



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

INGOLSTADT



Erneuerung und Modernisierung eines Versuchsaufbaus zur Auswertung von Fahrbahnversuchen mit Hilfe eines Computers

Florian Dexl

Roy Scheider

Schule:

Christoph-Scheiner-Gymnasium Ingolstadt
Hartmannplatz 1
85049 Ingolstadt

Erneuerung und Modernisierung eines Versuchsaufbaus zur Auswertung von Fahrbahnversuchen mit Hilfe eines Computers

Roy Scheider
Lärchenstraße 10
85120 Hepberg

Florian Dextl
Uranusstraße 12
85080 Gaimersheim

Christoph-Scheiner-Gymnasium Ingolstadt
Januar 2010

Kurzfassung

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Realisierung einer computergestützten Messwerterfassung zur Auswertung eines Fahrbahnversuches. Dieser dient im Schulunterricht zur Veranschaulichung verschiedener physikalischer Themen wie beispielsweise die konstante Beschleunigung.

Die Herausforderung bestand nun im Bau eines Messgerätes, welches die Signale der oberhalb der Fahrbahn angebrachten Lichtschranken computergerecht umwandelt sowie in der Programmierung einer Software, welche die Daten erfassen und graphisch aufbereiten kann.

Als Schnittstelle zwischen Messgerät und Computer wurde der analoge Line – In Eingang der Soundkarte gewählt. Hiermit konnte letztendlich eine funktionsfähige Messwerterfassung mit einer Genauigkeit von 10ms realisiert werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Umsetzung	3
2.1	Auswahl einer geeigneten Schnittstelle	3
2.2	Unterschiede zu herkömmlichen Messwerverfassungen	4
2.2	Datenerfassung durch Software	5
3	Benutzung	9
4	Ausblick	11
	Danksagung	12
	Literaturverzeichnis	13

1 Einführung

Diese Arbeit behandelt die Entwicklung, Programmierung und den Bau einer Messwerterfassung zur Auswertung der Messdaten eines im Schulunterricht einsetzbaren Fahrbahnversuches. Um dies mittels eines modernen Windows-Rechners zu realisieren, ist sowohl eine neue Hardware als auch Software nötig. Anstoß für diese Arbeit war ein bereits bestehender Versuchsaufbau an unserer Schule, der über einen Atari-Rechner lief und eine Visualisierung mittels Röhrenfernseher ermöglichte. In Anbetracht der Tatsache, dass Atari-Rechner bereits seit Mitte der 1990er Jahre nicht mehr als Neuware erhältlich sind, bietet diese Umstellung einen erheblichen Vorteil bezüglich der Zukunftssicherheit. Außerdem wird hierdurch die Verwendung von Beamern anstelle der bisher üblichen Fernsehgeräte ermöglicht, wodurch eine komfortable, großformatige Anzeige zur Verfügung steht. Damit sollte die Einbindung dieses Versuches (dessen Thematik der Momentangeschwindigkeit und Beschleunigung auch im Lehrplan des neuen G8 gefordert wird) in einen modernen, anschaulichen Physikunterricht erleichtert werden.

2 Umsetzung

2.1 Auswahl einer geeigneten Schnittstelle

Obwohl auch heute noch der Parallelport an allen gängigen Computern und Notebooks zu finden ist, konnte er trotz aller Vorzüge für dieses Projekt nicht verwendet werden, da moderne Rechner aufgrund systembedingter Hintergrundprozesse diesen Port nicht laufend abfragen können und zweitens die Protokollierung für den Datenverkehr Verzögerungen von mehreren Millisekunden beinhaltet.¹

Aus denselben Gründen entfällt auch die kaum noch vorzufindende serielle Schnittstelle. Die Einbindung eines externen Zwischenspeichers, genannt „Buffer“, zur Behebung der Latenz- und Abfragezeitenproblematik, wäre mit einem im Rahmen einer Facharbeit nicht zu bewältigendem Aufwand verbunden.

Nun kamen der USB Port und die 3,5mm Klinkenbuchse der Soundkarte in die engere Auswahl.

¹ Aus „Interfacing the Standard Parallel Port“ von Craig Peacock, 1998

Der United Serial Bus, kurz USB, prädestiniert durch seine Fähigkeit, immense Datenströme nahezu in Echtzeit zu transportieren, musste leider aufgrund des hohen Entwicklungsaufwandes, den Treiberevaluationen und Kontrollerchipeinbindung zwangsweise mit sich bringen, ausscheiden. So fiel die Entscheidung, als Interface einfach den zukunftssicheren Mikrofon/Line - In Eingang der Soundkarte zu nutzen. Überdies zeichnet sich die Soundkarte durch weitere Vorteile aus: Ein Line - In Eingang ist an praktisch jedem modernen PC beziehungsweise Laptop vorhanden oder kann durch eine Soundkarte kostengünstig nachgerüstet werden. Des Weiteren besitzt dieser Eingang eine hohe Abtastfrequenz von üblicherweise 44,1 kHz. Außerdem ist die Soundkarte als Bestandteil ähnlicher Projekte weit verbreitet, was spätere Erweiterungen und Aufbauten ebenfalls erleichtern dürfte.

Zudem konnten bereits während der Entwicklungsphase ankommende Signale der Hardware ohne ein Vorhandensein der eigentlichen Messsoftware mit dem Tool „Audacity“² als Tonspur ausgelesen und überprüft werden, was sich vor allem in der Aufbereitung und Kalibrierung des Signals als große Hilfe erwies.

2.2 Unterschiede zu herkömmlichen Messwerterfassungen

Die Funktionsweise professioneller Messwerterfassungen lässt sich in fast allen Geräten und Ausführungen auf folgendes Schema zurück führen:



Abb. 2.2.: *Schema³ einer Messwerterfassung*

Ein irgendwie geartetes analoges (oder auch digitales Signal), in diesem Fall der Spannungsabfall einer Lichtschranke bei Unterbrechung, wird durch einen Analog/Digital Wandler in ein digitales Rechtecksignal überführt und anschließend im Buffer zwischengespeichert. Über einen Treiber eingebunden erstellt nun die Datenverarbeitungssoftware das ursprüngliche Signal.

Solche Systeme decken ein breites Anwendungsspektrum ab und sind in der Messtechnik maßgebend. Diese Vielfältigkeit geht allerdings auf Kosten der Messgeschwindigkeit und

² <http://audacity.sourceforge.net/>

³ Aus „Bau eines AC/DC Speicheroszilloskops“ Facharbeit von Felix Chad 2005

Auflösung: Da diese Systeme, je nach Genauigkeit, für jede einzelne Spannungsänderung oben dargestelltes Messschema mit Wandlerverzögerung, Speicherung etc. durchlaufen müssen, wird deutlich, welche Unmenge an Daten und Verzögerungen während eines einzigen Messvorganges entsteht.

Systeme, die dennoch hohe Abfrageraten mit verschwindend geringen Verzögerungen realisieren, welche für eine Auswertung von Fahrbahnversuchen benötigt werden, sind mit sehr hohen Anschaffungskosten verbunden.

Bei der von uns gebauten Messwerterfassung gelang es nun, auf einen A/D Wandler zu verzichten: Das von den Lichtschranken stammende Signal, hier ein Spannungsabfall bei Unterbrechung durch den Reiter, wird zunächst über eine Transistorschaltung invertiert und letztendlich so verstärkt, dass der Arbeitspunkt der Schmidt-Trigger (74LS14, 5V) durchlaufen wird. Somit liegt für die Dauer der Unterbrechung der Lichtschranke ein stabiles 5V-Schaltsignal vor. Dieses Signal lässt nun seinerseits das Hochgeschwindigkeitsphotorelais AQV210EH ein annähernd sinusförmiges Signal, erzeugt durch ein NE555 mit angekoppeltem Schwingkreis, auf die 3,5mm Klinkenbuchse der Soundkarte schalten. Diese erkennt damit für die Dauer der Lichtschrankenunterbrechung ein Signal von ca. 15kHz.

2.2 Datenerfassung durch Software

Wie bereits in 2.1. erwähnt, war die Grundidee die Verwendung des Line - In Eingangs der Computersoundkarte als Schnittstelle zur Messwerterfassung. Hierzu gibt die Hardware der Messwerterfassung eine Tonfrequenz aus, solange eine der sieben Lichtschranken über der Fahrbahn unterbrochen ist. Durch die softwareseitige Analyse dieses Tonsignals werden die zur Versuchsauswertung benötigten Zeitdaten gewonnen.

Um den Startzeitpunkt des Versuches zu erhalten, sendet die Hardware außerdem solange die Tonfrequenz aus, bis der Haltemagnet abgeschaltet und somit der Versuch gestartet wird. Dies muss bei der Auswertung durch die Software berücksichtigt werden.

In Abbildung 2 ist exemplarisch ein Signal dargestellt, wie es die Hardware während eines Versuches aussendet. Der längere Ausschlag am Anfang der Aufzeichnung stellt das Signal dar, welches vom Start der Aufnahme bis zum Ausschalten des Haltemagneten ausgesandt wird. Die darauffolgenden sieben Ausschläge entstanden jeweils beim

Durchfahren des Reiters durch eine Lichtschranke. Anhand der Anfangs- und Endpunkte der Signalabschnitte lassen sich somit die Ein- und Ausfahrtszeiten des Reiters in die einzelnen Lichtschranken messen.

Die Programmierung der Software fand in der Entwicklungsumgebung Borland Delphi 2005 Personal Edition statt. Da diese von sich aus keine Möglichkeit zur Ansteuerung der Soundkarte bietet, wurde das Modul `bass.dll` des Herstellers Un4seen Developments Ltd.⁴ eingesetzt. Es handelt sich hierbei, wie der Name bereits andeutet, um eine DLL - Datei⁵ welche als Schnittstelle zwischen der programmierten Software und dem Treiber der Soundkarte dient.

Im Folgenden wird die Programmierung dieser Messwerterkennung näher beschrieben.

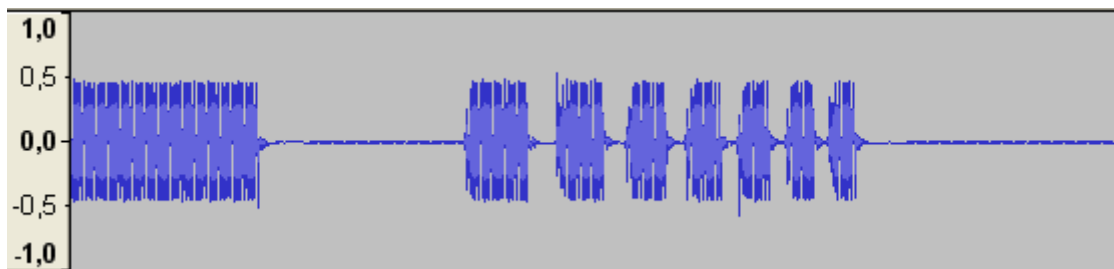


Abbildung 2: Eingangssignal während eines Versuchsdurchgangs

Die Aufnahme des Tonsignals über die Soundkarte beginnt mit dem Starten einer neuen Messung durch Klick auf die Schaltfläche „Messung starten“ (Button2). Hierbei wird durch den Befehl

```
rchan := Bass_RecordStart(cSampleRate, cNumChannels, Flag,  
@RecCallback, nil);
```

die Aufnahme mit Hilfe der `bass.dll` gestartet und die als Konstanten deklarierten Aufnahmeparameter Sample Rate, Anzahl der Kanäle, Auflösung und Länge der jeweils in einer Callback - Routine aufgenommenen Sequenz übergeben. Diese Callback - Routine bildet den Kern der Messwerterfassung. Sie wird in einem durch die Konstante `cRecordingTime` festgelegten Intervall aufgerufen und dient der Weiterverarbeitung der in dieser Zeitspanne durch die Soundkarte aufgenommenen Daten. Die Zeitspanne wurde auf 10 Millisekunden festgesetzt, welches den kleinstmöglichen Wert darstellt und somit eine möglichst exakte Zeitmessung ermöglicht.

Nun folgt eine nähere Beschreibung der in dieser Callback - Routine programmierten Datenerfassung. Durch die Befehle

```
Level := Bass_ChannelGetLevel(rchan);
```

⁴ <http://www.un4seen.com>

⁵ Dynamic Link Library

LeftLevel := LoWord(Level);

wird der Integervariablen *LeftLevel* der Wert der maximalen, positiven Amplitude der in den vorhergehenden 10ms aufgenommenen Tonfrequenz zugewiesen. Nun ist es, wie bereits erwähnt, von Bedeutung, ob ein von der Messhardware kommendes Signal anliegt, oder nicht. Hierzu wird mittels der if - Abfrage

```
if LeftLevel > cMaxAudio*schwelle then  
begin  
  SetLength(Stream, aufrufe+1);  
  Stream[aufrufe]:= 1;  
  LS_test:= true;  
end  
else  
begin  
  SetLength(Stream, aufrufe+1);  
  Stream[aufrufe]:= 0;  
  LS_Test:= false;  
end;
```

überprüft, ob die maximale Amplitude dieses Signalstücks die durch *schwelle* bei 30 % des maximal möglichen Ausschlages festgesetzte Schwelle überschreitet. Ist dies der Fall, wird dem dynamischen Array *Stream* der Wert „1“ angefügt, liegt das Signal unter der Schwelle, wird der Wert „0“ angefügt. Somit enthält *Stream* der Reihe nach für jeden 10ms Abschnitt der Messung entweder den Wert „1“ oder „0“.

Um nach der Beendigung der Messung die Zeitwerte zu erhalten müssen die in *Stream* enthaltenen Daten weiter ausgewertet werden. Von Interesse sind hier, wie in Abbildung 2 ersichtlich, die Signalbeginne sowie die Signalenden, welche die Ein- und Ausfahrtszeitpunkte des Reiters in die Lichtschranken markieren. Untersucht man nun das Array *Stream* auf die Variablenfolgen „0, 1“ sowie „1, 0“ lassen sich eben diese Punkte finden. Dies geschieht in der durch Klicken auf die Schaltfläche „Messung stoppen“ (Button2) aufgerufenen Prozedur *Auswertung*.

Die Funktionsweise dieser Prozedur wird nun näher erläutert. Mittels der in eine for - Schleife integrierten if - Abfrage

```
for i:= 1 to aufrufe do  
begin  
  if ((Stream[i-1] = 0) and (Stream[i] = 1)) then
```



```

begin
  einfahrtszeitpunkt[x]:= (i/100)-ausfahrtszeitpunkt[0];
  x:= x+1;
end
else
begin
  if ((Stream[i-1] = 1) and (Stream[i] = 0)) then
    begin
      ausfahrtszeitpunkt[y]:= (i/100)-ausfahrtszeitpunkt[0];
      y:= y+1;
    end;
  end;
end;

```

wird nacheinander jeder in *Stream* abgespeicherte Wert aufgerufen und auf die Kombination „0, 1“ als Merkmal eines Einfahrtpunktes, sowie die Kombination „1, 0“ als Merkmal eines Ausfahrtszeitpunktes, untersucht.

Wie am Anfang von 2.1 beschrieben, stellt hierbei der erste Signalabfall den Ausschaltzeitpunkt des Haltemagneten dar. Dies wird bei der Auswertung durch die anfängliche Definition der Integervariablen *x* und *y* berücksichtigt, welche bei jedem gefundenen Zeitpunkt erhöht werden und somit die Nummer der dazugehörigen Lichtschranke festlegen. *y* erhält zu Beginn den Wert „0“, was zur Folge hat, dass *ausfahrtszeitpunkt[0]* der Ausschaltzeitpunkt des Haltemagneten zugewiesen wird. *x* erhält hingegen anfänglich den Wert „1“. Hierdurch wird der erste gefundene Signalanstieg als Einfahrtszeitpunkt in die erste Lichtschranke angesehen und *einfahrtszeitpunkt[1]* zugewiesen.

Die restlichen Zeitwerte werden nacheinander ebenfalls in den aus acht Extendedvariablen bestehenden Arrays *ausfahrtszeitpunkt* und *einfahrtszeitpunkt* abgespeichert. Dies geschieht mit den Zuweisungen

```

  einfahrtszeitpunkt[x]:= (i/100)-ausfahrtszeitpunkt[0];

```

und

```

  ausfahrtszeitpunkt[y]:= (i/100)-ausfahrtszeitpunkt[0];

```

wobei *x* und *y* die Nummer der jeweiligen Lichtschranke angibt.

3 Benutzung

Durchführung einer Messung:

1. Vorbereitung der Fahrbahn
2. Anschluss der Lichtschranken an Messwertumfassung
3. Anschluss des Haltemagneten in Reihe; Minus des externen Netzteils an die schwarze Bananensteckerbuchse, ein Magnetpol an die rote Buchse
4. Stromanschluss über Kaltgerätestecker an der Rückseite, Schalter auf „I“
5. Optional kann an den blauen Buchsen ein externer Taster (Morsetaster) angeschlossen werden, welcher vollwertig die Funktion des darüber liegenden schwarzen Starttasters übernimmt.
6. Klinkenstecker mit Line – In Eingang des Computers verbinden
7. Messung in Software durchführen (Klick auf Schaltfläche „Messung starten“; Fahrbahn starten; Nach Durchfahrt „Messung stoppen“ anklicken)

Daraufhin stehen zur Versuchsauswertung fünf Funktionen zu Verfügung. Es kann jeweils eine Wertetabelle sowie ein Diagramm erstellt werden. Abbildung 5 zeigt eine typische Ansicht.

Die Bedienelemente im rechten Viertel des Fensters ermöglichen die Berechnung und Darstellung der jeweils letzten Zeile der Wertetabelle sowie das Zeichnen der Diagramme. Die Funktionen „Weg-Zeit-Beziehung“ und „Weg-Geschwindigkeits-Beziehung“ bieten zusätzlich die Möglichkeit, die mittlere Beschleunigung zu berechnen, welche unterhalb der Wertetabelle angezeigt wird.

Um korrekte Ergebnisse zu erhalten, muss stets die richtige Reiterlänge, welche am unteren Fensterrand angezeigt wird, eingestellt sein. Standardmäßig sind 100mm eingestellt. Die Änderung erfolgt über den Menüpunkt *Reiterlänge*.

Im Folgenden sind die Auswertungsmöglichkeiten der einzelnen Funktionen als Übersicht dargestellt:

- **Mittlere Geschwindigkeit**
x: Abstand zwischen den Lichtschranken
t: Entsprechende Zeitabstände

$$v = \frac{x}{t} : \text{Mittlere Geschwindigkeit}$$

- **Mittlere Geschwindigkeit --> v_{mom}**

x: Abstand von Lichtschanke 1 bis Lichtschanke n

t: Entsprechende Zeitspannen

$v = \frac{x}{t}$: Momentangeschwindigkeit; 1. Wert wird mit $x = \text{Reiterlänge}$, $t =$

Verdunklungsdauer der 1. Lichtschanke (Momentangeschwindigkeit) berechnet

- **Momentangeschwindigkeit**

t: Zeitspanne bis zu n-ten Lichtschanke

Δt : Dauer der Verdunklung

$v = \frac{\text{Reiterlänge}}{\Delta t}$: Momentangeschwindigkeit

- **Weg-Zeit-Beziehung**

x: Wegstrecke bis zur n-ten Lichtschanke

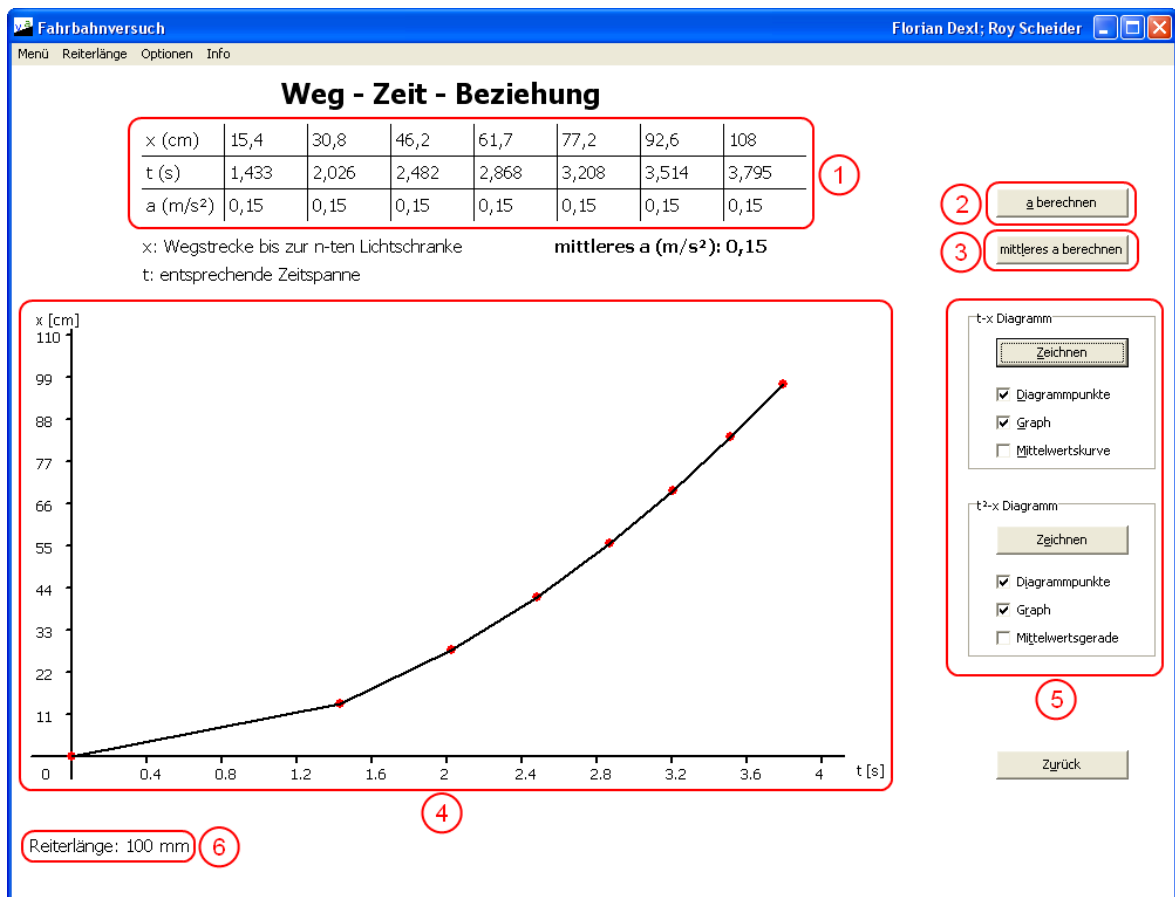
t: Entsprechende Zeitspanne

$a = \frac{2 \cdot x}{t^2}$: Beschleunigung

- **Weg-Geschwindigkeits-Beziehung**

x: Wegstrecke bis zur n-ten Lichtschanke

$v = \frac{\text{Reiterlänge}}{\text{Verdunklungsdauer}}$: Geschwindigkeit an der n-ten Lichtschanke



- 1: Wertetabelle 3: Mittleres a berechnen 5: Bedienelemente für Diagramm
 2: Zeile 3 der Tabelle berechnen 4: Diagrammzeichenfläche 6: Eingestellte Reiterlänge

Abbildung 5: Typische Ansicht bei Auswertung

4 Ausblick

Es gelang, eine funktionsfähige Messwerterfassung für den Fahrbahnversuch zu realisieren. Aktuell bietet diese eine Messgenauigkeit von 10ms. An dieser Stelle ist noch Verbesserungspotential vorhanden, da eine Erhöhung der Genauigkeit aus 1ms zumindest theoretisch eine deutlich sichtbare Verbesserung der Versuchsergebnisse zur Folge hätte.

Des Weiteren wäre eine direkte Aufbereitung der Signale des Messgerätes für den USB - Port denkbar, wodurch eine noch größere Flexibilität erreichbar ist.

Ebenfalls denkbar sind noch bautechnische Änderungen (zum Beispiel Verkleinerung der Gehäusegröße) für eventuelle Nachbauten.

In diesem Sinne würden sich die Entwickler über Anfragen, Kritik und Anregungen sehr freuen.

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei den Physiklehrern Frau Sachers, Herrn Eigenmann und Herrn Steinbach des Christoph-Scheiner-Gymnasiums für ihre Unterstützung bei diesem Projekt bedanken.

Literaturverzeichnis

- Gaedtke, Michael, *Messen mit der Soundkarte*, Internetseite:
http://www.michaelgaedtke.de/SubMenu_Messen/BASS-Tutorial-I.htm vom
23.07.2006, aufgerufen am 28.03.2009
- Bohne, Andreas, *Go To Delphi 4*, Bonn: Addison-Wesley-Longman, 1999
- Hilfedatei in Borland Delphi 2005 Personal Edition
- Quelltext der Facharbeit von Wallhofen, Veit und Meyer, Jürgen, 2000
- Beispielquelltext *RecordTest* aus bass.dll 2.4.2.3 Package, Un4seen Developments
Ltd., 1999-2008