Lernen an realen Anlagen in virtuellen Lernortstrukturen – dargestellt am Beispiel der Steuerung von Solaranlagen

1 Einleitung

Die Aus- und Weiterbildung in modernen Berufen ist mit innovativen Qualifikations- und Kompetenzanforderungen konfrontiert. Das damit verbundene Ziel, Inhalte der Berufsbildung stärker handlungsorientiert auszurichten, erfordert eine möglichst enge Verzahnung von Theorie und Praxis. Dabei gewinnen zunehmend vernetzte Lernorte (Berufsschulen, Ausbildungsbetriebe, überbetriebliche Bildungseinrichtung und Hochschulen) an Bedeutung, weil sie den strukturellen und didaktisch-methodischen Ansprüchen eher gerecht werden als traditionelle Lernortstrukturen (Dehnbostel 2007). Da die Qualität vernetzter Lernorte wesentlich durch die Zusammenarbeit der Beteiligten konstituiert wird, werden zunehmend auch virtuelle Lernorte in bestehende Netzwerke integriert. Räumlichen Distanzen können so besser überwunden und die Kooperation zwischen den beteiligten Einrichtungen technisch unterstützt werden (Wilbers 2002). Virtuelle Lernorte auf der Basis von web-basierten Lernplattformen bieten Möglichkeiten, Materialien und Ressourcen an unterschiedlichen Lernorten zeitlich flexibel zur Verfügung zu stellen und unterstützen sogar weltweit verteiltes Lernen in kooperativen Lernräumen (Dawabi 2004). Ein noch weitergehendes Konzept ist die virtueller Lernorte mit realen Maschinen, Anlagen, Prozessen oder Laboreinrichtungen über das Internet. Virtuelle Lernorte, die mit realen auf diese Weise kombiniert oder gekoppelt werden, eröffnen neue Szenarien für kooperatives Lernen, erfordern aber auch neue technische Konzepte und Lösungen, die über gängige e-Learning Ansätze hinausgehen. Hierzu soll im vorliegenden Beitrag exemplarisch eine Fallstudie aus dem EU-Projekt MARVEL beschrieben werden. Im Zentrum steht dabei die Konzeption und Realisierung einer Lernumgebung, die die Steuerung und Überwachung einer realen Solaranlage über das Internet ermöglicht und in eine virtuelle Lernortstruktur eingebunden ist. Beschrieben wird die Konzeption einer solchen Lernumgebung. Dokumentiert werden Erfahrungen, die in verschiedenen unterrichtsbezogenen Fallstudien gesammelt wurden. Den Abschluss bilden daraus resultierende Empfehlungen für die Realisierung vernetzter realer und virtueller Lernortstrukturen.

2 Lernen und Experimentieren an realen technischen Anlagen im Internet

2.1 Internet-Technologien in industriellen Anwendungen

War die Nutzung des Internets früher nur in Büroumgebungen üblich, findet es heute zunehmend auch in industriellen Anwendungen Verbreitung. Insbesondere der Einsatz von Ethernet und TCP/IP als Kommunikationsstandard zwischen Komponenten von Automatisierungssystemen hat erheblich an Bedeutung gewonnen (ZVEI 2003). Der Webbrowser als universelle Bedienschnittstelle für automatisierte Geräte, Maschinen und Anlagen wird inzwischen von zahlreichen Systemen unterstützt. Automatisierungssysteme integrieren Webserver und ermöglichen damit einen Online-Zugriff auf die Steuerung von Anlagen (Neumann 2007). Durch den Einsatz des Internets sind ausgewählte Funktionen für vielfältige Aufgaben z.B. in der Fernwartung realisierbar (Borgmeier 2002). Mit internetbasierten Technologien lassen sich Prozesse nicht nur überwachen, eine direkte Interaktion (Teleoperation) des Anwenders mit der Maschine ist über beliebige Entfernungen möglich.

Konzepte und Technologien, die den Fernzugriff über das Internet auf reale Maschinen, Anlagen oder Laboreinrichtungen von verschiedenen Orten erlauben, eröffnen auch vielfältige Perspektiven für die Lernortkooperation zwischen unterschiedlichen Bildungsinstitutionen. Die Ausbildung an realen Systemen ist für jede Bildungseinrichtung mit hohen Kosten verbunden. Dazu gehören beispielsweise Kosten für die Beschaffung, für die Wartung und den Betrieb. Häufig sind auch solche Anlagen und Labore im Bereich der Mechatronik, Produktions- oder Verfahrenstechnik so komplex, das sie von einer Bildungseinrichtung allein nicht effektiv im Lehrbetrieb eingesetzt werden können. Es besteht deshalb ein prinzipielles Interesse, derart aufwändige Lernressourcen z.B. im Rahmen von Lernortkooperationen oder Bildungsnetzwerken gemeinsam zu nutzen. Kerngedanke dabei ist, an verschiedenen Lernorten vorhandene Anlagen zur Verfügung zu stellen oder Laborversuche anzubieten, die dann übergreifend zeit- und ortsunabhängig genutzt werden können.

Idealerweise sollte das Lernen und Experimentieren an realen technischen Anlagen im Internet mit virtuellen Lernplattformen kombiniert werden. Diese dienen dann dazu, den Zugriff auf Realsysteme zu koordinieren und begleitende Online-Materialien zur Verfügung zu stellen. Auch lassen sich auf diese Weise CSCL (engl.: computer-supported cooperative/collaborative learning) -Werkzeuge einbinden, um kooperatives Lernen zwischen verteilten Lernorten zusätzlich zu unterstützen (Haake u.a. 2004). Die Kopplung virtueller Lernorte mit realen Maschinen, Anlagen, Prozessen oder Laboreinrichtungen über das interessante Lernszenarien, die Ausbildung Internet Automatisierungstechnikern, Mechatronikern und anderen Hochtechnologieberufen gefordert werden. Beispiele sind: Ausbildung für Teleservice, Arbeit in gemischt virtuell-realen Umgebungen, computergestütztes kollaboratives Lernen oder standortortübergreifende Teamarbeit.

2.2 Anforderungen

Die Kopplung einer realen Anlage mit einer virtuellen Lernplattform und der Einsatz einer solchen Umgebung innerhalb eines virtuellen Bildungsnetzwerkes stellt vielfältige Anforderungen an die Realisierung:

Prozesskopplung und Teleoperation: Der Fernzugriff über das Internet auf reale Maschinen oder Anlagen erfordert eine Prozesskopplung zwischen dem jeweiligen Realsystem und der virtuellen Umgebung bzw. Bedienschnittstelle. Erforderlich sind hierfür Softwaretreiber und spezielle Hardwarekomponenten zur Kommunikation mit den angeschlossenen, realen Automatisierungsgeräten.

Telepräsenz: Lernende sollten einen möglichst hohen Realitätseindruck von der entfernten Anlage bekommen, wenn sie diese für Lernaufgaben nutzen. Das beinhaltet eine realitätsnahe Repräsentation aller beteiligten Komponenten in ihrem äußeren Erscheinungsbild und in ihrem Verhalten. Durch Übertragung zusätzlicher sensorischer Informationen (z.B. Geräusche, Kräfte) sollten Benutzer das Gefühl bekommen, in der entfernten Anlage oder dem Labor präsent zu sein. Je sensorisch reichhaltiger, sich die Schnittstelle zur entfernten Umgebung zusammensetzt, um so höher ist das Präsenzerleben und um so geringer ist die Barriere zwischen Eingabe- und Ausführungsraum in der Wahrnehmungswelt des Benutzers (Deml 2004).

Zugriffsverwaltung und Sicherheit: Es ist erforderlich, dass nur autorisierte Benutzer einen Online-Zugang zur Anlage erhalten. Wenn die Anlage aus der Ferne genutzt wird, müssen zusätzliche technische Maßnahmen getroffen werden, damit keine Sicherheitsprobleme oder technische Beschädigungen auftreten. Zudem ist eine Terminverwaltung sinnvoll, damit potentielle Nutzer die Anlage für eigene Übungen und Experimente im Voraus reservieren können.

Plattformunabhängigkeit der Client-Software: Die einzusetzende Client-Software sollte plattformunabhängig sein, um die Systemvielfalt in der freien Lehre zu unterstützen. Es sollte im Idealfall lediglich ein Standard-Webbrowser benötigt werden. Insbesondere sollte die Installation von zusätzlichen Softwarekomponenten vermieden werden. Wird zusätzliche, evtl. spezielle Software notwendig, so sollte die Installation einfach und ohne besondere Betriebssystemkenntnisse durchführbar sein.

Technische Randbedingungen: Die Nutzungsakzeptanz von realen Anlagen in virtuellen Lernortstrukturen hängt ganz wesentlich davon ab, ob der Aufwand im Vorfeld oder während des Einsatzes im Unterricht gering gehalten werden kann. Deshalb sollte keine spezielle Hardware erforderlich sein, sondern handelsübliche Computer zum Einsatz kommen können. Diese werden von den meisten Lernenden ohnehin benötigt und sind daher in der Regel privat oder in Rechnerpools der jeweiligen Bildungseinrichtung vorhanden.

3 Aufbau des MARVEL Solarlabors

3.1 Überblick

Die oben genannten Anforderungen bildeten im Projekt MARVEL den Ausgangspunkt für die Konzeption und Realisierung eines Netzwerkes von realen Produktionsanlagen und technischen Laboren, die einen flexiblen Online-Zugriff von unterschiedlichen Lernorten aus ermöglichen. Dazu wurden verschiedene Lernumgebungen für folgende Bereiche implementiert:

- 1. Tele-Konfiguration und -Programmierung eines Industrieroboters,
- 2. Internetgestützte Installation und Inbetriebnahme einer elektropneumatischen Steuerung.
- 3. Prozesssteuerung und -überwachung einer Solaranlage über das Internet,
- 4. Teleservice (e-Maintenance) bei modularen Produktionssystemen.

Anhand von einzelnen Fallstudien wurden verschiedene Lernszenarien erprobt. Dabei wurde auch untersucht, in wieweit es möglich ist, verteilte Realsysteme mit virtuellen Lernplattformen zu kombinierten und innerhalb einer Kooperation zwischen verschiedenen Bildungseinrichtung einzusetzen (Müller 2005). Im folgenden soll das Fallbeispiel "Prozesssteuerung und -überwachung einer Solaranlage über das Internet" etwas genauer beschrieben werden, weil an diesem Beispiel recht anschaulich gezeigt werden kann, welche technischen Voraussetzungen nötig sind, um eine solche Lernumgebung in eine virtuelle Lernortstruktur einzubinden und pädagogisch zu nutzen.

Die Solaranlage wurde von einem Projektpartner, der Berufsbildenden Schule II in Delmenhorst ("Kerschensteiner-Berufsschule") in das MARVEL Projekt eingebracht und entsprechend weiter entwickelt (Hoell, Martens 2005). Bei der Anlage handelt es sich um ein thermisches Solarsystem, bestehend aus vier kommerziellen Kollektoreinheiten und zwei 500

Liter großen Speichertanks für Warmwasser sowie der dazu gehörigen Versorgungs- und Prozesstechnik. Die Kapazität der Anlage ist so ausgelegt, dass sie maximal vier Labore und eine Ausbildungswerkstatt komplett mit Warmwasser versorgen kann. Vorwiegend wird sie aber als Schulungsanlage für Unterrichtszwecke in der Steuerungs-, Prozess- und Versorgungstechnik eingesetzt. Darüber hinaus dient die Anlage als Anschauungsobjekt, um die umweltschonende und effiziente Solartechnik zu demonstrieren, sowie die Leistungsfähigkeit und das Langzeitverhalten verschiedener Kollektorsysteme zu vergleichen (Abb. 1).



Abb. 1: Solaranlage mit Übungslabor

Im Projekt MARVEL wurde die vorhandene Anlage so erweitert, dass diese auch aus der Ferne programmiert, bedient und überwacht werden kann (Müller 2005). Ventile, Pumpe, Sensoren können angesteuert werden, um das Verhalten der Anlage über das Internet zu beeinflussen oder Messdaten zu erfassen. Hierzu wurde die Anlagensteuerung um ein internetfähiges Kopplungsmodul auf der Basis des SCADA (Supervisory, Control, and Data Acquisition) -Systems Simatic WinCC (2009) ergänzt. Die so gewählte Lösung erlaubt es, dass die Automatisierungsfunktionen (Signalverarbeitung, Steuerungsfunktionen) lokal auf dem Automatisierungsgerät der Anlage verbleiben und weiterhin durch die vorhandene Speicherprorammierbare Steuerung (SPS) realisiert werden. Damit ergeben sich keine prinzipiellen Änderungen in der Anlagenstruktur. Die eigentliche Verbindung der Realanlage erfolgt über einen SCADA – Server (vgl. hierzu Kapitel 3.2). Eine Prozessvisualisierungsund Bedienschnittstelle zur Beobachtung oder Steuerung der Solaranlage kann von jedem internetfähigen Rechner aus aufgerufen werden; erforderlich ist dafür ein Webbrowser sowie ein spezielles Softwaremodul (Plug-in). Aus Sicherheitsgründen wurde allerdings noch eine Zugriffsverwaltung implementiert, um nur autorisierten Nutzern den Zugriff auf die Anlage zu erlauben. Die so gefundene Lösung ermöglicht damit beispielsweise Lerngruppen einer kooperierenden Bildungseinrichtung den Fernzugriff auf die Anlage, um das Systemverhalten bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu beobachten, Prozessinformationen analysieren, Umgebungsdaten (z.B. Sonneneinstrahlung oder Wetterdaten) herunterzuladen oder auch in den Anlagenprozess aktiv einzugreifen.

Das Lernen und Experimentieren mit der realen Anlage wird durch die Bereitstellung von zusätzlichen digitalen Lernmaterialien über die Lernplattform MOODLE (Dougiamas, Taylor 2003) unterstützt. Die virtuelle Lernumgebung integriert verschiedene Medien (z.B. virtuelle Handbücher, Videos, Übungsbeispiele) und Webdienste (Web Services), die den Zugriff auf die Realanlage steuern und überwachen. Zusätzlich wurde ein Videokonferenzsystem eingesetzt, um die Kommunikation zwischen Lernenden (Remote-Rechner) und Solarlabor zu unterstützen. Zum Empfang des Video- und Audiostroms wurde ein konfigurierbares Video-Konferenzsystem auf der Basis von Flash Video genutzt. Später im Verlaufe des Projektes wurde hierfür auch die Software *Skype* eingesetzt. Die folgende Darstellung zeigt die Anlagenstruktur des MARVEL Solarlabors, so wie sie im Verlaufe des Projektes realisiert wurde (Abb. 2). Die Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt der webbasierten Bedienschnittstelle der Solaranlage.

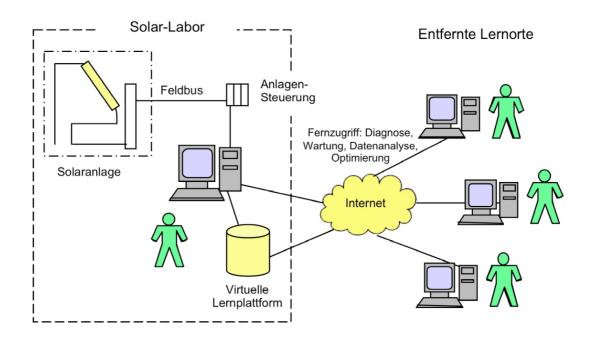


Abb. 2: Anlagenstruktur des MARVEL Solarlabors im Lernortverbund

Mit dem Einsatz des MARVEL Solarlabors lassen sich zahlreiche Lernszenarien realisieren, die für die Ausbildung von Facharbeitern, Technikern und Ingenieuren in der Automatisierungs- und Solartechnik relevant sind.

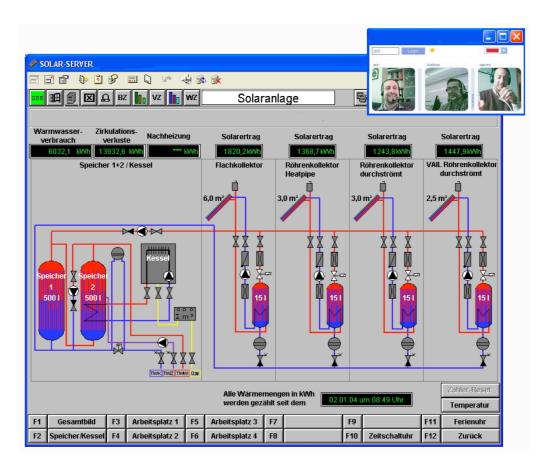


Abb. 3: Bedienschnittstelle der Solaranlage mit Prozessvisualisierung und Videokonferenzsystem

In MARVEL wurden dazu verschiedene Unterrichtsprojekte realisiert. Einige Beispiele sind:

- Konstruktives Kennenlernen der Anlage
- Ermittlung der Sensoranordnungen und der Steuerungskonfiguration
- Ermittlung der Leistung des Systems bei unterschiedlichen Steuerungsparametern
- Aktives Eingreifen in den Anlagenprozess und Änderung von Steuerungsprogrammen
- Projektierung und Test einer optimalen Konfiguration
- Optimierung von Steuerungsparameter
- Hochladen von SPS-Programmen in die Steuerung der Anlage
- Ermittlung der Leistungsfähigkeit und des Langzeitverhaltens verschiedener Kollektortypen.

Typischerweise wurden die Lerneinheiten mit kooperierenden Lerngruppen durchgeführt. Dies fördert Teamarbeit, welche neben anderen eine wesentliche Anforderung an die Fähigkeiten eines Facharbeiters, Technikers oder Ingenieurs ist.

3.2 Systemarchitektur

Kernstück des MARVEL - Solarlabors ist ein SCADA-Server, der die reale Solaranlagensteuerung über ein Kopplungsmodul mit dem Internet verbindet. Dazu verwaltet das SCADA-System eine Prozessdatenbank, in der alle relevanten Prozessinformationen aus der Anlage zur Analyse und Auswertung zur Verfügung gestellt werden. Der SCADA-Server kann auch Daten in das Automatisierungsgerät, in diesem Fall eine Simatic S7 SPS-Steuerung, zurück schreiben, um das Verhalten der Anlage von außen gezielt zu beeinflussen. Das SCADA-

System ist in eine Client- Server-Struktur eingebunden und erlaubt ausreichend viele Web-Clients, von denen bis zu 20 gleichzeitig aktiv sein können. Über eine Standard-Webbrowser Konfiguration lässt sich auf die Anlage zugreifen. Die Benutzerverwaltung der Bedienplätze ist in den Datenbestand der Anlage vor Ort einbezogen und wird über die Lernplattform MOODLE gesteuert. Unterschiedliche Berechtigungsstufen regeln, wer welche Zugriffsrechte hat, beispielsweise also nur anzeigen, aber nicht bedienen kann. Hinzu kommt die Unterstützung gängiger Sicherheitsmechanismen: Router, Firewall, Proxy-Server, Verschlüsselung und VPN-Technologien.

Softwaretechnisch basiert das System auf verschiedenen Komponenten, die hierarchisch in mehreren Ebenen gegliedert werden können Von besonderer Bedeutung sind dabei die Koppelstellen Mensch-Anlage/Maschine und Mensch-Prozess. Über diese Koppelstellen kann der Benutzer in das System oder einen Prozess eingreifen. Entsprechend entsteht eine typische Struktur mit vier Hauptebenen, die relativ selbständig und somit auch getrennt funktionsfähig sind:

- Bedienebene: Schnittstelle zum Benutzer, Interaktion und Kommunikation mit der Realanlage (Teleoperationen), Nutzung der virtuellen Lernplattform (MOODLE).
- Serverebene: Verwaltung und Bereitstellen der Prozessdaten und der virtuellen Lernplattform für autorisierte Nutzer.
- Steuerungsebene: Überwachung und Steuerung der Solaranlage.
- Feldebene: Kopplung des Prozesses mit der Anlagensteuerung (SPS) via Sensoren, Ein-/Ausgabe-Schnittstellen und Feld-Busse.

Den Ebenenaufbau des Systems zeigt folgende Abbildung (Abb. 4).

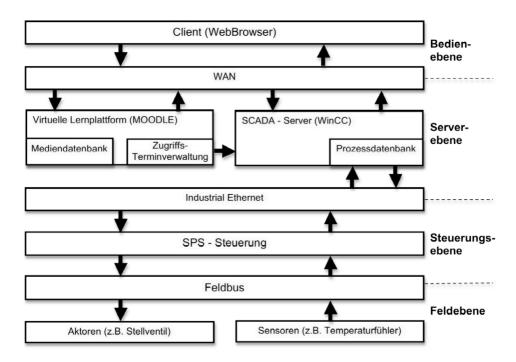


Abb. 4: Softwarearchitektur

4 Erfahrungen

Die Solaranlage nahm nach einer Implementierungs- und Testphase von ca. einem Jahr den vollständigen Betrieb auf. Zu Anfang traten einige technische Hürden auf, die aber durch das hohe Engagement des beteiligten Projektpartners überwunden werden konnten. Dazu bot MARVEL einen guten Rahmen, um Probleme gemeinsam zu erörtern und nach Lösungen zu suchen. Für die Anlagenerweiterungen (Hard- und Software für das SCADA-System und die virtuelle Lernplattform) waren zusätzliche Investitionen erforderlich, die teilweise auch durch Sponsering und Spenden gedeckt werden konnten. Nach den anfänglichen Startschwierigkeiten läuft nun die Anlage im 24-h-Betrieb mit einer sehr hoher Verfügbarkeit von ca. 98%.

Im Rahmen des Projektes MARVEL wurde auch eine Online-Evaluierung durchgeführt, um mehr Erkenntnisse darüber zu bekommen, inwieweit die gesetzten Ziele erreicht werden konnten. Dazu wurde ein Fragebogen entwickelt und bei verschiedenen Unterrichtsprojekten eingesetzt (Abb. 5). Auf einer Bewertungsskala von 1 ("poor") bis 5 ("excellent") konnten Nutzer eigene Bewertungen sowie auch Vorschläge für Verbesserungen abgeben. Die Untersuchung umfasste in erster Linie Fragen zur Usability (Gebrauchstauglichkeit), um die vom Nutzer erlebte Nutzungsqualität bei der Interaktion mit dem System herauszufinden.

Online Course Evaluation Form
The purpose of this survey is to help us understand how well the online delivery of the Solar Energy e-Learning Laboratory and the associated course enabled you to learn.
Each of the 28 statements that follow asks about your experience in this course. Please fill in the empty boxes by inserting the number corresponding to your experience next to each statement (1 = Poor, 2 = Fair, 3 = Good, 4 = Very Good, 5 = Excellent, $N.A = "Don't know"$).
1 = Poor, 2 = Fair, 3 = Good, 4 = Very Good, 5 = Excellent, N.A = "Don't know"
Ease of accessing the solar energy e-learning lab website
Ease of navigating the solar energy e-learning lab website
I could register with no trouble

Abb. 5: Fragebogen (Ausschnitt) für die Evaluation der Solaranlage

Im Mittelpunkt standen dabei Kriterien wie Nutzerzufriedenheit der gesamten Lernungebung (z. B. Attraktivität), Effizienz des Systems bei der Interaktion mit dem System (z. B. sensorisches Feedback bei Teleoperationen) und Effektivität zur Lösung einer gegebenen Lernaufgabe. Um grob abzuschätzen, welchen Einfluss die Lernumgebung auch auf den Kompetenzzuwachs des Lerners hat, wurde eine Selbsteinschätzungsskala verwendet, die als übergeordnetes Einteilungsschema in der Ausbildung von Technikern und Ingenieuren auch im Europäischen Kontext Akzeptanz findet. Dieses Schema ist angelehnt an eine Studie über technische Labore von Ma und Nickerson (2006) und differenziert zwischen den vier Kompetenzbereichen *Conceptual Understanding*, *Design Skills*, *Social Skills* und *Professional Skills*. Aus zeitlichen Gründen, wurde eine vergleichende Bewertung mit anderen Lernumgebungen oder Bildungsmaßnahmen in der Evaluation nicht vorgenommen.

Der Fragebogen wurde insgesamt in vier Unterrichtsprojekten einsetzt. Beteiligt waren drei kooperierende Einrichtungen aus dem Projekt MARVEL, und zwar Berufsschüler der Kerschensteiner-Berufsschule in Delmenhorst, Schüler des Higher Technical Instituts (HTI)

in Nicosia (Zypern) und Trainees aus dem West Lothian College (WLC) in Schottland. Zusätzlich wurden während einer Pilotphase auch Informatikstudenten der Universität Bremen befragt. Der Fragebogen wurde jeweils online über die vorhandene MOODLE-Lernplattform zum Ende jedes Unterrichtsvorhaben zur Verfügung gestellt und von den Teilnehmern beantwortet.

Im Ergebnis wurde die Benutzbarkeit des Systems von den meisten (ca. 80%) als recht gut bewertet. Sehr positiv wurde die Qualität der Prozessvisualisierung eingeschätzt. Kritisch bewertet wurde, dass die Ursachen einer Fehleingabe (z.B. bei der Parametrierung der Steuerung) vom System nicht ausreichend transparent waren oder sensorisch nicht verständlich zurück gemeldet wurden. Sehr gut angenommen wurde die eingesetzte Lernumgebung MOODLE, weil hierdurch zusätzliche Selbstlernmaterialien zur Verfügung standen. Das eingesetzte Video-Konferenzsystem wurde gern genutzt, wobei Lerner äußerten, dass dabei der Audio-Chat-Kanal wichtiger ist als das Kamerabild.

Insgesamt ergab sich bei der Auswertung für einzelne Fragen (insbesondere zum Aspekt Kompetenz) eine große Streuung, die darauf schließen lässt, dass Lernen und Experimentieren mit einem Realsystem im Internet bei unterschiedlichen Lernern (Berufsschüler bis Studenten) möglicherweise auf recht unterschiedliche individuelle Voraussetzungen trifft. Dies betrifft die fachlichen Kenntnisse, mehr aber noch die Fähigkeiten, die erforderlich sind mit digitalen Medien kompetent umzugehen.

Ein grundlegendes Problem bei der durchgeführten Evaluation besteht darin, dass es prinzipiell schwierig ist universelle Aussagen zu treffen. Dafür müssen sicherlich weitere und vor allen Dingen viel umfassendere Evaluationen folgen, die sehr speziell Aspekte des Lernens mit gemischten Lernumgebungen und Telepräsenzsystemen untersuchen.

Was die technische Umsetzung betrifft, zeigte sich im Verlauf des Projektes MARVEL, dass eine webbasierte SCADA-Umgebung eine Lösung darstellt, die einen nicht unerheblichen Implementierungsaufwand erfordert. Dafür erhält der Nutzer ein komplexes, auf industriellen Komponenten basierendes System, das hohe Sicherheitsstandards erfüllt und deshalb auch bei der Prozessüberwachung von großen Industrieanlagen Verwendung findet. Auf dem Markt verfügbare SCADA-Systeme bedingen kostspielige Softwarepakete, welche in der Regel wesentlich mehr Funktionalitäten bieten, als der Nutzer tatsächlich benötigt. Dies macht es für eine einzelne Bildungseinrichtung schwierig, eine Anlage, wie hier beschrieben, aufzubauen. Ein derartiges Vorhaben, eingebunden in ein kooperatives Bildungsnetzwerk, erscheint allerdings sinnvoll und realisierbar.

5 Fazit und Ausblick

Mit dem Internet entstehen neue, virtuelle Lernorte außerhalb der traditionellen Bildungsinstitutionen, die eine gewisse Unabhängigkeit des Lernens von Ort und Zeitpunkt ermöglichen. Dabei ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, um den Informations- und Wissensaustausch zwischen verteilten Lernorten effektiver zu gestalten. Vielfältige Lernszenarien sind denkbar, wie beispielsweise lernortübergreifende Bereitstellung von didaktischen Materialen, telekooperatives Lernen im Lernortverbund oder kooperative Weiterbildung von Lehrkräften. Darüber hinaus ermöglicht das Internet den Datenaustausch mit entfernt stehenden technischen Realsystemen (z.B. Maschinen, Produktionsanlagen oder Laboreinrichtungen).

In diesem Beitrag wurde beschrieben, wie eine solche Lernumgebung realisiert werden kann, die virtuelles Lernen mit Lernsituationen verknüpft, die im Zusammenhang mit realen Prozessen stehen. Reale Lernwelten werden dabei in zwei Richtungen ergänzt. Einerseits werden Lernressourcen, die als virtuelle Medien existieren, mit realen Lernorten kombiniert oder verknüpft. Virtuelle Lernorte werden anderseits mit Realsystemen so angereichert, dass diese in reale Umgebungen integriert werden. Innerhalb von virtuellen Lernortstrukturen können auf diese Weise reale Produktionsanlagen oder Labore, die an unterschiedlichen Bildungsinstitutionen oder Unternehmen vorhanden sind, gemeinsam genutzt werden. Dabei haben Lernende die Möglichkeit, digitale Medien mit realen Prozessdaten so zu kombinieren, dass möglichst authentische, prozessnahe Lernsituationen entstehen.

Literatur

Borgmeier, A. (2002): Teleservice im Maschinen- und Anlagenbau. Anwendung und Gestaltungsempfehlungen. Wiesbaden

Dawabi, P. (2004): Virtuelle kooperative Lernräume. In: Haake, J., Schwabe, G., Wessner, M. (Hrsg.) (2004), a.a.O, S. 118-126

Dehnbostel P. (2007): Verbünde und Netzwerke als Lernortkooperationen in modernen Berufen. In: Bruhne, A., Herbold, I., Weiner, A., Wichmann, C. (Hrsg.): Aus- und Weiterbildung in Hochtechnologieberufen. Tagungsband des niedersächsischen Ausbildungsnetzwerks mst-bildung. Aachen. S. 16-30

Deml, B. (2004). Telepräsenzsysteme: Gestaltung der Mensch-System Schnittstelle. Dissertation Universität der Bundeswehr München

Dougiamas, M., Taylor, P. (2003): Moodle: Using Learning Communities to Create an Open Source Course Management System. In: D. Lassner & C. McNaught (Eds.), Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2003 (pp. 171-178). Chesapeake, VA: AACE

Haake, J., Schwabe, G., Wessner, M. (Hrsg.) (2004): CSCL-Kompendium. Lehr- und Handbuch zum computerunterstützten kooperativen Lernen. München, Wien

Hoell, W., Martens, H. (2005): Remote Process Control of a full-scale Solar Heating System. Learning Environment Design, Course Notes, and Evaluation. In: MARVEL-Final Report. Bremen

Ma, J., Nickerson, J.V. (2006): Hands-on, Simulated and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review, ACM Computing Surveys, (38:3) Article No. 7, 2006, pp. 1-24.

Michaelides, I., Eleftheriou, P., Müller, D. (2004): A remotely accessible solar energy laboratory - A distributed learning experience. 1st Remote Engineering and Virtual Instrumentation International Symposium (REV'04). Villach (Austria), 28 - 29 September 2004

Müller, D. (ed.) (2005): MARVEL- Mechatronics Training in Real and Virtual Environments.

Concepts, Practices, and Recommendations. Impuls Vol. 18. Published by Nationale Agentur für Bildung in Europa beim BiBB. Bremen

Neumann, P. (2007): Communication in Industrial Automation. What is going on? In: Control Engineering Practice 15 (2007), S. 1332-1347

SIMATIC WinCC (2008): Prozessvisualisierung mit Plant Intelligence. http://www.automation.siemens.com/hmi/html_00/products/software/wincc/ (letzter Zugriff 15.3.2009)

Wilbers, K. (2002): Die Schule im regionalen Berufsbildungsnetzwerk - Ganzheitliche Gestaltung einer proaktiven Institution in den flexiblen institutionellen Arrangements eines regionalen Berufsbildungsnetzwerks. In: BLK (Hrsg): Kompetenzzentren in regionalen Berufsbildungsnetzwerken - Rolle und Beitrag der beruflichen Schulen. Bonn, S. 101-121

ZVEI (Hrsg.)(2003): Ethernet in der Automation. Studie über Systemvergleich der Ethernet-Kommunikationskonzepte für die Automation industrieller Anlagen vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

Autoren

Dr. Dieter Müller Universität Bremen Art-Work-Technology Lab (artecLab) Enrique-Schmidt-Straße (SFG) D-28334 Bremen e-mail: mueller@artec.uni-bremen.de

Dipl.-Ing. Hartmut Rosch Universität Bremen Art-Work-Technology Lab (artecLab) Enrique-Schmidt-Straße (SFG) D-28334 Bremen e-mail: hrosch@artec.uni-bremen.de