

Computerunterstütztes Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht eines Gymnasiums

Brigitta Aspetsberger

Die Datenerfassung bei chemischen und physikalischen Versuchen und der automatische Datentransfer an einen grafikfähigen Taschenrechner für ein anschließendes mathematisches Modellieren und Interpretieren der erhaltenen Messdaten werden durch die elektronischen Messsysteme CBL & CBR von Texas Instruments sehr erleichtert.

Seit vier Jahren wird das CBL in Verbindung mit dem TI-92+ am BRG Landwiedstraße in Linz im Regelunterricht in Chemie, in Talentförderkursen und für ein EU-Projekt mit Partnerschulen aus Belgien, Finnland und Griechenland eingesetzt. Über die verschiedenen Experimente, die Anforderungen an die Schüler und die beim Einsatz im Unterricht gemachten Erfahrungen wird in diesem Beitrag berichtet.

1. Einleitung

Fächerübergreifendes Denken, das Verstehen und Anwenden von physikalischen und chemischen Gesetzen sowie das Beschreiben und Modellieren von Vorgängen durch mathematische Formeln und Funktionen sind wichtige Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Experimente, von Schülern durchgeführt, wirken sehr motivierend auf die Schüler und helfen diese Ziele zu erreichen. Doch auch das Experimentieren an sich und im speziellen die Erhebung von möglichst vielen exakten Daten - dies ist für ein Modellieren durch Funktionen unbedingt notwendig - bereiten oft selbst wieder viele Schwierigkeiten und so werden Schülerexperimente nicht in dem Ausmaß eingesetzt, wie man es sich wünschen könnte.

Grafische Taschenrechner wie der TI-92 von Texas Instruments stellen eine große Hilfe beim Veranschaulichen von Messdaten und Funktionsgraphen dar. Zusätzlich verfügt der TI-92 auch über ein Statistikpaket und es besteht die Möglichkeit, numerische Daten durch Ausgleichskurven anzupassen. Hat man also einen Satz von Messdaten vorliegen, so können diese sehr gut mit dem TI-92 bearbeitet und aufbereitet werden. Die Schwierigkeit besteht also nur mehr darin, möglichst viele Werte aus einem tatsächlich durchgeführten Experiment in den TI-92 einzugeben.

Eine elektronische Datenerfassung mit Hilfe verschiedener Messsonden und ein automatischer Transfer der Messdaten auf den Rechner werden durch das CBL (Calculator Based Laboratory) und den CBR (Calculator Based Ranger) - beides Geräte im Taschenrechnerformat von Texas Instruments - durchgeführt. An das CBL können verschiedene Messsonden, wie z. B. eine Spannungssonde, eine Temperatursonde, eine

pH-Sonde oder eine Drucksonde, angeschlossen und bei chemischen, biologischen und physikalischen Versuchen zur Datenerfassung eingesetzt werden. Das CBR dient zur Bewegungsmessung und benötigt keine weiteren Sonden.

Seit vier Jahren werden am BRG Landwiedstraße in Linz Projekte durchgeführt, in denen nicht nur das Experimentieren im Vordergrund steht, sondern auch großer Wert auf das Entwickeln, Entdecken und Nachvollziehen von physikalischen, chemischen und mathematischen Gesetzmäßigkeiten gelegt wird (siehe Aspetsberger 1999, 2000). CBL und CBR kommen in Verbindung mit dem TI-92+ sowohl im Regelunterricht in Chemie, in Talentförderkursen und im Rahmen eines EU-Projekts mit Partnerschulen aus Belgien, Finnland und Griechenland zum Einsatz.

Das Nutzen neuer Technologien und neuer Kommunikationsmöglichkeiten spielt eine zentrale Rolle in der Ausbildung unserer Schüler. Die Schulung fächerübergreifenden Denkens und eine Einführung in die Teamarbeit waren weitere "Nebeneffekte" der Projekte. Am Ende ihrer Gymnasialausbildung konnten die Schüler im Rahmen des Abiturs das Wissen und "Know how", das sie durch dieses Projekt erlangt hatten, unter Beweis stellen.

2. Experimente

Einerseits sollen die Schüler durch Experimentieren die Gesetze aus Chemie und Physik besser verstehen lernen, andererseits solle aber auch eine Verbindung zur Mathematik hergestellt werden. Fächerübergreifendes Denken und Handeln ist ein wesentliches Ziel unseres Projekts. Für ein mathematisches Modellieren ist ein Vorliegen von guten numerischen Werten erforderlich. Dies bedeutet aber, dass die Versuche nicht nur qualitativ sondern vielmehr auch quantitativ auszuwerten sind. Exaktes Arbeiten und Genauigkeit bei der Versuchsdurchführung und Auswertung sind weitere Aspekte des Projekts.

Anregungen und mitunter sehr genaue Anleitungen fanden wir bei Holmquist, Laughbaum, den Handreichungen von Texas Instruments und den Beilagen zum CBL und CBR. [s. Literaturliste]

Die im Folgenden angeführten Beispiele wurden von den Schülern in Gruppen zu zwei bis drei Schülern durchgeführt.

2. 1. Wärmelehre

Als einführendes Beispiel zum Erlernen der Handhabung und Funktionsweise des CBL führten wir ein einfaches Experiment bzgl. endo- und exotherme Prozesse aus. Auf Grund der

Mag. Brigitta Aspetsberger, Bundesrealgymnasium Landwiedstraße 82, 4020 Linz, email: aspetsberger@ef1.at

Erfahrungen, die wir mit sechs verschiedenen Schülergruppen erzielt hatten, stellte es sich als günstig heraus, ein Beispiel genau vorzuführen und alle Schritte und Einstellungen am CBL genau zu erklären. Für diesen einfachen Versuch benötigten die Schüler nur die Temperatursonde, die mit dem CBL automatisch mitgeliefert wurde. Inhaltlich mussten die Schüler Temperaturänderungen an Hand von Graphen erkennen.

In einem zweiten Versuch mussten die Schüler den Gefrierpunkt des Wassers bzw. die Schmelztemperatur des Eises bestimmen. Dazu ließen sie eine kleine Menge Wasser in einer Epruvette gefrieren und anschließend wieder auftauen. Wichtig war das Erkennen der Gefrier- bzw. der Schmelztemperatur an Hand der Graphen. Interessant war, dass die Messgeräte nicht genau 0°C anzeigten, sondern geringe Fehler aufwiesen. Dieser Umstand und der vernünftige Umgang mit vielen Nachkommastellen war eine wesentliche Erfahrung für die Schüler.

In einem dritten Versuch wurde die Schmelzwärme von Eis bestimmt. Wesentlich in diesem Versuch war eine sorgfältige Versuchsdurchführung.

2. 2. Gasgesetze

Zur Untersuchung des Gesetzes von Boyle-Mariotte benötigten die Schüler einen Drucksensor, der gesondert zum CBL bestellt werden musste. Mit Hilfe des beweglichen Kolben einer Spritze, die dem Sensor beigelegt war, konnten die Schüler verschiedene Volumina erzeugen und den jeweiligen Druck mit dem Drucksensor messen. Die erhaltenen Volumen-Druck Paare wurden anschließend gezeichnet und auf ein indirektes Verhältnis hin untersucht.

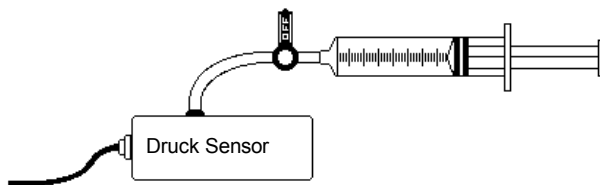


Abb. 1: Drucksensor und Spritze für die Behandlung des Gesetzes von Boyle Mariotte (aus Holmquist)

Für das Gesetz von Gay-Lyssa wurde ein Erlenmeyerkolben mit einem Gummistopfen verschlossen und an den Drucksensor angeschlossen. Daraufhin wurde der Erlenmeyerkolben und die in ihm eingeschlossene Luft in Wasserbädern auf verschiedene Temperaturen erwärmt und der jeweilige Druck gemessen. Die erhaltenen Temperatur-Druck Paare wurden wieder grafisch dargestellt und durch eine Ausgleichsgerade angepasst.

2. 3. Kolorimetrie und Titration

Gemäß dem Beerschen Gesetz ist die Absorption einfallenden Lichtes proportional zur Konzentration einer Lösung. Um die unbekannt Konzentration einer Nickelsulfatlösung nach dem Beerschen Gesetz zu bestimmen, erstellten die Schüler eine Verdünnungsreihe und bestimmten die Absorption des einfallenden Lichtes von diesen Lösungen mit bekannten Konzentrationen mit Hilfe eines Kolorimeters. Aus dem Absorptionswert der unbekannt Lösung konnte auf die Konzentration geschlossen werden.

Beim Mischen von unterschiedlich starken Säuren und Basen konnten mit einer pH-Wert Sonde die unterschiedlichen Titrationskurven leicht erstellt werden. Anschließend wurden sie von den Schülern untersucht und interpretiert.

2. 4. Bewegungslehre

Bewegungen lassen sich sehr einfach mit dem CBR (Calculator Based Ranger) von Texas Instruments untersuchen. Sowohl die Erstinstallation am TI-92 als auch die Handhabung waren denkbar einfach. Dieser Umstand und die Verfügbarkeit von fertigen Anwendungsprogrammen, die leicht aufgerufen werden können, waren für das Experimentieren sehr von Vorteil.

Als Einstiegsbeispiel führten die Schüler die bereits vorbereitete Versuchssequenz "Match the graph" durch, bei der die Schüler verschiedene Weg-Zeit bzw. Geschwindigkeit-Zeit Graphen "nachgehen" mussten. Dieser Versuch eignete sich nach Bärbel Barzel auch hervorragend für das entdeckende Lernen bei der Einführung von Funktionen.

Als weiteres Experiment wurde die gleichmäßig beschleunigte Bewegung eines Balles untersucht, der eine schräge Rampe hinunterrollte, und ein Zusammenhang zwischen der Beschleunigung und der Steigung der Rampe erforscht.

Die Untersuchung der Bewegung eines hüpfenden Basketballs wurde wiederum durch ein bereits fertiges Programm unterstützt.

Schließlich konnten auch Schwingungen von Feder- bzw. Fadenpendel gemessen und analysiert werden, wobei auch der Einfluss des Luftwiderstandes berücksichtigt wurde.

In Lehrerfortbildungskursen wurden noch weitere Experimente bearbeitet. So konnte der Abkühlvorgang einer Flüssigkeit (siehe Schmidt) über einen längeren Zeitraum hinweg beobachtet und durch eine Funktion modelliert werden. Der Spannungsabfall, der beim Entladen eines Kondensators auftrat, konnte über eine Spannungssonde, die direkt mit dem CBL mitgeliefert wurde, gemessen und graphisch dargestellt werden. Mit einem Mikrofon konnten akustische Phänomene, wie das Entstehen von Schwebungen, gemessen und schließlich auch analysiert werden.

3. Anforderungen

Für das Experimentieren mit dem CBL und dem TI-92 im naturwissenschaftlichen Unterricht benötigten die Schüler Fähigkeiten und Fertigkeiten in verschiedenen Bereichen bzw. wurden eben gerade diese Fähigkeiten geschult und trainiert (siehe auch Aspetsberger 2000).

3. 1. Mathematische Fähigkeiten

Eine der wesentlichsten mathematischen Voraussetzungen für die Schüler war, funktionale Zusammenhänge aus den experimentellen Daten erkennen zu können. Zu diesem Zweck benötigten die Schüler Wissen über Funktionen aus den verschiedensten Klassen, z. B. lineare, reziproke, rationale, trigonometrische und exponentielle Funktionen. Sie mussten wissen, wie der typische Verlauf der jeweiligen Graphen war bzw. wie eben die Gestalt dieser Graphen von den Werten der vorkommenden Parametern abhingen.

Besonders häufig standen bei den Experimenten die Daten im direkten bzw. indirekten Verhältnis zueinander. So benötigten sie Wissen, wie sie diese Verhältnisse an Hand der Daten bzw. der Gestalt der Graphen erkennen und schließlich ihre Vermutungen auch rechnerisch überprüfen konnten. So konnte z. B. das indirekte Verhältnis zwischen dem Druck p und dem Volumen V eines eingeschlossenen Gases beim Versuch von Boyle Mariotte dadurch überprüft werden, dass das Produkt $p \cdot V$ annähernd gleich blieb. Stehen andererseits Daten im direkten Verhältnis zueinander, so liegen die entsprechenden Datenpunkte auf einer Geraden, die durch den Ursprung läuft, und der Quotient der Daten bleibt konstant.

Diese an und für sich sehr einfachen und elementaren Zusammenhänge wurden beim Experimentieren unmittelbar erlebbar und waren bei weitem nicht so gefestigt und präsent, wie man hätte vermuten können.

Regressionskurven zu den experimentellen Daten wurden zwar vom Taschenrechner bestimmt, die Schüler mussten aber zumindest den Typ festlegen und die erhaltenen Parameter interpretieren können. Ebenso mussten sie die statistischen Begriffe wie Mittelwerte, Streuung, Varianz und Korrelation deuten können.

Um die bei den Experimenten erhaltenen Daten am Rechner weiter verarbeiten zu können, war ein sicherer Umgang mit dem TI-92 von Bedeutung. Speziell Fähigkeiten für das Wechseln zwischen den verschiedenen Fenstern, um die Daten in der jeweils günstigsten Form darstellen zu können, die Eingabe von Funktionstermen, um die Daten durch Funktionen anpassen zu können, die Wahl der Fensterparameter, um die Funktionsgraphen im Grafikfenster geeignet darstellen zu lassen, und das Arbeiten im Data/Matrix-Editor, um die erhaltenen experimentellen Daten auch numerisch verarbeiten zu können, waren von großer Bedeutung.

Es scheint aber, dass ein Zusammenhang zwischen diesen rein technischen Fähigkeiten und den mathematischen Fähigkeiten, wie dem Interpretieren und Manipulieren von Daten in den verschiedensten Darstellungsformen, besteht.

3. 2. Verbale Fähigkeiten

Eine vorrangige sprachliche Fähigkeit bestand für die Schüler darin, nach schriftlichen Anleitungen Experimente ausführen zu können. Es war erstaunlich, wie schwierig es für Schüler war, einen Text zu lesen und ohne zusätzliche Anweisungen des Lehrers ein Experiment Schritt für Schritt durchzuführen.

Ein weiteres Problem lag im Dokumentieren der Ergebnisse. Die Schüler mussten lernen Protokolle zu schreiben. Im Speziellen fiel es ihnen schwer, den chemisch/physikalischen Hintergrund ausführlich zu beschreiben und die erhaltenen Resultate zu interpretieren.

3. 3. Praktische und soziale Fähigkeiten

Schließlich mussten die Schüler über praktische und soziale Fähigkeiten verfügen bzw. sie erwerben, wenn sie in Gruppen an Experimenten arbeiteten. Welche praktischen Fähigkeiten von Nöten waren bzw. welche geschult wurden, können wir nicht genau sagen, aber es zeigte sich, dass sich die einzelnen Schüler unterschiedlich geschickt beim Experimentieren anstellten. Es gab einige Schüler, die am Beginn des Projekts

Schwierigkeiten mit der Durchführung von Experimenten hatten, auftretende Probleme am Ende des Projekts jedoch anstandslos meistern konnten.

Das Arbeiten im Team erforderte soziale Kompetenzen. So war es wichtig, mit den anderen Gruppenmitgliedern zu kommunizieren bzw. sich in die Gruppe einzugliedern. Unerfahren in Teamarbeit mussten die Schülerinnen und Schüler als Gruppe je nach Fähigkeiten ihre Aufgaben aufteilen. Die Entscheidung, wer mit wem zusammenarbeitete bzw. wer welche Aufgaben zu erledigen hatte, wurde den Schülern überlassen.

Das Arbeiten in Gruppen an Experimenten forderte und förderte die multiplen Intelligenzen (Howard Gardner) der einzelnen Schüler.

4. Erfahrungen

Die Schüler waren sehr motiviert und mit großem Eifer bei der Sache. Einige von ihnen verbrachten mehr Zeit im Labor beim Experimentieren als vorgeschrieben war und sie nutzten noch Pausen und unterrichtsfreie Zeit, um die Experimente fertig zu stellen bzw. bessere Ergebnisse zu erhalten.

Auch Schüler, deren Leistungen in Mathematik an und für sich nicht sehr zufrieden stellend bzw. die wenig an Naturwissenschaften interessiert waren, sahen für sich eine neue Chance und arbeiteten begeistert mit. Besonders Mädchen waren stolz auf ihre guten Messergebnisse und freuten sich darüber, schönere Kurven als die Burschen bekommen zu haben.

Alle Schüler schätzten das selbständige Arbeiten während des Experimentierens und fühlten sich frei vom "Druck des Lernens". Ebenfalls begrüßten sie ein "learning by doing", wie die Schüler in Gesprächen, bei Schülerbefragungen und im Rahmen eines Fragebogens, der am Ende des Projekts von den Schülern ausgefüllt werden musste, mehrmals bestätigten.

Einen weiteren Vorteil des Experimentierens mit einem rechnergestützten Messsystem sahen die Schüler darin, dass für sie die chemischen und physikalischen Gesetze viel anschaulicher wurden. Schon allein der Umstand mit elektronischen Messgeräten zu arbeiten, war für sie wichtig, da sie für ihr zukünftiges Leben lernen müssen mit technischen Geräten umgehen zu können.

Damit die Schüler möglichst unabhängig voneinander arbeiten konnten, wurden ihnen ausführliche Arbeitsunterlagen zur Verfügung gestellt. Hier stellte sich aber die Frage wie ausführlich die Experimente und vor allem die einzelnen Schritte mit dem Taschenrechner und dem Messsystem beschrieben werden mussten. Bei den ersten Experimenten waren sehr genaue Beschreibungen von Nöten. Später aber waren zu genaue Ausführungen eher hinderlich, da die Schüler die Texte schließlich auch durchlesen mussten. Der Umfang der Anleitungen hing stark vom Wissensstand der Schüler ab.

Nicht nur das Lesen der Anleitungen war ein wichtiger Aspekt beim Experimentieren, sondern auch das Schreiben von Berichten im Anschluss daran. Die Schüler mussten das Schreiben von Protokollen erst erlernen. Obwohl dies für die Schüler schwierig war, akzeptierten sie die Notwendigkeit eine Dokumentation zu erstellen.

Da bei Protokollen auch der chemische bzw. physikalische Hintergrund von den Schülern beschrieben werden musste,

steigerte sich auch bei ihnen das Verständnis für die einzelnen Gesetze. Manche Schüler äußerten sogar den Wunsch Experimente wiederholen zu dürfen, um bessere Resultate zu erzielen, da sie nun nach dem Schreiben des Protokolls viel besser wussten, worauf sie zu achten hatten.

Die Schüler benötigten nur kurze Zeit, um sich mit dem CBL vertraut zu werden. Wir führten ein Beispiel gemeinsam aus und erklärten die nötigen Schritte und Einstellungen. Das Programm CHEMBIO ist für viele Versuche anwendbar. Dies erleichtert die Handhabung enorm, da man so nicht für jeden Versuch ein eigenes Programm starten muss. Leider ist das Programm CHEMBIO nicht fehlertolerant. So kann es vorkommen, dass man nach einem Eingabefehler das Programm wieder neu starten muss.

Generell aber ist es von großem Vorteil, wenn die Schüler schon Erfahrung in der Bedienung des verwendeten grafikfähigen Taschenrechners haben. Mit dem CBL werden nur die Daten erhoben und gegebenenfalls grafisch veranschaulicht. Für eine weitere Bearbeitung wie z. B. das funktionale Modellieren benötigt man dann einen Taschenrechner - in unserem Fall war dies der TI-92. Für das Arbeiten in den verschiedenen Editoren und das rasche Wechseln zwischen den einzelnen Fenstern, das Zeichnen von Graphen, das Arbeiten mit Datenmatrizen und dem Erstellen von Regressionskurven waren grundlegende Vorkenntnisse bzw. eine gründliche Schulung unerlässlich. Man kommt zwar auch ohne Schulung aus, muss dann dafür aber ausführlichere Anleitungen schreiben und die Selbständigkeit und das "Sich-Selbst-Zurechtfinden" der Schüler, die für das Experimentieren sehr wichtig sind, werden stark eingeschränkt.

Für die Durchführung von Experimenten im Unterricht ist es sehr vorteilhaft, wenn man mit kleinen Schülergruppen arbeiten kann. Teilungen von großen Klassen sind wünschenswert, aber wahrscheinlich nicht immer durchführbar. Die Schüler benötigen nur bei den ersten Einführungsexperimenten eine intensive Betreuung. Aber auch später, wenn sie schon selbständig arbeiten, ist eine "helfende Hand" mitunter erforderlich. Der Aspekt, dass Schüler auf sich allein gestellt aus ihren Fehlern lernen sollen, kann nur bedingt zur Anwendung kommen, da die Schüler aus Zeitgründen die Experimente nicht beliebig oft wiederholen können.

Auch die Rolle des Lehrers änderte sich. Musste noch bei den ersten Experimenten Vieles vom Lehrer erklärt und vorgeführt werden, bestand seine Aufgabe später eher darin, die Schüler zu betreuen und ihnen bei auftretenden Schwierigkeiten helfend beizustehen. Da die Experimente aus verschiedenen Bereichen (Physik, Chemie, Biologie, Mathematik) stammten, war eine Zusammenarbeit von Lehrern im Team von Vorteil.

Schwierigkeiten bereitete den Schülern die Erkenntnis, dass die Messgeräte kalibriert werden mussten und die von ihnen angezeigten Werte mitunter fehlerhaft sein konnten. Ebenso verleitete die digitale Anzeige dazu, sinnlose Dezimalstellen gedankenlos zu protokollieren. So war es für einige Schüler verwirrend, dass sie für den Gefrierpunkt des Wassers nicht exakt 0°C angezeigt bekamen. Anderen wiederum war dies "egal" und sie mussten erst lernen, Resultate kritisch zu hinterfragen und zu interpretieren.

Die Schüler arbeiteten in Kleingruppen zu 2 bis 3 Personen und mussten lernen, im Team zu arbeiten. Dies begann bereits

bei der Gruppenbildung. Es wurde den Schülern überlassen, mit wem sie zusammenarbeiten wollten, und sie lehnten es ab, dass die Gruppen ständig durchmischte wurden.

Interessant war es auch zu beobachten, wem in der Gruppe welche Aufgaben zugeteilt wurden. Wer für die Durchführung der Experimente und wer für das Schreiben des Protokolls zuständig war, oder ob sich die Gruppenmitglieder ständig abwechselten. Entscheidend aber war, dass alle Gruppenmitglieder dieselbe Note für ein Projekt bekamen. Dies machte es sehr schwierig, eine gerechte Beurteilung der individuellen Leistungen der einzelnen zu erzielen.

Ein wesentlicher organisatorischer Faktor war die Zeit. Die Schüler benötigten ausreichend Zeit für die Vorbereitung und Durchführung der Experimente und schließlich auch für die Interpretation der Ergebnisse. Gerade letzteres war von großer Bedeutung. In unseren Kursen hatten wir nur jeweils eine Einheit von 50 Minuten für die einzelnen Experimente zur Verfügung. Dies stellte sich als zu knapp heraus, da so oftmals die Besprechung der Resultate auf die nächste "Stunde" verschoben werden musste. Dann aber - mitunter einige Tage später - war die Aktualität der Daten bereits verflogen und der Bezug zu den einzelnen Experimenten musste mühsam wieder hergestellt werden. Günstig für die Durchführung von Experimenten scheinen "Doppelstunden" im Ausmaß von 100 Minuten zu sein. Dies hängt aber von der Art der Experimente ab.

Literatur

- Aspetsberger, Brigitta und Klaus: Integrating Math to Science Courses using TI-92 and TI-CBL. ICTCM, International Conference on Technology in Collegiate Mathematics, San Francisco, November 4-7, 1999
- Aspetsberger, Brigitta und Klaus: Experiences with CBL and the TI-92 in Austrian High School Classes. Integrating Math, Physics and Chemistry. 6th ACDCA Summer Academy, Portoroz, Slovenia, July 2-5, 2000.
- Aspetsberger, Brigitta und Klaus: Functional Modelling of Experimental Data in Science Courses. ICTCM, International Conference on Technology in Collegiate Mathematics, Atlanta, November 16-19, 2000
- Barzel Bärbel. : Selbsttätiges Lernen - neue Methoden, neues Glück. In: Herget, Weigand, Weth (Hg.) *Standardthemen des Mathematikunterrichts in moderner Sicht*. Franzbecker Verlag, 2000.
- Gardner H. : *Frames of Mind. The Theory of Multiple Intelligences*. Fontana Press, An Imprint of HarperCollins Publishers, London, Second Edition, 1993
- Holmquist D. D., Randall J., Volz D. L. : *Chemistry with CBL. Chemistry Experiments Using Vernier Sensors with TI Graphing Calculators and the CBL System*. Vernier Software, 8565 S. W. Beaverton-Hillsdale Hwy., Portland, Oregon.
- Laughbaum, Edward: Using Data Collection to Promote Mathematical Understanding. 6th ACDCA Summer Academy, Portoroz, Slovenia, July 2-5, 2000.
- Schmidt G. : *Mathematik erleben. Experimentieren, Entdecken, Modellieren und Veranschaulichen*. Texas Instruments 1995.
- Texas Instruments: *Einführung in die Verwendung des CBR mit 5 Schülerexperimenten*. Texas Instruments 1997.
- Texas Instruments: *CBL System. Experiment Workbook*. Texas Instruments 1997.