





# Stufenlos zum Erfolg

Entwicklung eines stufenlosen Getriebes für Traktoren

Quelle: © CLAAS

Vor der Entwicklung ihres Traktorgetriebes hatte die CLAAS Industrietechnik GmbH (CIT) noch keine Erfahrung mit der modellbasierten Software-Entwicklung. Am Ende übertraf ihr Produkt dennoch die kühnsten Erwartungen. Ein Teil dieser Erfolgsgeschichte: die leistungsfähige Werkzeugkette von dSPACE.



Ruckfrei fährt der mächtige Traktor am Hang an, beschleunigt gleichmäßig und erreicht ohne spürbare Zugkraftunterbrechung die Höchstgeschwindigkeit. Das Einzige, was der Fahrer dazu beiträgt: das Gaspedal betätigen. Kupplung und Schalthebel braucht er nicht. Möglich macht das ein neues Traktorgetriebe von CLAAS Industrietechnik (CIT). Das stufenlose Getriebe EQ 200 hält den Traktor selbst am Hang sicher im aktiven Stillstand und reagiert prompt auf Gasbefehle. Zudem ist es so ausgelegt, dass auch bei Maximalgeschwindigkeit von 50 km/h mit einer sehr niedrigen Motordrehzahl von nur 1.500 Umdrehungen pro Minute gefahren werden kann. So wird im Straßenbetrieb wertvoller Kraftstoff gespart. Hohe

Effizienz- und Komfortkriterien waren wichtige Gründe, die CIT zu dieser Eigenentwicklung bewogen. „Wir haben auf dem Markt kein Getriebe gefunden, das unseren Ansprüchen genügt“, stellt CIT-Produktbereichsleiter Jan-Willem Verhorst fest.

**Traktoren als fahrende Energiequellen**

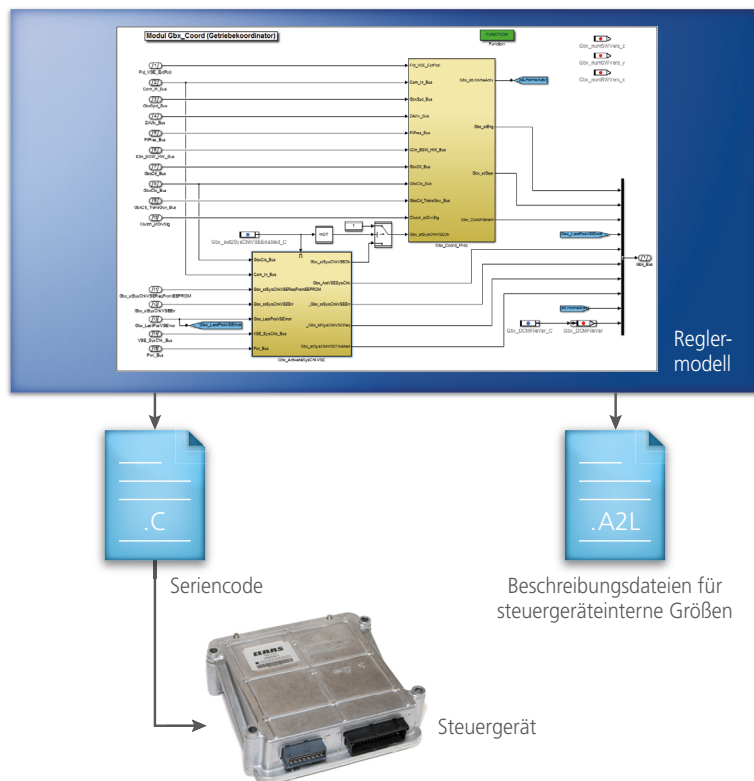
Eine Besonderheit von Traktoren ist der Antrieb von Arbeitsgeräten, beispielsweise eines Heuwenders, über eine Zapfwelle. „Ein Traktor ist dadurch nicht nur als Fahrzeug zu sehen, sondern quasi auch als eine fahrende Energiequelle“, erklärt Helmut Konrad, Leiter der Elektronikentwicklung bei CIT. „Das stellt uns natürlich vor weitere Herausforderungen.“ Sein beson-

deres Augenmerk gilt dabei der Prozessgeschwindigkeit angekoppelter Geräte, die vollkommen unabhängig vom Vortrieb des Traktors geregelt sein muss. Effiziente Abläufe und ein stets optimaler Wirkungsgrad über das gesamte Geschwindigkeitsband gehören zu den entscheidenden Herausforderungen für das Team von CIT.

**Anforderungen an die Technik**

Um für die vielfältigen Anwendungsfälle von Traktoren den jeweils optimalen Fahrbetrieb zu gewährleisten, setzt CIT einen Fahrregler ein, der automatisch die beste Fahr- und Betriebsstrategie ermittelt. Der Regler setzt zudem die herstellereigene Antriebsphilosophie um, die Verhorst so erklärt: „Prinzipiell zielen wir auf eine geringe Drehzahl und damit einen niedrigen Treibstoffverbrauch ab, wollen aber trotzdem nicht auf eine hohe Dynamik verzichten.“ Darüber hinaus gelten in der Landmaschinenteknik enorm hohe Anforderungen an die Ausfallsicherheit, denn die Nichtverfügbarkeit eines Fahrzeugs aufgrund eines technischen Defekts kann mitunter hohe Produktionseinbußen oder schlimmstenfalls den Totalverlust der Ernte bedeuten.

*Mit TargetLink wird aus dem Reglermodell effizienter Seriencode generiert und auf dem Steuergerät implementiert.*



**Entwicklungsauftrag: Stufenloses Getriebe**

Das Ziel, alle diese Anforderungen in Einklang zu bringen, gab für CIT den Ausschlag zur Eigenentwicklung des stufenlosen Getriebes EQ 200 samt Getriebebesteuergerät und Fahrregler. „Da es bei CIT in dieser Leistungs-kategorie keine Vorgängerprojekte gab, auf denen wir hätten aufbauen können, starteten unsere Entwickler zunächst mit einem weißen Blatt Papier“, berichtet Thomas Gohde, Systemingenieur F&E Traktor-antriebsstrang. „Unserer Fantasie waren daher auch



Winterdienst

Nachteinsatz

Quelle: © CLAAS



„Mit der MicroAutoBox konnten wir unsere Regelstrategien einfach und schnell im Fahrzeug testen und beurteilen.“

Jan-Willem Verhorst, Leiter F&E Antriebsstrang,  
CLAAS Industrietechnik

vorerst kaum Grenzen gesetzt.“ In der Folge mündeten erste Überlegungen in einer Spezifikation, die aufgrund ihrer hochgesteckten Anforderungen unter der Bezeichnung „A Driver’s Dreamland“ in die Firmengeschichte einging. Parallel mussten sich die Entwickler aber auch konsequent an ganz bodenständigen Anforderungen orientieren, beispielsweise an automotiven Entwicklungsstandards oder der ISO-Norm 25119, welche die funktionale Sicherheit von Steuergeräten für Landmaschinen festschreibt.

#### Auswahl der Werkzeugkette

Beim Fahrregler und EQ-200-Steuergerät entschied sich CIT zudem erstmals für einen modellbasierten Software-Entwicklungsprozess (MBD). Weil damit aber noch keine Erfahrungen vorhanden waren, sollten nur Standardwerkzeuge zum Einsatz kommen, die sich in der Industrie bereits bewährt hatten. Simulink® stand daher früh als Entwicklungs-umgebung fest, es stellte sich jedoch unmittelbar die Frage, wie der Zielcode für die beiden Steuergeräte generiert werden sollte. Unter Berücksichtigung vorheriger Untersuchungen in anderen Unternehmensbereichen von CLAAS entschied man sich für den dSPACE Seriene-Generator TargetLink®. Ein weiteres in der

Fahrzeugentwicklung etabliertes Werkzeug von dSPACE – die MicroAutoBox® – wurde für die prototypische Überprüfung der Algorithmen im Traktor gewählt. In einem späteren Entwicklungsschritt kamen noch zwei dSPACE Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulatoren für den Steuergerätest hinzu.

#### Entwicklung der Funktionen

Zum Projektstart stand CIT ein Team von vier Personen zur Verfügung, das zwecks Einbindung weiterer Aufgaben schnell ausgebaut wurde. Dennoch stellte sich heraus, dass man sich bei der Spezifikation sehr viel vorgenommen hatte – zu viel selbst für das schnell wachsende Team. Eine überarbeitete Spezifikation mit der Bezeichnung „Down to Earth“ korrigierte das. Trotz der anfangs fehlenden Erfahrung mit modellbasierter Entwicklung gelangen schnell erste Erfolge, nicht zuletzt dank der dSPACE Produkte. „Die installierte Werkzeugkette förderte die Kommunikation mit den Mechanikern in der Getriebeentwicklung, da wir uns sofort auf die Funktionsentwicklung konzentrieren konnten, ohne uns zu sehr mit Codierungsaufgaben zu beschäftigen“, berichtet Gohde. Selbst das zuerst an einen Entwicklungspartner ausgelagerte Projekt für das Getriebe-steuergerät konnte dadurch übernommen und intern weitergeführt werden.

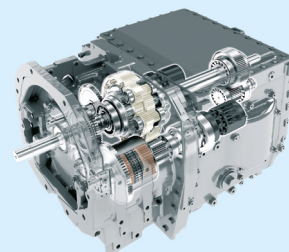
&gt;&gt;

## Stufenloses Getriebe EQ 200

Zu den Komponenten des EQ 200 gehören ein Stufenplanetengetriebe, eine hydrostatische Getriebeeinheit und zwei Lamellenkupplungen. Die Getriebebauteile wurden so intelligent kombiniert, dass das Getriebe bei allen Geschwindigkeiten einen besonders hohen und nahezu konstanten Wirkungsgrad verfügt. Beim automatischen Wechsel der Fahrstufe ändert sich nicht nur die Übersetzung, sondern auch der gesamte Kraftfluss durch das Getriebe. Die Drehzahlen der beiden Kupplungswellen nähern sich beim Beschleunigen immer weiter an, bis sie die gleiche Geschwindigkeit erreicht haben. Exakt im perfekten Synchronpunkt schalten dann die Lamellenkupplungen. Auf diese Weise erfolgt der Fahrstufenwechsel – auch unter Last – ohne Drehzahl- und Drehmoment-sprung und führt zu einem durchgehend gleichmäßigen Beschleunigungsverhalten.

Erfahren Sie mehr über die Funktionsweise des Getriebes EQ 200 im Video:

[www.dspace.com/go/dMag\\_20161\\_CLAAS\\_D](http://www.dspace.com/go/dMag_20161_CLAAS_D)



Das Getriebe EQ 200 besticht durch ruckfreie Schaltvorgänge und erlaubt eine gleichmäßige Leistungsentfaltung.



Wenden



Pflügen



Grubbern



Transportieren



„Durch die Verwendung von TargetLink haben wir einen vollständigen Entwicklungsschritt gespart und stets zuverlässigen Seriencode generiert.“

*Thomas Gohde, Systemingenieur F&E Traktoranzugsstrang, CLAAS Industrietechnik*

**Implementierung der Funktionen**

Für die Entwicklung der Funktionsmodelle nutzt CIT das Blockset von TargetLink. „Neben den nativen TargetLink-Blöcken haben wir auch eine eigene Bibliothek für häufig wiederkehrende Funktionalitäten wie zum Beispiel Filter erstellt“, erläutert Gohde. Das Entwicklerteam profitierte auch von der verteilten Entwicklung durch Model Referencing. Dabei werden einzelne Teilfunktionen separat erstellt, generiert und getestet und dann in ein übergeordnetes Integrationsmodell ein-

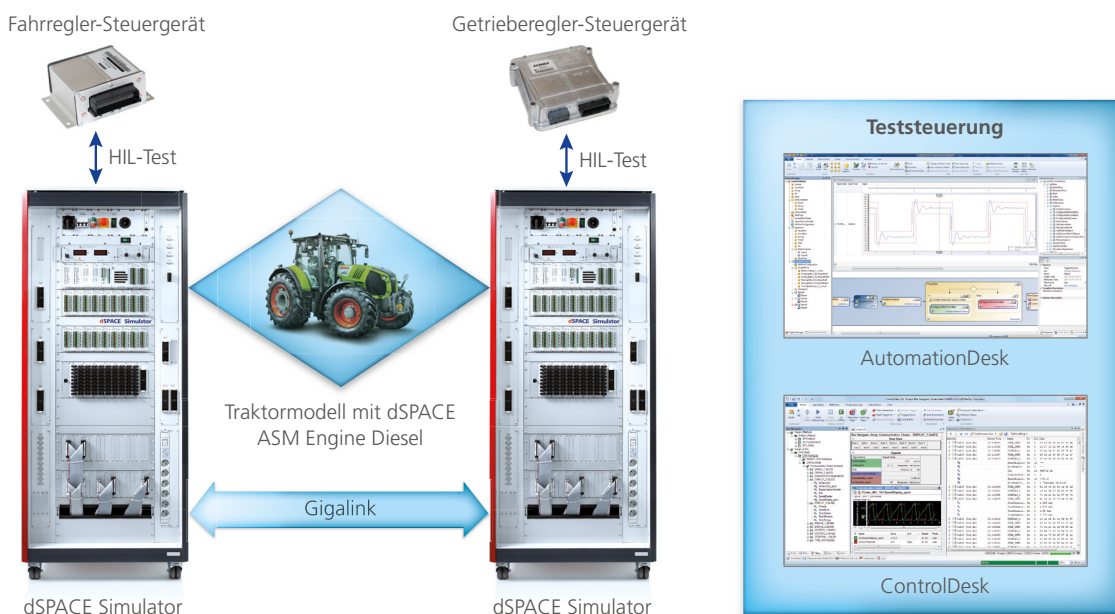
gebunden, wo dann mit TargetLink der Glue-Code für die Software-Integration generiert wird. Darüber hinaus wurden mit der Page-Switching-Technik Speicherbereiche für die einfache Umschaltung zwischen Parametriervariablen vorgesehen sowie die von TargetLink generierten A2L-Dateien für Kalibrier- und Messwerkzeuge genutzt. CIT konnte den Code mit den Bordmitteln von TargetLink sowie dem BTC Embedded-Tester ausführlich prüfen und so Fehler frühzeitig erkennen und beheben. Der mit TargetLink generierte

effiziente Seriencode wird dann auf den Steuergeräten integriert.

**Absicherung der Steuergeräte-Software**

„Schon zu Beginn der Entwicklung war uns klar, dass der Steuergeräte-test den gleichen Aufwand erfordern würde wie die Entwicklung der Steuergeräte-Software“, erinnert sich Konrad. „Daher haben wir zwei etwa gleich starke Teams für Entwicklung und Test aufgebaut und sie ganz bewusst räumlich getrennt voneinander untergebracht, damit

*Aufbau des HIL-Testplatzes, der dank Testautomatisierung auch über Nacht betrieben werden kann.*





jeder seinen ganz eigenen Blickwinkel behält.“ Zunächst starteten die HiL-Tests mit dem Fahrregler-Steuergerät. Die dafür notwendigen Simulationsmodelle wurden weitestgehend selbst erstellt, während für die Motorsimulation das Modell ASM Diesel Engine von dSPACE zum Einsatz kam. Mit AutomationDesk wurde schon entwicklungsbegleitend eine Testbibliothek aufgebaut, um die umfangreichen Testfälle automatisiert durchzuführen. So konnten neue Software-Stände über Nacht geprüft und die Testergebnisse schon am nächsten Tag ausgewertet werden.

#### Verifikation und Validierung mit Systemtests

Nach dem Komponententest, bei dem die Steuergeräte für die Fahr- oder Getrieberegulierung einzeln geprüft werden, erfolgte ein Verbundtest mit beiden Steuergeräten. Die entwickelten Testbibliotheken wurden dafür erweitert, um auch das Zusammenspiel beider Steuergeräte im restbussimulierten Fahrzeug zu prüfen. Mit zwei dSPACE Simulatoren und AutomationDesk konnte so ein vollständiger Systemtest durchgeführt werden, mit zwei Testingenieuren in nur drei Wochen. Die dabei erreichte Testtiefe half auch bei der Zertifizierung der Steuergeräte nach ISO 25119. Bei der anschließenden Erprobung auf dem Feld zeigte sich der im Labor erreichte hohe Reifegrad der Software: Während man

in bisherigen Projekten etwa 11.500 Stunden in die Überprüfung der Elektronik investierte, kamen beim neuen modellbasierten Ansatz nur 3.500 Erprobungsstunden zusammen.

#### Erfolgreiche Einführung in die Serie

2014 erfolgte die Markteinführung des stufenlosen Getriebes EQ 200 sowie des Fahrreglers in den Traktoren der Baureihe Arion 500/600, deren Effizienz und Komfort viele Kunden auf Anhieb überzeugten. Mittlerweile konnte CIT von dieser Baureihe mehr Exemplare verkaufen, als im Businessplan prognostiziert, so dass sich Kunden inzwischen etwa ein Jahr bis zur Lieferung ihrer Traktoren gedulden müssen. Noch mehr als über den kommerziellen Erfolg freut sich das Entwicklungsteam um Verhorst, Konrad und Gohde aber über die positive Kundenresonanz zum Fahrverhalten und zum Verbrauch: „Dass dieses Projekt zum größten und erfolgreichsten bei CIT wurde, ist neben der engagierten Vorgehensweise auch unserer effizienten und leicht zu beherrschenden Werkzeugkette zu verdanken. Obwohl unsere Entwickler ohne spezielle MBD-Kenntnisse starteten, konnten wir damit genau das richtige Produkt zur richtigen Zeit liefern. Und ein Produkt, das jetzt schon seit einem Jahr ohne jegliche Software-Fehler auf dem Feld im Einsatz ist.“ ■

*Mit freundlicher Genehmigung der CLAAS Industrietechnik GmbH*

## Das Projekt

### Die Aufgabe

Entwicklung eines Fahrreglers und eines Getriebesteuergerätes für Traktoren.

### Die Herausforderung

Einführung der modellbasierten Entwicklungsmethodik und einer geeigneten Werkzeugkette zur Funktionsentwicklung und Absicherungen der Steuergeräte-Software nach ISO 25119.

### Die Lösung

Aufbau eines modellbasierten Steuergeräte-Entwicklungsprozesses. Effizienter Einsatz der MicroAutoBox für das Rapid Control Prototyping, von Target-Link für die Software-Implementierung und des dSPACE Simulators mit AutomationDesk für die Absicherung der Steuergeräte. Für zukünftige Projekte ist geplant, die umfangreichen Testfälle und Testdaten mit der Datenmanagement-Software dSPACE SYNECT® zu verwalten und auszuwerten.



„Die dSPACE Simulatoren haben uns geholfen, die Qualität der Software und Hardware extrem zu steigern.“

*Helmut Konrad, Leiter Elektronikentwicklung, CLAAS Industrietechnik*