

Mechatronische Systemanalyse – Didaktisch-methodische Konzeptansätze für die Ausbildung zum Beruf “Mechatroniker/-in“

KURZFASSUNG: Angesichts der komplexen Ausbildungsanforderungen für den Beruf “Mechatroniker/-in“ werden Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren verlangt, die allgemein zum Wissenserwerb über mechatronische Systeme und dem Umgang damit befähigen, die aber auch speziell Technik und die dazu gehörige Arbeit berufsdidaktisch erschließen. Derzeit häufig noch in der Praxis beobachtbare offenkundige Brüche zwischen ganzheitlichem Lernfeldkonzept und durchgeführtem Unterricht, wie beispielsweise die Trennung nach Bereichen der Mechanik und Elektrotechnik oder das eher isolierte Herausbilden von Sprachkompetenz, ließen sich durch integrative Methoden vermeiden. Für einen qualifizierenden Ausbildungs- und Unterrichtsansatz ganzheitlichen Denkens und Handelns bietet sich eine mechatronische Systemanalyse geradezu an, zumal damit auch den Problemen der Schnittstelle Technik – Mensch nachgegangen werden kann.

1 Arbeiten an mechatronischen Systemen als dominante Kernleistung der Mechatroniker/-innen – Vorbemerkungen zu einem didaktischen Fokus

Tätigkeitsanalysen und ein Blick in die Ausbildungsordnung zeigen, dass sich Arbeiten an mechatronischen Systemen durch Vielfalt und Anspruch gegenüber denen in traditionellen technischen Berufen hervorheben. So gehören zu den dominanten Kernleistungen für den Beruf „Mechatroniker/-in“ neben der Montage bzw. Installation mechatronischer Systeme auch der Funktionstest, die Messung bzw. Prüfung bis zur Inbetriebnahme, die Programmierung, das Beurteilen, die Bedienung, die Inspektion, die Instandsetzung, die Modernisierung und die Wiederinbetriebnahme (vgl. Verordnung, § 3 Ausbildungsberufsbild, Punkt 15 f.).

Um für diese Tätigkeiten vorzubereiten, darf beim beruflichen Lernen das „mechatronische System“ nicht allein als von der Technik bestimmt betrachtet werden, denn die dabei zu verrichtende Arbeit ist einzubeziehen. Erst damit können die hohen Ansprüche an die Kompetenz des Facharbeiters erfüllt werden. Hierauf zielen didaktische Überlegungen und Ansätze weitreichender Art. Die zurzeit vorgenommenen Versuche, metalltechnische und elektrotechnische Lerneinheiten aus bisherigen bewährten Konzeptionen zu übernehmen und sie dann ohne Berücksichtigung der Vorgaben des Lernfeldkonzeptes additiv und sequenziell in Ausbildungs- und Unterrichtskonzepte einzuordnen, erweisen sich nicht als tragfähig. Dieses Verfahren kann nur bedingt für singuläre Themen taugen. Es genügt aber insgesamt dem Anspruch nicht, mechatronische Systeme und die damit verbundene Arbeit als dominante Kernleistung für den Beruf „Mechatroniker/-in“ berufsdidaktisch in den Vordergrund zu rücken.

Neben dieser berufsdidaktischen Fokussierung auf mechatronische Systeme erweist sich für den Lernort Berufsschule als didaktisch relevant, Inhalte für einen handlungsorientierten Unterricht aufzubereiten (Rahmenlehrplan 1998). Dazu sind

exemplarische und handlungsrelevante Inhalte der Mechatronik herauszuarbeiten, die geeignet erscheinen, das Spezifische der beruflichen Fähigkeiten und Fertigkeiten darzustellen, welche die Lernenden zum Beherrschen beruflicher Anforderungen befähigen. Innerhalb der Ausbildung empfiehlt sich neben der Arbeit an mechatronischen Systemen zugleich auch die Analyse von Strukturen der Systeme. (vgl. WOFFGRAMM 1978, S. 46 und Rahmenlehrplan, Lernfeld 1).

Ohne sogleich eine umfassende Beschreibung und Einordnung mechatronischer Systeme vorzunehmen, wird nicht nur wegen der enormen Anzahl und großen Vielfalt (RODDECK 1997) solcher Geräte, Maschinen und Anlagen unmittelbar erkennbar, wie bedeutsam die Thematik ist.

Die Vielfalt der mechatronischen Systeme reicht von der mechatronischen Mausefalle inklusive Lichtschranke sowie elektromagnetischer Verriegelung bis zu Industrierobotern. Letztere waren im Jahre 1995 weltweit mit ca. 600 000 Installationen vertreten (vgl. RODDECK 1997, S. 372, 392 f.). Wegen der raschen Entwicklung besonders im informationstechnischen Sektor ist die Zahl weiter kräftig gestiegen.

Allein schon aus dieser Entwicklung begründet sich, dass die Analyse mechatronischer Systeme für die Entwicklung von Ausbildungs- und Unterrichtskonzepten in drei Formen Bedeutung hat, und zwar

- als spezifische Variante einer Sachanalyse im Vorfeld von Didaktik,
- zur berufsdidaktischen Aufbereitung von Inhalten und Themen,
- bei der methodischen Gestaltung von Ausbildung und Unterricht.

Damit ist bereits auch ein Arbeitsprogramm aufgezeigt.

2 Mechatronische Systeme

– Berufswissenschaftliche und berufsdidaktische Aspekte

2.1 Systemtechnik, Systemtheorie und Mechatronik

– Sachanalyse im Vorfeld von Didaktik

Die Sache, um die es hier geht und die analysiert werden muss, bevor didaktische und methodische Entscheidungen getroffen werden sollten, ist das mechatronische System und seine Umgebung. Betrachtet man mechatronische Systeme, um sich für Ausbildung und Unterricht mit dem Gegenstand durch eine Sachanalyse vertraut zu machen, so zeigen sich strukturelle Gemeinsamkeiten.

Für alle mechatronischen Systeme ist die Integration von Mechanik (Maschinenbau), Elektronik (Elektrotechnik) und elektronischer Datenverarbeitung (Informationsverarbeitung) kennzeichnend. Gemeinsam ist solchen Systemen auch, dass Aktorik, Sensorik, Prozesstechnik und Modellierung zusammenwirken (Abb. 1).

Weiterhin gilt für alle mechatronischen Systeme, wie für Systeme ganz allgemein, dass sie Funktionen aufweisen. Elemente stellen die Bestandteile von Systemen dar, und ihre Verknüpfung bildet die Struktur des Systems; die Elemente werden je nach Betrachtungsebene in unterschiedliche Beziehungen gesetzt (vgl. KORNWACHS 1994, S. 428).

Werden mechatronische Systeme bei einer Sachanalyse vor den didaktischen und methodischen Entscheidungen von allen sonstigen Bedingungen – wie bei der enger gefassten Systemtechnik – freigeschnitten, so ergeben sich, wie schon

Abb. 1: Integration ehemals getrennter Disziplinen in der Mechatronik (in Anlehnung an HARDTKE u. a. 1997, S. 230)

HECHT¹ (1980) angemerkt hat, Einseitigkeiten. Dieses kann bereits durch die Analyse aus einer primär fachlichen Perspektive des Technikers geschehen. Ein solches Vorgehen kann sich auch dadurch ergeben, dass man wenig reflektiert Lösungsvorschläge entweder aus der Fachdidaktik „Elektrotechnik“ oder aus „Metalltechnik“ erwartet, die als Bezugswissenschaften ausschließlich die korrespondierenden Ingenieurwissenschaften heranziehen. Solche Begrenzungen und Einschränkungen können mit einer an der Systemtheorie orientierten eher ganzheitlichen Sachanalyse vermieden werden. Mit der Betrachtung von Arbeit und Technik unter dem Bildungsaspekt bleiben Kennzeichen technischer Systeme zwar bestehen, es erfolgt aber eine Einbettung in umfassende Zusammenhänge, wie es in vergleichbarer Weise schon mit der Diskussion um sozio-technische Systeme (ROPOHL 1973, S. 166 f.) gefordert wurde. Dadurch erscheint die Situation auf den ersten Blick eher unübersichtlich. Aber auch und gerade bei mechatronischen Systemen gelten Kategorien, die zu einem besseren Einblick und zu einer Systematisierung führen: Stoff-, Energie- und Informationsumwandlung bilden hierbei die zwar verflochtenen, aber dennoch überschaubaren Strukturen (vgl. z. B. ROPOHL 1973, S. 164-167 oder WAGENER/HAUPT 2000, S. 63-65). Diese Systema-

1 Es muss der Schritt von der Systemtechnik zur Systemtheorie angestrebt werden. Hecht nennt zum Weiterentwickeln der Technik-Didaktik in Abgrenzung zur Systemtechnik den „Ansatz der Systemtheorie, Funktionsgerechtigkeit im Gesamtsystem Gesellschaft durch Komplexitätsreduktion zu erreichen und den Sinn z. B. von technischen Einrichtungen und Leistungen am Grad der Vereinbarkeit von Subsystemen zu bemessen“ (Hecht 1980, S. 10 f.), für bedenkenswert. Der Systemtechnik-Entwurf muss erweitert werden, um zu didaktischer Relevanz zu gelangen. Dazu muss er für die Aussage zur realen Situation von ‚Technik‘ „ein ausschließlich kybernetisches Interpretationsmuster verlassen“ (ebd., S. 16). Eine Strukturierung allein mittels Handlungs- und Zielsystem läßt den Aspekt „soziale Bedingtheit“ (ebd.) für den technisch-organisatorischen Wandel außer Acht.

tisierung hat didaktische Bedeutung. Aus pädagogischer Perspektive ist insgesamt festzustellen, dass für den Technikbereich² in neuerer Zeit *“zunehmend der Systemcharakter hervortritt“* (EULER 1999, S. 101 f., Hervorhebung wie im Original)

Um mit mechatronischen Systemen arbeiten zu können, muss die bisherige Facharbeit erweitert und bereichert werden, weil die an der Mechatronik zu leistende Arbeit bei Fertigungsmontage, Installation, Leistungsprüfung, Inbetriebnahme, Instandhaltung, Modernisierung, Wiederinbetriebnahme oder Liquidation bzw. Recycling spezieller Fähigkeiten bedarf, die auch die Kommunikation zwischen Menschen einerseits und Mensch-Maschine andererseits erfordert. Aus gleichem Grunde bildete sich in jüngerer Vergangenheit nicht nur für die Mechatronik ein neuer Maschinenbegriff heraus, und zwar jener, der statt von der Kinematik nunmehr von der Informatik geprägt zu sein scheint. Das Wirkgefüge der Mechanik und Elektrotechnik wird damit in Richtung Kybernetik verschoben. Technologische Theorien befassen sich stärker mit *“Konzepten der Regelung von Prozessen, der Übertragung von Nachrichten und der Verarbeitung von Informationen“*, mit Systemtheorie als einer der Grundlagen (RAMMERT 1993, S. 135). In solch erweiterter Sicht zeigt sich eine Maschine als Einrichtung, mit der Eingangssignale in Ausgangssignale umgewandelt werden, wobei jede Maschine aus Gerät *und* Nachricht besteht und mit der Umwelt für den Austausch von Informationen sowie den Vollzug von Handlungen verbunden ist (vgl. RAMMERT 1993, S.133).

Kriterien für eine mechatronische Systemanalyse sind unter dem technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkt im Wesentlichen

- Leistungsfähigkeit, wie Arbeitsgeschwindigkeit, Funktionserfüllung und Wirkungsgrad,
- Unfallsicherheit,
- Lebensdauer,
- Betriebskosten,
- Störanfälligkeit,
- Instandhaltungsmöglichkeit auch durch Fernabfrage,
- Modernisierbarkeit,
- Umweltverträglichkeit
- Entsorgungsmöglichkeit sowie
- Wirtschaftlichkeit insgesamt.

Kriterien für eine mechatronische Systemanalyse, die sich eher auf die Tätigkeiten an den Geräten, Maschinen und Anlagen richtet, sind

- Bedienerfreundlichkeit bei Inbetriebnahme und Normalbetrieb,
- Interaktionsfähigkeit an der Schnittstelle Mensch-Maschine,
- Arbeitsbedingungen und -anforderungen bei Inspektion, Wartung, Instandsetzung, Modernisierung, Montage und Demontage, Programmierung, Wiederinbetriebnahme und einer umweltgerechten Liquidation oder dem Recycling,

² Erwähnt werden muss, dass Euler die Einstellung Ropohls zur Natur „einer Dialektik von Bildung und Technik im Unterschied zu einer mechanischen Natur-Technik-Auffassung“ (Euler 1999, S. 112) geschuldet sieht. Mit „Technik als Gegennatur“ als „Technologische Aufklärung“ sei für Ropohl die Technik umfassend zu revolutionieren (vgl. ebd., S. 112) . Ropohls „Systemperspektive“ führt möglicherweise zum Extrem einer „technischen Überbietung herrschender Technik“ (ebd., S. 113). Damit ergibt sich als Gefahr, dass die Position des Menschen im technischen Gefüge als denatural angesehen wird (ebd., S. 118 f.).

- Unfallgefährdungen,
- Qualität, Sicherung und Sinn der Arbeit.

Dabei sind jedoch nicht nur die Beziehungen zwischen den technischen Systemelementen und der an mechatronischen Systemen zu verrichtenden Arbeit für eine berufswissenschaftliche und berufsdidaktische Systemanalyse von Interesse. Bei der Analyse mechatronischer Systeme ist mehrperspektivisch anzusetzen. Mit anderen Worten heißt das, es können und sollten neben den elektrotechnischen, mechanischen und informationstechnischen unter anderem auch arbeitsplanerische, arbeitsorganisatorische, wirtschaftliche, medizinische und ökologische Aspekte aufgegriffen werden. Selbst Sinnfragen zur mechatronischen Technik und der daran zu leistenden Arbeit können angesprochen werden. Denn wenn die Arbeit an mechatronischen Anlagen durch Fernanalysen – wie sich schon heute andeutet – komplizierter, zeitintensiver und beschleunigter wird, ist zu fragen, wer das noch zu leisten vermag. Nachdenklichkeit kann auftreten, wenn über den Sinn von Beschleunigung oder Verlangsamung bei Arbeit und Technikentwicklung reflektiert wird.

Das Analysieren wirkt auch dahingehend aufschlussreich, dass informationstechnische Eigenschaften aus den Verflechtungen von technischer sowie sozialer Entwicklung als nicht sachgesetzlich determiniert, sondern nur erklärbar erscheinen (WEINGART 1989, S. 176 f.). Während der klassische Arbeitsbegriff eng an eine mit der Industrie entstandene instrumentalistische Sicht auf Technik gebunden war und Elemente wie Körperkraft und geschicktes Werke(l)n betonte, deutet sich eine Tendenz zu einem interaktionistischen Arbeitsbegriff an. Das liegt auch daran, dass die herkömmliche, produktionsbezogene Facharbeit nicht mehr das durchgängige Paradigma im gewerblich-technischen Sektor ist. Durch eine eher systemtheoretisch angelegte Verknüpfung der bisher getrennten elektrotechnischen und metalltechnischen Bereiche sowie das Hinzukommen der Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnik ergibt sich ein berufsfeldübergreifender Aufgabenzuschnitt für mechatronische Facharbeit. Berufswissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass heutige Facharbeit an mechatronischen Systemen nicht vorrangig durch manuelle Fertigkeiten, sondern zunehmend durch kognitive Fähigkeiten bestimmt ist. Hinzu kommt, dass bei der Arbeit an und mit mechatronischen Systemen Wahrnehmungen, Emotionen und Interaktionen einbezogen werden können (vgl. RAMMERT 1993, S.137, 139 f.), wenn nicht sogar müssen.

Für die Facharbeit geht es bei den Analysen um „pragmatisch-technisches“ und „funktionell-technisches“, kaum aber um ein „wissenschaftlich-technisches Verständnis“ (Jacobs1974, S.61 f.) zur Aufhellung ingenieur- und naturwissenschaftlicher Wirkzusammenhänge.

Zur Vorbereitung von Lernkonzepten für mechatronische Systeme ist aber für die Lehrkraft ein wissenschaftliches Verständnis unumgänglich, um die Thematik vertieft und umfassend bearbeiten zu können. Sachanalytische Arbeiten im Vorfeld von didaktischen Entscheidungen erfordern bei dieser komplexen Materie einen erheblichen, realistischerweise kaum ständig zu leistenden Einsatz der Lehrkraft. Unumgänglich ist eine Einarbeitung in elektrotechnische, maschinenbauliche und informationstechnische Zusammenhänge bei zumindestens einem Gerät bzw. einer Maschine oder Anlage sowie das Erfassen der Eingriffsmöglichkeiten und Arbeitshandlungen an dem mechatronischen System. Um der

Komplexität der Thematik gerecht zu werden und die mehrdimensionalen Bezüge überhaupt zu erfassen und aufgreifen zu können, erscheint es sinnvoll, eine Sachanalyse durch mehrere Lehrkräfte vorzunehmen.

2.2 Analyse mechatronischer Systeme als berufsdidaktischer Fokus

Systemanalysen in der Mechatronik erfordern besondere Arbeits- und Denkweisen, die zwar darauf ausgerichtet sind, konkrete Arbeiten an dem Gerät, der Maschine oder Anlage vornehmen zu können, in dem jedoch der engere Analysevorgang eher abstrakt-handlungsorientiert angelegt ist.

Insofern ergibt sich damit auch der berufswissenschaftliche und berufsdidaktische Fokus. Mit dem Systemdenken kann auch für mechatronische Systeme und die daran zu leistende Facharbeit eine Problemlösung angestrebt werden. Da nicht nur die Technik des mechatronischen Systems, sondern auch die dabei zu verrichtende Facharbeit, beispielsweise an der Schnittstelle Maschine-Mensch zu betrachten sind, müssen auch didaktisch bedeutsame Fragen zu komplexen Problemen sowie Systemverflechtungen und „Multidisziplinarität“ (LENK 1982, S. 125) aufgearbeitet werden. Angewandte Systemanalysen können bei komplexen Systemen wegen Ermangelung analytischer Methoden z. B. durch Systemsimulation durchgeführt werden – häufig mittels interaktiver Verfahren³ (vgl. ebd., S. 124 f.).

Berufswissenschaftlich, aber auch berufsdidaktisch von Bedeutung ist es, dass „modellistische Abstraktion“ und „operative Systematisierung“ methodologisch gewährleisten sollen – soweit nicht unter Berücksichtigung der Lernvoraussetzungen reduziert werden muss –, zu möglichst unverkürzter Erkenntnis, und darüber hinaus vielleicht sogar zu exemplarischen Aussagen über Technik (LANGENEGGER 1990, S. 69) und damit auch mechatronische Technik zu gelangen.

Bevor die Mechatronik und insbesondere die berufsdidaktischen Implikationen vertieft in den Blick genommen werden, sind bei der Systemanalyse außer den Systemelementen auch deren Beziehungen zu untersuchen (vgl. FUCHS-WEGNER 1972, S. 82 f.). Dieses ist auch bei konventionellen systemtechnischen Betrachtungen üblich. Meist nicht berücksichtigt wird jedoch, dass dabei das Gesamtsystem und die mit Teil- oder Gesamtsystem verbundene Facharbeit nicht verloren

3 Unter dem Blickwinkel interaktiver Theorien kann allerdings durch die Systemanalyse den Kriterien einer exakten empirischen Wissenschaft häufig nicht entsprochen werden (vgl. Lenk 1982, S. 117). Denn die von der klassischen Wissenschaftstheorie geforderte Unabhängigkeit zwischen Theorieentwurf, -anwendung und -überprüfung ist nicht gegeben (vgl. ebd., S. 123). Außer normativen Zielvorgaben sind auch wertende Komponenten enthalten. Hingegen liegt in der Flexibilität und der dadurch geschaffenen Vielfalt von Anwendungsmöglichkeiten bei heuristischer Ausrichtung eine praktisch-inhaltliche Stärke.

Für den konstruierenden Theoretiker und den rekonstruierenden Methodologen sieht Lenk die Notwendigkeit zu einem wechselseitigen Korrektur- und Klärungsprozess gegeben, mit dem eine Rechtfertigung der Methode gelingen kann. Mit einer der Wissenschaftstheorie gegenübergestellten Systemanalyse eröffnen sich Perspektiven zu weiteren Entwicklungen; natur- und sozialwissenschaftliche Methoden können einander gegebenenfalls vorteilhaft beeinflussen (vgl. ebd., S. 126, 134). Allerdings sei wegen des „ungesicherten Images der Systemanalyse zwischen Natur-, Sozial- und Technikwissenschaften“ eine differenzierte Methodenkritik in mehrerlei Hinsicht zu vertreten (ebd., S. 133 f.).

gehen darf. In die Betrachtung ist zudem die Dynamik von System und Umwelt einzubeziehen. Die Akzentuierung des Analyseverfahrens wird im Wesentlichen von der Art des mechatronischen Systems und der daran zu leistenden Arbeit bestimmt. Eine didaktisch-methodische Aufteilung in Schritte bzw. Verlaufphasen lässt sich dann fachlich, aber auch lernpsychologisch, fundieren.

Allerdings gibt es zur Anwendbarkeit der Systemanalyse auch für didaktische Fragen beruflichen Lernens durchaus unterschiedliche Meinungen: insbesondere, wenn es um Auswirkungen der Systemtheorie auf den Berufsschullehrplan geht. Wird eine Systemanalyse zu allgemein angesetzt, so ist sie für Ausbildungszwecke kaum zu favorisieren (vgl. ECKERT 2000, S. 133 ff.). Setzt man aber mit einer auf ein konkretes mechatronisches System bezogenen oder mit einer didaktisch reduzierten Analyse an, so zeigen sich auch gute Möglichkeiten für berufliches Lernen.

Vom mechatronischen Gesamtsystem, häufig als „Black Box“ aufgefasst, offenbart sich die innere Struktur kaum. Systemanalyse für mechatronische Arbeit und Technik einzusetzen, ist berufsdidaktisch sinnvoll, da unter ganzheitlicher systemischer Herangehensweise Zusammenhänge und Eigenschaften verallgemeinert dargestellt werden können (vgl. RODDECK 1997, S. 8) und damit eine sonst allein auf Tätigkeiten und Gegenstände entweder nur der Mechanik oder einzig der Elektrik gerichtete Sichtweise aufgebrochen wird. Anders als beim „Black-Box“-Ansatz ist es bei demjenigen über Modelle.

Unter den berufsdidaktischen Gesichtspunkt, aber auch unter dem methodischen und medialen Gesichtspunkt sind für das Lernen Modelle bereitzuhalten. Dabei können geringfügige Abweichungen des technischen Systemmodells, aber auch des didaktisch aufbereiteten Modells von der gerätetechnischen Realisierung eines Systems häufig vernachlässigt werden. Allerdings kann es auch um Vereinfachungen mit dem Ziel einer besseren Überschaubarkeit und leichten Handhabung gehen. Unbestritten ist, dass Vereinfachungen am Modell nicht immer sinnvoll sind, beispielsweise lassen sich physikalisch erklärbare Energieverluste modellhaft nur schwer erfassen. Exakte Beschreibungen sind eher bei einer Synthese gefordert, bei der es gegebenenfalls um neue Entwürfe technischer Einrichtungen geht. Die Analyse hingegen dient dem prinzipiellen Erkennen beispielsweise einer Regelung oder einer Logik und den Eingriffsmöglichkeiten der damit Arbeitenden. Sie ist insofern eher abstrakt-handlungsorientiert angelegt. Anders ist es, wenn eine Analyse über die Demontage eines Systems erfolgt.

Für die Ausbildung zum Beruf „Mechatroniker/-in“ können Varianten der Systemanalyse didaktisch relevant werden, die auch eine experimentelle Ausrichtung haben. Hierbei können Identifikationsverfahren eingesetzt werden, um Modelle aufzubauen. Hauptsächlich handelt es sich um Messungen der Eingangs- und Ausgangsgrößen an der realen Technik, die das E/A-Verhalten des (beliebigen) Systems wiedergeben (vgl. Rahmenlehrplan, Lernfeld 9). Ergebnisse können, dem Typ angepasst, in verschiedenen übersichtlichen Darstellungsformen ausgewiesen werden.

Ein interessanter berufsdidaktischer Beitrag wird von VAHLING (2000, S. 345 ff.) mit der „Herstellung funktionaler Transparenz durch systemtheoretische Analyse“ aufgezeigt. Ausgehend von bestimmten Sachverhalts- und Handlungsdimensionen (vgl. ebd., S. 341 ff.) ergibt sich die Notwendigkeit, in einem technischen System hoher Komplexität beim Auftreten von Störungen auf so genannte Such-

räume zurückzugreifen. Das ist nichts anderes als eine bewusst getroffene Teilung des Gesamtsystems in Subsysteme. Damit werden auch Fragen der didaktischen Vereinfachung des Systems und der dabei nötigen Arbeit sowie Kommunikation angeschnitten. Die im System gezogenen Grenzen für einen Suchraum legen gleichzeitig In- und Outputs des Subsystems fest, an denen mittels verschiedener Prüfhandlungen Kenngrößen passiv ermittelt und gegebenenfalls aktiv beeinflusst werden können. Beispielsweise können in einer Arbeitsgruppe gewonnene Informationen über den Zustand eines Gerätes, einer Maschine oder Anlage bzw. über deren Verhalten aufgrund definierter aktiver Prüfhandlungen einerseits die Funktion des untersuchten (Teil-) Systems „erhellen“, andererseits die technische Realisierung oder ein defektes Teil erkennbar und den Fall kommunizierbar werden lassen. Die systemische Suchmethodik stützt sich auf übersichtlich angelegte, normierte sowie vollständige technische Dokumentationen und wird mittels Schemata praktisch umgesetzt. Nicht nur fachlich, sondern auch berufsdidaktisch bedeutsam ist eine „Subsystem-Elementarfunktionsstruktur“ (ebd., S. 345, 348), die eigens im Zuge der Schemabearbeitung erstellt wird und zur Transparenz der Arbeitsvorgänge beitragen kann.

Da die Systemanalyse für den Beruf „Mechatroniker/-in“ eine grundlegende Fähigkeit darstellt, ohne die die geforderten Tätigkeiten an Geräten, Maschinen und Anlagen nicht fachgerecht geleistet werden können, lässt sich feststellen, dass die mechatronische Systemanalyse bei Berücksichtigung von Arbeit und Technik – aus berufsdidaktischer Perspektive betrachtet – ein wichtiges Ziel und ein bedeutsamer fachlicher Inhalt ist. Durch die bei allen Überlegungen möglichst aufrecht zu erhaltende Verknüpfung der verschiedenen Bereiche aus Elektrotechnik, Maschinenbau und Informationstechnik und durch die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine ergibt sich für berufsdidaktische Ansätze, dass diese sowohl ganzheitlich als auch handlungsorientiert angelegt sein müssen. Die wertende Funktion des Menschen bei der Arbeit am System kann durch eine mechatronische Systemanalyse sicher nicht didaktisch umfassend be- oder vorgeschrieben werden, insbesondere wenn es um Sinnfragen geht.

Es erscheint zunächst als Widerspruch: Bei einem ganzheitlichen Ansatz mit vielfältigen Vernetzungen ergibt sich zugleich eine neue sachlogische Systematik. Ist das mechatronische System zu komplex für die Lernenden, so erscheint eine didaktische Reduktion durch Ausschnittsbildung über die Betrachtung von Subsystemen angebracht. Danach muss aber der Bezug zum gesamten Technik- und Arbeitszusammenhang an dem Gerät, der Maschine oder der Anlage wieder hergestellt werden. Eine didaktisch begründete Inhaltsstrukturierung ergibt sich durch die Darstellung von Wirkprinzipien oder in Anlehnung an fachgerechtes Vorgehen. Die Abfolge der Arbeits- und Lernschritte bei einer mechatronischen Systemanalyse hat neben berufsdidaktischer außerdem auch fachmethodische Bedeutung.

3 Systemanalyse als Methode beruflichen Lernens

3.1 Einordnung und Anspruch des methodischen Konzeptes

Mit herkömmlichen Methoden beruflichen Lernens, wie beispielsweise der Funktionsanalyse (PAHL/VERMEHR 1988), können Aufbau und Wirkungsweise mechani-

scher Bauteile, einfacherer Geräte und Apparate vermittelt werden. Dadurch werden Zusammenhänge erfasst, die für das technische Funktionsverständnis nötig sind. Ein Verfahren, das die Analyse des *Systems* technischer Gebilde anstrebt, geht allerdings einen bedeutsamen Schritt weiter, d. h., es verlässt die Ebene einer funktionsorientierten Didaktik (vgl. HELLING 1976) und kann als Ansatz zu einer systemorientierten Didaktik (BADER 2000, S. 13 ff.) gewertet werden. Dieser Angang ist nun besonders wichtig und erforderlich, da sich komplexere, technologisch anspruchsvolle und wenig überschaubare, oftmals vernetzte mechatronische Maschinen und Anlagen einem leicht und mühelos zu erlangenden Verständnis entziehen. Nicht nur für berufsdidaktische Entscheidungen im engeren Sinne, sondern gerade auch für methodische Ansätze hat dieses Faktum Konsequenzen. Um mechatronische Systeme zu verstehen, bedarf es besonderer methodischer Überlegungen. Für eine wissenschaftsorientierte „*systemorientierte Methode*“ gilt als Merkmal, dass „ein Gegenstand unter dem Gesichtspunkt seiner inneren Organisation und seiner Verbundenheit mit anderen Gegenständen der Umwelt betrachtet wird“ (HÄNDLE/JENSEN 1974, S. 17). Auch beim beruflichen Lernen müssen u. a. die Verbindungen der Arbeit und Technik zur Umwelt thematisiert werden, wobei man bei Umwelt beispielsweise – aber nicht nur – an ökologische und wirtschaftliche Fragen denken kann.

Eine Lösung besteht darin, dass man die in der beruflichen Tätigkeit von Ingenieuren, aber auch Facharbeitern angewandte Verfahren der Systemanalyse aufgreift und in den Bereich der Ausbildungs- und Unterrichtsmethodik überträgt. Mit einer Kombination des Verfahrens der Systemanalyse aus der Berufs- und Arbeitswelt mit lernpsychologisch sinnvollen Artikulationsphasen kann man wesentliche Schritte der methodischen Ablaufstruktur erhalten, und ein spezifisches Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren ist möglich. Die methodische Strukturierung kann mit der Aufgaben- und Problemstellung sowie der Zielstellung der Systemanalyse beginnen. Daran anschließen kann sich eine intuitive Planung der Systemanalyse. Die Durchführungsphase umfasst die Planung der Systemanalyse, die Analyse der Zielsetzung, der Elemente, der Beziehungen und des Systemverhaltens mit und ohne Eingriffe durch die Facharbeit. Die abschließende Phase dient der Reflexion, Anwendung und Transfermöglichkeiten der Systemanalyse.

Für eine Analyse mechatronischer Systeme gilt es vor allem, den Aufbau, die Strukturierung und die (Teil-)Funktionen zu erkennen sowie die Folgen der Eingriffe der Bediener oder Instandhalter zu erfassen, was beispielsweise für eine Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Leistungsprüfung unerlässlich ist (vgl. Rahmenlehrplan, Lernfeld 1). Systemanalyse, didaktisch und methodisch optimiert, kann in Ausbildungssituationen als theoretisches Verfahren eine praktische „Spurensuche“ beispielsweise bei der Instandhaltung ermöglichen. Das Auswerten – z. B. von Signalen eines Systems, die als Eingangs- und Ausgangsinformationen verfügbar sind – fordert erhebliche kognitive Leistungen der Lernenden bei Ausbildung und Unterricht sowie bei der Facharbeit (vgl. Rahmenlehrplan, Lernfeld 9). Wenn es unter anderem auch mit Hilfe der methodisierten Form der Systemanalyse gelingt, die Einflussfaktoren auf das System samt zugehöriger Wirkungen festzustellen, wird den Lernenden neben der Struktur auch die Dynamik als ein Ziel der Analyse vertraut (vgl. ARNOLD 1995, S. 360).

Mit einer systemorientierten, eher systemtheoretischen Methode werden im Lernprozess Handlungsstrategien geschult. Sie beschränken sich nicht nur auf

den gegenständlichen Bereich, sondern zielen auch auf den Arbeitsprozess und darüber hinaus auf allgemein bildende Wirkungen des Verfahrens der Systemanalyse. Diese lassen sich für ausbildungs- und unterrichtsmethodische Überlegungen nutzen. Das gewählte System kann mehrperspektivisch untersucht werden. Dabei lässt es sich beispielsweise in seiner technikgeschichtlichen Entwicklung betrachten, aber auch zu ökonomischen, ökologischen, arbeitsplanerischen oder sogar arbeitsorganisatorischen Gesichtspunkten können Aussagen entwickelt werden.

Innerhalb dieses Ansatzes kann auch eine Untersuchung der Wirkfaktoren, Wirkbedingungen und Wirkprinzipien⁴ (WOLFFGRAMM 1978, S. 42) vorgenommen werden, besonders dann, wenn die Analyse im engeren Sinne methodisch und praxisnah an modellähnlichen gedanklichen Konstrukten oder Versuchsaufbauten durchgeführt werden kann (vgl. SALNER/SCHENK 1996, S. 266).

Systemanalyse als ein Verfahren, das in der Berufswirklichkeit angewendet wird – soll zu einer Methode beruflichen Lernens umgewandelt – dem Ziel dienen, neben fachlich ausgerichteten Inhalten und dem Wissen über das technische System auch Methoden- und Prozesswissen zu vermitteln. Mit solchen verfahrenstechnischen und arbeitsprozessrelevanten Fähigkeiten ausgestattet, dürfte es den Lernenden leichter fallen, später Probleme systematisch mit Hilfe der erworbenen Methoden anzugehen und mit vertretbarem Zeitaufwand zu lösen. Insofern gilt das Verfahren bzw. die Methode als eine Antwort auf den Bedarf und die Forderung nach extrafunktionalen Qualifikationen in der Mechatronik und beim Lernen. Den Transfer von Verfahren und Methoden zu leisten, wird für den Beruf „Mechatroniker/-in“ wegen des hybriden Anforderungsspektrums geradezu verlangt.

3.2 Kennzeichnung des Ausbildungs- und Unterrichtsverfahrens „Systemanalyse“

Das sich aus den Defiziten bestehender Konzepte bei der Ausbildung zum Beruf „Mechatroniker/-in“ herauskristallisierende systemorientierte Verfahren schließt im Vergleich mit herkömmlichen didaktischen und methodischen Möglichkeiten eine Lücke, weil es die didaktische Trennung z. B. in Metalltechnik einerseits und Elektrotechnik andererseits vermeidet und ganzheitlichem bzw. systemischem Lernen dient. Genutzt und gefördert werden dabei eine auf die Komplexität von Geräten, Maschinen und Anlagen ausgerichtete Lösungsbereitschaft bzw. -fähigkeit und vernetztes sowie systemorientiertes Denken und Handeln. Schließlich trägt es auch zu einer weiteren Verzahnung von systematischem und kasuistischem Lernen bei. Das Lernen an mechatronischen Systemen soll durch intrinsische Motivation mit praxisbezogenen Aufgaben- und Problemstellungen geschehen. Wenn man sich also mit dem Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren auf

4 In einem Wirkprinzip wird eine Gesetzmäßigkeit gesehen, die qualitativ für Typisches gilt. Die aus der Vielfalt mechatronischer Systeme erwachsenden Anforderungen an ein Wissen über Technik und die dabei geforderte Arbeit bedingen solche Betrachtungsweisen, damit sich die Lernenden nicht in diffizilen Details verfangen, sondern Übertragbares erkennen können, um dieses auf ähnlich gestaltete Gegebenheiten, also Systeme, anzuwenden. Damit werden zugleich didaktische Kriterien wie Ganzheitlichkeit und Exemplarität für einen makromethodischen Vermittlungsansatz angesprochen.

einen interessanten und problemhaltigen Fall aus der Mechatronik richtet, kann dadurch sowohl das Inhalts- als auch das Methodenlernen mit hoher Eigentätigkeit der Lernenden handlungsorientiert erfolgen. An Stelle des traditionellen Rezipierens von Wissen kann dabei die Modifikation der kognitiven Schemata erfolgen, und zwar über kognitive Konflikte (vgl. JOERGER 1975, S. 79). Wird beispielsweise ein Detail eines mechatronischen Systems – wie die Regelung – bewusst ungünstig dimensioniert, gelangen die Lernenden zunächst in Widerspruch zu Erfahrem. Beim Verändern bestimmter Werte innerhalb der Regeleinrichtung erleben sie – aus bisheriger Erfahrung heraus und unter Verwendung neuer Wissensbestandteile – den Erfolg an der Modell- bzw. Versuchsanordnung des Systems direkt.

Das Verfahren ist so angelegt, dass der von den Lernenden weitgehend selbstständig durchlebte Problemlösungsprozess beim Arbeiten an mechatronischen Systemen unterstützt werden kann, steht doch am Anfang der Untersuchung des Systems ein Problem, bei dem schon systemisch gedacht und systematisch gearbeitet werden kann, um innere Gesetzmäßigkeiten sowie Zusammenhänge zu ergründen (vgl. JOERGER 1975, S. 86). Auch kann über das Verfahren eine positive Wirkung auf das produktive Denken ausgelöst werden. Es lässt sich neben der „Lösung an sich“ zusätzlich die Bewältigung von Problemen fördern. Das kann zu kritischem Denken (vgl. DUBS 1992, S. 139) sowie zum Aufwerfen von produktiven Fragen der Lernenden (vgl. JOERGER 1975, S. 106 f.) führen.

Das Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren „Systemanalyse“ lässt sich hinsichtlich Besonderheit, Wirkung, Einsatzmöglichkeiten und weiterer Beurteilungskriterien einschätzen (Abb. 2).

Beurteilungskriterien	Systemanalyse
Kennzeichnung und Kurzbeschreibung	Mit dem Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren wird ein technisches System und die damit verbundene Arbeit analysiert und systemisches Lernen initiiert. Auch die Tätigkeiten erfolgen zumeist handlungs- und systemorientiert. Aus der Konfrontation mit einem Problem erwächst die Motivation der Lernenden, Wissens- und Problemlücken zu überbrücken, aber auch auf vorhandenes Wissen zurückzugreifen, um zunächst Widersprüchliches aufzulösen, wobei neue Erkenntnisse gewonnen werden können. Im Vordergrund steht das Ermitteln von Gesetzmäßigkeiten sowie Zusammenhängen, die sich durch die Gesamt- bzw. Teilfunktionen des Systems bzw. der Systemelemente beschreiben lassen.
Erreichbare Lernziele	Die Lernenden sollen <ul style="list-style-type: none"> – ein mechatronisches System und damit verbundene Arbeit analysieren, – Elemente und Beziehungen in mechatronischen Systemen identifizieren, – Einflussfaktoren auf technische Systeme mit ihren Wirkungen zusammenstellen und damit die vorhandene Dynamik erfassen,

	<ul style="list-style-type: none"> – mit betrieblichen und technischen Informationen computergestützt umgehen können, – zwischen dem mechatronischen System, der daran zu verrichtenden Arbeit und seiner Umgebung differenzieren, – neben dem Ordnen von Wissen auch Bezüge zu umfassenderen Systemen (evtl. eine Vernetzung) bzw. zur Umwelt erkennen, – Schemata von technischen Systemen zur Beschreibung technologischer Grundvorgänge verstehen, – Wirkprinzipien beim Vorgang des Analysierens des Systems erkennen und anwenden.
Didaktische Bedeutung	Mit Hilfe der Systemanalyse kann über das Erkennen von Wirkprinzipien auf die Funktionsweise technischer Einrichtungen geschlossen werden. Ganzheitliches, systemisches Denken ist damit schulbar, woraus funktionell-technisches und arbeitsorganisatorisches Verständnis erwachsen kann. Berufsdidaktische Relevanz bekommt hiermit auch das Abstrahieren und Hypothesisieren.
Stellung zu anderen Verfahren und Einordnungsmöglichkeiten für andere Verfahren und Methoden	Das Verfahren ähnelt in Details der Funktionsanalyse, deshalb kann in die mechatronische Systemanalyse die Funktionsanalyse eingegliedert werden. Eingebaut werden kann beispielsweise auch ein Technisches Experiment. Anschlüsse können beispielsweise auch zu einer Bedienungsaufgabe oder einer Instandhaltungsaufgabe geknüpft werden.
Artikulationsschema	<ol style="list-style-type: none"> 1 Aufgaben- und Problemstellung sowie Zielsetzung der Systemanalyse 2 Durchführung der Systemanalyse mit Planung der Systemanalyse, Analyse der Zielsetzung, der Elemente, der Beziehungen, des Systemverhaltens und der Facharbeit am System 3 Abschluss der Systemanalyse mit Reflexion, Anwendung und Transfer
Erfüllung lernpsychologischer Anforderungen	Da mechatronische Systeme immer stärker das Berufshandeln bestimmen, sind sie schon von daher motivierend. Fähigkeiten zu kritischem Denken sind erforderlich. Problembewusstsein und die Bereitschaft zu methodisch fundiertem Handeln kann mit dem Verfahren angesprochen werden.
Anforderungen an die Lernenden	Vorausgesetzt oder gefordert werden analytische Fähigkeiten ebenso wie das Vermögen der Lernenden zu kritischem Denken, zur Hypothesenbildung, zur Abstraktion und Logik. Erwartet wird die Fähigkeit zum ganzheitlichen Betrachten von technischen Systemen.
Anforderungen an den Lehrenden	Die Lehrkraft muss vertieftes Wissen über mechatronische Systeme aufweisen und abschätzen können, welches System für die Lernenden geeignet zu sein scheint. Dazu muss das Maß der Komplexität, die Gliederbarkeit in Elemente oder beispielsweise die Reichweite des Wirkprinzips beurteilt werden können.

<p>Art und Höhe des organisatorischen Aufwandes</p>	<p>Der organisatorische Aufwand ist von dem zu analysierenden System sowie von den gerätetechnischen und medialen Möglichkeiten abhängig. Im Regelfall ist nach dem ersten Unterrichtsdurchgang der lernorganisatorische Aufwand nicht mehr ganz so groß, da die Lehrkraft auf einmal erstellte Medien zurückgreifen kann.</p>
---	--

Abb. 2: Übersicht zum Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren "Systemanalyse"

3.3 Verlaufsphasen des Ausbildungs- und Unterrichtsverfahrens

Als Grobstruktur für eine Systemanalyse können drei Phasen unterschieden werden:

- Einstieg – Die Eröffnungsphase dient der Motivation der Lernenden und der Einführung in die Thematik. Es sollen die Bereitschaft und Fähigkeit entwickelt werden, ein technisches System zu analysieren.
- Hauptteil – Die Systemanalyse im engeren Sinne gliedert sich in Arbeitsschritte, die den Analyseprinzipien entsprechen. Die Feinheit der Unterteilung ergibt sich aus lernpsychologischen Gesichtspunkten, zum Teil aber auch aus dem System.
- Schlussteil – In der Schlussphase erfolgen Reflexion, Anwendung sowie Transfer der Analysevorgänge und Analyseergebnisse.

Bereits in den frühen technikdidaktischen Konzepten zur Systemtechnik finden sich Empfehlungen und Beispiele zu Systemanalysen (FUCHS-WEGNER 1972, ROPOHL 1975, SCHILLING 1981, VOGEL 1979), die in ihrer Übersichtlichkeit, Detailliertheit und in ihrer Exemplarik überzeugen. Sie sind aber noch nicht auf die Mechatronik und die damit verbundene Facharbeit bezogen.

Ein Ansatz dazu soll mit dem Handlungsablauf zu einer Systemanalyse vorgelegt werden, der aber nur grobstrukturell angelegt ist, sodass er auf unterschiedlich komplexe mechatronische Geräte, Maschinen und Anlagen und die dabei zu verrichtende Arbeit angewandt werden kann (Abb. 3). Die methodische Feinstrukturierung kann und soll damit nicht vorgegeben werden. Im Sinne eines eher offenen Ausbildungs- und Unterrichtskonzeptes muss – wenn nötig – unbedingt situativ entschieden werden, welche mikromethodischen Eingriffe erforderlich sind.

Handlungsablauf	Didaktischer Kommentar
1 Aufgaben- und Problemstellung der Systemanalyse	
<p>Es wird eine problemhaltige Situation über ein mechatronisches System und die daran zu leistende Arbeit vorgetragen. Mittels Brainstorming werden bewertungsfrei intuitive Lösungsvorschläge der Lernenden für eine Systemanalyse eingebracht.</p>	<p>Mit der Aufgabenstellung muss die Zielsetzung und der zu erwartende Einfluss aus der willkürlich abgegrenzten Umwelt auf das System beachtet werden. Eine erste Annäherung an eine sachgerechte Lösung kann erfolgen.</p>

<p>2 Durchführung der Systemanalyse Die Durchführung umfasst eine arbeitsorganisatorische Phase und mehrere Teilanalysen sowie eine Gesamtlösung</p>	
<p>2.1 Planung der Systemanalyse Von der intuitiven Phase wird zu Grobplanung der Systemanalyse übergeleitet. Die Lernenden erarbeiten Planungsvorschläge für Planungsschritte. Ihnen wird erklärt, dass von dieser Planung später eventuell abgewichen werden kann. Bei den Planungsüberlegungen klären die Lernenden die Zielsetzung und analysieren die Funktion des Gesamtsystems bei diversen Inputs. Vom System erwartete Einwirkungen und Umwelteinflüsse, die interne Prozesse stören, werden betrachtet.</p>	<p>Wenn ein System zur Verfügung steht, können sich die Lernenden z. B. über die Eingriffsmöglichkeiten direkt informieren. Je nach Kenntnisstand kann die Planung aufgeweitet oder eingeschränkt werden. Bei Verständnisschwierigkeiten kann – wenn vorhanden – eine Zeichnung, ein Originalsystem oder ein Modell eingesetzt werden. Es können Präzisierungen der Zielsetzung und erste Hypothesen über das Wirkungsgefüge aufgestellt werden, d. h., eine Lösungsvariante kann entworfen werden.</p>
<p>2.2 Durchführung im engeren Sinne Analyse der Elemente: Relevante Systemelemente oder Subsysteme werden auf ihre Eigenschaften hin untersucht.</p>	<p>Elemente können direkt beobachtet oder Schlüsse hinsichtlich der Eigenschaften gezogen werden. Eigene Hypothesen werden bestätigt oder angepasst. Jeder Durchlauf kann bei Bedarf wiederholt werden und verbessert das (Teil-)Ergebnis.</p>
<p>Analyse der Beziehungen: Die Arbeitsweise des Systems und die Eingriffsmöglichkeiten bei der Facharbeit sowie Einzelbeziehungen beteiligter Elemente werden herausgearbeitet. Interne, externe Beziehungen, die Reihenfolge von Elementanalysen werden verdeutlicht.</p>	<p>Für das Ermitteln von Relationen und einen ganzheitlichen Überblick kann bei sehr interessierten Lerngruppen auch das Raum-/Zeitverhalten betrachtet werden.</p>
<p>Analyse des Systemverhaltens: Das Verhalten des Systems beim Einwirken von Umwelteinflüssen und die Eingriffe bei der Facharbeit werden herausgearbeitet. Struktur- bzw. Beziehungsannahmen werden überprüft und korrigiert. Die Lernenden komplettieren, interpretieren, erläutern Ergebnisse. Eventuelle Schwierigkeiten werden gemeinsam rekonstruiert.</p>	<p>Methodisch bedarf der Schritt einiger Sorgfalt, weil Lernende mit geeigneten Analyseverfahren kaum vertraut sind. Schwierig ist es, die Dynamik des Systems zu erfassen. Im Durchlauf kann manches nur gedanklich vollzogen werden; dynamische Simulationsmodelle bieten sich an. Subsysteme einzuführen, vergrößert die Übersichtlichkeit bei einer ansonsten zu hohen Komplexität.</p>
<p>Analyse der Facharbeit und Technik Es wird mit Blick auf die Facharbeit an dem technischen Gegenstand zusammenfassend erarbeitet, welche Folgen sich bei Eingriffen z. B. während der Inbetriebnahme, Bedienung, Inspektion, Wartung, Instandsetzung oder des Recyclings ergeben. Auswirkungen der Arbeiten am System werden zusammengetragen und diskutiert.</p>	<p>Falls das mechatronische System oder ein Modell in der Ausbildungsstätte vorhanden oder zugänglich ist, können die Lernenden überprüfen, ob die von ihnen vermuteten Reaktionen auf Eingriffe in das System auftreten oder nicht.</p>

<p>2.3 Ergebnis der Gesamtanalyse Die Ergebnisse der einzelnen Analysen werden zur Gesamtlösung des Ausgangsproblems zusammengetragen. Das Gesamtergebnis wird dokumentiert.</p>	<p>Die Ergebnisse der Gesamtanalyse können an dem mechatronischen System oder einem geeigneten Modell überprüft werden. Es kann ein Bericht in deutscher oder englischer Sprache verfasst werden.</p>
<p>3 Abschluss der Systemanalyse mit Reflexion, Anwendung und Transfer</p>	
<p>Die Lernenden stellen ihre Beobachtungen zum Verfahren der Systemanalyse im mechatronischen Bereich dar. Die Nutzung der Ergebnisse für spätere Fälle wird diskutiert, zusätzlich aufgetretene Fragen werden geklärt. Abschließend werden insbesondere Probleme der Mensch-Maschine-Schnittstelle thematisiert.</p>	<p>Die Lernenden begreifen den Nutzen systemischer Herangehensweisen durch Probieren bzw. theoretische Vorstellungen. Beim Transfer zeigt sich, ob gelöste Probleme verstanden wurden.</p>

Abb. 3: Strukturschema des Ausbildungs- und Unterrichtsverfahrens „Systemanalyse“

Das vorgelegte Strukturschema kann in seinen wesentlichen Artikulationsschritten für die verschiedensten mechatronischen Systeme zu deren Analyse und der damit verbundenen Arbeit angewandt werden. Das Anwenden des hier gezeigten Schemas sollte aber keinesfalls rigide erfolgen, sondern bei der Planung für eine spezifische Analyse eines mechatronischen Systems in den Einzelementen, wenn nötig, variiert werden. Beim Einsatz in Ausbildung und Unterricht ist es ohnehin erforderlich, situativ angemessen zu reagieren und bedarfsweise von dem Schema abzuweichen.

3 Ganzheitliche und integrative Ansätze für berufliches Lernen in der Mechatronik – Schlussbemerkung

Für die Erstausbildung zum Beruf „Mechatroniker/-in“ sind neue berufsdidaktische und fachmethodische Ansätze unerlässlich. Um die vielfachen Trennungen von Elektrotechnik (inklusive Elektronik), Mechanik, Hydraulik und Informationstechnik aufzuheben, werden von den Betrieben umfassende berufsfeldübergreifende Kompetenzen und in der Berufsausbildung ganzheitliche Konzepte und integrative Ansätze gefordert. Nicht nur die Lernfelddiskussion zeigt den Weg in Richtung ganzheitlicher arbeitsorientierter Konzepte. Durch fachliche Ansprüche begründet, können Zusammenführungen nicht nur bislang getrennter Gebiete wie Elektrotechnik, Metalltechnik und Informationstechnik erfolgen, sondern z. B. auch durch die Kombination des Fachlichen mit dem Sprachlichen. So kann beispielsweise berufliches Lernen an technologisch relevanten Texten über mechatronische Systeme zunächst in deutscher und im Anschluss daran der gleiche Inhalt in englischer Sprache ⁵ behandelt werden. Das könnte für das Fachliche stabilisie-

5 In den Ordnungsmitteln zum Beruf „Mechatroniker/-in“ wird das Kommunizieren auch in englischer Sprache gefordert (vgl. Rahmenlehrplan, Lernfelder 1-13).

rend wirken und dem Sprachlichen förderlich sein. Damit ist eine immanente Wiederholung des Fachlichen möglich, und die Sprachkompetenz kann ausgebaut werden. Neben der Integration von Fach und Sprache(n) kann auch Wirtschaftliches gemeinsam mit Fachlichem erarbeitet werden, durchdringt doch die Ökonomie sämtliche strukturierende Kategorien der fachlichen Aspekte von Maschinensystemen, und zwar die Planung, Entwicklung, Fertigung, Verwendung, Distribution, Instandhaltung (vgl. SCHILLING 1981, S. 238) und das Recycling.

Das mechatronische System hat für den Beruf „Mechatroniker/-in“ – wie gezeigt wurde – eine herausragende Bedeutung. Es geht dabei vorrangig um „pragmatisch-technisches“ sowie „funktionell-technisches Verständnis“ (JACOBS 1974, S. 61 f.). Das wissen auch die Lernenden, und damit sind Interesse und Motivation gegeben. Ansätze zum systemanalytischen Arbeiten und Lernen sind im Erstausbildungsbereich nicht ganz neu, aber durch den Bezug auf die Komplexität des Fachgebietes der Mechatronik sowie der damit verbundenen Arbeit erhalten erweiterte Konzepte besondere Aktualität.

Die bisher entwickelten sachanalytischen, berufsdidaktischen und methodischen Ansätze müssen ausbildungs- und unterrichtspraktisch überprüft, ergänzt oder revidiert werden, denn bislang ist der Erfahrungshintergrund bei der Ausbildung für den Beruf „Mechatroniker/-in“ sehr schmal, da noch kein vollständiger Ausbildungsgang für diesen neuen Beruf durchlaufen worden ist. Deutlich erkennbar wird aber schon jetzt: Um zur Facharbeit an mechatronischen Systemen zu befähigen, kann man sich in diesem Bereich der beruflichen Erstausbildung nicht mit herkömmlichen didaktisch-methodischen Konzepten allein begnügen. Die gegenwärtig und auch zukünftig fortlaufenden technischen Veränderungen mit ihren Auswirkungen auf die Facharbeit bedürfen einer ständigen berufsdidaktischen Reflexion. Schon jetzt wird der nächste technologische Sprung deutlich: Die Facharbeit an mechatronischen Systemen wird sich langfristig von Stoff- und Energiebehandlung zu Gunsten der Informationsbearbeitung verlagern. Durch die zunehmende Vernetzung mechatronischer Anlagen mit elektronischen Systemen, wird beispielsweise eine Systemanalyse durch Fernbearbeitung – nicht nur Bedienung und Diagnose, sondern auch Instandhaltung – von einem ganz anderen Standort zu einer zukünftigen Arbeitsform. Für diejenigen Mechatroniker und Mechatronikerinnen, die eine solche Arbeit zu leisten vermögen, wird damit die Tätigkeit komplizierter, abstrakter, zeitintensiver und beschleunigt werden. Diese Entwicklung wird sie zum lebenslangen Lernen zwingen.

Literatur

- ARNOLD, R.: Neuere Systemtheorien und Berufsbildungshilfe. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 91. Band (1995), Heft 4, S. 352-366
- BADER, R.: Der systemtheoretische Ansatz in der Didaktik der Technik. In: Bader, R./Jenewein, K. (Hrsg.): Didaktik der Technik zwischen Generalisierung und Spezialisierung. Frankfurt a. M. 2000, S. 13-17
- DUBS, R.: Die Förderung des kritischen Denkens im Unterricht. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 88. Band (1992), Heft 2, S. 129-155
- ECKERT, M.: Die Theorie technischer Systeme. In: Bader, R./Jenewein, K. (Hrsg.): Didaktik der Technik zwischen Generalisierung und Spezialisierung. Frankfurt a. M. 2000, S. 125-139

- EULER, P.: Technologie und Urteilskraft. Zur Neufassung des Bildungsbegriffs. Schriftenreihe zur Bildungs- und Erziehungsphilosophie, Band 15, Weinheim 1999
- FUCHS-WEGNER, G.: Verfahren der Analyse von Systemen. In: Kurzrock, R. (Hrsg.): Systemtheorie. Forschung und Information. Schriftenreihe der RIAS-Funkuniversität, Band 12, Berlin 1972, S. 82-89
- HÄNDLE, F./JENSEN, S.: Einleitung der Herausgeber. In: Händle, F./Jensen, S. (Hrsg.): Systemtheorie und Systemtechnik. Sechzehn Aufsätze. München 1974, S. 7-61
- HARDTKE, H.-J./HEIMANN, B./SOLLMANN, H.: Kinematik/Kinetik – Systemdynamik – Mechatronik. Lehr- und Übungsbuch technische Mechanik, Band 2. München/Wien 1997
- HECHT, B.: Diskussionslinien und Interpretation des Technischen. In: Bonz, B./Lipsmeier, A. (Hrsg.): Allgemeine Technikdidaktik – Bedingungen und Ansätze des Technikunterrichts. Beiträge zur Pädagogik bzw. für Schule und Betrieb, Stuttgart 1980, S. 7-17
- HELLING, K.: Funktionsorientierte Didaktik der Technik – Alternative zur Inhaltorientierung? In: Traebert, W. E./Spiegel, H.-R. (Hrsg.): Technik als Schulfach. Düsseldorf 1976, S. 167-193
- JACOBS, W.: Die technischen Qualifikationen und Verhaltensweisen des Individuums als Gegenstand empirischer Prüfverfahren. In: Jacobs, W./Ruprecht, H./Hüne, H./Eheim, H.D. (Hrsg.): Technische Bildung. Hannover/Dortmund/Darmstadt/Berlin 1974, S. 41-93
- JOERGER, K.: Lernprozesse bei Schülern. Stuttgart 1975
- KORNWACHS, K.: Steuerung und Wachstum. Ein systemtheoretischer Blick auf große technische Systeme. In: Braun, I./Joerges, B. (Hrsg.): Technik ohne Grenzen. Frankfurt a. M. 1994, S. 410-445
- LANGENEGGER, D.: Gesamtdeutungen moderner Technik – Moscovici, Ropohl, Ellul, Heidegger: eine interdisziplinäre Problemsicht. Würzburg 1990
- LENK, H.: Zur Sozialphilosophie der Technik. Frankfurt a. M. 1982
- PAHL, J.-P./VERMEHR, B.: Die Funktionsanalyse – ein Unterrichtsverfahren beruflichen Lernens. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 84. Band (1988) Heft 5, S. 436-447
- RAHMENLEHRPLAN für den Ausbildungsberuf Mechatroniker/Mechatronikerin (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 30. Januar 1998). B 3141/4. ibv Dokumentation Nr. 50 vom 16. Dezember 1998
- RAMMERT, W.: Technik aus soziologischer Perspektive. Forschungsstand, Theorieansätze, Fallbeispiele. Ein Überblick. Opladen 1993
- RODDECK, W.: Einführung in die Mechatronik. Stuttgart 1997
- ROPOHL, G.: Prolegomena zu einem neuen Entwurf der allgemeinen Technologie. In: Lenk, H./Moser, S. (Hrsg.). Techné, Technik, Technologie, Pullach bei München 1973, S. 152-172
- ROPOHL, G.: Systemtheorie und Techniktheorie. In: Moser, S./Huning, A. (Hrsg.): Werte und Wertordnungen in Technik und Gesellschaft. Vorträge und Diskussionen. Düsseldorf 1975, S. 1-29
- SALNER, M./SCHENK, B.: Ein handlungsorientiertes Unterrichtskonzept für die berufliche Erstausbildung im Berufsfeld Elektrotechnik, dargestellt am technologischen Gegenstand "Netzgerät". In: Lipsmeier, A./Rauner, F. (Hrsg.): Beiträge zur Fachdidaktik Elektrotechnik. Beiträge zur Pädagogik für Schule und Betrieb, Band 16, Stuttgart 1996, S. 261-276
- SCHILLING, E.-G.: Didaktisch-curriculare Strukturierung eines Schwerpunktes Maschinenbautechnik. Schriftenreihe: Erziehen – Beruf – Wissenschaft, Band 5, Alsbach/Bergstraße 1981
- VAHLING, L.: Funktionale Transparenz. In: Bader, R./Jenewein, K. (Hrsg.): Didaktik der Technik zwischen Generalisierung und Spezialisierung. Frankfurt a. M. 2000, S. 333-350

- VERORDNUNG über die Berufsausbildung zum Mechatroniker/Mechatronikerin vom 4. März 1998, abgedruckt im Bundesgesetzblatt Teil I, S.408 vom 11. März 1998
- VOGEL, A.: Artikulation des Unterrichts. Workshop Schulpädagogik. Materialien 3. Ravensburg 1979
- WAGENER, W./HAUPT, W.: Technik als Fach der gymnasialen Oberstufe. In: Bader, R./Jenewein, K. (Hrsg.): Didaktik der Technik zwischen Generalisierung und Spezialisierung. Frankfurt a. M. 2000, S. 53-74
- WEINGART, P. "Großtechnische Systeme" – ein Paradigma der Verknüpfung von Technikentwicklung und sozialen Wandel? In: Weingart, P. (Hrsg.): Technik als sozialer Prozeß. Frankfurt a. M. 1989, S. 174-196
- WOLFFGRAMM, H.: Allgemeine Technologie. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeit technologischer Systeme. Leipzig 1978

Anschrift des Autors: Prof. Dr. Jörg-Peter Pahl, Heidewisch 25, 22559 Hamburg (Technische Universität Dresden, Fakultät für Erziehungswissenschaften, Institut für Berufliche Fachrichtungen)