

Praktikum Klassische Physik I

Versuchsauswertung: **P1-26,28: Aeromechanik**

Christian Buntin
Jingfan Ye

Gruppe Mo-11

Karlsruhe, 18. Januar 2010

christian.buntin@student.kit.edu
JingfanYe@web.de

Inhaltsverzeichnis

Demonstrationsversuche	2
1 Messungen mit dem Staurohr	3
1.1 Messung des Staudrucks	3
1.2 Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Drehzahl	3
2 Strömungswiderstand	5
2.1 Rücktrieb und Stirnfläche	5
2.2 Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit	5
2.3 Rücktrieb und Körperform/Oberflächenbeschaffenheit	5
2.4 Widerstandsbeiwert eines Modellautos	6
3 Tragflügel	7
3.1 Auftriebs- und Strömungswiderstandsmessung	7
3.2 Druck am Tragflächenmodell	7

Demonstrationsversuche

D. 1. Scheibensonde

Wie erwartet haben wir bei paralleler Stellung der Scheibensonde zur Strömungsrichtung nur den statischen Druck gemessen, bei senkrechter Stellung dagegen den Staudruck. Die äußerte sich in einen höheren angezeigten Druck bei der senkrechten Messung.

D. 2. Rohrsonde

Mit der Rohrsonde haben wir nun den Druck senkrecht und parallel zur Strömungsrichtung gemessen.

Aufgrund der sonst auftretenden Verwirbelungen eignet sich die Scheibensonde gut zur Bestimmung des statischen Drucks, wohingegen die Rohrsonde gut für die Messung des Gesamtdrucks verwendet werden kann.

Um nun den dynamischen Druck messen zu können, kann man mittels einer Prandtlsonde, wie in der Vorbereitung beschrieben, die Differenz dieser beiden Drücke messen.

D. 3. Messungen am Venturirohr

Mit den U-Rohr-Manometern haben wir den statischen Druck im Venturirohr bestimmt (Abbildung 1 auf der nächsten Seite). Dabei stimmte die linke Hälfte des Versuchsaufbaus gut mit der Theorie überein, da ein Unterdruck gemessen wurde, der umso größer war, je kleiner der Durchmesser des Venturirohres war.

Auf der rechten Seite hingegen haben die Manometer einen Überdruck angezeigt. Dies hängt mit der Geometrie des Venturirohres zusammen, da die Messöffnungen auf der rechten Seite im Rohr zusätzlich noch einen Teil des Staudrucks einfangen, welcher ebenfalls angezeigt wird. Es wird der statische Druck längs der Strömung in einem Venturirohr sowie der Gesamtdruck gemessen.

Dabei sollte der statische Druck aufgrund der Bernoullischen Gleichung an der dünnsten Stelle des Venturirohres am geringsten sein, da dort die Geschwindigkeit und damit der dynamische Druck am größten ist.

D. 4. Das Aerodynamische Paradoxon

Wir haben den Druckverlauf an zwei eng anliegenden Kreisscheiben gemessen (Tabelle 1). Da zwischen den Platten also ein Unterdruck vorliegt, werden diese zusammengedrückt, anstatt durch den Luftdruck getrennt zu werden.

Loch (von innen nach außen):	1	2	3	4	5	6	7
Statischer Druck [mmH ₂ O]:	-	-	-16	-15	-6	-3	-1

Tabelle 1: Druckverlauf beim Aerodynamischen Paradoxon

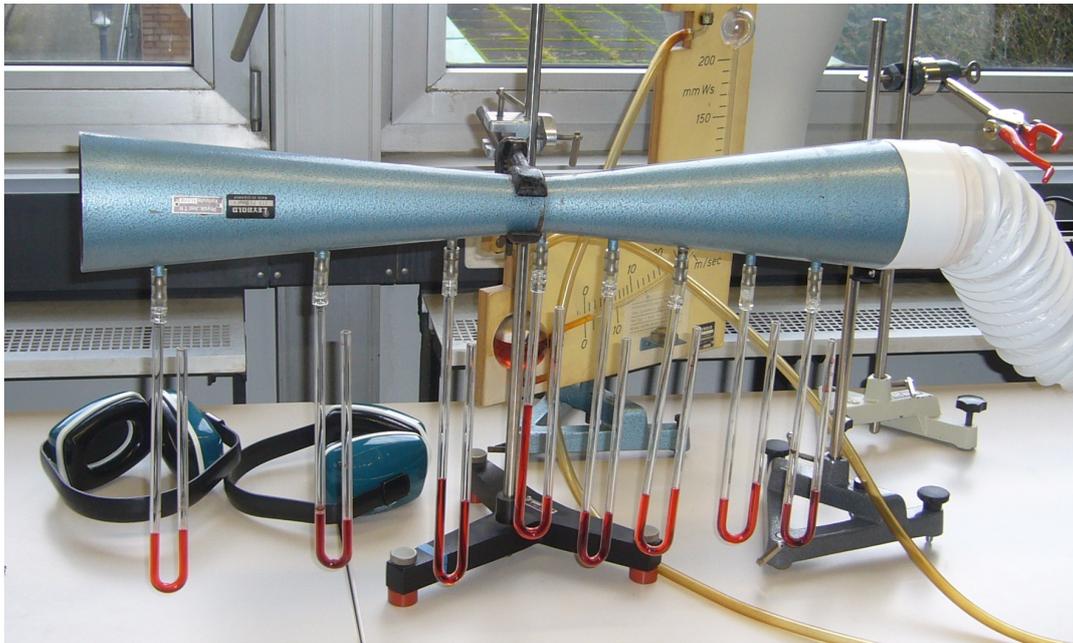


Abbildung 1: Venturirohr mit U-Rohr-Manometern im Betrieb (Luftstrom von rechts)

1 Messungen mit dem Staurohr

1.1 Messung des Staudrucks

Wir haben den dynamischen Druck an verschiedenen Orten im Luftstrom gemessen (Tabelle 2) und dargestellt (Abbildungen 2 und 3).

l [cm]	r [cm]					
	0	1	2	3	4	5
10	120	107	110	107	85	50
20	110	106	105	98	76	53
30	90	8	82	70	58	47
35	82	80	75	64	55	46

Tabelle 2: Staudruckverlauf vor der Düse [Pa]

Als Ort, an dem die Windgeschwindigkeit möglichst ortsunabhängig ist, wählten wir den Bereich $10 \text{ cm} < l < 10 \text{ cm}$ und $|r| < 3 \text{ cm}$. Diesen verwendeten wir für die folgenden Messungen.

1.2 Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Drehzahl

Wir haben am oben bestimmten Ort mit dem Staurohr den Staudruck bei verschiedenen Skalenstellungen der Düse gemessen und die Windgeschwindigkeit über

$$v = \sqrt{\frac{2p_{\text{stau}}}{\rho}} \quad \text{mit } \rho = 1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

berechnet (Tabelle 3 auf Seite 5).

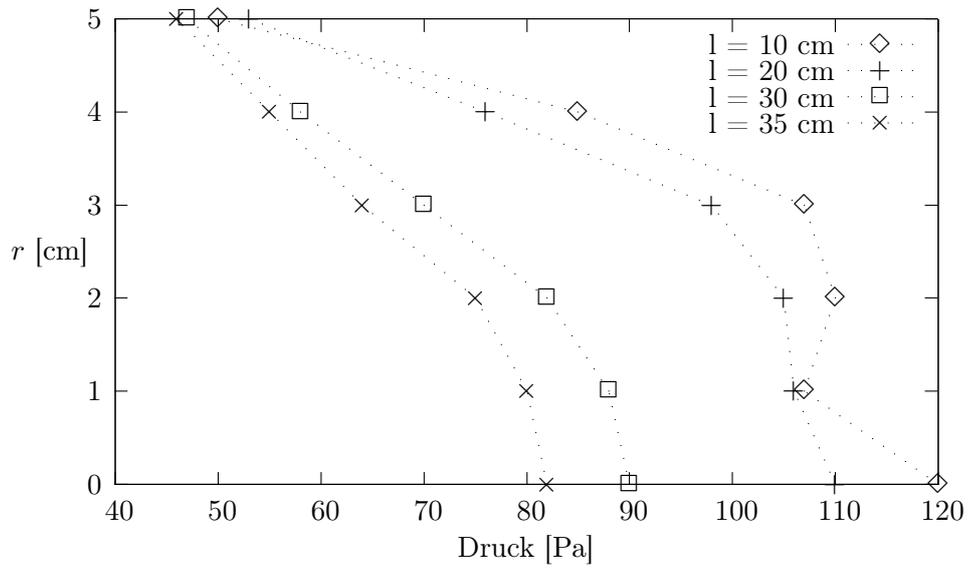


Abbildung 2: Staudruck bei verschiedenen Abständen r von der Mittelachse und verschiedenen Abständen l vom Düsenrand

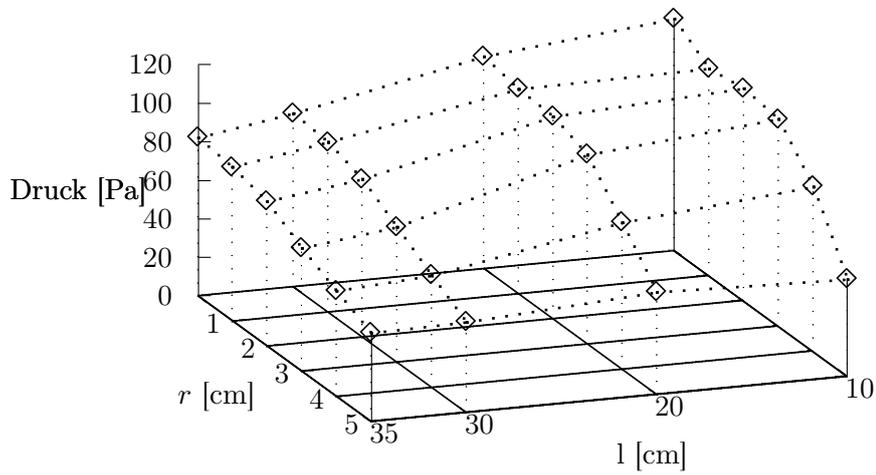


Abbildung 3: Staudruck bei verschiedenen Abständen r von der Mittelachse und verschiedenen Abständen l vom Düsenrand

Skalenstellung:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Staudruck [Pa]:	–	–	–	3	5	19	40	75	104	109	111
Windgeschwindigkeit [$\frac{m}{s}$]:	–	–	–	2,2	2,9	5,6	8,2	11,2	13,1	13,5	13,6

Tabelle 3: Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Einstellung der Düse

2 Strömungswiderstand

2.1 Rücktrieb und Stirnfläche

Bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit (Skaleneinstellung 8, entspricht $13,1 \frac{m}{s}$) haben wir den Rücktrieb der Kreisscheiben gemessen. Diese Werte haben wir um den Rücktrieb des Haltestiels von 0,1 N korrigiert und mit der jeweiligen Kreisfläche A ins Verhältnis gesetzt (Tabelle 4).

Kreisscheiben-Durchmesser d :	40 mm	56 mm	80 mm
Kreisfläche $A = \frac{\pi}{4}d^2$:	12,57 cm ²	24,63 cm ²	50,27 cm ²
Rücktrieb:	0,19 N	0,33 N	0,53 N
Rücktrieb pro Fläche $\frac{F}{A}$:	15,12 $\frac{mN}{cm^2}$	13,40 $\frac{mN}{cm^2}$	10,54 $\frac{mN}{cm^2}$

Tabelle 4: Rücktrieb in Abhängigkeit der Angriffsfläche

In etwa erkennt man hier die erwartete Proportionalität zwischen Rücktrieb und Fläche mit einem mittleren Proportionalitätsfaktor von $\frac{F}{A} = 13,02 \frac{mN}{cm^2}$.

2.2 Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit

Bei zwei Kreisscheiben mit dem Durchmesser d haben wir den Strömungswiderstand bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten gemessen (Tabelle 5) und dargestellt (Abbildung 4 auf der nächsten Seite). Wie man sieht, liegt für Rücktrieb und Staudruck offenbar ein linearer Zusammenhang vor.

Düsen-Skalenstellung:	3	4	5	6	7	8	9	10
Staudruck [Pa]:	3	5	19	40	75	104	109	111
Strömungswiderstand ($d = 40$ mm) [N]:	0,01	0,01	0,02	0,04	0,10	0,17	0,18	0,18
Strömungswiderstand ($d = 40$ mm) [N]:	0,03	0,04	0,14	0,21	0,36	0,50	0,54	0,55

Tabelle 5: Rücktrieb in Abhängigkeit des Staudrucks

2.3 Rücktrieb und Körperform/Oberflächenbeschaffenheit

In den letzten Aufgaben wurde bestimmt, dass der Rücktrieb proportional zur Angriffsfläche A und zum Staudruck p_{Stau} ist. Damit folgt für den Rücktrieb F :

$$F = c_w p_{\text{Stau}} A$$

Um die noch fehlende körperabhängige Konstante c_w zu bestimmen, haben wir bei fester Windgeschwindigkeit (wieder Skaleneinstellung 8, entspricht 104 Pa) den Strömungswiderstand F

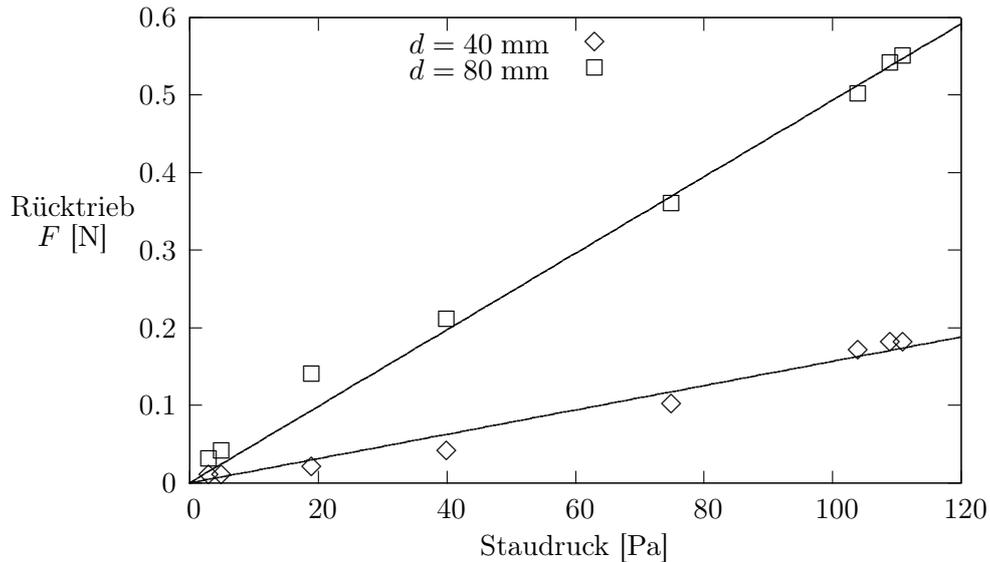


Abbildung 4: Rücktrieb bei verschiedenen Angriffsflächen (Kreisscheiben mit Durchmesser d) und verschiedenen Windgeschwindigkeiten (Staudrücken) mit genäherten Geraden

Körper	Orientierung	Rücktrieb	Widerstandsbeiwert	
		F [N]	c_w	Literaturwert ¹
Kugelschale	gegen Windrichtung	0,39	1,52	1,33
Vollkugel	–	0,09	0,35	0,45
Stromlinienkörper	in Windrichtung	0,02	0,08	0,05
Stromlinienkörper	gegen Windrichtung	0,05	0,20	–

Tabelle 6: Rücktrieb in Abhängigkeit des Staudrucks

einiger Körper der Querschnittsfläche $A = 24,63 \text{ cm}^2$ in verschiedener Orientierung gemessen. Den Widerstandsbeiwert c_w haben wir über $c_w = \frac{F}{p_{\text{stau}} A}$ berechnet (Tabelle 6).

Im Rahmen der Messgenauigkeit stimmen diese Werte in etwa mit den Literaturwerten überein. Wie intuitiv erwartet hat der stromlinienförmige Körper den geringsten Widerstandsbeiwert und die Kugelschale mit der konkaven Seite im Wind den höchsten.

2.4 Widerstandsbeiwert eines Modellautos

Wir haben den Widerstandsbeiwert c_w einiger Fahrzeugmodelle wie in der vorherigen Aufgabe bestimmt (Tabelle 7).

Fahrzeugmodell	Angriffsfläche	Rücktrieb	Widerstandsbeiwert
	A [cm ²]	F [N]	c_w
Jeep	6,3	0,07	1,07
Bus	8,99	0,10	1,07
Diesellok (BR 218)	4,94	0,04	0,78

Tabelle 7: Rücktrieb in Abhängigkeit des Staudrucks

¹Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Strömungswiderstandskoeffizient>

3 Tragflügel

3.1 Auftriebs- und Strömungswiderstandsmessung

Wir haben den Auftrieb und den Strömungswiderstand einer Tragfläche bei konstanter Windgeschwindigkeit (Skaleneinstellung 8) gemessen und die jeweils zugehörige Gleitzahl $\varepsilon = \frac{F_W}{F_A}$ berechnet (Tabelle 8) und die Messwerte über den Anstellwinkel (Abbildung 5) und in einem Polardiagramm (Abbildung 6 auf der nächsten Seite) aufgetragen.

Anstellwinkel:	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°
Auftriebskraft F_A [N]:	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Rücktrieb F_W [N]:	0,06	0,07	0,08	0,10	0,05	0,11	0,12	0,15	0,22
Gleitzahl ε :	-0,6	∞	0,8	0,5	0,17	0,28	0,24	0,25	0,31

Tabelle 8: Auf- und Rücktrieb in Abhängigkeit des Anstellwinkels

Bei einem Anstellwinkel von 0° ist die Gleitzahl am kleinsten, dieser Winkel ist also am günstigsten für den Flügel. Allerdings kann dieser Winkel auch leicht nach oben variieren, da die Gleitzahl dabei nur schwach ansteigt.

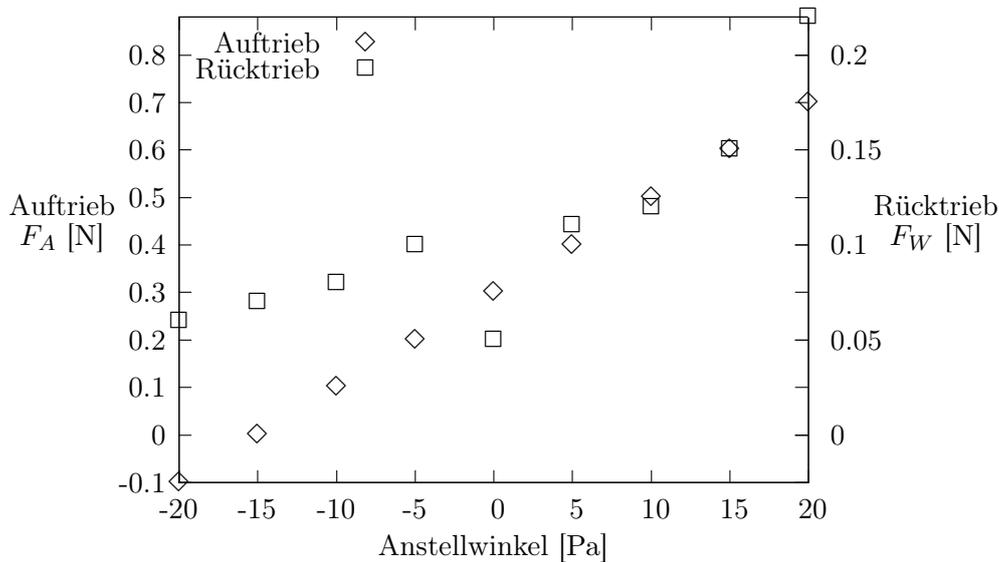


Abbildung 5: Auf- und Rücktrieb in Abhängigkeit des Anstellwinkels

3.2 Druck am Tragflächenmodell

Wir haben am Tragflächenmodell bei verschiedenen Anstellwinkeln an mehreren Messpunkten (Siehe Abbildung 1 auf dem Aufgabenblatt) der Druck gemessen (Tabelle 9 auf der nächsten Seite). Diesen stellen wir durch „Druckvektoren“ dar. Das heißt, wir zeichnen an die Messpunkte der Tragfläche zur Tragfläche senkrechte Vektoren ein, deren Betrag proportional zum gemessenen Druck ist. Dabei zeigt bei einem negativen Druck der Vektor nach außen. Aus diesen Grafiken (Abbildung 7 auf der nächsten Seite) lässt sich dann schließen, welche Kraft schließlich auf den Flügel wirkt.

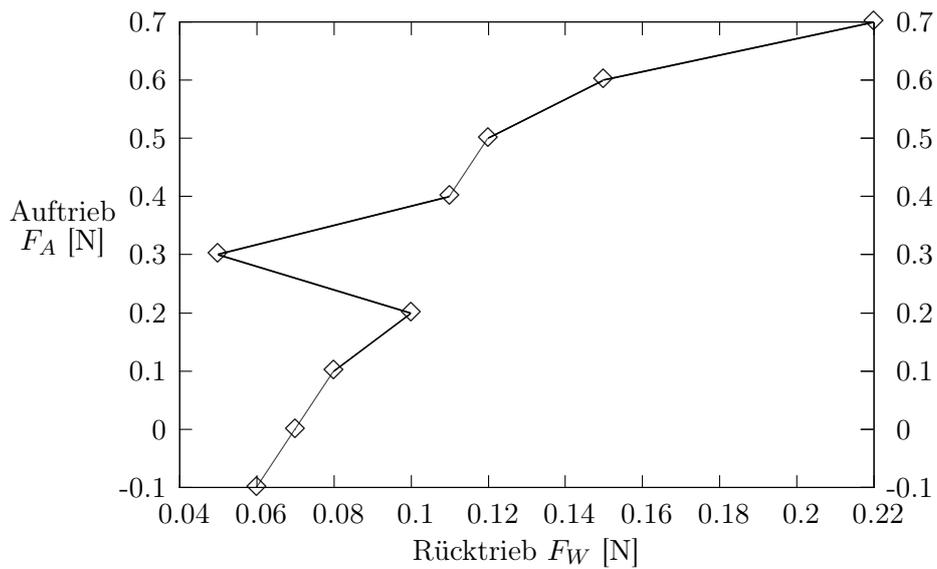


Abbildung 6: Auf- und Rücktrieb im Polardiagramm

Anstellwinkel	Messpunkt								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-20°	83	25	0	-7	-3	-2	-2	-2	0
0°	110	-40	-36	-15	-5	-35	-8	0	0
20°	55	-82	-44	-10	-3	30	18	3	0

Tabelle 9: Druck an der Tragfläche, negative Werte bedeuten einen Unterdruck

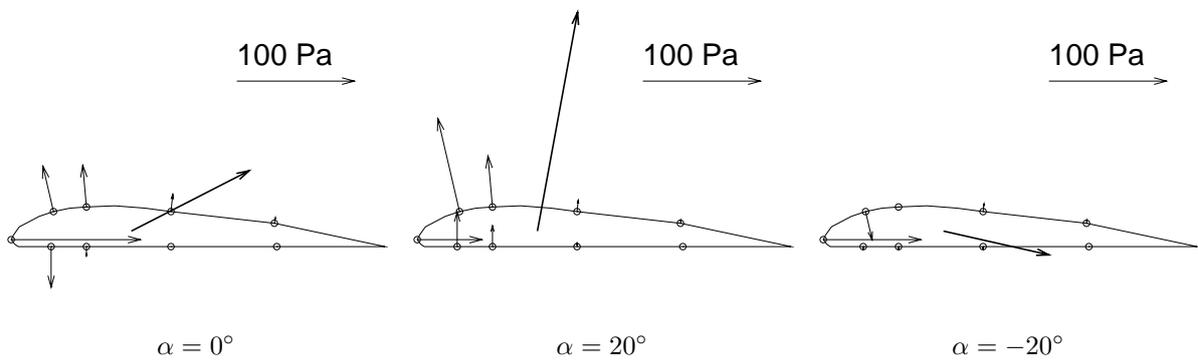


Abbildung 7: Druckvektoren bei verschiedenen Anstellwinkeln α , dick eingezeichnet ist der resultierende Vektor