

lernen & lehren

Elektrotechnik/Metalltechnik

**Vierteljahresschrift der Bundesarbeitsgemeinschaften
Elektrotechnik-Informatik und Metalltechnik**

Heft 63 • 16. Jahrgang • 2001

Schwerpunktthema:

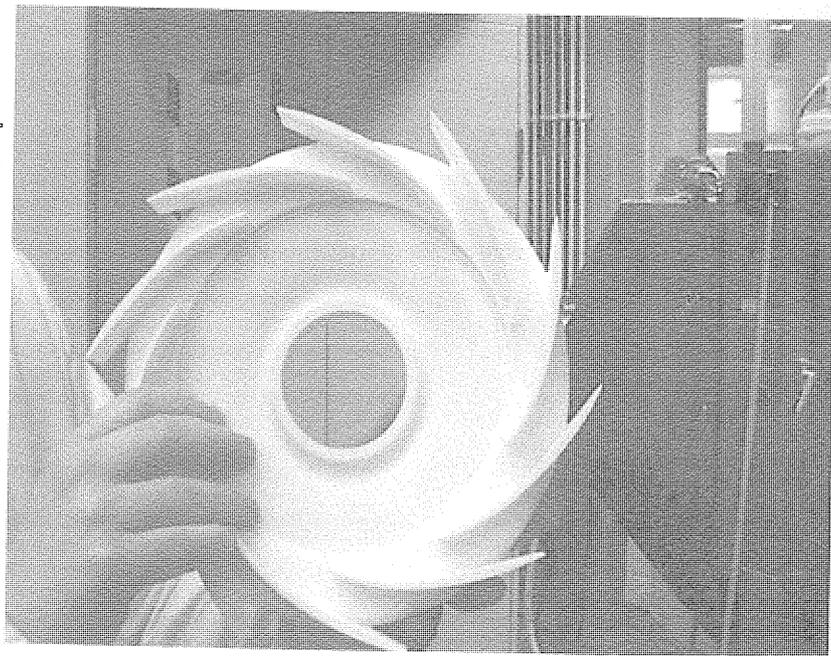
Rapid Prototyping

Holm Gottschalch/Hans Müller
Innovative Rapid Prototyping Techniken im Modell- und Werkzeugbau

Sven Mohr
Inhalte neuer Facharbeit am Beispiel von Rapid Prototyping

Stefan Fletcher
Methodisches Konstruieren und Rapid Prototyping

Volkmar Herkner
Flexibilisierung beruflichen Lernens durch Zusatzausbildung



Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft GmbH • Wolfenbüttel

lernen & lehren

Elektrotechnik/Metalltechnik

Inhaltsverzeichnis

Impressum

„lernen & lehren“ erscheint in Zusammenarbeit mit der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik e. V. und der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Metalltechnik e. V.

Herausgeber: Gottfried Adolph (Köln), Klaus Jenewein (Karlsruhe), Manfred Marwede (Kiel), Jörg-Peter Pahl (Dresden), Felix Rauner (Bremen)

Schriftleitung: Georg Spöttl (Flensburg), Bernd Vermehr (Hamburg)

Heftbetreuer: Jörg-Peter Pahl/Georg Spöttl

Redaktion: lernen & lehren

c/o Bernd Vermehr	c/o Georg Spöttl
Achter Lüttmoor 28	biat – Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik
22559 Hamburg	Munketoft 3, 24937 Flensburg
Tel.: 040 / 81 86 46	Tel.: 0461 / 141 35 10
E-mail: BVermehr@aol.com	E-mail: spoettl@biat.uni-flensburg.de

Das Bild auf dem Umschlag zeigt eine mittels Rapid-Prototyping hergestellte Turbinenschaufel.

Alle schriftlichen Beiträge und Leserbriefe bitte an die obenstehende Adresse.

Gestaltung und Layout: Egbert Kluitmann

Verlag, Vertrieb und
Gesamtherstellung: Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
Postfach 1559, D-38285 Wolfenbüttel
Tel.: 05331 / 80 08 40, Fax: 05331 / 80 08 58

Bei Vertriebsfragen (z. B. Adressenänderungen) den Schriftwechsel bitte stets an den Verlag richten.

Wolfenbüttel 2001

ISSN 0940-7440

63

Kommentar 98
Gottfried Adolph

Editorial 99
Georg Spöttl

Schwerpunktthema: Rapid Prototyping

Innovative Rapid Prototyping Techniken im
Modell- und Werkzeugbau - eine Zusatzaus-
bildung für Auszubildende und Facharbeiter 100
Holm Gottschalch/Hans Müller

Inhalte neuer Facharbeit am Beispiel
von Rapid Prototyping 110
Sven Mohr

Methodisches Konstruieren und Rapid Prototyping
im konstruktionstechnischen Unterricht 118
Stefan Fletcher

Forum

Flexibilisierung beruflichen Lernens
durch Zusatzausbildung 128
Volkmar Herkner

Praxisbeiträge

SOL - Selbstorganisierter Unterricht
in einer Grundstufenklasse Elektrotechnik 134
Martin Tetzner

Rezensionen, Hinweise, Mitteilungen

Ständiger Hinweis 139

Didaktik der beruflichen Bildung 140
Georg Spöttl

Rapid Prototyping.
Werkzeuge für die schnelle Produktentstehung 140
Hans Müller

Berufs- und
wirtschaftspädagogische Grundprobleme 141
Karin Rebmann

Protokoll außerordentliche Mitglieder-
versammlung BAG-Elektrotechnik-Informatik 142

Protokoll der Mitgliederversammlung
BAG-Metalltechnik 143

Autorenverzeichnis/Beitrittserklärung 144

Schwerpunkt:
Rapid Prototyping

63

Gottfried Adolph

„Der Lehrermangel nimmt bedrohliche Formen an. Die Politik ist aufgerufen, endlich zu handeln.“

Um wahrnehmen zu können, was hier und jetzt geschieht und wie es geschieht, benötigt man in der Regel Distanz zu den Dingen, die geschehen. Ein wirksames Mittel, Distanz zu gewinnen, ist die Imagination. Mit ihrer Hilfe können wir uns eine weit entfernte fremde Welt vorstellen, in der Ähnliches geschieht, wie das, was wir glauben, in unserer Welt wahrnehmen zu können. Diese Welt ist so weit weg, dass uns unsere aufwallenden Gefühle nicht den klaren Blick verstellen. Stellen wir uns also eine Gesellschaft „auf einem anderen Stern“ vor, in der „plötzlich“ der Nachwuchs an ausgebildeten Ärzten ausbleibt. Dass dieser Zustand eintreten würde, war den „Eingeweihten“ schon einige Zeit bekannt. Da ihre Mahnungen und Warnungen jedoch keinen Widerhall in den Medien fanden, verdrängten die politischen Instanzen das Problem. Ein Grund für die mediale Zurückhaltung war unter anderem, dass die Beserverdienenden zunächst noch nicht unmittelbar betroffen waren. Sie konnten sich in dem von den Marktgesetzen bestimmten Gesundheitswesen die auf Grund des beginnenden Mangels teurer werdenden ärztlichen Leistungen noch einige Zeit leisten und spürten deshalb noch keinen Mangel. Als dieser jedoch begann, auch sie nicht mehr zu verschonen, schlugen die Medien heftig Alarm. Jetzt war die Aufregung groß und die Politik und die Politiker waren gefragt. Von Versagen war plötzlich die Rede. Die Opposition witterte Morgenluft. Schnelle Lösungen wurden gefordert. Der Vorschlag, Ärzte von draußen zu holen, scheiterte nicht nur am politischen Widerstand („Kinder statt Inder“), sondern auch an der Tatsache, dass es nirgendwo Ärzte im Überfluss gab. Was also tun? Man konnte keine ausgebildeten Ärzte aus dem Boden stampfen. Die vorhandene Ärzteschaft wurde von Tag zu Tag älter und damit die natürlichen

Abgänge von Tag zu Tag größer. Die Schere klappte immer weiter, die Lage wurde verzweifelt. Nur Notlösungen waren noch denkbar. Neben den Ärzten gab es noch andere Heilberufe. Ihren Vertretern, besonders den Jüngeren unter ihnen, bot man Schnellqualifizierungen an. Das brachte zunächst einige Erleichterung. Als das auch nicht mehr ausreichte, blieb nur noch übrig, Heilende aus anderen (affinen) Berufen zu rekrutieren. Man wendete sich also an Biologen, Pharmazeuten, Chemiker usw. Auch ihnen bot man Nach- und Schnellqualifizierungen an und Anfangsgehälter, die weit über dem lagen, was „normal“ Ausgebildete (denn einige gab es ja noch) bekamen.

An einigen Stellen des Landes sollten die „Neuen“ erst einmal zwei Jahre heilen, bevor die Zusatzqualifizierung einsetzte. Bevor sie als Heilende eingesetzt wurden, mussten die Leiter der Gesundheitsämter ihnen eine Neigung zum Heilen attestieren.

Soweit die Geschichte aus einem fernen fremden Land. Ersetzen wir das Wort Ärzte durch das Wort Lehrer und schon befinden wir uns in unserer Gegenwart. Alles, was in der Ärztemangelwelt zu Tage tritt, ist in gleicher Weise heute hier bei uns auch zu beobachten, selbst der Versuch der Erkundung einer „pädagogischen Neigung“.

Auch hier war das Problem allen, die sehen konnten und wollten, schon seit vielen Jahren bekannt. Auch hier betraf es zunächst nicht alle. Es begann in den beruflichen Schulen, und die heutige Katastrophe war schon vor 20 Jahren abzusehen. Berufliche Bildung betrifft zwar viele, aber eben nicht alle und vor allem nicht die, die sich für ihren eigenen Nachwuchs einen beruflichen Bildungsgang unterhalb des Studiums nur schwer vorstellen können. Mittlerweile betrifft es aber auch die „allgemein bildenden Schulen“ und das Wehgeschrei ist groß. Wegen

Neue Lehrer

der vielen Versäumnisse in der Vergangenheit ist die Sache – wie in der Ärztemangelgesellschaft – fast aussichtslos. Die Schuld für diese Misere tragen die politischen Institutionen, darunter ganz sicher auch einige Politiker, jedoch nicht die Politiker, sondern die das öffentliche Leben bestimmenden gesellschaftlichen Kräfte. (Es ist heute geradezu Mode geworden, Versagen in der Gestaltung gesellschaftlicher Strukturen einigen Politikern an den Hals zu hängen. Wir sollten nicht vergessen, dass der „Kinder statt Inder“-Erfinder jahrelang als Bundesminister mit der Behauptung durch die Lande lief, dass die berufliche Bildung zu bildungslastig sei und man den zweiten Berufsschultag abschaffen müsse, ohne dass dies eine öffentliche Erregung zur Folge gehabt hätte. Und das ist das Ärgernis und nicht der dummes Zeug redende Politiker.)

Wie in der imaginären Ärztemangelgesellschaft befinden wir uns in der Situation, dass nur noch Notlösungen denk- und machbar sind. Auch unsere Mangelsituation ist existenziell bedrohlich. So wie die Ärztemangelgesellschaft nicht ohne Gesundheitswesen, so kann unsere Lehrermangelgesellschaft nicht ohne Schulen überleben. Soll Unterricht weiter stattfinden, kann das nur erreicht werden, wenn Unterrichtende in die Schule geholt werden, die das Unterrichten nicht „von der Pike auf“ gelernt haben. Ein Unterschied tritt deutlich hervor. Niemand in der Ärztemangelgesellschaft hätte einen Zweifel daran, dass alle Notlösungen mit großen negativen Folgen einhergehen würden. Solche Befürchtungen treten in der Lehrermangelgesellschaft nicht auf. Das wirft ein deutliches Licht auf das, was die Öffentlichkeit von der Qualifizierung zum Lehren hält. Wahrscheinlich nichts oder doch sehr wenig. An diesem öffentlichen Bewusstseinszustand sind die Gymnasiallehrer nicht unbeteiligt. Aus ihrer Tradition heraus waren sie stets auf ihre Fächer zen-

triert und hielten eine didaktische Qualifizierung für lästig und überflüssig. Didaktik ist etwas für solche, die es mit weniger intelligenten Schülern zu tun haben. Ohne dass es ins Bewusstsein drang und dringt, dachten und denken sie an eine besondere Art von belehrungsrobusten Schülern. Dass es solche Schüler gibt, kann kaum bezweifelt werden. Ähnliches gibt es auch im medizinischen Bereich. Es wird immer Patienten geben, denen auch die eifrigste therapeutische Behandlung keinen Schaden zufügen kann. Und es wird immer Ärzte geben, die glauben, dass dieser beneidenswerte Gesundheitszustand ihres Patienten das Ergebnis ihres therapeutischen Könnens sei, so wie es gerade im Gymnasialbereich besonders viele Lehrer gab und gibt, die glaubten und glauben, dass eine besondere Lebensleistung eines ihrer Schüler das Ergebnis ihres didaktischen Könnens sei.

Es wird allgemein angenommen, dass unqualifiziertes Unterrichten lediglich negative Folgen auf das Lernergebnis hat. Dass unqualifiziertes Unterrichten genau so wie unqualifiziertes Therapieren große Schäden nach sich ziehen kann, ist der heutigen Gesellschaft nicht bewusst. Unqualifiziertes Unterrichten kann junge Menschen

dümmen machen. Und es kann sie an sich verzweifeln lassen. So wie unqualifiziertes Therapieren krank machen kann, so kann es auch unqualifiziertes Unterrichten.

Die Hereinnahme von „Fremdkräften“ in den Schuldienst bietet andererseits auch große Chancen. In der Vergangenheit gab es im Berufsschulbereich schon mehrere solcher Aktionen und jedes Mal haben an vielen Schulen die Kollegen, die einige Jahre in der Industrie fachliche, aber auch „menschliche“ Erfahrungen sammeln konnten, „frischen Wind“ in die Schulen getragen. Schulen tendieren dazu, sich von der realen Welt abzuschirmen. Diese Tendenz ist in allgemeinen Schulen größer und folgenreicher als in den beruflichen. Das hängt auch damit zusammen, dass ihre Lehrer in der Regel in ihrem gesamten Leben nie etwas anderes als Schule erlebt haben. Sie erleiden dadurch eine Deformation, durch die sie alles in der „Welt draußen“ nur noch durch die schulische Brille wahrnehmen und beurteilen. Frischer Wind von außen kann hier manchen Mief vertreiben. Worauf es ankommt ist, dass die Quereinsteiger möglichst schnell eine wissenschaftliche schuldidaktische Nachqualifizierung erfahren. Begleitend und nachfolgend muss diese,

wie in der dualen Berufsausbildung, am Arbeitsplatz Schule durch alle Kollegen aktiv und gezielt unterstützt werden. Hier haben die beruflichen Schulen einen großen Vorteil. Duale Qualifizierung ist ihr tägliches Brot und sie haben mittlerweile Unterrichtsformen entwickelt, in denen das Miteinander der Lehrenden eine zentrale Rolle spielt. Quereinsteiger können so sehr früh in die gemeinsame Unterrichtsarbeit produktiv eingebunden werden. Die allgemeinen Schulen tun sich hier sehr viel schwerer. Es wäre sicher einer Überlegung wert, ob nicht alle Quereinsteiger ihre schuldidaktische Nachqualifizierung in beruflichen Schulen erfahren sollten. Zu den oben genannten Vorteilen käme die größere Didaktiknähe der beruflichen Schulen (mit der damit verbundenen höheren und wissenschaftsorientierteren Reflexion über unterrichtliches Handeln) noch hinzu. Eine solche, Wissenschaft und Praxis integrierende didaktische Nachqualifizierung würde sich sicher in einem höheren didaktischen Niveau des Unterrichts an den allgemein bildenden Schulen niederschlagen. (Was ja Not tate, wie die internationalen Vergleiche offenbaren.)

Georg Spöttl

Hightech in beruflichen Schulen ist ein Thema, das neben der Diskussion um Lernfelder, IT-Qualifizierung, Einsatz des Internets etc. derzeit keinen besonderen Stellenwert einnimmt. Allerdings ist bei Firmenbesuchen feststellbar, dass sich die Umstrukturierung der industriellen und handwerklichen Produktion nicht allein auf einen Wandel der Arbeitsorganisation und neue Aufgabenzuschneide für Facharbeiter konzentriert. Es zeichnet sich vielmehr ab, dass auch andere Technologien, so genannte „wissensbasierte Technologien“, Einzug in die

Unternehmen halten. Rapid Prototyping gehört sicherlich mit dazu, obwohl davon längst nicht alle Facharbeiter betroffen sind. Die Artikel diese Schwerpunktheftes belegen, dass es in erster Linie Modellbauer, Werkzeugbauer und das Service-, Wartungs- und Reparaturpersonal sind, die mit dieser Technologie konfrontiert werden. Dabei wird jedoch besonders in den Artikeln von GOTTSCHALCH/MÜLLER und MOHR deutlich, dass mit der Integration von Rapid Prototyping in die Produktion etwas sehr Prinzipielles stattfindet, nämlich die Notwendigkeit

für Facharbeiter, nicht nur Maschine und Software zu beherrschen, sondern auch Zugang zu den Prozessabläufen zu haben und die gesamte Prozesskette vom CAD-Modell bis zum fertigen Produkt zu meistern. Vereinfacht könnte jetzt geschlussfolgert werden, es wäre ja schon bekannt, dass Facharbeiter die Geschäfts- und Arbeitsprozesse in den Griff bekommen müssen. Nur: So explizit wie in den genannten Artikeln wurde dies bisher eher selten dokumentiert. Noch seltener steht für die Berufsausbildung das Dreieck im Mittelpunkt der

Editorial

Forderungen, nämlich das Beherrschen IT-durchdrungener Maschinen, der Software und eines umfassenden Arbeitsprozesses, der von der Erstellung eines CAD-Modells bis hin zum Produkt alles einschließt. Der Arbeitsprozess, der nur die Produkterstellung umfasst, ist in jedem Falle weniger umfänglich als der im Rahmen des Rapid Prototyping erläuterte Prozess mit all seinen Implikationen.

Gerade weil es um ein neues Produktionsprinzip geht, fällt besonders auf, dass ein Teil der Beiträge dieses Heftes sehr viel Raum dafür verwendet zu überlegen, ob und wie Rapid Prototyping als Zusatzqualifikation ergän-

zend zur Berufsausbildung oder als Weiterbildungsangebot vermittelt werden soll und kann. Im Kontext des Wandels der industriellen und handwerklichen Produktionsstrukturen greifen solche Überlegungen zweifellos zu kurz. Vor allem, wenn wir das Anliegen von HERKNER ernst nehmen, mit einer Zusatzqualifikation auch bildende Werte zu vermitteln, muss intensiv geprüft werden, wie Hightech so in den Unterricht beruflicher Schulen zu integrieren ist, dass es zum selbstverständlichen Gegenstand der Ausbildung betroffener Berufe wird. Rapid Prototyping ist nur einer der aktuellen Fälle, der geradezu herausfordert zu überlegen, wie die strukturell

gegebene Prozessorientierung Eingang in Berufsbilder und Lehrpläne finden kann, damit „wissensbasierte Produktionsansätze“ schon bald die bestimmenden Gegenstände der Berufsausbildung werden. Der Perspektivwechsel von der Themenzentrierung, ergänzt um immer wieder neue Technologien hin zur Orientierung an Arbeits(-prozessen) kann auch dazu beitragen, das Lehrstoff-Zeit-Problem zu entspannen. Zugleich kann es die Suche nach neuen didaktischen Konzepten und die Nutzung elektronischer Medien forcieren helfen. All dies wären Entwicklungen, die der beruflichen Bildung und dort vor allem der Berufsschule gut täten.

Holm Gottschalch/Hans Müller

Innovative Rapid Prototyping (RP)-Techniken im Modell- und Werkzeugbau

– eine Zusatzausbildung für Auszubildende und Facharbeiter

Neue Entwicklungen im Modell- und Formenbau

Die Globalisierung der Märkte und des Produktions-Know-hows verschärft den nationalen und internationalen Wettbewerb hinsichtlich der Entwicklung innovativer Produkte und deren schnelle Überführung in die Produktionsphase, damit sie früher als die der Wettbewerber am Markt sind. In diesem Zusammenhang ist die Prototypenfähigkeit wichtig. Dabei müssen die Kosten gesenkt und die Zeiten verkürzt werden. Natürlich werden heute auch numerische Fertigungsverfahren bei der Herstellung von Modellen und Prototypen angewendet. Trotzdem ist immer noch Geschicklichkeit und Improvisationstalent gefragt. Auf die Herstellung von Modellen und Prototypen entfallen häufig mehr als 25% der Produktentwicklungszeit und die erforderlichen Kosten können bis zu 60% der Entwicklungskosten betragen (KÖNIG 1993). Entsprechend stark ist der Druck auf den Modellbau, seinerseits

zur Kosten- und Durchlaufzeitreduzierung beizutragen. Infolge dieser Anforderungen sind in jüngerer Zeit eine Vielzahl neuartiger Informationstechniken in Erscheinung getreten, die den Modell- und Formenbau zügig erneuern. Unter anderem beginnen folgende informationstechnische Methoden ihre Wirkung zu entfalten:

- Mit dreidimensionalen CAD-Programmen kann man geometrische Konstruktionen als solide Körper darstellen und diese wirklichkeitsgetreuen Darstellungen manipulieren, kann Montageoperationen erproben, Bewegungen simulieren.
- Mit „Virtual Reality-Techniken“, insbesondere dem Hologramming, kann man mit CAD-konstruierter Geometrie interagieren, sie verändern, Räume voller Gegenstände begehen, Objekte miteinander verbinden.
- Die Rapid-Prototyping-Verfahren wie z. B. Stereolithographie, Lasersintern usw. ermöglichen in wenigen Stunden das umstandslose Erzeu-

gen physischer Modelle direkt aus einer CAD-Datei.

- Durch neue Verfahren lassen sich Werkzeuge für Prototypen schneller und billiger herstellen (Rapid Tooling).
- Geometrien mit Freiformflächen in größeren Abmessungen (größer 50 cm) können mit 6-Achsen-Robotern gefräst werden, die in der Werkstatt interaktiv programmiert werden.
- Mittels Digitalisieren kann ein physisches Modell wieder in eine CAD-Datei transformiert werden, an der konstruktive Veränderungen vorgenommen werden können.

RP-Techniken eröffnen neue Möglichkeiten:

- Visualisieren und höchst wirklichkeitsnahes Anschauen von Modellen,
- Interagieren mit und Manipulieren von (Daten-) Modellen im Raum,
- Simulieren von Funktionen und deren Prüfung,

- unmittelbares Feedback auf Eingriffe in Systeme und Prozesse,
- Animation von Geometrien,
- Bereitstellen von physischen und virtuellen Prototypen.

Berufswissenschaftliche Vorüberlegungen zur Thematik Rapid Prototyping

Es gibt besondere Schwierigkeiten und Anforderungen an die Modellbauer.

Die innovativen Rapid Prototyping Techniken stellen neuartige Qualifikationsanforderungen an die Modell- und Werkzeugbauer. Damit entsteht Entwicklungsdruck auf die Aus- und Weiterbildung.

Eine informationstechnisch vermittelte Modell-Erzeugung durchläuft von der CAD-Konstruktion bis zum physischen Prototypen mehrere Schnittstellen zwischen den besonderen Techniken und Abschnitten des Modellbau-Prozesses. Die CAD-Konstruktion übergibt ein geometrisches Modell an die nächsten Phasen des Herstellungsprozesses. Eine CAD-Konstruktion kann zum besseren Verständnis der geometrischen Form z. B. über Virtual-Reality-Techniken visualisiert oder über RP-Techniken materialisiert werden. Dabei müssen die Daten des Modells in eine Form transformiert werden, die im folgenden Prozessabschnitt verarbeitet werden können. Es sind dies verschiedene Beschreibungsverfahren für Flächen, Facetten und Schichten, die das CAD-Modell mathematisch vereinfachen oder nur bestimmte geometrische Informationen daraus verwenden. Die Modellbauer müssen ihrerseits die Schnittstellen zwischen den Abschnitten oder Phasen des gesamten Prozesses (also auch die Eigenschaften der Software) kennen, verstehen und beherrschen, um Entscheidungen über den jeweils anschließenden Prozess treffen zu können und um Ungewissheiten, Fehlerquellen, Software-Schwächen erkennen und ausgleichen zu können und um mit den anderen Prozessbeteiligten kooperieren zu können.

Vor Beginn eines jeweiligen Modellbaus mit neuartigen Informationstechniken in einer bestimmten Prozesskette muss vom RP-Fachmann eine Entscheidung für einen in technischer, zeitlicher und wirtschaftlicher Hinsicht geeigneten Weg der Generierung getroffen werden. Eine solche Abwägung setzt breite Kenntnisse der Eigenschaften gegenwärtig verfügbarer Verfahren und ihrer Stärken und Schwächen sowie ihrer Schnittstellen zur betrieblichen „informationstechnischen Landschaft“ voraus.

Da ein physisches Modell mittels RP-Techniken nicht aus dem vollen Material herausgearbeitet wird (z. B. durch Zerspanen), sondern umgekehrt schichtweise (inkrementell) aufgebaut wird, kann es erforderlich sein, besondere Stützkonstruktionen für Teile des Modells vorzusehen. Es gibt erst wenige spezialisierte Software-Werkzeuge zur Generierung von Stützkonstruktionen. Diese neuen Programme müssen den RP-Fachleuten bekannt sein und sie sollten sie beurteilen können. Außerdem ist es erforderlich, dass zu Beginn eine Entscheidung über die Lage des Bauteils im Raum (Grundebene und z-Achse) unter Beachtung sowohl technischer (geforderte Genauigkeit und Toleranzen) als auch ökonomischer Kriterien getroffen wird.

Die mit RP-Verfahren erzeugten Modelle sind nicht „fertig“; sie sind ein Glied in einer Prozesskette und der Modell- und Werkzeugbauer muss mit seiner Kenntnis der Eigenschaften von RP- und Zielwerkstoffen entscheiden, mit welchen Schritten er möglichst genau zum kundenspezifischen Ziel kommen kann.

Wandel des Modell- und Werkzeugbauer-Handwerks

Bei Einführung der Informationstechniken ergibt sich im Allgemeinen ein Wandel des Charakters der Arbeit, der Qualifikationsanforderungen und der Organisationsstrukturen sowie der Kommunikations- und Kooperationsformen. Die Möglichkeiten der neuartigen Technologien und ihres Zusammenwirkens in einem Kreislauf – von der Konstruktion über das Enginee-

ring und die Arbeitsvorbereitung zum praktischen Modellbau und mit Digitalisierung zurück zur CAD-Datei – bedingen eine Veränderung des Charakters des menschlichen Arbeitshandelns im informationstechnisch vermittelten Prozess der Modellgenerierung. Diese neuen Informationstechniken verändern grundlegend die Abläufe und den gesamten Prozess der phasenweisen Generierung von Modellen und setzen den handwerklichen Beruf des Modell- und Werkzeugbauers auf eine qualitativ neuartige Ebene.

Das Denken und Handeln im traditionellen, konventionellen Modell- und Werkzeugbauer-Handwerk ist als quasi (kunst-)handwerklich und sehr erfahrungshaltig zu kennzeichnen; Aufgaben- und Handlungsstrukturen liegen auf anspruchsvollem Facharbeiter-Niveau (vgl. FLEIG/SCHNEIDER 1995); dem Beruf kommt eine Schlüsselstellung in der Produktentwicklung zu. Eine Charakterisierung des Denkens und Handelns haben BÖHLE und MILKAU (1988) auf Grundlage des Begriffs der sinnlichen Erfahrung vorgelegt. Die Abläufe und Prozesse des **künftigen** Modell- und Werkzeugbaus werden von folgenden Charakteristika gekennzeichnet sein:

- die Entwicklung wird zeitlich stark verkürzt, man rechnet in Tagen statt Monaten,
- verschiedene bisher separate Abteilungen werden enger verbunden, wenn nicht integriert,
- Daten-Modellen und -Repräsentationen kommt zunehmend Bedeutung zu, sodass verschiedene Fachleute gemeinsam und gleichzeitig zum selben Entwicklungsobjekt beitragen können,
- es wird horizontal und gleichzeitig statt vertikal und sequentiell kommuniziert und interagiert, man spricht von Kollaboration,
- die externe Kooperation mit Kunden oder Zulieferern wird enger,
- es gibt bessere Rückkopplung durch kurzfristige Bereitstellung von anschaulicher 3D-Geometrie oder eines physischen Modells für Überprüfung oder Erprobung.

Die Integration neuartiger Informationstechniken insbesondere der RP-Techniken in die Werkstätten des Modell- und Werkzeugbaus hat bereits und wird künftig noch stärker vielfältige Möglichkeiten und Chancen eröffnen:

- schnellere Reaktion auf Kundenanforderungen,
- Verkürzung der Produktentwicklung,
- Verbesserung der Qualität des Modells,
- produktivere Organisation und Arbeitsformen,
- schnelle iterative Erprobung und Verbesserung,
- Erweiterung der Anschaulichkeit und Integration des Erfahrungswissens,
- Stärkung der handwerklichen Erfahrungsbasis,
- horizontale Kooperation und Kommunikation,
- Handlungsspielräume für Teamarbeit,

- konstruktive Ideen und kreative Problemlösungen bei gemeinsamer Beratung am Modell.

Es ist absehbar, dass sich die Aufgaben und Tätigkeiten im informationstechnischen Modellbau stark verändern. Es entstehen gänzlich neuartige, informationstechnische Bedingungen als Voraussetzungen des Denkens und Handelns. Bestimmte Aufgaben und Tätigkeiten fallen schlicht weg. Unter Einsatz der genannten neuen Techniken im Rapid Prototyping verändern sich sowohl Gegenstände als auch Bedingungen der Konstruktion mentaler Modelle erheblich. Vor allem dürfte ein Verlust an wahrnehmungsnahen Informationen und Rückmeldungen zu verzeichnen sein. Hergestellt und manipuliert werden in erster Linie informationstechnische Repräsentationen des Prototypen, aber nicht der Prototyp selbst; dieser entsteht erst nach den Konstruktions- und Bewertungsschritten. Wenn ein gegenständlicher Prototyp dann endlich entsteht, wird er programmgesteuert gefertigt, ohne Eingriffsmöglichkeiten für den Modellbauer

er und ohne dass unmittelbare Rückmeldungen aus dem handwerklichen Herstellungsprozess verarbeitet werden könnten.

Risiken für den Beruf des Modell- und Werkzeugbauers

Für die künftige Herausbildung eines RP-bestimmten Modell- und Werkzeugbaus können schon heute Risiken für Berufe des Modell- und Werkzeugbaus formuliert werden, denen es gilt, durch entsprechende Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen zuvorzukommen:

- Stärkung der Spitze des hierarchisch strukturierten Entwicklungsprozesses,
- Ablösung der CAD-Konstruktion von der praktischen Erfahrungsbasis,
- Dominanz vor-/übergeordneter Instanzen/Abteilungen im Entwicklungsprozess,
- Informatisierung und Abstraktion des Modellbau-Handwerks,
- Ablösung vom gelernten handwerklichen Können,

Heute	Morgen ?
○ Handwerker	⇒ Informationstechniker
○ Praktisches Handeln mit Werkzeugen an physischen Gegenständen	⇒ Interaktion mit verschiedenen Informationstechniken und Programmen
○ Material-, Werkzeug- und Maschinenkenntnisse	⇒ Kenntnisse von Informationsverarbeitung und Prozessketten
○ Mechanisch abtastendes Digitalisieren (Routine)	⇒ Einrichten, Überwachen des 3D Laserscanning
○ Bildet sich kognitiv ein inneres Bild, eine Anschauung aus 2-dimensionalen technischen Zeichnungen	⇒ Ruft anschauliche 3D-Darstellungen auf, interagiert und manipuliert informationstechnisch präsentierte Modelle
○ Anfertigen physischer Modelle gemäß Zeichnung, Plan und NC-Programm aus Konstruktion und AV-Büro	⇒ Kooperation und Kommunikation im integrierten Entwicklungs-, Werkzeug- und Modellbau-Team
○ Abtragendes Gestalten des physischen Modells aus dem Material	⇒ Schichtweises Aufbauen und Formen des Modells in chemischen Prozessen
○ Handeln auf der Erfahrungsbasis des praktischen handwerklichen Modellbaus	⇒ Handwerkliche Erfahrungsbasis wird erweitert oder durch Informationstechnik erübrigt und ausgehöhlt.
○ Sinnlich vielfältige Wahrnehmung und Erkenntnis im Handeln mit physischen Modellen	⇒ Modelle werden anschaulicher und abstrakter zugleich – perfekte Scheinwelt.
○ Fertigen des Modells gemäß im Büro erzeugten NC-Programmen oder Erstellen der CNC-Programme in der Werkstatt	⇒ Manipulation und Erprobung sowie Geometrie- und Funktionsprüfung mit schnell erzeugten physikalischen Modellen.

Tab. 1: Wandel in den beruflichen Handlungen und Qualifikationen

- Verzicht auf praktisches Erfahrungswissen,
- Verdrängen, Ersetzen der konventionellen Facharbeit im Modell- und Werkzeugbau,
- Facharbeiterfremde Schnittstellen mit Informationstechniken in Prozessketten,
- Produktivitätssteigerung auf Kosten des Personals im Modell- und Werkzeugbau,
- Auslassen und Einsparen der erforderlichen Qualifizierung für neue Techniken,
- Mangelnde Akzeptanz, Ablehnung neuer Modellbautechniken in der Werkstatt,
- Gesundheitsgefährdungen beim Umgang mit chemischen Substanzen.

Der Konstrukteur oder Modellbauer, der in Zukunft überwiegend oder ausschließlich mit Modellen auf informationstechnischer Ebene zu tun hat, der nur noch ein vermitteltes, abgehobenes Verhältnis zur stofflichen Realität des Modells hat und keine handgreiflich konkreten Rückmeldungen vom Gegenstand erhält, kann kaum noch sinnliche Wahrnehmungen sammeln und praktisch handelnd Erfahrungen machen.

Rapid Prototyping zeichnet sich durch eine enge Verkettung von Entwurfs-, Realisierungs- und Bewertungsschritten aus, was wiederum eine geringere Arbeitsteiligkeit zur Folge hat. Dabei werden erhöhte Forderungen an die mentale Modellbildung in allen Prozessen eines solchen Zyklus gestellt. Dies schließt auch Kenntnisse darüber ein, wie die Übergänge zwischen den Prozessschritten gestaltet sind und welche Metamorphosen die externen Repräsentationen des Werkstücks an diesen Übergängen erfahren. Außerdem erfordern die RP-Techniken die Beherrschung technischer Einrichtungen und ihrer Schnittstellen, deren prozessuale Eigenschaften den bisher gewohnten teilweise völlig entgegenstehen. Wurde ein Modell bisher aus Material geformt, wird es von RP-Verfahren programmgesteuert in Schichten aufgebaut. Solche Überlegungen müssen in Konzepte für die Aus- und Weiterbildung von Modell- und Werkzeugbau-

ern einbezogen und grundlegend für die Didaktik werden. In zugespitzter Weise könnte man den Wandel in den beruflichen Handlungen und Qualifikationen des heutigen und künftigen Modell- und Werkzeugbauers durch die RP-Techniken in Profilen charakterisieren (Tabelle 1).

Rapid Prototyping – eine innovative Modelltechnologie

„Rapid Prototyping“ ist ein Sammelbegriff für neuartige Fertigungsverfahren. Sie erlauben die Herstellung von Werkstücken ohne Umwege direkt aus CAD-Daten. Alle Verfahren beruhen auf der Grundidee, ein Werkstück aus Inkrementen von Material schichtweise aufzubauen – ein entgegengesetzter Weg zum Zerspanen. Die Merkmale von RP-Verfahren kann man in Vor- und Nachteile unterteilen (Tabelle 2).

Als erstes Verfahren kam 1987 die Stereolithographie auf den Markt. Heute kann der Anwender zwischen ca. 20 verschiedenen industriellen Realisierungen wählen.

Mit Rapid Prototyping-Verfahren (RPV) lassen sich Werkstücke aus Kunststoffen, Metall, Papier, Sand und Keramik herstellen. Alle Materialien sind speziell auf die Herstellungsprozesse abgestimmt. Ihre Eigenschaften unterscheiden sich wesentlich von denen gängiger Werkstoffe.

Bedingt durch den schichtweisen Aufbau weisen Oberflächen, die nicht senkrecht zur Baurichtung verlaufen, Treppenabsätze auf. Die verwendeten

Schichtdicken liegen im Bereich von 0,05 mm bis 0,25 mm. Entsprechend rau sind die erzeugten Oberflächen. Auch erreichen RPV-gefertigte Werkstücke im Allgemeinen nicht die Genauigkeit der zerspanenden Verfahren.

Die Entwicklung industriell hergestellter Produkte ist die Hauptanwendung für RPV. An zweiter Stelle kommen medizinische Anwendungen zur Visualisierung und Rekonstruktion der inneren und äußeren Struktur des menschlichen Körpers.

RPV sind anderen Techniken immer dann überlegen, wenn detailreiche Objekte mit kleinen Massen hergestellt werden sollen. Sie sind noch nicht konkurrenzfähig für Werkstücke mit großen Massen und sehr großen Abmessungen. Die wenigen Werkstoffe mit eingeschränkten Eigenschaften engen die Anwendbarkeit weiter ein. Abhilfe schafft hier der Einsatz von Prozessketten. Darunter versteht man die Kombination von RPV mit bekannten, weit verbreiteten Techniken, auch Folgeprozesse genannt. Mittels Prozessketten kann man die hervorragenden formgebenden Eigenschaften der RPV nutzen, um Werkstücke mit seriennahen Eigenschaften herzustellen. Die wesentlichsten Prozessketten für den Zielwerkstoff Metall sind:

- RPV + Wärmebehandlung und Infiltration,
- RPV + Feinguss,
- RPV + Sintern + Infiltration,
- RPV + Sandguss.

Vorteile	Nachteile
- Das Prinzip, Objekte durch Hinzufügen von Werkstoff-Bausteinen herzustellen	- Treppeneffekt an der Oberfläche und damit begrenzte Oberflächengüte
- Informationsschlüssige Kopplung von Konstruktion und Fertigung	- Eingeschränkte Genauigkeit
- Großer Freiheitsgrad der Formgebung der herzustellenden Objekte	- Beschränkung auf verarbeitbare Werkstoffe u. deren Eigenschaften
- Just-in-time-Erzeugung der Maschinensteuerdaten	- 3D CAD Daten erforderlich
- Verfahren verlangen keine Überwachung	

Tab. 2: Merkmale von Rapid Prototyping Verfahren

Den Zielwerkstoff Kunststoff erreicht man durch

RPV + Vakuumguss

RPV + Kunststoff Gießverfahren.

Teile, die direkt mit RPV gefertigt wurden, unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eignung von solchen, die mittels Prozessketten erzeugt wurden. Die zuerst genannten eignen sich als geometrische- und Funktionsprototypen. Demgegenüber decken Werkstücke aus Prozessketten ein breiteres Feld von Funktionen ab. Außerdem können mittels Prozessketten auch Formwerkzeuge hergestellt werden. Die darin gefertigten Teile erreichen die Güte von technischen Prototypen. In einzelnen Fällen eignen sich die Werkzeuge auch schon für die Serienproduktion. Abb. 1 veranschaulicht, welche Anteile auf die verschiedenen Prototypen entfallen.

Der Nutzen der RPV ist in der Reduzierung der Kosten und Durchlaufzeiten der Produktentwicklung zu sehen. Designer nutzen sie, um die Produktform in unterschiedlichen Varianten zu analysieren und zu testen. Die Präsentation beim Kunden wird erheblich lebendiger, wenn nicht nur mit Zeichnungen, sondern auch mit einem Modell die Vorzüge des Produktes dargestellt werden können. Anschauungsmodelle erleichtern die Kommunikation zwischen Unternehmen und ihren Zulieferbetrieben. Sie erleichtern die Angebotserstellung und tragen zur Erhöhung ihrer Zuverlässigkeit bei. Sie unterstützen den Ideenaustausch zwischen Gruppen, die gleichzeitig an einem Produkt arbeiten. Ein Beispiel für die erzielbaren Einsparungen zeigt Abb. 2.

Seit Einführung des RP bis Ende 1998 wurden weltweit (geschätzt) 5449 Systeme verkauft und installiert; davon fast die Hälfte in Nordamerika, ein knappes Fünftel in Europa und fast ebenso viele (19 %) in Japan; auf Deutschland entfielen 9,2%, das waren summiert 478 Systeme (WOHLERS ASSOCIATES 2000, S.15 f., S. 32).

Diese RP-Systeme verschiedener Verfahren wurden von weniger als zwei Dutzend Herstellern überwie-

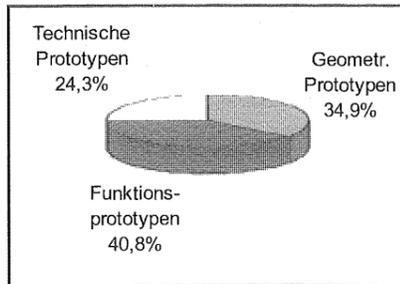


Abb. 1: Verteilung der RPV-Anwendungen (WOHLERS 2000, S. 14)

gend in den USA sowie Deutschland und Japan hergestellt.

Konzepte der RP-Weiterbildung

Lernkonzepte der Zusatzausbildung

Um den Qualifikationsbedarf für die RP-Technik zu decken, sind in der Praxis der letzten Jahre unterschiedliche Konzeptionen für die Weiterbildung und Lehrgänge in Ausrichtung auf die Zielgruppen entstanden. Sie sind unseres Wissens noch nicht zu didaktisch-methodischen Konzepten entwickelt und lassen sich noch nicht mit berufspädagogischen Maßstäben messen.

Meist geht man von einer von den Teilnehmern selbst erzeugten CAD-

Datei oder einem typischen Teil des Anwenders aus. Es schließen sich Erläuterungen und Handlungen der erforderlichen Datenaufbereitungen und Transformationen an. Die physikalischen, chemischen und technischen Eigenschaften des RP-Verfahrens und der verwendeten Materialien und Prozesse werden den Lernenden während der Generierung ihres Modells erklärt. Am neu entstandenen Bauteil können die Modell- und Werkzeugmacher die Beschaffenheit und Maßhaltigkeit wieder konkret überprüfen. Jetzt können sie als erfahrene Modellbauer beurteilen, welche Operationen des Finishing noch erforderlich sind.

Das Verständnis sich anschließender Prozessketten und insbesondere der dabei zu überschreitenden bzw. miteinander zu verbindenden Schnittstellen zwischen Prozessabschnitten wird durch das praktische Handeln der Teilnehmer in allen Schritten unterstützt.

Anwender-Lehrgänge für eine spezifische RP-Technik sind meist auf drei bis fünf Tage beschränkt und allgemeine Einführungen in die RP-Methoden beanspruchen selten länger als eine Woche. An eine solche kurze und praktisch orientierte Hinführung schließt sich dann ein selbstständiger, zuweilen von außen unterstützter, er-

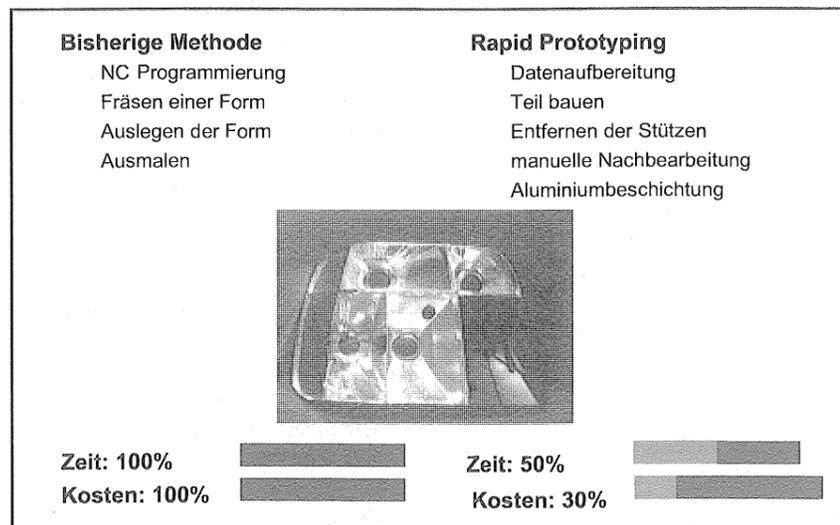


Abb. 2: Zeit- und Kostenersparnis bei einer Rückleuchte (BE-5278: „Rapid Prototyping Techniques“)

fahrungsgeliteter Lernprozess in der täglichen Arbeit an, der sich – je nach Geometrie der Modelle und Komplexität der Prozessketten – mindestens über ein halbes Jahr fortsetzt und bis zur detaillierten Beherrschung des Verfahrens ein Jahr währen kann.

Technische Informationen und Abbildungen zu RP-Techniken

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte von vier RP-Verfahren möglichst einfach beschrieben. Die Beschreibungen folgen stets demselben Format, mit einer Abbildung zum Funktionsprinzip und zum fertigen Bauteil, sodass die wichtigsten Merkmale verglichen werden können und ohne weiteres Unterrichtsmaterialien daraus erzeugt werden können. In den von uns mehrfach durchgeführten Lehrgängen spielten Texte eine sekundäre Rolle, im Mittelpunkt standen das handelnde Erfahren und Lernen direkt an der Maschine und mit dem Modell bzw. am Rechner in Interaktion mit den Programmen. Die Hersteller von RP-Anlagen stellen ihren Anwendern detaillierte Bedienungs-Handbücher zur Verfügung (meist in englischer Sprache), auf deren Anleitungen und Graphiken man bei Bedarf zurückgreifen kann.

Stereolithographie

Die Laser-Scanner-Einheit (HeCd-Laser, Linsen, Spiegel) belichtet schraffurartig eine definierte Fläche auf der Oberfläche des flüssigen Monomers und härtet auf diese Weise mit einer bestimmten Eindringtiefe eine Schicht des zu fertigenden Modells aus. Die Trägerplattform trägt bei diesem Vorgang das eigentliche Modell und der Fahrstuhl sorgt dafür, dass es von Schicht zu Schicht um die definierte Schichtdicke abgesenkt wird. Dabei erfolgt eine Wiederbeschichtung, wobei das Monomer in definierter Dicke über die vorherige feste Schicht aufgebracht wird. Darauf erfolgt die Belichtung der nächsten Schicht. Als Verbindung zwischen Modell und Bauplattform sind bei diesem SL-Prozess Stützen notwendig, die von der Maschine während des Bauvorgangs generiert werden.

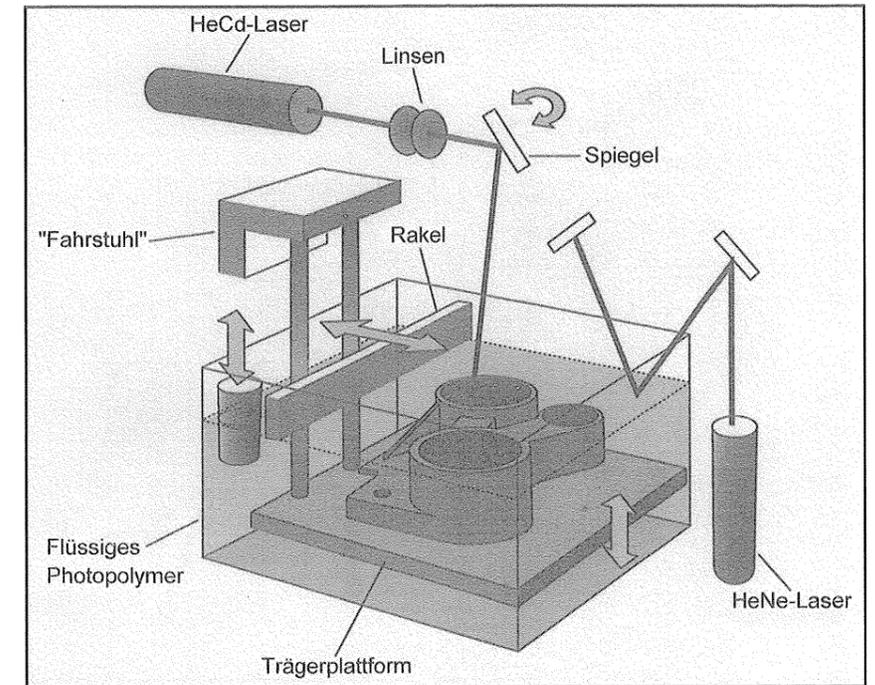


Abb. 3: Schematischer Aufbau des Stereolithographieprozesses (DOLENC 1993)

Nach der Schichtengenerierung folgt die Prozedur der Reinigung mit Lösungsmitteln, Entfernung der Stützen und Nachvernetzung der Modelle unter UV-Licht. Dieser Schritt ist notwendig, falls Schraffurstile angewendet werden, bei denen während des Aufbaus keine vollständige Aushärtung vorgenommen wird. Danach erfolgt die Fertigbearbeitung, die sehr unterschiedlich sein kann. Fast immer ist ein Glätten von Oberflächen durch Schleifen oder Sandstrahlen erforderlich. Je nach Verwendung erfolgen anschließend verschiedene Oberflächenbehandlungen wie Spachteln, Lackieren oder Beschichten (Abb. 3).

Die Stereolithographie (SL) ist an die Verwendung eines Photopolymers geknüpft. Deshalb werden Kunststoffe verwendet. Epoxydharz ist der Standardwerkstoff. Es gibt verschiedenen Typen von Harz, durch die man bestimmte Eigenschaften erreichen kann. Die Harze können z. B. entweder besonders maßgenau, temperaturbeständig, elastisch oder wasserfest sein. Die Werkstoffkennwerte sind aber im Allgemeinen schlechter als die der Serienwerkstoffe. Durch geeignete Folgeprozesse ist die Mate-

rialpalette für die Modelle stark erweiterbar.

Die erste Stereolithographie-Maschine wurde 1987 von der Firma 3D-Systems, USA, angeboten. Seit 1988 bis einschließlich 1999 wurden weltweit 2174 Stereolithographiemaschinen verkauft (WOHLERS 2000). Die Kaufpreise der Maschinen betragen bei den kleineren Ausführungen mit einem 250 mm x 250 mm x 250 mm großen Bauraum zwischen DM 200 000,- und DM 400 000,- und bei den größeren Maschinen mit einem 1000 mm x 800 mm x 500 mm großen Bauraum bis zu 1,3 Mio. DM. Die Stereolithographie ist geeignet, um Geometrie- und Funktionsmodelle zu fertigen. Die Herstellung von Formen und Werkzeugen erfolgt indirekt über Abformprozesse.

Selektives Laser Sintern

Das Selektive Laser Sintern (SLS) generiert die Modelle aus Pulver. Als Ausgangsstoffe für die Bildung einer festen Schicht verwendet man Pulver mit 50 bis 100 µm Durchmesser, die in der jeweiligen Schichtebene durch einen Laserstrahl miteinander verschmolzen werden. Diese Verfahren

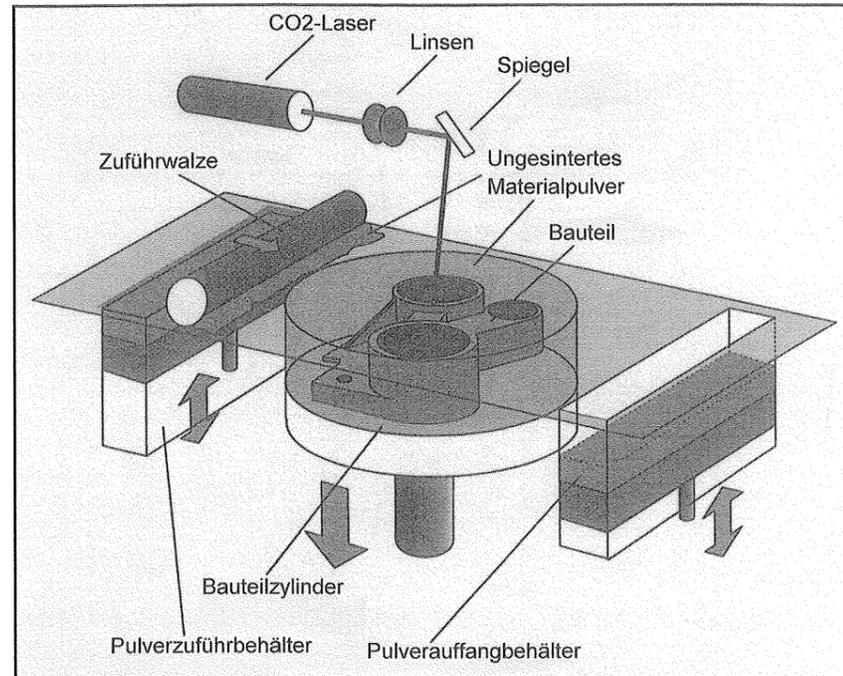


Abb. 4: Schematischer Aufbau des Laser-Sinter-Prozesses (DOLENC 1993)

werden Sinterverfahren genannt, weil sie durch gezieltes Aufschmelzen auf einen klassischen diffusionsgesteuerten Sinterprozess abzielen. Die Körner verbinden sich nach dem Erstarren zu einer festen Schicht und mit der vorangegangenen Schicht. Durch Absenken dieser Schicht und neues Aufbringen von Pulver wird die nächste Schicht zum Verschmelzen vorbereitet. Die Vorteile des SLS liegen im Vergleich zur SL in der theoretisch unbegrenzten Materialpalette. Die Modelle sind, je nach Werkstoff, mechanisch und thermisch belastbar. Nicht versintertes Pulver kann wieder verwendet werden. Das Nacharbeiten entfällt weitestgehend, die Modelle sind sofort einsetzbar (Abb. 4).

Nachteile gegenüber den konventionellen Verfahren (z. B. Fräsen) bestehen in der Oberflächengüte, die von der Korngröße und der Wärmeleitfähigkeit abhängig ist, einer schlechten Erreichbarkeit und damit Schwierigkeiten beim Reinigen von internen Hohlräumen und in einer Prozess-temperatur nahe dem Werkstoffschmelzpunkt sowie in einer notwendigen Inertgasatmosphäre.

Bei den Sinterverfahren lassen sich theoretisch alle thermoplasten Materialien verwenden, das heißt Werkstoffe, die aufschmelzbar sind und nach der Erstarrung ihr vorheriges Volumen und ihre vorherigen Werkstoffkennwerte wieder annehmen. In der Praxis finden Werkstoffe wie Nickel-Bronze-Legierungen, Stahl-Binder-Kombination, Polyamid (auch glasgefüllt), Polystyrol und auch Sand Verwendung.

Wichtig sind bei diesem Verfahren Werkstoffe mit niedriger Schmelztemperatur und geringer Wärmeleitfähigkeit. Diese Eigenschaften sind notwendig, um den Sinterprozess lokal zu begrenzen, aber auch, weil bei hohen Schmelztemperaturen der maschinenseitige Realisierungsaufwand zu groß wird. Bei hochschmelzenden Materialien (Stahl) ist es möglich, durch das indirekte Lasersintern eines Zweikomponentenpulvers und ein darauf folgendes Austreiben des Binders und Nachversintern des Bauteils den maschinenseitigen Aufwand zu reduzieren. Durch geeignete Folgeprozesse ist die Materialpalette für die Modelle stark erweiterbar.

Die erste Laser-Sinter-Maschine wurde 1990 von der DTM Corporation, USA, unter dem Namen „Sinterstation 125“ vorgestellt. Mit dem Typ „Sinterstation 2000“ folgte 1992 der Vertrieb einer industriellen Maschine. Im Jahre 1991 hatte das Unternehmen EOS eine Sintermaschine entwickelt, die 1994/1995 mit dem EOSINT-Programm kommerzialisiert wurde. Dabei wurden verschiedene Baureihen entwickelt, mit denen es möglich ist, Kunststoffe, Metalle oder Sand zu versintern. Von 1990 bis einschließlich 1999 wurden weltweit 879 Sintermaschinen verkauft (WOHLERS 2000). Der Kaufpreis einer „Sinterstation 2500plus“, einer Maschine mit einem Bauraum von bis 380 mm x 330 mm x 447 mm, liegt bei etwa DM 500 000,-. Die Firma EOS bietet ihre „EOSINT S“ zum Versintern von Sand mit einer Bauraumgröße von 720 mm x 380 mm x 380 mm für DM 1,3 Mio an.

Das Selektive Laser Sintern ist geeignet, Geometrie- und Funktionsmodelle und über Feinguss auch Serienteile zu fertigen. Modelle, Formen und Werkzeuge können bis zu Abmaßen von 813 mm x 559 mm x 508 mm in einem Stück gefertigt werden.

Laminated Object Manufacturing

Das Laminated Object Manufacturing (LOM) generiert aus Folien. Im Gegensatz zu anderen Schichten-Fertigungsverfahren ist das LOM kein rein additives, sondern ein hybrides Verfahren. Der Aufbau des Bauteils durch miteinander verklebte dünne Folien ist ein additiver Prozess, während das Ausschneiden der jeweiligen Schichtkontur durch einen Kohlendioxid-Laser ein subtraktiver Prozess ist. Das Verkleben der Folien erfolgt mit einem durch Druck und Temperatur aktivierten Binder, welcher sich in einer dünnen Schicht auf der Unterseite des vorbehandelten Papiers befindet. Das Endlospapier wird über Rollen über die Trägerplattform geführt und mit der darunterliegenden Schicht verklebt. Eine beheizte Rolle aktiviert die Binderschicht. Mit dem Laser wird die Folie entsprechend der jeweiligen Kontur zugeschnitten. Eine Stützwirkung für das Bauteil wird durch eine zusätzlich geschnittene Umrandung

geschaffen. Auf Grund der nachträglich zu entfernenden Papierstücke ist die Herstellung von Hohlräumen nur begrenzt möglich (Abbildung 5).

In den meisten Fällen wird Papier eingesetzt. Dadurch lassen sich Modelle generieren, die vergleichbare Eigenschaften wie Holzobjekte haben. Infrage kommende feste oder folienartige Materialien sind mit Laser schneidbar oder spanend bearbeitbar. Man kann für dieses Schichtverfahren auch Kunststoffe und Bleche einsetzen.

1991 kamen die ersten LOM-Maschinen der Firma Helisys auf den Markt und wurden seitdem kontinuierlich verbessert. Seit 1994 vertreibt die Firma Kira (Japan) die Baureihe „PLT“ und seit 1996 die Firma Kinergy (Singapur) die Maschine „ZIPPY“, die nach dem gleichen Prinzip arbeiten. Von 1992 bis einschließlich 1999 wurden weltweit 748 Laminiermaschinen verkauft (WOHLERS 2000). Die Maschinen der japanischen Hersteller mit einem relativ kleinen Bauraum sind ab etwa DM 120 000 erhältlich, die größten Maschinen der Firma Kinergy kosten bis zu DM 560 000.

Das Laminated Object Manufacturing ist geeignet, um große, massive Geometrie- und Funktionsmodelle zu fertigen, die große Sprünge in den Wandstärken aufweisen. Die Modelle können bis zu Abmaßen von bis zu 1180 mm x 750 mm x 550 mm in einem Stück gefertigt werden. Die Herstellung von Formen und Werkzeugen erfolgt danach indirekt über Abformprozesse.

Fused Deposition Modelling

Das Fused Deposition Modelling (FDM) generiert Modelle aus thermoplastem Draht, der einer als Extruder ausgebildeten Düse zugeführt und dort bis knapp unter Schmelztemperatur erhitzt wird. Das halbflüssige thermoplastische Material wird als neue Schicht auf die schon bestehende Struktur aufgebracht und erkaltet sofort. Zwei Schichten haften aneinander, weil der verflüssigte Kunststoff die schon bestehende Schicht lokal und temporär aufschmilzt (Abb. 6).

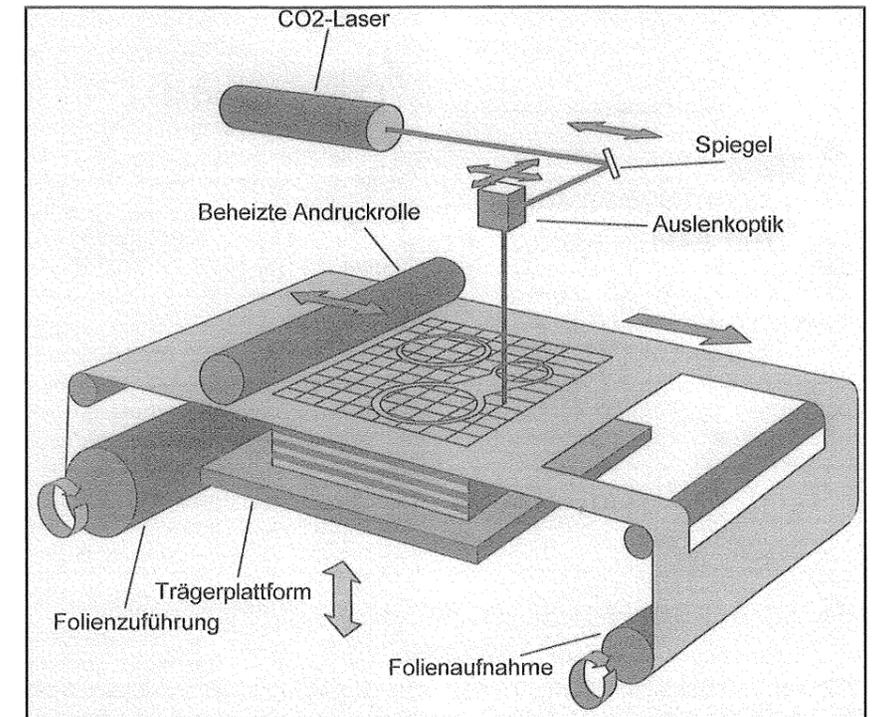


Abb. 5: Schematischer Aufbau des LOM-Prozesses (DOLENC 1993)

Extrusions- und ballistische Verfahren verwenden Thermoplaste, gegebenenfalls unterschiedlich gefärbte Werkstoffe. Bei einigen Maschinen kann sogar während des Prozesses der Werkstoff gewechselt werden. Als solche kommen zum Beispiel Feinguss-schmelze, Elastomere, Polyester und ABS in Frage.

Die Firma Stratasys bietet seit 1991 FDM-Maschinen an. Seit wenigen Jahren werden weitere mit Extrusionsprinzip angeboten: Multiphase Jet Solidification (MJS) / ITP, 3D-Plotter / Stratasys, Multi-Jet Modelling (MJM) / 3D Systems. Von 1991 bis einschließlich 1999 wurden weltweit 1285 FDM-Maschinen verkauft (WOHLERS 2000). Die FDM-Maschinen kosten je nach Bauraumgröße zwischen 90 000 und 650 000 DM.

Das Fused Deposition Modelling ist geeignet, um Geometrie- und Funktionsmodelle, technische Prototypen, aber auch Serienteile über Feinguss zu fertigen. Die Modelle können dabei auf geeigneten Maschinen bis zu Abmaßen von 600 mm x 500 mm x 600 mm in einem Stück gefertigt werden.

Formen und Werkzeuge lassen sich direkt herstellen.

Zusatzausbildung Rapid Prototyping – Lernangebote in der Weiterbildung

Es haben sich in den letzten Jahren folgende drei Weiterbildungsformen für die Einführung und Anwendung von Rapid Prototyping Techniken herausgebildet:

- Anwender-Bedienungs-Einweisungen: Sie sind praktisch und maschinenspezifisch ausgerichtet und sollen direkt handlungsleitend sein. Sie werden meist von den Herstellern zusammen mit dem Verkauf der Maschine durchgeführt.
- Kurzlehrgänge und Einführungs-Seminare: Allgemeine, technologisch orientierte Überblicke über den ganzen Bereich der Produktentwicklung und ausgewählte Schwerpunkte des Rapid Prototyping.
- Allgemeine fachspezifische Einführungen in den informationstechnischen Modell- und Werkzeugbau für Fachkräfte und Auszubildende.

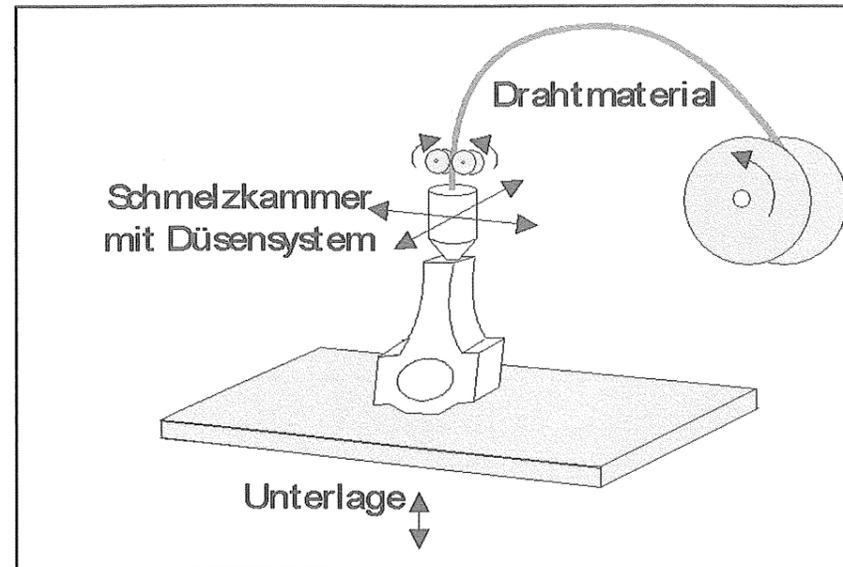


Abb. 6: Schematischer Aufbau des FDM-Verfahrens (GEBHARDT 2000)

Diese drei Weiterbildungsformen sind in unterschiedlicher Weise zugeschnitten auf fünf Gruppen von Lernenden und ihre besonderen Interessen und Bedürfnisse. Jede dieser Gruppen ist berufsspezifische Weiterbildung im Bereich der RP-Techniken im Hinblick auf deren stürmische Entwicklung angeraten:

- Unternehmens- und Betriebsleiter, die sich für den Einstieg und die Einführung von RP-Techniken in ihr Unternehmen orientieren wollen,
- Konstrukteure, Ingenieure in Produktentwicklung und -planung sowie Fachkräfte der Arbeitsvorbereitung, die den neuen informationstechnischen Prozess oder bestimmte Phasen der Produktentwicklung im Betrieb zu organisieren haben,
- Fachkräfte in der Produktentwicklung sowie Modell- und Werkzeugbauer, die künftig mittels bestimmter RP-Techniken Prototypen generieren werden,
- auszubildende Modell- und Werkzeugmacher, Berufsschüler bestimmter Metall verarbeitender Berufe - z. B. auch aus der Gruppe Mechatroniker/Mikrotechnologen/Industriemechaniker,
- sowie natürlich auch deren Lehrer und Ausbilder.

Das Rapid Prototyping Zentrum (rpz) in Bremen nutzt die neuen Informationstechniken für RP-Prozesse darüber hinaus als Demonstrations- und Ausbildungsumgebung für die Ingenieurausbildung in der Universität und die Mitarbeiter von Betrieben, die an ihrer Anwendung interessiert sind. Auch vom Haus der Technik in Essen, von der NC-Gesellschaft, vom AWF in Eschborn, an den Universitäten Stuttgart, Magdeburg und Augsburg sowie im LBBZ Aachen werden mehrtägige Seminare und Lehrgänge, Aus- und Weiterbildungsaktivitäten für spezielle Gruppen durchgeführt; sie vermitteln allgemeine Kenntnisse und technologische, auch physikalische und chemische Grundlagen neuer RP-Verfahren und stellen ihr Zusammenwirken in Prozessketten für Anwender in Betrieben dar.

Es gibt eine Vielzahl operativer Schulungen spezieller Hersteller oder Bedienungsunterweisungen für Anwender (z. B. von EOS oder 3D Systems), weil zur Lieferung des Systems auch eine Bedienungsanweisung als Service gehört. Diese Anwender-Schulungen von Herstellern sind direkt und praktisch auf das besondere Verfahren bezogen; sie beanspruchen nicht, in die informationstechnischen Grundlagen der neuen Technologien einzuführen.

Wir haben oben auf gewisse Informations- und Schulungsfunktionen der (in Deutschland ungefähr 35) Servicebüros im Verhältnis zu ihren Kunden hingewiesen. Für Kunden insbesondere aus kleinen und mittelständischen Betrieben bieten sie die Möglichkeit, sich parallel zur Bearbeitung ihrer Prototyping-Aufträge praktisch und vor Ort an den Maschinen (meist Stereolithographie, aber auch Selective Laser Sintering) mit den neuen Techniken vertraut zu machen und die erforderlichen Qualifikationen für die selbstständige Anwendung allmählich und risikolos zu erwerben.

Eine wichtige Weiterbildungsfunktion für den gesamten Produktentwicklungsbereich hat auch die seit Mitte der 1990er Jahre jährlich in Frankfurt stattfindende Messe „Euromold“. Dort werden alle Rapid Prototyping und Rapid Tooling Techniken und Anwendungen ausgestellt, praktisch alle Hersteller und Entwickler treffen sich, zeigen Anwendungsmöglichkeiten, tauschen Erfahrungen aus und so ist diese Messe die bedeutendste Plattform geworden.

Zwei wichtige, hier nur am Rande zu erwähnende Themen für die Aus- und Weiterbildung zum Rapid Prototyping Facharbeiter sind Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie Umweltschutz. Der sachgerechte Umgang mit ätzenden Gasen und Metallstäuben, Kunstharzen, Lösungsmitteln und diversen Chemikalien sowie den Laserstrahlen muss von traditionellen Handwerkern besonders gelernt werden, weil sonst Gesundheitsgefährdungen nicht ausgeschlossen und unsachgemäße Entsorgung der Abfallstoffe zu befürchten wären.

Die Anpassung und Erweiterung der Qualifikation des Modell- und Werkzeugmachers um Techniken und Verfahren, Methoden und Kenntnisse von RP ist ein allmählicher Prozess. Es ist mit einem nur längerfristig zu beobachtenden qualitativen Wandel zu rechnen. Es tritt kein Sprung in der Berufsausbildung ein, der vergleichbar wäre zur Stufe vom Facharbeiter zum Techniker oder vom Techniker zum Ingenieur; es bleibt bei einer gewissen Erweiterung der beruflichen

Kenntnisse und Fähigkeiten um informationstechnische Inhalte. Diese Qualifikationserweiterung ist vielleicht vergleichbar zur Herausbildung des CNC-Facharbeiters in den 80er-Jahren. Die neuen Charakteristika der beruflichen Tätigkeiten und die erweiterten Qualifikationsanforderungen bilden sich viel langsamer und allmählicher heraus als die RP-Techniken und ihre (in den letzten 15 Jahren) rapide betriebliche Einführung selber.

Die Berufsgruppe der Modell- und Werkzeugbauer nimmt eine Schlüsselstellung im Entwicklungsprozess ein, sie ist jedoch vergleichsweise klein; laut Auskunft des Bundesinnungsverbands des Deutschen Modellbauer Handwerks gibt es zurzeit rund 4500 Facharbeitkräfte im Modell- und Werkzeugbau und rund 600 Auszubildende; aus eben diesem Grunde ist zu beobachten, dass der Durchdringungsgrad des Modell- und Werkzeugbaus mit informationstechnischen RP-Verfahren in den letzten Jahren schnell zugenommen hat; diesen Eindruck gewinnt man aus den Statistiken installierter RP-Anlagen. In Deutschland schätzte man 478 RP-Anlagen bis Ende 1999. Jeder RP-Anlage können drei oder vier mit ihr arbeitende RP-kundige Fachleute zugeordnet werden.

Die schnell wachsende Bedeutung des RP-Bereichs kann man in der jährlichen Messe „Euromold“ sowie der nationalen und europäischen Konferenzen zum Thema erkennen. Wenn diese Beobachtungen zutreffen, kann es sein, dass sich der neue RP-Fachmann in vielen kurzfristigen Schulungsaktionen in den Betrieben und in monatelangen Lernprozessen „on the job“ in den Werkstätten

schneller herausbilden wird, als unsere Berufsbildungsinstitutionen es wahrzunehmen im Stande waren.

In der dreieinhalb-jährigen beruflichen Erstausbildung zum Modell- und Werkzeugbauer kommen die neuen RP-Techniken unseres Wissens noch nicht vor, allenfalls in einzelnen Großbetrieben mit eigenen Modellbau-Werkstätten, z. B. bei Daimler Benz Sindelfingen, oder in kleinen Modellbaubetrieben. Sollte die Durchdringung mit RP-Techniken jedoch weiterhin rapide zunehmen, kann angenommen werden, dass auch junge Modell- und Werkzeugmacher in der Ausbildung und im Berufseinstieg häufiger mit diesen neuen Techniken zu tun haben werden.

In die Berufsausbildung sollte also ein theoretischer Überblick und eine Einführung in die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der Informationstechniken im Modell- und Werkzeugbau sowie eine anschauliche Darstellung der Entwicklungsperspektiven gegeben werden, die den Beruf voraussehbar bestimmen. Praktische Interaktion und Aneignung erster Arbeitserfahrungen mit einzelnen neuen Modellbautechniken könnten in überregionalen Demonstrations- und Erprobungszentren in Bremen, Aachen, Magdeburg, Augsburg und Stuttgart ermöglicht werden. Gerade wegen der Schlüsselrolle des Modell- und Werkzeugbaus in einer innovativen Industrie sollte das Bundesministerium für Bildung über das Bundesinstitut für Berufsbildung einen praktischen Modellversuch in diesem Themenbereich für die berufliche Erstausbildung von Modell- und Werkzeugbauern organisieren (wie dies Mitte der 1980er-Jahre beispielsweise für

Technische Zeichner und die CAD-Technik geschah).

Literaturverzeichnis

- BÖHLE, F./ MILKAU, B.: Vom Handrad zum Bildschirm. Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozess. Campus, Frankfurt 1988.
- BUNDESINNUNGSVERBAND DES DEUTSCHEN MODELLBAUER-HANDWERKS (HRSG.): Modellbauer-Handwerk. www.modellbauer-handwerk.de.
- BUNDESINNUNGSVERBAND DES DEUTSCHEN MODELLBAUER-HANDWERKS (HRSG.): Das Modell, die Idee in ihrer ersten Form. Informationsbroschüre. Darin: Berufsausbildung zum Modellbauer, Ausbildungsverordnung von 1988. Dortmund 1994, S. 5.
- BUNDESINNUNGSVERBAND DES DEUTSCHEN MODELLBAUER-HANDWERKS (HRSG.): Modellbauer-Handwerk. Geschichte, Struktur, Organisation. Ausbildung, Fortbildung, Weiterbildung. Informationsbroschüre der Bundesfachschule Modellbau. Wildungen, Mai 2001.
- DOLENC, A.: Software Tools for Rapid Prototyping Technologies in Manufacturing. Acta Polytechnica Scandinavia, Mathematics and Computerscience. No. 62, Helsinki 1993.
- FLEIG, J./SCHNEIDER, R.: Erfahrung und Technik in der Produktion. Springer, Berlin 1995.
- GEBHARDT, A.: Rapid Prototyping. Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung. Hanser, München 2000.
- KÖNIG, W. U. A.: Rapid Prototyping – Bedarf und Potentiale. In: VDI-Z 135 1993, Heft Nr. 8.
- WOHLERS, T. T./WOHLERS ASSOCIATES, INC.: Wohlers Report 2000. Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report. Fort Collins, Colorado 2000. twohlers@compuserve.com.

Sven Mohr

Inhalte neuer Facharbeit am Beispiel von Rapid Prototyping

Einleitung

Die Verfahren des Rapid Prototyping haben sich zu einem effektiven und für viele Firmen bereits unentbehrlichen Werkzeug für die Produktgenese entwickelt. Mit dem vorliegenden Dokument wird die Bedeutung von Rapid Prototyping-Verfahren für die Facharbeit diskutiert. Zur Erschließung der konkreten Aufgaben von Facharbeitern an Rapid Prototyping Maschinen wurde ein Betrieb für Modell- und Prototypenbau untersucht. Neben der Aufgabenanalyse wurden Experteninterviews mit den Facharbeitern und Meistern durchgeführt, die an der Bearbeitung von Aufträgen beteiligt sind, bei denen ein Prototyper eingesetzt wird.

Die besonderen Anforderungen an den Betrieb sind:

- Fertigung einer breiten Produktpalette,
- hohe Innovationsgeschwindigkeit durch Entwicklung der Prozesskette beim Kunden und im Betrieb,
- ständige Suche nach neuen Geschäftsfeldern.

(In der letzten Zeit waren dies z. B. Urmodell mit Maßprotokoll, Formenbau aus Aluminium oder Prototypen für kleine und filigrane Teile. Die Aufgaben wurden u. a. mit neuen Technologien wie Rapid Prototyping oder HSC-Fräsen realisiert).

Für den Produkterfolg ist nach Einschätzung der Geschäftsleitung die Qualifikation der Facharbeiter zum Modellbauer wichtig. Die spezifischen Anforderungen des Modellbaus sind nur durch langjährige Erfahrung im Beruf zu erlernen. Das räumliche Vor-

stellungsvermögen, die vielfältigen Anwendungsbereiche für die Modelle und die große Anzahl unterschiedlicher Werkstoffe und Maschinen sind weitere Anforderungen, die an die Facharbeiter gestellt werden. Die Aufgabenverteilung war in dem Betrieb bisher eher handwerklich manufakturrell organisiert. In der Regel ist dabei ein Facharbeiter für die Bearbeitung eines Geschäfts- oder Arbeitsauftrages zuständig.

Mit der Einführung der modernen computergestützten Fertigungsverfahren ist es zu Veränderungen in der Arbeitsorganisation gekommen. Den Beginn stellt der Arbeitsplatz „Arbeitsvorbereitung und Rapid-Prototyping“ dar. Der zuständige Facharbeiter auf diesem Arbeitsplatz ist in erster Linie für die Bedienung der Maschinen verantwortlich. Die Herausforderungen werden nachstehend skizziert.

Arbeitsschritte bei der Stereolithographie

Die nachfolgend beschriebenen Arbeitsschritte wurden auf einer Stereolithographie-Maschine, der SLA 250 mit Zyphyr-Wischer von 3D-Systems durchgeführt (Abb. 1).

Die zentralen Schritte bei den Rapid Prototyping-Maschinen und damit auch bei der Stereolithographie sind die Bearbeitung des CAD-Prozesses, die Fertigung als der eigentliche Bauprozess und die anschließende Nachbearbeitung. Bei dem CAD-Prozess und bei der Nachbearbeitung werden häufig externe Komponenten eingesetzt, die in der Regel nicht zum Lieferumfang der Rapid-Prototyping Maschine gehören. Die Schritte im Einzelnen:

CAD-Prozess

- CAD-Konstruktion,

- Datenaufbereitung (CAD-Schnittstelle).

Stereolithographie Bauprozess

- STL-Überprüfung (STL = Software),
- Orientierung,
- Stützengenerierung,
- Vorbereitung an der Maschine,
- Fertigung,
- Postprozess,
- Nachbearbeitung.

Beispiel einer Auftragsarbeit

Der Schwerpunkt liegt bei der Dokumentation der Arbeitsaufgaben, die in Zusammenhang mit der Erstellung des Stereolithographiemodells stehen. Die nachfolgenden Arbeitsschritte zur Vervollständigung des Auftrages werden nicht beschrieben.

Auftragsbeschreibung

Für einen Kunststoffteilieferanten in der Region sollte von einer Steckerleiste eine Nullserie von 20 Modellen hergestellt werden. Diese sollte wiederum von dem Kunststofflieferanten in großer Stückzahl für einen Kfz-Zulieferbetrieb produziert werden.

Die Nullserie ist in Auftrag gegeben worden, um Konstruktionsdetails im Einbau und den umliegenden Bauteilen mit dem Kfz-Zulieferbetrieb abstimmen zu können sowie für den späteren Werkzeugbau Modelle zu erhalten. Nullserien helfen mögliche Konstruktionsfehler vor dem sehr kostenintensiven Werkzeugbau zu erkennen. Der eigentliche Bau der Werkzeuge wird von dem Kunststofflieferanten selbst durchgeführt.

Für die Nullserienfertigung wird das Rapid Prototyping-Modell als Urmodell für die Herstellung einer Silikonform verwendet. Die Nullserienmodelle werden im Anschluss im Vakuumgießverfahren aus Kunstharzen produziert. Mit Hilfe der Silikonform können Nullserien mit bis zu 100 Abgüssen hergestellt werden. Je nachdem welche Eigenschaften das Bauteil haben soll, können dafür Harze verwendet werden, die den späteren Eigenschaften des Bauteils (verschiedene Elastomere, Thermoplaste oder Duro-mere) ähnlich sind.

Aufträge dieser Art wurden von dem Modellbaubetrieb vor der Anschaffung der Rapid Prototyping-Maschine nicht vollständig bearbeitet, da der Aufwand für den filigranen Bau der Urmodelle zu groß war. Ein externer Auftragnehmer ist in diesen Fällen eingesprungen. Die vorhandenen Maschinen und Anlagen sind bisher für den Modellbau größerer Modelle ausgelegt gewesen.

CAD-Prozess

CAD-Konstruktion und Datenaufbereitung

Die 3D-CAD-Dateien wurden als CATIA-Datei zur Verfügung gestellt. Weil der Modellbaubetrieb keine Schnittstelle zu dem System hat, wurde die Datei von einem befreundeten Ingenieurbüro geladen und als E-Mail-Anhang im STL-Format zurückgeschickt. Dabei war die Genauigkeit der erzeugten Oberflächenstruktur einzustellen. Körper mit Rundungen erhalten eine höhere Auflösung, gerade Körper sind mit einer kleineren Konturnäher darzustellen. Die Einstellung erfolgt über die zulässige Sehnenlänge. Obwohl das Bauteil nur wenige Rundungen enthielt, wurde es mit hoher Auflösung konvertiert, da einige Bohrungen und Einschubnippel vorhanden sind. Die Absprachen zwischen

dem Facharbeiter und dem Ingenieurbüro wurden telefonisch getroffen.

Stereolithographie Bauprozess

STL-Überprüfung

Die STL-Datei wurde in der Rapid Prototyping Software (Lightyear 1.1) eingelesen. Bei der Bearbeitung des Modells muss die Modellart festgelegt (hohe Genauigkeit) werden. An der Software wurde ebenfalls der Maschinentyp, der Wischertyp und das verwendete Harz eingestellt.

Die Überprüfung der Datei ergab, dass viele Fehler vorhanden waren. Der Facharbeiter hatte dies bereits erwartet, da die Schnittstelle des CAD-Programms CATIA derzeit noch mangelhaft ist. Die Fehlerkorrektur musste mehrfach wiederholt werden, bis die Triangulation der Oberfläche am Modell korrekt war.

Orientierung

Im virtuellen Arbeitsraum wurde die modellhafte Steckerleiste geladen und positioniert. Dabei war die Lage im Arbeitsraum festzulegen. Bei der automatisierten Positionierung im Arbeitsraum wird der Abstand zum benachbarten Teil festgelegt, die Ausrichtung aber von der Vorgabe durch die STL-Datei übernommen. Sie ist

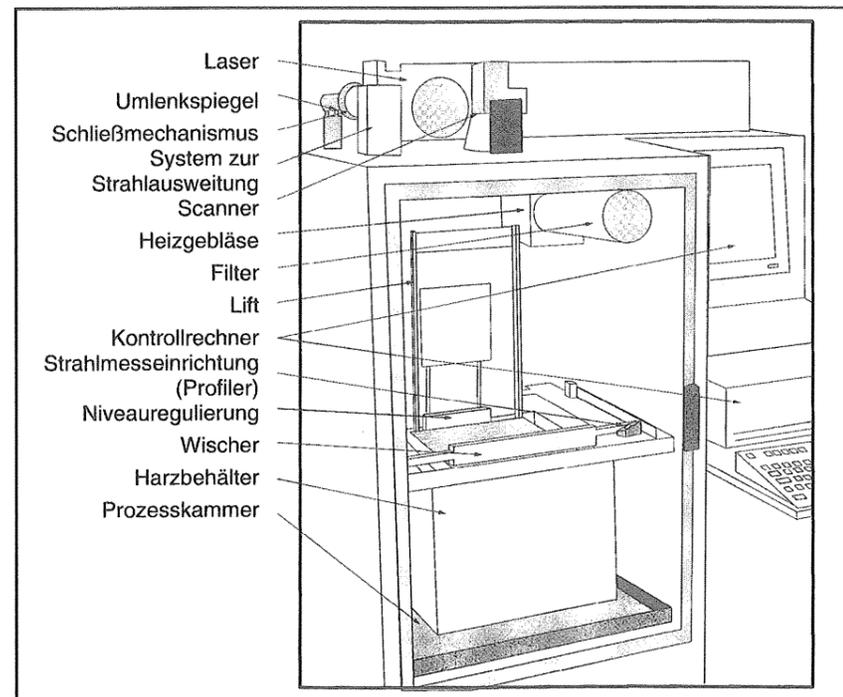


Abb. 1: Prinzipskizze SLA-250 (3D-Systems)

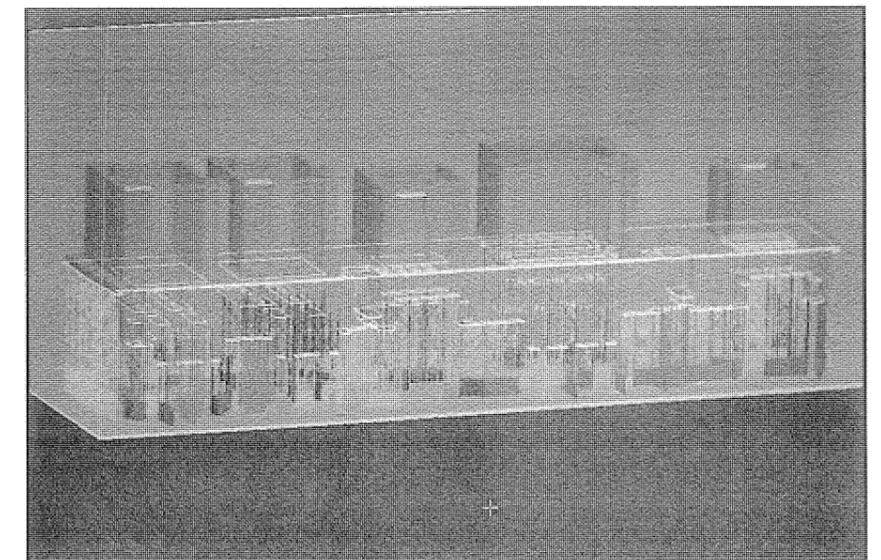


Abb. 2: Einteilung der Stützenkonstruktion auf unterschiedliche Höhen

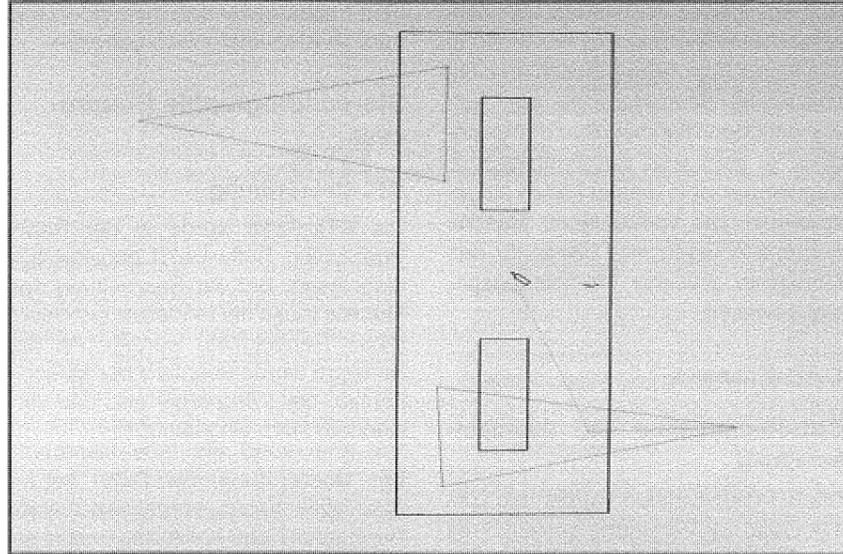


Abb. 3: Prüfung und Überarbeitung der Stützen auf einzelnen Bauteilflächen

von großer Bedeutung für die spätere Qualität des Modells, weil bei flachen Konturänderungen die Schichten auffallen und der Aufbau des Supports von der Lage im Raum abhängig ist.

Bei der Ausrichtung war die Wischerichtung zu beachten, damit das Modell im Fertigungsprozess stabil bleibt und die großen dünnen Schichten nicht aufgerollt werden (bei der relativ langen Steckleiste wurde das Modell daher quer zur Wischerrichtung angeordnet).

Stützengenerierung

Für das Modell wurde der Support generiert. Dabei war die Dicke, Lage und der Winkel einzustellen, ab der ein Support erzeugt werden soll. Dieser wurde generiert und im anschließenden Schritt geprüft, ob alle Flächen gut unterstützt werden. Die einzelnen Höhenlagen des Bauteils (Abb. 2) wurden dafür als Flächen dargestellt. Der Support wurde für jede Flächenlage aufgeteilt und konnte im Einzelnen geprüft und bearbeitet werden. An einigen Flächen wurden neue Stützen generiert (Abb. 3) oder alte Stützen verschoben oder gelöscht.

Die erarbeiteten Vorgaben wurden als SLC-Datei gespeichert und mit der gleichen Software überprüft, ob der Schichtaufbau korrekt ist und der Support für die Schichten korrekt auf-

gebaut wurde. Die Schichten lassen sich dazu einzeln darstellen und im schnellen Durchlauf visualisieren. Veränderungen sind jedoch nicht mehr möglich. Werden Fehler entdeckt, so muss die um den Support erweiterte STL-Datei wieder aufgerufen werden, erneut bearbeitet und als neue SLC-Schichtendatei konvertiert werden. Der Facharbeiter hat sich dazu das Programm ein zweites Mal auf den Bildschirm geladen, so dass parallel zur Kontrolle der SLC-Datei die ursprüngliche STL-Datei an den entsprechenden Stellen bearbeitet werden konnte.

Die fertige und kontrollierte SLC-Datei wurde im Netz gespeichert und anschließend am PC der Rapid Prototyping Maschine geladen.

Vorbereitung an der Maschine

Die Inbetriebnahme der Rapid Prototyping Maschine erfolgt ca. zwei Stunden vor der Fertigung. Dabei kommt es sehr auf die Raumklimatisierung und die Lufttrocknung des kleinen Raumes an, in dem die Maschine untergebracht war. Die Prototyper und der PC an der Maschine sind immer in Betrieb, nur der Bildschirm wird ausgeschaltet, wenn die Anlage nicht produziert. Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- Temperatur des Harzes kontrollieren (25-30°C): Bei der evaluierten Aufgabe musste die Temperatur korrigiert werden, in dem die Heizung über die Softwaresteuerung eingeschaltet wird.¹
- Laser anschalten und vorwärmen lassen, bis die volle Leistungsfähigkeit erreicht ist (ca. 30 min vor dem Start der Fertigung).
- Nachfüllen der Maschine mit Harz, da ein bestimmter Level unterschritten war. Dazu wurde Harz aus einem Kanister (5 l) in den Vorratsbehälter gekippt. Die Softwaresteuerung unterstützte den Facharbeiter durch Signale, die den Füllstand akustisch angeben (ähnlich einer Park-Distance-Kontrolle am PKW).

Fertigung

Das genaue Nivellieren der Harzmenge erfolgte über ein Programm, bei dem der Laser die Oberfläche abtastete und über einen Reflexionsstrahl auf eine lichtempfindliche Diode trifft. Der Vorgang läuft nach dem Starten der Funktion automatisch (ca. 2 Minuten).

Ebenso wurde über die Software eine Kalibrierung des Lasers durchgeführt. An zwei diagonal am Vorratsbehälter positionierten Messsonden wurde dazu die Laserstärke gemessen. Aus dem Mittelwert berechnete der Maschinenrechner die aktuelle Laserleistung. Diese wird zur Bestimmung der Vorschubgeschwindigkeit des Lasers benötigt, die ebenfalls automatisch ermittelt wird. Während der Fertigung fällt die Laserleistung durch den andauernden Betrieb in der Regel leicht ab, daher wird die Laserleistung ständig überprüft und die Vorschubgeschwindigkeit angepasst.² Zur Kontrolle und Kalibrierung wird neben der Laserleistung auch der Harzstand nach ca. 50 Schichten automatisch vom System gemessen und die Parameter entsprechend korrigiert.

Die Daten des zu fertigenden Bauteils können an der Maschine nochmals im Schichtaufbau überprüft werden. In der Regel verzichtet der Facharbeiter aber auf die nochmalige Überprüfung.

Der Prozess wird gestartet. Er läuft vollständig automatisiert ab und endet

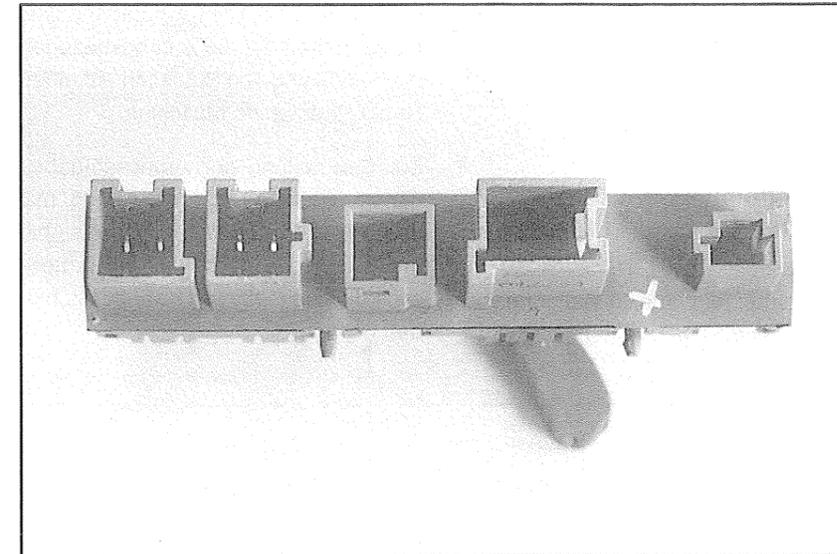


Abb. 4: Grundiertes Rapid Prototyping Modell

mit dem Anheben der Arbeitsplatte aus dem Harz, sodass überschüssiges Harz ablaufen kann. Die ersten Bauteilschichten für den Support werden schnell aufgebaut, weil der Wischer nicht eingesetzt und nur eine geringe Fläche belichtet wird. Die Bearbeitungszeiten für die folgenden Bauteilschichten sind sehr unterschiedlich. Sie sind abhängig von der Laserleistung, der zu belichtenden Fläche und den gewählten Bauparametern. Auf Grund der vielen softwareseitigen und maschinenseitigen Einflüsse kann die Bauzeit nicht im Voraus bestimmt werden.³

Nach der Fertigstellung des Bauteils wurde die Reinigung des Wischers und der Grundplatte mit einem fusselfreien Lappen durchgeführt. Die Grundplatte wurde aus dem Arbeitsraum genommen und zusätzlich mit Aceton abgewischt.

Die Maschinennutzung wurde in einem Protokoll mit folgenden Angaben dokumentiert: Datum, Bauteil, Bauhöhe, Parameter (fast, exakt, Quick Cast), Bauzeit, Teilgewicht und Unterschrift. Die Bauzeit wurde über die Arbeitszeit des Lasers bestimmt, die hinter der Maschine am Betriebsstundenzähler des Lasers abgelesen werden kann.

Während des Betriebes darf der Prozess nicht durch Vibrationen gestört werden, dazu musste der Arbeitsraum bauseitig von anderen Maschinen entkoppelt werden. Die Maschine sollte auch während der Fertigung nicht berührt werden.

Postprozess

Die Bauteilbearbeitung nach der Fertigstellung des Modells (vgl. Abb. 4) umfasst folgende Schritte:

- Harz abtropfen lassen,

- Entfernung der Restharzmenge vom Modell mit Reinigungslösung (Aceton),
- Abbrechen des Supports mit einer kleinen Zange und einer Nadel,
- UV-Bestrahlung zum Aushärten des Modells und zur Verfestigung evtl. noch vorhandener Harzreste an der Oberfläche (ca. 45 min im PCA-Bestrahlungssofen).

Nachbearbeitung

Die weiteren Arbeitsschritte wurden von dem zweiten Mitarbeiter durchgeführt, der in der Abteilung Prototypenbau beschäftigt ist.

Als Erstes erfolgte die mechanische Bearbeitung der Oberfläche (Schleifen). Zur Maßkontrolle wurden einige wichtige Maße geprüft. An der Steckleiste wurden bspw. die Breite und Länge der Steckereinschübe gemessen.⁴ Danach wurde das Modell mit Farbe grundiert. Die Grundierung dient als Schutz vor Diffusion von Epoxidharz aus den Rapid Prototyping Modell in das Silikon bei dem nachfolgenden Abgießen der Form aus Silikon. Es erfolgte eine weitere mechanische Nachbearbeitung des Modells, da durch die matte Grundierung Stellen deutlicher sichtbar wurden, die noch bearbeitet werden mussten.

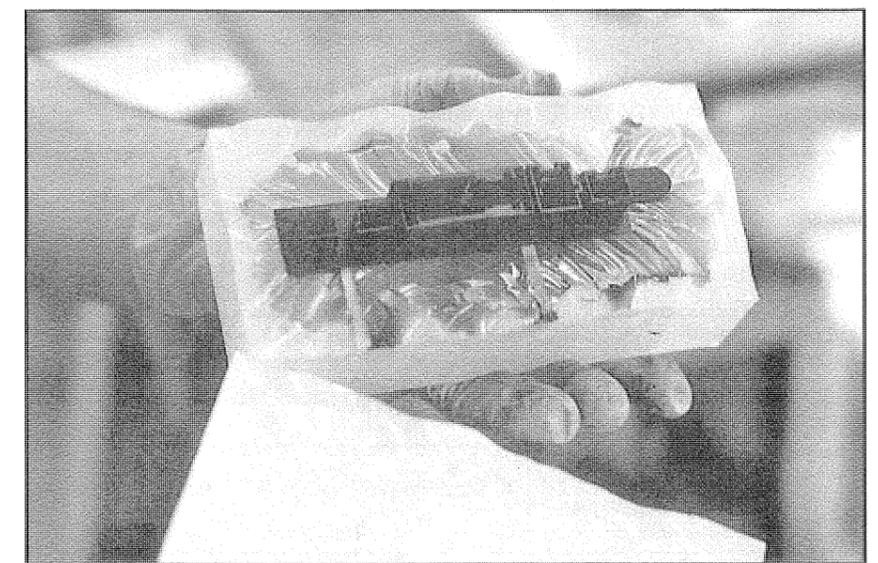


Abb. 5: Nullserienmodell in der Siliconform

Anschließend wurde von dem Modell eine Siliconform erstellt, in der die 20 Bauteile der Nullserie gegossen wurde (Abb. 5).

Der gesamte Fertigungsprozess bis hin zu den ersten Nullserienmodellen nimmt ca. 4 Arbeitstage in Anspruch. Bei der Fertigung sind viele automatische Fertigungszeiten und Trocknungszeiten zu berücksichtigen, die als Prozesszeit bezeichnet werden. In

der Tabelle wird daher zwischen den Fertigungszeiten unterschieden, die einer aktiven Arbeitszeit (AZ) des Facharbeiters entsprechen und den Prozesszeiten (PZ).

Aufgabenanalyse und Qualifikationen für Rapid Prototyping

Der Inhaber legt unter Beteiligung der Facharbeiter fest, wie die Prozessket-

te gestaltet wird. Die Kernaufgabe des Facharbeiters ist die auftragsbezogene Herstellung von Bauteilen auf einer Rapid Prototyping Maschine.

Zur Bearbeitung der Arbeitsaufgabe, die im direkten Zusammenhang mit dem Rapid Prototyping Prozess steht, muss der Facharbeiter auf unterschiedlichen Gebieten Kenntnisse haben (Abb. 6):

		Arbeitsschritt	Beteiligte	Zeit Arbeitszeit AZ Prozesszeit PZ
Auftrag		Auftragsannahme	Betriebsmeister und Kunde	AZ ca. 1h
		Auftragsstart	Betriebsmeister und beteiligte Facharbeiter I und II	AZ ca. 30min
Datenaufbereitung		Datenübertragung	Facharbeiter I	AZ 20min
		STL-Erzeugung	Facharbeiter I und Ingenieurbüro	AZ 30min
Softwarebedienung	Rapid Prototyping-Prozess	STL-Überprüfung	Facharbeiter I	AZ 15min
		Positionierung im Arbeitsraum		AZ 5min
		Stützengenerierung		AZ 5min
		Erstellung der SLC-Datei und Kontrolle		AZ 30min
		Dateiablage im Netz		AZ 5min
Maschinenbedienung	Rapid Prototyping-Prozess	Klimatisierung und Temperaturkontrolle		AZ 10min
		Vorbereitung der Maschine (Harz nachfüllen, Kalibrieren)		AZ 20min PZ 2h
		Fertigung		PZ 4h
		Postprozess		AZ 15-120min PZ 45min
		Wartung		AZ 20min
Nachbereitung und Anwendung des RP-Modells		Aufbereitung des Modells	Facharbeiter II	AZ 6h
		Siliconform erstellen		AZ 2h PZ 2h
		20 Modelle gießen	Hilfsarbeiter	AZ 6h PZ 20h

Abb. 6: Übersicht über die Arbeitsschritte

Arbeitsaufgabe	Fachliche Arbeit	Werkzeuge, Software	Anforderungen an die fachlichen Arbeit
Auftragsannahme	Auftrag im Team besprechen	Zeichnungen 3D-CAD-Modelle Gruppengespräch	Zielgerichtete Gesprächsführung Abschätzung der Fertigungsqualität und Möglichkeiten der RP Maschine
Datenerstellung oder -aufbereitung	Aufbereitung der vom Kunden gelieferten Zeichnungen und Datensätze zu STL-Dateien	PC 3D-CAD-Software unterschiedlicher Hersteller Datenübertragung (Fritzdata, E-Mail)	Bedienung der Software Zeichnungslesen Berücksichtigung der Kundenanforderungen und der Anforderungen der nachfolgenden Fertigungsschritte
SLC-Erzeugung	Rapid Prototyping Prozess	Laden und Bearbeiten der STL-Datei an der Rapid Prototyping Software, Erzeugen der SLC-Datei	Rapid Prototyping Software für das verwendete Verfahren Umgang mit Software, Berücksichtigung der Anforderungen (Kunde und nachfolgender Prozess), Dokumentation der Ergebnisse
Fertigung		SLC-Datei an der Maschine laden und Prozess starten, Postprozess	Maschinensoftware, Maschine Umgang mit Maschinensoftware, Maschinenbedienung Sicherheitsvorschriften
Wartung		RP Maschine in Betrieb nehmen, warten und ggf. Fehler diagnostizieren und beheben	Maschinenunterlagen, Hotline, Funktionsweise der Maschine, Diagnose von Fehlern,
Nachfolgende Arbeitsschritte	Nachbearbeitung und Formenbau, etc.	Schleifen, polieren, Glätten, etc. sowie Vorbereitung zu weiteren Anwendungen	Bearbeitung und Prozess kennen, um das Modell entsprechend herstellen zu können.

Abb. 7: Aufgabenanalyse

Produktkenntnisse:

Wofür ist das Modell?

Was will der Kunde mit dem Modell machen?

Welche spezifischen Anforderungen hat der Kunde an das Modell?

Modellbaukenntnisse:

Wie ist der Produktionsprozess im Betrieb?

Welche Form hat das Modell?

Wie müssen die Formen für das Modell gestaltet sein, damit sie zum späteren Umformen geeignet sind? Dabei sind die Verfahren zu beachten, mit dem der Kunde das Bauteil später herstellen will und die Anforderungen, die für das Abgießen im Vakuumguss zu berücksichtigen sind.

CAD-Kenntnisse:

Wie kann das Modell als 3D-CAD Modell erzeugt werden?

Wie können produktionsspezifische Manipulationen (Rundungen, Formschrägen etc.) vorgenommen werden?

Prozesskenntnisse Rapid Prototyping:

Wie muss der Prototyper programmiert werden, um dem Lastenheft des Kunden und den nachfolgenden Arbeitsschritten am besten zu entsprechen?

Softwarekenntnisse und Bedienung der Rapid-Prototyping Maschine:

Wie sind die optimalen Bedingungen zum Betrieb des Prototypers?

Wie ist die Maschine zu bedienen und zu warten, um einen optimalen Produkterfolg zu gewährleisten?

Zusammenfassung

RP-Fertigungsverfahren

Die einzelnen Rapid Prototyping Verfahren sind hinsichtlich ihrer Fertigungsstrategien sehr unterschiedlich, allerdings bauen alle die Modelle durch Schichten auf.

Dies hat Auswirkung auf die didaktischen Entscheidungen für die Qualifizierung. Es hat keinen Sinn, die einzelnen Verfahren oder Maschinen als Inhalt beruflicher Ausbildung zu benennen. Vielmehr muss vermittelt werden, welche Verfahren es gibt, wie sie sich unterscheiden und vor allem, welche Vorteile die einzelnen Verfahren haben wie Genauigkeit, Kosten, Festigkeit der Modelle, zu erzielende Oberflächen. Bei der Vorbereitung der Daten für den eigentlichen Fertigungsprozess sind jedoch auf Grund des gleichen Produktionsprinzips große Ähnlichkeiten zu erkennen, so-

dass der CAM-Prozess von verfahrensübergreifender und maschinenunabhängiger Bedeutung ist.

Hinsichtlich der Maschinenbedienung, Wartungs-, Service- und Reparaturarbeiten ist festzustellen, dass die Arbeiten ebenfalls sehr von dem Rapid Prototyping Verfahren und den Maschinen abhängig sind. Für einige Verfahren (z. B. SLS) sind die Maschinen noch sehr teuer und empfindlich. Sie vermitteln den Eindruck, den Qualitätsansprüchen von Labormaschinen zu genügen, die nicht für Wartung und Servicearbeiten optimiert wurden. Für andere Verfahren (z. B. 3D-Printing) sind die Maschinen hingegen bereits sehr anwenderfreundlich gestaltet. Der evaluierte Fall zeigt, dass der in einem einwöchigen Kurs ausgebildete Facharbeiter ausreichend qualifiziert wurde, um die Maschine zu bedienen, zu warten und kleinere Reparaturen (Reinigung der Profiler) ausführen zu können. Er verfügte zudem über umfassende Prozesskenntnisse, die er zur anforderungsgerechten Gestaltung der Bauteile anwenden konnte.

Obwohl Rapid Prototyping Verfahren sehr komplizierte und nur mit aufwändigen Steuerungen zu realisierende Verfahren sind, ist die Facharbeit an den Maschinen nicht komplizierter als bei anderen Fertigungsverfahren. Die Anzahl der von den Facharbeitern einzustellenden fertigungstechnischen Parametern sind vergleichsweise gering. Beim Fräsen oder Erodieren sind mehr fertigungstechnische Parameter zu präparieren als bei den Rapid Prototyping Verfahren. Zudem wird der Facharbeiter bei der Bedienung effektiv unterstützt, sodass Bedienungsfehler zum Teil vom System korrigiert werden. Dies schätzte auch der befragte Facharbeiter so ein, der sowohl die HSC-Maschine als auch die Rapid Prototyping Maschine bediente: „Mit der Fräsmaschine kann man viel mehr machen, man muss aber auch viel mehr berücksichtigen.“

Die Kenntnisse der jeweiligen Rapid Prototyping-Prozesse sind von großer Bedeutung, um Fehlerquellen abschätzen und ggf. beheben zu können. Deutlich wurde dies z. B. an der Fehlerbehebung bei der Verschmut-

zung der Profiler. Da der Facharbeiter die Bedeutung der Laserleistung kannte, sind ihm die unterschiedlichen Laserleistungen aufgefallen, sodass er nach einer möglichen Fehlerquelle suchte. Der Fertigungsprozess hatte auch ohne weitere Rückmeldungen oder Fehlerkorrekturen des Systems gestartet werden können. Die Ergebnisse wären allerdings unbrauchbar gewesen. Die Fehlerabschätzung war nur mit detaillierten Prozesskenntnissen möglich, die im Rahmen der Weiterbildung an der Maschine vermittelt wurden.

Qualifikation für RP und Umfeld

Für die Qualifikation zur Facharbeit an Rapid Prototyping-Maschinen sind vier Schwerpunkte zu nennen, und zwar Kenntnisse

- über die Produkthanforderungen,
- über die Prozesskette vom CAD-Modell bis zum fertigen Produkt,
- zur Anwendung informationstechnischer Software, insbesondere über die verwendete CAM-Software,
- Verfahrens- und maschinenspezifischen Besonderheiten (Wartung, Service, Sicherheitsrichtlinien),

Legt man den evaluierten Fall zu Grunde, so sind die Produktkenntnisse von größter Bedeutung für die Facharbeit, gefolgt von Kenntnissen über die Bedienung PC-gestützter Systeme und zur Bedienung der CAM-Software. Das maschinenspezifische Wissen ist im Verhältnis dazu leicht und schnell zu erlernen. Zudem steht für die Maschinen in der Regel ein guter Support und Service zur Verfügung.

Im untersuchten Fall war die Bedienung der neuen Maschine kein großes Problem für den Facharbeiter, da der Umgang mit Maschinen zum täglichen Aufgabenfeld des Facharbeiters gehören. Berührungspunkte mit PC-gestützten Maschinen zu arbeiten, oder Ähnliches bestanden nicht. Die Sicherheitsanweisungen, Umweltschutzaufgaben, Richtlinien für Harze und Chemikalien waren bekannt, da mit vergleichbaren Werkstoffen bereits im Modellbau gearbeitet wird.

3D-CAD

Der Umgang mit geometriegestützten, an Objekten orientierten 3D-Modellen ist von besonderer Bedeutung für die Datenaufbereitung und den CAM-Prozess. Beide Systeme aber auch alle anderen CAM-Systeme in der Fertigung basieren auf 3D-CAD Modellen. Die Qualifikation zur Bedienung von 3D-CAD ist daher von großer Bedeutung für die zukünftige Ausbildung von Facharbeitern, die an Arbeitsschritten innerhalb der Prozesse beteiligt sind: Die Erstellung von 3D-CAD-Datensätzen und das urformgerechte Überarbeiten der Bauteilgeometrien am CAD-Programm muss beherrscht werden.

Qualifikationsentwicklung, Weiterbildung

Die vom Facharbeiter besuchten Weiterbildungsmaßnahmen sind als sehr effektiv und erfolgreich zu bewerten. Nach der Ausbildung zum Modellbauer hat er einen CAD-Lehrgang auf ProEngineer absolviert, sodass er in der Lage war, 3D-Modelle zu erstellen oder zu manipulieren. Die zeitweise anstehenden Arbeitsaufgaben in dem Bereich gehörten 2 Jahre zu seinen Aufgaben, bevor er das CAM-System MasterCam erlernte. Zur erfolgreichen Bewältigung der Aufgaben besuchte der Facharbeiter folgende Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen und übernahm im Anschluss die entsprechenden Tätigkeiten im Betrieb:

- Facharbeiterausbildung: Erlernen der Anforderungen und Prozesskenntnisse für die Aufgaben des Betriebes,
- 3D-CAD Weiterbildung (2 x 5Tage) und anschließend Bearbeitung der anstehenden Arbeitsaufgaben (Erstellen und manipulieren von 3D-CAD-Modellen),
- CAM-Weiterbildung (5 Tage) und anschließend Bearbeitung der anstehenden Arbeitsaufgaben (Programmierung und Bedienung der CNC-Maschine),
- Rapid Prototyping Weiterbildung (4 Tage) und anschließend Bearbeitung der anstehenden Arbeitsaufgaben (Programmierung und Bedie-

nung der Rapid Prototyping Maschine).

Die weiteren betrieblichen Innovationen, wie Fertigungsverfahren sowie die entsprechende CAM-Software, erfordern Qualifikationen im Bereich 3D-CAD.

Ausbildung und Berufsschule

Nach Aussage der Rapid Prototyping Maschinen Hersteller werden über 50% der Maschinen in folgenden Gebieten eingesetzt:

- Muster für Konstrukteure (17%),
- Funktionsprototypen (16%),
- Geometrieprototypen (15%),
- Modelle für den Werkzeugbau (13%),
- Modelle für den Metallguss (9%) (vgl. ANSORGE, 2000).

Anhand der Zahlen wird deutlich, dass insbesondere in der Facharbeit der Modellbauer und Werkzeugmacher Rapid Prototyping-Verfahren angewendet werden.

Ein großer Teil der Modelle wird zurzeit jedoch von Dienstleistungsunternehmen erstellt, die sich auf die Fertigung von Rapid Prototyping-Modelle spezialisiert haben und mehrere Verfahren den Kundenanforderungen entsprechend anwenden. Aber auch in dem Bereich werden Facharbeiter für die Bedienung der Maschinen vorzuziehen sein, die über entsprechenden Prozesskenntnisse verfügen.

An der Erstellung der CAD-Datensätze sind zudem oftmals Technische Zeichner beteiligt, die am Anfang der Prozesskette stehen und Kenntnisse über die Verfahren benötigen, um die Dateien im entsprechenden Format und unter Beachtung der Anforderungen erstellen zu können.

Da einige Rapid Prototyping Verfahren relativ einfach zu beherrschende Fertigungsverfahren sind, eignen sie

sich für Ausbildungsschwerpunkte, bei denen die Prozesskette im Mittelpunkt steht und nicht das Fertigungsverfahren. Ein besonders geeignetes Verfahren ist dafür das 3D-Drucken. Die softwareseitige Vorbereitung der Daten erfolgt wie bei allen anderen Anwendungen auch. Das Verfahren hat jedoch die geringsten Anschaffungskosten; es ist keine aufwändige Klimatisierung des Raumes erforderlich und die Wartungskosten sind gering. Nachteile des Verfahrens sind, dass die Bauteile bruchempfindlicher (gehärteter Wachs) sind, das Material recht teuer ist (9 kg ca. 1500 Euro) und die Auflösung (300 dpi) nicht ganz so genau ist wie bei einigen anderen Verfahren.

Anmerkungen

1 Die Heizung für das Harz ist nicht im Harzbad untergebracht, sondern im Arbeitsraum. Über dessen Temperierung wird das Harz mit erwärmt, sodass die Aufheizzeit für den gesamten Harzbehälter entsprechend lang ausfällt.

2 Bei der beobachteten Aufgabenstellung waren die gemessenen Laserleistungen an den Messsonden (Profiler) sehr unterschiedlich (38mW und 18mW). Da auf den Messsonden eine leichte Verschmutzung zu erkennen war, telefonierte der Facharbeiter mit der Serviceabteilung von 3D-Systems. Die Fehlerursache wurde vom Service bestätigt und der Facharbeiter erhielt Hinweise, wie die Messsonden zu reinigen sind. Im Anschluss erörterte er mit dem Service noch Möglichkeiten, wie das Harz auf Dauer in der Betriebstemperatur gehalten werden kann, um die Aufheizzeit zu verkürzen und dauerhaft eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Harzbad zu gewährleisten. Nach der Reinigung stieg die gemessene Laserleistung bei beiden Messsonden auf über 40mW.

Wäre die Reinigung der Messsonden nicht durchgeführt worden, wäre die Belichtungszeit des Harzes zu groß, sodass keine Bullets entstanden wären, sondern Linien, die zum Verzug der Bauteile geführt hätten. Ebenfalls wäre

die Fertigungszeit erheblich länger gewesen.

3 Es gibt Softwarepakete zur Generierung der SLC-Datei von freien Herstellern, die in der Lage sind, die Bauzeit zu berechnen. Allerdings sind die Werte nicht exakt, da die Veränderung der Laserleistung im Betrieb nicht berücksichtigt werden kann. Die Zeitberechnung ist daher so ausgelegt, dass von einer etwas geringeren mittleren Laserleistung ausgegangen wird, sodass das Bauteil nach der berechneten Zeit auf jeden Fall fertiggestellt ist.

4 Im vorliegenden Fall wurde das Bauteil auf Nennmaß konstruiert. Die Erstellung der Konstruktion auf Toleranzmitte hat sich bei den Kunden noch nicht durchgesetzt. Auf Grund der Anforderung, die Konstruktionsdaten in der anschließenden Prozesskette weiter zu verwenden, werden die CAD-Daten der Bauteile in Zukunft neben der Nennmaßprogrammierung auch auf Toleranzmitte programmiert werden müssen. Die Nullserie musste in diesem Fall aber auch nicht so genau sein, sodass bspw. die einzelnen Steckverbindungen den späteren Toleranzanforderungen genügen.

Literatur

ANSORGE, M./ABRAHAM, T./TANK, B.-M.: Rapid Prototyping – Neue Technik am CIMTT. Unveröffentlichtes Manuskript des Instituts für CIM-Transfer an der Fachhochschule Kiel, Kiel 2000.

GEBHARDT, A.: Rapid Prototyping: Werkzeuge für die schnelle Produktentstehung. 2. völlig überarbeitete Auflage. Hanser. München, Wien 2000.

GREULICH, M./ KUNZE, H.-D./ GREUL, M./ WUNDER, J.: Anwendung von Rapid Prototyping in der Gießereiindustrie. In: Gießerei, Heft 11, Jg. 1998, S. 33-37.

3D SYSTEM: 3DSystem Inc. GmbH, 3D Systems GmbH Darmstadt: Bedienungsanleitung und Schulungsunterlagen für SLA 250, Darmstadt 2000.

WOHLERS, T.: Rapid Prototyping and Tooling, State of Industry: 1999Worldwide Progress Report. Wohlers Associates Inc., Fort Collins, USA 1999.

Stefan Fletcher

Methodisches Konstruieren und Rapid Prototyping im konstruktionstechnischen Unterricht

Einleitung

Das Rapid Prototyping (RP) ist ein Fertigungsverfahren, mit dessen Hilfe sich auf der Grundlage von 3D CAD-Daten in einem einzigen Fertigungsschritt „vollautomatisch“ Modelle aus Kunststoff generieren lassen. Näheres dazu ist erläutert im Artikel von GOTTSCHALCH/MÜLLER in diesem Heft. Voraussetzung für dieses Verfahren ist die vollständige computerbasierte Geometriebeschreibung der zu ferti-

genden Konstruktionen. Da zurzeit im Bereich der beruflichen Ausbildung Konstruktionszeichnungen weitgehend mithilfe von CAD-Technik angefertigt werden, besteht die Möglichkeit, ohne großen Mehraufwand das RP-Verfahren in den Unterricht mit einzubeziehen. Es liegt nahe, RP als neue Möglichkeit der schnellen fertigungstechnischen Realisierung von CAD-basierten Konstruktionen einzusetzen. Eine weitere Möglichkeit ist die Behandlung des RP-Verfahrens im ferti-

gungstechnischen Unterricht. Da aber das RP als gewerbliches Produktionsverfahren zurzeit nur eine sehr geringe Bedeutung hat und somit keinen bedeutsamen berufspraktischen Stellenwert aufweist, erscheint diese Möglichkeit als wenig attraktiv. Hingegen kann die vorher angesprochene Nutzung als eine sinnvolle Ergänzung, bzw. Aufwertung des konstruktionstechnischen Unterrichts gesehen werden. Im folgenden Beitrag wird der Versuch unternommen, Verbindungs-

Ablaufplan nach				
Roth	Pahl/Beitz	VDI 2222/1	Koller	Rodenacker
Aufgabe Aufgabenformulierungs-Phase (Formulieren)	Aufgabe Klären der Aufgaben	Planen Konzipieren	Produkt planen	Aufgabe
Aufgabenstellung Funktionssatz Anforderungsliste	Klären der Aufgabenstellung Anforderungsliste	Klären der Aufgabenstellung Anforderungsliste	Klären der Aufgabenstellung	Geforderter Wirkzusammenhang
Funktionelle Phase (Entwickeln)	Konzipieren		Funktionsstruktursynthese	Funktion
Allgemeine Funktionsstruktur	Funktionsstruktur Lösungsprinzipien	Gesamtfunktion in Teilfunktionen Kombinieren, Variieren, Technisch-wirtschaftlich Bewerten	Gesamtfunktion Teilfunktionsstruktur Elementarfunktionss. Grundoperationsstr. Techn.-wirtsch. Bewerten	Logischer Wirkzusammenhang
Physikalisch-logische Funktionsstruktur	Technisch-wirtschaftlich Bewerten			Physikalisches Geschehen, Physikalischer Wirkzusammenhang
Gestaltende Phase (Formgestalten)	Entwerfen	Entwerfen	Qualitative Synthese	Wirkort
Geometrisch-stoffliche Produktgestaltung	Grobgestalten, Feingestalten, Bewerten	Maßstäblicher Entwurf, Technisch-wirtschaftlich Bewerten Optimieren	Effektvarianten, Effekt-trägervarianten, Prinzip-varianten, Gestaltvarianten der Bauelemente, den Baugruppen, der Systeme techn.-wirtsch. Bewerten	Kinematischer Wirk-zusammenhang Konstruktiver Wirk-zusammenhang Fertigungstechnischer Wirkzusammenhang
Struktur gestalten, Kontur gestalten, Bewerten	Abschließendes Gestalten			
(Herstellungsgestalten)	Ausarbeiten	Ausarbeiten	Quantitative Synthese	
Herstellungstechnische Produktgestaltung	Vervollständigen der fertigungstech. Unterlagen, Montage - Transport Vorschriften, Prüfen der Unterlagen	Gestalten der Einzelteile Überprüfen der Kosten	Berechnen, Dimensionieren Bemaßen, Techn.-wirtsch. Bewerten, Erproben, Unter-zeichnen, Entgültiger Entwurf, Detaillieren, Fertigungsunterlagen	
Fertigungszeichnung				

Abb. 1: Gegenüberstellung von Ablaufplänen unterschiedlicher Autoren (ROTH 1994, S. 42)

linien zwischen dem RP und dem methodischen Konstruieren im konstruktionstechnischen Unterricht aufzuzeigen. Zunächst wird ein Überblick über die Grundlagen des methodischen Konstruierens gegeben. Dann wird unter Einbeziehung didaktischer Aspekte skizziert, wie das RP konzeptionell in den Phasenverlauf des methodischen Konstruktionsprozesses eingebunden werden kann. Abschließend erfolgt die exemplarische Darstellung einer Konstruktionsaufgabe und deren methodischer Lösungsweg, wobei die Förderung des methodischen Konstruierens im Mittelpunkt steht.

Methodisches Konstruieren

Übereinstimmend wird in der Fachliteratur unter dem Begriff „Konstruieren“ die Gesamtheit aller Konstruktions-tätigkeiten verstanden, beginnend von der Aufgabenformulierung bis hin zur Anfertigung der vollständigen Unterlagen, die zur Herstellung des Produktes benötigt werden. Die Konstruktions-tätigkeit stellt einen hoch komplexen und meist langandauernden Prozess dar, der im Ergebnis die technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften eines Produktes festlegt.

Mit der Arbeitsmethodik der Konstruktions-tätigkeit beschäftigt sich die Konstruktionsmethodik, eine Teildisziplin der Konstruktionswissenschaft. Zielsetzung dieser Disziplin ist die Erforschung von Handlungsanweisungen, Heuristiken, Algorithmen und Strategien, die zum zielgerichteten und systematischen Konstruieren technischer Systeme angewandt werden können. Zielsetzung der methodischen Arbeitsweisen ist es, die Tätigkeit des Entwickelns technischer Produkte zu rationalisieren, zu automatisieren sowie einfach erlernbar zu machen. Grundlage hierfür ist die Schaffung einer allgemein gültigen, nicht objektgebundenen Vorgehensweise, die in allen Bereichen des Maschinenbaus anwendbar ist. Nach diesen Grundsätzen wird die Konstruktionsarbeit zu einer schrittweise und folgerichtig nachvollziehbaren und in allen Einzelheiten nachprüfbar Tätigkeit.

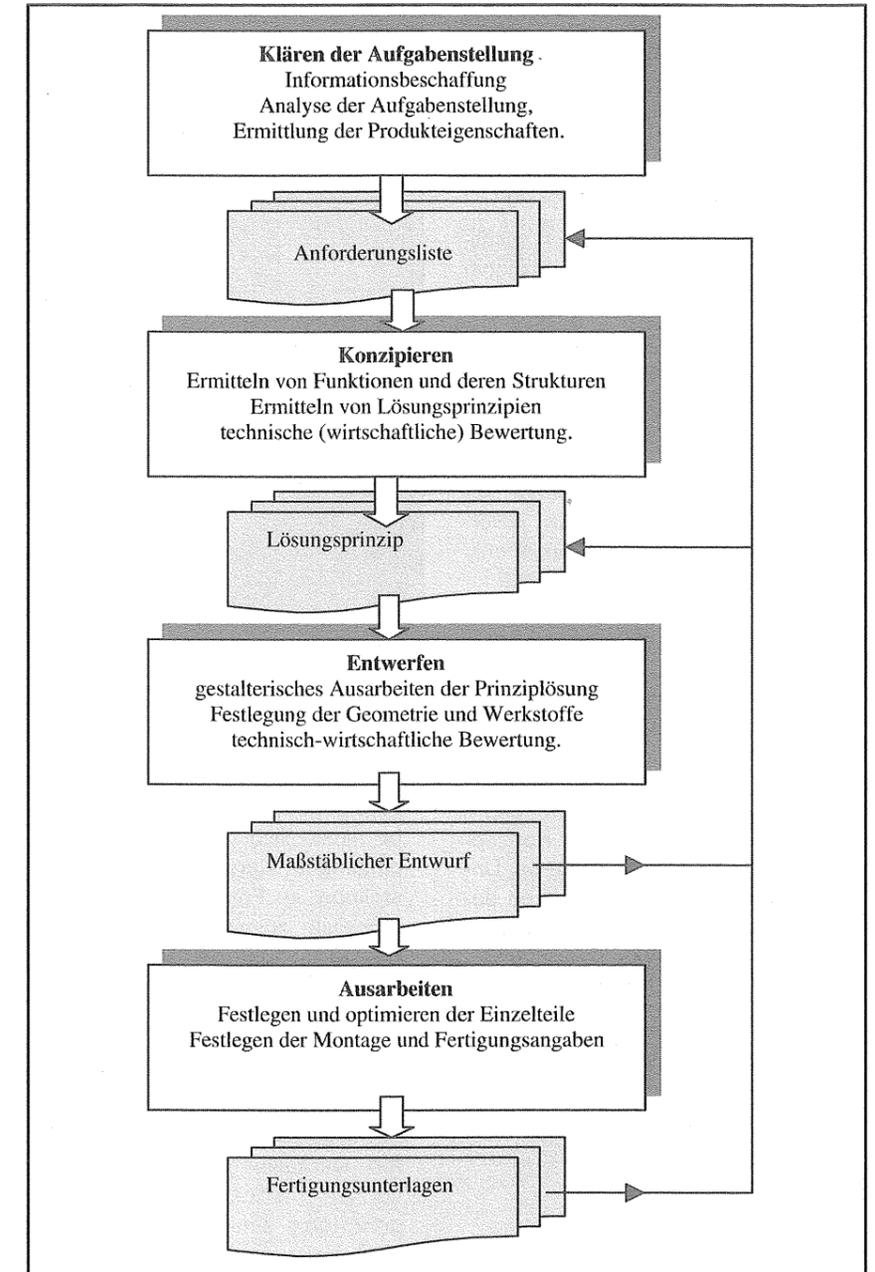


Abb. 2: Hauptphasen beim methodischen Konstruieren

Kernpunkt der Konstruktionsmethodik ist die Entwicklung von allgemein gültigen Handlungsfolgen, diese werden in der der Industriepraxis nahe stehenden Literatur als Vorgehensplan (vgl. PAHL/BEITZ 1994), Ablaufplan oder Vorgehensstrategie bezeichnet. In der aktuellen Fachliteratur sind unterschiedliche Ablaufpläne zu finden.

Abb. 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Ablaufpläne.

Auf den ersten Blick erscheinen die Vorgehenssystematiken unterschiedlich zu sein. Bei näherer Beschäftigung zeigt sich, dass trotz der unterschiedlichen Verwendung von Fachtermini und einer hohen Anzahl von Teilphasen kein grundsätzlicher Unterschied bei den Hauptschritten zu

erkennen ist. Man kann demzufolge den Ablauf in die vier Hauptphasen:

- Klären der Aufgabenstellung,
- Konzipieren,
- Entwerfen
- und Ausarbeiten

unterteilen. Jeder Schritt liefert wichtige Teilergebnisse im Konstruktionsprozess.

Für den Bereich der beruflichen Erstausbildung ist die dargestellte grundlegende Phasenstruktur mit geringem Detaillierungsgrad angemessen (vgl. Abb. 2). Jede Teilarbeitsphase führt zu einem Teilergebnis innerhalb des Konstruktionsprozesses. Die Teilergebnisse stellen den Ausgangspunkt der weiteren Konstruktions Schritte für die folgenden Phasen dar. Für eine systematische und zielgerichtete Entwicklung ist das Einhalten dieser Schrittfolge von grundlegender Bedeutung. Zum Beispiel müssen in einem ersten Schritt die genauen Anforderungen an das Produkt festgelegt werden, bevor sinnvolle Überlegungen zu dessen konstruktiver Konzeptionierung erfolgen können. In der Unterrichtspraxis neigen Schüler oft dazu, mit Übereifer an die Gestaltung konstruktiver Einzelheiten zu gehen, bevor grundsätzliche Fragen nach den Anforderungen und Überlegungen zu unterschiedlichen Funktionsprinzipien erfolgt sind. Dies kann schnell dazu führen, dass konstruktive „Irrwege“ eingeschlagen werden und das eigentliche Konstruktionsziel aus dem Auge verloren geht.

Die konstruktiven Teilphasen bilden gleichzeitig eine Grundlage zur Strukturierung des Unterrichts. Jede Phase bildet eine inhaltlich geschlossene Unterrichtseinheit mit unterschiedlichen Handlungszielen, die von den Schülern weitgehend selbstständig erarbeitet werden können. Nach jeder Teilphase können die erarbeiteten Handlungsprodukte im Rahmen von Präsentations- und Diskussionsphasen vorgestellt und bewertet werden.

Die folgende Aufzählung gibt einen Überblick über die wichtigsten Handlungsziele des methodischen Konstruktionsprozesses.



Abb. 3: Mithilfe des RP-Verfahrens Lasersintern hergestellter Prototyp einer Leitschaukel für einen Radialverdichter.

Klären der Aufgabenstellung

- Eine gegebene Konstruktionsaufgabe hinsichtlich ihrer Ziele und Bedingungen klären. Die Aufgabenstellung in Form einer Anforderungsliste zusammenstellen, dabei Festanforderungen, Mindestanforderungen und Wünsche unterscheiden.

Konzipieren

- Die Problemstellung in abstrakter Form als Gesamtfunktion definieren. Darstellung der Gesamtfunktion als „black box“ mit den dazugehörigen Ein- und Ausgangsgrößen.
- Die Gesamtfunktion in Teilfunktionen aufgliedern und aus den Teilfunktionen eine Funktionsstruktur aufbauen.
- Wirkprinzipien zur Erfüllung der Teilfunktionen auffinden und auswählen.
- Lösungskonzept auf Grundlage der ausgewählten Wirkprinzipien erarbeiten.

Entwerfen

- Für ein gegebenes Lösungskonzept unter Beachtung von Gestaltungs-

prinzipien eine maßstäbliche Entwurfszeichnung erarbeiten.

- Feingestalten der ausgewählten Gestaltungszonen unter besonderer Berücksichtigung von Fertigungs- und Montagegesichtspunkten.

Ausarbeiten

- Ausgewählte Einzelteile hinsichtlich Werkstoff, Fertigungsart, Abmessungen, Oberflächenbeschaffenheit und Toleranzen gestalten und optimieren.
- Zusammenfassen von Einzelteilzeichnungen zu Baugruppen und einer Gesamtzeichnung.
- Vervollständigen von Fertigungsunterlagen durch Erstellen von Montageanleitungen und Betriebsanleitungen.
- Prüfen der Fertigungsunterlagen auf Vollständigkeit, Normanwendung, Richtigkeit.

Für den Bereich der sekundären und tertiären beruflichen Aus- und Weiterbildung, wie die Techniker Ausbildung oder die Weiterbildung zum/zur geprüften Konstrukteur/-in ist eine stärker analytisch akzentuierte Vorgehensweise in Anlehnung an die ingenieurwissenschaftlichen Ablaufpläne angemessen.

Rapid Prototyping

Unter dem Begriff des Rapid Prototyping werden alle generierenden Verfahren verstanden, mit deren Hilfe direkt aus Computerdaten physikalische dreidimensionale Modelle angefertigt werden können. Das bedeutet, der komplette Vorgang der Fertigung eines Bauteils, der konventionell durch unterschiedliche spanende Verfahren oder Gussverfahren erfolgen müsste, wird durch einen einzigen Arbeitsschritt in der Rapid Prototyping-Anlage geleistet. Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens sind computergenerierte 3D-Geometriedaten des Bauteils. Auf Grundlage dieser Daten wird in einem einzigen Fertigungsschritt das Bauteil oder Modell aus speziellen Kunststoffen generiert. Ein häufig angewandtes Verfahren hierbei ist die Stereolithographie. Bei diesem Verfahren wird durch die gezielte, schichtweise Aushärtung eines photoempfindlichen Kunststoffs mit einem Laser das Bauteil generiert (vgl. Abb. 3).

Grundsätzlich wird das universelle Verfahren des RP nur sehr selten für die Serienproduktion eingesetzt, da die ausschließliche Verwendung von photoempfindlichen oder thermoplastischen Kunststoffen, die begrenzte Genauigkeit und Oberflächenqualität, die Einschränkung der Größe, sowie

die häufig längere Herstdauer für eine Serienproduktion hinderlich sind. Mit sehr hohem Aufwand lassen sich auch so genannte „Indirekte Metallmodelle“ herstellen, die Werkstoffeigenschaften von Aluminium aufweisen. Aus diesem Grund wird das Verfahren des Rapid Prototyping fast ausschließlich zur Herstellung von Modellen im Rahmen von Produktentwicklungsprozessen angewandt. Dabei sind diese Modelle nicht grundsätzlich Prototypen, wie auf Grund der Bezeichnung vermutet werden könnte, sondern im Rahmen der Produktentwicklung können unterschiedliche Modelltypen mit verschiedenen Funktionen zum Einsatz kommen. In der Planungsphase können zum Beispiel Proportions- oder Designmodelle verwendet werden, um in einer frühen Phase der Produktentwicklung grundlegende Entscheidungen über die Weiterentwicklung eines Produktes zu treffen. Hingegen dienen Funktionsmodelle und Prototypen zu einer ersten Überprüfung mechanischer und technologischer Eigenschaften. In der Fachliteratur werden grundsätzlich die Modelltypen nach ihrem Zweck unterschieden. Abbildung 4 bietet eine Übersicht die Einteilung von Modellen entsprechend den Richtlinien des Verbandes der Deutschen Industrie Designer (VDID).

Rapid Prototyping als Element des Konstruktionsprozesses

Im konstruktionstechnischen Unterricht erfolgt der Einsatz von Modellen im Wesentlichen auf Grundlage didaktischer Überlegungen. Es stellt sich die Frage, wie unter didaktischen Gesichtspunkten ein RP-Modell sinnvoll in den Handlungsablauf der Konstruktionstätigkeit integriert werden kann. Bei der Ausbildung von Facharbeitern sind Fragen nach dem Design und der Ästhetik eher zweitrangig. Hier stehen vor allem technische Fragestellungen, wie nach der Funktionssicherheit und den Fertigungsmöglichkeiten im Vordergrund. Dementsprechend sind zwei Modelltypen für den konstruktionstechnischen Unterricht von Relevanz:

- a. Das Funktionsmodell: Es ermöglicht die frühzeitige Überprüfung einzelner Funktionen (z. B. Kinetik, Montierbarkeit). Dieses Modell muss nicht die genaue äußere Form wiedergeben, sondern nur die Funktionsoberflächen abbilden, die zur Erfüllung der gewünschten Funktionen notwendig ist. Es benötigt also nicht die vollständige geometrische 3D Beschreibung. Je nach Bauteil ist oft schon eine vereinfachte 2D Zeichnung, die um die Dimension der

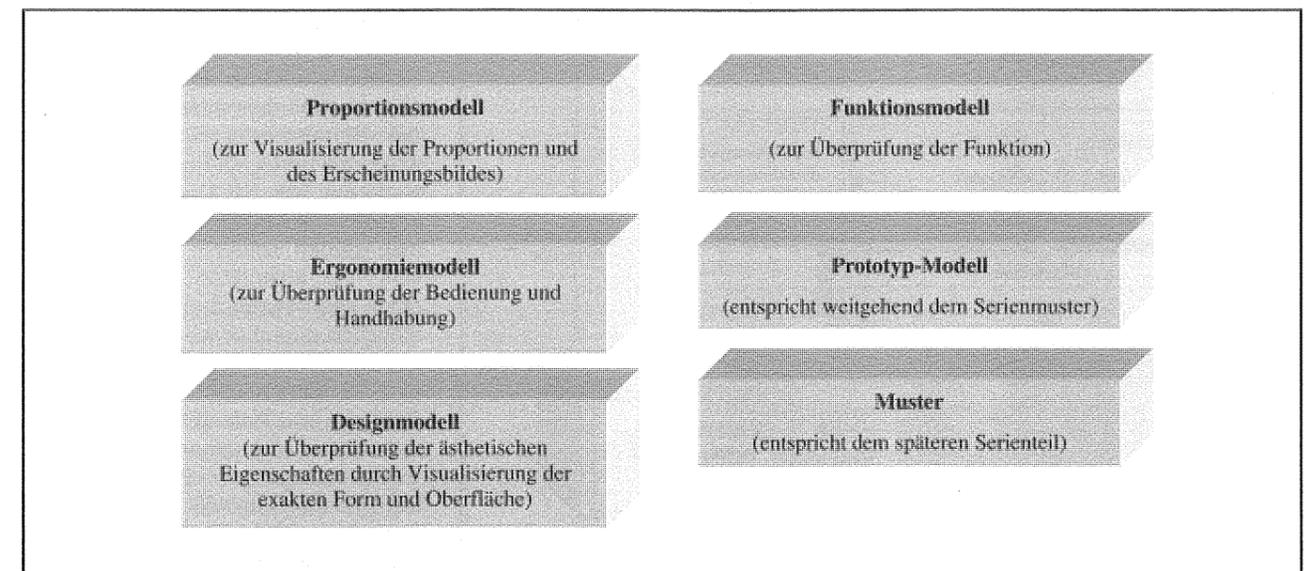


Abb. 4: Einteilung von RP-Modelltypen nach ihrem Zweck

Tiefe auf 2,5D erweitert wird, ausreichend. Solche Zeichnungsunterlagen liefert die Entwurfsphase, sodass sich an dieser Stelle die Einbindung eines mit dem RP-Verfahren generierten Funktionsmodells anbietet. Anhand eines solchen Modells können in einer frühen Phase des Konstruktionsprozesses die gewünschten Ei-

genschaften überprüft und rechtzeitig notwendige Veränderungen erkannt werden.
 b. Das Prototyp-Modell: Es entspricht weitgehend dem eigentlichen Endprodukt. Ein Prototyp ermöglicht den vollständigen Test aller Produkteigenschaften. Die Einbeziehung eines Prototyp-Modells in den konstruktionstechnischen Un-

terricht ermöglicht es, innerhalb kurzer Zeit ein erfahrbares Handlungsergebnis des Konstruktionsvorgangs zu erhalten. Mithilfe des Modells ist eine umfassende und praxisrelevante Bewertung und Reflexion des gesamten Konstruktionsprozesses möglich. Die in der ersten Phase des Konstruktionsprozesses erarbeitete Anforderungsliste zeigt detailliert die angestrebten Ziele auf, die mithilfe solcher Modelle auch quantitativ zu überprüfen sind. Sichtbare Schwachpunkte lassen sofort Rückschlüsse auf die Entscheidungen innerhalb der einzelnen Phasen des Konstruktionsvorgangs zu, sodass eine sehr gute Bewertung und Reflexion aller Phasen des Konstruktionsprozesses ermöglicht wird (vgl. Abb. 5).

Didaktische Aspekte der Einbindung des Rapid Prototyping in den konstruktionstechnischen Unterricht

Schüler zu motivieren, sich aktiv an den Unterrichtsprozessen zu beteiligen, ist eines der wichtigsten aber auch schwierigsten Ziele jeglichen Unterrichts, denn Motivation stellt die Voraussetzung für aktives Lernen dar. Motivation kann nicht planmäßig vermittelt oder erzeugt werden. Motivation ist höchst autonom, da es nicht möglich ist, jemanden gegen seinen Willen für etwas zu begeistern. Die Schwierigkeit der Motivationsförderung besteht dementsprechend darin, die Begeisterung der Schüler zu wecken. Dieses könnte durch die Verwendung von RP-Modellen im konstruktionstechnischen Unterricht erzielt werden. Dadurch wird es ermöglicht, die abstrakten Handlungsprodukte der Schüler unmittelbar gegenständlich erfahrbar werden zu lassen. Der gesamte Konstruktionsprozess gewinnt eine neue Qualität, da den Schülern von Anfang an bewusst ist, dass sämtliche Überlegungen und Entscheidungen zur Gestaltung ihrer Konstruktion unmittelbar sichtbar werden. Dies führt dazu, dass sie viel stärker motiviert sind, sich engagiert und ernsthaft mit der Konstruktion auseinander zu setzen. Durch die Mo-

tivation wächst der Wunsch, sich aktiv an der Realisierung des Vorhabens zu beteiligen. Eine erfolgreiche Realisierung führt zu einem ganzheitlichen Konstruktionsvorgang mit hoher innerer Befriedigung, die sich wiederum positiv auf neue Lernprozesse auswirkt. Der Konstruktionsprozess verliert die Unverbindlichkeit der ausschließlich theoretischen Ebene, mit der Schwierigkeit der praktischen Überprüfbarkeit theoretisch entwickelter Lösungen.

Ein wichtiger Aspekt des handlungsorientierten Unterrichts ist der Anspruch, möglichst einen vollständigen Handlungszyklus anzustreben. Dieser umfasst immer die Hauptphasen Planung, Ausführung, Kontrolle und Bewertung. Im traditionellen konstruktionstechnischen Unterricht konzentriert sich der Schwerpunkt auf die Handlungsphase der Planung, die Phasen Ausführung, Kontrolle und Bewertung der Handlungsergebnisse müssen auf die theoretische Ebene begrenzt bleiben. Kontrolle und Bewertung kann auf der technisch gegenständlichen Ebene nicht erfolgen. Hier könnte die schnelle und unkomplizierte Erzeugung von Modellen und Prototypen mit den RP-Verfahren eine ganz neue didaktische Qualität des Unterrichts ermöglichen. Neben dem motivationssteigernden Effekt besteht die Möglichkeit, Konstruktionen der Schüler ausführlich in Hinblick auf die geforderten Eigenschaften zu kontrollieren und zu bewerten. Es wird direkt der Zusammenhang zwischen planerischem Handeln und dessen Auswirkung auf die physikalische Realität deutlich. Dadurch wird der im handlungsorientierten Unterricht geforderte Aspekt der Ganzheitlichkeit in idealer Weise erzielt.

Grenzen des Einsatzes von RP im konstruktionstechnischen Unterricht

Voraussetzung für die Einbindung von RP-Modellen in den konstruktionstechnischen Unterricht ist das Vorhandensein oder die Nutzungsmöglichkeit einer RP-Anlage. Die wenigsten Schulen werden den finanziellen Aufwand (ca. 40.000 -1.000.000 DM) vertreten können, für den kleinen Bereich

eine solche Anlage anzuschaffen. Als Alternative ist die kooperative Nutzung von RP-Anlagen aus der Industrie oder von mehreren Institutionen denkbar. Zum Beispiel verfügt die Gerhard-Mercator-Universität Duisburg im Fachbereich Maschinenbau über eine hochmoderne RP-Anlage nach dem Verfahren des Lasersinterns. Damit rückt die Möglichkeit näher, im Unterricht RP-Verfahren einzusetzen, jedoch sind hiermit auch

praktische und organisatorische Probleme verbunden.

Ein weiteres Problem stellt die Schnittstelle zwischen CAD- und RP-System dar. Das CAD-System muss über ein geeignetes Schnittstellenformat verfügen, um den Datenaustausch zur RP-Anlage zu ermöglichen. Mittlerweile verfügen die meisten professionellen CAD-Anlagen darüber. Auch wenn der grundsätzliche Datenaustausch funktioniert, sind

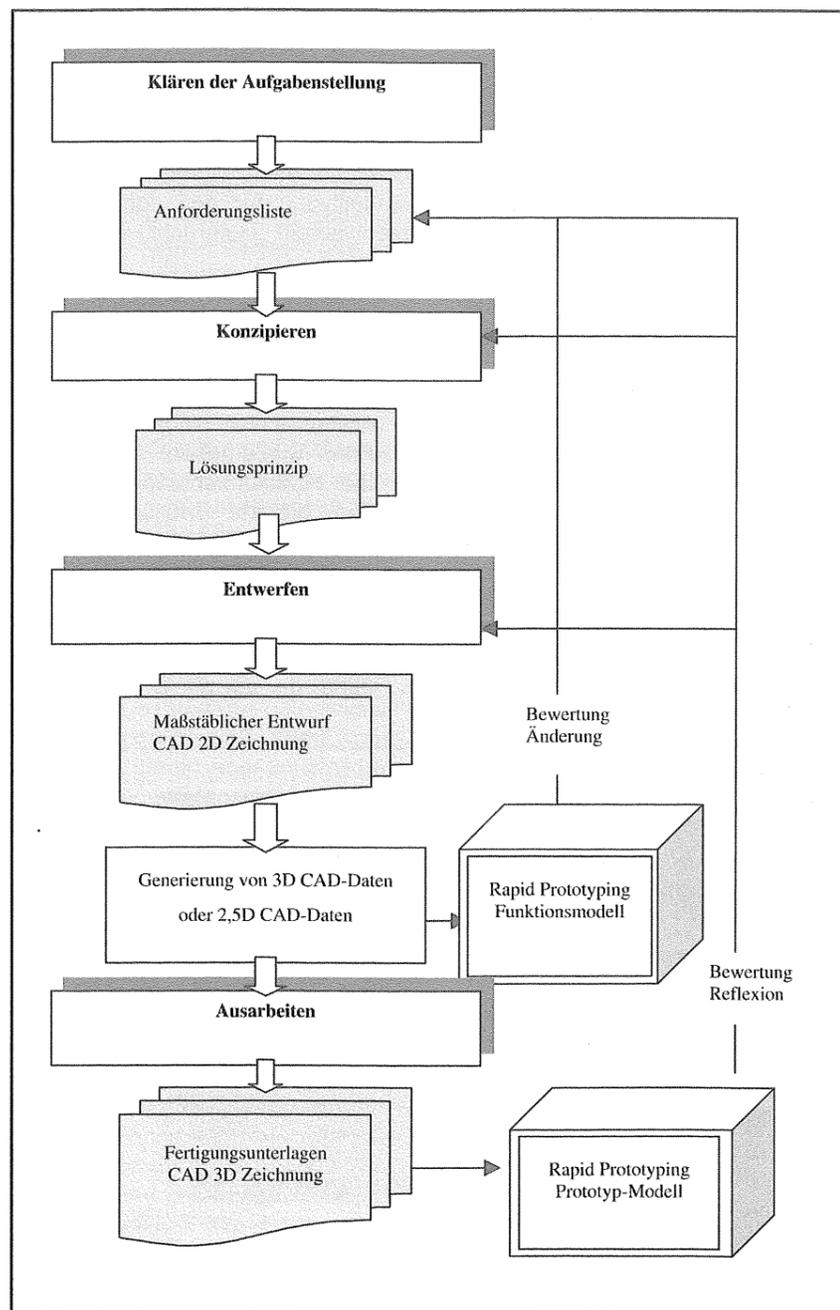


Abb. 5: Rapid Prototyping Modelle im Konstruktionsprozess

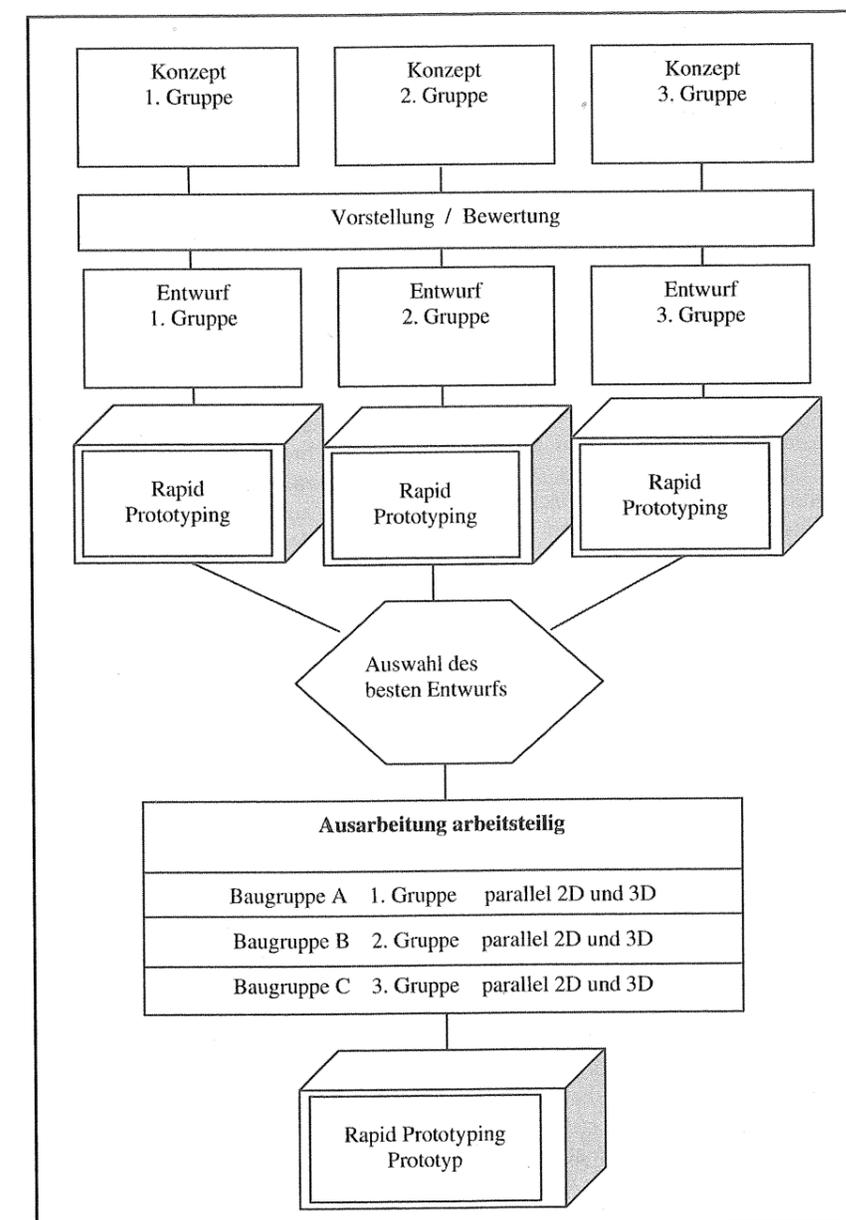


Abb. 6: Mögliche Organisationsform der Bearbeitung einer Konstruktionsaufgabe bei Einbindung von Rapid Prototyping-Verfahren.

weitere Fehlerquellen bei der Interpretation der geometrischen Daten durch das RP-System möglich. Typische Fehler können zum Beispiel durch die falsche Orientierung von Flächen, durch nicht exakt aufeinander stehende Geometrien oder ähnliche Ungenauigkeiten bei der 3D-Datenerstellung entstehen. Zusätzlich ist häufig noch eine Nachbearbeitung der CAD-Daten in der RP-Anlage notwendig. Hierzu zählt die Ergänzung von Hilfskonstruktionen, wie z. B. stützende Wände, sodass das Bauteil während des Fertigungsprozesses nicht umfällt. Dieser Mehraufwand lohnt bei einfachen Bauteilen oft nicht, sodass eine konventionelle Modellfertigung in Hinblick auf Zeit und Kosten überlegen ist.

Ein weiterer Nachteil ist die Begrenzung der Werkstoffe für die RP-Modelle auf wenige Kunststoffe. Dies führt zu einer Einschränkung der Funktionstests. Sobald die Werkstoffeigenschaften von Bauteilen gezielt zur Funktionserfüllung des Systems beitragen, zum Beispiel durch ihre Elastizität (Federn) oder ihre elektrische Leitfähigkeit, ist dieses mithilfe von Kunststoffmodellen, die nicht diese Eigenschaften aufweisen, nicht mehr überprüfbar.

Ein wichtiges Gebiet der Konstruktionsfähigkeit ist die fertigungsgerechte Gestaltung der Bauteile. In Anbetracht des hohen Kostendrucks unter dem Firmen heute stehen, ist es von großer Bedeutung, dass sämtliche Bauteile einer Konstruktion möglichst mit minimalem fertigungstechnischen Aufwand herzustellen sind. Diese praxisrelevanten Forderungen an Konstruktionen sind als bedeutender Aspekt des konstruktionstechnischen Unterrichts nicht zu vernachlässigen. Dies wird allerdings durch ein RP-Modell nicht direkt deutlich. Durch das automatisierte Generierungsverfahren in RP-Anlagen können ohne Schwierigkeit Bauteile erzeugt werden, die konventionell kaum oder überhaupt nicht zu fertigen sind. Folglich ist eine Beurteilung der fertigungsgerechten Gestaltung durch das Modell nicht möglich. Dementsprechend muss die fertigungsgerechte Bauteilgestaltung trotz des Ein-

satzes eines RP-Modells weitgehend auf einer theoretischen Basis vermittelt werden.

Lernorganisatorische Aspekte der Bearbeitung von Konstruktionsaufgaben im Unterricht

Der methodische Ablaufplan (Abb. 2) zeigt, dass der gesamte Konstruktionsvorgang aus verschiedenen Erarbeitungsphasen besteht, die bestimmte Handlungsergebnisse hervorbringen. Diese schülerorientierten Phasen lassen sich am besten in der Sozialform Gruppenarbeit organisieren. Kleingruppen mit einer Größe von maximal drei bis fünf Schülern haben sich als besonders geeignet herausgestellt (vgl. BORRETTY 1988, S. 69.)

Hinsichtlich des Organisationsprinzips bietet sich eine Mischung zwischen arbeitsgleicher und arbeitsteiliger Gruppenarbeit an. In der Konzeptions- und Entwurfsphase empfiehlt sich die arbeitsteilige Gruppenarbeit, da in diesen Phasen ein möglichst breites Lösungsspektrum gesucht wird. Die parallele Bearbeitung führt zu Konkurrenzsituationen zwischen den einzelnen Gruppen, wodurch zusätzlich die Motivation gefördert wird.

Dagegen ist es in mehrfacher Hinsicht ratsam, in der arbeitsintensiven Phase des Ausarbeitens die Form der arbeitsteiligen Gruppenarbeit zu wählen.

Zum einen wird für die Phase der Ausarbeitung der Entwürfe ein hoher Zeitaufwand benötigt, da alle technologischen und geometrischen Eigenschaften der Bauteile bis ins Detail festgelegt werden müssen. Im Hinblick auf den Einsatz von RP ist ein zusätzlicher Zeitaufwand für die Aufbereitung der 3D-Daten einzuberechnen. Dieser Zeitaufwand könnte durch eine zum Teil parallele 2D und 3D-Zeichnungserstellung innerhalb der Gruppen verringert werden.

Zum anderen würde es wenig Sinn machen, die Entwürfe, die nicht die optimale Lösung bieten, bis ins kleinste Detail auszuarbeiten zu lassen.

Ein weiterer Vorteil der arbeitsteiligen Erarbeitung der Fertigungsunterlagen besteht darin, dass alle Schüler sich mit dem Endprodukt identifizieren können.

Anforderungen an Konstruktionsaufgaben für den Einsatz im Unterricht

Die Auswahl von geeigneten Konstruktionsaufgaben ist für den Erfolg des konstruktionstechnischen Unterrichts von grundlegender Bedeutung. Der Schwierigkeitsgrad einer Konstruktionsaufgabe wird durch zwei Momente bestimmt: Zum einen durch fachspezifische und zum anderen durch methodische Anforderungen.

Fachspezifischen Anforderungen

Die Konstruktionsaufgaben sollten sich an aktuellen Problemstellungen der beruflichen Praxis orientieren und nach Möglichkeit an die Erfahrungen der Schüler anknüpfen. Es empfiehlt sich, den aktuellen Praxisbezug durch Dokumente, Modelle, Versuchsmuster zu unterstreichen. Um die Schüler nicht mit fachspezifischen Inhalten zu überfordern und von den methodischen Aspekten abzulenken, sollte sich der fachliche Teil bestmöglich mit dem Kenntnisstand der Schüler decken.

Methodische Anforderungen

Die Aufbereitung der Konstruktionsaufgaben nach methodischen Gesichtspunkten muss besonders sorgfältig erfolgen, da die zu vermittelnden Lerninhalte im Wesentlichen methodischer Natur sind und in ausreichendem Maße bei der Bearbeitung der Konstruktionsaufgabe eingeübt werden sollen. Die methodischen Anforderungen werden im Kern durch die Art und Anzahl der erforderlichen Arbeitsschritte bestimmt. Diese hängen wieder von der Komplexität des zu konstruierenden Objektes ab.

Im Rahmen des konstruktionstechnischen Unterrichts in der beruflichen Erstausbildung sind Aufgaben mit geringem Komplexitätsgrad, wie Baugruppen oder einfache Maschinen, angemessen. Um den Schülern die Möglichkeit zu geben, alle Konstruk-

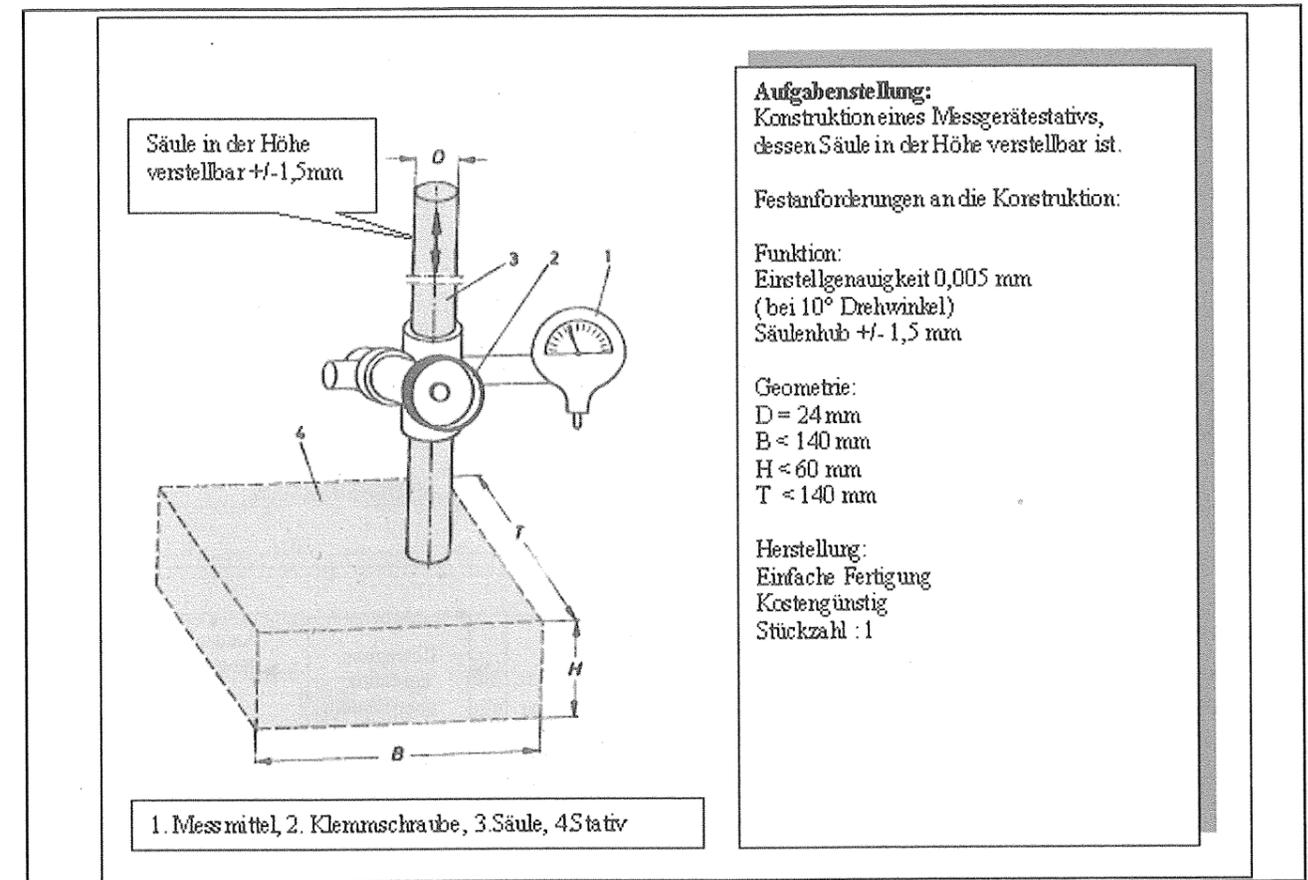


Abb. 7: Aufgabenstellung zur Konstruktionsaufgabe (STEINWACHS 1976)

tionsphasen zu durchlaufen, empfiehlt sich die Formulierung der Aufgabenstellung als Neukonstruktion. In diesem Zusammenhang ist von wesentlicher Bedeutung, dass das zu konstruierende Produkt für die Schüler neu ist. Hierbei genügt eine subjektive Neuheit für die Schüler, sodass es möglich ist, bereits bekannte Konstruktionen nachzuvollziehen mit dem Vorteil, dass der Lehrer schon einen Überblick über mögliche Lösungsmöglichkeiten besitzt. Die Formulierung der Konstruktionsaufgabe muss abstrakt und offen erfolgen, um das Lösungsspektrum möglichst offen zu halten.

Anforderungen in Bezug auf das RP-Verfahren

Im Hinblick auf die Modellbildung mittels des RP-Verfahrens bieten sich als Konstruktionsaufgaben Gegenstände an, die auch aus Kunststoff gefertigt voll funktionsfähig sind. Zum Beispiel

Bauteile, die keinen großen Kräften oder hohen Temperaturen ausgesetzt werden und auch nicht zu groß sind, sodass sie mittels der zur Verfügung stehenden RP-Anlage generiert werden können. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die Bauteile keine zu hohen Anforderungen an die Oberflächenqualitäten aufweisen dürfen.

Beispielaufgabe: Konstruktion eines Messgerätestativs

Nachfolgend erfolgt die exemplarische Darstellung einer Konstruktionsaufgabe und deren methodischer Lösungsgang, die im Rahmen von konstruktionstechnischem Unterricht in Verbindung mit dem RP-Verfahren eingesetzt werden kann. Auf Grund des begrenzten Rahmens eines Zeitschriftenaufsatzes kann nur eine fragmentarische Beschreibung des Lösungswegs erfolgen. Die Wiedergabe erfolgt in Form einer kurzen Beschrei-

bung der systematischen Handlungsschritte und wichtigsten Teilergebnisse. Der vorgestellte Erarbeitungsweg soll als Anregung dienen und zeigt nur eine der Möglichkeiten auf.

Aufgabenstellung

Konstruktion eines Messgerätestativs (der zu konstruierende Bereich ist in der Skizze grau schattiert), dessen Säule sich feinfühlig in der Höhe verstellen lässt, um unterschiedliche Messgeräte exakt auszurichten (vgl. Abb. 7). Die Schwierigkeit der Konstruktion besteht in dem Entwurf geeigneter Mechanismen, die es ermöglichen, mit einer rotatorischen Handbewegung von ca. 10° (Einstellweg), einen Säulenhub von nur 0,005 mm zu erzielen.

Aufstellen einer Anforderungsliste

Das Aufstellen einer Anforderungsliste stellt einen der wichtigsten Schritte

im Konstruktionsprozess dar. An dieser Stelle müssen möglichst detailliert und quantifizierbar die gewünschten Produkteigenschaften festgelegt werden. Die festgelegten Eigenschaften stellen die Kriterien für weiteres Handeln dar. Abb. 8 zeigt den schematischen Aufbau einer solchen Anforderungsliste.

Definition der Gesamtfunktion

Wichtigster Schritt zur Erkennung des eigentlichen Zwecks des zu konstruierenden Gegenstandes ist die abstrakte Formulierung einer Gesamtfunktion. Diese könnte bezogen auf die Aufgabenstellung lauten: Um-

Firma		Anforderungsliste	Seite 1
Nr.	Anforderung	Zahlenangaben	
1.1	Geometrie:	
	Stativfuß:	
	Höhe:	60 mm (+/- 10mm)	
	Breite:	140 mm (+/- 10 mm)	
1.2	Kinematik:	
	Säulenhub:	+/- 1,5 mm	

Abb. 8: Anforderungsliste

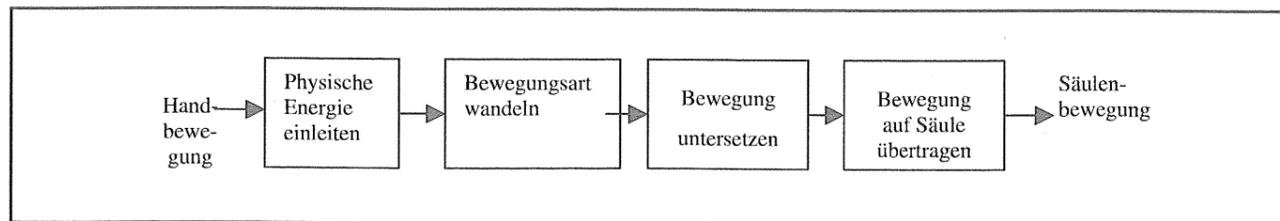


Abb. 9: Funktionsstruktur

wandlung der rotatorischen Handbewegung des Stativbedieners in eine stark untersetzte Hubbewegung der Stativsäule.

Aufstellen der Funktionsstruktur

In diesem Schritt erfolgt eine Unterteilung der Gesamtfunktion in Teilfunktionen niedriger Komplexität. Zielsetzung ist die Entwicklung eines abstrakten Lösungsansatzes, um im weiteren Verlauf ein möglichst breites Lösungsspektrum zu erarbeiten. Die in Abbildung 9 dargestellte Reihenfolge und Anzahl der Teilfunktionen ist nicht zwingend.

Ermitteln von Wirkprinzipien

Das Wirkprinzip beinhaltet den für die Erfüllung der Funktion erforderlichen physikalischen Effekt, sowie geometrische Merkmale der Konstruktion. Abb. 10 zeigt zwei unterschiedliche Wirkprinzipien zu der funktionsbestimmenden Teilfunktion „Bewegung untersetzen“.

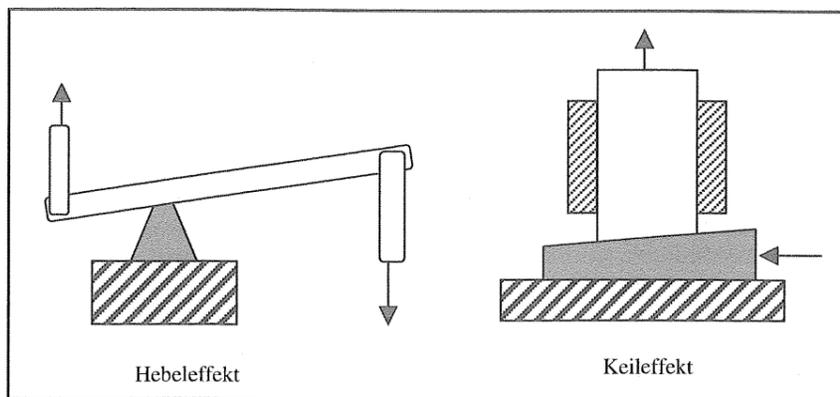


Abb. 10: Mögliche Wirkprinzipien zur Funktion „Bewegung untersetzen“

Erarbeiten von Lösungskonzepten

Abb. 11 beruht auf dem Effekt des Hintereinanderschaltens von zwei Teileffekten. Durch das Lösungskonzept wird das Zusammenwirken der Teillösungen zur Erfüllung der Gesamtfunktion dargestellt. Das Lösungskonzept verdeutlicht den prinzipiellen Lösungsansatz ohne Darstellung der Geometrie der Bauteile. Das

Prinzip a) beruht auf dem Effekt der Hintereinanderschaltung von zwei Untersetzungsprinzipien (Gewinde und Keil) und dient dazu, eine möglichst hohe Gesamtuntersetzung zu erzielen. Das Prinzip b) beruht auf dem Effekt von zwei gegensätzlich arbeitenden Gewinden mit unterschiedlicher Steigung. Nur die Differenz der Steigung der Gewinde wird in den Hub der Säule umgesetzt.

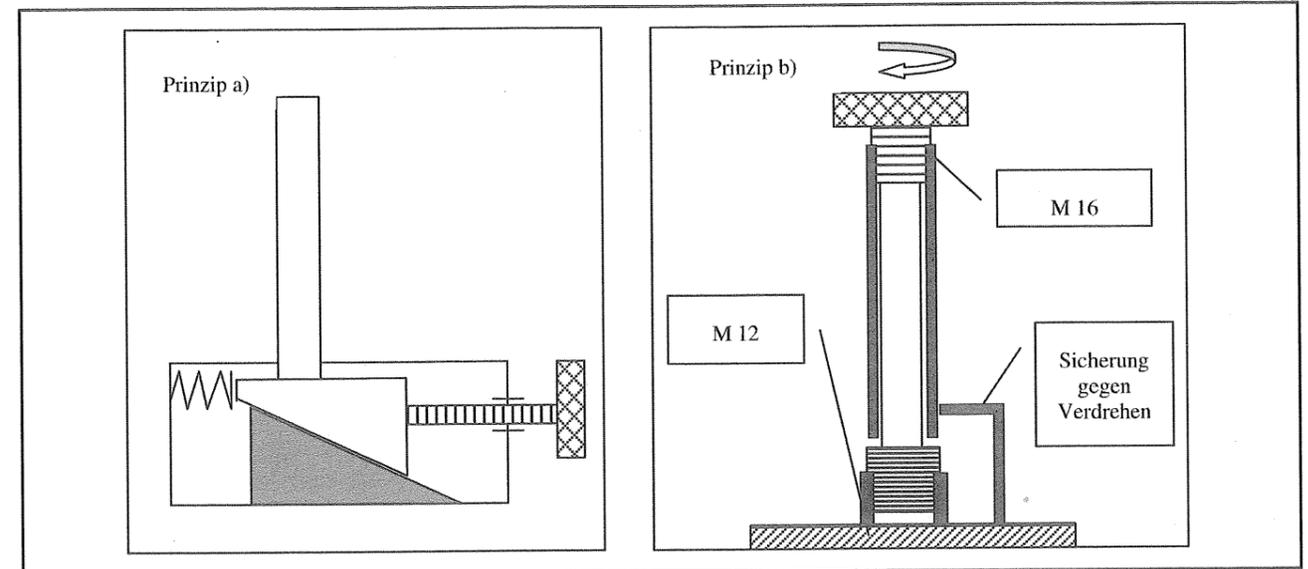


Abb. 11: Unterschiedliche Lösungskonzepte

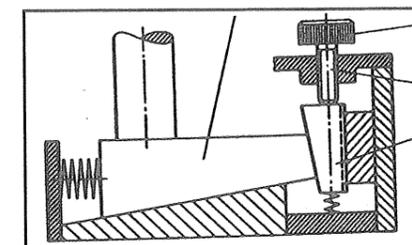


Abb. 12: Entwurfsskizze

Anfertigen einer Entwurfszeichnung

Zielsetzung der Entwurfsphase ist das maßstäbliche Festlegen der Gestalt der Bauteile ohne die Berücksichtigung von Einzelheiten. Abb. 12 zeigt einen Entwurf auf der Basis des Lösungsprinzips a).

Auswahl der am besten geeigneten Konstruktionsentwürfe mit Hilfe eines RP-Funktionsmodells

An dieser Stelle bietet es sich an, mithilfe des RP-Verfahrens Funktionsmodelle aus den unterschiedlichen Schülerentwürfen generieren zu lassen. Dadurch besteht die Möglichkeit, in einem noch nicht zu weit fortgeschrittenen Ausarbeitungszustand die gewünschten Anforderungen an die Konstruktion zu überprüfen. Die Auswahl des am besten geeigneten Konzeptes kann sehr überzeugend durch

die praktische Funktionsprüfung an den RP-Modellen erfolgen. Für die Bauteile Feder und Rändelschraube können Normteile verwendet werden, sodass nur wenige Bauteile mittels RP generiert werden müssen.

Ausarbeiten der Fertigungsunterlagen

Im letzten Schritt erfolgt die Erstellung eines Zeichnungssatzes mit allen zur

Herstellung erforderlichen Angaben. Die Fertigungszeichnung Abb.13 zeigt die Ausarbeitung des Lösungsprinzips b). Die Konstruktion zeichnet sich durch wenige Bauteile aus, die durch einfache Fertigungsverfahren (Drehen, Bohren) herzustellen sind. Das Gewindenspiel wird durch Federn aufgehoben. Die in Abb. 13 dargestellte Lösung wurde im Rahmen der Weiterbildungsmaßnahme „geprüfte(r) Kon-

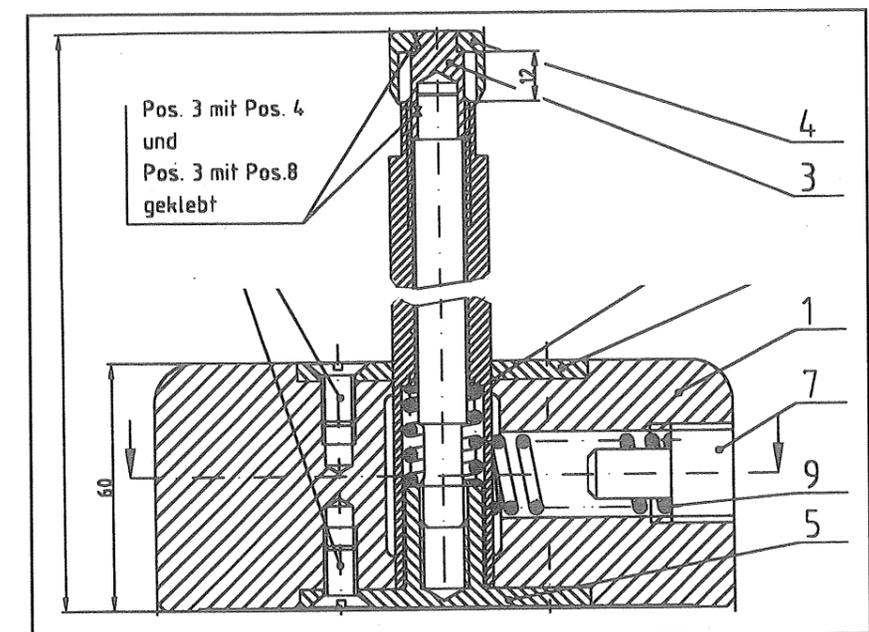


Abb. 13: Ausschnitt aus der Zusammenbauzeichnung

strukteur/-in“ von Teilnehmern entwickelt und erprobt. Die Konstruktion überzeugte durch einfache Fertigung, wenige Bauteile und gute Gebrauchseigenschaften.

Ausblick

Das methodische Vorgehen bei der Bearbeitung konstruktiver Aufgaben im Rahmen der beruflichen Ausbildung ist heute eher die Ausnahme als der Regelfall. Gerade durch das strukturierte und systematische Vorgehen können in idealer Weise generalisierende Handlungsschemata entwickelt werden, die zu einem bedeutenden Teil zur Ausbildung der beruflichen Handlungskompetenz beitragen. Durch die Einbeziehung des RP-Verfahrens in den methodischen Konstruktionsprozess könnte eine ganz

neue didaktische Qualität des konstruktionstechnischen Unterrichts erzielt werden. Hierzu zählt eine hohe Motivation der Schüler, ganzheitliche Lernprozesse und die Möglichkeit der Realisierung vollständiger Handlungszyklen. Andererseits stehen dem Einsatz dieses Verfahrens noch große praktische, technische und finanzielle Hinderungsgründe entgegen. In naher Zukunft werden voraussichtlich nur wenige Schüler die Möglichkeit haben, das RP-Verfahren im Zusammenhang des konstruktionstechnischen Unterrichts kennen zu lernen. Der Aufsatz soll zumindest ein wenig dazu beitragen, dieser Tendenz entgegenzuwirken.

Literatur

LINDE, H. J.: Erfolgreich erfinden: Wider-

spruchsorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure, Darmstadt 1995.

PAHL, G./BEITZ, W.: Konstruktionslehre. Springer. Berlin, Heidelberg 1994.

VDI RICHTLINIEN 2221 UND 2222. VDI Verlag. Düsseldorf 1993.

ROTH, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen Band 1., Springer. Berlin, Heidelberg 1994.

GEBHARDT, A.: Rapid Prototyping. Hanser. München, Wien 1996.

STEINWACHS, H.: Praktische Konstruktionsmethode – Anleitung zum methodischen Konstruieren. Vogel. Würzburg 1976.

FOCKELE, M.: Rapid Prototyping auf dem Vormarsch – neue Methoden der Datenaufbereitung. Der Konstrukteur, Heft 4, 1993, S. 64-66.

Volkmar Herkner

Flexibilisierung beruflichen Lernens durch Zusatzausbildung

Anstöße zur Modernisierung der beruflichen Bildung durch das Zusatzqualifikationskonzept

Schon seit einigen Jahren werden Zusatzqualifikationen im Zusammenhang mit einer erhofften Steigerung der Attraktivität beruflicher Erstausbildung und einer besseren Anpassung der Ausbildungsinhalte an die zukünftigen Anforderungen im Beschäftigungssystem und damit als wichtiges Modernisierungsinstrument in der beruflichen Bildung diskutiert. Nicht nur für Auszubildende, sondern auch im akademischen Bereich wird die Bedeutung und der Bedarf von Zusatzqualifikationen hervorgehoben. Dabei sind Überlegungen über zusätzlich zu erwerbende Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten grundsätzlich nicht neu und schon in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen in Form von so genannten Facharbeiter-Sonderberufen konzeptionell aufgegriffen worden.¹ Später hat beispielsweise

WAGNER (1983, S. 423) von „erforderlichen Zusatz-Qualifikationen“ gesprochen und für die Berufsarbeit „eine zusammenfassende Darstellung wichtiger fachlicher Qualifikationen, die über eine konventionelle Facharbeiterausbildung der Berufsgruppe Metall/Maschinenbau hinausgehen“ (ebd., S. 424), vorgelegt. Noch bevor sich die Debatte über Zusatzqualifikationen durch jene zum Betriebswirt im Handwerk Mitte der 1980er Jahre konkretisierte, hat indes KAERGER den Blick auch auf die Berufsschule zu lenken versucht. Er stellte schon 1983 heraus, dass für Auszubildende der Erwerb von Zusatzqualifikationen zur Verbesserung ihrer zukünftigen Berufssituation beitragen kann. Trotz der für die Berufsausbildung in den Ordnungsmitteln festgeschriebenen Vorgaben und Richtlinien hat hierbei „eine berufliche Schule so viel Spielraum, dass den Schülern zu den verordneten Bildungsinhalten weitere Unterrichtsveranstaltungen angeboten werden können, die ihre zukünftige

Existenzsicherung verbessern. Ein günstiger organisatorischer Rahmen dafür ist ein differenzierter Wahlpflicht- bzw. Wahlkursunterricht zum Erwerb beruflicher Zusatzqualifikationen“ (KAERGER 1983, S. 436).

Interessant ist auch der fast zeitgleich zu WAGNER und KAERGER in der DDR verfolgte Ansatz, wonach einige „Lehrlinge bereits in der Ausbildung in geringem Umfang mit Wissen und Können aus angrenzenden Berufen ausgestattet“ (FLEISCHHAUER 1984, S. 504) werden sollten, was „im Bedarfsfall durch Weiterbildung ergänzt und ausgebaut werden“ (ebd.) kann. Fleischhauer gibt für Dachfacharbeiter das Beispiel einer „Zusatzqualifikation für die Durchführung von Dachbahendeckungen“ (ebd., S. 502) an. Dahinter steckt die Überlegung, dass zu den vorgesehenen Kenntnissen eines Facharbeiterberufes auch „Spezialkenntnisse eines anderen Facharbeiterberufes“ (ebd.) erworben werden können.

In der aktuelleren berufsbildungspolitischen Debatte über Erweiterungs- und Flexibilisierungsansätze in der beruflichen Bildung wird bislang häufig so argumentiert, dass sich Auszubildende schon während der beruflichen Erstausbildung bzw. in der Phase des daran anschließenden Übergangs in das Beschäftigungssystem Zusatzqualifikationen aneignen sollten, um den gegenwärtigen und zukünftigen Anforderungen besser gerecht werden zu können, denn die in den jeweiligen Ordnungsmitteln festgeschriebenen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse werden als nicht ausreichend bzw. zu wenig an aktuellen Entwicklungen ausgerichtet angesehen. So heißt es, Zusatzqualifikationen würden „eine praxisnähere und flexiblere Ausbildung ermöglichen, wo Ausbildungsordnungen zu statisch angelegt oder Inhalte nicht mehr zeitgemäß sind“ (BERGER/BRANDES/HÖCKE 2000, S. 38). Auf Grund des veränderten und sich ständig wandelnden Qualifikations- und Nachwuchskräftebedarfs sind daher gerade Zusatzqualifikationen für die Ausbildungsbetriebe ein geeignetes, flexibel einsetzbares Instrument. Sie scheinen dafür prädestiniert zu sein, die berufliche Erstausbildung sinnvoll zu ergänzen.

Unmittelbaren Nutzen der „ausbildungsbegleitenden Zusatzqualifikationen“ (BERGER 2001, S. 35) ziehen vor allem die Betriebe. Sie besitzen dadurch die Möglichkeit, kurzfristig Qualifikationsdefizite ihres Personals und damit qualifikationsbedingte Engpässe im Betriebsgeschehen beseitigen zu können. Feststellbar ist, dass größere Betriebe eine höhere Bereitschaft zeigen, Zusatzqualifikationen anzubieten (HERGET/WALDEN 2000, S. 25). Bei der Initiierung und Auswahl der zusätzlichen Angebote wird vorrangig von den momentanen beruflichen und betriebsspezifischen Anforderungen, die in der jeweiligen Ausbildungsverordnung nicht berücksichtigt sind, ausgegangen; d. h., die Zusatzangebote werden aus dem betrieblichen Bedarf abgeleitet. Als positiv ist hierbei anzusehen, dass dadurch die angebotenen Zusatzqualifikationen eine enge Verbindung mit der Praxis erhalten (SCHRÖDER/TUSCHKE 2000, S.

62). Bei ungefähr jeder zweiten Zusatzqualifikation steht eine „passgenauere“ Ausbildung am betrieblichen Bedarf sowie die attraktivere Gestaltung der Ausbildung mit dem Ziel, leistungsstarke Auszubildende zu fördern, im Mittelpunkt (BERGER 2001, S. 37).

Auf Grund der Ausrichtung der Zusatzqualifikationen am betrieblichen Bedarf verwundert es nicht, dass in den meisten Fällen deren Einführung ausschließlich auf die Eigeninitiative der Betriebe zurückgeht. Andere an der Berufsausbildung beteiligte Lernorte besitzen eine nachrangige Bedeutung (BERGER 2001, S. 36).

In den angebotenen Zusatzqualifikationen lassen sich, wie Untersuchungen des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) zeigen, unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte und Zielrichtungen feststellen. Die Mehrzahl der Zusatzangebote – unabhängig davon, ob diese im Bereich Handwerk, Industrie oder Dienstleistung offeriert werden – dienen der beruflichen Spezialisierung sowie der Vertiefung von Fachkenntnissen und Fertigkeiten (BERGER 2001, S. 35; WERNER 2000, S. 41). Es wird aber auch betont, dass die Erweiterung und Vertiefung von Sozial- und Methodenkompetenzen eine besondere Bedeutung haben (DYBOWSKI/SCHEMME 1999, S. 19; WERNER 2000, S. 41).

Ungeachtet eines zuweilen noch vorzufindenden unterschiedlichen Verständnisses und der verschiedenen Bewertungen werden Zusatzqualifikationen fast durchgängig mit positiven Assoziationen verbunden. Sie bieten „vielfache Möglichkeiten der Differenzierung, je nachdem, ob die Maßnahmen sich eher auf den Prozess des Lernens oder auf variable, zusätzliche Lernangebote beziehen. So können Methoden, Sozial- und Organisationsformen sowie Medien individuell angepasst werden“ (DYBOWSKI/SCHEMME 1999, S. 13).

Die Möglichkeit des differenzierten Angebotes von Zusatzqualifikationen für jeden Auszubildenden entsprechend seiner Voraussetzungen erhöht auch den Anreiz zu deren Erwerb. So

können die Auszubildenden ihr fachliches Wissen um weitere Komponenten erweitern oder vertiefen. Dadurch kann zum einen die berufliche Mobilität der Auszubildenden und jungen Facharbeiter erhöht werden, und zum anderen verbessern sich gleichzeitig deren Berufschancen. Mit solchen Angeboten werden neben engen betriebsspezifischen Qualifizierungen das Aneignen von extrafunktionalen Qualifikationen gefördert und die Ausbildungsinhalte mit aus benachbarten Berufen bzw. Berufsfeldern stammenden Qualifikationsprofilen angereichert (BERGER 2001, S. 36).

Die positiven Aspekte von Zusatzqualifikationen fassen DYBOWSKI/SCHEMME (1999, S. 13) wie folgt zusammen: „Initiativen zur Förderung individueller Entwicklungswege durch Zusatzqualifikationen beinhalten eine Kombination von Varianten einer curricularen und institutionellen Differenzierung. Profilerweiterungen durch zusätzliche Qualifikationen sind gleichermaßen ein Mittel zur Individualisierung und Differenzierung wie ein Instrument zu mehr Flexibilität und Variabilität beruflicher Bildungsgänge.“

Zusatzqualifikationen sollten am gegenwärtigen und zukünftigen Bedarf orientiert sein, um z. B. auf technologische und arbeitsorganisatorische Veränderungen reagieren zu können. Dieser Diskussionsstand ist keineswegs neu (s. z. B. SCHEMME 1999, S. 28) und mittlerweile kaum noch näher erläuterungsbedürftig. Die Entwicklung und Implementation von Zusatzqualifikationen kann insofern als positiv eingeschätzt werden. Das Konzept gibt Anstöße zu einer Modernisierung der beruflichen Bildung und trägt dazu bei, bestehende Defizite der beruflichen Ausbildung zu verringern, einen weichen Übergang in das Beschäftigungssystem zu ermöglichen und auf die Notwendigkeit einer permanenten beruflichen Weiterbildung hinzuweisen.

Melden Sie bitte
Adressänderungen
dem BAG

Zusatzbildung als berufs-pädagogisches Konzept – Erweiterungsansätze beruflichen Lernens

Aufgabenfelder in Betrieb und Schule

Die Bedeutung der Zusatzqualifikationsdebatte ist wegen ihrer Anstoßfunktion und des damit verbundenen Aufzeigens neuer Konzeptansätze kaum hoch genug einzuschätzen. Dieses betrifft vor allem das Auflösen einer rigiden Ausbildungsorganisation und die Möglichkeit zur Deregulierung und Flexibilisierung der dualen Berufsausbildung. Allerdings können mit diesem Ansatz längst nicht alle Probleme des Berufsbildungs- und des Beschäftigungssystems gelöst werden, wie es aus manchen euphorischen Darstellungen herausklingt. So ist vor übertriebenen Erwartungen zu warnen. Untersucht man nämlich den berufs-pädagogischen Gehalt einmal genauer, so wird ersichtlich, dass es bei solchen Zusatzangeboten um mehr als nur um das kurzfristige Abdecken aktueller betrieblicher Qualifizierungsbedarfe gehen sollte.

Obwohl die duale Berufsausbildung in den Lernorten „Berufsschule“ und „Betrieb“ verankert ist, hat sich das Konzept der Zusatzqualifikationen bislang vor allem am Lernort „Betrieb“ entwickelt und dort mittlerweile auch weitgehend etabliert. So ist die Einführung und Initiierung fast ausschließlich auf die Eigeninitiative der Betriebe zurückzuführen. Alle weiteren Beteiligten haben unter diesem Aspekt eine nachrangige Bedeutung. Eine Untersuchung des BIBB hat ergeben, dass mehr als zwei Drittel der zur Analyse herangezogenen Zusatzqualifikationen unter betrieblicher Beteiligung vermittelt und nur ein sehr geringer Teil an den Berufsschulen bzw. in Kooperation von Berufsschule und Betrieb offeriert werden (BERGER 2001, S. 38).² In einem dual organisierten System sollten aber zusätzliche Lernangebote nicht auf einen Lernort begrenzt bleiben. Unabhängig von dem Befund des BIBB wird im Übrigen die Rolle der weiteren an der Berufsausbildung beteiligten Lernorte zur Vermittlung von Zusatzqualifikation

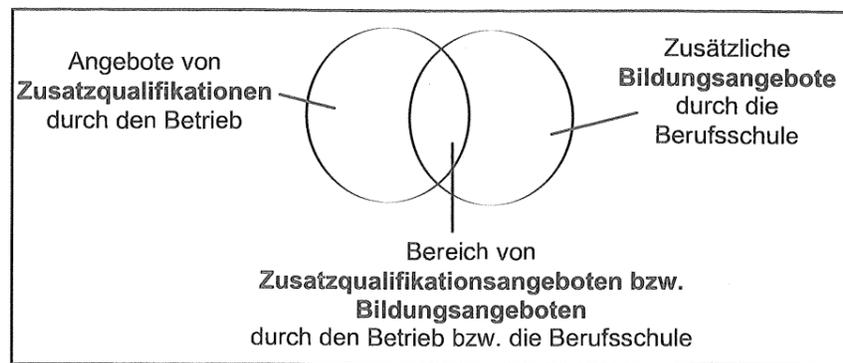


Abb. 1: *Zusätzliche Qualifizierungs- und Bildungsmöglichkeiten in den Lernorten „Betrieb“ und „Berufsschule“ (PAHL/RACH 1999, S. 103)*

nen von Seiten der Betriebe als „bedeutend“ eingeschätzt (HERGET/WALDEN 2000, S. 30). Daraus lässt sich folgern, dass zusätzliche Bildungs- und Qualifizierungsangebote auch von der Berufsschule angeboten werden sollten. Diese müssten dann auch explizit einen Bildungswert enthalten, denn ein solcher Anspruch entspricht dem originären Auftrag der Berufsschule.

Die Lernorte „Betrieb“ und „Berufsschule“ stehen in der dualen Berufsausbildung in enger Verbindung. Die „Zuständigkeit“ von Betrieb und Berufsschule für einzelne Felder der Berufsbildung kann nicht eindeutig abgegrenzt werden. Terminologisch betrachtet überschneiden sich Qualifizierungs- und Bildungsangebote bzw. gehen – folgt man der Typologie – kontinuierlich ineinander über. Denkbar und möglich ist auch, dass solche

zusätzlichen Angebote im engeren Sinne von beiden Lernorten gemeinsam offeriert werden können, um dann sogar lernortkooperationsfördernd zu wirken. Deshalb sollten Zusatzqualifikationen sowohl am Lernort „Betrieb“ als auch am Lernort „Berufsschule“ angeboten werden, oder zumindest ist das als Desiderat anzustreben (vgl. Abb. 1).

Trotz spezifischer Unterschiede in den einzelnen Lernorten können sich spezielle Formen des beruflichen Lehrens und Lernens gegenüber dem jeweils anderen Lernort besonders anbieten und auf diese Weise in der Ausbildung ergänzen. Darin liegt auch eine traditionelle Stärke des dualen Berufsbildungssystems. Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, besteht das originäre Aufgabenfeld des Lernortes „Berufsschule“ tendenziell im Vermitteln eher extrafunktionaler Qualifikation

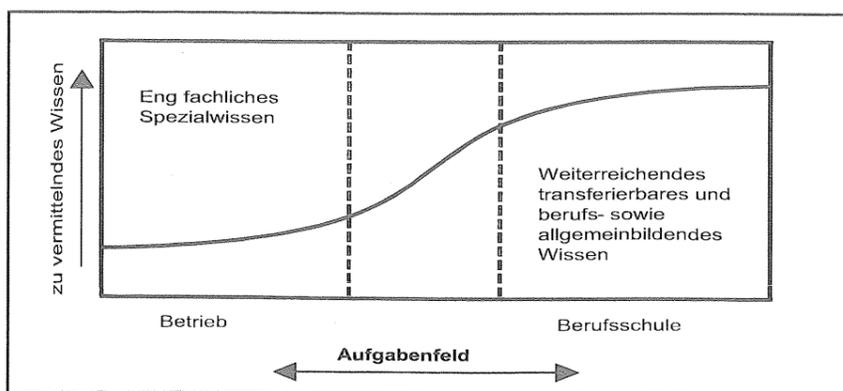


Abb. 2: *Tendenzaussagen zum Aufgabenfeld der Lernorte „Betrieb“ und „Berufsschule“ in Bezug auf das zu vermittelnde Wissen (PAHL/RACH 1999, S. 97)*

tionen, während im Lernort „Betrieb“ eher konkretere, d. h. enger funktionale Qualifikationen ausgebildet werden.

Um den künftigen Anforderungen des Beschäftigungssystems, aber auch den Ansprüchen der jungen Menschen besser gerecht zu werden, sollte durch besondere Angebote in den Lernorten „Betrieb“ und „Berufsschule“ der Übergang der jungen Facharbeiter von der Berufsausbildung in das Beschäftigungssystem erleichtert werden. Die angebotenen Zusatzqualifikationen für die Auszubildenden im Lernort „Betrieb“ bauen dabei auf die Kern- und Basisqualifikationen sowie Fach- und Spezialqualifikationen auf und erweitern bzw. vertiefen diese um eng-fachliches Spezialwissen. Demgegenüber sollte der Lernort „Berufsschule“ zusätzliche Qualifizierungs- und Bildungsangebote bereitstellen, die dann vor allem auf die Erweiterung oder Vertiefung der Kern- und Basisbereiche bzw. Basislernfelder sowie die Fachbereiche und Fachlernfelder abzielen. Dadurch wird stärker das verallgemeinerbare und transferierbare berufliche, aber auch allgemein bildendes Wissen vermittelt und weniger betriebsspezifisches Wissen angesprochen (Abb. 2).

Im Mittelpunkt der Lernangebote sollten unter berufs-pädagogischem Anspruch solche Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse stehen, die nicht nur von den Betrieben unmittelbar verlangt werden, sondern die auch die Berufs- und Lebensperspektive der Lernenden erweitern. Deshalb sollten die zusätzlichen Angebote über eher zufällige Entscheidungen hinaus systematisch in die mittel- und langfristig angelegten beruflichen sowie lebensweltlichen Planungen der Auszubildenden und jungen Facharbeiter einbezogen werden.

Für die betriebliche Berufsausbildung sowie für die Verbesserung der Arbeitsmarktchancen besitzen Zusatzqualifikationen eine große Bedeutung. Viele richten sich – unabhängig von der Leistungsstärke – zunächst an alle Auszubildende. Ein Großteil der Angebote wird für Auszubildende entwickelt, die sich mindestens im zwei-

ten oder im dritten Ausbildungsjahr befinden (BERGER 2001, S. 36). Sie zielen aber häufig, wie es anfänglich vom BIBB auch vorgesehen war, ausschließlich auf leistungsstarke und aufstiegsorientierte Jugendliche der Betriebe (SCHRÖDER 1996). Betrachtet man den Bildungsanspruch, den die Gesellschaft an den Lernort „Berufsschule“, aber auch an die berufliche Bildung im Ganzen stellt, so kann das allein nicht ausreichen. Gerade zur individuellen Förderung leistungsschwächerer, aber lern- und leistungs-

williger Jugendlicher bestehen am Lernort „Berufsschule“ durch wiederholende und vertiefende Angebote gute Möglichkeiten. Einzelne Konzepte können dabei auf die individuellen Voraussetzungen der Lernenden „zugeschnitten“ werden. Hierdurch kann jeder Auszubildende – unabhängig von seiner Leistungsstärke – hinsichtlich seiner Fähigkeiten und Fertigkeiten eine spezielle Förderung erhalten. Der Lernort „Berufsschule“ könnte für leistungsschwache, aber lern- und leistungswillige Auszubildende Stütz-

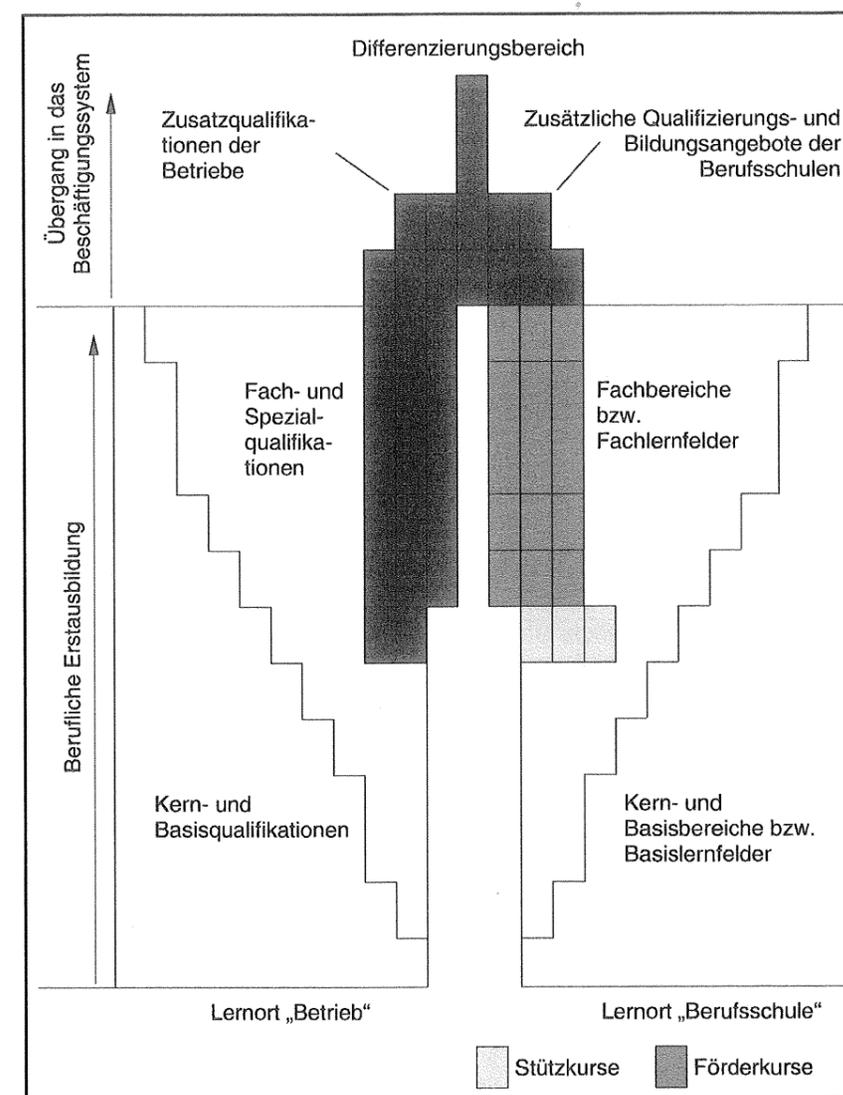


Abb. 3: *Zusatzqualifikationen und zusätzliche Qualifizierungs- und Bildungsangebote – Differenzierungsbereiche mit Förder- und Stützkursen (PAHL/RACH 1999, S. 104)*

bzw. Förderangebote bereitstellen und leistungsstarke Auszubildende durch „Leistungsangebote“ unterstützen (vgl. PAHL/RACH 1999).

Zusätzliche Lernangebote im Rahmen einer Zusatzausbildung bieten damit durch das Zusammenspiel beider Lernorte die Möglichkeit, Auszubildende entsprechend ihrem individuellen Leistungsstand zu fördern und über eine enge betriebsspezifische Qualifizierung hinaus auch dem Bildungsanspruch der Lernenden gerecht zu werden (Abb. 3).

Zusatzausbildung – ein berufspädagogisch innovatives Konzept

Zusatzqualifikationen werden von Betrieben als nützlich angesehen. Dennoch weisen diesbezügliche Konzepte in ihrer berufspädagogischen und didaktischen Reichweite Grenzen auf. Sie bestehen z. B. in der Beschränkung auf Qualifizierung und auf die Adressatengruppe der Leistungsstarken. Da zudem davon auszugehen ist, dass nur selten eine phantasievolle methodische Aufbereitung der Inhalte erfolgt, sollte der Konzeptansatz erweitert werden, um so den berufspädagogischen Gehalt zu erhöhen. Andernfalls stößt man – bei allen positiv einzuschätzenden Wirkungen – sogar auf einige Gefahren. So könnte z. B. bei übertriebener „Modularisierung“ die Beruflichkeit aufgeweicht werden oder ein zu starkes Übergewicht der betrieblichen Ausbildung entstehen, wodurch letztlich sogar eine Schwächung des dualen Systems erfolgen könnte.

Damit die Lernorte mit einem Konzept zusätzlicher beruflicher Lernangebote einen „echten“ Bildungsauftrag erfüllen können, darf sich dieses nicht nur an den betrieblichen Interessen orientieren. Außerdem dürfen nicht nur leistungsstarke Auszubildende angesprochen werden. Gerade für diese Adressatengruppe erfolgt mit dem Konzept der Zusatzqualifikationen auf Grund ihres eher kurzfristigen Wirkungscharakters eine geringe bzw. nur zufällige Einbindung in die berufliche Karriereplanung. Um die berufspädagogische Reichweite der Zusatz-

Zusatzausbildung, weil ...	
... der berufliche Kern durch die Obligatorik erhalten bleibt,	⇒ Erhalt des Berufsprinzips
... eine bessere Verbindung der Lernorte erfolgen kann,	⇒ Kooperation der Lernorte
... nicht nur eine eng betriebsspezifische und daher engzeitbezogene Qualifizierung erfolgt,	⇒ Mobilität der Auszubildenden
... leistungsstarke und lern- und leistungswillige Auszubildende angesprochen werden,	⇒ individuelle Förderung
... eine systematischere Einbindung in die berufliche Karriereplanung erfolgt,	⇒ individuelle Karriereplanung
zusammenfassend:	
... Vorteile zusätzlicher Lernkonzepte (Differenzierung, erweiterte Fachlichkeit, Aktualisierung ...) aufgegriffen und ergänzt werden.	⇒ Flexibilisierung der Berufsausbildung durch Zusatzausbildung

Abb. 4: Vorteile des Konzeptes „Zusatzausbildung“

qualifikationen zu vergrößern, sollte der Ansatz zu einem Konzept zusätzlicher Qualifizierungs- und Bildungsangebote erweitert werden. Dieses kann mindestens zwei positive Effekte bewirken. Zum einen verstärkt es die Einbindung des Lernortes „Berufsschule“, wodurch das duale System symmetrischer würde und gestärkt werden könnte, und zum anderen erweitert es die Adressatengruppe, wenn man Lernangebote unterbreitet, mit denen auch leistungsschwächere, aber lern- und leistungswillige Auszubildende gefördert werden. Mit einem solchen Konzept wird dem Bildungsauftrag entsprochen, den im dualen Berufsbildungssystem beide Lernorte durch ihr gemeinsames Wirken zu erfüllen haben (KMK 1996, S. 14), und es kann eine bessere, wenngleich nicht optimale Einbindung beruflicher Ansprüche und Interessen der Auszubildenden erfolgen.

Bei der Erweiterung des Konzeptes kann mit solchen noch unverbundenen und eher zufällig entwickelten Qualifizierungs- und Bildungsangeboten bei übertriebener „Modularisierung“ der Kern der Beruflichkeit verloren gehen. Dieser Gefahr sollte man

sich bewusst sein. Trotzdem sind zusätzliche Angebote sinnvoll, da sie über eine größere berufsdidaktische Reichweite verfügen. Damit sie aber über Zufälligkeiten hinausreichen, müssen diese Zusatzangebote in einen systematischen Kontext gestellt werden. Dadurch wird es möglich, die berufspädagogische und -didaktische Reichweite besser zu nutzen. Eine systematischer angelegte Zusatzausbildung scheint daher aus verschiedenen Gründen notwendig (vgl. Abb. 4).

Das Installieren von Zusatzangeboten ist auch Ausdruck des Versuchs, auf der ordnungspolitischen Ebene Möglichkeiten für eine Dynamisierung der Berufsausbildung zu schaffen. In den letzten Jahren wurde – angetrieben durch die Neuordnung von Ausbildungsberufen – verstärkt über wandlungsfähigere Rahmenkonzepte für die berufliche Erstausbildung diskutiert. Ausbildungsordnungen neuer Berufe, wie beispielsweise für die neuen Chemieberufe, werden teilweise bereits derart angelegt, dass Kombinations- und Variationsmöglichkeiten beim Erlernen eines Berufes bestehen (SCHRÖDER/TUSCHKE 2000, S.

60). Die darin enthaltenen Wahlpflichtqualifikationseinheiten bieten einen günstigen Ansatz, um durch das Nutzen auch jener Angebote, die nicht für den obligatorischen Teil der Erstausbildung ausgewählt werden, zu einer systematischen Zusatzausbildung zu gelangen. In solchen Fällen würden die Obligatorik und Additiv bzw. Erstausbildung und Zusatzausbildung zu einem organischen Ganzen miteinander verschmelzen.

Im Mittelpunkt neuerer Betrachtungen für den berufsschulischen Teil der dualen Ausbildung steht der fächerübergreifende Ansatz – z. B. in Form von Lernfeldern. Diese werden als „didaktisch begründete, schulisch aufbereitete Handlungsfelder“ umschrieben (BADER/SCHÄFER 1998, S. 229). Die Strukturierung des schulischen Curriculums in Lernfelder – wie sie in den Ordnungsmitteln der neuen oder neu geordneten Berufe verankert sind – ermöglicht eine flexiblere Gestaltung der Ausbildung und somit zudem, Veränderungen der Arbeitswelt in einem gewissen Rahmen auch eigenverantwortlich im Unterricht zu berücksichtigen. Neben einer solchen Integration neuerer Aspekte in die Lernfelder des zur Obligatorik zu zählenden Teils des Berufsschulunterrichts könnten als „echte“ Zusatzangebote des Lernortes „Schule“ weitere Lernfelder entwickelt werden, die jene der in dem jeweiligen Rahmenlehrplan der Kultusministerkonferenz (KMK) aufgeführten als Wahlkurse ergänzen (s. hierzu den konkreten Vorschlag von SCHÜTTE zur Ausbildung im Beruf „Mechatroniker/-in“; SCHÜTTE 2001).

Zusatzausbildung für flexibilisierte Lernkonzepte

Es ist mittlerweile unstrittig, dass es von Vorteil ist, wenn Auszubildende während der Berufsausbildung oder als junge Facharbeiter parallel zur Erwerbsarbeit zusätzliche Qualifikationen erwerben, um den Anforderungen im Beschäftigungssystem besser gerecht zu werden und ihre Arbeitsmarktchancen zu erhöhen. Eine Zusatzausbildung muss die Bedürfnisse der Lernenden und die der Betriebe berücksichtigen. Dazu ist die Zusatzausbildung sowohl unter Einbezie-

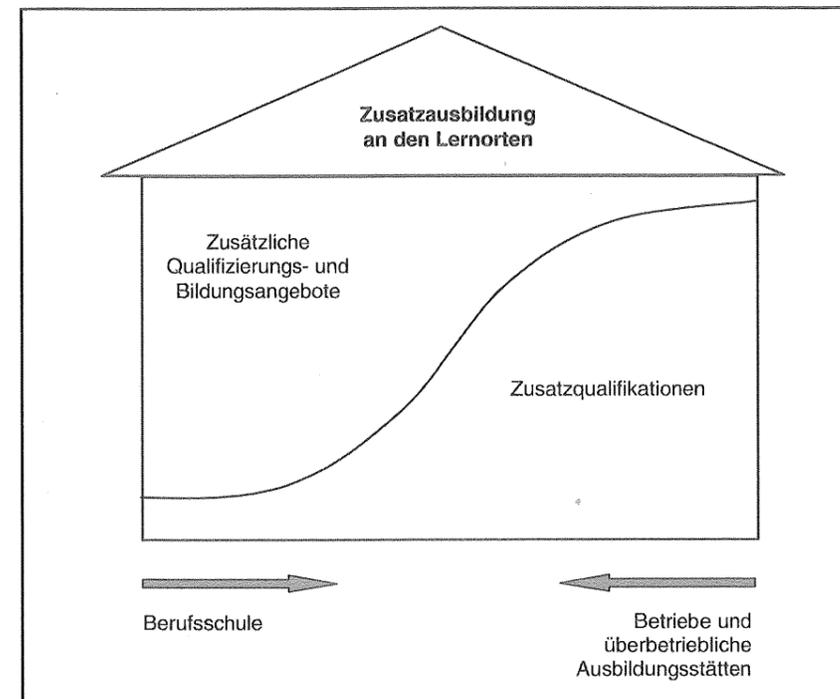


Abb. 5: Konzept „Zusatzausbildung an den Lernorten“ (PAHL/RACH 2001, S. 6)

hung aller Lernorte als auch unter primär berufspädagogischen und berufsdidaktischen Gesichtspunkten zu gestalten. Die verschiedenen Lernangebote während der Berufsausbildung sind hierbei aufeinander abzustimmen. Auf diese Weise ließen sich die bestehenden Vorteile des Konzeptes „Zusatzqualifikation“ erhalten und dessen Nachteile mindern. Ein derart verstandenes Konzept würde den Ansatz erweitern und eine sinnvolle systematische Ergänzung der beruflichen Erstausbildung darstellen. Die Zusatzausbildung ist dann aus zusätzlichen Qualifizierungs- und Bildungsangeboten der Berufsschule, aber auch aus Notwendigkeiten der Ausbildungsbetriebe und überbetrieblichen Ausbildungsstätten zu konzipieren. Nach einer solchen Interpretation kann die Zusatzausbildung als das „gemeinsame Dach“ verstanden werden, unter dem verschiedene Lernangebote zusammengefasst sind (Abb. 5).

Wenn an den Lernorten eine solche berufspädagogisch begründete Zusatzausbildung gelingt, dann sind die schon mit dem Konstrukt der Zusatzqualifikationen verwendeten positiven

Attribute tatsächlich berechtigt, ohne sich auf „plattes“ und engfachliches Qualifizieren zu beschränken. Langfristig könnte damit eine Flexibilisierung der Berufsausbildung durch ein System von Zusatzqualifikationen und zusätzlichen Qualifizierungs- und Bildungsangeboten gelingen, sodass den Auszubildenden ein besserer und reibungsloserer Übergang in das Beschäftigungssystem ermöglicht wird.

Anmerkungen

- 1 Als Facharbeiter-Sonderberufe galten jene Berufe, bei denen über die ordnungsgemäße Lehre in einem Grundberuf hinaus „die vertiefte Einarbeitung in ein Teilgebiet dieses Grundberufes oder in ein diesem verwandtes Gebiet hochwertiger Arbeiten erforderlich ist“ (DATSCH 1926, S. 11). Die Nähe eines solchen Konstrukts zum heutigen Ansatz einer beruflichen Erstausbildung mit Zusatzqualifikation(en) liegt auf der Hand.
- 2 Dieses Ergebnis ist mit großen Unsicherheiten behaftet und daher nur sehr vorsichtig zu interpretieren. Es bedeutet nicht zwangsläufig, dass an den Berufsschulen insgesamt weniger zusätzliche Lernangebote vorzufinden seien. Schwierigkeiten bestehen darin, sol-

che Angebote zu erfassen und sie auf eine vergleichbare Stufe mit den gemeldeten betrieblichen Zusatzqualifikationsangeboten zu stellen, d. h., sie solcherart auch zu charakterisieren.

Literatur

BADER, R./SCHÄFER, B.: Lernfelder gestalten. Vom komplexen Handlungsfeld zur didaktisch strukturierten Lernsituation. In: Die berufsbildende Schule. 50. Jg., Heft 7-8/1998, S. 229-234.

BERGER, K.: Zusatzqualifikationen in der betrieblichen Ausbildungspraxis – Organisation und Erfahrungen. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis. 30. Jg., Heft 1/2001, S. 35-39.

BERGER, K./BRANDES, H./HÖCKE, G.: Zusatzqualifikationen – ein Spektrum und Organisationsformen. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis. 29. Jg., Heft 1/ 2000, S. 38-42.

DATSCH (DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR TECHNISCHES SCHULWESEN) (HRSG.): Lehrgang für Maschinenschlosserlehrlinge (bisher Maschinenbauerlehrlinge). Berlin 1926.

DYBOWSKI, G./SCHEMME, D.: Förderung individueller Entwicklungswege durch Zusatzqualifikationen. In: BUNDESINSTITUT FÜR BERUFSBILDUNG, DER GENERALSEKRETÄR (HRSG.): Personalentwicklung durch Berufsbildung: Strategien, Instrumente, Zusatzqualifikationen. Bielefeld 1999, S. 11-27.

FLEISCHHAUER, K.-H.: Weiterbildung für neue Arbeitsaufgaben auf der Grundlage der Facharbeiterqualifikation. In: Berufsbildung, 38. Jg., Heft 11/1984, S. 502-504.

HERGET, H./WALDEN, G.: Zusatzqualifikationen in der betrieblichen Praxis-Bedarf, Verbreitung und Fördermöglichkeiten. In: BERGER, K. (HRSG.): Zusatzqualifikationen in der Berufsausbildungspraxis: Aktuelle Ergebnisse aus empirischen Untersuchungen und Fördervorhaben. Berichte zur beruflichen Bildung. Heft 241, Bielefeld 2000, S. 18-37.

KAERGER, R.: Berufliche Zusatzqualifikationen. Bildungsangebot an Berufsschüler zur Verbesserung ihrer zukünftigen Arbeitssituation. In: Die berufsbildende Schule. 45. Jg., Heft 7-8/1983, S. 434-443.

KMK (KULTUSMINISTERKONFERENZ): Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Bonn, 9.5.1996.

PAHL, J.-P./RACH, G.: Zusatzqualifikationen für die betriebliche Ausbildung und Bildungsangebote für das Berufskolleg. In: VERBAND DER LEHRERINNEN UND LEHRER AN BERUFSKOLLEGS IN NW E.V. (HRSG.): Berufskolleg – Chancen erkennen, nutzen und gestalten. Dokumentation zum Berufsbildungskongress des vlbs 1999. Krefeld 1999, S. 90-110.

PAHL, J.-P./RACH, G.: Zusatzausbildung in den Lernorten. Wissensgesellschaft und berufliches Lernen. In: Berufsbildung. 55. Jg.; Heft 68/2001, S. 3-7.

SCHEMME, D.: Zusatzqualifikationen im Bereich Arbeitsorganisation, Kommunikation und Kooperation – Erste Erfahrungen und Ergebnisse aus Konzepten am Übergang von Aus- und Weiterbildung.

In: MOYÉ, J./HERKNER, V. (HRSG.): Blickfeld: Zusatzqualifikation. Dresden 1999, S. 25-33.

SCHRÖDER, R.: Zusatzqualifikationen für leistungsstarke Auszubildende. In: Berufliche Bildung – Kontinuität und Innovation. Dokumentation des 3. Fachkongresses vom 16.-18.10.1996 in Berlin, Teil II. Berlin 1996, S. 819-822.

SCHRÖDER, H./TUSCHKE, S.: Zusatzqualifikationen in Industrie und Handel Baden-Württembergs. Ergebnisse einer regionalen Befragung. In: BERGER, K. (HRSG.): Zusatzqualifikationen in der Berufsausbildungspraxis: Aktuelle Ergebnisse aus empirischen Untersuchungen und Fördervorhaben. Berichte zur beruflichen Bildung. Heft 241, Bielefeld 2000, S. 60-84.

SCHÜTTE, F.: „Miniaturisierung“ – Eine nachgefragte Zusatzqualifikation im Bereich der Metall- und Maschinentechnik und ein wichtiges Thema beruflicher Weiterbildung. In: Berufsbildung. 55. Jg., Heft 68/2001, S. 36-38.

WAGNER, F.: Qualifikation eines NC-Facharbeiters und die erforderlichen Lehrinhalte in der Berufsausbildung. In: Die berufsbildende Schule. 35. Jg., Heft 7-8/1983, S. 414-429.

WERNER, D.: Verbreitung, Zielsetzungen und Perspektiven von Zusatzqualifikationen – Ergebnisse einer regionalen Befragung. In: BERGER, K. (HRSG.): Zusatzqualifikationen in der Berufsausbildungspraxis: Aktuelle Ergebnisse aus empirischen Untersuchungen und Fördervorhaben. Berichte zur beruflichen Bildung. Heft 241, Bielefeld 2000, S. 38-59.

Was begründet selbstorganisiertes Lernen?

Warum selbst organisiert Lernen?

Facharbeiter sollen

- Arbeitsaufträge übernehmen.
- Arbeiten selbstständig erledigen.
- Verantwortung übernehmen.
- ...

Aber Schüler

- werden instruiert!
 - sind Konsumenten – nicht Akteure!
 - werden eindimensional kontrolliert!
- und Lehrer

- verstehen sich als kompetente Fachleute und veranschaulichen rein fachliche Zusammenhänge,
- stellen Aufgaben als Nachvollzug,
- kontrollieren und selektieren durch fachsystematische und punktuelle Testverfahren.

Deshalb wollten wir im Rahmen des SOL

- Unterricht und Lehrerausbildung als komplexen Problemlöseprozess verstehen und organisieren,
- Lerner erreichen,
- dass Lerner für sich, mit anderen und für andere lernen,
- dass Lerner ihren Problemlöseprozess überprüfbar machen bzw. selbst überprüfen, um ihn begründen bzw. rechtfertigen zu können,

- Lernen mit Risiko praktizieren,
- Selbstorganisation von Selbststeuerung abgrenzen.

Ziele des Modellversuchs:

- Selbstorganisiertes Lernen ermöglichen,
- Möglichkeiten der Informationsbeschaffung mit Internet und Multimedia auf ihre Tauglichkeit zur Verbesserung des Grades an Selbstorganisation erkunden,
- Möglichkeiten der Simulation von technischen und organisatorischen Prozessen auf ihre Tauglichkeit für selbstorganisierten Unterricht prüfen,
- Möglichkeiten des Einsatzes von Edutainment in selbstorganisiertem Unterricht erkunden,
- Möglichkeiten der Veränderung von Kommunikationsschemata in Internet und Intranet als Unterstützung selbstorganisierten Unterrichts erkunden,
- Profilbildung von Schulen ankurbeln und orientieren,
- Verbesserung der Lehrerausbildung bewirken.

Aufgaben des Modellversuchs waren:

- Problemlösefähigkeit & Handlungskompetenz entwickeln,
- vernetztes Denken initiieren,
- prozessorientierte Selbstorganisation unterstützen,
- aktive & autonome zu Kooperationen anleiten,

- Fehler als Chance verstehen,
- Kreativität fördern,
- Bewältigung von emotionalen Belastungen unterstützen.

Die Herausforderung für Bildungsprozesse bestand im Modellversuch darin, dass sich Lerner und Lehrer als Subjekte verstanden, die ein ganzheitliches Menschenbild vor Augen halten.

Welche Schüler haben mitgemacht?

Die Unterrichtsreihe zum Modellversuch SOL wurde an der Gewerblichen Schule Dillenburg durchgeführt. Die Klasse war eine Grundstufenklasse des Berufsfeldes Elektrotechnik mit 26 Auszubildenden aus 4 Elektroberufen. Hierbei waren die Elektroinstallateure mit 9 Schülern die größte Berufsgruppe. 1 Schüler lernte Büroinformationselektroniker. Aus den Industrieberufen waren 8 Energieelektroniker Fachrichtung Anlagentechnik, 3 Energieelektroniker Fachrichtung Betriebstechnik und 5 Industrieelektroniker Fachrichtung Gerätetechnik vertreten.

Das Alter der Schüler war mit 17-19 Jahren ausgesprochen homogen. Lediglich zwei Abiturienten fallen mit 21 Jahren auf, was jedoch für den Unterricht ohne Bedeutung blieb.

Etwas bedeutsamer waren immerhin die Schulabschlüsse. Zwei Schüler fielen als Abiturienten mit ihrer Vorbil-

Martin Tetzner

SOL – Selbstorganisierter Unterricht in einer Grundstufenklasse Elektrotechnik

Womit hat alles angefangen?

Im Rahmen des KMK-Modellversuchs SOL (Selbstorganisierte Lernprozesse und neue Lernwelten in der beruflichen Bildung) wurde an unserer Schule u. a. ein Konzept entwickelt, in dem Teile des Rahmenlehrplans handwerklicher und industrieller Elektroberufe als selbstorganisierte Lern-

prozesse im Lernfeld „Lern- und Arbeitsmethoden“ umgesetzt wurden. Konkret sollten die Schüler unter Bezug auf den elektrotechnischen Zusammenhang „Nichtlineare Widerstände in Anwendungsschaltungen“ eine selbst gewählte Anwendungsschaltung planen, herstellen und bewerten (vgl. Abb. 1).

Hierzu wurde eine präsentationsgestützte Simulation betrieblicher Abläufe als unterrichtsstrukturierendes Element entwickelt. Welche Planungsschritte erfolgten, welche Hilfsmittel entstanden und welche Effekte der Unterricht hatte, soll im Folgenden dargestellt werden.

Lernfeld	Lern- und Arbeitsmethoden
2. Ausbildungshalbjahr	
Zielformulierungen	
Die Schülerinnen und Schüler entwickeln eine „Lernkultur“, indem sie Lernprozesse selbst organisieren, in Teams zusammenarbeiten sowie ihre Erfahrungen und Erkenntnisse analysieren.	
Um Lernaufgaben, die sich inhaltlich auf die anderen Lernfelder beziehen, selbstständig bearbeiten zu können, erschließen sie Informationsquellen, beschaffen zielgerichtet Informationen, werten diese aus und können diese im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung verarbeiten.	
Sie lernen, ihre Arbeitsergebnisse zu dokumentieren und zu präsentieren.	
Hierbei nutzen die Schülerinnen und Schüler verschiedene Informations- und Kommunikationstechniken/-medien	

Abb. 1: Was haben wir geplant?

dung aus dem Rahmen und erledigten alle Aufgaben „mit links“, was mich tendenziell unter den Druck setzt, sie „anspruchsvoller“ zu behandeln.

Im Vergleich zu meinen sonstigen Erfahrungen war nicht erstaunlich, dass die Leistungen der Elektroinstallateure auf niedrigerem Niveau lagen und die Industrieelektroniker die leistungsfähigste Gruppe darstellten. Dieses Jahr gab es aber mit 3 Installateuren erfreuliche Ausnahmen von der Regel.

Die unterrichtlichen Rahmenbedingungen waren nicht hervorragend.

Die Unterrichtsorganisation brachte es mit sich, dass ich neben dem 14-tägig jeweils 6-stündigen Modellversuchstag am Freitag in der 7. u. 8. Stunde den Lehrgang Steuerungstechnik unterrichtete und der andere Hauptberufsschultag ansonsten von herkömmlichem Lehrgangsunterricht geprägt war.

Die räumlichen Bedingungen waren dagegen interessant. Für den Unterricht stand ein Raum zur Verfügung, der mit einigem Recht als integrierter Fachraum bezeichnet werden kann. Im vorderen Teil befand sich ein Plenumsbereich mit Tischen, in dem die

Schüler ob ihrer großen Zahl zwar sehr eng saßen, der aber für Plenumsphasen durchaus geeignet war. Im hinteren Teil befanden sich Laborische, auf denen mit einer Grundausstattung für Grundlagenversuche praktische Arbeiten wie Experimente und Prüfaufgaben durchgeführt werden konnten.

Schräg gegenüber lag auf dem gleichen Flur einer der PC-Räume, der 10 Rechner mit einer Windows 95-Ausstattung enthielt, die vernetzt und im Rahmen von SOL mit einem Internetzugang ausgestattet wurden.

<i>Organisation, Verfahren und Mittel der Facharbeit</i>	<i>Eigenschaften, Funktion und Technik der Gegenstände der Facharbeit</i>	<i>Betriebliche, gesellschaftliche und individuelle Anforderungen an Technik und Facharbeit</i>
- Information über Sinn der Arbeit mit Lernaufgaben		- Zielgerichtetes und verantwortungsbewusstes Lernen - Verantwortungsbewusstsein für eigene Tätigkeiten entwickeln und die Bedeutung der eigenen Tätigkeit erkennen. - Metakommunikation
- Auswahl einer Anwendungsschaltung aus wenigen Möglichkeiten (z. B. Thermometer, LDR-Blinker etc.)		- Identifikation mit der eigenen Arbeit
- Wege der Informationsbeschaffung und Arbeitsweisen im betrieblichen Ablauf nutzen.	- Umgang mit einer virtuellen Betriebssimulation - Nutzung eines PC als Informationsbeschaffungsquelle - Abarbeiten einer nicht linear verknüpften Präsentation zur Beschaffung von Arbeitsaufträgen und Informationen - Nutzung einer Lernstation	- Entdecken von Ordnungsmustern in technischen, aber auch betrieblichen Systemen - Umgang mit Anwendersoftware - Zielgerichtetes Arbeiten und Lernen - Interessantes und abwechslungsreiches Arbeiten und Lernen
- Arbeitsplanung	- planende Strukturierung der eigenen (Fach-)Arbeit	- zielgerichtetes Arbeiten - Entdecken und Aufrechterhalten von Ordnungsmustern in Facharbeit - Eigene Informationsdefizite feststellen und äußern. - Planungs- und Kommunikationsmethoden
- Bauteilebestellung	- Nutzung von Katalogen, Preislisten und technischen Spezifikationen in Print-, Datenträger- und Online-Medien - Bauteilelisten erstellen - Preisvergleiche anstellen - Bestellungen planen	- interaktive Auseinandersetzung mit Lerngegenständen einschl. Verantwortungsübernahme - Kommunikation intern - Kommunikation extern

<i>Organisation, Verfahren und Mittel der Facharbeit</i>	<i>Eigenschaften, Funktion und Technik der Gegenstände der Facharbeit</i>	<i>Betriebliche, gesellschaftliche und individuelle Anforderungen an Technik und Facharbeit</i>
- Layoutanalyse	- Layout lesen - Layout mit Schaltungsunterlagen vergleichen - Fehler entdecken - Fehler beseitigen	- Lesen technischer Unterlagen - Entdecken von Unregelmäßigkeiten in Ordnungsschemata - Wiederherstellen von Ordnungsschemata - Normen und Vorschriften der Elektrotechnik anwenden - Fähigkeiten und Einstellungen erwerben, die ihr Urteilsvermögen und ihre Handlungsbereitschaft und -fähigkeit vergrößern.
- Beschaffung von Informationen über Bauteile (Datenblätter etc.) via Internet oder CD-ROM u. ä.	- Fachliteratur, - Tabellenbücher, - Datenblätter, Print - Datenblätter, online - Datenblätter, CD-ROM	- Beschaffung von Informationen - Einordnung von Informationen in Anwendungen
- Entwurf der Anwendungsschaltung mithilfe von Simulationssoftware (EWB)	- Generierung von Schaltungen in Simulationsmedien - Testen von Schaltungen in Simulation - Variieren von Schaltungen in Simulationen	- Modelle von Wirklichkeit simulativ abbilden - Modelle simulativ testen - Modelle simulativ variieren - Normen und Vorschriften der Elektrotechnik anwenden
- Herstellung der Schaltung	- Bauteile vorbereiten - Bauteile einlöten - ggf. Bauteilverbindungen herstellen (Silberdraht löten) - Schaltungsperipherie verdrahten bzw. anschließen - Schaltung in Gehäuse einbringen	- typische Arbeitsmethoden der Elektrotechnik kennen lernen
- Selbsthergestellte Schaltungen prüfen und analysieren.	- Analyse und Messungen an selbst erstellten Schaltungen mit elektrotechnischen Methoden durchführen. - Fehlerhaftigkeit handwerklichen Tuns erkennen.	- LZ2, 5 und 6 des Lehrgangs ET2 - Lernen mit Risiko
- Fehler beseitigen.	- Selbst erkannte Fehler beseitigen. - Erfolgserlebnisse nach Fehlerbeseitigung als Ansporn zu selbstständigem Tun erleben.	- Urteilsvermögen und Handlungsfähigkeit bzw. -bereitschaft vergrößern.
- Eigene Arbeitsprozesse und Produkte nach selbst gefundenen Kriterien bewerten.	- Kriterien für technische Produkte und eigenes Tun entwickeln und zielgerichtet anwenden. - Eigene Arbeit möglichst angstfrei selbst bewerten.	- Entwickeln von Kriterien für eigene und fremde Arbeitsergebnisse - Einordnen eigener Arbeitsergebnisse in externe Ordnungsmuster - Übernahmebereitschaft für Verantwortung entwickeln - Analyse-Methoden - Lerner sollen für sich, mit anderen und für andere lernen

Organisation, Verfahren und Mittel der Facharbeit	Eigenschaften, Funktion und Technik der Gegenstände der Facharbeit	Betriebliche, gesellschaftliche und individuelle Anforderungen an Technik und Facharbeit
<ul style="list-style-type: none"> - Kleinexperimente zur gezielten Erarbeitung oder Sicherung elektrotechnischer Grundstufeninhalte planen, durchführen und auswerten. 	<ul style="list-style-type: none"> - systematisch Messschaltungen aufbauen, - Messwerte aufnehmen und protokollieren. - Interpretation der Ergebnisse vornehmen. - Ergebnisse darstellen. - Nichtlineare Bauelemente kennen lernen und ggf. klassifizieren 	
<ul style="list-style-type: none"> - Dokumentation der eigenen Arbeit erstellen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erstellung und Bearbeitung einfacher Textdokumente in Anwendungsprogrammen - Erstellen und Bearbeiten einfacher elektrotechnischer Zeichnungen in Anwendungsprogrammen 	<ul style="list-style-type: none"> - Präsentation von Arbeitsergebnissen

Abb. 2: Handlungsschritte der Schüler in tabellarischer Form

Folgende Aufgabe wurde gestellt: Planung, Herstellung, Prüfung und Beurteilung einer Anwendungsschaltung mit nichtlinearen Widerständen.

Im Folgenden werden die geplanten Handlungsschritte der Schüler in tabellarischer Form dargestellt, um die unterschiedlichen Bereiche der beruflichen wie individuellen Handlungsfähigkeit übersichtlich und im gegenseitigen Bezug aufzuzeigen (Abb. 2).

Strukturbildende Hilfsmittel

Als unterstützendes Strukturelement lag den Schülern eine PowerPoint-Präsentation für die Simulation betrieblicher Abläufe vor. In der Präsentation konnten sie sich an insgesamt 10 PC-Arbeitsplätzen per Hyperlink wie in ihren Abenteuerspielen bewegen und alle benötigten Informationen finden. Die Präsentation enthielt die Inhalte nach Abb. 3. (Die zugrunde liegende Präsentation ist im Rahmen der gesammelten Unterrichtsideen des Modellversuchs SOL auf CD-ROM gepresst für 15,- DM bei den Gewerblichen Schulen Dillenburg erhältlich. Auf dieser CD-ROM sind aber auch alle anderen Ideen und Materialien zur Verfügung gestellt.)

Bevor die Schüler sich mit dem PC auseinandersetzen konnten, waren zwei Schritte notwendig:

- Als erstes war die neue Unterrichtsform zu besprechen.

- Zweitens musste in einer kurzen Einführung der grundsätzliche Sinn und die Funktionsweise der Präsentation verdeutlicht werden.

Dies geschah zunächst in einem Schüler-Lehrer-Gespräch. Danach erfolgte die Einführung in Form und Inhalt der Präsentation durch eine auch akustisch unterlegte Intro-Präsentation.

Die nächsten Wochen waren geprägt von der Auseinandersetzung der Schüler mit dem Fertigungsauftrag und der Nutzung der verschiedenen PC-Programme. Weil die Unterrichtsreihe in der Grundstufe stattfand, lag eben auch auf der Auseinandersetzung mit den Arbeits- und Lernmethoden ein Schwerpunkt. Nach der Projektarbeit bewegten sich die Schüler ganz souverän in einer Office-Umgebung, konnten z. B. das Simulationsprogramm Electronic Workbench oder das Elektro-Zeichen-Programm bedienen und hatten auch erste Erfahrungen mit Bauteildaten auf CD-ROM und Surfen im Internet gemacht.

Die allermeisten brachten auch – nicht ohne Mühen und Rückschläge – eine funktionsfähige Anwendungsschaltung zustande.

Und was meinten die Schüler zum Ganzen?

Anstatt einer Bewertung des Modellversuchs seien hier exemplarisch einige wenige Schüleraussagen zitiert, die den ausführlichen Dokumentationen der Zielgruppe entnommen wurden:

- „Am Anfang hatten wir leichte Kommunikationsschwierigkeiten in der Gruppe, die sich zum Schluss des Projektes sehr gebessert haben. ... zu unserem Lehrer wollten wir noch sagen, das mit der Idee als Firma war Sch..., aber ansonsten war das mit der Gruppenarbeit nicht schlecht.“

- „Im Grunde genommen gab es eigentlich nichts auszusetzen am Projekt, aber ich muss ganz offen gestehen, dass ich mehr hätte leisten können, als ich es letzten Endes realisiert habe.“

- „Es waren eine Menge Verbesserungen nötig, um das Thermometer funktionsbereit zu machen.“

- „Bei dem Projekt wurden wenig Kenntnisse über die einzelnen Bauteile vermittelt. ... Bei dem Projekt wurde Teamarbeit und selbstständiges Arbeiten gelernt. ... Die Arbeit mit dem PC war am Anfang schwierig und zeitaufwändig, weil wenig PC-Kenntnisse vorhanden waren.“

Entwicklungsabteilung	Einkaufs-abteilung	Qualitätszirkel	Produktion	Personal-abteilung	Qualitäts-kontrolle	Lerninsel
<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklungsaufträge mit Rahmenbedingungen - Schaltungsunterlagen - Funktionsbeschreibungen - Erläuterungen zum Simulationsprogramm - Schaltungsunterlagen zur Simulation - Bauteilinformationen - Datenblätter - Layout - Optischer Eindruck 	<ul style="list-style-type: none"> - Beschaffungslisten 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbeitsplanformular - Infos zum Arbeitsplan - Hinweis auf Kriterienerstellung 		<ul style="list-style-type: none"> - Bericht über Arbeits- und Lernprozess - Gruppenprozessbericht - Infos zu Beurteilung der Mitarbeiter und der Produkte - Hinweise zum Inhalt der Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> - Infos zur Bewertung der Produkte - Arbeitspläne zur Bewertung der Produkte - Kriterienkataloge - Auswertebogen - Anleitung zum Thermometerabgleich 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbeitsblätter zu: <ul style="list-style-type: none"> - NTC / PTC - Messprotokoll: Messung an der Schaltung - Messung an der Schaltung - Theorie/Übung zu Brückenschaltung - Grafische Dimensionierung von Spannungsteilern - Arbeitspunktbestimmung - Belastbarkeit

Abb. 3: Was war wo im PC zu finden?

Durch viele Aufträge mit dem PC wurden die Kenntnisse erweitert.“
 – „Die Projektarbeit war sehr sinnvoll, da man sieht, was man geleistet hat.“

– „Nicht so gut gefallen hat uns die Hektik, die manchmal aufgetreten ist und der Stress. ... Insgesamt betrachtet war das Unterrichtsprojekt

sehr interessant und eine völlig neue Erfahrung.“
 – „Es hat mehr Spaß gemacht als normaler Unterricht.“

Ständiger Hinweis

Bundesarbeitsgemeinschaft Elektrotechnik-Informatik und Metalltechnik

Alle Mitglieder der BAG Elektrotechnik-Informatik und der BAG Metalltechnik müssen eine Einzugsermächtigung erteilen oder zum Beginn eines jeden Kalenderjahres den Jahresbeitrag (zur Zeit 53,- DM eingeschlossen alle Kosten für den verbilligten Bezug der Zeitschrift lernen & lehren) überweisen. Austritte aus der BAG Elektrotechnik bzw. der BAG Metalltechnik sind nur zum Ende eines Kalenderjahres möglich und müssen drei Monate zuvor schriftlich mitgeteilt werden.

Die Anschrift der Geschäftsstelle der Bundesarbeitsgemeinschaft Elektrotechnik lautet:

BAG Elektrotechnik-Informatik
 Geschäftsstelle, z. H. Herrn A. Willi Petersen
 c/o biat – Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik
 Munketoft 3
 24937 Flensburg
 Tel.: 04123 / 959 727
 Fax: 04123 / 959 728
 Konto-Nr. 7224025,
 Kreissparkasse Pinneberg (BLZ 221 514 10).

Die Anschrift der Geschäftsstelle der Bundesarbeitsgemeinschaft Metalltechnik lautet:

BAG Metalltechnik
 Geschäftsstelle, z. H. Herrn Michael Sander
 c/o Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung (FPB)
 Wilhelm-Herbst-Str. 7
 28359 Bremen
 Tel.: 0421 / 218 4924
 Fax: 0421 / 218 4624
 Konto-Nr. 4520,
 Kreissparkasse Verden (BLZ 291 526 70).

Bernhard Bonz (Hrsg.):

Didaktik der beruflichen Bildung.

Schneider-Verlag Hohengehren, Baltmannsweiler 2001, Bd. 2 der Reihe „Berufsbildung konkret“, 270 Seiten, kartoniert, DM 36,00, ISBN 3-89676-339-3.

Im Band 2 der Reihe „Berufsbildung konkret“ finden sich 13 Beiträge zur Didaktik der beruflichen Bildung. Gegliedert ist der Band in die drei Teile „Allgemeine Grundlagen“, „Methodik der beruflichen Bildung“ und „Zur didaktischen Diskussion in der beruflichen Bildung“. Unterzieht man die einzelnen Artikel einer genaueren Betrachtung, dann lassen sich die Aufsätze der Teile I und II als zusammenfassende Plattform der didaktischen Diskussion der vergangenen Dekade bezeichnen. Die Artikel von HANS-JÜRGEN ALBERS, ROLF DUBS, THOMAS DEIBINGER, BERNHARD BONZ, GÜNTER PÄTZOLD, ANDREAS SCHELTEN und DIETER EULER greifen Fragen der allgemeinen Grundlagen und der Methodik der beruflichen Bildung auf. Anspruch der einzelnen Beiträge ist, auf Grund der Veränderungen in der Berufs- und Arbeitswelt den damit einhergehenden Wandel in der Didaktik nachzuvollziehen, so der Herausgeber. In der Einführung zu den Beiträgen wird gar

darauf verwiesen, dass ein Perspektivwechsel in Bezug sowohl auf die Lehr-Lern-Theorie und die Unterrichtspraxis stattgefunden hat. Diesem Anspruch hält allerdings eine gewisse Überprüfung der Artikel nicht stand. Eher wird der aktuelle Diskussionsstand zur Didaktik und Methodik dokumentiert. Es zeigt sich bei den Beiträgen deutlich, dass die Lücke zwischen dem Wandel der Berufs- und Arbeitswelt und den damit für Didaktik und Methodik verbundenen Herausforderungen noch nicht geschlossen ist. Hier ist weitere, tief greifende Forschung angesagt. Die wiederholte „interne“ Auseinandersetzung mit bekannten Modellen und didaktischen Konzepten, der Relevanz curricularer Vorgaben, der Notwendigkeit, die Fächertrennung zu überwinden, der Rahmenbedingungen für die Entwicklung didaktisch-curricularer Vorgaben oder der Bedeutung von Multimedia hat zwar einen hohen Stellenwert, wird jedoch dem Anspruch des Herausgebers nicht gerecht, den Perspektivwechsel aufzuzeigen.

Erste Perspektiven für die Forschungsrichtung werden im Beitrag von GERALD A. STRAKA sichtbar, der sich mit lern-lehr-theoretischen Grundlagen der beruflichen Bildung befasst. In Teil III des Bandes steht die Diskussion des Zusammenhangs von

Handlungsorientierung und Kompetenzentwicklung (REINHARD CZYCHOLL), Lernfelder als curriculare Vorgaben (PETER F.E. SLOANE), Modularisierung (JOSEF RÜTZEL), Konstruktivismus (ALFONS BACKES-HAASE) und empirischen Befunden zur Didaktik der Berufsbildung (REINHOLD NICKOLAUS) an. Besonders aktuell sind in diesem Teil die Artikel zu den Lernfeldern und der Modularisierung. Bei Ersteren stellt der Verfasser heraus, dass Lernfelder zu fächerübergreifenden curricularen Vorgaben führen und deshalb didaktisch-methodisches Denken und Handeln besonders herausgefordert sind. Zu ähnlichen Erkenntnissen kommt RÜTZEL bei seinen Ausführungen zur Modularisierung, der er dann wesentliche Chancen einräumt, wenn die Leitziele oder bildungsdeale erst einmal neu bestimmt sind.

Auch wenn die Artikel dem Anspruch des Herausgebers BERNHARD BONZ nicht voll gerecht werden (siehe oben), kann der Band 2 von „Berufsbildung konkret“ als gelungener Sammelband für Studierende, Lehrende an beruflichen Schulen, Auszubildende und Betriebspädagogen empfohlen werden. Er gibt einen guten und aktuellen Überblick über die verschiedenen Positionen zur Didaktik der beruflichen Bildung.

Georg Spöttl

Andreas Gebhardt

Rapid Prototyping. Werkzeuge für die schnelle Produktentstehung.

2., völlig überarbeitete Auflage, Carl Hanser Verlag, München/Wien 2000. DM 158,00, ISBN 3-446-21242-6.

Rapid Prototyping-Verfahren (RPV) sind neuartige Fertigungsverfahren zur Herstellung von Modellen und Prototypen. Gebhardt setzt sich mit ihnen umfassend und wissenschaftlich auseinander. Er beleuchtet zunächst aus der Sicht der Produktentwicklung die ökonomischen Bedingungen, die die Verbreitung der RPV

angetrieben und bewirkt haben. Er beschreibt ausführlich technisch die am Markt angebotenen Rapid Prototyping-Maschinen. Davon getrennt werden die allgemeinen Merkmale aufgezeigt, die die RPV auszeichnen und von anderen Fertigungsverfahren abgrenzen. Er informiert über die Folgeprozesse, die man heute in Verbindung mit RPV einsetzen muss, um Beschränkungen hinsichtlich der Materialeigenschaften und Oberflächengüte auszugleichen.

Seit Erscheinen der ersten Auflage 1996 wurde die Entwicklung neuer Anwendungen auf den Werkzeugbau ausgerichtet. Die Neuauflage geht darauf mit dem Kapitel „Rapid Too-

ling“ ein. Die Anwendbarkeit der Verfahren wird mit Fallbeispielen umfangreich beschrieben. Neben den technischen Anwendungen belegen Verwendungen in Medizin, Architektur und Kunst die große Innovation und die Breite des Einsatzes der Verfahren. Im Anhang enthält das Buch Tabellen mit den technischen Kennwerten der z.Zt. käuflichen Maschinen, RP-Werkstoffe, der CAD-Software und der Programme, die zur Datenaufbereitung benötigt werden. All dies eignet sich gut zum Nachschlagen.

Gebhardt weist aber auch auf die Schwächen und Grenzen der neuen Technik hin. Im theoretischen Teil leitet er aus den grundlegenden physi-

kalischen Vorgängen Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren ab und nennt begrenzende Faktoren anhand mehrerer Kriterien. Bei den industriellen RPV identifiziert er die Oberflächengüte, die Materialeigenschaften und die kleine Ausbringungsrate als Schwächen und leitet daraus Anforderungen an zukünftige Verfahren ab. In der laufenden Forschung und Entwicklung sieht er zwei Hauptrichtungen: die Entwicklung neuer Werkstoffsysteme und die technische Vervollkommnung der neuen Verfahren. Hierzu beschreibt er ausgewählte Tendenzen.

Das Buch geht allerdings nicht auf die Auswirkungen ein, die RPV für die Arbeitstätigkeiten und Qualifikationsan-

forderungen sowie den Weiterbildungsbedarf von Modell- und Werkzeugbauern mit sich bringen. Ebenso wenig setzt es sich mit den Einflüssen auf die betriebliche Organisation und die Arbeitsteilung auseinander, wie etwa Konstruktion, Produktentwicklung, Modellbau und Prototypenfertigung in RP-Prozessen kooperieren und neuartige Teamarbeit möglich wird.

Für Personen, die in der beruflichen Aus- und Weiterbildung über RPV unterrichten wollen, eignet sich das Buch sehr gut zur Erarbeitung der erforderlichen Kenntnisse, zur Auswahl des Lehrstoffes und Erarbeitung von Unterrichtsmaterial. Es ist verständlich geschrieben und liefert den technischen Stoff, wenn er auch nicht in

Heinrich Schanz (Hrsg.):

Berufs- und wirtschaftspädagogische Grundprobleme.

Schneider-Verlag Hohengehren, Baltmannsweiler 2001, Bd. 1 der Reihe „Berufsbildung konkret“, 256 Seiten, kartoniert, DM 36,00, ISBN 3-89676-338-3.

Der erste Band der Schriftenreihe „Berufsbildung konkret“ will zentrale Problembereiche der Berufs- und Wirtschaftspädagogik beleuchten. Diese sind den drei Themenkomplexen: Berufsbildung als wissenschaftliches Problem, personelle Probleme (Lehrende und Lernende) und organisatorische Probleme der Berufsbildung zugeordnet.

Den größten Raum nehmen die sechs Beiträge zur Berufsbildung als wissenschaftliches Problem ein. Dieser Schwerpunkt wird aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet: MARTIN SCHMIEL und KARL-HEINZ SOMMER stellen in ihrem Beitrag die Berufs- und Wirtschaftspädagogik als wissenschaftliche Disziplin in den Mittelpunkt ihrer Überlegungen. ALFONS BACKES-HAASE gibt die Entwicklungslinien und den Diskussionsstand der Berufsbildungstheorie wieder. KARLHEINZ GEIBLER und OLAF GERAMANIS widmen sich dem Thema „Beruflichkeit im Wan-

del“. Dabei bleibt allerdings unerwähnt, dass das behandelte Berufskonzept das männliche und nicht das weibliche ist. BERND OTT behandelt in seinem Beitrag „Ganzheitliches Systemverständnis und Qualitätsmanagement beruflicher Bildung“ die zentralen Aspekte von Lern- und Unternehmenskulturen. MANFRED HORLEBEIN beschäftigt sich mit der ethischen Dimension der Wirtschaftsdidaktik. BERNHARD BONZ schließlich beendet den ersten Themenkomplex dieses Sammelbandes mit dem Beitrag „Fachdidaktische Probleme der Berufsbildung“, in dem er auch die aktuellen fachdidaktischen Diskussionslinien der Lernfelder sowie der Berufsfeldwissenschaften aufgreift.

Den kleinsten Raum nimmt der Themenkomplex „Personelle Probleme – Lehrende und Lernende“ ein. Drei Beiträge lassen sich hier finden: REINHOLD NICKOLAUS und ULRICH SCHWICHTENBERG beschäftigen sich mit der Aus- und Weiterbildung von Lehrern und Auszubildenden. HORST BIERMANN nimmt die berufliche Bildung von Benachteiligten in den Blick. ERICH DAUENHAUERS Beitrag setzt sich mit der Problematik der Arbeitslehre als Wissenschafts-, Studien- sowie Schulfach auseinander. Eine ausgedehntere und differenzierte Behandlung (z. B. von Mädchen und junge Frauen in der Be-

didaktischen Einheiten aufbereitet ist. Für Leser, die sich lediglich einen ersten Überblick verschaffen wollen, halte ich das Buch für ungeeignet. Dafür ist es zu umfangreich und zu teuer. Aus diesen Gründen eignet es sich auch nicht als Lehrbuch für Auszubildende oder Teilnehmer an Weiterbildungskursen.

Insgesamt gesehen leistet das Buch einen hervorragenden, praktisch nützlichen Beitrag zur Strukturierung, Beschreibung und Einordnung des Wissens um die Funktion, den Entwicklungsstand und die Verwendbarkeit von Rapid Prototyping-Verfahren.

Hans Müller

berufsbildung, Begabte in der Berufsbildung) wäre wünschenswert gewesen.

Fünf Beiträge akzentuieren das organisatorische Problem der Berufsbildung aus verschiedenen Blickrichtungen: HEINRICH SCHANZ leitet den Themenbereich mit einem Überblick in die Differenziertheit des beruflichen Bildungswesens ein. WOLF-DIETRICH GREINERT beschäftigt sich mit Kernfragen des beruflichen Bildungswesens, nämlich mit Krise und Umbruch des dualen Systems. GÜNTER PÄTZOLD trägt zu einem „Dauerbrenner“ des dualen Systems bei, zur Problematik der Lernortkooperation. MARGIT FRACKMANN behandelt „neue Qualifikationsanforderungen und deren Auswirkungen und Berücksichtigung in der Berufsbildung“. Abgeschlossen wird dieser dritte Themenkomplex von WOLFGANG WITTEWITZ, dessen Beitrag den Bereich der beruflichen Weiterbildung thematisiert.

Der Sammelband wird abgerundet durch ein leserfreundliches Sachwortregister. Er richtet sich an Studierende, Lehrer/-innen und Ausbilder/-innen und will diesen eine Einführung in grundlegende Problembereiche der Berufsbildung geben. Diesen Anspruch kann dieser Band auch einlösen!

Karin Rebmann

Protokoll der außerordentlichen Mitgliederversammlung der Bundesarbeitsgemeinschaft Elektrotechnik

Die außerordentliche Mitgliederversammlung der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik e.V. fand am 19. Oktober 2000 im Rahmen der Tagung zum Modellversuch „Prozess- und Organisationsmanagement in der Ausbildung“ in Berlin statt. Die Einladung erfolgte per schriftlicher Einladung mit Schreiben vom 2. Oktober 2000 bzw. per E-Mail mit gleichem Datum. Der Entwurf der Satzung wurde unter www.biat.uni-flensburg.de/bag vor der Mitgliederversammlung veröffentlicht. Anwesenheit: siehe Anwesenheitsliste (kann beim Vorstand eingesehen werden)

Tagesordnung:

1. Begrüßung, Wahl des Protokollführers
2. Umbenennung der Bundesarbeitsgemeinschaft *Elektrotechnik* in *Elektrotechnik-Informatik*
3. Beschluss über weitere Satzungsänderungen
4. Beschluss über die Höhe des Mitgliedbeitrages
5. Sonstige Informationen

TOP 1: Herr Dänhardt begrüßt die Anwesenden. Er stellt die ordnungsgemäße Einberufung der Mitgliederversammlung und deren Beschlussfähigkeit fest. Gegen die Tagesordnung werden keine Einwendungen erhoben. Herr Gerd Haake wird als Protokollführer gewählt.

TOP 2: Durch den Vorsitzenden werden die gegenwärtigen Entwicklungen in der Entwicklung der Berufe dargestellt, die immer mehr die Tendenz zeigen, dass durch die Lernfeldorientierung immer mehr Berufe außerhalb des Berufsfeldes Elektrotechnik angesiedelt werden. Das betrifft sowohl die Berufe der IT-Branche wie auch die Medienberufe und die neuen Berufe Mikrotechnologie und Mechatroniker. All diese Berufe beinhalten neben Inhalten der klassischen Elektrotechnik auch Inhalte anderer Berufsfelder. Als weitere Diskussionsbasis wurde die unterschiedliche Sichtweise für den Begriff Informatik erläutert. Dr. Dänhardt begründete den Vorschlag des Vorstandes, die BAG in Elektrotechnik-Informatik umzubenennen. Daran schloss sich eine umfangreiche Diskussion an, an der sich alle anwesenden Mitglieder beteiligten.

Die Abstimmung brachte folgendes Ergebnis:

- Elektrotechnik-Informatik: 8 Stimmen;
- Elektrotechnik-Informationstechnik: 4 Stimmen

Dr. Dänhardt stellte fest, dass nach § 7 der geltenden Satzung damit die Umbenennung des Vereins in

Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik-Informatik e.V.

beschlossen ist.

TOP 3: Folgende Satzungsänderungen wurden einstimmig beschlossen:

- Änderung von *Elektrotechnik* in *Elektrotechnik-Informatik* in den §§ 1, 2 und 3

- § 3 - 3. Anstrich wird wie folgt ergänzt (Ergänzung fett- und kursiv)

durch Austritt aus dem Verein (*der Austritt ist nur zum Ende eines Geschäftsjahres möglich*); dies erfolgt durch schriftliche Anzeige

- § 5 - letzter Absatz wird wie folgt ergänzt (Ergänzung fett- und kursiv)

Der Vorsitzende *oder ein von ihm beauftragtes Mitglied des Vorstandes* vertritt den Verein im Koordinierungsausschuss der Arbeitsgemeinschaft Hochschulangehörige Berufliche Bildung.

- § 7 - 5. Absatz wird wie folgt geändert (Änderung fett und kursiv)

Die Beschlüsse werden mit Stimmenmehrheit gefasst. Stimmenthaltungen werden nicht mitgezählt. Satzungsänderungen bedürfen einer 3/4 Mehrheit der anwesenden Mitglieder. Bei Stimmgleichheit gilt der Antrag als abgelehnt. Auf Antrag eines Mitglieds ist geheim abzustimmen. Jedes Mitglied hat eine Stimme.

- § 10 wird wie folgt geändert:

Der Mitgliedsbeitrag wird zu Beginn des Geschäftsjahres erhoben. *Die Höhe des jährlichen Beitrages, in dem die Kosten für den Bezug (inkl. Porto und Versand) der Zeitschrift „lernen & lehren“ enthalten sind, wird durch Beschluss der Mitgliederversammlung bestimmt.*

TOP 4: Der Mitgliedsbeitrag wurde wie folgt festgelegt:

Kalenderjahr 2000: 53,00 DM

Kalenderjahr 2001: 53,00 DM

TOP 5:

- Die Beschlüsse der Mitgliederversammlung werden in der Zeitschrift „lernen & lehren“ veröffentlicht

- Der Vorstand wird von der Mitgliederversammlung beauftragt, die Entscheidungen insbesondere die Namensänderung durch einen Beitrag in der Zeitschrift zu erläutern.

- Das Memorandum der Kollegen Petersen und Rauner wird in der Zeitschrift „lernen & lehren“ veröffentlicht und die Mitglieder werden aufgerufen, ihren Standpunkt in das Neuordnungsverfahren in den Berufen der Elektrotechnik einzubringen.

Berlin: 19. Oktober 2000,

Haake, Protokollführer Dr. Dänhardt, Vorsitzender

Protokoll BAG-Mitgliederversammlung (MGV), Metalltechnik

Datum: 23.03.2000 12.00 bis 13.30Uhr

Ort: Hamburg, HT 2000

Protokoll: Claus Holm

1. Eröffnung und Begrüßung

- a) Begrüßung durch den Vorsitzenden, Herrn Dieter Hasselhof.
- b) Beschlussfähigkeit der Versammlung wird festgestellt.
- c) Tagesordnung: wird wie vorgelegt angenommen.

2. Wahl des Protokollführers: Claus Holm (einstimmig)

3. Genehmigung des Protokolls der ordentlichen MGV vom 24.09.1998 in Dresden

Protokoll ohne Änderungen genehmigt.

4. Bericht des Vorstandes

- a) Der aktive Vorstand stellt sich nochmals vor und erstattet Bericht über die vergangenen 2 Jahre. Veranstaltungen:
Gemeinsame Fachtagung mit BAG-Elektro vom 11. bis 13.11.1999 in Mannheim durchgeführt.
bundesweite Fachtagung des Arbeitskreises Versorgungstechnik vom 22. bis 24.9.1999 in Erfurt durchgeführt.
Fachtagungsband Dresden erschienen.

b) Der MGV-Zeitraum von 2 Jahren ist bewährt und soll bestehen bleiben.

c) lernen & lehren (l&l) wird ab 2000 aus Kostengründen im Heckner-Verlag erscheinen, da l&l fast den gesamten Finanzhaushalt der BAG vereinnahmt.

d) Eine Kooperation mit der neugegründeten BAG-Bau-Holz-Farbe wird angedacht.

e) Eine Mitgliedschaft im Verbund der Organisation der Hochschultage (Arbeitsgemeinschaft Berufliche Bildung) wird angestrebt.

5. Bericht des Kassenprüfers

- a) Der Rechnungsbericht wurde geprüft. Die Einnahmen werden fast ausschließlich für l&l verwendet.
- b) Kein Freiraum für Aktionen.
- c) Ende 1999 leichtes Plus.
- d) Austritte, weil 2 Jahresbeiträge in einem Vorgang abgebucht wurden.
- e) Seit Dresden 25 Mitglieder aufgenommen. Aber 20 Austritte wegen der Heftproblematiken.
- f) Anregung, die Finanzübersicht mitzuschicken.

6. Entlastung des Vorstandes

Entlastung erteilt (1 Enthaltung)

7. Neuwahlen

- a) Wahlleiter: Vermehr
Vorsitzender: 2 Kandidaten (Hasselhof, Scheele).
- Geheime Wahl beantragt.
- Stimmberechtigt: 22 Anwesende.
- Ergebnis:
Scheele 6

Hasselhof 15 (1 Enthaltung)

b) Zwei Stellvertreter: Scheele/Schlausch (4 Enthaltungen)

c) Schatzmeister: Sander (1 Enthaltung)

d) Zwei Kassenprüfer: Schrader/Gerwin (2 Enthaltungen)

8. Verlagswechsel des BAG-Organs „lernen&lehren“

- a) Hefte erscheinen immer noch mit großer Verspätung. Daher Ärger mit Mitgliedern (siehe 5d und 5e).
- b) Abhilfe: mehrere Schriftleiter (Vermehr und Spöttl [neu]).
- c) Verlagswechsel: von Donat zu Heckner wegen Termintreue und Kosten.
- d) Erscheinungsbild: neues Layout geplant. Format A4 - 48 Seiten - 3 Spaltensatz - fortlaufende Seitennummerierung - Bilder über mehrere Spalten möglich.
- e) Anregung Mahrin: verbindliche Formatvorlage im Internet ablegen. Dito Themenübersicht für halbes Jahr.
- f) BAG-Metall Internetadresse:
www.fpb.uni-bremen.de/bag/mainbag.html

9. Einrichtung einer Arbeitsgruppe „Vorbereitung von Tagungen“.

- a) Ziel: rechtzeitige Vorbereitung von BAG- und Hochschultagungen.
- b) Gruppe: 3 vom Vorstand, Spöttl (Organisation), Hartmann.

10. Planung der weiteren Arbeit

- a) BAG-Fachtagung 2001: Tagungsort und Thema sind noch festzulegen.
- b) HT-2002: Köln wird voraussichtlich Tagungsort der HT 2002 sein.
- c) Bloy (Vorsitzender der neugegründeten BAG-Bau-Holz-Farbe): „Bau-Holz-Farbe als 3. Berufsfeld aufnehmen.“ D. h. l&l evt. auch als Veröffentlichungsorgan nutzen.
- d) Vermehr: Es geht zunächst um Signal, ob gemeinsames Heft gewollt ist.
- e) Jenewein: Vorschlag, Bautechnik zunächst als Beilage (50 Stück). Kosten müssen geprüft werden. Angenommen.
- f) Vermehr: frühester Termin für gemeinsames Heft ist Heft 1 in 2001. Redaktionelle Gründe.

11. Verschiedenes

- a) Jenewein: Kritik an der Organisation der Hochschultage. Teilnahme der BAGs an den HT weiterhin erwünscht. Jedoch müssen die BAG's an der Planung beteiligt werden.
- b) Zu klären: Mitgliedsbeitrag.

Ende der Veranstaltung: 13:30 Uhr
gez. C. Holm

Autorenverzeichnis

Adolph, Gottfried

Prof. Dr., Schwerfelstr. 22, 51427 Bergisch-Gladbach

Fletcher, Stefan

Dipl.-Ing., Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Berufspädagogik und Allgemeine Pädagogik, Abt. Technikdidaktik der Universität Karlsruhe (TH), Hertzstr. 16, 76187 Karlsruhe

Gottschalch, Holm

PD Dr., BIBA – Bremer Institut für Betriebstechnik und angewandte Arbeitswissenschaft, Postfach 330560, 28335 Bremen und ATOP – Arbeitswissenschaftliche Technische Betriebsführung, Organisation und Personalentwicklung, Hochschulring 20, 28359 Bremen

Herkner, Volkmar

Dipl.-Berufspäd., Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für berufliche Fachrichtungen der Technischen Universität Dresden, Weberplatz 5, 01217 Dresden

Mohr, Sven

Pädagogischer Mitarbeiter am Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik – biat, Universität Flensburg, Munketoft 3, 24937 Flensburg

Müller, Hans

Dipl.-Ing., BIBA – Bremer Institut für Betriebstechnik und angewandte Arbeitswissenschaft, Postfach 330560, 28335 Bremen

Rebmann, Karin

Prof. Dr., Institut für Betriebswirt-

schaftslehrer II und Wirtschaftspädagogik der Universität Oldenburg, Postfach, 26111 Oldenburg

Spöttl, Georg

Prof. Dr., Berufliche Fachrichtung Metalltechnik, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik – biat, Universität Flensburg, Munketoft 3, 24937 Flensburg, spoettl@biat.uni-flensburg.de

Tetzner, Martin

Berufsschullehrer, Gewerbliche Schulen des Lahn-Dill-Kreises, Uferstr. 21, 35683 Dillenburg

Vermeer, Bernd

Studiendirektor, Berufsbildende Schulen Hamburg, Achter Lüttmoor 28, 22559 Hamburg

Beitrittserklärung

Ich bitte um Aufnahme in die Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung

Elektrotechnik-Informatik e.V. bzw. Metalltechnik e.V.

Der jährliche Mitgliedsbeitrag beträgt z. Z. 53,- DM. Auszubildende, Referendare und Studenten zahlen z. Z. DM 30,- gegen Vorlage eines jährliches Nachweises über ihren gegenwärtigen Status. Der Mitgliedsbeitrag wird grundsätzlich per Bankeinzug abgerufen. Mit der Aufnahme in die BAG beziehe ich kostenlos die Zeitschrift lernen & lehren.

Name: Vorname:

Anschrift:

Datum: Unterschrift:

Ermächtigung zum Einzug des Beitrages mittels Lastschrift:

Kreditinstitut:

Bankleitzahl: Girokonto-Nr.:

Weist mein Konto die erforderliche Deckung nicht auf, besteht für das kontoführende Kreditinstitut keine Verpflichtung zur Einlösung.

Datum: Unterschrift:

Garantie: Diese Beitrittserklärung kann innerhalb von 10 Tagen schriftlich bei der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik-Informatik e.V. bzw. der Fachrichtung Metalltechnik e. V. widerrufen werden. Zur Wahrung der Widerrufsfrist genügt die Absendung innerhalb dieser 10 Tage (Poststempel). Die Kenntnisnahme dieses Hinweises bestätige ich durch meine Unterschrift.

Datum: Unterschrift:

Bitte absenden an:

BAG Elektrotechnik-Informatik e. V., Geschäftsstelle:

biat – Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik, z. H. Herrn Willi Petersen, Munketoft 3, 24937 Flensburg.

BAG Metalltechnik e. V., Geschäftsstelle:

Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung (FPB), z. H. Herrn Michael Sander, Wilhelm-Herbst-Str. 7, 28359 Bremen.

Liebe Leserinnen und Leser von lernen & lehren,

das Thema dieses Heftes – „Rapid Prototyping“ – ist für die berufliche Bildung recht neu. Viele der Ausbilder/-innen und Lehrer/-innen, die zu unseren Lesern zählen, dürften schon allein den Begriff in ihrer eigenen Ausbildung nicht kennen gelernt haben, und für viele wird das vorliegende Heft sicherlich der erste Anlass sein, sich mit diesem Thema zu beschäftigen.

Herausgeber, Schriftleiter und Verlag nehmen dies mit dem vorliegenden Schwerpunktheft zum Anlass, neue Wege zu probieren: Ergänzend zu den Schriftbeiträgen zum Heftschwerpunkt wird Ihnen auf der CD-Beilage der Video-Clip „Laser-Sintern als Verfahren des Rapid Prototyping“ überreicht. Benutzung, Kopie und Weitergabe des Videos sind zu Unterrichtszwecken ausdrücklich erlaubt.

Natürlich interessiert uns Ihre Meinung und Ihre Rückmeldung, ob Sie dieses Angebot für Ihre Ausbildungs- und Unterrichtsarbeit hilfreich finden. Unsere herzliche Bitte: Schreiben Sie uns!



Technische Hinweise

Das Video sollte beim Einlegen der CD bzw. beim Aufruf der Datei 'bag.exe' starten oder sich mit dem Programm „Windows Media Player“ (ab Version 6) abspielen lassen. Sie finden auf der CD ggf. eine Version des aktuellen Windows Media Players 7.1 (aus lizenzrechtlichen Gründen integriert in den Internet Explorer 5.5 – die Installation starten Sie durch Aufruf der Datei 'ie5setup.exe' im Unterverzeichnis 'MediaPlayer').

Alternativ kann der Film auch auf einer lokalen Festplatte oder im Netz gespeichert und in einem anderen Format abgespielt werden. Für diesen Zweck finden Sie den Film in den Formaten Windows Media (Dateien klein.wmv und gross.wmv), Apple QuickTime (Datei gross.mov) und ISO MPEG-1 (Datei gross.mpg) im CD-Stammverzeichnis.

lernen & lehren:

Eine Zeitschrift für alle, die in

- betrieblicher Ausbildung,
 - berufsbildender Schule,
 - Hochschule und Erwachsenenbildung sowie
 - Verwaltung und Gewerkschaften
- im Berufsfeld Elektrotechnik/Metalltechnik tätig sind.

Inhalte:

- Ausbildung und Unterricht an konkreten Beispielen
- technische, soziale und bildungspolitische Fragen beruflicher Bildung
- Besprechung aktueller Literatur
- Innovationen in Technik-Ausbildung und Technik-Unterricht

lernen & lehren erscheint vierteljährlich, Bezugspreis DM 50,00 (4 Hefte) zuzüglich Versandkosten (Einzelheft DM 12,50).

Von den Abonnenten der Zeitschrift lernen & lehren haben sich allein über 600 in der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik e.V. sowie in der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Metalltechnik e. V. zusammengeschlossen. Auch Sie können Mitglied in einer der Bundesarbeitsgemeinschaften werden. Sie erhalten dann lernen & lehren zum ermäßigten Bezugspreis. Mit der beigefügten Beitrittserklärung (S. 144) können Sie lernen & lehren bestellen und Mitglied in einer der Bundesarbeitsgemeinschaften werden.

Folgende Hefte sind noch erhältlich:

- | | | |
|--|--|--|
| 16: Neuordnung im Handwerk | 39/40: Organisationsentwicklung und berufliche Bildung | 48: Berufsbildung im Lernortverbund |
| 18: Grundbildung | 41: Verankerung beruflicher Umweltbildung | 49: Wandel der Fertigungsverfahren – Wandel der Facharbeit |
| 22: Automatisierungstechnik | 42: Feldbussysteme | 50: Auftragsorientiertes Lernen |
| 23: Gebäudeleittechnik | 43: Praxis beruflicher Umweltbildung | 51: Verwenden und Nutzen |
| 27: Duales System | 44: Lern- und Arbeitsaufgaben | 52: Neue Ansätze für Berufsbilder und Unterricht |
| 28: Lernen durch Arbeiten | 45: Informations- und Kommunikationstechnik am Beispiel ISDN | 53: Berufliches Arbeitsprozesswissen |
| 29: Auto und Beruf | 46: Veränderung der Kfz-Facharbeit | 54: Multimedia – ein Instrument für Lernen und Lehren |
| 30/31: Berufliche Umweltbildung | 47: Veränderung in der Arbeitsorganisation | 55: Gebäudesystemtechnik |
| 33: Instandhaltung | | 56: Gestaltungsorientierung |
| 36: Neugestaltete Lern- und Arbeitsplätze | | |
| 37/38: Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren | | |

Bezug bei: Donat Verlag, Borgfelder Heerstraße 29, 28357 Bremen, Telefon (0421) 27 48 86 Fax (0421) 27 51 06