

Smart Factory - Future of Parts Manufacturing - on the way to autonomous, model-based manufacturing

Smart Factory - Zukunft der Teilefertigung - auf dem Weg zur autonomen, modellbasierten Fertigung

Thomas Mücke

Siemens Industry Software GmbH, Stuttgart, Germany, thomas.muecke@siemens.com

Abstract — The Smart Factory achieves an increase in flexibility in the production process due to current resources, capacities and utilization under consideration from customer orders structure. Based on the Consideration from products- and production-information at CAD features from 3D models of components and the current information from the machine tool, it's possible to create on a automatically way serialized NC programs, which is the basis for self-organizable and autonomous parts production. Continuous improvements can be achieved by means of high-frequency data from the machine tool and analytical observations.

Zusammenfassung — Die Smart Factory erzielt eine Steigerung bei der Flexibilität im Produktionsprozess aufgrund aktueller Ressourcen, Kapazitäten und Auslastungen unter Berücksichtigung des Kundenauftragsnetzes. Hierbei werden unter Betrachtung von Produkt- und Fertigungsinformationen von CAD-Features am 3D-Modell des Bauteiles und den aktuellen Informationen aus der Werkzeugmaschine serialisierte NC-Programme automatisiert erstellt, welche die Basis für eine selbstorganisierbare und autonome Teilefertigung darstellen. Mittels Hochfrequenzdaten aus der Werkzeugmaschine können durch analytische Betrachtungen kontinuierliche Verbesserungen erzielt werden.

I. EINLEITUNG

Die Smart Factory “die Fabrik der Zukunft, also die intelligente Fabrik” muss flexibler und effizienter sein [1]. Die heutigen transaktionsorientierten Abläufe auf Basis des ERP-Systems mit den Fertigungsaufträgen stoßen hier an die Grenzen. Aufgrund der fixen Zuordnung von Arbeitsgängen, NC-Programmen, Ressourcen und daraus abzuleitenden Kapazitäten ist eine autonome und selbstorganisierbare Teilefertigung nur schwer abbildbar. Heutige ERP- und produktionsnahe Optimierungssysteme können aufgrund der festen Arbeitspläne die notwendige flexible Abarbeitung aufgrund des Top-Down -Ansatzes nicht, bzw. nur schwer unterstützen.

Mittels neuer Methodiken aufgrund von Echtzeitdaten aus der Werkzeugmaschine und definierten Strukturen in den CAD-Modellen sind in Abhängigkeit der Fertigungssituation, serialisierte NC-Programme erstellbar. Dies wiederum bildet die technische Basis, um die Produktion der Zukunft aufgrund der situativen Betrachtung des Prozesses mittels einem Bottom-up-Ansatz zu optimieren. Echtzeitdaten zu jedem NC-Satz liefern zur Bearbeitung und jedem CAD-Feature aufgrund der Daten-durchgängigkeit die notwendigen Informationen, um technologische und qualitative Verbesserungen in einem stetigen Optimierungsprozess zu erzielen.

II. HERZSTÜCK DER SMART FACTORY

Die Smart Factory hat die Basis im Produktentstehungsprozess. Damit eine flexible Produktion auf Basis von CAD-Features möglich ist, sind konstruktive Vorgehensweisen zu berücksichtigen. Notwendige Produkt- und Fertigungsinformationen (PMI) müssen im CAD-Modell enthalten sein, damit in der Fertigung auf Basis von Operationen und Operationsplänen und Maschinenzuständen und Belegungen im Shopfloor optimiert werden kann. Dadurch

ist eine autonome Produktion möglich, wodurch mittels *machine learning* eine stetige Optimierung sichergestellt ist. Somit ist eine hohe Integration in die Werkzeugmaschine notwendig, um über Echtzeitdaten und aktuelle Belegungen die dementsprechenden Ermittlungen aufgrund des aktuellen Zustandes zu berücksichtigen.

III. STAND DER ENTWICKLUNGEN

Um die Flexibilität dementsprechend zu erzielen sind u.a. dementsprechende übergeordnete Aufgaben in den Gesamtprozessen zu betrachten. Die nachfolgend dargestellten Themenblöcke stellen die wichtigsten Funktionen dar, welche für die Smart Factory notwendig sind. Aufgrund der assoziativen Zusammenhänge zwischen den Features im CAD-Modell und dem NC-Programm auf der Steuerung mit den durchgängigen Ressourceninformationen, den Echtzeitdaten aus der Maschine können analytische Betrachtungen erstellt werden. Basierend auf den Datenbeständen können Optimierungen in den Engineering-Prozess zurückgeführt werden. Des Weiteren kann flexibel die aktuelle Situation in der Fertigung und die Auftragsituation an Maschinen berücksichtigt werden.

A. Bidirektionale CAD/CAM-Kette

Damit im Planungsprozess die Informationen aus der Fertigung berücksichtigt werden können, wird ein bidirektionaler Datenaustausch benötigt [2]. Heute ist i.d.R. aufgrund dem Postprozessor nach dem CAM-Prozess die Datendurchgängigkeit nicht vorhanden. Heutige Verfahren gehen vom CAD-Modell aus, um das NC-Programm nach DIN 66025 zu generieren. Ein assoziativer Datenrückfluss aus dem Prozess ist i.d.R. nicht vorhanden, wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist.

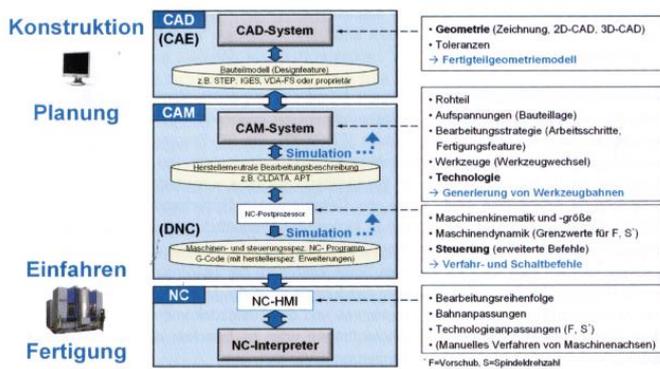


Abb. 1: Bisheriger CAD/CAM-Prozess (Top-Down-Ansatz) [2]

Um Informationen aus dem Bearbeitungsprozess stetig zu optimieren ist ein Zugriff auf Prozessdaten ein wesentlicher Bestandteil der Smart Factory. Hierbei werden z.B. über Wissensdatenbanken auf Basis von Prozessdaten zum Bearbeitungsprozess Informationen aus der Maschine betrachtet. Somit können über Regelwerke Optimierungen auf Feature-Ebene erzielt werden, um für ähnliche Bearbeitungsobjekte technologische, prozesstechnische oder qualitätsrelevante Verbesserungen stetig zu erzielen. In der u.a. Abbildung ist eine Möglichkeit für den bidirektionalen Datenaustausch dargestellt.

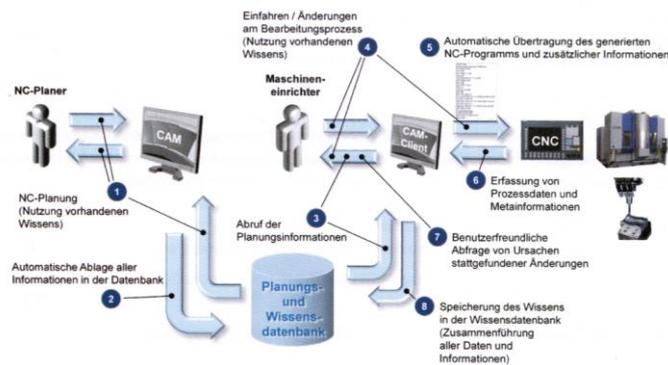


Abb. 2: Bidirektionaler Datenaustausch und wissensbasierter NC-Programmierung [2]

Aus Sicht der Forschung und der Aktualität gibt es zur Flexibilisierung in der Produktion mehrere Realisierungsansätze. Hierbei gewinnen die Echtzeitdaten aus der Steuerung mit der Datendurchgängigkeit des 3D-Modells immer mehr an Bedeutung. Ein anderes Beispiel bildet das AIF-Projekt zur „Entwicklung einer MultiCAM 4.0 Lösung zur ad-hoc Generierung von CAD/CAM-Programmierungen für alternative CNC-Maschinen“ [3]. Hierbei wird mittels einer Technologiedatenbank und Operationselementen eine automatisierte Umprogrammierung auf andere Maschinen und anderen Fertigungsbedingungen realisiert, um die Produktion flexibel gestalten zu können.

B. Echtzeitdaten aus der Maschine

Damit die Planung auf die aktuelle Belegung zugreifen kann, muss die Ressourcenbetrachtung zu jeder Zeit aus der Maschine mit den aktuellen Belegungen, Reststandzeiten, etc. abgreifbar sein. Somit können über tiefe Integrationen in die Werkzeugmaschine detaillierte Werkzeuginformationen importiert und aktuelle Statusinformationen u.a. mit Reststandzeiten abgerufen werden. Aufgrund der hohen Integrationstiefe und der Assoziativität können zur Nachvollziehbarkeit jedes CAD-Features die genutzten Werkzeuge, Anpassungen bei der Bearbeitung, Modifikationen an der Steuerung, etc. betrachtet werden. Hierzu werden bei der

Verwendung von Ressourcen, Fertigungseinrichtungen, etc. technische und logistische Verfügbarkeiten werkübergreifend auf Operationsebene im Shopfloor berücksichtigt [4].

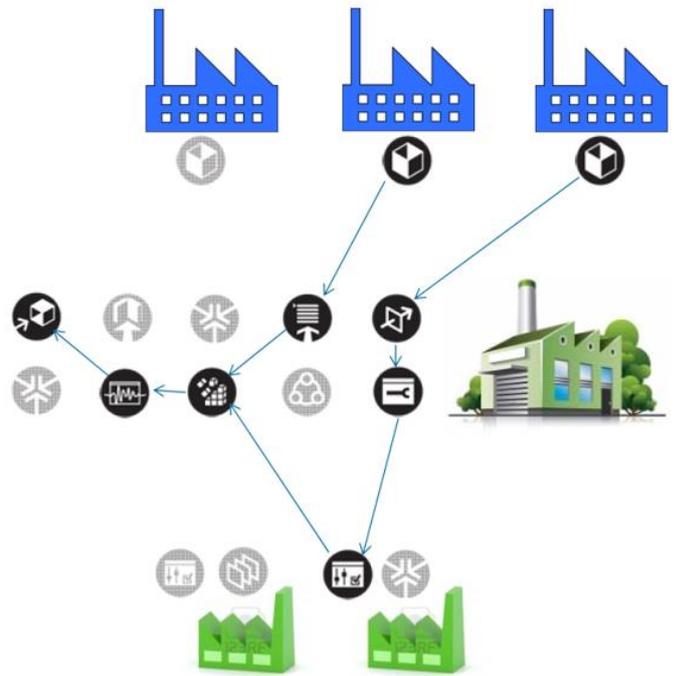


Abb. 3: Werkübergreifende Berücksichtigung von Ressourcen und Kapazitäten [4]

C. Hochfrequenzdaten aus der Maschine (Edge-Computing)

Über die Sinumerik Edge, wie das Beispiel [5] zeigt, können Echtzeitdaten zu jeder Operation, zu jedem NC-Satz mittels Hochfrequenzdaten ausgelesen werden. Somit werden Realtime-Daten den NC-Sätzen mit Vorschüben, Drehzahlen, Leistungsdaten, aktuellen Positionsdaten, etc. zugeordnet. Dadurch sind Technologiedaten auswertbar, ebenso können Qualitätsinformationen von Feature im Bauteil analysiert werden. Aufgrund dieser Informationen ist die Datenbasis für verschiedene Bereiche nutzbar, wie vorausschauende Wartung, Qualitätsbetrachtungen, Technologiedaten und Prozessdatenauswertung für MDE, etc..

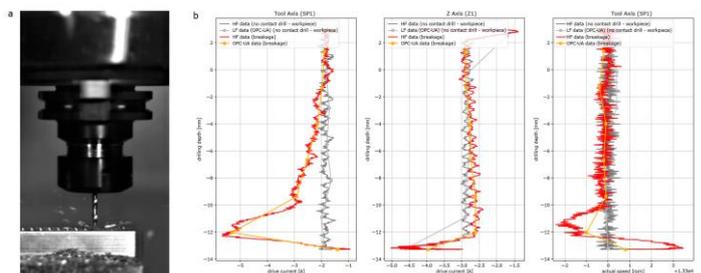


Abb. 4: Beispiel einer Bohroperation und deren Bearbeitung, basierend auf den Daten aus Sinumerik Edge [5]

Aufgrund der Datenkonsistenz können z.B. Werkzeugkosten auch auf die Bauteilkosten umgerechnet werden, um den Maschinenstundensatz mit den Fixkosten zu reduzieren. Mittels detaillierten Daten zu jedem NC-Feature ist somit eine Nachverfolgbarkeit gegeben, bei welcher auch Änderungen an der Steuerung z.B. am Potentiometer auf Operationsebene nachvollziehbar sind.

Basierend auf den Echtzeitdaten können über analytische Betrachtungen, Regressionsanalysen und Regelwerken z.B. Fertigungskosten optimiert werden [6]. Dies ist aufgrund der

serialisierten Werkzeuginformationen mit den Echtzeitdaten aus der Maschine möglich. Somit ist die Basis gelegt, ähnliche Operationen mit verbesserten Prozesswerten abzubilden und dadurch ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess zwischen Engineering und Produktion realisierbar.

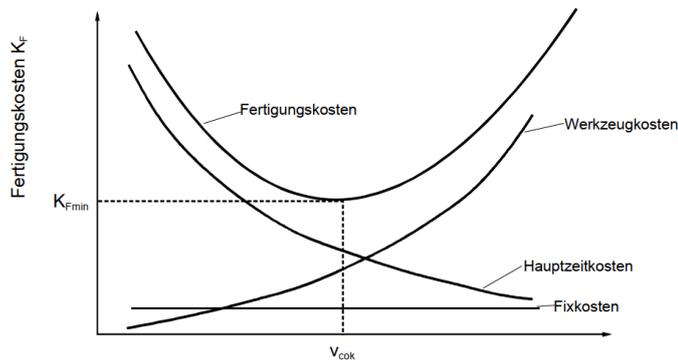


Abb. 5: Fertigungskosten in Abhängigkeit der Schnittgeschwindigkeit [7]

IV. ANFORDERUNGEN AN DIE SMART – FACTORY

Eine der Anforderungen ist die Wandlungsfähigkeit in der Produktion [1]. Somit werden die starren und transaktionsorientierten Vorgaben von ERP und MES aufgebrochen, wie es bereits durch anwendungsnahe Forschungsprojekte realisiert ist. Dadurch entstehen die Effekte einer hohen Flexibilität in der Teilefertigung, da die realen Bedingungen, freie Maschinenkapazitäten, Ressourcen, etc. berücksichtigt werden. Hierzu ist die vertikale und horizontale Integration und der Berücksichtigung des durchgängigen Engineerings die Voraussetzung, um assoziative Daten aus dem Produktionsprozess ins Engineering zurückzuführen. [8]



Abb. 6: 4 Aspekte von Industrie 4.0 [8]

V. MÖGLICHE REALISIERUNG EINER SMART FACTORY

Um eine Smart Factory zu realisieren, benötigt es einen stufenweisen Ansatz, der modular aufgebaut ist, welcher über mehrere Digitalisierungsstufen bis zur autonomen Fertigung geht. Hierzu ist es von Bedeutung, dass die Gesamtstrategie der Unternehmen mit einer Digitalisierungsstrategie zusammen betrachtet wird. Hierzu bietet Siemens für die Teilefertigung auf Basis eines kontinuierlichen Ausbaus (Stufenkonzept) der Digitalisierung bis zu neuen Geschäftsmodellen die u.a. Strategie.[9]

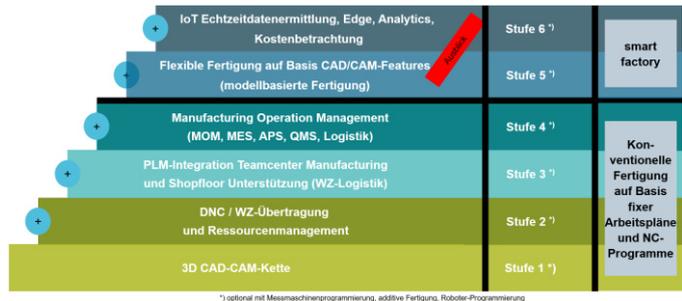


Abb. 7: Siemens Stufenkonzept auf dem Weg zur Smart Factory [8]

Somit kann über den Reifegrad eines Reifegradmodells die Digitalisierungsstrategie mittels eines planbaren Budgets umgesetzt werden.

VI. VORTEILE EINER SMART FACTORY

Bei Digitalisierungsprojekten gibt es zunächst die Effekte zur Steigerung der Effizienz, Qualität und Reduzierung von Kosten, wie es auch der VDMA [10] darstellt.

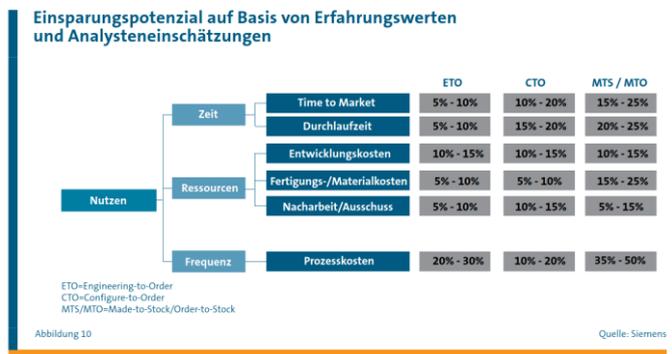


Abb. 8: Potenziale / Nutzen bei Einführung eines PLM – Systems [9]

Dieser Auszug aus den Effekten, welcher hier durch den Entwicklungs- und Konstruktionsbereich dargestellt ist, wird durch eine ganzheitliche Optimierung über den gesamten Wertschöpfungsprozess verstärkt.

Basierend auf den Echtzeitdaten aus dem Prozess, der Analytik, machine learning und anderen Verfahren sind neue Geschäftsmodelle im Bereich der Teilefertigung abbildbar. Diese haben erhebliche Vorteile bei Flexibilität und Kapitalbindung, welche eine Reduzierung der IT- und Prozesskomplexität zugleich bedingt. Hierzu bildet die Datendurchgängigkeit des Engineerings und die vertikale Integration aufgrund der Echtzeitdaten aus der Maschine die Basis. Die gewonnenen Daten werden übergreifend für verschiedene Bereiche, wie Prozessdaten für die Produktion, Instandhaltung oder auch zur Optimierung von Technologiedaten der CAM-Programmierung genutzt. Mittels des Konzepts von Siemens können die Maschinen über Security-Konzepte angebunden werden, um auch die Daten-sicherheit in einer heterogenen und vernetzten Welt sicherzustellen.

Aufgrund der horizontalen Integration über eine IoT-Plattform können Informationen werksübergreifend, als auch zwischen Lieferanten und Kunden geteilt werden, so dass neue Formen von Geschäftsmodellen realisierbar sind, wie Pay per use, etc. Hierbei kann nicht nur die Maschinennutzung verrechnet werden, sondern es wird auch die Basis geschaffen, um z.B. Werkzeuge zu mieten, Werkzeuge für bestimmte Operationen des Bauteiles zu optimieren und die Werkzeuglogistik über eine IoT-Plattform bereitzustellen. Dies hat eine erhebliche Auswirkung auf die Flexibilität, Kapitalbindung und interne Aufwände.

Diese Möglichkeiten führen dazu den Standort Deutschland mit intelligenten Fabriken weiter wettbewerbsfähig zu halten. Dadurch sind ebenso Bauteile welche heute in Billiglohnländern hergestellt werden durch automatisierte und digitalisierte Abläufe in Hochlohnländern zu gleichen Gesamtkosten herstellbar. Dies trägt auch zu einer nachhaltigen und ökonomischen Bilanz bei, da hiermit die weltweiten Lieferketten reduziert werden. Somit führen intelligente Produktionsabläufe zu einer verbesserten Ökobilanz, stärken die lokalen Unternehmen und reduzieren zugleich die weltweiten und hochkomplexen Abhängigkeiten in der Logistik.

LITERATUR

- [1] Hashem Badra, Jivka Ovtcharova, "Smart Factory of the Future- More efficient, more flexible, faster and more sustainable", in *FDIBA Conference Proceedings*, vol3, Nov. 2019, pp.67-70
- [2] Mirco Vitr, "CAM-NC-Kopplung für einen durchgängigen, bidirektionalen Informationsfluss zwischen Planung und Fertigung", ISBN 978-3-86359-078-9, 2012
- [3] Janis Ochel, "Entwicklung einer MultiCAM 4.0 Lösung zur ad-hoc Generierung von CAD/CAM-Programmierungen für alternative CNC-Maschinen", *AIF*, 2020
- [4] VDI Automatisierungskongress, "Anforderungen an Leitsystem durch Industrie 4.0", Research Gate, Automatisierungskongress Baden-Baden, *GMA-Fachausschuss*, 2014
- [5] Stefan Trabesinger, "Analysis of High Frequency Data of a Machine Tool via Edge Computing", *ScienceDirect 10th Conference on Learning Factories*, 2020
- [6] Thomas Mücke, "Informationssystematik zur Optimierung von Konstruktions- und NC-Prozessen", ISBN 978-3-7448-7892-0, 2017
- [7] Fritz Klocke, "Ermittlung und Optimierung wirtschaftlicher Schnittbedingungen", *Fertigungstechnik 1-Übung 7-Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre*, 2015
- [8] Bitkom, VDMA, ZVEI, "Umsetzungsstrategie Industrie4.0, Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0", *VDMA*, 2015
- [9] Thomas Mücke, Marian Rasokat, "Produktivitätssteigerung durch eine modellbasierte Teilefertigung; Digitale Zwillinge – Basis für die Smart Factory", MAV-ISSN 0343-043X, 2020
- [10] VDMA, "Leitfaden Investitionsrechnung für Digitalisierungsprojekte und Industrie 4.0 Vorhaben", *VDMA*, 2018