

**Ausbildung für  
produktionstechnisch orientierte Fachgebiete  
am Beispiel der Koordinatenmesstechnik**

Der Technischen Fakultät  
der Universität Erlangen-Nürnberg  
zur Erlangung des Grades

DOKTOR-INGENIEUR

vorgelegt von  
Michael Marxer

Erlangen – 2012

Als Dissertation genehmigt von  
der Technischen Fakultät der  
Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung: 1. Juli 2011  
Tag der Promotion: 30. Januar 2012  
Dekanin: Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein  
Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr.-Ing. E.h.  
Dr. h.c. mult. Albert Weckenmann  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß



Berichte aus dem Lehrstuhl  
**Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik**  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Herausgeber  
Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. A. Weckenmann

Band 25

**Ausbildung für produktionstechnisch orientierte  
Fachgebiete am Beispiel der  
Koordinatenmesstechnik**

**Michael Marxer**

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag  
Aachen 2012

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2012

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	1. Juli 2011
Tag der Promotion:	30. Januar 2012
Dekanin:	Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Albert Weckenmann Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1332-0

ISSN 1613-2122

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)



## **Kurzzusammenfassung**

Praktisches Arbeiten hat in produktionstechnisch orientierten Ausbildungen einen hohen Stellenwert. Die für die Ausbildung in den einzelnen Bereichen erforderliche, meist komplexe und teure Infrastruktur und die dazu erforderlichen Betreuungspersonen sind nur an einzelnen Kompetenzzentren verfügbar.

Es wird eine Methodik zur Entwicklung von Unterrichtseinheiten beschrieben, in denen für Ausbildungszwecke auf reale, komplexe Geräte über das Internet zugegriffen werden kann. Diese Methodik berücksichtigt sowohl technische wie auch didaktische Aspekte.

In einer exemplarischen Umsetzung wird der Vergleich zwischen Unterrichtseinheiten mit Präsenzpraktikum und Fernpraktikum durchgeführt.

## **Abstract**

(Title: Training for production-oriented fields using coordinate measurement techniques as an example)

Practical work is a top priority in production-oriented courses of study and training. However, the complex, expensive equipment and facilities and appropriate teaching and supervisory staff needed for training in individual areas are only available at individual competence centres.

A method for the development of training units is described that enables access to real, complex devices over the internet for education purpose. The method considers both technical and didactic aspects.

In an exemplary implementation, a comparison is made between training units with a presence-based workshop and those with a remote access workshop.



## **Danksagung**

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmesstechnik, Werkstoffe und Optik (PWO) an der Interstaatlichen Hochschule für Technik, NTB.

Mein Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Albert Weckenmann für die wohlwollende Unterstützung sowie für die Übernahme des Hauptreferats. Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Claus P. Keferstein und Prof. Dr. Carlo Bach für die Förderung und die Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit und die vielen konstruktiven Gespräche.

Meinen Freunden und Kollegen danke ich für ihre Hilfsbereitschaft in vielen anregenden Diskussionen.

Ein ganz besonders liebevoller Dank gilt meiner Frau Sabine und meinen Kindern Anna, Julius und Lina, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht hätte entstehen können.

Nendeln, im März 2012

Michael Marxer



<b>1</b>	<b>Einführung und Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik und Stand des Wissens</b>	<b>5</b>
2.1	Didaktische Grundlagen .....	5
2.1.1	Lernen und Lerntheorien .....	5
2.1.2	Wissen und kognitive Dimensionen .....	8
2.1.3	Lernziele und Lernzielstufen .....	8
2.1.4	Bedeutung der praktischen Arbeit in der Ausbildung .....	9
2.2	Anforderungen an Ausbildungen .....	11
2.2.1	Allgemeine Bildungsanliegen .....	12
2.2.2	Konkrete Bildungsanliegen .....	13
2.2.3	Didaktische Anforderungen .....	13
2.2.4	Technische Anforderungen .....	14
2.2.5	Organisatorische Anforderungen .....	15
2.3	Lernformen an Hochschulen .....	15
2.3.1	Kontaktveranstaltungen .....	15
2.3.2	Selbststudium .....	15
2.3.3	Fernunterricht .....	16
2.3.4	Blended-Learning .....	16
2.4	Praktikumsformen - Stand der Technik .....	17
2.4.1	Praktika an realen Geräten in Präsenzunterricht .....	18
2.4.2	Praktika an virtuellen Geräten .....	20
2.4.3	Praktika an realen Geräten über eine virtuelle Schnittstelle .....	23
2.4.4	Fazit .....	28
2.5	Formen der Ausbildung in der Koordinatenmesstechnik .....	29
2.5.1	Bedeutung der Ausbildung in der Koordinatenmesstechnik .....	29
2.5.2	Stand der Ausbildung in der Koordinatenmesstechnik .....	29
2.6	Defizite bestehender Ausbildungen .....	31
2.7	Schlussfolgerungen und Ziele der Arbeit .....	33
<b>3</b>	<b>Methodik zur Entwicklung einer Ausbildung mit Fernpraktikum</b>	<b>35</b>
3.1	Vorgehensmodell .....	35
3.2	Übersicht .....	35
3.3	Analyse und Planung .....	37
3.3.1	Klärung der Randbedingungen .....	37
3.3.2	Definition der Lernziele .....	37
3.3.3	Identifizierung der Lernereigenschaften .....	37
3.3.4	Auswahl und Vorbereitung der Lerninhalte .....	38
3.3.5	Planung Lehr-/Lernmethode und Medien .....	38
3.3.6	Definition der Systemfunktionen .....	38

3.4	Entwicklung und Produktion .....	38
3.4.1	Konzept .....	38
3.4.2	Detaillierung .....	39
3.4.3	Realisierung .....	39
3.5	Formative Evaluation .....	40
3.6	Summative Evaluation .....	40
<b>4</b>	<b>Analyse und Planung der Unterrichtseinheit</b> .....	<b>45</b>
4.1	Klärung der Randbedingungen .....	45
4.1.1	Didaktische Randbedingungen .....	45
4.1.2	Technische Randbedingungen .....	46
4.2	Definition der Lernziele .....	47
4.3	Identifizierung der Eigenschaften der Lernenden .....	49
4.4	Auswahl und Vorbereitung der Lerninhalte .....	50
4.5	Planung der Lehr- und Lernmethoden .....	51
4.6	Definition der Systemfunktionen .....	54
<b>5</b>	<b>Ausarbeitung und prototypische Umsetzung</b> .....	<b>57</b>
5.1	Entwicklung der Lehr-/Lernmodule .....	57
5.1.1	Lernziele .....	57
5.1.2	Basiswissen .....	59
5.1.3	Einführung in die Gerätetechnik .....	61
5.1.4	Erarbeitung von Theorie .....	63
5.1.5	Einführung in die Gerätebedienung .....	65
5.1.6	Praktikum .....	67
5.1.7	Prüfung .....	73
5.2	Implementierung – technische Realisierung .....	74
5.2.1	Konzept der Gerätesteuerung und Kommunikation .....	74
5.2.2	Detaillierung der Gerätesteuerung und Kommunikation .....	78
5.2.3	Realisierung der Gerätesteuerung und Kommunikation .....	81
<b>6</b>	<b>Bewertung der neuen Ausbildung mit Fernpraktika</b> .....	<b>87</b>
6.1	Ablauf .....	87
6.2	Vergleichbarkeit der Lerngruppen .....	87
6.2.1	Voraussetzungen und Kriterien .....	87
6.2.2	Soziodemografische Angaben .....	88
6.2.3	Lernerfolg nicht-praktikumsrelevante Prüfungsfragen .....	91
6.2.4	Fazit .....	92
6.3	Erfolg der Wissensvermittlung .....	93
6.3.1	Lernerfolg (praktikumsrelevante Prüfungsfragen) .....	93
6.3.2	Fazit .....	95

---

6.4	Beurteilung der Ausbildung aus Sicht der Zielgruppe .....	95
6.4.1	Gesamtbeurteilung .....	95
6.4.2	Fachliche Gesichtspunkte .....	96
6.4.3	Methodisch-didaktische Gesichtspunkte .....	97
6.4.4	Kommunikative Gesichtspunkte.....	98
6.4.5	Fazit .....	100
6.5	Wirtschaftliche Aspekte .....	100
6.5.1	Szenarien .....	100
6.5.2	Randbedingungen .....	101
6.5.3	Variante 1: Durchführungsform mit Eigeninvestition .....	103
6.5.4	Variante 2: Präsenzpraktikum mit Partnerinstitution.....	104
6.5.5	Variante 3: Fernpraktikum mit Partnerinstitution .....	104
6.5.6	Kostenvergleich .....	106
6.5.7	Fazit .....	110
6.6	Verallgemeinerung der Resultate .....	110
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>113</b>
7.1	Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit .....	113
7.2	Ausblick .....	114
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>115</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>121</b>
9.1	Fragebogen summative Evaluation .....	121
9.2	Auswertung der Fragebögen .....	123
9.3	Lebenslauf.....	125