

Fortschritt-Berichte VDI

VDI

Reihe 2

Fertigungstechnik

Nr. 697

M.Sc. Philipp Sommer (Hrsg.),
Stuttgart

iWindow – Intelligentes Maschinenfenster



Abschlussbericht
Verbundforschungsprojekt
iWindow – Intelligentes Maschinenfenster

Ein im Rahmen des Förderprogramms *IKT 2020 – Forschung für Innovationen* unter der Bekanntmachung *Virtuelle Techniken für die Fabrik der Zukunft - Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0* des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) durchgeführtes Verbundforschungsprojekt.



Am Verbundforschungsprojekt *iWindow* beteiligten sich folgende Firmen und Institutionen:

- DMG MORI AKTIENGESELLSCHAFT, Bielefeld
- Bosch Rexroth AG, Lohr am Main
- Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart
- ModuleWorks GmbH, Aachen
- TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen
- Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS), Universität Stuttgart
- ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH, Stuttgart

Projektleitung: M.Sc. Philipp Sommer, ISW, Universität Stuttgart

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 01IM14003A - G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart

2018

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 2

Fertigungstechnik

M.Sc. Philipp Sommer (Hrsg.),
Stuttgart

Nr. 697

iWindow – Intelligentes
Maschinenfenster

VDI verlag

Sommer, Philipp

iWindow – Intelligentes Maschinenfenster

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 697. Düsseldorf: VDI Verlag 2018.

148 Seiten, 123 Bilder, 0 Tabellen.

ISBN 978-3-18-369702-1, ISSN 0178-9406,

€ 57,00/VDI-Mitgliederpreis € 51,30.

Für die Dokumentation: Augmented Reality – Virtual Reality – Visualisierung – Maschinenfenster – Mehrwertdienste – Assistenzsysteme – Simulation – Mensch-Maschine-Schnittstelle – Kamerakalibrierung – Digitaler Zwilling

Das Verbundforschungsprojekt iWindow: Intelligentes Maschinenfenster beschäftigte sich mit der visuellen Unterstützung von Maschinenbedienern an Werkzeugmaschinen. Diese konnten bisher nur auf wenige bis keine Systeme, die sie bei ihren täglichen Aufgaben direkt an der Werkzeugmaschine unterstützen, zurückgreifen. Das Forschungsprojekt verbindet reale und virtuelle Welt in der Werkzeugmaschine durch Technologien wie Virtual und Augmented Reality, digitaler Zwilling, Simulation und Mehrwertdienste. Durch Nutzung jeweils für die aktuelle Arbeitssituation passender Dienste, werden Mitarbeiter befähigt, sich an die steigende Individualisierung der Produkte und die flexiblere Produktion anzupassen. Kunden und Geschäftspartner werden durch die Möglichkeit eigene mehrwertgenerierende Dienste zu entwickeln und anderen Anwendern zur Verfügung zu stellen in den Wertschöpfungsprozess eingebunden. Diese Publikation beleuchtet die im Rahmen des Forschungsprojekts erarbeiteten Ergebnisse hinsichtlich für ein intelligentes Maschinenfenster benötigter Technologien und Entwicklungen.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie
(German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at
www.dnb.de.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9406

ISBN 978-3-18-369702-1

Vorwort

Das Zukunftsprojekt *Industrie 4.0* der Bundesregierung hat die Schaffung neuer und Optimierung bestehender Formen intelligenter Produktions- und Automatisierungstechnik zum Ziel. Die Zukunft der Produktion wird durch eine starke Individualisierung der Produkte sowie eine hoch Flexibilisierung geprägt sein. Dazu wachsen die reale und die virtuelle Welt in der Fabrik von Morgen zusammen.¹ Wichtige Strukturelemente zukünftiger technischen Systemen sind innovative Benutzerschnittstellen, der digitale Schatten als virtuelles Echtzeitabbild der Realität sowie mehrwertgenerierende Softwaredienste. Auch eine App-Orientierung nach dem Prinzip von Smartphones und das Einbinden von Partnern und Kunden in den Wertschöpfungsprozess müssen adressiert werden.²

Das Verbundforschungsprojekt *iWindow: Intelligentes Maschinenfenster* beschäftigte sich mit der visuellen Unterstützung von Maschinenbedienern an Werkzeugmaschinen. Diese konnten bisher nur auf wenige bis keine Systeme, die sie bei ihren täglichen Aufgaben direkt an der Werkzeugmaschine unterstützen, zurückgreifen. Das Vorhaben wurde im Förderprogramm *IKT 2020 – Forschung für Innovationen* unter der Bekanntmachung *Virtuelle Techniken für die Fabrik der Zukunft - Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0* des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) durchgeführt. Das Forschungsprojekt verbindet die reale und die virtuelle Welt in der Werkzeugmaschine durch Technologien wie Virtual und Augmented Reality, digitaler Zwilling, Simulation und Mehrwertdienste. Durch Nutzung jeweils für die aktuelle Arbeitssituation passender Dienste, werden Mitarbeiter befähigt sich an die steigende Individualisierung der Produkte und die flexiblere Produktion anzupassen. Kunden und Geschäftspartner werden durch die Möglichkeit eigene mehrwertgenerierende Dienste zu entwickeln und anderen Anwendern zur Verfügung zu stellen in den Wertschöpfungsprozess eingebunden. Diese Publikation beleuchtet die im Rahmen des Forschungsprojekts erarbeiteten Ergebnisse hinsichtlich für ein intelligentes Maschinenfenster benötigter Technologien und Entwicklungen.

Philipp Sommer

¹ Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft (Hrsg.); acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. (Hrsg.): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 : Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern*. Zwischenbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin, 2012

² Bauernhansl, Thomas ; Krüger, Jörg ; Reinhart, Gunther ; Schuh, Günther: *WGP-Standpunkt Industrie 4.0*. Berlin, 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Konzept	1
1.1	Motivation und Zielstellung.....	1
1.2	Konzept.....	6
2	Ergebnisse aus DemonstratorenSicht	9
2.1	Einleitung.....	9
2.2	Kameraauswahl und -kalibrierung.....	10
2.3	Absortierassistent.....	12
2.4	Kamerabasierte Überlagerung an einem Roboter	14
2.5	Kamerabasierte Überlagerung an Werkzeugmaschinen.....	14
2.6	Perspektivische Überlagerung am transparenten LCD	16
2.7	Perspektivische Überlagerung am transparenten OLED Display	18
2.8	Finaler Demonstrator Werkzeugmaschine.....	20
2.8.1	Echtzeitvisualisierung im Bedienpanel.....	20
2.8.2	Perspektivische VR-Echtzeitvisualisierung an herkömmlichen Displays.....	20
2.8.3	Augmented Reality mittels transparenter Displays	22
3	Unterstützung beim Absortievorgang in der Blechfertigung	25
3.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	25
3.2	Absortierassistenz mittels kamerabasierter Ennahmedektion	27
3.3	Erfassung des Absortierbereichs mit Kameras	28
3.4	Ermittlung der ebenen Bildszene auf Basis der Kamerabilder	29
3.5	Erfassung der Tafelgeometrie auf Basis des NC-Programms	31
3.6	Nachweis der Funktionsfähigkeit des Assistenzsystems.....	32
4	Dynamisch erweiterbares Framework für Mehrwertdienste.....	34
4.1	Motivation und Anforderungen	34
4.1.1	Anforderungen an die Gestaltung eines erweiterbaren Plug-In-Systems	37
4.1.2	Anforderungen an Sicherheit und Zugriffsrechte von Diensten	37
4.1.3	Anforderungen an Entwicklung und Vertrieb von Diensten.....	37
4.2	Mehrwertdienste.....	38
4.2.1	Basisdienste.....	38

4.2.2	Mehrwertdienste	39
4.2.3	Metadaten.....	40
4.2.4	Gestaltung unabhängiger Dienste.....	40
4.3	Kommunikation zwischen Diensten	42
4.4	Literaturverzeichnis	46
5	Datenmodell und Steuerungsanbindung über OPC UA.....	47
5.1	Einleitung.....	47
5.2	Ausgangslage und Problemstellung	47
5.3	Datenmodell	49
5.3.1	Grundlagen OPC UA Adressraum.....	49
5.3.2	Informationsmodelle für CNC-Steuerungen	50
5.3.3	OPC UA VDW Companion Specification.....	52
5.4	Steuerungsanbindung über OPC UA.....	54
5.4.1	OPC UA VDW Companion Specification – Evaluierung mit Prototypen	54
5.4.2	Echtzeitdaten über OPC UA	55
5.5	Ergebnisse und Ausblick	58
5.6	Literaturverzeichnis	59
6	Visualisierung des Maschineninnenraums mit VR & AR.....	61
6.1	Darstellungsarten	61
6.2	Virtuelles Modell des Maschineninnenraums.....	63
6.3	Synchronisierung mit aktuellen Maschinendaten.....	65
6.4	Kamerabasierte AR	67
6.4.1	Beschreibung der Kameraperspektive	67
6.4.2	Überlagerung des Kamerabilds mit virtuellen Inhalten	69
6.4.3	Verdeckungsberechnung.....	70
6.5	Berücksichtigung der Betrachterperspektive	71
6.5.1	Nachbildung des realen Displays durch ein virtuelles Display	72
6.5.2	Erfassung der Position des Betrachters mittels Head- bzw. Eye-Tracking.....	73
6.5.3	Berechnung der zur Darstellung benötigten perspektivischen Parameter	74
6.6	Literaturverzeichnis	76
7	Kalibrierung von Kameras in Werkzeugmaschinen	78

7.1	Einleitung und Zielsetzung.....	78
7.2	Grundlagen der Kamerakalibrierung	78
7.3	Anforderungen	86
7.3.1	Arbeitsräume der Werkzeugmaschinen	88
7.3.2	Bildaufnahme	89
7.3.3	Kalibrierungsprozess	90
7.4	Evaluierung der Methoden zur Kamerakalibrierung	90
7.4.1	Kalibrierverfahren in OpenCV	90
7.4.2	MATLAB Camera Calibration Toolkit.....	92
7.4.3	Kalibrierung von ToF-Kameras	93
7.4.4	Versuch der Kalibrierung auf Palette in Laserschneidmaschine (extrinsisch) ...	94
7.4.5	Versuch der Kalibrierung in der SW Maschine (extrinsisch)	96
7.5	Kalibrierung eines 1-Kamerasystems	97
7.6	Kalibrierung eines Multi-Kamerasystems.....	98
7.6.1	Vorgehen	100
7.6.2	Finden der LED Projektionen.....	101
7.6.3	Der MultiCamCalib Algorithmus	103
7.7	Literaturverzeichnis	104
8	Echtzeit-Maschinensimulation und der Nutzen von Mehrwertdiensten	106
8.1	Ziele.....	106
8.2	Echtzeit-Maschinensimulation.....	107
8.3	Überlagerungsberechnung	110
8.4	Kollisionsvermeidung.....	111
8.5	Mehrwertdienste.....	112
8.5.1	Bahnvisualisierung inklusive Überdeckungsberechnung	112
8.5.2	Werkstück- und Werkzeugkonturvisualisierung	112
8.5.3	Perspektivische Visualisierung	113
8.6	Ausblick.....	113
8.7	Literaturverzeichnis	114
9	Steuerungsgekoppelte Vorab-Überprüfung des Bearbeitungsprozesses	115
9.1	Steuerungsanbindung mittels OPC UA	116

9.2	Visualisierung.....	117
9.2.1	3D-Stereo.....	117
9.2.2	Perspektivische Darstellung als Fenster	117
9.2.3	Oberflächeneigenschaften	119
9.3	Modellierung und Simulation von Werkstücken, Werkzeugen und Magazinen	121
9.4	Technische Integration & Anwendung von Mehrwertinformationen	124
9.4.1	Abtragsimulation.....	124
9.4.2	Spurbildung	124
9.4.3	Kollisionserkennung	126
9.4.4	Schnelle Kommunikation.....	127
9.5	Literaturverzeichnis	128
10	3D-Rekonstruktion	129
10.1	Einleitung und Zielsetzung.....	129
10.2	Evaluierung der Methoden zur 3D-Rekonstruktion	130
10.2.1	Stereo-Kameras	130
10.2.2	ToF-Kameras.....	131
10.2.3	Structured Light Scanner.....	133
10.3	Framework für Computer Vision	135
10.4	3D-Rekonstruktion in der Werkzeugmaschine.....	138
10.5	Literaturverzeichnis	139