

Lineare Bewegungen

Anton Haase, Michael Goerz

Im Allgemeinen sind lineare Bewegungen eindimensionale Bewegungen, die durch drei Formen charakterisiert werden. Gleichförmige Bewegungen finden ohne jede Krafteinwirkung statt. Gleichmäßig beschleunigte Bewegungen werden durch eine konstante Kraft angetrieben. Die mathematische Beschreibung dieser Form erfolgt mittels der Newton'schen Kraftbeziehung $F = m \cdot a$ bzw. $F = m \cdot \ddot{r}$. In der graphischen Auswertung ergibt sich auf Grund der konstanten Beschleunigung ein linearer Anstieg der Geschwindigkeit mit der Zeit. Die dritte Form ist eine Bewegung mit zeitabhängiger Beschleunigung bzw. Kraft. In dem folgenden Experiment handelt es sich um die 2. Form. Neben der antreibenden Kraft F existiert hier jedoch noch eine Geschwindigkeitsabhängige Bremskraft, die auch in der Bewegungsgleichung Berücksichtigung finden muss:

$$F - \delta v = m \cdot \frac{dv}{dt}$$

Diese ~~Kann~~ Differentialgleichung kann leicht in die typische Form umgewandelt werden:

$$\ddot{r} + \frac{\delta}{m} v = \frac{F}{m}$$

Zunächst ist die Lösung der homogenen Gleichung gesucht. Dazu wird ein allgemeiner Exponentialansatz verwendet:

$$v(t) = A \cdot e^{\lambda t}$$

Durch Einsetzen erhält man:

$$A \lambda e^{\lambda t} + \frac{f}{m} A e^{\lambda t} = 0$$

$$\Rightarrow \lambda + \frac{f}{m} = 0 \quad \Rightarrow \lambda = -\frac{f}{m}$$

Daraus Eine spezielle Lösung der inhomogenen Gleichung ist gegeben durch:

$$v = \frac{F}{f}$$

Der (noch) freie Parameter A wird durch die Anfangsbedingung $v_0 = v(t=0) = 0$ bestimmt:

~~$$v(0) = A + \frac{F}{f} = 0$$~~

$$\Rightarrow A = -\frac{F}{f}$$

Daraus ergibt sich die vollständige Lösung unter dem verwendeten Ansatz zu:

$$\begin{aligned} v(t) &= -\frac{F}{f} e^{-\frac{f}{m}t} + \frac{F}{f} \\ &= \frac{F}{f} \left(1 - e^{-\frac{f}{m}t} \right) \end{aligned}$$

Damit ergibt sich für diese ständig beschleunigte Bewegung im Grenzfall $t \rightarrow \infty$ eine

konstante "Grenzgeschwindigkeit" $v_{\infty} = \frac{F}{\delta}$, die sich individuell in Abhängigkeit der Kraft und der Reibung oder Bremskraft einstellt. Die Zeit bis dieser Effekt zu beobachten ist hängt dabei stark von der Reibung und der Masse ab. Dabei gilt: große Reibung und kleine Masse \Rightarrow kürzeste Zeit.

18.03.05 //

Experiment
Messprotokoll

18.3.05

Anton Haase, Michael Goetz

Aufgabe 2:

Anhängegewichte:

$$m_1 = (2 \pm 0,2) \text{ g}$$

$$m_2 = (5,0 \pm 0,5) \text{ g}$$

$$m_3 = (11 \pm 1) \text{ g}$$

$$m_4 = (17 \pm 1) \text{ g}$$

Alle weiteren Messdaten wurden elektronisch aufgenommen, und sind als Ausdrucke des „CASSY Lab“ vorhanden. Sie werden daher erst bei der Auswertung der jeweiligen Messungen erscheinen und nicht hier im Messprotokoll.

Auswertung

Aufgabe 1:

Im Voraus der Messungen wurde die Luftkissenschiene sorgfältig kalibriert. Dennoch konnte kein Zustand erreicht werden, in dem der Wagen an jeder Stelle der Bahn seine Position beibehalten hat. Alle folgenden Messungen bzw. Auswertungen sind somit einem geringen Fehler unterworfen. Insbesondere in der zweiten Hälfte der Bahn erfährt der Wagen eine leichte Beschleunigung in positive Richtung. Weitere systematische Fehler durch die Bahn bzw. den Wagen werden im weiteren Verlauf dieses Protokolls und in der abschließenden Diskussion behandelt.

Aufgabe 2:

In dieser Aufgabe wurde die eingangs erwähnte gleichmäßig beschleunigte lineare Bewegung für den (fast) reibungsfreien Fall untersucht. Aus der Theorie erhält man die einfache Bewegungsgleichung:

$$F = m \cdot a = m \cdot \ddot{s}$$

welche für den vorliegenden Fall die einfache Lösung:

$$s(t) = \frac{1}{2} a t^2 + v_0 t + s_0$$

hat.

Die Parameter ~~wurde~~ v_0 und s_0 wurden durch den experimentellen Aufbau gleich Null gesetzt, so dass sich das Bewegungsgesetz zu

$$s(t) = \frac{1}{2} a t^2$$

vereinfacht. Die Beschleunigung a ergibt sich aus der antreibenden Kraft zu:

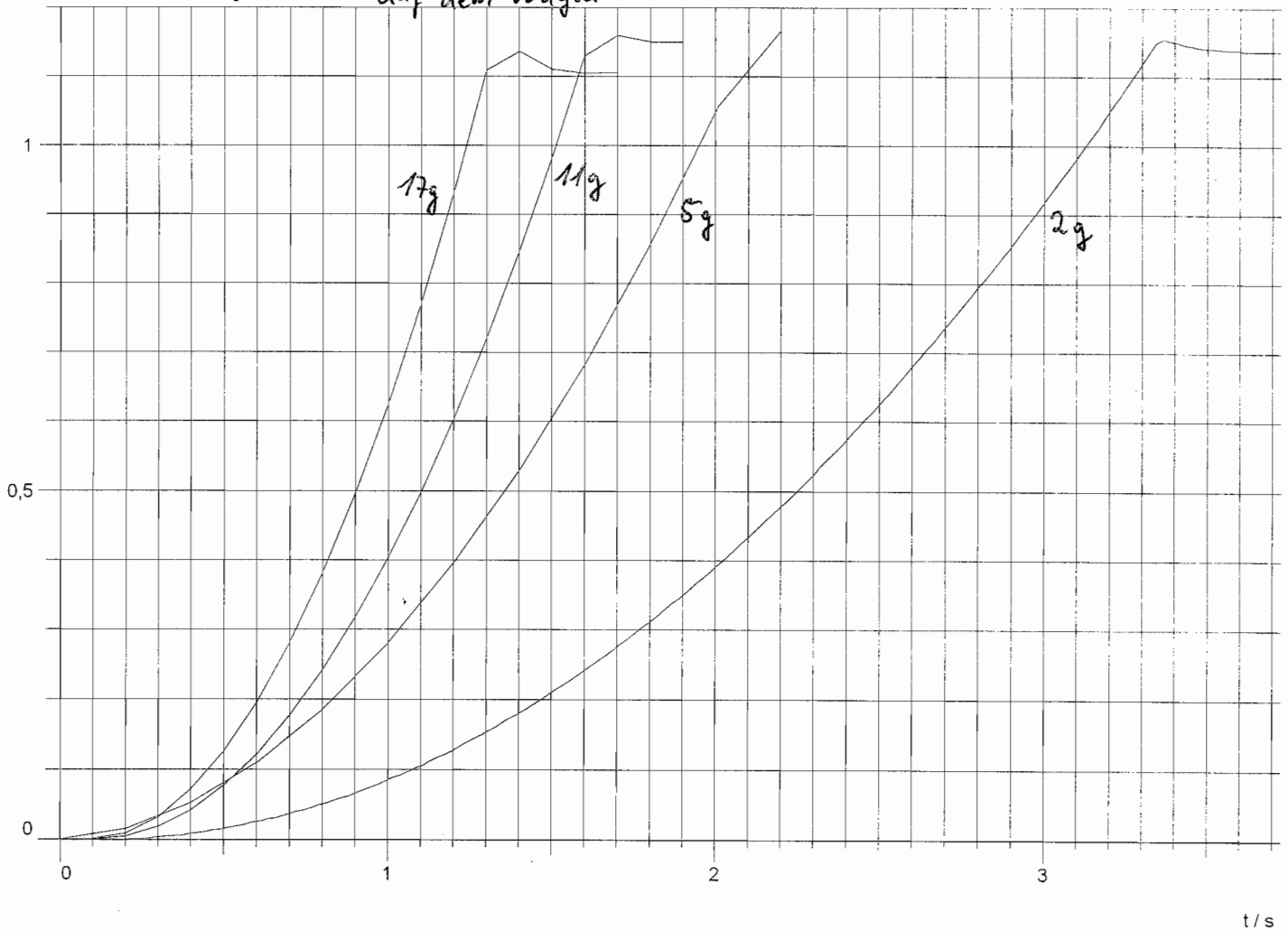
$$F_A = F_G$$

$$\Leftrightarrow m_w \cdot a = m_G \cdot g$$

$$\Leftrightarrow a = \frac{m_G \cdot g}{m_w}$$

wobei m_w die Masse des Wagens und m_G die Masse des Zusatzgewichtes (Matten) ist.

In der ersten Messung wurden verschiedene Zusatzgewichte bei konstanter Wagenmasse beobachtet. Es ergab sich in der qualitativen Betrachtung die erwartete Parabel: Die jeweilige Zusatzmasse ist dabei an dem zugehörigen Graphen zu finden.

Messung ohne Zusatzmassen (s/t)
auf dem WagenSA1
m

Neben dieser graphischen Darstellung wurden alle Messwerte auch tabellarisch erfasst.

Diese Daten sind auf den folgenden Seiten aufgeführt. Jeder Datenblock ist wieder mit der jeweiligen Zusatz- bzw. Beschleunigungsgerichtet markiert.

CASSY Lab

CASSY Lab

CASSY Lab

	t / s	SA1 / m	t / s	SA1 / m	t / s	SA1 / m
28g	0,00	0,000	1,24	0,138	2,46	0,606
	0,02	0,000	1,26	0,144	2,49	0,618
	0,05	0,000	1,29	0,149	2,51	0,630
	0,07	0,000	1,31	0,156	2,53	0,642
	0,09	0,000	1,33	0,161	2,56	0,655
	0,12	0,000	1,36	0,168	2,58	0,667
	0,14	0,000	1,38	0,174	2,60	0,680
	0,16	0,000	1,40	0,180	2,62	0,693
	0,18	0,000	1,42	0,186	2,65	0,705
	0,21	0,000	1,45	0,193	2,67	0,717
	0,23	0,001	1,47	0,199	2,69	0,730
	0,26	0,001	1,49	0,206	2,71	0,743
	0,28	0,002	1,51	0,213	2,74	0,757
	0,30	0,003	1,53	0,220	2,76	0,769
	0,33	0,004	1,55	0,226	2,78	0,782
	0,35	0,005	1,58	0,233	2,80	0,796
	0,38	0,006	1,60	0,241	2,83	0,809
	0,40	0,008	1,62	0,248	2,85	0,824
	0,42	0,009	1,64	0,256	2,87	0,837
	0,45	0,011	1,67	0,263	2,90	0,850
	0,47	0,013	1,69	0,270	2,92	0,865
	0,49	0,014	1,71	0,278	2,94	0,880
	0,52	0,017	1,73	0,286	2,96	0,894
	0,54	0,018	1,75	0,294	2,99	0,908
	0,56	0,021	1,78	0,302	3,01	0,922
	0,59	0,024	1,80	0,310	3,03	0,937
	0,61	0,026	1,82	0,319	3,05	0,952
	0,64	0,029	1,85	0,328	3,08	0,966
	0,66	0,030	1,87	0,337	3,10	0,981
	0,68	0,033	1,89	0,345	3,12	0,997
	0,70	0,037	1,92	0,354	3,15	1,012
	0,72	0,040	1,94	0,364	3,17	1,026
	0,74	0,042	1,96	0,373	3,19	1,041
	0,77	0,045	1,98	0,382	3,21	1,056
	0,79	0,049	2,01	0,392	3,23	1,072
	0,81	0,052	2,03	0,401	3,25	1,086
	0,84	0,056	2,05	0,411	3,28	1,102
	0,86	0,059	2,07	0,421	3,30	1,117
	0,88	0,062	2,10	0,431	3,32	1,133
	0,90	0,066	2,12	0,441	3,34	1,149
	0,93	0,070	2,14	0,452	3,37	1,154
	0,95	0,074	2,16	0,461	3,39	1,151
	0,97	0,078	2,19	0,471	3,41	1,149
	0,99	0,083	2,21	0,481	3,43	1,146
	1,01	0,088	2,23	0,492	3,45	1,144
	1,04	0,092	2,26	0,503	3,47	1,142
	1,06	0,097	2,28	0,514	3,50	1,141
	1,08	0,102	2,30	0,525	3,52	1,140
	1,11	0,106	2,33	0,537	3,54	1,139
	1,13	0,112	2,35	0,548	3,57	1,138
	1,15	0,117	2,37	0,558	3,59	1,138
	1,17	0,121	2,39	0,570	3,61	1,137
	1,20	0,126	2,42	0,582	3,63	1,137
	1,22	0,132	2,44	0,594	3,65	1,137

CASSY Lab

t / s	SA1 / m
3,68	1,137
3,70	1,137
3,72	1,137

CASSY Lab

t / s	SA1 / m
1,60	1,104
1,70	1,106

5g

0,00	0,000
0,20	0,015
0,40	0,052
0,61	0,111
0,80	0,185
1,00	0,280
1,21	0,399
1,41	0,533
1,61	0,687
1,80	0,856
2,01	1,056
2,20	1,167

11g

0,00	0,000
0,10	0,000
0,20	0,004
0,30	0,018
0,40	0,042
0,50	0,077
0,60	0,121
0,70	0,177
0,80	0,241
0,90	0,317
1,00	0,402
1,10	0,498
1,20	0,604
1,30	0,721
1,40	0,847
1,50	0,984
1,60	1,129
1,70	1,159
1,80	1,150
1,90	1,149

17g

0,00	0,001
0,10	0,001
0,20	0,008
0,30	0,032
0,40	0,072
0,50	0,125
0,60	0,195
0,70	0,280
0,80	0,380
0,90	0,496
1,00	0,624
1,10	0,771
1,20	0,932
1,30	1,108
1,40	1,136
1,50	1,110

Da bis auf die Wagenmasse m_w alle Parameter bekannt sind, kann an Hand der Formel

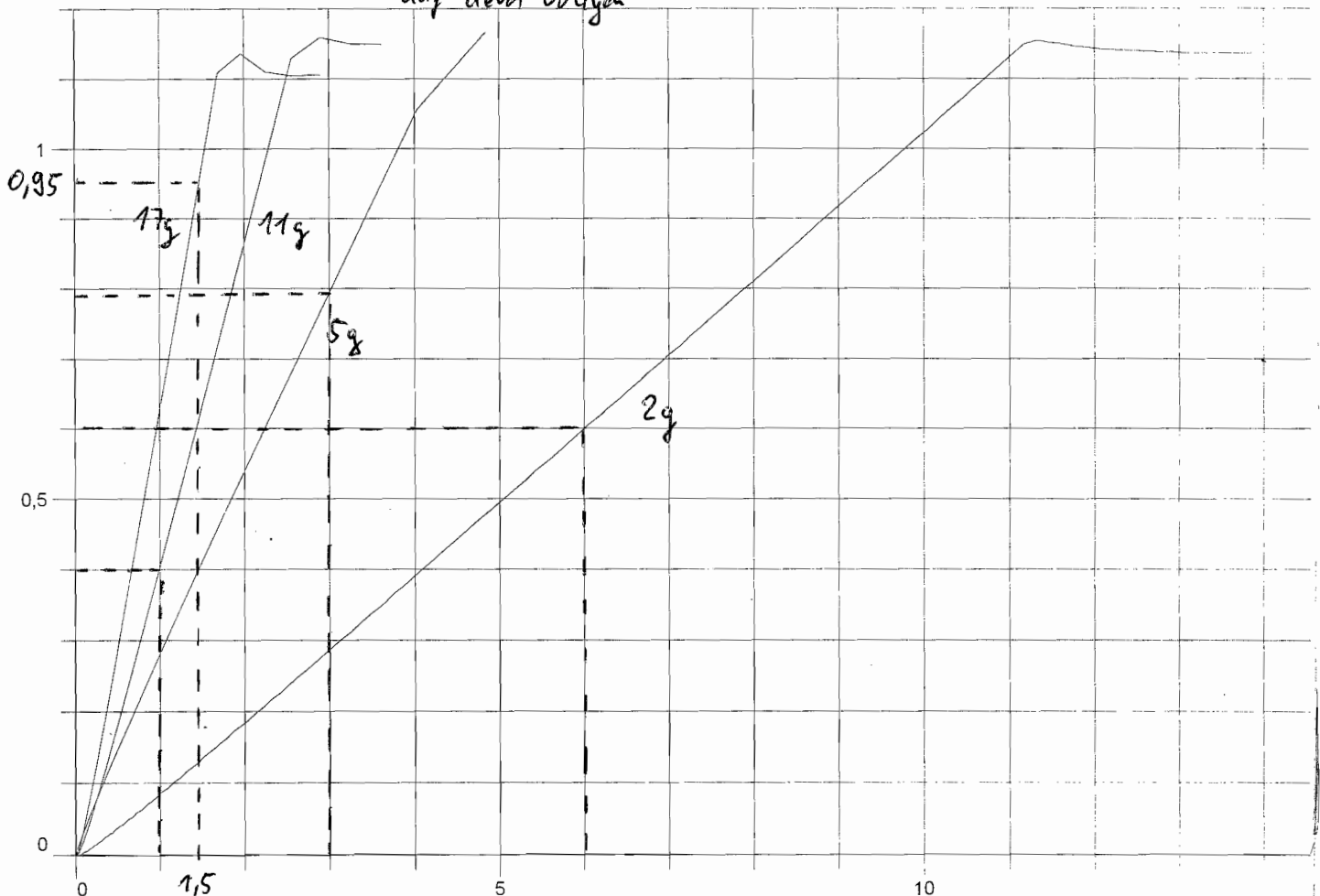
$$a = \frac{m_g \cdot g}{m_w} \Leftrightarrow m_w = \frac{m_g \cdot g}{a}$$

die Qualität der Messungen überprüft werden. In jedem Fall sollte die gleiche Wagenmasse berechnet werden können. Ist dies der Fall, so erhält man damit eine implizite Überprüfung des Bewegungsgesetzes aus dem die Beschleunigung a berechnet wird. Zur Vereinfachung der Auswertung wurden die eben dargestellten Messwerte über t^2 aufgetragen und tabellarisch berechnet:

CASSY Lab

SA1
m

Messung ohne Zusatzmassen (v/t)
auf dem Wagen



CASSY Lab

CASSY Lab

CASSY Lab

	t2 / s ²	SA1 / m	t2 / s ²	SA1 / m	t2 / s ²	SA1 / m
28	0,00	0,000	1,54	0,138	6,07	0,606
	0,00	0,000	1,60	0,144	6,19	0,618
	0,00	0,000	1,66	0,149	6,30	0,630
	0,00	0,000	1,72	0,156	6,42	0,642
	0,01	0,000	1,78	0,161	6,53	0,655
	0,01	0,000	1,84	0,168	6,65	0,667
	0,02	0,000	1,90	0,174	6,77	0,680
	0,03	0,000	1,96	0,180	6,89	0,693
	0,03	0,000	2,02	0,186	7,00	0,705
	0,04	0,000	2,09	0,193	7,12	0,717
	0,05	0,001	2,15	0,199	7,24	0,730
	0,07	0,001	2,22	0,206	7,36	0,743
	0,08	0,002	2,28	0,213	7,49	0,757
	0,09	0,003	2,35	0,220	7,60	0,769
	0,11	0,004	2,42	0,226	7,73	0,782
	0,12	0,005	2,49	0,233	7,86	0,796
	0,14	0,006	2,56	0,241	7,99	0,809
	0,16	0,008	2,63	0,248	8,13	0,824
	0,18	0,009	2,70	0,256	8,25	0,837
	0,20	0,011	2,78	0,263	8,38	0,850
	0,22	0,013	2,85	0,270	8,52	0,865
	0,24	0,014	2,92	0,278	8,66	0,880
	0,27	0,017	3,00	0,286	8,79	0,894
	0,29	0,018	3,08	0,294	8,92	0,908
	0,32	0,021	3,15	0,302	9,05	0,922
	0,35	0,024	3,24	0,310	9,19	0,937
	0,38	0,026	3,32	0,319	9,33	0,952
	0,40	0,029	3,41	0,328	9,47	0,966
	0,43	0,030	3,49	0,337	9,61	0,981
	0,46	0,033	3,58	0,345	9,75	0,997
	0,49	0,037	3,67	0,354	9,89	1,012
	0,53	0,040	3,75	0,364	10,04	1,026
	0,56	0,042	3,84	0,373	10,16	1,041
	0,59	0,045	3,93	0,382	10,30	1,056
	0,63	0,049	4,02	0,392	10,46	1,072
	0,66	0,052	4,12	0,401	10,59	1,086
	0,70	0,056	4,21	0,411	10,74	1,102
	0,74	0,059	4,30	0,421	10,88	1,117
	0,78	0,062	4,40	0,431	11,03	1,133
	0,81	0,066	4,50	0,441	11,18	1,149
	0,86	0,070	4,60	0,452	11,34	1,154
	0,90	0,074	4,68	0,461	11,47	1,151
	0,94	0,078	4,78	0,471	11,63	1,149
	0,99	0,083	4,88	0,481	11,76	1,146
	1,03	0,088	4,99	0,492	11,92	1,144
	1,08	0,092	5,09	0,503	12,07	1,142
	1,13	0,097	5,19	0,514	12,23	1,141
	1,18	0,102	5,30	0,525	12,39	1,140
	1,23	0,106	5,41	0,537	12,55	1,139
	1,27	0,112	5,51	0,548	12,72	1,138
	1,33	0,117	5,62	0,558	12,88	1,138
	1,37	0,121	5,73	0,570	13,02	1,137
	1,43	0,126	5,84	0,582	13,19	1,137
	1,48	0,132	5,95	0,594	13,36	1,137

CASSY Lab

CASSY Lab

	t ² / s ²	sA1 / m		t ² / s ²	sA1 / m
	13,52	1,137		2,56	1,104
	13,69	1,137		2,89	1,106
	13,87	1,137			
5g	0,00	0,000			
	0,04	0,015			
	0,16	0,052			
	0,37	0,111			
	0,64	0,185			
	1,00	0,280			
	1,46	0,399			
	1,98	0,533			
	2,58	0,687			
	3,24	0,856			
	4,04	1,056			
	4,85	1,167			
11g	0,00	0,000			
	0,01	0,000			
	0,04	0,004			
	0,09	0,018			
	0,16	0,042			
	0,25	0,077			
	0,36	0,121			
	0,49	0,177			
	0,64	0,241			
	0,81	0,317			
	1,00	0,402			
	1,21	0,498			
	1,44	0,604			
	1,70	0,721			
	1,97	0,847			
	2,26	0,984			
	2,56	1,129			
	2,90	1,159			
	3,25	1,150			
	3,61	1,149			
17g	0,00	0,001			
	0,01	0,001			
	0,04	0,008			
	0,09	0,032			
	0,16	0,072			
	0,25	0,125			
	0,36	0,195			
	0,49	0,280			
	0,64	0,380			
	0,81	0,496			
	1,00	0,624			
	1,21	0,771			
	1,44	0,932			
	1,69	1,108			
	1,96	1,136			
	2,25	1,110			

Aus dem linearisierten Graphen kann der Wert der Beschleunigung als Steigung abgelesen werden. Dabei ist der Faktor 2 zu beachten:

$$s(t) = \frac{1}{2} a t^2$$

$$\Leftrightarrow \frac{s(t)}{t^2} \cdot 2 = a$$

Damit ergibt sich:

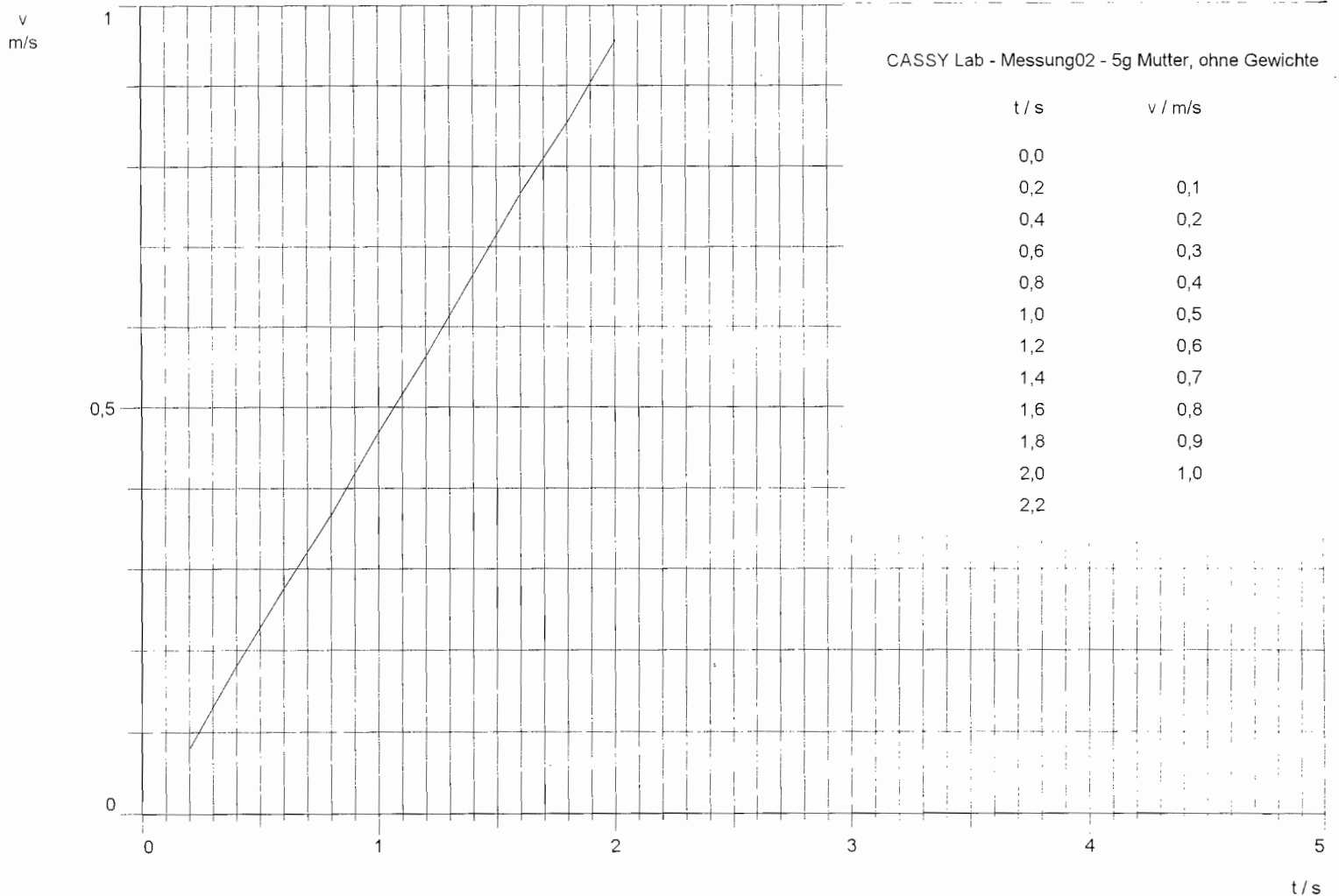
$$2g: a = 2 \cdot 0,1 \frac{m}{s^2} = 0,20 \frac{m}{s^2} \pm 0,05 \frac{m}{s^2}$$

$$5g: a = 2 \cdot 0,26 \frac{m}{s^2} = 0,52 \frac{m}{s^2} \pm 0,05 \frac{m}{s^2}$$

$$11g: a = 2 \cdot 0,4 \frac{m}{s^2} = 0,80 \frac{m}{s^2} \pm 0,05 \frac{m}{s^2}$$

$$17g: a = 2 \cdot 0,63 \frac{m}{s^2} = 1,26 \frac{m}{s^2} \pm 0,05 \frac{m}{s^2}$$

Der Fehler der Beschleunigungswerte wurde dabei auf der unseitig dokumentierten Kontrollmessung für das 5g Gewicht geschätzt.



Aus diesen Beschleunigungen erhält man die folgenden Werte für die Wagenmasse: ($g = 9,81 \frac{m}{s^2}$)

$$2g: m_w = (98,1 \pm 26,5) g$$

$$5g: m_w = (94,3 \pm 13,2) g$$

$$11g: m_w = (184,9 \pm 14,8) g$$

$$17g: m_w = (132,4 \pm 10,6) g$$

Die Werte sind mit Berücksichtigung der relativ hohen Fehler verträglich. Die mittlere Wagenmasse ergibt sich zu:

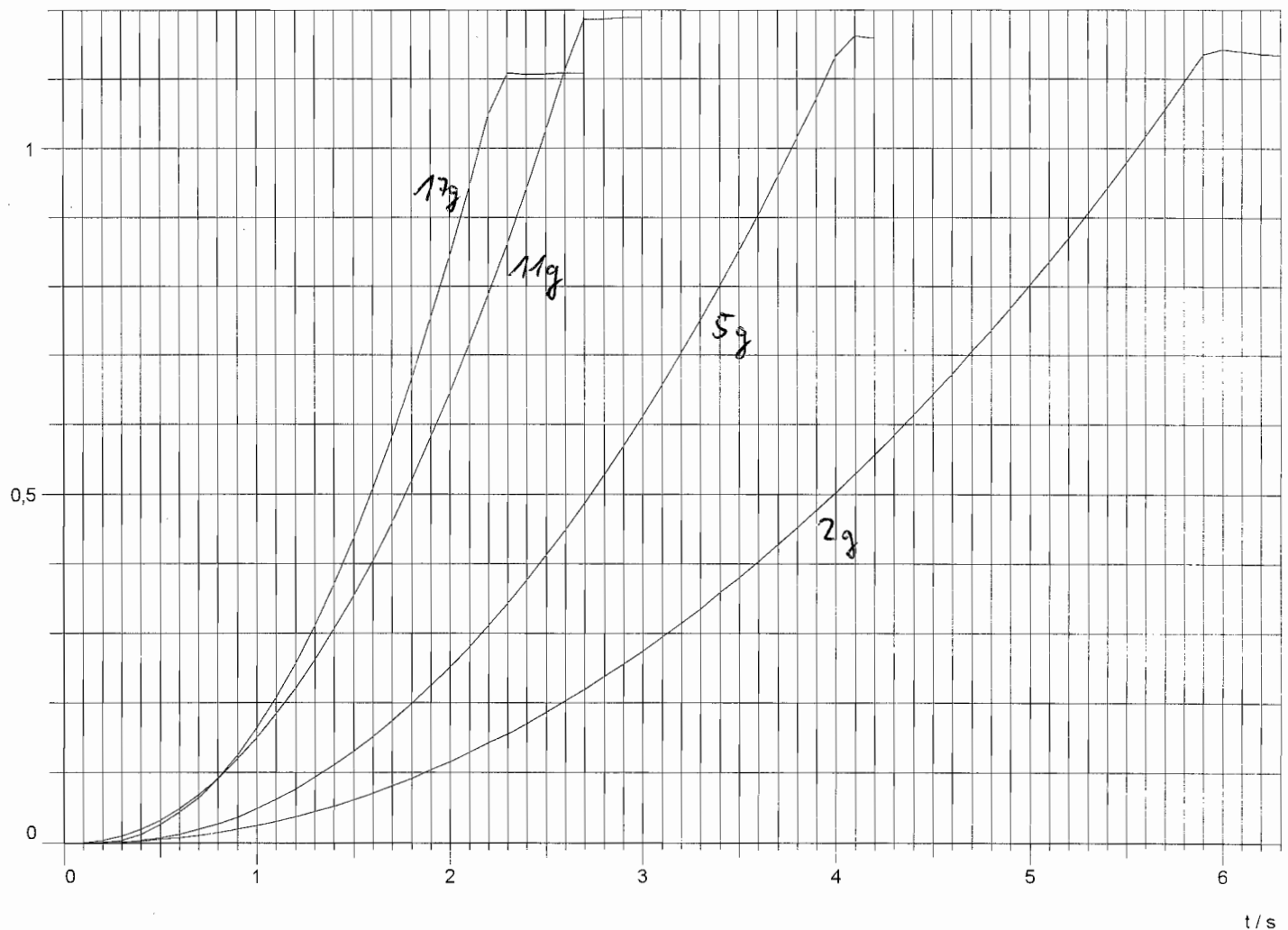
$$\overline{m_w} = (114,9 \pm 3,2) g$$

In einer zweiten Messreihe wurde die Masse des Wagens durch zwei unbekannte Zusatzgewichte verändert und eine analoge Messung zu der vorherigen durchgeführt.

Im folgenden sind wieder die Graphen in beiden Darstellungen sowie die zugehörigen Messwerte aufgeführt:

CASSY Lab - Zusammenfassung02 - 2, 5, 11, 17 g Mutter, 2 Gewichte

SA1
m



C

n

t / s	sA1 / m
0,0	0,000
0,1	0,000
0,2	0,001
0,3	0,002
0,4	0,002
0,5	0,005
0,6	0,007
0,7	0,010
0,8	0,014
0,9	0,019
1,0	0,024
1,1	0,030
1,2	0,037
1,3	0,044
1,4	0,052
1,5	0,061
1,6	0,070
1,7	0,081
1,8	0,091
1,9	0,103
2,0	0,115
2,1	0,128
2,2	0,142
2,3	0,155
2,4	0,170
2,5	0,186
2,6	0,202
2,7	0,219
2,8	0,237
2,9	0,255
3,0	0,274
3,1	0,294
3,2	0,314
3,3	0,335
3,4	0,358
3,5	0,379
3,6	0,403
3,7	0,427
3,8	0,451
3,9	0,477
4,0	0,502
4,1	0,529
4,2	0,557
4,3	0,585
4,4	0,614
4,5	0,643
4,6	0,673
4,7	0,705
4,8	0,735
4,9	0,769
5,0	0,802
5,1	0,835
5,2	0,870
5,3	0,906

2g

t / s	sA1 / m
5,4	0,942
5,5	0,979
5,6	1,017
5,7	1,055
5,8	1,094
5,9	1,134
6,0	1,142
6,1	1,138
6,2	1,135
6,3	1,133

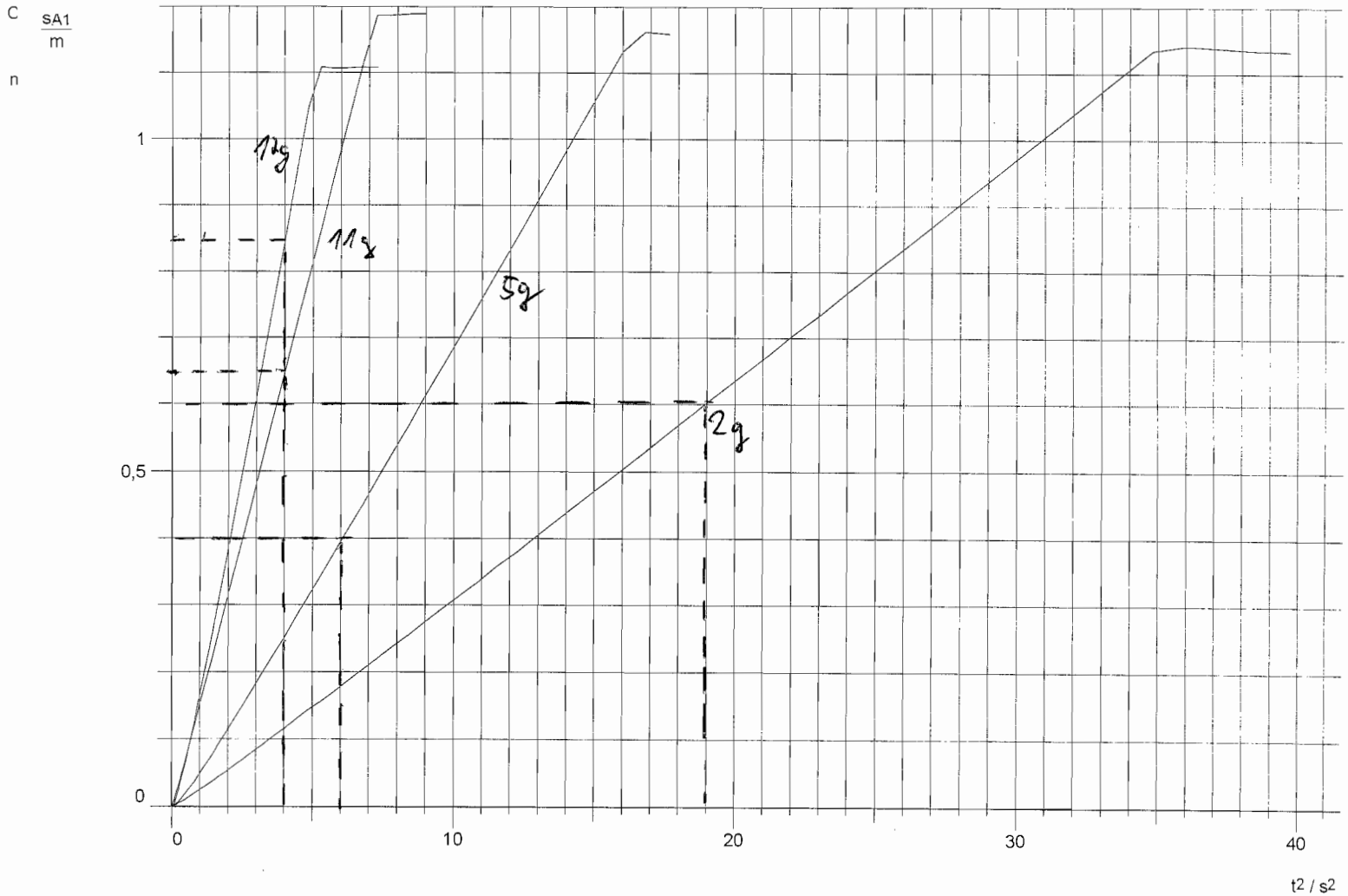
5g

t / s	sA1 / m
0,0	0,000
0,1	0,000
0,2	0,000
0,3	0,000
0,4	0,003
0,5	0,007
0,6	0,012
0,7	0,019
0,8	0,027
0,9	0,036
1,0	0,048
1,1	0,062
1,2	0,076
1,3	0,093
1,4	0,111
1,5	0,130
1,6	0,151
1,7	0,174
1,8	0,198
1,9	0,224
2,0	0,251
2,1	0,280
2,2	0,311
2,3	0,343
2,4	0,376
2,5	0,412
2,6	0,448
2,7	0,487
2,8	0,527
2,9	0,568
3,0	0,612
3,1	0,656
3,2	0,703
3,3	0,751
3,4	0,800
3,5	0,851
3,6	0,904
3,7	0,959
3,8	1,014
3,9	1,072
4,0	1,132
4,1	1,162
4,2	1,158

t / s	SA1 / m
11g 0,0	0,000
0,1	0,000
0,2	0,003
0,3	0,009
0,4	0,019
0,5	0,032
0,6	0,048
0,7	0,068
0,8	0,092
0,9	0,119
1,0	0,149
1,1	0,184
1,2	0,220
1,3	0,261
1,4	0,307
1,5	0,353
1,6	0,405
1,7	0,460
1,8	0,519
1,9	0,581
2,0	0,646
2,1	0,715
2,2	0,787
2,3	0,863
2,4	0,943
2,5	1,025
2,6	1,112
2,7	1,187
2,8	1,187
2,9	1,188
3,0	1,189

17g 0,0	0,000
0,1	0,000
0,2	0,000
0,3	0,003
0,4	0,012
0,5	0,026
0,6	0,043
0,7	0,064
0,8	0,092
0,9	0,124
1,0	0,163
1,1	0,207
1,2	0,256
1,3	0,310
1,4	0,371
1,5	0,436
1,6	0,507
1,7	0,583
1,8	0,664
1,9	0,753
2,0	0,845

t / s	SA1 / m
2,1	0,943
2,2	1,047
2,3	1,108
2,4	1,106
2,5	1,107
2,6	1,108
2,7	1,108



Aus der Steigung abgelesene Beschleunigungen:

$$2g: a = (0,063 \pm 0,016) \frac{m}{s^2}$$

$$5g: a = (0,133 \pm 0,015) \frac{m}{s^2}$$

$$11g: a = (0,325 \pm 0,015) \frac{m}{s^2}$$

$$17g: a = (0,425 \pm 0,015) \frac{m}{s^2}$$

Der Fehler der Messung wurde wiederum geschätzt.

t^2 / s^2	sA1 / m
7g 0,00	0,000
0,01	0,000
0,04	0,001
0,09	0,002
0,16	0,002
0,25	0,005
0,36	0,007
0,49	0,010
0,64	0,014
0,81	0,019
1,00	0,024
1,21	0,030
1,44	0,037
1,69	0,044
1,96	0,052
2,25	0,061
2,56	0,070
2,89	0,081
3,24	0,091
3,61	0,103
4,00	0,115
4,41	0,128
4,84	0,142
5,29	0,155
5,77	0,170
6,26	0,186
6,77	0,202
7,30	0,219
7,85	0,237
8,42	0,255
9,01	0,274
9,62	0,294
10,25	0,314
10,90	0,335
11,57	0,358
12,26	0,379
12,97	0,403
13,70	0,427
14,45	0,451
15,23	0,477
16,01	0,502
16,82	0,529
17,66	0,557
18,50	0,585
19,37	0,614
20,26	0,643
21,17	0,673
22,10	0,705
23,05	0,735
24,02	0,769
25,01	0,802
26,02	0,835
27,05	0,870
28,10	0,906

t^2 / s^2	sA1 / m
29,17	0,942
30,26	0,979
31,37	1,017
32,51	1,055
33,65	1,094
34,82	1,134
36,01	1,142
37,22	1,138
38,45	1,135
39,70	1,133
5g 0,00	0,000
0,01	0,000
0,04	0,000
0,09	0,000
0,16	0,003
0,25	0,007
0,36	0,012
0,49	0,019
0,64	0,027
0,81	0,036
1,00	0,048
1,21	0,062
1,44	0,076
1,70	0,093
1,96	0,111
2,25	0,130
2,56	0,151
2,89	0,174
3,24	0,198
3,61	0,224
4,00	0,251
4,41	0,280
4,84	0,311
5,29	0,343
5,76	0,376
6,26	0,412
6,77	0,448
7,30	0,487
7,85	0,527
8,42	0,568
9,01	0,612
9,62	0,656
10,25	0,703
10,90	0,751
11,57	0,800
12,26	0,851
12,97	0,904
13,70	0,959
14,45	1,014
15,22	1,072
16,02	1,132
16,82	1,162
17,65	1,158

	t2 / s ²	sA1 / m
11g	0,00	0,000
	0,01	0,000
	0,04	0,003
	0,09	0,009
	0,16	0,019
	0,25	0,032
	0,36	0,048
	0,49	0,068
	0,64	0,092
	0,81	0,119
	1,00	0,149
	1,21	0,184
	1,44	0,220
	1,69	0,261
	1,96	0,307
	2,25	0,353
	2,57	0,405
	2,89	0,460
	3,24	0,519
	3,61	0,581
4,00	0,646	
4,41	0,715	
4,84	0,787	
5,29	0,863	
5,76	0,943	
6,26	1,025	
6,77	1,112	
7,30	1,187	
7,85	1,187	
8,42	1,188	
9,01	1,189	

	t2 / s ²	sA1 / m
17g	0,00	0,000
	0,01	0,000
	0,04	0,000
	0,09	0,003
	0,16	0,012
	0,25	0,026
	0,36	0,043
	0,49	0,064
	0,64	0,092
	0,81	0,124
	1,00	0,163
	1,21	0,207
	1,44	0,256
	1,69	0,310
	1,96	0,371
	2,25	0,436
	2,56	0,507
	2,89	0,583
	3,24	0,664
	3,61	0,753
4,00	0,845	

t2 / s ²	sA1 / m
4,41	0,943
4,84	1,047
5,29	1,108
5,76	1,106
6,26	1,107
6,77	1,108
7,30	1,108

Aus dem Wert für die Beschleunigung kann wieder die Masse des Wagens berechnet werden:

$$\begin{aligned} 2\text{g: } m_w &= (311 \pm 24) \text{ g} \\ 5\text{g: } m_w &= (369 \pm 56) \text{ g} \\ 11\text{g: } m_w &= (332 \pm 37) \text{ g} \\ 17\text{g: } m_w &= (392 \pm 32) \text{ g} \end{aligned}$$

Die Werte sind wieder innerhalb ihres Fehlerbereiches als verträglich anzusehen.

Der Mittelwert ergibt sich zu:

$$\bar{m}_w = (351 \pm 28) \text{ g}$$

Die Verträglichkeit der berechneten Werte, lässt die Aussage zu, dass die beobachtete und gemessene Bewegung dem genannten Bewegungsgesetz folgt.

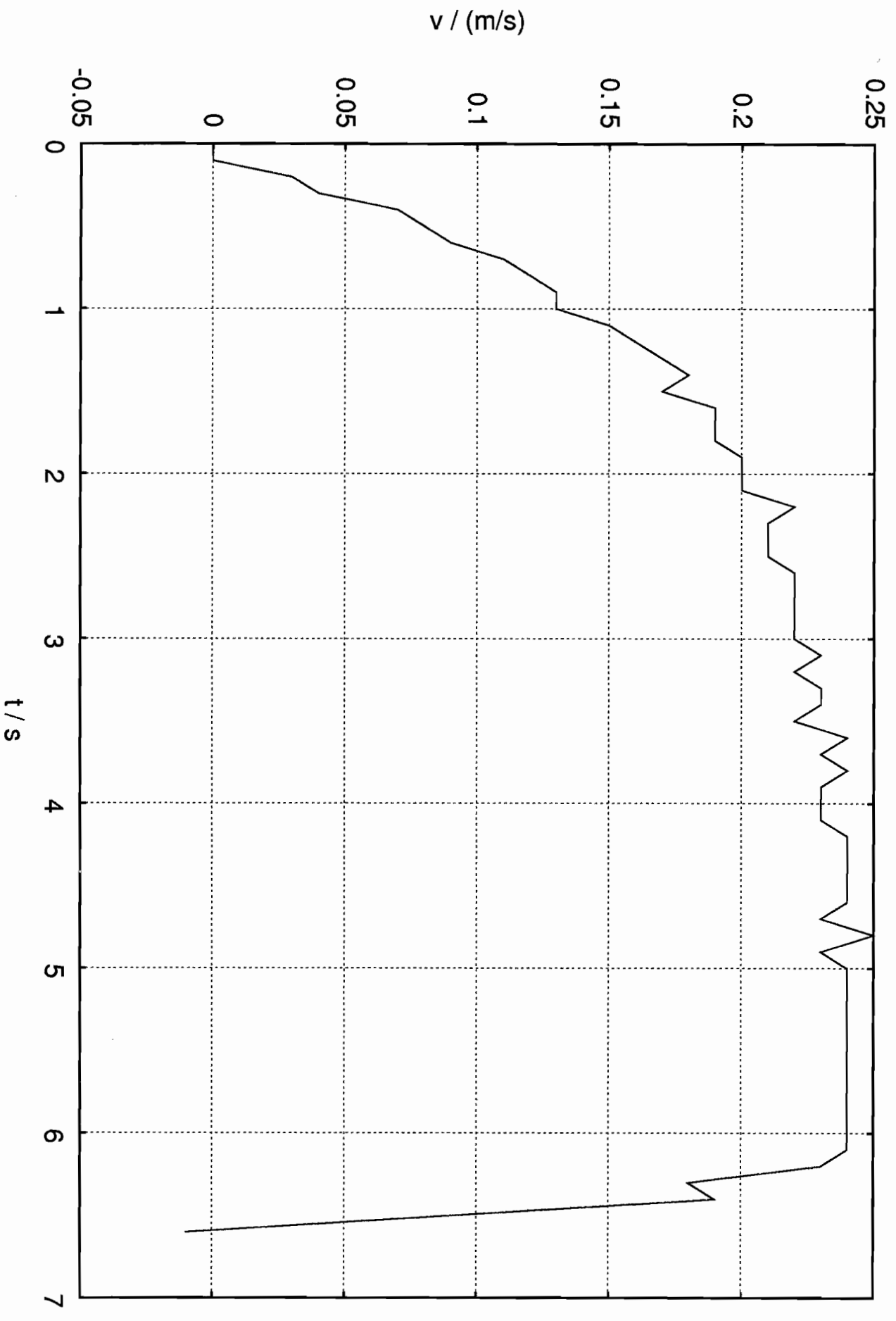
Aufgabe 3:

In diesem Experiment wurde der zuvor verwendete Versuchsaufbau dahingehend modifiziert, dass Permanentmagnete eine Geschwindigkeitsabhängige Bremswirkung aufbauen. Für die Auswertung scheint es zunächst sinnvoll eine Geschwindigkeits-Zeit-Messung durchzuführen. Dies ist mit den vorhandenen Geräten jedoch nur in sehr unbefriedigender Weise möglich, wie die graphische Darstellung für ein Beispiel auf der folgenden Seite illustriert. Stattdessen wurde eine Weg-Zeit-Messung durchgeführt. In dieser Messung konnte nach einer ausreichenden Zeit in nahezu allen Fällen ein linearer Zusammenhang festgestellt werden, welcher die eingangs beschriebene Grenzgeschwindigkeit

$$v_{\infty} = \frac{F}{\delta}$$

darstellt. Da die anhebbende Kraft F bekannt ist, kann der Dämpfungsfaktor δ leicht berechnet werden.

Anhängemasse: 2g - 2 Magente - Wagen ohne Zusatzgewichte



Die nachfolgenden Messergebnisse sind fälschlicherweise in s^2 angegeben (Zeit). Die Umrechnung in s ist jedoch simpel und hat keinen Einfluss auf die Werte.

Die erste Messung erfolgte mit 2 Magneten und ohne Zusatzgewicht auf dem Waagen.

Die Messreihen sind wieder jeweils mit dem Anhängengewicht gekennzeichnet.

Nach den Messdaten ist die graphische Darstellung der Messwerte mit einer linearen Approximation eingetätigt. Die Steigung der Geraden gibt wie bereits beschrieben die Grenzggeschwindigkeit v_{∞} an.

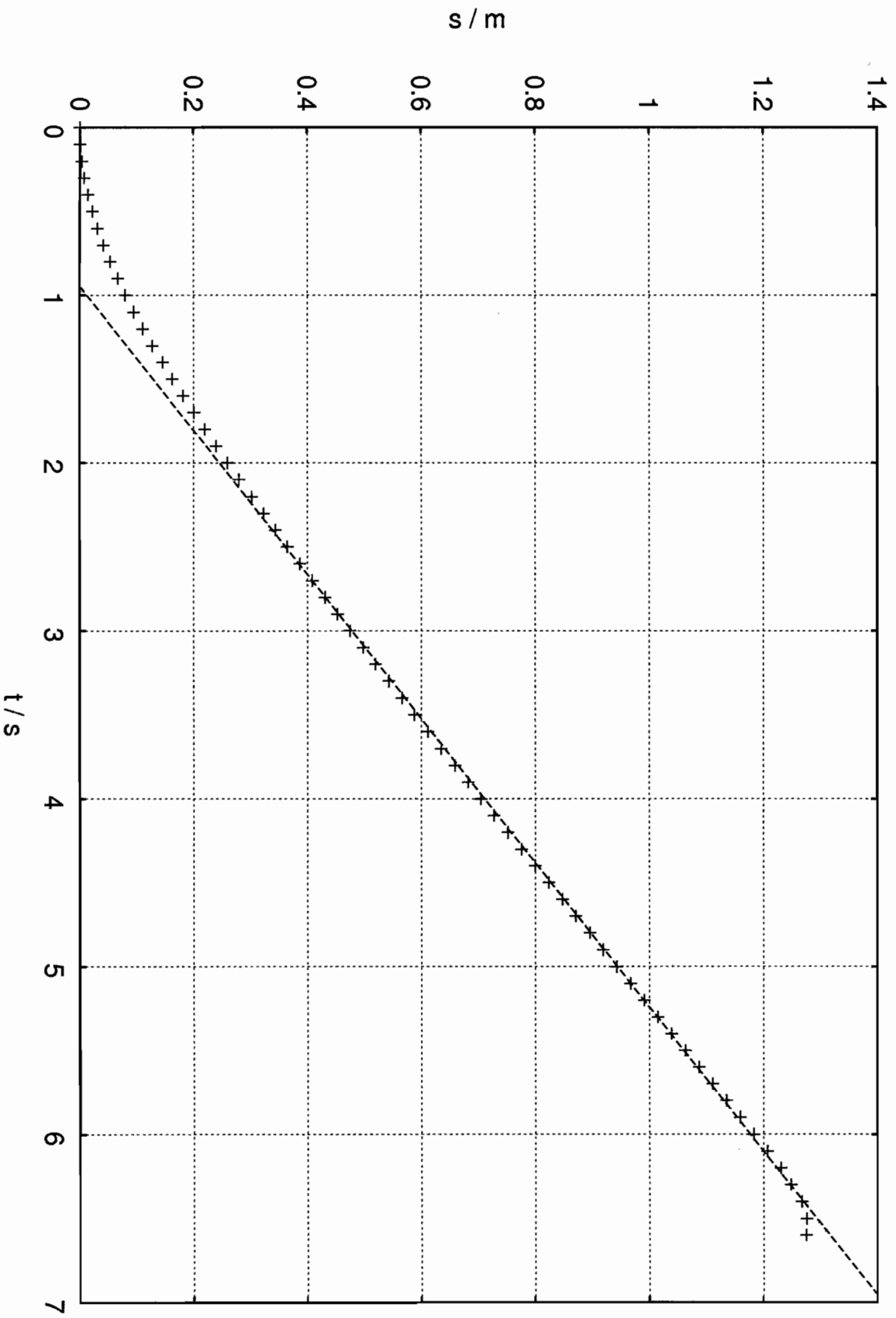
CASSY Lab

CASSY Lab

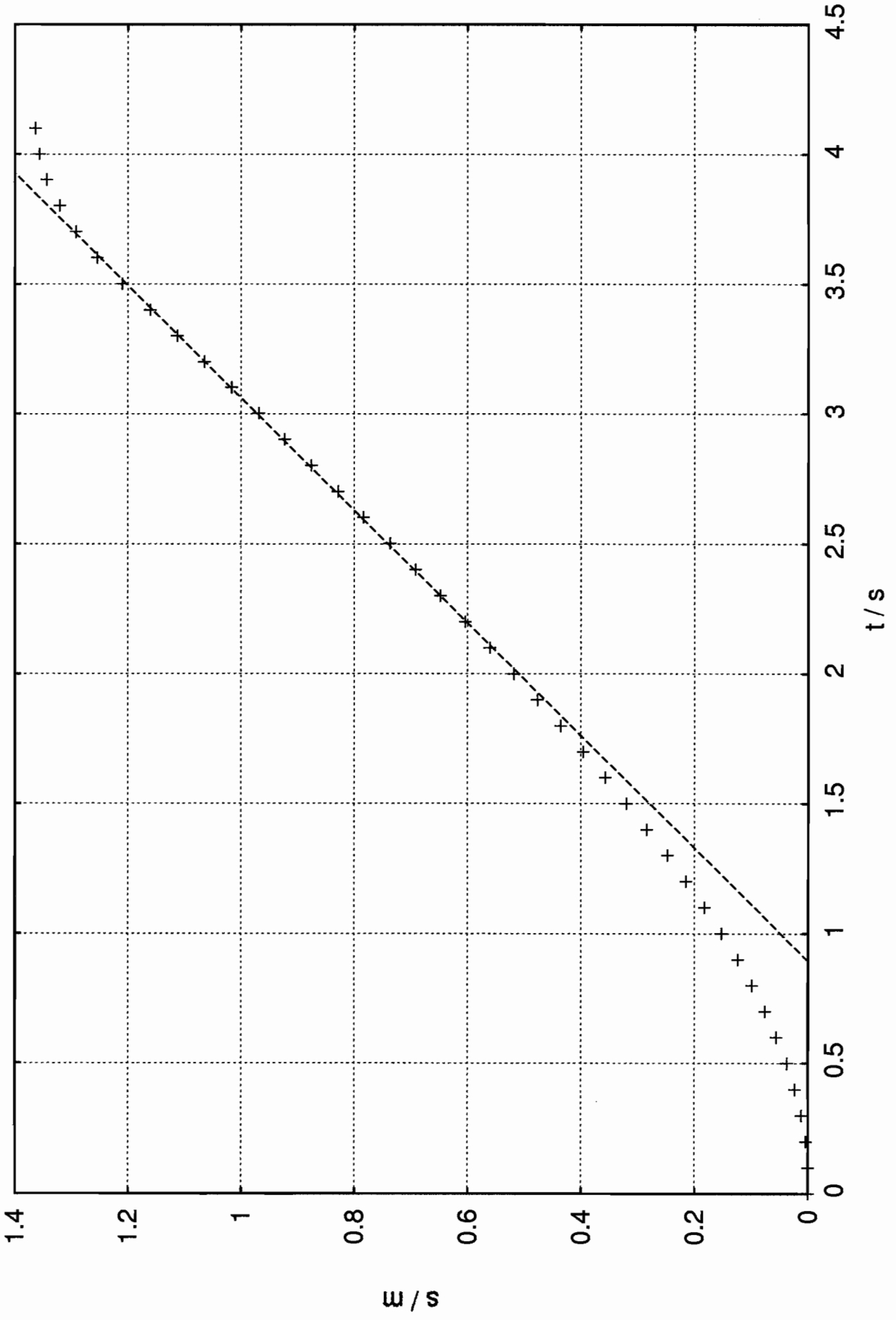
CASSY Lab

	t ² / s ²	sA1 / m	t ² / s ²	sA1 / m	t ² / s ²	sA1 / m
5g	0,00	0,000	1,21	0,095	42,26	1,276
	0,01	0,000	1,44	0,111	43,59	1,275
	0,04	0,004	1,69	0,128	44,90	1,272
	0,09	0,012	1,97	0,146	46,25	1,271
	0,16	0,023	2,25	0,163	47,62	1,270
	0,25	0,037	2,56	0,182	49,01	1,269
	0,36	0,055	2,89	0,201	50,44	1,268
	0,49	0,076	3,24	0,220	51,85	1,270
	0,64	0,099	3,61	0,240	53,32	1,271
	0,81	0,124	4,00	0,260	54,77	1,272
	1,00	0,153	4,41	0,280	56,27	1,274
	1,21	0,183	4,84	0,302	57,78	1,275
	1,44	0,215	5,29	0,323	59,31	1,278
	1,69	0,248	5,76	0,344	60,86	1,280
	1,96	0,284	6,26	0,365	62,43	1,283
	2,25	0,320	6,77	0,387		
	2,56	0,357	7,30	0,409		
	2,89	0,396	7,85	0,431		
	3,24	0,436	8,42	0,453		
	3,61	0,477	9,01	0,475		
	4,00	0,518	9,62	0,498		
	4,41	0,561	10,25	0,520		
	4,84	0,604	10,90	0,543		
	5,29	0,648	11,57	0,566		
	5,76	0,692	12,26	0,588		
	6,26	0,737	12,97	0,612		
6,77	0,784	13,70	0,635			
7,30	0,829	14,45	0,659			
7,85	0,876	15,22	0,682			
8,42	0,923	16,01	0,705			
9,01	0,969	16,82	0,728			
9,62	1,017	17,65	0,752			
10,25	1,065	18,50	0,776			
10,90	1,113	19,37	0,800			
11,57	1,161	20,26	0,824			
12,26	1,210	21,18	0,848			
12,97	1,254	22,10	0,871			
13,70	1,292	23,06	0,896			
14,45	1,321	24,02	0,919			
15,22	1,344	25,01	0,943			
16,01	1,357	26,03	0,967			
16,82	1,364	27,06	0,991			
		28,10	1,015			
		29,18	1,039			
2g	0,00	0,000	30,26	1,063		
	0,01	0,000	31,37	1,087		
	0,04	0,003	32,50	1,111		
	0,09	0,007	33,65	1,135		
	0,16	0,014	34,82	1,159		
	0,25	0,022	36,01	1,183		
	0,36	0,031	37,22	1,207		
	0,49	0,042	38,45	1,230		
	0,64	0,054	39,70	1,248		
	0,81	0,067	40,97	1,267		
	1,00	0,080				

Anhaengemasse: 2g - 2 Magente - Wagen ohne Zusatzgewichte



Anhaengemasse: 5g - 2 Magente - Wagen ohne Zusatzgewichte



Aus den Graphen ergibt sich folgende Geschwindigkeit.

$$2g: v_{\infty} = 0,23 \frac{m}{s}$$

$$5g: v_{\infty} = 0,46 \frac{m}{s}$$

Der Fehler ist auf Grund der guten Approximation sehr gering und fällt bei der weiteren Beobachtung (insbesondere im Hinblick auf den hohen Fehler der Anhängemasse) nicht weiter ins Gewicht.

Aus diesen beiden Messungen resultiert nach der beschriebenen Formel für den Dämpfungsfaktor δ :

$$2g: \delta = (0,009 \pm 0,01) \frac{kg}{s}$$

$$5g: \delta = (0,11 \pm 0,01) \frac{kg}{s}$$

Aus den Messdaten bzw. dem Graphen auf den folgenden beiden Seiten, erhält man noch einen weiteren Wert bei 11g Anhängemasse:

$$11g: v_{\infty} = 0,82 \frac{m}{s}$$

$$\Rightarrow 11g: \delta = (0,13 \pm 0,01) \frac{kg}{s}$$

Der Mittelwert ergibt sich somit zu:

$$\bar{\delta} = (0,11 \pm 0,01) \frac{kg}{s}$$

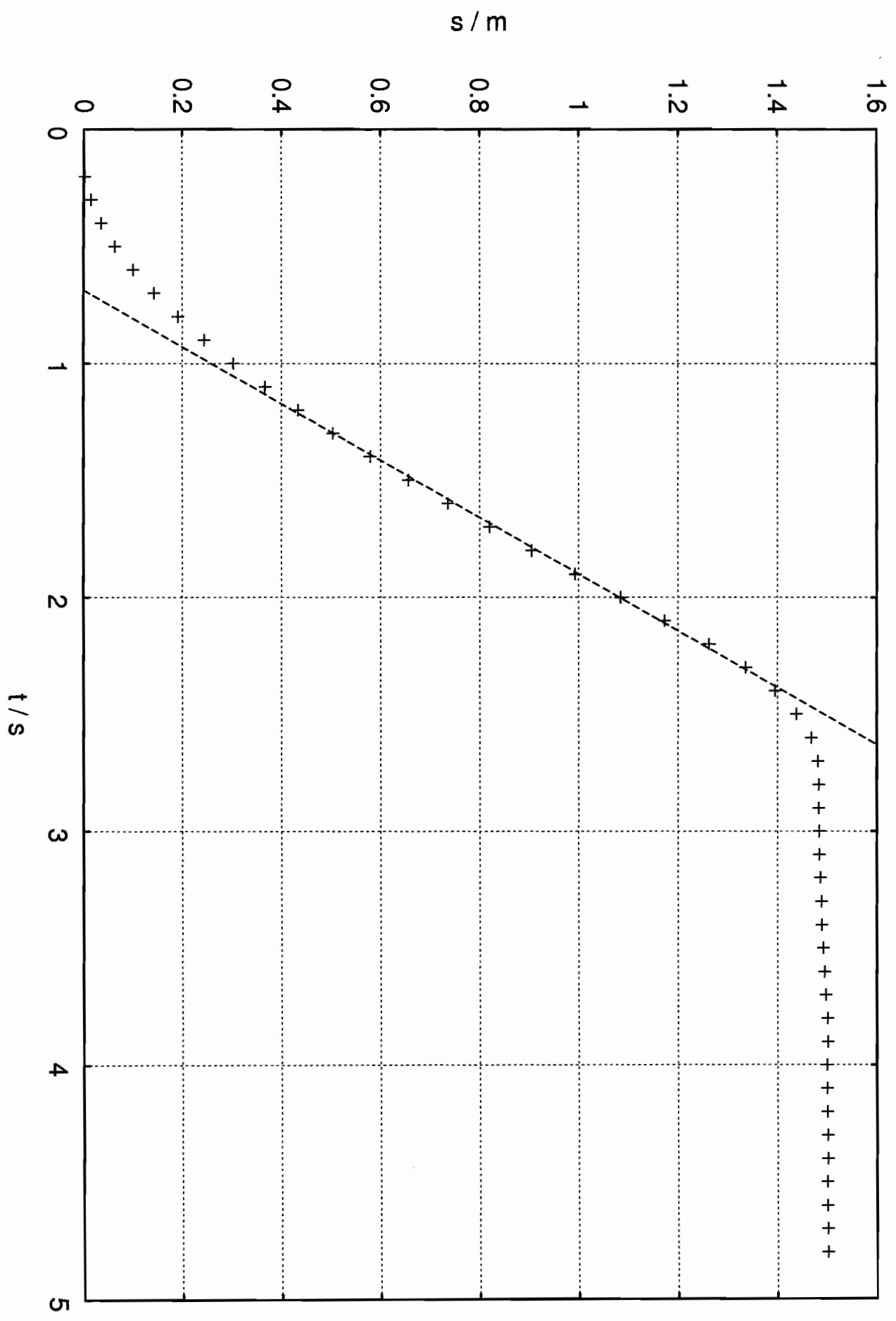
CASSY Lab - Messung12 - 11 g Mutter, keine Gewichte, 2 Magnete

CASSY Lab - Messung12 - 11 g Mutter, keine Gewichte, 2 Magnete

t^2 / s^2	$sA1 / m$
0,00	-0,001
0,01	-0,001
0,04	0,002
0,09	0,015
0,16	0,036
0,25	0,064
0,36	0,100
0,49	0,143
0,64	0,191
0,81	0,244
1,00	0,303
1,21	0,367
1,44	0,433
1,69	0,504
1,96	0,579
2,25	0,656
2,56	0,736
2,89	0,820
3,24	0,905
3,61	0,993
4,00	1,084
4,41	1,173
4,84	1,263
5,29	1,336
5,76	1,395
6,25	1,438
6,76	1,468
7,29	1,481
7,84	1,483
8,41	1,483
9,00	1,484
9,61	1,484
10,25	1,486
10,89	1,488
11,56	1,489
12,25	1,492
12,96	1,495
13,69	1,497
14,44	1,500
15,21	1,501
16,00	1,500
16,81	1,499
17,64	1,499
18,49	1,500
19,36	1,500
20,25	1,501
21,16	1,501
22,09	1,500
23,04	1,500
24,01	1,501
25,00	1,501
26,01	1,501
27,04	1,501
28,10	1,501

t^2 / s^2	$sA1 / m$
29,16	1,501
30,26	1,501

Anhaengemasse: 11g - 2 Magente - Wagen ohne Zusatzgewichte



Das soeben durchgeführte Experiment wurde nochmals mit 2×2 Magneten (also einer erhöhten Bremskraft) durchgeführt. Aus den auf den folgenden Seiten dargestellten Daten und Graphen wurden die unten aufgeführten Werte für die Grenzschnelligkeit v_{∞} ermittelt.

$$\begin{aligned} 2 \text{ g: } & v_{\infty} = 0,16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ 5 \text{ g: } & v_{\infty} = 0,31 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ 11 \text{ g: } & v_{\infty} = 0,64 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Damit erhält man für den Dämpfungsfaktor δ :

$$\begin{aligned} 2 \text{ g: } & \delta = (0,12 \pm 0,02) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \\ 5 \text{ g: } & \delta = (0,16 \pm 0,02) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \\ 11 \text{ g: } & \delta = (0,17 \pm 0,02) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Der Mittelwert ergibt sich also zu:

$$\bar{\delta} = (0,15 \pm 0,01) \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

In einer allerletzten Messung wurde das Verhalten bei 1 Zusatzgewicht auf dem Wagen untersucht. Hier konnte jedoch keine ausreichende Bremswirkung mehr festgestellt werden. Die zugehörigen Messdaten wurden unbearbeitet in vor der abschließenden Diskussion in dieses Protokoll eingeklebt.

CASSY Lab

CASSY Lab

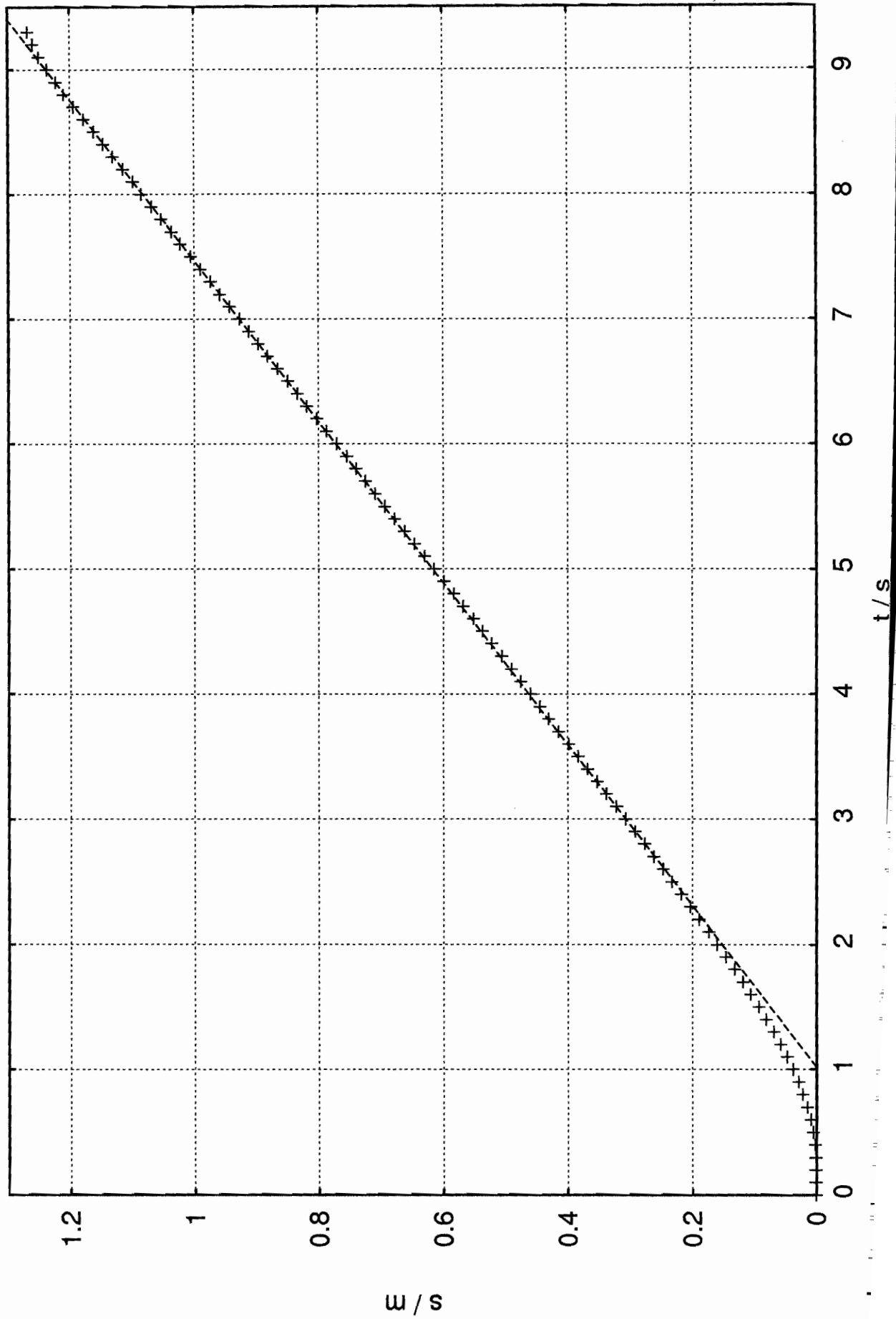
CASSY Lab

CASSY Lab		CASSY Lab		CASSY Lab	
t^2 / s^2	SA1 / m	t^2 / s^2	SA1 / m	t^2 / s^2	SA1 / m
2g 0,0	0,001	29,2	0,678	1,7	0,169
0,0	0,001	30,3	0,694	2,0	0,195
0,0	0,001	31,4	0,709	2,3	0,221
0,1	0,001	32,5	0,725	2,6	0,248
0,2	0,002	33,7	0,740	2,9	0,276
0,3	0,005	34,8	0,755	3,2	0,305
0,4	0,009	36,0	0,771	3,6	0,333
0,5	0,015	37,2	0,787	4,0	0,363
0,6	0,022	38,5	0,803	4,4	0,392
0,8	0,029	39,7	0,819	4,8	0,422
1,0	0,038	41,0	0,834	5,3	0,452
1,2	0,047	42,3	0,850	5,8	0,483
1,4	0,058	43,6	0,866	6,3	0,513
1,7	0,069	44,9	0,882	6,8	0,544
2,0	0,081	46,3	0,897	7,3	0,576
2,3	0,093	47,6	0,912	7,8	0,607
2,6	0,106	49,0	0,927	8,4	0,637
2,9	0,119	50,4	0,943	9,0	0,669
3,2	0,132	51,9	0,959	9,6	0,700
3,6	0,146	53,3	0,974	10,2	0,732
4,0	0,160	54,8	0,990	10,9	0,764
4,4	0,174	56,3	1,006	11,6	0,796
4,8	0,189	57,8	1,022	12,3	0,828
5,3	0,203	59,3	1,037	13,0	0,860
5,8	0,218	60,9	1,053	13,7	0,892
6,3	0,233	62,4	1,069	14,5	0,924
6,8	0,247	64,0	1,085	15,2	0,955
7,3	0,262	65,6	1,099	16,0	0,987
7,8	0,277	67,3	1,115	16,8	1,019
8,4	0,292	68,9	1,131	17,6	1,051
9,0	0,307	70,6	1,147	18,5	1,083
9,6	0,322	72,3	1,162	19,4	1,115
10,2	0,338	74,0	1,178	20,3	1,146
10,9	0,353	75,7	1,194	21,2	1,179
11,6	0,368	77,5	1,210	22,1	1,209
12,3	0,383	79,2	1,223	23,0	1,236
13,0	0,398	81,0	1,237	24,0	1,261
13,7	0,414	82,8	1,250	25,0	1,283
14,5	0,430	84,7	1,260	26,0	1,296
15,2	0,445	86,5	1,268	27,1	1,304
16,0	0,460			28,1	1,304
16,8	0,475	5g 0,0	0,000	29,2	1,301
17,6	0,490	0,0	0,000	30,3	1,301
18,5	0,506	0,0	0,000	31,4	1,301
19,4	0,522	0,1	0,003		
20,3	0,537	0,2	0,009	11g 0,0	0,000
21,2	0,552	0,3	0,018	0,0	0,002
22,1	0,568	0,4	0,030	0,0	0,011
23,0	0,583	0,5	0,044	0,1	0,027
24,0	0,599	0,6	0,060	0,2	0,051
25,0	0,615	0,8	0,079	0,3	0,079
26,0	0,630	1,0	0,099	0,4	0,114
27,1	0,646	1,2	0,121	0,5	0,152
28,1	0,662	1,4	0,144	0,6	0,195

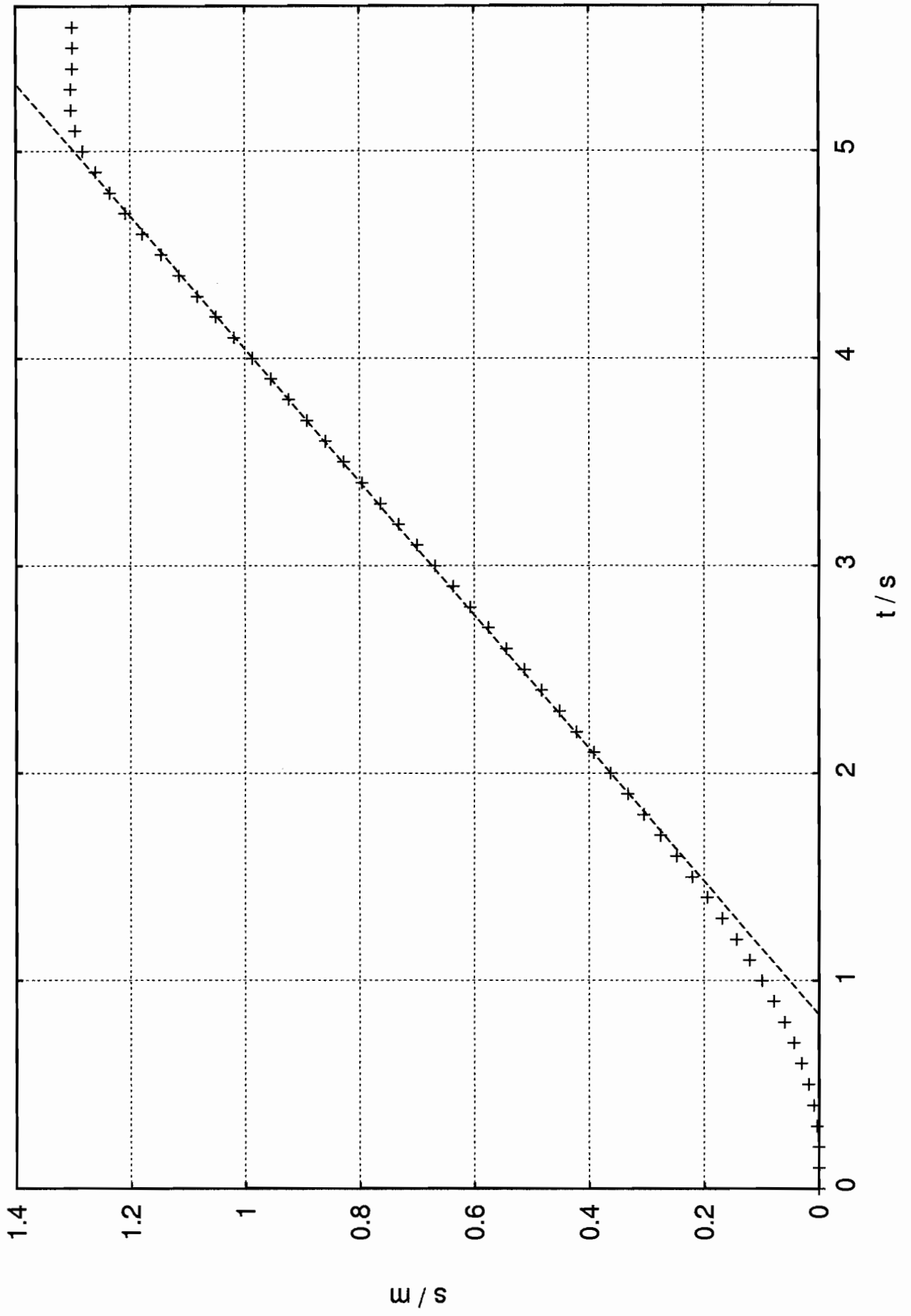
CASSY Lab

t^2 / s^2	sA_1 / m
0,8	0,242
1,0	0,291
1,2	0,343
1,4	0,396
1,7	0,452
2,0	0,510
2,3	0,568
2,6	0,628
2,9	0,690
3,2	0,752
3,6	0,816
4,0	0,880
4,4	0,943
4,8	1,008
5,3	1,074
5,8	1,140
6,3	1,206
6,8	1,267
7,3	1,320
7,8	1,364
8,4	1,399

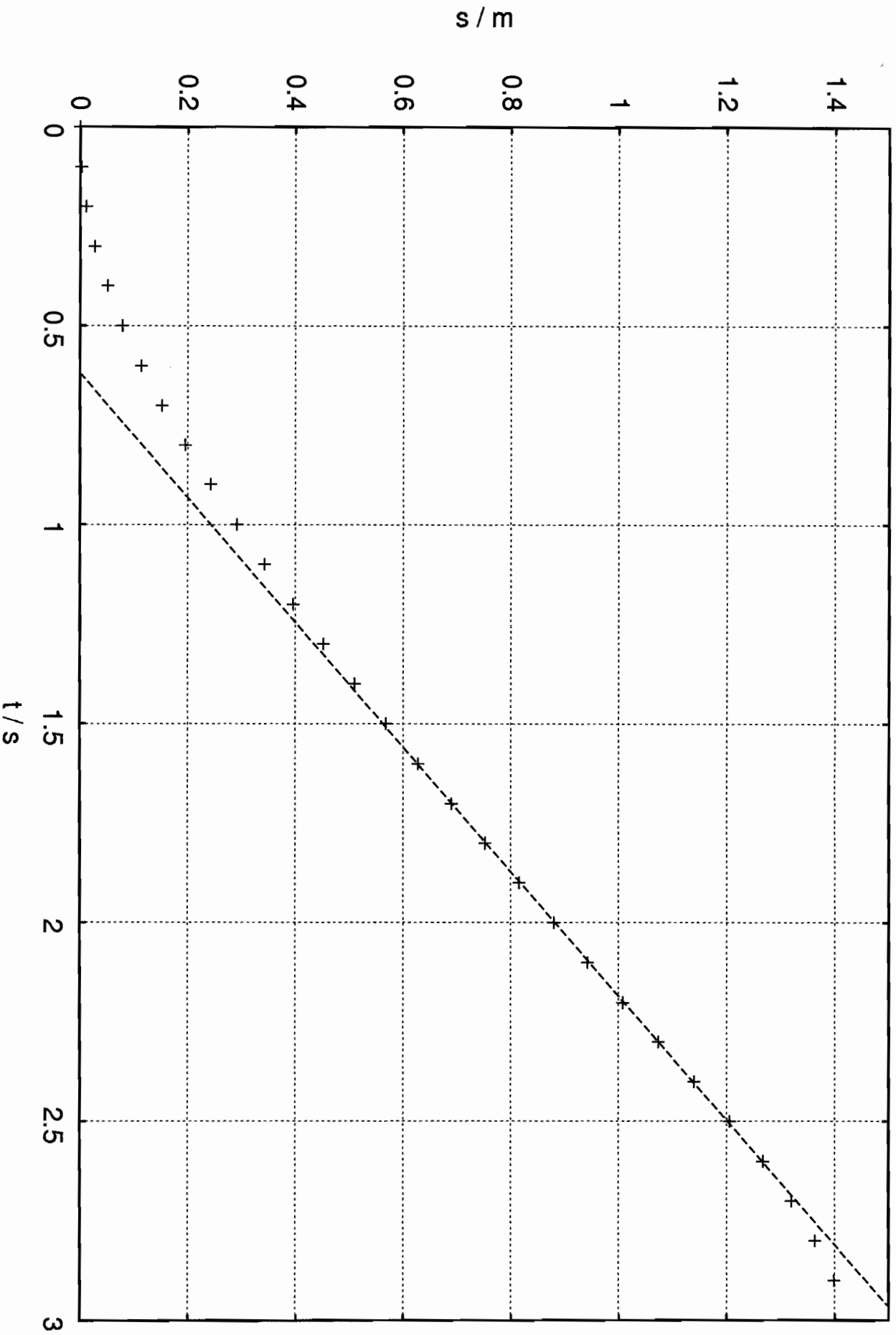
Anhängemasse: 2g - 2x2 Magente - Wagen ohne Zusatzgewichte



Anhaengemasse: 5g - 2x2 Magente - Wagen ohne Zusatzgewichte

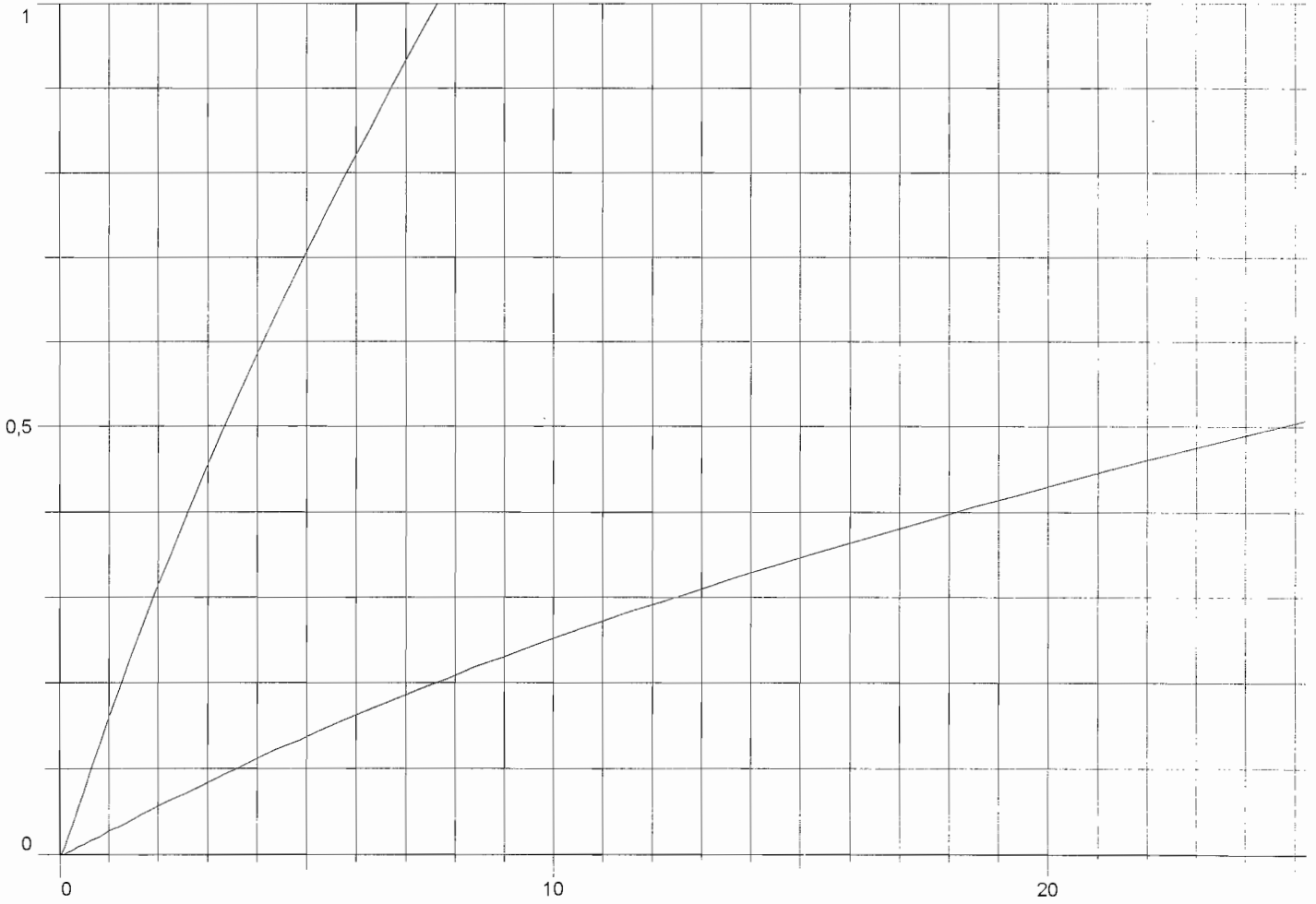


Anhaengemasse: 11g - 2x2 Magente - Wagen ohne Zusatzgewichte



2x2 Magnete, 2g, 11g, mit 1 Zusatzgewicht

SA1
m



t² / s²

	t^2 / s^2	SA1 / m
2g	0,00	0,000
	0,01	0,000
	0,04	0,000
	0,09	0,000
	0,16	0,002
	0,25	0,004
	0,36	0,008
	0,49	0,011
	0,64	0,016
	0,81	0,020
	1,00	0,027
	1,21	0,032
	1,44	0,039
	1,69	0,047
	1,96	0,055
	2,26	0,063
	2,57	0,071
	2,89	0,080
	3,24	0,090
	3,61	0,100
	4,00	0,111
	4,41	0,122
	4,84	0,132
	5,29	0,144
	5,76	0,156
	6,26	0,168
	6,77	0,180
	7,30	0,192
	7,85	0,204
	8,42	0,218
	9,01	0,230
	9,62	0,243
	10,25	0,256
	10,90	0,269
	11,57	0,283
	12,26	0,295
	12,97	0,308
	13,70	0,323
	14,45	0,336
	15,23	0,350
	16,01	0,363
	16,82	0,377
	17,65	0,391
	18,50	0,406
	19,37	0,419
	20,26	0,434
	21,17	0,448
	22,10	0,462
	23,06	0,476
	24,02	0,490
	25,01	0,504
	26,02	0,519
	27,05	0,532
	28,10	0,547

t^2 / s^2	$sA1 / m$
29,17	0,562
30,26	0,576
31,37	0,591
32,50	0,605
33,65	0,620
34,82	0,635
36,01	0,648
37,22	0,663
38,45	0,679
39,70	0,692
40,97	0,707
42,26	0,723
43,57	0,738
44,90	0,752
46,25	0,767
47,62	0,782
49,03	0,797
50,42	0,812
51,85	0,827
53,30	0,842
54,77	0,856
56,28	0,871
57,78	0,887
59,31	0,900
60,86	0,916
62,44	0,931
64,02	0,945
65,63	0,960
67,26	0,975
68,92	0,990
70,58	1,004
72,28	1,019
73,98	1,034
75,71	1,049
77,48	1,064
79,23	1,079
81,02	1,094
82,83	1,108
84,68	1,124
86,51	1,139
88,40	1,154
90,27	1,168
92,18	1,183
94,13	1,199
96,06	1,214
98,05	1,227
100,02	1,239
102,03	1,254
104,06	1,264
106,11	1,274
108,18	1,276

1/10 0,00 0,000
0,01 0,000

Zusammenfassung und Diskussion

Die meisten in diesen Experimenten gewonnenen Ergebnisse wurden bereits sofort nach ihrer Berechnung kommentiert. Aus diesem Grund soll sich die folgende Diskussion insbesondere auf die systematischen Fehler wie sie bereits eingangs erwähnt wurden konzentrieren.

Neben den bereits beschriebenen Fehlern durch die ungenaue Kalibrierung bzw. Ausrichtung der Bahn, konnten während der Durchführung noch weitere Fehler beobachtet werden. So gab es beispielsweise an einem Punkt der Bahn einen kurzen "Reibungspunkt" der die Geschwindigkeit des Wagens leicht brach. Die Umkehrrolle ist ein weiterer (unbekannter) Reibungsfaktor, welcher zu einer Verfälschung der Ergebnisse geführt hat. Der Vergleichsweise hohe Fehler der berechneten Wagenmasse hatte seinen Ursprung jedoch primär in den relativ ungenauen Wert der Aufhängemassen. Subjektiv scheint der gewonnene Wert von ca. 115 g jedoch durchaus realistisch. Insgesamt stellt der experimentelle Aufbau der ersten Messung jedoch eine gute Möglichkeit dar die eine qualitative und quantitative Überprüfung des Bewegungsgesetzes durchzuführen.

Das zweite Experiment zur Bestimmung des Dämpfungs-faktors δ für verschiedene Dämpfungs-
war prinzipiell der gleichen systematischen
Fehler unterworfen wie das erste. Eine zumeist
beabsichtigte Messung der Gedächtnisfähigkeit durch
Bekämpfung eines Differenzwertes wurde von
uns auf Grund der ungenügenden Genauigkeit
wieder verlassen. Stattdessen führte die Bestimmung
der Grenzgeschwindigkeit zum Erfolg. Der
Grundfehler selber wurde wieder primär durch
die ungenaue Bestimmung der Anfangsmasse
verursacht. Insgesamt ist der experimentelle
Aufbau sehr sinnvoll zur Bestimmung von δ .
Die benutzte Geräte lassen unser Meinung
nach jedoch nur die oben beschriebene Vorrichtung
weise zu. Diese bietet auch eine ausreichende
Genauigkeit an.