hoher Varianz ist es nicht mehr möglich, im Vertriebsprozess alle Produktvarianten in überschaubarer Weise zu präsentieren. Liegen zudem Abhängigkeiten zwischen Merkmalen und Eigenschaften von Komponenten der Produktvarianten vor, ist es noch schwieriger, die Übersicht zu behalten. Die Kombinatorik wird schnell komplex. Für jede Produktvariante müssten eigens eine Stückliste zusammengestellt und folglich Tausende von Stücklisten für die Auswahl einer gewünschten Produktvariante durchgesehen werden. So wäre die Wahrscheinlichkeit groß, dass ein Lieferprogramm eine geforderte Kundenvariante enthält, diese aber in der großen Zahl an Produktvarianten nicht auszumachen ist. Um dieses Dilemma zu umgehen, wird ein adäquates Tool gebraucht. Wie die Praxis zeigt, lässt sich nur mit Software-Unterstützung eine praktikable Variantenfindung bewerkstelligen.

Der Begriff „Configure to Order“ (CTO) steht für die Auftragsabwicklung, bei der eine individuelle Kundenvariante im Vertriebsprozess mittels Produktkonfigurator virtuell zusammengebaut und im Produktionsprozess mit der MTO- oder ATO-Methode materialisiert wird. Die Freigabe der konfigurierten Produktvariante durch den Kunden in Verbindung mit der gewünschten Stückzahl bildet den Auftrag für die Produktion (Bild 2.5). Der Produktkonfigurator bekommt als Eingangsinformationen die geforderten Produktmerkmale und -eigenschaften (z. B. bei einem Automobil Karosserieart, Motorleistung, Fahrwerk, Rad- und Reifengröße) und liefert als Ausgangsinformation die dazu passende Produktstruktur bzw. Stückliste. Mit dieser können die Logistikprozesse in Abhängigkeit von der genutzten Produktionsform MTO oder ATO angestoßen werden. Die CTO-Methode ist in der Lage, das Potenzial von Produktbaukästen durchgängig auszuschöpfen. Die transparente Präsentation aller Möglichkeiten des Lieferprogramms mit Kundenorientierung ist im Vertriebsprozess ein realer Wettbewerbsvorteil.

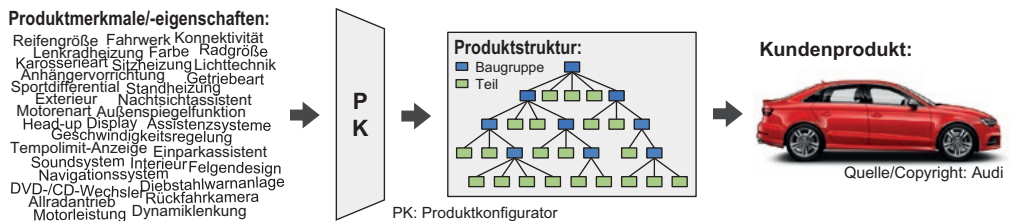


Bild 2.5 Konfiguration eines Automobils (Kundenprodukt/Produktvariante)

2.6 Make to Stock

Die Produktionsform „Make to Stock“ (MTS) kennzeichnet eine reine Lagerproduktion, das heißt Disposition, Beschaffung, Teilefertigung und Montage sind nicht auftragsgetrieben. Die Leistungserbringung geschieht generell auf der Grundlage von Absatzprognosen. Diese müssen im Sinne der Wirtschaftlichkeit so präzise wie möglich ausgeführt werden. Die Verteilung der Ware erfolgt in den meisten Fällen über den Handel. Eine Bestellung ruft die gewünschten Produktvarianten in der jeweiligen Stückzahl aus dem zentralen oder einem der regionalen Fertigwarenlager ab. Um jederzeit eine Balance zwischen Produktion und Absatz zu erreichen, müssen die Produktionszahlen stets auf der Grundlage aktueller Absatzzahlen einer Verkaufsperiode festgelegt werden.

Repräsentative Beispiele für MTS-Produkte sind Digitalkameras, Haushaltsgeräte, Smartphones, Unterhaltungselektronik usw. (Bild 2.6). Alle Produkte dieser Kategorie sind in der Regel nur in wenigen Varianten lieferbar. Andernfalls wäre die Kapitalbindung zu groß. Es gibt bei solchen Produkten nur wenige unterscheidende Merkmale/

Eigenschaften (z. B. Farbdesign). Mit jeder weiteren Differenzierung kämen weitere Produktvarianten hinzu. Für diese müsste zum einen eine zuverlässige Absatzprognose vorliegen, und zum anderen ergäbe sich ein höherer Finanzbedarf. Die Produktionsform „Make to Stock“ eignet sich folglich nur bei Produkten mit geringer Varianz und relativ großen Stückzahlen.



Bild 2.6 Beispiel: Produktfamilie eines Wasserkochers

2.7 Zielsetzung und Abgrenzung

Die Produktindividualisierung nimmt in allen Bereichen des Lebens zu. Für Konsumenten steigt der Kaufanreiz für ein Produkt, wenn dieses nach persönlichen Vorstellungen gestaltet werden kann. Was im Privatbereich eine Frage des Lebensgefühls ist, ist im Geschäftsbereich eine schiere Notwendigkeit. Maschinen und Anlagen müssen eine hohe Funktionsvariabilität und Anwendungsflexibilität bieten, um eine hohe Produktivität bei der massenhaften Spezialanfertigung zu bewirken. Die Zielsetzung für nahezu alle Produzenten lautet daher: Das Produktspektrum muss eine möglichst hohe Varianz aufweisen. Dazu ist für jede Produktart die geeignete Produktionsform zu wählen:

- **Design/Engineer to Order (DTO/ETO):**
Einzel-/Sonderanfertigung – Produkt oder Anlage wird für den Kunden konstruiert und gefertigt bzw. projiziert und montiert
- **Make to Order (MTO):**
Auftragsfertigung – Fertigung nach Auftragseingang gemäß individuellem Kundenwunsch mit Vorhaltung von Rohteilen, Halbzeugen sowie Norm- und Katalogteilen
- **Assemble to Order (ATO):**
Lager- und Auftragsfertigung – auftragsneutrale Vormontage und kundenspezifische Endmontage bei konfigurierbaren Produkten
- **Pick to Order (PTO):**
Lager- und Auftragsfertigung – auftragsneutrale Vorfertigung und Vormontage und kundenspezifische Endmontage bei selektierbaren Produkten

- **Configure to Order (CTO):**

Produktkonfiguration im Vertriebs- und Planungsprozess und Herstellung durch MTO-, ATO- oder gegebenenfalls PTO-Methode im **Produktionsprozess**

- **Make to Stock (MTS):**

Lagerfertigung – auftragsneutrale Vorfertigung und Endmontage aller angebotenen Varianten einer Produktfamilie

Die Herausforderung besteht darin, das richtige Maß an Varianz im Spannungsfeld der Größen Absatz/Stückzahl, Lagerfertigung und Kapitalbindung zu finden. Mit Ausnahme des Sondermaschinen- und Anlagenbaus, bei denen auch Engineering-Arbeiten in die Auftragsabwicklung eingeschlossen sind, hat die Einflussgröße Lagerfertigung besonders große Bedeutung. Die Bandbreite reicht von keinerlei Vorfertigung bis zur vollständigen Montage. Dazwischen liegen die Stufen Teilefertigung und Vormontage. Auch diese Prozessschritte können zu einem geringen Anteil oder sogar vollständig ausgeführt werden. Bei der Produktionsform „Make to Order“ kann es einen gewissen Grad an Vorfertigung und im Falle von „Assemble to Order“ einen gewissen Grad an Vormontage geben. Es kommt darauf an, wo in der Produktstruktur sich die varianten Bauelemente befinden. Der konkrete Produktionsprozess hängt wesentlich vom Aufbau und von den Kosten bzw. dem Verkaufserlös eines Produkts ab. Darüber hinaus spielt die Zielsetzung für die Auftrags- bzw. Produktionsdurchlaufdauer und schließlich für die Lieferzeit eine entscheidende Rolle.

Eine hohe Produktvarianz anbieten zu können, ist eine zukunftsrelevante Unternehmensstrategie und eine fundamentale Voraussetzung für hohe Wettbewerbsfähigkeit. Das Ziel, differenzierte Kundenwünsche bereits mit vorgedachten Produktvarianten abzudecken, geht nicht ohne Neugestaltung des Produktentstehungsprozesses. Die Produktentwicklung baut das festgelegte Lieferprogramm zunächst in Form virtueller Produkte auf, d. h., die Bauunterlagen für alle Produktvarianten bzw. -optionen liegen im Anschluss daran mit Produktionsfreigabe vor. Zur Abwicklung von Aufträgen/Bestellungen (= Logistikteil der Produktentstehung) muss je nach Produktsegment die bestmögliche Produktionsform zur Anwendung kommen. Abhängig davon, ob es sich um ein Einzelprodukt oder eine Klein-, Mittel- oder Großserie handelt, liegt die Wahl zwischen Auftrags- und Lagerfertigung. Mit Sicht auf die Wettbewerbsfähigkeit wird die Entscheidung letztlich von den Produktionskosten bestimmt. Diese lassen sich günstig gestalten, wenn insbesondere die Gleichteilerate und deren auftragsneutraler Vorfertigungsgrad hoch sind (Bild 2.7). Je nach Produktaufbau kann sich Vorfertigung auf unterschiedliche Ebenen beziehen. Gleichteile können sowohl Einzelteile und als auch Baugruppen sein. Mit zunehmender Größe der Auftragslose nehmen die Stückkosten für Gleichteile ab. Dies gilt für die Eigen- und Fremdfertigung gleichermaßen.

Index

A

- Ablaufdiagramm 522, 533
- Ablaufstruktur 133, 522, 528 ff., 590
- Ablösestrategie 690, 704
- Ad-hoc-Änderung 607, 652 ff.
- Ad-hoc-Prozess 534 f., 640
- Ähnlichkeitsprinzip 68, 305
- Ähnlichkeitsteil 107, 117
- Alternativfunktionen 93
- Alternativpfad 299, 309, 688
- Alternativteil 106, 144, 400 f., 417
- Analyse
 - ABC-Teile- 73, 219
 - Geometrie- 74, 109
 - Parameter- 75
- Analysennummer 485
- Änderung
 - Ad-hoc- 607, 652 ff.
 - Marginal- 607, 648 ff.
 - Standard- 607, 622
- Änderungsantrag 624 ff.
- Änderungsauftrag 624 ff., 641
- Änderungsausschuss 616 f., 649, 653
- Änderungsdaten 641, 644 ff., 657
- Änderungsfälle 607
- Änderungsindex 681
- Änderungskosten 4, 124
- Änderungsmanagement 201, 606 ff.
- Änderungsnummer 626, 660
- Anforderung
 - Komponenten- 662
 - Produkt- 131, 606
 - System- 662
- Anforderungsdefinition 662 f., 666
- Anforderungskategorien 663, 671
- Anforderungsmanagement 201, 661
- Anforderungsstruktur 131, 139, 662, 666
- Anlagenbaukasten 9
- Anpassungskonstruktion 143, 151, 548
- Anwendungsflexibilität 125, 395
- APT-Teileprogramm 62
- Arbeitsdaten 757
- Arbeitsplan 63, 190, 747
- Arbeitsplanung 68, 412, 417, 428
- Arbeitsvorbereitung 123, 184, 650, 676
- Artikelnummer 689 ff.
- Assembly-Struktur 356, 435
- Assoziation 28, 208
- A-Teil 72 f., 108, 117, 306
- Attribut 203 f.
- Aufgabendefinition 570 ff.
- Aufgabenplanung 591 ff., 681
- Aufgabenstruktur 569, 573 ff., 593 ff.
- Aufgabentyp 528, 575
- Auftragsdurchlauf 6, 123, 152

Auftragsdurchlaufplanung 753
 Auftragsfertigung 14, 117, 756
 Auftragskonstruktion 148 ff., 154 f.
 Auftragsprodukt 121, 143 ff., 219
 Auftragsrückmeldung 753
 Auslegungsprozess 107
 Auswahlkatalog 228
 Auswirkungsanalyse 632 f., 638
 Automatisierung 2, 5, 185, 451
 Automatisierungsgrad 5, 17, 117
 Autorensysteme 734, 740, 745

B

Balkendiagramm 592
 Balkenplan 591 f.
 Barcode-Label 753
 Basiseinheit 95, 233
 Basisgeometrie 24
 Baugruppe
 – Alternativ- 150, 153
 – Anpassungs- 154
 – Bezugs- 450
 – Ergänzungs- 146, 150, 153
 – Funktions- 572
 – Gleichteil- 146, 502
 – Haupt- 24, 49 ff., 420, 449
 – Kauf- 217
 – Konstruktions- 412 ff., 432
 – Modul- 667
 – Montage- 218, 409, 412
 – Pseudo- 432
 – Roh- 218, 268, 279
 – Schweiß- 278 f., 442 ff.
 – Service- 219, 449 f.
 – Standard- 16, 42
 – Top- 615
 – Transport- 218
 – Unter- 49 ff., 419 f., 449
 – Varianten- 49 ff., 151, 502
 Baugruppen
 – Haupt- 52
 Baugruppenart 420, 425, 449, 681
 Baugruppenrevision 456 f.
 Baugruppenvariante 42 f., 55
 Baukastenelemente 29, 33, 47, 55
 Baukastenprinzip 24, 42, 77
 Baukastensystem 7, 20, 24, 69
 Baureihe 99 f.
 Bauteilzeichnung 19
 Bauunterlage 154
 Bauunterlagen 149, 152, 192
 Begriffsbeziehungen 695
 Begriffslexikon 701 ff.
 Begriffsmerkmale 699
 Begriffssystem 228, 695, 702
 Bemusterung 481 f.
 Benennung
 – Einwort- 696
 – Kurzform- 697 f.
 – Mehrwort- 697
 Benennungsbildung 695 ff.
 Benennungskatalog 699 ff.
 Benennungssystem 182, 702
 Benennungswildwuchs 294, 696, 702 f.
 Benutzerhandbuch 323, 333 f.
 Berechtigungsmanagement 187, 201, 709
 Berechtigungsschema 712
 Beschaffung 157 f.
 Beschreibungsdaten 188, 203
 Betriebsdatenerfassung 752 f.
 Betriebsleitebene 753, 756
 Betriebsmittelkonstruktion 199, 520
 Beziehungswissen 26, 41
 Bildkennung 284
 Bildungsregel 230
 Blattinhalt 369 ff.
 BPMN-Prozessmodellierung 523
 B-Teil 72 f., 108, 117, 159

C

Caching 724
 CAD-Makro 173 ff.
 Chargennummer 480
 CLDATA 62
 Cloud-Rechenzentrum 731 ff.

C-Teil 72, 158, 219
Customer Relationship Management 703

D

Darstellungsgrad 350 f.
Dateiname 198, 707
Dateiversion 376
Datenausleitung 727
Datenaustausch 728 ff.
Datenbank 187, 196, 705 ff.
Datenbankformular 317
Datenkorrektur 607, 656 f.
Datenmanagement 198, 520, 695
Datenmodellierung 203 f.
Datenobjekt 195 ff., 207
Datenreplikation 723, 726
Datensatz
– Modell- 335, 342, 345, 355 f.
– Unterlagen- 317 ff., 327 ff.
– Zeichnungs- 357, 366, 374
Datensicherheit 564, 710, 713, 733
Datensicherung 197
Design-Freeze 236 ff.
Detailkonstruktion 184, 546, 560 f.
Dienstleistungsarten 426
Digitaler Zwilling 44, 755
Digitales Produkt 755
digitale Transformation 162
Digitalisierungsstrategie 752, 755
Digital Mock-up 19
Dokumentation
– Produkt- 2, 180
– technische 334
– Workflow- 531
Dokumentenmanagement 201, 315, 378
Dokumentkategorie 316
Dokumentrevision 683
Dokumentsprache 333
Durchlaufzeit 6, 117, 183

E

EBOM 408 ff., 413
ECLASS 307
ECM-Prozess 616, 620
ECO-Nummer 643
ECO-Prozess 640, 649, 653, 657
ECR-Nummer 626
ECR-Prozess 623
Eigenfertigungsteil 157, 217
Einbauzustandsvarianten 352 f.
Eindeutigkeitsproblem 345, 739
Elektro-Montage 754
Endmontage 14
ENGDAT-Nachricht 728 ff.
Enterprise Resource Planning 209, 703
Entscheidungstabelle 491 ff.
Entwicklungskonstruktion 129 f., 143, 155
Entwicklungsteil 219
Erfassung
– Arbeitszeit- 586, 752
– Maschinendaten- 752 f.
– Qualitätsdaten- 752
Erfüllungsgrad 577, 583
Ergänzungsteil 106, 143 f.
Ersatzteil-Set 218, 427
Ersatzvariante 74 ff.
Erzeugungsart
– Modell 342
– Unterlage 324
– Zeichnung 365

F

Fachkonzept 705
Fertigteil 429
Fertigteilkontur 60
Fertigungskosten 158, 219
Fertigungsprozess 64
Fertigungszeichnung 44 ff., 363
Filesystem 196 ff., 705 ff.
Finite-Elemente-Analyse 19
Forecast-Planung 602
Formelement 24 f., 38 ff.

Freigabe 560
 Freigabegrad 234, 549 f.
 Freigabephase 233, 549 ff.
 Freigabeprozess 530, 537
 Freigabestatus 234, 549
 Freiheitsgrad 29 f.
 Funktionsebene 92
 Funktionseinheit 2, 91 ff.
 Funktionsmodule 93, 96 ff.
 Funktionsstruktur 92 f., 131 ff., 139
 Funktionsvariabilität 2, 14, 91

G

Gebrauchsphase 236, 549 ff.
 Gegenstandsgruppe 283, 295
 Geometriebaustein 24 ff., 108
 Geometrieklasse 347
 Geometriemodellierung 19, 25
 Geometrieschnittstelle 41
 Geometrievariante 29 ff., 55
 Geschäftsanwendung 202, 733 f.
 Geschäftsobjekt 195, 208
 Geschäftsprozess 123, 187, 529
 Geschätzter Einkaufspreis 464
 Gestaltvariante 32, 158, 739
 Gleichteile 4, 11, 107, 127
 Gleichteilerate 15, 103 ff.
 Gleichteileverwendung 99, 107
 Gleitender Durchschnittspreis 465
 Grundbaustein 21
 Grunddaten 34, 189, 695, 699
 Grundkörper 21, 24, 303 ff.
 Grundreihen 81
 Grundstruktur 75, 572, 661
 Gruppe 566 f.

H

Halbzeug 217, 428 ff., 689
 Hierarchiestufen 24 ff., 681
 Hilfstteil 219, 429 ff.
 Hybridteil 275

I

Ideen-Pool 722
 Identifikationsnummer 678
 IIoT-Plattform 757
 Individualkonfiguration 184, 752
 Individualkonstruktion 183, 752
 Industrie 4.0 127, 751 f.
 Innovationsdynamik 1
 Innovationskraft 1
 Innovationszyklen 28, 35
 Instanziierung 205
 integrale Produktstruktur 408, 421
 Integration
 – PDM-ECAD- 741
 – PDM-ERP- 749
 – PDM-MCAD- 734
 Integrationskonzept 733
 IT-Integrationslösung 733

K

Kalibrierung 484
 Kalkulation
 – mitlaufende 459, 469
 – Nach- 459
 – Vor- 459, 469
 – wissensbasierte 472
 Kalkulationsart 463 f.
 Katalogteil 16, 20, 220
 Katalogteil-Demontage 439
 Klassenbaum 77, 284 f.
 Klassenbildung 281, 305
 Klassenmerkmal 77, 289, 302
 Klassensystem 285
 Klassifikation
 – Dokument- 384
 – Mehrfach- 299 ff., 689
 – Teile- 181, 280, 308
 Klassifikationsnummer 677, 684 ff.
 Klassifikationsstandards 306
 Klassifikationsstruktur 77, 283
 Kollaborationsplattform 731
 Kombinationsnummer 689

Komplexitätsgrad 2, 125, 145
 Konfektionierung 118
 Konfigurationsaudit 606, 655, 675
 Konfigurationsbuchführung 606, 750
 Konfigurationsdialog 168, 510 ff.
 Konfigurationsidentifizierung 606, 750
 Konfigurationsmanagement 209, 606
 Konfigurationsmerkmale 153, 181, 516
 Konfigurationsreferenz 355
 Konfigurationstechnik 32
 Konfigurationsüberwachung 606, 750
 Konstruktionsbaukasten 5, 147 ff.
 Konstruktionsbaustein 28, 107
 Konstruktionselement 25, 28
 Konstruktionsmethodik 5, 125
 Konzeption 469, 559
 Kosteneinsparung 16, 99
 kritischer Pfad 591 f.
 Kundenorientierung 121

L

Lagekoordinaten 176
 Lagerproduktion 13
 Lagewinkel 176
 Langläuferproblem 155
 Lastenheft 323, 661
 Laufzeiterfassung 619
 Lebenszyklus 199, 474, 479 ff.
 Leistungsstatus 583, 586, 597
 Lifecycle-Kenner 537
 Logistikprozesse 6, 689 f., 750
 Logistik-Teilenummer 689
 Losgröße 5, 123, 654
 Lösungsansatz 627
 Lösungsvarianten 717

M

Marktanalyse 4, 130
 Mass Customization 161
 Massenproduktion 4, 161
 Maßvariante 32 f.
 Master-Arbeitsplan 63 ff.

Masterdokument 123, 147, 153
 Master-Teilprogramm 59, 62, 147 f.
 Masterzeichnung 44, 79, 86 ff.
 Masterzeichnungsprinzip 46
 MBOM 408 ff.
 Mehrblattzeichnung 87, 369
 Mehrsprachigkeit 700
 Meldungskatalog 608
 Meldungsnummer 611
 Meldungstext 616
 Mengengerüst 157
 Merkmalbenennung 293
 Merkmaldefinition 282 f., 286 ff., 297 ff.
 Merkmalgruppe 292 ff.
 Merkmalkatalog 297
 Merkmalkategorie 291, 294
 Merkmalkennung 290, 295 ff.
 Merkmalvererbung 298 f.
 Merkmalverknüpfung 297
 Merkmalwert 282 f., 286 ff.
 Metadaten 194, 724
 Mitarbeiterkapazität 596, 600
 Modell
 – Analyse- 340
 – Austausch- 730
 – Draht- 351
 – Explosions- 176
 – Fertigungs- 341
 – Geometrie- 28, 38, 353
 – Konfigurations- 345
 – Korrektur- 341
 – Master- 28 ff., 44, 78
 – Montage- 341
 – Netzstruktur- 448
 – Produkt- 44, 166
 – Prüf- 341
 – Scan- 341
 – Service- 341
 – Solid- 351
 – Standard- 33 f., 84 ff.
 – Varianten- 29 ff.
 – Vorstufen- 154
 Modellbeschreibung 353
 Modelldatensatz 335, 342 ff., 355 f.

Modelldokument 335 ff.
 Modellkonfiguration 169
 Modellnummer 339, 694
 Modellparameter 84
 Modellreihe 95, 668
 Modellrevision 339
 Modellstruktur 34, 39, 356
 Modelltyp 340
 Modellvariante 31 ff.
 Modularisierung 91
 Modulschnittstelle 97
 Montageanleitung 323
 Montagebaugruppe 412
 Montagezeichnung 151 ff., 363
 Multiplizität 208

N

Nachweisführung 55, 347
 Navigationsplattform 187
 Netzplan 590
 Nomenklatur 695
 Normierung 81, 112 ff.
 Normteile 147
 Normzahlen 81 ff.
 Normzahlreihen 81, 647
 Null-Fehler-Prinzip 46
 Nullpunkt 60 ff., 173 ff.
 Nummernablösung 692
 Nummernbild 679
 Nummerngenerator 679
 Nummernkreis
 – objektbezogener 679
 – objektübergreifender 679
 Nummernsystem 676
 – Parallel- 676 f.
 – Verbund- 677
 Nummernteil
 – identifizierendes 677
 – klassifizierendes 677
 Nummerung 676
 Nutzdaten 189 f., 195 f.

O

Objektart
 – Modell 345
 – Zeichnung 369
 Objektklasse 203
 Objektnummer 679
 ODETTE-Standard 728
 Ordnungsprinzip 284
 Ordnungssystem 77, 285

P

Paradigmenwechsel 123, 131
 Parametersatz 31 ff.
 Parametertabelle 29 ff., 736
 Parametrisierung 74, 78 ff.
 Partial-System 121
 PDM 187 f.
 PDM-ERP-Integration 748
 PDM-Integrationsplattform 734
 Pflegestatus 620 ff.
 Pflichtenheft 323, 661 ff.
 Phasenübergänge 559
 Planungsbereich 577
 Plattform-Standardisierung 69, 99
 PLM 233, 733
 PLM-Arbeitsplattform 407, 752
 Positionsnummer 390, 404
 Präfix 679, 696
 Predictive Maintenance 757
 Primärdaten 188
 Priorisierung 622
 Priorität
 – Änderungs- 610
 – PPF- 620
 Prioritätsbildung 610
 Problembewertung 621 f.
 Problemmeldung 608 ff.
 Produkt
 – Physisches 473, 479 ff., 756
 – Reales 749
 – Virtuelles 155, 755 f.
 Produktart 28, 182

Produktbaukasten 146 f.
Produktbeschreibung 157
Produktdaten 192 ff.
Produktdatenbasis 196 ff.
Produktdatenverknüpfung 562
Produktentwicklung 129
Produktfamilie 69
Produkt-Grundstruktur 671
Produktgruppe 69, 99
Produktindividualisierung 14, 119
Produktionsdurchlaufdauer 15
Produktionsfaktor 187, 195
Produktionsformen 7
Produktionsmittel 753
Produktionsplanung 751
Produktionssysteme 127
Produktivität 199, 437
Produktkatalog 306
Produktkomponente 569 ff.
Produktkonfiguration 162, 514
Produktkonfigurator 163, 514 ff.
Produktkosten 472
Produktlinie 99 f.
Produktmerkmal 4, 472, 504
Produktmodularisierung 156
Produktpflegefall 617
Produktqualität 3
Produktstruktur 138 ff., 164, 386
Produktstrukturmanagement 201, 385
Produkttyp 224 ff.
Produktvariante 88 f., 120, 514 ff.
Produktvarianz 90, 120
Projektarten 542
Projektaufgabe 572 ff.
Projektmanagement 201, 539
Projektnummer 680
Projektphasen 545
Projektstatus 562
Projektstrukturelement 570 ff., 598
Projektstrukturplan 569, 593, 599
Projektteam 563
Projekttypen 543, 547
Projektüberwachung 597
Prototyp 141

Prototyping 335
Prozessbeschreibung 522, 525
Prozessdaten 2, 754
Prozessinstanz 525
Prozesskennzeichen 521
Prozessleitebene 753
Prozessplanung 546
Prozessstruktur 4
Prozess-Tailoring 527
Prozessteil 219, 397, 554
Prozessunterlagen 87, 178
Prozessvorlage 525 f.
Prüfkriterien 537, 623, 631
PSE-Nummer 680
Publikationsrevision 682 f.
Publikationsrevisionsnummer 682

Q

Qualität 124 ff.
Qualitätsmanagement 3, 531
Qualitätssicherung 3, 125, 755
Qualitätsverbesserung 124

R

Recherche-Möglichkeiten 308 ff.
Reengineering 130, 134, 146
Referenzkennzeichen 387, 391
Referenzpunkt 169
Regel
– Ausschluss- 495 ff., 501, 510
– Auswahl- 497, 509 ff.
– Definitions- 498, 501 ff.
– Struktur- 499
Regelwerk 162, 452, 506 f., 712
Reifegrad 185, 233 f.
Reklamation 477, 485
Relation
– Alternativteile- 400
– H-Teile- 387, 404 ff., 409 ff.
– Konfig- 516
– Objekt- 208
– Sammel- 402

- Sichten- 409
- S-Teile- 396 ff., 426, 441, 450
- Teile- 318, 399
- Relationspartner 387, 396 f., 400
- Rentabilität 123, 143, 195
- Report-Funktion 587, 593, 597
- Requirements Traceability Management 606
- Revisionierung 375 ff., 560 f., 716 ff.
- Revisionsmechanismus 673
- Revisionsnummer 681 ff.
- Revisionsobjekt 375
- RFID-Transponder 753
- Rohmaterial 217, 274 f., 447
- Rohteil 217, 273 ff., 428
- Rohteilkontur 60 ff.
- Rolle 563 ff.
- Rückverfolgbarkeit 9
- Rückwärtsterminierung 595

S

- Sachmerkmal 76
- Sachmerkmal-Leiste 89, 283, 290
- Schadensanalyse 485, 533 f.
- Schadensteil 485, 533
- Schaltplan 742 ff.
- Schlüssel
 - Klassen- 64
 - Konfigurations- 517 ff.
 - Merkmal- 517
 - Modell- 346, 735
 - Teil- 286, 311
 - Voll- 284, 311, 686
- Schlüsselnummer 677 f., 685 ff.
- Schriftfeldschreibung 46
- Segmentierung 26, 108 ff.
- Seriennummer 243, 478 ff., 484 ff.
- Serienproduktion 550
- Serienreifmachung 130, 482, 654
- Service-Handbuch 180
- Service-Historie 486
- Sichten-Objekt 412 f.
- Sichtenstruktur 417
- Simulation 337, 390, 529
- Software-Klasse 187, 733
- Spezifikation 662 ff., 668
- Spezifikationsstruktur 661 ff.
- Stammdaten 189
- Stammsatz
 - Artikel- 209
 - Farb- 253
 - Härte-Verfahrens- 268
 - Kalkulations- 459 ff.
 - Kontakt- 213 f., 614
 - Material- 689
 - Modell- 335 ff.
 - Oberflächen- 257, 266, 276
 - Oberflächen-Verfahrens- 263, 276
 - Organisations- 212 ff.
 - physisches Teil 474
 - Projekt- 539, 562 f.
 - Teile- 209, 280, 550
 - Unterlagen- 317 ff., 326, 329
 - Varianten- 489, 502
 - Werkstoff- 246, 423
 - Zeichnungs- 357 ff., 538
- Standardisierung 69
- Standardmodul 8
- Standardteil 69
- Standardzeichnung 86
- Steuerungsebene 753
- Strukturdaten 34, 190, 194 f.
- Stückliste
 - Auftrags- 164
 - Baukasten- 419
 - Dispositions- 418
 - Fertigungs- 407 f., 428
 - Kalkulations- 407
 - Konstruktions- 407 ff.
 - Maximal- 749
 - Mengenübersichts- 418
 - Montage- 407
 - Planungs- 410
 - Produktions- 417
 - Struktur- 404 ff., 419
 - Varianten- 11, 749
- Stücklistenarten 418

Suchfilter 217, 280, 342, 369
Suchmaschine 281, 309, 313
Suffix 585, 679, 696
Systemarchitektur 202
Systemaufbau 91, 97, 202
Systemplan 370
Systemplattform 3

T

Teileart 219
Teilefamilie 284 f., 297 f., 308 f.
Teilefertigung 5 f., 120, 184
Teilegruppe 284 f., 297 ff., 308 f.
Teilekategorie 72, 221
Teileklasse 37, 75 f., 281 ff., 301 ff.
Teileklassifikation 281, 309
Teilekombination 487
Teilemanagement 201, 209, 385
Teilemerkmal 36, 89, 273
Teilenummer 69, 158, 214 ff., 677
Teileprogramm 59
Teileprogrammierung 59
Teilereduzierung 38, 90, 123
Teilestandardisierung 34, 69 ff.
Teilesuchmaschine 308, 741
Teiletyp 217
Teilevariante 37 f., 73 f., 78 ff.
Teileverwendungsnachweis 425
Teilewiederverwendung 5, 185
Teilewildwuchs 38, 70, 74
Textbaustein 180, 334 f.
Topologie 26 ff., 63
Transformationsmatrix 176

U

Umsatzrentabilität 126
Unified Modeling Language 203
Unterlagenart 325
Unterlagendokument 317 ff., 400
Unterlagenklasse 322, 384
Unterlagennummer 321, 391
Unterlagenrevision 321

Unterlagentyp 322
Unternehmensleistung 125 f., 184
Unternehmensstrategie 15, 179, 233
User 565 ff.

V

Variantengeometrie 29 ff., 45
Variantenkonfiguration 488
Variantenmanagement 487
Variantenmerkmale 48
Variantenprodukt 165, 515 ff.
Variantenproduktstruktur 487, 490, 509, 512
Variantentechnik 31, 34, 74
Variantenteil 77, 502
Variantenvielfalt 103
Variantenzeichnung 80, 87
Vater-Sohn-Relation 479
Vault
– Archiv- 569, 709, 716
– Datenbank- 196, 713, 718
– File- 196, 705 f.
– logischer 708
– öffentlicher 710
– physischer 707
– privater 711
– Projekt- 568, 708
– Prüf- 710, 714
Vault-Konzept 705, 713 f.
Vault-Operation
– Check-in 720
– Check-out 718
– revisionieren 716
– Schreibrecht nehmen 715
– Schreibrecht zurückgeben 715
– verlagern 718
– versionieren 717
Vault-Operationen 713
Vererbung 204, 298
Verkaufsteil 224, 682
Versionierung 561, 716
Versionsnummer 376, 683
Vertriebsprozess 12, 123

Verzeichnispfad 198
Verzeichnisstrukturen 315
virtuelle Desktop-Infrastruktur 732
Volltextrecherche 381
Vorfertigung 11, 15, 162
Vorfertigungsgrad 12, 15
Vorkalkulation 470
Vorwärtsplanung 595

W

Wartungsplan 324
Wechselteile 398
Wechselteilesatz 441
Werknormteile 20 ff., 69
Wertschöpfungskette 199, 407
Wettbewerbsfähigkeit 15
Wettbewerbsituation 1
Wiederverwendung 103 ff.
Wiederverwendungsrate 104
Wirkprinzipien 134
Wirtschaftlichkeit 5, 123
Wissensbasis 194, 702
Workflow-Management 201, 520

Z

Zählnummer 677 f., 690
Zeichnungsablage 88
Zeichnungsbeschreibung 371
Zeichnungsblatt 87, 373
Zeichnungsdokument 357 ff.
Zeichnungserstellung 45 ff., 374
Zeichnungsgenerierung 86
Zeichnungsnummer 688, 694
Zeichnungsrevision 361
Zeichnungstyp 362
Zeichnungsvariante 45, 80
Zeiterfassungssystem 586
Zugangsberechtigung 566, 705 f.
Zusammenbauzeichnung 166, 437
Zwangsbedingung 495, 510 f.