

Einsatz einer verfahrenstechnischen Simulation in der Ausbildung von Chemikanten, Industriemechanikern und Prozeßleitelektronikern

Schlagwörter: Verfahrenstechnik, Computersimulation, Arbeitsanforderungen, Steuerungsleistungen, Problemlösen, Selbstvertrauen, Erfolgszuversicht, Arbeitszufriedenheit.

Zusammenfassung

Der Beitrag behandelt den Einsatz einer verfahrenstechnischen Simulation im Rahmen der Ausbildung von n=48 Chemikanten, Industriemechanikern und Prozeßleitelektronikern. Untersucht wird die Steuerungsleistung der Auszubildenden bei der Bewältigung jeweils dreier Arbeitsszenarien nach 24, 30 und 36 Ausbildungsmonaten. Alle drei Berufsgruppen machen mit zunehmender Steuerungserfahrung deutliche Leistungsfortschritte, ohne aber bei der Anlagensteuerung einen vollständigen Stoffumsatz und damit die mögliche Maximalleistung zu erzielen. Die Gruppe der Prozeßleitelektroniker erzielt durchweg die besten Steuerungsleistungen. Effekte der schulischen Vorbildung sind nur bei wenigen Leistungsparametern festzustellen. Auszubildende, die berufsfeldübergreifend und fallbezogen ausgebildet werden (n=24), verursachen weniger kritische Temperaturschwankungen im Reaktor und liefern eine deutlich geringere Menge minderwertigen Produktes an ihre Kunden als Auszubildende, die nicht berufsfeldübergreifend und fallbezogen ausgebildet werden.

Die Leistungsfortschritte der Auszubildenden gehen mit einer Stärkung des fachlichen Selbstvertrauens, einer Zunahme der Arbeitszufriedenheit und einer Steigerung der Erfolgszuversicht für nachfolgende Steuerungsaufgaben einher. Zusammenhangsanalysen zeigen, daß die untersuchten Steuerungsleistungen in gewissem Umfang aufgrund der Kenntnis der Leistungen der Auszubildenden in Berufsschule und Ausbildungszentrum vorhergesagt werden können (zu max. $R^2=,34$ für die Gruppe der angehenden Chemikanten; zu max. $R^2=,61$ für die Gruppe der angehenden Instandhalter).

Die Untersuchungen erfolgen im Rahmen eines Modellversuchs, der vom Bundesinstitut für Berufsbildung (BiBB) betreut und aus Mitteln des Bundesministers für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert wird.

1 Steuerungsleistungen, Kompetenz und Selbstvertrauen

In der chemischen Großindustrie, die sich durch (a) komplexe Umwandlungsprozesse in großem Maßstab, (b) überwiegend kontinuierliche Prozeßverläufe, (c) eine Mechanisierung des Materialflusses von der Rohstoffzuführung bis zur Produktentnahme und (d) den Einsatz von Prozeßleittechnik kennzeichnen läßt, ist eine strenge Arbeitsteilung zwischen Produktionsfachkräften (Chemikanten) und Instandhaltern (Industriemechanikern, Prozeßleit-elektronikern) üblich. Chemikanten sind nach der Inbetriebnahme einer Anlage mit der Anlagenüberwachung und Anlagensteuerung betraut, während Industriemechaniker und Prozeßleitelektroniker die Anlagen inspizieren, warten und defekte Bauteile instandsetzen (siehe Tabelle 1 für eine Übersicht).

| <i>Chemikant</i> | <i>Industriemechaniker</i> | <i>Prozeßleitelektroniker</i> |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Chemische Prozesse vorbereiten, starten, überwachen, steuern und beenden • Chemische Produkte aufarbeiten, reinigen, zubereiten und abfüllen • Einfache chemische und physikalische Untersuchungen zur Produktions- und Qualitätskontrolle durchführen • Bei der Arbeit mit Chemikalien Arbeitssicherheit und Arbeitsschutz beachten | <ul style="list-style-type: none"> • Anlagen(-teile) herstellen, aufstellen, inbetriebnehmen, inspizieren, warten und instandsetzen • Anlagen(-teile) an sich ändernde Betriebsbedingungen anpassen • Anlagen(-teile) selbständig nach Modellen, Unterlagen und Anweisungen herstellen, aufstellen und gemeinsam mit Betriebsleitern und Chemikanten inbetriebnehmen | <ul style="list-style-type: none"> • Anlagen der Prozeßleittechnik errichten, inbetriebnehmen, erweitern, ändern, warten und instandsetzen • Prozeßleitstände selbständig nach Unterlagen und Anweisungen errichten • Bei der Verkabelung, Schaltung und Instandsetzung elektrischer Bauteile entsprechende Vorschriften und Sicherheitsbestimmungen berücksichtigen |

Tabelle 1: Aufgabenbereiche der Chemikanten, Industriemechaniker und Prozeßleitelektroniker in der chemischen Industrie

Bei teilautomatischer Prozeßführung ist es Aufgabe der Chemikanten, Produktionsanlagen selbständig anzufahren, zu überwachen, die im Prozeßleitstand eingehenden Informationen zu prüfen, den Produktionsprozeß zu regulieren und zum Abschluß zurückzufahren. Bei vollautomatischer Prozeßführung übernimmt ein Prozeßleitrechner entweder komplett die Funktion der Regler oder er diktiert untergeordneten Reglern die Sollwerte. Dabei ist es Aufgabe des Chemikanten, Unregelmäßigkeiten im Produktionsprozeß frühzeitig zu erkennen, korrekt zu bewerten und schnell auf sich abzeichnende Störungen zu reagieren, um die Auswirkungen einer Störung zu begrenzen und die Betriebssicherheit der Anlage zu gewährleisten. Dabei ist der Prozeß, den die Chemikanten steuern und überwachen, in der Regel nicht sichtbar. Er muß aufgrund der im Leitstand eingehenden Informationen (Temperatur, Füllstand, Druck etc.) rekonstruiert und bewertet werden.

Industriemechaniker und Prozeßleitelektroniker sind dagegen bei einer handwerklich geprägten Tätigkeit gefordert. Baugruppen aus Behältern, Pumpen, Ventilen, Armaturen und

Rohrleitungen zu errichten, zu erweitern, zu ändern und instandzuhalten ist eine sichtbare und konkrete Leistung. Ebenso sichtbar und konkret sind die elektrischen Routinetätigkeiten des Prozeßleitelektronikers: Meßapparaturen, Regler, Pumpen, Ventile und Schaltungen zu verkabeln, durchzumessen, abzuklemmen und instandzusetzen. Aufgrund der zunehmenden Integration mechanischer, elektrischer und elektronischer Komponenten besteht das Tätigkeitsspektrum des Prozeßleitelektronikers aus einer Vielzahl von Meß-, Prüf- und Programmierarbeiten.

Nach Konradt (1992) umfaßt der Bereich der Instandhaltung die „Sicherung einer möglichst hohen technischen Verfügbarkeit der Anlagen. Weitere Aufgaben liegen in der Einhaltung der sicherheitstechnischen Anforderungen der Maschinen und Anlagen, der Sicherstellung des geforderten Qualitätsniveaus der Fertigungsprodukte und der Steigerung ihrer Lebens- und Brauchbarkeitsdauer. Auch die im Rahmen der Produkthaftung entstehende rechtliche Verantwortung des Herstellers für Personen-, Sach- und Vermögensschäden, die aus dem Gebrauch fehlerhafter, defekter oder ausgefallener Einheiten entstehen, wird durch die Instandhaltung begrenzt“ (S. 12).

Die skizzierte strenge Arbeitsteilung zwischen Produktionsfachkräften und Instandhaltern entspricht nicht mehr den betrieblichen Erfordernissen. Unklare Zuständigkeiten, Wartezeiten, begriffliche Mißverständnisse und Fehldiagnosen im Instandsetzungsfall führen mitunter zu mehrtägigen und kostspieligen Produktionsausfällen. Aus diesem Grund sind einige Unternehmen dazu übergegangen, Chemikanten, Industriemechaniker und Prozeßleitelektroniker berufsfeldübergreifend auszubilden bzw. polyvalente Produktions- und Instandhaltungsteams zu bilden. In diesen Teams beteiligen sich Chemikanten an der Montage und Instandhaltung, während Industriemechaniker und Prozeßleitelektroniker die Anlagen gemeinsam mit den Chemikanten überwachen und steuern (Werthebach, Grote & Schmidkuntz, 1996, 1998a, 1998b). Die nachfolgenden Überlegungen zur Behebung von Steuerungsproblemen beziehen sich darum sowohl auf berufsfeldintern eingesetzte Produktionsfachkräfte als auch auf berufsfeldübergreifend eingesetzte Produktionsfachkräfte und Instandhalter.

1.1 Steuerungsleistungen erfordern Problemlösekompetenz

Ein Anlagenfahrer muß sich über die Baugruppen seiner Anlage sowie seine Meß-, Steuer- und Regelaufgaben informieren, sich ein umfangreiches Meß-, Steuer- und Regelwissen aneignen und dieses beständig aktualisieren. Der Normalbetrieb stellt für einen Anlagenfahrer, der seine Anlage kennt, eine wohldefinierte Aufgabe dar. Neuartige Leistungen sind dagegen gefordert, wenn er in einer Störungssituation bzw. bei Liefer- oder Abholverzögerungen eine angemessene Problemlösung finden muß.

In komplexen Problemsituationen zeigen Anlagenfahrer und Instandhalter eine Fülle von Verhaltensweisen: Sie erfragen Informationen, treffen Entscheidungen, prognostizieren (Fehl-)Entwicklungen, überlegen und beratschlagen. Ihr Problemlösen läßt sich in verschiedene Phasen bzw. Stationen gliedern (Abbildung 1).

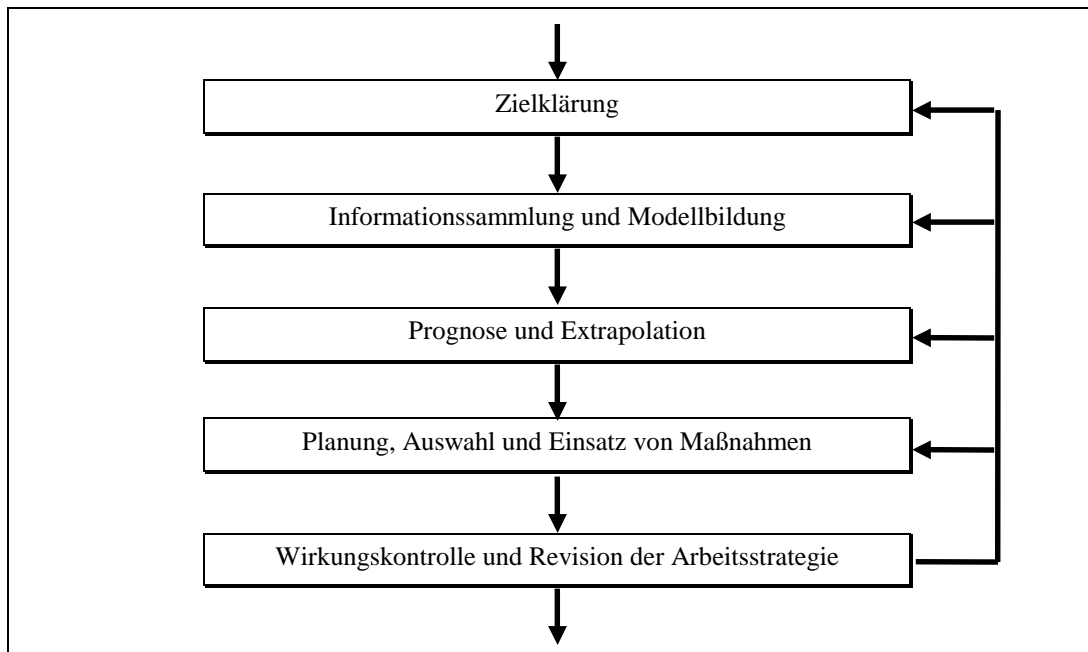


Abb. 1: Phasen der Handlungsorganisation (modifiziert nach Dörner, 1989, S. 67)

Sowohl für einen Anlagenfahrer als auch für einen Instandhalter ist es wichtig zu klären, was er bei der Bearbeitung eines Problems erreichen muß bzw. will: Welche Spezifikation hat der Anlagenfahrer einzuhalten? Wieviel Ausschuß ist in technischer und finanzieller Hinsicht zu vertreten? Wie lange darf er einen Lieferanten bzw. Abholer warten lassen? Wie schnell muß der Instandhalter ein defektes Aggregat instandgesetzt bzw. ersetzt haben? Kommt der Einbau eines Provisoriums in Frage? Die einvernehmliche Klärung dieser Rahmenbedingungen ist insofern wichtig, als sich Qualitätsziele, Termine und Kosten in bestimmten Bandbreiten widersprechen können. Darum ist es notwendig, Prioritäten zu setzen und eine Gewichtung der Ziele unter Angabe von Mindestanforderungen vorzunehmen.

Die Forderung, sich in einer Problemsituation - z.B. bei dem Defekt eines Aggregates, bei dem Ausbleiben eines Lieferanten - über die Sachlage zu informieren, ist eine Selbstverständlichkeit. Schwieriger ist die Frage, welche Informationen zur Lösung des Problems erforderlich sind. Welche Informationen ein Anlagenfahrer bzw. Instandhalter abrufen, hängt von der subjektiven Repräsentation der Problemsituation ab. Die subjektive Repräsentation (das mentale Modell / der Problemraum) enthält Annahmen darüber, wie einzelne Bestandteile des Problems zueinander in Beziehung stehen (z.B. die Temperatur der Rohprodukte, die Energiezufuhr, das Reaktorvolumen, die Massenströme und die Reaktorisolierung mit den Temperaturverläufen im Reaktor), inwieweit die Problemsituation Eigendynamik aufweist, auf Eingriffe reagiert und kontrollierbar ist.

Das mentale Modell ist eine pragmatisch verkürzte und damit unvollständige Abbildung des Originals (vgl. Conant & Ashby, 1970; Stachowiak, 1973). Es ist Ausdruck des Verständnisses des Problemlösers für die Problemsituation. Erst aufgrund einer solchen Modellbildung sind Anlagenfahrer bzw. Instandhalter in der Lage, Prognosen über die Entwicklung einer Problemsituation abzugeben sowie Maßnahmen zur Behebung des Problems zu entwickeln und auszuwählen. Dabei ist die „device topology“ (De Kleer & Brown, 1983), d.h. die Repräsentation der physikalischen Komponenten des Systems, vom Kausalmodell der Interaktion der Komponenten des Systems zu unterscheiden.

Das mentale Modell enthält sowohl deklarative als auch prozedurale Wissensbestandteile (siehe Ryle, 1949). Deklaratives Wissen bezieht sich auf Merkmale der subjektiven Repräsentation eines Sachverhalts. Hierzu zählen beispielsweise Kenntnisse über den Anlagenbau, austauschbare Teile, mögliche Funktionsstörungen und Bypass-Funktionen. Prozedurales Wissen liegt der Steuerung des Handelns zugrunde. Es enthält Instruktionen bzw. Strategien, was im Störfall zu tun ist, wie Störungsursachen ermittelt und Problemlösungen überprüft werden können. Dazu zählen Kenntnisse über Maschinenfunktionen, Prüfungen und Testverfahren sowie Reparatur- und Montageschritte.

Die Expertise-Forschung hat gezeigt, daß Experten im Durchschnitt nicht über eine bessere Ausstattung an mentalen Ressourcen verfügen als Novizen (Simon, 1990; Bredenkamp, 1989; Jensen, 1990; siehe dagegen Chase & Ericsson, 1982). Statt dessen gelingt es Experten, bereichsspezifisches Wissen einzusetzen, um Anforderungen mit weniger belastenden Methoden entgegenzutreten (Simon, 1990). Die Ergebnisse zur Kategorisierung von Problemen deuten darauf hin, daß Experten die relevanten Merkmale von Problemräumen stärker gewichten als Novizen. Während unerfahrene Anlagenfahrer als „Novizen“ eine Problemsituation in der Regel anhand letztlich unwesentlicher oberflächlicher Merkmale beschreiben, klassifizieren Experten Probleme nach wenigen zentralen lösungsrelevanten Merkmalen, wie z.B. kausalen Zusammenhängen (vgl. Chi, Feltovich & Glaser, 1981).

Darüber hinaus gibt es Hinweise für die Annahme, daß Experten über mehr Repräsentationen eines Aufgabenbereiches verfügen und darum ein und dasselbe Problem aus verschiedenen Perspektiven analysieren können. Simon (1979) nimmt an, daß Experten im Vergleich zu Anfängern Sachverhalte flexibler interpretieren, simultan mehrere Hypothesen auf Gültigkeit prüfen, die Abstraktionsebenen häufiger wechseln und Problemlösestrategien situationsabhängiger einsetzen. So kann ein Anlagenfahrer einen Anlagenzustand nach physikalischen Variablen (z.B. Temperatur, Druck, Ventilpositionen) oder nach funktionalen Variablen (z.B. Energieverbrauch, Wärmeaustausch, Leistungsausstoß) beurteilen (vgl. Rasmussen & Lind, 1981). Auf der Seite des prozeduralen Wissens verfügen Experten in ihren Kompetenzbereichen über vorwärtsgerichtete, bereichsspezifische Strategien, während Novizen notgedrungen auf bereichsunspezifische und belastende rückwärtsgerichtete Strategien zurückgreifen müssen (Chi et al. 1981; Hunt, 1989). Dennoch erfordern Planungs- und Diagnoseprobleme selbst nach langjähriger Berufserfahrung sehr viel mehr bewußte Kontrolle als Aufgaben der Prozeßsteuerung und Überwachung, die in der Regel

stark automatisiert ablaufen.

Lüer und Spada (1992) bemerken hierzu, daß der „Aufbau des Problemraums auf Seiten des Problemlösers ist mit einem Selektions- und Interpretationsprozeß verbunden [ist]. Nicht alle möglichen Einzelheiten der Aufgabenumgebung werden in seinem Problemraum repräsentiert, sondern nur jene Details und Aspekte, zu denen der Problemlöser sein vorhandenes Wissen verwenden kann“ (S. 255). Wie sich der Übergang vom wahrnehmungsnahen Modell zum Kausalmodell vollziehen könnte, beschreiben De Kleer und Brown (1983) am Beispiel eines Stromkreises mit Haustürklingel:

„Eine erste Repräsentation muß die Einzelkomponenten (z.B. Stromquelle, Leitung, Schalter, Klingel) in ihrer physikalischen Anordnung enthalten: die „device topology“. Diese wird durch einen Veranschaulichungsprozeß („envisioning“) in ein Kausalmodell umgewandelt. Hierbei wird aus dem Zustand einer Systemkomponente auf den Zustand einer anderen geschlossen. In dieser schrittweisen Ausbreitung („propagation“) werden alle Systemkomponenten durchlaufen, bis die Kausalrelationen der einzelnen Komponenten so integriert sind, daß sie das Verhalten des gesamten Systems determinieren. Mit Hilfe dieses Kausalmodells können nun spezifische Vorgänge simuliert werden („running the causal model“). „Envisioning“ und „running“ unterscheiden sich also in ihrer Funktion: Während der erste Prozeß dem Aufbau des mentalen Modells dient, hat der zweite ein darüber hinausgehendes Ziel, zu dessen Erreichung das mentale Modell und seine Simulationsfähigkeit benutzt wird (...). In psychologische Termini übersetzt, dient „envisioning“ dem Verstehen des Systems und „running“ der Anwendung des generierten Wissens, z.B. zur Vorhersage von Systemzuständen oder -fehlern sowie zur Handlungssteuerung“ (Dutke, 1994, S. 38f).

Wie Veldhuyzen und Stassen (1976) zeigen, wird auch in der Prozeßkontrollforschung davon ausgegangen, daß Regelungstätigkeiten auf mentalen Modellen des zu regelnden Systems basieren. Veldhuyzen und Stassen (1977) unterscheiden drei Bereiche eines solchen inneren Modells: Wissen über das zu regelnde System, Wissen über Störbedingungen, die auf das System einwirken können, und Wissen über die auszuführende Aufgabe, z.B. über Sollwerte, Randbedingungen oder Signalbedeutungen. Neben der verbalen Beschreibung mentaler Modelle hat sich die Prozeßkontrollforschung auch mit der Modellierung mentaler Modelle anhand mathematischer Modelle beschäftigt.

Anlagenfahrer und Instandhalter treffen ihre Entscheidungen in der Regel unter Unsicherheit. Problemsituationen bei der Anlagensteuerung bzw. Anlagenreparatur sind solche, bei denen Entscheidungen zu treffen sind, obwohl nicht alle Informationen vorliegen, die für eine sichere Entscheidung erforderlich wären. Häufig kann die Art eines technischen Defektes erst dann geklärt und sinnvoll über Ursachen (z.B. Materialeigenschaften) und ihre Vorbeugung (z.B. Einbau eines Filters oder Mahlwerkes) nachgedacht werden, nachdem ein Aggregat ausgebaut und zerlegt wurde.

Werden Maßnahmen ergriffen, so ist zu prüfen, ob die gewünschte Wirkung auch eintritt (z.B. die Anlage tatsächlich mit reduzierter Kapazität fährt, ein Aggregat nach seiner Reparatur wieder störungsfrei im Verbund arbeitet). Gerade unerfahrene Anlagenfahrer bzw. Instandhalter neigen dazu, eine Überprüfung des Erfolgs ihrer Arbeit zu unterlassen - mög-

licherweise, um nicht mit einem Mißerfolg konfrontiert zu werden. Darüber hinaus kann in Großgruppen die Verantwortung für die letztendlich ordnungsgemäße Behebung eines Problems diffundieren.

Wird der Erfolg der ergriffenen Maßnahmen überprüft, dann sollte nicht nur das Eintreten oder Ausbleiben der erwünschten Wirkung kontrolliert werden, sondern auch, inwieweit die Bedingungen, die zum Auftreten des Problems geführt haben, nach wie vor bestehen. Dabei ist zu beachten, daß Ursachen für Mißerfolge in der Planungsausführung häufig in der Organisation des eigenen Vorgehens liegen. Darum ist es wichtig, die eigenen Denk- und Handlungsprozesse, also das mentale Modell, zu reflektieren. Eine kritische Selbstreflexion ist notwendige Bedingung dafür, daß sich Planungsfehler nicht wiederholen und die Flexibilität angesichts wechselnder situativer Anforderungen gesteigert wird.

Schließlich verdeutlichen die Feedback-Schleifen in Abbildung 1, daß nach einer Planungsphase mitunter die Notwendigkeit besteht, zur Informationssammlung zurückzukehren oder sogar die Ziele neu zu formulieren. Darüber hinaus kann es notwendig sein, das Denken und Handeln innerhalb der dargestellten Phasen als Schrittfolge aus Zielklärung, Problemanalyse, Alternativensuche, Alternativenbeurteilung und Entscheidung zu organisieren (siehe Krüger, 1983).

Dabei empfiehlt es sich, vom Groben zum Detail vorzugehen, damit nicht sofort mit der Analyse vordergründiger Probleme begonnen wird und bereits zu Projektbeginn Detailarbeit geleistet wird (Haberfellner, 1980). Krüger (1983) empfiehlt, zunächst eine „Problemlandkarte“ zu erarbeiten, in der die Schnittstellen und Teilprobleme erkennbar werden. Die generelle Lösbarkeit ist dann unter Kosten-Nutzen-Erwägungen von den Rahmenbedingungen ausgehend zu analysieren, bevor Detailprobleme und Lösungen diskutiert werden. Tabelle 2 zeigt, welche Module und Instrumente den einzelnen Phasen der Problembearbeitung zugeordnet werden können.

| | Phasen und Module | Instrumente zur Problembearbeitung |
|------------------------------|---|--|
| Problem- diagnose | Problemidentifikation | Überprüfung direkter Sinneseindrücke, Problemmeldungen, Fehlerstatistiken, Dokumentation und Auswertung von Reklamationsfällen, systematische Kunden- bzw. Mitarbeiterbefragung, Mängelkataloge und Prüffragen, systematisches Einkreisen, topographische Suche, Fehlersuchprogramme |
| | Problemkategorisierung | Kategoriensysteme, Prüffragen, Fehlerbäume |
| | Problemstrukturierung <ul style="list-style-type: none"> • Problemumfang (Variablenzahl) • Problemdichte (Variablenverknüpfung) • Stabilität, Sensitivität, Kontrollierbarkeit | Strukturmodelle wie Flußdiagramm, Blockschaltbild, Mindmapping, Ishikawa-Diagramm, Konfliktatlas, Fehlerbäume, Strukturlegetechnik, subjektive Pfadanalysen, Flußdiagramme; 4-Stufen-Arbeitsanalyse, Zielanalyse, Einflußgrößenanalyse, Eingangs-Ausgangs-Analyse, Bedingungsvariation c.p., Probedhandeln im System, Untersuchung von Informationslücken |
| | Problembewertung | Beurteilung von Teilproblemen in ihrem sachlichen und zeitlichen Kontext, Szenario-Technik, Delphi-Technik, Prüffragen (Dringlichkeit, Bedeutsamkeit, verfügbare Ressourcen, Durchsetzbarkeit bestimmten Problemlösungen, zukünftige Entwicklung des Problems), Erlös- und Kosten-Controlling, Festlegung von Prioritäten, Problem-Auswahl |
| Problem- lösung | Lösungsfindung | Ziel-Mittel-Analyse, Zwischenzielbildung, Suchraumeinschränkung, Lösungssuche für Problemteile bzw. ähnliche Probleme, Abänderung bestehender Lösungen, Brainstorming-Varianten, Fragetechnik, Visualisierung, Analogiebildung, Synektik, morphologische Analyse, Probedhandeln am Modell oder Original |
| | Alternativenbeurteilung und Entscheidung | Fragetechnik (Analyse der Beziehungen zwischen den Alternativen, Prüfung auf Vollständigkeit, Prüfung auf Zulässigkeit, Prüfung von Neben-/Anders-/Extremwirkungen, Prüfung von Maßnahmenkombinationen, Prüfung verschiedener Maßnahmenabfolgen); Variationen des Settings (Advocatus diaboli, Delphi-Methode, Nominal Group Technique, Bargaining und Logrolling, Dialektik); betriebswirtschaftliche Ansätze (Sensitivitätsanalyse, Erwartungsanalyse, Kosten-Wirksamkeitsanalyse, Nutzwertanalyse), Darstellungshilfen (Entscheidungsmatrix, Entscheidungsbaum), Wahlhilfen (Paarvergleich, Gewichtung von Entscheidungskriterien, Trade off-Graphen) |
| | Implementierung | Aktionspläne, Strukturmodelle (s.o.) zur Veranschaulichung geänderter Arbeitsabläufe, Informationskanäle, Entscheidungsbefugnisse etc. |
| Evaluation | Bewertung des Erfolges der Maßnahme | Kosten-Wirksamkeitsanalyse, Nutzwertanalyse, Prüffragen |
| | Schrittweise Optimierung | Sensitivitätsanalyse, Erwartungsanalyse |
| | Prognose der weiteren Problementwicklung | Szenario-Technik, Erwartungsanalyse |

Tabelle 2: Module einer systematischen Problembearbeitung
(vgl. auch Funke, 1992; Hacker, 1992; Konradt, 1992; Krüger, 1983)

1.2 Deklarative und prozedurale Vereinfachungen bei komplexen Steuerungsanforderungen

Es ist unbestritten, daß interindividuelle Unterschiede in der Denk- und Merkfähigkeit bestehen (Simon, 1990). Als entscheidende Restriktion wird die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses genannt (Anderson, 1983). Das Arbeitsgedächtnis ist vor allem beim vorausschauenden Denken gefordert, bei dem multiple Zwischenziele und -resultate zu berücksichtigen sind. Der Einsatz einer vorausschauenden, zielgerichteten Strategie ist kognitiv belastend - und verschiedene Strategien werden als unterschiedlich beanspruchend erlebt, je nachdem, in welchem Ausmaß sie das Arbeitsgedächtnis belegen (Anderson, 1983; Sweller, 1988; Hunt, 1989). Folglich haben Anlagenfahrer mit guter Denk- und Merkfähigkeit bei einem Steuerungsproblem einen Vorteil gegenüber Anlagenfahrern mit reduzierten kognitiven Fähigkeiten. Im Rahmen der Standardarchitekturen der menschlichen Kognition unterscheiden Kyllonen und Christal (1990) vier Faktoren, die für die Erklärung interindividueller Unterschiede in der Denkfähigkeit herangezogen werden können (Tabelle 3):

| | |
|----------------------|--|
| Prozedurale Faktoren | Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit |
| | Ausmaß des prozeduralen Wissens |
| Deklarative Faktoren | Kapazität des Arbeitsgedächtnisses |
| | Ausmaß des deklarativen Wissens |

Tabelle 3: Faktoren der kognitiven Kapazität (Kyllonen & Christal, 1990)

Aufgrund umfangreicher faktorenanalytischer Studien räumen die Autoren Unterschieden in der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses die größte Bedeutung ein, wenn es um die Erklärung interindividueller Unterschiede in den Denkleistungen geht.

Problemlöser haben die Möglichkeit, das Problemlösen zu vereinfachen, wenn die Grenzen der Verarbeitungskapazität überschritten werden. Dabei wird vor allem die deklarative Vereinfachung der Problemstellung gewählt, also die Vernachlässigung einiger Aspekte bei der subjektiven Repräsentation der Problemstellung, wohingegen die Arbeitsstrategie als prozeduraler Aspekt in der Regel nicht vereinfacht wird. Erfolgreiche und weniger erfolgreiche Problemlöser unterschieden sich nicht grundsätzlich im prozeduralen Vorgehen. Stattdessen sind weniger erfolgreiche Problemlöser deswegen benachteiligt, weil sie - bei gleicher Struktur der Denkprozesse - infolge geringer Kapazität des Arbeitsgedächtnisses mit einfacheren Repräsentationen arbeiten als erfolgreiche Problemlöser: „The problem solver has a sharply limited amount of processing capacity that is easily overloaded by the memory requirements of unfamiliar problem rules. This overload prevents even minimal amounts of necessary planning from occurring“ (Kotovsky, Hayes & Simon, 1985, S. 292).

Klix (1983) sieht es als Kennzeichen intelligenten Arbeitens an, die Fülle des Informationsangebots und damit die subjektive Repräsentation des Problems sinnvoll auf das entscheidungsnotwendige Maß zu reduzieren. Klix spricht in diesem Zusammenhang von Strategien

der bewußten Informationsvorverarbeitung bzw. von einer Planungsheuristik. Newell und Simon (1972) sowie Sacerdoti (1974) haben gezeigt, daß das Vorgehen nach der Planungsheuristik sehr günstig ist, wenn durch Planung große Problemräume in mehrere kleine zerlegt werden, die bestehenden Teilproblemen entsprechen.

Das Phänomen der deklarativen Vereinfachung diskutiert Klauer (1993) in fünf Annahmen:

- *Globale Belastungsannahme:* Das Problemlösen beansprucht kognitive Ressourcen. Dabei wird vor allem das Arbeitsgedächtnis, das über eine begrenzte Kapazität verfügt, in Anspruch genommen (Egan & Greeno, 1974; Newell & Simon, 1972; Anderson, 1983; Hussy, 1983). Interessanterweise gibt es jedoch nur wenige direkte Untersuchungen zu Ausmaß und Art der Belastung. Dazu würden sich Untersuchungen eignen, bei denen neben dem Problemlösen sekundäre Aufgaben zu bewältigen sind (*dual-task-paradigm*; siehe Baddeley & Hitch, 1974; Schmidt, 1987; Sweller, 1988). „Die Art der Beeinträchtigung des Problemlösens durch verschiedenartige Zweitaufgaben könnte Einblick geben in das Ausmaß und die Art der Belastung beim Problemlösen“ (Klauer, 1993, S. 12).
- *Spezifische Belastungsannahme:* Zur Belastung des Arbeitsgedächtnisses tragen sowohl die deklarativen als auch die prozeduralen Aspekte des Problemlösens bei. Die Belastung durch prozedurale Aspekte des Problemlösens haben Sweller und Mitarbeiter untersucht (Sweller, Mawer & Ward, 1983; Owen & Sweller, 1985; Sweller, 1988). Den Untersuchungen von Sweller zufolge belasten rückwärtsgerichtete Strategien wie die Ziel-Mittel-Analyse das Arbeitsgedächtnis wesentlich stärker als vorwärtsgerichtete Strategien. Probanden, die - aufgrund spezifischer Zielvorgaben - rückwärtsgerichtete Strategien verfolgen, machen mehr mathematische Fehler als Probanden, die - aufgrund unspezifischer Zielvorgaben - vorwärtsgerichtete Strategien verfolgen: „Problem solvers organizing a problem according to means-end principles, suffer from a cognitive overload which leaves little capacity for other aspects of the task. This overload can be manifested by an increase in the number of mathematical errors made“ (Sweller, 1988, S. 276). Mit der Belastung des Problemlösers durch die Problemrepräsentation beschäftigen sich Simon und Mitarbeiter. Kotovsky, Hayes und Simon (1985) zeigen anhand mehrerer Experimente, daß das Verstehen, Behalten und Beachten der Problemregeln für verschiedene Probleme mit gleicher Aufgabenstruktur, jedoch unterschiedlicher inhaltlicher Einbettung im Sinne einer Problemisomorphie das Arbeitsgedächtnis unterschiedlich stark beansprucht, und daß diese Unterschiede die Unterschiede in der Schwierigkeit der Problemvarianten bedingen. Damit ist belegt, daß auch die Erfordernisse einer angemessenen Problemrepräsentation zur Belastung des Problemlösers beitragen.
- *Kompetenzannahme:* Problemlöser verfügen von vornherein über einige bereichsunspezifische Problemlösestrategien, insbesondere die Ziel-Mittel-Analyse, die ein angemessenes Planen und Suchen in subjektiven Problemräumen ermöglichen (Greeno & Simon, 1988; Simon, 1990; Lürer & Spada, 1992). Entwicklungspsychologische Studien belegen, daß die wesentlichen Elemente der Ziel-Mittel-Analyse bereits im Vorschulalter erworben werden (Klahr & Robinson, 1981).
- *Aufmerksamkeitsannahme:* Das deklarative Vereinfachen ist nicht das Ergebnis einer

Strategie der Informationsreduktion. Statt dessen ist die Aufmerksamkeit *selektiv* auf das Verfolgen einer angemessenen Problemlösestrategie gerichtet, was sich als kognitive Belastung erweist. Mehr oder weniger unbemerkt werden bei dieser Ausrichtung der Aufmerksamkeit deklarative Aspekte der Aufgabenstellung ausgeblendet: Situationen, in denen die Problemstellung zwar verstanden wird, aber trotzdem gehäuft illegale Operationen auftreten, sind nicht selten.

- *Entlastungsannahme*: Wenn die Bearbeitung einer Problemstellung die Grenzen der Verarbeitungskapazität überschreitet, so verschaffen sich Problemlöser bevorzugt dadurch Entlastung, daß sie die Problemstellung gedanklich in einfacherer Form (in ihren Grundzügen) repräsentieren. Es wird nicht auf den Einsatz angemessener, also kognitiv belastender Problemlösestrategien verzichtet. Unterschiedlich belastende Bedingungen können realisiert werden, indem relevante Information in unterschiedlichem Ausmaß sichtbar vorgegeben wird, nur memoriert werden darf oder sogar erst berechnet bzw. erschlossen werden muß (Kotovsky et al., 1985; Kotovsky & Simon, 1990, Hussy & Granzow, 1987).

Simon (1990) argumentiert, daß Problemlöser zur Vereinfachung einer Problemstellung sowohl von einer angemessenen Analyse der Problemstruktur als auch von der Anwendung angemessener, aber belastender Strategien absehen. Da Problemlöser auch bei erheblichen kognitiven Anforderungen zügig erste Lösungsversuche starten, muß man seiner Ansicht nach annehmen, daß sie mit vorläufigen und unvollständigen Analysen der Problemstruktur (deklarative Vereinfachung) bzw. einfachen Faustregeln (prozedurale Vereinfachung) arbeiten. Kluwe und Haider (1990) sprechen in diesem Zusammenhang von einer vorläufigen Handlungsbasis, auf der sich die ersten Problemlöseversuche vollziehen. Anderson, Sweller und Klauer haben in ihren Untersuchungen dagegen primär das deklarative Vereinfachen (und damit verbunden: Häufungen illegaler Operationen) identifizieren können. Nach Klauer (1993) entlasten sich Problemlöser bei Überforderung durch deklaratives Vereinfachen, während sie gleichzeitig bemüht sind, angemessene, ja sogar belastende Problemlösestrategien einzusetzen. Für die Vorbedingungen der Überlastung (Höhe der Gesamtanforderungen) macht er allerdings sowohl die prozeduralen als auch die deklarativen Aspekte des Problemlösens verantwortlich.

Eine weitere Kompensationstaktik ist die Steigerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit auf Kosten der Bearbeitungsgenauigkeit (speed-accuracy trade-off). Entsprechende Befunde (Lohman, 1989) lassen sich dahingehend interpretieren, daß auch hier bei zunehmender Belastung der Verarbeitungskapazität dem Einsatz angemessener Problemlösestrategien höheres Gewicht verliehen wird als dem Aufrechterhalten eines angemessenen subjektiven Problemraums.

1.3 Erwerb von Steuerungskompetenz

Der Erwerb von Steuerungskompetenz geschieht in der Regel durch „learning on the job“. Dabei werden je nach Einsatzgebiet auch Prozeßsimulationen eingesetzt (z.B. Simulationen

eines Kraftwerksbetriebs oder der Steuerung von Papiermaschinen). Mit Widdel (1990) lassen sich die Steuerungs- und damit die Lernanforderungen in Anforderungen bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung, kognitive Anforderungen, Arbeitsbelastungen und Sicherheitsanforderungen untergliedern.

1. Informationsaufnahme und -verarbeitung

- Visuelle Suche: Die Aufgaben der Prozeßsteuerung und Überwachung mit Hilfe komplexer Steuerpanels erfordern einen erheblichen Suchaufwand, wenn in Problemsituationen z.B. ein kritisches Steuerelement zu finden ist. Die auf Bildschirmen dargestellte Information hat eine sehr hohe Dichte. Vorwiegend in Gefahrensituationen oder bei Störfällen ist es zur angemessenen Entscheidungsfindung notwendig, die Störquelle schnell zu entdecken und als solche zu identifizieren. Die angehenden Anlagenfahrer müssen darum lernen, kritische Meßdaten von unkritischen zu unterscheiden, d.h. eine angemessene selektive Wahrnehmung einzuüben.
- Beobachten und Überwachen: Erfolgen Regelungen voll- oder teilautomatisch, dann tritt die Funktion des Anlagenfahrers als Überwacher in den Vordergrund. Er muß Fehler im Prozeß entdecken, identifizieren und entsprechende Korrekturmaßnahmen einleiten. Die angehenden Anlagenfahrer müssen geeignete Heuristiken zur Fehlererkennung und -kompensation kennenlernen und deren Verwendung einüben.

2. Kognitive Anforderungen

- Vorhersage: Die Vorhersagefähigkeit ist eine wesentliche Leistungskomponente des Anlagenfahrers. Sie wird durch die Menge des Wissens über die Anlage sowie über mögliche Störfälle bestimmt. Zur Verbesserung der Vorhersageleistungen von Anlagenfahrern schlagen Leplat & Rocher (1984) Trainingsmaßnahmen vor, in denen die Bewertung von Prioritäten geübt wird, die bei mehreren zeitgleich durchzuführenden Handlungen notwendig werden. Daneben eignen sich Übungen zur Verlaufsprognose interagierender dynamischer Prozesse.
- Fehlerbehandlung: Entdecken, Identifizieren und Beseitigen eines Störfalles ist das zentrale Aufgabenspektrum des Anlagenfahrers. Er muß die Störung entdecken, ihren Ort und ihre Ursache ermitteln, danach kompensatorische Maßnahmen einleiten und schließlich die fehlerhafte Komponente reparieren oder ersetzen bzw. ersetzen lassen. Im Vergleich mit guten Fehlersuchern zeigen schlechte Fehlersucher einen Mangel an elementaren Systemkenntnissen. Sie führen auch weniger valide und mehr überflüssige Tests durch. Sie folgen unangemessenen bzw. unvollständigen Suchstrategien und bilden nicht zielführende Suchhypothesen (Baldwin, 1978; McDonald, Waldrop & White, 1983). Duncan (1981) überprüfte Trainingsmodi zur Fehlerdiagnose und wies nach, daß Anlagenfahrer, die mit heuristischen Strategien trainiert wurden, Anlagenfahrern, denen die Physik der repräsentierten Prozesse erläutert wurde, bei der Fehlerdiagnose in neuen Situationen überlegen waren.
- Mentales Modell: Ein mentales Modell entwickelt sich durch die Interaktion des Anlagenfahrers mit dem System 'Produktionsanlage'. Die Interaktion führt zu einer internen Repräsentation seiner dynamischen und statischen Eigenschaften. Das mentale Modell bildet die Grundlage für die Steuerungs- und Interventionsleistungen des An-

lagenfahrers. Die angehenden Anlagenfahrer müssen lernen, ihr mentales Modell einer Versuchsanlage auf Angemessenheit zu überprüfen, gegebenenfalls zu korrigieren sowie schrittweise zu verfeinern.

3. *Streß und Monotonie*: Während eines Störfalls erlebt der Anlagenfahrer eine hohe Arbeitsbelastung, wenn er mit großen Informationsmengen konfrontiert und starkem Handlungsdruck bei der Fehlersuche, Fehlerdiagnose und Reparaturmaßnahmen ausgesetzt ist. Während des Überwachungsgeschehens im normalen Prozeßzustand führt dagegen eine hohe Autonomie des Steuerungssystems zu Monotonie und einer Unterforderung des Anlagenfahrers. Die angehenden Anlagenfahrer müssen lernen, im Störfall systematisch und flexibel zu handeln sowie im Normalzustand der Anlage Monotonieerleben, Vigilanzabfall bzgl. der Fehlerentdeckung und Konzentrationseinbußen bzgl. der Fehlerbehandlung vorzubeugen.
4. *Sicherheit in der Prozeßführung*: Die angehenden Anlagenfahrer müssen lernen, sicherheitsrelevante Merkmale des Betriebes der Versuchsanlagen (Tank- und Kesselfüllstände, Pumpvorgänge, Ventilstände, Temperaturverläufe) zutreffend in ihrem mentalen Modell abzubilden, die Produktionsprozesse langfristig und in ihren Abhängigkeiten zu planen sowie rechtzeitig und angemessen vor Erreichen kritischer Zustände zu intervenieren. Weber (1984) berichtet von einer EDV-gestützten Leitstandsimulation zum Training von Störfällen. Eine Untersuchungsgruppe, die während eines achtstündigen Trainings diverse Störfälle zu bearbeiten hatte, handelte bei der Behebung eines massiven Störfalls zielgerichteter und deutlich erfolgreicher als eine Vergleichsgruppe, die anfänglich nur zwei Störfälle zu bearbeiten hatte.

Zur Unterstützung der genannten Lernvorgänge lassen sich Aus- bzw. Weiterbildungseinheiten einsetzen, in denen über den Anlagenaufbau, Produktionsplanung, Steuerungsaufgaben, Steuerungsstrategien, Konzentrationsfehler und -hilfen, Fehler- bzw. Störungsdiagnosen und Möglichkeiten der Fehler- bzw. Störungsbehebung referiert wird. Selbstorganisiertes Lernen, der Einsatz von Computersimulationen und die Betreuung von Versuchsanlagen runden diese Aus- bzw. Weiterbildungseinheiten ab und tragen zur Förderung der Handlungskompetenz der angehenden Anlagenfahrer bei.

Damit wird die Aus- bzw. Weiterbildung um Inhalte angereichert, die auf Methodenkompetenz, Verhaltensflexibilität und Eigenverantwortung ausgerichtet sind. Methodenkompetenz bedeutet selbständiges und reflektiertes Planen, Steuern, Diagnostizieren (Erfassen von Zusammenhängen, Denken in Abhängigkeiten, Eingrenzen von Fehlern/Störungen) und Problemlösen. Eigenverantwortung wird dadurch gefördert, daß die angehenden Anlagenfahrer in einen Entscheidungs- und Verantwortungsprozeß integriert werden und dabei die Konsequenzen des eigenen Handelns erleben. Sie lernen dabei, daß ein reibungsloser, kontinuierlicher Produktionsablauf Voraussetzung für Produktqualität und wirtschaftliches Produzieren ist.

1.4 Steuerungsleistungen basieren auf Selbstvertrauen

Wie ist es zu erklären, daß bei vergleichbaren beruflichen Anforderungen verschiedene Menschen sich in unterschiedlichem Maße herausgefordert, beansprucht oder überfordert fühlen? Gibt es individuelle Ressourcen, die einen Einfluß darauf haben, inwieweit im Grunde bewältigbare berufliche Anforderungen als herausfordernd oder überfordernd erlebt werden? Vergleicht man zwei gleichermaßen qualifizierte und erfahrene Anlagenfahrer, die ein bestimmtes Steuerungsproblem zu lösen haben, dann wird derjenige Anlagenfahrer die Problembeseitigung als streßreicher bzw. belastender erleben, der weniger Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit mitbringt, dessen *subjektive* Ressourcen den kritischen Anforderungen also weniger gut standhalten.

Bandura (1986) definiert Selbstvertrauen bzw. Selbstwirksamkeit als „people’s judgments of their capabilities to organize and execute courses of action required to attain designated types of performances. It is concerned not with the skills one has but with judgments of what one can do with whatever skills one possesses“ (S. 391). Die subjektiven Beurteilungen eigenen Selbstvertrauens lassen sich unterscheiden hinsichtlich ihres Niveaus (Bezugnahme auf einfach oder komplex strukturierte Problemstellungen), ihrer Allgemeinheit bzw. Allgemeingültigkeit (situationsspezifische oder generalisierte Erwartungen) und ihrer Stärke bzw. Stabilität (Vermutungen oder Gewißheiten). Darüber hinaus führt Bandura (1986) eine Unterscheidung zwischen Kompetenzerwartung und Erfolgserwartung ein. Danach sind Kompetenzerwartungen Metakognitionen über die generelle *Anwendbarkeit* der eigenen Handlungspläne bzw. Handlungsregeln. Erfolgserwartungen sind dagegen Metakognitionen über die generelle *Angemessenheit* der eigenen Handlungspläne bzw. Handlungsregeln. Damit verknüpfen Kompetenzerwartungen Ziele und Handlungen, während Erfolgserwartungen eine Verbindung zwischen Handlungen und Ergebnissen herstellen.

Oft besteht ein nur mäßiger Zusammenhang zwischen objektiven und subjektiven persönlichen Ressourcen. Für den Leistungsbereich liegen zwei Meta-Analysen vor, die den Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung eigener Fähigkeiten und deren tatsächlicher Ausprägung betreffen (Hansford & Hattie, 1982; Mabe & West, 1982). Der Zusammenhang ist umso höher, je spezifischer der entsprechende Fähigkeitsbereich formuliert wird. Er ist ebenfalls stärker, wenn der Problemlöser erwartet, daß seine Leistungseinschätzung überprüft wird, wenn soziale Vergleiche angezeigt werden, wenn der Problemlöser Vorerfahrungen mit diesen Leistungen hat und wenn die Anonymität der Einschätzung gewährleistet ist. Die berichtete mittlere Korrelation liegt allerdings in beiden Meta-Analysen nur bei $r = .21$ (128 Studien mit 1136 Korrelationen) bzw. $r = .29$ (Basis: 55 Untersuchungen mit 103 Korrelationen).

In einer Untersuchungsreihe von Bandura, Wood und Mitarbeitern wurden dagegen deutlich stärkere Zusammenhänge zwischen Selbstvertrauen (self-efficacy) und Leistung ermittelt. Führungskräfte bzw. Studenten erhielten die Aufgabe, eine simulierte Möbelmanufaktur zu managen. Nach jedem Bearbeitungsdurchgang erhielten die Teilnehmer Rückmeldung darüber, wie gut welcher der simulierten Produktionsmitarbeiter seine Aufgaben erfüllt hat, wie hoch die Leistung der Produktionsabteilung in Relation zu einem vorgegebenen

nen Leistungsziel ausfiel und wie sich die relative Gesamtleistung von Durchgang zu Durchgang entwickelt hat. Dabei zeigen sich Zusammenhänge zwischen dem Vertrauen der Teilnehmer in ihre Managementfähigkeiten und ihrer tatsächlichen Managementleistung in Höhe von $r = .48$ (Bandura & Jourden, 1991) bis $r = .85$ (Wood & Bandura, 1989) (jeweils im dritten Durchgangsblock).

1.5 Erwerb von Selbstvertrauen

Das Konzept des Selbstvertrauens (self-efficacy) basiert auf der sozial-kognitiven Lerntheorie von Bandura (1977). Kognitive Theorien erklären menschliches Verhalten in Begriffen der Informationsverarbeitung. Soziale Informationsverarbeitung basiert auf direkten, stellvertretenden oder symbolischen Erfahrungen. „Die erstmalige Lösung eines schwierigen Problems stellt eine Kontingenz zwischen dem eigenen Verhalten und der Problembewältigung dar. Darauf gründet sich eine entsprechende positive Kompetenzerwartung für zukünftige Probleme gleicher Art. Die Erfahrung von Kontrollierbarkeit stärkt den Selbstwert und die Motivation, solche Situationen wieder aufzusuchen, da sie beherrschbar sind. Im Laufe der individuellen Lerngeschichte erhalten subjektive Kontrollüberzeugungen den Charakter von Persönlichkeitsmerkmalen, deren Ausprägung und Stabilität für verschiedene Anforderungssituationen unterschiedlich ausfallen kann“ (Jerusalem, 1990, S. 32).

Bandura nennt vier Informationsquellen, die als unterschiedlich überzeugend und somit als unterschiedlich einflußreich gelten. Eigene Handlungserfahrungen sind am überzeugendsten - der Erfolg bzw. Mißerfolg wird „am eigenen Leib“ erlebt, die situativen Anforderungen, die eigenen Bewältigungsversuche, die Resultate sowie die persönlichen und sozialen Folgen vermitteln sich unmittelbar. Das Ausmaß der Beeinflussung durch die eigenen Handlungserfahrungen ist jedoch abhängig von der Stärke des bereits bestehenden allgemeinen Selbstvertrauens. Die zweitwichtigste Informationsquelle sind stellvertretende Erfahrungen einer Person, die modellhaften Charakter haben, z.B. Berufskollegen und Ausbilder. Je größer die Ähnlichkeit zwischen Modell und Beobachter, desto überzeugender wirken die Erfahrungen der Vergleichsperson. Stellvertretende Erfahrungen sind jedoch anfälliger gegen „Entlernen“ als eigene Handlungserfahrungen. Noch schwächer sind Erwartungen aufgrund sprachlich vermittelter Überzeugungen im Sinne eigener Vermutungen oder Meinungsäußerungen anderer Personen. Und schließlich werden Selbstwirksamkeitserwartungen noch durch die wahrgenommene körperliche Anspannung bzw. Erregung angesichts einer den Selbstwert bedrohenden Situation beeinflusst. Dabei wird Erregung als persönliche Vulnerabilität bzw. eingeschränkte Bewältigungskompetenz interpretiert.

Die erfolgreiche Bewältigung einer kritischen Problemsituation zieht jedoch nicht automatisch eine Stärkung des Selbstvertrauens nach sich. Relevante Rahmenbedingungen sind unter anderem die subjektiv wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit, die investierte Anstrengung, die Inanspruchnahme fremder Hilfe sowie zeitliche Aspekte der Steuerungslösung im Sinne einer Konsistenz des Erfolgs. Ein Mißerfolg bei einer schwierigen Steuerungsaufgabe wird das Bild von der eigenen Kompetenz weniger stören als ein Versagen

bei einer leichten Regelungsaufgabe. „Der effiziente Umgang mit Anforderungen, die auch viele andere Menschen problemlos bewältigen, ist für die Selbstwirksamkeit von geringerer Bedeutung als eine individuelle Leistung, die im sozialen Kontext herausragt und Seltenheitswert besitzt“ (Jerusalem, 1990, S. 34).

Erfolge, für die ein Problemlöser seine eigenen Fähigkeiten verantwortlich macht, wirken sich positiv auf sein Selbstvertrauen aus. Mißerfolge, als deren Ursache persönliche Unfähigkeit angesehen wird, beeinträchtigen dagegen das Selbstvertrauen. Selbstvertrauen und Ursachenwahrnehmung beeinflussen sich also wechselseitig, indem Rückkopplungsprozesse stattfinden. Ein hohes Selbstvertrauen stärkt die subjektive Überzeugung, daß die eigenen Fähigkeiten für persönliche Erfolge ausschlaggebend sind. Bei geringem Selbstvertrauen werden dagegen persönliche Mißerfolge als Konsequenz der eigenen Unfähigkeit aufgefaßt. Meyer (1983, 1984) hat darauf hingewiesen, daß sich ein geringes Selbstvertrauen über solche Wechselwirkungsprozesse stabilisieren kann. Problemlöser mit geringem Selbstvertrauen neigen dazu, Mißerfolge als „Beweise“ eigener Unfähigkeit zu interpretieren, wodurch rückwirkend die Überzeugung, nur wenige oder sogar keine Fähigkeiten zu besitzen, bestätigt und verfestigt werden. „Dieser Teufelskreis wird zusätzlich dadurch stabilisiert, daß die Person die Konfrontation mit Problemsituationen vermeidet und aufgrund defizitärer Erwartungen schnell aufgibt. Auf Dauer sind dann nicht nur die Kompetenzüberzeugungen beeinträchtigt, sondern auch die tatsächlichen Kompetenzen, da Bewältigungshandlungen nicht geübt und kognitiv abgespeichert werden können“ (Jerusalem, 1990, S. 35). Die Selbsteinschätzung eigener Fähigkeiten wirkt sich auf das Verhalten aus, indem sie die Auswahl bzw. Vermeidung von Situationen, das Ausmaß der investierten Anstrengung, die Ausdauer und den Strategieeinsatz bei der Bewältigung kritischer Situationen beeinflusst: Je höher das Selbstvertrauen, um so mehr strengt sich der Problemlöser bei unerwarteten Schwierigkeiten an bzw. desto später gibt er bei Rückschlägen auf, weil er an seine eigenen Fähigkeiten glaubt und von sich selbst eine Lösung des Problems erwartet.

Auch sind Selbstvertrauen und Manifestationen von Streß eng miteinander verknüpft: Mit abnehmendem Selbstvertrauen „kommt es durchgängig zu vermehrtem negativem Streßerleben. Kognitive Einschätzungen und die Wahrnehmung emotionaler Erregung beeinflussen sich dabei gegenseitig. Einerseits dienen gefühlsmäßige Erregungen als Informationsquelle für eine potentielle Bedrohung und möglicherweise eingeschränkte Handlungsmöglichkeiten. Andererseits wird bei hoher Zuversicht in die eigenen Leistungsmöglichkeiten die Wahrscheinlichkeit des Auftretens emotionaler Erregung verringert, da wenig Anlaß zu Besorgtheit und Aufgeregtheit besteht“ (Jerusalem, 1990, S. 38).

Übrigens legen Untersuchungen zu Veränderungen des Selbstvertrauens im Zuge eines objektiven Kompetenzgewinns die Einschätzung nahe, daß das Selbstvertrauen schneller wächst als die diesbezügliche tatsächliche Fähigkeit ('overconfidence bias'). Einen Forschungsüberblick geben Lichtenstein, Fischhoff und Phillips (1982) sowie Yates (1990).

2 Untersuchungsmethode

Wer erfahren will, wie Anlagenfahrer und Instandhalter mit komplexen Problemstellungen umgehen, hat mehrere Möglichkeiten des Vorgehens: Er kann das Verhalten der Anlagenfahrer und Instandhalter bei der Bearbeitung von Störfällen genau registrieren und die identifizierten Handlungsstrategien im Hinblick auf Erfolg und Mißerfolg differenziert untersuchen. Anlässlich von Unfällen, bei denen menschliches Versagen vermutet wird, werden solche Einzelfallbetrachtungen zunehmend häufiger durchgeführt (z.B. Helmreich, 1992; Perrow, 1984; Reason, 1992). Im übrigen wählen Industriemeister dieses Vorgehen, wenn sie sich über die Kompetenzen neuer Mitarbeiter Klarheit verschaffen wollen.

Sollen dagegen allgemeingültige Aussagen über menschliches Verhalten in komplexen Situationen gewonnen werden, ist es erforderlich, die Leistungen relevanter Personengruppen in einer wiederholbaren und kontrollierbaren Umgebung zu untersuchen. Hierzu bietet sich die Simulation betrieblicher Arbeitsanforderungen an. Sie ist aber auch dann zu bevorzugen, wenn Arbeitsstrategien und Arbeitsabläufe untersucht und trainiert werden sollen, ohne gesundheitliche bzw. finanzielle Schäden bei Fehlhandlungen zu riskieren.

Aus pädagogischer Sicht werden Simulationen eingesetzt, um taktische Fähigkeiten und Fertigkeiten zu vermitteln („epistemische Kompetenz“; Dörner & Schaub, 1992). Darüber hinaus sind Computersimulationen für die Vermittlung von strategischem Wissen und allgemeiner „heuristischer“ Handlungskompetenz einsetzbar. Für das Training von Arbeitsstrategien ist es allerdings nicht erforderlich, durch sog. „high fidelity-Simulationen“ eine exakte Kopie der tatsächlichen Realität zu gestalten. Das Ziel besteht vielmehr darin, die wesentlichen Arbeitsanforderungen in der Simulation aufzugreifen und diese in realistische Arbeitsszenarien einzukleiden.

Computersimulationen haben drei Stärken gegenüber klassischen Vorgehensweisen:

- „Sie bieten zum einen eine Form entdeckenden Lernens, in dem spielerisch Zusammenhänge verdeutlicht werden;
- weiterhin kann der „Spieler“ Konsequenzen eigener Handlungen in Form von Neben- und Langzeitwirkungen erkennen, die im alltäglichen Handeln entweder übersehen oder nicht dem eigenen Handeln zugeschrieben werden.
- Und schließlich ermöglicht das Agieren in solchen Computersimulationen, daß der Einzelne seine individuellen Strategien beim Umgang mit Problemen kennenlernt, ebenso wie seine Reaktionen auf Unbestimmtheit, auf Erfolg und Mißerfolg - und zusätzlich Strategien für den Umgang mit neuen Situationen erwirbt“ (Badke-Schaub & Tisdale, 1995, S. 53).

Ein weiterer Vorteil auf Seiten der Computersimulation liegt in der Kluft zwischen Wissen und Handeln begründet. Jeder Anlagenfahrer und Instandhalter weiß um die Bedeutung der Qualität seiner Produkte und Dienstleistungen. Das Wissen um die Bedeutung der Qualität im Arbeitsleben wirkt sich jedoch nicht in jedem Fall auf das Handeln aus. Unter Zeitdruck neigen manche Anlagenfahrer und Instandhalter dazu, mit geringer Qualität zu arbeiten. Zwei Erklärungen können angeführt werden; zum einen haben sie angesichts konkurrieren-

der Ziele, die sich z.B. aus Termindruck ergeben, das Qualitätsziel außer acht gelassen, zum anderen fehlen ihnen Erfahrungen zu den langfristigen Konsequenzen schlechter Arbeit (z.B. verlorene Kunden; Anlagenschäden; Betriebsunfälle). Diese Differenz zwischen Einstellung und Verhalten kann nach Einschätzung von Ernst & Spada (1993) durch eine spielerische Auseinandersetzung mit simulierten Szenarien zumindest teilweise überwunden werden.

Die Einsatzmöglichkeiten von Computersimulationen haben dennoch ihre Grenzen. Die mit Hilfe von Simulationen vermittelbaren Qualifikationen stellen nur einen Teil der erforderlichen Qualifikationen von Anlagenfahrern und Instandhaltern dar (siehe Tabelle 1). Dennoch liefern Simulationen einen Einstieg in die Entwicklung von Steuerungskompetenz und bieten eine praktische Grundqualifizierung in „systematischem Denken“.

2.1 Charakteristika der eingesetzten Simulation

In der vorliegenden Untersuchung wird die Computersimulation einer verfahrenstechnischen Anlage eingesetzt. Mit Hilfe dieser Simulation lassen sich Regelungsanforderungen, die Diagnose kritischer Systemzustände und die Planung des Produktionsablaufs für bestimmte Zeitabschnitte in Abhängigkeit von nicht vorhersagbaren Bedingungen in bestimmten Szenarien systematisch variieren. Während der Bearbeitung der Simulation wird ein vollständiges Verhaltensprotokoll der Auszubildenden angefertigt. Auch der Abruf von Informationen über Tankfüllstände, den Kesselfüllstand, die Kesseltemperatur, den Laborbericht zur Produktqualität usw. wird zeitlich exakt festgehalten. Die Schlüsselmerkmale der Computersimulation sind:

- *Eigendynamik* des Systems; die Berechnung des simulierten Produktionsprozesses erfolgt kontinuierlich und in *Echtzeit*; der Produktionsprozeß schreitet also fort, auch wenn die Auszubildenden nicht in den Ablauf eingreifen.
- *Komplexität* der Anforderungssituation; Eingriffe sind zur Korrektur kritischer Systemzustände sowie zur Anpassung des Produktionsablaufs an die jeweilige Auftragslage notwendig; Eingriffe können über acht Stellglieder vorgenommen werden; acht Anzeigen bieten den Auszubildenden auf Anforderung die aktuellen Werte der entsprechenden Zustandsvariablen.
- Partielle *Intransparenz* der Systemrepräsentation - 34 Zustandsvariablen bleiben den Auszubildenden verborgen.
- *Handsteuerung* der Anlage - im Gegensatz zu einer teil- bzw. vollautomatischen Anlagensteuerung haben die Auszubildenden bei der vorliegenden Simulation die Aufgabe, alle Ventile und Pumpen, die Mischbatterie sowie die Heizung des Reaktors per Hand zu regulieren.
- Wie in einer realen chemischen Anlage gilt das System in den einzelnen Operationsmodi (unterhalb, innerhalb und oberhalb des Bereiches der Reaktionstemperatur) als *stabil*, steuerbar und beobachtbar; eine Ausnahme bilden die Übergangsstellen zwischen den Operationsmodi und bei Verpuffungen (Unbehauen, 1980).

- *Polytelie* - neben der Kesseltemperatur und der Qualität des Endproduktes sind Produktionsmengen und Wartezeiten für Lieferanten und Abholer zu optimieren.
- Abgabe von *Systeminformation* an den Auszubildenden nur auf Anfrage (Ausnahme: Abschaltung der Heizung des Reaktors bei Überhitzung); dadurch kann die kognitive (und nicht nur die motorische) Steuerung der Produktionsanlage abgebildet und zu den Steuerungsleistungen in Beziehung gesetzt werden; ein Meßwert bzw. Regelwert bleibt solange auf dem Monitor eingeblendet, bis er durch eine neue Anfrage aktualisiert wird; eine Zeitangabe informiert den Auszubildenden darüber, zu welchem Zeitpunkt der Meßwert bzw. Regelwert das letzte Mal abgefragt wurde.
- Abgabe von *Peripherie-Information* (Lieferant bzw. Abholer steht bereit bzw. verspätet sich um x Minuten) entsprechend dem Skript für das gewählte Arbeitsszenario, d.h. ohne Informationsnachfrage des Auszubildenden.
- Menügestützte *Steuerung* der Anlage über die Cursortasten der PC-Tastatur; Baugruppen der Anlage, Anzeigen und Regler sind in Baumstruktur angeordnet; durch Betätigung der Richtungstasten werden die einzelnen Menüpunkte ausgewählt; vertikale Bewegungen sind nur innerhalb eines Submenüs möglich; Regelwerte werden „Pfeil aufwärts“-Eingaben erhöht und durch „Pfeil abwärts“-Eingaben reduziert.
- Freie *Programmierbarkeit* der Systemeigenschaften der Computersimulation im Sinne von Arbeitsszenarien.
- Nach jedem Steuerungsdurchgang liegt ein vollständiges *Verhaltensprotokoll* vor, das mit dem Simulationsprotokoll abgeglichen werden kann; der gemeinsame Abgleich aller Ergebnis- und Steuerdateien eines Durchgangs erfolgt automatisiert durch ein eigenes Programmmodul.
- Nach jedem Bearbeitungsdurchgang erhält der Auszubildende eine *Rückmeldung* über die von ihm erbrachten Steuerungsleistungen. Dazu zählen u.a. Grafiken zur Genauigkeit der Temperatursteuerung in Abhängigkeit von Füllstand und Volumenströmen im Reaktor, Angaben zur Produktqualität sowie Angaben zur ordnungsgemäßen Abgabe der angeforderten Produktmengen an die aufgetretenen Kunden. Der Auszubildende erhält aber auch Informationen darüber, ob er die Meßwertanzeigen in angemessenen Zeitabständen konsultiert und ob er Meßwertanzeigen falsch bedient hat (z.B. Regelungsversuche an Meßwertanzeigen). Insgesamt dient die Leistungsrückmeldung dem systematischem Aufbau von Steuerungswissen.

2.2 Aufgabenstellung

Zweiunddreißig angehende Chemikanten (Anlagenfahrer), acht angehende Industriemechaniker (Instandhalter) und acht angehende Prozeßelektroniker (Instandhalter) erhalten im Einzelversuch die Aufgabe,

- wiederholt zwei Rohprodukte (A, B) von den Tankwagen eines Lieferanten in die Rohprodukt tanks A und B zu pumpen,
- die Rohprodukte in einem definierten Mischungsverhältnis in einen Reaktor zu leiten und dort zu erhitzen,

- Tank- und Reaktorüberflüsse sowie Tank- und Reaktorleerläufe zu vermeiden (Gewährleistung der Arbeitssicherheit),
- den Reaktor auf Reaktionstemperatur zu bringen und zu halten,
- das endotherm reagierende Endprodukt (C) in einem Tank zu sammeln und auf seine Reinheit zu prüfen,
- das Endprodukt bei guter Qualität an die auftretenden Nachfrager abzugeben und
- bei Minderqualität zumindest einen Teil des verunreinigten Endproduktes in die Reststoffverwertung zu geben, um den Qualitätsmangel in den nachfolgenden Minuten kompensieren zu können.
- Darüber hinaus haben die Auszubildenden die Aufgabe, die Produktionsgeschwindigkeit an jeweilige Liefer- und Nachfrageschwankungen anzupassen.
- Auf verspätete Lieferanten bzw. Abholer können die Auszubildenden nur mit Anpassungen reagieren.

Die Aufgabenstellung ist als Steuerungstätigkeit zu klassifizieren. Sie verlangt ein selbsttätiges Anfahren der Anlage sowie unmittelbare steuernde bzw. regelnde Eingriffe in den Produktionsprozeß. In Abgrenzung zu Steuerungsaufgaben sind Überwachungsaufgaben solche, bei denen das Funktionieren einer teil- oder vollautomatischen Steuerung fortlaufend überprüft wird (um gegebenenfalls steuernd einzugreifen), und Kontrollaufgaben solche, bei denen der Mitarbeiter damit beschäftigt ist, die Qualität oder Quantität von Produkten anhand vorgegebener Normen zu beurteilen, Einstufungen in Güteklassen vorzunehmen und minderwertige Produkte aus der Produktion auszusondern.

2.3 Regelungsanforderungen

Bei optimaler Mischung und Einhaltung eines definierten Temperaturbereichs reagieren A und B vollständig miteinander zu dem Produkt C. Das Endprodukt C sowie die unter Umständen nicht vollständig umgesetzten Mengen der Rohprodukte A und B werden im Endprodukttank C gesammelt, aus dem Stichproben zur Qualitätskontrolle entnommen werden können. Die zu regelnden Ausgangsgrößen sind das Mischungsverhältnis, die Kesseltemperatur und die Produktqualität. Die zugeordneten Regler sind das Mischventil, die Kessel-Einlaß- und Auslaßventile und der Regler für die Heizleistung. Die Schwierigkeit der Regelanforderungen kann über die Vorgabe der Abstufungen der Regler (Anzahl, Schrittgröße) variiert werden: Bei hoher Anzahl der Abstufungen und geringer Schrittgröße kann die Anlage leicht über längere Zeitstrecken im Zustand des Fließgleichgewichts stabilisiert werden, während im umgekehrten Fall kurzzyklische Korrekturingriffe zwingend notwendig sind, und die Einhaltung der Sollwerte sehr schwierig wird. Die Berechnung des simulierten Produktionsprozesses geschieht kontinuierlich, auch wenn die Auszubildenden nicht in den Ablauf eingreifen.

Die Regelungstätigkeit des Auszubildenden besteht jedoch nur sekundär darin, die skizzierten Mikro-Regelungen vorzunehmen. Vielmehr sind die Zielvorgaben, (a) ein qualitätsgerechtes Produkt herzustellen, (b) dabei die Rohprodukte effizient einzusetzen und (c) die

auftretenden Kunden zügig mit dem angeforderten Endprodukt zu versorgen, die primär zu regelnden Leistungsgrößen. Die im Laufe des Produktionsprozesses erforderlichen Mikro-Regelungen sind lediglich Mittel zum Zweck.

2.4 Diagnose kritischer Systemzustände

Überwachungs-, Kontroll- und Steuerungsleistungen geben in der Regel mit einer Dauerbeanspruchung der Aufmerksamkeit einher. Der Normalfall ist der störungsfreie Betrieb. Dieser ist durch häufige geringfügige Zustandsveränderungen gekennzeichnet. Abweichungen vom Normalbetrieb (kritische Entwicklungstendenzen oder Zustände) sind seltene Ereignisse, die jedoch schnell identifiziert und angemessen beantwortet werden müssen. Ergebnisse der Vigilanzforschung (Craig, 1984) belegen, daß die menschliche Leistung bei Überwachungstätigkeiten insgesamt suboptimal ist und relativ rasch nach Aufnahme der Tätigkeit noch weiter absinkt. Günstiger verläuft die Aufmerksamkeit, wenn häufig Entscheidungen zu treffen sind, komplexe Entscheidungen vor variierendem Bedingungs-hintergrund zu treffen sind und die Konsequenzen von Fehlentscheidungen gravierend sind (vgl. Nachreiner, 1977).

Fehler, die bei der Anlagensteuerung auftreten können und nicht zu einer Beschädigung von Bauteilen führen, werden nicht durch Warnungen signalisiert. Die Auszubildenden müssen solche Fehler (z.B. Tank- und Kesselleerläufe, Tank- und Kesselüberläufe) selbst durch aktives Abfragen der Anzeigen entdecken. Notabschaltungen bei Überhitzung des Kessels werden zwar mitgeteilt. Die genaue Analyse des Systemzustandes ist jedoch nur durch die Inspektion relevanter Anzeigen möglich (z.B. ob die Überhitzung des Kessels mit einer Verpuffung des Kesselinhalts verbunden war). Eine systematische Variation der Auftretenswahrscheinlichkeit kritischer Systemzustände kann durch die Wahl der technischen Merkmale der Simulation erreicht werden (z.B. Fördermenge der Pumpen pro Zeitintervall in Relation zum Tankvolumen).

2.5 Arbeitsszenarien

Das Hauptmodul der Computersimulation wurde als ein universell verwendbares Darbietungsprogramm konzipiert, bei dem lediglich das Fließbild der Anlage und der Typ der Reaktion (endotherme Reaktion am Kesselausgang) festliegen.

Alle Systemeigenschaften der Computersimulation (z.B. Tank- und Kesselgrößen, Zeitpunkte der Rohproduktlieferungen und Endproduktabholungen, Mischungsverhältnis der Rohprodukte, Reaktionstemperatur) sind frei programmierbar und werden in Form einer Steuerliste an das Hauptmodul der Simulation übergeben. Die Steuerliste umfaßt insgesamt 73 Textkonstanten, 20 Konstanten für die technischen Parameter der Anlage, 16 Reaktionskonstanten und 28 Initialwerte für den Produktionsprozeß. Dadurch ist es leicht möglich, die Herstellung verschiedener Endprodukte in aufeinanderfolgenden Untersuchungsdurchgängen zu simulieren und dabei Transfereffekte des zuvor Gelernten zu untersuchen. Eben-

so ist es möglich, die Übernahme eines bereits laufenden Produktionsprozesses zu Schichtbeginn zu simulieren.

Alle Informationen, welche die Auftragslage, also das Anliefern der Rohprodukte und das Abholen der Endprodukte betreffen, werden den Auszubildenden in einem Nachrichtenfenster mitgeteilt. Dazu wird vor der Darbietung der Simulation ein Skript erstellt, das während der Simulation vom Hauptmodul sequentiell abgearbeitet wird. Systematische Variationen der Planungserfordernisse für die Auszubildenden können über die Skriptgestaltung in nahezu beliebiger Weise erreicht werden.

Für die vorliegende Untersuchung wurden drei Szenarien mit einer Bearbeitungszeit von jeweils 18 Minuten programmiert. Diese wurden zu drei verschiedenen Bearbeitungszeitpunkten (nach 24, 30 und 36 Ausbildungsmonaten) in einer jeweils anderen Reihenfolge vorgegeben. Szenario A ist ein Normalszenario, bei dem Rohproduktlieferungen und Endproduktabholungen zeitlich so aufeinander abgestimmt sind, daß kontinuierlich mit der maximalen Anlagenleistung gearbeitet werden kann. Im Szenario B verspäten sich die Rohproduktlieferungen, so daß der Auszubildende die Durchflußgeschwindigkeiten in der Anlage während der laufenden Bearbeitung an die für die nächsten Minuten verfügbaren (geringeren) Rohproduktmengen anpassen muß; dabei ist ein Leerlaufen der Rohprodukt tanks und ein Unter- bzw. Überschreiten der Reaktionstemperatur zu vermeiden. Im Szenario C verspäten sich die Abholer des Endproduktes, so daß der Auszubildende sowohl den Endprodukt tank als auch den Reaktor zur Bevorratung nutzen muß; dabei ist ein Überlaufen des Endprodukt tanks und ein Unter- bzw. Überschreiten der Reaktionstemperatur zu vermeiden.

Den drei Szenarien vorgeschaltet ist ein Probedurchgang von fünf Minuten, in dem die Auszubildenden die Komponenten der Anlage, den Umgang mit Anzeigen und Reglern sowie den Produktionsvorgang kennenlernen. Sie werden dabei von einem virtuellen Tutor begleitet.

Die angehenden Anlagenfahrer und Instandhalter werden im Ausbildungszentrum und Betrieb eines großen Chemieunternehmens ausgebildet. Dort haben die Auszubildenden die Simulation bearbeitet. Die Hälfte der in der vorliegenden Studie untersuchten Auszubildenden (sechzehn Chemikanten, vier Industriemechaniker und vier Prozeßleitelektroniker) nimmt an einem Modellversuch zur berufsfeldübergreifenden und fallbezogenen Ausbildung teil, die andere Hälfte der untersuchten Auszubildenden dient in dem Modellversuch als Vergleichsgruppe (siehe Werthebach, Grote & Schmidkunz, 1996, 1998a, 1998b zu den eingesetzten Methoden und ersten Ergebnissen des Modellversuchs).

2.6 Leistungsparameter

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden unter anderem folgende Leistungsparameter untersucht:

- Die Füllstände der Tanks und des Reaktors,

- die Wartezeiten der Lieferanten und Abholer,
- die Produktqualität,
- die Häufigkeit und Menge hochwertiger Produktlieferungen,
- die Häufigkeit und Menge minderwertiger Produktlieferungen,
- der Grad der Rohstoffnutzung,
- die Menge, die der Reststoffverwertung zugeführt wurde (incl. der Mengen aus Tank- bzw. Kesselüberläufen),
- der Energieverbrauch der Heizung des Reaktors,
- die Restmenge im Reaktor nach Beendigung des Durchgangs
- die Qualität der Restmenge im Endprodukttank (Liefertank) nach Beendigung des Arbeitsdurchgangs
- die Anzahl kritischer Ereignisse (z.B. Leerläufe bzw. Überläufe der Tanks und des Reaktors, Abkühlungen bzw. Überheizungen des Reaktors, Verpuffungen im Reaktor).

2.7 Wissensanforderungen

Die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung zeigt sich vor allem in der Schnelligkeit, mit der auf aufgetretene Störungen reagiert wird.

Das Ausmaß des prozeduralen Wissens ist weitgehend einheitlich aufgrund des eindeutigen Fließbildes der Anlage am Monitor der Steuerungseinheit des Auszubildenden. Das Fließbild suggeriert ein Abarbeiten der Teilaufgaben von oben nach unten. Dennoch gibt es Auszubildende, die die Mischbatterie einstellen, den Kesseleingang öffnen und den Heizvorgang einleiten, ohne die Rohprodukt tanks gefüllt zu haben. Es dauert dann einige Minuten, bis diese Auszubildende - trotz eines menügeführten Probedurchgangs - erkennen, daß sie zu Beginn der Anlagenbedienung etwas Wesentliches vergessen haben.

Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zeigt sich in der gleichzeitigen Berücksichtigung und erfolgreichen Bearbeitung mehrerer Aufgabenstellungen (Wartezeiten der Lieferanten und Kunden minimieren; hohe Produktqualität erzielen (mind. 90%); Ausschußmenge minimieren; Grad der Rohstoffnutzung maximieren; Kunden ausschließlich mit hochwertigem Endprodukt beliefern; Arbeitssicherheit beachten, d.h. Verpuffungen, Leerläufen und Überläufen vorbeugen). Eine geringe Kapazität des Arbeitsgedächtnisses erschwert die angemessene Repräsentation der multiplen Arbeitsanforderungen und der Verknüpftheit der zu berücksichtigenden Variablen. Bei geringer Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hinterläßt das Verhalten der Auszubildenden einen explorativen, unsystematischen oder sogar chaotischen Eindruck.

Hinsichtlich der Bauteile der Anlage ist das Ausmaß des deklarativen Wissens der Auszubildenden einheitlich - alle Bauteile der Anlage sind eindeutig abgebildet. Hinsichtlich der Verknüpfung der zu beachtenden Variablen (Einfluß der Heizleistung auf die Kesseltemperatur in Abhängigkeit von Kesselfüllstand und Kesseldurchfluß) ist dagegen Fachwissen aus der Ausbildung und Vorstellungsfähigkeit erforderlich. Darum sind interindividuelle

Unterschiede in der Angemessenheit der subjektiven Repräsentation der Verknüpftheit der Variablen zu erwarten. Mit zunehmender Explorations- und Steuerungserfahrung nimmt die Expertise der Auszubildenden zu. Es ist anzunehmen, daß die Auszubildenden in den ersten Durchgängen mit einem stark vereinfachten subjektiven Problemraum beginnen und diesen zunehmend verfeinern bzw. vertiefen. Newell (1989) spricht von *progressive deepening*. Eine Vorbedingung des *progressive deepening* ist der eingeschränkte Arbeitsspeicher des Anlagenfahrers.

2.8 Häufige Fehler bei der Steuerung der Simulation

Ein häufiger Fehler bei der Steuerung der Simulation besteht darin, daß der Verlauf der Reaktortemperatur in zu großen Abständen kontrolliert wird. Dadurch wird einer Unter- bzw. Überschreitung der Reaktionstemperatur nicht hinreichend vorgebeugt. Ein zweiter Fehler besteht darin, daß der Reaktor beheizt wird, ohne daß sich eine hinreichende Menge der Rohprodukte im Reaktor befinden. Bei hoher Heizleistung kommt es dann zu einer Verpuffung des Rohmaterials. Ein dritter, ebenfalls häufiger Fehler besteht darin, daß das Ventil für das Leitungsstück vom Reaktor zum Endprodukt- bzw. Liefertank geöffnet wird, obwohl die Reaktionstemperatur im Reaktor nicht eingehalten wird. Ein vierter Fehler besteht darin, daß Kunden mit minderwertigem Endprodukt beliefert werden.

2.9 Befragung der Auszubildenden und Ausbilder

Die Auszubildenden werden sowohl zwischen den neun Durchgängen der Bearbeitung der Steuerungsaufgabe als auch zweimal jährlich im Rahmen der Evaluation der Ausbildung in schriftlicher Form befragt. Die Befragung erstreckt sich unter anderem auf das fachliche Selbstvertrauen, die Erfolgszuversicht, die Arbeitszufriedenheit, die Rollenklarheit und den Grad der Beanspruchung der Auszubildenden im Rahmen der Ausbildung bzw. bei der Bearbeitung der Steuerungsaufgabe. Meßinstrumente, die bei der Evaluation der Ausbildung zum Einsatz kommen, sind in Werthebach, Grote & Schmidkuntz (1996) unter Angabe von Gütekriterien dokumentiert. Der Fragebogen ist dort im Anhang wiedergegeben. Die Befragung der Auszubildenden wird während des Fachunterrichts im Ausbildungszentrum (Technikum) durchgeführt. Informationen zum fachlichen und sozialen Leistungshandeln werden ebenfalls zwei mal jährlich durch Befragung der Ausbilder zeitgleich mit der Befragung der Auszubildenden gewonnen. Hinzu kommen Angaben zu den Berufsschulleistungen sowie Daten zu den Fehlzeiten der Auszubildenden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden einige Skalen aus der Evaluation der Ausbildung, aber auch einige neue Skalen bzw. Indikatoren eingesetzt. Die neuen Skalen resp. Indikatoren werden in Tabelle 5 unter Angabe von Gütekriterien vorgestellt.

3 Untersuchungsergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht

- inwieweit die erhobenen Leistungsmaße reliabel und voneinander unabhängig sind bzw. kovariieren (3.1),
- wie sich die Steuerungsleistungen der Auszubildenden über neun Versuchsdurchgänge hinweg entwickelt haben (3.2),
- inwiefern die Auszubildenden dazu neigen, die Aufgabenstellung unzulässigerweise zu vereinfachen (deklarative Vereinfachung) (3.3),
- inwieweit das Selbstvertrauen, die Erfolgserwartung und die Arbeitsmotivation der Auszubildenden mit den Steuerungsleistungen zusammenhängen (3.4) und
- inwieweit die Steuerungsleistungen der Auszubildenden mit den Leistungen der Auszubildenden in Berufsschule und Betrieb sowie mit dem logischem Denkvermögen der Auszubildenden in Zusammenhang stehen (3.5).

3.1 Merkmale der Steuerungsleistungen der Auszubildenden

Bevor wir auf die Entwicklung der Steuerungsleistungen der Auszubildenden eingehen, ist zu prüfen, inwieweit die erhobenen Leistungsmaße voneinander unabhängig sind bzw. kovariieren (siehe Tabelle 4). Steuerungsfehler lassen sich anhand der Ausschußmenge, der Notausschaltungen der Heizung, der Verpuffungen im Reaktor, der Tank- bzw. Kessel-Überläufe und der Über- bzw. Unterschreitungen der Reaktionstemperatur im Reaktor ermitteln. Dabei geben größere Ausschußmengen, Verpuffungen, fehlende Laborstichproben sowie Tank- bzw. Kesselüberläufe Hinweise auf eine deklarative Vereinfachung der Komplexität der Aufgabenstellung. Eine geringe Anzahl von Laborstichproben gibt dagegen Hinweise auf eine prozedurale Vereinfachung der Aufgabenstellung. Denk- bzw. Entscheidungsfehler kommen in einer positiven Menge minderwertiger Produktlieferungen zum Ausdruck. Im Realfall wird die Arbeitssicherheit beeinträchtigt durch Verpuffungen im Reaktor sowie bei Tank- und Reaktorüberläufen.

Eine präzise Steuerung der Temperatur im Reaktor geht mit einer langen tatsächlichen Produktionszeit einher und ist eine wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Rohstoffnutzung sowie eine hohe Produktqualität. Notausschaltungen der Heizung des Reaktors bei deutlicher Überheizung des Reaktors und Verpuffungen im Reaktor - bei deutlicher Überheizung des Reaktors und geringem Reaktorfüllstand - stellen Störungen im Produktionsablauf dar und reduzieren die tatsächliche Produktionszeit. Sie wirken sich jedoch nur dann negativ auf die Produktqualität aus, wenn der Reaktorausfluß zur selben Zeit geöffnet ist und folglich der Liefertank mit nicht reagierten Rohprodukten gefüllt wird.

Tank- bzw. Kesselüberläufe erhöhen die Ausschußmenge und wirken sich dadurch negativ auf den Grad der Rohstoffnutzung aus. Eine lange Anlaufzeit bis zum Produktionsbeginn und eine verkürzte tatsächliche Produktionszeit (z.B. aufgrund von Problemen bei der Temperatursteuerung) wirken sich ungünstig auf die Wartezeiten der Kunden aus. Neben der Gewährleistung einer hohen Produktqualität gilt es, die Arbeitssicherheit zu gewährleisten

und die Wartezeiten der Kunden zu minimieren.

Die Retest-Reliabilität der Leistungsmaße wurde anhand der Korrelation der Leistungsmaße des vierten bis sechsten Bearbeitungsdurchgangs mit den Leistungsmaßen des siebten bis neunten Durchgangs ermittelt. Die Leistungsmaße des ersten bis dritten Durchgangs wurden nicht berücksichtigt, da sich die Auszubildenden in den ersten Durchgängen erst auf die Anforderungen der Steuerungsaufgabe einstellen müssen und eine unterschiedliche Lerngeschwindigkeit haben. Die Befunde zur Retest-Reliabilität zeigen, daß Auszubildende, die zum zweiten Darbietungszeitpunkt vergleichsweise hohe (niedrige) Leistungen erbringen, auch zum dritten Darbietungszeitpunkt vergleichsweise hohe (niedrige) Leistungen zeigen. Sehr stabil sind die Menge hochwertiger Produktlieferungen, die tatsächliche Produktionszeit, der Grad der Rohstoffnutzung, die Häufigkeit von Verpuffungen im Reaktor, die Anzahl Laborstichproben und die Dauer von Temperaturüber- bzw. -unterschreitungen im Reaktor. Wenig stabil sind dagegen die Ausschußmenge, die Anlaufzeit zu Produktionsbeginn und die Tank- bzw. Kesselüberläufe.

Tabelle 4. Arithmetische Mittel (M), Standardabweichungen (s), Retest-Reliabilitäten (Diagonale) und Interkorrelationen (jeweils Pearson-Korrelationen) der erhobenen Leistungsmaße

| Beide Gruppen (n = 48) +p < .05 ab r = .288 *p < .01 ab r = .373 Basis: 9 Durchgänge | M | s | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) |
|--|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| (1) | 63 | 90.0 | .80 | | | | | | | | | | | | |
| (2) | 70 | 81.4 | -.41* | .71 | | | | | | | | | | | |
| (3) | 67 | 35.0 | .55* | -.19 | .69 | | | | | | | | | | |
| (4) | 28.8 | 16.3 | -.45* | -.38* | -.30+ | .51 | | | | | | | | | |
| (5) | 72 | 96.4 | -.19 | -.11 | -.06 | -.02 | .38 | | | | | | | | |
| (6) | 178 | 149 | -.25 | -.07 | -.30+ | .29+ | -.04 | .45 | | | | | | | |
| (7) | 538 | 301 | .70* | -.22 | .71* | -.44* | .00 | -.45* | .79 | | | | | | |
| (8) | 18 | 24.7 | .94* | -.43* | .57* | -.39* | -.25 | -.24 | .70* | .76 | | | | | |
| (9) | 2 | 3.1 | -.33+ | .17 | -.37+ | .18 | -.02 | -.09 | -.41* | -.34+ | .51 | | | | |
| (10) | 0.15 | 0.94 | -.11 | .01 | -.22 | .08 | .00 | -.03 | -.21 | -.11 | .63* | .84 | | | |
| (11) | 10.5 | 5.2 | .11 | -.04 | .19 | -.11 | .17 | -.35+ | .40* | .10 | .00 | -.01 | .79 | | |
| (12) | 80 | 142 | -.16 | -.07 | -.12 | -.01 | .45* | .17 | -.13 | -.20 | -.08 | -.08 | -.07 | .46 | |
| (13) | 497 | 295 | -.70* | .27 | -.72* | .39* | .00 | .46* | -.98* | -.70* | .43* | .23 | -.37+ | -.11 | .80 |

| | |
|--|--|
| (1) Menge <i>hochwertiger</i> Produktlieferungen [l] | (8) Grad der Rohstoffnutzung [Vol-%] |
| (2) Menge <i>minderwertiger</i> Produktlieferungen [l] | (9) Notausschaltungen der Heizung [n] |
| (3) Qualität Restmenge im Liefertank [%] | (10) Verpuffungen im Reaktor [n] |
| (4) Summe der Wartezeit der Kunden [min] | (11) Laborstichproben [n] |
| (5) Ausschußmenge [l] | (12) Tank- bzw. Kesselüberläufe [n] |
| (6) Anlaufzeit bis zum Produktionsbeginn [s] | (13) Über-/Unterschreitung der Temperatur im Reaktor [s] |
| (7) Gesamte tatsächliche Produktionszeit [s] | |

3.2 Entwicklung der Steuerungsleistungen der Auszubildenden

Nachfolgend finden sich einige Angaben zur Entwicklung der Steuerungsleistungen der

Auszubildenden (siehe Abbildung 2). Alle drei untersuchten Berufsgruppen verzeichnen einen deutlichen Leistungszuwachs bei der Bearbeitung der Steuerungsaufgabe, indem sie eine zunehmend größere *Menge hochwertiger Produkte* an ihre Kunden liefern ($F = 8.94$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$). Während aber die angehenden Prozeßelektroniker (PLE) bei der dritten Darbietung der Steuerungsaufgabe (Bearbeitungsdurchgänge 7-9) durchgängig die besten Leistungen (und annähernd die Maximalleistung) erbringen, arbeiten die angehenden Chemikanten (CK) und Industriemechaniker (IMB) auf niedrigerem Leistungsniveau ($F = 53.62$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Dabei erzielen die CK bei der ersten und zweiten Darbietung bessere Leistungen als die IMB. Bei der dritten Darbietung haben dagegen die IMB den Vorsprung der CK überkompensiert ($F = 1.85$; $df = 16$; 332 ; $p = .024$ für den Interaktionsterm Berufsgruppe x Durchgang). Die Streuung der Leistungen innerhalb der Berufsgruppen der CK und IMB ist jedoch beträchtlich. Einige der Auszubildenden aus der Gruppe der CK können sich problemlos mit den PLE messen, während andere nur sehr geringe Leistungen erbringen.

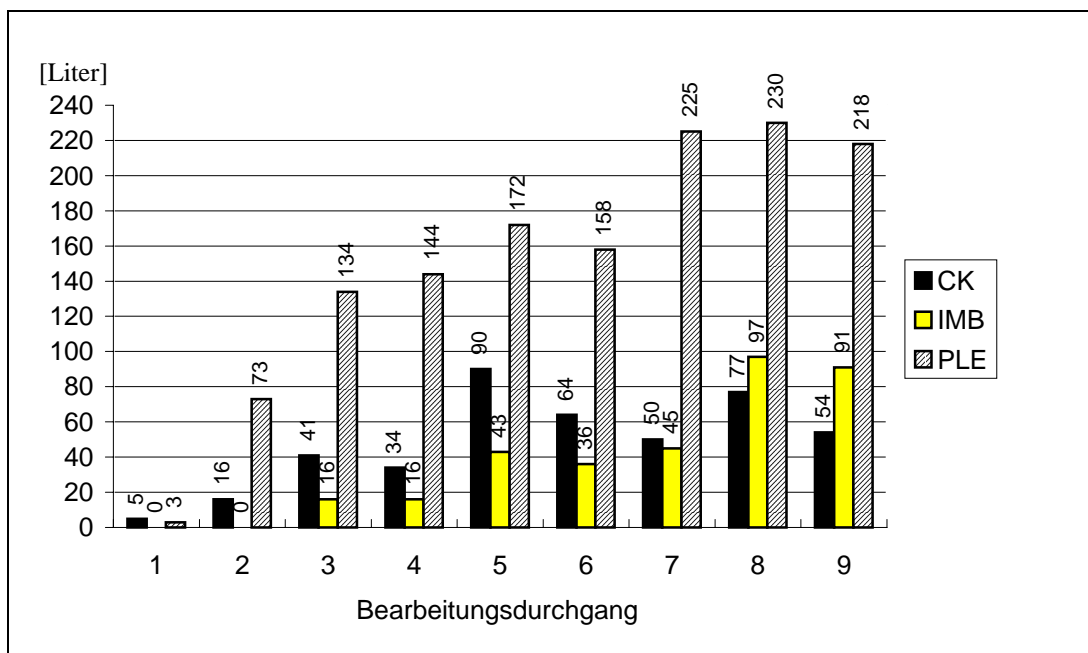


Abbildung 2. Entwicklung der Steuerungsleistungen der Auszubildenden im Leistungsmaß 'Menge hochwertiger Produktlieferungen' (CK: Chemikanten; IMB: Industriemechaniker, Fachrichtung Betriebstechnik; PLE: Prozeßelektroniker)

Der Leistungsvorsprung der PLE ist zum Teil durch den durchweg höherwertigen Schulabschluß der PLE erklärbar. Ehemalige Gymnasiasten, Realschüler und Gesamtschüler liefern im Durchschnitt größere Mengen hochwertiger Produkte (76 Liter/Dg) als ehemalige Hauptschüler (48 Liter/Dg) ($F = 10.49$; $df = 1$; 350 ; $p = .001$), wenngleich die Leistungsstreuung innerhalb der beiden Gruppen recht stark ist.

Weitere Befunde zu den Steuerungsleistungen der Auszubildenden folgen in Kurzform:

- Die durchschnittliche *Anfahrzeit* der Auszubildenden der drei Berufsgruppen unterscheidet sich nicht bedeutsam. Mit zunehmender Produktionserfahrung verkürzt sich jedoch die Anfahrzeit bis zum Produktionsbeginn ($F = 6.97$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$).
- *Temperaturüber- bzw. -unterschreitungen* treten bei den Auszubildenden der Modellversuchsgruppe (MVG) deutlich seltener auf (42/Dg) als bei den Auszubildenden der Vergleichsgruppe (VG) (54/Dg) ($F = 4.62$; $df = 1$; 332 ; $p = .032$). Untersucht man, wie lange die Über- bzw. Unterschreitungen andauern, dann ist der Unterschied jedoch weniger gravierend (MVG: 482 s/Dg; VG: 511 s/Dg; *n.s.*). Ein Berufsgruppeneffekt besteht zugunsten der PLE. Diese lassen die Reaktortemperatur deutlich seltener über- bzw. unterschreiten (15/Dg) als die CK (53/Dg) und die IMB (62/Dg) ($F = 18.37$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Die gleichen Verhältnisse zeigen sich auch bei der Dauer der Temperaturüber- bzw. -unterschreitungen: PLE verursachten 351 s/Dg, CK verursachten 516 s/Dg und IMB verursachten 564 s/Dg Temperaturunter- bzw. -überschreitungen ($F = 12.26$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Darüber hinaus besteht ein deutlicher Effekt der schulischen Vorbildung: Ehemalige Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler lassen die Reaktionstemperatur deutlich seltener über- bzw. unterschreiten (42/Dg) als ehemalige Hauptschüler (56/Dg) ($F = 7.70$; $df = 1$; 350 ; $p = .006$). Untersucht man die Dauer der Temperaturüber- bzw. -unterschreitungen, dann tritt dagegen kein Effekt der schulischen Vorbildung zutage.
- *Notausschaltungen der Heizung* infolge einer Überheizung des Reaktors waren am häufigsten bei IMB (3.4/Dg), am zweithäufigsten bei den CK (1.9/Dg) und am seltensten bei den PLE (0.7/Dg) zu beobachten ($F = 14.06$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Darüber hinaus nimmt die Anzahl der Notausschaltungen mit zunehmender Steuerungserfahrung ab ($F = 3.18$; $df = 8$; 332 ; $p = .002$).
- Die *Nettoproduktionszeit* ist bei den PLE im Durchschnitt wesentlich länger (11 min 8 s) als bei den CK (8 min 40 s) und IMB (8 min 2 s) ($F = 9.27$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Insgesamt nimmt die Nettoproduktionszeit mit zunehmender Produktionserfahrung deutlich zu ($F = 12.75$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$).
- Die Untersuchung des *Grades der Rohstoffnutzung* verdeutlicht, daß für alle drei Berufsgruppen noch erhebliche Spielräume zur Verbesserung der Steuerungsleistungen bestehen. Die Gruppe der PLE erzielt über alle Durchgänge hinweg eine Rohstoffnutzung von 41%, während sie bei den CK bei 14% und bei den IMB bei 10% liegt ($F = 50.12$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Auch wenn sich alle drei Berufsgruppen mit zunehmender Produktionserfahrung merklich in ihrer Rohstoffnutzung verbessern ($F = 8.89$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$), werden die Leistungsmöglichkeiten der Anlage bei weitem noch nicht ausgeschöpft. In den Bearbeitungsdurchgängen 7 bis 9 erzielte die Gruppe der PLE eine Rohstoffnutzung von 58% bis 61%. Im übrigen ist beim Grad der Rohstoffnutzung ein Effekt der schulischen Vorbildung zu beobachten: Ehemalige Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler erzielen mit 22% eine höhere Rohstoffnutzung als ehemalige Hauptschüler (14%) ($F = 11.81$; $df = 1$; 350 ; $p = .001$).
- *Laborstichproben* werden mit zunehmender Steuerungserfahrung häufiger angefordert ($F = 7.14$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$). Dabei fordern die CK mehr Laborstichproben an als

die Auszubildenden der beiden anderen Berufsgruppen ($F = 3.11$; $df = 2$; 332 ; $p = .046$). Die Auszubildenden der MVG fordern deutlich mehr Stichproben an (11.4/Dg) als die Auszubildenden der VG (9.6/Dg) ($F = 12.58$; $df = 1$; 332 ; $p < .001$). Darüber hinaus ist ein Effekt der schulischen Vorbildung auszumachen. Die ehemaligen Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler ordern mehr Laborstichproben (11/Dg) als die ehemaligen Hauptschüler (9.9/Dg) ($F = 4.96$; $df = 1$; 350 ; $p = .027$). Da keiner der Auszubildenden auf Laborstichproben verzichtet hat, liegt diesbezüglich keine deklarative Vereinfachung vor.

- Mit zunehmender Produktionserfahrung sind die Auszubildenden in der Lage, kürzere *Wartezeiten* ihrer Kunden zu realisieren ($F = 55.04$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$). Dabei sind die kumulierten Wartezeiten aller Kunden bei den CK im Durchschnitt länger (30 min 41 s) als bei den IMB (25 min 33 s) und PLE (25 min 13 s) ($F = 9.95$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). MVG (30 min 22 s) und VG (27 min 14 s) unterscheiden sich ebenfalls leicht ($F = 8.62$; $df = 1$; 332 ; $p = .004$). Darüber hinaus zeigt sich ein leichter Effekt der schulischen Vorbildung: Die ehemaligen Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler lassen ihre Kunden länger warten (30 min 19s) als die ehemaligen Hauptschüler unter den Auszubildenden (27 min 59 s) ($F = 9.43$; $df = 1$; 350 ; $p = .002$).
- Die PLE unter den Auszubildenden liefern eine deutlich geringere *Menge minderwertigen Produktes* an ihre Kunden (15 Liter/Dg) als die CK (73 Liter/Dg) und IMB (112 Liter/Dg) ($F = 28.97$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Dabei zeigt sich im Laufe der Bearbeitung der Steuerungsaufgabe eine leichte Besserung in der Disziplin der Auszubildenden, kein minderwertiges Produkt an die Kunden abzugeben ($F = 2.66$; $df = 8$; 332 ; $p = .008$). Darüber hinaus zeigt sich ein Modellversuchseffekt - die Auszubildenden der MVG liefern eine deutlich geringere Menge minderwertigen Produktes an ihre Kunden (51 Liter/Dg) als die Auszubildenden der VG (90 Liter/Dg) ($F = 24.80$; $df = 1$; 332 ; $p < .001$) - sowie ein Effekt der schulischen Vorbildung - die ehemaligen Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler liefern eine deutlich geringere Menge minderwertigen Produktes (48 Liter/Dg) als die ehemaligen Hauptschüler unter den Auszubildenden (98 Liter/Dg) ($F = 43.36$; $df = 1$; 350 ; $p < .001$).
- Die Qualität der *Restmenge im Liefertank* (nach Abschluß des Bearbeitungsdurchgangs) ist bei den PLE deutlich höher (89% Reinheitsgehalt) als bei den CK (63%) und IMB (61%) ($F = 17.35$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Dieser Befund steht im Einklang mit der deutlich längeren tatsächlichen Produktionszeit der PLE im Vergleich zur tatsächlichen Produktionszeit der CK und IMB. Die Qualität der Restmenge im Liefertank steigt mit zunehmender Produktionserfahrung ($F = 5.76$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$).

3.3 Hinweise auf deklarative Vereinfachung der Aufgabenstellung

Einige Hinweise sprechen dafür, daß vor allem die angehenden Industriemechaniker (IMB) unter den Auszubildenden die Aufgabenstellung in ihrer Komplexität vereinfacht haben. Dabei nehmen die Hinweise auf deklarative Vereinfachung mit zunehmender Steuerungserfahrung (von Dg 1 bis 9) ab:

- Die PLE erzielen mit 53 Litern pro Durchgang die geringste *Ausschußmenge*, gefolgt von den CK (74 Liter/Dg) und den IMB (82 Liter/Dg). Der Unterschied ist jedoch statistisch nicht bedeutsam aufgrund der hohen Streuung der Ausschußmengen der Auszubildenden. Deutlich ist dagegen die Abnahme der Ausschußmengen mit zunehmender Produktionserfahrung ($F = 13.25$; $df = 8; 332$; $p < .001$).
- *Verpuffungen* im Reaktor sind eigentlich nur bei den IMB zu beobachten, und zwar im Durchschnitt 0,48 Verpuffungen pro Durchgang. Bei CK (0.08/Dg) und PLE (0.05/Dg) kommen Verpuffungen (Überheizungen des Reaktors bei geringem Reaktorfüllstand) praktisch nicht vor ($F = 5.76$; $df = 2; 332$; $p = .003$). Darüber hinaus zeigt sich hier ein Vorteil für die Auszubildenden der Modellversuchsgruppe. Auszubildende der MVG verursachen deutlich weniger Verpuffungen im Reaktor (0.04/Dg) als Auszubildende der VG (0,26/Dg) ($F = 5.40$; $df = 1; 332$; $p = .021$).
- *Tank- bzw. Reaktorüberläufe* treten mit zunehmender Steuerungserfahrung immer seltener auf ($F = 25.29$; $df = 8; 332$; $p < .001$). Sie sind jedoch etwas häufiger bei Auszubildenden der MVG anzutreffen (1.6/Dg) als bei Auszubildenden der VG (1.1/Dg) ($F = 8.43$; $df = 1; 332$; $p = .004$). Ein Berufsgruppeneffekt oder Effekt der schulischen Vorbildung ist nicht zu beobachten.

3.4 Zusammenhang zwischen dem Selbstvertrauen, der Erfolgserwartung, der Arbeitsmotivation und der Steuerungsleistung der Auszubildenden

Sechs der acht eingesetzten Skalen verfügen über eine zufriedenstellende interne Konsistenz. Die Skalen zum Leistungsanspruch und zur intrinsischen Motivation sollten in nachfolgenden Untersuchungen um einige parallele Items verlängert werden, um die interne Konsistenz zu verbessern. Die Interkorrelationen verdeutlichen, daß ein gutes fachliches Selbstvertrauen mit einer starken Erfolgszuversicht einher geht. Darüber hinaus sind Auszubildende mit einem guten fachlichen Selbstvertrauen eher mit ihrer Arbeitsleistung zufrieden und erleben die Steuerungsanforderungen als weniger belastend. Auch schließen Arbeitszufriedenheit und Desinteresse an der Steuerungsaufgabe einander weitgehend aus.

Tabelle 5. Arithmetisches Mittel (M), Standardabweichung (s), Bandbreite, interne Konsistenz (Cronbach's alpha auf der Diagonalen) und Interkorrelation der zwischen den Bearbeitungsdurchgängen eingesetzten Skalen

| Beide Gruppen (n = 48) +p < .05 ab r = .288 *p < .01 ab r = .373 Basis: 9 Durchgänge | M | s | Range | (A) | (B) | (C) | (D) | (E) | (F) | (G) | (H) |
|--|------|------|-------|-------|------|------|-------|-----|------|-----|-----|
| (A) Pro: Fachliches Selbstvertrauen ¹ | 5.2 | 1.64 | 0-9 | .66 | | | | | | | |
| (B) Pro: Leistungsanspruch ³ | 4.9 | 0.99 | 0-6 | .21 | .53 | | | | | | |
| (C) Retro: Arbeitszufriedenheit ¹ | 5.2 | 1.68 | 0-9 | .46* | .17 | .67 | | | | | |
| (D) Retro: Kontrollkompetenz ⁴ | 3.6 | 1.36 | 0-6 | .55* | .12 | .66* | .70 | | | | |
| (E) Pro: Intrinsische Motivation ² | 6.8 | 2.15 | 0-10 | .13 | .33+ | .05 | .04 | .37 | | | |
| (F) Pro: Erfolgszuversicht ⁵ | 6.7 | 2.14 | 0-10 | .68* | .24 | .49* | .50 | .14 | .89 | | |
| (G) Retro: Arbeitsbeanspruchung ⁶ | 13.7 | 4.63 | 0-25 | -.29+ | .02 | -.18 | -.39* | .00 | -.27 | .82 | |
| (H) Retro: Interesse ⁷ | 11.4 | 2.93 | 0-15 | .22 | .33+ | .43* | .23 | .09 | .25 | .22 | .86 |

¹ Werthebach, Grote & Schmidkunz (1996)

² dto., Tab. 11: Skala 1 = Intrinsische Motivation; arithmetisches Mittel der Skalen 1-3: Extrinsische Motivation

³ Items: Ich würde die Aufgabe gerne besonders gut schaffen. Es interessiert mich eigentlich nicht, ob ich die Aufgabe besonders gut schaffe oder nicht.

⁴ Items: Ich hatte die Aufgabe gut im Griff. Ich war ziemlich unsicher bei der Bearbeitung dieser Aufgabe.

⁵ Items: Wie zuversichtlich sind Sie, die Aufgabe gut zu schaffen? Wie sicher sind Sie, die Aufgabe gut zu schaffen?

⁶ Items: Ich muß mich bei der Arbeit [nicht; äußerst] anstrengen. Die Aufgabe ist [einfach; komplex].

Die Aufgabe bewirkt [keinen; hohen] Zeitdruck. Die Aufgabe ist extrem [leicht; schwer].

Die Aufgabe ist [anspruchlos; anspruchsvoll].

⁷ Items: Ich fühle mich [gelangweilt; interessiert]. Die Aufgabe erscheint mir [nicht sinnvoll; sinnvoll].

Die Aufgabe ist [langweilig; abwechslungsreich].

Im Einklang mit der Entwicklung der Steuerungsleistungen der Auszubildenden steht die Entwicklung des fachlichen Selbstvertrauens (siehe Abbildung 3). Bei allen drei untersuchten Berufsgruppen ist das aufgabenbezogene Selbstvertrauen mit zunehmender Steuerungserfahrung deutlich angestiegen ($F = 5.49$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$). Zwei Besonderheiten sind dabei festzuhalten: Erstens bewegt sich das fachliche Selbstvertrauen bei den CK und PLE auf einem deutlich höheren Niveau als bei den IMB ($F = 10.40$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Zweitens fällt der Anstieg des Selbstvertrauens bei den PLE stärker aus (max. 2.3 Punkte) als bei den CK und IMB (max. 1.6 Punkte).

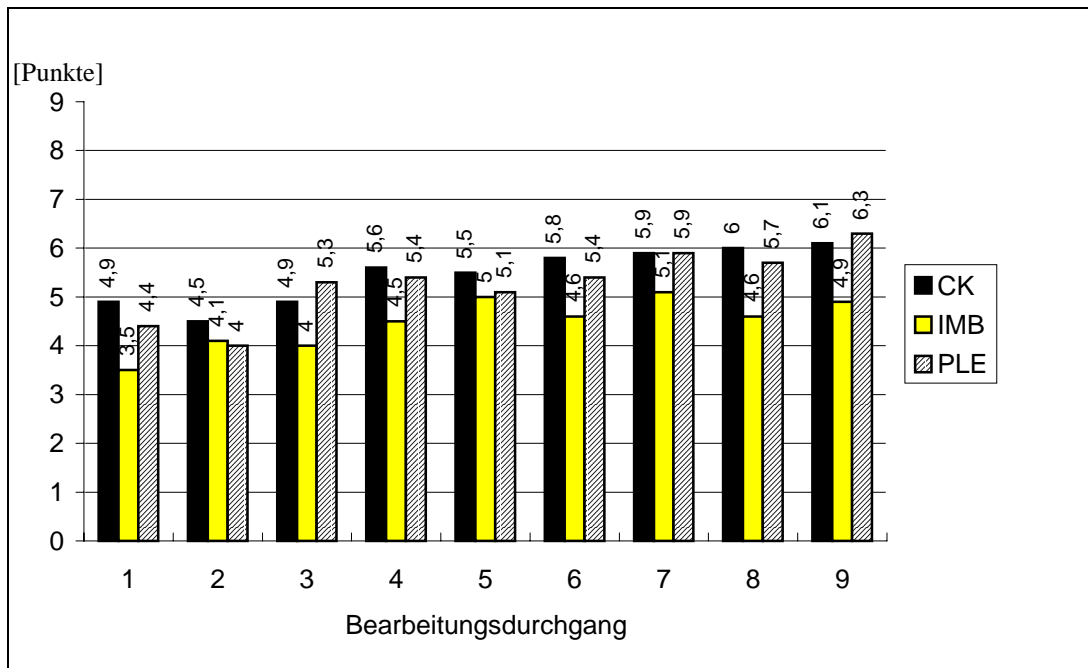


Abbildung 3. Entwicklung des fachlichen Selbstvertrauens der Auszubildenden (CK: Chemikanten; IMB: Industriemechaniker, Fachrichtung Betriebstechnik; PLE: Prozeßleitelektroniker)

Weitere Befunde zur Befragung der Auszubildenden folgen in Kurzform:

- Da die Steuerungsleistungen der Auszubildenden ebenso stark angestiegen sind wie das fachliche Selbstvertrauen (vgl. die F-Werte für den Effekt der wiederholten Darbietung der Simulation), gibt es in der vorliegenden Untersuchung keinen Hinweis auf den von Lichtenstein, Fischhoff und Phillips (1982) beschriebenen 'overconfidence bias'.
- Bei den Auszubildenden der Modellversuchsgruppe (MVG) ist der Zusammenhang zwischen fachlichem Selbstvertrauen und den Steuerungsleistungen stärker ($r = .34^+$ für die Menge hochwertiger Produktlieferungen; $r = .36^+$ für den Grad der Rohstoffnutzung) als bei den Auszubildenden der Vergleichsgruppe (VG) ($r = .23$ bzw. $r = .24$). Insgesamt bestätigen die aufgefundenen Zusammenhänge eher die Befunde aus den Meta-Analysen von Hansford und Hattie (1982) sowie Mabe und West (1982) als die Befunde aus der Untersuchungsreihe von Bandura, Wood und Mitarbeitern.
- Auszubildende der VG formulieren einen deutlich höheren *Leistungsanspruch* ($M = 5.2$) als Auszubildende der MVG ($M = 4.7$) ($F = 34.89$; $df = 1$; 332 ; $p < .001$).
- Die nach jedem Bearbeitungsdurchgang erfaßte *Arbeitszufriedenheit* bewegt sich bei den CK ($M = 5.3$) und vor allem den PLE ($M = 5.4$) auf einem deutlich höheren Niveau als bei den IMB ($M = 4.7$) ($F = 3.53$; $df = 2$; 332 ; $p = .031$). Auch dies steht im Einklang mit den Unterschieden in den Steuerungsleistungen.

- Die *Kontrollkompetenz* der Auszubildenden steigt mit zunehmender Steuerungserfahrung an ($F = 4.31$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$). Darüber hinaus ist eine bedeutsame Wechselwirkung zu beobachten: Während in der MVG - im Einklang mit den festgestellten Leistungsunterschieden - die ehemaligen Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler über eine höhere Kontrollkompetenz berichten ($M = 3.7$) als die ehemaligen Hauptschüler ($M = 3.4$), ist es in der VG genau umgekehrt. Dort ist bei den ehemaligen Hauptschülern die wahrgenommene Kontrollkompetenz deutlich höher ($M = 3.9$) als bei den ehemaligen Gymnasiasten, Real- und Gesamtschülern ($M = 3.2$) ($F = 13.09$; $df = 1$; 350 ; $p < .001$ für den Interaktionsterm Gruppenzugehörigkeit x Schulabschluß).
- Die *intrinsische Motivation* vor Bearbeitung des nächsten Durchgangs ist bei den Auszubildenden der VG wesentlich stärker ausgeprägt ($M = 7.4$) als bei den Auszubildenden der MVG ($M = 6.1$) ($F = 40.67$; $df = 1$; 332 ; $p < .001$). Darüber hinaus zeigt sich, daß die PLE - wiederum im Einklang mit den Unterschieden in den Steuerungsleistungen - intrinsisch am stärksten motiviert sind ($M = 7.1$), gefolgt von den CK ($M = 6.9$) und den IMB ($M = 6.1$). Der Unterschied ist statistisch bedeutsam ($F = 5.84$; $df = 2$; 332 ; $p = .003$).
- Was die *Erfolgszuversicht* der Auszubildenden vor Bearbeitung des nächsten Durchgangs angeht, so zeigt sich ein analoger Befund. Die PLE sind deutlich zuversichtlicher, die Anlage erfolgreich zu steuern ($M = 7.2$), als die CK ($M = 6.9$) und vor allem die IMB ($M = 5.6$) ($F = 14.24$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Darüber hinaus steigt die Erfolgszuversicht der Auszubildenden mit zunehmender Steuerungserfahrung merklich an ($F = 4.48$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$).
- Bei den Auszubildenden der MVG gehen gute Steuerungsleistungen mit einer deutlich geringen Beanspruchung durch die Steuerungsaufgabe einher ($r = -.43^+$ für die Menge hochwertiger Produktlieferungen; $r = -.42^+$ für den Grad der Rohstoffnutzung). Bei den Auszubildenden der VG bestehen dagegen keine klaren Zusammenhänge ($r = -.14$ bzw. $r = -.13$).
- Die PLE unter den Auszubildenden fühlen sich von der Steuerungsaufgabe stärker *beansprucht* ($M = 16.3$) als die CK ($M = 13.2$) und IMB ($M = 13.0$) ($F = 15.27$; $df = 2$; 332 ; $p < .001$). Daß die mentale Beanspruchung durch die Steuerungsaufgabe von den ehemaligen Gymnasiasten, Real- und Gesamtschülern als stärker empfunden wird ($M = 14.9$) als von den ehemaligen Hauptschülern unter den Auszubildenden ($M = 12.2$) ($F = 38.41$; $df = 1$; 350 ; $p < .001$), spricht dafür, daß Beanspruchung vor allem bedeutet, daß die Steuerungsaufgabe ernst genommen wird und die Auszubildenden den Leistungsanforderungen genügen wollen.
- Insgesamt ist ein Trend zu verzeichnen, daß die mentale *Beanspruchung* durch die Steuerungsaufgabe mit zunehmender Steuerungserfahrung leicht abnimmt ($F = 4.08$; $df = 8$; 332 ; $p < .001$). Die Abnahme in der Beanspruchung ist jedoch nur bei den CK und PLE zu beobachten; die IMB bleiben in ihren Beanspruchungswerten unverändert bei vergleichsweise niedrigen Anfangswerten ($F = 15.22$; $df = 16$; 332 ; $p < .001$ für den Interaktionsterm Berufsgruppe x Durchgang). Die IMB fühlen sich von den Leistungsanforderungen offensichtlich weniger tangiert.

- Die CK unter den Auszubildenden bringen der Steuerungsaufgabe das meiste *Interesse* entgegen (M = 11.7), gefolgt von den PLE (M = 11.1) und den IMB (M = 10.5). Der Unterschied ist statistisch bedeutsam (F = 4.81; df = 2; 332; p = .009). Insgesamt bewegt sich das Interesse an der Steuerungsaufgabe auf einem hohen Niveau.

Unter den Steuerungsfehlern (Maße Nr. 5, 9, 10, 12 und 13) stehen vor allem Fehler bei der Temperatursteuerung (Über- oder Unterschreiten der Temperatur im Reaktor) in Zusammenhang mit subjektiven Maßen. Fehler bei der Temperatursteuerung gehen mit einer geringeren Zufriedenheit mit der eigenen Steuerungsleistung, mit einer geringeren subjektiven Kontrollkompetenz sowie mit einer geringeren Erfolgszuversicht für den nachfolgenden Steuerungsdurchgang einher. Darüber hinaus empfinden Auszubildende, welche die Reaktortemperatur weniger präzise steuern, die Steuerungsaufgabe als weniger beanspruchend im Vergleich zu den Auszubildenden, die sich erfolgreich um die exakte Steuerung der Reaktortemperatur bemüht haben.

Auszubildende, die die zur Verfügung stehenden Rohstoffe (Rohprodukte A und B) effizient nutzen, zeichnen sich durch ein besseres fachliches Selbstvertrauen, eine höhere subjektive Kontrollkompetenz und eine stärkere Erfolgszuversicht aus als Auszubildende, die die verfügbaren Rohstoffe weniger effizient nutzen. Auch sind die effizienten Rohstoffnutzer wesentlich zufriedener mit ihren Steuerungsleistungen als diejenigen, die die zur Verfügung stehenden Rohstoffe eher verschwenden. Gleiches gilt für die Auszubildenden, die eine große Menge hochwertigen Produktes an ihre Kunden geliefert haben. Auch sie sind zufriedener mit ihren Arbeitsleistungen, haben eine höhere subjektive Kontrollkompetenz und eine stärkere Erfolgszuversicht für den nächsten Steuerungsdurchgang als Auszubildenden, die eine nur geringe Menge hochwertigen Produktes an ihre Kunden geliefert haben.

Die referierten Befunde gelten sowohl für die Gruppe der angehenden Anlagenfahrer (Chemikanten) als auch für die Gruppe der angehenden Instandhalter (Industriemechaniker und Prozeßleitelektroniker). Dabei sind die gefundenen Zusammenhänge bei den angehenden Instandhaltern etwas stärker als bei den angehenden Anlagenfahrern.

Tabelle 6. Zusammenhänge zwischen den Befragungsergebnissen und den Steuerungsleistungen der Auszubildenden

| Beide Gruppen (n = 48) +p < .05 ab r = .288 *p < .01 ab r = .373 Basis: 9 Durchgänge | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) |
|--|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Pro: Fachl. Selbstvertrauen ¹ | .27 | .02 | .14 | -.24 | -.14 | -.21 | .26 | .29+ | -.16 | -.10 | .11 | -.07 | -.26 |
| Pro: Leistungsanspruch ³ | -.02 | .05 | .01 | .00 | -.09 | .07 | -.01 | .02 | -.15 | -.16 | -.17 | -.10 | .00 |
| Retro: Arbeitszufriedenheit ¹ | .39* | -.15 | .34+ | -.21 | -.05 | -.16 | .41* | .42* | -.22 | -.13 | .08 | .07 | -.42* |
| Retro: Kontrollkompetenz ⁴ | .44* | -.02 | .38* | -.35+ | -.13 | -.21 | .50* | .45* | -.27 | -.16 | .08 | .03 | -.50* |
| Pro: Intrins. Motivation ² | .07 | .11 | .09 | -.08 | -.15 | -.12 | .06 | .09 | -.04 | -.06 | .00 | -.13 | -.08 |
| Pro: Erfolgszuversicht ⁵ | .40* | -.16 | .28 | -.19 | -.14 | -.26 | .35+ | .43* | -.20 | -.15 | .10 | -.11 | -.38* |
| Retro: Arbeitsbeanspruchg. ⁶ | -.22 | -.05 | -.23 | .22 | .04 | .17 | -.32+ | -.21 | .18 | .13 | -.10 | -.02 | .32+ |
| Retro: Interesse ⁷ | .08 | -.10 | .10 | .03 | -.10 | .02 | .08 | .11 | -.11 | -.14 | .02 | -.06 | -.09 |
| Multiples R | .52* | .32+ | .47* | .38* | .23 | .35+ | .56* | .54* | .32+ | .26 | .26 | .23 | .57* |

| Gruppe der Anlagenfahrer (n = 32) +p < .05 ab r = .349 *p < .01 ab r = .449 Basis: 9 Durchgänge | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Pro: Fachl. Selbstvertrauen ¹ | .20 | .13 | .09 | -.22 | -.11 | -.18 | .19 | .23 | -.08 | .04 | .08 | -.08 | -.18 |
| Pro: Leistungsanspruch ³ | -.07 | .12 | -.09 | .00 | -.12 | .13 | -.08 | -.05 | -.06 | .00 | -.17 | -.16 | .06 |
| Retro: Arbeitszufriedenheit ¹ | .41+ | -.11 | .29 | -.17 | -.02 | -.17 | .39+ | .43+ | -.17 | -.03 | .05 | .06 | -.39+ |
| Retro: Kontrollkompetenz ⁴ | .43+ | .03 | .38+ | -.29 | -.15 | -.20 | .48* | .47* | -.24 | -.11 | .07 | .01 | -.48* |
| Pro: Intrins. Motivation ² | -.01 | .26 | .01 | -.16 | -.11 | -.16 | .03 | -.03 | .03 | .03 | .04 | -.10 | -.04 |
| Pro: Erfolgszuversicht ⁵ | .31 | -.07 | .27 | -.18 | -.13 | -.21 | .29 | .38+ | -.16 | -.05 | .08 | -.09 | -.32 |
| Retro: Arbeitsbeanspruchg. ⁶ | -.32 | -.04 | -.34 | .24 | .12 | .19 | -.38+ | -.34 | .25 | .08 | -.07 | .03 | .38+ |
| Retro: Interesse ⁷ | .21 | -.17 | .13 | -.02 | -.06 | .01 | .18 | .22 | -.07 | -.08 | .07 | -.04 | -.18 |
| Multiples R | .54* | .41+ | .52* | .36+ | .24 | .38+ | .58* | .58* | .32 | .21 | .27 | .22 | .58* |

| Gruppe der Instandhalter (n = 16) +p < .05 ab r = .497 *p < .01 ab r = .623 Basis: 9 Durchgänge | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) |
|---|-------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Pro: Fachl. Selbstvertrauen ¹ | .52+ | -.22 | .32 | -.36 | -.20 | -.27 | .45 | .52+ | -.28 | -.20 | .11 | -.10 | -.47 |
| Pro: Leistungsanspruch ³ | .09 | -.09 | .22 | -.03 | -.05 | -.03 | .14 | .15 | -.27 | -.29 | -.22 | .02 | -.12 |
| Retro: Arbeitszufriedenheit ¹ | .48 | -.26 | .52+ | -.37 | -.13 | -.14 | .52+ | .50+ | -.34 | -.26 | .14 | .08 | -.52+ |
| Retro: Kontrollkompetenz ⁴ | .53+ | -.13 | .42 | -.50+ | -.08 | -.24 | .56+ | .48 | -.34 | -.26 | .10 | .09 | -.57+ |
| Pro: Intrins. Motivation ² | .24 | -.15 | .28 | .04 | -.22 | -.05 | .13 | .32 | -.13 | -.13 | -.09 | -.21 | -.17 |
| Pro: Erfolgszuversicht ⁵ | .59+ | -.33 | .36 | -.27 | -.16 | -.34 | .48 | .57+ | -.24 | -.21 | .12 | -.17 | -.51+ |
| Retro: Arbeitsbeanspruchg. ⁶ | -.19 | -.05 | -.13 | .28 | -.08 | .13 | -.27 | -.12 | .09 | .16 | -.12 | -.12 | .27 |
| Retro: Interesse ⁷ | .00 | .00 | .11 | .04 | -.19 | .05 | -.05 | .05 | -.15 | -.19 | -.12 | -.16 | .03 |
| Multiples R | .71* | .41 | .57+ | .54+ | .32 | .38 | .68* | .70* | .42 | .43 | .33 | .38 | .69* |

| | |
|--|--|
| (1) Menge <i>hochwertiger</i> Produktlieferungen [l] | (8) Grad der Rohstoffnutzung [Vol-%] |
| (2) Menge <i>minderwertiger</i> Produktlieferungen [l] | (9) Notausschaltungen der Heizung [n] |
| (3) Qualität Restmenge im Liefertank [%] | (10) Explosionen / Verpuffungen [n] |
| (4) Summe der Wartezeit der Kunden [min] | (11) Laborstichproben [n] |
| (5) Ausschußmenge [l] | (12) Tank-/Kesselüberläufe [n] |
| (6) Anlaufzeit bis zum Produktionsbeginn [s] | (13) Über-/Unterschreitung der Temperatur im Reaktor [s] |
| (7) Gesamte tatsächliche Produktionszeit [s] | |

- ¹ Werthebach, Grote & Schmidkunz (1996)
- ² dto., Tab. 11: Skala 1 = Intrinsische Motivation; arithmetisches Mittel der Skalen 1-3 = Extrinsische Motivation
- ³ Items: Ich würde die Aufgabe gerne besonders gut schaffen. Es interessiert mich eigentlich nicht, ob ich die Aufgabe besonders gut schaffe oder nicht.
- ⁴ Items: Ich hatte die Aufgabe gut im Griff. Ich war ziemlich unsicher bei der Bearbeitung dieser Aufgabe.
- ⁵ Items: Wie zuversichtlich sind Sie, die Aufgabe gut zu schaffen? Wie sicher sind Sie, die Aufgabe gut zu schaffen?
- ⁶ Items: Ich muß mich bei der Arbeit [nicht; äußerst] anstrengen. Die Aufgabe ist [einfach; komplex].
Die Aufgabe bewirkt [keinen; hohen] Zeitdruck. Die Aufgabe ist extrem [leicht; schwer].
Die Aufgabe ist [anspruchlos; anspruchsvoll].
- ⁷ Items: Ich fühle mich [gelangweilt; interessiert]. Die Aufgabe erscheint mir [nicht sinnvoll; sinnvoll].
Die Aufgabe ist [langweilig; abwechslungsreich].

Eine Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Steuerungsleistungen und allgemeinen ausbildungsbezogenen Einstellungen und Reaktionen (Werthebach, Grote & Schmidkunz, 1996, für eine Übersicht) erbrachte einige weitere Befunde. Dabei sind vor allem die Rollenklarheit der Auszubildenden und die qualitativen Leistungsanforderungen an die Auszubildenden von Bedeutung. Auszubildende,

- denen klar ist, wie sie bei einer neuen Aufgabenstellung vorzugehen haben,
 - denen die Bewertungsmaßstäbe für ihre Leistungen klar sind und
 - die sich in ihrer Ausbildung in qualitativer Hinsicht nicht unterfordert fühlen,
- liefern eine geringere Menge minderwertigen Produktes an ihre Kunden, nutzen die zur Verfügung stehenden Rohstoffe effizienter und überheizen den Reaktor seltener als Auszubildende mit geringer Rollenklarheit bzw. Auszubildenden, die geringe qualitative Leistungsanforderungen wahrnehmen. Die Zusammenhänge gelten vor allem für die Gruppe der angehenden Instandhalter (IMB, PLE). Bei der Gruppe der angehenden Anlagenfahrer (CK) sind die Befunde schwächer ausgeprägt.

3.5 Zusammenhänge zwischen den Steuerungsleistungen der Auszubildenden und ihren Leistungen in Berufsschule und Betrieb

Die Befunde zeigen, daß die untersuchten Steuerungsleistungen in gewissem Umfang aufgrund der Kenntnis der Leistungen in Berufsschule und Ausbildungszentrum (Technikum) vorhergesagt werden können (zu maximal 34% bei der Gruppe der angehenden Anlagenfahrer, zu maximal 61% bei der Gruppe der angehenden Instandhalter). Dabei kann vor allem die Menge minderwertiger Produktlieferungen aufgrund der Kenntnis der Leistungen in Berufsschule und Technikum vorhergesagt werden. Unter den Prädiktoren stehen vor allem die theoretischen Kenntnisse (Ausbilderurteil) der Auszubildenden im Vordergrund, während minderwertige Produktlieferungen vor allem mit einer unsystematischen Arbeitsweise (Ausbilderurteil), aber auch mit Denkfehlern (FRT) in Zusammenhang stehen (siehe Tabelle 7). Insgesamt besteht zwischen den Steuerungsleistungen und dem logischen Denkvermögen der Auszubildenden jedoch ein nur geringer Zusammenhang. Die niedrigen Korrelationen unterstützen die Position, daß Intelligenzschätzungen keine geeigneten Prädiktoren für Leistungen bei der Bewältigung komplexer Probleme darstellen (vgl. Kluwe, Schilde, Fischer & Oellerer, 1991).

Bei der Gruppe der angehenden Instandhalter ist das Bild etwas reichhaltiger. Hier kann auch der Grad der Rohstoffnutzung aufgrund der Kenntnis der Leistungen in Berufsschule und Technikum vorhergesagt werden. Angehende Industriemechaniker und Prozeßelektroniker mit guten Berufsschulleistungen (Zeugnisnotendurchschnitt), guten theoretischen Kenntnissen (Ausbilderurteil), qualitativ hochwertigen Arbeitsergebnissen (Ausbilderurteil) und einer systematischen Arbeitsweise (Ausbilderurteil) gehen effizienter mit den ihnen zur Verfügung stehenden Rohstoffen um als Auszubildende mit schlechteren Leistungen in Berufsschule und Technikum.

Tabelle 7. Zusammenhang zwischen den Steuerungsleistungen der Auszubildenden und ihren Leistungen in Berufsschule und Betrieb

| Beide Gruppen (n = 48) +p < .05 ab r = .288 *p < .01 ab r = .373 Basis: 9 Durchgänge (Dg) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) |
|--|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| Berufsschulleistung ¹ | -.21 | .31+ | -.20 | -.05 | .00 | -.05 | -.19 | -.26 | .17 | .07 | -.03 | .11 | .20 |
| Logisches Denkvermögen ² | .13 | -.36+ | .04 | .14 | .04 | .07 | .05 | .16 | -.08 | .00 | .05 | .00 | -.05 |
| Theoretische Kenntnisse ³ | .31+ | -.36+ | .26 | .02 | -.04 | -.05 | .27 | .36+ | -.18 | -.05 | .06 | -.16 | -.29+ |
| Qualität Arbeitsergebnisse ³ | .16 | -.30+ | .16 | .11 | .02 | -.08 | .22 | .19 | -.08 | .00 | .25 | -.11 | -.23 |
| Systemat. Arbeitsweise ³ | .18 | -.44+ | .15 | .18 | .02 | -.02 | .21 | .22 | -.19 | -.05 | .15 | -.12 | -.22 |
| Arbeitsproduktivität ⁴ | .11 | -.33+ | .13 | .12 | .06 | .02 | .13 | .13 | -.04 | .02 | .15 | -.04 | -.14 |
| Aufgabenerfüllung ⁴ | -.01 | -.22 | .02 | .14 | .09 | .03 | .05 | .01 | -.05 | -.06 | .19 | .03 | -.04 |
| Unterstützung d. Kollegen ⁴ | .06 | -.29+ | .11 | .14 | .08 | .04 | .12 | .10 | -.08 | -.05 | .15 | -.03 | -.11 |
| Arbeitsverhalten ⁵ | -.15 | .35+ | -.17 | -.11 | -.06 | -.03 | -.17 | -.18 | .06 | -.01 | -.11 | .06 | .18 |
| Fehlzeiten pro Halbjahr | -.07 | .04 | .01 | .03 | -.06 | .08 | -.10 | -.08 | -.01 | -.02 | -.05 | -.06 | .10 |
| Multiples R (Basis: Dg 1-9) | .37* | .50* | .31+ | .25 | .16 | .23 | .34+ | .41* | .26 | .21 | .29+ | .23 | .36+ |
| Multiples R (Basis: Dg 4-9) | .45* | .54* | .36+ | .35+ | .17 | .24 | .41* | .50* | .34+ | .28 | .34+ | .23 | .42* |
| Gruppe der Anlagenfahrer (n = 32) +p < .05 ab r = .349 *p < .01 ab r = .449 Basis: 9 Durchgänge (Dg) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) |
| Berufsschulleistung ¹ | -.01 | .19 | -.07 | -.10 | -.10 | -.09 | -.10 | -.07 | .09 | .00 | -.17 | .16 | .09 |
| Logisches Denkvermögen ² | .12 | -.41+ | -.02 | .19 | .13 | .06 | .03 | .11 | -.13 | -.09 | .16 | -.02 | -.02 |
| Theoretische Kenntnisse ³ | .12 | -.31 | .14 | .12 | .02 | .04 | .16 | .19 | -.12 | -.02 | .15 | -.18 | -.17 |
| Qualität Arbeitsergebnisse ³ | .03 | -.22 | .07 | .14 | .08 | -.07 | .18 | .07 | -.02 | .02 | .40+ | -.13 | -.18 |
| Systemat. Arbeitsweise ³ | .13 | -.42+ | .10 | .20 | .09 | .02 | .18 | .17 | -.15 | -.03 | .28 | -.16 | -.17 |
| Arbeitsproduktivität ⁴ | .03 | -.28 | .04 | .16 | .12 | .10 | .11 | .07 | -.11 | -.06 | .26 | -.11 | -.10 |
| Aufgabenerfüllung ⁴ | -.01 | -.27 | -.02 | .18 | .09 | .07 | .03 | .02 | -.08 | -.09 | .26 | -.05 | -.02 |
| Unterstützung d. Kollegen ⁴ | .08 | -.34 | .06 | .17 | .14 | .06 | .13 | .10 | -.16 | -.13 | .26 | -.07 | -.12 |
| Arbeitsverhalten ⁵ | -.15 | .35+ | -.17 | -.11 | -.06 | -.03 | -.18 | -.18 | .11 | .05 | -.28 | .10 | .14 |
| Fehlzeiten pro Halbjahr | -.11 | .07 | .01 | .04 | -.07 | -.02 | -.10 | -.13 | .04 | .03 | -.04 | .02 | .08 |
| Multiples R (Basis: Dg 1-9) | .39+ | .52* | .31 | .24 | .27 | .24 | .35+ | .41+ | .32 | .26 | .48* | .24 | .37+ |
| Multiples R (Basis: Dg 4-9) | .47* | .58* | .37+ | .33 | .26 | .29 | .43+ | .50* | .45* | .36+ | .54* | .21 | .44+ |
| Gruppe der Instandhalter (n = 16) +p < .05 ab r = .497 *p < .01 ab r = .623 Basis: 9 Durchgänge (Dg) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) |
| Berufsschulleistung ¹ | -.51+ | .53+ | -.46 | .05 | .17 | .01 | -.36 | -.58+ | .29 | .13 | .22 | .03 | .38 |
| Logisches Denkvermögen ² | .23 | -.33 | .17 | .02 | -.08 | .09 | .13 | .30 | -.02 | .07 | -.13 | .01 | -.14 |
| Theoretische Kenntnisse ³ | .56+ | -.48 | .47 | -.11 | -.16 | -.24 | .47 | .59+ | -.31 | -.11 | -.08 | -.06 | -.51+ |
| Qualität Arbeitsergebnisse ³ | .47 | -.56+ | .41 | .03 | -.12 | -.14 | .36 | .51+ | -.25 | -.04 | -.16 | -.02 | -.41 |
| Systemat. Arbeitsweise ³ | .54+ | -.60+ | .45 | .01 | -.16 | -.13 | .41 | .59+ | -.28 | -.05 | -.24 | -.06 | -.45 |
| Arbeitsproduktivität ⁴ | .19 | -.39 | .26 | .09 | -.01 | -.06 | .17 | .20 | .02 | .06 | .00 | .10 | -.20 |
| Aufgabenerfüllung ⁴ | .04 | -.15 | .16 | .02 | .09 | -.04 | .10 | .05 | .00 | -.04 | .02 | .20 | -.10 |
| Unterstützung d. Kollegen ⁴ | .07 | -.22 | .23 | .06 | -.03 | .01 | .13 | .13 | .03 | .01 | -.08 | .05 | -.11 |
| Arbeitsverhalten ⁵ | -.21 | -.40 | -.30 | -.09 | .05 | .03 | -.19 | -.25 | .01 | -.04 | .12 | -.05 | .22 |
| Fehlzeiten pro Halbjahr | -.16 | .06 | -.05 | .10 | -.05 | .15 | -.14 | -.16 | -.04 | -.06 | -.01 | -.11 | .16 |
| Multiples R (Basis: Dg 1-9) | .64* | .73* | .57+ | .26 | .27 | .45 | .52+ | .66* | .53+ | .44 | .55+ | .37 | .58+ |
| Multiples R (Basis: Dg 4-9) | .77* | .78* | .60+ | .41 | .34 | .57+ | .64* | .76* | .54+ | .54+ | .60+ | .37 | .67* |

| | |
|--|--|
| (1) Menge <i>hochwertiger</i> Produktlieferungen [l] | (8) Grad der Rohstoffnutzung [Vol-%] |
| (2) Menge <i>minderwertiger</i> Produktlieferungen [l] | (9) Notausschaltungen der Heizung [n] |
| (3) Qualität Restmenge im Liefertank [%] | (10) Explosionen / Verpuffungen [n] |
| (4) Summe der Wartezeit der Kunden [min] | (11) Laborstichproben [n] |
| (5) Ausschußmenge [l] | (12) Tank-/Kesselüberläufe [n] |
| (6) Anlaufzeit bis zum Produktionsbeginn [s] | (13) Über-/Unterschreitung der Temperatur im Reaktor [s] |
| (7) Gesamte tatsächliche Produktionszeit [s] | |

¹ Durchschnittsnote des Berufsschulzeugnisses
² Figure-Reasoning-Test (Daniels, 1957)
³ Beurteilungsbogen für Auszubildende
⁴ Werthebach, Grote & Schmidkunz (1996)
⁵ dto., arithmetisches Mittel der Kriterienwerte aus Tab. 19

Die Leistungen in Berufsschule und Ausbildungszentrum (Technikum) sind stark korreliert (siehe Tabelle 8). Die Berufsschulleistungen eignen sich zur Vorhersage der Arbeitsleistungen im Technikum (et vice versa). Aber auch die logische Denkfähigkeit der Auszubildenden steht in einem bedeutsamen Zusammenhang zu den Leistungen in Berufsschule und Ausbildungszentrum. Die Fehlzeiten der Auszubildenden lassen sich weniger gut aufgrund der Ausbildungsleistungen in Berufsschule und Technikum als vielmehr aufgrund der Kenntnis der Stärke des Vertrauens der Auszubildenden in die Ausbilder und Azubi-Kollegen vorhersagen (Werthebach, Grote & Schmidkunz, 1998b).

Tabelle 8. Interkorrelation der Leistungen in Berufsschule und Technikum

| Beide Gruppen (n = 48) +p < .05 ab r = .288 *p < .01 ab r = .373 Basis: 9 Durchgänge | M | s | Range | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|
| (1) Berufsschulleistung ¹ | 2.94 | 0.84 | 6-1 | - | | | | | | | | | |
| (2) Log. Denkvermögen ² | 16.3 | 2.45 | 0-22 | -.48* | - | | | | | | | | |
| (3) Theoret. Kenntnisse ³ | 5.41 | 1.43 | 1-9 | -.82* | .38* | - | | | | | | | |
| (4) Qualität Arbeitsergebn. ³ | 5.96 | 0.91 | 1-9 | -.43* | .16 | .55* | - | | | | | | |
| (5) Systemat. Arbeitsweise ³ | 6.36 | 0.92 | 1-9 | -.71* | .52* | .71* | .66* | - | | | | | |
| (6) Arbeitsproduktivität ⁴ | 20.9 | 7.84 | 0-33 | -.69* | .44* | .62* | .54* | .66* | .95 | | | | |
| (7) Aufgabenerfüllung ⁴ | 23.8 | 6.30 | 0-33 | -.47* | .41* | .45* | .47* | .60* | .81* | .95 | | | |
| (8) Unterstützung d. Koll. ⁴ | 19.9 | 5.48 | 0-33 | -.67* | .50* | .56* | .50* | .69* | .88* | .87* | .94 | | |
| (9) Arbeitsverhalten ⁵ | 2.78 | 0.80 | 6-1 | .73* | -.53* | -.68* | -.55* | -.69* | -.93* | -.73* | -.87* | .96 | |
| (10) Fehlzeiten im Halbjahr | 7.43 | 14.6 | 0-110 | .27 | -.15 | -.28 | -.11 | -.20 | -.33+ | -.34+ | -.26 | .21 | - |

¹ Durchschnittsnote des Berufsschulzeugnisses
² Figure-Reasoning-Test (Daniels, 1957)
³ Beurteilungsbogen für Auszubildende
⁴ Werthebach, Grote & Schmidkunz (1996)
⁵ dto., arithmetisches Mittel der Kriterienwerte aus Tab. 19

4 Zusammenfassung und Diskussion

Im Rahmen ihrer Berufsausbildung haben $n = 48$ Chemikanten, Industriemechaniker und Prozeßleitelektroniker anhand einer verfahrenstechnischen Simulation erste Steuerungserfahrungen gewinnen bzw. diese vertiefen können. Die Auszubildenden erhielten die Aufgabe, zu drei verschiedenen Zeitpunkten im dritten Ausbildungsjahr jeweils drei Produktionsszenarien zu bearbeiten. Die zentralen Leistungsanforderungen bestanden darin, ein qualitativ hochwertiges Endprodukt aus zwei Rohprodukten herzustellen und dieses einigen Kunden auf Anforderung möglichst schnell zur Verfügung zu stellen. Die Zusammenfassung und Diskussion der Befunde erfolgt in elf Kernaussagen:

1. Alle drei Berufsgruppen machen mit zunehmender Steuerungserfahrung deutliche Leistungsfortschritte, ohne aber die mögliche Maximalleistung der Anlage (vollständiger Stoffumsatz) auszuschöpfen. Die Gruppe der Prozeßleitelektroniker erzielt durchweg die besten Steuerungsleistungen. Allerdings dürften dieser Berufsgruppe aufgrund des Unterrichtsfaches *Meß- und Regeltechnik* die Regelungsanforderungen im Rahmen der Steuerungsaufgabe vertrauter sein als den beiden anderen Berufsgruppen.
2. Die Streuung der Steuerungsleistungen in den drei Berufsgruppen ist jedoch beträchtlich. Einige der Auszubildenden aus der Gruppe der Chemikanten können sich ohne weiteres mit den Prozeßleitelektronikern messen, während andere Auszubildende aus dieser Gruppe nur geringe Leistungen erbringen. Die Leistungsunterschiede sind zum Teil durch die unterschiedlichen Schulabschlüsse der Auszubildenden erklärbar.
3. Die Regelung der Reaktortemperatur ist die zentrale Steuerungsaufgabe. Da die Auszubildenden der Modellversuchsgruppe (MVG) ($n = 24$) deutlich seltener kritische Temperaturschwankungen im Reaktor verursachen, ist anzunehmen, daß diese die zentrale Regelungsanforderung besser verinnerlicht haben als die übrigen Auszubildenden. Zur Erklärung ist anzufügen, daß die Auszubildenden der MVG bereits im zweiten Ausbildungsjahr schrittweise Erfahrungen im Aufbau und Betrieb einer Technikumsanlage sammeln und dabei Regelungsanforderungen kennenlernen.
4. Darüber hinaus haben die Auszubildenden der MVG ihren Kunden eine deutlich geringere Menge minderwertigen Produktes geliefert als die übrigen Auszubildenden. Qualitätsdenken schlägt sich bei den Auszubildenden der MVG also bereits stärker im Verhalten nieder als bei den übrigen Auszubildenden. Aber auch das Niveau der schulischen Ausbildung scheint zur Qualitätssicherung beizutragen: Ehemalige Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler liefern eine deutlich geringere Menge minderwertigen Produktes an ihre Kunden als ehemalige Hauptschüler.
5. Die Industriemechaniker unter den Auszubildenden haben bei der Bearbeitung der Simulation offensichtlich weniger an frühere Ausbildungserfahrungen anknüpfen können als die übrigen Auszubildenden. Hinweise auf deklarative Vereinfachungen der Komplexität der Aufgabenstellung (Höhe der Ausschußmenge, Verpuffungen im Reaktor, Tank- bzw. Reaktorüberläufe) ergeben sich vor allem bei dieser Berufsgruppe. Diese Einschätzung steht im Einklang mit dem Befund, daß sowohl die leistungsbezogene Arbeitszufriedenheit als auch die Erfolgszuversicht (vor der Bearbeitung des nächsten Sze-

narios) bei den Industriemechanikern deutlich geringer ausfällt als bei den Chemikanten und Prozeßleitelektronikern.

6. Im Einklang mit der Entwicklung der Steuerungsleistungen steht die Entwicklung des fachlichen Selbstvertrauens. Bei allen drei untersuchten Berufsgruppen ist das aufgabenbezogene Selbstvertrauen mit zunehmender Steuerungserfahrung deutlich angestiegen. Bei den Auszubildenden der MVG fällt der Zusammenhang zwischen fachlichem Selbstvertrauen und den Steuerungsleistungen jedoch stärker aus als bei den übrigen Auszubildenden. Die Auszubildenden der MVG verfügen offensichtlich über eine realistischere Selbsteinschätzung ihrer aufgabenbezogenen Kompetenzen.
7. Andererseits formulieren die Auszubildenden der VG einen deutlich höheren Leistungsanspruch und eine höhere intrinsische Motivation als die Auszubildenden der MVG. In Verbindung mit dem vorherigen Befund nehmen wir aber an, daß die Auszubildenden der VG einen unrealistisch hohen Leistungsanspruch haben, den sie in ihrer Arbeitsleistung nicht einlösen können.
8. Die Untersuchung der subjektiven Kontrollkompetenz der Auszubildenden zeigt, daß gerade die ehemaligen Hauptschüler in der VG unrealistische Vorstellungen von ihren Leistungen haben. Während in der MVG - in Übereinstimmung mit den tatsächlichen Steuerungsleistungen - die ehemaligen Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler eine höhere Kontrollkompetenz erleben als die ehemaligen Hauptschüler, meinen in der VG die ehemaligen Hauptschüler, die Aufgabe besser „im Griff“ zu haben als die tatsächlich leistungsstärkeren Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler.
9. Bei den Auszubildenden der MVG gehen gute Steuerungsleistungen mit einer deutlich geringeren Arbeitsbelastung einher. In der MVG zeigt sich also, daß Steuerungserfolg bzw. der eigenen Person zugeschriebene Steuerungskompetenz psychologisch entlastet. Bei den Auszubildenden der VG besteht diesbezüglich dagegen kein Zusammenhang. Eine weniger realistische Selbsteinschätzung der aufgabenbezogenen Kompetenzen bei den Auszubildenden der VG könnte für diesen Befund verantwortlich sein.
10. Andererseits empfinden Auszubildende, die die Reaktortemperatur weniger präzise steuern, die Steuerungsaufgabe selbst als weniger beanspruchend als Auszubildende, die sich erfolgreich um die exakte Steuerung der Reaktortemperatur bemühen. Vergleicht man diesbezüglich die an der Untersuchung beteiligten Berufsgruppen, dann zeigt sich, daß sich die Prozeßleitelektroniker von der Steuerungsaufgabe stärker beansprucht fühlen als die Chemikanten und Industriemechaniker. Darüber hinaus empfinden die ehemaligen Gymnasiasten, Real- und Gesamtschüler eine stärkere Beanspruchung als die ehemaligen Hauptschüler unter den Auszubildenden.
11. Die untersuchten Steuerungsleistungen können in gewissem Umfang aufgrund der Kenntnis der Leistungen der Auszubildenden in Berufsschule und Ausbildungszentrum vorhergesagt werden. Dabei ist der Zusammenhang für die Gruppe der angehenden Instandhalter deutlich enger als für die Gruppe der angehenden Chemikanten. Zwischen den Steuerungsleistungen und dem logischen Denkvermögen der Auszubildenden besteht ein nur geringer Zusammenhang, z.B. $r = .16$ für den Grad der Rohstoffnutzung. Die niedrigen Korrelationen unterstützen die Position, daß Intelligenzschätzungen keine geeigneten Prädiktoren für Leistungen bei der Bearbeitung komplexer Probleme darstellen.

Mittlerweile hat ein zweiter Ausbildungsjahrgang zwei der drei Untersuchungszeitpunkte durchlaufen, so daß eine Überprüfung der vorliegenden Befunde an weiteren n = 48 Auszubildenden möglich wird. Von den Auszubildenden des ersten Untersuchungsjahrgangs wurden n = 20 von den Betrieben übernommen, so daß in den nächsten Monaten unter Vorbehalt (Stichprobengröße, Selektionseffekt) geprüft werden kann, inwieweit Steuerungsleistungen am Simulator, die sonstigen Ausbildungsleistungen (Ausbilderurteil) und Berufsschulleistungen mit den beruflichen Leistungen nach der Übernahme durch einen Betrieb in Zusammenhang stehen.

5 Literatur

- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Vol. 8 (pp. 47-90). New York: Academic Press.
- Badke-Schaub, P. & Tisdale, T. (1995). Die Erforschung menschlichen Handelns in komplexen Situationen. In B. Strauß & M. Kleinmann (Hrsg.), *Computersimulierte Szenarien in der Personalarbeit* (S.43-56). Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Baldwin, R.D. (1978). *Training the electronics maintenance technician* (Hum RRO Prof. Paper 7-78). Alexandria, VA: Human Resources Research Organization.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84, 191-215.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bandura, A. & Jourden, F.J. (1991). Self-regulatory mechanisms governing the impact of social comparison on complex decision making. *Journal of Personality and Social Psychology*, 60, 941-951.
- Bredenkamp, J. (1989). Kognitionspsychologische Untersuchungen eines Rechenkünstlers. In H. Feger (Hrsg.), *Wissenschaft und Verantwortung. Festschrift für K.J. Klauer zum sechzigsten Geburtstag* (S. 47-70). Göttingen: Hogrefe.
- Chase, W.G. & Ericsson, K.A. (1982). Skill and working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Vol. 16 (pp. 2-58). New York: Academic Press.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J. & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Conant, R.C. & Ashby, W.R. (1970). Every good regulator of a system must be a model of that system. *International Journal of Systems Science*, 1, 89-97.
- Craig, A. (1984). Human engineering: The control of vigilance. In J.S. Warm (Ed.), *Sustained Attention in Human Performance* (pp. 247-291). Chichester: Wiley.
- De Kleer, J. & Brown, J.S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 155-190): Hillsdale,

- NJ: Erlbaum.
- Daniels, J.C. (1957). *Figure-Reasoning-Test (FRT)*. London: Crosby, Lockwood & Son.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Mißlingens*. Reinbek: Rowohlt.
- Dörner, D. & Schaub, H. (1992). Spiel und Wirklichkeit: Über die Verwendung und den Nutzen computersimulierter Planspiele. *Kölner Zeitschrift für Wirtschaft und Pädagogik*, 12, 55-78.
- Duncan, K.D. (1981). Training for fault diagnosis in industrial process plant. In J. Rasmussen & W.B. Rouse (Eds.), *Human detection and diagnosis of system failures* (pp. 553-573). New York: Plenum Press.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Göttingen, Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Egan, D.E. & Greeno, J.G. (1974). Theory of rule induction: Knowledge acquired in concept learning, serial pattern learning, and problem solving. In L.W. Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition* (pp. 43-103). New York: Wiley.
- Ernst, A.M. & Spada, H. (1993). Bis zum bitteren Ende? In J. Schahn & T. Giesinger (Hrsg.), *Psychologie für den Umweltschutz* (S.17-28). Weinheim: Psychologie Verlags-Union.
- Funke, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Berlin: Springer.
- Greeno, J.G. & Simon, H.A. (1988). Problem solving and reasoning. In R.C. Atkinson, R.J. Herrnstein, G. Lindzey & R.D. Luce (Eds.), *Steven's handbook of experimental psychology. Vol. II: Learning and cognition* (pp. 589-672). New York: Wiley.
- Haberfellner, R. (1980). Organisationsmethodik. In E. Grochla (Hrsg.), *Handwörterbuch der Organisation*, 2. Aufl. (Sp. 1701-1710). Stuttgart: Poeschel.
- Hacker, W. (1992). *Expertenkönnen: Erkennen und Vermitteln*. Göttingen, Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Hansford, B.C. & Hattie, J.A. (1982). The relationship between self and achievement / performance measures. *Review of Educational Research*, 52, 123-142.
- Helmreich, R.L. (1992). Human factors aspects on the Air Ontario Crash at Dryden, Ontario: Analysis and recommendations. In V.P. Moshansky (Ed.), *Commission of inquiry into the Air Ontario Accident at Dryden, Ontario: Final Report. Technical Appendices*. Ottawa, ON: Minister of Supply and Services, Canada.
- Hunt, E. (1989). Cognitive science: Definition, status, and questions. *Annual Review of Psychology*, 40, 603-629.
- Hussy, W. (1983). Komplexe menschliche Informationsverarbeitung: Das SPIV-Modell. *Sprache und Kognition*, 2, 47-62.
- Hussy, W. & Granzow, S. (1987). Komplexes Problemlösen, Gedächtnis und Verarbeitungsstil. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 34, 212-227.
- Jensen, A.R. (1990). Speed of information processing in a calculating prodigy. *Intelligence*, 14, 259-274.
- Jerusalem, M. (1990). *Persönliche Ressourcen, Vulnerabilität und Streßerleben*. Göttingen u.a.: Hogrefe.
- Klahr, D. & Robinson, M. (1981). Formal assessment of problem-solving and planning processes in preschool children. *Cognitive Psychology*, 13, 113-148.

- Klauer, K.C. (1993). *Belastung und Entlastung beim Problemlösen. Eine Theorie des deklarativen Vereinfachens*. Göttingen u.a.: Hogrefe.
- Klix, F. (1983). Begabungsforschung - ein neuer Weg in der kognitiven Intelligenzdiagnostik? *Zeitschrift für Psychologie*, 191, 360-387.
- Kluwe, R.H. & Haider, H. (1990). Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache und Kognition*, 9, 173-192.
- Kluwe, R.H., Schilde, A., Fischer, C. & Oellerer N. (1991). Problemlöseleistungen beim Umgang mit komplexen Systemen und Intelligenz. *Diagnostica*, 37, 291-313.
- Konradt, U. (1992). *Analyse von Strategien bei der Störungsdiagnose in der flexibel automatisierten Fertigung*. Bochum: Brockmeyer.
- Kotovsky, K., Hayes, J.R. & Simon, H.A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from the Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology*, 17, 248-294.
- Kotovsky, K. & Simon, H.A. (1990). What makes some problems really hard: Explorations in the problem space of difficulty. *Cognitive Psychology*, 22, 143-183.
- Krüger, W. (1983). *Grundlagen der Organisationsplanung*. Gießen: Götz Schmidt.
- Kyllonen, P.C. & Christal, P.E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, 14, 389-433.
- Leplat, J. & Rocher, M. (1984). Ergonomics of the control of simultaneous processes: case study in biochemical industry. In Institution of Chemical Engineers (Ed.), *Ergonomic problems in process operation* (pp. 7-9). Oxford: Pergamon Press.
- Lichtenstein, S., Fischhoff, B. & Phillips, L.D. (1982). Calibration of probabilities: the state of the art to 1980. In D. Kahneman, P. Slovic & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 306-334). New York: Cambridge University Press.
- Lohman, D.F. (1989). Estimating individual differences in information processing using speed-accuracy models. In R. Kanfer, P.L. Ackerman & R. Cuddeback (Eds.), *The Minnesota symposium on learning and individual differences: Abilities, motivation, and methodology* (pp. 119-163). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lüer, G. & Spada, H. (1992). Denken und Problemlösen. In H. Spada (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*, 2. Aufl. (S. 189-289). Bern: Huber.
- Mabe, P.A. & West, S.J. (1982). Validity of self-evaluation of ability: A review and meta-analysis. *Journal of Applied Psychology*, 67, 280-296.
- McDonald, L.B., Waldrop, G.P. & White, V.T. (1983). *Analysis of fidelity requirements for electronics maintenance* (Technical Report NTEC-81-C-0065-1). Orlando, FL: Naval Training Equipment Center.
- Meyer, W.-U. (1983). Das Konzept der eigenen Begabung als ein sich selbst stabilisierendes System. *Zeitschrift für Personenzentrierte Psychologie und Psychotherapie*, 2, 21-30.
- Meyer, W.-U. (1984). *Das Konzept von der eigenen Begabung*. Bern: Huber.
- Nachreiner, F. (1977). Experiments on the validity of vigilance experiments. In R.R. Mackie (Ed.), *Vigilance. Theory, Operational Performance, and Physiological Correlates* (pp. 665-678). New York, London: Plenum Press.
- Newell, A. (1989). Putting it all together. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex information processing. The impact of Herbert A. Simon*. 21st Carnegie-Mellon

- Symposium on Cognition (pp. 399-440). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Newell, A. & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Owen, E. & Sweller, J. (1985). What do students learn while solving mathematical problems? *Journal of Educational Psychology*, 77, 272-284.
- Perrow, C. (1984). *Normal accidents. Living with high-risk technologies*. New York: Basic Books.
- Rasmussen, J. & Lind, M. (1981). *Coping with complexity*. In Proceedings of the 1st European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control (pp. 70-91). Delft, Holland: Delft University.
- Reason, J. (1992). *Human error: Causes and consequences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind*. London: Hutchinson.
- Sacerdoti, E.D. (1974). Planning in a hierarchy of abstraction spaces. *Artificial Intelligence*, 5, 115-135.
- Schmidt, K.-H. (1987). *Motivation, Handlungskontrolle und Leistung in einer Doppelaufgabenkonstellation*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Simon, H.A. (1979). Information processing models of cognition. *Annual Review of Psychology*, 30, 363-396.
- Simon, H.A. (1990). Invariants of human behavior. *Annual Review of Psychology*, 41, 1-19.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J., Mawer, R. & Ward, M. (1983). Development of expertise in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 639-661.
- Unbehauen, R. (1980). *Systemtheorie*. München: Oldenbourg.
- Veldhuyzen, W. & Stassen, H.G. (1976). The internal model: What does it mean in human control? In T.B. Sheridan & G. Johansson (Eds.), *Monitoring Behavior and Supervisory Control* (pp. 139-157). New York: Plenum Press.
- Veldhuyzen, W. & Stassen, H.G. (1977). The internal model concept: An application to modeling human control of large ships. *Human Factors*, 19, 367-380.
- Weber, P. (1984). Eine EDV-gestützte Warten-Simulation zum Training von Störfällen. *Ortung und Navigation*, 3, 382-387.
- Werthebach, M., Grote, K. & Schmidkunz, H. (1996). Berufliche und betriebliche Sozialisation: Ein Modellversuch zur berufsfeldübergreifenden und fallbezogenen Ausbildung von Chemikanten/Papiermachern, Industriemechanikern und Prozeßelektronikern/Energieelektronikern (I). *Zeitschrift für Klientenzentrierung*, 1/96, S. 73-121.
- Werthebach, M., Grote, K. & Schmidkunz, H. (1998a). Modellversuch zur berufsfeldübergreifenden und fallbezogenen Ausbildung von Chemikanten bzw. Papiermachern, Industriemechanikern und Prozeßleit- bzw. Energieelektronikern. In H. Metz-Göckel & U. Kittler (Hrsg.), *Erziehungs- und Lernprozesse in Schule und Organisationen (II)*. Essen: Blaue Eule.
- Werthebach, M., Grote, K. & Schmidkunz, H. (1998b). Verbesserung der Team- und Problemlösefähigkeit angehender Produktionsfachkräfte und Instandhalter. *Berufsbildung*,

52, 37-41.

Widdel, H. (1990). Steuerung und Überwachung industrieller Prozesse. In C. Graf Hoyos & B. Zimolong (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (Enzyklopädie der Psychologie D III Bd.2) (S. 396-425). Göttingen u.a.: Hogrefe.

Wood, R. & Bandura, A. (1989). Impact of conceptions of ability on self-regulatory mechanisms and complex decision making. *Journal of Personality and Social Psychology*, 56, 407-415.

Yates, J.F. (1990). *Judgment and Decision Making*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.