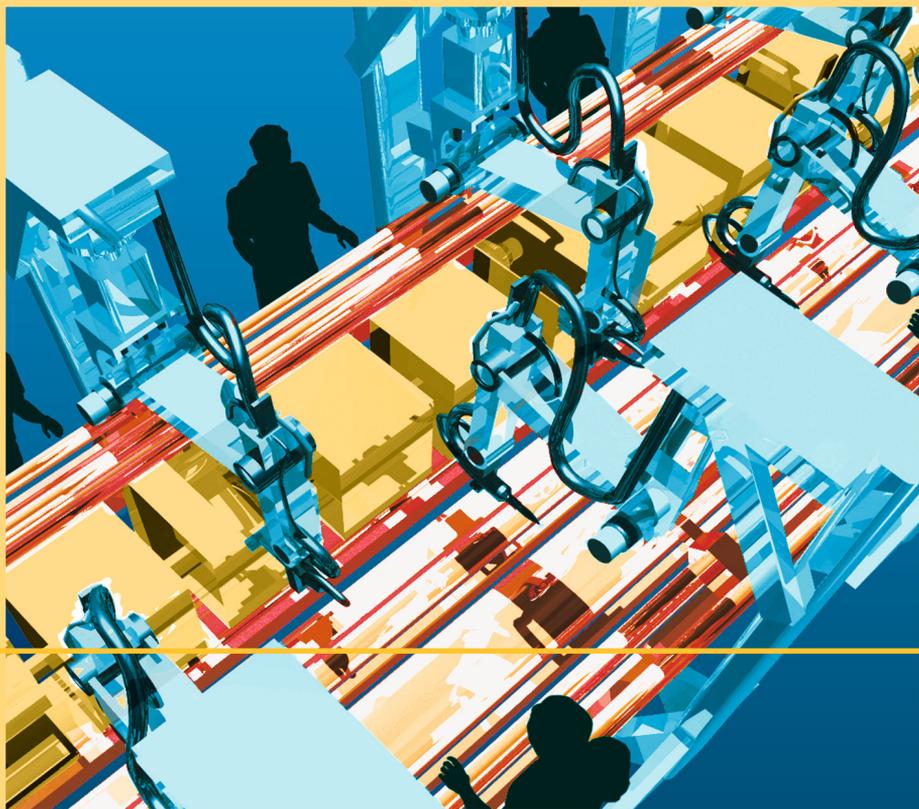


Eberhard Abele  
Gunther Reinhart

# Zukunft der Produktion

Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen



HANSER





Eberhard Abele  
Gunther Reinhart

# **Zukunft der Produktion**

Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen

HANSER

*Die Autoren:*

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele  
Technische Universität Darmstadt  
Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen  
Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt  
abele@ptw.tu-darmstadt.de

Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart  
Technische Universität München  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften  
Boltzmannstraße 15, 85748 Garching  
gunther.reinhart@iwb.tum.de

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.  
ISBN: 978-3-446-42595-8

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk be-  
rechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der  
Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann  
benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit  
Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem  
Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbun-  
den. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus fol-  
gende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren  
oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes  
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne  
schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen  
Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG  
genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, ver-  
vielfältigt oder verbreitet werden.

Die Inhalte dieses Buches basieren auf den Inhalten des Projekts „Produktionsforschung 2020“.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung  
und Forschung (BMBF) (Förderkennzeichen: 02PC2161) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe  
(PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert vom



Betreut vom



© Carl Hanser Verlag, München 2011

Herstellung: Steffen Jörg

Buchgestaltung, Layout und Satz: [www.designlibretto.de](http://www.designlibretto.de), München

Lektorat: Anita Svach

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Firmengruppe APPL, aprinta druck GmbH & Co. KG, Wemding

Printed in Germany

---

# Vorwort der Autoren

## Liebe Leserinnen und Leser,

die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft hat in der Produktionstechnik schon eine lange Tradition. Bereits im Jahr 1937 haben in Leipzig die Professoren Otto Kienzle, Adolf Wallich, Herwart Opitz und Gotthold Pahlitzsch den Grundstein für die Zusammenarbeit der produktionstechnischen Forschung mit der Anwendung Ihrer Ergebnisse gelegt: Sie gründeten in den Räumen des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) die Hochschulgruppe für Betriebswissenschaften (HGB), die Vorgängerin der heutigen WGP (Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik), deren Ziel es ist, sich in der Forschung sowohl den Fragen der Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik als auch der wissenschaftlich begründeten Betriebsführung zuzuwenden und dies in der Zusammenarbeit mit Produktionsunternehmen zur Anwendung zu bringen. Später kamen noch die Fachgebiete Montagetechnik und Robotik, Produktionslogistik und Messtechnik hinzu.

Die Früchte der intensiven Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft hat auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) schon vor langer Zeit erkannt. Es fördert deshalb seit vielen Jahren mit Hilfe des Projektträgers Karlsruhe (PTKA) Verbundprojekte aus dem Gebiet der Produktionstechnik, zuletzt im Rahmen des Programmes „Forschung für die Produktion von morgen (PROmorgen)“. Nun soll daran angeknüpft werden und deshalb wurde ein Forschungsprojekt mit der Zielsetzung durchgeführt, zukünftige Forschungsbedarfe und Forschungsansätze im Bereich der Produktion für den Zeithorizont bis zum Jahr 2020 aufzudecken. Dabei sollte der Bedarf sowohl aus gesellschaftlicher, wissenschaftlicher aber insbesondere auch aus industrieller Sicht aufgezeigt werden. Dieses Buch baut im Wesentlichen auf den Ergebnissen dieser Untersuchung auf.

Universitäten, Forschungsinstitute und Industrieunternehmen können gerade in den Ingenieurwissenschaften erheblich von einer intensiven Zusammenarbeit profitieren. Die Wissenschaft greift aus der Wirtschaft wichtige und grundsätzliche Fragestellungen auf und erarbeitet hierzu neue Erkenntnisse und Handlungsanleitungen. Die Industrie kann diese Erkenntnisse in neue Produkte, Produktionsprozesse, Strukturen und Abläufe einbeziehen. Richtig verstanden und vor allen Dingen richtig umgesetzt können beide Gruppen aus dem dargestellten Kreislaufprinzip Honig saugen – eine Win-win-Situation stellt sich ein.

In der starken Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft liegt bekanntermaßen eine der wesentlichen Stärken des Standortes Deutschland. Gerade in einer Zeit, welche durch einen schnellen Technologiewandel, hohe Innovationsgeschwindigkeiten sowie veränderte ökonomische Randbedingungen gekennzeichnet ist, stellt ein Ausbau dieser traditionellen Stärke eine große Chance dar. Dies insbesondere vor dem Hintergrund der zurzeit stattfindenden Inversion unserer Alterspyramide. Sie führt zu einem dramatischen aber unabwendbaren Wandel: Die Menschheit wird im Durchschnitt immer älter und die jungen Menschen immer weniger. Bis zum Jahr 2050 wird mehr als die Hälfte der Deutschen über 50 Jahre alt sein.

Dieser Trend lässt sich nur noch sehr langfristig umkehren. Die Zukunft wird unsere Unternehmen verstärkt mit alternden Belegschaften konfrontieren, deren Leistungsprofil sich von dem junger Menschen erheblich unterscheidet. Wissen und Erfahrung werden an die Stelle hoher physischer Belastbarkeit treten. Deshalb müssen in unseren Unternehmen gezielte Maßnahmen sowohl technischer als auch organisatorischer Art getroffen werden. Diese Maßnahmen beginnen bei jungen Menschen, indem sie substanzerhaltend und belastungsmindernd wirken und setzen sich bei älteren Menschen fort, denen angepasste Arbeitsbedingungen angeboten werden müssen.

Ein ideales Betätigungsfeld für die Zusammenarbeit von Industrie und Forschung. Arbeitsmediziner, Psychologen, Biologen, Ökonomen und vor allen Dingen Ingenieurwissenschaftler können und müssen an zukunftsweisenden Lösungen arbeiten, um die Menschheit fit zu machen – für ein längeres unabhängiges Leben, für eine anhaltende Mobilität und für eine längere Lebensarbeitszeit.

Ähnliches gilt für die effiziente Nutzung unserer Ressourcen im Sinne von Materialien, Energie, Wasser, Boden und Kapital und für die Reduzierung der Belastungen für unsere Umwelt. Diese beiden und weitere acht sog. Megatrends werden in diesem Buch aufgegriffen und als Herausforderung wie auch als Chance für die Produktion der Zukunft und die produktionstechnische Forschung der kommenden 10 Jahre verstanden. Daran leiten sich dann Zukunftsperspektiven und Forschungsthemen, von neuartigen Geschäftsmodellen über innovative und kognitive Produktionsausrüstung, zukunftsweisende Produktionsstrategien bis hin zu einem neuen Ansatz im Umgang mit Wissen ab.

Das produzierende Gewerbe in Deutschland erwirtschaftet knapp ein Viertel des Bruttoinlandsprodukts. Berücksichtigt man die direkte Beschäftigung in der Produktion, aber auch die indirekt von der Produktion abhängigen Arbeitsplätze, so ist mit 15 bis 20 Mio. Stellen ca. jeder zweite Arbeitsplatz in unserem Land mit der Produktion verbunden. Kein anderes Land hat sich in den letzten Jahrzehnten eine so herausragende Basis im Bereich der Produktion, aber auch im Bereich des für produktionstechnische Innovation so wichtigen Maschinen- und Anlagenbaus, erarbeitet. Diese über Jahrzehnte aufgebaute Position muss verteidigt und ausgebaut werden. Für das Aufrechterhalten und den Ausbau unseres Vorsprungs kommt der Produktionsforschung dabei eine ganz besondere Rolle zu. Denn: ohne Produktion keine Produkte, ohne Produkte kein Wachstum und ohne Wachstum kein Wohlstand.

Wirtschaft und Staat investieren in Deutschland folgerichtig wieder mehr in Forschung und Entwicklung. Wie aus den Berichten über die Hightech-Strategie der deutschen Bundesregierung hervorgeht, wird die Wirtschaft im Jahr 2007 für 41,8 Milliarden Euro durchgeführt. Damit stehen wir im internationalen Vergleich auf dem fünften Platz. Für das Jahr 2010 wurden gar über 50 Mrd. € in Forschung und Entwicklung investiert. Für die acht Schlüsseltechnologien als Treiber für Innovationen hat die Bundesregierung in ihrer Hightech-Strategie klare Ziele herausgestellt. Dabei will sie konsequenterweise die Kooperation zwischen exzellenter Wissenschaft und kreativen Unternehmen stärken und die Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Forschung und Wirtschaft auf ein neues Niveau bringen.

Dabei gilt es nicht nur, dem Drei-Prozent-Ziel von Lissabon im Anteil von Forschung und Entwicklung am Bruttoinlandsprodukt näher zu kommen. Es geht vielmehr um Arbeitsplätze und Beschäftigung. Innovation schafft Produkte, Produkte brauchen Produktion, Produktion schafft Arbeitsplätze. Der Bedarf an hoch qualifizierter Arbeit steigt bereits. Die Zahl der in Forschung und Entwicklung beschäftigten Personen in der Wirtschaft wuchs nach Berichten des Stifterverbandes in den letzten Jahren um jährlich ein Prozent. Von der Forschung und Entwicklung, über die Konstruktion bis hin zum Design wächst gerade in der Postkrisenzeit die Einstellungsbereitschaft bei den Unternehmen.

Lange Verzögerungszeiten für den Technologietransfer von der Forschung in die Wirtschaft, aber auch eine fehlende Rückkoppelung industrieller Anforderungen in der wissenschaftlichen Arbeit und vielfach auch der umstrittene Ruf von Industrieforschung in der Wissenschaftsgemeinde behindern oftmals die Zusammenarbeit von Forschung und Industrie. Gerade die Schnellebigkeit des weltweiten Marktes erlaubt jedoch hier keine Reibungsverluste. Das rechtzeitige Erkennen und Umsetzen von Technologie- und Markttrends wird ganz entscheidend. Eine Wissenschaft, die Wissen schafft, muss dieses eben auch vermitteln können und entsprechende Transferkanäle installieren. Auf der anderen Seite sollte die Industrie auch lernen sich mehr Wissen an den Forschungsinstituten abzuholen. Denn eines zeigt sich bei der Beobachtung des aktuellen Forschungstransfers in Deutschland: Ein ausschließliches Veröffentlichen von Resultaten in wissenschaftlichen Journalen und das Warten darauf, dass die Wirtschaft die Forschungsergebnisse eigenständig erkennt und aufgreift, reicht bei weitem nicht aus. Hierfür sind proaktive Maßnahmen und persönliche Beziehungen entscheidend.

Eine entsprechend starke Verzahnung zwischen Forschung und Wirtschaft schafft Synergien und sorgt für einen – im Hinblick auf Kosten und Zeit – reibungslosen Technologietransfer. Selbst kleinere Unternehmen können durch eine enge Vernetzung mit innovativen Instituten und dem Zusammenschluss ihrer Entwicklungskompetenzen nachhaltigen Erfolg generieren. Dabei bieten sich vielfältige Möglichkeiten der Kooperation, beispielsweise die Gestaltung eines Verbund-Forschungsprojektes, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird.

Wir bedanken uns bei unseren Kollegen aus der Wissenschaft, die bei der Erstellung der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten und im Sommer 2010 fertig gestellten Forschungsprojektes „Produktionsforschung 2020“ außerordentlich engagiert mitgewirkt haben. Konkret sind dies:

- Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers, Karlsruhe
- Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich, Kaiserslautern
- Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher, Aachen
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Paderborn
- Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche, Darmstadt
- Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen, Dortmund
- Prof. Dr. -Ing. Hartmut Hoffmann, München
- Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke, Aachen
- Prof. Dr.-Ing. Horst Meier, Bochum
- Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Reimund Neugebauer
- Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis, Hannover
- Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen
- Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter, Bremen
- Prof. Dr.-Ing. Günther Seliger, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath, Stuttgart
- Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Warschat, Stuttgart
- Dr. rer. pol. Steffen Kinkel
- Dr.-Ing. Ekkehard Gericke
- Dr. Joachim Schulz
- Karl-Heinz Lust †
- Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner

Ebenfalls danken wir ganz ausdrücklich unseren Koautoren, Herrn Dipl.-Ing. Thomas Bonin, Dr.-Ing. Gregor Branner, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Hueske, Dipl.-Wirt.-Ing. Guido Rumpel und Dipl.-Ing. Hendrik Schellmann, die in mühevoller Kleinarbeit Inhalte recherchiert, Fallbeispiele gesammelt, Bildmaterial erstellt, Texte formuliert und das Gesamtwerk redigiert haben. Ohne ihren Einsatz wäre dieses Werk nicht zustande gekommen.

Schließlich aber nicht zuletzt bedanken wir uns beim Verlag Carl Hanser München, der uns dieses Projekt ermöglicht, ja uns sogar dazu ermuntert hat und das Buch nun kompetent verlegt.

Und nun wünschen wir unseren Leserinnen und Lesern eine gute Perzeption des innovativen Stoffes. Mögen Sie viele Ideen aus diesem Buch schöpfen und Anregungen für gemeinsame Forschungsprojekte zwischen Wirtschaft und Wissenschaft erhalten.

**Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele**

*Institutsleiter PTW, TU Darmstadt*

**Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart**

*Institutsleiter iwb, TU München*

# Vorwort

## Dr.-Ing. E.h. Manfred Wittenstein



### Liebe Leserinnen und Leser,

Deutschland ist Industrieland: Rund ein Viertel trägt das Verarbeitende Gewerbe direkt zur deutschen Bruttowertschöpfung bei, mehr als jeder dritte Arbeitsplatz hängt unmittelbar von der Produktion ab. Mithin haben wir es durch eine intelligente Produktion aus Deutschland für die Welt geschafft, uns abzukoppeln vom internationalen Trend der Deindustrialisierung. Diese schreitet in fast allen ehemals großen Industrieländern scheinbar unaufhaltsam voran, nicht aber in Deutschland. Im Gegenteil: Bis zuletzt konnten wir den Industrieanteil an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung sogar wieder steigern. Davon hat unser Land profitiert – vor der Wirtschaftskrise, und natürlich auch jetzt, da Deutschland dank seines starken industriellen Kerns wieder europäischer Wachstumsmotor ist.

Grundlage unserer industriellen Spitzenstellung sind die Innovationsnetzwerke aus Industrie und Wissenschaft, die uns in der Produktionstechnik in Deutschland auszeichnen. Auf der Basis von Systemkompetenz, Technologie-Integration und Netzwerkfähigkeit generieren wir Lösungen für die großen Herausforderungen unserer Zeit. So sind es unsere Effizienztechnologien, die das wirtschaftliche Wachstum vom Energieverbrauch entkoppeln und aus grünen Visionen endlich grüne Realitäten zu machen vermögen. Auch ist die Produktionstechnik wichtigster „Enabler“ für eine bezahlbare und damit marktfähige Elektromobilität oder für Umwelttechnologien.

Ob Umwelt, Energie, Mobilität oder Urbanisierung – hier entstehen Zukunftsmärkte mit enormen globalen Potenzialen, die wir mit unserer Innovations- und Umsetzungsstärke bedienen können und werden. Für unsere künftigen Erfolge müssen wir uns aber heute schon ins Zeug legen. Investition in Innovation ist das Gebot der Stunde. Dies beginnt beim ingenieurwissenschaftlichen Nachwuchs, führt über neue Instrumente in der staatlichen Förderpolitik bis hin zu einer starken Produktionsforschung. Hierfür liefert das Buch „Zukunft der Produktion“ viele wichtige Hinweise. Mit unserem einzigartigen deutschen Produktionsnetzwerk aus Industrie und Wissenschaft haben wir alle Chancen – lassen Sie uns gemeinsam Zukunft produzieren!

**Dr.-Ing. E.h. Manfred Wittenstein**

*Past-Präsident des VDMA und Vorsitzender des Vorstandes der WITTENSTEIN AG*



## Vorwort Dr. Joachim Schulz

### Liebe Leserinnen und Leser,

von den rund 40 Mio. Beschäftigten in Deutschland sind rund 8 Mio. in der Produktion von Konsumgütern und Industriegütern tätig. Rechnet man die direkten, von der Produktionsleistung abhängigen rund 7 Mio. Beschäftigten hinzu, wird ersichtlich, dass Vollbeschäftigung und Wohlstand unseres Landes eng mit der Frage der Zukunftsfähigkeit der Produktion in Deutschland verbunden ist.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat diese Herausforderung aufgegriffen und ein Forschungsprojekt zur Analyse des zukünftigen Forschungsbedarfs für die Produktion gefördert. An diesem Vorhaben durfte ich als Vertreter der produzierenden Industrie mitwirken und Impulse aus meiner beruflichen Erfahrungen einbringen.

In den zahlreichen Gesprächen im Rahmen des Projekts „Produktionsforschung 2020“ mit Kollegen aus der Industrie und Wissenschaft wurde deutlich, dass eine zielführende Definition zukünftiger Forschungsthemen sowohl den Pull- als den Push Effekt beachten muss:

Pull bedeutet, dass branchenabhängige produktionstechnische Herausforderungen definiert und konkretisiert werden.

Push bedeutet, dass die Wissenschaft Vorausbildung betreiben muss. Neue Methoden, neuartige Fertigungsverfahren müssen entwickelt und die Anwendungsmöglichkeiten zur Verbesserung der Produktivität oder Qualität in der Produktion aufgezeigt werden.

In beiden Fällen ist aktive Industriebeteiligung gefordert, um Realitätsnähe und Umsetzbarkeit zu vermitteln. Deutschland hat in der Verbundforschung nicht nur viel Erfahrung, sondern in deren Qualität und Intensität geradezu ein Alleinstellungsmerkmal.

Die Effizienz einer Forschungsagenda wird sich daran messen müssen, welche Impulse sie für produzierende Unternehmen geben kann und welche Ansätze mittel- bis langfristig tatsächlich in die Anwendung übergeführt werden können.

Das vorliegende Buch zeigt diesen zweigleisigen Ansatz in hervorragender Weise auf, indem sowohl branchenbezogene Potenziale als auch querschnittsbezogene Forschungsthemen adressiert werden.

Mögen möglichst zahlreiche der sorgfältig ausgewählten Ideen und Ansätze dieses Buches in ein zukünftiges Produktionsforschungsprogramm einfließen.

Mögen sich möglichst viele Industriebetriebe in vorwettbewerblicher Forschung engagieren.

Und mögen sich noch mehr Betriebe die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit zunutze machen. Dann hat sich die Arbeit, die in diesem Buch steckt, gelohnt.

**Dr. Joachim Schulz**

*Mitglied des Vorstands der Aesculap AG*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Management Summary</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Herausforderungen an die Produktion der Zukunft</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1	Produktion ist mindestens so vielfältig wie die Produkte . . . . .	5
2.2	Produktion ist Deutschlands Kernkompetenz . . . . .	6
2.2.1	Produktion schafft Arbeitsplätze und Wohlstand. . . . .	7
2.2.2	Produktion muss sich an den Veränderungen des gesellschaftlichen Bedarfs und des Marktes orientieren . . . . .	10
2.3	<b>Herausforderungen als Chance – die Entwicklungstrends für die Produktion der Zukunft.</b> . . . . .	<b>10</b>
2.3.1	Die Herausforderungen im Überblick . . . . .	10
2.3.2	Globalisierung . . . . .	11
2.3.3	Durchdringung mit neuen Technologien. . . . .	12
2.3.4	Dynamisierung der Produktlebenszyklen . . . . .	15
2.3.5	Ressourcenknappheit . . . . .	17
2.3.6	Wissensgesellschaft . . . . .	18
2.3.7	Gefahr der Instabilität . . . . .	19
2.3.8	Demografischer Wandel . . . . .	19
2.3.9	Klimawandel . . . . .	21
2.3.10	Mobilität. . . . .	22
2.3.11	Lebensqualität . . . . .	23
2.4	<b>Produktion in Deutschland – quo vadis?</b> . . . . .	<b>24</b>
2.4.1	Negativszenario 2020: Produktion kehrt Deutschland den Rücken . . . . .	26
2.4.2	Positivszenario 2020: Die Renaissance der Produktion . . . . .	28
2.4.3	Produktion in Deutschland am Scheideweg. . . . .	31
2.5	<b>Produktionsforschung macht aus Herausforderungen Chancen</b> . . . . .	<b>31</b>

<b>3</b>	<b>Ein Leitbild für die Produktion der Zukunft.</b>	33
3.1	Rückblick: Besinnung auf unsere Stärken	33
3.2	Der Blick nach vorne	33
3.3	Paradigmenwandel.	37
<b>4</b>	<b>Die Forschungsthemen zur Umsetzung des Leitbildes</b>	39
4.1	<b>Neue Produkte für die Märkte der Zukunft.</b>	39
4.1.1	Die wichtigsten Megatrends und ihre Herausforderungen.	40
4.1.2	Paradigmenwandel im Aktionsfeld	43
4.1.3	Strukturierung des Aktionsfeldes „Neue Produkte für die Märkte der Zukunft“	46
4.1.4	Geschäftsmodelle	47
4.1.5	Nutzenverkauf statt Produktverkauf.	52
4.1.6	Strategische Produktplanung und Innovation.	59
4.1.7	Integrierte Produkt- und Produktionssystementwicklung	63
4.1.8	Produktentstehung als Wissensarbeit	66
4.1.9	Werkzeuge der Produktentstehung	68
4.1.10	Zusammenfassung	72
4.2	<b>Produktionstechnik und Ausrüstung</b>	72
4.2.1	Die wichtigsten Megatrends und ihre Herausforderungen.	72
4.2.2	Paradigmenwandel im Aktionsfeld	75
4.2.3	Strukturierung des Aktionsfeldes „Produktionstechnik und Ausrüstung“	76
4.2.4	Urformtechnik	77
4.2.5	Umformtechnik.	84
4.2.6	Trennende Fertigungstechnik.	90
4.2.7	Fügetechnik.	97
4.2.8	Montage-, Handhabungstechnik und Robotik	99
4.2.9	Automation und industrielle IT	104
4.2.10	Elektrische Antriebstechnik.	108
4.2.11	Industrielle Material- und Komponentenrückgewinnung.	113
4.2.12	Ressourceneffiziente Verfahren und Maschinen	114
4.2.13	Zusammenfassung	120
4.3	<b>Organisation und Produktionsmanagement</b>	120
4.3.1	Die wichtigsten Megatrends und ihre Herausforderungen	121
4.3.2	Paradigmenwandel im Aktionsfeld	122
4.3.3	Strukturierung des Aktionsfeldes „Organisation und Produktionsmanagement“	124
4.3.4	Unternehmensführung	125
4.3.5	Produktionsstrategie.	130
4.3.6	Dienstleistung	134
4.3.7	Logistik	140
4.3.8	IT und Digitale Fabrik	144
4.3.9	Zusammenfassung	149

4.4	<b>Mensch und Wissen</b> . . . . .	150
4.4.1	Die wichtigsten Megatrends und ihre Herausforderungen . . . . .	150
4.4.2	Paradigmenwandel im Aktionsfeld . . . . .	152
4.4.3	Strukturierung des Aktionsfeldes „Mensch und Wissen“ . . . . .	154
4.4.4	Strategische Personalplanung /-entwicklung und -weiterbildung. . . . .	155
4.4.5	Erfahrungstransfer und alter(n)sgerechte Arbeit . . . . .	158
4.4.6	Wissensmanagement /-organisation: Ausschöpfung von Wissenspotenzialen . . . . .	159
4.4.7	Wissensintensiver Technologietransfer . . . . .	162
4.4.8	Zusammenfassung . . . . .	166
<b>5</b>	<b>Prioritäre Forschungsbedarfe</b> . . . . .	167
5.1	<b>Energie- und Ressourceneffiziente Produktionstechnologien.</b> . . . . .	168
5.2	<b>Von der Quellen-Senken-Wirtschaft zur Kreislaufwirtschaft</b> . . . . .	171
5.3	<b>Methoden zur integrierten Entwicklung nachhaltiger Produkte</b> . . . . .	173
5.4	<b>Das atmende und wandlungsfähige Produktionsnetzwerk.</b> . . . . .	175
5.5	<b>Durchgängige Informationssysteme zur Planung und Steuerung der Produktion</b> . . . . .	178
5.6	<b>Ganzheitliche Simulation von Produkten und Produktionssystemen.</b> . . . . .	179
5.7	<b>Kognition in der Produktion</b> . . . . .	181
5.8	<b>Methoden zur Erhöhung der Prozessstabilität</b> . . . . .	183
5.9	<b>Produkte und Produktionstechnologien für die Märkte von Morgen</b> . . . . .	186
5.10	<b>Nutzen- statt Produktverkauf</b> . . . . .	187
5.11	<b>Know-how-Schutz in dynamischen Märkten</b> . . . . .	190
5.12	<b>Durchgängiges, nachhaltiges Wissen für die Produktion.</b> . . . . .	192
5.13	<b>Die demografieorientierte Fabrik</b> . . . . .	195
5.14	<b>Neue Produktionstechnologien für die Medizintechnik von Morgen</b> . . . . .	197
5.15	<b>Neue Produktionstechnologien &amp; -systeme für Energiesysteme</b> . . . . .	199
5.16	<b>Wertschöpfungsketten und Produktionstechnologien für Elektromobilität.</b> . . . . .	202
5.17	<b>Der zukunftsorientierte Prototypen- und Formenbau</b> . . . . .	205
5.18	<b>Chemische und pharmazeutische Produktionstechnologie</b> . . . . .	207