

# Der Jugend eine Zukunft!

## Naturwissenschaftliche und technische Bildung stärken

Bildungspolitischer Kongress  
Berlin 26. und 27. März 2001

### Workshop T 3

Sekundarstufe II – Jahrgangsstufe 11

### **Verfahrenstechnik im Technikunterricht - Mechanische Stofftrennung am Beispiel der optischen Glassortierung**

Heinrich-von-Kleist-Gymnasium, Bochum  
Klaus Trimborn, Mark Bienk  
Moderation: Prof. Dr. W. Traebert

**VDI** VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE  
**DPhV** DEUTSCHER PHILOLOGENVERBAND

# 1. Technikunterricht in der gymnasialen Oberstufe

## Technikunterricht am Gymnasium

Das Land Nordrhein-Westfalen bietet als eines von wenigen Bundesländern den Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe die Möglichkeit, das Fach Technik als Grundkursfach im Wahlpflichtbereich zu belegen. Leider ist der Verbreitungsgrad sehr gering, dies liegt zum größten Teil an den fehlenden Fachlehrkräften. Welche Bedeutung für das Schulprofil und die Bildungsmöglichkeiten der Schülerinnen und Schüler dieses Fach aufweist, sei am Beispiel der Heinrich-von-Kleist-Gymnasiums, Bochum exemplarisch dargestellt.

## Technikunterricht und Realtechnik

Seit Einführung des Faches Technik an der Heinrich-von-Kleist-Schule im Jahr 1984 wird versucht, von Beginn des Technikunterrichts in Jahrgang 9 bis zum Abitur Realtechnik in den Unterricht zu holen. Der Unterricht selbst ist grundsätzlich projektorientiert und fachübergreifend angelegt. Im Mittelpunkt steht immer die Arbeit an realtechnischen Systemen oder, wo das nicht geht, an Funktionsmodellen. Einbezogen in den Unterricht sind die naturwissenschaftlichen Grundlagen der jeweiligen technischen Systeme, die ingenieurwissenschaftlichen Vorgehensweisen sowie die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen. Dieses geschieht auch unter intensiver Einbeziehung außerschulischer Lernorte.

## Technikunterricht und Industrie

Enge Kooperationen mit Industrieunternehmen erlauben Einblicke in die technischen, wirtschaftlichen und sozialen Zusammenhänge unserer Partnerunternehmen, die weit über das z.B. bei Exkursionen erreichbare Maß hinausgehen.

## Technikunterricht und Bildungschancen

Dabei stellt das Fach Technik kein „Exotenfach“ an dieser Schule dar, durchschnittlich 40% der Schülerinnen und Schüler eines Jahrgangs belegen das Fach als Grundkurs in der gymnasialen Oberstufe. Der Mädchenanteil bewegt sich zwischen 30% und 50%. Diese Belegungsquoten zeigen eindrucksvoll, dass bei Auswahl geeigneter Unterrichtsinhalte und einer praxisorientierten Gestaltung des Unterrichts mit größtmöglicher Eigentätigkeit der Schülerinnen und Schüler von mangelndem Interesse an Technik wenig zu spüren ist.

## Technikunterricht und finales Gestalten

Gerade der Unterschied der naturwissenschaftlichen Disziplinen (kausale Erforschung der Natur) und der Technikwissenschaften (finale Gestaltung der Umwelt) bietet für die Didaktik einer allgemeinbildenden Tech-

nik die Möglichkeit, den Schülerinnen und Schülern in Anlehnung an die Ingenieurwissenschaften selbstständiges Konstruieren und Fertigen bis hin zur Schaffung realtechnischer, funktionierender Systeme zu ermöglichen. Der Spaß und der Stolz, ein durchaus nicht triviales technisches Problem bewältigt zu haben, ist eine Erfahrung, die kaum ein anderes Fach in dieser Form bieten kann.

Dies ist wohlgermerkt kein Plädoyer gegen eine naturwissenschaftliche Grundbildung, sondern zeigt, das ein allgemeinbildendes Schulfach Technik am Gymnasium wesentlich dazu beitragen kann, junge Menschen für technische Berufe und Studiengänge zu begeistern.

**Technikunterricht und Verfahrenstechnik – ein konkretes Unterrichtsbeispiel aus der Jahrgangsstufe 11**

Als konkretes Beispiel wird in diesem Workshop ein Funktionsmodell einer vollautomatischen Glassortieranlage zur Trennung von Bunt- und Weissglas vorgestellt. Im Rahmen des Themas „Abfall und Recycling“ ist diese Anlage in enger Zusammenarbeit mit dem örtlichen Entsorgungsbetrieb, der Umweltservice Bochum GmbH (USB) sowie der Firma Rhenus, die in Essen eine derartige Anlage betreibt, entstanden.

## 2. Sachanalyse und Begrifflichkeit

Produktionstechnik	
<b>Fertigungstechnik</b>	<b>Verfahrenstechnik</b>
Formfeste Werkstoffe	formloser Stoff, Fließgüter
geometrisch bestimmbare Produkte	Flüssigkeiten Gase, Teige stückige Güter Pulver, Sande

Die Verfahrenstechnik bildet zusammen mit der Fertigungstechnik das Gebiet der Produktionstechnik.

Während die Fertigungstechnik sich vor allem mit der Be- und Verarbeitung **formfester** Werkstoffe - also der Formgebung von geometrisch bestimmten Produkten - beschäftigt ( DIN 8580), stehen bei der Verfahrenstechnik "formlose" Güter, das sind solche, bei denen die äußere Form keine entscheidendes Merkmal ist, im Vordergrund des Interesses, - also Flüssigkeiten, Gase, Pulver, Pasten, Teige und stückige Güter. Verändert werden bei diesen Gütern wird also nicht so sehr die äußere Form, sondern die Eigenschaften bzw. die Zusammensetzung:

Verfahrenstechnik ist Stoffwandlungstechnik.

Bedingt durch das typische (Förder-) Verhalten der verarbeiteten (formlosen) Güter, geht es in der Verfahrenstechnik meist um (kontinuierliche) Fließprozesse , d.h. die verarbeiteten Güter werden zumeist in Rohrleitungen und oft in Kreisläufen geführt. Diese Verhaltensweise formloser Güter hatte auch schon früh zur

Folge, dass verfahrenstechnische Prozesse automatisiert bzw. stetig geregelt werden konnten, was einerseits gerade dort die Entwicklung automatischer Steuerungs- und Regelungseinrichtungen verlangte, andererseits auch die Beschäftigtenquote niedrig zu halten erlaubte: in verfahrenstechnischen Anlagen arbeiten im Vergleich zu Fertigungsbetrieben zumeist relativ wenige Menschen, der Fließcharakter und die Flüchtigkeit der Produkte ( z.B. Ausdampfung , Staubentwicklung, Substanzverlust an die umgebende Luft, aber auch die Gefahr unkontrollierter Reaktionen mit der Umgebung wegen der großen spezifischen Oberfläche) bedingen, dass sie meistens in Rohrleitungen und geschlossenen Behältern gefördert, verarbeitet und gelagert werden.

**Verfahrenstechnik – zu unzugänglich für den Unterricht?**

Das wiederum ruft - didaktisch interpretiert - eine gewisse Unanschaulichkeit der Produktion hervor und erschwert die "Zugänglichkeit" im wörtlichen Sinne sowie den Umgang damit. Insbesondere dieses Merkmal dürfte für die bislang relativ geringe unterrichtliche Verbreitung der Verfahrenstechnik im allgemeinbildenden Technikunterricht mit verantwortlich sein:

"klassische" Fertigungsprozesse, wie etwa das spanabhebende oder spanlose Umformen (Bohren, Drehen, Fräsen, Sägen) , das Schweißen, Löten Kleben und Tiefziehen sind ungleich bekannter und erheblich häufiger Gegenstand des Unterrichts. Umgekehrt ist allerdings dieser ungleiche Bekanntheitsgrad von der tatsächlichen Verbreitung in der (industriellen) Realität nicht gedeckt: betrachtet man die in technischen Prozessen erfolgende Wertschöpfung, die "Lebensnähe" und objektive Bedeutsamkeit so hergestellter Produkte und Verfahren (Lebensmitteltechnologie, Baustofftechnologie, Entsorgungstechnik) so lässt sich schwer bestreiten, dass Verfahrenstechnik mindestens ebenso bedeutsam und problemhaltig wie die Fertigungstechnik ist.

**Verfahrenstechnik – lebensnahe und damit „schülernahe“ Anwendungsgebiete**

Die Anwendungsgebiete der Verfahrenstechnik sind sehr umfangreich und vielgestaltig: chemische Industrie, Erdölderivate, Kunststoffe, Baustoffe, Kosmetika, Waschmittel, Klebstoffe, Pharmazeutische Produkte, (Ab-)Wasseraufbereitung, Lebensmitteltechnologie, Entsorgungstechnik, aber auch Eisen- und Stahlindustrie sind nur einige der Produktionsfelder, für die Verfahrenstechnik typisch ist. Stoffumwandlung geht oft mit exothermen oder endothermen Reaktionen einher, daher spielen auch Erwärmung und Kühlung zur Regelung solcher Prozesse eine große Rolle, ebenso wie die

durch solche Einwirkungen sich ändernden Stoffeigenschaften (Aggregatzustand, Viskosität, Konzentration, usw.).

Je nach eingesetzten Methoden gliedert man in

- mechanische Verfahrenstechnik,
- thermische Verfahrenstechnik und
- chemische Verfahrenstechnik.

#### Verfahrenstechnik – Methoden und Grundverfahren

Im Unterschied zur eigentlichen chemischen Technologie, bei der die stofflichen Umsetzungsprozesse (chemische Reaktionen) im Vordergrund stehen und die eher in den Bereich der (angewandten) Chemie gehört, sind bei der Verfahrenstechnik nicht die stofflichen Gesichtspunkte sondern die zur Verarbeitung eingesetzten **Methoden**, die sog. **Grundverfahren** (unit operations) entscheidend für die Gliederung, also etwa das (mechanische oder thermische) Trennen (= Zerkleinern, Sieben, Sortieren, Absetzen bzw. Trocknen, Eindampfen, Destillieren) oder das Vereinigen (Mischen, Rühren) der Stoffkomponenten. Dadurch ergibt sich eine weitgehend stoffunabhängige Systematik verfahrenstechnischer Prozesse die - da die Anzahl der Grundverfahren geringer ist, als die stoffbezogenen Möglichkeiten ihrer Anwendung - eine wesentliche Stoffstraffung ermöglicht, was andererseits der Übersichtlichkeit dient. Allgemein anwendbar, auch in der Verfahrenstechnik, ist die Systemtheorie, der Input an Stoff, Energie und Information in ein System, seine darin erfolgende Wandlung, Transportierung und Speicherung sowie der Output in Form der nun veränderten Größen werden in Stoff- und Energiebilanzen erfasst, die insbesondere für die Bewertung solcher Prozesse hinsichtlich ihrer Effektivität (Wirtschaftlichkeit, Wirkungsgrad, Ergiebigkeit) wichtig sind.

Eine häufige Aufgabe in der Verfahrenstechnik ist die Übertragung eines im Labor entwickelten Produktionsablaufs in den Großmaßstab. Da viele verfahrenstechnisch wichtigen Parameter ganz unterschiedlichen physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten und Einflussgrößen folgen, lassen sich solche Aufgaben nicht durch einfache multiplikative Vergrößerung der Anlagen bzw. Eintragsmengen lösen, dazu benötigt man die Regeln der sog. Ähnlichkeitstheorie, die es erlaubt, funktional gleiche oder zumindest annähernd gleiche Anlagen unterschiedlicher Größenord-

nung durch Vorausberechnung zu projektieren. Allerdings sind dazu ein anspruchsvolles physikalisch-chemisches und mathematisches Rüstzeug erforderlich. Hier konnten gerade in neuerer Zeit durch den Einsatz moderner Rechenprogramme erhebliche Fortschritte erzielt werden, die die früher unausweichlichen experimentellen Zwischenüberprüfungen in Form sog. "halbtechnischer" Pilotanlagen vereinfachen, evtl. sogar ersetzen können.

**Umwelt- und  
Entsorgungstechnik**

Ein vermutlich besonders zukunftssträchtiger - aber auch im Allgemeinbildungszusammenhang aus raeliegenden Gründen besonders wichtiger - Bereich der Verfahrenstechnik ist der Umgang mit Abfällen, Reststoffen und (ungewollten) Nebenwirkungen industrieller Produktionen, die Umwelt- bzw. Entsorgungstechnik.

Didaktisch geht es hier nicht nur um die Entwicklung und (modellhafte) Lösung dort vorhandener, typischer Probleme, sondern allgemein auch um die Sensibilisierung für dort gegebene (allgemeine) Aufgaben und Probleme. Die unmittelbare "Lebensnähe" dieser Art Technik sowie die in der Regel leichte und wohl überall erreichbare Inaugenscheinnahme "vor Ort" legten es nahe, ein Thema aus diesem Bereich zu wählen, das schon wegen der Komplexität der Aufgabe und ihrer vielfältigen (Aus-)Wirkungen zweckmäßigerweise als Projekt angelegt wurde.

### 3. Unterrichtliche Umsetzung

#### Idee und Voraussetzungen



#### Auftragsarbeit im Unterricht für ein Partnerunternehmen



Im Technikunterricht der Jahrgangsstufe 11 wird seit 4 Jahren das Thema Abfalltrennung thematisiert. Dies geschah schon immer mit intensivem Kontakt zum örtlichen Entsorgungsbetrieb, dem Umweltservice Bochum GmbH (USB), einem städtischen Eigenbetrieb, um Realtechnik in den Unterricht zu bringen. Dabei entstanden Prototypen von Sortieranlagen, die auch auf die Zustimmung der Geschäftsführung des Partnerunternehmens stießen. Im vergangenen Jahr 2000 wurde mit dem USB vereinbart, dass die Technikkurse der Jahrgangsstufe 11 im Rahmen des Focus-Schülerwettbewerbs 2000 in einem umfassenden multimedialen Unterrichtsprojekt eine sehr intensive Zusammenarbeit mit dem USB und seinen Partnerunternehmen, der Rhenus-AG (automatische Glassortierung) und Fa. Rethmann Entsorgung (automatische LVP-Sortierung) eingehen.

Mit dem USB wurde vereinbart, dass die Technikkurse 11 für das Unternehmen folgende Aufgaben übernehmen:

- Erstellung einer Multimedia-CD als Kunden-CD für den USB, die insbesondere im Schulbereich Verwendung finden soll,
- Erstellung eines wesentlich verbesserten und erweiterten vollautomatischen Funktionsmodells einer Glassortieranlage als Ausstellungsobjekt für die USB-Hauptverwaltung.

Die beiden Technikkurse der Jahrgangsstufe 11 wurden von 38 Schülerinnen und Schülern besucht. Die Teilnahme an der eigentlichen Projektgruppe „USB“ ist freiwillig. Nach dem Hinweis auf die besonderen, auch außerunterrichtlichen Arbeitsbelastungen bei einer Verpflichtung zur Auftragsarbeit waren jeweils 9 Kursteilnehmer beider Kurse 11 dazu bereit sowie 5 Schülerinnen und Schüler aus der 12, die das Projekt „Mülltrennung“ im letzten Jahr bearbeitet haben, insgesamt also 23 Teilnehmer.

Diese Schülerinnen und Schüler haben einen besonders intensiven Umgang mit den Partnerunternehmen erlebt. Die Erstellung der Präsentations-CD für den USB erfordert natürlich das intensive Kennenlernen der Strukturen und der jeweils angewandten Technik.

Da das Thema Abfallbehandlung aber als reguläres Kursthema im Unterricht behandelt wurde, konnten auch die übrigen Kursteilnehmer von den Erkenntnissen im Rahmen der Recherchen profitieren, eine Präsentation und Diskussion der Recherche-Ergebnisse fand fortlaufend im Kursunterricht statt.

**Außerschulische Lernorte und Partner**



**Fraunhofer** Institut  
Umwelt-, Sicherheits-,  
Energietechnik UMSICHT

Mit beiden Kursen wurden die Betriebsstätten des USB (Mülldeponie, Baustoffrecycling) sowie die LVP-Anlage der Firma Rethmann in Bochum und die Glassortieranlage der Firma Rhenus in Essen besichtigt.

Im Rahmen der Projektarbeit wurde ein „Abfall-Forum“ mit Experten vom Fraunhofer-Institut Umsicht (VDI-Ingenieure) und des USB organisiert. In einem ernsthaften Tagungsrahmen (3 Zeitstunden) präsentierten die Schüler zunächst ihre Rechercheergebnisse zu Themen wie Abfallzusammensetzung und –aufkommen, rechtliche Grundlagen der Abfallwirtschaft, Techniken des Recyclings und der Entsorgung. Anschließend referierten die außerschulischen Experten über Zusammenhänge der Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik und konnten den Teilnehmern einen gelungenen Einblick in die Realtechnik bzw. –wirtschaft geben.

**Konstruktion, Fertigung und Inbetriebnahme der Glassortierung im regulären Technikunterricht**



Zu betonen ist, dass die arbeitsteilige Konstruktion und Fertigung der automatischen Glassortieranlage im regulären Technikunterricht stattfand. Hervorzuheben ist dabei, das die Teilsysteme Fließbänder, Siebtrommel, Windsichter und Magnetscheider völlig neu und sehr selbstständig konstruiert und gefertigt wurden.

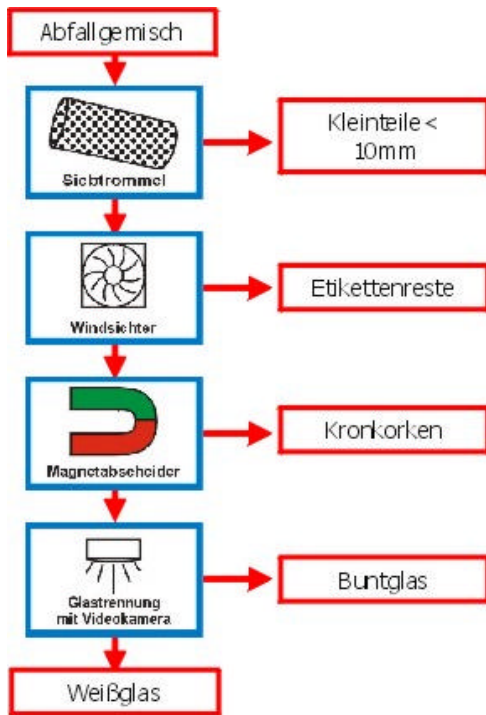
Die Recherchen zur USB-CD und deren endgültige Zusammenstellung fand außerhalb des Unterrichts in Freistunden, am Nachmittag sowie an 4 Projekttagen statt.

Nachdem im vergangenen Jahr die von den damaligen 11er-Kursen erstellte Glassortieranlage, die Bunt- von Weißglas trennen konnte, schon in der Hauptverwaltung des USB ständig ausgestellt war, wurde mit dem USB vereinbart, in diesem Jahr eine wesentlich erweiterte, dem Verfahrensablauf bei der Partnerfirma Rhenus-AG in Essen prinzipiell entsprechende Anlage zu erstellen.

Außerdem sah die letzte Anlage doch etwas „gebastelt“ und nicht konstruiert und gefertigt aus, so dass auch hier eine Optimierung vorgenommen wurde.



**Verfahrensschema der Glassortierung**



Arbeitsteilig wurden in den beiden Kursen die Teilsysteme Siebtrommel, Windsichter, Magnetscheider, Förderbänder neu konstruiert und gefertigt. Die optische Erkennung von Buntglas konnte von der letztjährigen Anlage übernommen werden.

Bei der Modellanlage wurden wesentliche Teilelemente der realen Anlage nachgebildet.

Es fehlen noch Brecher für große Teile und Wirbelstromabscheider für NE-Metalle. Aber die nächsten Technikkurse müssen ja auch noch etwas zu tun haben.

Die Mogensen-Geräte zur optischen Glassortierung bei der Rhenus – AG berechnen aus einem fallenden Glasstrom Schwerpunkt und Farbe eines jeden Glaselementes und blasen es mittels eines Düsenfeldes aus dem Strom.

Wir können uns hier im Modell nur auf hintereinander laufende Glasscherben beschränken. Aber das Prinzip der Trennung wird eindrucksvoll deutlich.

Immerhin haben wir es aber technisch geschafft, das die Glasscherben hintereinander unter der Kamera hindurchlaufen.

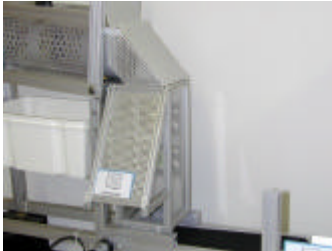
**Funktion der Teilsysteme**



Über eine Schütte wird das Abfallgemisch, bestehend aus Kleinteilen < 10mm, Papierfetzen, Kronkorken, Bunt- und Weißglasstücken in die leicht geneigte Siebtrommel gegeben. Die Siebtrommel ist in einem Gestell auf 4 unten angebrachten Kugellagern drehbar gelagert, der Antrieb erfolgt über ein an der Oberseite angebrachtes Reibrad. Durch die Drehung wird der Abfall nach vorn bewegt, die Kleinteile fallen durch die Löcher in einen Auffangbehälter.

Das Restgemisch fällt anschließend in den Windsichter.

Das Gestell ist – wie die weiteren Teilsysteme der Anlage auch – aus Aluminiumprofilen 25\*25mm gefertigt.

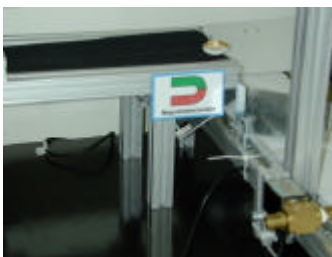


Der Windsichter besteht aus einem Gestell aus Aluminiumprofilen, an dem auf einer Seite zwei Ventilatoren übereinander angeordnet sind.

Das Restgemisch fällt durch den Luftstrom, die leichten Papier- und evtl. Folienteile werden seitlich in einen Behälter geblasen.

Die übrigen Stoffe fallen auf das erste Fließband.

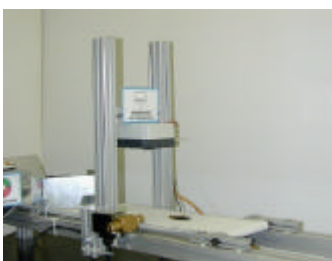
Nach oben ist der Windsichter mit einem Aluminium-Lochblech verkleidet, um Verwirbelungen und Ausblasen der Papier- und Folienteile nach oben bzw. zurück in die Siebtrommel zu verhindern.



Am Ende des ersten Fließbandes ist eine Welle angebracht, auf der 4 runde Magnete befestigt sind.

Kronkorken und sonstige magnetisierbare Bestandteile werden um die Welle an die Unterseite des Fließbandes transportiert. Dort fallen Sie aufgrund der Bandbewegung und der Schwerkraft in einen Behälter.

Die übrig bleibenden Glasstücke werden auf das rechtwinklig angeordnete Fließband zur optischen Glastrengung abgeworfen.



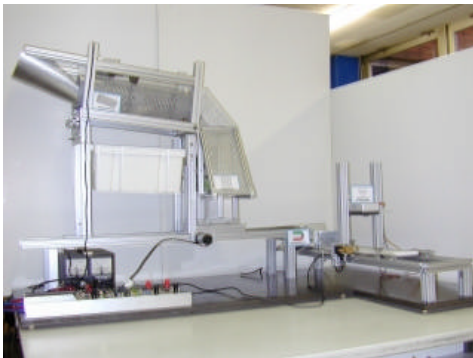
Auf dem letzten Förderband werden die einzelnen Glasstücke durch Leitbleche in die Bandmitte gelenkt. Sie fahren unter einer CCD-Kamera durch. Das Bild wird im 600ms-Abstand von der Computerauswertung erfasst.

Von diesem Standbild werden jeweils die Farbpixel der mittleren Zeile dahingehend ausgewertet, ob sich bei den einzelnen Pixeln eine Dunkelabweichung gegenüber dem Durchschnittswert dieser Zeile ergibt. Ist diese Dunkelabweichung  $> 50\%$ , erkennt der Computer Buntglas.

Das Programm gibt über die parallele Schnittstelle einen Schaltbefehl an ein Magnetventil.

Ein Luftstoß fegt das Buntglas vom Band in einen seitlichen Behälter.

Das Weißglas läuft bis ans Bandende und fällt dort in einen Behälter.



Auf dem Monitor ist das Kamerabild zu verfolgen. Bei Erscheinen einer Buntglasscherbe wechselt das rote Feld mit der Inschrift „Kein Buntglas“ in eine grüne Anzeige „Buntglas gefunden. Gleichzeitig wird über die parallele Schnittstelle der Schaltimpuls für das Magnetventil abgesetzt.

Der Betriebsablauf der Anlage, d.h. die Ein- und Ausschaltsequenzen für die Motoren der Fließbänder, Lüfter und Windsichter wird über ein Computer-programm ausgeführt, das über die parallele Schnittstelle Schaltbefehle an die jeweiligen Motortreiber absetzt.

Die Schaltzustände der Anlagenteile werden auf einem Rückmeldebild angezeigt.

### Was haben die Schüler über Technik gelernt?

Die einzelnen Gruppen haben ihre technischen Problemstellungen bearbeitet, zu funktionsfähigen Lösungen gebracht und dabei ingenieurwissenschaftliche Vorgehensweisen ansatzweise kennen gelernt bzw. selbst erfahren.

Am Beispiel des Windsichters haben alle Schüler beim Zusammenbau der Anlage erfahren, dass die Summe der Teilsysteme noch lange nicht das Gesamtsystem ausmacht. Allein funktionierte der zunächst entwickelte Windsichter optimal. Im Zusammenhang mit der vorgeschalteten Siebtrommel war es aus! Sämtliche leichten Teile wurden zurückgeblasen in die Siebtrommel. Es hat 4 Unterrichtsstunden wirklich intensiver Arbeit, Überlegungen und Testläufe gedauert, bis eine Lösung gefunden war. Die zunächst eingesetzte Plexiglasabdeckung musste gegen ein Lochblech ausgetauscht werden, um die Verwirbelungen zu verhindern!

Auch die Anpassung der Förderbandgeschwindigkeiten stellte die Schüler vor Optimierungsprobleme, die auch in der industriellen Praxis auftreten.

Die ganzheitliche Betrachtung des Problems Abfallentsorgung hat darüber hinaus aber wesentlich dazu beigetragen, das bearbeitete technische System in einen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Zusammenhang zu stellen.

Freude an Technik haben bei der Bearbeitung dieses Projektes alle Schülerinnen und Schüler erlebt!