



Bild: Adobe Stock_Monopoly919

Ein Treiber für VR-Anwendungen ist der Digitale Zwilling in seinen drei unterschiedlichen Ausbaustufen

Virtual Reality für Maschinenbauer in drei Ausbaustufen

Die Vorteile von Virtual Reality (VR) lassen sich über den gesamten Lebenszyklus der Maschine aufzeigen – von Design, Produktionsplanung, Marketing und Vertrieb über Engineering, Inbetriebnahme und Betrieb bis zu Training, Service und Modernisierung [1–3]. Auch wenn die funktionellen Aspekte einer Maschine nicht-immersiv am Desktop unter Verwendung entsprechender Simulationen abgesichert werden können, bringt VR Zusatznutzen bei der Absicherung ergonomischer Eigenschaften, wo eine räumliche Visualisierung im Maßstab 1:1 erforderlich ist. Weiterhin können der Raumbedarf der Maschine, die notwendigen Arbeitsfreiräume sowie die Zugänglichkeit bei Rüst- und Wartungsarbeiten bewertet werden. Schließlich erhält der Nutzer die Möglichkeit, die Maschine zu „erleben“, um Vertrauen in die zugesicherten Eigenschaften zu gewinnen.

Text: Christoph Wree, Christian Brauer, Daniel Krüger, Martina Schubert, Wolfgang Wohlgemuth

Bisher sind die Vorteile von VR im Wesentlichen auf die entsprechende Abteilung des Maschinenbauers beschränkt. So ist es nicht möglich, dass der Maschinenbauer seinem (potenziellen) Kunden Zugriff auf den Digitalen

Zwilling [4] einer Anlage gibt, um diese immersiv zu erleben. Dafür wäre kundenseitig ein recht aufwendiges Software-Setup einzurichten. Zudem wäre der Maschinenbauer hierbei gezwungen, sein Entwicklungs-Know-how teilweise

preiszugeben. Ähnlich wie ein Webshop ist vielmehr ein Online-Zugang für eine VR-basierte Interaktion mit dem Digitalen Zwilling erwünscht. Hierbei gibt es im Wesentlichen drei verschiedene Ausprägungsformen.

Varianten der VR-basierten Interaktion

In aller Regel erfolgt die mechanische Konstruktion einer Maschine mithilfe eines CAD-Programms. Der Maschinenbauer kann die entsprechende Datei umwandeln, um sie in einer VR-Runtime darzustellen. Der Kunden erhält über eine Online-Verbindung Zugriff auf diese Runtime und kann so die Maschine an seinem Standort über einen PC und mithilfe einer VR-Brille, wie in einem virtuellen Verkaufsraum, erkunden.

Die Bewegungen der bisher statisch konstruierten Maschine lassen sich ebenfalls in VR darstellen, um das Betriebsverhalten der Maschine besser zu verstehen. Vorzugsweise wird hierfür das SPS-Programm auf einer simulierten SPS ausgeführt und mit der mechanischen Konstruktion über eine Starrkörpersimulation gekoppelt [1]. So kann man dem Kunden in VR demonstrieren, dass das Zusammenspiel von mechanischer Konstruktion und SPS-Programm funktioniert und es nicht zu Kollisionen kommt oder die gewünschten Positionen nicht erreicht werden. Dies gilt insbesondere für die Verfahrenswege von Transportbändern und Robotern. Der Kunde gewinnt somit Vertrauen in die Erfüllung der funktionalen Anforderungen an die Maschine.

Auch die kundenseitige VR-Darstellung der Betriebsfestigkeit ist möglich. Dabei ordnet der Digitale Zwilling die Simulationsergebnisse, die die Betriebsfestigkeit der Maschine bewerten, der Performance zu. So hängt beispielsweise die Ermüdungslebensdauer von beweglichen Maschinenteilen häufig von der Beschleunigung sowie der Anzahl der gesamt-

Maschinenbauer

- Unity-Anwendung mit simulierter Maschinenbewegung in VR [1]
- Erweitert, um als Server zu dienen
- Simulierte SPS mit Programm für den Bewegungsablauf

Server



Verbindung zwischen Server und Client über TCP/IP

Kunde

- Unity-Client-Anwendung
- Keine simulierte SPS auf Client-Seite benötigt
- Erhält Zugang zur VR-Ansicht der Maschine



Client



Client



Client

01 Maschinenerlebnis in Virtual Reality mit Unity, basierend auf einer Client-Server-Architektur

ten Zyklen ab. Damit existiert ein unmittelbarer Zusammenhang zur Zykluszeit der Produktion. Die entsprechende Lebensdauer kann also in die VR-Szene der bewegten Maschine eingeblendet werden. Zudem lassen sich auch diejenigen Bauteile markieren, die die maximalen Beanspruchungen erfahren. Die Möglichkeiten sind hierbei sehr vielfältig und hängen stark vom Anwendungsfall der Maschine ab.

Konzept zur kundenseitigen VR-Darstellung

Damit der Kunde eine Maschine in VR erleben kann, wird eine Client-Server-Architektur gemäß Bild 1 eingesetzt. Der Kunde erhält dabei ein bereits kompiliertes Client-Programm, das er auf seinem PC installiert und mit dessen Hilfe er eine Online-Verbindung zu einem Server beim Maschinenbauer aufbaut. Das Client-Programm hat dabei eingeschränkte Rechte und kann nur lesend auf die VR-Runtime des Servers zugreifen. Dabei ist es jedoch möglich, nach eigenem Belieben die virtuelle Kamera zu führen.

Dieses Konzept wurde mit der VR-Entwicklungsumgebung Unity umgesetzt. Für die Client-Server-Architektur kommt das Networking System „UNet“ von Unity [5] zum

OPC UA

EtherCAT



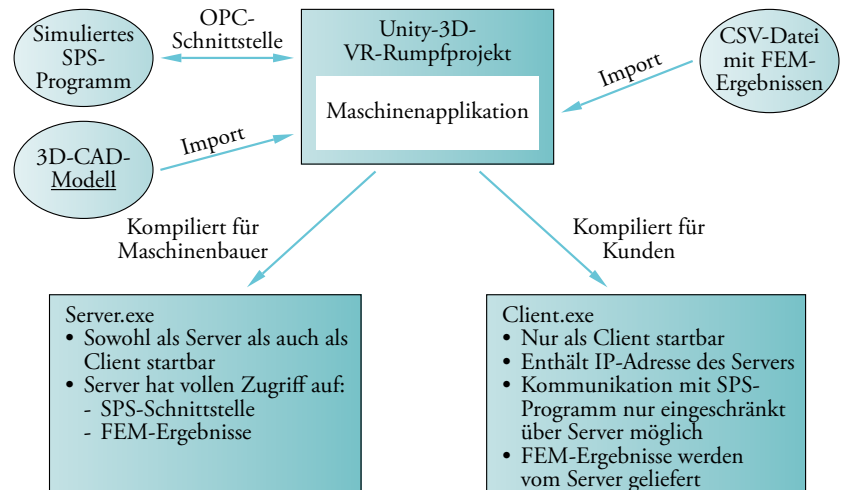
 Cannon Automata

E1/K1 IIoT-Controller

- ARM® Cortex® -A9 Multicore-CPU
- OPC-UA | EtherCAT® | CAN | WLAN | Onboard IOs
- Standalone oder kombiniert mit L1/C1 Panels
- CODESYS IEC 61131-3

Automata GmbH & Co. KG

info.automata.de@cannon.com | www.cannon-automata.com | Tel. +49(0)8233-79160



02 Technisches Konzept zur kundenseitigen VR-Darstellung der Konstruktion, des Betriebsverhaltens und der Betriebsfestigkeit einer Maschine

Einsatz, welches gewöhnlich für die Programmierung von Online-Multiplayer-Spielen verwendet wird. Die wichtigsten Komponenten sind dabei „Network-Identity“, was die Identitäten von Server und Client definiert, sowie „NetworkTransform“, um die Bewegungen von Objekten zwischen Client und Server zu synchronisieren.

Ausgangspunkt ist ein „Unity3D-Projekt“, das als Rumpfprojekt dient. Es bietet die notwendige Funktionalität und die Schnittstellen, um die jeweilige Maschinenapplikationen für den Kunden in ihren verschiedenen VR-Darstellungen erlebbar zu machen (Bild 2). Aus diesem Rumpfprojekt kann man durch eine einfache Auswahl sowohl das Server-Programm als auch das Client-Programm generieren. Dabei werden die entsprechenden Funktionalitäten und Rechte automatisch umgesetzt. Es berücksichtigt auch die IP-Adressen von Server und Client, so dass sie im Client-Programm nicht mehr angepasst werden müssen. Für alle drei Ausprägungsformen der VR-Darstellung liefert das Rumpfprojekt die Infrastruktur, die für die verschiedenen Ausprägungsformen mit entsprechenden Daten versorgt werden.

VR-Darstellung der mechanischen Konstruktion für eine Roboterzelle

Die CAD-Plattform NX von Siemens [6] enthält seit Version 12 ein Programmmodul zur immersiven Beurteilung von mechanischen Konstruktionen in VR. So kann der Konstrukteur den virtuellen Raum direkt aus einer NX Sitzung heraus betreten und sein Konstruktionsobjekt, wie in Bild 3 am Beispiel einer Roboterzelle dargestellt, immersiv betrachten. Neben der Erstellung von 3D-Schnittansichten lassen sich hierbei auch einzelne Komponenten einer Baugruppe interaktiv verschieben bzw. ein- und ausblenden. Diese rein statische Darstellung der Maschine unterstützt in erster Linie die Beurteilung von Konstruktionsständen (design review), was insbesondere im Bereich des Sondermaschinenbaus auch zusammen mit Kunden sinnvoll sein kann. Hierzu bietet NX die Möglichkeit, weitere Personen zu einem gemeinsamen Treffen im virtuellen Raum einzuladen. Technisch werden hierzu mehrere räumlich voneinander entfernte Instanzen von NX über das Internet miteinander verbunden. Der Kunde benötigt hierzu jedoch auch zwingend zumindest Lesezugriff auf das Konstruktionsprojekt, beispielsweise über ein PLM-System, wie Siemens Teamcenter. Als VR-Runtime kommt bei dieser Umsetzung ebenfalls eine Game Engine wie Unity zum Einsatz. Die Geometrieübergabe erfolgt dabei jedoch nicht über das Dateisystem (mithilfe eines Austauschformats), sondern vom Nutzer unbemerkt über den Arbeitsspeicher des Rechners.

- Gravierte Kunststoffschilder
- Gravierte Metallschilder
- Kabelmarkierungen aus ABS
- Geprägte Kabelmarkierungen
- Industriaufkleber
- Bedruckte Kunststoffschilder
- Eloxierte Aluminiumschilder
- Bedruckte Aluschilder
- Adermarkierungen
- Und vieles mehr....



24H-SERVICE



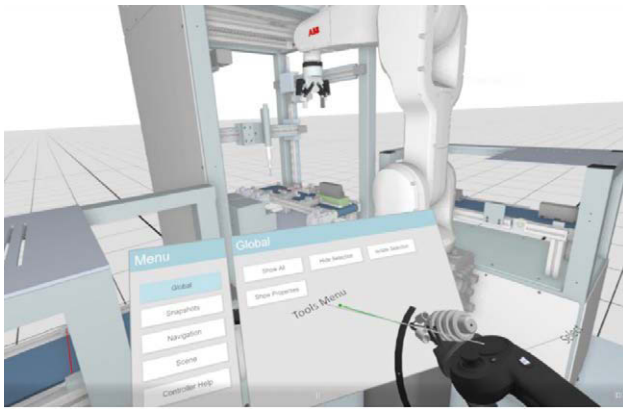
SELBSTKLEBENDE
SCHILDER



EXCEL-IMPORT



FEHLERLOSE
ÜBERTRAGUNG



03 VR-Darstellung der mechanischen Konstruktion für eine Roboterzelle aus Siemens NX – VR

VR-Darstellung des Betriebsverhaltens für ein Bearbeitungszentrum

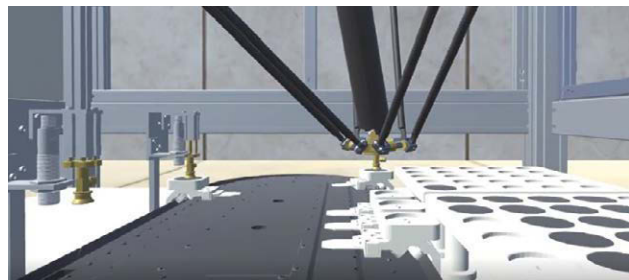
In einem der sogenannten Semesterprojekte im Labor für Automatisierungstechnik der FH-Kiel wurde ein Bearbeitungszentrum umgesetzt, das individualisierte Produktion mit kurzer Durchlaufzeit demonstriert. RFID-Tags repräsentieren Werkstücke, die von zwei unterschiedlichen Bearbeitungsmaschinen bearbeitet werden. Ein Transportsystem fährt die RFID-Tags zu den Bearbeitungsmaschinen und holt sie dort wieder ab. Ein Delta-Roboter nimmt die Werkstücke aus dem Eingangslager, platziert sie auf dem Transportsystem und nimmt sie nach der Bearbeitung vom Transportsystem herunter sowie in das Ausgangslager ab.

Bevor die Studierende die Automatisierungslösung mit der eigentlichen Hardware ausführen, sind sie dazu angehalten, eine virtuelle Inbetriebnahme durchzuführen. Die mechanische Konstruktion wird dazu aus einem CAD-Programm in das 3D-Programm Unity übernommen und die beweglichen Körper für eine Starrkörpersimulation pro-

grammiert. Außerdem erstellen sie ein SPS-Programm und simulieren die Motoren für den Delta-Roboter sowie das Transportsystem mithilfe von virtuellen Achsen in der SPS-Runtime. Die Achsdaten lassen sich dann in Echtzeit an die Starrkörpersimulation von Unity übergeben, um das Betriebsverhalten des Bearbeitungszentrums – d. h. das Zusammenspiel von mechanischer Konstruktion und SPS-Programm – zu erproben und in VR darzustellen [1].

Wie im Screenshot (Bild 4) aus dem entsprechenden Video [7] zu erkennen ist, darf der Delta-Roboter nicht mit den Bearbeitungsmaschinen, dem Transportsystem, den Lagern oder dem Gestell kollidieren. Dies lässt sich mithilfe der beschriebenen virtuellen Inbetriebnahme überprüfen, ohne dass Schäden am realen System riskiert werden müssten. Mit einer VR-Brille kann man die genauen Positionen innerhalb des Ablaufs einfach und von jedem Winkel aus betrachten – beispielsweise die Aufnahme- bzw. Abwurfposition des Delta-Roboters.

Diese umgesetzten virtuellen Inbetriebnahmen im 1:1-Maßstab sind häufig eindrucksvoll, sodass der Wunsch besteht, diese nicht nur auf dem entsprechenden Entwicklungs-PC zu demonstrieren, sondern auch an anderen Orten, wie in der Digitalen Fabrik, dem Medienlabor oder in dem



04 VR-Darstellung des Betriebsverhaltens für ein Bearbeitungszentrum

We Connect.

Digital Forum: 14.10.2020

- 33 Live Präsentationen

Special Guest:
Prof. Dr. Gunter Dueck

www.panduit.de

PANDUIT[™]
infrastructure for a connected world

ATLONA
a Panduit company

CISCO

signify

socomec
Innovative Power Solutions

Swegon

AXIS
COMMUNICATIONS

FLUKE
networks

Infomobil der Fachhochschule Kiel. Dafür eignet sich ein im Versionsmanagement abgelegtes Unity-Rumpf-Projekt, um das ausführbare Server- und Client Programm zu erzeugen. Für die VR Darstellung des Betriebsverhaltens nimmt dann das Client-Programm über die hinterlegte IP-Adresse mit dem Server-Programm Verbindung auf.

VR-Darstellung der Betriebsfestigkeit für einen Delta-Roboter

Bei einem Delta-Roboter begrenzt die maximal zulässige Beanspruchung der Delta-Kinematik die Picks pro Minute. Diese Beanspruchung lässt sich mithilfe einer flexiblen Mehrkörpersimulation berechnen. Dafür wird wie bei der Starrkörpersimulation vorgegangen, nur dass einer (oder wenige) der Körper als flexibel betrachtet wird. Zuvor ist der flexible Körper hinsichtlich der Eigenformen aus einer Modalanalyse mithilfe einer FE zu berechnen.

Die flexible Mehrkörpersimulation benötigt wie die Starrkörpersimulation den Bewegungsablauf, der sich aus dem SPS-Programm als Trace exportieren lässt. Als Ergebnis erhält man die zeitlich veränderlichen Spannungen für das FEM-Netz des entsprechenden flexiblen Körpers – in diesem Fall der Unterarm des Delta-Roboters – für den jeweiligen Bewegungszeitpunkt. Je schneller die Bewegung ist, desto höher sind die Beschleunigungswerte und damit auch die Bauteilspannungen. Hohe Spannungen bei hoher Frequenz setzen die Spannungslebensdauer der Roboterkinematik herab. Mit weiterführenden Simulationen kann die Gesamtanzahl der Zyklen bestimmt werden, bevor es zu einer Ermüdung des Materials kommt. Es besteht also ein Zusammenhang zwischen den Picks pro Minute und den maximalen Spannungen am Roboter, die wiederum die Lebensdauer des Roboters bestimmen.

Für eine steuerungsunabhängige Delta-Kinematik mit einem maximalen Arbeitsraumdurchmesser von 1200 mm und einer maximalen Nutzlast von 1 kg ist eine Kreisbahn mit einem Durchmesser von 1000 mm für zwei unterschiedlich schnelle Bewegungen ($v = 5 \text{ m/s}$ bzw. 10 m/s und $a = 1 \text{ m/s}^2$ bzw. 2 m/s^2) programmiert. Diese Bewegungen werden wie oben beschrieben exportiert und für zwei unterschiedliche flexible Mehrkörpersimulationen verwendet. Die erste wurde mit NX Motion Simulation-Recurdyn durchgeführt [8]. Für eine Vergleichssimulation wurde Ansys Motion verwendet. Die Spannungswerte stimmen mit einer Genauigkeit von ca. 10 % überein.

Diese Simulationsergebnisse zur Betriebsfestigkeit können auch mit dem vorgestellten Konzept für die kundenseitige VR-Darstellung zugänglich gemacht werden [9]. Um die unterschiedlichen Betriebsgeschwindigkeiten zu betrachten, wird über die SPS-Schnittstelle die gewünschte Bewegung vorgegeben. Die zeitlich veränderlichen Spannungswerte am simulierten Bauteil liegen als exportierte CSV-Datei vor und sind über die beschriebene Schnittstelle in das Unity-Programm einlesbar. Ein Skript filtert die maximale Spannung am Bauteil und stellt diese als Wert in der Unity-Szene zur entsprechenden Bewegung dar. Gleichzeitig färbt die Software das Bauteil, für das die Spannungsberechnung durchgeführt wurde, entsprechend einer Farbenlegende ein (Bild 5).



Be safe and secure with Pilz.

PILZ
THE SPIRIT OF SAFETY

Überlassen Sie Safety and Security nicht dem Zufall! Wir schützen Ihre Anlagen vor unberechtigten Zugriffen und Ihre Mitarbeiter vor gefährbringenden Maschinen. Unsere Lösungen übernehmen die Autorisierung und Authentifizierung, die zuverlässige Zuhaltung von Schutztüren während des Betriebs sowie den Schutz vor Manipulation des Steuerungsnetzwerks. Gehen Sie auf Nummer sicher mit Lösungen von Pilz.

Wir gratulieren etz elektrotechnik & automation zu 140 Jahren!

Fazit

VR besitzt großes Potenzial für den Einsatz im industriellen Umfeld. Ein Treiber für VR-Anwendungen ist der digitale Zwilling in seinen drei unterschiedlichen Ausbaustufen. Der digitale Zwilling des Produkts ermöglicht die Simulation sowie Validierung von Produkteigenschaften und repräsentiert im Wesentlichen die mechanische Konstruktion. Dieser ist erweiterbar, um den Einsatz von Anlagensteuerungen und das Betriebsverhalten zu demonstrieren. Um Aussagen zur Betriebsfestigkeit zu erhalten, kann der Digitale Zwilling mit Daten der Performance angereichert werden. Dieser Beitrag zeigt, wie der Kunde diese unterschiedlichen Ausbaustufen des Digitalen Zwillings in VR erleben kann, ohne dass dafür kundenseitig eine aufwendige Softwareinstallation notwendig ist oder dass das Know-how des Maschinenbauers preisgegeben wird.

(no)

Literatur

[1] Wree, C.; Woelk, F.; Schubert, M.; Wohlgemuth, W.: Virtual-Reality und Augmented-Reality zur 3D-Echtzeit-Interaktion mit

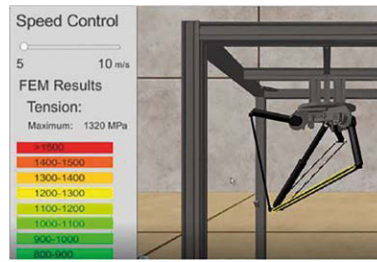
Geschwindigkeit
(auswählbar):

5 m/s

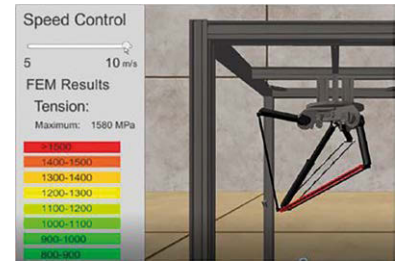
10 m/s

etz

Farblende für mittlere
Spannung am Bauteil



Gelb eingefärbtes Bauteil
(1 200 MPa bis 1 300 MPa)



Rot eingefärbtes Bauteil
(> 1 400 MPa)

05 VR-Darstellung aus einem Video zur Betriebsfestigkeit für einen Delta-Roboter

der realen Anlage und dem digitalen Zwilling. Band zur AALE-Konferenz 2019, S12-3, S. 403–407

- [2] Schenk, M.; Schumann, M.: Angewandte Virtuelle Techniken im Produktentstehungsprozess. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016
- [3] Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Ten Hompel, M.: Handbuch Industrie 4.0. Band 4. Berlin: Springer Vieweg, 2017
- [4] Siemens: Zwillinge mit Potential. www.siemens.com/customer-magazine/de/home/industrie/digitalisierung-im-maschinenbau/der-digitale-zwilling.html
- [5] Unity Manual/Multiplayer and Networking. docs.unity3d.com/Manual/UNet.html
- [6] Siemens AG, München: www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/nx
- [7] FH Kiel: Simulation des Betriebsverhaltens eines Bearbeitungszentrums. www.youtube.com/watch?v=rx7uh4TxGYo
- [8] Anderl, R.; Binde, P.: Simulationen mit NX/Simcenter 3D. Hanser, 2017
- [9] FH Kiel: Visualisierung der Betriebsfestigkeit für einen Delta-Roboter. www.youtube.com/watch?v=o41tr2aEFF8

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Christoph Wree betreut an der Fachhochschule Kiel den Fachbereich Informatik und Elektrotechnik. christoph.wree@fh-kiel.de

B. Sc. Christian Brauer absolviert derzeit sein Master-Studium „Elektrische Technologien“ an der Fachhochschule Kiel im Fachbereich Informatik und Elektrotechnik. christian.brauer@student.fh-kiel.de

Dr.-Ing. Daniel Krüger ist Softwarearchitekt im Bereich Digital Industries/Motion Control der Siemens AG in Nürnberg. daniel.krueger@siemens.com

Dipl.-Inform. Martina Schubert ist Softwareentwicklerin im Bereich Digital Industries/Factory Automation der Siemens AG in Nürnberg. martina.schubert@siemens.com

Dipl.-Inform. Wolfgang Wohlgemuth ist Projektleiter im Bereich Digital Industries/Software der Siemens AG in Nürnberg. wolfgang.wohlgemuth@siemens.com

FP° Secure IoT

Energie Effizienz 4.0

Connectivity as a Service – aber sicher!

Übergreifende Transparenz für Fern-, Nahwärme und Contracting



Ihre Vorteile auf einen Blick:

- Effizienzsteigerung durch Onlinemonitoring
- Neue Geschäftsmodelle anhand von Predictive Maintenance
- CO₂ Einsparung durch optimierte Servicesteuerung
- Verbesserte Energiebereitstellung oder -nutzung
- Vereinfachte Installation, Wartungs und Servicearbeiten
- Software und Gerätehersteller unabhängig
- Automatisierte, sichere Störungsanalyse und Alarmmanagement

