

# **lernen & lehren**

Elektrotechnik-Informatik und Metalltechnik

## **Schwerpunktthema**

## **Messen und Diagnose als Gegenstand beruflicher Arbeits- und Lernprozesse**



*Matthias Becker*

**Diagnose als Aufgabe in gewerblich-technischen Berufsfeldern**

*Jens Heide*

**Werkstofftechnische Nichtroutine-Untersuchungen in der Flugzeugüberholung**

*Gerhard Brekow/Thomas Heckel/*

*Hans-Martin Thomas*  
**Zerstörungsfreie Prüfung von Eisenbahnschienen**

*Christian Brecher/Wieland H. Klein/*

*Florian Lindner*  
**Condition Monitoring von Werkzeugmaschinen**

---

## Impressum

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

Jetzt auch im Internet unter [www.lernenundlehren.de](http://www.lernenundlehren.de).

Herausgeber: Gottfried Adolph (Köln), Klaus Jenewein (Magdeburg), Jörg-Peter Pahl (Dresden),  
A. Willi Petersen (Flensburg), Georg Spöttl (Bremen), Bernd Vermehr (Hamburg)

Beirat: Josef Berghammer (München), Klaus Dähnhardt (Erfurt), Falk Howe (Bremen), Claudia Kalisch  
(Rostock), Rolf Katzenmeyer (Dillenburg), Manfred Marwede (Neumünster), Rainer Petersen  
(Hamburg), Peter Röben (Heidelberg), Reiner Schlausch (Flensburg), Friedhelm Schütte (Berlin),  
Ulrich Schwenger (Köln), Thomas Vollmer (Hamburg), Andreas Weiner (Hannover)

Schriftleitung: Volkmar Herkner (Flensburg), Carsten Wehmeyer (Neumünster)

Kommentar: Gottfried Adolph

Heftbetreuer: Matthias Becker, A. Willi Petersen

Redaktion: lernen & lehren

c/o Prof. Dr. Volkmar Herkner  
Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat),  
Universität Flensburg, 24943 Flensburg  
Tel.: 04 61 / 8 05-21 53  
E-mail: [volkmar.herkner@biat.uni-flensburg.de](mailto:volkmar.herkner@biat.uni-flensburg.de)

c/o Dr. Carsten Wehmeyer  
Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat)  
Universität Flensburg, 24943 Flensburg  
Tel.: 04 61 / 8 05-21 57  
E-Mail: [wehmeyer@biat.uni-flensburg.de](mailto:wehmeyer@biat.uni-flensburg.de)

Alle schriftlichen Beiträge und Leserbriefe bitte an eine der obenstehenden Adressen.

Layout: Brigitte Schweckendieck

Verlag, Vertrieb und  
Gesamtherstellung: Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG  
Postfach 15 59, D-38285 Wolfenbüttel  
Telefon: 0 53 31 / 80 08 40, Telefax: 0 53 31 / 80-08-58

Bei Vertriebsfragen (z. B. Adressenänderungen) den Schriftwechsel bitte stets an die Geschäftsstelle der BAG richten.

**Wolfenbüttel 2009**

**ISSN 0940-7440**

**95**

# lernen & lehren

## Elektrotechnik-Informatik/Metalltechnik

### Inhaltsverzeichnis

Kommentar: In die Badewanne . . . . .	98
<i>Gottfried Adolph</i>	
Editorial . . . . .	99
<i>Matthias Becker/A. Willi Petersen</i>	

#### **Schwerpunktthema Messen und Diagnose als Gegenstand beruflicher Arbeits- und Lernprozess**

Diagnose als Aufgabe in gewerblich-technischen Berufsfeldern. . . . .	101
<i>Matthias Becker</i>	
Werkstofftechnische Nichtroutine-Untersuchungen in der Flugzeugüberholung. . . . .	108
<i>Jens Heide</i>	
Zerstörungsfreie Prüfung von Eisenbahnschienen. . .	112
<i>Gerhard Brekow/Thomas Heckel/Hans-Martin Thomas</i>	
Condition Monitoring von Werkzeugmaschinen. . . .	117
<i>Christian Brecher/Wieland H. Klein/Florian Lindner</i>	

#### **Praxisbeiträge**

Messtechnische Analyse und Reparatur von Elektro-Hausgeräten am Beispiel eines Geschirrspülers. . . . .	123
<i>Eckhard Büßen/A. Willi Petersen/Carsten Wehmeyer</i>	

Umsetzung einer Unterrichtskonzeption zum Thema „Instandsetzung einer witterungsgeführten Regelung einer Brennerheizungsanlage“ . . . . .	131
<i>Heiko Schnackenberg/Lars Wichmann</i>	

#### **Forum**

Stationenlernen beim Instandhalten von versorgungstechnischen Anlagen und Systemen . .	135
<i>Otmar Patzel</i>	

#### **Hinweise, Mitteilungen, Rezensionen**

Matthias Becker/Georg Spöttl: Berufswissenschaftliche Forschung. . . . .	142
<i>Martin Lang</i>	
Jörg-Peter Pahl: Konstruieren und berufliches Lernen . . . . .	143
<i>Axel Grimm</i>	
In eigener Sache. . . . .	144
Verzeichnis der Autoren . . . . .	144
Ständiger Hinweis und Beitrittserklärung. . . . .	145

### Schwerpunkt

## Messen und Diagnose als Gegenstand beruflicher Arbeits- und Lernprozesse

Gottfried Adolph

## In die Badewanne

Es war um 260 vor der Zeitrechnung, da sprang, so wird es seit alters her erzählt, ein nackter Mann durch Syrakus und schrie „Heureka, Heureka ...“ Der da wie ein Irrsinniger nackt durch die Straßen rannte und allen seine Freude kundtat, war ARCHIMEDES, ein berühmter griechischer Mechaniker, Mathematiker und Naturwissenschaftler.

ARCHIMEDES hatte eine äußerst schwierige Aufgabe zu lösen. Der König HEIRON II. VON SYRAKUS hatte sich von einer Goldschmiedewerkstatt eine neue Krone anfertigen lassen. Weil er aber sehr misstrauisch war, plagten ihn Zweifel, ob die Krone auch wirklich aus reinem Gold war. Er betrachtete sich als Freund von ARCHIMEDES, den er ob seiner naturwissenschaftlichen Bildung bewunderte. Deshalb betraute er ihn mit der Aufgabe festzustellen, ob die Krone wirklich aus Gold war oder mit weniger wertvollem Material versetzt. Das war nun in der Tat eine schwierige Aufgabe, an der ARCHIMEDES arg zu knabbern hatte. Immer und immer wieder beschäftigte ihn das Problem. Es wollte ihm nicht aus dem Kopf. Die einzige Lösung, die er sah, die Krone einzuschmelzen, hielt er für keine gute Idee.

ARCHIMEDES wusste, dass es, wenn man sich in ein Problem verbissen hat, nicht sinnvoll ist, sich immer weiter zu verbeißen. Am besten ist es, das Problem erst mal Problem sein zu lassen und etwas ganz anderes zu machen. Also ließ er sich ein Bad herrichten. Die Wanne war bis zum Rand gefüllt und als er hineinstieg, schwappte Wasser über. Das brachte ihn plötzlich auf die entscheidende Idee. Wie Schuppen fiel es ihm von den Augen. „Ich hab’s, ich hab’s!“ („Heureka, Heureka!“) jubelte er auf und rannte, wie schon geschildert, jubelnd durch die Gassen.

Das hätte er besser nicht getan.

Als sich im Mittelalter die Schulen institutionalisierten, widersprach es jeder Vorstellung vom Wesen der Erziehung, dass Lernen und Erkennen Freude bereiten sollte. Von alters her war klar, dass Kinder und erst recht Jugendliche in ihrem Ungestüm erst einmal gebändigt werden müssen. Das der

Jugend eigene „wilde“ Denken musste unter Kontrolle gebracht werden. Härte, Strenge, Gehorsam und Regeln prägten das pädagogische Milieu. Die Schulen waren deshalb zuallererst Zuchtanstalten. Auf allen bildlichen Darstellungen von Schulen in dieser Zeit erkennt man den Lehrer an seiner Zuchtrute, die er allen gut sichtbar in der Hand trug. Viele Dokumente belegen, dass die Schulen widerhallten vom Wehgeschrei der Geprügelten. Spaß und Freude beim Lernen? Das war undenkbar. Spaß und Freude gab es nur im Himmel, nicht auf Erden. Spaß auf der Erde ist Sünde. Dass ARCHIMEDES seine überschäumende Freude auch noch nackt zum Ausdruck brachte, zeigte unmittelbar das Teufliche dieser sündhaften Freude.

Wir machen uns heute viel zu wenig klar, dass unser gegenwärtiges Bewusstsein von Schulehalten dort seine Wurzeln hat. Das, was heute ist, kommt aus diesen Wurzeln. Wir können das nicht einfach abschütteln, weil uns die Distanz zu diesem Selbstverständlichen fehlt. Das „Gefügigmachen“ der nachwachsenden Generation im Hinblick auf ihr Erwachsensein in Gesellschaft und Beruf bleibt eines der unreflektierten und deshalb als selbstverständlich empfundenen Ziele in allen Bildungsprozessen. Wer das als Leser dieser Zeilen nicht recht glauben mag, möge sich noch einmal im Internet der Diskussion zuwenden, die der ehemalige Leiter des Internats Salem, BERNHARD BUEB, mit seinen beiden Veröffentlichungen „Lob der Disziplin“ und „Von der Pflicht zu führen“ losgetreten hat.

Auch die strenge Struktur der Unterrichtsplanungen, ihre Liturgie, mit der peniblen Zuordnung von Minuten zu den einzelnen Unterrichtsphasen oder aufeinander bezogenen Unterrichtsabschnitten speist sich aus diesen Wurzeln. Sie spiegeln den Hintergrund von Zucht- und Ordnungsvorstellungen. Die Unterrichtsprozesse werden so einer jedem Lebendigen wesensfremden, kleinschrittigen Systematik unterworfen. Spontaneität ja, aber nur unter strenger Kontrolle!

Das, was ARCHIMEDES widerfahren war, das Heureka-Erlebnis, war und ist kein singuläres Geschehen. In vielen Veröffentlichungen sind Heureka-Ereignisse dokumentiert. Das jüngste Beispiel stammt von dem Physiknobelpreisträger STEVEN STEINBERG. Er hat durch die Entwicklung des so genannten Standardmodells der Vorstellung vom Aufbau der Materie und der Entstehung des Universums eine neue Richtung gegeben. Er hatte immer wieder versucht, die starken Kräfte zu verstehen, die den Atomkern zusammenhalten, fand aber keine Lösung. Dann aber, beim Fahren seines Sportwagens, kam es plötzlich über ihn: Das Photon spielte hier die entscheidende Rolle. Auch STEINBERG erfüllte eine große Entdeckerfreude. Er verzichtete allerdings darauf, nackt durch Boston zu rennen.

In den vielen dokumentierten Heureka-Erlebnissen geht es stets um irgendwie hervorgehobene Persönlichkeiten. Das legt die Vermutung nahe, dass nur mit besonderen Geistesgaben Gesegnete solchen Glück bringenden Heureka-Erlebnissen teilhaftig würden. Das jedoch stimmt nicht. Jeder geistig Wache hat solche Erlebnisse. Für jeden geistig Wachen ist die Welt voller Rätsel. Wird ein Rätsel gelöst, werden also neue Zusammenhänge erkannt, entsteht das typische Glücksgefühl. (EDGAR ALLAN POE: „Nicht in der Erkenntnis liegt das Glück, sondern im Erwerben der Kenntnis.“) Manche Evolutionsforscher glauben, dass dieses Phänomen der entscheidende Schritt gewesen sei, der den Menschen in der Evolutionsgeschichte so dominant hat werden lassen.

Schaut man genauer hin, so erkennt man leicht, dass das, was wir Kreativität nennen, hier seine psychische Grundlage hat. FELIX RAUNER weist immer wieder darauf hin, dass ein wesentliches Strukturelement der beruflichen Kompetenz die Kreativität darstellt. Also, so muss man jetzt folgern, gründet sich berufliche Kompetenz, psychologisch betrachtet, auf Heureka-Erlebnisse. Aber auch aus der Alltagserfahrung wissen wir, dass sich viele geistig Wache einen interessanten

Beruf wünschen. Als interessant wird eine Berufstätigkeit angesehen, in der es unvorhersehbare Ereignisse gibt. Solche Ereignisse erfordern kreatives Handeln mit der damit verbundenen Freisetzung von Glückshormonen.

Heureka-Erlebnisse haben eine typische Verlaufsstruktur. Zunächst entwickelt sich eine Frage oder ein Problem, für die keine Antwort oder für das keine Lösung sichtbar wird. Es entwickelt sich aber ein starkes Verlangen, eine Antwort oder Lösung zu finden. Dieser Antrieb kann sich aus unterschiedlichen Quellen speisen. Oft sind es sozial eingebettete Antriebe. Es geht dann um Ansehen und Anerkennung. Vom Antrieb hängt es ab, wie intensiv das (noch) nicht Lösbare vom Denkenden Besitz ergreift. Tut es das, dann geht die Frage nicht mehr aus dem Kopf. Sie verfolgt bis in den Schlaf, wenn sie überhaupt schlafen lässt. Das Unlösbare, für das es aber eine Lösung geben muss, ergreift den Denkenden voll und ganz. Aber je mehr er nachdenkt, umso tiefer fühlt er sich in einer Sackgasse.

Alle in der Literatur beschriebenen Heureka-Erlebnisse zeigen nur einen Ausweg. Der Denkende kann sich aus der Verkrampfung nur lösen, wenn er Problem Problem sein lässt und etwas völlig anderes macht. ARCHIMEDES stieg in die Badewanne und STEINBERG in seinen Sportwagen.

Für das denkende Erkennen sind Heureka-Erlebnisse die entscheidenden motivationalen Kraftquellen. Aus ihnen speist sich auch das, was wir Neugier nennen.

Es sollte eigentlich nahe liegen, diese Kraftquellen im Unterricht zu nutzen.

Aber ..., um das zu können, müssten wir manche Vorstellung von „ordentlichem“ Unterricht über Bord werfen. In einem auf Heureka-Erlebnissen ausgerichteten Unterricht ist zunächst sehr viel Lehreraktivität gefordert. Hierbei muss es gelingen, eine Problemsituation so zu präsentieren, dass sie in den Schülerhorizont rückt und die Schüler davon ergriffen werden. Und genau zu dem Zeitpunkt, in dem das gelingt, muss der Unterricht abbrechen. Allen Schülern muss jetzt die Gelegenheit gegeben werden, in ihre „Badewanne“ zu steigen. Was für den einen die Badewanne ist, ist für den anderen ein Spaziergang, ein Disco-Besuch oder, oder ...

Ich habe in meiner Prüfungspraxis immer wieder erlebt, dass die Prüfenden nach einer Prüfungslektion danach fragten, ob denn alle Fragen beantwortet waren. Und wehe, wenn ein Prüfer sagen konnte, diese und jene Frage sei offen geblieben.

Jetzt muss alles umgekehrt sein. Jetzt muss die Frage lauten: „Ist eine brennende Frage entwickelt worden und wurde der Unterricht genau dann abgebrochen?“

Es ist nun leicht zu erkennen, dass bei der heutigen Organisation des schulischen Unterrichtens in den allgemeinbildenden Schulen so etwas kaum möglich ist. Anders sieht es bei den Berufsbildnern aus. Werden hier berufsfeldbezogene Aufgaben bearbeitet, so kann sich in dem Maße, in dem sich

die Lernenden schon mit ihrer Berufsrolle identifiziert haben, ein Heureka trächtiges Problem entwickeln. Jetzt muss es nur noch gelingen, genau an dieser Stelle die Schüler sich selbst zu überlassen.

Wem es als Lehrer einmal gelungen ist, eine Heureka-Situation herbeizuführen und methodisch klug durchzuführen, der hat erfahren, wie ungeheuer fruchtbar sich das auf den weiteren Unterricht auswirkt. Deshalb ist die Versuchung groß, es so immer wieder zu versuchen. Im Methodischen ist jedoch nichts schlimmer als ein „immer wieder“. Allgemein bekannt ist die Schülerfrage aus dem Bereich der Montessoripädagogik „Müssen wir heute wieder machen, was wir wollen?“ Ähnlich könnte die Frage hier lauten: „Müssen wir heute wieder Heureka rufen?“ Eins sollten sich Lehrer immer wieder ins Gedächtnis rufen: So wie es keinen Nürnberger Trichter gibt, so gibt es auch nicht die Methode, und jede Methode kann tot geritten werden.

Es kann zu Recht behauptet werden, dass die traditionellen Schulen Schulen der Antworten sind. Darin sind sie zum Teil erstarrt. Es werden dann Antworten gegeben auf nie gestellte Fragen. Das muss sich ändern. Das Fragen muss stärker in den Vordergrund rücken. Das Qualitätsmerkmal für guten Unterricht würde dann bestimmt durch die Qualität der Fragen, mit denen die Schüler aus dem Unterricht kommen. Sind es quälende Fragen im Sinne von Heureka-Situationen, ist die höchste Qualitätsstufe erreicht.

---

*Matthias Becker/A. Willi Petersen*

## Editorial

Fehlersuche und Störungsanalyse – das ist nichts Neues und das täglich Brot für Instandhaltungs- und Serviceberufe. Sie haben auch in der Berufsbildung ihren festen Platz. In den Ausbildungs- und Lehrplänen vor der Neuordnung der elektrotechnischen, fahrzeugtechnischen und metalltechnischen Berufe nahm das Messen, Prüfen und Lehren einen nicht unerheblichen Raum ein. Allerdings wurden

und werden die technischen Systeme immer komplexer und lassen sich lange nicht mehr in allen Fällen durch starre Fehlersuchpläne sowie damit verbundene Messungen und Prüfungen analysieren. Daher hat die Diagnose als Aufgabengebiet Einzug in die gewerblich-technische Facharbeit gehalten und wird zu einer zentralen Herausforderung für die Ausbildung und den berufsbildenden Unterricht.

In der beruflichen Praxis ist das Aufgabengebiet der Diagnose zum Schlüssel für die Einlösung von Qualitätsanforderungen geworden. Termintreue, Anlagenverfügbarkeit und Reparaturzeiten hängen mehr denn je davon ab, dass Störungen in einem umfassenden Sinne analysiert und Fehler in den vernetzten Systemen in möglichst kurzer Zeit aufgespürt werden. In nahezu allen elektrotechnischen, fahrzeug-



technischen und metalltechnischen Berufen ist über die Fehlersuche hinaus mit der Diagnose die Konfrontation der Facharbeiter mit neuartigen Werkzeugen (Expertensysteme, Entscheidungsunterstützungssysteme, vernetzte Informationssysteme), neuartiger Technik (diagnosefähige und vernetzte Systeme und Anlagen) und neuartigen Arbeitsverfahren (Hotline, Ferndiagnose, Anwendung komplexer Fehlersuchstrategien, Prozessvisualisierungen, -steuerungen und -regelungen) verbunden.

Diese Entwicklungen sind bislang in der beruflichen Bildung – von einigen Ausnahmen abgesehen – eher unsystematisch aufgegriffen worden. Wer einmal Handwerkszeuge der heutigen Zeit mit Entwicklungswerkzeugen vor zehn Jahren vergleicht, der wird feststellen, dass Entwicklungstools von damals nun zu Mess- und Diagnosewerkzeugen für Facharbeiter geworden sind. Im Fortbildungsbereich der Unternehmen haben Qualifikationen wie der „Diagnostiker“ (etwa im Kraftfahrzeugservice) mittlerweile einen hohen Stellenwert, und es werden offenbar Qualifikationen vermittelt, auf die in der beruflichen Erstausbildung keine ausreichende Vorbereitung stattfindet. Auch das mehrmalige Verschieben dieses Schwerpunktheftes, welches eigentlich schon im Jahr 2006 erscheinen sollte, deutet auf Schwierigkeiten bei der Positionierung des Themas „Messen und Diagnose“ hin.

Die vorliegenden Beiträge sind in gewisser Weise ein Spiegelbild der Situation: Klassische Aufgabengebiete der Instandhaltung sind von „der Diagnose“ durchzogen. Was die Diagnose von der Fehlersuche und Störungsanalyse unterscheidet, welche Rolle das Messen im Rahmen von Diagnoseverfahren spielt und wie die Diagnose in Instandhaltungsprozessen verankert ist, sind interessante Fragen, denen in dieser Ausgabe von „lernen & lehren“ nachgegangen wird. Sie zu klären, ist ein Anliegen dieses Heftes, um Anregungen für die Beantwortung der folgenden Gestaltungsfragen zu geben: Wie sollen Lernprozesse gestaltet werden, mit denen berufliche Kompetenz für dieses Aufgabengebiet entwickelt werden kann? Sind die traditionellen Konzepte dafür geeignet? Welche Rolle spielt hier noch das Er-

fahrungswissen? Oder ist die Diagnose etwas, was man den intelligenten Diagnosesystemen überlassen und von der beruflichen Arbeit – vom Bedienen abgesehen – fernhalten kann? Bleibt die Instandhaltung, als „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“ (DIN 31051), eine ausreichende Basis für die Bestimmung von Inhalten?

Die Norm „Grundlagen der Instandhaltung“ (DIN 31051) unterscheidet zunächst zwischen den zentralen Bereichen der Wartung, der Inspektion, der Instandsetzung und schließlich der Verbesserung. Die Diagnose spielt hier eher implizit eine Rolle bei der Beseitigung von Störungen und Fehlfunktionen. Sie ist das Bindeglied zwischen den Bereichen der Wartung und Inspektion einerseits und der Instandsetzung andererseits. Unzählige Normen, die in den letzten zwanzig Jahren explizit zur Diagnose entstanden sind, deuten hier schon aus technischer Sicht an, dass das „Neuartige“ der Diagnose mit dem Instandhaltungsbegriff nicht aufgefangen werden kann.

Mit den Beiträgen dieser Ausgabe werden unterschiedliche Schlaglichter auf die genannten Fragenkomplexe und Problembereiche geworfen. Während mit dem Beitrag von MATTHIAS BECKER die Besonderheiten der Diagnose als Aufgabe für gewerblich-technische Berufe herausgearbeitet werden, zeigen die Beiträge von JENS HEIDE einerseits und GERHARD BREKOW, THOMAS HECKEL und HANS-MARTIN THOMAS andererseits sowie CHRISTIAN BRECHER, WIELAND H. KLEIN und FLORIAN LINDNER jeweils spezielle Herausforderungen an moderne Diagnoseverfahren in spezifischen Bereichen auf. Sie reichen von der Materialprüfung bis hin zur Zustandsüberwachung von Werkzeugmaschinen. Dabei wird deutlich, wie sich klassische Instandhaltungsaufgaben aufgrund der neuen Herausforderung „Diagnose“ zum Teil auch nur schleichend verändern. Ganz klassische Aufgabenbereiche wie die Materialprüfung sind mittlerweile mit Diagnoseverfahren (z. B. Infrarot-Spektroskopie)

durchsetzt, wie die Beiträge zur Nicht-routine-Untersuchung in der Flugzeugüberholung oder zur zerstörungsfreien Prüfung von Eisenbahnschienen zeigen. Besondere Aufmerksamkeit sollte die Leserin bzw. der Leser der Aufbereitung der messtechnischen Daten widmen, die zukünftig durch die rechnerunterstützte Messwertaufzeichnung computerunterstützte Diagnoseverfahren ermöglichen und präventive Wartungsaufgaben unterstützen wird. Bei der Zustandsüberwachung von Werkzeugmaschinen ist dieser Schritt bereits soweit vollzogen, dass Diagnosen im laufenden Betrieb durchgeführt werden (übrigens auch im Kraftfahrzeugservice als „On-Board-Diagnose“), um Ausfälle bereits frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls im Vorfeld zu verhindern. Die mit der Einführung von Diagnostik entstehenden Konflikte für die Qualifizierung werden hier besonders deutlich: Zunehmende „Intelligenz“ der Diagnostik entlastet nicht die Fachkräfte vom Fehlersuchen, sie führt vielmehr zur Notwendigkeit eines anderen Umgangs mit Problemlösestrategien in der Facharbeit.

Die Praxisbeiträge von HEIKO SCHNACKENBERG und LARS WICHMANN sowie ECKHARD BÜSSEN, A. WILLI PETERSEN und CARSTEN WEHMEYER widmen sich dann den Ansätzen für die praktische Umsetzung in der Ausbildung und im Unterricht für Anlagenmechanikerinnen und -mechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik sowie für elektrotechnische Berufe. Die fortschreitende Durchsetzung der Gebäudetechnik und auch der Haushaltsgeräte mit elektronischen (und diagnosefähigen!) Regelungen finden ihren Niederschlag auch in darauf abgestimmten Unterrichtskonzepten. Deutlich wird, dass klassische Messtechnik nach wie vor ihren Stellenwert behält, aber Problemlöseprozesse nach einem tieferen Verständnis für die Diagnose verlangen. Der Schwerpunkt „Messen und Diagnose“ ist damit sicher nicht in voller Breite und Tiefe behandelt. Mit dieser Ausgabe von „lernen & lehren“ wird eher deutlich, dass dem Thema zukünftig mehr Aufmerksamkeit gewidmet sein sollte.

Matthias Becker

# Diagnose als Aufgabe in gewerblich-technischen Berufsfeldern

„Die Diagnose ...

Den Vorgang des Auffindens von Fehlerursachen bezeichnet man als Diagnose. Dabei soll erkannt werden, was den Fehler verursacht hat (Fehlerursache), wie sich der Fehler bemerkbar macht (Fehlersymptom), wie er sich auswirkt (Fehlerauswirkung), was eigentlich defekt ist (Fehlerort) und wie der Fehler beseitigt werden kann (Fehlerabhilfe)“ (BECKER 2003, S. 9).

Bei genauerer Betrachtung wird schnell deutlich, dass es bei der Diagnose nicht nur um das Fehlersuchen geht, sondern um ein möglichst systematisches Analysieren von technischen Problemen. In der Informatik wird die Diagnose gar vollends als analytisches Aufgabengebiet verstanden und durch Klassifikationsstrategien bearbeitet (vgl. BECKER 2003, S. 200). Dabei wird das Problem in Merkmale zerlegt, die auf den Fehler hinweisen. In diesem Spannungsbogen zwischen der historisch in der gewerblich-technischen Facharbeit als „Fehlersuche“ verankerten Diagnose und den Diagnosemethoden, die mittlerweile im Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) zum Einsatz kommen und in technischen Systemen implementiert sind, bewegt sich heute die Diagnose als Aufgabe in gewerblich-technischen Berufsfeldern.

## Diagnose als berufliche Aufgabe fassbar machen

### Theorie der Diagnose

Die Diagnose ist in der Facharbeit eine der anspruchsvollsten Aufgaben. Dies ist so, weil sie im Falle von Störungen insbesondere bei neuen Anlagen und Systemen das Erschließen komplexer Sachverhalte und den Umgang mit dem Unbekannten – dem Fehler – erfordert. Solange es möglich ist, dabei auf Erfahrungswerte zurückzugreifen, die der Person Sicherheit bei der Fehlersuche verleihen, beschränkt sich die Diagnose meist auf die Anwendung von Regeln, die bekannt sind

oder aber zumindest leicht beschafft werden können (z. B. durch die Anwendung von Fehlersuchplänen). Ist das Problem/der Fehler nicht bekannt, dann müssen Diagnosestrategien entwickelt bzw. auf die Situation hin angepasst werden.

Moderne technische Anlagen und Systeme unterstützen heutzutage dabei den Facharbeiter bei der Diagnose, indem sie Informationen über deren Zustand mitteilen. Sensoren und Aktuatoren, die für das Funktionieren der Anlage notwendig sind, werden überwacht, und unzulässige Abweichungen von Mess- und Ansteuerungswerten werden in einem Fehlerspeicher abgespeichert. Zusätzlich können Betriebsparameter (Drehzahlen, Drücke, Spannungen, Stromwerte, Temperaturen, Laufzeiten etc.) angezeigt oder ausgelesen werden, deren Größen Auskunft über den Anlagenzustand geben. Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Betriebsparameter in ihrem zeitlichen Verlauf bekannt sind und am besten sogar gekoppelt an bestimmte Ereignisse (Fehlerauftreten) abgespeichert, ausgelesen und im Anschluss analysiert werden können. Systeme, die dem Facharbeiter bei der Analyse helfen, nennt man wissensbasierte Systeme (früher: Expertensysteme). Diese übernehmen die Aufgabe, den Diagnoseprozess anzuleiten oder sogar zu automatisieren.

Den Umfang an Informationen qualitativer und quantitativer Art über den Zustand eines Systems, der mithilfe überwachter Sensoren und Aktuatoren sowie wissensbasierter Systeme verfügbar gemacht werden kann, wird als Diagnosediefe bezeichnet (BECKER 2003, S. 150). Wo eine (aktive) Zustandsüberwachung kaum oder nicht möglich ist, wie bei der Materialprüfung, tritt die Schadensanalyse an die Stelle der Überwachung oder die Analyse wird präventiv (nach einer bestimmten Betriebsdauer oder Anzahl an Betriebszyklen) durchgeführt.

Die Verwendbarkeit von Erfahrung hat einen besonders großen Einfluss auf Diagnoseverfahren und -strategien und hilft bei der theoretischen Einordnung der Diagnose. Dabei ist der Aspekt des Erfahrung-Nutzens und des Erfahrung-Machens relevant (vgl. BECKER/SPÖTTL 2002, S. 108; BAUER u. a. 1998). Liegt der Diagnoseweg „auf der Hand“, steht die Anwendung der Diagnosestrategie und das Stützen auf vorhandene Erfahrung zur Abstellung der Fehlersymptome im Vordergrund (Vorgehen nach Plan); ist er unklar, wird Erfahrung durch das Durchlaufen des Diagnoseprozesses erst gebildet, und ein Diagnoseplan ist zu entwerfen. Es ist dabei unerheblich, ob das Problem bereits tausendfach auf der Welt gelöst wurde und an sich Diagnosestrategien bereits existieren; im Moment der Diagnose hilft dies nicht: „Die Wirklichkeit im ‚Jetzt‘ ist bei der Diagnose eine Unbekannte. Es geht um das Lösen eines Problems und nicht nur um Erklärungen für bereits gelöste Probleme.“ (BECKER 2003, S. 248)

Ein Beispiel (aus dem Erfahrungsschatz des Autors): Im Winter wundern Sie sich, dass es im Haus nicht warm wird. Es ist ein recht neues Brennwertheizgerät mit Warmwasserbereitung und Solarunterstützung (Typ: Buderus GB 142) vorhanden, welches im Normalbetrieb läuft (ohne Störung). Das Gerät verfügt über einen Fehlerspeicher, es ist aber kein Fehler abgespeichert. Die Vorlauftemperatur beträgt 70°C und es kann problemlos Warmwasser bezogen werden.

Die letzten beiden Sätze verweisen an sich bereits auf ein Vorgehen im Rahmen des Diagnoseprozesses, nämlich:

1. Überprüfung auf Normal- oder Störungsbetrieb;
2. Auslesen/Anzeigen des Fehlerspeichers und Überprüfung auf Fehlerinträge;
3. Kontrolle der Vorlauftemperatur.

Diese drei Angaben sind aber in der Regel über ein Bediengerät der Heizung von technisch versierten Kunden leicht feststellbar und bilden dann eine Informationsbasis für die Diagnose. Eine solche Problemstellung ist eine typische Diagnoseaufgabe für Anlagenmechanikerinnen und -mechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik.

Wie kommt man diesem Fehler auf die Spur? Die Lösung des Diagnoseproblems ist im Ergebnis simpel und leicht nachvollziehbar.<sup>1</sup> Für denjenigen, der mit diesem Problem konfrontiert wird, ist jedoch ein systematisches Vorgehen nach einer Diagnosestrategie erforderlich. Mit „Systematik“ ist allerdings nicht unbedingt ein Fehlersuchplan gemeint, der abzuarbeiten ist. Vielmehr geht es zunächst um die Bestimmung eines geeigneten Diagnosewegs zur Eingrenzung des Suchraums (vgl. Abb. 1). Dabei spielen in der Facharbeit die Intuition (FISCHER 2000), ein subjektivierendes Arbeitshandeln und komplexe sinnliche Wahrnehmungen (BÖHLE/SCHULZE 1997; BAUER U. A. 2002) sowie eine nicht-formalisierbare Rationalität (BECKER 2003, S. 247) eine entscheidende Rolle.

Ein möglicher Weg der Unterstützung des Diagnoseprozesses ist, Hypothesen aufzustellen („es ist Luft in der Anlage“; „die Vorlaufpumpe ist defekt ...“); ein anderer, Erklärungen für das Problem zu suchen: „Wenn die Heizkörper nicht warm werden, dann ist kein heißes Wasser in ihnen. Wenn kein heißes Wasser im Heizkörper ist, dann wird dieses nicht dorthin gepumpt ...“.

Bewegt man sich bei den Erklärungsversuchen von einer (möglichen) Fehlerursache zum Fehlersymptom, bezeichnet man diese Diagnosestrategie als Vorwärtsstrategie oder Vorwärtsverkettung (weil Erklärungsregeln miteinander verkettet werden). Geht man vom Fehlersymptom aus (Heizkörper werden nicht warm) und überprüft die Regeln, welche dieses Ziel bestätigen, nennt man dies Rückwärtsstrategie. Diese beiden Strategien sind algorithmische Strategien der Struktur „Wenn ..., dann ...“, die bei der Anwendung zu Fehlerbäumen führen (vgl. VDI 2889, S. 3).

Zur Überprüfung von Hypothesen setzt man auf fallbasierte oder modellbasierte Diagnosestrategien (vgl. BECKER/SPÖTTL 2002, S. 124 ff.; BECKER 2003, S. 200 ff.) und seit jüngerer Zeit sogar auf immobile Roboter (vereinfacht: „Roboter in der Diagnosesoftware der Anlage/des Systems“; vgl. BECKER 2005a). Bei der fallbasierten Diagnosestrategie überprüft man die Hypothese vor dem Hintergrund der Kenntnis von bekannten Fällen (z. B. nach Häufigkeit von Fehlerursachen in der Vergangenheit); bei der modellbasierten Diagnosestrategie mithilfe eines Modells, welches das Funktionieren der Anlage/des Systems abbildet.

Die Anwendbarkeit der genannten Basisstrategien (Vorwärtsstrategie, Rückwärtsstrategie, fallbasierte und modellbasierte Strategie) im Diagnoseprozess (vgl. Abb. 1) hängt von der Komplexität der Diagnoseaufgabe ab. Dabei soll auch nicht unerwähnt bleiben, dass Ad-hoc-Strategien (Versuch und Irrtum) auch heute noch in der Facharbeit zur Anwendung kommen.

### Messen und Prüfen als klassische Diagnosemethoden in der Facharbeit

Das „Messen“ ist die zentrale Tätigkeit innerhalb eines Diagnoseprozesses. Anhand von Messergebnissen entscheidet sich in der Regel, wie weiter vorgegangen werden soll, und die Interpretation des Messergebnisses führt meist zur Bestimmung der Fehlerursache. Messen heißt zunächst nur, eine physikalische Größe nach Zahl und Einheit festzustellen (Vergleich der zu messenden Größe mit einer Maßskala; vgl. DIN 1319). Demgegenüber enthält das Prüfen den Vergleich des Messergebnisses mit vorgegebenen Werten (Soll-Werten). Für viele Aufgaben in der Diagnose existieren keine Maßzahlen für das Messergebnis (Gerüche, Eindrücke, optische Wahrnehmung: Aussehen). Der Vergleich wird auf der Basis von Erfahrung und Routine vorgenommen. Auch wenn theoretisch Messungen möglich wären, aber sich diese praktisch als zu komplex darstellen (wie etwa bei der

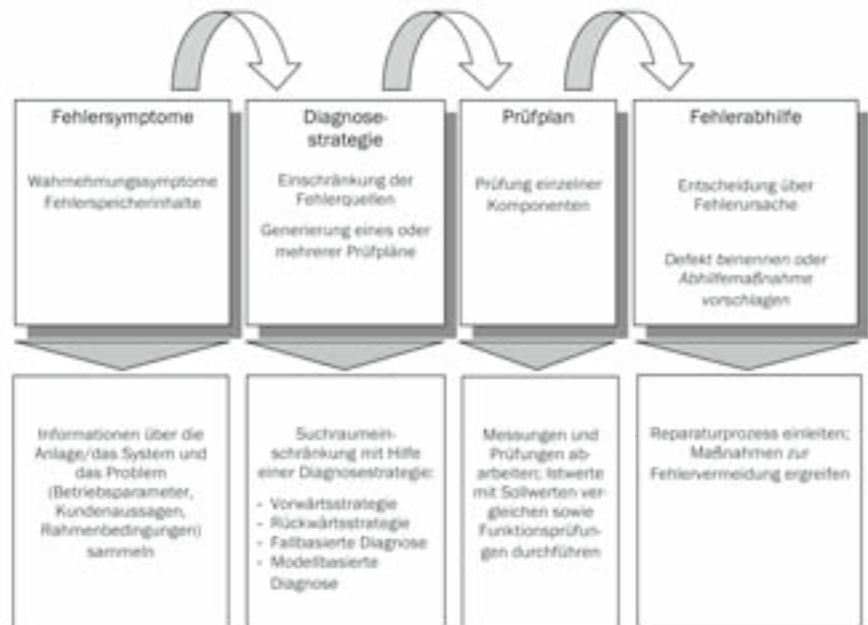


Abb. 1: Diagnoseprozess

Bei der Umsetzung einer Diagnosestrategie kommt es im Fehlersuchprozess in den meisten Diagnoseschritten zur Anwendung der „klassischen“ Diagnosemethoden „Messen“ und „Prüfen“. Diese lassen sich allerdings erst anwenden, wenn ein klarer Prüfplan vorliegt, der sich wiederum auf prüfbare Komponenten bezieht.

Geräuschmessung), werden Zusammenhänge von Facharbeitern als ein „Bild“ vom Diagnoseproblem bewertet, und der Diagnoseprozess wird dadurch angeleitet. Das festgestellte Bild muss zur verinnerlichteten Vorstellung über das richtige „Bild“ passen. Dies gilt auch, wenn zum Teil Messergebnisse vorliegen, diese aber zur



Bestimmung weiterer Diagnoseschritte nicht ausreichen. Dies ist z. B. auch oft der Fall, wenn Soll- und Istwerte übereinstimmen, aber dennoch eine Fehlfunktion vorliegt.

Das Beherrschen der Messgeräte und die damit zusammenhängenden Messmethoden waren in der Vergangenheit die zentrale Herausforderung für die Diagnosefacharbeit. Seit dem allerdings eine direkte Messung an technischen Systemen immer weniger möglich ist, tritt an die Stelle der direkten Messungen zusehends die Durchführung indirekter Messungen über die Steuerungs- und Regelungssysteme und Prozessleitsysteme. Messgrößen zur Beurteilung von Systemzuständen werden über Schnittstellen und Maßnahmen der Prozessvisualisierung beschafft. Ursachen für diese Verschiebung in der Facharbeit sind die zunehmende Sensorintegration (vgl. BECKER 2003, S. 154 ff.) und Vernetzung von Systemen. Auch steigt die Bedeutung von Messverläufen, sodass die Beherrschung dynamischer Messgeräte (Speicheroszilloskop) und das Aufstellen von Qualitätsregelkarten im Rahmen der statistischen Prozessregelung (SPC) an Bedeutung gewinnen. Zudem wachsen klassische Messgeräte zu komplexen Diagnosegeräten zusammen, die Messmöglichkeiten, Informationssysteme und Diagnosestrategien vereinen und in der industriellen Produktion mit Qualitätsmanagementsystemen verschmelzen (vgl. PFEIFER 1998, S. 8 ff.).

### Automatisierungsdilemma und Diagnose

Die vorliegenden Erkenntnisse zum Charakter von Störungen an modernen Anlagen und Systemen, zur Bedeutung von Diagnosestrategien und zur Anwendbarkeit von Messmethoden verweisen auf gestiegene Anforderungen bei der

- Wahl und Handhabung von Diagnosegeräten und zugleich bei der
- Nutzung erfahrungsbezogenen Wissens, welches nicht allein durch formalisiertes Diagnosewissen ersetzbar ist.

Da trotz zunehmender Systemkomplexität die Fehleranfälligkeit sinkt und die Diagnosegeräte vermehrt über automatisierte Abläufe für die Steuerung

des Diagnoseprozesses verfügen (vgl. BECKER 2005a), werden Facharbeiter immer seltener mit identischen oder gleichen Diagnoseproblemen konfrontiert. Damit wird ein Erlernen von Diagnose erschwert. „Der hohe Automatisierungsgrad führt einerseits dazu, dass Wartungspersonal Fehlersituationen vergleichsweise selten begegnet. Da der Faktor Mensch als Komponente benötigt wird, ist unerwünschte Folge dieser eigentlich erwünschten Situation ein Kompetenzverlust, verbunden mit gleichzeitig wachsendem Risiko bzw. möglichen Kosten im Schadensfall.“ (KREMS 1997, S. 89) Wo menschliche Kompetenzen aufgrund von Automatisierung nicht mehr erforderlich erscheinen und daher nicht mehr entwickelt werden, stehen diese zukünftig auch nicht mehr zur Verfügung. Eventuell geht sogar das Wissen verloren, welches ursprünglich für die Automatisierung genutzt wurde. Dies wird als Automatisierungsdilemma bezeichnet.

Facharbeit in gewerblich-technischen Berufsfeldern ist seit Jahren mit diesem Dilemma konfrontiert. Die damit verbundenen Verschiebungen der Tätigkeitsbereiche sind eng an diese Entwicklung gekoppelt:

- Zur Problemlösung werden (virtuelle) Teams gebildet. Facharbeiter arbeiten gemeinsam mit Experten im Werk oder von Unternehmen, die sich hierauf spezialisiert haben (Hotlines), zusammen.
- Probleme, die nicht vor Ort gelöst werden können, erfordern den verstärkten Einsatz von „reisenden Experten“. Im Automobilservice waren um die Jahrtausendwende ganze Heerscharen von Ingenieuren im Dauereinsatz, um die Diagnoseprobleme in den Griff zu bekommen. Es wurden sogar Modellinnovationen (elektronische Parkbremse) wieder zurückgenommen, weil die Probleme nicht praxisingerecht zu beherrschen waren.
- Steht die Diagnosekompetenz vor Ort nicht zur Verfügung und sind die zu diagnostizierenden Systeme vernetzt, wird sie für diagnosefähige Systeme durch Ferndiagnose bereitgestellt.
- Einer erhöhten Systemkomplexität wird nach wie vor mit komplexeren Diagnosesystemen begegnet, insbesondere mit modellbasierten

Diagnoseverfahren. Ziel dieses Lösungsansatzes ist es, Facharbeit für die Diagnose durch technische Lösungen überflüssig zu machen. Facharbeit begrenzt sich in diesem Fall auf die Bedienung der Diagnosesysteme.

### Moderne Diagnoseverfahren: Ferndiagnose und Expertensysteme

Die PC-Steuerung ermöglicht die Vernetzung mit Fernwartungs- und Ferndiagnose-Applikationen des Teleservice (als Überbegriff für Fernwartung und -diagnose). 44 Prozent der Maschinenbaubetriebe verfügten im Jahr 1999 in der Fertigung bereits über CNC-Maschinen mit PC-Steuerung (vgl. VIEWEG 2001, S. 140) und damit über die Voraussetzung für den Einsatz. Rund 25 Prozent der Maschinenbauunternehmen haben schon vor der Jahrtausendwende Gebrauch vom Teleservice gemacht. Heute lassen sich bereits knapp 55 Prozent aller Maschinen mit Teleservice ausrüsten und ordern (vgl. ORTGIES 2009, S. 30).

Die Ferndiagnose etabliert sich zurzeit mit hoher Geschwindigkeit und beeinflusst sowie verändert dabei die gewerblich-technische Facharbeit. Zum Teil sind es die Anlagen selbst (z. B. Offshore-Windkraftanlagen), die eine Ferndiagnose erforderlich machen, zum Teil sind es die oben angeführten Entwicklungen, die dazu führen. Das Marktforschungsunternehmen FROST & SULLIVA prognostizierte im Jahr 2002, dass die Fahrzeug-Ferndiagnose zur Übermittlung von Systemdaten des Fahrzeugs per Funk an Servicezentralen bis zum Jahr 2009 auf über fünf Millionen Einheiten steigen soll (Verzehnfachung des Umsatzes). Auch wenn diese Prognose zu optimistisch ausfiel, zeigt sich, dass die Ferndiagnose eine der wesentlichen Entwicklungen in der Diagnosetechnik ausmacht. Zugleich werden Facharbeiter damit verstärkt konfrontiert, weil sie Teil interdisziplinärer Teams sind oder aber das Bindeglied zum Reparaturprozess bilden.

Mit der Ferndiagnose sind auch Potenziale für das Erschließen der Funktion von Anlagen und Systemen sowie für das Lernen mit telemedialen Lernumgebungen verbunden (vgl. TELLME 2003). Dies gilt umso mehr für Berufe, deren hauptsächliches Einsatzgebiet

der Service ist, wie beim „Mechatroniker/-in“ in der Industrie oder dem „Kfz-Mechatroniker/-in“ im Handwerk.

Gleichmaßen lässt sich feststellen, dass wissensbasierte Systeme praktisch in allen Bereichen der gewerblich-technischen Facharbeit Einzug gehalten haben. Diagnoseschnittstellen gibt es mittlerweile nicht nur an Fahrzeugen, sondern auch an den meisten Gebäude-, Heizungs- und Produktionssystemen sowie elektrotechnischen Anlagen und Geräten (insb. Haushaltsgeräte). Die hier angeschlossenen Diagnosesysteme arbeiten in der Regel mit einem Inferenzsystem, welches Diagnosestrategien für Schlussfolgerungen aus ermittelten Systemkenndaten enthält. Im letzten Jahrhundert wurden diese Systeme als Expertensysteme bezeichnet, weil mit ihnen das Vorgehen von Experten bei der Problemlösung abgebildet werden sollte. Inzwischen hat sich durchgesetzt, solche Systeme als Entscheidungsunterstützungssysteme zu konzipieren und zu nutzen.

Allerdings: Durch die modellbasierte Diagnose (vgl. Abb. 2) wird die Debatte um Expertensysteme (der zweiten Generation) neu belebt. Man erhofft sich von diesem Ansatz, dass ein aus Software gebildetes Paralleluniversum, welches als Simulation das konkrete System abbildet, die Diagnose aus dem Vergleich des Verhaltens des realen Systems mit dem simulierten System automatisch generieren kann (aus Platzgründen sei hier auf STRUSS 2003, S. 456 ff. verwiesen).

Für Facharbeiter ist die Einführung der modellbasierten Diagnose aufgrund der schwer durchschaubaren Hintergründe – die aus der künstlichen Intelligenz stammen – wenig anschlussfähig an die vorhandenen Arbeitsweisen der Diagnosearbeit. Dies ist eine besondere Herausforderung für Qualifizierungsprozesse, die sich um Verständnisbildung für solche abstrakten Diagnoseverfahren bemühen müssen. Letzteres ist insbesondere notwendig, um die Leistungsfähigkeit solcher Systeme einschätzen zu können, denn auch der automatisierten Diagnose sind Grenzen gesetzt.

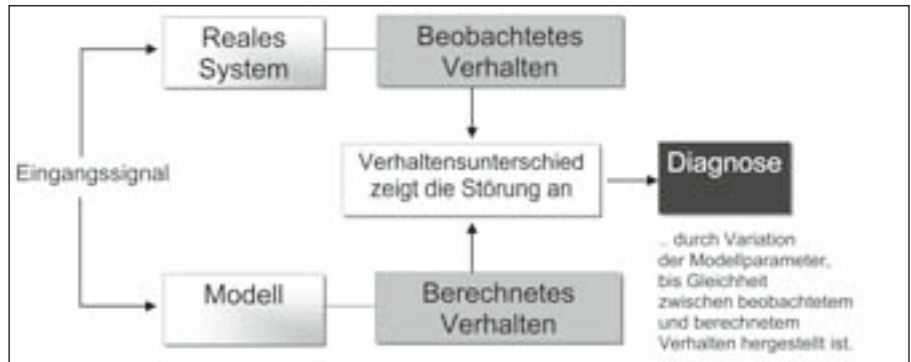


Abb. 2: Funktionsprinzip der modellbasierten Diagnose

Modellbasierte Diagnose: Dieser Ansatz kennzeichnet Systeme, die mit einem mathematischen Modell über das Funktionieren von Systemen arbeiten. Abweichungen zwischen Modellsimulation und realem Verhalten erlauben den Schluss auf Fehlerursachen, ohne dass zuvor für jede Fehlerabhängigkeit ein Programmablauf geschrieben werden muss.

### Grenzen der automatisierten Diagnose

Die Grenzen der automatisierten Diagnose liegen nach den vorliegenden Erkenntnissen (vgl. BECKER 2005a) dort, wo

- Fehlerbeeinflussungen außerhalb betrachteter Systemgrenzen liegen;
- singuläre Fehler auftreten (Fehler, die in ihrer Summenhäufigkeit selten, die Anzahl der singulären Fehler dagegen häufig sind), die nicht durch Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen (FMEA) im Diagnoseentwicklungsprozess abgedeckt werden konnten;
- Entscheidungen im Diagnoseablauf getroffen werden müssen, die außerhalb technischer Einflussbereiche liegen;
- Fehlerfortpflanzungen das Systemverhalten systematisch verändern oder grenzwertig werden lassen (es kommt dann nicht zu eindeutigen Prüfergebnissen);
- sporadisches Auftreten der Fehler eine eindeutige Reproduzierbarkeit erschwert.

Hierzu ist festzustellen: Diese Bedingungen entsprechen heute dem Standard in der Diagnosepraxis.

### Bedeutung der Diagnosearbeit für ausgewählte elektrotechnische, fahrzeugtechnische und metalltechnische Berufe

Neben der „normalen“ Fehlersuche mit den damit verbundenen Messungen sind die neu geordneten elektrotechnischen, fahrzeugtechnischen und metalltechnischen Berufe explizit mit den modernen Diagnoseanforderungen konfrontiert. In unterschiedlicher Tiefe und Form ist die Diagnose auch Gegenstand der Berufsausbildung (vgl. Abb. 3) einschließlich der Prüfung. So heißt es etwa für Elektronikerinnen und Elektroniker, dass sie im Prüfungsbezug „Funktions- und Systemanalyse“ nachweisen sollen, dass sie Mess- und Prüfverfahren sowie Diagnosesysteme auswählen sowie Diagnosen auswerten und Fehlerursachen bestimmen können (§ 8, Teil 2 der Gesellenprüfung). Dies gilt analog auch für die industriellen Elektroberufe und den Beruf „Mechatroniker/-in“.

Bei den industriellen Metallberufen finden sich dagegen keinerlei Hinweise auf die Diagnose als Aufgabengebiet. Vielmehr stehen die Störungsanalyse sowie die Fehlereingrenzung und -behebung im Rahmen der klassischen Instandhaltung im Mittelpunkt, ohne dass explizit auf Diagnoseverfahren eingegangen wird. Teils wirken dabei die curricularen Beschreibungen anachronistisch, weil sie den hybriden und berufsfeldübergreifenden Charakter moderner Diagnosearbeit nicht

Teil des Berufsbilds	Qualifikation	Lernfeldbezug (Auszüge)
<b>Elektroniker/-in</b>		
Durchführen von Serviceleistungen	Ferndiagnose und -wartung durchführen	LF 4: Werkzeuge und Methoden zur Diagnose und Fehlerbehebung
Analysieren von Fehlern und Instandhalten von Geräten und Systemen	Systematik der Fehlersuche anwenden	LF 6: Prüf- und Messmittel zur Fehlerdiagnose auswählen LF 7: Sie analysieren unter Einbeziehung von Diagnosesystemen Fehler und beheben diese.
Prüfen und Instandhalten von gebäudetechnischen Systemen (Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik)	Experten- und Diagnosesysteme auswählen und anwenden	LF 8/9 EG: Systematische Fehlersuche an Antriebssystemen und Kommunikationssystemen (auffallend: nicht an Hausgeräten)
Prüfen und Instandhalten von automatisierten Systemen (Fachrichtung Automatisierungstechnik)	Diagnosesysteme anwenden	LF 10 A: Möglichkeiten von Diagnosesystemen nutzen. Systematische Fehlersuche, Fehlermöglichkeitsanalyse, Diagnoseverfahren LF 11 A: Systematische Fehlersuche, Fehlersuchalgorithmen, Diagnosesysteme LF 13 A: Fehlersuche, Fehlerbaum
Prüfen und Instandhalten von Informations- und Telekommunikationssystemen (Fachrichtung Informations- und Telekommunikationstechnik)	Experten- und Diagnosesysteme auswählen und anwenden	LF 11 IT: Fehlersuche in Netzwerken LF 13 IT: Ferndiagnose
<b>Kfz-Mechatroniker/-in (Schwerpunkt: Personenkraftwagentechnik)</b>		
Diagnostizieren von Fehlern, Störungen und deren Ursachen sowie Beurteilen der Ergebnisse	Standarddiagnoseroutinen anwenden Fehler und Störungen eingrenzen und bestimmen Fehler und Störungen in vernetzten Systemen eingrenzen und bestimmen	Fehlersuche und Diagnose ist beinahe durchgängig Gegenstand in den Lernfeldern. In der Fachstufe werden die Inhalte - Werkstattinformationssysteme - Diagnosesysteme und - Kundenorientierung nur in Lernfeld 5 genannt, behalten jedoch ihre Gültigkeit auch in den nachfolgenden Lernfeldern. LF 4: Sie benutzen Vorschriften und Regelwerke zur systematischen Fehlersuche und entwickeln Strategien zur Problemlösung. LF 5: Fehlerdiagnose an Energieversorgungssystemen und Startsystemen LF 6: Diagnose der Motormechnik LF 7: Diagnose an Motormanagementsystemen LF 9P: Diagnose an Kraftübertragungssystemen LF 10P: Diagnose an Fahrwerks- und Bremssystemen LF 12P: Diagnose an vernetzten elektronischen Systemen LF 13P: Diagnose an Karosserie-, Komfort- und Sicherheitssystemen
Untersuchen von Kraftfahrzeugen nach straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften	Soll- und Istwerte unter Anwendung der Diagnosesysteme ermitteln	
Diagnostizieren, Instandhalten, Aus-, Um- und Nachrüsten	Diagnosesysteme für Antriebs-, Fahrwerks-, Komfort und Sicherheitssysteme anwenden, Daten auslesen und interpretieren, Expertensysteme anwenden, insbesondere geführte Fehlersuche, Datenbank und Telediagnose, Hotline nutzen	
<b>Anlagenmechaniker/-in für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik</b>		
Funktionskontrolle und Instandhaltung versorgungstechnischer Anlagen und Systeme	Prüfverfahren und Diagnosesysteme auswählen und einsetzen, elektrische Größen und Signale an Schnittstellen prüfen	LF 14: Strategien der Fehlersuche, Diagnosesysteme

Abb. 3: Diagnose als explizit genannter Ausbildungsgegenstand ausgewählter elektrotechnischer, fahrzeugtechnischer und metalltechnischer Berufe



erfassen. Die klassische Prüftechnik, wie sie in der Fertigungstechnik gelehrt wurde (Messen geometrischer Abmessungen, von Toleranzen und Oberflächenrauigkeiten; Passungen; Lehren), dominiert, obwohl auch hier in der Facharbeit längst moderne Diagnostiktechnologien Einzug gehalten haben (Mustererkennung, robotergesteuerte Messmaschinen, modellbasierte Diagnose zur Vermeidung von Montagefehlern etc.). Leider liegen keine empirischen Belege zur Bedeutung der Diagnosearbeit für die industriellen Metallberufe vor.

Für Anlagenmechanikerinnen und -mechaniker für Sanitär- Heizungs- und Klimatechnik ist im Rahmen der Funktionskontrolle und Instandhaltung versorgungstechnischer Anlagen und Systeme ausdrücklich der Umgang mit Diagnosesystemen Bestandteil der Ausbildung. Im Lernfeld 14 sind darüber hinaus Strategien der Fehlersuche und Diagnosesysteme benannte Inhalte.

Bei den fahrzeugtechnischen Berufen wird die Diagnose ausdrücklich als Aufgabengebiet ausgewiesen und zum Prüfungsgegenstand (Prüfungsbereich: Diagnostik) gemacht. Aus Forschungsarbeiten zur Diagnosearbeit ist bekannt, dass zwischen 15 und 25 Prozent, in manchen Betrieben bis zu 50 Prozent der Aufgaben auf Diagnosearbeiten entfallen (vgl. BECKER 2003, S. 142). Dies spiegelt sich auch in den Berufsbildpositionen und im Ausbildungsrahmenplan wider, in denen der Bedeutung von Diagnoseaufgaben ein hoher Stellenwert eingeräumt wird. So heißt es in der Berufsbildposition 15 des Berufs „Kfz-Mechatroniker/-in“: „Diagnostizieren von Fehlern, Störungen und deren Ursachen sowie Beurteilen der Ergebnisse“ und das Diagnostizieren in umfassendem Sinne sind zentraler Bestandteil der Gesellenprüfung:

„Diagnostizieren von Fehlern, Störungen und deren Ursachen an Systemen von Personenkraftwagen, insbesondere unter Verwendung von Diagnosesystemen sowie Beurteilen der Ergebnisse unter Einbeziehung eingrenzender Kundenbefragung einschließlich der Recherche von Daten und Erstellen einer Dokumentation“ (AUSBILDUNGSORDNUNG KFZ-MECHATRONIKER/-IN 2007, § 10).

## Diagnose für gewerblich-technische Berufe lehrbar machen

### Gängige Lehrmethoden

Gängige Lehrmethoden stehen eher im Zusammenhang mit der Fehlersuche im klassischen denn mit der Diagnose im modernen Sinn. Eine der größten Herausforderungen in diesem Bereich der Berufsbildung besteht darin, Methoden für das Erlernen der Diagnose zu entwickeln und in der Praxis umzusetzen, die sich nicht auf Lehrgänge und Laborübungen zum Prüfen und Messen oder auf die „Bedienung“ neuartiger Diagnosesysteme beschränken. Selbstverständlich ist und bleibt die Beherrschung der Prüfverfahren sowie der Diagnose- und Messgeräte eine notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Diagnose; sie darf sich aber nicht darauf beschränken.

PAHL benennt insbesondere zwei Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren, mit denen die Diagnose im berufsbildenden Unterricht behandelt werden kann: die Diagnoseanalyse und die Diagnoseaufgabe (vgl. PAHL 2005, S. 69 ff.). Schwerpunkt dieser Verfahren ist einerseits die Zustandsanalyse von Systemen, andererseits das Vorgehen im Diagnoseprozess. Bei der Analyse können Fehlerabhängigkeiten insbesondere durch die Fehlerbaumanalyse (FTA) und Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) erklärt werden. Um das Vorgehen bei einer Diagnose zu lernen, sind beide genannten Verfahren durch stärker erfahrungsbasierte und strategiebasierte Elemente zu ergänzen. Entscheidend dürfte in der Zukunft sein, die Diagnosestrategien mit höherer Priorität zu behandeln, ohne damit das Abstraktionsniveau zu steigern, weil hierunter die sinnliche Wahrnehmung von Diagnoseproblemen leiden würde. Vielmehr sollten diese Strategien verstärkt die Kontextbedingungen im Arbeitsprozess berücksichtigen.

### Kompetenzen für komplexe Diagnoseaufgaben entwickeln

Diagnoseaufgaben erfordern einen vielschichtigen Zugang zum Diagnoseproblem, der sich einerseits auf das Erschließen von Funktionszusammenhängen und Wirkungen bezieht (die das Diagnoseproblem erklären), andererseits das Erleben von Diagnosefällen

und das sinnliche und zugleich nicht formalisiert-rationale Diagnosehandeln erlaubt (was zu einem vertieften Verständnis von Diagnoseproblemen führt). Ein grundsätzliches Problem ist dabei, dass künstlich hergestellte Lernsituationen immer etwas vom Charakter der Diagnose als ein Umgang mit dem Unbekannten nehmen. Gemeint ist hier, dass etwa Simulationen und ein Experimentieren zwar Erklärungen für Diagnosestrategien liefern und in diesem Sinne auch hilfreich sind, aber beim Entwickeln dieser nur dann wirksam werden, wenn „echte“ Fehlerfälle zu bearbeiten und zu erleben sind. Ein Konzept für die Entwicklung eines kontinuierlich tiefer gehenden Verstehens der Arbeitsprozesse als Voraussetzung für die Entwicklung von Diagnosekompetenz haben etwa BAUER u. a. (2002) für die chemische Industrie vorgelegt.

„Gedankliches Handeln mit Signalen in komplexen Systemen“, so kann man eine der Grundvoraussetzungen für ein Lernen von Diagnosezusammenhängen zusammenfassen. Dies kann nur der, der sich darin übt, gemessene Signale zu verstehen (Signalform und Signalsinn) und der die Komplexität von modernen technischen Systemen (im mehrdeutigen Sinn) begreift. Bei der Messung von Signalen kommt es auf den Diagnosezusammenhang an, der nur hergestellt werden kann, wenn die Signale am konkreten System gemessen sowie dessen Reaktion und Verhalten mit in den Diagnoseprozess einbezogen werden kann. Daran anschließend kann z. B. der Aufbau von Fehlerursache/Symptom-Tabellen (vgl. ROTHE/TIMPE 1998) und einfacher Schemata (Problem/Ursache/Lösung) dabei helfen, Beziehungsstrukturen nicht nur zu erklären, sondern für die Anleitung des Diagnoseprozesses zu nutzen.

Für ein verständiges Arbeiten mit rechnergestützten Diagnosesystemen bzw. wissensbasierten Systemen sollte die Berufsbildung dadurch beitragen, dass sie die Diagnosesysteme und deren Strategien selbst als Inhalt behandelt. Werkzeuge werden bislang eher im Ausbildungsbetrieb unter dem Aspekt des „Bedienens“ als in der Schule unter dem Aspekt des „Beherrschens und Reflektierens“ erschlossen. Wo modellbasierte Diagnosesysteme ein-



geführt werden, kann jedoch kaum davon ausgegangen werden, dass der Betrieb für ein verständiges Arbeitshandeln mit diesen Geräten sorgen wird. Die Diagnosestrategien und -philosophien selbst sollten daher Gegenstand von Berufsschulunterricht sein. Werden die Werkzeuge auch noch unter gestalterischen Gesichtspunkten untersucht, besteht darin eine Chance, Gestaltungskompetenz zu fördern und dadurch den Entwicklungsprozess rechnergestützter Werkzeuge in Richtung erhöhter tutorieller Qualität (vgl. BECKER 2005b) zu beeinflussen.

Um die Problemlöseorientierung zu stärken, sind zum einen eine stark ausgeprägte Kundenorientierung und zum anderen ein Lernen im Arbeitsprozess sinnvoll. Bei der Diagnose ist das Erfassen des Problems aus Sicht des Kunden eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Fehlersuche. Wird die Problembeschreibung des Kunden richtig gedeutet und während des Kundengesprächs bereits nach Indizien für mögliche Fehlerursachen gesucht, können sich Fragehaltungen entwickeln, die bei der Auswahl der geeignetsten Diagnoseverfahren helfen können.

Eine Integration von Arbeiten und Lernen, bei der während der Arbeit und während der Problemlösung mit einem Diagnosesystem gelernt werden kann, ist noch lange nicht verwirklicht. Jedoch dürfte es genau dieser Ansatz sein, der – mit entsprechenden Reflexionsphasen versehen – für die richtige Mischung aus analytisch-erklärenden und schlussfolgernd-verstehenden Methoden sorgen könnte.

Abschließend sei noch auf die veränderte Bedeutung der Messtechnik und des Messens hingewiesen: Messergebnisse beziehen sich stets auf eine Komponente in einem System. Dies heißt allerdings noch lange nicht, dass die Fehlerursache in dieser Komponente liegt. Sensoren weisen oftmals „Defekte“ auf, deren Ursachen auf ganz andere Einflüsse zurückzuführen sind als auf Ausfall, Alterung und Verschleiß. Für eine richtige Bewertung der Messergebnisse müssen Messungen daher vor dem Hintergrund einer Bewertung des gesamten Diagnoseprozesses interpretiert werden (vgl. BECKER 2003, S. 259). Insbesondere müssen elektrische Signale zur Be-

wertung von mechanischen Funktionen herangezogen werden.

Diagnosesysteme bieten heute meist voreingestellte Messungen, zum Teil sogar mit direkter Auswertung in Form von gut/schlecht-Aussagen. Auszubildende bzw. Schülerinnen und Schüler sind in der Regel kaum motiviert, dahinter liegende Schlussfolgerungsmechanismen zu hinterfragen, wenn nicht die Praxis Anlass dazu gibt. Daher ist es besonders wichtig, an Praxisfällen anzuknüpfen, die ein Vertrauen auf solch simple Auswertungsmechanismen nicht zulassen.

### Anmerkung

- 1 Fehlerursache war der Stellmotor für das Umschaltventil des Heizgerätes, welches Defekt war. Die Regelung der Vorrangschaltung (Heizung/Warmwasser) steuerte das Ventil korrekt entsprechend der Temperatursensoren und der eingestellten Heizkurve auf Heizbetrieb an, jedoch lief der Stellmotor für das Umschaltventil nicht.

### Literatur

- BAUER, H. G./BÖHLE, F./MUNZ, C./PFEIFFER, S. (1998): „Erfahrung-Machen“ als Methode. In: *berufsbildung*, 52. Jg., Heft 51. S. 32 f.
- BAUER, H. G./BÖHLE, F./MUNZ, C./PFEIFFER, S./WOICKE, P. (2002): Hightech-Gespür. Erfahrungsgelitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen. *Berichte zur beruflichen Bildung*, Heft 253. Bielefeld.
- BECKER, M. (2003): Diagnosearbeit im Kfz-Handwerk als Mensch-Maschine-Problem. Konsequenzen des Einsatzes rechnergestützter Diagnosesysteme für die Facharbeit. Bielefeld.
- BECKER, M. (2005a): „Intelligente“ Diagnosesysteme im Serviceeinsatz – Gestaltungskriterien und Grenzen automatisierter Diagnosemechanismen. In: VKA, IKA (Hrsg.): 14. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Aachen. S. 469–484.
- BECKER, M. (2005b): Lernen mit tutoriellen Arbeitssystemen. In: RAUNER, F. (Hrsg.): *Handbuch Berufsbildungsforschung*. Bielefeld. S. 315–320.
- BECKER, M./SPÖTTL, G. (2002): Qualifizieren für die Diagnosearbeit in der gewerblich-technischen Berufsausbildung. In: RAUNER, F./SCHREIER, N./SPÖTTL, G. (Hrsg.):

Die Zukunft computergestützter Kfz-Diagnose. Bielefeld. S. 105–132.

- BÖHLE, F./SCHULZE, H. (1997): Subjektivierendes Arbeitshandeln – zur Überwindung einer gespaltenen Subjektivität. In: SCHACHTNER, C. (Hrsg.): *Technik und Subjektivität*. Frankfurt. S. 26–46.
- DIN 1319-1 (1995): *Grundlagen der Messtechnik – Teil 1: Grundbegriffe*.
- FISCHER, M. (2000): Von der Arbeitserfahrung zum Arbeitsprozesswissen. Rechnergestützte Facharbeit im Kontext beruflichen Lernens. Opladen.
- KREMS, J. F. (1997): Expertise und diagnostische Urteilsbildung. In: SONNTAG, K. H./SCHAPER, N. (Hrsg.): *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz*. Zürich. S. 77–94.
- ORTGIES, M. (2009): Trends in der Fernwartung. In: *A & D Fabrik 21*, Heft 1. S. 28–30.
- PAHL, J.-P. (2005): *Ausbildungs- und Untersuchungsverfahren*. Bielefeld.
- PFEIFER, T. (1998): *Fertigungsmesstechnik*. München/Wien.
- ROTHE, H.-J./TIMPE, K.-P. (1998): Wissensanforderungen bei der Störungsdiagnose an CNC-Werkzeugmaschinen. In: SONNTAG, K. H./SCHAPER, N. (Hrsg.): *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz*. Zürich. S. 137–154.
- STRUSS, P. (2003): Modellbasierte Diagnose und qualitative Modellierung. In: GÖRTZ, G./ROLLINGER, C. R./SCHNEEBERGER, J. (Hrsg.): *Handbuch der künstlichen Intelligenz*. 4. Auflage. München. S. 433–491.
- TELLME (2003): *Modellversuch: Telemediale Lernumgebungen für berufliche Schulen am Beispiel des neuen Berufs Mechatroniker/-in (TELLME)*. Bremen.
- VDI 2889 (1998): *Einsatz wissensbasierter Diagnosemethoden und -systeme in der Instandhaltung*. VDI-Richtlinie 2889. VDI-Gesellschaft Produktionstechnik. Düsseldorf.
- VIEWEG, H. G. (2001): *Der mittelständische Maschinenbau am Standort Deutschland – Chancen und Risiken im Zeitalter der Globalisierung und „New Economy“*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. München. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung.

Jens Heide

# Werkstofftechnische Nichtroutine-Untersuchungen in der Flugzeugüberholung

## Einleitung

In der Luftfahrttechnik spielen Sicherheit – dann aber auch Kosten – eine herausragende Rolle. Luftfahrzeuge haben aus Gründen des Korrosionsschutzes und der Ästhetik durchweg Lackanstriche. Die Lacksysteme wurden im Laufe der Zeit für Metallwerkstoffe entwickelt und sind heute noch nicht in jedem Fall den in letzter Zeit eingeführten Faserverbundwerkstoffen (Composite) angepasst. Bei Nichtroutine-Untersuchungen während der Wartung und Überholung von Luftfahrzeugen stellt man fest, dass Lackschäden speziell an Bauteilen aus Compositen in stärkerem Maße auftreten als bei Metallstrukturen. Eine Folge von solchen Schäden kann sein, dass Wasser in das Composite-Bauteil eindringt und durch das Wechselspiel von Gefrieren in großen Flughöhen und Auftauen am Boden zur Zerstörung des Bauteils führen kann. Aus diesem Grund müssen auch Lackschäden frühzeitig erkannt und behoben werden.

## Voraussetzungen für einen luftfahrttechnischen Instandhaltungsbetrieb

Im Leben eines Luftfahrzeugs spielen Wartung und Überholung eine entscheidende Rolle, es muss ein sicherer Flugbetrieb gewährleistet werden. Einsichtig ist dies besonders, da man anders als beim Auto oder bei der Eisenbahn im Falle eines Defektes zur Ursachenerkennung nicht einfach anhalten und nachsehen kann. Für den Betreiber eines Luftfahrzeugs sind deshalb Wartungs- und Überholungsintervalle sowie Art und Umfang der durchzuführenden Kontrollen und Folgemaßnahmen bis ins Detail festgelegt. Nur zugelassene Instandhaltungsbetriebe (MRO = maintenance, repair and overhaul) dürfen diese Arbeiten ausführen. In der Bundesrepublik Deutsch-

land werden Instandhaltungsbetriebe durch das Luftfahrt-Bundesamt (LBA) in Braunschweig genehmigt und überwacht. Die Ausbildung, Prüfung und Lizenzierung des Luftfahrtpersonals ist ebenfalls dem LBA nachzuweisen.

Darüber hinaus kann ein luftfahrttechnischer Betrieb die Genehmigung als Entwicklungsbetrieb erhalten. Dieser Betrieb ist dann berechtigt, in einem festgelegten Rahmen eigene Entwicklungen an bestehenden Flugzeugmustern unabhängig vom Hersteller (OEM = Original Equipment Manufacturer, z. B. Airbus oder Boeing) durchzuführen.

Wenn die technischen, personellen und rechtlichen Voraussetzungen erfüllt sind, kann ein luftfahrttechnischer Instandhaltungsbetrieb auf dem Markt agieren.

## Flugzeuginstandhaltung und Inspektionen

Die Flugzeuginstandhaltung wird nach einem Instandhaltungsprogramm durchgeführt. Man unterteilt die geplanten Überprüfungen üblicherweise nach Intervall und Arbeitspaket in so genannte A-, B-, C- und D-Checks. Andere Checks sind auch möglich, die Intervalle werden je nach Flugzeugmuster vom OEM festgelegt. A-, B- und C-Checks sind dabei Teil der Wartung. Hier werden kleinere Arbeiten durchgeführt, die in einer üblichen Halle erledigt werden können.

Der D-Check hingegen beinhaltet eine komplette Grundüberholung. Sie findet üblicherweise alle fünf bis sechs Jahre statt. Der Termin für den D-Check ist dabei auch davon abhängig, welches Limit zuerst erreicht wird: Anzahl der Flugstunden bei Langstreckenflugzeugen oder Anzahl der Starts und Landungen bei Kurzstreckenflugzeugen.

Beim D-Check wird das Flugzeug bis auf die Grundstruktur zerlegt. Je nach Zustand erfolgt hierbei auch eine Neulackierung.

Unabhängig von allen genannten Routinechecks können Kontrollen oder Untersuchungen, auch bei auftretenden Schäden, erforderlich sein. Hierbei spielt das Labor der Zentralen Werkstofftechnik eine wichtige Rolle.

## Ablauf einer werkstofftechnischen Nichtroutine-Untersuchung am Beispiel eines Lackschadens

### Problemstellung

Ist eine nichtroutinemäßige Kontrolle notwendig, gilt es zunächst, die Problemstellung genau einzugrenzen und zu beschreiben, um zu entscheiden, welche Untersuchungen erforderlich sind, um unnötige und möglicherweise teure Analysen zu vermeiden.

Sind Proben notwendig, die im metallografischen Labor (in der Metallografie) untersucht werden sollen, durchlaufen sie in der Regel einen festgelegten Präparationsplan. Wichtig dabei ist immer die entsprechende Dokumentierung der Arbeitsschritte. Die Vorgehensweise einer Untersuchung folgt dabei stets der Systematik: vom Überblick zum Detail.

Der Ablauf wird im Folgenden am Beispiel eines Lackschadens an einer Triebwerksverkleidung (Cowling) beschrieben. Moderne Triebwerksverkleidungen (Cowlings) sind aus Hochleistungsverbundwerkstoffen (Composite) aufgebaut. Zum Schutz vor Witterungseinflüssen und aus optischen Gründen – hier hat jeder Flugzeughalter spezielle Designvorgaben – werden die Cowlings mit einem Lacksystem versehen.

Im vorliegenden Fall befand sich das Bauteil eines Kunden in der so genannten Befundung – der Eingangskontrolle für die Reparaturwerkstatt. Dort stellte man erhebliche Lackschäden fest (Abb. 1). Zu klären waren die Ursachen für diese Schäden sowie Art und Umfang der erforderlichen Reparaturen.



Abb. 1: Risse und Lackablösung an der Triebwerksverkleidung (Cowling)

Vor Ort wurden die Beschädigungen zunächst mittels Befundprotokoll und digitalen Fotos dokumentiert (Abb. 2). Es galt dann die Vorgeschichte des Bauteiles und speziell der Arbeitsschritte und eingesetzten Materialien bei der vorhergegangenen Lackierung zu ermitteln.

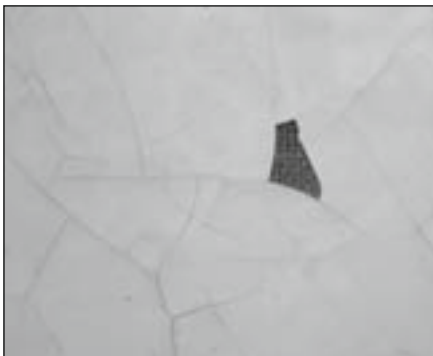


Abb. 2: Risse und Lackablösung an der Cowling-Außenseite, Detail

#### Probenentnahme

Im Anschluss daran wurde eine gezielte Probenentnahme vorgenommen. Eine gezielte Probenentnahme findet immer bei Fehleruntersuchungen statt. Demgegenüber steht die systematische Probenentnahme, die bei

Routine-, Reihen- und Freigabeuntersuchungen nach einem festgelegten Prüfschema erfolgt.

Der Probenentnahme muss besonderes Augenmerk gewidmet werden, da eine falsche Probenentnahme das gesamte Untersuchungsergebnis verfälschen oder eine sachliche Beurteilung unmöglich machen könnte. Nachträgliche Korrekturen sind sehr aufwendig oder unmöglich.

Die Kenntnisse über die Eigenschaften und die Verarbeitung eines Werkstoffes sind wichtig, um Fehler bei der Präparation und Beurteilung zu vermeiden.

Für eine Untersuchung von lackierten Bauteilen wäre das Heraustrennen der zu untersuchenden schadhaften Stelle zusammen mit dem Untergrund die günstigste Variante. Da die Cowlings jedoch nach der Überholung wieder an das Flugzeug angebaut werden sollten, war eine solche Probenentnahme nicht möglich. Es blieb nur, die Lackschichten mit geeigneten Instrumenten (Skalpell, Spatel) vorsichtig von der Bauteiloberfläche abzulösen. Im vorliegenden Fall war die Lackierung sehr rissig und schon teilweise abgelöst. Das Versagen erfolgte in der Grenzfläche CFK-Grundmaterial – erste Farbschicht (CFK = Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff, wobei C für Carbon = Kohlenstoff steht).

Die Proben werden in geeignete Behälter gegeben und gekennzeichnet, um spätere Verwechslungen auszuschließen.

#### Erste Probenuntersuchung – makroskopische Betrachtung

Die Lackproben wurden im Labor zuerst mit einer Stereolupe untersucht, besonderes Augenmerk galt der vom Untergrund abgelösten Rückseite. Abgelöste Farbstücke zeigen auf der Rückseite neben Faserresten des Grundmaterials eine glänzende Oberfläche, die auf eine hohe Oberflächenspannung und damit schlechte Benetzung/Haftung schließen lässt. Ferner war ein auffälliges symmetrisches Muster aus Kreisen in hexagonaler Anordnung auf der Oberfläche zu finden. Dieses Muster ist typisch für eine perforierte Trennfolie, die man bei der Herstellung des Bauteiles als Hilfsmittel verwendet (Abb. 3).

Im Anschluss wurden Proben für die mikroskopische Untersuchung ausgewählt.

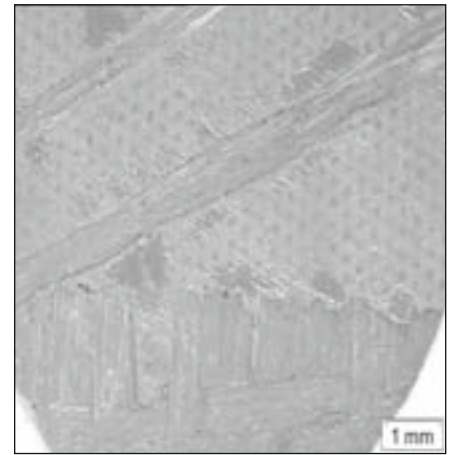


Abb. 3: Lackpartikel-Unterseite mit Gewerberesten und „Punkt-Muster“

#### Präparation für die mikroskopische Untersuchung

Die mikroskopische Untersuchung der Probe dient der qualitativen und quantitativen Beschreibung der inneren strukturellen Merkmale der Werkstoffe. Für die Lackproben ist ein Querschliff sinnvoll, da hieran die einzelnen Schichten und deren Dicken sowie Artefakte erkannt werden können.

Ein einwandfreier, zur mikroskopischen Beobachtung geeigneter Schliff muss eine repräsentative, randscharfe, ebene Fläche des zu untersuchenden Werkstoffes haben, der die strukturellen Merkmale eindeutig erkennen lässt und der keine bei der Herstellung verursachten Veränderungen wie Verformungen, Ausbrüche, Kratzer und Verschmierungen aufweist. Die Herstellung einwandfreier Anschliffe ist grundsätzlich für alle festen Werkstoffe möglich, oft aber sehr aufwändig.

Trennen: Die Probenentnahme sollte möglichst so erfolgen, dass eine Trennfläche der Probe zur Weiterverarbeitung als Schliiffläche geeignet ist. Entnahmemethoden, die starke Materialveränderungen insbesondere bei Kunststoffen bewirken, sind zu vermeiden.

Einbetten: Da die Lackproben unhandlich klein sind, ist ein Einbetten



für die nachfolgende Präparation erforderlich. Das Einbetten der Proben in Kunststoff ist die gebräuchlichste Methode, wobei zwischen Kalteinbetten und Warmeinbetten unterschieden wird, je nachdem, ob beim Einbettvorgang eine Wärmezufuhr für den Ablauf der Polymerisation nötig ist oder nicht. Für Kunststoffproben ist nur ein Kalteinbetten möglich, da die Probe beim Warmeinbetten verändert oder sogar zerstört werden kann.

Das Einbettmittel ist üblicherweise ein Zweikomponentenpolymer, bestehend aus Basis und Härter. Beide Substanzen werden angerührt und über die in einer Einbettform liegende Probe gegossen. Das flüssige Einbettmittel reagiert unter Vernetzung zu einer festen Masse.

Schleifen und Polieren: Die Fläche, die später im Mikroskop betrachtet werden soll, muss durch sorgfältiges Schleifen und Polieren so vorbereitet werden, dass eine kratzerfreie, verformungsarme und gut reflektierende Oberfläche entsteht.

Beim Schleifen und Polieren wird das Material aufgrund der Schneidwirkung von Schleif- und Poliermittel in Form von Spänen aus der Oberfläche herausgeschnitten und abgetragen.

Geschliffen und poliert wird von Stufe zu Stufe mit abnehmender Korngröße.

Begonnen wird mit dem Nassschleifen auf SiC-Papier der Körnung

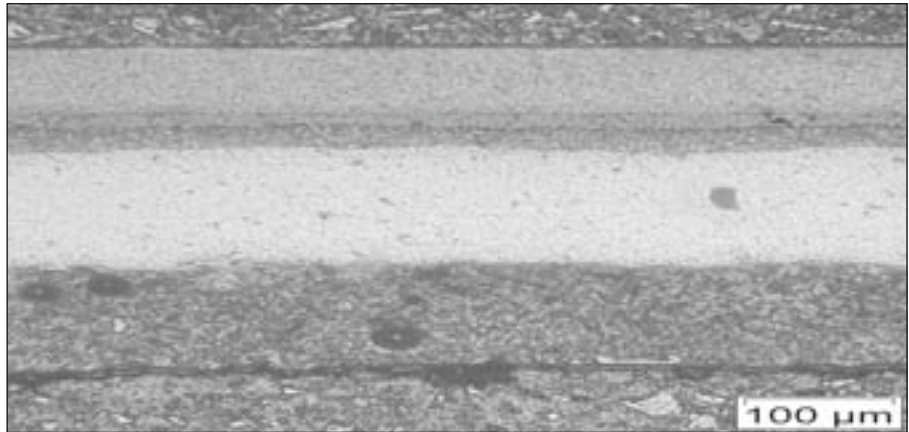


Abb. 5: Lackaufbau im Querschliff (oben = Decklack)

320/500/800/1000/1200, anschließend Vorpolieren mit Diamantsuspension mit den Körnungen 6 µm, 3 µm, 1 µm auf Kunstseide oder Baumwolltuch mit alkoholischem Schmiermittel. Zum Schluss erfolgt das Feinpolieren mit Tonerdesuspension auf einem Woll- oder Samttuch. Sorgfältiges Reinigen zwischen den einzelnen Schleif- und Polierstufen ist notwendig, um ein Mitschleppen von größeren Schneidkörnern und Abrieb zu vermeiden.

Zum Trocknen werden zunächst die schwer verdampfenden Flüssigkeiten (z. B. Wasser, Öl) mit Spiritus von der Probe abgespült. Die Verwendung eines bei der Metallpräparation üblichen heißen Luftstroms (Föhn) ist bei Kunststoffproben zu vermeiden (thermischer Einfluss!).

### Lichtmikroskopische Untersuchung

Der Querschliff der Lackproben wurde mit einem im Metallographielabor üblichen Auflichtmikroskop (Metallmikroskop) betrachtet. Heutzutage sind diese Mikroskope elektronisch gesteuert und mit digitalen Aufnahmemöglichkeiten verbunden. Die so gewonnenen Bilder können sofort am Computer weiterverarbeitet und in die Berichte eingebunden werden. Mit der Umstellung von der herkömmlichen Dunkelkammertechnik für die Bildentwicklung hin zur kompletten elektronischen Datenverarbeitung war eine enorme Effektivitätssteigerung im Labor verbunden.

Die mikroskopische Untersuchung erfolgte zunächst bei kleiner Vergrößerung, die einen guten Überblick gestattet. Nach Bedarf wurden stufenweise höher vergrößernde Objektive verwendet. Im Metallmikroskop sind Vergrößerungen bis maximal 1000fach möglich.

Im Querschliff sind sechs Schichten mit einer Gesamtschichtdicke von ca. 440 µm zu erkennen (Abb. 4, Abb. 5) – dies ist für ein Flugzeuglacksystem deutlich zu dick. Um die einzelnen Schichten zuordnen zu können, waren noch weitere Untersuchungen – Elementanalyse mittels Rasterelektronenmikroskop und Infrarot-Spektroskopie (Abb. 6) – erforderlich, die hier nur am Rande erwähnt werden sollen, da eine Beschreibung im Detail den Rahmen sprengen würde.

Nr.	Schicht	Schichtdicke [µm]	
1	hellbraune, strukturierte Schicht	140	Restschicht des ursprünglichen Lackaufbaus
2	weiße Schicht	160	Füller, deutlich zu dick appliziert
3	grünliche Schicht	30	chromathaltige Grundierung, zu dick appliziert
4	dunkle Schicht	15	Antistatklack zu dünn
5	helle Schicht	15	chromatfreie Grundierung, richtige Dicke
6	grauer Decklack	80	Decklack, geringfügig zu dick

Abb. 4: Analyzierte Lackschichten



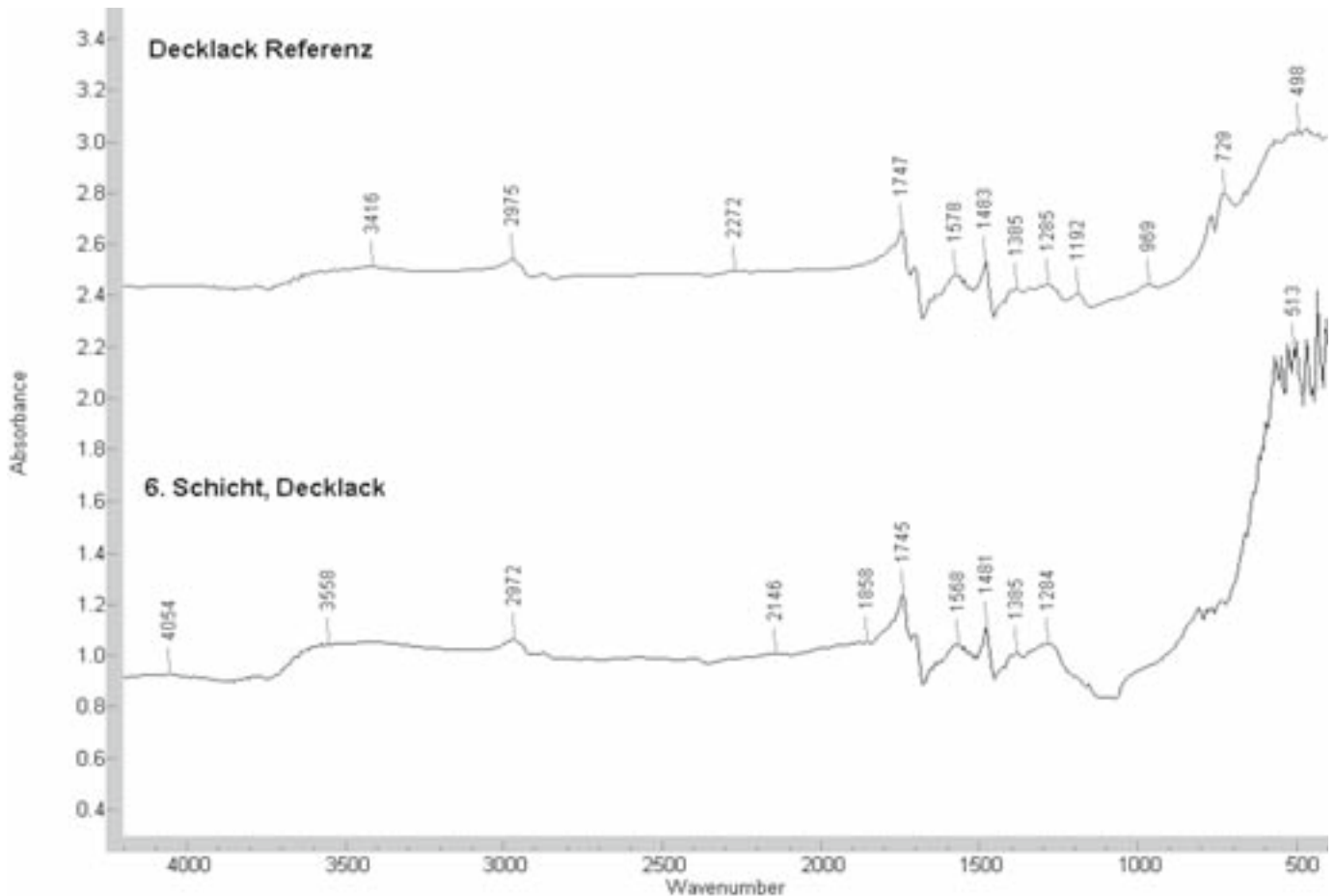


Abb. 6: Infrarot-Spektrum der sechsten Schicht im Vergleich zum Muster-Decklack

Es ließen sich somit alle Schichten dem vorgegebenen Lacksystem zuordnen.

Festgestellt werden konnte hierbei, dass der ursprüngliche Lack nicht komplett entfernt wurde und dass das neue Lacksystem zwar in der richtigen Reihenfolge, aber deutlich zu dick appliziert wurde. Die Sollschichtdicken wurden nicht eingehalten.

### Ergebnisse

Für das Versagen spielte ein Zusammenwirken mehrerer Faktoren eine Rolle: Der ursprüngliche Lackanstrich wurde nicht vollständig entfernt, das Punktmuster auf der Rückseite der abgelösten Lackpartikel deutet auf eine vergessene Trennfolie bei der Bauteilherstellung hin, und die sehr hohe Gesamtschichtdicke von 0,44 mm zeigt Arbeitsfehler beim Lackierprozess.

Als Maßnahme konnte hier nur das komplette Abschleifen des schadhafte Lackes von der gesamten Cowling sowie eine Neulackierung nach

Vorschrift veranlasst werden. Für die Werkstätten bedeutet dies einen hohen Aufwand, der durch Einhaltung der Arbeitsvorgaben vermeidbar gewesen wäre.

### Schlussbemerkungen

Bei der Untersuchung des geschilderten Schadensfalles traten die typischen Mängelursachen „Arbeitsfehler“ und „Nichteinhaltung von Herstellervorgaben“ zu Tage. Zu dick oder zu dünn lackierte Oberflächen können neben falsch eingestellten Lackierparametern (Lackqualität nicht geprüft, Spritzdruck falsch eingestellt, Düsengröße falsch gewählt) als weitere Ursache die Diskrepanz zwischen technischer Notwendigkeit und optischen Anforderungen haben. Das Problem einer zu hohen Lackschichtdicke ist insbesondere bei Composite-Werkstoffen nicht neu. Man hat hier mit zwei gegensätzlichen Forderungen zu kämpfen: Zum einen stellt der Kunde die Anforderung an die Lackoberfläche. Diese soll möglichst spiegelglatt

und störungsfrei sein. Eine spiegelglatte Oberfläche lässt sich oft nur erzielen, wenn man entsprechend dick lackiert oder mehrere Lackschichten des gleichen Materials aufträgt. Demgegenüber steht aber zum anderen die Vorgabe des Lackherstellers nach Einhaltung der Materialvorgaben. Zu hohe oder zu geringe Lackschichten führen u. a. zu Adhäsionsproblemen. Des Weiteren bedeutet eine zu hohe Lackschicht auch ein erhöhtes Gewicht des Bauteils, was sich dann wiederum auf den Kerosinverbrauch des Flugzeugs niederschlägt.

Interpretationsfreie Arbeitsvorgaben sowie die Einhaltung und Kontrolle derselben sind insbesondere in der Flugzeugwartung und -überholung von essentieller Bedeutung. Die Herausforderung speziell für den Lackierbetrieb liegt hierbei darin, technisch einwandfrei zu arbeiten sowie die Kundenansprüche zufriedenzustellen und dabei kostenoptimal zu sein.

Gerhard Brekow/Thomas Heckel/Hans-Martin Thomas

# Zerstörungsfreie Prüfung von Eisenbahnschienen

## Einleitung

Die Mobilität von Personen und Gütern hat heutzutage einen hohen Stellenwert und wird durch die intensive Nutzung von Flugzeug, Auto und Bahn jeden Tag aufs Neue bis an ihre Grenzen unter Beweis gestellt. Alle Bestandteile der modernen Verkehrsmittel werden dadurch einem hohen Abnutzungsgrad unterworfen. Im Eisenbahnbetrieb betrifft dies vor allem Rad und Schiene. In den vergangenen Jahren ist durch die Berichterstattung in den Medien die enorme Beanspruchung wiederholt in der Öffentlichkeit thematisiert worden.

Aufgrund hoher Fahrgeschwindigkeiten, steigender Betriebsauslastung und schwerer Achslasten sind Eisenbahnschienen ständig größten Beanspruchungen ausgeliefert. Neben diesen betriebsbedingten Belastungen sind die Schienen auch witterungsbedingten Einflüssen ausgesetzt, wie z. B. Regen und Hitzeperioden.

Um diesen Belastungen möglichst gut Stand zu halten, wird als moderner Schienenwerkstoff hochwertiger Stahl eingesetzt. Nach der Herstellung des Schienenstahls mit dem Sauerstoffaufblasverfahren wird die Schiene in mehreren Durchläufen auf einer Fertigungsstraße ausgewalzt. Zur Verbesserung des Verschleißverhaltens im Bereich des Schienenkopfes kann anschließend mit gezielt beschleunigter Abkühlung der Oberfläche die Grundhärte gesteigert werden. Das Endprodukt dieses Vorgangs wird als kopfgehärtete Schiene bezeichnet (KÖSTERMANN/MEISSNER 2007). Die Qualitätsanforderungen an den Schienenstahl sind heutzutage so hoch, dass nur noch in wenigen Walzwerken Eisenbahnschienen produziert werden.

Um eine möglichst lange Lebensdauer der Schienen zu gewährleisten, werden sie regelmäßig mit Schienenprüf-

zügen einer zerstörungsfreien Prüfung unterzogen. Diese vorbeugende Maßnahme dient zur frühzeitigen Erkennung etwaiger Schienenfehler, aufgrund derer daraufhin entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen folgen können.

## Schienenfehler

Infolge der Überrollung mit großen Achslasten und/oder hohen Geschwindigkeiten kommt es zu einer hohen Kontaktbeanspruchung zwischen Rad und Schiene. Dies betrifft insbesondere Außenschienen in Bögen mit Radien von ca. 500 m bis 5.000 m. Hier kommt es zum verstärkten Anlaufen des Spurkranzes an die Fahrkante der Schiene (Abb. 1).

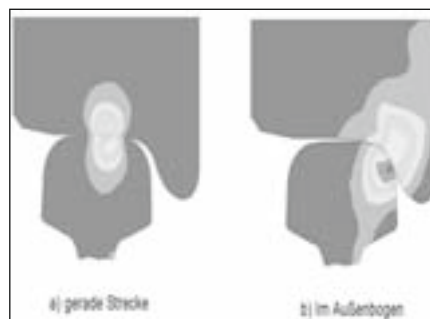


Abb. 1: Kontaktbeanspruchung zwischen Rad und Schiene

Da die Kontaktfläche nur wenige Quadratmillimeter beträgt, wirken enorme Wechselkräfte, die ständige plastische Verformungen des Mikrogefüges nach sich ziehen. Dieser Effekt wird zusätzlich durch auftretenden Schlupf unterstützt. Als erste Konsequenz einer solchen Belastungssituation tritt eine Verfestigung der Oberflächenschicht (Kaltverfestigung) auf. Die Härte nimmt hierbei gegenüber dem Grundzustand in Richtung der Oberfläche signifikant zu. Auf Dauer führen derartige wiederkehrende Verformungsvorgänge

zu gravierenden Gefügeänderungen mit einer hohen relativen Versetzungsdichte im kristallinen Gefüge. Letztendlich ermüdet die betroffene Materialschicht, und es kommt zu einer Ausbildung eines feinen Rissmusters. Den oben genannten Vorgang bezeichnet man als Rollkontaktermüdung (RCF – Rolling Contact Fatigue). Als Bezeichnung für die hierdurch entstehenden Risse an der Fahrkante hat sich der Begriff „Head Checks“ etabliert (Abb. 2).



Abb. 2: Head Checks in der Fahrkante einer Schiene

Fortwährende Überrollungsvorgänge treiben das Risswachstum der Head Checks voran. Zusätzlich können eingebrachte Flüssigkeiten, z. B. durch Regen, eine verstärkende Wirkung ausüben. Der Riss läuft zunächst unter einem relativ flachen Winkel von ca. 25° gegenüber der Oberfläche in den Schienenkopf hinein. Das Ausmaß des tatsächlichen Rissfortschritts kann anhand der an der Oberfläche sichtbaren Länge im Allgemeinen nicht zutreffend abgeschätzt werden (Abb. 3).

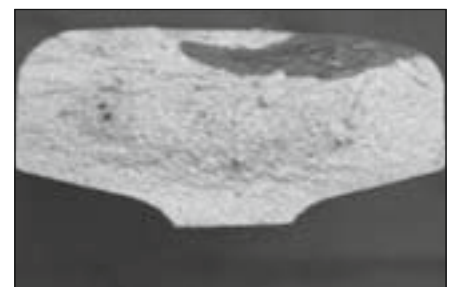


Abb. 3: Aufgebrochener Schienenkopf mit Head Check

Darüber hinaus neigen Head Checks ab einem gewissen Stadium dazu, ihre Wachstumsrichtung in die Querschnittsebene der Schiene zu verlagern, was im Endstadium zu einem Schienenbruch führen kann. Im Falle des tatsächlich auftretenden Sprödbruchs ist die Gefahr sehr groß, dass es aufgrund weiterer Ermüdungsrisse in der unmittelbaren Nähe zu einem Serienbruch kommen kann. Dies kann bedeuten, dass mehrere Meter Schiene ausbrechen und damit das Entgleisen des beteiligten Schienenfahrzeugs zwangsläufig verursacht wird.

Neben den oben genannten Head Checks gibt es noch weitere Schädigungen, wie Squats (einzelne, halb-kreisförmige Risse auf der Schienenoberfläche, *Abb. 4, r*) und Belgrospis (Rissnester, die im Zusammenhang mit Verriffelung auftreten), deren Ent-

stehung eine Folge der Rollkontaktermüdung ist.

Eine weitere Schädigungsart an der Schiene ist die Riffelbildung (*Abb. 4, m*). Riffel entstehen aufgrund von Werkstoffveränderungen, hervorgerufen durch die Kombination von Reibung, Schlupf und der Schwingungsvorgänge zwischen Rad und Schiene. Sie führen zu höheren dynamischen Belastungen der Gleise und zu unerwünschter Lärmbelästigung. Außerdem häufig zu findende Schienenfehler sind Schleuderstellen (*Abb. 4, l*). Sie treten überwiegend in Anfahr-, Beschleunigungs- und Bremsbereichen auf und entstehen durch ein- oder mehrmaliges Schleudern der Radsätze. Die Einsenkung der Fahrfläche bedeutet eine hohe dynamische Belastung für die Schiene, und es besteht die Gefahr der Rissbildung im geschädigten Bereich.

## Zerstörungsfreier Nachweis von Schienenfehlern

### Zerstörungsfreie Prüfmethoden

Als zerstörungsfreie Prüfmethoden für den Nachweis von Schienenfehlern kommen vor allem Wirbelstrom- und Ultraschallprüfverfahren infrage, weil sie in automatisierter Form im Schienenprüfzug Verwendung finden können.

Während der oberflächennahe Bereich des Schienenkopfes mit speziell angepassten Wirbelstromsonden überprüft werden kann, sind Ultraschallprüfköpfe für die Überprüfung der tieferen Lagen des Schienenkopfes sowie des Schienenstegs und -fußes geeignet.

Die Messergebnisse sind in beiden Fällen bildhaft darstellbar, was für die schnelle Online-Bewertung sowie für den Vergleich der beiden Verfahrensergebnisse vorteilhaft ist.

### Ultraschall

Die grundsätzliche Messdatenaufnahme eines Ultraschallprüfkopfes bei mechanisch geführter Prüfkopfbewegung erfolgt durch Aufzeichnung der Echosignale in Abhängigkeit vom Schallweg bei gleichzeitiger Abtastbewegung (*Abb. 5*). Aus den einzelnen A-Bildern, die die gemessene Echoamplitude in Abhängigkeit vom Schall-



Abb. 4: Beispielhafte Darstellung verschiedener Schienenfehler

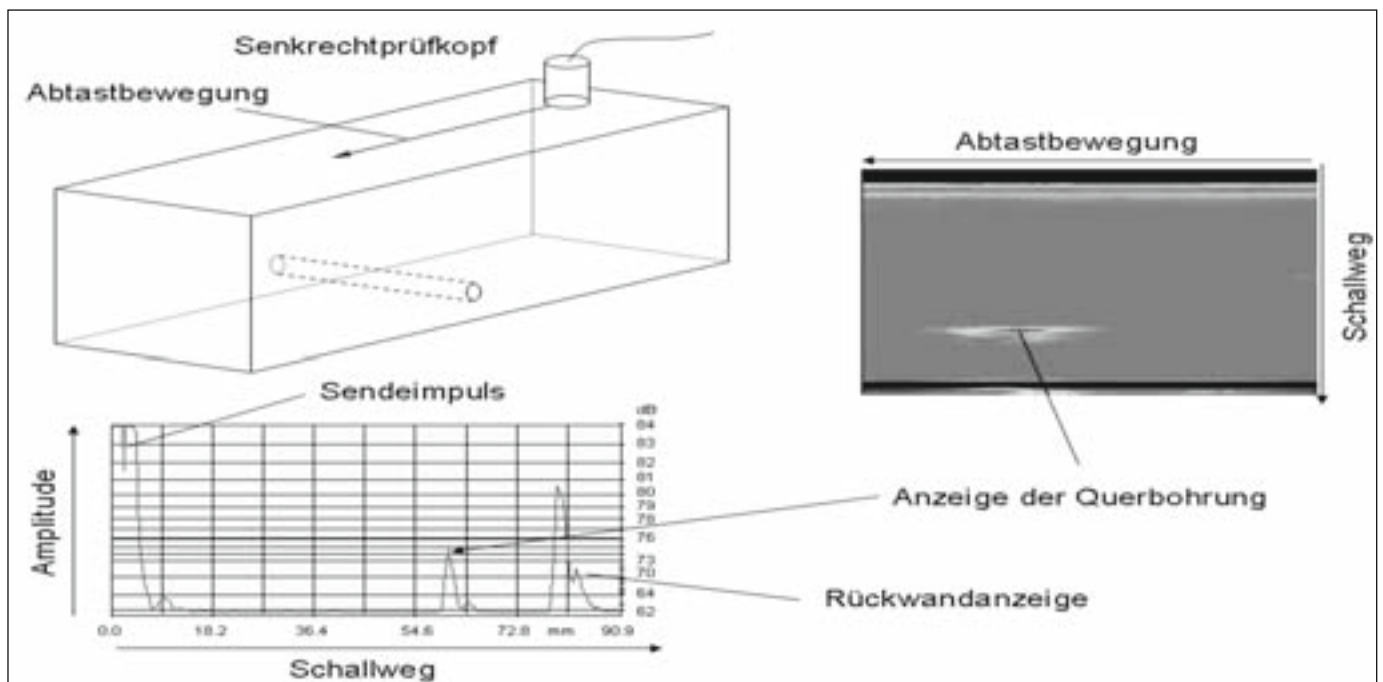


Abb. 5: Bildhafte Darstellung von Ultraschall-Messdaten

weg zeigen, wird ein so genanntes B-Bild erzeugt. Die A-Bilder werden an den einzelnen Messpunkten entlang der Fahrspur aufgenommen (HECKEL/MONTAG 2008).

Die dynamische Echohöhenanzeige im B-Bild ist der Hinweis auf einen Materialfehler, der in diesem Fall durch eine Querbohrung repräsentiert wird. Farbkodiert wird die Echosignalamplitude im B-Bild dargestellt.

Für die Erfassung möglicher Schienenfehler werden Senkrechtprüfköpfe und Winkelprüfköpfe im Schienenprüfzug eingesetzt (s. Abb. 6). Neben den 35°, 55°- und 70°-Winkelprüfköpfen werden Senkrechtprüfköpfe als Einzel- und Sende-Empfangs-Schwinger eingesetzt, um den Schienenfuß und den oberflächennahen Bereich im Schienenkopf zu erfassen (HECKEL/MONTAG 2008). Vor Beginn und nach Abschluss der Ultraschallprüfung wird jeweils eine Entfernungs- und Empfindlichkeitsjustierung der Prüfköpfe an Referenzfehlern durchgeführt, um bei der Auswertung der Messergebnisse eine genaue Zuordnung möglicher Fehlerlagen zu bekommen und eine Entscheidung über zulässige und nicht zulässige Fehler anhand der registrierten Echohöhe zu erhalten. Die Justierung nach der Messfahrt dient der Überprüfung der konstanten Prüfempfindlichkeit während der gesamten Messdatenaufnahme. Um sich auf unterschiedliche Schienenwerkstoffe und -oberflächenzustände anzupassen, kann die Empfindlichkeit der Prüfung an die veränderten Bedingungen nachgeregelt werden. Hierbei gibt der Bezug zum Justierreflektor Auskunft über die zu erreichende Qualität der Prüfung. Als Koppelmedium muss Wasser mitgeführt werden. Für die Ankopplung werden ca. 10 Liter Wasser pro Minute und Schiene benötigt. Das bedeutet, dass für eine Prüfstrecke von 200 km ein Wasservorrat von 8.000 Litern im Schienenprüfzug zur Verfügung stehen muss.

Um das Anzeigenverhalten der Prüfköpfe beim Nachweis der verschiedenen Fehlertypen zu studieren, sind Untersuchungen an über 100 Testfehlern durchgeführt worden. Diese Testfehler umfassen simulierte Risse im Schienenkopf, -steg und -fuß sowie einige „echte“ Fehler.

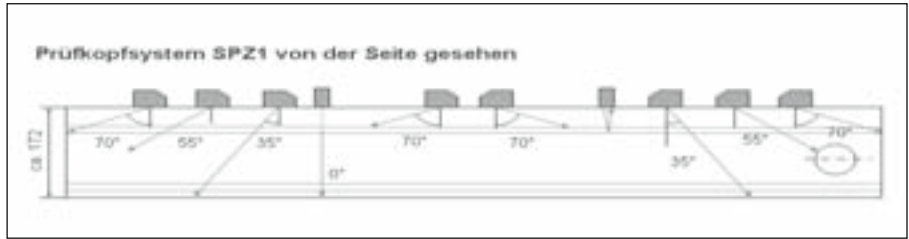


Abb. 6: Einschallwinkel und Einschallrichtungen beim Schienenprüfzug SPZ1

In Anzeigenbildern – hier für den Nachweis zweier Laschenbohrungen und eines künstlich eingebrachten Fehlers im Schienenfuß für eine linke und eine rechte Schiene (Abb. 7) – können die Fehler wiedergegeben werden. Erst durch den Einsatz beider Einschallrichtungen ist sichergestellt, dass eine größtmögliche Abdeckung aller Fehlerlagen vorliegt (HECKEL/MONTAG 2008).

Weitere Verbesserungen der Auffind- und Nachweiswahrscheinlichkeit senk-

rechter und schräger sowie dicht unter der Schienenoberfläche horizontal verlaufender Fehler lassen sich mit der Gruppenstrahlertechnik realisieren, die ein elektronisch gesteuertes, stufenloses Variieren der Schallfeldparameter eines Ultraschallprüfkopfes (s. Abb. 8) ermöglicht (KRULL U. A. 2003).

Bei der Prüfung mit großen Einschallwinkeln werden Risse im Schienenkopf und im Übergang zum Schie-

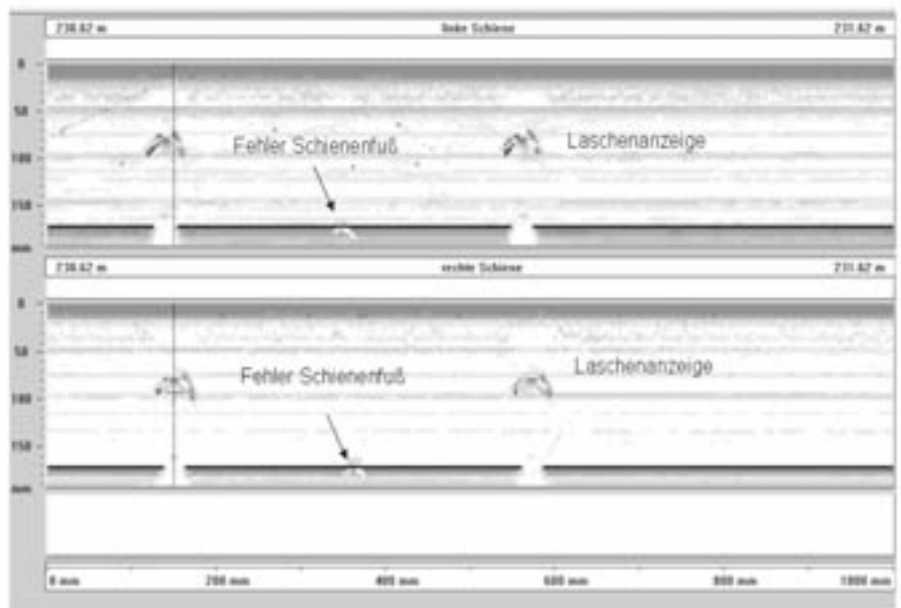


Abb. 7: Ultraschallanzeigen von Laschenbohrungen und Fehlern im Schienenfuß

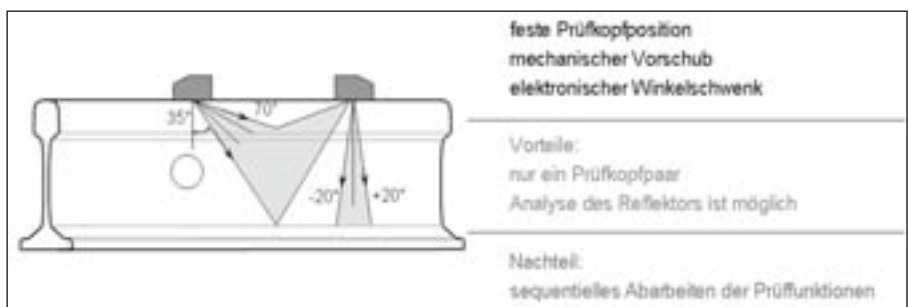


Abb. 8: Schallbündelschwenk mit Gruppenstrahlerprüfköpfen für den Einsatz als Analysetechnik mit erweiterter Funktionalität



nensteg bei ungünstiger Winkellage detektierbar. Bei kleinen Einschallwinkeln können Risse im unteren Steg- und Fußbereich der Schiene genauer analysiert werden (s. Abb. 9). Der Hauptvorteil der Gruppenstrahlertechnik besteht vor allem darin, dass senkrechte Risse in Verbindungsschweißnähten unter Einsatz der Tandemerstanztechnik nachweisbar sind.



Abb. 9: Optimierungsmöglichkeiten mit Gruppenstrahlertechnik bei der Schienenprüfung

Dies eröffnet die Möglichkeit, Schienen mit einer Vielzahl von angepassten Einschallwinkeln mit wenigen Prüfköpfen zu untersuchen. Allerdings wird beim heutigen Entwicklungsstand durch die Vielzahl der benötigten Einschallwinkel die Prüfungsgeschwindigkeit herabgesetzt, sodass ein Einsatz im Schienenprüfzug aufgrund der einzuhaltenden Fahrgeschwindigkeiten nicht möglich ist. Die Gruppenstrahlertechnik lässt sich daher zurzeit nur für Analysezwecke bei der Nachortung einsetzen (HECKEL u. a. 2004, HECKEL/MONTAG/THOMAS 2008).

### Wirbelstrom

Das Wirbelstromverfahren beruht auf dem Prinzip, Fehlstellen anhand von Abweichungen der Wirbelstrombahnen sichtbar zu machen (Abb. 10). Dafür wird ein Spulensystem, das von einem Wechselstrom durchflossen wird, nah an das zu prüfende Objekt gebracht. Das dadurch entstehende magnetische Wechselfeld erzeugt durch magnetische Induktion in dem Prüfobjekt kreisförmig verlaufende Wirbelströme. Diese Wirbelströme erzeugen ihrerseits ein sekundäres Magnetfeld, welches sich dem Primärfeld des Sensors überlagert und letztendlich als Messgröße dient. Treten im Prüfobjekt Inhomogenitäten auf, verändern diese direkt das Sekundärfeld und sind somit nachweisbar. Detektierbare Inhomogenitäten sind zum Beispiel Risse an der Schienenoberfläche (Head Checks) (THOMAS u. a. 2008).

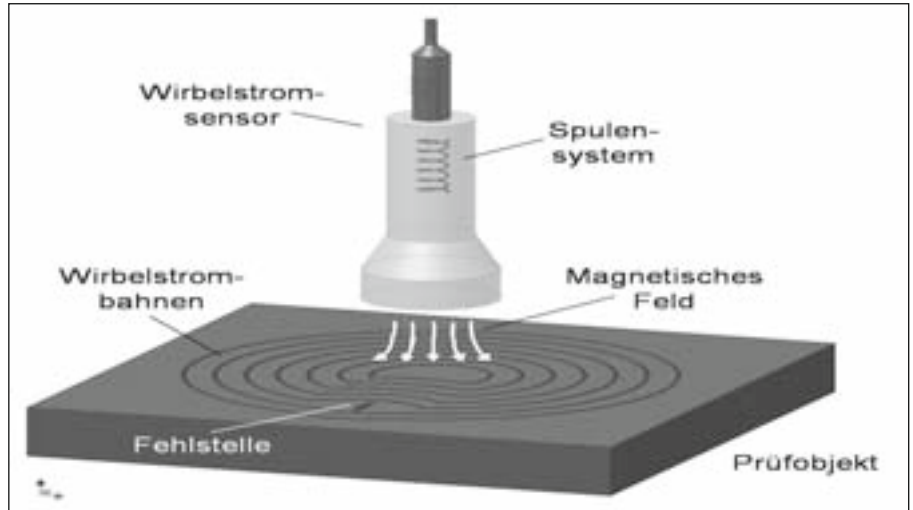


Abb. 10: Wirbelstromsensor für den Nachweis einer Fehlstelle an der Oberfläche eines elektrisch leitfähigen Prüfobjekts

Das Wirbelstromverfahren wird seit einigen Jahren sehr erfolgreich zur quantitativen Erfassung von Rollkontaktermüdrissen eingesetzt. Dieses Prüfverfahren wird in Prüfzügen, Schleifzügen und als handgeführtes Wirbelstromprüfgerät (WPG) mittlerweile in mehreren europäischen Ländern verwendet.

Für die Überprüfung der beiden Schienenfahrkanten auf Head Checks sind jeweils vier versetzte Wirbelstromsonden je Schienenseite angebracht (Abb. 11). Sie erfassen den gesamten

Zustand der kontaktbeanspruchten Schienenkopfabrundung.

Das Messergebnis der Wirbelstromsonden liefert Signalanzeigen in Abhängigkeit von der überprüften Messstrecke. Nach einer entsprechenden Empfindlichkeitsjustierung der Sonden an einem Referenzkörper mit Referenzrissen können aus der gemessenen Signalanzeige direkte Rückschlüsse auf die Risttiefe gezogen werden. Die Länge der Risse kann aus dem Anzeigenbild der versetzt angeordneten Sonden ermittelt werden (KRULL u. a. 2005).

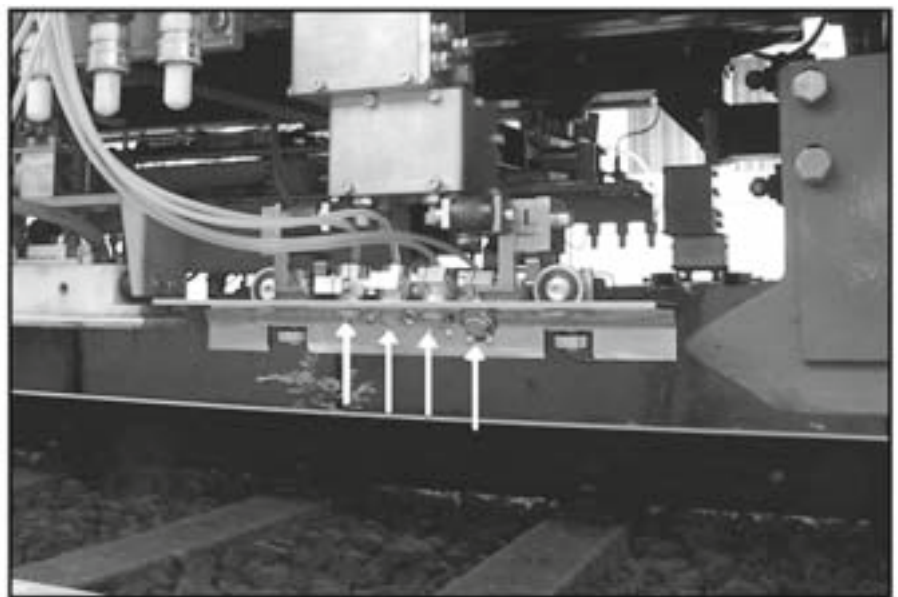


Abb. 11: Wirbelstromsonden am Schienenprüfzug SPZ 2

### Synergetische Kombination von Ultraschall- und Wirbelstromverfahren

Während bisher in den Schienenprüfzügen entweder eine Überprüfung der Schienen mithilfe der Wirbelstromsonden oder aber mit Ultraschallprüfköpfen erfolgte, sind in der neuesten Generation der Schienenprüfzüge Wirbelstrom- und Ultraschallsensoren in Kombination vorhanden. Auf diese Weise können sich die Messdaten beider Prüfverfahren gegenseitig ergänzen, da eine exakte Zuordnung der Positionsdaten eine gleichzeitige Auswertung der Ergebnisbilder ermöglicht. So kann zweifelsfrei die Schweißnahtart zwischen zwei Schienenenden erkannt werden. Oberflächenverbundene Fehler können nicht nur detektiert, sondern auch hinsichtlich ihrer Größe ausgewertet werden. Die Ursache für den kurzzeitigen Verlust der Prüfkopfkopplung kann über die begleitenden Wirbelstrommessdaten besser geklärt werden. Auch zwischen einer Schweißnaht und einer Überlappnaht kann deutlich unterschieden werden (THOMAS/HECKEL/HANSPACH 2006).

### Schienenschleifzug

Da die Schienenoberflächen den Witterungseinflüssen ständig ausgesetzt sind, müssen vor allem die Oberflächenfehler möglichst im Frühstadium detektiert und durch Überschleifen beseitigt werden. Zu diesem Zweck werden Schienenschleifzüge eingesetzt, die den Schienenkopf soweit herunterschleifen, dass möglichst keine Anzeigen von Oberflächenfehlern mehr zu finden sind. Durch das rechtzeitige Beseitigen von Head Checks kann ein Schienenbruch vermieden werden (s. Abb. 12).

Die Wirbelstromsignale vor und nach einem Schleifeinsatz können aufgezeichnet und miteinander verglichen werden. Auf einem 1 m langen Abschnitt sind Wirbelstromanzeigen zu erkennen, die durch Head Checks hervorgerufen wurden (Abb. 13). Für denselben Abschnitt sind nach 20 Schleifüberfahrten alle Rissanzeigen beseitigt worden, und der typische Signalverlauf für eine Thermitschweißnaht ist zu erkennen (Abb. 14).

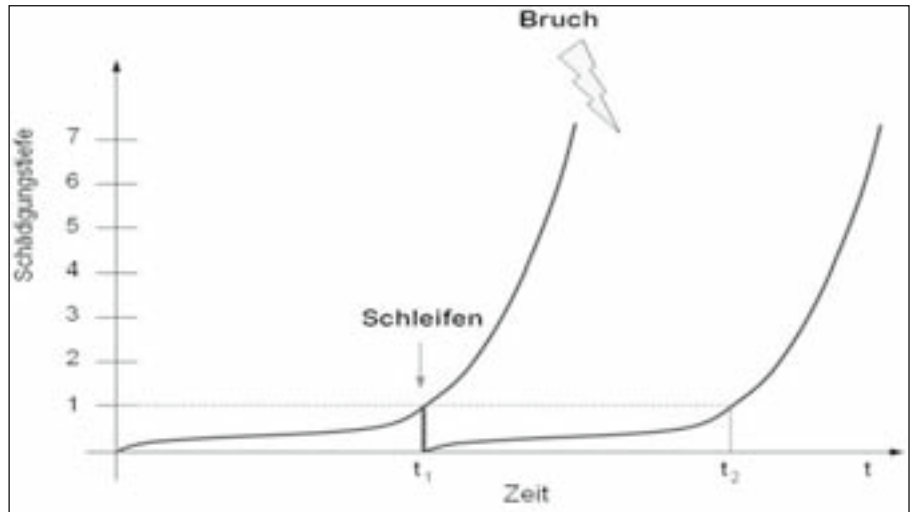


Abb. 12: Entwicklung der Schädigungstiefe – mit und ohne Eingreifen durch Schienenschleifen

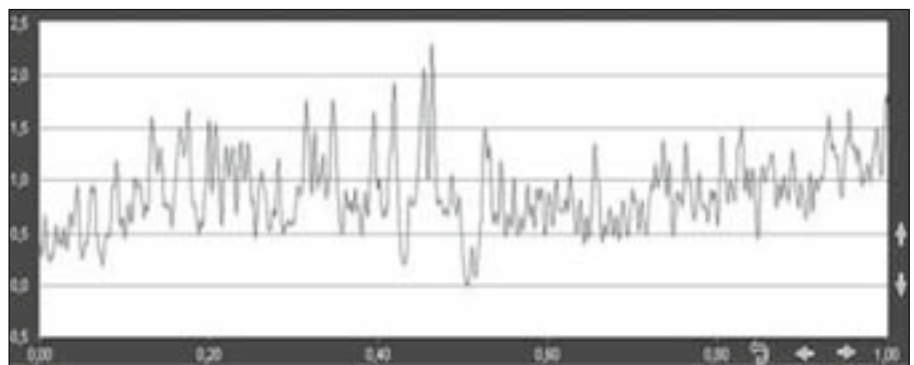


Abb. 13: Wirbelstromanzeige vor dem Schleifen mit Head Checks



Abb. 14: Wirbelstromanzeige nach dem Schleifen mit Schweißnaht

### Zusammenfassung und Ausblick

Der heutige Bahnverkehr mit höheren Achslasten und schnelleren Zuggeschwindigkeiten verursacht eine immer größere Beanspruchung der Schienen. Da trotz angepasster Legierungsstähle

bei der Herstellung der Schienen spätere betriebsbedingte Schienenfehler auftreten können, werden die Schienen in regelmäßigen Zeitabständen mit zerstörungsfreien Prüfverfahren auf ihre Integrität untersucht. Dies wird mit Ultraschall- und Wirbelstromprüfverfahren durchgeführt, im Schienenprüf-

zug der neuesten Generation auch in synergetischer Kombination. Während mit den Wirbelströmen eine Rissdetektion an der Oberfläche des Schienenkopfes, vor allem an der besonders gefährdeten Fahrkante erfolgt, werden die Ultraschallwellen dafür eingesetzt, Fehler im übrigen Schienenkopf sowie im Schienensteg und -fuß durch ein entsprechendes Echosignal anzuzeigen.

Der Einsatz der Gruppenstrahlertechnik für die Schienenprüfung eröffnet neue Perspektiven, insbesondere durch die Möglichkeit, die Anzahl der benötigten Prüfköpfe zu reduzieren. Eine verbesserte Fehlerdetektion sowie eine exakte Fehleranalyse sind möglich.

Die Wirbelstromprüfung an Schienen wurde ursprünglich mit dem Ziel eingeführt, Ermüdungsrisse (so genannte Head Checks) zu detektieren und deren Schädigungstiefe zu bestimmen. Da die Ausbildung der Wirbelströme im Prüfobjekt sehr stark vom Gefüge beeinflusst wird, können auch Härteunterschiede mit diesem Prüfverfahren sehr gut sichtbar gemacht werden.

Hierdurch wird es im Prinzip möglich, Entstehungsorte mit später folgender Ausbildung von Head Checks vorauszusagen. Diese Kenntnis kann sehr hilfreich sein, um die Zusammenhänge der Entstehung von Head Checks unter realen Bedingungen besser zu verstehen. Möglicherweise helfen diese Erkenntnisse auch für die Instandhaltung bei der Entwicklung weiterer Präventivmaßnahmen.

## Literatur

HECKEL, T./BREKOW, G./TESSARO, U./TSCHARNTKE, D./KRULL, R. (2004): Stand der Entwicklung der Gruppenstrahlertechnik zur Anwendung an Bahnkomponenten. Vortrag, ZfP im Eisenbahnwesen. Wittenberge. 23.03.2004.

HECKEL, T./MONTAG, H.-J. (Hrsg.) (2008): Signalverarbeitung bei der mechanisierten Prüfung an praktischen Beispielen. 5. Fachtagung im Eisenbahnwesen. Wittenberge. Vortrag 14. 04.-06.03.2008.

HECKEL, T./MONTAG, H.-J./THOMAS, H.-M. (2008): Neue Entwicklungen bei der mechanisierten Schienenprüfung. DACH-Jahrestagung. St. Gallen. 28.-30.04.2008. Berichtsband 113, CD.

KÖSTERMANN, H./MEISSNER, K. (2007): Kapitel 6.1: Schienenwerkstoff und Schienenprofile. In: FENDRICH, L. (Hrsg.): Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Berlin. S. 309-337.

KRULL, R./HINTZE, H./THOMAS, H.-M./HECKEL, T. (2003): ZfP an Schienen heute und in der Zukunft. DVM-Bericht, Band 670. Berlin. S. 141-151.

KRULL, R./HINTZE, H./THOMAS, H.-M./RÜHE, S./NÖLLEN, D. (2005): Erfahrungen beim Einsatz der Wirbelstromprüfung im Schienenprüfzug 2 der DB Netz AG. DGZfP-Jahrestagung. Rostock. 02.-04.05.2005. Berichtsband 94, CD.

THOMAS, H.-M./DEY, A./POHL, R./HEYDER, R./KRULL, R./DILZ, K. (2008): Früherkennung von Rollkontaktermüdung (RCF) in Eisenbahnschienen. Dach-Jahrestagung, St. Gallen. 28.-30.04.2008. Berichtsband 113, CD.

THOMAS, H.-M./HECKEL, T./HANSPACH, G. (2006): Advantage of a combined Ultrasonic and Eddy Current Examination for Railway Inspection Trains. 9th European Conference on NDT. Berlin. 25.-29.09.2006. Berichtsband 103, CD.

*Christian Brecher/Wieland H. Klein/Florian Lindner*

# Condition Monitoring von Werkzeugmaschinen<sup>1</sup>

## Einleitung

Die Wettbewerbssituation im Werkzeugmaschinen- und Produktionsanlagenbau sowie bei Maschinenanwendern erfordert eine permanente Weiterentwicklung der eingesetzten Produktionsmittel und ihrer Peripherie. Eine Möglichkeit, die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen, ist es, Produktionsmaschinen mit niedrigen Lebenszykluskosten (Life Cycle Costs, LCC) einzusetzen (Abb. 1). Problematisch ist hierbei die Tatsache, dass es bisher keine einheitliche Definition sowie keine verlässliche Berechnungs-

vorschrift für die Lebenszykluskosten einer komplexen Produktionsmaschine gibt, die es erlaubt, diese bereits in der Konstruktionsphase zu bestimmen. Wenn der Betreiber einer Werkzeugmaschine bei einer Neuinvestition die Lebenszykluskosten in seine Kaufentscheidung mit einfließen lassen möchte, führt dies insbesondere bei den Maschinenherstellern zu einem noch ungelösten Problem. Bisher lassen sich lediglich recht allgemeine Ansätze zur Bestimmung der LCC nennen. Betrachtet man eine herkömmliche Maschine, so setzen sich die Kosten aus den Anschaffungskosten sowie

den Betriebskosten zusammen. Bei den Betriebskosten fallen u. a. die Kostenverursacher Energie, Ausfallzeiten und Instandhaltung ins Gewicht.

Ein Lösungsansatz, die LCC zu senken, besteht darin, konsequent auf höchste Qualität und Zuverlässigkeit der Produktionsmittel unter dem Blickwinkel der Bedarfsgerechtigkeit zu achten. Die verwendete Instandhaltungsstrategie hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf die Lebenszykluskosten. Einerseits steigen durch komplexere Strategien und eventuell notwendiges Equipment für die Überwachung und



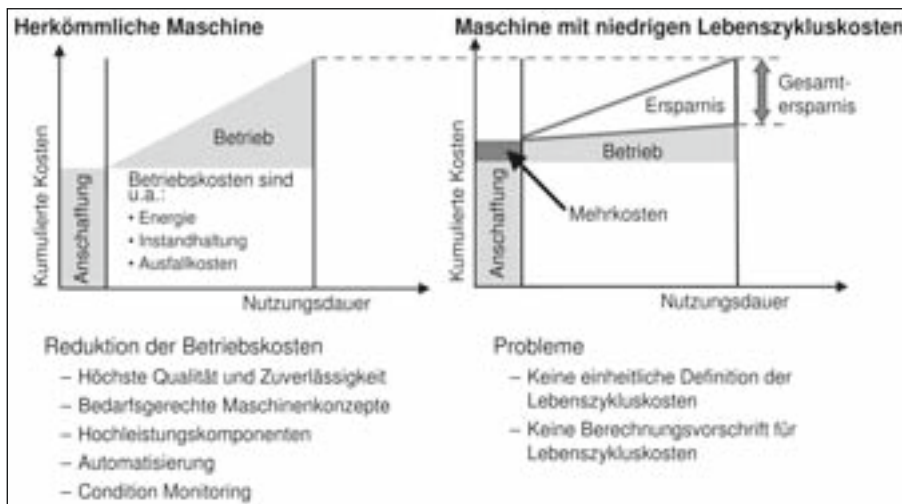


Abb. 1: Lebenszykluskosten von Werkzeugmaschinen

Diagnose die Grundkosten der Maschine, andererseits lassen sich eventuell deutlich teurere Maschinenstillstände und damit verbundene Produktionsausfälle vermeiden.

## Grundlagen

### Instandhaltungsstrategien

Die einfachste Vorgehensweise zur Instandhaltung von Produktionsanlagen stellt die reaktive Strategie (auch „Feuerwehrstrategie“ genannt) dar (Abb. 2, vgl. DIN 31051). Bei ihr werden die einzelnen Komponenten bis zum Ausfall verwendet, was sich im Schadensfall entweder in einem kompletten Stillstand der Maschine äußern kann oder zumindest die Fertigungsqualität deutlich verschlechtert. Während der nachfolgenden Instandsetzung steht die Maschine für eine im Vorfeld unbekannte Ausfallzeit nicht zur Verfügung. Darüber hinaus lässt sich der Ausfall der einzelnen Komponenten nicht im Voraus vorhersagen oder abschätzen. Den nicht vorhandenen oder nur geringen Grundkosten für die Instandhaltung stehen daher enorm hohe Folgekosten gegenüber.

Um die Verfügbarkeit der Maschine zu gewährleisten und Maschinenstillstände planbarer zu handhaben, besteht die Möglichkeit einer präventiven Strategie. Hier werden die Komponenten und Anlagenteile nach Ablauf einer bestimmten Nutzungs- oder Beanspruchungsdauer vorsorglich ausgetauscht. Die Ausfallzeit der Maschine infolge dieser Wartungsarbeiten fällt deutlich kürzer als bei der reaktiven

Strategie aus, da schwere Schäden an Maschinenteilen vermieden werden können. Darüber hinaus können Wartungsarbeiten zusammengezogen und in produktionsfreie Zeiträume verlegt werden. Die höheren Grundkosten werden durch die Vermeidung hoher Folgekosten in der Regel mehr als ausgeglichen.

Ein Nachteil der präventiven Strategie ist jedoch der Austausch einzelner Komponenten, ohne Berücksichtigung des tatsächlichen Schädigungsgrades. Das bedeutet, dass Komponenten meist deutlich vor Ablauf ihrer Nutzungsdauer getauscht werden, obwohl dies eigentlich noch nicht nötig wäre. Die Frage, ob eine Komponente über ausreichend Restnutzungsdau-

er verfügt oder nicht, wird bei der zustandsorientierten Strategie durch Inspektionen überprüft. Auf diese Weise kann der Wartungszeitpunkt nach hinten verlegt werden, und die Wartungsintervalle werden größer. Zwar sinken dadurch die Betriebskosten auf ein theoretisches Minimum, allerdings stehen dem die hohen Investitionskosten für gut ausgebildetes Personal und entsprechende Messgeräte gegenüber.

### Definition „Condition Monitoring“

Unter dem Begriff „Condition Monitoring“ (CM) versteht man die regelmäßige bzw. kontinuierliche Erfassung des Komponenten- und Maschinenzustands anhand aussagefähiger Größen. Ist ein zuverlässiges CM-System an einer Maschine oder in einem Unternehmen eingeführt, so führt dies in der Regel zu einer Steigerung der technischen Verfügbarkeit und der Anlagenproduktivität. Weiterhin wird die Qualität der gefertigten Produkte durch sichere Prozesse gesteigert. Gemeinsam mit einer realisierten Fernwartung und -diagnose (vgl. MAIER 2006) stellen CM-Systeme einen Grundbaustein der zustandsorientierten Instandhaltung dar. Mithilfe eines effektiv eingesetzten Condition Monitorings bietet sich die Möglichkeit, durch eine frühzeitige Schadenserkennung die Lebenszykluskosten von Produktionsanlagen zu minimieren (Abb. 3; vgl. SCHUH/KAMPKER u. A. 2005, FLEISCHER/WEISMANN u. a. 2006).

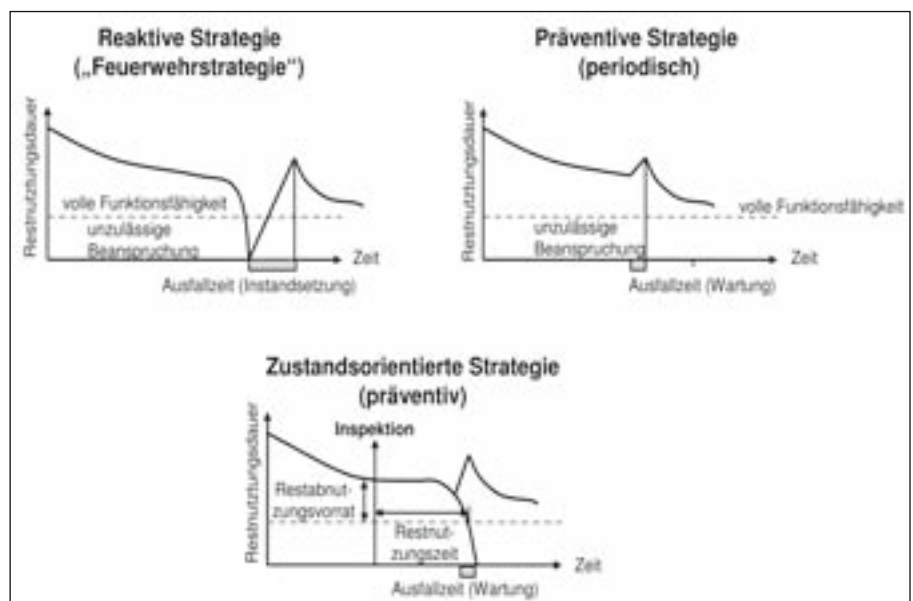


Abb. 2: Mögliche Instandhaltungsstrategien im Überblick



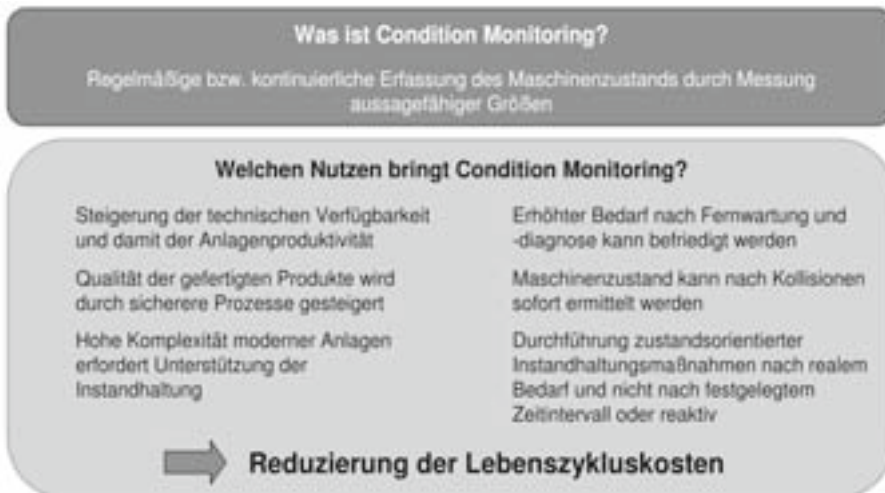


Abb. 3: Definition und Nutzen des Condition Monitorings

### Aufbau eines Condition-Monitoring-Systems

CM-Systeme unterscheiden sich zuweilen stark im Grad ihrer Komplexität, was sich aus dem Umstand ergibt, dass verschiedene Systeme unter dem gleichen Oberbegriff zusammengefasst sind. So werden sowohl einfache Systeme, die nur eine sehr begrenzte Zahl gleicher Sensorsignale auf simple Grenzwertüberschreitungen hin überwachen, ebenso den CM-Systemen zugeschrieben wie auch die deutlich komplexeren Systeme, welche unterschiedliche Sensorsignale kompletter Baugruppen aufwendig analysieren und miteinander verknüpfen. Des Weiteren sagt der Begriff „CM-System“ nichts über den Grad der Integration aus, sodass bei einem System Sensor und Auswertung in einem Bauteil integriert sein können, während bei anderen Systemen eventuell externe Messrechner oder Sensormodule zum Einsatz kommen. Diesen Einschränkungen zum Trotz lässt sich der Aufbau eines CM-Systems zumindest prinzipiell in verschiedene Teileinheiten aufgliedern. So lässt sich eine exemplarische Messkette darstellen (Abb. 4), wie sie sowohl im experimentellen als auch im industriellen Umfeld denkbar ist.

Mittels Sensoren werden die physikalischen Messgrößen in elektrische Sensorsignale umgesetzt und anschließend durch Analog-Digital-Wandler digitalisiert. Dabei ist zu beachten, dass je nach Sensortyp eine zusätzliche analoge Signalschaltung notwendig sein kann. Dies ist beispielsweise

se bei passiven Sensorsystemen wie Thermoelementen der Fall, die einen Abgleich und eine Signalverstärkung benötigen. Aktive mechatronische Sensorsysteme, wie beispielsweise MEMS-Beschleunigungssensoren in Form integrierter Halbleiterelemente, verfügen hingegen meist über die entsprechenden Sensorschaltungen und geben daher direkt nutzbare elektrische Signale aus.

Nach der Digitalisierung der Sensorsignale erfolgt die Vorverarbeitung der gewonnenen Rohdaten in Form einfacher mathematischer Operationen. Häufig können diese bereits durch die gleiche Hardware durchgeführt werden, die auch für die Erfassung und Digitalisierung der Sensorsignale verwendet wurde. Zusätzlich lässt sich mit einer solchen Hardware eine Grenzwertüberwachung realisieren, sodass in Kombination mit einfachen Anzeigeelementen in Form einiger LEDs oder eines LCDs bereits einfache CM-Systeme umgesetzt werden können.

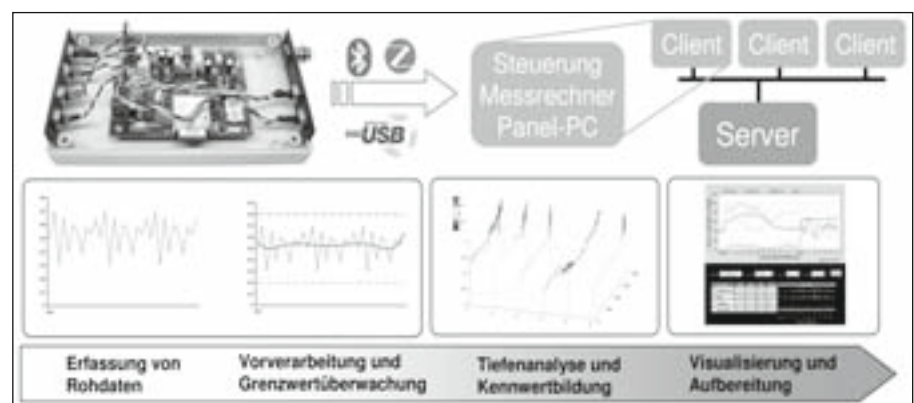


Abb. 4: Exemplarische Messkette beim Condition Monitoring

Werden für eine Tiefenanalyse komplexere Algorithmen benötigt, so kommen in der Regel spezielle Softwareprogramme zum Einsatz, die entweder auf der Maschinensteuerung oder einem externen Messrechner installiert sind. Die Übertragung der vorverarbeiteten Rohdaten (Messdaten) erfolgt dabei über genormte Schnittstellen. Dies können sowohl kabelgebundene Lösungen wie USB, aber ebenso drahtlose Kommunikationstechnologien wie ZigBee oder Bluetooth sein. Auch eine Anbindung an bestehende Bussysteme ist möglich.

Bei einer größeren Anzahl zu überwachender Maschinen lassen sich diese dank der Netzwerkfähigkeit moderner Steuerungen und Messrechner zu einem größeren Netzwerkverbund zusammenschließen. Auf diese Weise sind die einzelnen Analyseergebnisse jeder Maschine von einem beliebigen Rechner mit ausreichenden Zugangsrechten jederzeit und von jedem Ort aus einsehbar.

### Condition Monitoring am Beispiel von Werkzeugmaschinen

Bei der Realisierung eines prozessinhärenten CM-Systems an einer Werkzeugmaschine ist neben den zu überwachenden Maschinenelementen ebenfalls der Prozesseinfluss zu berücksichtigen. Dies führt zum jetzigen Zeitpunkt der Entwicklung zu einer Vielzahl anspruchsvoller, zukünftig zu lösender Fragestellungen. Allgemein wird daher der Ansatz verfolgt, die Zustandsbeurteilung anhand von separat ausgeführten Referenz- oder Messfahrten ohne störenden Prozesseinfluss bei hinreichend gleichen Randbedingungen durchzuführen. Als

Eingangsgröße eines CM-Systems finden sowohl steuerungsinterne Signale (Motorstrom, Schleppfehler, Positionswerte, Geschwindigkeit, PLC-Informationen etc.) als auch Sensorsignale Verwendung. Diese werden anschließend mithilfe von zeitbasierten, frequenzbasierten oder zeit-frequenzbasierten Verfahren analysiert (vgl. METZELE 2008). Ermittelte Kenngrößen lassen sich anschließend als Trend verfolgen oder mittels einer Mehrgrößenauswertung miteinander kombinieren.

**Fehlausrichtungen und Montagefehler**

Eine häufige Schadensursache an Vorschubachsen stellen Fehlausrichtungen und andere Montagefehler von Kugelgewindetriebsen (KGT) und Führungssystemen dar. Zur Untersuchung dieser Schäden wurde der dargestellte Prüfstand (Abb. 5, unten) verwendet und ein gezielter Achsversatz aufgebracht. Dies wurde durch einen radialen Versatz des Loslagers realisiert. Rechts sind die auf den Gutzustand bezogenen Anstiege in den Drehmomentsignalen dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass mit steigendem Versatz des Loslagers (Abb. 5, Pos. a) im mittleren Foto) das KGT-Drehmoment ansteigt.

Diese Art von Schaden ist ein Beispiel für Defekte, die ohne großen mathematischen Aufwand mit zeitbasierten Verfahren nachweisbar sind. Zeitbasiert bedeutet in diesem Zusammenhang, dass lediglich der zeitliche Verlauf eines Sensorsignals der Auswertung zugrunde liegt. Zu den zeitbasierten

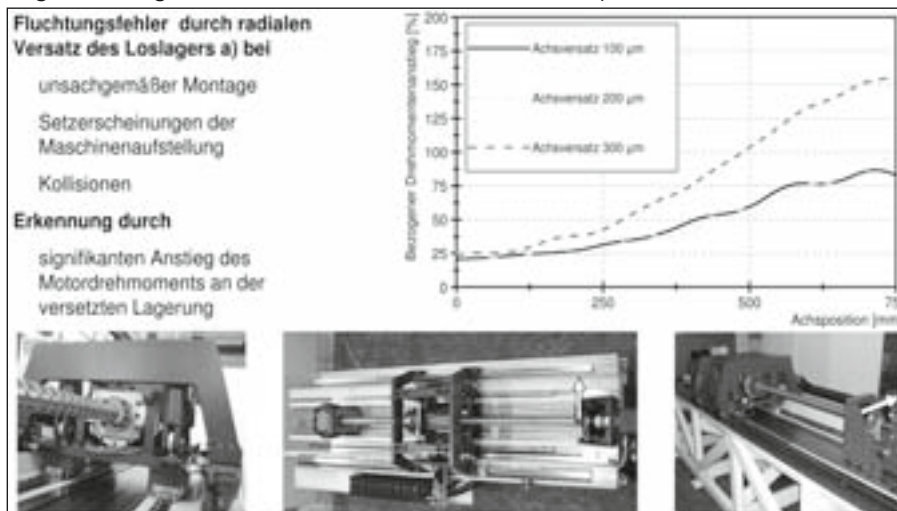


Abb. 5: Fluchtungsfehler bei Kugelgewindetriebsen

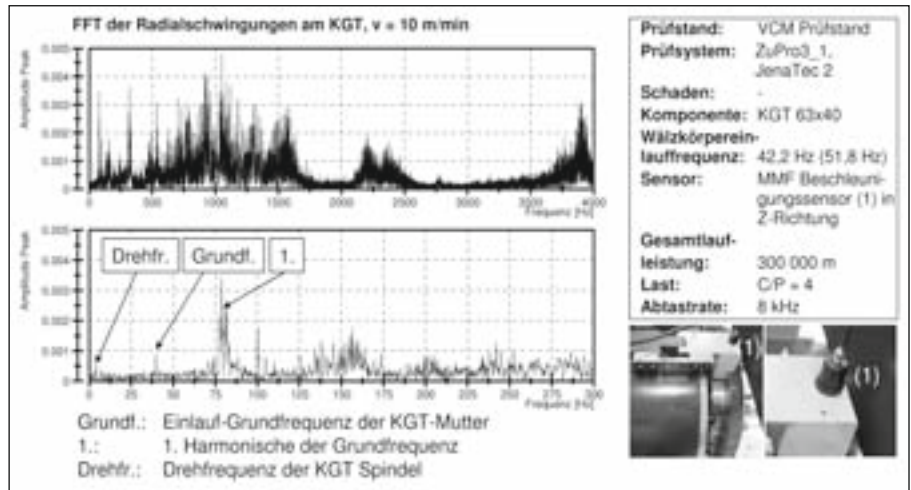


Abb. 6: Messung von Überrollfrequenzen an Kugelgewindetriebsen

Verfahren zählen u. a. Mittelwertbildung, Effektivwertbildung und Grenzwertüberwachung. Des Weiteren wurde in diesem Fall mit der Auswertung des Motorstrom-Ist-Wertes, welcher dem Drehmoment des Elektromotors proportional ist, ein steuerungsinternes Signal für die Analyse verwendet. Dies hat den Vorteil, dass keine zusätzlichen Sensoren benötigt werden, setzt aber das Vorhandensein eines geeigneten Signals und die Möglichkeit voraus, dieses aus der Maschine herauszuführen.

**Defekte Umlenkstücke von KGT-Muttern**

Ein weiteres Schadensbild stellen defekte Umlenkstücke in KGT-Muttern dar. Analog zu Einlauffrequenzen bei Wälzlagern (vgl. HARRIS/KOTZALA 2007) und Linearführungen (vgl. BRECHER/KLEIN 2006) können die charakteristi-

schen Frequenzen von KGT in Abhängigkeit von den geometrischen Abmaßen und der Drehfrequenz berechnet werden. Die berechneten Frequenzen einer KGT-Mutter und deren Harmonische sind deutlich im Spektrum zu erkennen (Abb. 6). Insbesondere die 1. Harmonische des betrachteten KGT weist eine starke Erhöhung auf, die auf einen Schaden schließen lässt.

Das oben gezeigte Beispiel ist exemplarisch für eine frequenzbasierte Analyse von Maschinenkomponenten. Hierbei wird das Zeitsignal über eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) in seine einzelnen Frequenzkomponenten zerlegt. Dadurch treten Schwingungen, die im Zeitsignal mit allen anderen Schwingungen überlagert sind, sehr viel deutlicher hervor und können hinsichtlich ihrer Größe und genauen Lage im Frequenzband untersucht werden. Da die meisten Komponenten über charakteristische Frequenzen verfügen und sich diese im Falle eines Schadens verändern können, stellt die Grenzwertüberwachung diskreter Frequenzen eine Möglichkeit zur Schadensdetektierung dar. Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass bei der Fouriertransformation die Zeit- und damit auch die Weginformation verloren geht. Daher kann ein Schaden zwar detektiert, nicht aber einer bestimmten Position zugeordnet werden.

**Mehrgrößenauswertung von Linearführungen**

Analog zur Mehrgrößenauswertung bei Linearführungen (vgl. BRECHER/KLEIN 2007) ist dieser Ansatz auch zur Erkennung von Kugelgewindetriebsenschäden



vielversprechend. Mithilfe der Mehrgrößenauswertung kann die Versuchsauswertung eines KGT-Dauerlaufs erstellt und abgebildet werden (Abb. 7). Im oberen Teil der Abbildung ist der Zustand des internen Umlenkstücks über der Laufleistung dargestellt (a bis c). Schon frühzeitig ist optisch eine leichte Schädigung zu erkennen. Dies führt im Schwingungsbild zu einem Anstieg charakteristischer Frequenzen und derer Harmonischen. Mithilfe des am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen entwickelten Kennwerts MTD1 (Abb. 7, Kennwert Nr. 6) ist es in Ansätzen möglich, eine Schädigung der Umlenkstücke deutlich vor dem Totalausfall zu detektieren.

Mehrgrößenauswertungen stellen eine Alternative zu den Verfahren dar, bei denen lediglich ein bestimmtes Sensorsignal ausgewertet wird. Grundlage ist stattdessen die Berechnung von Kennwerten für jedes zu betrachtende Sensorsignal. Hierbei kommen die üblichen zeit- und frequenzbasierten Verfahren oder aber komplexere Algorithmen zum Einsatz. Die Mehrgrößenauswertung schließlich verknüpft die Änderungen dieser einzelnen Kennwerte über eine mathematische Berechnungsfunktion mit unterschiedlicher Gewichtung. Das Ergebnis ist ein Trendverlauf, der mit seinem Anstieg den zunehmenden Grad der Schädigung widerspiegelt. Eine zentrale Rolle kommt dabei der Auswahl der Kenn-

werte zu. Je genauer die Kennwerte auf Schädigungen einer bestimmten Komponente reagieren, desto mehr ist auch der Trendverlauf für den Zustand genau dieser Komponente repräsentativ.

### Auswirkungen auf die Ausbildung und Arbeitsgestaltung

Auch wenn zustandsorientierte Instandhaltung im Allgemeinen und Condition Monitoring im Besonderen nach wie vor Gegenstand zahlreicher Forschungsaktivitäten sind, stellt eine Durchsetzung dieser Ansätze die mittelfristige Konsequenz zur Wahrung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie dar. Dadurch ergibt sich bereits jetzt die Notwendigkeit, die sich aus diesen Themenfeldern ergebenden Anforderungen bei der Ausbildung von Nachwuchsfachkräften und -ingenieuren zu berücksichtigen.

Condition Monitoring verknüpft auf enge Weise die Disziplinen Mechanik, Mathematik, Informatik sowie Steuerungs- und Elektrotechnik. Um die Schadensmechanismen einer Maschinenkomponente und die Auswirkungen auf bestimmte physikalische Größen verstehen zu können, sind grundlegende mechanische Kenntnisse notwendig. Erst hierdurch werden Instandhalter in die Lage versetzt, auf Basis bestimmter Messgrößen die Zustände einzelner Komponenten ein-

zuschätzen und die Schwere eines potenziellen Schadens zu beurteilen. Zwar ist es das Ziel vieler Forschungsanstrengungen, die Detektion und Analyse eines Schadens allein durch Softwarealgorithmen zu bewerkstelligen, allerdings ist nicht abzuschätzen, inwieweit dies in absehbarer Zeit möglich ist. Für Mitarbeiter, die sich mit der Entwicklung und Verbesserung von CM-Systemen beschäftigen, ist daher ein tiefgehendes Verständnis der mechanischen Vorgänge innerhalb einer Komponente wichtig. Schließlich sind sie diejenigen, die die grundlegenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die nachfolgenden Generationen von CM-Systemen durchführen müssen.

Die Abhängigkeit im Bereich CM von mathematischen Algorithmen sowie die im Vorfeld durchzuführende Menge an Prüfstandsuntersuchungen führt zwangsläufig zu einem starken Einsatz rechnergestützter Hilfsmittel. Gerade für Fachkräfte im Forschungsumfeld sind der sichere Umgang mit skriptbasierten Berechnungssprachen (z. B. Matlab) und ein solides mathematisches Grundverständnis unabdingbare Voraussetzungen für die erfolgreiche Arbeit. Die enge Verknüpfung mit der experimentellen Arbeit führt darüber hinaus zum Einsatz vielfältiger Prüfstandssoftware (z. B. Labview), die die Arbeit zwar erleichtert, dafür aber ent-

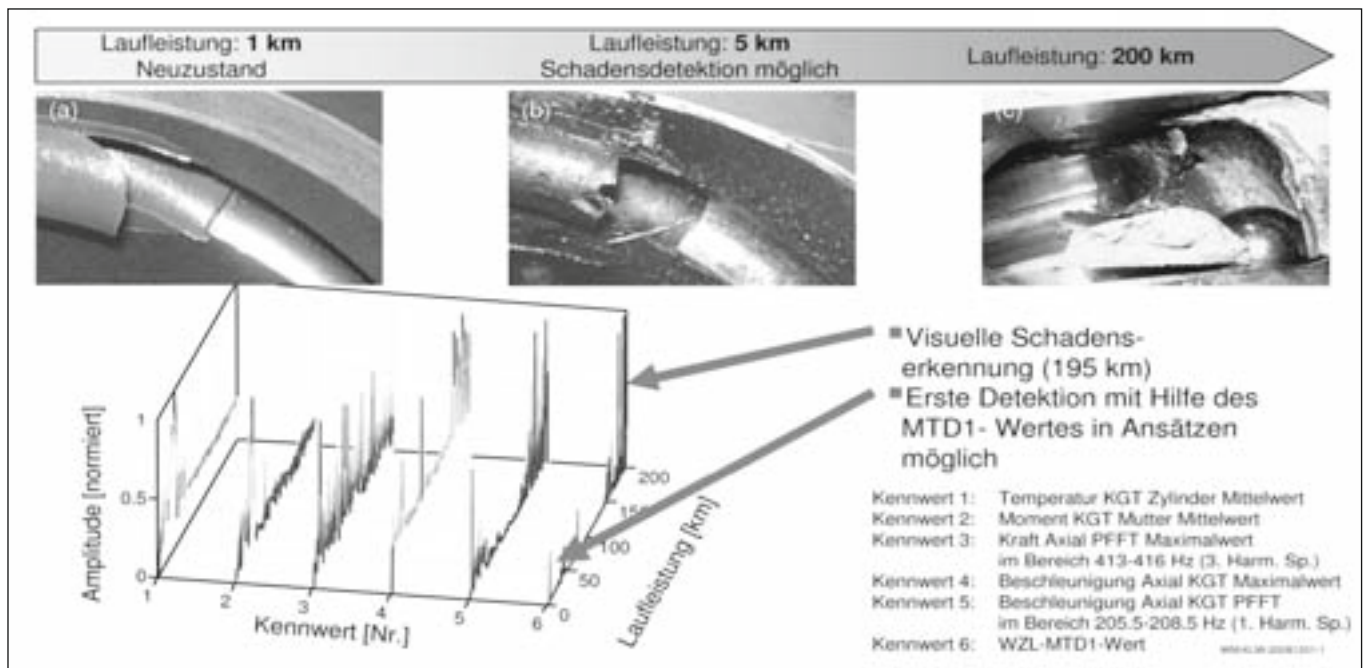


Abb. 7: Mehrgrößenauswertung bei Kugelgewindetrieben

sprechende Kenntnisse im Umgang mit ihr erfordert.

Eine weitere wichtige Stellung beim CM nimmt die Steuerungs- und Elektrotechnik ein, da alle CM-Systeme elektrische Signale von Sensoren oder der Maschinensteuerung verarbeiten. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass jede Fachkraft und jeder Ingenieur im Umgang mit solchen Systemen unweigerlich über grundlegende Kenntnisse in diesen Bereichen verfügen muss, denn viele Störungen und Probleme im täglichen Umgang mit der Technik sind elektrischer (Sensorausfälle, elektromagnetische Störungen etc.) oder steuerungstechnischer Natur (Busfehler, Speicherüberläufe etc.). Auch die Auslegung von komponentenintegrierter Messtechnik lässt sich ohne Kenntnisse der potenziellen elektromagnetischen Störquellen und Möglichkeiten zur Energieversorgung nur schwer bewerkstelligen.

Die bis hier getätigten Ausführungen betreffen zweifelsfrei eher jene Berufsgruppen, die seit jeher ein hybrides Qualifikationsprofil aufweisen, also vornehmlich Ingenieure und Fachkräfte aus der Instandhaltung sowie dem Forschungsumfeld (z. B. Mechatroniker/-in und Techniker/-in). Doch auch im Bereich der metallverarbeitenden Ausbildungsberufe könnten in Zukunft Teilaspekte des Condition Monitorings eine zunehmend wichtigere Rolle spielen. Je einfacher die Überwachungssysteme mit der Zeit werden und umso mehr Funktionalität bei der Fehleridentifikation automatisiert werden kann, desto eher lassen sich die Systeme auch durch andere Berufsgruppen, z. B. Zerspanungstechniker/-in, bedienen.

Erkennt ein CM-System während des Betriebs beispielsweise eine mangelnde Schmierung der Führungsbahnen, so kann der Maschinenbediener über eine Mitteilung auf der Steuerung über das Problem informiert werden.

Mittels grafischer Anzeigen kann er darüber hinaus direkt auf die Lage der Schmierstellen und die benötigte Schmiermenge hingewiesen werden. Eine zeitaufwändige Benachrichtigung der Instandhaltung kann auf diese Weise eventuell vermieden werden. Allerdings müssen die Maschinenbediener hierfür über entsprechende Kenntnisse in der Maschinenwartung verfügen, und sie sollten sich über den Aufbau und die Funktion einzelner Maschinenkomponenten im Klaren sein.

Auch die Auswertung einfacher Instandhaltungstests kann gegebenenfalls bereits durch die Maschinenbediener geleistet werden. Hierfür muss die Software die Messergebnisse schon soweit aufbereiten, dass eine relativ einfache Interpretation möglich ist. Dies kann zum Beispiel über Ampelfarben für den Allgemeinzustand wichtiger Komponenten oder durch selbsterklärende grafische Auswertungen standardisierter Tests erfolgen. Da eine eindeutige Beurteilung des Maschinenzustandes durch Software alleine in absehbarer Zeit aber nicht oder nur sehr schwer zu erreichen sein wird, muss die vorhandene Lücke in diesem Fall durch eine umfassende Aus- und Weiterbildung der Maschinenbediener geschlossen werden.

Neben den nach wie vor benötigten Qualifikationen für den eigentlichen Produktivbetrieb erfordert die Einführung von CM-Systemen daher die Erweiterung des klassischen Tätigkeitsfeldes um notwendiges Grundlagenwissen der Instandhaltung. Hierzu gehört z. B. das Beherrschen von Fehlerdiagnosesystemen, die Kenntnisse über mechanische Zusammenhänge innerhalb der Maschine, das Verständnis von Wirkung und Ursache eines Schadens und vieles mehr. Wie tiefgehend das Wissen in den einzelnen Bereichen sein muss, hängt im Wesentlichen davon ab, wie schnell entsprechende Systeme in die Praxis eingeführt werden, wie autonom

die Systeme arbeiten und nicht zuletzt davon, ob eine Verlagerung der Instandhaltungsarbeiten hin zum Bediener aus betrieblicher Sicht überhaupt gewünscht ist.

## Anmerkung

- 1 Teile der vorgestellten Forschungsergebnisse basieren auf Arbeiten des Verbundprojektes „Zuverlässige Produktionsanlage – ZuPro“ ([www.zupro.de](http://www.zupro.de)) sowie des EU-Projektes „NEXT – Next Generation Production Systems“ (IP 011815) des sechsten Rahmenprogramms.

## Literatur

- BRECHER, C./KLEIN, W. (2006): Ansätze zur Schadensdiagnose an Linearführungssystemen. In: ZWF, Heft 7-8. S. 408–411.
- BRECHER, C./KLEIN, W. (2007): Auf dem Weg zur Condition-Monitoring fähigen Werkzeugmaschine – Ansätze am Beispiel eines Führungssystems. In: wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 97, Heft 7/8.
- DIN 31051 (2003): Grundlagen der Instandhaltung.
- FLEISCHER, J./WEISMANN, U. U. A. (2006): Maschinenüberwachung unter Life-Cycle-Aspekten. In: wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 96, Heft 7/8.
- HARRIS, T. A./KOTZALA, M. N. (2007): Rolling Element Analysis. 5. Auflage. Boca Raton.
- MAIER, V. (2006): Effizienter Condition Monitoring Prozess durch automatisierte E-Services. Beitrag zum Seminar „Zustandsüberwachung und -diagnose von Produktionsmaschinen“, 11./12. Oktober 2006. WZL, Aachen.
- METZELE, M. (2008): Zustandsorientierte Instandhaltung von schnelllaufenden Werkzeugmaschinen-Hauptspindeln. Dissertation RWTH Aachen.
- SCHUH, G./KAMPKER, A. U. A. (2005): Intelligent Maintenance. Studie RWTH Aachen.



Eckhard Büßen/A. Willi Petersen/Carsten Wehmeyer

# Messtechnische Analyse und Reparatur von Elektro-Hausgeräten am Beispiel eines Geschirrspülers

## Arbeitsorientierte Lernprozessgestaltung im berufsbezogenen Unterricht

### Herausforderung: Geschäfts- und Arbeitsprozessorientierung

Im Jahre 2003 wurden die Elektrobereufe neu geordnet und zugleich für den Unterricht in der Berufsschule neue Rahmenlehrpläne entsprechend den KMK-Handreichungen (vgl. KMK 1999) eingeführt. Die Ausbildung für einen Beruf verfolgt danach zum einen im didaktischen Sinne der Handlungsorientierung das übergreifende Ziel, „selbstständiges und verantwortungsbewusstes Denken und Handeln“ zu vermitteln (KMK 2003, S. 2). Entscheidend dabei ist, dass Handlungsorientierung hier nicht einfach nur methodisch gilt, sondern in der Berufsschule grundsätzlich in Beziehung auf konkretes berufliches Handeln in der Arbeit vollzogen werden soll (vgl. KMK 2003, S. 5). Zum anderen sind die Ziele und Inhalte der Lernfelder der neuen Rahmenlehrpläne Teil des curricular-didaktischen Reformprozesses, mit dem der Geschäfts- und Arbeitsprozessorientierung in der Berufsausbildung Rechnung getragen wird, denn „die Lernfelder des Rahmenlehrplans orientieren sich an den beruflichen Arbeits- und betrieblichen Geschäftsprozessen. Deshalb erhalten das kundenorientierte Berufshandeln und die Auftragsabwicklung einen besonderen Stellenwert und sind bei der Umsetzung der Lernfelder in Lernsituationen besonders zu berücksichtigen. Die Vermittlung der Kompetenzen und Qualifikationen sollte an berufstypischen Aufgabenstellungen auftrags- und projektorientiert in Kooperation mit den anderen Lernorten erfolgen“ (KMK 2003, S. 7). Die verantwortlichen Lehrerteams in den berufsbildenden

Schulen sind daher gefordert, im Rahmen der Lernfeldumsetzung praxisnahe, arbeitsorientierte Lernprozesse auf der Grundlage von Geschäfts- und Arbeitsprozessen zu initiieren. Ausgangspunkt der didaktisch-methodischen Unterrichtsplanung ist also nicht mehr allein ein technischer Gegenstand oder technologisches System, sondern z. B. ein didaktisch aufbereiteter Kundenauftrag, in dessen Zentrum die beruflichen Anforderungen und Aufgaben der gewerblich-technischen Arbeit stehen.

Die Umsetzung von Lernfeldern für den berufsbezogenen Unterricht kann ganz unterschiedliche arbeitsorientierte Ausgangspunkte haben. Im vorliegenden Beitrag wird zur Lernfeldumsetzung der Frage nach den messtechnischen Analyse- und Diagnosemöglichkeiten bei Haussystemen und -geräten<sup>1</sup> am Beispiel einer zur Verfügung stehenden Geschirrspülmaschine nachgegangen, denn die Störungsdiagnose und -behebung nach Kundenanfrage zählt nach wie vor zu einem der wichtigsten Geschäftsfelder von Betrieben des Elektrohandwerks und folglich zum Aufgabengebiet von Elektroinstallateuren bzw. – neu – der Elektroniker/-innen. Die hohe Bedeutung begründet sich schlicht auch über die etwa 300 Mio. Hausgeräte, die in deutschen Haushalten im Jahre 2000 im Einsatz waren (vgl. WEGNER 2000, S. 5). Und zu den entsprechenden Anforderungen an den Service im Elektroinstallateurhandwerk konstatiert HÄGELE wie folgt: „Zum einen muss die Beratung vor und während des Kaufes stets an den aktuellen Marktangeboten orientiert sein. Der Berater muss die Stärken der neuen Produkte überzeugt vertreten und begründen können. In Bezug auf die Reparatur

und Wartung von Haushaltgeräten müssen Elektroinstallateure mehrere Gerätegenerationen reparieren können, weil z. B. bei Waschmaschinen mit einer Gerätelebensdauer von bis zu 15 Jahren zu rechnen ist.“ (HÄGELE 2002, S. 28)

Einen speziellen Ausbildungsberuf wie z. B. „Servicemonteur/-in für Hausgeräte“ gibt es nicht, sodass in aller Regel die Elektroinstallateure bzw. neuerdings die Elektroniker/-innen der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik dieses Geschäfts- und Arbeitsfeld abdecken. Folgende Anforderungen und Aufgaben im Service sowie in der Störungsanalyse und Wartung kennzeichnen generell das Arbeitsfeld:

- Analysieren von Störungen in den Anlagen und Beseitigen von Fehlern;
- Durchführen von Inspektionen, Wartungsarbeiten und Anlageninstandsetzung;
- Betreuen von Kunden und Durchführen von Serviceleistungen.

Im Hinblick auf die Lernprozessgestaltung soll dazu nachfolgend auch untersucht werden, ob und inwieweit die für die Ausbildung im Betrieb und in der Berufsschule geltenden curricularen Mindestanforderungen solche Anforderungs- und Qualifikationsinhalte enthalten.

### Curriculare Analyse und Rahmenplanung

In den KMK-Rahmenlehrplänen wird hervorgehoben, dass sich der berufsbezogene Unterricht umfassend an den für den Ausbildungsberuf gelten-

den Ordnungsmitteln zu orientieren hat:

- Rahmenlehrpläne für die Berufsschulen;
- Ausbildungsordnungen des Bundes für die Berufsbildung (vgl. KMK 2003, S. 3).

**Analyse des Ausbildungsrahmenplans**

Im Ausbildungsrahmenplan der Ausbildungsordnung für die Berufsausbildung zum Elektroniker/zur Elektronikerin hat bereits im Grundbildungsabschnitt die Bearbeitung eines Kundenauftrags mit der Arbeitsplanung und Kundenberatung sowie -betreuung eine hohe übergeordnete Bedeutung (s. Abb. 1). Inhaltlich relevant ist in der Grundbildung vor allem auch das „Messen und Analysieren“. Die zu vermittelnden Inhalte und mess-

technischen Qualifikationen beziehen sich dabei auf die Messverfahren und Messgeräte sowie die Analyse und Bewertung der Messergebnisse. Darauf aufbauend und im Zusammenhang wird in der Fachbildung dann das „Durchführen von Serviceleistungen“ zum Gegenstand der Ausbildung.

**Analyse des Rahmenlehrplans**

Gemäß KMK-Rahmenlehrplan ist für den Ausbildungsberuf „Elektroniker/-in, Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik“ die messtechnische Analyse und Diagnose von Elektro-Hausgeräten in den drei Lernfeldern 1, 6 und 10 und somit lernfeldübergreifend relevant. Je nach Ausrichtung und Inhalt der entsprechenden Geschäfts- und Arbeitsprozesse sind aus den Lernfeldern einzelne Ziele und Inhaltsbereiche für den Unterricht von Interesse. Da die messtechnisch gestützte Ana-

lyse von Hausgeräten sowie die Fehlerdiagnose zur Störungsbeseitigung im Mittelpunkt des geplanten Unterrichts stehen soll, sind die im Folgenden dargestellten Inhalte von Lernfeld 1 und 6 die wesentliche curriculare Unterrichtsgrundlage. Dabei bilden Strom-, Spannungs- und Widerstandsmessungen zur Fehlersuche den elektro- wie handlungstechnischen Kern. Die Zielformulierungen stellen in ihrer Gesamtheit zudem einen vollständigen Kundenauftrag vom Kundengespräch bis zur Rechnungserstellung dar, sodass eine gute curriculare Orientierung für die nachfolgend näher zu erläuternde Geschäfts- und Arbeitsprozessanalyse vorliegt.

**Berufsdidaktische Geschäfts- und Arbeitsprozessanalyse**

Die geschäfts- und arbeitsprozessorientierte Umsetzung der Lernfelder als

Nr.	Teil des Ausbildungsberufsbildes	Qualifikationen, die unter Einbeziehung selbstständigen Planens, Durchführens und Kontrollierens zu vermitteln sind
<b>Abschnitt 1: Grundbildung</b>		
5	Betriebliche und technische Kommunikation	a) Handbücher, Fachzeitschriften und Firmenunterlagen, Betriebs- und Gebrauchsanleitungen in deutscher und englischer Sprache lesen und auswerten b) Einzelteilzeichnungen, Zusammenstellungszeichnungen, Explosionszeichnungen und Stücklisten lesen und anwenden c) Übersichtsschaltpläne, Stromlaufpläne, Grundrisse von Gebäuden und Räumen, Verdrahtungs- und Anschlusspläne lesen und anwenden (...)
6	Planen und Organisieren der Arbeit, Bewerten der Arbeitsergebnisse, Qualitätsmanagement	a) Sachverhalte und Informationen zur Abwicklung von Aufträgen aufnehmen und auswerten b) Montage- und Bauteile, Materialien und Betriebsmittel für den Arbeitsablauf feststellen und auswählen, termingerecht anfordern, transportieren, lagern und montagegerecht bereitstellen c) persönliche Schutzeinrichtungen, Werkzeuge, Messgeräte, Bearbeitungsmaschinen und technische Einrichtungen auswählen, disponieren und beschaffen sowie bereitstellen d) Arbeitsschritte festlegen und erforderliche Abwicklungszeiten einschätzen, Arbeitsabläufe und Teilaufgaben unter Beachtung wirtschaftlicher und terminlicher Vorgaben planen, bei Abweichungen von der Planung Prioritäten setzen
7	Beraten und Betreuen von Kunden, Verkauf	a) Kunden hinsichtlich Produkte und Materialien beraten b) Kunden auf Wartungsarbeiten und auf Instandhaltungsvereinbarungen hinweisen
11	Messen und Analysieren	a) Messverfahren und Messgeräte auswählen b) elektrische Größen messen, bewerten und berechnen c) Kenndaten und Funktion von Bauteilen und Baugruppen prüfen d) Steuerschaltungen, insbesondere mit logischen Grundfunktionen, analysieren e) Signale an Schnittstellen prüfen f) Sensoren, insbesondere für Temperatur, Licht und Bewegungsabläufe, prüfen und einstellen g) Steuerungen und Regelungen hinsichtlich ihrer Funktion prüfen und bewerten
<b>Abschnitt 2: Gemeinsame Fachbildung</b>		
14	Durchführen von Serviceleistungen	a) Geräte prüfen, kundengerecht einrichten und in Betrieb nehmen b) Störungsmeldungen aufnehmen, Anwender zu Störungen befragen, Lösungsvorschläge unterbreiten c) technische Hilfestellung bei Anwenderrückfragen geben d) Ferndiagnose und -wartung durchführen e) Serviceleistungen dokumentieren

Abb. 1: Auszug aus dem Ausbildungsrahmenplan (vgl. BMWA 2003)

Grundlage der Unterrichtsgestaltung impliziert eine didaktische Analyse und Aufarbeitung eines berufsrelevanten Geschäfts- und Arbeitsprozesses. In der Berufs- und Arbeitspraxis von Elektrofachkräften ist hier u. a. die „Reparatur von Geräten“ relevant, die nachfolgend am Beispiel eines Geschirrspülers konkretisiert werden soll.<sup>2</sup> Gemäß der einleitend geforderten didaktischen Neuorientierung zum berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule hat auch bei dem Geschäftsprozess der „Reparatur eines Geschirrspülers“ das kundenorientierte Berufshandeln und die Auftragsabwicklung eine das Handlungslernen anleitende Bedeutung. So umfasst der Geschäftsprozess alle beruflichen Arbeiten und Aufgaben vom ersten Kundengespräch bis hin zur Abrechnung.

Die berufsdidaktische Grundlage der Geschäfts- und Arbeitsprozessanalyse bildet dabei das GAHPA-Modell (vgl. PETERSEN 2005; WEHMEYER 2007, S. 82 ff.), in dem der genannte Geschäftsprozess (s. Abb. 3) in einem ersten Analyseschritt in seine Arbeitsprozesse und Handlungsphasen – auch als didaktisch-methodischer Rahmen für den Lernprozess – gegliedert werden kann. Dabei werden neben dem GAHPA-Modell für die Gliederungen zum Geschäftsprozess auch die strukturierten Qualifikationen aus dem Ausbildungsberufsbild genutzt.

Am Anfang der Auftrags- und Projektbearbeitung (A) steht bei Störungsmeldungen und möglichen Reparaturaufträgen zunächst die fachgerechte Betreuung und Befragung des Kunden. Neben der schlichten Reparatur-

annahme gehört hierzu insbesondere die nähere Beschreibung der Fehlersymptome als eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Auftragsbearbeitung und Fehlereingrenzung. In dieser Phase soll somit bereits bestmöglich geklärt werden, um was für einen Fehler es sich handelt und wann, wie und wodurch der Defekt aufgetreten ist. Ebenso sind als Teil der ersten Arbeitsaufgabe bereits einige organisatorische Details zu klären, so etwa einen passenden Termin zu vereinbaren oder auf Kundennachfrage kurz die Kostenstruktur zu erläutern. An diesen ersten Arbeitsprozess der Auftragsbearbeitung (A) schließen sich die spezifischen Arbeitsprozesse der „System- und Arbeitsplanung“ (B) sowie der „Wartung und Instandhaltung“ (F) an (s. Abb. 3).

Nr.	Lernfeld	relevante Zielformulierung	relevante Inhalte
1	Elektrotechnische Systeme analysieren und Funktionen prüfen (1. Ausbildungsjahr, 80 Std.)	Die Schülerinnen und Schüler analysieren elektrotechnische Systeme auf der Anlagen-, Geräte-, Baugruppen- und Bauelementeebene sowie Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Ebenen. Dabei lesen und erstellen sie technische Unterlagen. Sie bestimmen Funktionen und Betriebsverhalten ausgewählter Bauelemente und Baugruppen und deren Aufgaben in elektrotechnischen Systemen. Die Schülerinnen und Schüler beschaffen dazu selbstständig Informationen und werten sie aus.	Betriebliche Produkte, Dienstleistungen; Schaltpläne, Schaltzeichen; Elektrische Betriebsmittel, Grundschaltungen; Messverfahren, Funktionsprüfung, Fehlersuche; Informationsbeschaffung und -aufbereitung
6	Anlagen und Geräte analysieren und prüfen (2. Ausbildungsjahr, 60 Std.)	Die Schülerinnen und Schüler führen Kundengespräche zur Erfassung von Fehlersymptomen in elektrischen Anlagen und Geräten durch. Sie werten Gesprächsprotokolle aus, analysieren die Symptome und grenzen die Fehler ein. Sie beraten die Kunden nach ökonomischen Aspekten über die Art der Fehlerbehebung und erstellen Kostenvoranschläge für Reparaturaufträge.  Die Schülerinnen und Schüler planen und organisieren die Auftragsrealisierung.  Die Schülerinnen und Schüler wählen Prüf- und Messmittel zur Fehlerdiagnose aus. Sie nutzen Betriebsanleitungen auch in englischer Sprache. Sie führen Sichtprüfungen, Erprobungen und Messungen an einzelnen Komponenten von Anlagen durch. Sie nehmen Messwerte und Signalverläufe auf und beurteilen diese im Hinblick auf eine ordnungsgemäße und betriebssichere Funktion. Dabei unterscheiden sie die Signale nach Form, Bandbreite und Übertragungsgeschwindigkeit. Sie nutzen Stromlauf- und Signalfusspläne sowie Gerätedokumentationen und wenden Fehlersuchstrategien an. Sie beschreiben und bewerten Auffälligkeiten an Komponenten und beurteilen den Einfluss auf das Gesamtsystem.  Die Schülerinnen und Schüler führen Reparatur-, Einstellungs- und Justierarbeiten an fehlerhaften Anlagen und Geräten aus.  Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren und prüfen die in Stand gesetzten Anlagen und Geräte und überprüfen Teilfunktionen. Sie dokumentieren die Messergebnisse mithilfe von Informationssystemen.  Die Schülerinnen und Schüler erstellen Rechnungen, erläutern diese und übergeben die in Stand gesetzten Anlagen. Sie demonstrieren die Funktionsfähigkeit der Anlagen und weisen die Kunden auf die Fehlerursachen hin.	Schnittstellen für analoge und digitale Signale; Geräte- und Anlagenprüfung; Verfahren zur Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen; Sensoren, Aktoren; Mess- und Prüfmittel; Fehler in Energie- und Informationsflüssen; Fehlersuchstrategien; Reparaturauftrag; Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes

Abb. 2: Liste relevanter Lernfelder für die Lernprozessgestaltung (vgl. KMK 2003)

Geschäftsprozess	Arbeitsprozesse	Handlungsphasen	Arbeitsaufgaben	Fachkräfte/Berufe										
				L1	L2	L3	L4	L5						
<p>7... Jeweilige Berufsbezeichnung (Qualifikation) der Verbindung</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p><b>Geschäftsprozess:</b> Reparatur eines Geschirrspülers Handwerksbetriebe</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	Auftrags- und Projektbearbeitung (A)	Beraten und Betreuen von Kunden, Verkauf (E 7)*	<p><b>Serviceberatung / Reparaturannahme</b> Den Kundenwunsch und das Problem durch ein Servicegespräch analysieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Technische Störungsmeldungen aufnehmen</li> <li>Anwender zu Störungen befragen: Wann, wie und wodurch ist der Defekt aufgetreten?</li> <li>Mögliches Defekt-/Fehlerteil benennen (Typ, Nr. ...) und erste Lösungsvorschläge unterbreiten</li> </ul> <p><b>Ergebnis Kundenbedarf:</b> Geschirrspüler, Baujahr, Typ, Ersatzteile, etc.</p> <p><b>Auftragsausfertigung / Terminvereinbarung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reparatur eines Geschirrspülers</li> <li>Anfahrtskosten</li> <li>Zahlungsart vereinbaren</li> <li>Ausführungstermin vereinbaren (wann, wo und bei wem?)</li> </ul> <p><b>Ergebnis Vertragsabschluss:</b> Mündlicher Auftrag</p>	<p>ElektronikerIn Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik (EGT)</p> <p>Elektrotechniker - Meister</p>										
			System- und Arbeitsplanung (B)						Planen und Organisieren der Arbeit (6)	<p><b>Arbeits- und Zeitplanung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Werkzeugbedarf feststellen, Messgeräte bereitstellen</li> <li>Mögliche Reparatur und den Materialbedarf abschätzen (beschaffen, bestellen)</li> <li>Zeitlichen Rahmen des Kundenauftrags abschätzen</li> <li>Integration des Kundenauftrages in den Tagesablauf</li> <li>Fahrzeug, Navigation bedienen/Stadtplan</li> <li>Einhaltung von Terminen verfolgen, bei Störungen der Leistungserbringung Kunden informieren und Lösungsvarianten aufzeigen und Prioritäten festlegen</li> </ul> <p><b>Ergebnis Arbeitsplan:</b> Schriftliche Notizen zum Kundenauftrag</p>	<p>ElektronikerIn Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik (EGT)</p> <p>Elektrotechniker - Meister</p>			
	Betriebliche und technische Kommunikation (5)	<p><b>Betriebliche Kommunikation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sachverhalte schriftlich und mündlich darstellen, Gesprächsergebnisse schriftlich fixieren, Protokolle anfertigen</li> <li>Mitarbeiterabprechen zum Kundenauftrag und technischen Gegenstand</li> <li>Informationen beschaffen, aufgabengerecht bewerten, auswählen und wiedergeben, deutsche und englische Fachbegriffe anwenden</li> </ul> <p><b>Ergebnis Auftragsdetails:</b> Schriftliche Notizen zum Kundenauftrag</p> <p><b>Technische Analyse des Geschirrspülers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Handbücher, Firmenunterlagen, Betriebs- und Gebrauchsanleitungen in deutscher und englischer Sprache lesen und auswerten</li> <li>Einzelteilzeichnungen, Zusammenstellungszeichnungen, Explosionszeichnungen und Stücklisten lesen und anwenden</li> <li>Übersichtsschaltpläne und Stromaufpläne lesen und anwenden</li> <li>Vorschriften auswerten und anwenden</li> </ul> <p><b>Ergebnis Unterlagen:</b> Passende Betriebsanleitungen und Schaltpläne</p>												
		Wartung und Instandhaltung (F)		Analysieren von Fehlern und Instandhalten von Geräten und Systemen (E 15FB)	<p><b>Diagnose des Geschirrspülers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Defekt lokalisieren und beschreiben</li> <li>Systematik der Fehlersuche anwenden</li> <li>Messen und prüfen</li> <li>Schutzmaßnahmen und persönliche Schutzeinrichtungen beachten</li> <li>evtl. Ferndiagnose und -wartung durchführen</li> </ul> <p><b>Reparatur des Geschirrspülers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Defekte Teile austauschen</li> <li>Ersatzteil (beschaffen) einbauen</li> <li>Messen und Gerätebetrieb prüfen</li> <li>Schadstoffhaltige Komponenten identifizieren und der Entsorgung zuführen</li> <li>...</li> </ul>	<p>ElektronikerIn Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik (EGT)</p>								
	Bewerten der Arbeitsergebnisse, Qualitätsmanagement (6)				<p><b>Auftragsabschluss</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Serviceleistungen dokumentieren: Arbeitszeit, Materialverbrauch</li> <li>Bewerten der Arbeitsergebnisse</li> <li>Kunden auf Wartungsarbeiten hinweisen</li> <li>Bestätigung des Kunden</li> <li>...</li> </ul> <p><b>Rechnungserstellung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lohn- und Materialkosten</li> <li>Zahlungsweise</li> </ul>									
						© bzw. L1 L2 L3 L4 L5								
Geschäftsprozess	Arbeitsprozesse	Handlungsphasen	Arbeitsaufgaben	Fachkräfte/Berufe										

Abb. 3: Geschäftsprozess mit seinen Arbeitsprozessen, Handlungsphasen und Arbeitsaufgaben





Abb. 4: Geschäftsprozess als Grundlage für den arbeits- und handlungsorientierten Lernprozess

## Vom Geschäftsprozess zum Lernprozess

Der berufsbezogene Unterricht hat den Geschäftsprozess „Reparatur eines Geschirrspülers“, der wie zuvor dargestellt alle beruflichen Arbeiten und Aufgaben vom ersten Kundengespräch bis zur Abrechnung umfasst, als Umsetzungsgrundlage. Hiermit kann im Unterricht ein erheblicher Teil der Ziele und Inhalte aus den Lernfeldern 1 und 6 abgedeckt werden. Diese umfassen im Wesentlichen die betriebliche Auftragsplanung und -realisierung, Funktion und Aufbau elektrischer Betriebsmittel, Nutzung von Schaltplänen, Messverfahren, Funktionsprüfung und Fehlersuche sowie Methoden der eigenverantwortlichen Informationsbeschaffung und -aufbereitung. Neben grundlegenden Fach- und Methodenkompetenzen sollen auch Selbstlern- und Teamkompetenzen der Schülerinnen und Schüler besonders gefördert werden.

In Anlehnung an die arbeitsorientierten Handlungsphasen können die insgesamt etwa 30 Stunden umfassenden Unterrichtseinheiten aus einem Lernprozess mit fünf Lernphasen bestehen (s. Abb. 4). Damit wird der zu planende Lernprozess wie dargestellt zunächst didaktisch in einzelne Lernphasen (LP) und damit der Unterricht in Einheiten (UE) gegliedert. Zu jeder Lernphase werden für die Schülerinnen und Schüler mit Orientierung an den Arbeitsaufgaben didaktische Lernaufgaben (LA) erarbeitet. Die Struktur und

Gliederung der Lernphasen orientiert sich von daher sehr eng an den Ergebnissen der didaktischen Analyse und Aufbereitung zum Geschäftsprozess und nimmt hier für den Lernprozess – andere Umsetzungen sind didaktisch selbstverständlich denkbar – die Struktur der Handlungsphasen in der Berufsarbeit auf.

Zu jeder Lernphase werden neben einem Zeitrichtwert und den Lernaufgaben zudem didaktisch-methodische Hinweise für die Unterrichtsgestaltung gegeben. Dies umfasst zusätzlich Angaben zu vorhandenen Materialien oder z. B. zu Informationen mit relevanten Links im Internet. Zur Lernfeldumsetzung und medialen Unterstützung der einzelnen arbeits- und handlungsorientierten Lernphasen dieses Lernprozesses sollten mindestens folgende Geräte und Laborausstattung vorhanden sein:

- einer oder mehrere Geschirrspüler;
- Messgeräte;
- PCs und Drucker zur Informationsbeschaffung und Dokumentation der Arbeit;
- Dokumentations- und Präsentationsmaterialien zur medialen Unterstützung.

Nachfolgend wird exemplarisch nur die Lernphase 4 dargestellt. Die komplette Lernprozessgestaltung ist unter <http://www.elektroberufe-online.de> verfügbar.

## Lernphase 4: Analyse, Service und systematische Fehlersuche an einem Geschirrspüler

Ein Geschirrspülgerät stellt ein überschaubares technisches System mit verschiedenartigen elektrotechnischen Baugruppen und Bauteilen dar, welches von den Schülerinnen und Schülern weitgehend selbstgesteuert und kooperativ analysiert werden kann. Im Rahmen und auf der Grundlage des entsprechenden Geschäftsprozesses soll hierbei exemplarisch die berufliche Handlungskompetenz zur systematischen Fehlersuche gefördert werden.

### Lernaufgabe 4.1: Reinigungsprozessanalyse bei einem Geschirrspüler

Vor jeder Fehlersuche muss zunächst der Zweck und die Aufgabe eines Geschirrspülgerätes erschlossen werden. Auf der Grundlage der selbstständigen Analyse relevanter Informationsquellen können sich die Schülerinnen und Schüler etwa nachfolgend kurz beschriebene Zusammenhänge erschließen und anschaulich in einer kleinen Präsentation darstellen.

Bei der Reinigung in einem Geschirrspüler können grundsätzlich vier Einflussfaktoren unterschieden werden (s. Abb. 5; vgl. WEGNER 2000, S. 368):

- Mechanik in Form des Sprühsystems (M),



Abb. 5: Waschkreis nach SINNER

- Temperatur zur Lösung der Speisereste und zum Trocknen des Geschirrgutes (T);
- Chemie in Form von Wasser, Enthärtungs- und Reinigungsmittel (C) sowie
- Zeit, die zum effektiven Reinigen des Geschirrgutes benötigt wird (Z).

Nach dem „SINNER’schen Waschkreis“ ergibt das Zusammenwirken dieser Faktoren über das Wasser den Reinigungserfolg. Um je nach Geschirrgut und dessen Verschmutzung eine einwandfreie Reinigung zu gewährleisten, kann der Anteil der einzelnen Faktoren zugunsten oder zulasten anderer Faktoren verschoben werden. Die Veränderung des Anteils eines Faktors zieht aber zwangsweise eine Veränderung der anderen Faktoren nach sich.

Bei einem Geschirrspüler werden die oben genannten vier Faktoren unterschiedlich in verschiedenen Programmabläufen eingesetzt. Zentraler Teil dieser Lernaufgabe zur Reinigungsprozessanalyse ist die Erarbeitung des Programmablaufplans des zur Verfügung stehenden Geschirrspülers. Daraus ergeben sich die Programmablaufschritte wie folgt:

- erstes und zweites Vorspülen (je nach Programmwahl);
- Reinigen;

- Zwischenspülen, Klarspülen und Trocknen.

Diese können von den Schülerinnen und Schülern etwa auf einem Poster übersichtlich dargestellt, kurz beschrieben und vorgestellt werden.

**Lernaufgabe 4.2: Aufbau und Funktion des Geschirrspülers**

Für den Unterricht stellt diese Lernaufgabe im gesamten Lernprozess einen eher technischen Inhaltsschwerpunkt dar. Vorab sind Betriebs- und Gebrauchsanleitungen in deutscher und englischer Sprache, Übersichtsschaltpläne und Stromlaufpläne sowie Einzelteilzeichnungen, Explosionszeichnungen und Stücklisten zu lesen und auszuwerten. Auf dieser Basis sollen dann die einzelnen Baugruppen bzw. Bauteile, die zum Betrieb des Geschirrspülers erforderlich sind, theoretisch wie möglichst auch praktisch analysiert werden. Bei der theoretischen Analyse kann der Schwerpunkt auf die Bauteilbeschreibungen, die in der umfassenden Reparaturanleitung für Servicetechniker zur Verfügung stehen, gelegt werden. Ergänzend ist zudem das Fachbuch von WEGNER (2000) einsetzbar. Da für die elektro- bzw. messtechnische Analyse nicht alle in der Reparaturanleitung aufgeführten Bauteile relevant sind, wie z. B. Arbeitsplatte, Scharnier, Seitenwände oder Türdichtung, kann man sich neben dem zentralen Geräteteil, dem „Programm-Schaltwerk“, auf die dargestellten Baugruppentypen (s. Abb. 6) konzentrieren, die bereits systematisch nach Aktoren, Sensoren und Steuerung gegliedert werden können.

Zur gezielten Vorbereitung auf die systematische Fehlersuche im beruflichen Arbeitsprozess sollten sowohl

die Funktionen der Baugruppen als auch deren Schaltzeiten in entsprechenden Diagrammen analysiert und ausgewertet werden können. Dies kann für ausgewählte Ablaufschritte, Funktionen oder Baugruppen arbeitsteilig erfolgen. So können etwa die Funktion und die Schaltzeiten des Füllventils betrachtet und somit der Frage nachgegangen werden, wann das Füllventil öffnet, damit über den Wassereinlauf das Wasser in das Gerät gelangen kann. Hierfür ist die theoretische Analyse der Funktionen über den Schaltplan erforderlich.

Bei der praktischen Analyse geht es darum, die einzelnen Baugruppen mit den Schülerinnen und Schülern direkt am und im Gerät zu identifizieren und deren Aufbau und Anschlüsse zu analysieren sowie exemplarisch herausfinden, wie gut oder wie schlecht man an die Baugruppen im Störfall herankommt. Die Laugenpumpe, die Umwälzpumpe, die Heizung, das Regenerierventil, der Sicherheitsdruckschalter, der Niveauschalter, der Schwimmerschalter sowie die beiden Thermostate befinden sich beispielsweise im unteren Teil des Gerätes. Man kommt an sie nur heran, wenn man das Gerät in Seitenlage bringt und das Bodenblech entfernt (s. Abb. 7).

Aktoren	Sensoren	Steuerung
Aktuator	Niveauschalter	Programm-Schaltwerk
Laugenpumpe	Sicherheitsdruckschalter	
Umwälzpumpe		
Timermotor	Schwimmerschalter	
Heizung	Thermostat (63° C)	
Regenerierventil	Thermostat (85° C)	
Füllventil		

Abb. 6: Elektrische Baugruppen eines Geschirrspülers



Abb. 7: Geöffnete Unterseite des Geschirrspülers

**Lernaufgabe 4.3: Messtechnische Analyse des Geschirrspülers**

Für die praktische messtechnische Analyse der Programmabläufe und die Fehlerdiagnose werden für den Unterricht an dem zur Verfügung stehenden Geschirrspüler die Verbindungsleitun-

gen des Schaltwerks zu den Aktoren und Sensoren aufgetrennt. Die beiden Kabel der jeweiligen Trennstelle werden aus dem Gerät herausgeführt und in einer Anschlussbox auf Buchsen aufgelegt (s. beispielhafter Ausschnitt in den Abb. 8 und 9).

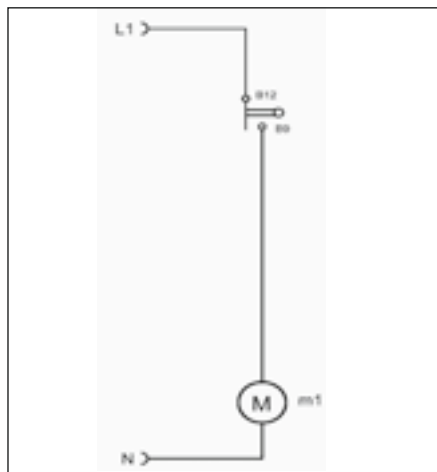


Abb. 8: Stromlaufplanausschnitt

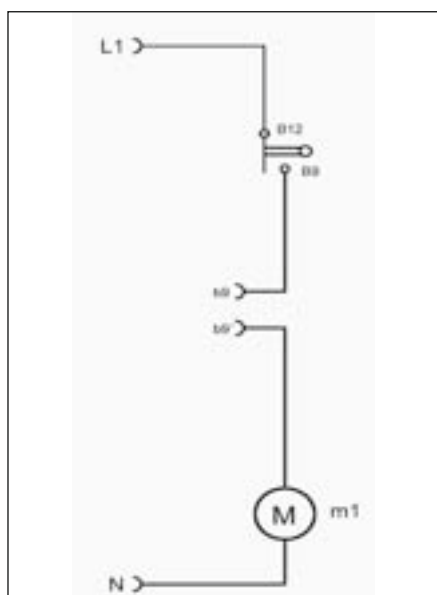


Abb. 9: Eingeführte Trennstelle für die Kabelführung in der Anschlussbox

Verdrahtungstechnisch werden gemäß modifiziertem Stromlaufplan an dem Gerät alle notwendigen Leitungen zwischen Schaltwerk und den Sensoren/ Aktoren sowie der Spannungsversorgung aus dem Gerät herausgeführt und in einer Anschlussbox auf Buchsen gelegt (Abb. 10). Für die Analyse des Programmablaufes kann über eine zusätzliche Messbox eine An-

passung der 230-V-Signale an Gleichspannungssignale von 5 V erfolgen, um die Signale mit einem preiswerten mehrkanaligen TTL-Datenlogger auf einem PC darstellen zu können.

Sind die messtechnischen Voraussetzungen dementsprechend geschaffen, kann die Aufnahme und Auswertung von Steuer- bzw. Schaltsignalen im realen Wirkbetrieb erfolgen, z. B. Signale des Niveauschalters, von dem Thermostat bei 63°C, der Umwälzpumpe, der Laugenpumpe, dem Regenerierventil, dem Füllventil, dem Aktuator oder der Heizung.

**Lernaufgabe 4.4: Service und systematische Fehlersuche am Geschirrspüler**

Bei der systematischen Fehlersuche geht man von der Beschreibung sowie der eigenen Beobachtung und Wahrnehmung der Fehlersymptome aus. Wichtig ist: „Vor Beginn der Fehlersuche ist festzustellen, welcher Arbeitsgang bzw. Programmschritt nicht oder fehlerhaft ausgeführt wird. Dann wird man versuchen, den Fehler zunächst durch Überlegung einzukreisen, um dann gezielter vorgehen zu können.“ (WEGNER 2000, S. 324)

Zur Lernaufgabe soll hier als konkretes Einstiegsbeispiel ein möglicher Fehler in der Beheizung des Geschirrspülers betrachtet werden. Der Kunde hatte beschrieben, dass sein Geschirr nicht mehr richtig gereinigt wird, und vermutet, dass die Maschine gar nicht heizt. Unter Verwendung des originalen und des durch Leitungsauftrennung modifizierten Schaltplans sollen

die Schülerinnen und Schüler entsprechende Messungen durchführen, um den Grund für diese Gerätestörung zu finden. Bevor die Ansteuerung der Heizung geprüft wird, kann diese zunächst selbst kontrolliert werden.

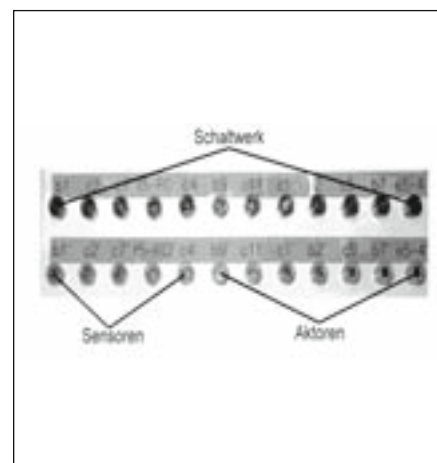
Ist z. B. der Heizwiderstand des Durchlauferhitzers durchgebrannt, so ist er hochohmig, was entweder über eine Strom- oder eine Widerstandsmessung einfach und selbstständig herauszufinden ist. Bestätigt sich der Verdacht, ist aber auch nach der möglichen Fehlerursache zu fragen. Der Durchlauferhitzer ist meist im Wasserkreislauf zu den Sprüharmen eingesetzt. Beim Durchströmen mit Spüllauge wird eine am Flansch befindliche Gummimembrane betätigt, die den Sicherheitsdruckschalter für den Heizkörper schaltet. Bei Druckabfall wird die Heizung abgeschaltet. Die Heizposition wird überfahren, ein Trockenheizen wird verhindert. Darüber hinaus ist im Heizkreis ein Temperaturregler eingebaut, der beim Überschreiten der Wassertemperatur von 85°C abschalten sollte. Sollte der Heizwiderstand nicht defekt sein, so müssen unter Beachtung des Timer- oder Schließungsdiagramms Spannungsmessungen durchgeführt werden, um die Ansteuerung der Heizung zu prüfen.

Eine zweite Fehlervariante am Heizwiderstand ist sein Kurzschluss nach Masse, was sich im Auslösen der Fehlerstromsicherheit oder des Leitungsschutzschalters äußern würde.

Für die Einbeziehung weiterer elektrischer Störungen an einer Geschirrsp-



Abb. 10: Umgebauter Geschirrspüler mit externer Anschlussbox zur Signalanalyse





spülmaschine stehen in der Reparaturanleitung, dem vorliegenden Fachbuch (WEGNER 2000, S. 394 ff.) sowie außerdem in diversen Haushaltsgeräteforen im Internet zahlreiche Einträge zur Verfügung, z. B.:

Wasser läuft in die Maschine ein, aber die Umwälzpumpe läuft nicht an, was entweder an der Ansteuerung oder an einem defekten Pumpenmotor oder einem mechanischen Defekt der Pumpe selbst liegen kann.

Das Schmutzwasser wird nicht mehr abgepumpt ...

#### Lernaufgabe 4.5: Reparatur des Geschirrspülers

Nach erfolgreicher Fehleranalyse muss im Unterricht die weitere Vorgehensweise zur Fehlerbehebung im Zuge der Reparatur besprochen werden. Auch gemäß den entsprechenden Arbeitsaufgaben geht es hierbei beispielsweise darum, Ersatzteile zu beschaffen und defekte Teile auszutauschen, den Gerätebetrieb anschließend zu prüfen sowie schadstoffhaltige Komponenten zu identifizieren und der umweltgerechten Entsorgung zuzuführen.

#### Lernphase 5

In der abschließenden Lernphase 5, die in diesem Beitrag nicht mehr dargestellt wird, werden die Arbeitsergebnisse bewertet und Serviceleistungen dokumentiert (z. B. Arbeitszeit, Materialverbrauch) sowie die berufsbezogenen Aufgaben von Elektroniker/-innen zur Auftragsabrechnung thematisiert.

#### Ergänzende Gestaltungs- und Umsetzungshinweise

Im vorliegenden Beitrag wurde dargestellt, wie der berufsbezogene Unterricht auf der Grundlage eines „relativ einfachen“ Kundenauftrags bzw. Geschäfts- und Arbeitsprozesses wie der „Reparatur eines Geschirrspülers“ gestaltet werden kann. Hierbei wurden exemplarisch die Arbeits- und Lernaufgaben zur messtechnische Fehleranalyse und Reparatur etwas vertiefend thematisiert. Solch ein einfacher Kundenauftrag kann bereits im ersten Ausbildungsjahr zum Gegenstand der Ausbildung und des Unterrichts werden: „Auf dieser Basis hat die Lernfeldumsetzung zwar einen relativ einfachen, aber beruflich ganzheitlichen

Geschäftsprozess als Grundlage.“ (PETERSEN 2005, S. 173) Nach der curricular-didaktischen Analyse fanden vor allem zwei Lernfelder inhaltliche Berücksichtigung, sodass nach PETERSEN (ebd., S. 172), auch „in Abweichung von der vorgegebenen Lernfeldstruktur, die Lernfeldinhalte mehr integriert und im Sinne so genannter prozessübergreifender Lernfeldprojekte“ umgesetzt wurden. Damit konnte zugleich aufgezeigt werden, „wie Geschäfts- und Arbeitsprozesse als Grundlage beruflicher Ausbildungs- und Lernprozesse für die neuen Elektroberufe didaktisch mit dem GAH-PA-GAHFA-Modell besser verstanden und für eine Lernfeldumsetzung mit arbeits- und prozessbezogenen Lernphasen und Lernaufgaben genutzt werden können“ (ebd., S. 173).

Unter mediendidaktischen Aspekten ist insbesondere der Einsatz des realen, für messtechnische Zwecke umgebauten Gerätes samt Betriebs- und Serviceunterlagen hervorzuheben. Idealerweise stehen für den Unterricht mehrere reale und verschiedene Hausgeräte als Lernmedien zur Verfügung, sodass Schülerinnen und Schüler in Gruppen praxisnah und angemessen selbstständig auch „ihr Gerät“ analysieren und reparieren können.

Als Anregung und technische Alternative zu dem Reparaturauftrag könnte das Gerät – wie bereits angedeutet – im Unterricht entsprechend anderer Ausbildungsberufe oder des beruflichen Gymnasiums für steuerungs-technische Zwecke etwa auf eine moderne Mikrocontrollersteuerung umgebaut werden.

#### Anmerkungen

- 1 Zu den Haus- bzw. Haushaltsgeräten zählen beispielsweise Waschmaschinen, Trockner, Kühl- und Gefrierschränke, Elektroherde, Mikrowellen, Geschirrspüler bzw. Spülmaschinen, Dunstabzugshauben und Küchengeräte sowie Kaffeevollautomaten.
- 2 Aus einem anderen Blickwinkel der Entwicklung haustechnischer Geräte wäre auch von vornherein eine steuerungs-technische Analyse und Weiterentwicklung eines Geschirrspülers nicht uninteressant.

#### Literatur

- BMWA (2003): DER BUNDESMINISTER FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT (Hrsg.): Verordnung über die Berufsausbildung zum Elektroniker/zur Elektronikerin vom 3. Juli 2003. In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2003, Teil I, Nr. 31, Anlage zu § 5: Ausbildungsrahmenplan.
- HÄGELE, T. (2002): Modernisierung handwerklicher Facharbeit am Beispiel des Elektroinstallateurs. Hamburg.
- KMK, SEKRETARIAT DER STÄNDIGEN KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1999): Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz (KMK) für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Bonn.
- KMK, SEKRETARIAT DER STÄNDIGEN KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (2003): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker/Elektronikerin. Beschluss der Kultusministerkonferenz. Bonn.
- PETERSEN, A. W. (2005): Geschäfts- und Arbeitsprozesse als Grundlage beruflicher Ausbildungs- und Lernprozesse. In: lernen & lehren, 20. Jg., Heft 80. S. 163-174.
- WEGNER, G. E. (2000): Elektrische Haushaltsgeräte – Technik und Service München/Heidelberg/Berlin (de-Fachwissen).
- WEHMEYER, C. (2007): Arbeit und Ausbildung von IT-Fachkräften im europäischen Vergleich – Neue Ansätze arbeitsprozessorientierter Qualifikations- und Curriculumforschung als Analyse- und Gestaltungsgrundlage für ein generisches „ICT skills and qualifications framework“. Hamburg.

Liebe Leserinnen und Leser,

seit kurzem ist es möglich, Ausgaben unserer Zeitschrift unter <http://www.lernenundlehren.de> kostenlos aus dem Internet herunterzuladen.

DIE SCHRIFTLEITUNG



Heiko Schnackenberg/Lars Wichmann

# Umsetzung einer Unterrichtskonzeption zum Thema „Instandsetzung einer witterungsgeführten Regelung einer Brennwertheizungsanlage“

## Einleitung

In den Zeitungen ist in den vergangenen Monaten so manches Mal von unberechenbaren Preissprüngen bei fossilen Energieträgern und einer ständig wachsenden Klimaproblematik die Rede. Bedingt durch solche Probleme werden immer effizientere Heizsysteme gefordert und von den Unternehmen dieser Branche entwickelt. Neben ständig neuen Bauformen und Konstruktionsvarianten wird bereits seit Jahren durch moderner werdende Regelungstechnik ein bedeutender Beitrag zur Energieeinsparung geleistet. Mithilfe verschiedener Regelungssysteme wird dabei versucht, die Heizungsanlage an das Gebäude, seine Nutzungsart, wechselnde Umwelteinflüsse und nicht zuletzt an das Nutzungsverhalten seiner Bewohner anzupassen, ohne dabei nicht benötigte Wärme zu erzeugen.

Um die dafür erforderliche Technik für Fachkräfte beherrschbar zu machen, ist dieser Themenschwerpunkt Gegenstand der Ausbildung zum/zur Anlagenmechaniker/-in für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik (SHK). Der Rahmenlehrplan sieht diesbezüglich im Lernfeld 10 die „Einbindung und Einstellung von Komponenten der Heizungsregelung“ vor. In dem Lernfeld sollen die Schülerinnen und Schüler<sup>1</sup> laut Vorgabe<sup>2</sup> lernen, die Installation der Heizungsregelung einschließlich der elektrischen Anbindung aller Systemkomponenten zu planen, einzustellen und Verfahren zur Überprüfung von elektronischen Bauteilen anzuwenden.

Im Folgenden wird eine Umsetzungsmöglichkeit dieses Lernfeldes am Beispiel von witterungsgeführten Regelungen vorgestellt. Dabei fließen Erfahrungen aus dem Fachbereich für

Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik des Berufsbildungszentrums Schleswig in die Betrachtungen mit ein.

## Planung und Durchführung des Unterrichts

### Umsetzung des Unterrichts

Für das Erreichen der im Lernfeld 10 vorgegebenen Zielsetzung eignet sich eine Variante der „Instandhaltungsaufgabe“, die „Instandsetzungsaufgabe“, an der die Umsetzung der Unterrichtskonzeption im Folgenden dargestellt wird (vgl. PAHL 2002, S. 271). Dieses Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren beinhaltet den Dreischritt „Planungsphase, Durchführungsphase und Kontrollphase“, der mit den Forderungen durch die Neuordnung der Berufe einhergeht.

Durch dessen Verwendung erfahren die Lernenden eine berufstypische Aufgabenstellung, die ein handlungsorientiertes und an der Praxis angelehntes Vorgehen ermöglicht. Hieraus sollte ein interessiertes und engagiertes Vorgehen der Schüler bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung resultieren.

### Schwerpunkte des Unterrichts

Um einen möglichst großen Nutzen aus dieser Unterrichtskonzeption zu ziehen, sollten bei der Durchführung verschiedene Schwerpunkte gewählt werden, die den Lernenden auch während ihrer täglichen Arbeit im Betrieb den Umgang mit vergleichbaren Problemen erleichtern.

In Bezug auf den hier gewählten Unterrichtsgegenstand, die Instandsetzung einer Brennwertheizungsanlage mit witterungsgeführter Regelung, sind folgende Schwerpunkte wünschenswert:

- Einzeichnen einer witterungsgeführten Regelung in das Installationschema (s. Abb. 1) mit allen dazugehörigen Fühlern sowie Mess- und Steuerleitungen;
- Beschreibung des Funktionsablaufs der witterungsgeführten Regelung;
- Fehlersuche an der Heizungsanlage;
- Überprüfung der Funktionen von Bauteilen und der Einstellung des Regelgeräts.

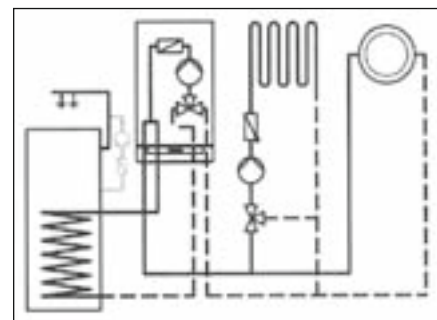


Abb. 1: Installationsschema der Kundenheizungsanlage

## Durchführung des Unterrichts unter besonderer Berücksichtigung der vorab genannten Schwerpunkte

Der Lernträger für dieses Unterrichtsvorhaben ist ein Brennwertheizgerät mit einer witterungsgeführten Regelung. Um die Durchführbarkeit des Unterrichts zu gewährleisten, werden die Inhalte der vorangegangenen Lernfelder und der überbetrieblichen Ausbildungskurse als bekannt vorausgesetzt. Ergänzt werden diese Kenntnisse durch unterschiedlich große Erfahrungen der Lernenden im Bereich der Kundendiensttätigkeit in ihrem Ausbildungsbetrieb.

Die vorgenannten Schwerpunkte fließen dabei in die Aufgabenstellung mit

ein. Die Vorgehensweise bei dieser praktischen Umsetzung entspricht der Struktur des Artikulationsschemas für die „Instandsetzungsaufgabe“, einer Variante des Ausbildungs- und Unterrichtsverfahrens „Instandhaltungsaufgabe“, das in acht Handlungsschritte unterteilt ist (PAHL 2005, S. 192 f.). Hierbei kann situationsbedingt entschieden werden, einzelne Phasen abzuändern beziehungsweise entfallen zu lassen. Dabei sollte aber sichergestellt sein, dass der Charakter der vollständigen Handlung weiterhin gewährleistet wird.

### **Einstieg durch Instandsetzungsauftrag mit Problemstellung**

Als Einstieg bietet sich hier ein fiktiver Kundenauftrag an, der den didaktischen Ansprüchen aus der Neuordnung des Berufes entspricht und das Interesse der Schüler wecken soll.

### **Exemplarisch könnte dieser Kundenauftrag wie folgt lauten:**

„Der Besitzer eines Einfamilienhauses mit einer durch ein erdgasbefeuertes Brennwertgerät betriebenen Heizungsanlage (s. Installationsschema in *Abb. 1*) klagt, dass am Anfang der Heizperiode im Herbst seine Heizungsanlage keine Raumwärme abgibt. Die Erzeugung von Warmwasser funktioniert jedoch einwandfrei. Sie werden von Ihrem Chef gebeten, die Störung zu beheben.“

Um den positiven Effekt dieses Kundenauftrags weiter zu verstärken, wäre es bei der Umsetzung wünschenswert, den Text nicht nur auf dem Papier der Klasse vorzulegen, sondern durch einen Schüler der Klasse vorzutragen zu lassen.

### **Intuitive Phase**

Nachdem es keine Verständnisprobleme in Bezug auf den fiktiven Kundenauftrag gibt, erhalten die Lernenden die Möglichkeit, eine spontane, intuitive Fehlerfindung bzw. Fehlerbehebung an der Brennwertheizungsanlage vorzunehmen. Dabei werden die Schüler erfahrungsgemäß auf produktspezifische und fachliche Schwierigkeiten stoßen, durch die eine sofortige Fehlerbeseitigung für sie unmöglich wird. Durch die Vorkenntnisse der Lernenden aus vorangegangenen Lernfeldern und Erfahrungen kommen sie jedoch

bei ihren Lösungsansätzen meist zu dem Schluss, dass das Brennwertgerät aufgrund der funktionierenden Warmwasserbereitung nicht schadhaft sein kann. In dieser Phase können sie häufig bereits das Vorrangumschaltventil für Warmwasserbetrieb oder die Regelung mit den dazugehörigen Fühlern und Stellgliedern als mögliche Fehlerursache benennen. Ist dies nicht der Fall, muss lenkend eingegriffen werden, damit die Inhalte für die Lernenden überschaubar bleiben.

Vielfach kommen die Schüler selbstständig auf die Idee, dass sie Informationsmaterial in Form von Herstellerunterlagen o. Ä. benötigen, um einen detaillierten und fachlich begründeten Arbeitsplan zu erstellen und damit letztlich die Funktionsstörung zu beseitigen. Ist dies nicht der Fall, muss von der Lehrkraft durch entsprechende Fragen darauf hingewirkt werden.

### **Klärung der in dem Auftrag enthaltenen Probleme und Ziele sowie Planung des Problemlösungsweges**

In der Phase soll zunächst geklärt werden, ob es Verständnisprobleme bei dem Kundenauftrag gibt und ob eine Instandsetzung des Gerätes überhaupt möglich erscheint.

Sind diese Punkte geklärt, muss den Lernenden bewusst werden, dass zur Fehlerbeseitigung nicht nur die Funktionsweise des Brennwertgeräts (Lernfeld 9), sondern auch die der witterungsgeführten Regelung sowie die wechselseitige Beeinflussung beider Systeme verstanden sein muss, um erfolgreich und strukturiert an die Fehlerbeseitigung heranzugehen.

Gelingt es den Schülern nicht, eigenständig die notwendigen Probleme zu erkennen, muss die Lehrkraft im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch darauf hinarbeiten.

Der zu entwickelnde Problemlösungsweg müsste dann auf jeden Fall die Punkte Informationsbeschaffung, Erstellung eines Arbeitsplans, Durchführung der Instandsetzung, Funktionsüberprüfung mit Übergabe an den Kunden und eine Auswertung der Instandsetzung beinhalten. Um den Lernenden ein strukturiertes Vorgehen zu ermöglichen, wäre ein Plakat mit diesen Punkten eine Möglichkeit, um

ständig einen Überblick über die Folge der zu bearbeitenden Punkte zu haben.

### **Sammeln von Informationen**

Den Schülern sollte aus Lernfeld 9 die Funktion einer Brennwertheizungsanlage bekannt sein, weshalb deren Funktion nicht erneut explizit berücksichtigt wird. Im Einzelfall muss aber eventuell der Wissensstand aufgefrischt werden.

Von besonderer Bedeutung ist, dass sich die Lernenden Informationen zu den Bauteilen und Funktionen der witterungsgeführten Regelung beschaffen. Als hilfreich hat es sich erwiesen, dass sie zunächst den Regler und alle für diesen Heizkreis (s. *Abb. 1*) erforderlichen Fühler, Mess- und Steuerleitungen fachgerecht benennen sowie in das Installationsschema einzeichnen. Als Hilfestellung können hierbei Fachbücher, Herstellerunterlagen und eventuell vorhandene Brennwertgeräte genutzt werden, die als Anschauungsobjekt dienen. Letzteres hängt jedoch von der Ausstattung der jeweiligen Berufsschule ab.

Anhand des Auftrages bekommen die Schüler eine Vorstellung davon, welche Bauteile den Regelkreis beeinflussen und als mögliche Fehlerursache in Betracht zu ziehen sind. Dieses bildet die Grundlage für die erfolgreiche Störungsanalyse der angehenden Fachkräfte.

### **Erstellen eines Arbeits- bzw. Instandsetzungsplans**

Anhand der von den Lernenden gewonnenen Informationen soll nun ein Instandsetzungsplan erstellt werden, in den sie die bisher angestellten Überlegungen mit den neu dazu gewonnenen Erkenntnissen einfließen lassen. Da der Regelungsvorgang aber komplex ist, bereitet er den Lernenden durch die verschiedenen Abhängigkeiten der Bauteile untereinander häufig Probleme. Hilfreich kann für die Auszubildenden ein Arbeitsschritt sein, der über die technische Beschreibung von Funktionsweise und wechselseitigen Abhängigkeiten der verschiedenen Bauteile hinaus geht. Dies ist bei der grafischen Darstellung eines Ablaufplans der Fall, bei dessen Erstellung den Lernenden eine strukturierte Vorgehensweise beim problemlösenden

Denken und Arbeiten abverlangt wird (vgl. KLIPPERT 2006, S. 236).

Mithilfe eines solchen Ablaufplans (s. Abb. 2) ist es für die Schüler leichter, ihre Gedanken zu ordnen und verschiedene Denkansätze, auch für Mitschüler und Kollegen, transparent zu gestalten. Dabei muss auf eine Verwendung der entsprechenden Fachbegriffe geachtet werden, um die Aussagekraft dieses Plans zu unterstreichen.

Um jedoch einen korrekten Ablaufplan erstellen zu können, bedarf es meist nicht nur eines technischen Verständnisses der Lernenden. Zusätzlich sollten sie auch in der Lage sein, einfachere Stromlaufpläne und nach Möglichkeit ebenfalls komplexere Verdrahtungspläne lesen zu können, da die Elektronik auch in der Arbeitswelt der Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik eine immer stärkere Rolle spielt. Diese Fähigkeit bekommt eine ständig größere Bedeutung und ist bei dem Erstellen der Ablaufpläne und nicht zuletzt bei der praktischen Fehlereingrenzung wichtig.

Somit ist der hier zu verwendende Ablaufplan nicht nur in dieser Unterrichtseinheit ein strukturgebendes Hilfsmittel, sondern auch in der betrieblichen Praxis, in der die Lernenden auseinandersetzen müssen und damit selbstständig technische Zusammen-

hänge und Verknüpfungen in Problemlösungsprozessen darstellen können. Diese Tatsache unterstreicht die enge Verzahnung des fiktiven Kundenauftrags mit dem beruflichen Alltag der Auszubildenden.

### Durchführung der Instandsetzung

Bevor die Lernenden mit der aktiven Instandsetzung an der Brennwertheizungsanlage beginnen können, sollten zunächst die erstellten Ablaufdiagramme auf Fehler überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden.

Danach kann mit der Instandsetzung unter Einhaltung der geltenden Sicherheitsvorschriften und unter Zuhilfenahme der Herstellerunterlagen begonnen werden. Besonders die Herstellerunterlagen gewinnen bei der Fehleranalyse an Heizungssystemen eine immer größere Bedeutung für die Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik. Aufgrund der stetig steigenden Technisierung und produktspezifischer Besonderheiten sollte bereits in der Berufsschule das Bewusstsein der Schüler dahingehend gestärkt werden, dass alle wichtigen Informationen zu einem Gerät in den Herstellerunterlagen zu finden sind. Dies unterstützt im weiteren Verlauf ihrer Tätigkeit ein sichereres Auftreten bei den Kunden und erleichtert eine produktspezifische und exakte Fehlerbestimmung.

Als wichtige Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Fehlersuche müssen

die Lernenden den Regler als elektronisches Bauteil erkannt haben, das die gemessenen Größen der Fühler verarbeitet und in Zusammenhang mit den eingestellten Sollwerten der Regelung Ausgangssignale generiert. Falls trotz entsprechender Eingangssignale und vorgegebener Sollwerte kein zu erwartendes Ausgangssignal auftritt, lässt das auf einen Fehler in der Regelung schließen. In der betrieblichen Praxis wird in diesem Fall die entsprechende Platine oder gegebenenfalls die gesamte Regeleinheit ausgetauscht, da eine Analyse und Fehlereingrenzung innerhalb der Regeleinheit zu weit führen würde. Eine solche Tätigkeit würde höchstens durch den Hersteller im Rahmen einer Garantieabwicklung vorgenommen werden können und bildet somit keine typische Aufgabe für einen Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik. Sie wird deshalb an dieser Stelle nicht weiter berücksichtigt.

Nachdem die Lernenden nun den selbsterstellten Ablaufplan und die anderen Hilfsmittel zur produktspezifischen Fehlersuche vorliegen haben, kann mit der Fehlereingrenzung begonnen werden. Als erstes würde ein eventuell angezeigter Fehlercode aus dem Regelgerät ausgelesen werden, der meist schon eine gute Orientierungshilfe bei der Lokalisierung der Fehlerursache bietet. Wird allerdings kein Fehlercode angezeigt, müssten zunächst einzelne Sollwerte der Regelung überprüft werden, damit eine Fehlprogrammierung – die in jenem Fall keine Wärmeanforderung zur Folge hat – ausgeschlossen werden kann. Dieses könnte beispielsweise eine zu niedrig eingestellte Heizkurve, ein zu niedrig gewählter Umschaltzeitpunkt für den Wechsel zwischen Sommer-/Winterbetrieb oder eine zu niedrig gewählte Raumtemperatur sein.

Wenn die Lernenden einen Defekt an der Regelung sowie eine Fehlprogrammierung ausschließen können und auch das Regelgerät keine Fehlermeldung ausgibt, wäre der Beginn der Fehlersuche mithilfe ihres selbstständig erstellten Ablaufplans möglich. Zu diesem fiktiven Kundenauftrag passend würde als typischer Fehler ein defekter Temperaturfühler – beispielsweise der Außentemperaturfühler – möglich sein, der dann als Fehler-

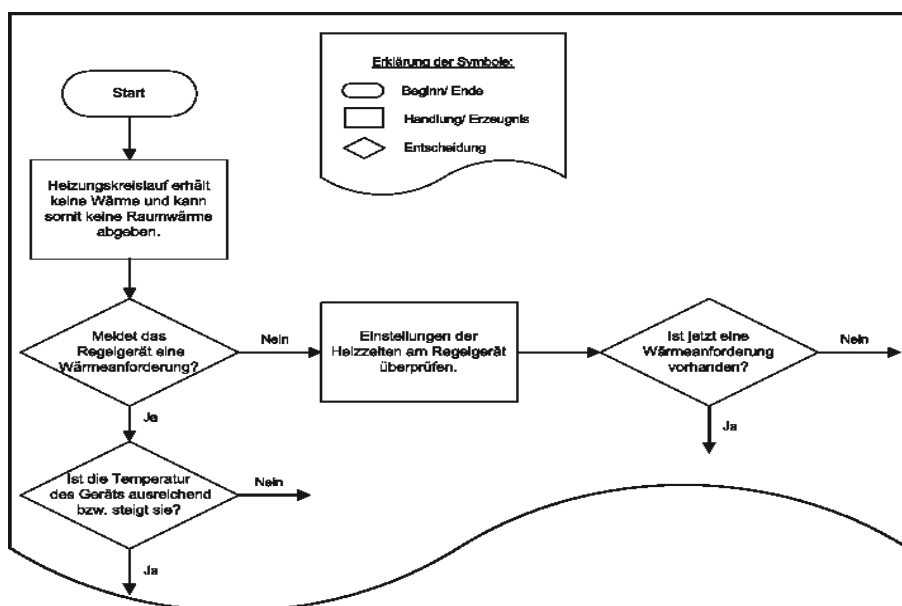


Abb. 2: Beispiel für den Beginn eines möglichen Ablaufplans



ursache ausgemacht werden müsste. Um den Verdacht bei erfolgreicher Fehlersuche zu bestätigen, müssten die Schüler das defekte Bauteil ausbauen und eine Widerstandsmessung durchführen (s. Abb. 3).



Abb. 3: Schüler beim Messen der Widerstände von Temperaturfühlern

Das Messergebnis kann dann mit der Herstellertabelle verglichen werden, die Aufschluss über die bei verschiedenen Temperaturen zu erreichenden Widerstandswerte gibt. Alternativ wäre in der beruflichen Praxis auch die Durchführung einer Vergleichsmessung mit einem neuen Temperaturfühler denkbar, jedoch ist ein Abgleich mit den Herstellerangaben die genauere und zu fordernde Herangehensweise.

Um letztlich die Funktionsstörung zu beseitigen, müssten die Lernenden dann den Austausch des defekten Fühlers und eine Funktionsprüfung der Brennwertheizungsanlage vornehmen.

### Kontrolle, Funktionsprüfung und Abnahme

Ist der Defekt behoben und die Instandsetzung somit abgeschlossen, folgt eine Überprüfung der Funktionen aller Bauteile in dem Brennwertheizgerät und der Einstellungen des Regelgeräts, um weitere Fehler beziehungsweise Fehlprogrammierungen ausschließen zu können. Dieser Kontrollvorgang stellt in der Praxis sicher, dass kein Fehler übersehen wird und somit der Kunde nicht erneut den

Kundendienst des SHK-Betriebes anfordern muss.

Der fiktive Kunde kann in jener Phase erneut ein Schüler oder auch idealerweise die Lehrkraft selbst sein, da so gleichzeitig die Leistungen der Lernenden bei der Instandsetzungstätigkeit und die Fähigkeiten im Umgang mit der Regelung begutachtet werden können. Falls es dann zu unüberwindbaren Problemen kommt, kann die Lehrkraft mit entsprechenden Fragen lenkend eingreifen.

Falls den Schülern das Regelgerät des Herstellers unbekannt ist, müssen sie sich meist den Zugang zu den Herstellerunterlagen verschaffen, die im Regelfall dem Kunden bei der Installation des Wärmeerzeugers übergeben wurden. Dort gibt es bei namhaften Herstellern vielfach den Menüpunkt „Parameter“, über den sich alle Bauteile einzeln ansteuern und somit voneinander unabhängig überprüfen lassen. Können hierbei weitere Fehlfunktionen ausgeschlossen werden, folgt eine Überprüfung der Einstellungen des Regelgeräts. Diese sollte aus dem Automatik-Modus gestartet werden, damit das Heizgerät während der Überprüfung bereits Wärme an das Heizsystem abgeben kann. Hierfür sind bei Bedarf ebenfalls die Herstellerunterlagen eine gute Informationsquelle für Fachkräfte, da jedes Regelgerät seine Besonderheiten hinsichtlich der Bedienung hat.

Neben der obligatorischen Überprüfung von Uhrzeit und Datum gilt es, die Heizzeiten für die Heizkreise und die Warmwasserbereitung sowie die Betriebszeiten der Zirkulationspumpe zu überprüfen und gegebenenfalls an die Kundenwünsche anzugleichen. Erweiternd kann noch die Einstellung der Heizkurve in Anlehnung an das Heizungssystem und die jeweiligen Wünsche der Hausbewohner angepasst werden.

Um einen störungsfreien und energiesparenden Betrieb zu gewährleisten, sollten jene Arbeitsschritte auf jeden Fall durchgeführt werden. Eine sehr häufige Fehlerursache geht nämlich aus falschen oder gar fehlenden Grundeinstellungen hervor und kann durch diese Maßnahmen umgangen werden.

Den Abschluss bilden dann die Verabschiedung vom fiktiven Kunden mit einem kurzen Tätigkeitsbericht und die Kontrolle, ob an den Heizkörpern bereits eine Temperaturänderung spürbar ist. Entsprechend dem jeweiligen Aufbau der Brennwertheizungsanlage müsste im Heizkreis eine Temperaturerhöhung spürbar sein.

### Auswertung

Nach Abschluss der Endkontrolle und Übergabe an den Kunden ist der fiktive Kundenauftrag vollständig erfüllt. In der Phase haben die Lernenden noch einmal die Gelegenheit, ihr Handeln zu reflektieren und Verbesserungen sowie Korrekturen in Bezug auf ihr Vorgehen oder ihre Arbeitsergebnisse vorzunehmen bzw. zu benennen. Dieses ist für alle Bereiche möglich, sei es an der Art der Gruppen-/Partnerarbeit, dem Ablaufplan, der Arbeitsorganisation oder der Dokumentation.

Den Abschluss kann eine Diskussionsrunde bilden, in der die Lernenden über die Verwendbarkeit ihrer Arbeitsergebnisse und -struktur sprechen. Sie sollten zu der Erkenntnis kommen, dass sich diese Struktur auch in anderen Bereichen anwenden lässt und nicht ausschließlich auf den behandelten fiktiven Kundenauftrag zugeschnitten ist. Falls ihnen der Transfer nicht gelingt, muss er von der Lehrkraft dahingehend unterstützt werden. Der erstellte Ablaufplan lässt sich als Leitfaden auch in der betrieblichen Praxis der Lernenden nutzen und unterstreicht die enge Verknüpfung der Aufgabenstellung mit der Praxis.

### Schlussbemerkung

Entsprechend den Anforderungen zur Neuordnung der Berufe in der SHK-Branche sind die Lernsituationen innerhalb eines Lernfeldes „aus der betrieblichen Praxis abgeleitete Arbeitsaufträge, die einem Kundenauftrag entsprechen sollten“ (BIBB 2004, S. 2).

In dem hier beschriebenen Unterrichtsvorhaben wurde diese Forderung erfüllt. Zusätzlich wird den Lernenden mit dem Ablaufplan eine Strukturhilfe an die Hand gegeben, durch die sie sich eigenständig komplexe Sachverhalte, insbesondere vor dem Hinter-

grund des lebenslangen Lernens, zugänglich machen können.

Die dargestellten praxisrelevanten Schwerpunkte bilden den Kern des Unterrichts, die hier am Beispiel einer Instandsetzungsaufgabe exemplarisch dargestellt wird. Die jeweilige Durchführbarkeit an den beruflichen Schulen ist allerdings stark von den Klassengrößen, der standortspezifischen Ausstattung und der wünschenswerten parallelen Einsetzung eines Fachlehrers abhängig, durch die dann Teamteaching in einer praxisnahen Lernsituation ermöglicht und das Interesse der Schüler gesteigert wird.

### Anmerkungen

1 Um die Lesbarkeit des Textes zu erhöhen, wird im Folgenden keine ge-

schlechtsspezifische Unterscheidung vorgenommen. Es wird zwar nur die maskuline Form gewählt, aber ebenso ist die feminine Form gemeint.

- 2 Vergleiche: Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein: Lehrplan für die Berufsschule. Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, Stand: 01.08.2003

### Literatur

BIBB, BUNDESINSTITUT FÜR BERUFSBILDUNG (2004): Umsetzungshilfen zum neu gestalteten Ausbildungsberuf Anlagenmechaniker/-in für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik. Nürnberg.

KMK, STÄNDIGE KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND (2003): Rahmenlehrplan für den Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik/Anlagenmechanikerin für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003. Bonn.

KLIPPERT, H. (2006): Methoden-Training. Übungsbausteine für den Unterricht. 16. Auflage. Weinheim/Basel.

PAHL, J.-P. (2002): Bausteine beruflichen Lernens im Bereich Technik. Teil 2: Methodische Konzeptionen für den Lernbereich Technik. 2. Auflage. Alsbach/Bergstraße.

PAHL, J.-P. (2005): Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren. Ein Kompendium für den Lernbereich Arbeit und Technik [Unter Mitwirkung von V. HERKNER und M.-S. PAHL]. Bielefeld.

Otmar Patzel

# Stationenlernen beim Instandhalten von versorgungstechnischen Anlagen und Systemen

## Ein komplexer Beruf: Anlagenmechaniker/-in für SHK

Mehr als fünf Jahre liegt nun die Neuordnung zurück, bei welcher der Ausbildungsberuf „Anlagenmechaniker/-in für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik“ (SHK)<sup>1</sup> erstmalig definiert wurde. Die damals vorgenommene Veränderung der Ordnungsmittel wie Ausbildungsordnung, Rahmenlehrplan und Prüfungsordnung sollte dazu beitragen, Ausbildungshemmnisse abzubauen, das Berufsbild attraktiv zu gestalten und die Ausbildungsqualität zu verbessern.

Wie in vielen anderen Lehrplänen, wurden auch für die Anlagenmechaniker im SHK-Bereich Lernfelder eingeführt und die Handlungsorientierung als Qualifizierungsziel festgeschrieben. Was im Vergleich zur Neuordnung anderer Berufe jedoch eine Besonderheit darstellt, ist die Komplexität der beruflichen Inhalte, welche damit geschaffen wurde und mit welcher die

in diesem Bereich tätigen Lehrkräfte seither konfrontiert sind. Faktisch umfasst der neue Beruf des Anlagenmechanikers für SHK alle Kenntnisse, die zur Installation und Instandhaltung von Brennstoffversorgungsanlagen, von verschiedenartigen Wärmeerzeugern, von Wärmeverteilungs-, von Lüftungs- und Klimaanlage, Trinkwasser-, Nichttrinkwasser- und Abwasseranlagen und zu deren elektrischen Anschluss sowie Steuerung und/oder Regelung notwendig sind, inklusive Kundenberatung bezüglich Technik, Ökologie und Wirtschaftlichkeit wie auch englischsprachiger Inhalte.

Die Anforderungen des Rahmenlehrplanes an die Anlagenmechaniker für SHK sind indessen sehr offen formuliert. Obwohl die Ausbildungsordnung den Betrieben die Ausbildung in nur einem Handlungsfeld erlaubt, wird erwartet, dass ein Anlagenmechaniker für SHK nach seiner Ausbildung die üblichen versorgungstechnischen Installationen eines Ein- bis Zweifamili-

enhauses selbstständig erstellen und instand halten kann. Die Berufsschule soll hierfür die Ausbildung sicherstellen.

## Anforderungen an die Lehrkräfte

Die Lehrkräfte, welche die Auszubildenden in diesem Beruf unterrichten, waren früher in den Klassen der Gas- und Wasserinstallateure oder der Zentralheizungs- und Lüftungsbauer im Einsatz. Je spezialisierter die jeweilige Schule für diesen Bereich ist, desto stärker haben sich die Unterrichtenden über die Jahre hinweg auf einen Teilbereich dieses großen Fachgebietes spezialisiert. Nur wenige Lehrkräfte haben in allen Teilbereichen unterrichtet und den Überblick über diesen innovativen und dem vielfachen normativen Wandel unterzogenen Disziplinen behalten. Auch kennen die Unterrichtenden meist nur einen Teil der versorgungstechnischen Berufszweige aus ihrer eigenen Ausbildung oder

Berufstätigkeit, aus dem Studium oder Referendariat. Gerade Junglehrer sind daher oft überfordert, wenn sie aus den sehr allgemein gehaltenen Zielformulierungen des Rahmenlehrplans für die Lernfelder von jeweils etwa einer halben Seite bis zu 80 Unterrichtsstunden entwickeln sollen.

Doch nicht nur Junglehrern bleibt manchmal verborgen, welche stofflichen Inhalte hinter den bei genauerer Betrachtung wenig interpretierbaren Formulierungen stecken. Aber diese Klarheit ist trügerisch, denn „die Inhalte einiger Lernfelder sind entsprechend der persönlichen fachlichen Profilierung der Auszubildenden und ihres Tätigkeitsschwerpunktes im Ausbildungsbetrieb zu vermitteln“ bzw. zu erarbeiten (vgl. RAHMENLEHRPLAN 2003). Hierbei handelt es sich um die vier Handlungsfelder Wassertechnik, Lufttechnik, Wärmetechnik, Umwelttechnik/erneuerbare Energien, auf welche sich die Auszubildenden spezialisieren. Demnach muss ein Auszubildender nur aus seinem Handlungsfeld alles wissen, was nach Rahmenlehrplan vorgesehen ist. Von den übrigen Handlungsfeldern reicht ein Bruchteil der Inhalte, die aber niemand genauer festgelegt hat. Das kann z. B. bei der Gesellenprüfung im Teilbereich Gerätetechnik zu erheblichen Irritationen führen, wenn ein Auszubildender im Handlungsfeld Wassertechnik an einem Gas-Durchlaufwasserheizer geprüft wird. Hier könnte beispielsweise die Frage gestellt werden: „Kann von diesem Prüfling erwartet werden, dass er die Dichtheit der Gasleitungen zu diesem Gerät prüft und protokolliert? Das gehört doch in das Handlungsfeld Wärmetechnik.“ Demnach lautet die Antwort: Nein. Das klingt logisch, aber: „Wie verhält es sich bei einem Elektro-Durchlaufwasserheizer, wenn es um die Prüfung des elektrischen Anschlusses geht? Alle Anlagenmechaniker für SHK sollen doch die Qualifikation einer Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten auch nachweisen.“ Nach alter Rechtslage waren solche Fragen eindeutig geklärt. Heute wird einem hierzu kaum jemand eine befriedigende Antwort geben können, geschweige denn, dies mit Bezug auf die Ordnungsmittel auch belegen können.

Wenn die Rahmenlehrpläne nicht weiterhelfen, beziehen sich viele Kollegen auf den „heimlichen Lehrplan“, d. h. auf die Anforderungen aus zurückliegenden Prüfungen. Prinzipiell kann dabei nicht viel falsch gemacht werden. Grundsätzlich sollte jedoch nur das geprüft werden, was auch gelehrt bzw. erarbeitet wurde.

### **Handlungsorientierung im Laborraum und deren Grenzen**

Aufgrund der Qualifizierungsziele, wonach die „selbstständige Erstellung, d. h. die Installation und Instandhaltung der üblichen versorgungstechnischen Anlagen eines Ein- bis Zweifamilienhauses“ sowie die „Erstellung komplexer versorgungstechnischer Anlagen unter Anleitung“ angestrebt werden (vgl. RAHMENLEHRPLAN 2003), sehen die im Fachgebiet schon längere Zeit unterrichtenden Kollegen vielfach ein Zeitproblem. Die alten Unterrichtsentswürfe für die Gas- und Wasserinstallateure sowie für die Zentralheizungs- und Lüftungsbauer nur umzu-sortieren und den neuen Lernfeldern zuzuordnen, erhöht dieses eher und wird auch nicht dem Anspruch nach Auftrags- und Handlungsorientierung sowie nach Methodenvielfalt gerecht. Zahlreiche Unterrichtseinheiten für die Lernfelder sind inzwischen von Grund auf neu entwickelt worden. Auch Kenntnisse bezüglich neuer Lern- und Arbeitstechniken sind in neue Unterrichtsentswürfe eingeflossen, welche sich viele Lehrkräfte erst selbst aneignen mussten bzw. noch aneignen sollten. Dabei hat es sich vielfach bewährt, auch eine Teamarbeit über die Schulgrenzen hinweg vorzunehmen, weil gerade an ländlichen Berufsschulen der schulinterne fachspezifische Austausch zum Teil gar nicht möglich ist. Dennoch besteht nach wie vor ein besonderer Planungsbedarf für Unterrichtseinheiten im SHK-Bereich.

Die Gründe hierfür sind vielfältig (Abb. 1). Es gibt sogar immer noch ganze Lernfelder, zu denen weder in der Fachliteratur noch im Internet kaum etwas zu finden ist. Hierzu zählt auch das Lernfeld 14 „Instandhalten von versorgungstechnischen Anlagen und Systemen“.

Wer dem Anspruch an dieses Lernfeld gerecht werden möchte, darf sich nicht nur im Klassenzimmer aufhalten und

das Thema theoretisch abhandeln. Zu einer gründlichen Ausbildung in diesem Lernfeld gehört auch der Gang in den Laborraum, wo die Maßnahmen zur Instandhaltung an verschiedenen Anlagen und Systemen auch praktisch durchzuführen sind. Wie sonst sollten Anlagen inspiziert, Betriebsparameter ermittelt, gemessen und überprüft, Fehler erkannt und Störungen behoben werden, was im Rahmenlehrplan ja ausdrücklich gefordert wird? Ein entsprechender Laborraum ist hierfür zwingend notwendig, ständig zu aktualisieren, und dessen Nutzung ist zu planen und auch zu koordinieren.

Tatsächlich scheint es aber so, als ginge die Nutzung der Laborräume seit der Zusammenlegung der Berufe immer weiter zurück. Von Kollegen hört man des Öfteren, dass sich mit den (durch die Zusammenlegung zweier Berufe) nun sehr viel größeren Klassen die Labor- und Werkstatträume kaum noch nutzen lassen. Die Lernfelder 14 und 15 werden von einigen Kollegen, angesichts der starken Belastung, teilweise als Streichpotenzial betrachtet. Die Unterrichtsentwicklung der letzten Jahre beschränkt sich anscheinend nur noch auf den Unterricht im Klassenraum, wo mittlerweile auch kooperative Unterrichtsmethoden wie Gruppenlesen, Partner- oder Gruppenpuzzle, Kugellager, Museumsrundgang usw. Eingang gefunden haben (vgl. BRÜNING/SAUM 2006). Sicherlich sind diese Methoden gut und auch handlungsorientiert, aber um Erfahrung im Umgang mit versorgungstechnischen Anlagen und Systemen zu sammeln, müssen Auszubildende auch an die Geräte herangeführt werden und konkretes Handeln praktizieren, d. h., sie müssen auch arbeitsprozessorientiert ausgebildet werden. Erst dadurch lernen sie z. B. die für die Instandhaltung dieser Geräte notwendigen Maßnahmen auch praktisch kennen. Das ist die Kernkompetenz, auf die es in diesem Beruf ankommt.

### **Konkretisierung der Handlungsorientierung**

#### **Vorbemerkung**

Dem Grundsatz nach konkreter Handlungsorientierung an den Geräten folgend, wurde zum Lernfeld 14 Unterricht nach der Methode der Stationenarbeit bzw. des Stationenlernens



**Weshalb besteht im SHK-Bereich ein besonderer Planungsbedarf  
bezüglich neuer Unterrichtseinheiten  
(systematische Unterrichtsentwicklung)?**



Abb. 1: Besonderer Planungsbedarf im SHK-Bereich bezüglich neuer Unterrichtseinheiten

entwickelt und wiederholt durchgeführt. Diese Methode eignet sich in besonderer Weise für das Wiederholen und Vertiefen sowie für die praktische Anwendung des Gelernten (vgl. HEGELE 2006). Die entwickelten Materialien und die bei der Durchführung gewonnenen Erfahrungen werden nachfolgend vorgestellt.

**Ausgangssituation und Randbedingungen**

Unter dem Dach der berufsbildenden Schulen in Verden vereinigen sich die verschiedensten Schulformen, die wiederum nach Fachrichtungen bzw. Berufsfeldern aufgegliedert sind. Hier werden etwa 3.300 Schülerinnen und Schüler von ca. 200 Lehrkräften ausgebildet. Davon gehören lediglich vier Kollegen dem Team Metall-SHK an. Die Bedingungen für die schulische Ausbildung der Anlagenmechaniker sind durchaus vergleichbar mit denen

in anderen Landkreisen. An der Berufsschule in Verden werden durchschnittlich etwa 20 Anlagenmechaniker für SHK pro Jahr ausgebildet. Nahe dem Klassenraum steht für die Ausbildung auch ein fachspezifischer Laborraum zur Verfügung. Dieser ist mit den wesentlichen versorgungstechnischen Installationen ausgestattet, die in Ein- oder Zweifamilienhäusern zu finden sind. Ferner befinden sich in diesem Raum drei Computerarbeitsplätze mit Internetzugang. Da es eine Doppelung in der Ausstattung praktisch nicht gibt, sollte zur Durchführung des Stationenlernens gleichzeitig an mehreren verschiedenen Stationen gearbeitet werden. Bei geplanter Partnerarbeit, waren somit mindestens zehn Stationen notwendig und hierzu jeweils ein Arbeitsauftrag zu formulieren. Mit den Stationen sollten alle vier Handlungsfelder abgedeckt werden. Je nach Fachrichtung sollen diese Stationen

von den Schülern verpflichtend oder wahlweise bearbeitet werden. Als Lernstationen boten sich im Laborraum elf Stationen an (Abb. 2).

Da die Schüler in Partnerarbeit an zehn dieser Stationen arbeiten sollen, wäre zur Gewährleistung der Unterrichtsflexibilität, wie auch für die Vor- und Nachbereitung, die Unterstützung durch einen zweiten Fachkollegen durchaus angebracht und denkbar gewesen. Es hätte jedoch einer langfristigen Planung bedurft, den geeigneten Lehrer für Fachpraxis, der mit einem Großteil seiner Stunden in Vollzeitklassen wie BVJ und BGJ eingesetzt ist, auch verfügbar zu haben. Durch zahlreiche Sachzwänge, wie Klassenbildungserlass, schwankende Schülerzahlen, langfristige Stundenplanung, Schulstatistik usw., war die Personalsituation jedoch sehr angespannt und ein zweiter Fachkollege nicht zu bekommen.

**Vorbereitende Schritte zur Entwicklung von Lernstationen**

Nachdem feststand, welche Stationen für das Lernfeld auszuarbeiten waren, wurden die Arbeitsblätter entwickelt und Schilder für die Stationen sowie ein Laufzettel mit einer Übersicht der Stationen erstellt, welcher als Deckblatt der zu führenden Arbeitsmappe und zur Dokumentation des aktuellen Bearbeitungsstandes dienen soll. Darüber hinaus sind Regeln für das Stationenlernen festgelegt worden. Aus diesen geht hervor, woraus sich die Aufgabenstellung ergibt, welche Erwartungen gestellt werden, welche Verhaltensregeln einzuhalten sind und worauf bei der häuslichen Nacharbeit zu achten ist. In die Benotung des Lernfeldes sollen die Selbstständigkeit, die schriftliche Ausarbeitung mit den Protokollen, ein Fachgespräch an einer Station sowie ein abschließender schriftlicher Test einfließen.

Für einen reibungsarmen Ablauf und auch, um Rückfragen während der Arbeit an den Stationen möglichst in Grenzen zu halten, soll an allen Lernstationen weitgehend sichergestellt sein, dass ein eigener Tisch, zwei Stühle, ausreichend Platz sowie alle zur Bearbeitung notwendigen Aufgabenblätter, Firmenunterlagen, Werkzeuge, Messgeräte, die auszutauschenden Verschleißteile und alle sonstigen Hilfsmittel zur Verfügung stehen. Hierzu gehören auch die Ersatzteilkataloge der Hersteller, die als

pdf-Datei auf dem Desktop der Internetrechner abgelegt wurden.

Alle Arbeitsblätter wurden nach dem gleichen Schema aufgebaut. Auf dem in drei Spalten eingeteilten Blatt DIN A 4 befinden sich unter der Kopfzeile mit Schullogo, Hinweise auf das Lernfeld sowie ein Schriftfeld für Schülernamen die Nummer der Station, deren Bezeichnung und die maximale Schülerzahl, die an der Station arbeiten soll. In der folgenden Zeile wird auf die bereitgestellten Materialien und Werkzeuge verwiesen und die Richtzeit vorgegeben.

Im Hauptteil befinden sich in der linken Spalte die Überschriften für die mittlere Spalte, aus welcher die Aufgabenstellung, die Arbeitsschritte, grundsätzliche Fragen zur Anlage und deren Instandhaltung sowie Hinweise und spezielle Vorgaben für die praktische Durchführung hervorgehen. In der rechten Spalte sind Bilder der Station eingefügt sowie gegebenenfalls hilfreiche Darstellungen für die Wartung der Anlage. In der Fußzeile werden die Auszubildenden aufgefordert, die Lernstation nach Abschluss ihrer Arbeiten in einem ordentlichen Zustand zu hinterlassen.

Bei der Menge an schriftlichen Unterlagen, welche für das Stationenlernen vorzubereiten sind, ist eine der Leistungsstärke entsprechende Differenzierung der Lernstationen schwierig zu realisieren und kurz vor Ende der

Ausbildung auch kaum zu rechtfertigen, denn die Wartung einer Anlage erfordert eben bestimmte Maßnahmen. Diese hängen nicht davon ab, wie qualifiziert der jeweilige Anlagenmechaniker ist, der die Wartungsarbeit durchführt.

**Allgemeine und rechtliche Grundlagen zur Instandhaltung versorgungstechnischer Anlagen und Systeme**

Bis zum Abschluss aller vorbereiteten Arbeiten für das Lernen an den Stationen war den Auszubildenden aus dem laufenden Unterricht im Klassenraum bereits vermittelt worden, worin sich Wartung, Inspektion und Instandsetzung unterscheiden (vgl. BÄCK u. a. 2005, S. 325 ff.). Des Weiteren hatten die Schüler ein Wartungsprotokoll erstellt, ausgefüllt und Grundsätze erarbeitet, worauf hierbei zu achten ist. Ferner war mit den Schülern entwickelt worden, welche gesetzlichen Pflichten zu diesem Thema z. B. im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB), in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV), der Allgemeinen Verordnung über die Versorgung mit Wasser (AVBWasserV) und dem Infektionsschutzgesetz (IfSchG) sowie in der VDMA 24186 gemacht werden, welche Konsequenzen eine nicht sach- oder fachgerechte Instandhaltung gemäß Wohngebäude-Versicherungsbedingungen hat und in welchem Rahmen bei erwiesener Pflichtverletzung das Strafmaß liegen kann.

**Sicherheitsunterweisung**

Obwohl sich die Auszubildenden vor Beginn des Stationenlernens bereits im vierten Ausbildungsjahr befanden, schien eine besondere sicherheitstechnische Unterweisung dringend geboten. Der Umgang mit elektrischem Strom, explosiven Gasen und bakteriell verschmutzten Abwasseranlagen erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit. Daher wurden die Auszubildenden über die Gefahren zunächst entsprechend unterwiesen. Hilfreich waren hierbei die Muster-Betriebsanweisungen aus den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht sowie die von der Berufsgenossenschaft herausgegebenen schriftlichen Unterweisungshilfen, welche in den Betrieben von den Beschäftigten, die Arbeiten an entsprechenden Anlagen durchführen,

Nr.	Bezeichnung	Handlungsfeld
1	Trinkwasserhausanschluss mit Druckminderer und rückspülbarem Filter	Wasser
2	Auslaufarmatur (Einhandhebelmischer oder Selbstschlussventil)	Wasser
3	Gas-Durchlaufwasserheizer	Wasser
4	Rückstauverschluss und Rückstauautomat	Wasser
5	Hebeanlage für fäkalienfreies Abwasser	Wasser
6	Atmosphärische Gastherme	Wärme
7	Gas-Brennwertkessel	Wärme
8	Öl-Brennwertkessel	Wärme
9	Wärmeverteilungsanlage	Wärme
10	Thermische Solaranlage	Umwelt

Abb. 2: Stationen für Lernfeld 14 „Instandhalten von versorgungstechnischen Anlagen und Systemen“

jährlich auszufüllen sind (vgl. Muster-Betriebsanweisung oder Regelwerk der Unfallkassen). Nach Abschluss der Unterweisung wurden diese in doppelter Ausführung von den Schülern unterschrieben und ein Exemplar von der Lehrkraft eingesammelt und archiviert. Nur wenige Auszubildende schienen solche Unterweisungen aus den Betrieben bereits zu kennen.

### Durchführung

Für die Arbeit an den Lernstationen wurden morgens die ersten beiden Unterrichtsstunden vorgesehen. Dies bot die Möglichkeit, an den Stationen Tische und Stühle aufzustellen, Arbeitsblätter auszulegen, Werkzeugschränke aufzuschließen, Messgeräte bereitzustellen usw., sodass sofort nach Unterrichtsbeginn mit der eigentlichen Arbeit begonnen werden konnte. Beim ersten Durchgang fanden die Auszubildenden neben den Arbeitsaufträgen auch noch eine Liste an ihrer Station, in welche sie die zur Durchführung ihrer Aufgabe eventuell noch fehlenden Materialien eintragen sollten und auf denen sie auch Verbesserungsvorschläge machen konnten. Der Rücklauf war an zwei Stationen sehr hilfreich.

Die Partnerwahl wurde den Schülern freigestellt. Der Hinweis, dass die Wahl der Stationen etwas einfacher wird, wenn beide Partner im gleichen Handlungsfeld ausgebildet werden, wurde vereinzelt berücksichtigt.

Die Auszubildenden zeigten sich überwiegend motiviert und arbeiteten weitgehend selbstständig. Der erwartete Ansturm auf die Lehrkraft hielt sich in Grenzen, auch wenn anfangs einzelne Schüler mit Fragen ankamen, deren Beantwortung sich bereits aus der Aufgabenstellung ergab. Durch gezielte Hilfestellung zur Bearbeitung der Lernschritte konnten die Schüler meist selbst an die Lösung des Problems oder an ein systematisches Vorgehen herangeführt werden, sodass sich nach und nach eine gewisse Selbstständigkeit einstellte. Die zum Teil doch sehr hohe Motivation der meisten Auszubildenden dürfte auch daran gelegen haben, dass ihnen die Arbeit an den Stationen zur Wiederholung und Vertiefung zurückliegender Lernfelder wie auch als intensive Vorbereitung auf die Geräteprüfung bei der Gesellenprüfung dienen sollte. Gleichzeitig konn-

ten sie auch ihr Verständnis für die Anlage oder das System unter Beweis stellen und zeigen, dass sie in der Lage sind, das Gelernte auch praktisch umzusetzen.

Im Großen und Ganzen verlief die Arbeit an den Stationen ziemlich reibungslos. An einzelnen Stationen gab es bei den Wartungsarbeiten aber auch immer wieder unerwartete Schwierigkeiten, zu deren Bewältigung mehr Zeit benötigt wurde, als zunächst vorgesehen war. Es ist nun einmal das Merkmal (bzw. auch das Problem) des offenen Lernens, dass sich die Lehrkraft auch unabsehbaren Herausforderungen stellt.

### Lernprozess an den Stationen: ein komplexer Vorgang

Die Schüler planen ihre Lernschritte in einem gewissen Rahmen selbst. Sie prüfen, messen und kontrollieren selbst. Sie schätzen sich selbst ein, definieren ihre eigenen Erwartungen und Lernbedürfnisse und übernehmen damit auch die Verantwortung für ihren Lernfortschritt. Wenn Probleme auftreten, müssen sie ihre Planung differenziert reflektieren und gegebenenfalls ändern. Dies bedarf der kritischen Diskussion auf Augenhöhe, bei der beide Partner zu Wort kommen sollen, ohne einander zu verletzen. Das wiederum erfordert ein gewisses Maß an sozialer Kompetenz. Alles in allem ist der Lernprozess, der sich an den verschiedenen Stationen abspielt, ein sehr komplexer Vorgang, der, in Abhängigkeit von den individuellen Kenntnissen, Fertigkeiten und Zielsetzungen des Einzelnen und seiner Rolle in der Partnerarbeit, zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen kann.

### Wechsel von Lernstationen und Partnern

Dem individuellen Arbeitsrhythmus der Schüler gerecht zu werden, stellt zumeist keine Schwierigkeit dar. Für den vorzeitigen Wechsel bedarf es lediglich einer freien Station, an der beide Partner noch nicht gearbeitet haben. Sofern genügend Stationen vorhanden sind, ist ein Ortswechsel jederzeit möglich.

Bei der Durchführung gab es an den Stationen auch einige Wechsel der Partner, welche bedingt durch die

zu bearbeitenden Pflichtstationen, Krankheit, Verspätung oder auch soziale Spannungen zustande kamen. Bei der Partnerwahl bestätigte sich die alte Weisheit: „Gleich und Gleich gesellt sich gerne.“ Es schlossen sich durchweg Schüler gleicher Leistungsstärke zusammen. Hierbei regelnd einzugreifen und leistungsstarke mit -schwachen Schülern zusammenzuführen, birgt gewisse Gefahren in sich, weil die soziale Verantwortung und Solidarität der Schüler leicht in Vergessenheit gerät, wenn Zweifel am eigenen Lernerfolg aufkommen, weil der Partner z. B. nicht richtig mitzieht. Gute Schüler können hier sehr leicht die Begeisterung verlieren, wenn der schwächere Partner ihren Einsatz nicht entsprechend zu würdigen weiß.

### Bevorzugte Lernstationen: Entscheidung nach traditionellem Berufsbild

Da sich schon früh herausstellte, dass bestimmte Stationen attraktiver waren als andere, durften alle Schüler Wunschlisten ausfüllen, in welche sie eintragen konnten, an welchen fünf Stationen sie am liebsten arbeiten würden. Dabei stellte sich heraus, dass die Gasheizgeräte den größten Zuspruch fanden, knapp gefolgt von der Wärmeverteilungsanlage, dem Öl-Brennwertkessel und der kontrollierten Wohnungslüftungsanlage. Der Trinkwasser-Hausanschluss, die thermische Solaranlage und der Gas-Durchlaufwasserheizer lagen im Mittelfeld, während die Auslaufarmaturen, die Rückstaeinrichtungen und die Abwasserhebeanlage etwas abge schlagen waren.

Dieses Ergebnis war zunächst nicht zu erwarten, da das Verhältnis der Schüler aus den Handlungsfeldern Wärmetechnik und Wassertechnik ziemlich ausgeglichen war. Bei erneuter Durchsicht der Fragebogen stellte sich heraus, dass das Gas-Brennwertgerät und die atmosphärische Gastherme, die eindeutig der Wärmetechnik zuzurechnen sind, auch bei Auszubildenden aus dem Handlungsfeld Wassertechnik sehr hohen Zuspruch fand. Die Auszubildenden mit Handlungsfeld Wärmetechnik entschieden sich hingegen konsequent für die Stationen der Wärme- und Lüftungstechnik. Die Entscheidungen fielen sozusagen traditionell aus, wie dies nach den alten



Berufsbezeichnungen zu erwarten gewesen wäre. Um dem Schülerwunsch zu entsprechen, wurden für den Bereich der Gasheizgeräte, was auch im Rahmen der Möglichkeiten lag, zwei zusätzliche Stationen geschaffen.

**Fordern und Fördern**

Um die Bedeutung der schriftlichen Ausarbeitung zu unterstreichen und um frühzeitig korrigierend eingreifen zu können, wurden schon sehr bald die ersten schriftlichen Berichte kontrolliert. Dabei zeigte sich, dass einzelne Schüler nahezu perfekt ausgearbeitete Dokumentationen vorlegen konnten, während andere kaum etwas vorzuweisen hatten. Gerade die schwächeren Schüler benötigten sehr viel Zeit, die einleitenden Fragen zu beantworten. Sie beherrschten nicht das selektive Lesen, sondern suchten und lasen lange Zeit im Fachbuch oder in den technischen Unterlagen der Hersteller. Dadurch verloren sie viel Zeit für ihre eigentliche Aufgabe, welche in der Wartung bestand. Um diese vollständig durchzuführen, reichte dann aber oft die Zeit nicht mehr aus. Eine Nacharbeit ihrer Dokumentation fand auch zuhause oft nicht statt, und in der folgenden Woche wurde vorgegeben, alle Arbeiten bereits erledigt zu haben, ohne dies entsprechend belegen zu können. Dass hier beim Kunden im Schadensfall auch versicherungsrechtlich ein erheblicher Mangel vorgelegen hätte, ließ sich leicht nachweisen. An dieser Stelle musste eingeschritten werden. Die betreffenden Schüler wurden in der Folge häufiger als andere zu Fachgesprächen an ihren Stationen besucht. Teilweise wurde das Wartungsprotokoll mit ihnen auch Punkt für Punkt abgearbeitet, was sehr zeitaufwendig war. Von den betreffenden Schülern wurde die besondere Zuwendung aber eher begrüßt als abgelehnt.

**Schülerfeedback**

Nachdem das Stationenlernen etwa fünf Wochen gelaufen war, wurde eine Selbstbewertung auf einem zweiseitigen Fragebogen durchgeführt. Auf der ersten Seite des Fragebogens waren die Nummern der Stationen einzutragen, die bereits bearbeitet wurden. Zu jeder dieser Station war anschließend eine Selbstbewertung vorzunehmen hinsichtlich der auf dem Aufgabenblatt zu beantwortenden Fragen, dem er-

worbenen Verständnis für die jeweilige Anlage, der praktischen Durchführung der Wartung und der Erstellung des Protokolls. Hierfür sollten die Auszubildenden in den dafür vorgesehenen Feldern nach den Kategorien „gelingt mir gut“, „gelingt mir“ und „muss ich noch üben“ ankreuzen, wie sie sich einschätzen. Darüber hinaus war auch eine Selbsteinschätzung zur Zeiteinteilung und zur Mappenführung vorzunehmen. Ferner sollten sie sich einen Vorsatz für die Bearbeitung der nächsten Stationen nehmen und diesen formulieren.

Auf der zweiten Seite des Fragebogens konnte jeder auflisten, welche Probleme z. B. bei der Durchführung der Wartung aufgetreten sind oder was ihm zur jeweiligen Station noch unklar war. Außerdem konnten Wün-

sche oder Anregungen für die weitere Arbeit geäußert werden (Abb. 3).

Die Selbstbewertung dient in Verbindung mit der später abzugebenden Mappe zur Bewertung der Schülerleistung. Die Selbstbewertung für sich betrachtet, ist zur Beurteilung der Schülerleistung unbrauchbar, weil diese von der jeweiligen Erwartung und Zielsetzung abhängig ist. Zum Teil haben sich sehr gute Schüler, deren Unterlagen wirklich gut waren, überwiegend mit „gelingt mir“ und „muss ich noch üben“ bewertet, während andere, die z. B. in einem vorgegebenen Protokollformular nur Tätigkeiten abhakten und alles andere offen ließen, sich so einschätzten, als gelinge ihnen das Erstellen des Protokolls gut. In Verbindung mit der Mappe stellt die Selbstbewertung aber ein gutes Instrument

**Selbstbewertung:**

Themen		gelingt mir gut	gelingt mir	muss ich noch üben	Lehrer-Urteil
Station Nr.	Fragen zur Station				
	Verständnis der Anlage				
	Durchführung der Wartung				
	Erstellung des Protokolls				

	ja	teilweise	nein
<b>Zeiteinteilung:</b> Ich habe alle Aufgaben bearbeitet			
<b>Mappenführung:</b> Ich habe eine ordentliche Mappe zusammengestellt, mit deren Hilfe ich mich gut auf die Geräteprüfung vorbereiten kann.			

Mein Vorsatz für die nächsten Stationen:

Themen	Fragen oder Unklarheiten
Nr. Fragen zur Station	
Verständnis der Anlage	
Durchführung der Wartung	
Erstellung des Protokolls	

Mein Wunsch/meine Anregung wäre, .....

Abb. 3: Bogen zur Selbstbewertung

für eine gerechtere Beurteilung der Schüler dar, weil z. B. Hinweise, wie „Wartung nur teilweise durchführbar, da Kollektorfühler defekt“ entsprechend berücksichtigt werden können.

### Hinweise zur Motivation

Was den Nutzen des Stationenlernens betrifft, so lässt sich eine Abhängigkeit zur Dauer erkennen, in der die Methode eingesetzt wird. Während es in den ersten Wochen trotz hoher Motivation noch Probleme bei der Umsetzung gab, stellte sich nach einer gewissen Zeit bei der Nutzung der Herstellerunterlagen, bei der systematischen Durchführung der Wartung oder Fehlersuche und bei der Erstellung des Protokolls eine gewisse Routine ein. Die Motivation wird durch frei gewählte Stationen, welche die Auszubildenden auch interessieren und durch den persönlichen Erfolg eine Weile relativ hoch gehalten. Danach flacht das Interesse bei einigen Schülern wieder ab. Einzelne werden sogar völlig untätig und geben Berichte und Ergebnisse als ihre eigenen aus, auch wenn sie diese nicht einmal ansatzweise erklären können. Sodann wird es Zeit, die letzte Runde einzuläuten, was wie im Sport noch einmal Energien freisetzt. Nach etwa acht bis zehn Wochen empfiehlt es sich, die Stationenarbeit abzuschließen und die Mappen zur endgültigen Bewertung einzusammeln.

Die eigentliche Unterrichtszeit verging beim Stationenlernen stets wie im Flug. Auch viele Schüler empfanden das so. Manche waren oft noch nach Unterrichtsende an ihren Stationen und arbeiteten in die Pause hinein, um z. B. eine Messung abzuschließen und das Ergebnisprotokoll auszudrucken.

### Nacharbeit im Laborraum

Die Stationen wurden in der Regel in einem ordentlichen Zustand hinterlassen. Dennoch blieb nach einer solchen Doppelstunde noch viel zu tun, bis alle Werkzeugschränke kontrolliert und abgesperrt, alle Messgeräte, Ersatzteile und Hilfsmittel sowie Tische und Stühle zurückgeräumt, die Rechner heruntergefahren sowie die Gas- und Stromversorgung abgestellt waren.

Wenn keine weiteren Probleme an den Stationen oder an den Messgeräten

auftraten, war etwa mit einer Stunde Nacharbeit zu rechnen. Andernfalls konnte es auch etwas mehr werden. Probleme gab es aber häufiger, sei es, dass bestimmte Teile aus Unwissenheit falsch abgelegt wurden, dass Herstellerunterlagen ohne Vorankündigung für die Nacharbeit mit nach Hause genommen wurden, dass eine Steuerleitung übersehen und beim Festziehen einer Flanschverbindung abgequetscht wurde, um nur einige Beispiele zu nennen. Fehler können überall einmal passieren. Es ist meist auch nicht schlimm, wenn einem etwas kaputt geht. Wichtig ist nur, dass jeder pfleglich mit den Dingen umgeht und dass ein Schadensfall, wenn er eintritt, vom Verursacher auch gemeldet wird. Um im Zweifelsfall auch gezielt Rücksprache halten zu können, sind Eintragungen im Klassenbuch, aus denen hervorgeht, wer wann an welcher Station gearbeitet hat, empfehlenswert.

Im Nachhinein betrachtet, sind alle falsch abgelegten Teile wieder aufgefunden worden, alle Herstellerunterlagen kamen wieder zum Vorschein und wurden, damit sie stets verfügbar bleiben, als pdf-Datei auf den Rechnern hinterlegt, und auch alle defekten Teile konnten repariert oder ausgetauscht werden.

### Übertragbarkeit auf andere Schulen

Mit der Lernform des Stationenlernens kann nach dem beschriebenen Muster auch an anderen Schulen unterrichtet werden. An Berufsschulen mit einer kleineren Abteilung für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik und einem zentralen Laborraum dürfte die Umsetzung des Stationenlernens leichter fallen als an großen Bildungszentren mit nach Fachbereichen gegliederten Laborräumen.

Die Einführung des Stationenlernens könnte in folgenden Schritten geschehen:

1. Teamsitzung (Projektplanung);
2. Blick in den Laborraum bzw. die Laborräume;
3. Auswahl geeigneter Lernstationen;
4. Abgleich der Stationen- mit der Schülerzahl;
5. Arbeitsteilung für die Vorbereitung;

- a) der allgemeinen Regeln für das Stationenlernen, sicherheitstechnische Unterweisung, Laufzettel und gegebenenfalls Listen für eventuell noch fehlende Materialien beim ersten Durchgang, Fragebogen für Feedback;
  - b) der schriftlichen Unterlagen für die Stationen (Arbeitsblätter, Schilder);
  - c) der praktischen Durchführung (Werkzeuge, Messgeräte, Hilfsmittel, auszutauschende Ersatzteile);
  - d) der Rahmenbedingungen (Anordnung der Tische und Stühle, Internetrechner mit Firmenunterlagen, Ersatzteilkataloge);
6. Testlauf an einzelnen Stationen;
7. Beginn des Stationenlernens.

Eine Grundstruktur liegt hiermit weitgehend vor. Arbeitsblätter, wie auch die übrigen Vorlagen, können von den Kollegen anderer Berufsschulen als Beispiel für die Planung und Umsetzung von Stationenlernen genutzt werden.<sup>2</sup> Die in diesem Praxisbeitrag vorgestellten Erfahrungen sollen als Anregung dienen und Mut machen, die Methode „Stationenlernen“ anzuwenden.

Die Vorbereitung und Durchführung des Unterrichts sollte in Teamarbeit mit einem oder mehreren Fachkollegen erfolgen. Eine Doppelbesetzung dient nicht nur der Lehrarentlastung, sondern auch der Unterrichtsflexibilität und der besseren Betreuung wie auch Beaufsichtigung der Auszubildenden.

### Ausblick

An der berufsbildenden Schule in Verdun wird Stationenlernen zukünftig weiter angewendet und weiter entwickelt, da sich alle Schüler auf diesen Unterricht freuen, die meisten dabei engagiert mitarbeiten und einige sogar zur Höchstleistung auflaufen.

Die im Laborraum befindlichen Anlagen und Systeme nehmen kaum Schaden, sondern werden technisch eher verbessert und kommen intensiv zum Einsatz. Darüber hinaus werden die Kontakte zu den Geräteherstellern gepflegt. Auch verhalten sich die Firmenvertreter großzügiger, wenn sie sehen, dass ihre Geräte in der Schule praxisnah behandelt und intensiv genutzt werden. Im Prinzip kann diese

Methode für alle Beteiligten vorteilhaft sein, wobei nicht verschwiegen werden soll, dass das Lernen an Stationen den Lehrkräften auch einiges abverlangt.

### Anmerkungen

- 1 Auch in Fällen, in denen es nicht ausdrücklich vermerkt ist, sollen stets weibliche und männliche Vertreter der jeweiligen Personengruppe gemeint sein.
- 2 Weitere Materialien zum Thema: „Stationenlernen im Lernfeld 14“ unter: [www.o-patzel.de](http://www.o-patzel.de).

Muster-Betriebsanweisung für Lehrer und Schüler zum Umgang mit Gefahrstoffen sind zu finden in den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht z. B. unter: <http://www.km.bayern.de/imperia/md/content/pdf/schulen/41.pdf>. Regelwerk der Unfallkassen lässt sich finden unter: <http://regelwerk.unfallkassen.de/regelwerk/index.jsp>.

### Literatur

BÄCK, H. J. u. a. (2005): Anlagenmechanik für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, Lernfelder 9–15. Braunschweig.

BRÜNING, L./SAUM, T. (2006): Erfolgreich unterrichten durch kooperatives Lernen. Strategien zur Schüleraktivierung. Neue Deutsche Schule. Essen.

HEGELE, I. (2006): Stationenarbeit. Ein Einstieg in den offenen Unterricht. In: WIECHMANN, J. (Hrsg.): 12 Unterrichtsmethoden. Weinheim/Basel. S. 58–71.

Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Anlagenmechaniker/-in für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik. Beschluss der KMK vom 16.05.2003.

**MATTHIAS BECKER/GEORG SPÖTTL: Berufswissenschaftliche Forschung. Ein Arbeitsbuch für Studium und Praxis. Peter Lang Verlag, Frankfurt a. M. 2008, 237 Seiten, ISBN 978-3-631-58029-5, Euro 27,80**

Im hier rezensierten Werk sollen berufswissenschaftliche Forschungsansätze, deren Methoden und Instrumente vorgestellt und verfügbar gemacht werden, um einerseits Forschungsergebnisse für die Berufsbildungspraxis von Lehrkräften berufsbildender Schulen und betrieblichem Ausbildungspersonal nutzbar zu machen und andererseits Berufsbildungsplanern und -politikern bei der Entwicklung von Berufsbildungsstrukturen, Berufsbildern und Curricula Hilfestellung zu geben.

Die Autoren MATTHIAS BECKER und GEORG SPÖTTL reagieren damit auf die Tatsache, dass nach ihrer Ansicht die Implikationen von Facharbeit bislang in den Lehrplänen, Berufsprofilen, Assessments oder Tests zu kurz kommen und der Stellenwert von Facharbeit in der Gesellschaft unterbewertet sei. Zudem stelle sich der Stand der empirischen Erforschung konkreter Formen und Inhalte von Facharbeit bislang noch defizitär dar. Denn obgleich in den letzten Jahren eine Vielzahl an berufswissenschaftlichen Arbeiten derartige berufswissenschaftliche Forschungsansätze in Projektarbeiten dokumentiert habe, liege bislang keine geschlossene Abhandlung zur Klärung von Zielsetzungen, Problemen, Anwendung und Dokumentation berufswissenschaftlicher Forschungsinstrumente vor.

Dieses Defizit versucht die vorliegende Publikation zu beheben.

Dabei entfalten die Autoren im Kapitel 1 (S. 15–36) zunächst das Spannungsfeld „Berufswissenschaftliche Forschung“ mit seinen Schwerpunkten und Zielen. Nach einer definitorischen Annäherung an den Begriff „Berufswissenschaft“ und der Benennung zentraler Bezugspunkte berufswissenschaftlicher Forschung (Beruf, Wissenschaft, Forschung) werden einzelne berufswissenschaftliche Forschungsfelder aufgelistet. Ziele berufswissenschaftlicher Forschung sehen die Autoren insbesondere in der Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Qualifikationsforschung und Curriculumentwicklung sowie in der Auseinandersetzung mit den zukünftigen Herausforderungen der Arbeitswelt.

Im Anschluss daran wird im Kapitel 2 (S. 37–67) der berufswissenschaftliche Forschungsansatz anderen Forschungstraditionen (Ordnungsmittelforschung, Industriesoziologische Forschung, Sozialwissenschaftliche Forschung, Arbeitswissenschaftliche/ Arbeitspsychologische Forschung) gegenübergestellt.

Den Schwerpunkt der Publikation nehmen die Kapitel 3 (S. 69–125) und 4 (S. 127–197) ein, in denen die beiden Autoren zunächst mit den Sektoranalysen, Fallstudien, Arbeitsprozessanalysen und Experten-Facharbeiter-Workshops vier berufswissenschaftliche Forschungsinstrumente ausführlich thematisieren, die je nach Zielsetzung der empirischen Untersuchungen einzeln oder in Kombination verwendet

werden können (Kapitel 3). Beim Einsatz dieser Instrumente finden je nach Forschungsdesign unterschiedliche Methoden Verwendung, die ebenfalls vorgestellt und erläutert werden. Im Kapitel 4 werden zu jedem der vier berufswissenschaftlichen Forschungsinstrumente konkrete Beispiele aus Forschungsprojekten in unterschiedlichen Bereichen (fahrzeugtechnische Berufe, Elektrohandwerk, Dienstleistungsbranchen, Maschinenbau, Chemietechnik) präsentiert, die sehr anschaulich die methodische Umsetzung der jeweiligen Instrumente verdeutlichen. Gleichsam als Fazit der Ausführungen in diesem Kapitel wird deutlich, dass die vorgestellten Methoden spezifisch unterschiedliche Erkenntnisse liefern und erst die Kombination der Instrumente gestaltungsorientierte Interpretationen ermöglicht.

In einer Publikation, die sich mit berufswissenschaftlicher Forschung befasst, darf die Thematik der (klassischen) Gütekriterien quantitativer und qualitativer Forschung nicht fehlen. In dem vorliegenden Werk erfolgt dies im Kapitel 5 (S. 199–208). Zusätzlich werden auch berufswissenschaftliche Anforderungen an derartige Gütekriterien formuliert. So können für die (qualitative) berufswissenschaftliche Forschung mit der Strukturgröße (beschreibt das Verhältnis von Fragestellung und Forschungsdesign), der Prozessgröße (beschreibt die Anwendungsqualität der Forschungsinstrumente) und der Kontextgröße (beschreibt den Grad der erreichten Erfassung des Forschungsgegenstandes) explizit drei Gütebereiche benannt werden.

## Rezensionen



Den Abschluss des Werkes bildet das Kapitel 6 (S. 209–215), in dem „Entwicklungstendenzen und ungeklärte Fragen berufswissenschaftlicher Forschung“ behandelt werden. Hier werden exemplarisch die Erosionstendenzen des Berufs, die europäische Perspektive der Kompetenzerfassung und -modellierung sowie die berufswissenschaftliche Unterrichts- und Schulforschung als zukünftige Forschungsgegenstände genannt.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass es den Autoren mit dem vorliegenden Werk gelungen ist, Grundzüge des berufswissenschaftlichen Denkens zu vermitteln und einen guten Einblick in die von den Berufswissenschaften eingesetzten Forschungsinstrumente zu geben. Die Publikation liefert somit einen Beitrag zum besseren Verständnis der Berufswissenschaften und ist insbesondere für diejenigen Personengruppen zu empfehlen, die entweder selbst entsprechende Forschungsinstrumente einsetzen oder Erkenntnisse aus der berufswissenschaftlichen Forschung nutzen wollen. Wünschenswert wäre lediglich ein einleitendes Kapitel gewesen, das in die Thematik des Buches eingeführt und gleichsam als Wegweiser dem Leser den Aufbau des Buches vorgestellt hätte. Positiv ist dagegen insbesondere das Sachwortverzeichnis hervorzuheben, das dem Leser ein schnelles Nachschlagen wichtiger Themen ermöglicht.

MARTIN LANG

**JÖRG-PETER PAHL unter Mitwirkung von MAIKE-SVENJA PAHL: Konstruieren und berufliches Lernen. Zweite erweiterte und aktualisierte Auflage, W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld 2009, 359 Seiten, ISBN 978-3-7639-3680-9, Euro 39,00**

„Konstruieren und berufliches Lernen“ – Wie passt das eigentlich zusammen? Hat die technische Konstruktion nicht klassischerweise eine ingenieurwissenschaftliche Provenienz und vom Facharbeiter wird lediglich eine ausführende Tätigkeit erwartet?

JÖRG-PETER PAHL stellt in der zweiten überarbeiteten und aktualisierten Auflage seines Werkes aus dem Jahre

2000 fest, dass dem nicht so ist. Konstrukteur kann sowohl der Ingenieur als auch der Facharbeiter sein. Egal, ob es sich um Neukonstruktionen oder Verbesserungen bestehender Produkte handelt: Konstruktionen werden von beiden Ebenen aus gestaltet. Als gemeinsames Medium der Fachkommunikation zwischen Facharbeitern und Ingenieuren dient die Technische Zeichnung (S. 19). Aus der VDI-Richtlinie 2222 lässt sich aufgrund ihrer Definition – „Konstruieren gründet auf Wissen und Erfahrung“ (S. 15) – die berufspädagogische Verortung des Themenbereiches herleiten. Innerhalb der beruflichen Erstausbildung sollten Konstruktionsaufgaben vorrangig im dritten und vierten Ausbildungsjahr (S. 201) eingesetzt werden und auf Anwendung bzw. Transfer von Vorkenntnissen aus den Bereichen technisches Grundwissen und Fertigkeiten beim Zeichnen ausgelegt sein.

„Konstruieren ist im wesentlichen Denkarbeit“ (S. 12). Eine Problemlösung gelingt daher nur, wenn die Schüler in hohem Maße für ihre Lernprozesse selbst verantwortlich sind. Für das Konstruieren lässt sich daraus die Schlussfolgerung ziehen, dass die Schüler selbstständig das berufsdidaktische Prinzip des Konstruierens (S. 59) darstellt. Geeignete Lehr-Lernarrangements ermöglichen den Lernenden bewusst unterschiedliche Lernwege; Lernirwege und Sackgasen werden zugelassen. Das Überwinden von Lernschwierigkeiten ist eine zentrale didaktische Kategorie des Konstruierens, denn nur wer beginnt, „Schwierigkeiten kognitiv zu strukturieren, der beginnt zu suchen und zu forschen, zu beobachten und nachzudenken“ (S. 70). Die Intentionen und Lernziele bei Konstruktionsaufgaben sind weniger kognitiv geprägt, sondern zielen vorrangig auf den Lernprozess. Dieser ist Gegenstand der Lernhandlung, nicht das Lernergebnis.

Aus dem Vorgenannten lässt sich ableiten, dass der Themenbereich „Konstruktion“ per se von der planenden Lehrkraft didaktisch-methodische Entscheidungen auf der Mikroebene der Unterrichtsgestaltung abverlangt, die von der berufspädagogischen Leitidee der Handlungsorientierung geprägt sein müssen. Konstruktionsaufgaben können von Schülerinnen und Schülern

nicht durch das gedankliche Nachvollziehen einer Konstruktionshandlung, die beispielsweise im Frontalunterricht von einer Lehrkraft vorgemacht wird, nachempfunden werden; hier gilt im Besonderen „Lernen durch Handeln“.

JÖRG-PETER PAHL vollzieht in fünf Kapiteln eine (fach)didaktische Theoriebildung zum „Konstruieren“, die nicht nur eine theoretische Reflexion des Gegenstandsbereiches ermöglicht, sondern konkrete Beispiele und Handlungsmuster für die Unterrichtspraxis liefert. Das Kapitel 2 „Berufswissenschaftliche Aussagen zum Konstruieren“ (S. 15–47) beleuchtet den Begriff und die Grundlagen des Konstruierens insbesondere vor dem Hintergrund konstruktionssystematischer Überlegungen. Hier ist nicht nur eine fachdidaktische Genese vorgenommen worden, sondern es wird der Blick auf das Ganze gerichtet. Im Kapitel 3 „Berufs- und fachdidaktische Überlegungen zum konstruktionorientierten beruflichen Lernen“ (S. 49–108) wird die Struktur und das Wesen der Konstruktion im Zusammenhang mit Aspekten des Lehrens und Lernens dargestellt. Im Sinne der lerntheoretischen Didaktik werden konstruktionsspezifische Intentionen und Ziele bestimmt, und es wird auf den Medieneinsatz eingegangen. Konstruktionsspezifische Methoden werden im Kapitel 4 „Ausbildungs- und Unterrichtskonzepte“ (S. 109–325) unter Anwendung zahlreicher Beispiele begründet und dargestellt. Hier erhält der Praktiker „Best practise“-Beispiele zum „Nachmachen“ (teilweise mit hervorragenden Kopiervorlagen; hier zeigt sich insbesondere die Aktualität und die qualitative Verbesserung der zweiten Auflage). Kapitel 5 beendet das Werk mit einer kritischen Schlussbetrachtung, die sich im Wesentlichen auf das Konstruieren in veränderten Arbeitswelten bezieht.

Meine Empfehlungen für „Konstruieren und berufliches Lernen“ gehen an Lehramtsstudierende, Berufspädagogen, Berufsschullehrerinnen und -lehrer sowie Ausbilderinnen und Ausbilder aus den metalltechnischen Bereichen, aber auch an Fachdidaktiker aller Bereiche, da der Ansatz dieses Buches auf weitere Themen anderer Disziplinen übertragen werden sollte.

AXEL GRIMM

## In eigener Sache

### Liebe Leserinnen und Leser,

damit die Zeitschrift „lernen & lehren“ lebendig bleibt, suchen wir ständig Autorinnen und Autoren aus der Berufsbildungspraxis und -theorie, die ihre Konzepte und Überlegungen einem breiteren Publikum bekannt machen möchten. Hierfür ist insbesondere die Rubrik „Forum“ vorgesehen. Beiträge zum Forum können jederzeit eingereicht werden.

Darüber hinaus gibt es in jedem Heft einen Schwerpunkt, wobei die Planungen dieser Aufsätze einen sehr großen zeitlichen Vorlauf (bis zu einem Jahr) erfordern. Die vorgesehenen Schwerpunkte der jeweils folgenden Hefte finden Sie unter [http://www.lernenundlehren.de/lul\\_Heftplanung.html](http://www.lernenundlehren.de/lul_Heftplanung.html).

Aktuell werden z. B. Autorinnen und Autoren gesucht, die einen Beitrag zum Thema „Berufs- und Fachdidaktik – Beispiele aus Elektro- und Metalltechnik“ leisten möchten. Interes-

senten wenden sich gern – für das genannte Themenheft bitte bis vier Wochen nach Erscheinen dieser Ausgabe – an die Schriftleiter Volkmar Herkner und Carsten Wehmeyer. Die Kontaktmöglichkeiten finden Sie im Impressum auf der vorderen Umschlagseite innen. Sehr gern helfen wir auch Autorinnen und Autoren, die erstmals etwas publizieren möchten.

DIE SCHRIFTFLEITUNG

# Verzeichnis der Autoren

### ADOLPH, GOTTFRIED

Prof. Dr. em., Hochschullehrer, Schwefelstr. 22, 51427 Bergisch-Gladbach, Tel.: (02204) 62773, E-Mail: [gottfried.adolph@t-online.de](mailto:gottfried.adolph@t-online.de)

### BECKER, MATTHIAS

Prof. Dr., Juniorprofessor, Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg, Tel.: (0461) 8052160, E-Mail: [becker@biat.uni-flensburg.de](mailto:becker@biat.uni-flensburg.de)

### BRECHER, CHRISTIAN

Prof. Dr., Hochschullehrer und Institutsleiter, RWTH Aachen, Werkzeugmaschinenlabor (WZL), Steinbachstraße 19, 52074 Aachen, Tel.: (0241) 8027407, E-Mail: [c.brecher@wzl.rwth-aachen.de](mailto:c.brecher@wzl.rwth-aachen.de)

### BREKOW, GERHARD

Dr., Arbeitsgruppenleiter, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Telefon: (030) 81 04 36 48, E-Mail: [gerhard.brekow@bam.de](mailto:gerhard.brekow@bam.de)

### BÜSSEN, ECKARD

Dipl.-Ing. (FH), Laboringenieur, Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg, Telefon: (0461) 805-21 14, E-Mail: [buessen@biat.uni-flensburg.de](mailto:buessen@biat.uni-flensburg.de)

### GRIMM, AXEL

StR, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Technische Universität Berlin, Institut für Berufliche Bildung u. Arbeitslehre (IBBA), Franklinstr. 28/29, 10587 Berlin, Telefon: (030) 31 47 37 36, E-Mail: [axel.grimm@alumni.tu-berlin.de](mailto:axel.grimm@alumni.tu-berlin.de)

### HECKEL, THOMAS

Dipl.-Ing., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Telefon: (030) 81 04 36 86, E-Mail: [thomas.heckel@bam.de](mailto:thomas.heckel@bam.de)

### HEIDE, JENS

Dr.-Ing., Werkstoffwissenschaftler, Engineering Polymerwerkstoffe, Lufthansa Technik AG, Zentrale Werkstofftechnik – Abt. HAM TQ/M, Weg beim Jäger 193, 22335 Hamburg, Telefon: (040) 50 70-14 43, E-Mail: [jens.heide@lht.dlh.de](mailto:jens.heide@lht.dlh.de)

### HERKNER, VOLKMAR

Prof. Dr., Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit u. Technik (biat), Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg, Tel.: (0461) 805-21 53, E-mail: [volkmar.herkner@biat.uni-flensburg.de](mailto:volkmar.herkner@biat.uni-flensburg.de)

### KLEIN, WIELAND H.

Dipl.-Ing., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, RWTH Aachen, Werkzeugmaschinenlabor (WZL), Steinbachstraße 19, 52074 Aachen, Telefon: (0241) 80-2 62 91, E-Mail: [w.klein@wzl.rwth-aachen.de](mailto:w.klein@wzl.rwth-aachen.de)

### LANG, MARTIN

Prof. i. V. Dr., Hochschullehrer, FernUniversität in Hagen, Lehrgebiet Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Universitätsstr. 11, 58084 Hagen, Telefon: (0231) 9 87-27 47, E-Mail: [martin.lang@fernuni-hagen.de](mailto:martin.lang@fernuni-hagen.de)

### LINDNER, FLORIAN

Dipl.-Ing., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, RWTH Aachen, Werkzeugmaschinenlabor (WZL), Steinbachstraße 19, 52074 Aachen, Telefon: (0241) 80-2 62 87, E-Mail: [f.lindner@wzl.rwth-aachen.de](mailto:f.lindner@wzl.rwth-aachen.de)

### PATZEL, OTMAR

Oberstudienrat, Berufsschullehrer, Berufsbildende Schulen Verden, Neue Schulstr. 5, 27283 Verden, Telefon: (0421) 7 81 34, E-Mail: [patzel.o@gmx.de](mailto:patzel.o@gmx.de)

### PETERSEN, A. WILLI

Prof. Dr. Dr., Hochschullehrer, Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg, Telefon: (0461) 805-21 55, E-Mail: [awpetersen@biat.uni-flensburg.de](mailto:awpetersen@biat.uni-flensburg.de)

### SCHNACKENBERG, HEIKO

Studienrat, Berufsschullehrer, Schulzentrum Carl von Ossietzky, Gewerbliche Lehranstalten (GLA) Bremerhaven, Georg-Büchner-Str. 7, 27574 Bremerhaven, Telefon: (0471) 5 90 40 10, E-Mail: [heiko.schnackenberg@magistrat.bremerhaven.de](mailto:heiko.schnackenberg@magistrat.bremerhaven.de)

### THOMAS, HANS-MARTIN

Dr., Arbeitsgruppenleiter, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Telefon: (030) 81 04 18 42, E-Mail: [hans-martin.thomas@bam.de](mailto:hans-martin.thomas@bam.de)

### WEHMEYER, CARSTEN

Dr., StR, Walther-Lehmkuhl-Schule Neumünster, abgeordnete Lehrkraft an der Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit u. Technik (biat), Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg, Tel.: (0461) 805-21 49, E-mail: [wehmeyer@biat.uni-flensburg.de](mailto:wehmeyer@biat.uni-flensburg.de)

### WICHMANN, LARS

Studienrat z. A., Berufsschullehrer, Berufsbildungszentrum Schleswig, Flensburgerstraße 19 b, 24837 Schleswig, Telefon: (04621) 9 66 00, E-Mail: [lwichmann@bbzsl.de](mailto:lwichmann@bbzsl.de)

## 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 (zurzeit 27,- EUR eingeschlossen alle Kosten für den verbilligten Bezug der Zeitschrift *lernen & lehren*) überweisen. Austritte aus der BAG Elektrotechnik-Informatik 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-Informatik lautet:

BAG Elektrotechnik-Informatik

Geschäftsstelle, z. H. Frau Brigitte Schweckendieck

c/o ITB – Institut Technik und Bildung

Am Fallturm 1

28359 Bremen

Tel.: 04 21/218-49 27

Fax: 04 21/218-46 37

Konto-Nr. 1 707 532 700

Volksbank Bassum-Syke (BLZ 291 676 24).

Die Anschrift der Geschäftsstelle der Bundesarbeitsgemeinschaft Metalltechnik lautet:

BAG Metalltechnik

Geschäftsstelle, z. H. Herrn Michael Sander

c/o ITB – Institut Technik und Bildung

Am Fallturm 1

28359 Bremen

Tel.: 04 21/218-49 24

Fax: 04 21/218-46 37

Konto-Nr. 10 045 201

Kreissparkasse Verden (BLZ 291 526 70).

## 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 zz. 27,- EUR. Auszubildende, Referendare und Studenten zahlen zz. 15,- EUR gegen Vorlage eines jährlichen 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: .....

E-mail: .....

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:  
ITB – Institut Technik und Bildung, z. H. Frau Brigitte  
Schweckendieck, Am Fallturm 1, 28359 Bremen

**BAG Metalltechnik e. V.**, Geschäftsstelle:  
ITB – Institut Technik und Bildung, z. H. Herrn Michael  
Sander, Am Fallturm 1, 28359 Bremen



---

# lernen & lehren

## Eine Zeitschrift für alle, die in

betrieblicher Ausbildung,  
berufsbildender Schule,  
Hochschule und Erwachsenenbildung sowie  
Verwaltung und Gewerkschaften  
in den Berufsfeldern Elektrotechnik-Informatik und 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 EUR 25,56 (4 Hefte) zuzüglich EUR 5,12 Versandkosten (Einzelheft EUR 7,68).

Von den Abonnenten der Zeitschrift lernen & lehren haben sich allein über 600 in der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik-Informatik 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 können Sie lernen & lehren bestellen und Mitglied in einer der Bundesarbeitsgemeinschaften werden.

---

### Folgende Hefte sind noch erhältlich:

- |   |  |   |
|---|--|---|
| 58: Lernfelder in technisch-gewerblichen Ausbildungsberufen | 71: Neuordnung der Elektroberufe                         | 86: Innovative Unterrichtsverfahren   |
| 59: Auf dem Weg zu dem Berufsfeld Elektrotechnik/Informatik | 72: Alternative Energien                                 | 87: Kosten, Nutzen und Qualität in der beruflichen Bildung                    |
| 60: Qualifizierung in der Recycling- und Entsorgungsbranche | 73: Neue Technologien und Unterricht                     | 88: Entwicklung beruflicher Schulen   |
| 61: Lernfelder und Ausbildungsreform                        | 74: Umsetzung des Lernfeldkonzeptes in den neuen Berufen | 89: Fachkräftebedarf im gewerblich-technischen Bereich                        |
| 62: Arbeitsprozesswissen – Lernfelder – Fachdidaktik        | 75: Neuordnung der Metallberufe                          | 90: Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung                                 |
| 63: Rapid Prototyping                                       | 76: Neue Konzepte betrieblichen Lernens                  | 91: Europa – aktuelle Herausforderungen an berufliches Lernen                 |
| 64: Arbeitsprozesse und Lernfelder                          | 77: Digitale Fabrik                                      | 92: Veränderungen in Schule und Unterricht gestalten                          |
| 65: Kfz-Service und Neuordnung der Kfz-Berufe               | 78: Kompetenzerfassung und -prüfung                      | 93: Ausbildung in der Mikrosystemtechnik: Stand – Probleme – Ausblick         |
| 66: Dienstleistung und Kundenorientierung                   | 79: Ausbildung von Berufspädagogen                       | 94: Materialbearbeitung mit Lasersystemen: Arbeits- und Ausbildungsgestaltung |
| 67: Berufsbildung im Elektrohandwerk                        | 80: Geschätzprozessorientierung                          |   |
| 68: Berufsbildung für den informatisierten Arbeitsprozess   | 81: Brennstoffzelle in beruflichen Anwendungsfeldern     |   |
| 69: Virtuelles Projektmanagement                            | 82: Qualität in der beruflichen Bildung                  |   |
| 70: Modellversuchsprogramm „Neue Lernkonzepte“              | 83: Medientechnik und berufliches Lernen                 |   |
|   | 84: Selbstgesteuertes Lernen und Medien                  |   |
|   | 85: Die gestreckte Abschlussprüfung                      |   |

Bezug über: Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft GmbH  
Postfach 15 59, 38285 Wolfenbüttel  
Telefon (0 53 31) 80 08 40 • Fax (0 53 31) 80 08 58

---

Von Heft 16: „Neuordnung im Handwerk“ bis Heft 56: „Gestaltungsorientierung“ ist noch eine Vielzahl von Heften erhältlich.  
Informationen über: Donat Verlag • Borgfelder Heerstraße 29 • 28357 Bremen • Telefon (0421) 27 48 86 • Fax (0421) 27 51 06