

Prozesssimulation verbessert die Entwicklung von Erntemaschinen

Ein immer globaler werdender Wettbewerb im Erntemaschinenbau erfordert innovative Produkte in immer kürzeren Entwicklungszeiten. Die „klassische“ Produktentwicklung in Form eines oftmalsigen Durchlaufs des Zyklus Lösungsansatz – Experimentalmuster – Versuch – Ergebnisinterpretation stößt hierbei an ihre Grenzen. Durch die Nutzung der Simulationstechnik zur Entwicklung der Kernfunktionen einer Erntemaschine wird eine Möglichkeit eröffnet, die Produktentwicklung zu beschleunigen und kreativer zu gestalten.

Dr.-Ing. Joachim Baumgarten ist Mitarbeiter Vorentwicklung Mährescher, Claas Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH, Münsterstraße 33, 33428 Harsewinkel, und war von 1983 bis 1987 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl Landmaschinen, Sektion Kraftfahrzeuge, Land- und Fördertechnik, TU Dresden; e-mail: baumgar@claas.com

Schlüsselwörter

Produktentwicklung, Simulation, Erntemaschine

Keywords

Product design, simulation, harvester

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 01SH206 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Um im globalen Wettbewerb der Erntemaschinenhersteller vordere Plätze zu belegen, ist neben durchdachten Vermarktungsstrategien vor allem ein kundenorientiertes Produktangebot erforderlich. Diese Produkte müssen folgenden Anforderungen genügen:

- Variables Angebot für spezielle Kundenwünsche
- Eignung für viele Einsatzbedingungen (Wiederverkauf!)
- Hohe Zuverlässigkeit
- Hohe Wartungs- und Servicefreundlichkeit
- Gutes Kundennutzen/Kosten-Verhältnis über die Lebensdauer

Diese Anforderungen lassen sich in der Summe durch technologisch führende und ausgereifte Produkte realisieren. Für die Entwicklung insbesondere von Erntemaschinen stellen die Forderungen „technologisch führend“ und „ausgereift“ eine besondere Herausforderung dar, weil die Verwendung progressiver Technologien meist ein höheres Restrisiko in der breiten Anwendung bei dem Kunden mit sich bringen. Die Entwicklungen lassen aber hoffen, dass durch die Anwendung von Simulationswerkzeugen die verfahrenstechnischen Prozesse als Kernfunktionen der Erntemaschine schneller und besser optimiert werden können [1 - 4]. Vorangetrieben wird die Simulation nicht zuletzt durch eine sich rasant entwickelnde Rechnerleistung, welche die Basis für sinnvoll anwendbare Simulationsmodelle darstellt.

Als richtungsweisendes Beispiel für diese Entwicklung sei hier auf die Festigkeitsrechnung mittels FEM (Finite-Elemente-Methode) oder auch auf die Anwendung von Mehrkörpersimulationen bei der Lösung von kinematischen/kinetischen Problemen verwiesen. Sicher ist deren guter Stand neben dem dringenden Bedarf auch einer breiten Anwendungsbasis zu verdanken. Zugleich zeigt die weite Verbreitung in fast jeder Entwicklungsabteilung aber auch, dass der Boden bereitet ist für die Simulation der eigentlichen verfahrenstechnischen Kernaufgaben.

In den folgenden Abschnitten werden die Ziele und Effekte sowie die Anforderungen an die Simulation von verfahrenstechnischen Prozessen in Erntemaschinen darge-

stellt und die mögliche Einordnung der Simulationstechnik in der Produktentwicklung aufgezeigt.

Stand und Probleme der Produktentwicklung

Die in Erntemaschinen ablaufenden verfahrenstechnischen Vorgänge sind von einer Vielzahl mathematisch/physikalisch noch nicht beschreibbarer Funktionen gekennzeichnet. Die bisherigen Entwicklungsleistungen sind daher überwiegend einem umfangreichen Erfahrungsschatz der Konstrukteure zu verdanken, welcher aber aus verschiedensten Gründen nicht beliebig erweiterbar ist.

Eine verbesserte oder neue Funktion der Erntemaschine wird in einer Wechselwirkung von Intuition – Erfahrungsschatz realisiert, welcher als Prüfkriterium das Experimentalmuster hat. Dies führt oft zu einer unerwünscht langen Entwicklungszeit durch einen mehrmaligen Durchlauf Lösungsansatz – Experimentalmuster – Versuch – Ergebnisinterpretation.

Der Erfahrungsschatz des meist unter Zeitdruck stehenden Entwicklers kann aber auch als „Bremse“ gegenüber neuen, progressiven Ideen wirken, da zu viel „Unbekanntes“ zu Funktionsrisiken führt, welche es zu vermeiden gilt. Die Folge kann sein, dass richtungsweisenden Neuerungen unentdeckt bleiben.

Ziele und Effekte der Simulationstechnik

Es besteht also der Bedarf nach einem Entwicklungswerkzeug, welches den Konstrukteur bei der Entwicklung der bestimmenden Funktionen der Erntemaschine unterstützt und folgenden Forderungen gerecht wird:

- Schnelle und kostengünstige Überprüfung von technischen Lösungen auf Realisierbarkeit und Erfüllung der Zielstellung
- Erweiterung der Wissensbasis des Konstrukteurs
- Visualisierung der ablaufenden Vorgänge, um durch besseren Prozesseinblick die Lösungsfindung zu beschleunigen

Diese Forderungen soll die Simulationstechnik als Entwicklungswerkzeug zur Simulation der verfahrenstechnischen Prozesse in

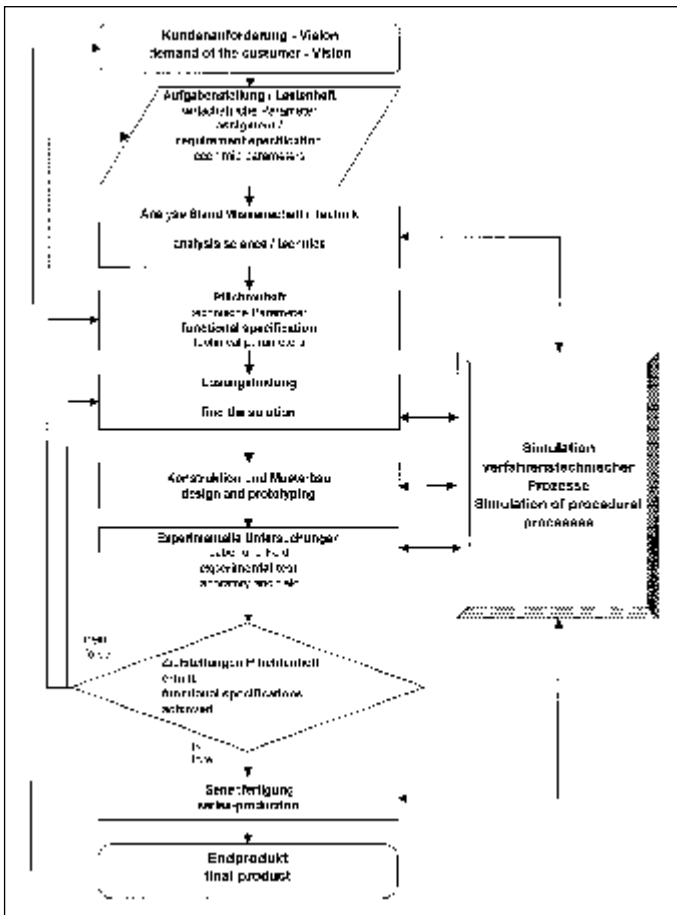


Bild 1: Produktentwicklung mit Simulationstechnik

Fig. 1: Product design with simulation-technology

triebs- und Konstruktionsparameter)

- Erarbeitung von Einstellstrategie und Einstellwerten der Parameter für ergänzende experimentelle Untersuchungen
- Mögliche Plattform für die Automation der Prozesse und der ganzen Erntemaschine

In Bild 1 ist eine mögliche Einbindung der Simulation verfahrenstechnischer Prozesse in die Produktentwicklung gezeigt.

der Erntemaschine erfüllen. Unter Simulation soll hier die modellhafte Abbildung der Prozesse in mathematischen Beziehungen, deren Lösung und die anschließende Visualisierung verstanden werden.

Mit der Einführung der Simulation der verfahrenstechnischen Prozesse werden folgende Effekte erwartet:

- Verkürzung der Entwicklungszeiten
- Höhere Qualität der Lösungen durch:
 - Größere Varianz der untersuchten Lösungen
 - Eingeschränktes Risiko einer Fehlentscheidung durch umfangreichere Überprüfung
- Reduzierung des Materialaufwandes und der Herstellkosten
- Verringerung des Versuchsaufwandes pro Aufgabenstellung als Langzeitwirkung.

Einbindung der Simulationstechnik in die Entwicklung

Mit der Simulationstechnik sollen in der Produktentwicklung folgende Aufgaben bearbeitet werden (in Anlehnung an [2]):

- Unterstützung bei der Generierung von Lösungsvarianten (Wissensbasis)
- Eingrenzung der Vorzugsvarianten
- Exaktere Vorgaben für Dimensionierung und Konstruktion
- Voroptimierung von Kenngrößen (Be-

renstechnischer Prozesse in die Produktentwicklung gezeigt. Die Simulationstechnik ist zwar neben dem Produktentwicklungsprozess dargestellt, soll aber nur in der Startphase „neben“ der eigentlichen Entwicklung laufen und muss später integrierter Bestandteil der Produktentwicklung sein.

Hierbei ist vorstellbar, dass bereits Teile der Simulationstechnik bei der Analyse von Wissenschaft und Technik, etwa in Form der Analyse von artverwandten Prozessen, genutzt werden.

Die Hauptnutzung der Simulationstechnik wird sicherlich bei der Lösungsfindung (-generierung) und den experimentellen Untersuchungen stattfinden. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen liefern die Daten zur Validierung und Präzisierung des der Simulation zu Grunde liegenden Modells, mit welchem im nächsten Schritt verbesserte Vorhersagen bei der Lösungsfindung getroffen werden können.

Anforderungen an die Simulationstechnik

Die positiven Effekte der Simulation verfahrenstechnischer Prozesse in der Erntemaschine stehen außer Zweifel, jedoch sind bis zum erfolgreichen Einsatz dieses Entwicklungswerkzeuges noch einige Hürden zu nehmen.

So bedarf es noch wesentlicher Anstrengungen, um aus den wissenschaftlichen Grundlagen nutzbare Werkzeuge zu entwickeln. Hier sind die Hochschulen und Universitäten zur Zusammenarbeit mit den Industrieunternehmen und auch mit den Softwareunternehmen aufgefordert. Denn eine ganz wesentliche Voraussetzung für die breite Anwendung der Simulation verfahrenstechnischer Prozesse ist das Angebot an kommerzieller Software. Nur wenige Industrieunternehmen zeigen sich bereit, an einer Hochschule entwickelte Softwareprodukte zu übernehmen. Solche „Insellösungen“ halten erfahrungsgemäß nicht mit der notwendigen Entwicklung von Hard- und Software Schritt.

Für eine gute Akzeptanz der Simulationswerkzeuge ist eine problemlose Kommunikation zwischen der Simulationssoftware und der im Unternehmen eingesetzten weiteren CAE-Software notwendig. Benötigt man für die Simulation der verfahrenstechnischen Prozesse geometrische Modelle, sollten diese aus der 3D CAD-Umgebung übernommen werden können oder ein interaktives Arbeiten zwischen den Softwarewerkzeugen möglich sein.

Auch das Einpflegen der Daten aus den experimentellen Untersuchungen sollte (gegebenenfalls über Datenbanken) ohne großen Aufwand vonstatten gehen, um praktikabel zu bleiben. Die Kommunikation sollte sich so problemlos gestalten, wie heute die Integration der FEM-Festigkeitsrechnung in die CAD-Software.

Schließlich sind die Nutzer und Systembetreuer gezielt auf die Anwendung dieses Simulationswerkzeuges auszubilden. Von deren Können und Bereitschaft zur Anwendung dieses Werkzeuges hängt letztendlich der Erfolg im Unternehmen ab.

Grenzen der Simulation verfahrenstechnischer Prozesse

Die Simulation der verfahrenstechnischen Prozesse dient zur Unterstützung für den Entwickler und ist nicht als vollständiger Ersatz für experimentelle Untersuchungen im Labor und auf dem Feld zu verstehen. Vielmehr stellt sie das Bindeglied zwischen der eigentlichen konstruktiven Arbeit und den in der Erntemaschine ablaufenden Prozessen dar. Die für die Entwicklung relevanten Änderungen der Prozesse sind experimentell zu erfassen und damit das Simulationsmodell zu präzisieren.

Es stellt sich nun die Frage, wie weit ein Simulationsmodell den Prozess beschreiben kann und welcher Aufwand erforderlich ist? Es kann durchaus sinnvoll sein, nur bestimmte Teile des Prozesses mit einem Simulationsmodell zu erfassen und das pro-

zesstechnische Umfeld rein experimentell abzudecken. Der zu simulierende Prozessabschnitt muss zwei wesentliche Voraussetzungen erfüllen: Er muss mit der zur Verfügung stehenden Simulationstechnik sinnvoll modellierbar sein und sollte einen wesentlichen Problempunkt der Entwicklung darstellen. Ist der Prozessabschnitt für die konstruktive Gestaltung leicht zugänglich, bedarf es nicht des hohen Aufwandes der Simulation, es sei denn, dieser Prozessabschnitt ist zur Simulation eines durchgehenden Prozesses erforderlich.

Zusammenfassung

Mit einer zukünftigen Anwendung der Simulation der verfahrenstechnischen Prozesse in Erntemaschinen wird eine bedeutende

Steigerung der Effizienz in der Produktentwicklung möglich sein. Die hardwareseitigen Voraussetzungen für die Einführung der Simulation werden ständig besser. Da ein Simulationswerkzeug für Erntemaschinen bei weitem nicht auf so einer breiten Basis steht, wie etwa die Festigkeitsrechnung mit FEM, ist für dessen erfolgreiche Einführung die Zusammenarbeit zwischen Hochschulen, Industrie und auch Softwareunternehmen wünschenswert.

Weiterhin kann die Simulationstechnik auch nur so gut sein, wie die zur Generierung benutzten Daten. Deshalb benötigt die Simulationstechnik zu Beginn neben dem geeigneten Modell selbst umfassendes Datenmaterial. Daraus folgt, dass sich der Erfolg der Simulation der verfahrenstechnischen Prozesse im Unternehmen erst mit der intensiven Anwendung dieser einstellt.

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] • Hübner, R.: Entwicklung eines Modells zur Auslegung einer rotierenden Reinigungseinrichtung im Mähdrescher. Dissertation, Dresden, w.e.n.-Univ.-Verl. (Dresdener Forschungen: Maschinenwesen ;Bd.2), 2000
- [2] • Beck, F.: Simulation der Trennprozesse im Mähdrescher. Dissertation, Universität Stuttgart, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 14 Nr. 92, VDI Verlag, Düsseldorf, 1999
- [3] Kremmer, M. and J.F. Favier: Multi-Body Dynamics Simulation Using ReDEM. ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting, Sheraton Centre, Toronto, Canada, 1999
- [4] Kutzbach, H.D.: Ansätze zur Simulation der Dresch- und Trennprozesse im Mähdrescher. Tagung Landtechnik 2000 in Münster, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000

Fortsetzung von Seite 439

Der Sollwertrechner wurde in der Simulation und auf dem Versuchsstand unter Verwendung eines definierten Fahrzyklus getestet. Für diese Tests wurden die Drehzahlen der Elektroantriebe durch die Lastmaschinen auf konstanten Werten gehalten. Der Sollwert der Dieseldrehzahl wurde vom Sollwertrechner vorgegeben, es wurde also eine Anpassung der Dieseldrehzahl an die Leistungsanforderung vorgenommen.

Die Ergebnisse von Simulation und Messung sind in *Bild 9* dargestellt. Im ersten Teil (2...14 s) treiben die Elektroantriebe das Fahrzeug an. Danach führt ein negativer Drehmomentsollwert dazu, dass die Elektroantriebe in den Generatormode übergehen.

Die Kurve der abgegebenen Zugleistung folgt ihrem Sollwert mit einer bestimmten Verzögerung, da zunächst die Dieseldrehzahl erhöht werden muss. Der bei 10 s nochmals erhöhte Sollwert kann nicht eingestellt werden, da er zu einer Überlastung des Dieselmotors führen würde. Nach dem Übergang in den Bremsbetrieb wird die Drehzahl des Dieselmotors vom Sollwertrechner überwacht. Die Solldrehzahl des Dieselmotors wird auf den Leerlaufwert gesetzt, so dass die Einspritzmenge des Dieselmotors zu Null wird. Die von den Elektroantrieben zurückgespeiste Leistung wird auf einen Wert begrenzt, der nicht zur Überschreitung der maximal zulässigen Dieseldrehzahl führt.

Die größten Differenzen zwischen den simulierten und gemessenen Verläufen treten in den Bereichen auf, in denen sich das abgegebene Drehmoment der Elektroantriebe ändert. Die Unterschiede erklären sich mit dem relativ simplen Modell der Elektroantriebe (PT1-Verhalten). Eine hochdynamische feldorientierte Regelung der Elektroan-

triebe, wie sie bei realisierten Traktionsantrieben Stand der Technik ist, entspräche dem verwendeten Simulationsmodell besser als die am Versuchsstand eingesetzte Regelung der eingebauten Frequenzrichter.

Weiterhin sind insbesondere im Bereich der maximalen Leistungsabgabe länger andauernde Differenzen zwischen den simulierten und gemessenen Werten zu erkennen. Mögliche Ursachen dafür sind Unterschiede zwischen den realen Wirkungsgraden der Elektroantriebe und den in der Simulation verwendeten Wirkungsgradkennfeldern. Speziell der temperaturabhängige Läuferwiderstand der Asynchronmaschinen kommt als Fehlerquelle in Frage. Weitere Ursachen können in der analogen Signalübertragung der Sollwerte für die Frequenzrichter und dem nichtlinearen Verhalten des Einspritzreglers liegen.

Trotz der genannten Einschränkungen zeigen die Tests die Funktionsfähigkeit des implementierten Algorithmus. Zur Weiterentwicklung der Steuerung erscheint es sinnvoll, die Information über das vom Generator aufgebrachte Drehmoment (Signal des Generatorumrichters) und das vom Dieselmotor eingeprägte Drehmoment auszuwerten. Die Differenz beider Größen ergäbe ein Maß für die Belastung durch Nebenverbraucher. Aus der Information über das Generator Drehmoment könnte weiterhin der reale Wirkungsgrad der Elektroantriebe ermittelt und somit die eingesetzten Wirkungsgradkennfelder korrigiert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Innerhalb der am Lehrstuhl Landmaschinen der TU Dresden durchgeführten Untersuchungen an dieselelektrischen Fahrtrieben entstanden auf einem Versuchsstand verifi-

zierte Modelle für deren stationäres und dynamisches Verhalten. Für die betrachteten Antriebskonfigurationen wurden durch den Einsatz der Leistungsverzweigung Wirkungsgradverbesserungen von bis zu 7% ermittelt. Um die praktischen Anforderungen bezüglich des Wirkungsgradverlaufes an einen Traktor-Fahrtrieb zu erfüllen, müssen gegenüber dem Versuchsantrieb die Verluste der Elektroantriebe bei höheren Drehzahlen reduziert werden.

Die Verwendung dieselelektrischer Antriebe ermöglicht neue Strukturen für die Antriebsregelung. Erste Tests zeigten die Funktionsfähigkeit eines auf der Vorgabe von Drehmomentsollwerten basierten Algorithmus. Weitere Untersuchungen und die Auswertung zusätzlicher Signale folgen. Langfristig sollen sie zum Aufbau eines fahrfähigen Prototyps führen.

Die Einführung dieselelektrischer Fahrtriebe in Traktoren wird langfristig nur über die erforderlichen Kosten entschieden. Die technische Realisierbarkeit und die daraus entstehenden zusätzlichen Funktionalitäten stehen außer Frage.

Literatur

- [1] Schmetz, R.: Elektromechanische Traktorgetriebe. LANDTECHNIK 54 (1999), H. 2, S. 72-73
- [2] Beunk, H.: Stufenlos mit Diesel und Strom. Profi 11 (1999), H. 6, S. 30-32
- [3] Barucki, T.: Optimierung des Kraftstoffverbrauches und der Dynamik eines dieselelektrischen Fahrtriebes für Traktoren. Dissertation, TU Dresden, 2001 (Publikation in Vorbereitung)
- [4] Barucki, T., J. Kis und R. Rudik: Modellierung dieselelektrischer Fahr- und Nebenantriebe von Landmaschinen. Tagung Landtechnik 1999, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999
- [5] Barucki, T.: Realisierungsmöglichkeiten elektrischer Traktortriebe. Landtechnik 54 (1999), H.4, S. 228 – 229