

Gruppe Nr. 164

Kurs: ☐ Mo ☒ Mi
zutreffendes bitte ankreuzen

SS 2020

Versuch: Driftgeschwindigkeit

Namen: Alexis Michel

Michael Hohenstein

Assistent: Fabian Block

durchgeführt am: 03.02.2021

Protokollabgabe am: _____

vom Betreuer auszufüllen

Note gesamt

☐ +

☐ 0

☐ -

Anerkannt: _____

(Datum Unterschrift)

Datum Rückgabe: _____

Bemerkung:

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbereitung	3
2	Driftgeschwindigkeit in Ar – CH ₄ Gasgemischen	7
3	Untersuchung der $\frac{E}{P}$ Abhängigkeit	11

Abbildungsverzeichnis

1.1	Versuchsaufbau, Quelle: Blaues Buch	5
2.1	Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke für ein Gemisch aus 90% Argon und 10% Methan	8
2.2	Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke für ein Gemisch aus 80% Argon und 20% Methan	9
2.3	Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke für ein Gemisch aus 70% Argon und 30% Methan	10
3.1	Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke für ein Gemisch aus 0% Argon und 100% Methan bei unterschiedlichen Drücken	12

Tabellenverzeichnis

Vorbereitung

Theoretische Grundlagen - Einführung

Bei diesem Versuch soll die Transportgeschwindigkeit von Elektronen in Gasen untersucht werden. Es wird ein homogenes elektrisches Feld angelegt. Die resultierende Bewegung ist die Überlagerung einer ungerichteten Diffusionsbewegung und einer gerichteten Bewegung entlang der Feldlinien.

Im Versuch wird die Abhängigkeit unterschiedlicher Parameter untersucht, z.B. Druck, Mischverhältnis der Gase oder elektrische Feldstärke. Im Folgenden werden dafür die theoretischen Grundlagen hergeleitet und diskutiert.

Theoretische Grundlagen - Driftgeschwindigkeit

Die mittlere Driftgeschwindigkeit \bar{v}_D ist gegeben durch

$$\bar{v}_D = \frac{\langle x \rangle}{\tau}$$

mit der mittleren zurückgelegten Strecke $\langle x \rangle$ und der Zeit zwischen zwei Stößen τ . Es gilt zudem

$$\tau = \frac{1}{N\sigma\omega}$$

mit der Teilchenzahl N , dem Streuquerschnitt σ und der Elektronengeschwindigkeit ω . Zwischen zwei Stößen werden die Elektronen im E-Feld mit konstanter Beschleunigung

$$a = \frac{eE}{m_e}$$

beschleunigt, mit der elektrischen Feldstärke E , der Elementarladung e und Elektronenmasse m_e . Die differentielle Wahrscheinlichkeit dP , dass ein Stoß im Intervall zwischen t und $t + dt$ stattfindet, ist gegeben mit

$$dP = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} dt.$$

Damit bestimmt sich $\langle x \rangle$ zu

$$\langle x \rangle = \frac{eE}{2m_e} \int_0^\infty \frac{t^2}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} dt = \frac{eE\tau^2}{m_e}.$$

Mit diesem Ergebnis lässt sich die mittlere Driftgeschwindigkeit umschreiben zu

$$\bar{v}_D = \frac{eE\tau}{m_e}.$$

Da τ antiproportional zur Teilchenzahl N ist, gilt $\bar{v}_D \propto E/N$. Für T und V konstant gilt mit der Idealen Gasgleichung $pV = NRT$ auch $\bar{v}_D \propto E/p$ mit dem Druck p . Dieser Zusammenhang soll experimentell gezeigt werden.

Theoretische Grundlagen - Energiebetrachtung

Für die Gesamtenergie ϵ eines Elektrons gilt

$$\epsilon = \frac{1}{2}m_e\omega^2 = \epsilon_E + \frac{3}{2}kT.$$

Hier ist ϵ_E der Energie im E-Feld, der zweite Term ist die thermische Energie. Wenn sich ein Gleichgewicht zwischen dem Energieverlust bei den Stößen und der Energiezunahme aus dem E-Feld einstellt, ist die Driftgeschwindigkeit konstant.

Theoretische Grundlagen - Ramsauereffekt

Bei bestimmten Elektronenenergien liegt die Wellenlänge der Elektronen im Bereich der Abmessungen des Atompotentials. Durch Interferenz ist es dann möglich, dass die Elektronen nicht mehr mit den Atomen stoßen, da diese sich nicht mehr wie klassische Teilchen verhalten. Dadurch wird der Streuquerschnitt σ deutlich gesenkt, bis zu zwei Größenordnungen. So wird die Driftgeschwindigkeit deutlich erhöht. Dieser Effekt ist als Ramsauereffekt bekannt.

Theoretische Grundlagen - Zählgase und Quencher

Für den Versuch wird in der Regel ein Gasgemisch verwendet, welches aus einem einatomigen Edelgas, hier Argon, und einem Gas aus der Gruppe der Kohlenwasserstoffe, hier Methan, besteht. Das Edelgas ist das Zählgas, es sorgt für eine Vervielfachung der Ladung.

Das beigemischte organische Gas dient als Quencher bzw. Löschgas, da es eine permanente Gasentladung verhindert, indem es Photonen aus dem Gasverstärkungsprozess absorbiert. Dadurch kann eine deutlich höhere Verstärkung erreicht werden.

Die Beimischung eines Löschgases, welches als Molekül vorliegt, beeinflusst allerdings die Driftgeschwindigkeit. Da hier, im Gegensatz zum Edelgas, inelastische Stöße möglich sind, passiert es, dass die Elektronen deutlich langsamer werden, sodass deren Energie bei den Stößen weit genug reduziert wird, um den Ramsauereffekt beim Zählgas auszulösen.

Dadurch wird die Driftgeschwindigkeit deutlich erhöht und es gibt eine optimale Feldstärke, diejenige, bei der der Ramsauereffekt den größten Einfluss hat. Bei zu großen Feldstärken fällt deshalb die Driftgeschwindigkeit wieder ab.

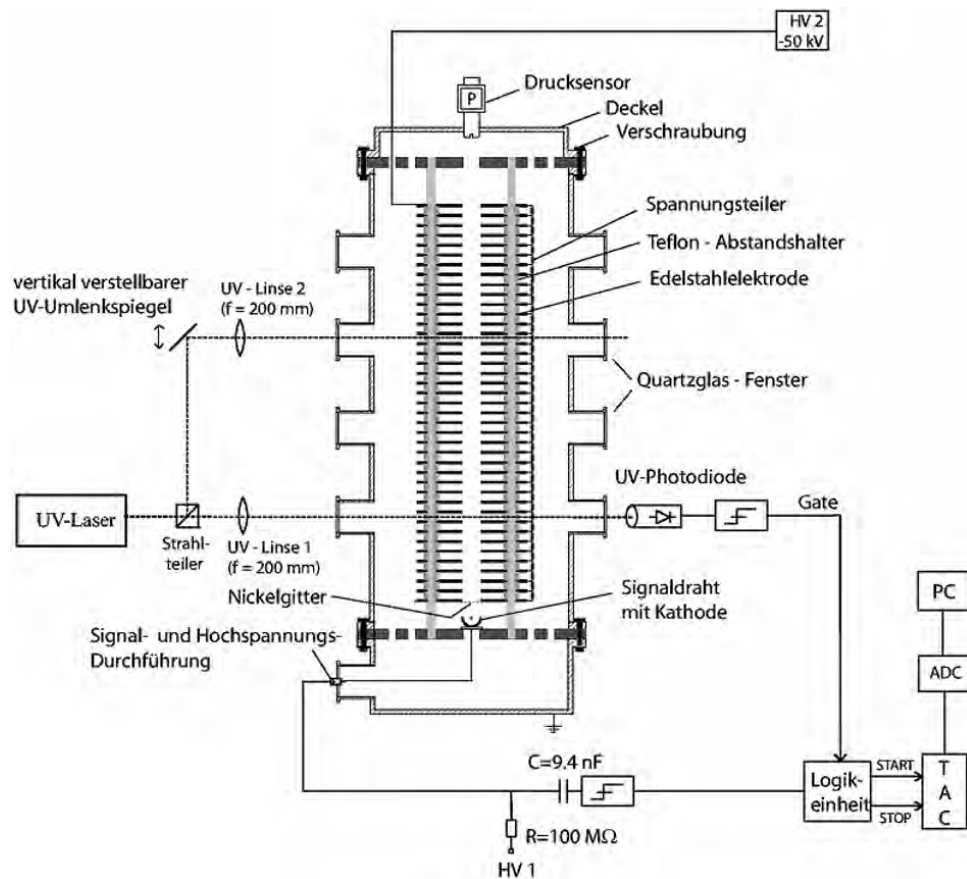


Abbildung 1.1: Versuchsaufbau, Quelle: Blaues Buch

Versuchsaufbau und -durchführung

Um die Driftgeschwindigkeit von Elektronen untersuchen zu können, müssen Ladungswolken von Elektronen im Gas erzeugt werden. Das Gas ist in einem Druckzylinder eingeschlossen, in dem sich 40 zylindrische Edelstrahlelektroden mit einem Loch in der Mitte befinden. Die Elektroden sind durch Teflonringe voneinander isoliert, wodurch auch ein gleichmäßiger Abstand zwischen den Elektroden hergestellt wird, und erzeugen ein nahezu homogenes elektrisches Feld im Gasbehälter. Die Elektronen driften, durch das elektrische Feld angetrieben, durch die Bohrung in den Elektroden zu einer Proportionalkammer, in der sie nachgewiesen werden. Da das Feld als homogen angenähert werden kann, wird die Driftgeschwindigkeit im Gas behälter als konstant angenommen.

Die Ladungswolken werden durch Ionisation mit einem gepulsten UV-Laser erzeugt (Wellenlänge: $\lambda = 337.1 \text{ nm}$, Pulsdauer: $\tau = 500 \text{ ps}$). Die Quantenenergie des Lasers ist nicht ausreichend, um die Elektronen der Zählgasatome ($20 \text{ eV} - 30 \text{ eV}$) zu ionisieren. Da sich im Gas Verunreinigungen befinden, deren Atome z.T. eine Ionisationsenergie von $\approx 7 \text{ eV}$ haben, können sie über Zweiphotonenprozesse ionisiert werden. Bei diesem Prozess wird das Elektron im bereits angeregten Zustand von einem weiteren Photon getroffen und ionisiert. Der Laserstrahl wird an zwei Stellen in den Gasbehälter eingespeist. Dazu wird er in einem Strahlteiler in zwei Strahlen mit möglichst gleicher Intensität geteilt und über ein Fenster in den Behälter hinein geleitet. Vor dem Fenster befindet sich eine Konvexlinse, um den Lichtstrahl auf die Mitte der Driftstrecke zu fokussieren.

An einem der Austrittsfenster für den Laserstrahl befindet sich eine Photo-Diode, mit der die Mess-Apparatur getriggert wird. Diese misst den Zeitunterschied zwischen der Registrierung des ersten und des zweiten Elektronenstoßes in der Proportionalkammer. Die Stromstöße werden vor der Registrieren über ein RC-Glied entkoppelt. Über einen „Time to Amplitude Converter“ (TAC) wird die Zeitdifferenz der beiden Elektronenstöße in Form der amplitude eines Rechteck-Signals kodiert. Dieses Signal wird mit einem Analog-Digital-Wandler (ADC) digitalisiert und von einer Software aufgenommen, welche das

Mittel und dessen Standardabweichung über mehrere Messungen ausgibt.

Da das elektrische Feld entlang der Driftstrecke als homogen angenommen wird, ist die Driftgeschwindigkeit entlang der Driftstrecke konstant und kann aus dem Quotienten des Abstandes der Eintrittsstellen der beiden Laserstrahlen (Δx) und der Zeitdifferenz des Eintreffens beider Stromstöße (ΔT) bestimmt werden:

$$\bar{v}_D = \frac{\Delta x}{\Delta T} . \quad (1.1)$$

Versuchsziel

Während diesem Versuch wird die Driftgeschwindigkeit von Elektronen in Gasen untersucht. Ihr Wert sollte in einem homogenen elektrischen Feld annähernd konstant sein. Dennoch ist sie von der Gaszusammensetzung abhängig. Um dieses Verhalten nachzuweisen, wird die Driftgeschwindigkeit für unterschiedliche Parameter, wie z.B. Druck, Feldstärke und Löschgasanteil gemessen. Die Versuchsanweisungen lauten:

- Messen der Driftgeschwindigkeit für drei unterschiedliche Argon-Methan-Mischungen
- Untersuchen der $\frac{E}{\rho}$ -Abhängigkeit der Driftgeschwindigkeit in Methan bei drei unterschiedlichen Drücken
- Vergleich der Messergebnisse mit theoretisch bestimmten Werten

Driftgeschwindigkeit in Ar – CH₄ Gasgemischen

In dem hier beschriebenen Versuch wird die Driftgeschwindigkeit von Elektronen in drei unterschiedlichen AR-CH₄-Gasgemischen untersucht. Unter der Annahme, dass sich die Gase wie ideale Gase verhalten, können die Mischverhältnisse in der Druckkammer über eine Messung mit dem Drucksensor erzeugt werden. Dazu werden die Partialdrücke der einzelnen Gase addiert. Die Driftgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Quotienten des Abstandes der Eindringstellen des Lasers s und der Zeitdifferenz des Eintreffens der beiden Elektronenwolken t :

$$v = \frac{s}{t}. \quad (2.1)$$

Mithilfe einer elektronischen Schaltung wird die Zeitdifferenzen zwischen dem Eintreffen der Elektronenwolken gemessen. Der Versuch wird weitgehend automatisiert durchgeführt, sodass nur noch die Beschleunigungsspannung manuell eingestellt werden muss. Aus diesem Grund wird der Fehler für die Zeitmessung als so gering angenommen, dass er nicht weiter berücksichtigt wird. Der Abstand zwischen den Eindringfenstern des Lasers wurde für die lange Driftstrecke auf 35.1(05) cm und für die Kurze Driftstrecke auf 23.25(5) cm gemessen. Für die Beschleunigungsspannung wird ein Fehler von 0.1 kV angenommen. Auffällig war, dass der Drucksensor im entleerten Druckbehälter einen Offset von -7 hPa aufwies. Dieser Offset wurde als Fehlergröße für den Fehler des Drucksensors verwendet. Weiterhin wurde er während dem Befüllen des Sensors als konstant angenommen, um die gewünschten Gasgemischen zu erzielen. Diese Unsicherheiten werden über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung bei der Verarbeitung der Messgrößen verwendet.

Aus der angelegten Spannung U , dem Druck P in dem Gasbehälter und dem bekannten Plattenstand d , der aus der Quelle zur Vorbereitung (blaues Buch) entnommen wurde, lässt sich die reduzierte Feldstärke berechnen:

$$\frac{E}{P} = \frac{U}{d \cdot P}. \quad (2.2)$$

Für alle drei Gasgemische wurde die Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung gemessen. Daraus wurden Grafiken generiert, die die Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke darstellen. Diese sind in Abbildung 2.1, Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3 zu sehen. Weiterhin wurden für diese Versuche die zur Vorbereitung zur Verfügung gestellten Literaturwerte für einen Vergleich herangezogen. Die Literaturwerte bestanden aus Messpunkten, zwischen denen eine Interpolation durchgeführt wurde. Diese Interpolation ist ebenfalls in den Skizzen zu sehen.

In Abbildung 2.1 wurden zwei Messreihen dargestellt: Eine unter Verwendung der kurzen Driftstrecke und eine unter Verwendung der langen Driftstrecke. Für die weiteren Messungen wurde die kurze Driftstrecke verwendet. Auffällig ist, dass die Driftstrecke keinen signifikanten Einfluss auf die Driftgeschwindigkeit zu nehmen scheint. Die in diesem Versuch bestimmten Werte weichen von den Literaturwerten ab. Erklärungen dafür könnten eine eventuell doch größere Ungenauigkeit für den Drucksensor als der bei leerem Behälter (0 hPa) gemessene Offset von 7 mBar sein, wodurch die Gasgemische nicht den Zielgemischen entsprechen. Das Zielgemisch wird ebenfalls nur über das Zusammenführen der Partialdrücke erreicht, da die Gase als ideale Gase angenommen werden. Von einer undichten Stelle im Behälter wird abgesehen, da sich während der Durchführung der vom Drucksensor gemessene Druck nicht verändert

Driftgeschwindigkeit für zwei unterschiedliche Beschleunigungstrecken 90% Ag, 10% CH₄

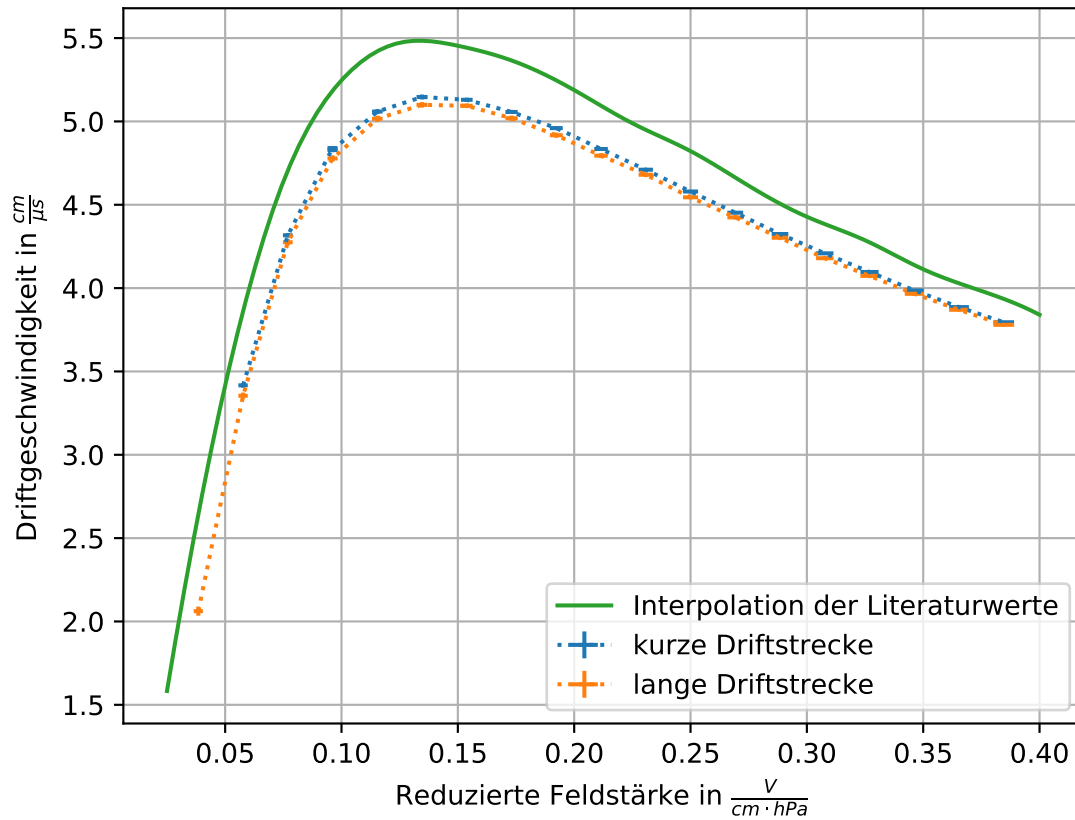


Abbildung 2.1: Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke für ein Gemisch aus 90% Argon und 10% Methan

hat. Außerdem kann, nach Angaben des Tutors, der uns während diesem Praktikumsversuch betreut hat, der Druck in dem Behälter über mehrere Tage hinaus gehalten werden.

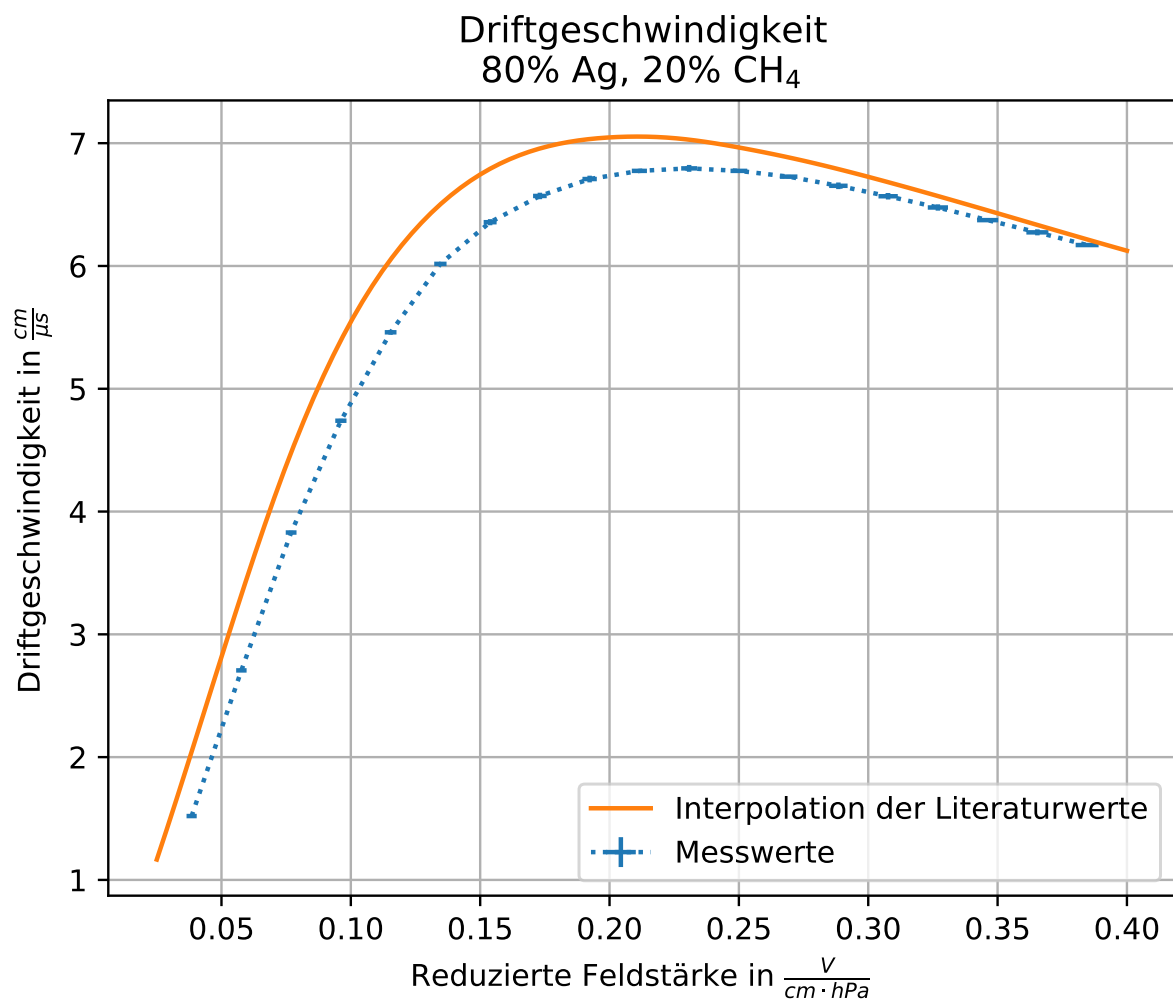


Abbildung 2.2: Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke für ein Gemisch aus 80% Argon und 20% Methan

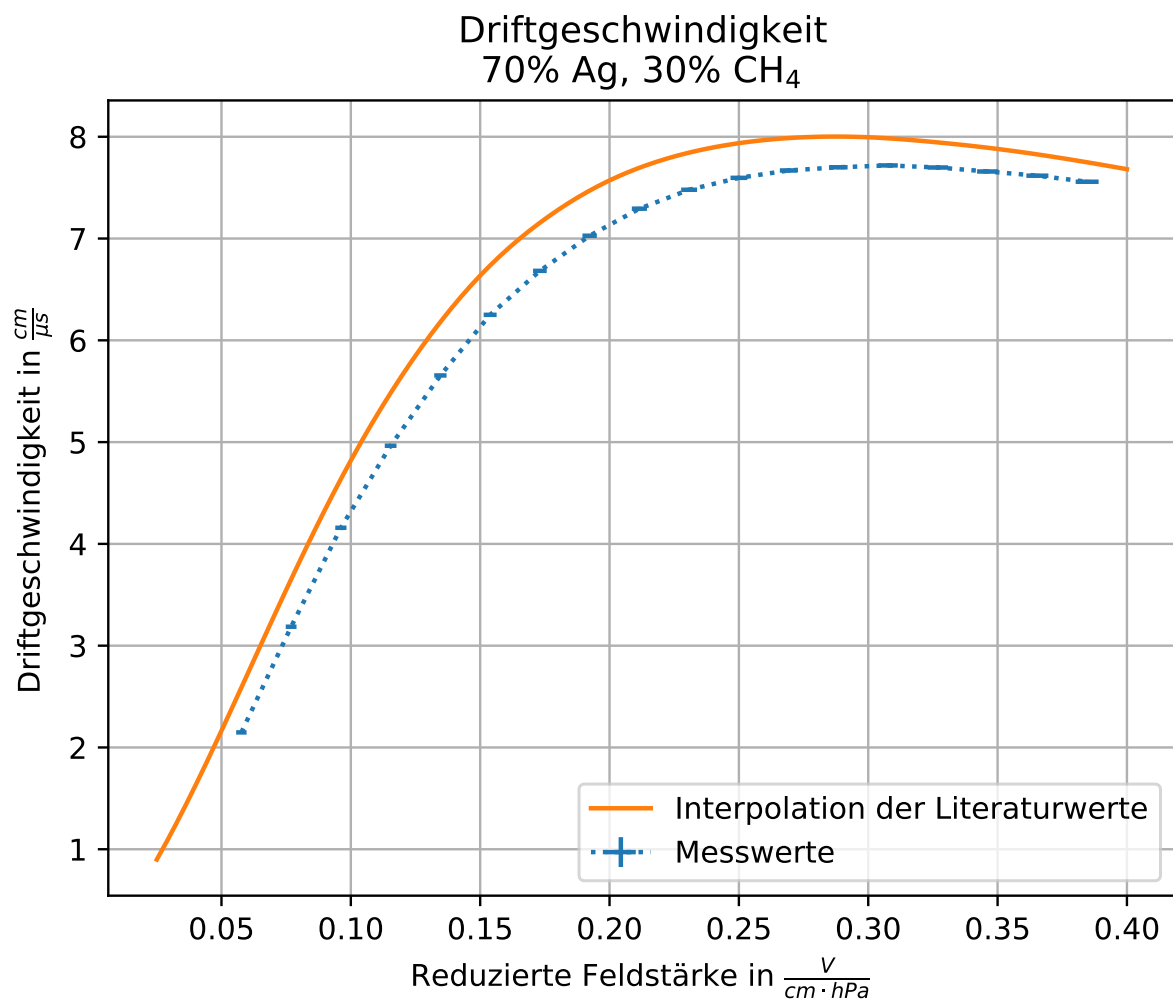


Abbildung 2.3: Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke für ein Gemisch aus 70% Argon und 30% Methan

Untersuchung der $\frac{E}{P}$ Abhängigkeit

Im weiteren Versuch soll gezeigt werden, dass die Driftgeschwindigkeit eine $\frac{E}{P}$ -Abhängigkeit aufweist. Dazu wird die Driftgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Drücken in reinem Methan untersucht. Die Durchführung und die Analyse erfolgen ähnlich zu der im vorherigen Versuch. Die angenommenen Fehlergrößen sind daher identisch zu denen im vorherigen Versuchsteil. In Abbildung 3.1 wird die Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke dargestellt. In der Abbildung wurden ebenfalls die Literaturwerte, wie in der Auswertung zum vorherigen Versuch, dargestellt.

Die Grafiken zeigen deutlich, dass eine $\frac{E}{P}$ -Abhängigkeit besteht, da die Kurven der beiden Messreihen nahtlos ineinander übergehen. Hier fällt ebenfalls auf, dass eine Abweichung zwischen den Literaturwerten und den Messwerten besteht. Die Gründe dafür wurden schon in der Auswertung zum vorherigen Versuch erläutert. Da es sich in diesem Fall aber nicht um ein Gasgemisch handelt und die Abweichung kleiner als beim vorherigen Versuch auszusehen scheint, lässt sich daraus vermuten, dass die Annahme, die Gase würden sich wie ideale Gase verhalten, zu einer Abweichung führt.

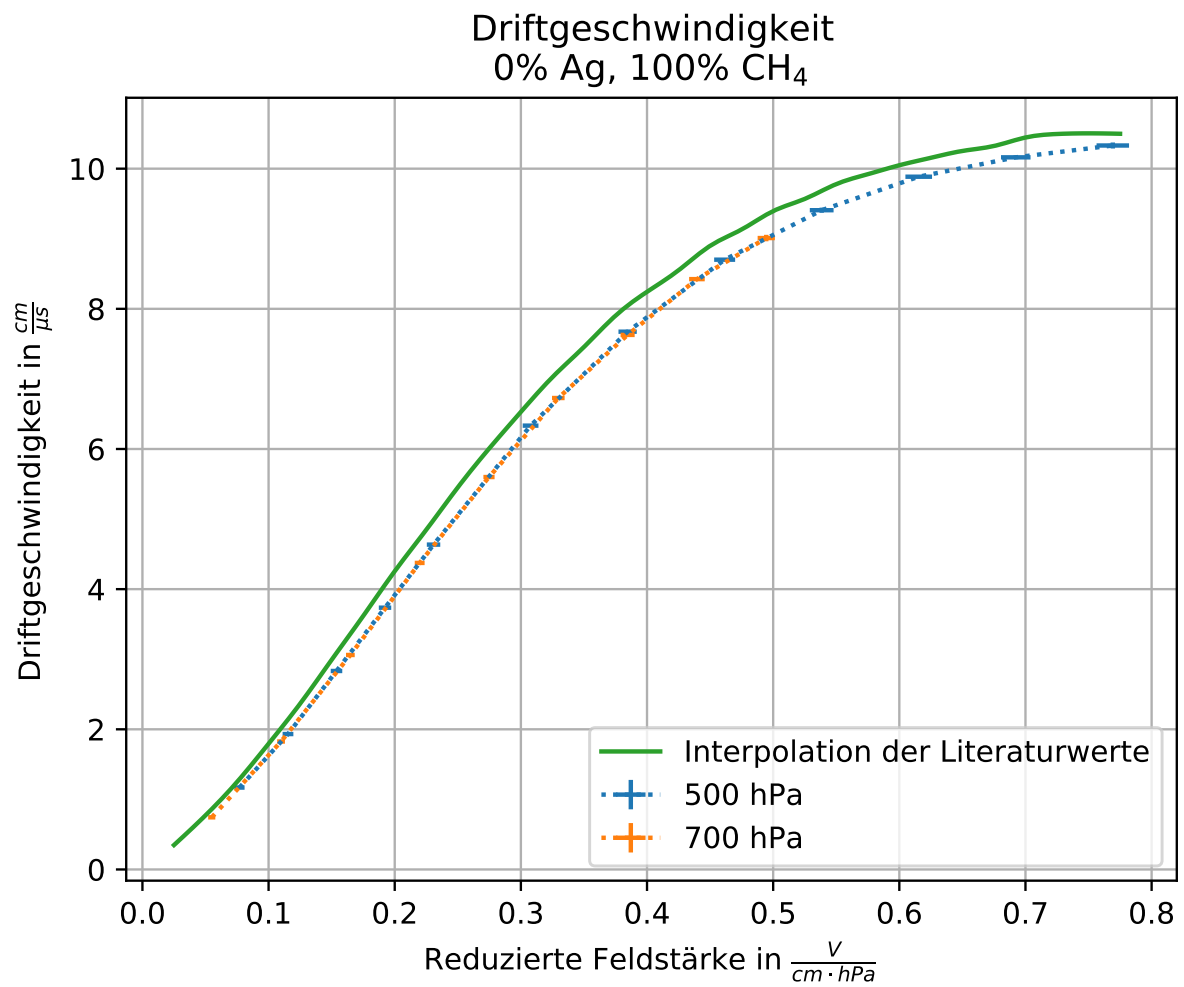


Abbildung 3.1: Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der reduzierten Feldstärke für ein Gemisch aus 0% Argon und 100% Methan bei unterschiedlichen Drücken