

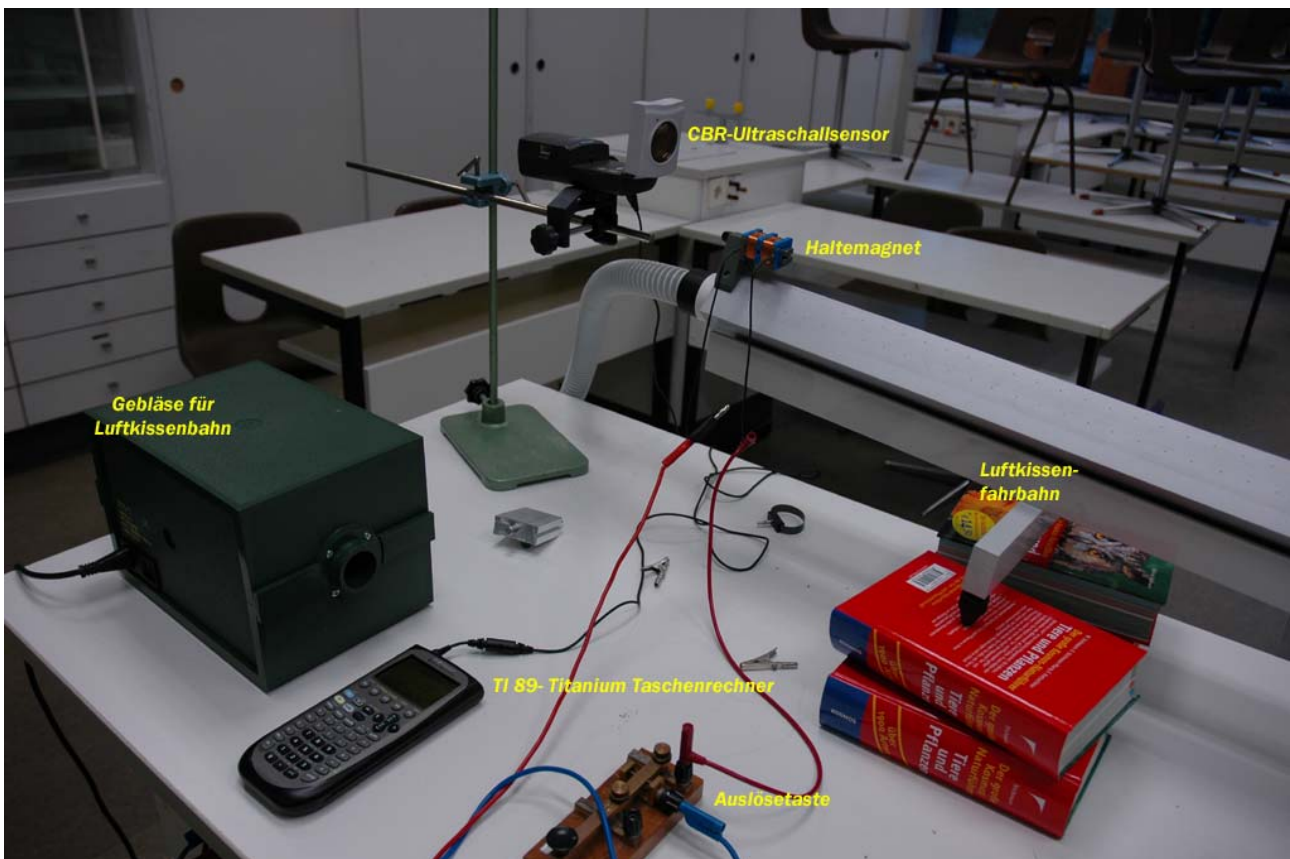
Einleitung:

Zur Erzielung einer größeren Genauigkeit bei der Erfassung von Zeit und Entfernung bei der Untersuchung von verschiedenen Formen der beschleunigten Bewegung wird eine Messeinrichtung bestehend aus dem CBR 2™ Ultraschall Bewegungsdetektor und dem TI Taschenrechner TI 89 Titanium benutzt. Auf dem Taschenrechner ist das Programm Ranger installiert, das die Kommunikation mit dem CBR durchführt. Das Programm erfordert eine Einstellung verschiedener Parameter, wie z.B. Untersuchungsdauer, Einheiten, Auslösetaste und anderes.

Dabei ist zu beachten, dass die Spracheinstellung des TI 89 auf „English“ gesetzt wird, offensichtlich kann das Ranger-Programm sonst einige interne Variablentypen nicht erkennen und bricht mit einer „Dimension“-Fehlermeldung ab. Da der Messbereich des CBR erst bei ca 15 cm beginnt, sollte auch der Schlitten in seiner Startposition mindestens so weit vom Messkopf entfernt sein.

Eingesetzte Materialien: Luftkissenfahrbahn mit Gebläse, Stativmaterial, Elektromagnet (Zubehör zur Fahrbahn), CBR 2™ Ultraschall Bewegungsdetektor und dem TI Taschenrechner TI 89 Titanium, Morsetaste zur Unterbrechung des Haltestromkreises

Einen Überblick über die Versuchsanordnung gibt folgendes Bild:



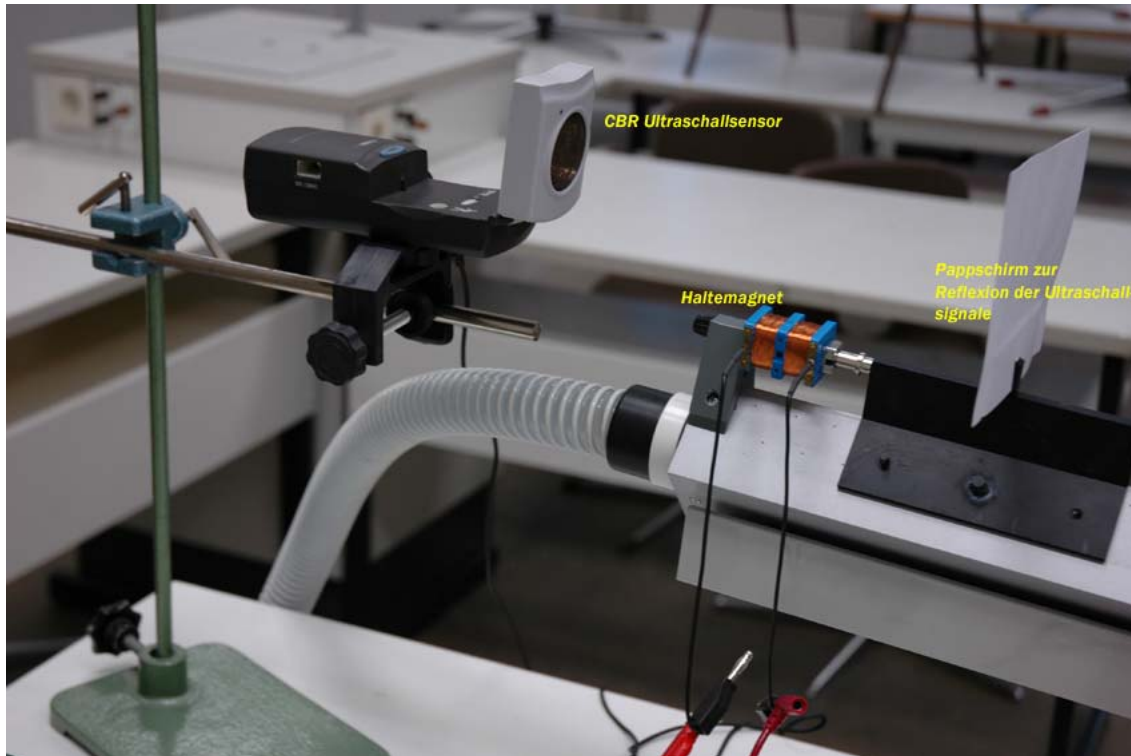
Beschreibung des Aufbaus:

Am oberen Ende der schräg gestellten Luftkissenfahrbahn ist ein Elektromagnet montiert, der die Aufgabe hat, den Schlitten in der Startposition zu fixieren. Über den Ruhekontakt der Auslösetaste fließt ein konstanter Strom. Zum Starten des Schlittens wird dieser Stromkreis durch Drücken der Taste unterbrochen, das magnetische Feld verschwindet und der Schlitten setzt sich in Bewegung, wenn die Reibung des Schlittens auf der Fahrbahn durch Einschalten

des Gebläses aufgehoben ist.

Ein auf dem Schlitten angebrachter Pappkarton reflektiert die Ultraschallsignale zum Sensor zurück, der die Entfernung mit der dazu gehörenden Zeit abspeichert.

Ausgangssituation:



Durchführung:

Als erstes wird das Gebläse eingeschaltet.

Dann wird die Messwerterfassung am Taschenrechner gestartet und sofort danach die Morsetaste gedrückt, um den Stromkreis des Elektromagneten zu unterbrechen. Dadurch entfällt die Haltekraft und der Schlitten setzt sich in Bewegung.

Die Messwerterfassung endet automatisch nach Ablauf der voreingestellten Zeit. Nachdem die Daten vom CBR auf den Taschenrechner übertragen worden sind, erscheint im Display des Rechners das Zeit-Weg-Diagramm des soeben untersuchten Bewegungsablaufes.

Auswertung:

Die Daten können jetzt direkt auf dem Taschenrechner ausgewertet werden. Dort werden verschiedene grafische Darstellungen wie das

- 1) Zeit-Weg-Diagramm
 - 2) Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm
 - 3) Zeit-Beschleunigungs-Diagramm
- angeboten.

Alternativ können die Daten mit dem Programm TI-Connect auf einen PC übertragen und dort ausgewertet werden. Im folgenden werden die übertragenen Daten gezeigt.

Ein Versuch ergibt folgende Datengrundlage, die bereits um einige Berechnungen erweitert hier dargestellt werden:

	t[s]	s[m]	Δt[s]	Δs [mm]	v _M [cm/s]	a[m/s ²]
1	0,000	0,1842	0	0,0	0,0	
2	0,043	0,1842	0,04	0,0	-0,0	-0,9
3	0,086	0,1845	0,04	0,3	0,7	8,4
4	0,129	0,1849	0,04	0,4	0,9	7,1
5	0,172	0,1849	0,04	0,0	0,0	0,2
6	0,215	0,1856	0,04	0,6	1,5	6,9
7	0,258	0,1848	0,04	-0,7	-1,7	-6,5
8	0,301	0,1857	0,04	0,9	2,0	6,6
9	0,344	0,1860	0,04	0,3	0,8	2,2
10	0,387	0,1894	0,04	3,4	7,9	20,4
11	0,430	0,1928	0,04	3,4	8,0	18,5
12	0,473	0,1986	0,04	5,8	13,5	28,5
13	0,516	0,2050	0,04	6,4	14,8	28,7
14	0,559	0,2135	0,04	8,4	19,6	35,1
15	0,602	0,2225	0,04	9,1	21,1	35,1
16	0,645	0,2353	0,04	12,8	29,7	46,0
17	0,688	0,2471	0,04	11,8	27,4	39,8
18	0,731	0,2608	0,04	13,7	31,8	43,5
19	0,774	0,2756	0,04	14,8	34,4	44,5
20	0,817	0,2916	0,04	16,0	37,2	45,5
21	0,860	0,3091	0,04	17,6	40,8	47,4
22	0,903	0,3308	0,04	21,7	50,4	55,8
23	0,946	0,3499	0,04	19,1	44,5	47,0
24	0,989	0,3742	0,04	24,2	56,3	56,9
25	1,032	0,3996	0,04	25,4	59,1	57,2
26	1,075	0,4206	0,04	21,0	48,9	45,5
27	1,118	0,4445	0,04	23,9	55,5	49,6
28	1,161	0,4710	0,04	26,6	61,8	53,2
29	1,204	0,4981	0,04	27,0	62,9	52,2
30	1,247	0,5261	0,04	28,1	65,2	52,3
31	1,290	0,5546	0,04	28,5	66,3	51,4
32	1,333	0,5845	0,04	29,9	69,4	52,1
33	1,376	0,6153	0,04	30,8	71,6	52,0
34	1,419	0,6475	0,04	32,1	74,7	52,7
35	1,462	0,6808	0,04	33,4	77,6	53,1
36	1,505	0,7101	0,04	29,3	68,1	45,2
37	1,548	0,7290	0,04	18,9	43,9	28,4
38	1,591	0,7612	0,04	32,2	74,8	47,0
39	1,634	0,7941	0,04	32,9	76,5	46,8
40	1,677	0,8317	0,04	37,6	87,4	52,1
41	1,720	0,8697	0,04	38,1	88,5	51,5
42	1,763	0,9032	0,04	33,5	77,8	44,1
43	1,806	0,9427	0,04	39,5	91,9	50,9
44	1,849	0,9871	0,04	44,3	103,1	55,8
45	1,892	1,0330	0,04	45,9	106,7	56,4
46	1,935	1,0752	0,04	42,3	98,3	50,8
47	1,978	1,1341	0,04	58,8	136,8	69,1
48	2,021	1,1887	0,04	54,7	127,1	62,9
49	2,064	1,2332	0,04	44,5	103,4	50,1
50	2,107	1,2783	0,04	45,1	104,9	49,8
51	2,151	1,3251	0,04	46,8	108,7	50,5
52	2,194	1,3646	0,04	39,5	91,9	41,9
53	2,237	1,3987	0,04	34,1	79,2	35,4
54	2,280	1,4548	0,04	56,2	130,6	57,3
55	2,323	1,5031	0,04	48,2	112,1	48,3
56	2,366	1,5621	0,04	59,0	137,2	58,0
57	2,409	1,6107	0,04	48,6	113,0	46,9
58	2,452	1,6562	0,04	45,5	105,9	43,2
59	2,495	1,6961	0,04	39,9	92,7	37,2
60	2,538	1,7495	0,04	53,3	124,0	48,9
61	2,581	1,8065	0,04	57,0	132,5	51,4
62	2,624	1,8641	0,04	57,6	134,0	51,1
63	2,667	1,9009	0,04	36,8	85,6	32,1
64	2,710	1,9622	0,04	61,3	142,5	52,6
65	2,753	1,8916	0,04	-70,6	-164,2	-59,6
66	2,796	1,8589	0,04	-32,7	-76,0	-27,2
67	2,839	1,8531	0,04	-5,8	-13,6	-4,8
68	2,882	1,8381	0,04	-14,9	-34,7	-12,0
69	2,925	1,8157	0,04	-22,5	-52,2	-17,8
70	2,968	1,7801	0,04	-35,6	-82,8	-27,9
71	3,011	1,7619	0,04	-18,1	-42,2	-14,0
72	3,054	1,7408	0,04	-21,1	-49,1	-16,1
73	3,097	1,7264	0,04	-14,4	-33,5	-10,8
74	3,140	1,7048	0,04	-21,6	-50,1	-16,0
75	3,183	1,6833	0,04	-21,6	-50,1	-15,7
76	3,226	1,6660	0,04	-17,3	-40,3	-12,5
77	3,269	1,6712	0,04	5,3	12,3	3,8
78	3,312	1,6488	0,04	-22,4	-52,2	-15,8
79	3,355	1,6488	0,04	0,0	-0,1	0,0
80	3,398	1,6368	0,04	-12,0	-27,8	-8,2
81	3,441	1,6217	0,04	-15,1	-35,1	-10,2
82	3,484	1,6193	0,04	-2,5	-5,7	-1,6
83	3,527	1,6130	0,04	-6,3	-14,6	-4,1
84	3,570	1,6133	0,04	0,3	0,7	0,2
85	3,613	1,5954	0,04	-17,9	-41,6	-11,5
86	3,656	1,6099	0,04	14,6	33,9	9,3
87	3,699	1,5999	0,04	-10,0	-23,4	-6,3
88	3,742	1,5953	0,04	-4,6	-10,7	-2,9
89	3,785	1,5970	0,04	1,7	4,1	1,1
90	3,828	1,6026	0,04	5,5	12,9	3,4
91	3,871	1,6271	0,04	24,6	57,1	14,8
92	3,914	1,6298	0,04	2,7	6,2	1,6
93	3,957	1,6345	0,04	4,7	10,8	2,7
94	4,000	1,6461	0,04	11,7	27,1	6,8

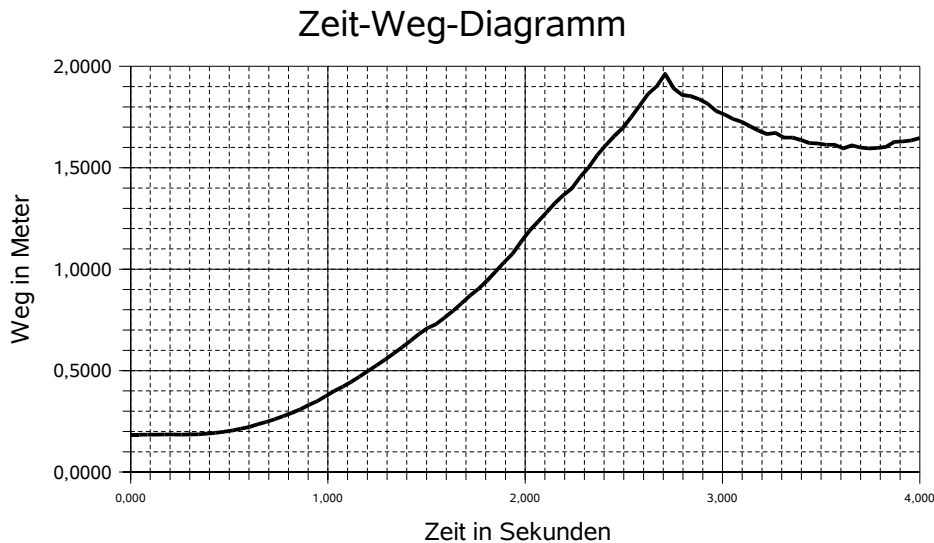
Dabei ist zu beachten, dass die Werte in den Spalten t (=Zeit) und s (=Weg) die Originaldaten aus dem TI 89 sind, die Werte in den Spalten Δt (= Zeitunterschied), Δs (=Wegunterschied), v_M (= Momentangeschwindigkeit) und a (= Beschleunigung) sind berechnete Werte. Bei der Durchsicht der Werte fällt auf, dass z.B. der Wert in Zeile 7 nicht erwartungsgemäß ist. Nach der Datenlage hätte dort eine Rückwärtsbewegung erfolgen müssen, was aber augenscheinlich nicht der Fall ist. Möglicherweise haben dort Vibrationen der Pappe eine Messwertverfälschung verursacht.

Die Daten machen aber auch die Leistungsfähigkeit des Rechners deutlich: Jede 4/100 Sekunde wird ein neuer Distanzwert erfasst und gespeichert.

Des weiteren fallen die negativen Werte der Geschwindigkeit (in der Tabelle in Rot) auf. Was bedeuten diese? Geschwindigkeit ist immer eine gerichtete Größe: Das bedeutet, wenn ich mich 250 km von Frankfurt entfernt befinde, dann bin ich, wenn ich mich mit 100 Km/h Geschwindigkeit bewege, in 2,5 Stunden in Frankfurt. **Aber nur, wenn ich auch in Richtung Frankfurt fahre.** Fahre ich in entgegengesetzter Richtung 2,5 Stunden, habe ich Frankfurt nach dieser Zeit nicht erreicht, im Gegenteil ich bin sogar jetzt 500 km davon entfernt.

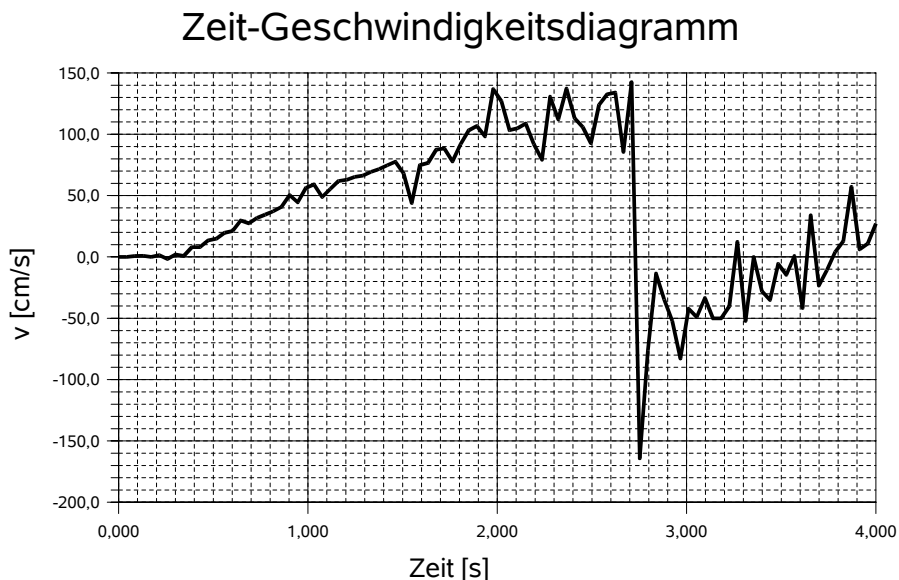
In unserem Fall bedeutet eine positive Geschwindigkeit also Bewegung vom Sensor weg, eine negative hingegen Bewegung auf den Sensor zu.

Die gängigen Tabellenkalkulationsprogramme erlauben eine einfache und übersichtliche grafische Darstellung der Daten.
Zuerst das Zeit-Weg-Diagramm:



Sehr schön ist hier die Parabel der quadratischen Zeit-Weg-Abhängigkeit zu erkennen. Ebenfalls ist der Rückprall des Schlittens am Ende der Bahn zu erkennen, hier kehrt sich die Bewegungsrichtung nämlich um, und der Abstand zum Sensor verringert sich wieder, bis die Messung beendet wird.

Ergänzend dazu das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm:



Dieses Diagramm zeigt im ersten Teil einen fast linearen Anstieg der Geschwindigkeit, was sich aus der Gesetzmäßigkeit $v = a \cdot t$ erklären lässt. Die jeweiligen Spitzen heben sich fast gegeneinander auf. Deutlich wird der abrupte Geschwindigkeitswechsel bei der Bewegungsumkehr.