

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 75 (2003)

Artikel: Innovative Giessereitechnik, intelligenter Guss : quo vadis?

Autor: Sahm, Peter R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378376>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

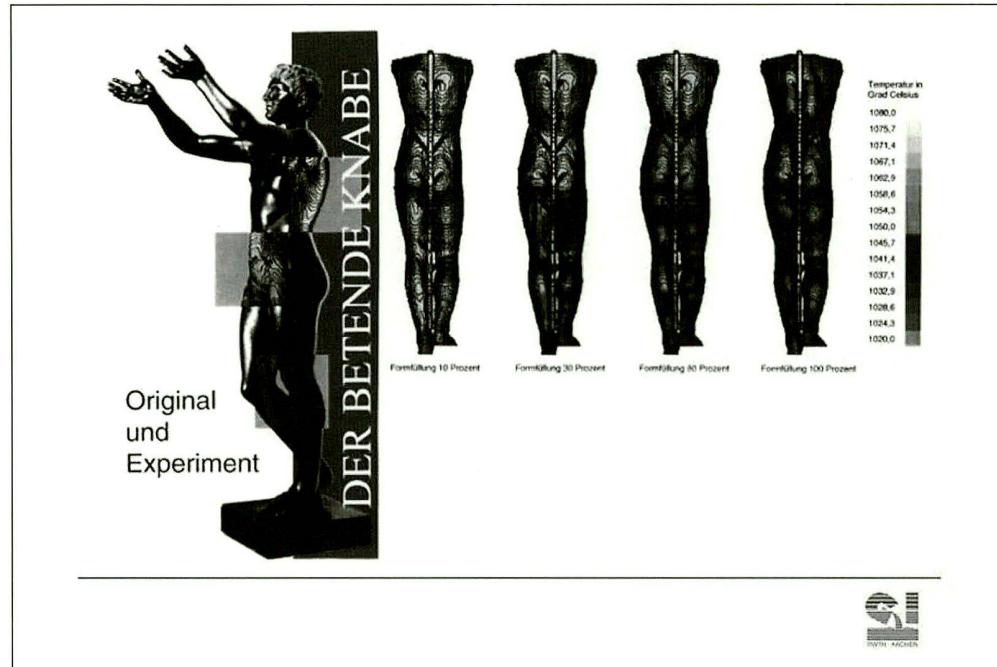
Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Innovative Giessereitechnik, intelligenter Guss: quo vadis?



0.1

Der Betende Knabe, Standort Pergamon-Museum Berlin. Bereits die Künstler grauer Vorzeiten wussten das Giessen seiner grossen Gestaltungsfreiheit wegen zu schätzen und haben damit unter anderem ihre Beziehungen zu den höheren Mächten manifestiert. Die Simulation bringt, im Blick zurück, viele interessante Details an den Tag, die es gestatten, die Giesstechnik der Griechen um 250 v. Chr. (in Rhodos) nachzuvollziehen (vgl. Anm. 5).

Der «Intelligente Guss» braucht innovative Technologie, und beides wird heute vornehmlich von der virtuellen Welt der numerischen Simulation bestimmt. Sie löste den letzten grossen Entwicklungsschub in der Giesserei-, ja, der gesamten Ingenieurkunst aus. Mit ihrer Hilfe wird es zunehmend möglich werden, das Ganze im Blick, interdisziplinäre Aspekte in der Technologie zu berücksichtigen.¹ «Das Ganze im Blick» bedeutet schliesslich auch, epochemachende Fortschritte in anderen, naturwissenschaftlichen Disziplinen unseres Raumfahrtzeitalters auf sich wirken zu lassen (Gentechnik, Kommunikationswissenschaft, Erdbeobachtung, Gehirnforschung, um nur einige herauszugreifen). Auch hier ist die Simulation allgegenwärtig. Und sie ist letztlich nicht nur dazu geeignet, künftige

Entwicklungen anzustossen², sondern sie öffnet auch den Blick in die Vergangenheit. Wir können auf diese Weise nachvollziehen, wie unsere Väter ihre (Giess-)Technik handhabten.³

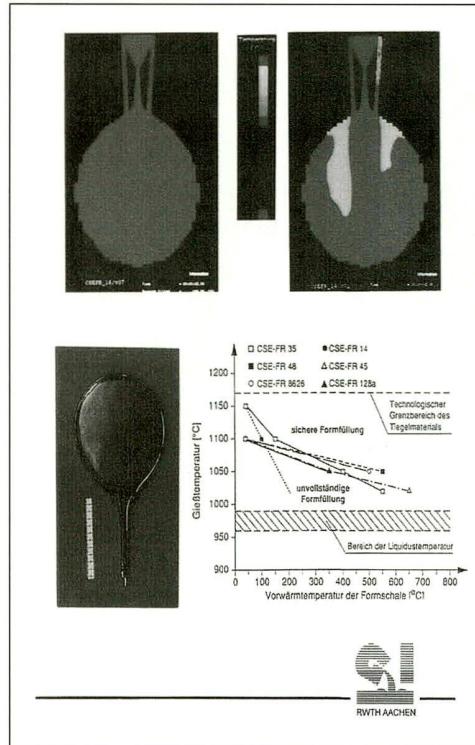
0. Der Betende Knabe

Die numerische Simulation und das virtuelle Modellieren haben der Giessereitechnik einen enormen Schub nach vorne verliehen (sowie übrigens auch anderen technischen Disziplinen, um nicht zu sagen «Gewerken»), und wir haben heute die Möglichkeit, nicht nur die Probleme, das Hier und Jetzt damit zu optimieren, sondern auch den Blick in die Vergangenheit schweifen zu lassen. So hat die Simulation als virtuelles Werkzeug Eingang in die Archäometallurgie gefunden, was am Betenden Knaben im Pergamon-Museum zu Berlin erprobt

Prof. Dr. Dr. E. h. Peter R. Sahm, Aachen
Univ. Prof. i. R., Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h., Lehrstuhlinhaber und Direktor des Giesserei-Instituts sowie Vorstandsvorsitzender von ACCESS e. V. (1979 bis 2002). Einführung der numerischen Simulation in die deutsche Giesserei-Industrie (MAGMA GmbH). Leiter der Wissenschaftlichen Projekt-führung der deutschen Raumlabormissionen (D1, D2, MIR 97). Interesse an interdisziplinären Fragen. Veröffentlichungen hierzu (als Herausgeber): Der Mensch im Kosmos I bis III, Jesus von Nazareth und das Christentum (Braucht die pluralistische Gesellschaft ein neues Jesusbild?).

worden ist. Von der VW-Stiftung gefördert, haben Archäologen, Kunsthistoriker und Ingenieure gemeinsam die Technik der griechischen Bronzegießerei aus der Zeit um etwa 250 v. Chr. in Rhodos (einem prominenten Bronzestatuen-Gießerei-Standort im alten Griechenland) auf technische Details hin unter-

ren Schritte dargestellt werden.⁶ Die erste handwerkliche Periode betraf wahrscheinlich zunächst vor allem Kunstgegenstände religiösen Ursprungs, die also in wesentlicher Konsequenz auch eine gewisse metaphysische Rolle spielten, sozusagen Verbindungen zu den höheren Mächten herzustellen.

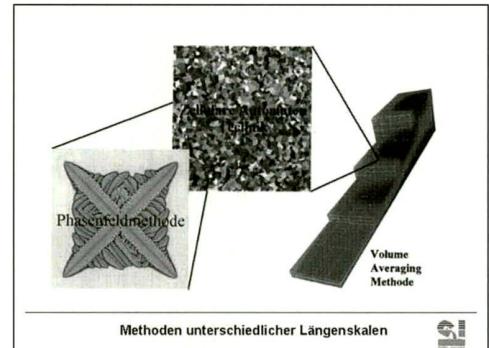


Ähnliche Ergebnisse lieferten drei von der VW-Stiftung unterstützte Projekte im Bereich Archäometallurgie: Etruskische Spiegel (s. o.), Griechische Statuen (siehe Bild 0.1) sowie europäische Bronzeäxte und -schwerter. Die Prozessfenster für einen guten Guss gleichen sich nahezu vollständig (vgl. Anm. 5).

sucht.⁴ Die Einfüll- und Erstarrungssimulation (Abbildung 0.1), die durch die sichtbaren Anschnittstellen am «Knaben» (Punkte größerer Gefüge) geleitet wurde, lieferte die für einen akzeptablen Guss erforderlichen und damals offensichtlich benutzten Giess- und Formstoff-Vorwärmtemperaturen. Abbildung 0.2 definiert das seitens unserer Giesserei-Vorväter benutzte Prozessfenster, das hier für die gegossenen Spiegel der Etrusker gilt⁵, wie eigene Untersuchungen ebenfalls gezeigt hatten, aber im Ansatz auch für die Statuen.

1. Linien zukünftiger Entwicklung entlang virtueller Pfade

Ein knapper geschichtlicher Abriss des Giessereiprozesses kann in drei grösse-



Simulationsmethoden für unterschiedliche Längenskalen (von rechts nach links: cm-Bereich, mm-Bereich (10 bis 1000 µm), µm-Bereich (< 10 µm)).

$\text{Kontinuitätsgleichung: } \frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla(\rho \vec{u}) = M_s$ $\text{Navier-Stokes: } \frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{u}) + \nabla(\rho \vec{u} \otimes \vec{u}) = -\nabla p + \nabla^2 \tau + \rho g + \vec{U}_q$ $\text{Wärmetransport: } \frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) + \nabla(\rho \vec{u} c_p T) = \nabla(\lambda \nabla T) + H_q$ $\text{Stofftransport: } \frac{\partial}{\partial t}(\rho c') + \nabla(\rho \vec{u} c') = \nabla(\rho D \nabla c) + S_c$	
Erhaltungsgleichungen	

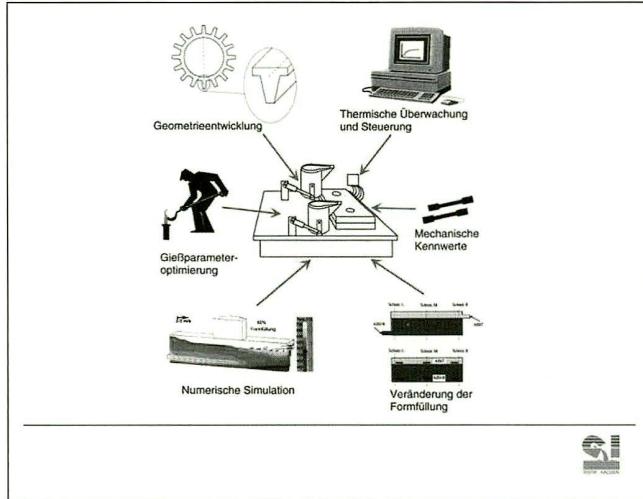
Tabelle 1.1
Erhaltungsgleichungen
(Vortrag 7. November 2002, Bayreuth).

Im weiteren Verlauf wurde dann das Handwerk, das zunehmend auch Waffen und Gebrauchsgegenstände produzierte, durch einfache Maschinen unterstützt, beispielsweise Wind- und Wasserkraft nutzend. Die zunehmende Nutzung von Maschinen initiierte mit der Zeit die Industrialisierung, die zu automatisierter bzw. mechanisierter Produktion führte und den derzeitigen Stand der Technik einläutete. Die Jetzzeit mit ihrem immer stärkeren Drang zu Optimierung und Innovation ist der Simulation verschrieben, dem virtuellen Werkzeug und Schlüssel für eine «bessere Welt».

Hier lassen sich beispielhaft vier Gebiete mit besonderem Potential unterscheiden:

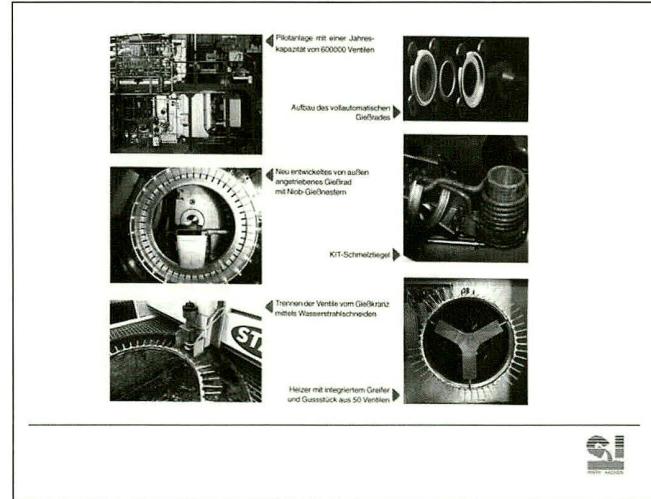
- Forschung und Entwicklung per Computer,
- Verknüpfung der Giessprozesse mit anderen «Gewerken» (= Technologien), integratives Modellieren,
- virtuelle Giesserei,
- globale Optimierung.

Seigerungen⁸, und sind daher relevant für die Gefügebildung aus der schmelzflüssigen Phase. So liessen sich aus der althergebrachten «Seigerungs-Not» eine Tugend machen und erwünschte Gradientengefüge auf der Basis natürlicher Seigerungsvorgänge einstellen.⁹



Herstellung von Gradientengefügen (vgl. T. Zeuner und A. Güntner, Anm. 11).

1.2



Giessprozess zur Massenherstellung von TiAl-Ventilen (siehe Anm. 12).

1.3d

1.1 Forschung und Entwicklung per Computer

Wo Optimierungen des Giessereiprozesses möglich sind, ist es nur eine Frage der Extrapolation, um auch eine breit angelegte Forschung und Entwicklung mithilfe des virtuellen Werkzeuges anzugehen.⁷ Abbildung 1.1 macht klar, dass heute bereits Brücken zwischen Mikro- und Makrokosmos geschlagen worden sind, die dem Giesser grossen Nutzen bringen, indem die Verknüpfung Prozess – Gefüge – Eigenschaften auch von der Gefügeseite her, bis hinunter in den atomaren Bereich oder den der Versetzungen virtuell modelliert werden kann. Darauf aufbauend lassen sich verbesserte innovative Technologien ableiten. Das Bild verbindet die Abmessungsskalen der makroskopischen Dimensionen ganzer Gussstücke (cm/m) bis hinunter in den μm -Bereich des Dendritenwachstums.

Die Möglichkeiten für die Simulation sind heute umfassend. Tabelle 1.1 weist die Gleichungssysteme auf, welche routinemässig gelöst werden können. Sie erfassen also damit nicht nur die Erstarrungsvorgänge, sondern insbesondere auch

Was Gradientengefüge betrifft, so ist in einer kürzlich veröffentlichten Forschungsarbeit praktisch vorgeführt worden, dass eine Formwand-Behandlung (bzw. -impfung) reproduzierbar ein Gusseisenrandgefuge liefern kann, das vom Gefüge-Typus des Volumeninneren abweicht.¹⁰ Diese Fähigkeiten liessen sich ausweiten, zum Beispiel in Richtung einer gewollten Herstellung geschichteter Gefüge durch konsekutives Giessen, das so genannte Schichtgiessen (Abbildung 1.2).¹¹

Das aufgestossene Tor zur Optimierung bzw. zunehmend zur Entwicklung stark modifizierter oder gar vollkommen neuer Prozesse mag am Beispiel der TiAl-Auto-Ventil-Herstellung verdeutlicht werden. Hier wurden mehrere neuartige Ansätze miteinander verknüpft, indem eine unkonventionelle Technologie, der Schleuder-Formguss, unter Nutzung eines innovativen Tiegeltyps (wassergekühlter Kupfer-Segmenttiegel, induktiv beheizt), zur Herstellung von Gussteilen aus einem neuen Werkstoff-Typ, nämlich intermetallischen Legierungen (Abbildung 1.3 a)¹², entwickelt worden ist. Auch der gewählte Kokilleneinsatz-Werkstoff stellt eine

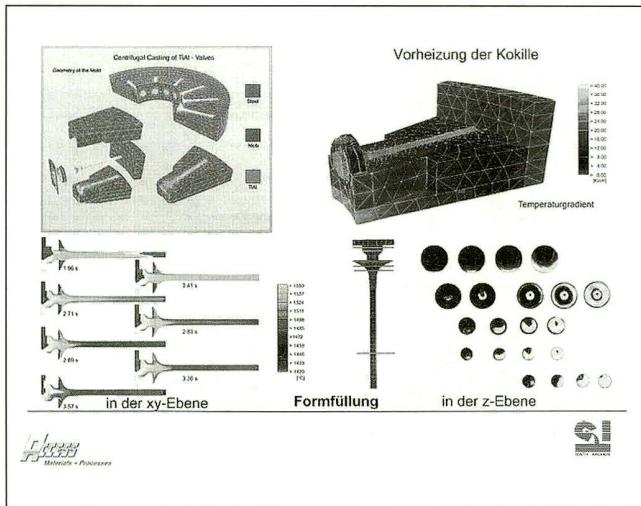
komplette Novität dar (Nb-Legierung). Die planerische Phase wäre ohne Simulation nicht denkbar gewesen (Abbildung 1.3 b).

Der Giessereiprozess mit verlorenen Formen besteht aus vielgestaltigen komplexen Fertigungsschritten, unter ande-

unter Anwendung lokaler Druckunterschiede und mit der Möglichkeit, regelnd und steuernd einzugreifen, was heute technisch zunehmend realisierbar wird.

1.2 Technologien verknüpft

Anhand zweier Beispiele sei dargestellt, wie Technologie-Verknüpfungen ausse-



Giessprozess-Entwicklung zur Massenherstellung von TiAl-Ventilen (siehe Anm. 12).

1.3b

rem der Sandverdichtung bzw. Kernherstellung. Für Letzteres liefert das Kernschiessen ein Beispiel, das zeigt, wie dieser schwierige giessereitechnische Arbeitsschritt einer Sandgiesserei heute ebenfalls von der Simulation her kontrollierbar wird und nach entsprechender Optimierung grossen Nutzen zu bringen verspricht.¹³

Es lohnt sich also, auch einen seit jeher gut eingefahrenen Prozess-Schritt der Giessereitechnik auf mögliche Optimierungen bzw. Modifizierungen hin virtuell zu durchdenken, mit anderen Worten durchzusimulieren, um daraus Verbesserungen abzuleiten, die nicht selten substantiellen Charakter annehmen können. Ein Beispiel ist etwa das von A. Flesch¹⁴ untersuchte Modell des Al-Druckgusses, das bei einem einzelnen Verfahrensschritt wie dem Eingusszulauf der Schmelze bis zum Anschnitt zu beachtlichem Optimierungspotential geführt hat. Weitere eindrucksvolle Beispiele liefern E. Neussl¹⁵ sowie P. N. Hansen¹⁶ für das so genannte aktive Speisen und aktive Füllen von Schmelze in eine Kavität diverser Konvenienz, gleichgültig, ob Sand- oder Dauerform. Dies alles geschieht

Tabelle 0.2: Gegenüberstellung der Begriffe aus der Biologie und deren mathematisches Äquivalente	Tabelle 0.3: Gegenüberstellung der Begriffe aus Biologie und Technik
Begriffe aus der Biologie	Biologische Evolutionen
Lebensraum	Lebensraum
Zielfunktion $Z(f)$ mit $f \in M$	Zielfunktion $Z(F) = \sum_{i=1}^n C_i O_i$ mit $n \in N$
Optimales Individuum	Fitnes
Individuum mit seinen Eigenschaften	Parameter x_i
Information über die Entwicklung zum optimalen Individuum	Gesamtes Individuum
Mutation	Population
$X_{\text{mut}} = X_0 + K\zeta$	Eltern
Rekombination	Anpassungsparameter
$\hat{x}_i = x_i + (x_e - x_i)\zeta$	Vererbung
Anzahl der Nachkommen	Genetische Variation
Population	Veränderung eines Parameters
Typ mit μ Individuen	Chromosomenmutation
Selektion	Rekombination
Bewertung über die Fitnesfunktion $F: A \rightarrow R$ und Auswahl der neuen Population aus λ oder $\mu + 1$ Individuen	Selektion

Evolution / Gegenüberstellung der Begriffe



Tabelle 1.2

Gegenüberstellung der Begriffe der biologischen Evolution und genetischer Algorithmen in der Numerik (entnommen Anm. 20).

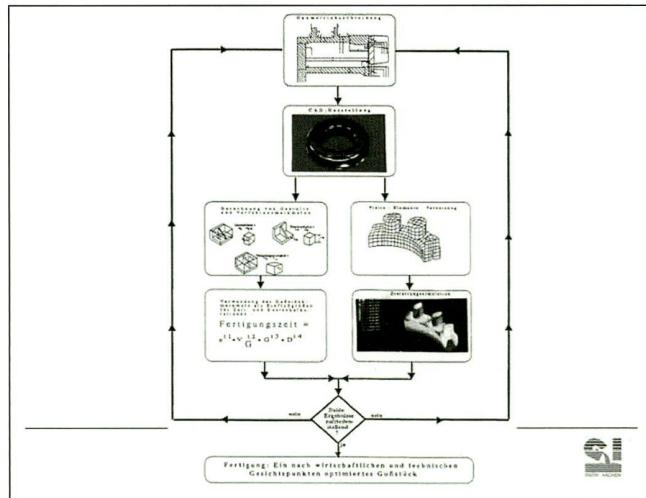
hen können, die aus mehreren Gewerken schöpfen. Anzusprechen ist etwa die Herstellung eines Al-Blechproduktes (Napf durch Tiefziehen), die von einem gegossenen Al-Halbzeug ausgeht, das anschliessend (vor dem Tiefziehen) mehrfach umgeformt und wärmebehandelt wird.¹⁷ Gefüge und Eigenschaften lassen sich, wenn gewünscht, für jeden Zwischenzustand abrufen bzw. in einem «Engineering-Prozess» gestalten. Eine noch komplexere Aufeinanderfolge von Fertigungsschritten ist gegeben bei der Herstellung eines Formgussstückes, hier einer Gasturbinenschaufel, das die Verkettung von Giessen-Wärmebehandlung-Beschichtung (mit drei unterschiedlichen Schichttypen) vorsieht.¹⁸

1.3 Virtuelle Giesserei

Ein weiteres Potential ist die virtuelle Giesserei bzw. die virtuelle Fabrik, eine Art Walt-Disney-Darstellung von Fertigungsabläufen mit Hilfe bewegter Bilder. Sie erlaubt es, die Fertigungsschritte im Detail nachzu- bzw. auch vorzu vollziehen. Bewegte Bilder¹⁹ zeigen zum Beispiel Ausschnitte aus der Formkastenvorbereitung und die Giesserei selbst sowie einen Teil der Abkühlstrecke in einer

Giessereifertigung, wobei die gegenseitige Abstimmung der Zykluszeiten der unterschiedlichen Fertigungsschritte in diesem Beispiel vorgenommen wurde. Dieses virtuelle Werkzeug steht erst am Anfang seines Einsatzes; schon jetzt ist jedoch klar, dass sich eine vielfache nützliche Verwendung abzeichnet.

Dieses Gebiet ist dazu angetan, nicht nur insgesamt bessere Produkte zu liefern, sondern es zwingt den Giesserei-Ingenieur vor allem, über den Zaun seines eigenen Gewerkes hinüber zu schauen und den Belangen des Nutzers noch mehr Beachtung zu schenken als bisher möglich schien, also sich stets in



Ein nach wirtschaftlichen und technologischen Gesichtspunkten optimiertes Gussstück.

1.4

Zeitraum	Normiert auf 24 Stunden
seit der archäologisch dokumentierten Menschheitsgeschichte (letzte $1 \cdot 10^5$ Jahre)	43 s
seit der Existenz des Menschen (letzte $2 \cdot 10^6$ Jahre)	2.2 s
Seit der Existenz des Planeten Erde (letzte $4.5 \cdot 10^9$ Jahre)	0.0001 s

Das Luft- und Raumfahrtzeitalter (seit 1950) vor der Uhr der Geschichte, normiert auf 24 Stunden (entnommen Anm. 24 und 25).

Tabelle 2.1

1.4 Globale Optimierung

Dieser Bereich der numerischen Simulationsfähigkeit ist überall dort interessant, wo es gilt, einen Abgleich zwischen verschiedenen gelagerten Optimierungswünschen zu verknüpfen, also etwa betriebswirtschaftliche mit rein technischen Aspekten zu versöhnen: Dies betrifft beispielsweise die Frage, wie man guten Guss erlangt und das unter Minimierung der Kosten. Die globale Optimierung²⁰ steht erst am Anfang ihrer Verbreitung, und es muss hier noch sehr viel Rüstzeug erdacht und entwickelt werden. Einen besonders erfolgreichen Algorithmus liefert die Mathematik hierfür mit der so genannten Evolutionsstrategie. Das ist diejenige Strategie, welche die Natur uns bei der Entstehung der Arten gemacht hat, einschliesslich unserer Gattung selbst, also schlachtweg die biologische Evolution (vgl. Tabelle 1.2).²¹

Das Beispiel für eine solche Aufgabe wäre gegeben²², wo Energie und Gewichtsminimierung einhergehen sollen mit einer verbesserten Gusskonstruktion und -qualität. Abbildung 1.4 illustriert die Abstimmung einer betriebswirtschaftlichen mit einer technischen Schleife.²³

Richtung einer Problemlösung auf breiter Basis zu orientieren.

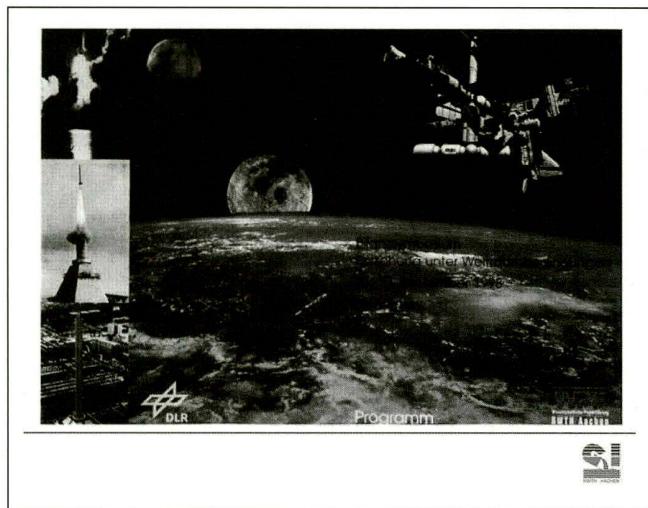
2. Das Ganze im Blick

Betrachten wir den Menschen vor dem Hintergrund einer Uhr der Geschichte, so kann das auf mehrerelei Weise geschehen. Es lässt sich beispielsweise (siehe Tabelle 2.1)²⁴ die Frage stellen, was in den letzten 50 Jahren relativ zur in etwa heute verfolgbaren Geschichte des Menschen passiert ist. Würde man diese Betrachtung über 24 Stunden hinweg anstellen, dann wären es die letzten 43 Sekunden, in welchen der Mensch den Schritt hinaus in den Kosmos tat, das heisst, wahrhaft flügge geworden ist. Messen wir vor dem Hintergrund der Existenz des Menschen (die heute mit etwa $2 \cdot 10^6$ Jahren angesetzt wird), so sind es nur noch die letzten 2,2 Sekunden der gedachten Uhr. Ist es gar das Alter der Erde (mit seinen $4.5 \cdot 10^9$ Jahren), so handelt es sich in diesem Falle nur noch um die letzten 0,0001 Sekunden.

Der Mensch hat in diesen letzten 50 Jahren, also insbesondere nach dem Zweiten Weltkrieg, eine Bewusstseins

erweiterung nie gewesenen Ausmasses erfahren.²⁵ Das besagt nicht, dass einzelne menschliche Gestalten unserer Geschichte dieses zu ihren Lebzeiten nicht bereits geahnt, ja, auch ausgesprochen hätten. Eine breite Akzeptanz ist jedoch erst im 20. Jh. eingetreten, und, wie die Tabelle suggeriert, wir stehen erst ganz

Trotz der Kürze der Zeit im Vergleich der Tabelle 2.1 fanden gleichzeitig revolutionsartige Entwicklungen auf mehreren naturwissenschaftlichen Gebieten statt, also neben der Raumfahrttechnik besonders in der Astronomie, der Teilchen- und Quantenphysik mit der Entdeckung diverser neuer Effekte sowie weite-



Das Raumfahrtzeitalter und seine Attribute (Raumlabor, Raumstation, Mond, Mars –).

2.1

$t_f = C \left(\frac{h}{2g} \right)^{v^2}$	standardisierter Versuch	$t_f = C g^{-v^2}$
Ort des Giessversuchs	Wert der Schwerkraftbeschleunigung	Füllzeit
ERDE	$g = 9,8195 \text{ m/s}^2$	$t_f = 0,31912C \text{ s}$
Leoben (700 m)	$g_{700m} = 9,8173 \text{ m/s}^2$	$t_f(LB) = 0,31916C \text{ s}$
Aachen (70 m)	$g_{70m} = 9,8193 \text{ m/s}^2$	$t_f(AC) = 0,31912C \text{ s}$
MARS	$g = 3,27 \text{ m/s}^2$	$t_f = 0,48 C \text{ s}$
MOND	$g = 1,635 \text{ m/s}^2$	$t_f = 0,96 C \text{ s}$
RAUMSTATION	$g \approx 10^{-4} \text{ m/s}^2$	$t_f = 3200 C \Rightarrow \infty$

Ein standardisierter Giessversuch in Aachen, Leoben (=auf der Erde), auf dem Mars, dem Mond und schliesslich auf einer typischen Raumstation liefert stark unterschiedliche Giesszeiten, nur bedingt durch die vorliegenden unterschiedlichen Schwerkraftbeschleunigungen.



Tabelle 2.2

am Anfang, brechen, dem seinem Ei entschlüpfenden Küken vergleichbar, gerade an einem Punkt durch die Eierschale. Warum sollte diese Wendung nicht auch für die Giessereitechnik neue Impulse im Gepäck mit sich tragen?

Die «Erweiterung des Bewusstseinshorizontes des Menschen» spricht neben der psychischen auch die rein «mechanische», auf Dimensionen bezogene Erweiterung an. Der Mensch wird sich auf allen Ebenen immer stärker seiner Einbettung in eine Umgebung kosmischen Ausmasses – mit allen ihren Auswirkungen – bewusst. Diese Bewusstseinserweiterung kann als die Quintessenz aus der zunächst rein materiellen Beschäftigung mit der neuen Dimension Weltraumforschung in den diversen Disziplinen von Naturwissenschaft und Technik verstanden werden. Es entsteht nun die Frage, inwieweit wir uns auf eine aktive Rolle gegenüber diesen Gegebenheiten einstellen sollen, naheliegenderweise zunächst durch die Ausweitung unseres Aktionskreises auf Himmelskörper ausserhalb der Erde, also zuerst in Richtung Mond und/oder Mars.²⁶

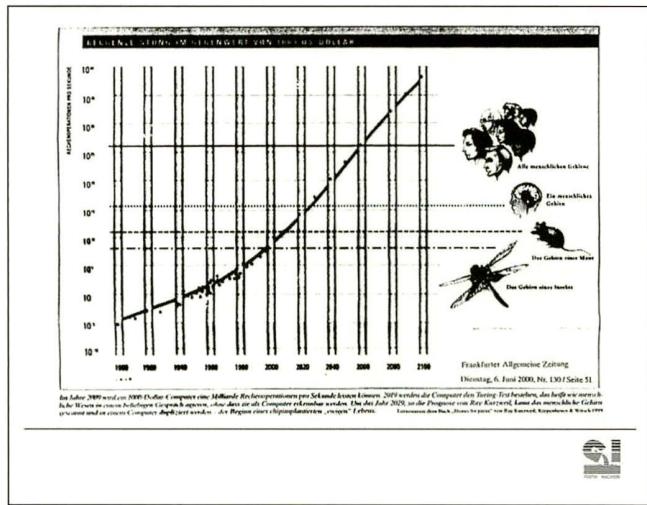
rer Teilchen und so auch in den Lebenswissenschaften mit der Genetik, Molekulargenetik, Reproduktionsbiologie usw.

Ohne die Nachhaltigkeit unserer Handlungen aus den Augen zu verlieren, ja, die ethischen Massstäbe aktiv kontinuierlich nachzubessern²⁷, darf die Menschheit mutiger an die Vorgaben anknüpfen, die ihr heute auf der Basis des Erkenntnisstandes der Wissenschaften und der Technik gegeben sind, wie zum Beispiel und insbesondere unter Ausnutzung²⁸:

- der Errungenschaften der Raumfahrt (Mondbetretung vor 30 Jahren, gerade in Betrieb gegangene Internationale Raumstation ISS, der sich andeutende kommende Ausflug zum Mars bzw. der Beginn der Herauslösung des Menschen aus seiner irdischen Hülle²⁹;
- der globalen Kommunikationsfähigkeit mit Hilfe der modernen elektronischen Hardware und informatorischen Software und somit dem daraus erwachsenden unglaublich erscheinenden Hebel zur Erweiterung unseres Wissens-, Denk- und Folgerungsvermögens³⁰;

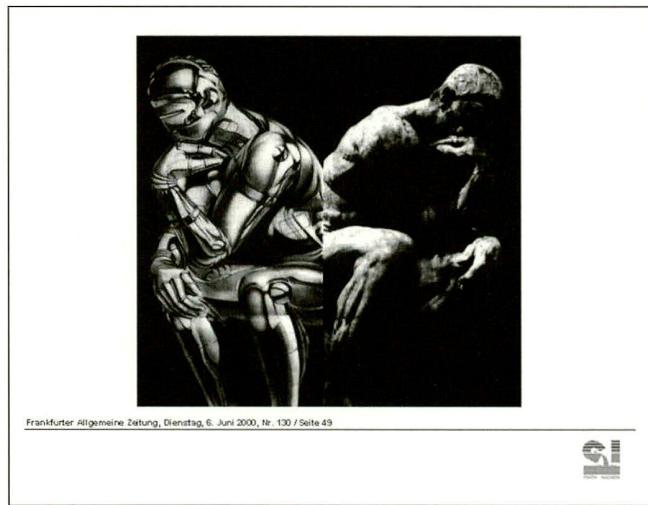
- der Genbiologie und -technik unter anderem mit der Aussicht auf einen selbst herbeizuführenden Sprung in der Evolution unserer selbst bzw. eines Evolutionsschubs, sowohl was die rein materiell-körperlichen Belange betrifft als auch diejenigen unseres Gehirns.

Raumfahrt, mit zunächst typischen Zielen wie Mond und Mars, stellt eine Herausforderung dar, die nur von einer im Gleichgewicht befindlichen Planeten-Mensch-Einheit geleistet werden kann, deren innere Stabilität gleichzeitig aber, ob der extremen zu lösenden raumfahrtbedingten, nur international zu bewältigenden



Im Jahre 2009 wird ein 1 000-Dollar-Computer eine Milliarde Rechenoperationen pro Sekunde leisten können. 2019 werden die Rechner den Turing-Test bestehen, das heisst, wie menschliche Wesen in einem beliebigen Gespräch agieren, ohne dass sie als Computer erkennbar werden. Um das Jahr 2029, so die Prognose von Ray Kurzweil, kann das menschliche Gehirn gescannt und in einem Computer dupliziert werden – der Beginn eines chipimplantierten «ewigen» Lebens (siehe Anm. 30).

2.2



Frankfurter Allgemeine Zeitung, Dienstag, 6. Juni 2000, Nr. 130 / Seite 49

SI
SCHMIDT

2.3

Zwei Zeitalter formieren sich, lösen sich voneinander ab:
Wie künstlich wird die kommende Menschenwelt werden?

2.1 Das Raumfahrtzeitalter

Die Bewusstseinserweiterung des raumfahrtzeitlichen Menschen, die insbesondere auf die von der Satellitentechnologie generierten Erkenntnisse zurückzuführen ist, ist ein wesentliches Merkmal unserer heutigen Zeit. Sie gestattet unter anderem, die lebensnotwendigen Ressourcen (Energie, Wasser, Atmosphäre, die Strahlungsbasis, Nahrung, kurz: unsere Biosphäre) global zu vermessen, zu verstehen und daher auch zu verändern (optimieren, adaptieren usw.). Man denke beispielsweise an die zunehmende Qualität der Wettervorhersage und Erdbeobachtung – Phänomene, welche erlauben, unser Leben immer genauer vorauszuplanen und die Folgen unserer Handlungen auf der Erde immer detaillierter nachzuvollziehen bzw. voraussehen zu können und zu verinnerlichen. Die Massgabe Friedrich von Schillers »Durch die Achse der Welt gehe die Richtung der Tat« könnte unversehens in die Wirklichkeit umgesetzt werden, in einer bisher nicht denkbaren Direktheit. Die andere innovative Fähigkeit, die bemannte

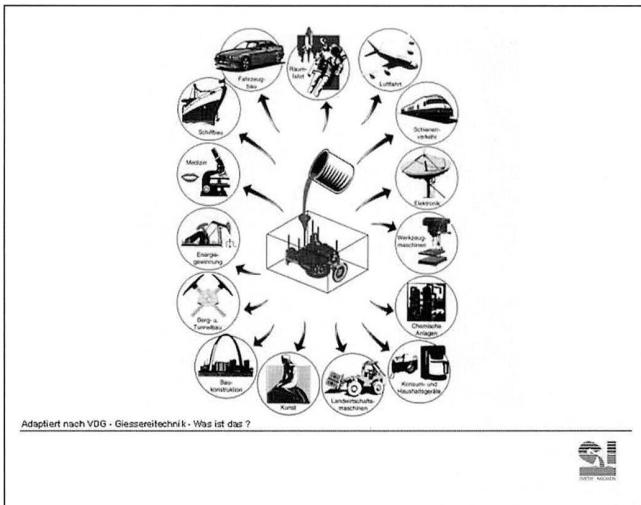
Aufgaben (etwa gegenüber innerirdischen kriegerischen Auseinandersetzungen) im Grossen und Ganzen erhalten bleiben müsste.

Die Raumstation (Abbildung 2.1)³¹ stellt unter anderem Anforderungen auf dem Gebiet des Recycling für das Überleben des Menschen dort selbst, betrifft also die erneuerungsfähigen Materialien und die Energie, kurz das Recycling auf allen Ebenen. Im Endeffekt wird ein System angestrebt, das vollkommen autark (sich selbst genug) funktioniert. Diese unbedingte Recyclingfähigkeit kann für Anwendungen auf der Erde, also für jede Fabrik, und dementsprechend auch Giesserei, für jedes Wohnhaus und, in grösserem Massstabe, jedes Gemeinwesen, zu umweltrelevanten Lösungen führen.

Gehen wir nun den nächsten Schritt in Richtung Mond oder Mars, tun sich noch ganz andere Dimensionen auf. Der erste Ausflug zum Mars würde immense Herausforderungen für die Ingenieur

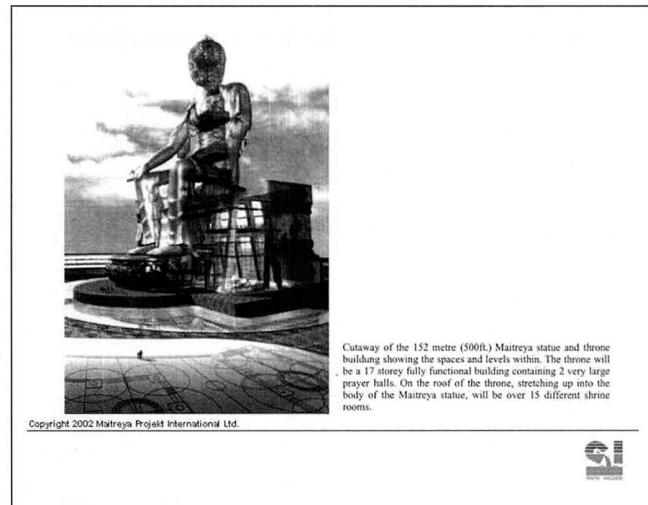
kunst bedeuten, indem dort beispielsweise vor dem Eintreffen der ersten Menschen ferngelenkt automatisiert Fabriken zu errichten wären, die etwa die Brennstoffe für die Rückfahrt produzierten und bereit hielten. Das Gleiche gälte für Atemluft oder Wasser für die dort landenden Menschen. Eine typische

2020 etwa demjenigen des menschlichen Gehirns gleichgesetzt werden und im Jahre 2060 sogar dasjenige aller Gehirne der Welt zusammen erreichen könnte (Abbildung 2.2).³³ Einen gewissen Vorgeschmack darauf entnehmen wir dem kontinuierlich steigenden Gebrauch des Internets, quasi des Weltgehirns.



Adaptiert nach VDG-«Giessereitechnik – Was ist das?»

3.1



Die 152 Meter hohe Maitreya-Statue. Copyright 2002 Maitreya Project International Ltd.

3.2

Mars-Mission dauert zwei bis drei Jahre mit einem Aufenthalt auf dem Mars von über einem Jahr.³² Wollte man dort gar Werkstofftechnik betreiben, zum Beispiel Giesswerkstätten errichten, so entstünden Fragen, welche veränderten Bedingungen zu bewältigen wären, wollte man auf dem Mond oder dem Mars giessen. Am Beispiel der Füll- bzw. Giesszeit werden einige dieser Unterschiede sofort klar. Auf der Internationalen Raumstation ISS würde in jedem Falle eine neue Kraft zu berücksichtigen sein, nämlich die Kapillarität, die ja auf der Erde durch die Schwerkraft vollkommen (auf Mars und Mond nur teilweise) ausge-dämpft wird, aber bei 0 g voll zum Tragen käme (vgl. Tabelle 2.2).

2.2 Die Kommunikationsexplosion

Die globale Kommunikationsfähigkeit mithilfe moderner elektronischer Hardware und durchaus parallel dazu verlaufender kontinuierlich verbesserter Software steigt nahezu täglich weiter an. So gibt es beispielsweise Extrapolationen, die besagen (und selbst, wenn sie übertrieben wären, so doch die Richtung weisen), dass das Leistungsvermögen eines 1 000-Dollar-Rechners im Jahre

Diese Möglichkeiten werden zunehmend Bestandteil der Entwicklung der Wissenschaften und der Technik, so dass unsere gegenwärtige Vorstellungskraft wahrscheinlich bei weitem nicht ausreicht, die erzielbaren Fortschritte vollgültig zu erahnen.

Wie könnte sich die Giessereitechnik den Fortschritt auf diesem Gebiet der künstlichen Intelligenz (KI) zunutze machen? Ähnlich wie für den Rest der industriellen Welt läge die Nutzung zunächst in einer wirksamen, von der Zeit mehr und mehr unabhängigen (weil so schnell funktionierenden) Kontroll-, Regel- und Steuerfähigkeit der involvierten Prozesse (Fertigungsschritt), ganz zu schweigen von der zunehmenden gegossenen Ausführung von Computer-, Handy- und ähnlichen Gehäusen (dem übrigens auch zunehmenden Mischkonstruktions-Charakter, etwa bei Kunststoff-Leichtmetall(Magnesium)-Kombinationen usw.).

2.3 Der Mensch

Der uns erwartungsgemäß bevorstehende eigene Evolutionsschub, ausgelöst durch die Tatsache, dass wir nun Hand anlegen können an unsere eigenen

Gene³⁴, bedeutet sicherlich nicht, dass die Menschheit diesen Weg nicht beschreiten sollte (lebten wir in einer deterministischen Welt, könnte dieses sogar unabwendbar von ihr gefordert sein). Die Zurückhaltung bzw. auch Furcht, die sich traditionsgemäss mit dem Auftritt eines Homunkulus verbreitet (vgl. Abbildung 2.3³⁵), weicht offensichtlich allmählich der Akzeptanz mehrerer möglicher Spielarten wie

- dem prothesenbehafteten, aber im Prinzip immer noch normal-biologischen Menschen (Dentalprothesen und künstliche (Hüft)knochen sind übrigens zum grossen Teil Gussprodukte);
- dem 100-prozentigen Roboter;
- dem menschlichen Klon;
- dem gentechnisch veränderten biologischen Menschen;
- einer wie auch immer gearteten Kombination der aufgezählten Varianten.

Die wirkliche Entwicklung wird wohl in der Tat eine Mischung darstellen. Nicht nur, dass damit überlegene Fähigkeiten bei der Gehirnentwicklung, des Knochenskeletts, von Haut und Muskeln und der diversen inneren Organe geliefert würden, auf längere Sicht wären auch Lebewesen denkbar, die gegebenenfalls über ganz neuartige Metabolismen verfügen und die beispielsweise bei der Erschliessung des Kosmos mit Hilfe der bemannten Raumfahrt eine wichtige Rolle zu übernehmen hätten, inklusive der Besiedlung ausserirdischer Himmelskörper. Es ist unschwer zu erkennen, dass gegossene metallische Bestandteile beim prothesendurchsetzten Typ, dem Roboter und der Mischform jedenfalls mit Vorteil einsetzbar wären.

3. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Fortschritte in der Giesstechnik verlaufen durchaus raumfahrtzeitalterkonform, indem ihre Produkte nicht nur mit grösserer Prozesssicherheit, höherer Produktivität, material- und energiesparender Fertigung versehen werden, sondern durch mehr Flexibilität intelligenter, beispielsweise multifunktioneller, dabei unter anderem auch leichter werden. Abbildung 3.1³⁶ fasst zusammen, welche Gebiete heute von der Giessereitechnik beliefert werden und welche neuen Bereiche erschlossen worden sind. Voraussetzungen dazu bieten die Möglichkeiten der virtuellen Realität in Form

der rechnerischen Simulation der Giess-, Erstarrungs- und weiteren Abkühlvorgänge, ebenso die Fortschritte im Bereich der Mess-, Steuer- und Regeltechnik, auch typische Merkmale des Raumfahrtzeitalters. Dem modernen Giesser steht mit dem Werkzeug des «virtuellen Vor- ausdenkens» ein bei weitem noch unausgeschöpftes Potential an technischen Lösungen bzw. Innovationen zur Verfügung, etwa so wie in der folgenden Zusammenfassung aufgelistet.

Um sich weiterhin erfolgreich zu behaupten, sollte der Giesser im 21. Jh. (eingedenk der oben erwähnten Entwicklungsrichtungen der verschiedenen Disziplinen und Wissenschaften) zunehmend

- interdisziplinär denken und handeln in Richtung
 - innovativer Fertigungstechniken, zum Beispiel Mischtechnologien wie Thixogiessen («semi-solid-processing»), integrierter Fertigungsmethoden wie Giessen-Umformen-Wärmebehandeln usw.,
 - Anwendungsorientierung, beispielsweise als Problemlöser für Automobilbauer (Dünnewandigkeit, Leichtmetallguss, Baugruppen) auftreten;
- Simulationstechniken umfassend nutzen (bzw. die virtuelle Realität) für die
 - Optimierung des Giessereiprozesses,
 - globale Optimierung mit Hilfe integrierter Simulation;
- effektive, billige Einzelfertigungslösungen (Unikate, Kleinserien) anbieten;
- sich der Vorteile der Giessfertigung (grösste Gestaltungsfreiheit, Reduzierung der Prozessschritte nach dem Motto «in einem Guss» zu fertigen) bewusst bleiben.

Mit dem Künstler vor etwa 5 000 Jahren hat alles begonnen (Abbildung 0.1), und der Künstler ist es, für den heute immer noch, in viel umfangreicherem Masse als vor 5 000 Jahren, die Giessereitechnik arbeitet. Und keiner nimmt die grosse Gestaltungsfreiheit der giessereitechnischen Fertigung intensiver in Anspruch als der Künstler (Abbildung 3.2).³⁷ Die Beschwörung der metaphysischen Komponente scheint auch im 21. Jh. noch immer präsent – der geplante grösste Buddha aller Zeiten würde sein Haupt in den Himmel strecken so weit wie keiner zuvor.

- ¹ Beispielsweise als kombinierter Ur-/Umform-/Füge-/Beschichtungstechniken sowie in der Anwendung, etwa mit Verbundguss, Gradientengefüge und -eigenschaften etc.
- ² Zum Beispiel die Planung des zu giessenden 150 m hohen Maitreya-Buddha, um einmal die metaphysische Komponente anzusprechen.
- ³ Archäometallurgie des Betenden Knaben aus der griechischen Bronzezeit.
- ⁴ M. Ratka und P. R. Sahm 1997, in: Der Betende Knabe, Original und Experiment. Hrsg. v. G. Zimmer und N. Hackländer, Frankfurt am Main, S. 67. Siehe auch den Aufsatz von Edilberto Formigli in diesem Heft.
- ⁵ M. Wirth, P. R. Sahm und R. Ellerbrok 1999: Gießereiforschung 51, 105.
- ⁶ P. R. Sahm und P. N. Hansen 2000, in: Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes-IX. Hrsg. von P. R. Sahm, P. N. Hansen, J. G. Conley, Aachen, S. LXXX.
- ⁷ P. R. Sahm und B. Pustal 2002: 1st Virtual Materials Processing Focussing Metals, Vortrag Symposium Bayreuth, 7./8.11.2002.
- ⁸ T. Hofmeister 2002 (Dissertation): Numerische Simulation des Erstarrungsgefüges multikomponentiger Al-Legierungen, Aachen (Giesserei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse, Bd. 36, hrsg. von P. R. Sahm).
- ⁹ H. Müller-Späth 1999 (Dissertation): Legierungsentwicklung unter Einsatz des SSP-Verfahrens und Umsetzung intelligenter Materialkonzepte beim Thixogießen, Aachen (Giesserei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse, Bd. 12, hrsg. von P. R. Sahm).
- ¹⁰ A. Kleine 2002 (Dissertation): Innovative Konzepte im Motorenbau mit Gusseisenwerkstoffen, Aachen (Giesserei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse, Bd. 34, hrsg. von P. R. Sahm).
- ¹¹ T. Zeuner 1998 (Dissertation): Entwicklung gegossener lokal verstärkter Leichtbaubremscheiben für den schnellfahrenden Schienenverkehr, Aachen (Giesserei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse, Bd. 3, hrsg. von P. R. Sahm). A. Günzner 2000 (Dissertation): Gießtechnisch gradierte Werkstoffverbunde, Aachen (Giesserei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse, Bd. 19, hrsg. von P. R. Sahm).
- ¹² M. Blum, G. Jarczyk, H. Scholz, S. Pieler, P. Busse, H.-J. Leuchtenberg, K. Stegtrop, R. Simon 2000: Prototype Plant for the Economic Mass Production of TiAl-Valves, in: Proc. 5th International Conference on Structural & Functional Intermetallics (ICSF 2000), 16.–20.7.2000.
- ¹³ M. Pelzer 2000 (Dissertation): Optimierung der Kernherstellung durch Numerische Simulation, Giesserei-Institut, RWTH Aachen. J. A. Schrey 2002: Mitteilung des Instituts für Gießereitechnik, Düsseldorf.
- ¹⁴ A. Flesch 2002 (Dissertation): Optimierung von Gießkammern für den Druckgießprozess, Aachen (Giesserei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse, Bd. 33, hrsg. von P. R. Sahm).
- ¹⁵ E. Neussl 1999 (Dissertation): Bolzen-Schlaufen-Verbindungen aus langfaserverstärktem Aluminium, Aachen (Giesserei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse, Bd. 12, hrsg. von P. R. Sahm).
- ¹⁶ P. R. Sahm und P. N. Hansen 2000; siehe oben.
- ¹⁷ SFB 370 (2002): Integrative Werkstoffmodellierung, DFG-Sonderforschungsbereich RWTH Aachen, Fortschrittsbericht.
- ¹⁸ SFB 370 (2002); siehe oben.
- ¹⁹ Vgl. D. Bernhard 2002 (IP&P Innovative Produkte und Prozesse): ps. Mitteilung.
- ²⁰ J. Wolf 2000 (Dissertation): Multifunktionales Konzept zur automatischen rechnerischen Optimierung von Gießprozessen, Aachen (Giesserei-Institut: Forschung, Entwicklung, Ergebnisse, Bd. 15, hrsg. von P. R. Sahm).
- ²¹ J. Wolf 2000 (Dissertation); siehe oben.
- ²² J. Wolf 2000 (Dissertation); siehe oben.
- ²³ J. Wendt 1992 (Dissertation): Numerische Simulation und Zeitkalkulation in der Fertigungsplanung von Gießereien, Giesserei-Institut, RWTH Aachen.
- ²⁴ P. R. Sahm 2002, in: Der Mensch im Kosmos III, hrsg. von P. R. Sahm, Aachen, S. 7.
- ²⁵ P. R. Sahm 2002, in: Das Humanum im globalen Wandel (Naturwissenschaften, Philosophen und Theologen im Gespräch), hrsg. von M. Kock, Neukirchen-Vluyn, S. 1.
- ²⁶ Vgl. P. R. Sahm 1998, in: Der Mensch im Kosmos, hrsg. von P. R. Sahm und G. P. J. Thiele, Amsterdam.
- ²⁷ Vgl. E. R. Sandvoss 1999: Ethik im globalen Zeitalter, Frankfurt am Main.
- ²⁸ P. R. Sahm 2002, in: Der Mensch im Kosmos III; siehe oben, S. 7.
- ²⁹ Insgesamt siehe zum Beispiel P. R. Sahm und M. H. Keller 2000, in: Bilanzsymposium, Forschung unter Weltraumbedingungen (Konferenzbericht Norderney 21./23.9.1998), WPF RWTH Aachen, S. 815 (hrsg. von M. H. Keller und P. R. Sahm).
- ³⁰ R. Kurzweil 2000: Homo Sapiens. Leben im 21. Jahrhundert. Was bleibt vom Menschen?, München.
- ³¹ P. R. Sahm und M. H. Keller 2000, in: Bilanzsymposium; siehe oben.
- ³² VDI-Nachrichten 1997, Nr. 31 (urspr. Quelle: Aviation Week & Space Technology).
- ³³ Frankfurter Allgemeine Zeitung 2000, Nr. 130 (urspr. Quelle siehe R. Kurzweil 2000; siehe oben).
- ³⁴ Vgl. zum Beispiel N. Wade 2001: Das Genom-Projekt und die neue Medizin (GEO).
- ³⁵ Frankfurter Allgemeine Zeitung 2000, Nr. 130.
- ³⁶ Adaptiert nach: Verein Deutscher Giessereifachleute VDG: Giessereitechnik – was ist das?
- ³⁷ Maitreya Project International 2002: Internet.