

Exakt synchronisiert mit EtherCAT:  
selbstfahrende Transportfahrzeuge im Tandembetrieb

# Wheelift®-Schwertransporter im Einsatz bei der NASA



Seit Januar 2014 sorgen Wheelift® Self-Propelled Modular Transporters (SPMTs) erfolgreich für das Materialhandling der NASA.



Die NASA arbeitet aktuell an der Fertigstellung des Space Launch Systems (SLS). Das Raketenträgersystem stellt die leistungsstärkste Rakete dar, die jemals gebaut wurde und kann die bislang höchste Nutzlast ins Weltall transportieren.

Derzeit arbeitet die US-amerikanische Weltraumbehörde NASA am Space Launch System SLS, einer Trägerrakete zur bemannten Erforschung des Weltraums über einen niedrigen Erdorbit hinaus. Das SLS soll über mehrere Schritte zu einer Schwerlastrakete mit einer Kapazität von ca. 130 Tonnen Nutzlast ausgebaut werden. Zunächst wird die Block 1 genannte Version mit einer Höhe von ca. 98 Metern und einem Startgewicht von 2.500 Tonnen zum Einsatz kommen. Ein erster, noch unbemannter Start, die Mission EM-1, ist für Ende 2018 vorgesehen. Bis es so weit ist, müssen die Raketenbauteile in Werkshallen über große Strecken bewegt werden. Hierfür nutzt die NASA die selbstfahrenden Wheelift®-Transportfahrzeuge (Self-Propelled Modular Transporters – SPMTs) der Firma Doerfer. Die Herausforderung besteht darin, dass aufgrund der enormen Abmessungen und des schweren Gewichts der Raketenbauteile die Bewegungen mehrerer SPMTs exakt synchronisiert werden müssen.

Die NASA-Produktionseinrichtung Michoud Assembly Facility (MAF) in New Orleans, gehört mit über 173.728 m<sup>2</sup> zu den größten Produktionsstätten der Welt. Hier werden Komponenten für das NASA-Raumstartsystem SLS hergestellt und montiert. Die Raketenkomponenten, die hunderte Tonnen wiegen können, oder auch die Abschnitte der verschiedenen Tanks müssen während des Montage-

und Herstellungsprozesses immer wieder über Distanzen von bis zu mehreren Kilometern bewegt werden. Nun sind das Handling und der Transport von schweren Lasten für die Wheelift-Transporter von Doerfer an sich nichts Neues. Die besondere Herausforderung bei der NASA-Anwendung besteht jedoch darin, dass mehrere SPMTs im Tandembetrieb arbeiten müssen und dass besondere





Befestigungsvorrichtungen für die empfindliche Fracht notwendig sind. Um die exakte Ausrichtung der Last während des Transports beizubehalten, geben die Haltevorrichtungen kontinuierlich Meldung an die Steuerung.

So transportieren vier SPMTs, die einzeln für eine Nutzlast von bis zu 100 t ausgelegt sind, exakt koordiniert, die Raketenstufenausrüstung über öffentliche Straßen auf eine Barge, mit der die Raketen Teile auf dem Seeweg zur nächsten NASA-Einrichtung oder zum Startplatz gebracht werden. John Pullen, Leitender Steuerungsentwickler bei Doerfer Companies, erläutert die Automatisierungsanforderungen, die zum erfolgreichen Zustandebringen dieses „gewichtigen“ Balanceakts notwendig sind: „Es ist eine Herausforderung, mehrere SPMTs bei der Fahrt über unebene Böden im Werk oder außerhalb zu koordinieren und gleichzeitig die Ausrichtung der Last auszubalancieren. Voraussetzung hierfür ist, neben den Schwerlastservomotoren und -reifen, ein hochmodernes Automatisierungs- und Steuerungssystem, das mit wechselnden Umgebungsbedingungen umgehen kann.“

### Ein Embedded-PC koordiniert die Bewegung von vier Schwerlasttransportern

Die vier SPMTs im Tandembetrieb müssen kontinuierlich eine sichere Geschwindigkeit und Lenkung beibehalten. „Dies erforderte eine deutliche Änderung der Steuerungsarchitektur“, wie Tom Phillips, Wheelift Business Manager, Doerfer Companies, sagt: „Wir koordinieren die Arbeit von vier Fahrzeugen jetzt über einen Controller.“ Unter Einsatz der Automatisierungssoftware TwinCAT 3 hat Doerfer einen SPMT als „Master“ der Fahrzeuggruppe definiert; die drei anderen Transporter agieren als „Slaves“ in einer objektorientierten



Die PC-basierte Steuerungsplattform von Beckhoff stellt sicher, dass der Wheelift mit wechselhaftem, häufig unebenem Gelände umgehen und die Raketenbauteile nach den Vorgaben der NASA fachgerecht positionieren kann.



Zur Automatisierung und Steuerung ist die neueste Generation der Wheelift SPMTs mit dem Embedded-PC CX2030 ausgestattet, der über eine leistungsstarke 1,5 GHz Intel® Core™ i7-Dual-Core-CPU verfügt.

Steuerungsarchitektur. Die Master-SPS führt alle Berechnungen für jede der Fahrzeuggruppen aus. „Dies umfasst den Ausgleich des Drehmoments und der Lenkzentren, der Geschwindigkeiten, der Lastverteilung und der Zylinderhöhe alle 10 Millisekunden“, unterstreicht John Pullen. In der neuesten Generation seiner Wheelift®-SPMTs setzt Doerfer auf die Embedded-PC-Baureihe CX2030; als Bedienerchnittstelle sind die Multitouch-Control-Panels CP29xx im Einsatz.

### Leistungsvorsprung durch TwinCAT 3

„Als wir damit begonnen haben, die Embedded-PCs zu integrieren, erhöhte sich aufgrund des zusätzlichen Prozessorpotentials auch die Softwareleistung. So konnten wir unsere Debugging-Funktionalität, die impliziten Prüfungen und das Timing der Programm-Organisationseinheiten (POUs) erweitern“, erklärt Ryan Canfield, Controls Engineer, Doerfer Companies. „Die Unterstützung der Mehrkernertechnologie durch TwinCAT 3 ist ein weiterer wichtiger Punkt: So kommt TwinCAT auf Kern 1 und das Windows-Betriebssystem und die InduSoft HMI-Software auf Kern 0 zum Ablauf. Damit können wir die Prozessorleistung effizienter nutzen und unsere Steuerungssoftware ist noch robuster und reaktionsfähiger.“

Von Bedeutung bei den Programmierungsarbeiten für den Wheelift® waren für Doerfer auch die Quellcode- und Versionskontrollmerkmale in TwinCAT 3. „Wir müssen uns jetzt nicht mehr um einen Codeverlust Sorgen machen, wenn wir die Arbeit verschiedener Programmierer verwalten, da sie sich einfach zusammenfügen lässt“, setzt Ryan Canfield fort. „Im Ergebnis konnten wir hierdurch unseren manuellen Programmieraufwand erheblich verringern und unseren Entwicklungsprozess in TwinCAT 3 straffen.“

Auch die Gruppierung der Fahrzeuge für das NASA-Projekt ließ sich programmiertechnisch optimal lösen: Doerfer hat nun Fahrzeug-„Objekte“ in der Programmierung, die zusammen gruppiert sind. „Wir programmieren den Wheelift-Code unter Verwendung von objektorientierten Erweiterungen von IEC 61131-3 in TwinCAT 3“, erläutert John Pullen. „Dies unterstützt uns nicht nur bei der Erstellung hochkomplexer Merkmale, sondern ermöglicht unseren Programmierern, sich mehr auf die Details der Funktionalität zu konzentrieren. Im Wesentlichen ist es so, als ob man den Objekten die Betriebsparameter gibt und auf „Start“ drückt und sie den Rest von alleine machen lässt. Diese Methode ist ziemlich elegant und erfordert minimale Entwicklungsbemühungen.“

### EtherCAT als durchgängiges Kommunikationssystem

EtherCAT fungiert in den SPMTs als Feldbus- und als Antriebsbussystem. Aufgrund der flexiblen Konnektivität von EtherCAT zu anderen Bussystemen lassen sich Peripheriegeräte nahtlos integrieren. So wird über die CANopen-Masterklemmen EL6751 u.a. die Verbindung zur Motordiagnose und zu Wechselrichtern für Batteriesysteme hergestellt und die Funkschnittstelle zur Handbedienung der SPMTs angeschlossen, welche von den Wheelift-Bedienern verwendet wird. Sicherheitsfunktionen, wie zum Beispiel Not-Aus, sind über die TwinSAFE-Logic-Klemme EL6900 in die Steuerung integriert. „EtherCAT ist für uns auch zur Fehlerüberwachung unverzichtbar“, fügt John Pullen hinzu. „Mit den Diagnosemöglichkeiten des EtherCAT-Systems können wir den Bediener unverzüglich zu einem bestimmten Kabel oder Gerät lotsen, wenn Instandhaltung oder Wartung erforderlich sind.“ Darüber hinaus hat Doerfer das EtherCAT Automation Protocol (EAP) für die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen implementiert. „Wir erzielen damit 10-Millisekunden-Latenzen zwischen den



Semir Music und Greg Tagtow vom Wheelift-Entwicklungsteam bei Doerfer Companies; Colonel James Kelly, NASA; John Pullen, Ryan Canfield und Luke Offner, ebenfalls vom Wheelift-Entwicklungsteam (v.l.n.r.).

Wheelift-Fahrzeugen“, ergänzt John Pullen. Die Wheelift-Transporter einer Gruppe kommunizieren drahtlos über Funkgeräte; der Bediener kann aber auch über das Handgerät die Kontrolle übernehmen.

Die Schwerlasttransporter sind mit bis zu 24 Achsen ausgestattet. Entsprechend komplex sind die Positionieralgorithmen die das Automatisierungssystem zu berechnen hat, um den Transport der schweren Lasten auszugleichen. Die Bewegungssteuerung für die Schwerlast-Reifen übernehmen die EtherCAT Servoantriebe AX5000 mit den Servomotoren AM3000 und den High-Torque-Planetengetrieben. „Mit den Servoantrieben kann der Wheelift eine Auflösung für Servoachsen und Hydraulikachsen von bis zu 0,001 Zoll erzielen“, berichtet Ryan Canfield. „Zudem verteilen die vom Doerfer-Team in TwinCAT 3 programmierten Lastverteilungsalgorithmen die Last gleichmäßig über alle auf dem Wheelift vorhandenen Zylinder und zwar auch dann, wenn der Transporter über Bodenwellen fährt oder die Last nicht mittig aufliegt.“



Auf Basis der EtherCAT-Servoantriebe AX5000 erzielt der Wheelift eine Auflösung für Servo- und Hydraulikachsen bis hin zu 0,025 mm.

weitere Infos unter:

[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

[www.wheelift.com](http://www.wheelift.com)

[www.doerfer.com](http://www.doerfer.com)

[www.beckhoffautomation.com](http://www.beckhoffautomation.com)