

Report

September 2009

Mechatronisches Anlagenmodell für die Austaktung von Fertigungszellen

Veröffentlicht bei den 9. Magdeburger Maschinenbau-Tage, 30.09.-01.10.09

Dipl.-Wirt.-Inform. Nico Suchold, Dr.-Ing. Matthias Riedl

ifak - Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg
Werner-Heisenberg-Str. 1, 39106 Magdeburg, Deutschland
Tel. / Fax: +49 391 9901474 / +49 391 9901590
E-Mail: nico.suchold@ifak.eu, matthias.riedl@ifak.eu

Dr.-Ing. Christian Fedrowitz, Dipl.-Ing. Günter Mikuta

Kuka Systems GmbH
Blücherstraße 144, 86165 Augsburg, Deutschland
Tel. / Fax: +49 821 797-3209 / +49 821 797-1564
E-Mail: Christian.Fedrowitz@kuka.de , Guenther.Mikuta@kuka.de

Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, IFAT - Institut für Automatisierungstechnik
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Deutschland
Tel. / Fax: +49 391 67 18499 / +49 391 67 11186
E-Mail: christian.diedrich@ovgu.de

Zusammenfassung

Zur Durchführung von hybriden Inbetriebnahmen ist ein digitales Modell erforderlich, das gegenüber den verschiedenen Anlagensteuerungen (z.B. SPS, Robotersteuerung) das Verhalten der geplanten Anlage detailgenau nachbildet. Zur Erstellung dieses Anlagenmodells ist detailliertes Wissen über die Strukturen und das Verhalten der einzelnen Betriebsmittel notwendig. In diesem Beitrag werden am Beispiel der Austaktung von Fertigungszellen, d.h. der Bestimmung der für die Produktion in einer Zelle benötigten Zeit auf der Basis aller parallelen und sequenziellen Prozessschritte, die wesentlichen Strukturen von mechatronischen Modellen und deren Nutzung beschrieben.

1. Einordnung der virtuellen und hybriden Inbetriebnahme in die digitale Planung als Teil der digitalen Fabrik

Die stetig wachsende Produktivität der deutschen Wirtschaft hängt in entscheidendem Maß von der Digitalisierung bzw. Virtualisierung von Produkten und Produktionsmitteln ab. Die konsequente Fortsetzung im nutzergerechten Transfer in die Realität, d.h. zum verkaufsfähigen Produkt bzw. für die die Produkte fertigenden Produktionsmittel, ergibt weiteres Potenzial. Enorme noch freizusetzende Produktivitätspotenziale liegen in der Nutzung der produkt- und produktionsbegleitenden digitalen Information während des Lebenszyklus von der virtuellen bis zur realen Entstehung oder

Impressum:

KUKA Systems GmbH

Marketing /

Unternehmenskommunikation

Markus Meier

Fon +49 821 797-2483

Fax +49 821 797-1951

eMail markus.meier@kuka.de

Web www.kuka-systems.de



Nutzung. Synonym für den Produktlebenszyklus ist der digitale Produktentstehungsprozess bzw. die digitale Fabrik für den Produktionsmittellebenszyklus.

Speziell in der Automobilindustrie werden seit mehreren Jahren digitale Simulationsmethoden und -technologien zur Absicherung von Entwicklungs- und Planungsergebnissen erfolgreich eingesetzt. Als letzter Schritt in der Absicherungskette wird dabei die virtuelle Inbetriebnahme als Übergang zwischen digitaler und realer Fabrik angesehen. Die hybride Inbetriebnahme kann dabei als Teilschritt angesehen werden, da hier Teile der realen Fabrik (z.B. die Prozesssteuerung) zusammen mit Teilen der digitalen Fabrik getestet werden. Durch die virtuelle bzw. hybride Inbetriebnahme werden somit reale Steuerungsprogramme im Zusammenspiel mit digitalen Modellen der geplanten Fertigungssysteme validiert und optimiert (Abbildung 1). Dieses Vorgehen wird sich nach Etablierung im Automobilbau auch in weiteren Industriezweigen verbreiten.

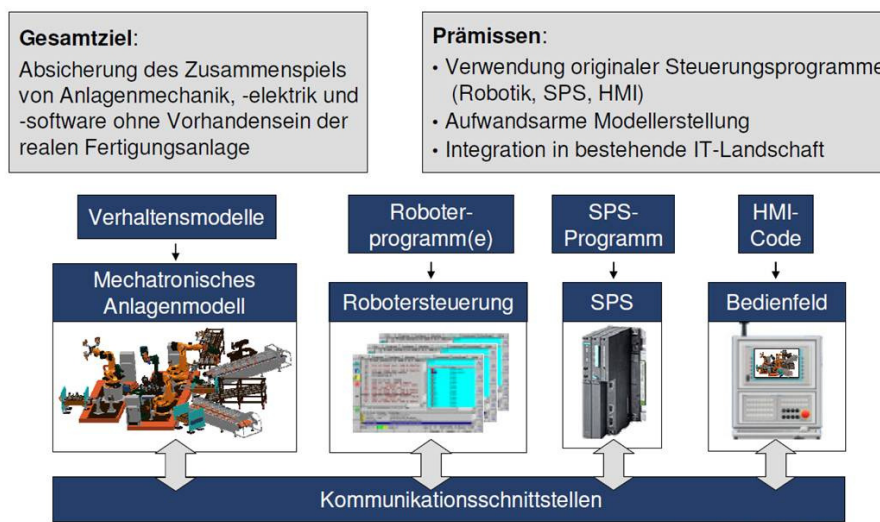


Abbildung 1: Aufgabenstellung der virtuellen Inbetriebnahme

Zur effizienten und fehlerfreien Erstellung der digitalen Simulationsmodelle wird eine mechatronische Bibliothek benötigt, die ein realitätsgetreues Abbild der in den realen Fertigungssystemen eingesetzten Komponenten bereitstellt. Realitätsgetreu umfasst mechanisches, elektrisches und - wenn vorhanden - dynamisches Verhalten der pneumatischen und hydraulischen Komponenten des Systems im Gut- und Fehlerfall.

Diese mechatronische Komponentenbibliothek hat enge Anknüpfungspunkte an die Phasen des virtuellen Produkt- und Produktionslebenszyklusses. Die hybride Inbetriebnahme als ein Teil davon und als Nutzer der mechatronischen Bibliothek ist deshalb in den Informationsfluss des digitalen Planungs- und Inbetriebnahmeprozesses einzubetten. Hier können zum Beispiel vorteilhaft semantische Informationsmodelle genutzt werden, um die Konsistenzen und Transformationen zwischen den Lebenszyklusphasen zu den anderen Systemkomponenten zu unterstützen. Im Zuge des Absicherungsprozesses und der realen Inbetriebnahme sind Änderungen zu erwarten, die als Informationsrückflüsse in die Untersuchungen und Modellentwürfe einzubeziehen sind. Hier gilt es, eine geeignete Beschreibungsform und ein standardisiertes Austauschdatenformat zu finden, um zum Beispiel die Verhaltensbeschreibungen in den verschiedenen Simulationswerkzeugen und anderen in der digitalen Planung genutzten Anwendungen nutzbar zu machen.

Als Beitrag zur *Hightech-Strategie der Bundesregierung* unterstützt der Industriekreis AR mit dem beim BMBF eingereichten Positionspapier „Virtuelle Technologien und reale Produkte“ die zielorientierte und anwendungsgetriebene Weiterentwicklung virtueller Technologien. Aus dieser Initiative entstand das Projekt *AVILUS - Angewandte Virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus*, in



dem 24 Partner gemeinschaftlich wissenschaftliche und technologische Beiträge für verschiedene Szenarien digitaler Produktionsprozesse leisten. Im Verbundprojekt AVILUS ist für die Autoren insbesondere das Themenfeld Fertigung / Betrieb / Service / Wartung von Bedeutung. Neben der Entwicklung von Methoden zur virtuellen Inbetriebnahme unter Berücksichtigung steuerungstechnischer und mechatronischer Aspekte der Maschinen und Anlagenkomponenten steht insbesondere die hybride Inbetriebnahme im Vordergrund des Einzelvorhabens.

2. Charakteristika der virtuellen und hybriden Inbetriebnahme

In der Praxis fokussiert die virtuelle Inbetriebnahme heute im Wesentlichen auf die Integration der geometrischen und mechanischen Eigenschaften und Beziehungen zwischen den an der Produktion beteiligten Objekten, den Produkten, Prozessen und Ressourcen.

Ausgangspunkt der virtuellen Simulation sind die existierenden VR-Simulationen von Anlagen (Abbildung 2). Zentrale Aufgaben dieser Simulationen sind u. a. die:

- □uordnung der Prozessschritte zu den Betriebsmitteln der Anlage, z.B. Transportaufgaben zu Bandförderern, Hub- oder Drehtischen, Handhabungsaufgaben zu Robotern, Fixierung der Bauteile zu den Spannern,
- Platzierung der Betriebsmittel in der Anlage, Festlegung ihrer geometrischen Gestaltung,
- Erprobung der logischen Reihenfolge der Abläufe und der Erreichbarkeit aller Positionen am Produkt, z.B. kann die Schweißzange alle vorgesehenen Schweißpunktorte erreichen,
- Kollisionserkennung von parallel bewegten Betriebsmitteln, z.B. Robotern

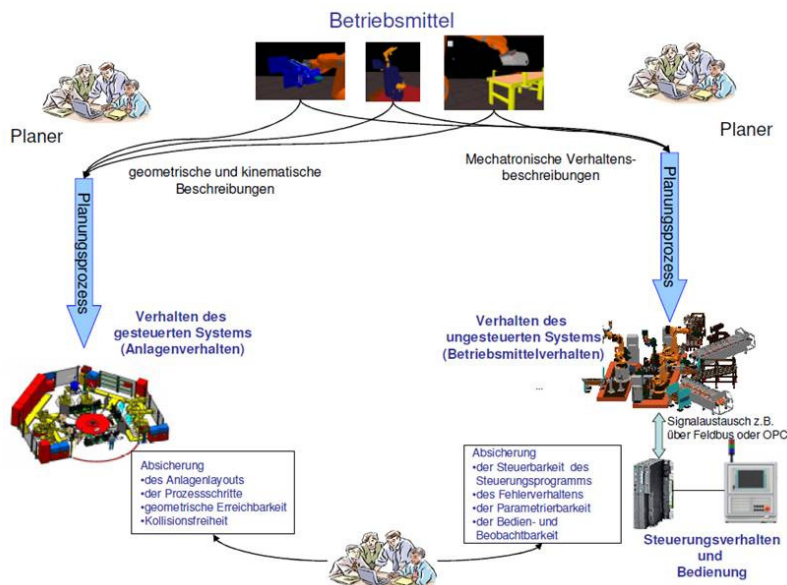


Abbildung 2: Einordnung der mechatronischen Verhaltensbeschreibung in die Absicherung der Anlagenplanung

Bei der virtuellen Inbetriebnahme wird das Anlagenverhalten durch eine angeschlossene Steuerung, im Idealfall mit dazu gehörigem Bedien- und Beobachtungs- oder Leitsystem, gesteuert. Dazu werden die Ein- und Ausgangssignale der Betriebsmittel der Anlage, z.B. des Spanners, Roboters oder Drehtisches, mit der SPS verbunden. Ziel der virtuellen Inbetriebnahme ist es, ein Simulationsmodell der Anlage so zu detaillieren, dass die Steuerung mit ihrem Programm nahezu unverändert an die reale Anlage angeschlossen werden kann. Von hybrider Inbetriebnahme wird gesprochen, wenn die Anlage gemischt, d.h. teils real und teils virtuell mit der realen Steuerung zusammenarbeitet.



Für den durchgängigen digitalen Planungsprozess von der Produktidee bis hin zur Produktion des Produkts auf der virtuellen Anlage müssen deshalb elektrische, fluidische und logische Aspekte berücksichtigt werden. Abbildung 3 verdeutlicht die Zusammensetzung des dazu notwendigen mechatronischen Anlagenmodells.

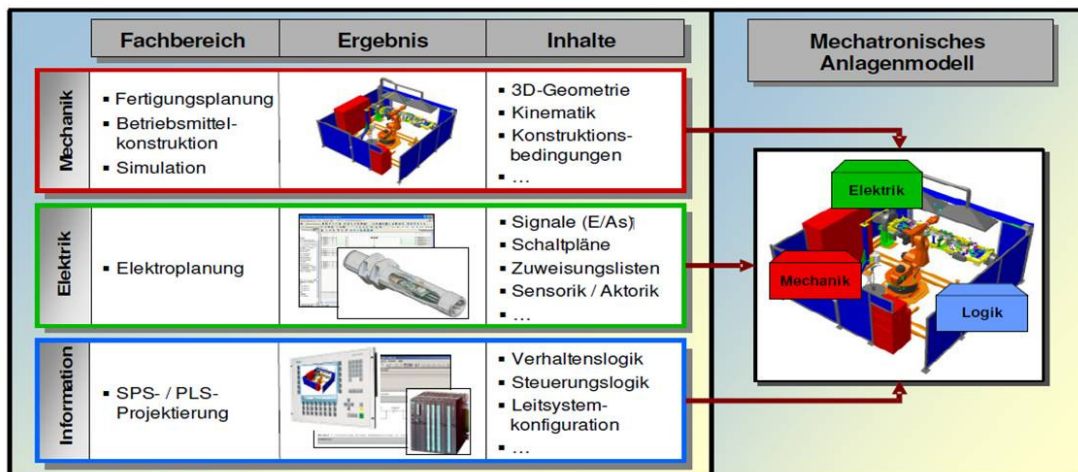


Abbildung 3: Bestandteile eines mechatronischen Anlagenmodells

Ziel des mechatronischen Modells ist es, die mechanische/geometrische und die elektro-/automatisierungstechnische Planung und Absicherung zusammenzuführen und die virtuelle Inbetriebnahme gesamtheitlich zu ermöglichen. Insbesondere sind dafür die elektrischen, pneumatischen, hydraulischen und antriebstechnischen Aspekte der immer komplexer werdenden Betriebsmittel (z.B. Schweißzange mit Servoantrieb) in ein mechatronisches Anlagenmodell einzubeziehen. Alle Modellelemente sind in ein konsistentes Gesamtmodell zu integrieren.

Damit eine virtuelle/hybride Inbetriebnahme aussagekräftige Ergebnisse liefert und die getesteten SPS- und Roboterprogramme später auch wirklich an der realen Anlage eingesetzt werden können, muss das mechatronische Anlagenmodell eine ausreichende Realitätsnähe gewährleisten. Das mechatronische Anlagenmodell muss sich idealer Weise gegenüber der SPS, den Roboter- und ggf. Antriebssteuerungen genauso verhalten wie die reale Fertigungsanlage, d.h. das digitale Modell ist dann vollständig, wenn aus Sicht der Steuerungen kein Unterschied zwischen Modell und Realität besteht.

3. Das mechatronische Modell

3.1 Aufgaben des mechatronischen Modells

Das Informationsmanagement in Unternehmen ist heute geprägt durch eine Vielzahl verfügbarer Informationen, welche meist in einer monolithischen Form und auf verschiedene Datenquellen verteilt vorliegen. Die Datenquellen sind größtenteils historisch gewachsen, so dass eine Verbindung zwischen Informationen nicht oder nur durch einen erheblichen Eingriff des Menschen möglich ist. Dies hat zur Folge, dass viele Informationen im Unternehmen vorhanden, aber für den Benutzer nur sehr schwer aufzufinden sind. Hierdurch entsteht ein situationsrelevanter Informationsmangel innerhalb der vorhandenen Informationsflut im Unternehmen. Die für die aufwendige Informationssuche und -beschaffung erforderliche Zeit steigt mit zunehmender Informationsfülle exponentiell an und resultiert in erheblichen Kosten.

Durch die zusätzliche Definition der Semantik der Datenquellen bzw. der darin enthaltenen Daten können die benötigten Informationen wesentlich effizienter gefunden und bereitgestellt werden. Das mechatronische Modell bietet dazu die Möglichkeit, die im digitalen Planungsprozess verwendeten Produk-



te, Prozesse und Betriebsmittel bzw. Ressourcen semantisch zu beschreiben, und stellt so die richtigen Informationen in einer an die Aufgabe bzw. Anwendung angepassten Form zur Verfügung.

3.2 Basisstruktur des mechatronischen Modells

Das Kernthema des mechatronischen Modells in diesem Beitrag ist die Beschreibung von Ressourcen. Um die dazu genutzten Informationen anwendungsorientiert aufzubereiten, sind neben der Beschreibung der Eigenschaften einer Ressource auch die Sicht (Facette) der Anwendung in ihrem Zusammenhang mit dem Prozess und dem Produkt von großer Bedeutung.

Eine Ressource wird im mechatronischen Modell durch ihre Eigenschaften charakterisiert. Die Einbeziehung des digitalen Planungsprozesses in die Beschreibung der Ressource ermöglicht eine genauere Einordnung und Vorverarbeitung der Ressourceninformationen für die Anwendung. Diese bekommen die am Prozess beteiligten Ressourcen mitgeteilt und kann die anwendungsrelevanten Typen von Eigenschaften abrufen. Hier kommt die besonderen Eigenschaften der semantischen Modellierung zum tragen, indem der Anwendung nicht jede einzelne Eigenschaft der Ressourcen bekannt sein muss, sondern nur deren Typ. Die im Modell enthaltenen Eigenschaftsbeziehungen werden verwendet, um alle Daten zu akquirieren. Im hier vorliegenden Modell wurde zusätzlich von Ressourcen auf Baugruppen und von Eigenschaften auf Merkmale abstrahiert, um das im Anwendungsbeispiel verwendete Vokabular abzudecken. Zur Abbildung von Maschinen- und Anlagenhierarchien spielt neben der Typisierung von Baugruppen und Merkmalen die Aggregationsbeziehung eine wichtige Rolle. Dadurch ist es möglich zusammengesetzte Baugruppen und Merkmale abzubilden.

Abbildung 4 zeigt die Basisstruktur des mechatronischen Modells. Dabei steht das Ressourcen- bzw. Betriebsmittelmodell im Fokus dieses Beitrags. Neben der Definition der Beziehungen zwischen Ressource und Eigenschaft (wirdCharakterisiertDurch) und den jeweiligen Aggregationsbeziehungen (Bestandsbeziehung), wird hier auch die semantische Verknüpfung zu den Datenquellen hergestellt. Des Weiteren wird deutlich, welche Beziehung das Ressourcenmodell zur Anwendung hat (benötigt) und wie die Einbeziehung in den digitalen Planungsprozess erfolgt (Ressourcen als Bestandteil des Anlagenprojekts und die fuehrtProzessAus-Beziehung).

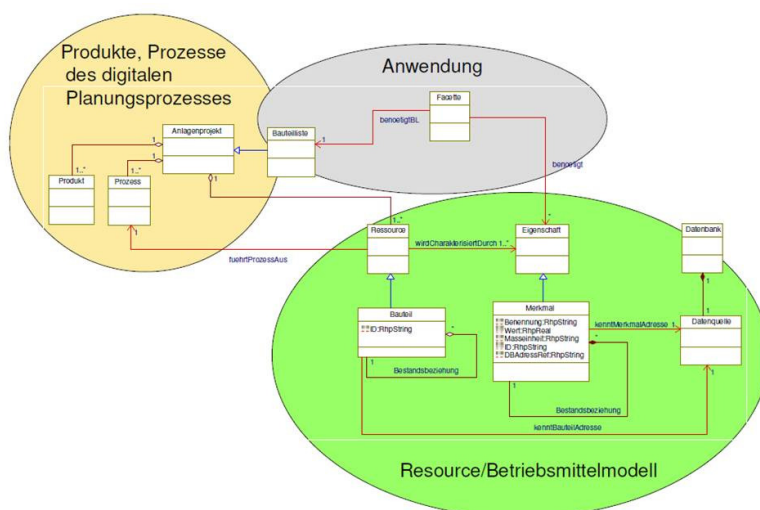


Abbildung 4: Grundstruktur des mechatronischen Modells

3.3 Beziehungen zu AutomationML

Ähnlich wie AutomationML (AML) hat das mechatronische Modell das Ziel, die heterogene Tool-Landschaft der Engineeringwerkzeuge durch eine anwendungsbezogene Informationspräsentation zu



unterstützen. Das mechatronische Modell soll dabei genau wie AML die Informationen der mechanischen/geometrischen und der elektro-/automatisierungstechnischen Planung abbilden können. Da in der heutigen Werkzeuglandschaft Firmen z.B. auch firmenspezifische XML-Notationen oder das Siemens PLMXML-Format unterstützen müssen, setzt das mechatronische Modell an diesem Punkt an.

Der Fokus des mechatronischen Modells liegt dabei nicht auf der Definition eines Austauschformates, sondern vielmehr in der semantischen Beschreibung von mechatronischen Komponenten, dem Akquirieren von dafür benötigten Daten aus verschiedenen Datenquellen und der Bereitstellung dieser Daten über semantische bzw. anwendungssensitive Schnittstellen.

Allgemein betrachtet bildet das mechatronische Modell eine Vorstufe von AML, wobei AML eine Notationsform für den Austausch sein kann. Eine dafür zu modellierende AML-Anwendungsfacetten könnte als Alternative zur direkten Kopplung der Anwendung an das mechatronische Modell sein. Dabei würde AML als Bindeglied zwischen Anwendung und Modell dienen und die im mechatronischen Modell beschriebenen Ressourcen und Eigenschaften in AML-Notation dem Engineeringwerkzeug zur Verfügung stellen.

4. Anwendungsbeispiel – Austackung von Fertigungszellen

Obwohl, wie oben beschrieben, Ziel der Arbeiten zum mechatronischen Modell vor allem die Unterstützung der virtuellen Inbetriebnahme ist, wird die Basisstruktur anhand der Austackung, einem sehr frühen Schritt bei der Planung einer Anlage, beschrieben. Dieses Beispiel veranschaulicht die Modellierungsmethode sowie deren Einbettung in den Planungsprozess sehr anschaulich. Die Arbeiten zur Erstellung des vollständigen mechatronischen Modells für die virtuelle Inbetriebnahme sind noch nicht abgeschlossen, deren Darstellung würde aber auch den Rahmen des Konferenzbeitrags sprengen.

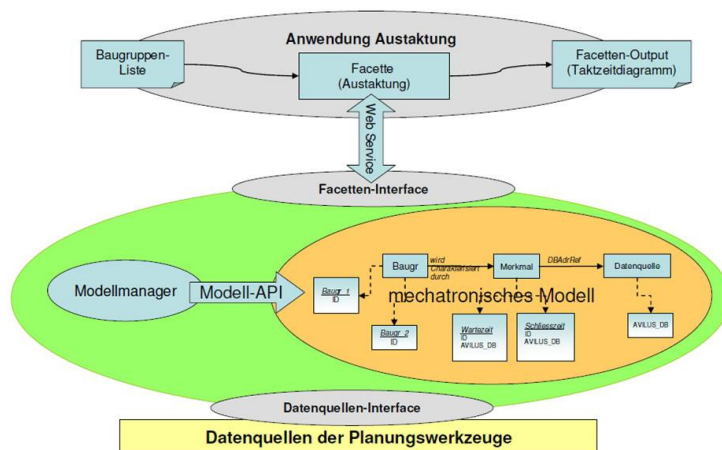


Abbildung 5: Übersicht der Komponenten für das Beispiel Austackung

Um das mechatronische Modell zugreifbar zu machen, wurde eine Middleware-Komponente, mit dem Arbeitstitel Datendrehzscheibe (DDS), entwickelt. Wie in Abbildung 5 gezeigt, bildet das mechatronische Modell den Kern dieser Komponente. Durch den Modellmanager werden die benötigten Zugriffsfunktionen innerhalb der DDS für das Datenquellen-Interface und das Facetten-Interface bereit gestellt. Im Sinne einer Middleware erfolgt eine lose Kopplung der Anwendung per Web Services über das Facetten-Interface. Dieses stellt eine anwendungsbezogene Schnittstelle zur Verfügung, um den Anwendungen die benötigten Daten bereit stellen zu können. Die Anwendung fragt dabei für die in der Baugruppenliste enthaltenen mechatronischen Baugruppen die von der Facette benötigten Merkmale ab. Sie benötigt dazu keinerlei Informationen über die Datenquellen oder die Beziehungen zwischen Baugruppen und Merkmalen.



Im Rahmen der Austaktung werden zu den in der Baugruppen-Liste aufgeführten mechatronischen Komponenten die zugehörigen Taktzeiten benötigt. Diese wiederum befinden sich in verschiedenen Datenquellen (z.B. Excel-Tabellen oder Unternehmensdatenbanken) der Planungswerkzeuge. Neben der semantischen Beschreibung der mechatronischen Bauteilmerkmale, ist der Ort der Daten und die Art der Datenquelle im Modell hinterlegt, so dass ein Zugriff über das Datenquellen-Interface die richtigen Daten liefert. Dazu identifiziert sich die Facette beim Facetten-Interface und bekommt für jede in der Baugruppenliste stehende mechatronische Baugruppe die für die Austaktung benötigten Eigenschaften und die dazu gehörenden Werte (z.B. die Zeit für das Ausfahren eines Zylinders). Diese Informationen werden dann in ein Taktzeitdiagramm überführt.

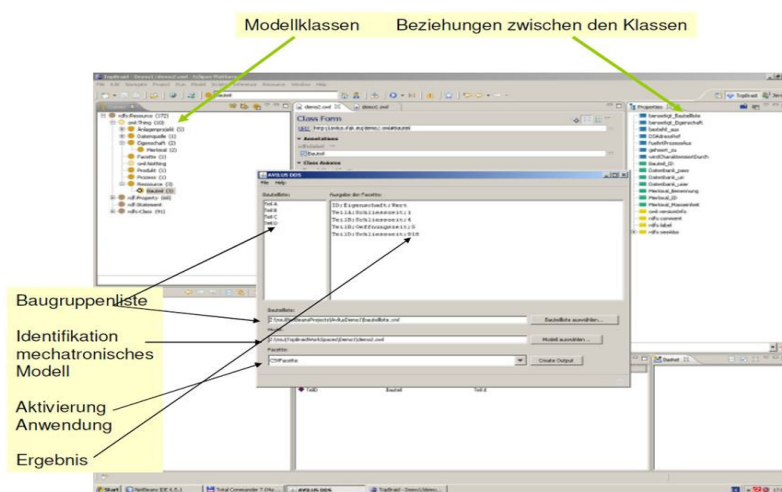


Abbildung 6: Ausschnitt aus dem mechatronischen Modell und der Bedienoberfläche für die Austaktung

Abbildung 6 zeigt im Vordergrund die Bedienoberfläche für die Austaktung, die wie oben beschrieben über das Facetten-Interface alle für die Austaktung relevanten Zeiten abrufen. Im Hintergrund wird exemplarisch das Modellierungswerkzeug für das mechatronische Modell abgebildet, mit dessen Hilfe die Beziehungen und Modellklassen (Ressourcen und Merkmale) verwaltet werden. Zur semantisch eindeutigen Modellierung wurde als Beschreibungssprache OWL verwendet, in der besonders die Beziehungen zwischen den Klassen eindeutig formulierbar sind.

Des Weiteren werden hier auch die semantischen Modelle der Facetten und Datenquellen gepflegt. Für die Merkmale werden anhand dieser Modelle und entsprechender Adapter, die eine Implementierung des Datenquellen-Interface darstellen, die Daten aus den Datenquellen extrahiert, und die Anwendung bekommt zu den einzelnen Bauteilen die für die Austaktung relevanten Zeitmerkmale mit den dazu gehörenden Zeiten geliefert. Diese Informationen werden dann in einem Taktzeitdiagramm (Abbildung 7) in Form eines Gantcharts visualisiert.



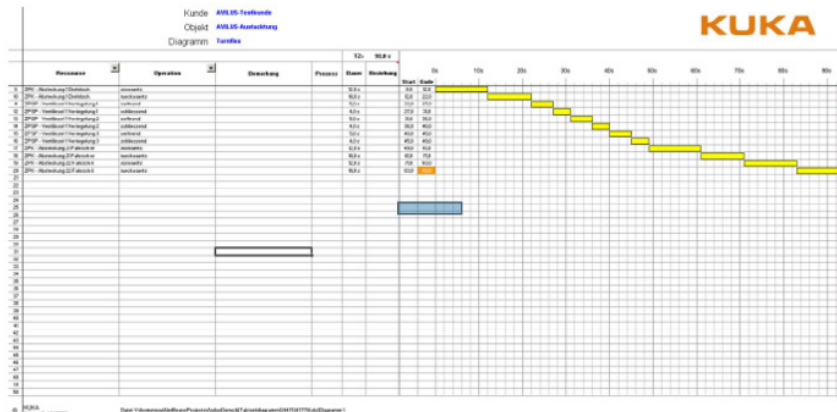


Abbildung 7: Beispiel der im Ausstattungsdiagramm zusammengefassten Daten
Literatur

1. Kiefer, J.: Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserie-
 rohbau, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 43, Universität des Saar-landes, 2007.
2. Roßmann, J., Stern, O., Wischniewski, R.: Eine Systematik mit einem darauf abge-
 stimmten Softwarewerkzeug zur durchgängigen Virtuellen Inbetriebnahme von Ferti-
 gungsanlagen, GMAKongress 2007, VDI-Berichte 1980, S. 707-716, VDI Verlag GmbH, 2007.
3. Schlögl, W.: Einsatz der Digitalen Fabrik von der Anlagenplanung bis in den laufenden Betrieb,
 GMAKongress 2007, VDI-Berichte 1980, S. 717-725, VDI Verlag GmbH, 2007.
4. Kiefer, J., Mandel, S., Bär, T.: Simulation der Anlageninbetriebnahme im Karosserie-
 rohbau, in Simulation in Produktion und Logistik, Tagungsband zur 12. ASIM-Fachtagung, Kassel, 2006.
5. Bergert, M., Diedrich, Ch.: Durchgängige Verhaltensmodellierung von Betriebsmitteln zur Er-
 zeugung digitaler Simulationsmodelle von Fertigungssystemen. GMA-Kongress Automation
 2008, VDI-Berichte 2032, VDI Verlag GmbH, 2008.
6. Bergert, M., Diedrich, Ch.: Durchgängige Verhaltensmodellierung von Betriebsmitteln zur Er-
 zeugung digitaler Simulationsmodelle von Fertigungssystemen. 50 (2008) atp Heft 7. S61 bis
 66. Oldenbourg Industrieverlag.
7. Draht, Rainer; Lüder, Arndt; Peschke, Jörn; Hundt, Lorenz: AutomationML - the glue for seam-
 less automation engineering In: 13th IEEE International Conference on Emerging Technologies
 and Factory Automation, ETFA 2008. - IEEE, ISBN 1-424-41506-3, S. 616-623 Kongress: ETFA
 2008; 13 (Hamburg, Germany): 2008.09.15-18
8. Martin Bergert: Entwicklung eines Konzeptes zur automatisierten SPS-Programmgenerierung
 und Wirtschaftlichkeitsbewertung einer neuartigen Rohbau-Planungsmethodik. Diplomarbeit Ot-
 to-von-Guericke-Universität Magdeburg 2006.
9. Mewes, J., Wegener, F.: Virtuelle Inbetriebnahme von Förderanlagen mit Feldbusemulation und
 Materialflusssimulation am Beispiel einer SKID-Anlage. Kongress Automation 2009. Baden-
 Baden. Kongressband VDI-Verlag.
10. White Paper: Open product lifecycle data sharing using XML.
http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/plm%20xml%20wp%20W%203_tcm53-11521.pdf
 oder über www.plmxml.org.
11. Alexander Alonso Garcia, Rainer Draht - White Paper: AutomationML™ verbindet Werkzeuge
 der Fertigungsplanung – Hintergründe und Ziele. www.automationml.org
12. BMBF-Projekt MODALE - Modellbasiertes Anlagen-Engineering, kundenorientierte Dienstleis-
 tungen für Anlagensteuerung und -kontrolle. Förderkennzeichen: 01ISC28A - 01ISC28K. Lauf-
 zeit von 1. Oktober 2003 bis 30. September 2005.
13. BMBF-Projekt AVILUS - Angewandte virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittel-
 lebenszyklus, BMBF 01 IM 08 001. Laufzeit von 1. März 2009 bis 28. Februar 2011.
www.avilus.de

14. Grimm, Björn; Hundt, Lorenz; Lüder, Arndt; Peschke, Jörn: Universelles Datenaustauschformat
In: A & D Kompendium. - München: Publish-Industry Verl., S. 266-268, 2008 [Band 2008/2009].

