

Masterarbeit

Optimierung der Messmethode zur Bestimmung der Flammengeschwindigkeit in Staub/Luft- Gemischen

erstellt am 01.10.2015

Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik

Vorgelegt von:
Jochen Krenn, BSc
0635242

Betreuer:
Dipl.-Ing. Dr.mont. Hannes Kern
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Harald Raupenstrauch

Leoben, 01.10.2015

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Ort/Datum

Unterschrift

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei Frau Dipl.-Ing. Katja Hüttenbrenner, Dissertantin am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik, für die Vermittlung der Masterarbeit bedanken.

Herren Dipl.-Ing. Dr.mont. Hannes Kern, Senior Lecturer am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik, gilt mein besonderer Dank, für die hervorragende Betreuung und Unterstützung beim Verfassen meiner Masterarbeit.

Bei Herren Dipl.-Ing. Werner Pollhammer, Dissertant am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik, möchte ich mich für die große Hilfe bei Problemstellungen der Messtechnik, sowie bei der Unterstützung in Angelegenheiten der Datenverarbeitung bedanken.

Bei Herren Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Harald Raupenstrauch, Leiter des Lehrstuhls für Thermoprozesstechnik, möchte ich mich für die Möglichkeit bedanken meine Masterarbeit auf dem Lehrstuhl verfassen zu dürfen.

Abschließend möchte ich mich bei allen namentlich nicht erwähnten Bediensteten des Lehrstuhls für Thermoprozesstechnik für die freundliche Aufnahme am Lehrstuhl und die Unterstützung bedanken.

Kurzfassung:

Ziel dieser Arbeit war es, eine vom Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik zur Verfügung gestellte Messanlage zur Ermittlung der Geschwindigkeit von Staubexplosionen, zu verbessern. Insbesondere sollte das Messsystem, beziehungsweise dessen Messergebnisse, optimiert werden, um eine aussagekräftigere Interpretation der Messergebnisse zu ermöglichen.

Zu diesem Zweck wurde die Anlage zuerst untersucht, um vorhandenes Verbesserungspotenzial zu ermitteln. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden Modifikationen an der Anlage vorgenommen. Die Wirksamkeit der einzelnen Modifikationsmaßnahmen konnte experimentell belegt werden.

Letzten Endes war es mit Hilfe diverser Änderungen am Messsystem möglich, den zeitlichen Verlauf der Staubexplosion klar darzustellen. Außerdem wurden Vorschläge für weitere Verbesserungen der Anlage erarbeitet.

Abstract:

The aim of this study was to improve a measuring system for determining the velocity of dust explosions. This measuring system was provided by the Chair of Thermal Processing Technology. In particular the measurement results should become more specific to allow a clearer interpretation of the dust explosion.

For this purpose the system was examined in order to determine existing potential for improvement. Based on these findings several modifications to the system were made. The effectiveness of each modification has been proven experimentally.

In the end we succeeded in clarifying the dust explosion's temporal progress through various adaptations to the measuring system. In addition further suggestions were developed to improve the system.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Akronyme.....	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	XI
1 Einleitung	12
1.1 Ausgangslage.....	13
1.1.1 Aufbau der Versuchsanlage	13
1.1.2 Kurzbeschreibung des Versuches.....	14
1.2 Problemstellung	16
1.3 Zielsetzung	17
2 Theoretische Grundlagen	18
2.1 Allgemeines	18
2.1.1 Verbrennung und Explosion	18
2.1.2 Arten von Explosionen.....	19
2.1.3 Flammengeschwindigkeit	19
2.1.4 Flammenfortpflanzung	20
2.1.5 Staubexplosion	21
2.2 Detaillierte Beschreibung der Versuchsanlage.....	22
2.2.1 Erläuterungen zur Abbildung der Versuchsanlage.....	23
2.2.2 Komponenten des Messsystems.....	25
2.3 Recherchen zu Fotodioden.....	28

2.3.1	Allgemeines	28
2.3.2	Eigenschaften und Kennzahlen von PIN- Fotodioden.....	29
2.3.2.1	Dunkelstrom.....	29
2.3.2.2	Relative Fotoempfindlichkeit.....	29
2.3.2.3	Rauschen der PIN- Fotodiode	30
2.3.2.4	Halbleistungspunkt	30
2.4	Recherchen zu Verstärkerschaltungen	31
2.4.1	Spannungsfolgerschaltung	31
2.4.2	Verstärkerschaltungen für Fotodioden	33
2.4.2.1	Fotovoltaischer Modus.....	33
2.4.2.2	Betrieb mit negativer Vorspannung	34
2.5	Versuchsablauf einer Geschwindigkeitsmessung	35
3	Erfassung des aktuellen Anlagenzustandes	37
3.1	Allgemeines	37
3.1.1	Versuch zur Zeiterfassung.....	37
3.1.1.1	Zielsetzung	37
3.1.1.2	Versuchsbeschreibung	38
3.1.1.3	Erkenntnisse	39
3.2	Dokumentation des Messsignals	40
3.2.1	Zielsetzung	40
3.2.2	Versuchsbedingungen	40
3.3	Erkenntnisse aus der Analyse des Messsignals	41
3.3.1	Grobanalyse	41
3.3.1.1	Zusammenfassung der Auffälligkeiten aus der Grobanalyse.....	46
3.3.2	Feinanalyse	47
3.3.2.1	Beschreibung von Qualitätsmerkmalen und Kennzahlen.....	48
3.3.2.2	Ermittlung von Kennzahlen und Qualitätsmerkmalen	50
3.3.3	Erkenntnisse	52
3.3.3.1	Erkenntnisse aus der Grobanalyse	52
3.3.3.2	Erkenntnisse aus der Feinanalyse	52
4	Optimierung des Messsignals	53
4.1	Allgemeines	53
4.1.1	Fotodioden- Montage	55
4.2	Untersuchung der Störimpulse beim Zündvorgang	56
4.2.1	Zielsetzung	56

4.2.2	Versuchsbeschreibung	56
4.2.2.1	Versuchsaufbauten	56
4.2.3	Erkenntnisse	58
4.2.3.1	Resümee	59
4.3	Abdunkeln der Fotodiode	60
4.3.1	Zielsetzung	60
4.3.2	Versuchsbeschreibung	60
4.3.3	Erkenntnisse	60
4.4	Widerstand parallel zur Fotodiode schalten	62
4.4.1	Zielsetzung	62
4.4.2	Versuchsbeschreibung	62
4.4.3	Erkenntnisse	62
4.5	Einschränkung des Detektionswinkels mit Hilfe einer Rohrmontage	64
4.5.1	Zielsetzung	64
4.5.2	Versuchsbeschreibung	64
4.5.3	Erkenntnisse	65
4.6	Fotodiode mit geringerem Halbwinkel	67
4.6.1	Zielsetzung	67
4.6.2	Versuchsbeschreibung	67
4.6.3	Erkenntnisse	68
4.6.3.1	Grobanalyse	69
4.6.3.2	Feinanalyse	70
4.7	Kombination der Umbauten aus Kap. 4.5 und 4.6.....	71
4.7.1	Zielsetzung	71
4.7.2	Versuchsbeschreibung	71
4.7.3	Erkenntnisse	71
4.8	Erproben einer Fotodioden- Fassung mit Sammellinse.....	73
4.8.1	Versuchsbeschreibung beziehungsweise Montagetätigkeiten.....	74
4.8.2	Erkenntnis	74
4.9	Untersuchung der Störsignale nach der Staubexplosion.....	75
4.9.1	Zielsetzung	75
4.9.2	Versuchsbeschreibung	75
4.9.3	Erkenntnisse	75
4.10	Minderung der Störsingale nach der Verbrennung.....	76
4.10.1	Zielsetzung	76

4.10.2	Versuchsbeschreibung	76
4.10.3	Erkenntnisse	77
4.10.3.1	Resümee	79
5	Verstärkereinrichtung.....	80
5.1	Sinn der Verstärkerschaltung.....	80
5.2	Verschaltung am Anfang der Arbeit	80
5.2.1	Aufbau der Schaltung	81
5.2.2	Nachteile der Schaltung	81
5.3	Verschaltung mit parallelem Widerstand.....	82
5.3.1	Wirkung der Schaltung	82
5.3.2	Nachteil der Schaltung	83
5.4	Transimpedanzverstärker	83
5.4.1	Wirkung der Schaltung	84
5.4.2	Nachteile der Schaltung	84
6	Zusammenfassung, Erkenntnisse und Ausblick	86
6.1	Zusammenfassung der Arbeit.....	86
6.1.1	Signalverbesserung	87
6.1.2	Ursprüngliches Signal.....	88
6.1.3	Optimiertes Signal	89
6.2	Ausblick	90
6.2.1	Sicherheit und Betriebssicherheit	90
6.2.1.1	Wasserbad im Fußteil.....	90
6.2.1.2	Staubspeicher vergrößern	90
6.2.1.3	Verriegelung des Kopfteils.....	90
6.2.1.4	Befestigung der Fotodioden- Fassung	90
6.2.1.5	Blende der Rohrmontage	91
6.2.1.6	Separate Stromversorgung der Zündeinrichtung	91
6.2.1.7	Kabel mit Drahtschuhen versehen	91
6.2.1.8	Zündfunkenkabel	91
6.2.1.9	Abgeschirmte Messkabel	91
6.2.1.10	Zugentlastung von Stromkabel.....	91
6.2.1.11	Gemeinsames Gehäuse für Verstärkerschaltung und Netzteil	91
6.2.1.12	Spektralanalyse mittels RGB- Fotodiode	92
6.2.1.13	Anschlag für die Förderschnecke.....	92
6.2.2	Weitere Verbesserung der Signalqualität.....	92

6.2.2.1	Störimpulse	92
6.2.2.2	Operationsverstärker	92
6.2.2.3	Betrieb mit negativer Vorspannung	93
7	Literaturverzeichnis	94
8	Anhang	96

Akronyme

TPT	Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik
OPV	Operationsverstärker
HW	Halbwinkel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Versuchsanlage	13
Abbildung 1-2: Ausbreitung der Staubexplosion [1].....	14
Abbildung 1-3: Signale der Fotodioden [1]	15
Abbildung 1-4: Beispiel eines binären Signals	17
Abbildung 2-1: Branddreieck [1].....	18
Abbildung 2-2: Ausbreitung einer laminaren Flammenfront [3].....	20
Abbildung 2-3: Flammenfortpflanzung von Lykopodium/Luft- Gemisch [4].....	21
Abbildung 2-4: Schematische Darstellung der Versuchsanlage	22
Abbildung 2-5: Förderschnecke	24
Abbildung 2-6: Schema des Messsystems.....	25
Abbildung 2-7: BPW34 Fotodiode [siehe Anhang]	25
Abbildung 2-8: Verstärkerschaltung	26
Abbildung 2-9: Netzteil der Verstärkerschaltung	26
Abbildung 2-10: Datenverarbeitungskarte.....	27
Abbildung 2-11: Aufbau Fotodiode [7].....	28
Abbildung 2-12: Schaltzeichen einer Fotodiode [8]	29
Abbildung 2-13: Spektrale Sensitivität der BPW34 Fotodiode [siehe Anhang]	29
Abbildung 2-14: Halbleistungspunkt der BPW34 Fotodiode [siehe Anhang]	30

Abbildung 2-15: Nichtinvertierender Verstärker [9].....	31
Abbildung 2-16: Umwandlung zum Impedanzwandler [9].....	32
Abbildung 2-17: Schaltbild eines Impedanzwandlers [9]	32
Abbildung 2-18: Fotovoltaischer Modus [10]	33
Abbildung 2-19: Betrieb mit negativer Vorspannung [10]	34
Abbildung 3-1: Transparenzunterschied	38
Abbildung 3-2: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der untersten Fotodiode.....	41
Abbildung 3-3: Nr. 070909, Alte Messanlage, Signal der zweiten Fotodiode von unten	42
Abbildung 3-4: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der zweiten Fotodiode von oben	42
Abbildung 3-5: Nr.070907, Alte Messanlage, Signal der obersten Fotodiode.....	43
Abbildung 3-6: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der Temperaturmessung.....	43
Abbildung 3-7: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der Temperaturmessung.....	44
Abbildung 3-8: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der Temperaturmessung.....	44
Abbildung 3-9: Nr. 070910, Alte Messanlage, Signal der zweiten Fotodiode von unten	45
Abbildung 3-10:Nr. 070910, Alte Messanlage, Temperatur.....	45
Abbildung 3-11: Nr. 070907, Alte Messung, Signal der untersten Fotodiode (2,5-7s)	47
Abbildung 3-12: Definition der Zeitpunkte	49
Abbildung 4-1: Fotodioden in Montageleiste	55
Abbildung 4-2: Neue Fotodioden- Montage	55
Abbildung 4-3: Fußteil und Fotodioden	57
Abbildung 4-4: Abgedeckter Fußteil.....	57
Abbildung 4-5: Nr. 061803, Abdunkeln der Fotodiode, Gesamtsignal	61
Abbildung 4-6: Nr. 061803,Abdunkeln der Fotodiode, Feinanalyse.....	61
Abbildung 4-7: Widerstand parallel zur abgedunkelten Fotodiode.....	62
Abbildung 4-8: Auswirkungen des Widerstandes auf das Störsignal.....	63
Abbildung 4-9: Fotodiode in Rohrmontage.....	65
Abbildung 4-10: Verringerung des Halbwinkels.....	66
Abbildung 4-11: Halbwinkel der BPW 34 Fotodioden [siehe Anhang]	67

Abbildung 4-12: Halbwinkel der SFH 213 FA Fotodioden [siehe Anhang].....	68
Abbildung 4-13: Grobanalyse der HW 10° Fotodiode.....	69
Abbildung 4-14: Feinanalyse HW 10° Fotodiode.....	70
Abbildung 4-15: HW 10° Fotodiode mit und ohne Rohrmontage	71
Abbildung 4-16: Markante Signalsprünge	72
Abbildung 4-17: Fotodiode mit Fassung.....	73
Abbildung 4-18: Linse der Fassung	73
Abbildung 4-19: Störsignale durch Betätigen der Förderschnecke.....	75
Abbildung 4-20: Einfluss von Widerstand und Abstand.....	78
Abbildung 4-21: Förderschnecke an- und abgeschlossen.....	78
Abbildung 4-22: Widerstand nahe bei OPV, mit und ohne Fotodiode.....	79
Abbildung 5-1: Spannungsfolger.....	81
Abbildung 5-2: Spannungsfolger mit Widerstand	82
Abbildung 5-3: Transimpedanzverstärker	84
Abbildung 6-1: Gesamtvergleich	87
Abbildung 6-2: Ursprüngliche Messmethode.....	88
Abbildung 6-3: Neue Messmethode.....	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-I: Charakterisierung von Explosionen [6].....	19
Tabelle 3-I: Versuchsauswertung.....	51
Tabelle 4-I: Ergebnistabelle Verringerung des Halbwinkels	66
Tabelle 4-II: Ergebnistabelle HW 10° Fotodiode	70
Tabelle 4-III: Ergebnistabelle HW 10° Fotodiode in Rohrmontage	72

1 Einleitung

Dem Thema Sicherheit wird heutzutage in allen Bereichen unseres Lebens viel Aufmerksamkeit zuteil. Gründe hierfür sind sowohl das Streben Leib und Leben von Menschen zu schützen, als auch Erkenntnisse aus wirtschaftlichen Überlegungen. Diese zeigen eindeutig, dass es große finanzielle Nachteile in sich birgt, Sicherheitsaspekte nicht zu beachten. Die Wirtschaftswissenschaften berücksichtigen die monetäre Bedeutung des Themas Sicherheit in Form von beispielsweise Anlagenwirtschaft sowie im Bereich des Instandhaltungsmanagements.

Die Ingenieurwissenschaften setzen sich in vielfältiger Weise mit sicherheitsrelevanten Problemen auseinander. Aufgrund des hohen Gefahrenpotentials von Explosionen kommt dem Aspekt Explosionsschutz und somit auch der Erforschung explosionsfähiger Stoffe besondere Bedeutung zu. Die Eigenschaften und sicherheitstechnische Kenngrößen (z.B. Mindestzündenergie, maximaler Explosionsdruck, Flammpunkt) von vielen brennbaren und explosionsfähigen Stoffen sind relativ gut erforscht. Brennbare Stäube werden erst explosionsfähig, wenn sie in Form von Staub/Luft- Gemischen vorliegen. Entscheidend für das Gefahrenpotenzial solcher Mischungen sind unter anderem Korngrößenverteilung der Staubpartikel und Konzentration von Staub in der Luft. Aufgrund der Gravitation ist es nicht unproblematisch ein solches Staub/Luft- Gemisch herzustellen und vor allem eine bestimmte Staub/Luft- Konzentration zeitlich konstant bestehen zu lassen. Diese Tatsache erschwert die Konstruktion von Messanlagen, welche in der Lage sein sollen die Eigenschaften von explosionsfähigen Stäuben festzustellen. Aus diesem Grund sind brennbare Stäube noch nicht so gut erforscht wie Gefahrenstoffe anderer Konsistenz.

Da es sich bei vielen sicherheitstechnischen Kenngrößen um keine physikalischen Größen (wie etwa Masse, Dichte, Wärmekapazität, etc.) handelt, haben die angewandten

Messverfahren und Apparaturen einen großen Einfluss auf die Messergebnisse. Dies führt dazu, dass sich die Fachwelt auf ein bestimmtes Prüfverfahren einigen muss, um standardisierte Messergebnisse einer bestimmten Kenngröße zu erhalten. Beispielsweise wird mithilfe der so genannten 20-Liter Kugelapparatur der maximale Explosionsdruck der K_{ST} -Wert ermittelt.

1.1 Ausgangslage

Die Flammengeschwindigkeit beschreibt jene Geschwindigkeit, mit der sich die Flammenfront einer Verbrennung in einem brennbaren Staub/Luft-Gemisch fortbewegt. Zur Messung der Flammengeschwindigkeit von brennbaren Stäuben wird am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik (wird in der Folge TPT genannt) die in Abbildung 1-1 dargestellte Apparatur eingesetzt.

1.1.1 Aufbau der Versuchsanlage

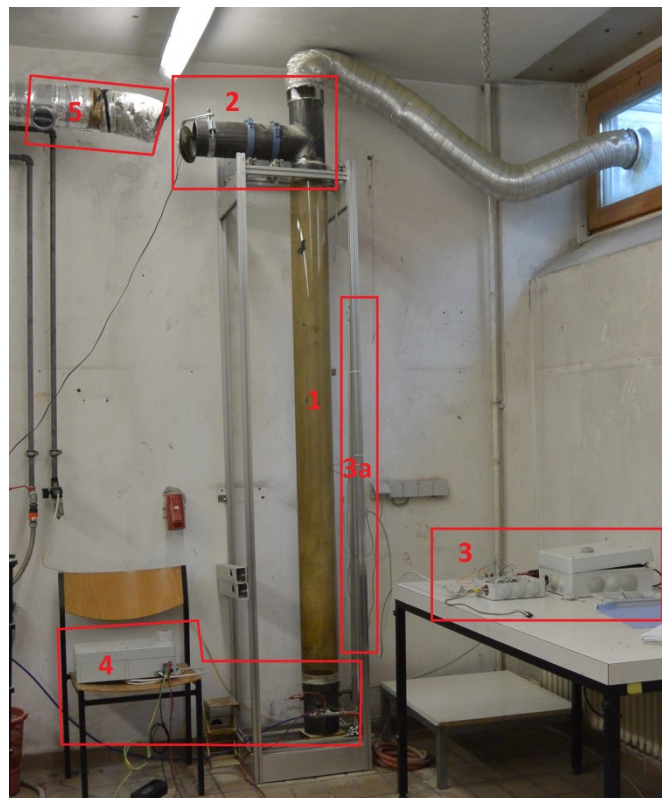


Abbildung 1-1: Versuchsanlage

1. Reaktionsraum (Kunststoffrohr)
2. Kopfteil mit Förderschnecke
3. Messsystem
 - a. Montageleiste mit Fotodioden
4. Zündeinrichtung
5. Abzug

1.1.2 Kurzbeschreibung des Versuches

Anhand der Abbildung 1-1, wird die Messung erklärt. Dabei wird über eine Förderschnecke (2) von oben ein brennbarer Staub in den Reaktionsraum (1), ein Kunststoffrohr aus Polymethylmethacrylat (PMMA), eingebracht. Es bildet sich in dem Rohr ein explosionsfähiges Staub/Luft Gemisch, welches mit Hilfe der Zündeinrichtung (4) gezündet wird. Die Explosion bewegt sich in dem durchsichtigen Rohr von der Zündeinrichtung aus nach oben. Auf diesem Weg wird das Licht der Flammenfront von den Fotodioden (3a) detektiert.

Die folgende Grafik zeigt die Ausbreitung der Staubexplosion in Abhängigkeit von der Zeit.

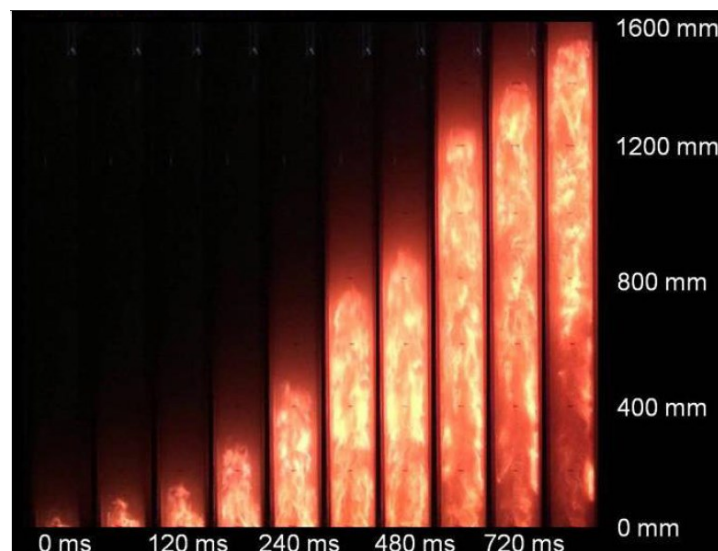


Abbildung 1-2: Ausbreitung der Staubexplosion [1]

Die Fotodioden wandeln das detektierte Licht der vorbeiziehenden Flammenfront in elektrische Signale um. Die in Abbildung 1-3 dargestellten Graphen beschreiben den zeitlichen Spannungsverlauf dieser Messsignale.

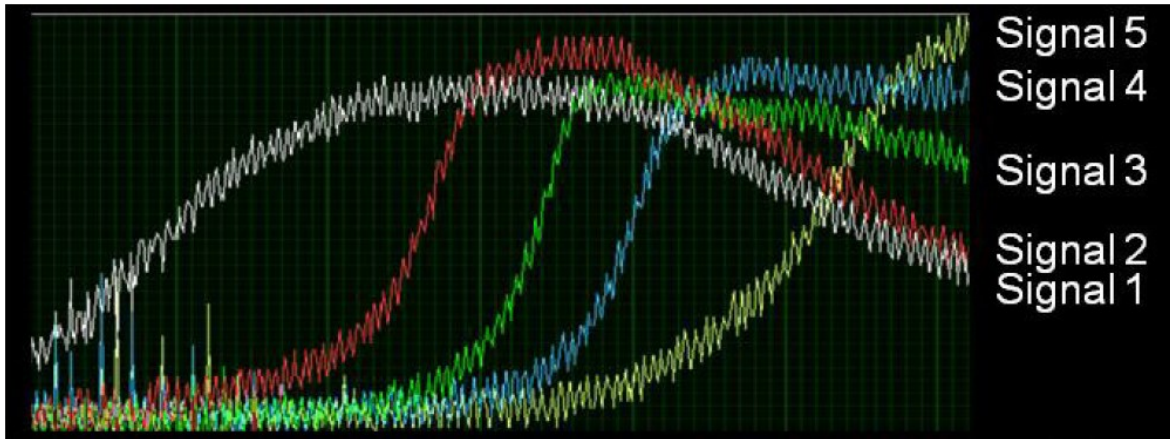


Abbildung 1-3: Signale der Fotodioden [1]

Um nun die Flammengeschwindigkeit festzustellen, soll die Zeit ermittelt werden, welche die Flammenfront benötigt, um die Wegstrecke zwischen der ersten (Signal 1) und der zweiten Fotodiode (Signal 2) zu durchlaufen. Da der Abstand (Δx) zwischen der ersten und der zweiten Fotodiode bekannt ist, sollte sich somit die Durchschnittsgeschwindigkeit in diesem Bereich ermitteln lassen.

1.2 Problemstellung

Offensichtlich liefern die Signale der Messung (Abbildung 1-3) keine eindeutigen Ergebnisse und müssen folglich interpretiert werden. Es kann nicht zweifelsfrei erkannt werden, ab welchem Zeitpunkt die Flammenfront die Fotodiode passiert hat. In Form des Graphen wird vielmehr ein Zeitbereich anstelle eines Zeitpunktes dargestellt. Darum ist es notwendig, Kriterien festzulegen, welche einen entsprechenden Zeitpunkt in dem jeweiligen Zeitbereich definieren. Es gibt mehrere Ansätze an denen sich Kriterien orientieren könnten, wie z.B. das Überschreiten einer bestimmten Signalstärke, der Wendepunkt des Graphen oder das Maximum.

Des Weiteren scheint es möglich zu sein, durch Optimierungsmaßnahmen an dem Messsystem (von der Fotodiode bis zur Wertetabelle) präzisere Messergebnisse zu erhalten. Somit sollte das Profil der Verbrennung genauer detektiert werden. Diese Messung würde den exakten Zeitpunkt ihrerseits vermutlich zwar noch immer nicht ohne entsprechende Anwendung von Interpretationskriterien quantitativ verifizieren, jedoch den durch die Interpretation entstehenden Fehler verringern. Schließlich soll ein Zeitpunkt in einem Zeitbereich ermittelt werden. Je kleiner der Zeitbereich ist, umso wahrscheinlicher ist es, dass der auftretende Fehler bei der Ermittlung des Zeitpunktes ebenfalls klein ist.

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, den Ist- Zustand des Messsystems zu dokumentieren und mit Messergebnissen aus Versuchen zu belegen. Anhand der anschließend durchzuführenden Analyse jener Messergebnisse, soll nach Verbesserungsmöglichkeiten gesucht werden. Die Aussagekraft der Messung soll erhöht, beziehungsweise der interpretierbare Bereich der Messergebnisse verkleinert werden. Durch das Messsignal soll die Verbrennung in ihrer Intensität möglichst genau dargestellt werden.

Darüber hinaus soll eine möglichst allgemein gültige, wie auch auf unterschiedliche Versuchsbedingungen anwendbare Form der Ergebnisauswertung erarbeitet werden.

Durch eine weitere Versuchsreihe soll eine etwaige Verbesserung der Messung nachgewiesen werden.

Das angestrebte, aber vermutlich nicht erreichbare Ziel würde einem binären Signal entsprechen. Ein binäres Signal kann nur zwei Werte anzeigen (0 oder 1). In diesem Fall würde lediglich ausgesagt werden, ob die Flammenfront den entsprechenden Punkt (Fotodiode) passiert, oder eben noch nicht passiert hat. Natürlich berücksichtigt dieses ideale Signal die Prämisse einer unendlich dünnen Flammenfront. Durch ein solches Signal würde die Messung nur zwei Zeitpunkte anzeigen. Folglich wäre eine Interpretation von Zeitbereichen nicht notwendig und Interpretationsfehler ausgeschlossen.

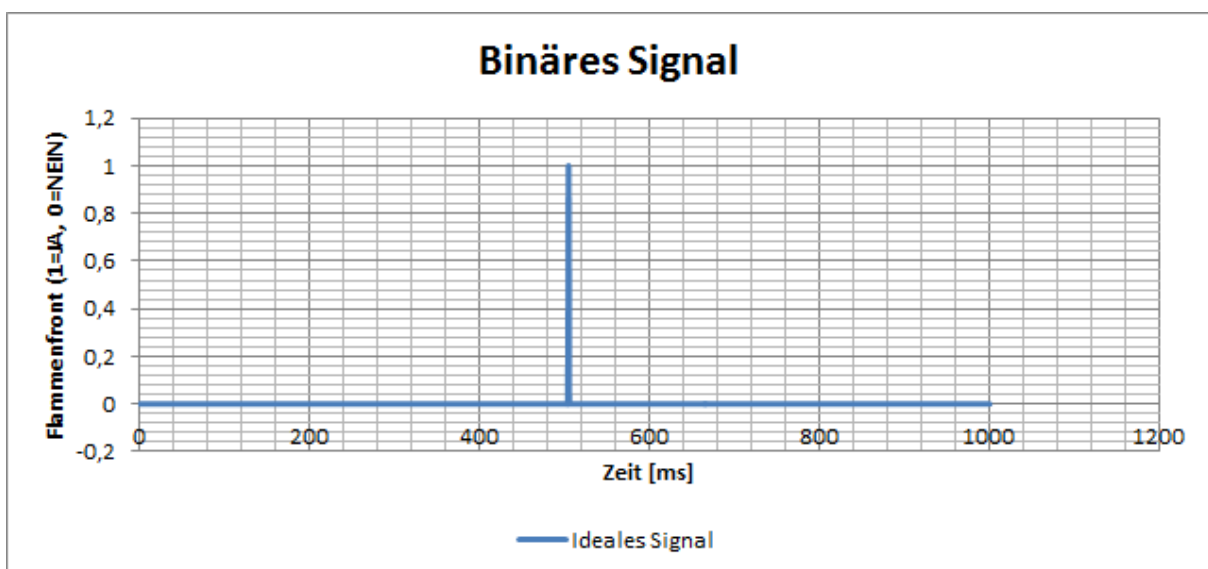


Abbildung 1-4: Beispiel eines binären Signals

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Allgemeines

2.1.1 Verbrennung und Explosion

Entzündbare Stoffe können mit Sauerstoff reagieren und dabei Wärme freisetzen. Es muss sich dabei nicht zwangsläufig um Sauerstoff aus der Luft handeln, denn auch andere Oxidationsmittel können zu einer Entzündung führen. Damit eine Verbrennung stattfinden kann, müssen ein Brennstoff, ein Oxidationsmittel und eine wirksame Zündquelle vorhanden sein. [2]

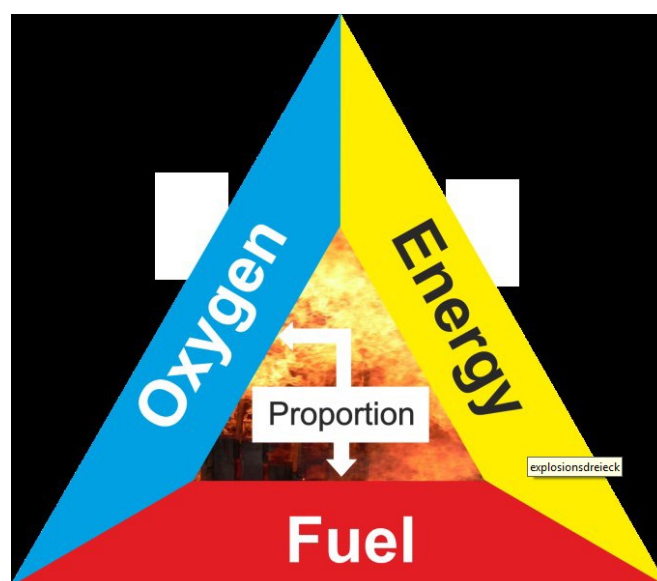


Abbildung 2-1: Branddreieck [1]

2.1.2 Arten von Explosionen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten Explosionsarten voneinander zu unterscheiden. Spezifiziert man Explosionen anhand der zugrundeliegenden Art der Energieumwandlung, so kann man zwischen chemischen und physikalischen Explosionen unterscheiden. **Chemische** Explosionen entstehen durch die Energieumwandlung von chemischen Reaktionen. **Physikalische** Explosionen erfolgen aufgrund der Energieumwandlung von physikalischen Prozessen. Es muss ein thermodynamisches Ungleichgewicht vorherrschen, damit ein solches Energiepotenzial vorhanden ist (z.B. Dampfexplosion). [6]

Es ist auch möglich, Explosionen nach ihrer Druckerhöhung und Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit zu charakterisieren.

Tabelle 2-I: Charakterisierung von Explosionen [6]

Charakterisierung nach Druckerhöhung und Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit				
Verbrennungsart	Druckerhöhung		Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit	
Aufflammung	0	bar	< 1	m/s
Verpuffung	< 1	bar	> 10	m/s
Explosion	< 10	bar	< 330	m/s
Detonation	> 10	bar	> 330	m/s

Von einer **Deflagration** spricht man, wenn sich die Explosionsgeschwindigkeit im Unterschallbereich befindet. Breitet sich eine Explosion mit Überschallgeschwindigkeit aus, handelt es sich um eine **Detonation**. [3]

2.1.3 Flammengeschwindigkeit

Die Flammengeschwindigkeit ist jene Geschwindigkeit, mit welcher sich eine Flammenfront fortbewegt. Derzeit gibt es keine Standardverfahren zur Messung der Flammgeschwindigkeit von Staubexplosionen. Es gelten keinerlei Einschränkungen oder Vorgaben unter welchen Bedingungen diese gemessen werden muss.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer ebenen Flammenfront in einem ungestörten Brennstoff/Luft- Gemisch wird als laminare Verbrennungsgeschwindigkeit bezeichnet. Die Reaktionsheftigkeit kann mit Hilfe der laminaren Verbrennungsgeschwindigkeit abgeschätzt werden. [3]

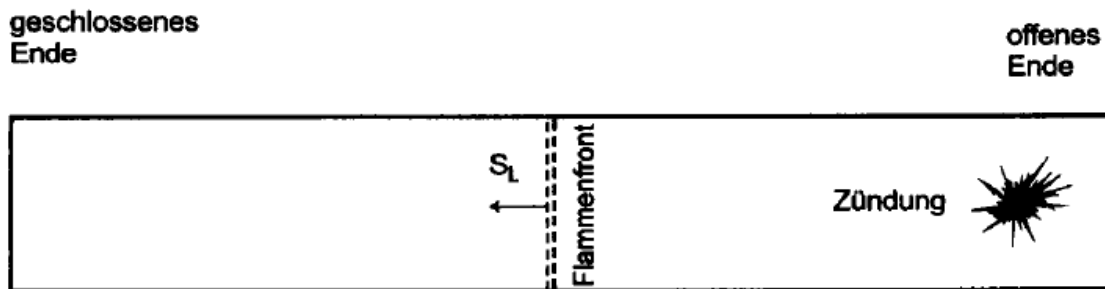


Abbildung 2-2: Ausbreitung einer laminaren Flammenfront [3]

Die turbulente Verbrennungsgeschwindigkeit berücksichtigt das Vorhandensein von turbulenten Bewegungen im Brennstoff/Luft- Gemisch, welche für einen schnelleren Stoff- und Wärmetransport sorgen. Dadurch wird die Verbrennungsgeschwindigkeit erhöht. [3]

2.1.4 Flammenfortpflanzung

Die Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit, welche auch als laminare Flammgeschwindigkeit bezeichnet wird, ist von vielen Faktoren abhängig. Unter anderem wird sie von Wärmeleitfähigkeit beteiligter Komponenten, Diffusionseffekten, Strömungsverhältnissen, Starttemperaturen der Komponenten, Konzentrationsverhältnissen und katalytischen Effekten bestimmt. Erfolgt die Verbrennung in einer turbulenten Strömung, ist die Flammgeschwindigkeit größer und von weiteren Parametern abhängig. [2]

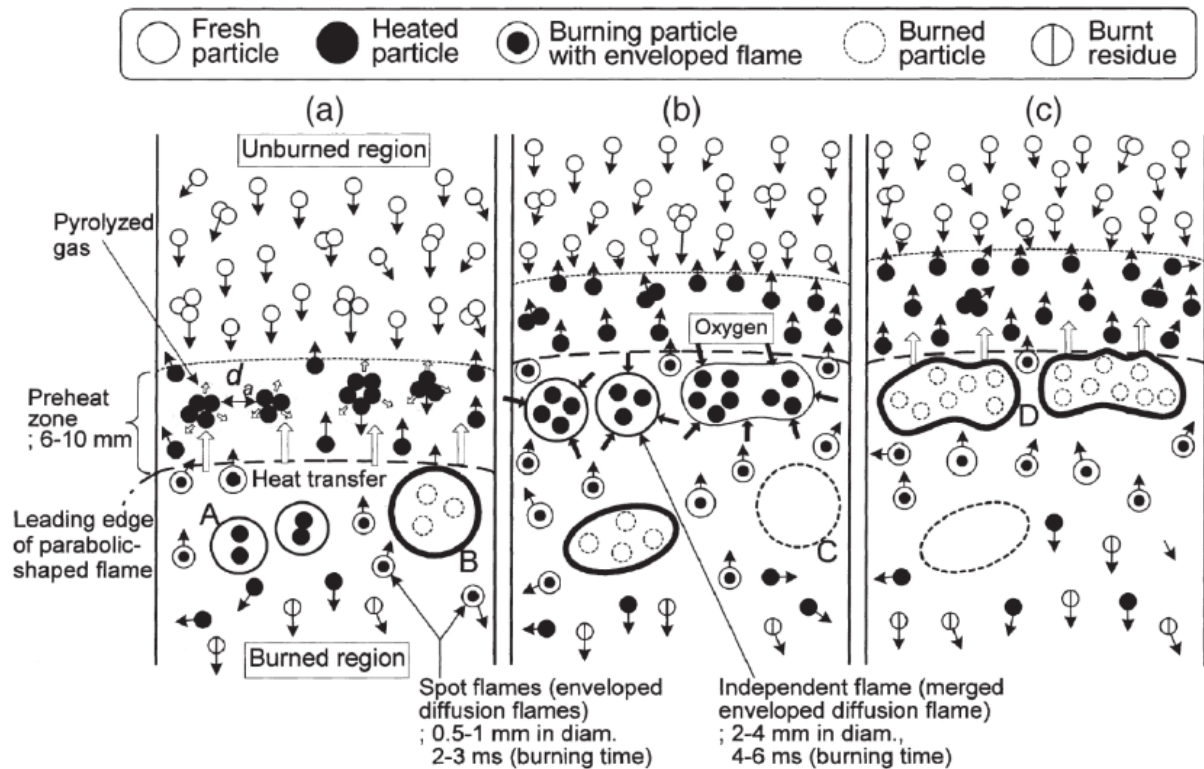


Abbildung 2-3: Flammenfortpflanzung von Lycopodium/Luft- Gemisch [4]

Die oben dargestellte Grafik beschreibt die Flammenfortpflanzung in einem Lycopodium/Luft- Gemisch. Die Flammenfortpflanzung von Staub/Luft- Gemischen und Gas/Luft- Gemischen unterscheiden sich von einander insofern, als dass die Eigenschaften des Staubes eine wesentliche Rolle spielen. [1]

2.1.5 Staubexplosion

Wenn feste Brennstoffe in Form von Staub vorliegen und mit Luft gemischt werden, sind sie meist in der Lage schnell zu verbrennen, beziehungsweise besteht die Gefahr einer Staubexplosion. [5]

Wie stark Stäube zur Explosion neigen, hängt von bestimmten Eigenschaften des Staubes und den Umgebungsbedingungen ab. Besonderen Einfluss haben die chemische Zusammensetzung, die Partikelgröße, der Feuchtanteil, die Sauerstoffkonzentration und der Anteil von inertem Staub und inertem Gas im Gemisch. [2]

2.2 Detaillierte Beschreibung der Versuchsanlage

Die Flammgeschwindigkeit von Staub/Luft- Gemischen wird mittels einer vom TPT zur Verfügung gestellten Versuchsanlage ermittelt. Dieses Unterkapitel setzt sich mit dem Aufbau der Versuchsanlage und ihren Komponenten so, wie sie bei dieser Arbeit verwendet werden, auseinander. Es wird die Flammgeschwindigkeit der Deflagration einer Lykopodium- Staubexplosion gemessen.

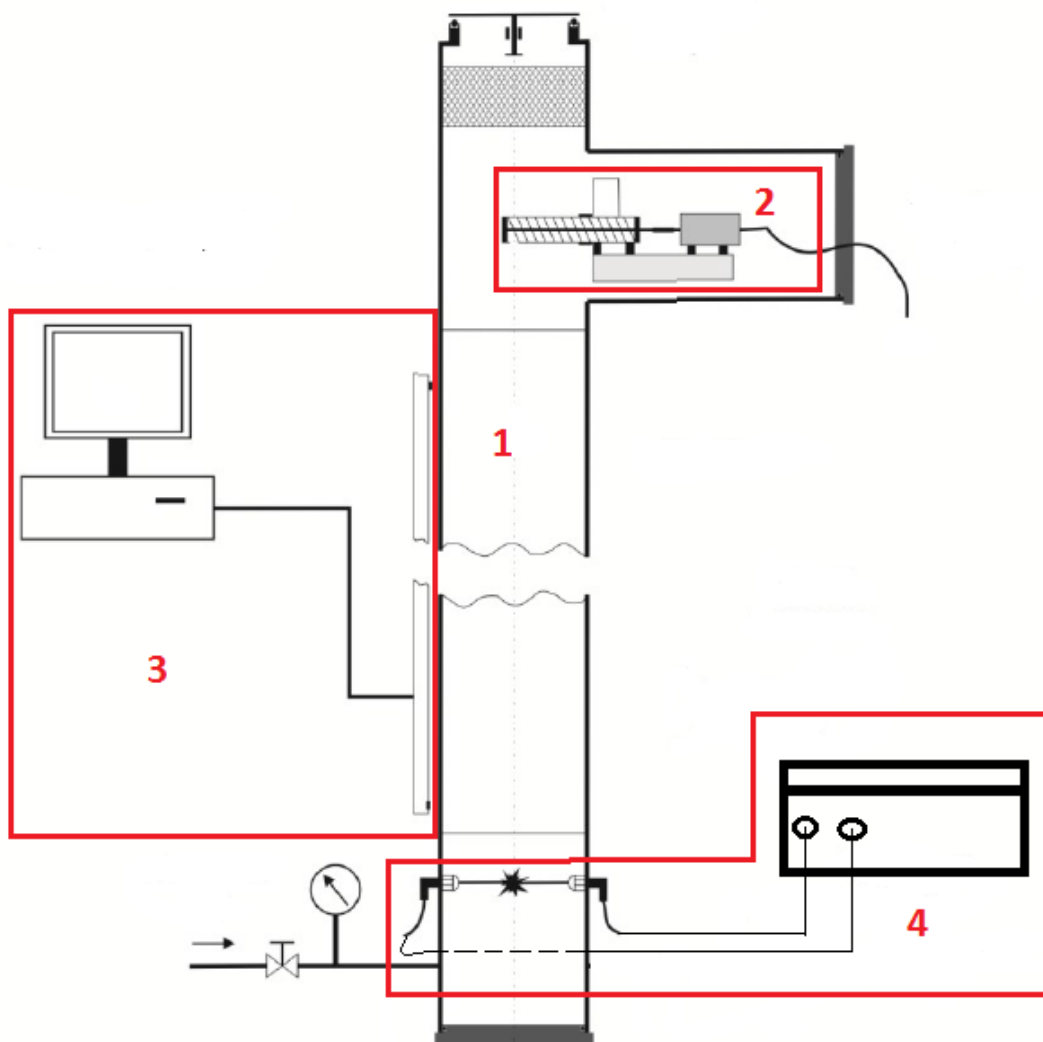


Abbildung 2-4: Schematische Darstellung der Versuchsanlage

2.2.1 Erläuterungen zur Abbildung der Versuchsanlage

Die Anlage lässt sich in vier Module unterteilen. Jedes einzelne Modul hat wichtige Aufgaben zu erfüllen, um den reibungslosen Ablauf der Versuche zu ermöglichen.

1. Der Bereich beinhaltet das Grundgerüst und den Reaktionsraum der Anlage. Der Reaktionsraum setzt sich zusammen aus einem Fußteil, einem zwei Meter langen Rohr aus PMMA (Kunststoff) und einem Kopfteil. Das stählerne Fußteil trägt das Kunststoffrohr, verfügt über einen Druckluftanschluss und zwei elektrische Anschlüsse für die Zündeinrichtung. Im durchsichtigen Kunststoffrohr findet der Großteil der Verbrennung des Staub/Luft- Gemisches statt. Dank seiner Transparenz ist es möglich, den Verbrennungsvorgang zu beobachten und zu untersuchen. Das Kopfteil ist T- förmig und verfügt über eine druckfeste verschließbare Öffnung mit zwei elektrischen Anschlüssen, über welche die Förderschnecke mit dem Versuchsmaterial in Position gebracht wird. Des Weiteren befindet sich im oberen Bereich des stählernen Kopfteils eine Flammensperre. Die Flammensperre ermöglicht es, dass Überdruck aus dem Reaktionsraum entweichen kann, ohne, dass dabei Flammen außerhalb des Reaktionsraumes auftreten.
2. Modul 2 sorgt für die Zufuhr von brennbarem Staub und beinhaltet eine Förderschnecke und ein Netzteil (Spannungswandler). Die Förderschnecke wird vor dem Versuch mit brennbarem Staub befüllt und so in dem Kopfteil positioniert, dass sich der Austrag mittig über dem Kunststoffrohr befindet. Mit Hilfe des Spannungswandlers kann die Versorgungsspannung und somit auch die Förderleistung der Förderschnecke variiert werden. Die elektrische Verbindung zwischen Spannungswandler und Förderschnecke wird durch zwei beidseitig angebrachte elektrische Anschlüsse im Deckel des Kopfteiles ermöglicht.

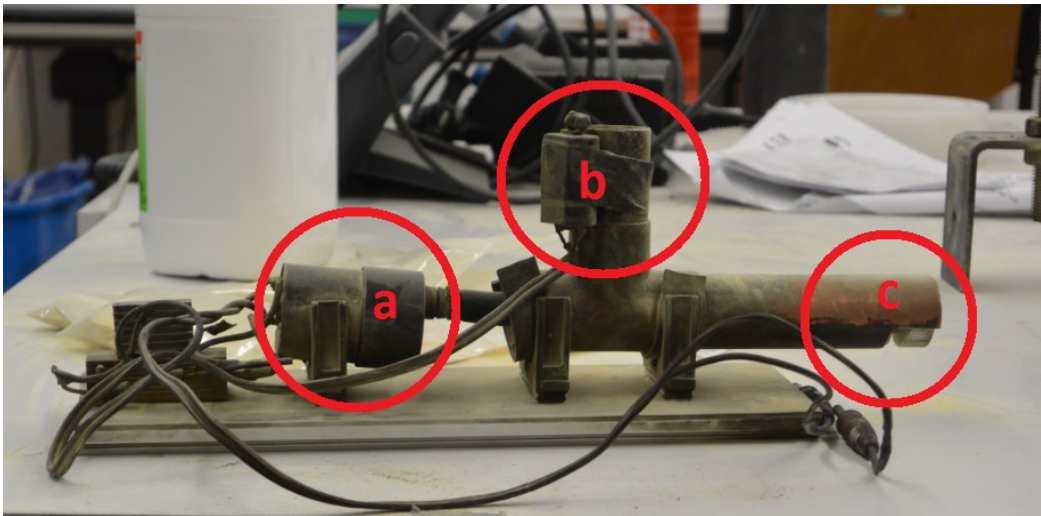


Abbildung 2-5: Förderschnecke

Beschreibung der Abbildung 2-5:

- a. Motor
 - b. Speicher für das Versuchsmaterial
 - c. Austrag der Förderschnecke
-
3. Das Messsystem beinhaltet alle Komponenten die es ermöglichen, dass das freiwerdende Licht der Verbrennungsreaktion letzten Endes in Form von Datentabellen dokumentiert werden kann.
 4. Die Zündeinrichtung ermöglicht einen kontrollierten Start der Staubexplosion. In der Zündeinrichtung wird dabei eine hohe elektrische Spannung bereitgestellt, welche durch Betätigen eines Auslösetasters in Form eines Zündfunken im Fußteil freigesetzt wird.

2.2.2 Komponenten des Messsystems

Um zu verstehen, wie das Messsystem grundlegend funktioniert, werden in diesem Unterkapitel die einzelnen Komponenten und deren Funktionen erklärt.

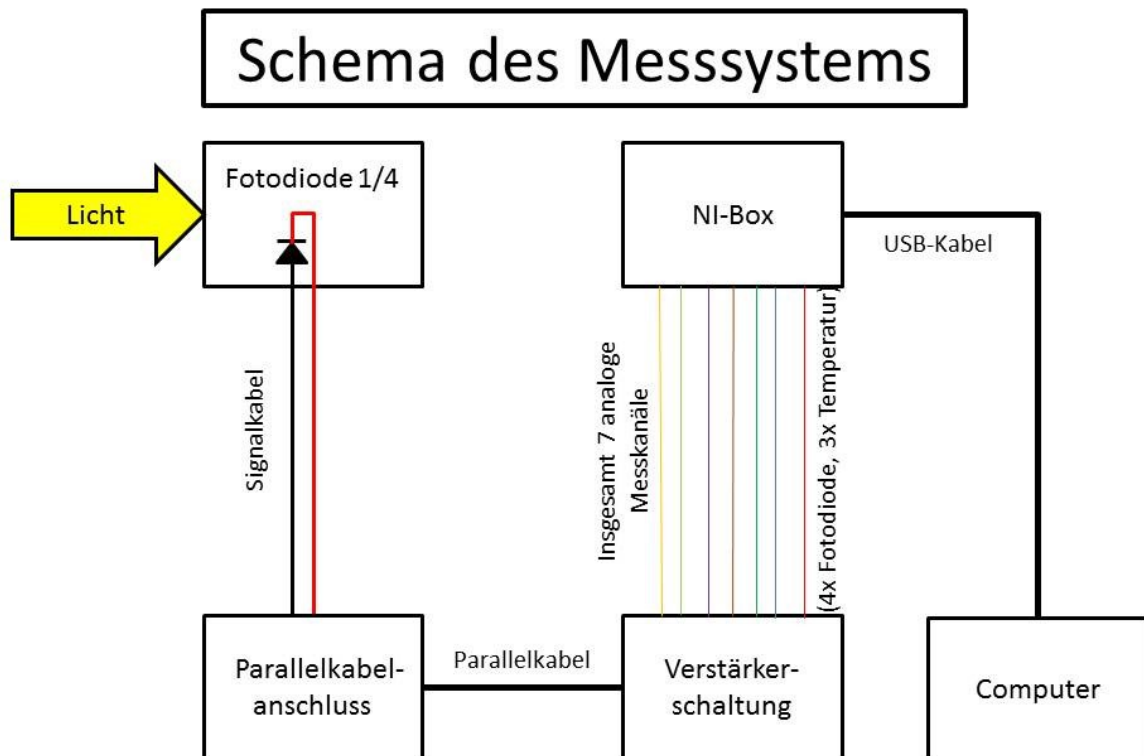


Abbildung 2-6: Schema des Messsystems

- Fotodioden: Die Fotodiode wandelt einstrahlendes Licht in elektrischen Strom um. Die wichtigsten Eigenschaften der Fotodiode sind im Datenblatt [siehe Anhang] angeführt.

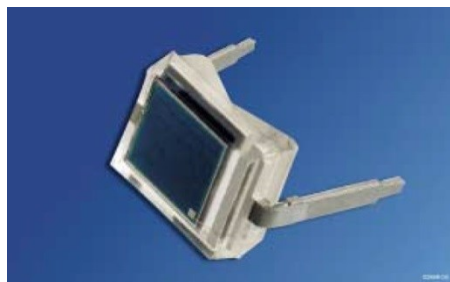


Abbildung 2-7: BPW34 Fotodiode [siehe Anhang]

- Signalkabel: Hierbei handelt es sich um ein zweiadriges Kabel. Über das Signalkabel werden die elektrischen Signale von der Fotodiode zum Anschluss des Druckerkabels geleitet. Jede Fotodiode muss selbstverständlich mit einem eigenen Signalkabel verbunden sein.
- Mehradriges Parallelkabel: Durch die Signalkabel können alle Fotodioden an einer anderen Stelle des Kunststoffrohres angebracht werden, sie münden jedoch in einen Parallelkabelanschluss. Über das Parallelkabel erfolgt ein gebündelter Transport der elektrischen Signale zur Verstärkerschaltung. Diese Vorgehensweise erhöht die Übersichtlichkeit am Arbeitsplatz und sorgt gleichzeitig für eine modulare Gestaltung des Messsystems.
- Verstärkerschaltung: Die Verstärkerschaltung bereitet das von der Fotodiode generierte Signal für die Datenverarbeitungskarte auf.

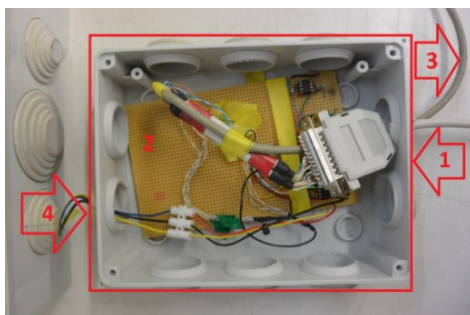


Abbildung 2-8: Verstärkerschaltung

- 1 Eingangssignal
- 2 Verstärkerschaltung
- 3 Bearbeitetes Signal
- 4 Stromversorgung für die Verstärkerschaltung

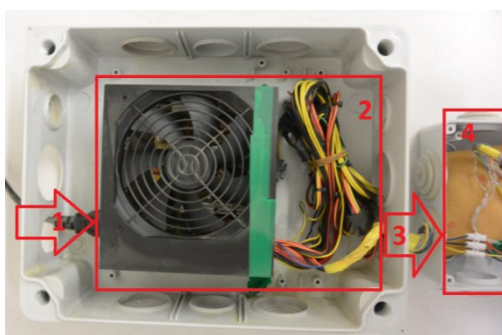


Abbildung 2-9: Netzteil der Verstärkerschaltung

- 1 Stromversorgung
- 2 Netzteil
- 3 Stromversorgung für die Verstärkerschaltung
- 4 Verstärkerschaltung

- Datenverarbeitungskarte (NI USB- 6009): Die Datenverarbeitungskarte wandelt das bis hier her analoge Signal in ein digitales um und übermittelt dieses mittels USB- Kabel an den Computer.



Abbildung 2-10: Datenverarbeitungskarte

- Computer: Die Datenverarbeitung erfolgt mittels Computer und dem Datenverarbeitungsprogramm LABVIEW.

2.3 Recherchen zu Fotodioden

2.3.1 Allgemeines

Grundsätzlich wird die elektrische Leitfähigkeit von Halbleitermaterialien bei Energiezufuhr (Licht oder Wärme) größer. Aufgrund des „inneren fotoelektrischen Effekts“ werden umso mehr Elektronen freigesetzt, je stärker die Beleuchtung ist. Strahlt Licht auf eine Fotodiode, führt dies zu einer Energieumwandlung, die sich durch eine Ladungstrennung äußert. Es bilden sich ein negativer (n- Gebiet) und ein positiver Pol (p- Gebiet). Das heißt, es sammeln sich freie Elektronen in dem n- Gebiet und die Fotodiode wird zu einer Spannungsquelle. [7]

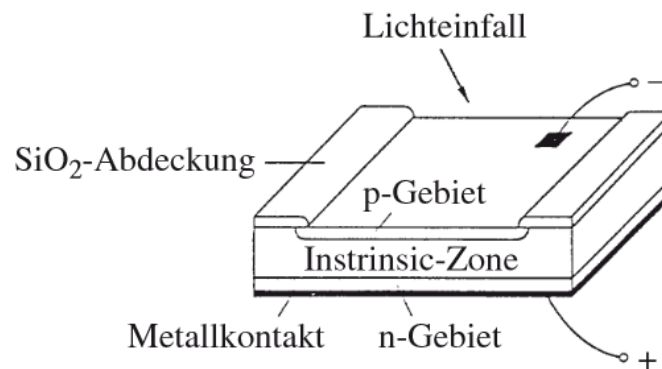


Abbildung 2-11: Aufbau Fotodiode [7]

Eine PIN- Fotodiode besteht aus mehreren Schichten. Die P- und die N- Schichten sind im Vergleich zu der breiten I- Schicht relativ dünn. Durch diesen Aufbau herrscht eine hohe Feldstärke, welche eine schnelle Ladungstrennung ermöglicht. PIN- Fotodioden unterscheiden sich von PN- Fotodioden dadurch, dass sie höhere Sperrspannungen haben und schneller sind. Der Fotostrom ist jedoch nur etwa halb so groß. [7]

2.3.2 Eigenschaften und Kennzahlen von PIN-Fotodioden

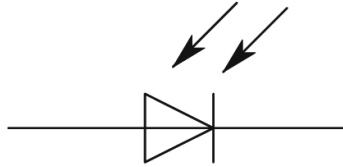


Abbildung 2-12: Schaltzeichen einer Fotodiode [8]

2.3.2.1 Dunkelstrom

Wenn die Fotodiode nicht beleuchtet wird, fließt dennoch, so wie auch bei normalen Dioden, ein so genannter Sperrstrom. Dieser wird bei Fotodioden Dunkelstrom genannt. [7]

2.3.2.2 Relative Fotoempfindlichkeit

Die relative Fotoempfindlichkeit sagt aus, wie empfindlich die Fotodiode auf bestimmte Lichtfrequenzen reagiert. [7]

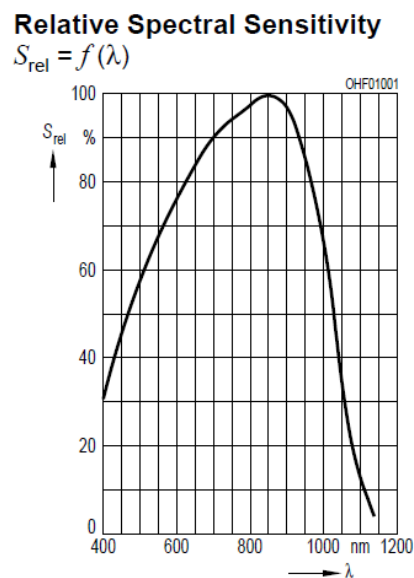


Abbildung 2-13: Spektrale Sensitivität der BPW34 Fotodiode [siehe Anhang]

2.3.2.3 Rauschen der PIN- Fotodiode

Das Rauschen der Fotodiode setzt sich aus mehreren Arten des Rauschens zusammen. Das so genannte Schrotrauschen entspricht dem Mittelwert aus Fotostrom und Dunkelstrom. Das thermische Rauschen beschreibt das temperaturabhängige Rauschen des Signals. [8]

In weiterer Folge wird die Summe des Rauschens als Grundrauschen bezeichnet.

2.3.2.4 Halbleistungspunkt

Der Winkel mit dem das Licht auf die Fotodiode trifft, ist ebenfalls entscheidend für die Intensität mit welcher das Licht detektiert wird. Beschrieben wird diese Eigenschaft durch den Halbleistungspunkt. [8]

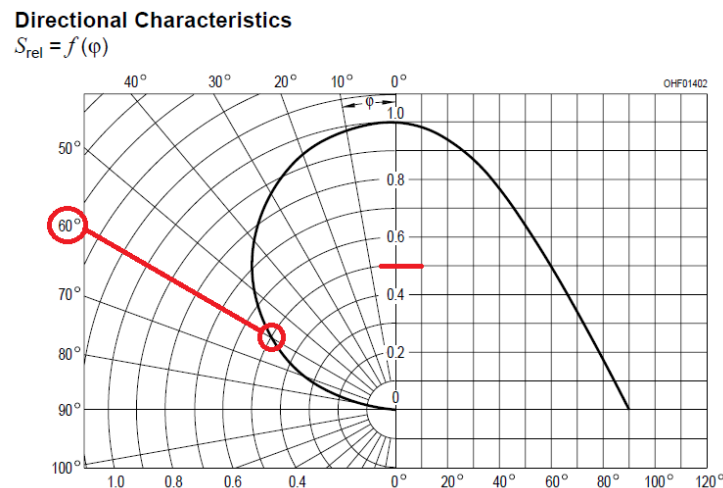


Abbildung 2-14: Halbleistungspunkt der BPW34 Fotodiode [siehe Anhang]

Der Halbleistungspunkt (auch Halbwinkel genannt) ist jener Einstrahlungswinkel zwischen Detektorfläche und Lichtstrahl, bei welchem die Hälfte der maximalen Empfindlichkeit vorhanden ist. Bei einem Einstrahlungswinkel von 0° (senkrecht auf die Detektorfläche) reagiert die Fotodiode mit der maximalen Empfindlichkeit. Der Halbwinkel der BPW34 Fotodiode beträgt 60° . [8]

2.4 Recherchen zu Verstärkerschaltungen

Auf die in der Arbeit angewandten Verstärkerschaltungen wird in Kapitel 5 eingegangen. In der Folge wird recherchiertes Grundlagenwissen zu Operationsverstärkerschaltungen erläutert.

2.4.1 Spannungsfolgerschaltung

Die ursprünglich angewandte Verstärkerschaltung ist ein Impedanzwandler, oder auch Spannungsfolger genannt.

Der Impedanzwandler ist eine spezielle Form eines nichtinvertierenden Verstärkers. [9]

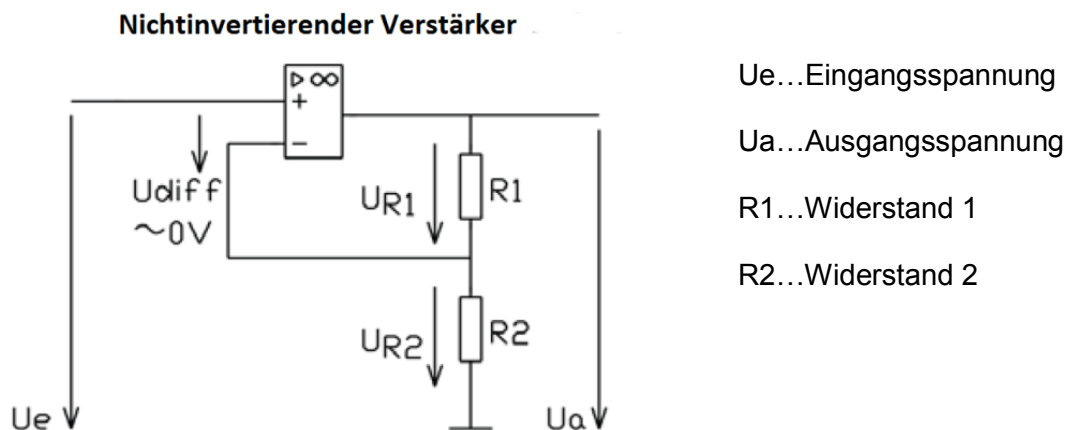


Abbildung 2-15: Nichtinvertierender Verstärker [9]

Die Eingangsspannung wird in Abhängigkeit von der Größe der Widerstände verstärkt.

Die Verstärkung entspricht

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Wie anhand der Formel zu erkennen ist, kann der Verstärkungsfaktor nicht kleiner als 1 sein. Wird nun ein unendlich großer Widerstand für R2 und ein Widerstand nahe 0 Ω für R1 in der Schaltung verwendet, erhält man eine Verstärkung von 1. Das heißt, dass Ue gleich groß wie Ua ist. [9]

Umwandlung zum Impedanzwandler

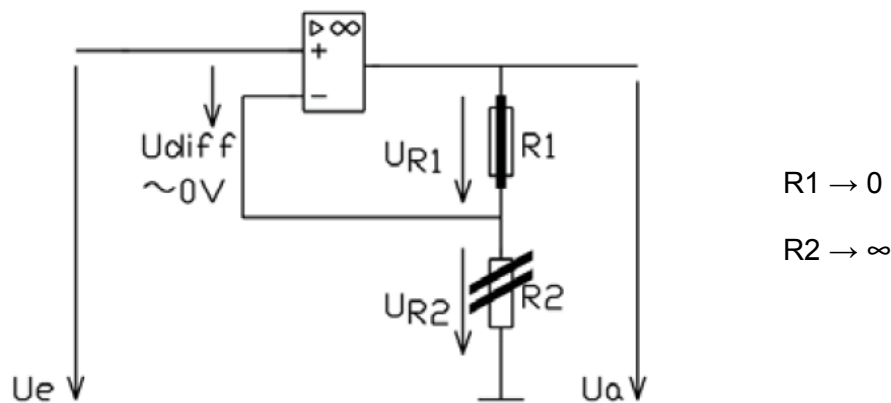


Abbildung 2-16: Umwandlung zum Impedanzwandler [9]

Diese Schaltung lässt eine hochohmige Spannungsquelle (hoher Eingangswiderstand) so wie eine kleinohmige Spannungsquelle (kleiner Ausgangswiderstand) nach außen hin wirken. [9]

Impedanzwandler

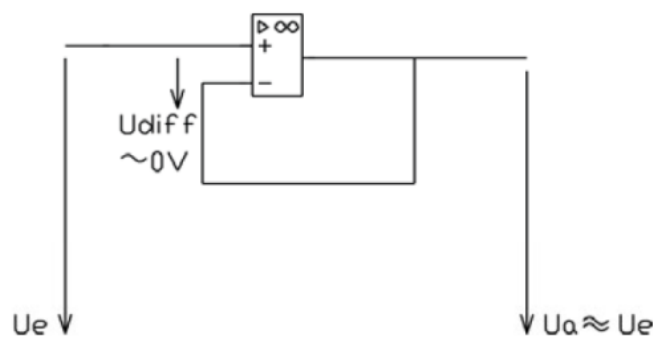


Abbildung 2-17: Schaltbild eines Impedanzwandlers [9]

2.4.2 Verstärkerschaltungen für Fotodioden

2.4.2.1 Fotovoltaischer Modus

In diesem Fall wird die Fotodiode im Kurzschluss betrieben (spannungsfrei). Diese Schaltung eignet sich besonders für die Messung kleiner Lichtintensitäten, da die einzige Stromquelle die Fotodiode ist. Aus diesem Grund sollte sich, wenn kein Licht auf die Fotodiode strahlt, auch ein offsetfreier Nullpunkt einstellen, von welchem aus sehr genau gemessen werden kann. Operationsverstärker mit niedrigem Eingangsoffsetstrom werden empfohlen. [10]

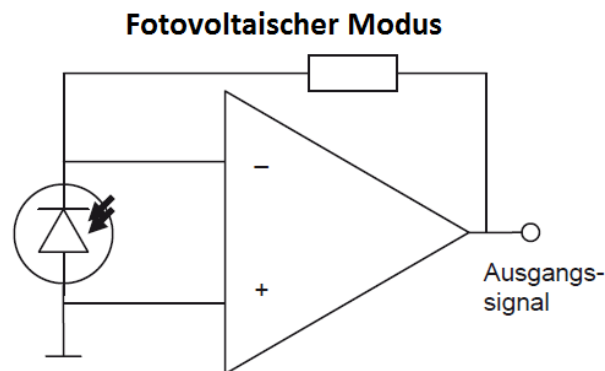


Abbildung 2-18: Fotovoltaischer Modus [10]

Dieser Aufbau wird auch als Elementbetrieb bezeichnet. Es wird darauf verwiesen, dass der fließende Dunkelstrom durch diese Art der Schaltung und die Tatsache, dass die Fotodiode spannungsfrei betrieben wird, beinahe null ist. Somit soll nur das Licht und kein Dunkelstrom gemessen werden. [8]

2.4.2.2 Betrieb mit negativer Vorspannung

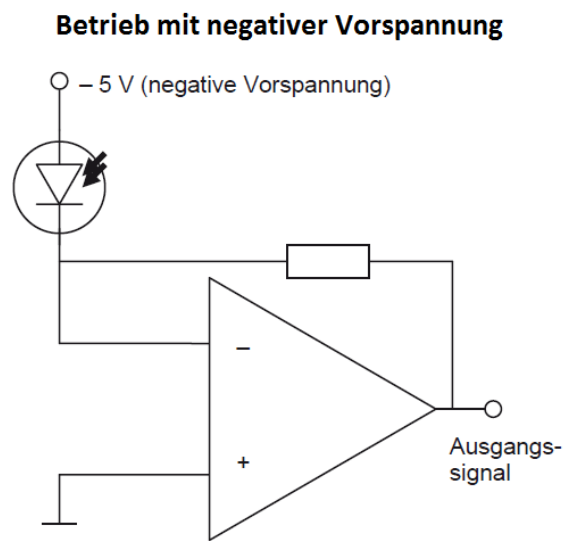


Abbildung 2-19: Betrieb mit negativer Vorspannung [10]

Da die Fotodiode vorgespannt ist, fließt ein Sperrstrom (Dunkelstrom), welcher temperaturabhängig ist. Dadurch ist der Nullpunkt des Signals nicht eindeutig festgelegt und es wird schwierig geringe Lichtintensitäten (Licht mit niedrigen Frequenzen und großer Wellenlänge) zu detektieren. Hochfrequentes Licht kann durch diesen Betriebsmodus besser detektiert werden. [10]

Bei dieser Schaltung wird auch von einer Belichtungsmessung gesprochen. Die am OPV Ausgang gemessene Spannung soll denselben Wert, wie der auf die Fotodiode treffenden Beleuchtungsstärke Lux haben, wenn der Widerstand der Schaltung richtig dimensioniert worden ist. Diese Schaltung verfügt aufgrund der Vorspannung über eine kürzere Ansprechzeit. [8]

2.5 Versuchsablauf einer Geschwindigkeitsmessung

Bevor Versuche durchgeführt werden, müssen alle benötigten Gerätschaften (Zündung, Messsystem, Förderschnecke, Abzug, Druckluft) auf Funktionsfähigkeit überprüft und deren Betriebsbereitschaft hergestellt werden. Dies beinhaltet den Anschluss aller nötigen Kabel und Leitungen. Teil der Vorbereitungsarbeiten ist es, die Förderschnecke mit Versuchsmaterial (Lykopodium) zu befüllen und in den Kopfteil der Anlage, welches sich am oberen Ende des Kunststoffrohres befindet, zu platzieren. Dabei ist darauf zu achten, dass der Austrag der Förderschnecke möglichst mittig über dem Kunststoffrohr positioniert ist. Dies ist für eine gleichmäßige Staub/Luft- Gemischbildung unerlässlich. Anschließend werden die elektrischen Anschlüsse der Förderschnecke verbunden und der Deckel des Kopfteils der Anlage verschlossen.

Nun kann der Versuch beginnen. Die Förderschnecke wird aktiviert und der brennbare Staub beginnt sich im Kunststoffrohr von oben nach unten zu verteilen. Sobald eine gleichmäßige Staubverteilung erreicht ist, wird die Messung aktiviert. Es kann einige Sekunden in Anspruch nehmen, bis die Messungsaufzeichnung ordnungsgemäß ihren Betrieb aufnimmt. Da nun ein brennbares Staub/Luft- Gemisch vorhanden ist und die Messung läuft, kann die Staubexplosion durch einen Zündfunken gestartet werden. Der Zündfunke wird im Fußteil der Anlage erzeugt. Die nötige Zündenergie für den Zündfunken wird von der Zündeinrichtung bereitgestellt. Per Tastschalter erfolgt die Freigabe der Initialenergie für die kontrollierte Staubexplosion. Es ist darauf zu achten, dass der Zündfunke nur so lange wie nötig erzeugt wird, da zusätzliche Zündfunken die Messung verfälschen könnten. Nach erfolgter Staubexplosion ist unverzüglich die Förderschnecke zu deaktivieren, da sich andernfalls eine stehende Flamme im oberen Bereich des Kunststoffrohres bilden könnte. Die Messung kann nun gestoppt werden. Der Abzug, welcher sich über der Versuchsanlage befindet, wird aktiviert und der Verschlussdeckel des T- Stückes geöffnet.

Des Weiteren wird die Druckluftzufuhr mit Hilfe eines Ventils aufgedreht. Somit strömt Luft in den unteren Bereich des Kunststoffrohres und drückt die Verbrennungsgase nach oben. Dort werden diese vom Abzugssystem abgesaugt. Dies ist notwendig um genügend Frischluft, beziehungsweise Sauerstoff für den nächsten Versuch in den Reaktionsraum zu bringen. Nach einigen Versuchen (etwa zehn) muss das Kunststoffrohr ausgebaut und gereinigt werden, da sich auf der Innenseite des Rohres Verbrennungsrückstände ablagern und somit die Messung verfälschen. Nach Beendigung der Versuche ist darauf zu achten, dass alle Gerätschaften deaktiviert werden. Die Zündeinrichtung birgt aufgrund der hohen

elektrischen Spannung ein großes Gefahrenpotenzial. Eventuell verbliebene Restenergie in der Zündeinrichtung ist durch das Betätigen des Auslösetasters der Anlage, in Form eines Zündfunken, zu entziehen.

3 Erfassung des aktuellen Anlagenzustandes

Um den gegenwärtigen Zustand und das Leistungsvermögen der Messanlage festzustellen und somit die Ausgangslage für Verbesserungen zu dokumentieren, werden Versuche mit der noch nicht modifizierten Anlage durchgeführt. Auf Basis dieser Messsignaldaten erfolgt danach eine Analyse, um Ansätze für Verbesserungen zu erarbeiten.

3.1 Allgemeines

3.1.1 Versuch zur Zeiterfassung

3.1.1.1 Zielsetzung

Ziel dieses Versuches ist es herauszufinden, wie lange die Förderschnecke betrieben werden muss, um eine gleichmäßige Verteilung von brennbarem Staub (Lykopolium) im Reaktionsraum (Kunststoffrohr) zu erreichen.

Bei jeder Staubexplosion lagern sich Verbrennungsrückstände auf der Innenseite des Kunststoffrohres ab, welche die Transparenz des Kunststoffrohres verringern. Daraus folgt, dass die optische Beurteilung der Staub/Luft- Konzentration im Kunststoffrohr mit der Durchführung jedes weiteren Versuches schwieriger wird. Somit wird es auch schwieriger den richtigen Zündzeitpunkt zu erkennen. Der Transparenzunterschied zwischen einem verschmutzten und einem unbenutzten, sauberen PMMA- Rohr ist klar zu erkennen.



Abbildung 3-1: Transparenzunterschied

Wird die in diesem Versuch erhobene Zeitdauer berücksichtigt, können in der Folge Versuche durchgeführt werden, auch wenn eine optische Beurteilung der Staub/Luft-Konzentration nicht einwandfrei möglich ist. Vorausgesetzt wird jedoch, dass die Versuchsbedingungen konstant sind, da sich die ermittelte Zeitdauer bis zum Erreichen der gleichmäßigen Verteilung auf den Umgebungsdruck bezieht (1013mbar).

3.1.1.2 Versuchsbeschreibung

Zu Beginn wird die Förderschnecke mit Versuchsmaterial (Lycopodium) befüllt und mit der Auswurföffnung über dem Kunststoffrohr mittig positioniert. Danach werden die elektrischen Anschlüsse der Förderschnecke mit der Spannungsquelle (Netzgerät) verbunden. Anschließend wird das Netzgerät in Betrieb genommen, wodurch die Förderschnecke ihre Arbeit aufnimmt. Gleichzeitig beginnt die Zeitmessung. Bei Erreichen einer optisch festgestellten gleichmäßigen Staubverteilung, beziehungsweise eines über den Versuchsraum konstanten Staub/Luft Gemisches, wird die Zeitmessung beendet.

3.1.1.3 Erkenntnisse

Wie bei Wieser [11] festgestellt, hat es tatsächlich 15 bis 20 Sekunden gedauert, bis sich die gewünschte gleichmäßige Staub/Luft- Konzentration eingestellt hat. Diese Zeitdauer scheint beinahe unabhängig von der Größe der Staub/Luft- Konzentration, beziehungsweise von der Fördergeschwindigkeit der Förderschnecke zu sein.

3.2 Dokumentation des Messsignals

3.2.1 Zielsetzung

Wie schon beschrieben soll der Ist- Stand der vorhandenen Messanlage dokumentiert werden. Das heißt die Messgenauigkeit soll erhoben werden.

3.2.2 Versuchsbedingungen

Um festzustellen, welche Messgenauigkeit die Anlage erreicht, werden Versuche wie in Kapitel 2.5 beschrieben durchgeführt. Diese Daten sind die Grundlage für die anschließende Analyse. Bei den Versuchen herrscht Umgebungsdruck (keine Manipulation der Druckverhältnisse) und die Förderschnecke wird mit einer Spannung von annähernd 3V betrieben. Da eine exakte Spannungsregelung mit dem verwendeten Netzgerät nicht möglich ist, muss eine Spannungsabweichung von $\pm 0,1V$ toleriert werden.

Aufgrund der Bedingungen im Kunststoffrohr wird die Geschwindigkeit der Flammenfront mit ansteigender Höhe verfälscht. Durch die freiwerdende Energie verändern sich die Druckbedingungen unter der Flammenfront und drücken diese zusätzlich nach oben. Da die Verbrennung in einem Rohr stattfindet, treten Turbulenzeffekte auf, welche die Flammenfront zusätzlich beschleunigen. Aus diesem Grund sind besonders die Signale der unteren Fotodioden für eine unverfälschte Geschwindigkeitsmessung relevant.

Bei den ersten Versuchen ist ein Operationsverstärker beschädigt worden und war somit nicht mehr funktionsfähig. Vermutlich sind elektromagnetische Wellen, welche von der Zündeinrichtung stammten, dafür verantwortlich gewesen.

Aufgrund der nicht vollständigen Funktionsfähigkeit des Messsystems (zweite Fotodiode von unten gezählt, funktionierte nicht) musste die Anordnung der Fotodioden verändert werden. Um Signale aus dem unteren Bereich des Kunststoffrohres zu erhalten, ist die Leiste in welcher die Fotodioden montiert waren, umgedreht worden (oberes Ende nach unten). Da die beiden Fotodioden, welche sich ursprünglich am oberen Teil der Leiste befunden hatten, noch funktionierten, konnte durch diese neue Anordnung die Geschwindigkeit im nicht verfälschten unteren Bereich des Reaktionsraumes gemessen werden.

3.3 Erkenntnisse aus der Analyse des Messsignals

Es sind zehn Versuche durchgeführt und untersucht worden. Naturgemäß unterscheiden sich die Staubexplosionen in ihrer Form geringfügig voneinander. Die grundsätzlichen Verläufe der Messsignalgraphen und markante Signalspitzen sind jedoch in allen zehn Versuchsdurchgängen ähnlich aufgetreten.

3.3.1 Grobanalyse

Bei Betrachtung der gesammelten Daten am Beispiel eines Versuches (Diagramme, Spannung zu Zeit), sind einige Auffälligkeiten zu erkennen, wobei nicht alle auf Anrieb erklärt werden können. Stellvertretend wird der Versuch mit der Nummer 070907 analysiert. Die Messung umfasst sieben Messsignale. Drei der sieben Messsignale dienen den Temperaturmessungen, die restlichen vier Messsignale werden von Fotodioden erzeugt. Anhand der Zeit/Spannungsdiagramme der Messsignalen werden die erwähnten Auffälligkeiten veranschaulicht.

1. Es ist zu erkennen, dass die erste Sekunde der Messung den Wert 0V anzeigt.
2. Die zweite Sekunde scheint, wie auch die erste Sekunde, nicht dem tatsächlichen Signal zu entsprechen.

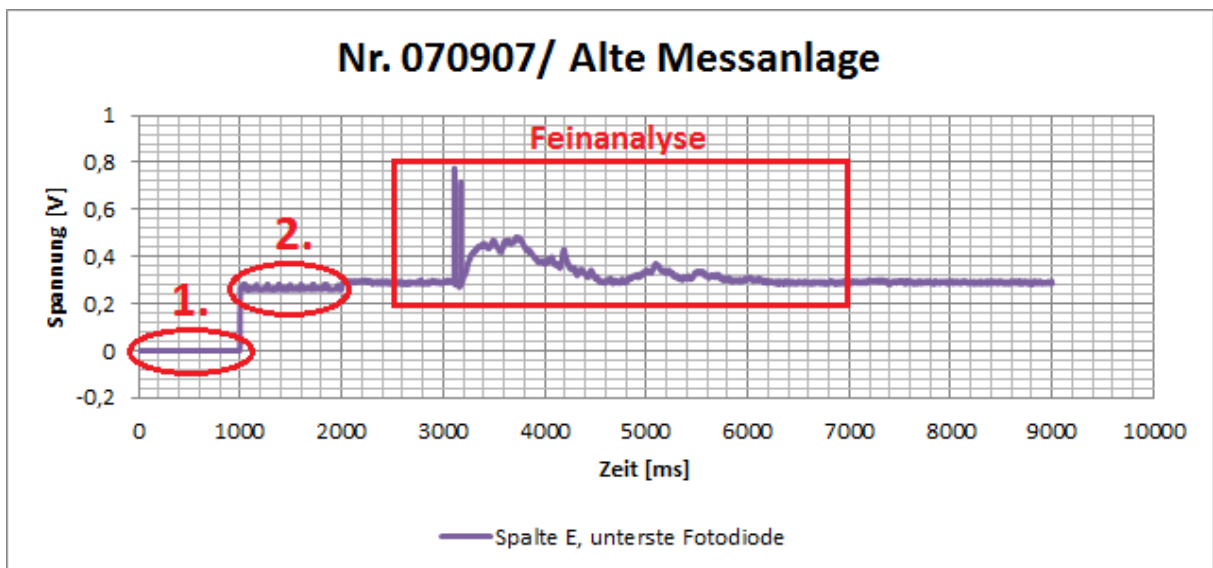


Abbildung 3-2: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der untersten Fotodiode

3. Das Grundrauschen des Signals (Grundsignal) der beiden untersten und somit relevanten Fotodioden beträgt etwa 0,3V.
4. Markante Signale, welche vermutlich durch elektromagnetische Wellen von der Zündeinrichtung verursacht werden, stören die Signalaufzeichnung.

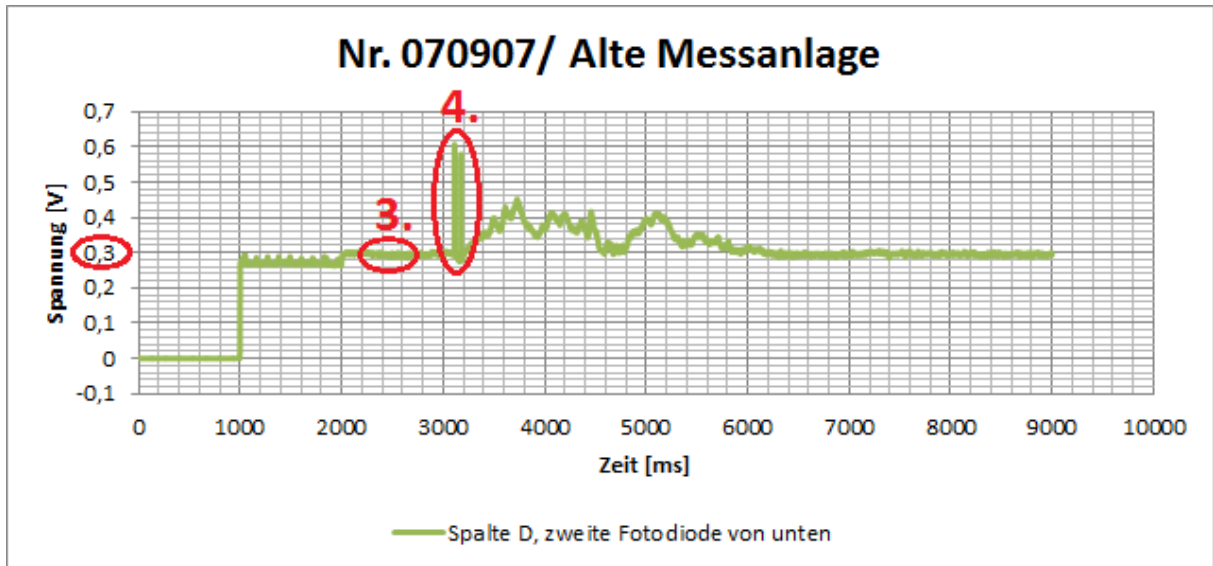


Abbildung 3-3: Nr. 070909, Alte Messanlage, Signal der zweiten Fotodiode von unten

5. Die genaue Ursache für die Fehlfunktion der zweiten Fotodiode von oben konnte nicht geklärt werden. Eventuell ist sie beschädigt worden. Dennoch sind Ausschläge im Bereich des Zündzeitpunktes und der Staubexplosion zu erkennen.
6. Das Grundrauschen liegt knapp über 3V.

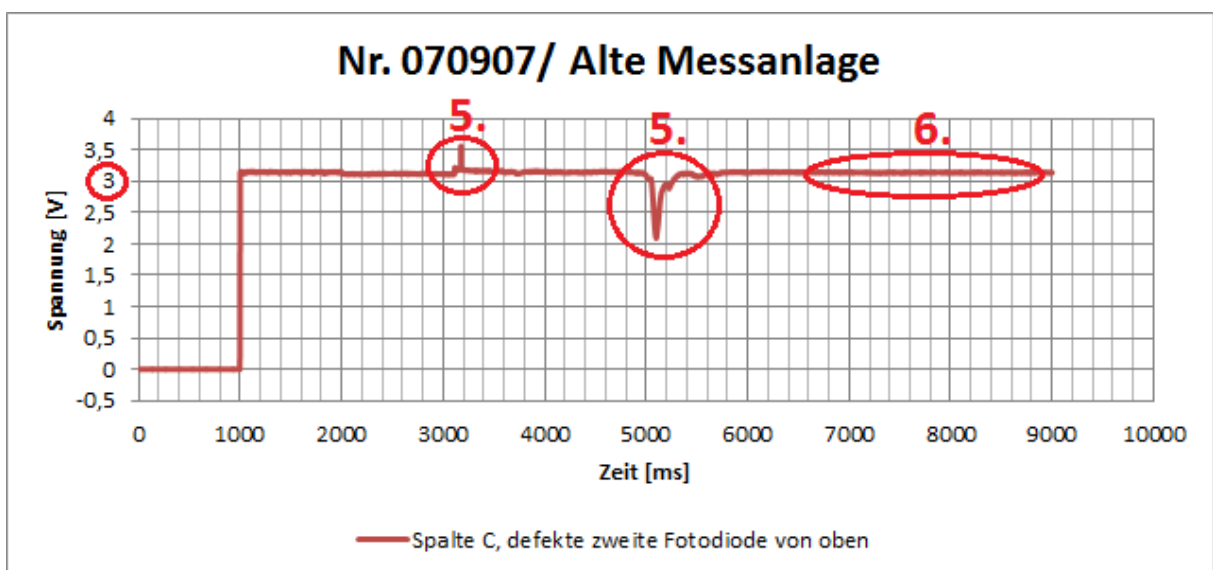


Abbildung 3-4: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der zweiten Fotodiode von oben

7. Der Störpuls ist im Vergleich zu den beiden untersten Fotodioden relativ schwach.

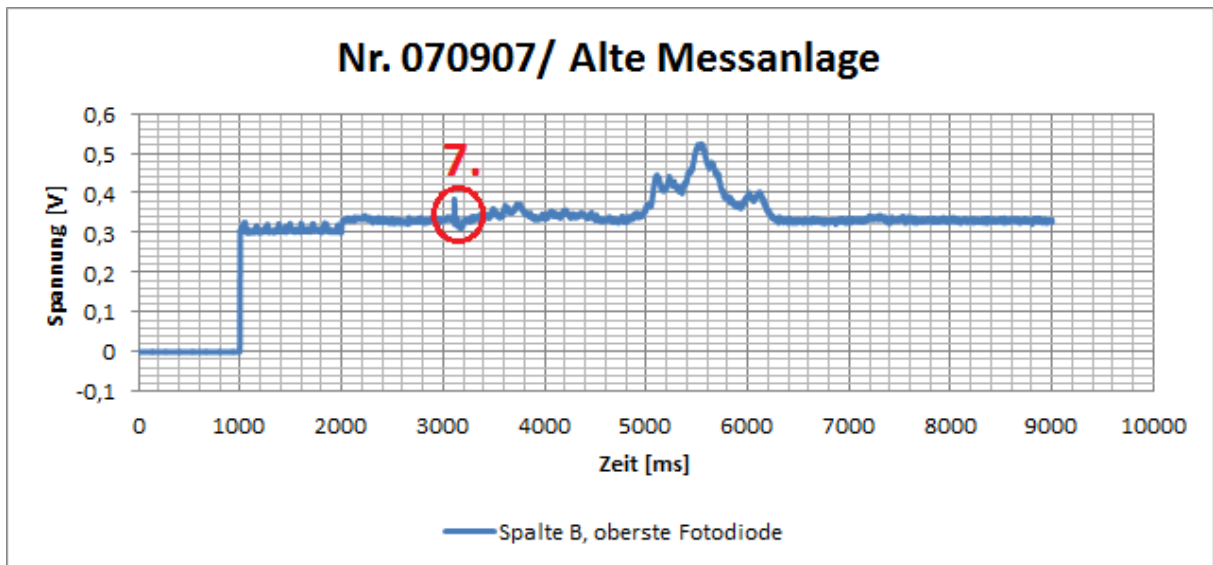


Abbildung 3-5: Nr.070907, Alte Messanlage, Signal der obersten Fotodiode

8. Obwohl bei den Messkanälen für die Temperaturmessung keine Temperatursensoren angeschlossen sind, werden Signale angezeigt. Außerdem ist zu beachten, dass die Dimension der Spannungswerte (um 40V beziehungsweise um 1400V) der drei Temperaturmessungen nicht korrekt sein können. Da diese Messungen für die eigentliche Problemstellung jedoch nicht relevant sind, wird auf die falsche Dimension der Spannungswerte nicht weiter eingegangen.

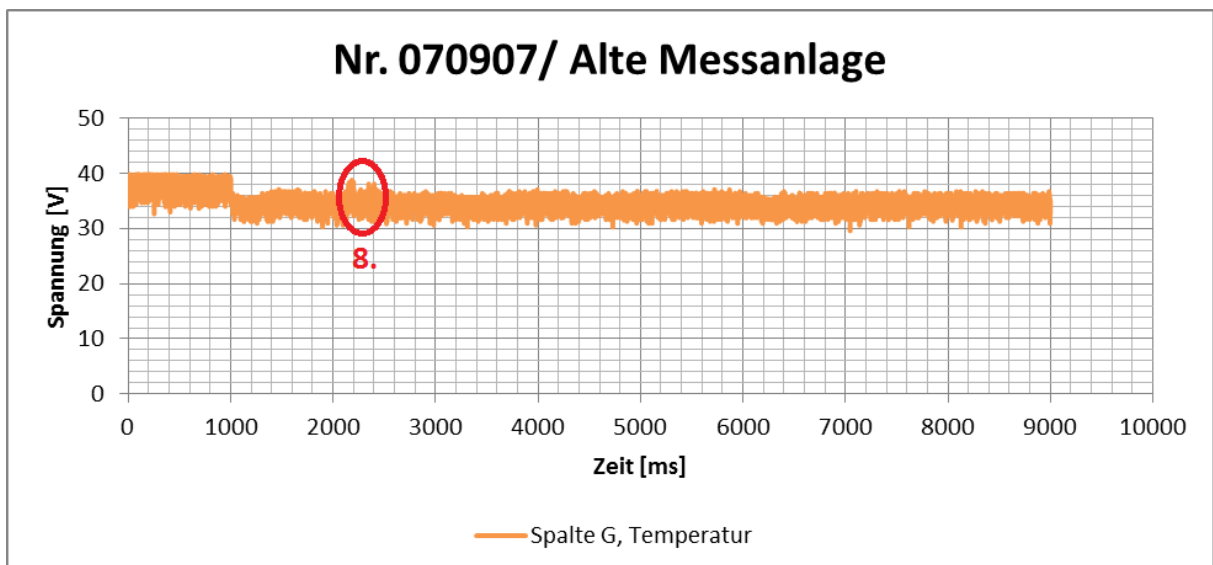


Abbildung 3-6: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der Temperaturmessung

9. Besonders auffällig sind Störimpulse bei der Temperaturmessung (Spalte H), da keine Sensoren angeschlossen sind, welche diese Störimpulse empfangen könnten. Weiters ist zu erkennen, dass die Störimpulse kurz nach 2000ms und nicht wie bei den Fotodioden kurz nach 3000ms auftreten. Dabei handelt es sich vermutlich um ein Problem der Datenaufzeichnung und Verarbeitung.

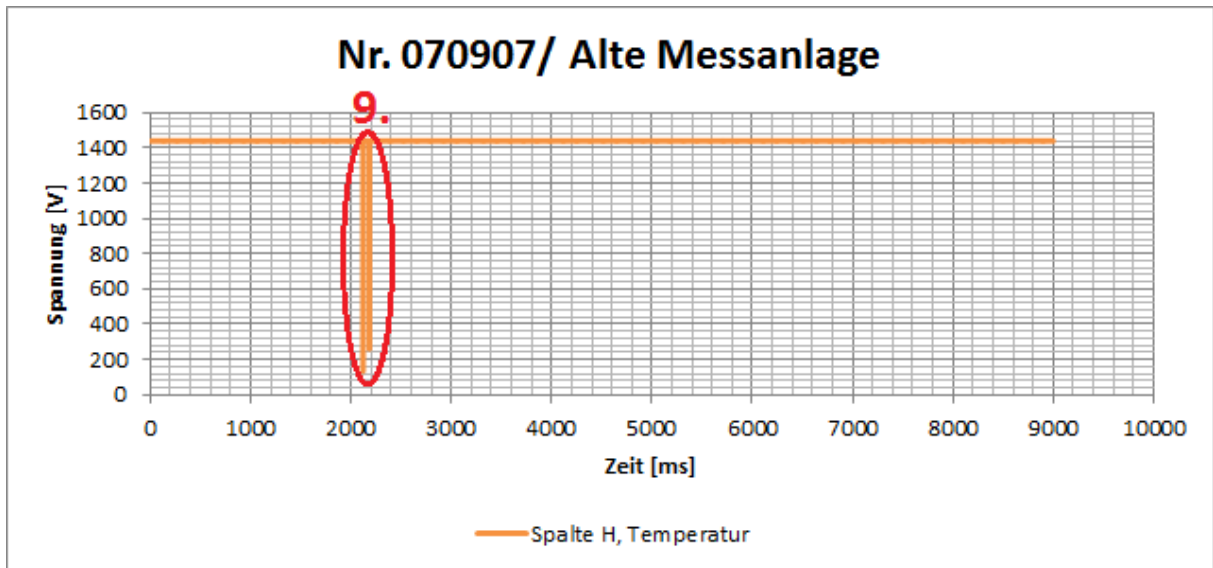


Abbildung 3-7: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der Temperaturmessung

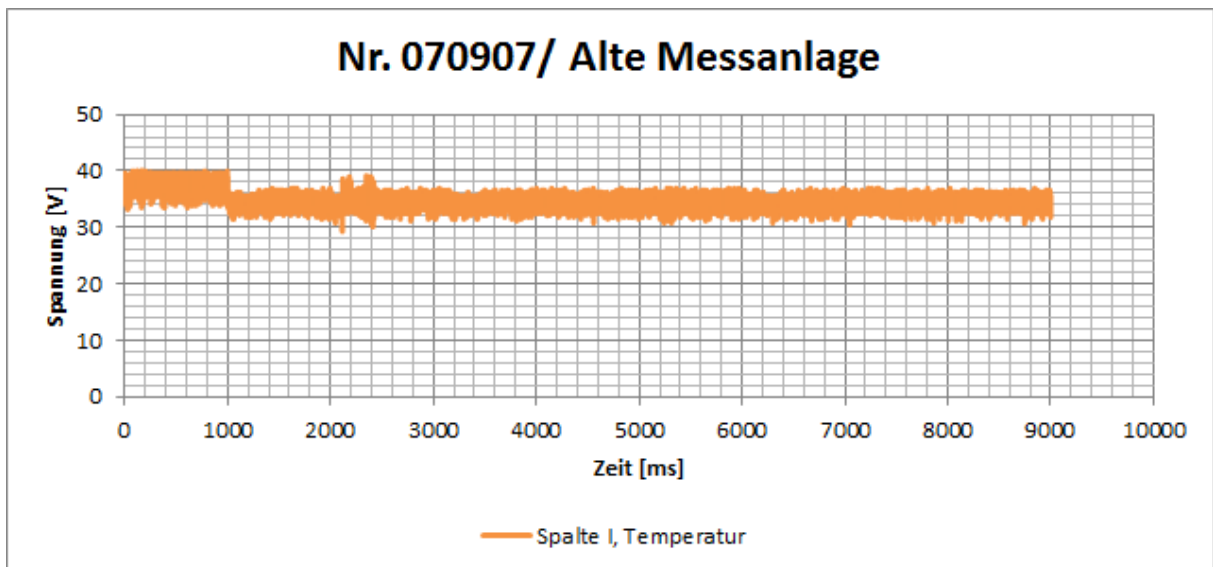


Abbildung 3-8: Nr. 070907, Alte Messanlage, Signal der Temperaturmessung

Zur Veranschaulichung der letzten Auffälligkeit müssen die Zeit/Spannungsdiagramme eines anderen Versuches gezeigt werden.

10. Bei manchen Versuchen (z.B. Versuch Nr. 070910) sind lange nach der Zündung Störimpulse detektiert worden. Diese zeigen jedoch ebenfalls die Zeitverzögerung zwischen Fotodioden und Temperaturmessung.

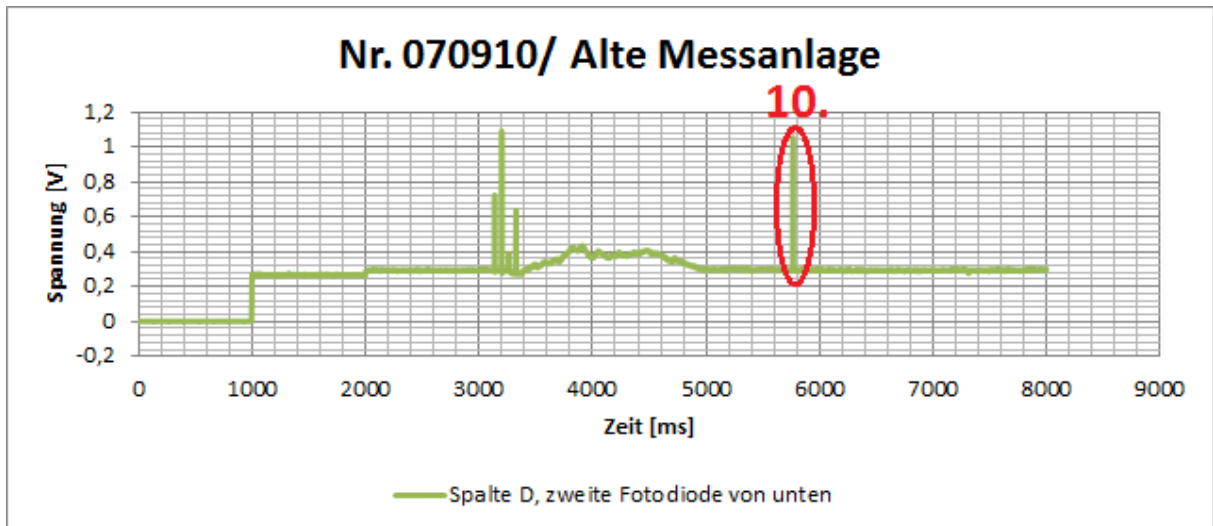


Abbildung 3-9: Nr. 070910, Alte Messanlage, Signal der zweiten Fotodiode von unten

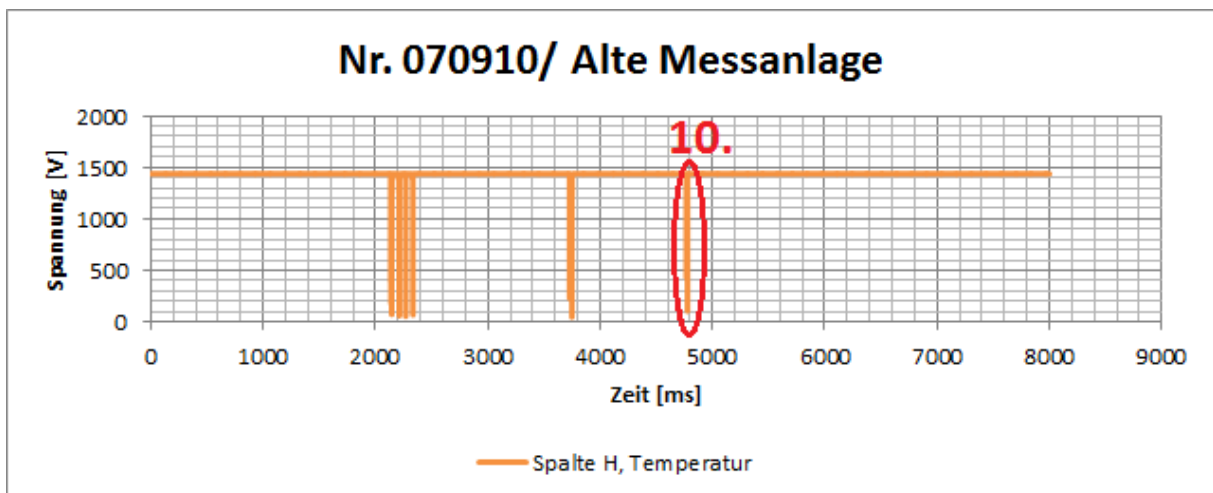


Abbildung 3-10: Nr. 070910, Alte Messanlage, Temperatur

3.3.1.1 Zusammenfassung der Auffälligkeiten aus der Grobanalyse

1. Die erste Messsekunde hat den Wert 0V (nur bei den Fotodioden).
2. Die zweite Messsekunde scheint ebenfalls nicht korrekt gemessen zu werden.
3. Das Grundrauschen der beiden unteren Fotodioden liegt bei etwa 0,3V.
4. Die Störimpulse finden unmittelbar vor der Staubexplosion statt.
5. Die Ursache der Fehlfunktion der zweiten Fotodiode von oben ist nicht bekannt.
6. Das Grundrauschen der zweiten Fotodiode von oben liegt bei etwa 3V.
7. Die Störimpulse, die von den beiden unteren Fotodioden detektiert werden, sind stärker als jener der beiden oberen.
8. Obwohl an den Kanälen der Temperaturmessung keine Sensoren angebracht sind, werden Signale gemessen.
9. Die Temperaturmessung und die Messungen der Fotodioden finden um etwa eine Sekunde zeitverzögert statt. Die zweite Sekunde der Temperaturmessung entspricht der dritten Sekunde der Fotodiodenmessung.
10. Teilweise werden nach der Staubexplosion Störimpulse aufgezeichnet. Diese können jedoch nicht mit dem Zündvorgang zusammenhängen, da dieser früher stattfindet. Wie sich später herausstellen wird, stammen diese Störimpulse vom Ein- und Ausschalten der Förderschnecke (siehe Kapitel 4.9).

3.3.2 Feinanalyse

Die Messsignale der beiden untersten Fotodioden, welche für die Flammengeschwindigkeitsmessung besonders interessant sind, werden genauer untersucht. Das Vorbeiziehen der Flammenfront an den Fotodioden ist anhand der Signalveränderung gut zu erkennen. Im Zuge der Analyse wird das Signal in Bereiche ähnlicher Charakteristik aufgeteilt. Dies erleichtert die Diskussion der Vorgänge.

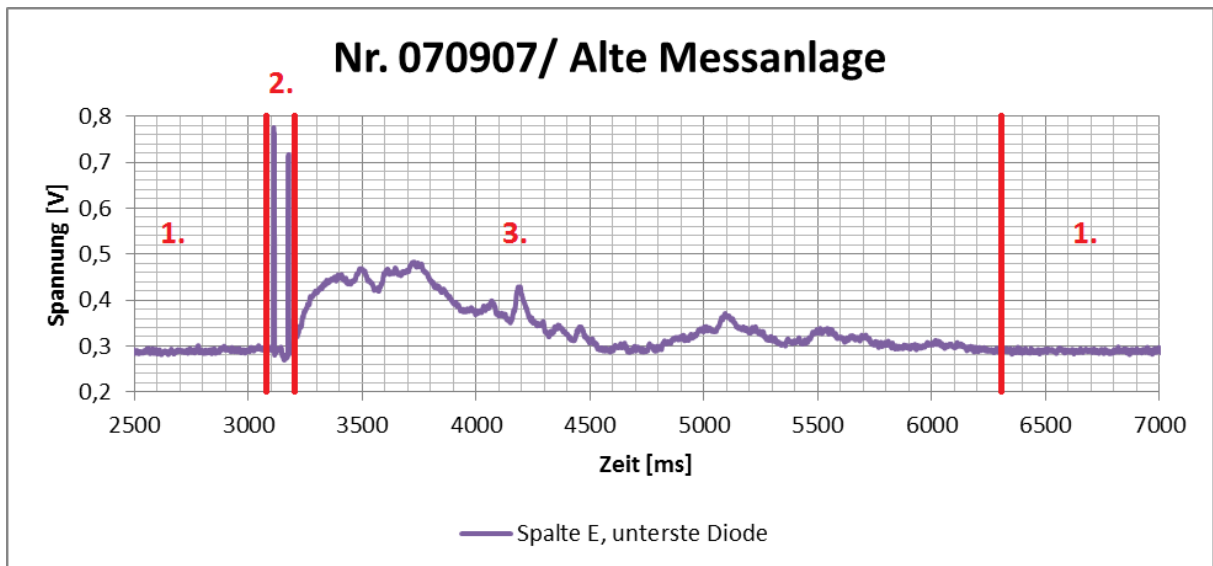


Abbildung 3-11: Nr. 070907, Alte Messung, Signal der untersten Fotodiode (2,5-7s)

1. Das Grundrauschen kommt hauptsächlich durch das einstrahlende Licht der Umgebung zustande und wird vor und nach der Staubexplosion detektiert. Grundsätzlich sollten keine niedrigeren Werte gemessen werden.
2. Im Bereich 2 findet die Zündung statt. Da in diesem Bereich Störimpulse detektiert werden, deren Ursachen noch nicht festgestellt worden sind (evt. Licht des Zündfunkens), kann vorerst nicht geklärt werden, wie dieser Signalbereich zu interpretieren ist.
3. Das von der Staubexplosion verursachte Signal dauert insgesamt bis zu 4s an. In diesem Zeitbereich misst die Fotodioden wesentlich mehr Licht. Zu welchem Zeitpunkt in diesem Zeitbereich sich die Flammenfront der Hauptexplosion auf Höhe der Fotodiode befindet, gilt es zu messen, beziehungsweise zu interpretieren. Vermutlich handelt es sich bei den lokal auftretenden Maxima um Nachzündungen.

3.3.2.1 Beschreibung von Qualitätsmerkmalen und Kennzahlen

Anhand dieses Signals (Versuch Nr. 070907) ist der gesuchte Zeitpunkt nicht präzise auszumachen und kann folglich nur interpretiert werden. Vorerst wird lediglich nach Möglichkeiten gesucht, um die Qualität des Signals zu bewerten, damit Signale unterschiedlicher Messsysteme vergleichbar werden. Diese Qualitätsmerkmale definieren die durch die Veränderung des Messsystems angestrebten Ziele. Um die Signalqualität noch differenzierter beschreiben zu können, macht es Sinn Kennzahlen einzuführen.

- Obergrenze des Grundrauschens (Qualitätsmerkmal 1): Es ist zu erkennen (siehe Abbildung 3-11 Bereich 1), dass vor der Staubexplosion ein gewisses Grundrauschen oder Grundsignal vorherrscht. Dieses schwankt im Bereich von $\pm 0,02V$ um den Wert $0,3V$. Dieser Wert wird angezeigt, ohne dass das zu detektierende Ereignis (Vorbeiziehen der Flammenfront an der Fotodiode) ein Signal verursacht. Das Grundrauschen kann somit als Grundniveau gesehen werden, da keine niedrigeren Werte angezeigt werden sollten. Da in erster Linie die Signale, größer als die Obergrenze des Grundrauschens, von Interesse sind, ist das Schwanken des Grundrauschens zweitrangig.
- Signalmaximum (Qualitätsmerkmal 2): Das Signalmaximum, abgesehen von den Störimpulsen, liegt bei einem Wert von $0,48V$. Da ein Maximum einen markanten Punkt eines Signals darstellt, kann es für die Vergleichbarkeit von Messmethoden ein wichtiger Parameter sein.
- Dauer des Gesamtsignals (Qualitätsmerkmal 3): Die Dauer des Gesamtsignals beginnt mit dem Zeitpunkt T_{Start} und dauert bis zum Zeitpunkt T_{Ende} (siehe Abbildung 3-12). Je länger das Signal größer als das Grundrauschen ist, desto größer ist der Zeitbereich der interpretiert werden muss. Ist die Dauer des Signals von vornherein kurz, wird dadurch die Möglichkeit, Interpretationsfehler zu machen, verringert (siehe Abbildung 3-11).
- Differenz zwischen Minima und Maxima (Qualitätsmerkmal 4): Je größer die Spannungsunterschiede zwischen Signalminima und Signalmaxima sind, desto einfacher ist die Interpretation des Signals. Beispielsweise lässt sich dadurch

leichter zwischen Hauptflammenfront und diversen Nachverbrennungen unterscheiden.

- Kennzahl 1: Sie steht für das Verhältnis zwischen dem Maximum (Qualitätsmerkmal 2) und dem Wert des Grundrauschens (Qualitätsmerkmal 1). Mit dieser Kennzahl kann deutlich gemacht werden wie gut, beziehungsweise schlecht die Sensitivität der Fotodiode mit der entsprechend angewandten Messmethode ausgenutzt werden kann. Das heißt, wie gut ihr Leistungsvermögen ausgeschöpft wird. Es sollte danach gestrebt werden, ein möglichst großes Maximum und ein möglichst kleines Grundrauschen zu detektieren.
- Kennzahl 2: Beschreibt den vermutlich relevanten Zeitbereich. Dieser Zeitbereich dauert von Zeitpunkt T_{Start} bis Zeitpunkt T_{MAX} . T_{Start} entspricht jenem Zeitpunkt, an welchem die Obergrenze des Grundrauschens überschritten wird. T_{MAX} entspricht dem Zeitpunkt des Signalmaximums (ausgenommen Störsignale).

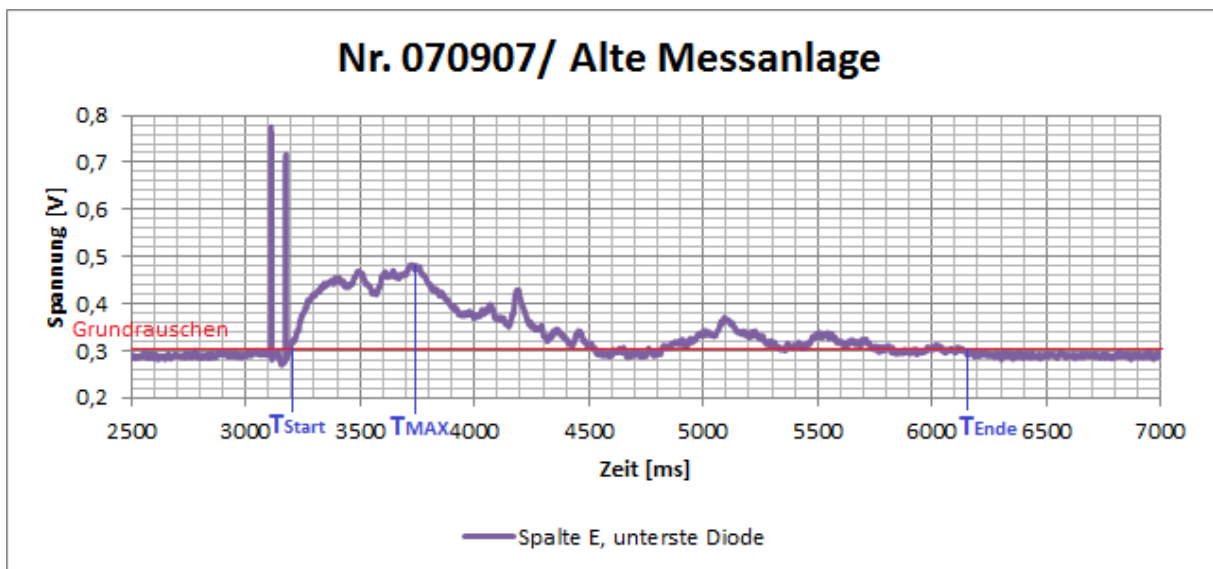


Abbildung 3-12: Definition der Zeitpunkte

Es wird davon ausgegangen, dass die Flammenfront in diesem Zeitbereich an der Fotodiode vorbeizieht. Diese These stützt sich auf die Vermutung, dass die Flammenfront der Hauptexplosion durch die erste bedeutende Signalsteigerung (bezogen auf das Grundsignal) detektiert wird. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass diverse Fehlzündungen

und Nachzündungen auftreten können. Diese machen es schwierig jenes Maximum, welches von der Hauptexplosion verursacht wird, zu erkennen.

Wäre die Flammenfront unendlich dünn und würden keine Fehl- oder Nachzündungen auftreten, so würden T_{Start} , T_{MAX} und T_{Ende} zu einem Zeitpunkt zusammenfallen. Jede Verkürzung der Zeitbereiche zwischen T_{Start} und T_{MAX} beziehungsweise zwischen T_{Start} und T_{Ende} , wäre als Verbesserung des Messsystems zu werten.

3.3.2.2 Ermittlung von Kennzahlen und Qualitätsmerkmalen

Es sind 10 Versuche durchgeführt und analysiert worden. Da sich die Flammen der Staubexplosionen nie vollkommen gleich wiederholen, unterscheiden sich die Messsignale leicht voneinander. Jedoch lies sich nachweisen, dass die Kennzahlen der jeweiligen Durchgänge nur geringfügig voneinander abweichen. Die folgende Tabelle beinhaltet die Kennzahlen der Versuche 070901 bis 070910.

Tabelle 3-I: Versuchsauswertung

Versuch	Modifikation	Obergrenze des Grundrauschens [V]	Maximum [V]	MAX/Obergrenze [V]	MAX - Obergrenze [V]	TS (Start des Signals) [ms]	TE (Ende des Signals) [ms]	TE-TS [ms]
Nr. 070901	keine	0,31	0,432	1,394	0,122	4108	6852	2744
Nr. 070902	keine	0,31	0,414	1,335	0,104	3276	5211	1935
Nr. 070903	keine	0,31	0,418	1,348	0,108	4400	6281	1881
Nr. 070904	keine	0,31	0,392	1,265	0,082	3103	5022	1919
Nr. 070905	keine	0,31	0,413	1,332	0,103	2836	5284	2448
Nr. 070906	keine	0,31	0,466	1,503	0,156	4263	6374	2111
Nr. 070907	keine	0,31	0,485	1,565	0,175	3197	6034	2837
Nr. 070908	keine	0,31	0,47	1,516	0,16	3224	5100	1876
Nr. 070909	keine	0,31	0,475	1,532	0,165	3809	6555	2746
Nr. 070910	keine	0,31	0,455	1,468	0,145	3374	4825	1451
Durchschnitt	keine	0,31	0,442	1,4258	0,132	3559	5753,8	2194,8

Die Auswertung des Zeitbereiches (T_{Start} bis T_{MAX}) ist bewusst nicht angeführt worden, da aufgrund der Signalqualität sich zu große Zeitunterschiede zwischen den Versuchen ergeben haben. Die Ergebnisse sind somit nicht aussagekräftig.

3.3.3 Erkenntnisse

Aus den gesammelten Informationen und Daten lassen sich die für eine Verbesserung des Messsignals entscheidenden Ziele ableiten.

3.3.3.1 Erkenntnisse aus der Grobanalyse

- Da die Störsignale (siehe Abbildung 3-11 Bereich 2) genau zwischen Grundsignal und Flammdetektion auftreten, ist es anzustreben diese möglichst zu minimieren.
- Auffälligkeiten, wie die offensichtlich nicht korrekte Messung in den ersten beiden Sekunden oder Störimpulse nach der Flammendetektion, sind für die primäre Problemstellung weniger von Bedeutung.

3.3.3.2 Erkenntnisse aus der Feinanalyse

- Um die Sensitivität der Fotodioden bestmöglich ausnutzen zu können, sollte das Grundrauschen weitest möglich abgesenkt werden. Das Grundsignal ist die Bezugsbasis und hätte im Idealfall den Wert 0V.
- Wie bereits angedeutet, sollten die Zeitbereiche (Gesamtdauer des Signals und Kennzahl 2) minimiert werden, da sich die Größen der Zeitbereiche direktproportional auf mögliche Interpretationsfehler auswirkt.
- Maxima und Minima sollten intensiver dargestellt werden, um eine eindeutigere Unterscheidung zwischen Haupt- und Nachzündungen treffen zu können.

4 Optimierung des Messsignals

Um das Messsignal zu verbessern, werden an der Versuchsanlage Modifikationen vorgenommen. In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Optimierungsmaßnahmen beschrieben und deren Wirksamkeit mit Hilfe von Versuchen untersucht.

4.1 Allgemeines

Das Hauptziel ist letzten Endes, ein möglichst aussagekräftiges Messsignal zu erhalten. Die mit den Modifikationen angestrebten Teilziele ergeben sich aus der Analyse (siehe Kapitel 3).

- Die **Störimpulse** sollen beseitigt oder zumindest verringert werden.

Sie sind zwar meist nur von kurzer Dauer, dennoch lassen sie in diesem Zeitraum keine Interpretation des Verbrennungsvorganges zu. Die Störsignale markieren jedoch den Bereich der Zündphase, beziehungsweise lassen sich dadurch bei der Signalauswertung Fehlzündungen erkennen.

- Das **Grundsignal** (Grundrauschen) soll soweit wie möglich abgesenkt werden.

Die Fotodiode detektiert im Verhältnis zum Maximalsignal ein relativ hohes Grundsignal, wodurch die Sensitivität eingeschränkt wird. Aus diesem Grund soll

versucht werden das Grundsignal zu senken, um die Empfindlichkeit der Fotodiode besser ausnutzen zu können.

- Durch Steigern der **Signalmaxima** und Senken der **Signalminima** werden die detektierten Profile der Messsignale klarer. Ziel ist es, ein Messsignal aufzuzeichnen, welches ein möglichst genaues Abbild des Verbrennungsvorganges widerspiegelt.
- Die **Zeitbereiche** sollen verkleinert werden. Dadurch wird der zu interpretierende Zeitbereich kleiner und es lässt sich einfacher feststellen, zu welchem Zeitpunkt die Flammenfront der Hauptverbrennung sich auf Höhe der Fotodioden befindet.

Die Flammenfront ist jene Schicht, in welcher die exothermen Hauptreaktionen stattfinden. Durch diese Reaktionen wird das zu detektierende Licht freigesetzt. Es wird vermutet, dass in dem Zeitbereich (siehe Abbildung 3-12) zwischen T_{Start} und T_{MAX} die Flammenfront an der Fotodiode vorbeizieht. Da in der Zeit vor T_{Start} eine beinahe konstante Spannung gemessen wird, ist es auszuschließen, dass eine große Lichtemission (Flammenfront) auf Höhe der Fotodiode stattfindet. Außerdem ist anzunehmen, dass nach dem Überschreiten des maximalen Spannungswertes (abgesehen von den Störimpulsen) die Flammenfront den Hauptdetektionsbereich der Fotodiode durchquert hat. Es ist jedoch auch vorgekommen, dass die maximale Lichtemission von einer Nachzündung verursacht worden ist (siehe Abbildung 4-10).

Aus der Analyse des Messsignals ergeben sich die Ansatzpunkte für Optimierungen des Messsystems. Um die gesetzten Ziele zu realisieren wird zuerst überlegt, welche Maßnahme hypothetisch Verbesserungen des Signals bewirken könnten. Anschließend werden diese Hypothesen mit dem Durchführen von Versuchen entweder bestätigt oder widerlegt und lassen so weitere Schlüsse zu.

4.1.1 Fotodioden- Montage

Für die Versuche wird eine andere Art der Fotodioden- Montage eingesetzt.

In der Abbildung 4-1 ist die bisher verwendete Fotodioden- Montage zu erkennen.



Abbildung 4-1: Fotodioden in Montageleiste

Die in Abbildung 4-2 abgebildete Montage hat sich als wesentlich praktikabler erwiesen.

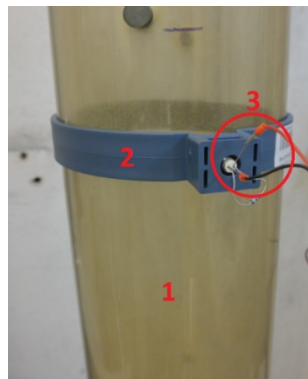


Abbildung 4-2: Neue Fotodioden- Montage

1. **Kunststoffrohr** aus PMMA (Reaktionsraum)
2. **Kunststoffschelle** mit Hebelverschluss
3. Die **Fotodiode** ist mit Hilfe einer Fassung in die Kunststoffschelle montiert. Auf diesem Foto ist auch das zweiadrige Signalkabel zu erkennen.

4.2 Untersuchung der Störimpulse beim Zündvorgang

Da die Ursache der Störsignale (Störimpulse) unklar gewesen ist, mussten viele mögliche Ursachen und Lösungsansätze untersucht werden. Dies hat dazu geführt, dass sehr viele verschiedene Versuche durchgeführt worden sind. In der Folge werden diese zusammengefasst diskutiert.

4.2.1 Zielsetzung

Es soll untersucht werden, wodurch die Störimpulse erzeugt werden und wie man sie reduzieren kann. Genauer gesagt, soll festgestellt werden wo und wie die Störsignale erzeugt, beziehungsweise wo und wie sie detektiert werden.

4.2.2 Versuchsbeschreibung

Um die Ursache für die Störimpulse zu erforschen, werden die entsprechenden Versuchsaufbauten arrangiert, die Messaufzeichnung aktiviert und anschließend die Zündung betätigt. Die gewonnenen Messdaten geben Auskunft über die Auswirkungen des entsprechenden Versuchsaufbaues. Die Förderschnecke ist bei diesen Versuchen nicht zum Einsatz gekommen, da die Erzeugung einer Staubexplosion nicht erforderlich gewesen ist, um Erkenntnisse über dieses spezielle Messphänomen (Störimpulse) zu erhalten.

4.2.2.1 Versuchsaufbauten

Die Betriebsbedingungen werden in den verschiedenen Versuchsaufbauten variiert.

- Abdecken des Zündfunken: Um festzustellen, ob es sich bei dem Störsignal um detektiertes Licht handelt, wird der Zündfunken abgedeckt. Somit kann die Fotodiode das Licht des Zündfunken nicht messen.



Abbildung 4-3: Fußteil und Fotodioden



Abbildung 4-4: Abgedeckter Fußteil

1. Die Fotodioden (Abbildung 4-3) sind in einer Leiste montiert und könnten den Zündfunken detektieren.
 2. Der Zündfunke wird im Fußteil zwischen zwei Elektroden (Abbildung 4-3) erzeugt.
 3. Das Fußteil wird mit Aluminiumfolie abgedeckt (Abbildung 4-4), somit kann das Licht des Zündfunkens nicht von den Fotodioden gemessen werden.
- Abschirmen: Die Wirkung von Abschirmungen diverser Komponenten wird durch an-, beziehungsweise abschließen der Erdungsverbindungen untersucht. Es ist festzuhalten, dass die Verstärkerschaltung nicht abgeschirmt worden ist.

- Abstand zwischen Störsignalquelle und Empfänger der Störung: Die Störsignale werden vermutlich von hochfrequenten elektromagnetischen Wellen verursacht. Wird der Abstand zwischen Störsignalquelle und Störsignalempfänger vergrößert, sollte das aufgezeichnete Störsignal in seiner Intensität geringer sein. Die Energie von hochfrequenten elektromagnetischen Wellen nimmt in Abhängigkeit von der Entfernung ab.
- Zusammenstellung des Messsystems: Des Weiteren werden diverse Komponenten des Messsystems (siehe Abbildung 2-6) ab und angeschlossen (z.B. Fotodioden, Druckerkabel, etc.), um festzustellen welche Komponente des Messsystems das Störsignal empfängt.

Da es mit der eingesetzten Zündeinrichtung nicht möglich ist bei jedem Versuch ein gleich starkes Störsignal zu erzeugen, ist die Aussagekraft der diversen Versuchsergebnisse (Lage, Komponenten, Erdung, Abschirmung) unter der Berücksichtigung der nicht exakten Wiederholbarkeit der Störung zu analysieren.

4.2.3 Erkenntnisse

- Abdeckung des Zündfunkens: Obwohl der Lichtbogen abgedeckt worden ist, und somit keine optische Detektion stattfinden konnte, ist das Störsignal beim Betätigen der Zündung aufgezeichnet worden. Somit ist bewiesen, dass das Störsignal nicht dem Licht des Zündfunkens entspricht.
- Abschirmung: Es sind diverse Anlagenteile mit Hilfe von Aluminiumfolie behelfsmäßig abgeschirmt worden. Diese Maßnahme hat kaum Wirkung gezeigt.
- Abstand zwischen Störsignalquelle und Empfänger der Störung: Es ist festgestellt worden, dass sich der Abstand zwischen Zündeinrichtung und Messsystem stark auf die Störimpulse auswirkt. Eine eindeutige Minderung des Störimpulses hat sich nur durch eine Vergrößerung des Abstandes zwischen Zündeinrichtung und Messsystem erreichen lassen.

- Zusammenstellung des Messsystems: Nachdem bei der Analyse in Kapitel 3.3 erkannt worden ist, dass auf den Kanälen der Temperaturmessung die Störimpulse gemessen werden, obwohl keine Sensoren angebracht sind, stellt sich die Frage wie die Störimpulse in das Messsystem eindringen. Trotz der Tatsache, dass keine Fotodioden und keine Signalkabel an der Verstärkerschaltung abgeschlossen worden sind, konnten Störimpulse detektiert werden. Das weist darauf hin, dass die Messschaltung selbst die Störsignale empfängt. Aus diesem Grund hat die Abschirmung der anderen Komponenten keine Wirkung gezeigt.

4.2.3.1 Resümee

Es wird davon ausgegangen, dass beim Betätigen der Zündeinrichtung durch die Spule in der Zündeinrichtung elektromagnetische Wellen freigesetzt werden. Aufgenommen werden diese elektromagnetischen Wellen vermutlich direkt von den Operationsverstärkern der Messschaltung. Das Vergrößern des Abstandes zwischen Zündeinrichtung und Messsystem ist die einzige Maßnahme, die das Störsignal nachweislich mindert.

Weiters könnte noch versucht werden, Störungsquelle (Zündeinrichtung) oder Störungsempfänger (Verstärkerschaltung) durch Abschirmen zu schützen.

4.3 Abdunkeln der Fotodiode

4.3.1 Zielsetzung

Es soll das Verhalten der Fotodiode bei Dunkelheit untersucht werden. Grundsätzlich wäre eine starke Annäherung an den Wert von 0V zu erwarten. Idealerweise sollte die Messung genau 0V anzeigen, wobei der Einfluss des Dunkelstroms berücksichtigt werden muss.

Der Dunkelstrom ist jener Signalanteil der gemessen wird, wenn kein Licht auf die Fotodiode scheint. [7]

4.3.2 Versuchsbeschreibung

Um den Minimalwert der Fotodiode zu messen, wird diese während der Messung vollkommen abgedunkelt.

4.3.3 Erkenntnisse

Das detektierte Signal wird anhand von Zeit/Spannungs- Diagrammen des Versuchs Nr. 061803 analysiert.

Es hat sich gezeigt, dass bei vollkommener Abdunkelung der Maximalwert von 10,5V und nicht 0V gemessen wird. Anstatt ein sehr geringes Messsignal zu erhalten, geht das Signal in Sättigung. Nach Beendigung der Abdunkelung stellt sich wieder das Grundrauschen von 0,3V ein.

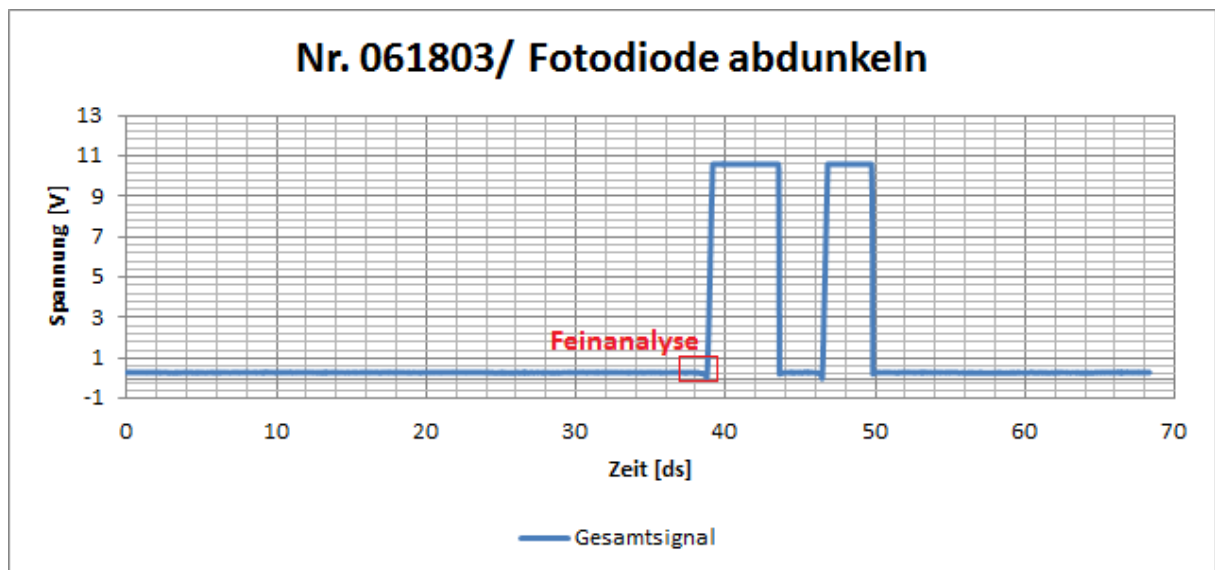


Abbildung 4-5: Nr. 061803, Abdunkeln der Fotodiode, Gesamtsignal

Bei genauerer Betrachtung des Übergangs (Feinanalyse) vom Grundrauschen zum Signalmaximum ist zu erkennen, dass das Signal zuerst wie erwartet absinkt. Knapp vor Erreichen des Wertes 0V, steigt das Signal sehr stark an.

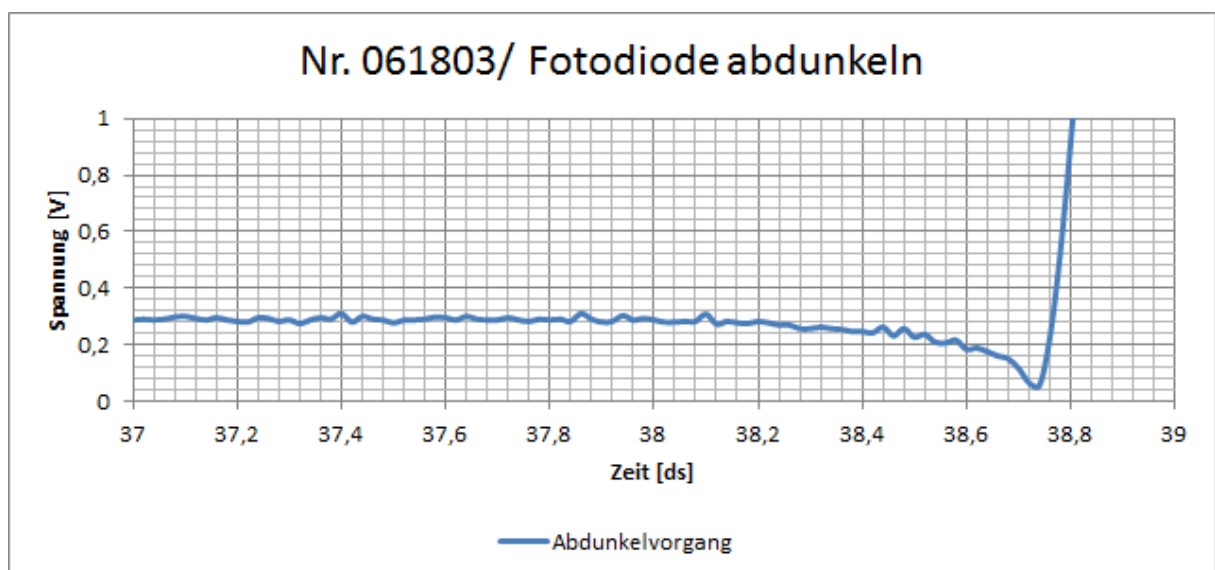


Abbildung 4-6: Nr. 061803, Abdunkeln der Fotodiode, Feinanalyse

Die Ursache für dieses Verhalten ist vermutlich in der Art der elektrischen Verschaltung begründet.

Andere Fotodioden haben bei Abdunkelung mit stark schwankenden Werten reagiert. Dies war z.B. bei jener Fotodiode der Fall, welche in das Rohr eingebaut worden ist. Ursache für jenes Verhalten ist vermutlich eine Beschädigung der Fotodiode gewesen.

4.4 Widerstand parallel zur Fotodiode schalten

4.4.1 Zielsetzung

Das Abdunkeln der Fotodiode soll nicht zu einem maximalen Signalwert führen, so wie es in Kap 4.3 der Fall ist.

4.4.2 Versuchsbeschreibung

Parallel zu der Fotodiode wird ein Widerstand geschaltet. Dieser soll dafür sorgen, dass permanent ein geringer Signalstrom fließt und somit ein Durchgehen des Signals im Falle einer Abdunkelung der Fotodiode verhindert wird. Für den Fall, dass keine Fotodiode angeschlossen ist, soll ebenfalls ein Wert nahe 0V angezeigt werden. Die Schaltung ist in Abbildung 5-2 dargestellt.

4.4.3 Erkenntnisse

Es hat sich gezeigt, dass sich, wie gewünscht, ein sehr niedriges Grundsignal einstellt.

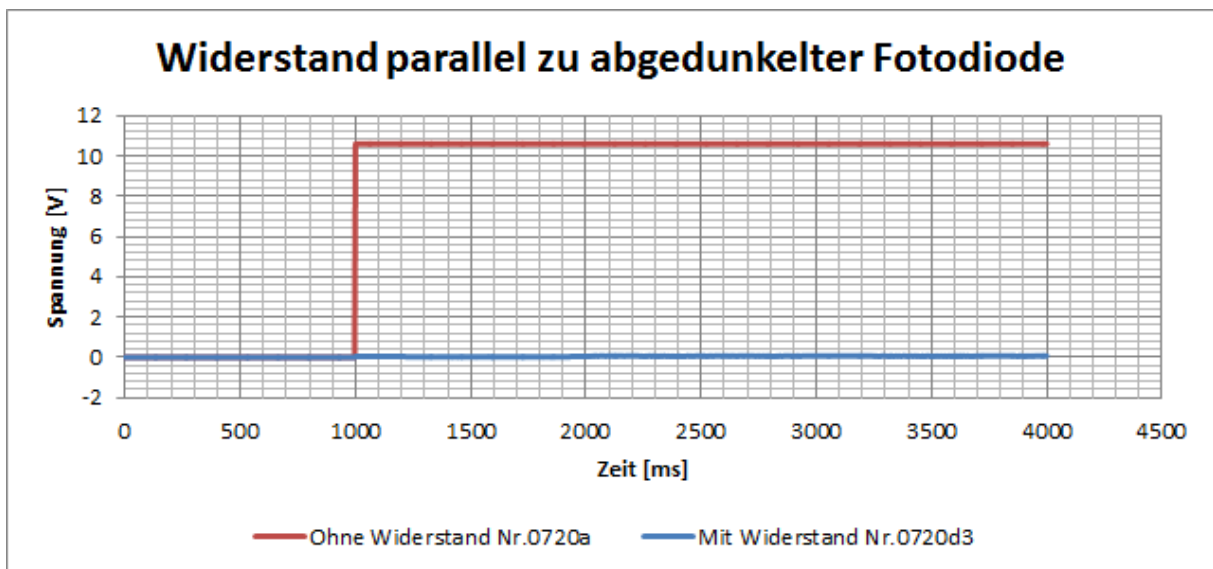


Abbildung 4-7: Widerstand parallel zur abgedunkelten Fotodiode

Während ohne parallel geschaltetem Widerstand das Signal wieder in Sättigung geht (10,5V), bewegt sich mit dem parallel geschalteten Widerstand das Signal in einem Bereich

von 0,05- 0,08V. Außerdem hat sich gezeigt, dass durch diese Maßnahme die Störimpulse wesentlich abgeschwächt werden. Um dies zu verdeutlichen, werden einander exemplarisch zwei Versuche gegenübergestellt. Dabei ist einmal parallel zur Fotodiode ein Widerstand von einem M Ω geschaltet und einmal nicht.

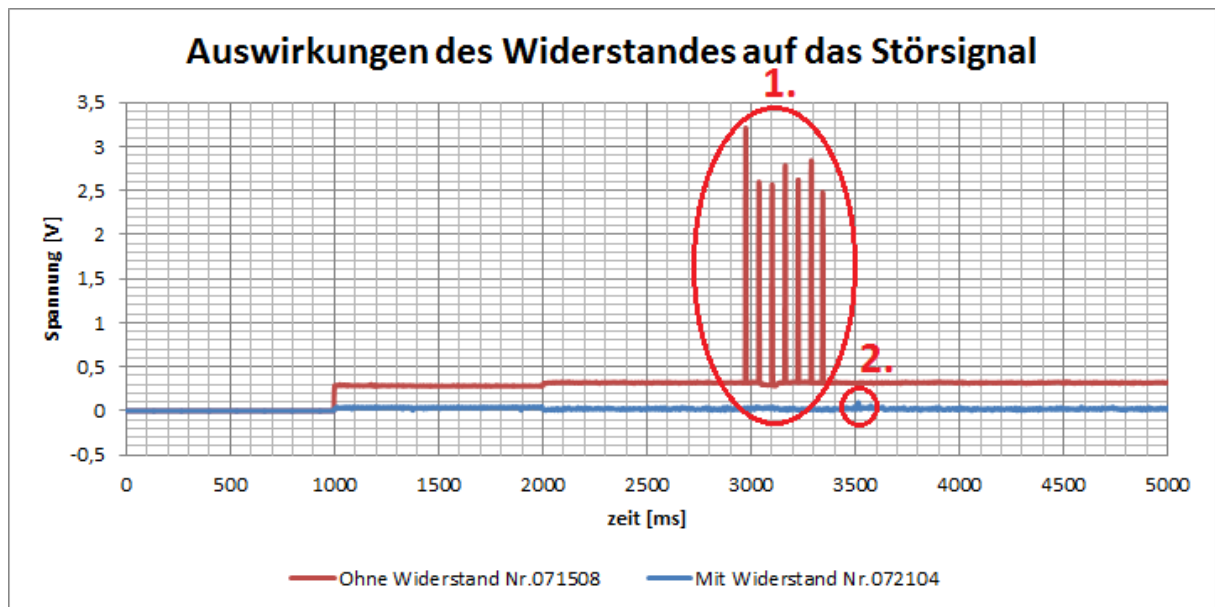


Abbildung 4-8: Auswirkungen des Widerstandes auf das Störsignal

1. Die Auswertung zeigt die massiven Störsignale. Das Grundrauschen liegt im Bereich von 0,3V.
2. Die Auswirkungen des parallel zur Fotodiode geschalteten Widerstands (1 M Ω) sind klar ersichtlich. Die Störsignale sind kaum zu erkennen und das Grundrauschen bewegt sich im Bereich von 0,05V.

Diese Erkenntnisse lassen darauf schließen, dass die Messsignalqualität stark von der Art der Messschaltung abhängig ist. Aus diesem Grund wird auf die Messschaltung in Kapitel 5 genauer eingegangen.

4.5 Einschränkung des Detektionswinkels mit Hilfe einer Rohrmontage

Wie dem Datenblatt (siehe Abbildung 2-14) der verwendeten Fotodioden zu entnehmen ist, verfügen diese über einen Halbwinkel von 60° .

Strahlt Licht senkrecht (0° Winkel) auf die Detektorfläche der Fotodiode, so wird ein maximaler Wert detektiert. Strahlt nun dasselbe Licht in einem Winkel von 60° auf die Detektorfläche, so kann nur ein Wert halb so groß wie der Maximale Wert detektiert werden. [8]

Um einen möglichst kleinen Bereich des Reaktionsraumes (Kunststoffrohr) zu beobachten, muss der Halbwinkel so klein wie möglich sein. Ziel ist es, eine annähernd punktuelle Messung durchzuführen.

4.5.1 Zielsetzung

Es soll gezeigt werden, dass durch die Verringerung des Halbwinkels ein kleinerer Bereich untersucht und somit ein klareres Messsignal detektiert wird. Es wird erwartet, dass das Grundrauschen verringert wird.

4.5.2 Versuchsbeschreibung

Da die Eigenschaften der Fotodiode selbst nicht verändert werden können, wird eine vorhandene Fotodiode in eine Rohrmontage eingebaut. Dadurch wird nur Licht detektiert, welches durch die Öffnung der Rohrmontage scheint und der Detektionswinkel wird eingeschränkt. Licht, welches ohne die Rohrmontage aufgrund der Halbwinkelcharakteristik gemessen worden wäre, kann nun nicht auf die Detektorfläche der Fotodiode treffen und wird auch nicht gemessen. Die Versorgungsspannung der Förderschnecke beträgt $2,97$ [V].

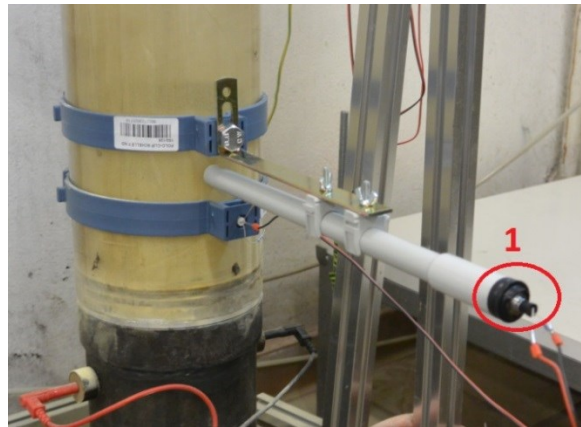


Abbildung 4-9: Fotodiode in Rohrmontage

Die oben dargestellte Abbildung zeigt eine, in eine Rohrmontage eingebaute Fotodiode(1).

4.5.3 Erkenntnisse

Um die Verbesserung des Messsignals zu verdeutlichen, wird die Signalgesamtdauer verglichen. Dieser Zeitraum beginnt mit dem Zeitpunkt (T_{Start}), welcher das Abweichen vom Grundrauschen beschreibt. Die auftretenden Störimpulse werden nicht berücksichtigt. Mit dem Zeitpunkt (T_{Ende}) an dem sich das Grundrauschen wieder eingestellt hat, endet die Signalgesamtdauer.

Die durchschnittliche Gesamtdauer der Versuche Nr. 070901 bis 070910 beträgt 2194,8ms (siehe Tabelle 3-I). Die durchschnittliche Gesamtdauer der Versuche 070911-070915 beträgt 1747ms. Bei diesen Versuchen ist die Fotodiode zum Zwecke der Halbwinkelverringern in eine Rohrmontage eingebaut. Diese Verringerung der Signaldauer zeigt, dass sich, wie erwartet, eine Einschränkung des Halbwinkels positiv auf die Signalqualität auswirkt.

Um die Unterschiede der Signale besser erkennen zu können, wird im folgenden Diagramm das Signal des Versuches Nr. 070901 und jenes des Versuches Nr. 070915 (Rohrmontage) dargestellt.

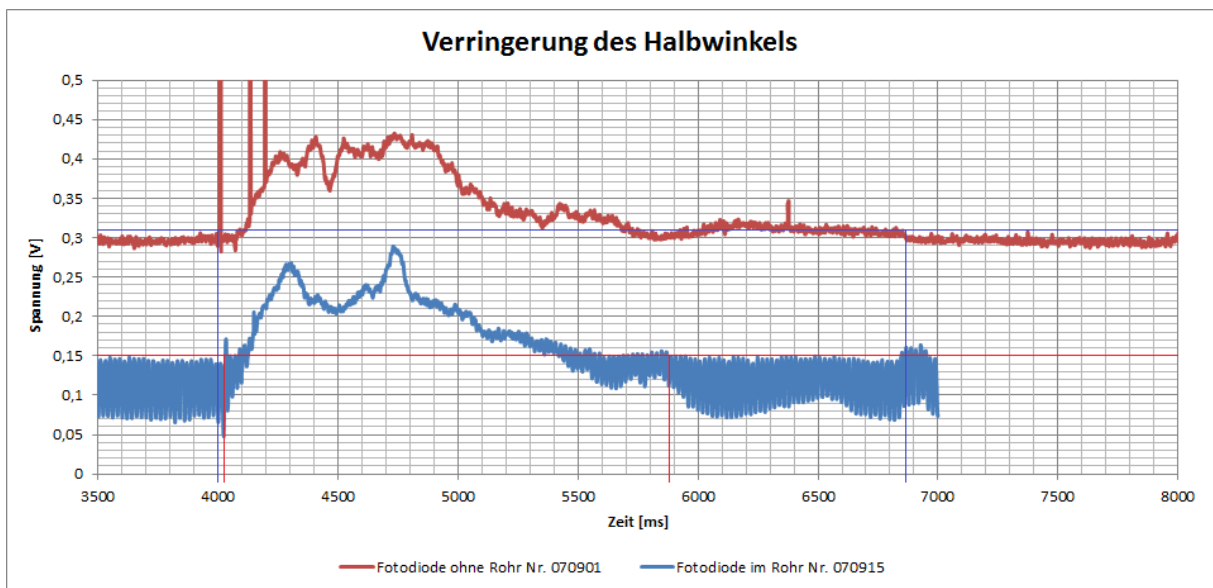


Abbildung 4-10: Verringerung des Halbwinkels

Die feinen Hilfslinien markieren einerseits die Obergrenzen des Grundrauschens und andererseits die Zeitpunkte T_{Start} (Start des Signals) und T_{Ende} (Ende des Signals).

Tabelle 4-I: Ergebnistabelle Verringerung des Halbwinkels

Ergebnistabelle	Signal ROT	Signal BLAU
Versuch	Nr.070901	Nr. 070911
Modifikation	keine	Rohrmontage
Obergrenze Grundrauschen [V]	0,31	0,15
Maximum [V]	0,435	0,29
MAX/Obergrenze [V]	1,403	1,933
MAX- Obergrenze [V]	0,125	0,14
TStart (Start des Signales) [ms]	4005	4030
TEnde (Ende des Signales) [ms]	6873	5933
TEnde-TStart [ms]	2868	1903

Grundsätzlich hat sich die Qualität des Signals verbessert, da es ein klareres Profil des Verbrennungsverlaufes zeigt. Die Flammenfront der Hauptverbrennung ist eindeutig zu lokalisieren. Die Gesamtdauer des Signals ist verkürzt worden und das Niveau des Grundrauschens konnte gesenkt werden, jedoch ist die Schwankung des Grundrauschens wesentlich größer (0,07- 0,15V) als erwartet. Da die Kunststoffrohrmontage etwas lichtdurchlässig ist, wird sie mit Klebeband umwickelt, um das Einstrahlen von Licht aus unerwünschter Richtung weiter zu erschweren.

4.6 Fotodiode mit geringerem Halbwinkel

Da sich in Kapitel 4.5 gezeigt hat, dass sich eine Verringerung des Detektionswinkels positiv auf die Signalqualität auswirkt, wird die Tauglichkeit von Fotodioden mit geringerem Halbwinkel untersucht.

4.6.1 Zielsetzung

Die in der Folge eingesetzten Fotodioden (SFH 213 FA) verfügen über einen Halbwinkel von 10° [siehe Anhang]. Das Ziel ist es, die neue Fotodiode und deren Verhalten kennenzulernen. Es wird davon ausgegangen, dass sich mit dieser Fotodiode ein noch besseres Signal messen lässt.

4.6.2 Versuchsbeschreibung

Wie bei allen Versuchen ist die Förderschnecke mit einer Spannung von etwa 3V (in diesem Fall 3,04V) versorgt worden. Dadurch wird sichergestellt, dass sich bei allen Versuchen das gleiche Staub/Luft- Gemisch bildet. Parallel zur Fotodiode ist ein Widerstand (direkt bei der Diode) geschaltet worden.

Die folgenden Diagramme sollen die Bedeutung der Halbwinkleigenschaft der Fotodioden verdeutlichen.

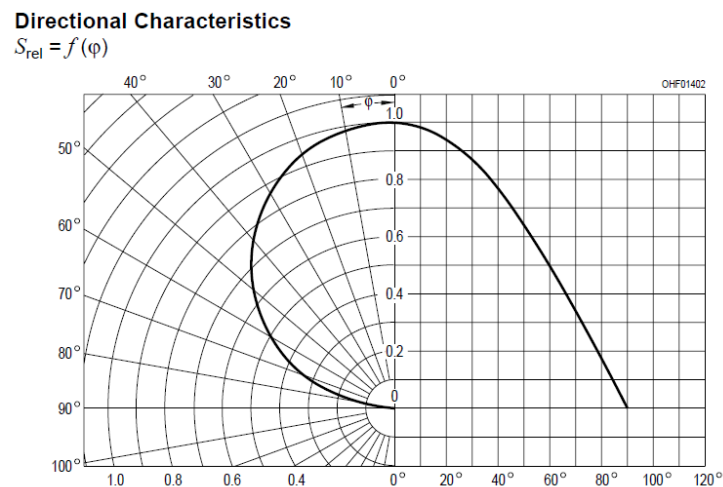


Abbildung 4-11: Halbwinkel der BPW 34 Fotodioden [siehe Anhang]

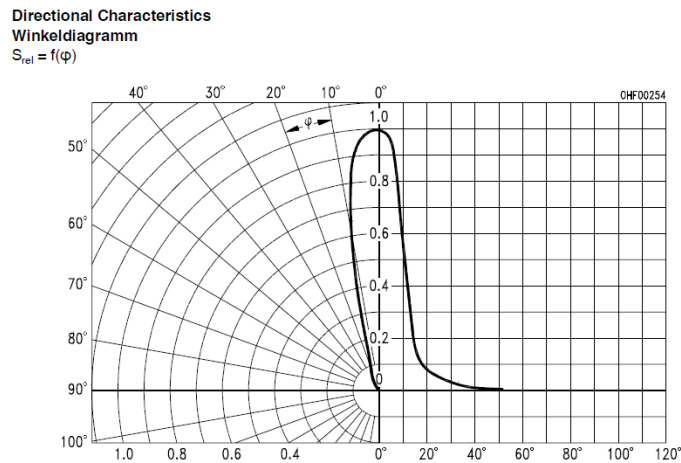


Abbildung 4-12: Halbwinkel der SFH 213 FA Fotodioden [siehe Anhang]

Die ersten Versuche sind nicht erfolgreich gewesen, da die Zündfunken nicht stark genug waren, um die Staubexplosion zu starten. Grund dafür ist vermutlich gewesen, dass das Kabel zwischen Funkengenerator und Zünder verlängert und dadurch der Widerstand vergrößert worden ist. Dies hat vermutlich in weitere Folge dazu geführt, dass die Energie des Zündfunkens nicht groß genug gewesen ist.

Während der Fehlversuche fiel auf, dass es abermals zu Häufungen von Störimpulsen gekommen ist, besonders zum Ende der Versuchsaufzeichnungen. Es ist vermutet worden, dass diese Störsignale mit dem Ein- und Ausschalten der Schneckenförderung zusammenhängen könnten.

Nachdem die Leitung verkürzt und dadurch die Funkenenergie größer worden ist, konnte wieder problemlos gezündet werden.

4.6.3 Erkenntnisse

Es ist festgestellt worden, dass die Kabellänge der Zündeinrichtung die Energie des Zündfunkens stark beeinflusst und somit nicht beliebig verlängert werden kann.

Für die Dämpfung des von der Zündung verursachten Störsignals ist es wichtig den zur Fotodiode parallel geschalteten Widerstand nahe am OPV zu montieren. Auf die Messschaltung wird in Kapitel 5.3 genauer eingegangen.

4.6.3.1 Grobanalyse

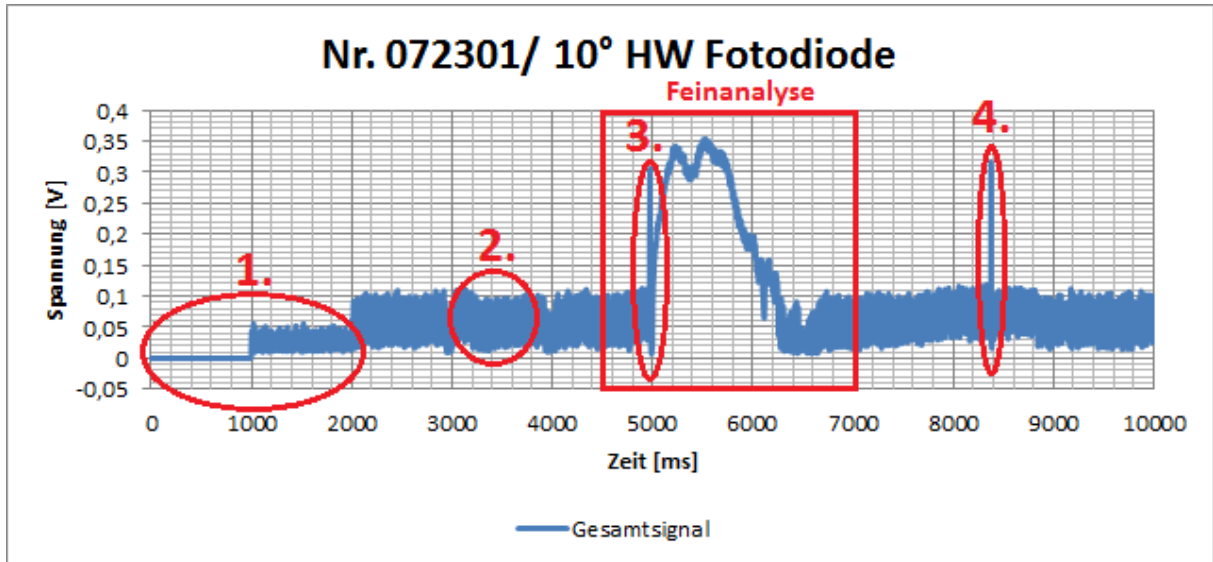


Abbildung 4-13: Grobanalyse der HW 10° Fotodiode

1. Wie bereits bekannt, scheint in den ersten beiden Messsekunden ein Fehler in der Datenverarbeitung vorzuliegen.
2. Das Grundrauschen schwankt zwischen 0,01- 01V, hat aber im Vergleich zu dem ursprünglichen Wert von 0,3V (siehe Abbildung 3-3) ein niedriges Niveau.
3. Der Störimpuls im Bereich der Zündung fällt stärker als erwartet aus, ist im Vergleich zu den Ausgangswerten (siehe Abbildung 3-3) aber relativ schwach.
4. Es konnten abermals Störsignale nach dem Verbrennungsvorgang detektiert werden, deren Ursprung noch nicht untersucht worden ist. Kapitel 4.9 beschäftigt sich mit dieser Thematik.

4.6.3.2 Feinanalyse

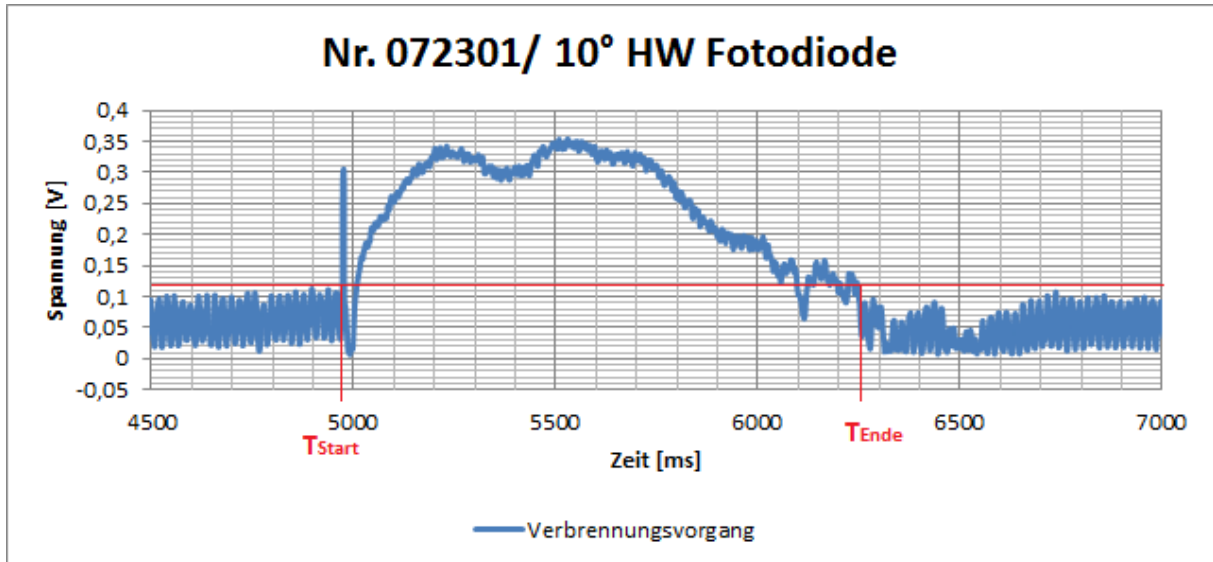


Abbildung 4-14: Feinanalyse HW 10° Fotodiode

- Es zeigt sich, dass der Signalanstieg relativ stark ist.
- Beurteilt man das Signal wie in Kapitel 4.5.3, dann kann die Ergebnistabelle erweitert werden.

Tabelle 4-II: Ergebnistabelle HW 10° Fotodiode

Ergebnistabelle			
Versuch	Nr.070901	Nr. 070911	Nr. 072301
Modifikation	keine	Rohr	10° HW
Obergrenze Grundrauschen [V]	0,310	0,150	0,120
Maximum [V]	0,435	0,290	0,352
MAX/Obergrenze [V]	1,403	1,933	2,933
MAX- Obergrenze [V]	0,125	0,140	0,232
TStart (Start des Signales) [ms]	4005	4030	4939
TEnde (Ende des Signales) [ms]	6873	5933	6211
TEnde-TStart [ms]	2868	1903	1272

Der Ergebnistabelle kann entnommen werden, dass die Signalgesamtdauer verringert werden konnte.

4.7 Kombination der Umbauten aus Kap. 4.5 und 4.6

Da sowohl Modifikationen aus Kapitel 4.5 als auch aus Kapitel 4.6 sich als positiv für die Signalqualität erwiesen haben, werden sie in diesem Kapitel in Kombination untersucht.

4.7.1 Zielsetzung

Es sollen die Auswirkungen des Einsatzes der Rohrmontage auf die Fotodiode mit einem Halbwinkel von 10° festgestellt werden.

4.7.2 Versuchsbeschreibung

Die erste Fotodiode aus Kap 4.6 wird ohne Rohrmontage eingesetzt. Zusätzlich wird eine zweite Fotodiode mit einem Halbwinkel von 10° in einer Rohrmontage angebracht und knapp über der ersten Fotodiode montiert. Somit ist die Höhendifferenz zwischen den beiden Fotodioden unter 10mm und es wird beinahe derselbe Versuchsbereich beobachtet.

4.7.3 Erkenntnisse

Anhand des Vergleiches der beiden Signale sind die Vorzüge der Rohrmontage eindeutig zu erkennen. Die Signalgesamtdauer wird wesentlich verkürzt und das Profil des Signals ist ausgeprägter, jedoch ist das Signalmaximum niedriger als ohne Rohrmontage.

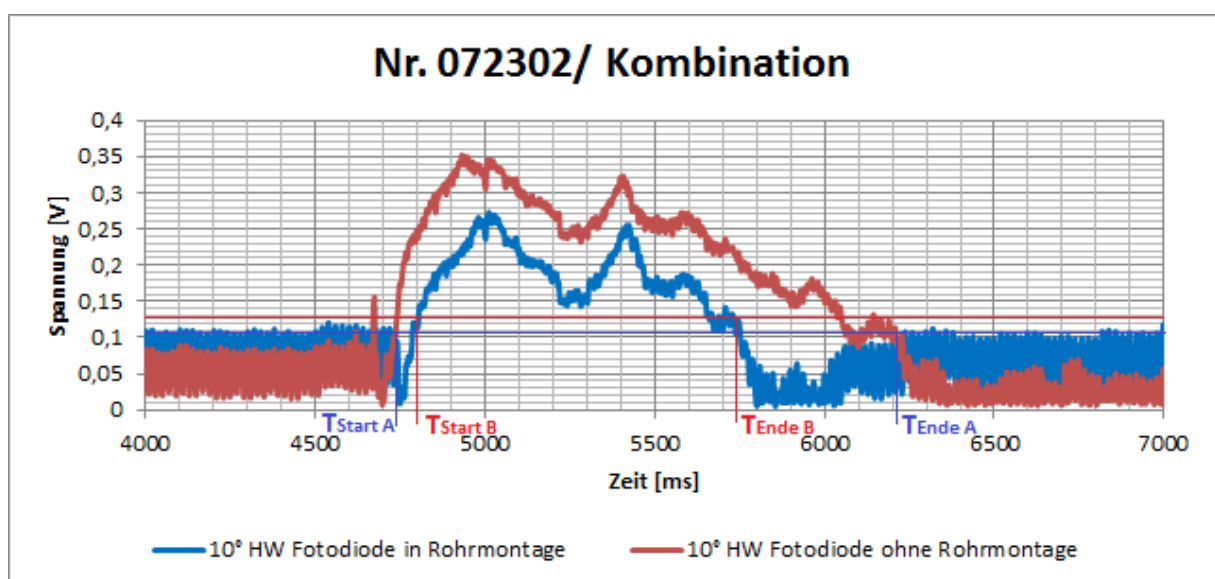


Abbildung 4-15: HW 10° Fotodiode mit und ohne Rohrmontage

Es ist zu erkennen, dass sich die Signale in ihrer Form sehr ähnlich sind. Zeitdifferenzen zwischen markanten Signalsprüngen werden umso kleiner, je stärker die Signale sind. Diese Tatsache lässt den Schluss zu, dass sich die Flammenfront wahrscheinlich zum Zeitpunkt des Signalmaximums auf Höhe der Fotodioden befindet.

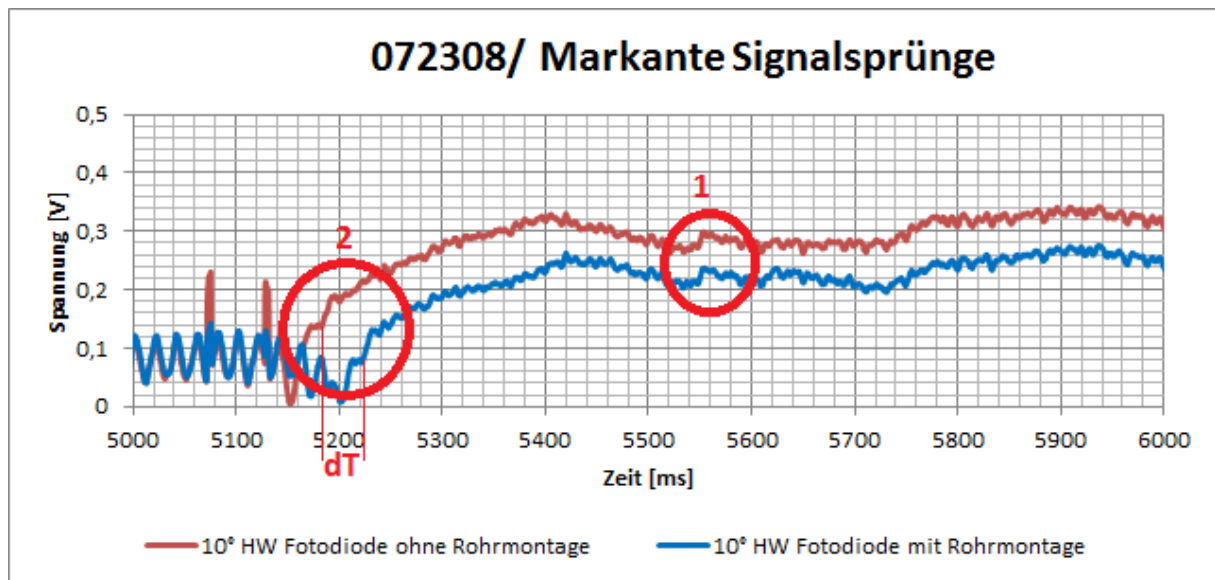


Abbildung 4-16: Markante Signalsprünge

1. Die markanten Signalsprünge in der Nähe der maximalen Signalwerte finden zur selben Zeit statt.
2. Es ist zu erkennen, dass bei weniger starken Signalwerten eine Zeitdifferenz zwischen den markanten Signalsprüngen liegt.

Tabelle 4-III: Ergebnistabelle HW 10° Fotodiode in Rohrmontage

Ergebnistabelle				
Versuch	Nr.070901	Nr. 070911	Nr. 072301	Nr. 072302
Modifikation	keine	Rohr	10°HW	Rohr + 10°HW
Obergrenze Grundrauschen [V]	0,31	0,15	0,12	0,13
Maximum [V]	0,435	0,29	0,352	0,27
MAX/Obergrenze [V]	1,403	1,933	2,933	2,077
MAX- Obergrenze [V]	0,125	0,14	0,232	0,14
TStart (Start des Signales) [ms]	4005	4030	4939	4804
TEnde (Ende des Signales) [ms]	6873	5933	6211	5731
TEnde-TStart [ms]	2868	1903	1272	927

Die Ergebnistabelle zeigt, dass es sinnvoll ist, die BPW34 Fotodioden durch die SFH213FA Fotodiode zu ersetzen und die Rohrmontage einzusetzen. Durch diese Maßnahmen wird die Signalqualität verbessert und die Signalgesamtdauer verkürzt.

4.8 Erproben einer Fotodioden- Fassung mit Sammellinse

Die Rohrmontage bewirkt nicht nur die Detektion eines differenzierten Signals, sondern senkt auch das Grundrauschen ab. Grund dafür ist, dass, wie gewünscht, Licht nur aus einer sehr eingeschränkten Richtung detektiert werden kann. Eine weitere Auswirkung dieser Art der Montage ist, dass Lichtquellen, die sich nun außerhalb des Detektionsbereichs befinden, nicht mehr zur Erhöhung des Grundsignals beitragen können. Dadurch wird jedoch auch das Signalmaximum herabgesetzt. Es wird versucht, eine möglichst große Differenz zwischen Grundrauschen und Maximalsignal zu erreichen, um somit eine möglichst klare Interpretation des Signals zu ermöglichen.



Abbildung 4-17: Fotodiode mit Fassung

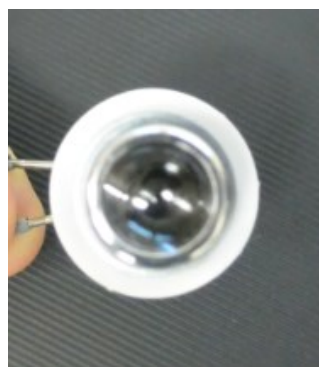


Abbildung 4-18: Linse der Fassung

Durch die Montage der Fotodiode in einer Fassung und das Anbringen einer Sammellinse ist es möglich, eine größere Lichtmenge zu detektieren. Es soll ein größerer Teil des Lichts, welches in die Rohrmontage gelangt, detektiert werden.

4.8.1 Versuchsbeschreibung beziehungsweise Montagetätigkeiten

Da die Linse nicht auf die Fassung geschraubt werden kann, wenn sich die Fotodiode in der Fassung befindet, muss die Fassung aufgebohrt werden. Nachdem die Fassung aufgebohrt worden ist, konnte die Fotodiode vollständig in der Fassung versenkt und die Linse auf die Fassung geschraubt werden. Entscheidend für die Funktion ist der Abstand zwischen Sammellinse und Fotodiode. Idealerweise sollte die Detektorfläche der Fotodiode mit dem Brennpunkt der Linse zusammenfallen, des Weiteren muss der Halbwinkel der Fotodiode berücksichtigt werden.

4.8.2 Erkenntnis

Da bei den Versuchen keine bedeutende Signalverbesserung festgestellt werden konnte, wird auf die Darstellung von Diagrammen verzichtet. Vermutlich konnte der erforderliche Abstand zwischen Fotodiode und Sammellinse nicht ausreichend genau eingestellt werden. Da diese Art der Fotodioden- Montage gut zu handhaben ist, wird sie dennoch weiter genutzt.

4.9 Untersuchung der Störsignale nach der Staubexplosion

Bei einigen Fehlversuchen, bei welchen die Zündung nicht funktioniert hat, sind dennoch starke Störsignale detektiert worden. Es scheint einen Zusammenhang zwischen dem Betätigen der Förderschnecke und diesen Störsignalen zu geben.

4.9.1 Zielsetzung

Es soll festgestellt werden, ob das Ein- und Ausschalten der Förderschnecke Einfluss auf das Signal nimmt.

4.9.2 Versuchsbeschreibung

Die Messung wird durchgeführt und die Schneckenförderung wird 3 Mal ein und ausgeschaltet. Um eventuell auftretende Störsignale bestmöglich zu detektieren, wird ein Messkanal untersucht, der über keine Schutzmaßnahmen gegen Störsignale verfügt.

4.9.3 Erkenntnisse

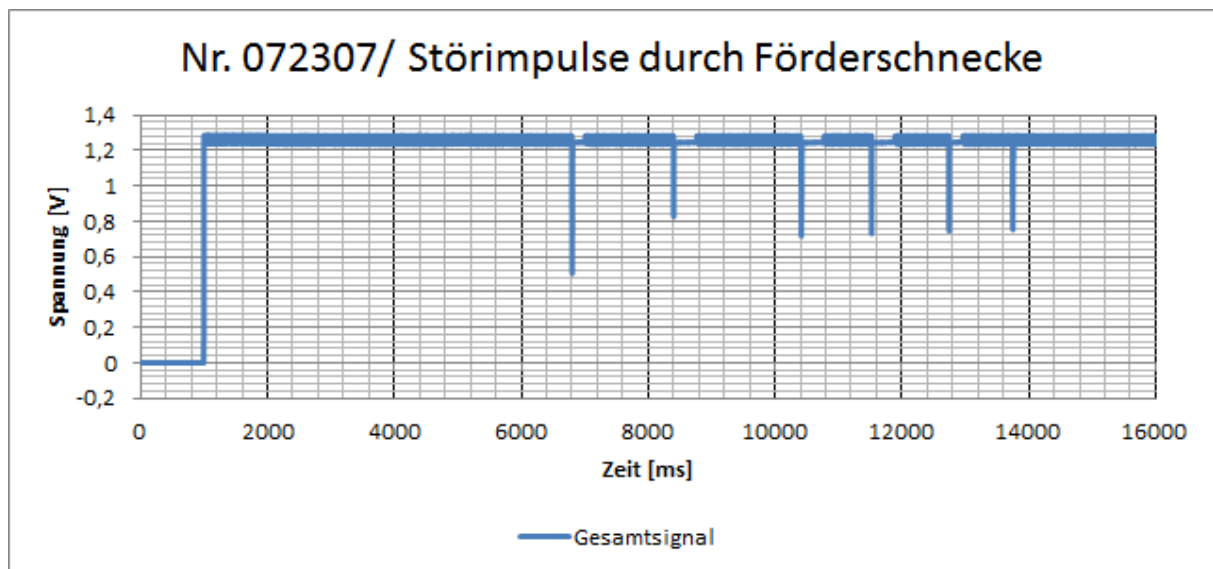


Abbildung 4-19: Störsignale durch Betätigen der Förderschnecke

Da weder Widerstand noch Fotodiode an diesem Messkanal angeschlossen sind, liegt eine hohe, vom Operationsverstärker vorgegebene Grundspannung von ca. 1,3V vor. Dem Diagramm kann entnommen werden, dass sechs Störimpulse aufgezeichnet worden sind. Somit wird als erwiesen angesehen, dass der Spannungswandler, welcher die Förderschnecke versorgt, mit dem Ein- und Ausschalten die vorliegenden Störsignale verursacht.

4.10 Minderung der Störsingale nach der Verbrennung

Da diese Störsignale zu Zeitpunkten auftreten, die für die Messsignalanalyse irrelevant sind, hat deren Behebung keine hohe Priorität. Dennoch werden diese Störsignale untersucht, um die Eigenschaften des Messsystems besser zu verstehen.

4.10.1 Zielsetzung

Nachdem mit dem Versuch aus Kapitel 4.9 gezeigt worden ist, dass das Ein- und Ausschalten der Förderschnecke, beziehungsweise des Spannungswandlers der die Schnecke versorgt, die Störimpulse verursacht, soll nach Möglichkeiten gesucht werden jene Störsignale zu mindern.

4.10.2 Versuchsbeschreibung

Um die Auswirkungen von diversen Änderungen zu dokumentieren, ist darauf geachtet worden, immer die gleiche Anzahl an Störsignalen zu produzieren. Das heißt, dass nach Beginn der Messung der Spannungswandler an dem die Förderschnecke angeschlossen ist, drei Mal ein und wieder ausgeschaltet und danach einmal die Zündeinrichtung betätigt worden ist. Die Förderschnecke ist nicht mit Lycopodium befüllt und bei den ersten Versuchen auch nicht in Betrieb genommen worden, da für diese Versuche keine Staubexplosion erzeugt werden musste.

Bei dieser Untersuchung sind abermals viele unterschiedliche Versuchsaufbauten und Variationen einzelner Komponenten zum Einsatz gekommen. Aus diesem Grund werden die Versuche zusammengefasst analysiert. In erster Linie ist untersucht worden, wie sich parallel

zur Fotodiode geschaltete Widerstände und die Vergrößerung des Abstandes zwischen Spannungswandler und Messsystem auf die Messung auswirken.

4.10.3 Erkenntnisse

Um die Auswirkungen des Versuchsaufbaus auf die Intensität der Störimpulse zu veranschaulichen, werden die Ergebnisse von mehreren Versuchen mit unterschiedlichen Versuchsaufbauten in einem Zeit/Spannungs- Diagramm dargestellt. Wesentliche Merkmale der jeweiligen Versuchsaufbauten und deren Auswirkungen auf das Messsignal werden kurz erläutert.

- Versuch Nr. 072401: Am Ende des Signalkabels (weit weg von dem OPV), ist ein Widerstand, jedoch keine Fotodiode angeschlossen. Im Messsignal dieses Versuchsaufbaus sind alle Impulse klar zu erkennen.

- Versuch Nr. 072402: Die Widerstände sind am Ende des Druckerkabels befestigt worden, wodurch sie im Vergleich zu Versuch Nr. 072401 näher an den Operationsverstärkern sind. Die Position des Widerstands ist insofern von Bedeutung, als dass sich dadurch der Gesamtwiderstand ändert, da der Widerstand der Signalkabel Einfluss auf den Gesamtwiderstand nimmt. Fotodioden sind nicht angeschlossen worden. Die Störimpulse der Zündeinrichtung sind sichtbar, jene welche durch den Spannungswandler der Förderschnecke verursacht werden, sind nur teilweise messbar. Es ist zu erkennen, dass die Intensität der Ausschläge deutlich abgenommen hat.

- Versuch Nr. 072404: Der Abstand zwischen Spannungswandler und Messsystem ist vergrößert worden. Durch die Vergrößerung des Abstandes zwischen der Quelle (Spannungswandler) und dem Empfänger der Störsignale (Messsystem), ist die Intensität und die Quantität der Störsignale deutlich verringert worden.

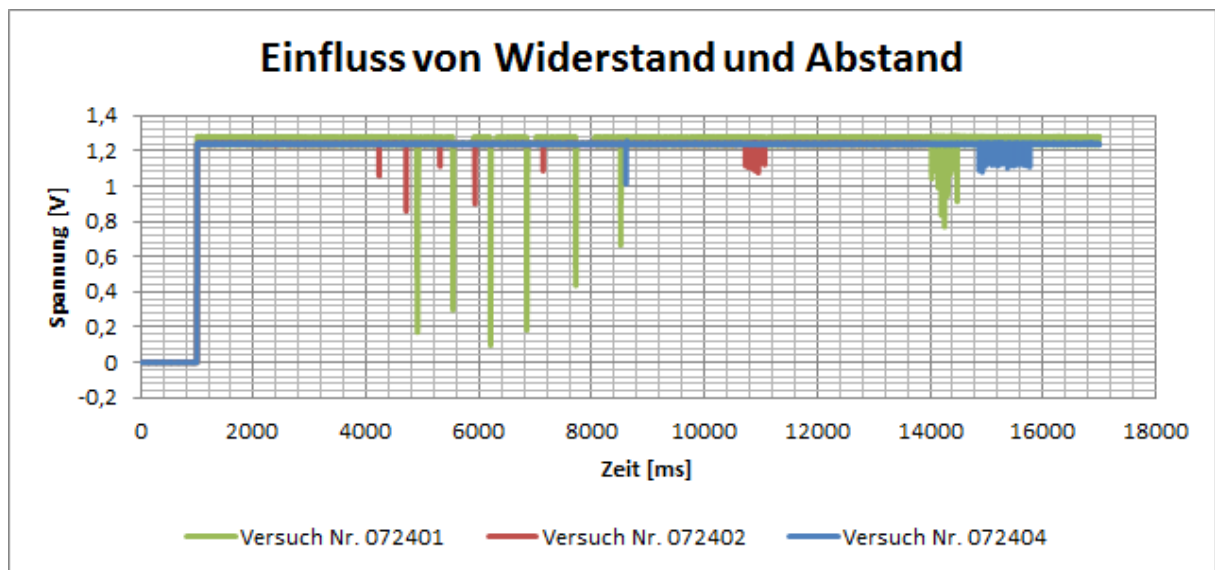


Abbildung 4-20: Einfluss von Widerstand und Abstand

- Versuch Nr. 072405: Bei diesem Versuchsaufbau ist zusätzlich zum Versuchsaufbau von Nr.072404 die Förderschnecke an den Spannungswandler angeschlossen worden. Es hat sich gezeigt, dass sich diese Veränderung des Messsystems nicht auswirkt. Die Quelle der Störimpulse ist somit höchstwahrscheinlich einzig und alleine der Spannungswandler.

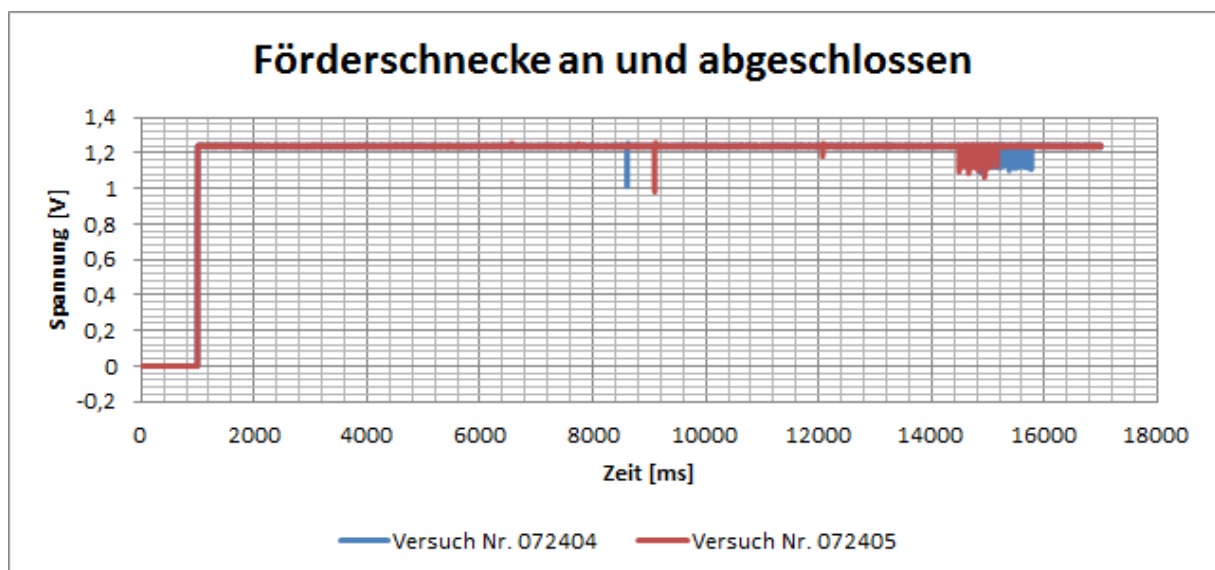


Abbildung 4-21: Förderschnecke an- und abgeschlossen

- Versuch Nr. 072407: Hier wird der Widerstand direkt beim OPV von Kanal1, parallel zu der Signalleitung geschaltet. Dadurch hat sich, wie erwartet, eine klare Annäherung des Grundsignals an den Wert von 0V ergeben. Störimpulse sind kaum mehr auszumachen gewesen.
- Versuch Nr. 072408: Zusätzlich zu dem Versuchsaufbau Nr. 072407 ist bei Kanal 1 ein Fotodiode angeschlossen worden. Es ergibt sich ein sehr stabiles und niedriges Grundsignal, Störimpulse sind kaum zu erkennen.

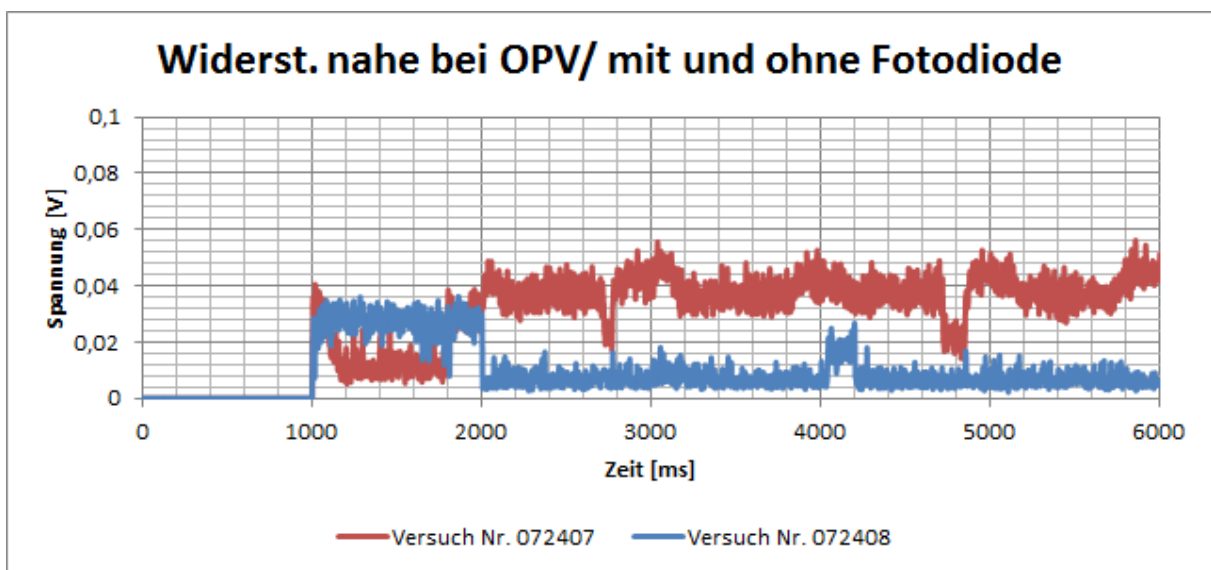


Abbildung 4-22: Widerstand nahe bei OPV, mit und ohne Fotodiode

4.10.3.1 Resümee

- Ursache der Störsignale ist allein der Spannungswandler, nicht etwa die Kabelverbindung oder die Förderschnecke.
- Die Vergrößerung des Abstandes zwischen dem Spannungswandler und dem Messsystem, zeigt deutliche Verbesserungen des Messsignals.
- Die Störsignale werden von der Messschaltung selbst empfangen. Je näher die Widerstände den Operationsverstärkern sind, umso weniger werden die Störsignale detektiert.
- Das beste Grundsignal (um 0,01V) ergibt sich durch den Anschluss einer Fotodiode und eines Widerstands nahe beim Operationsverstärker.

5 Verstärkereinrichtung

Da sich die Art der benutzten Verstärkerschaltung sehr stark auf die Signalqualität auswirkt, widmet sich dieses Kapitel ausschließlich diesem Thema.

5.1 Sinn der Verstärkerschaltung

Die Fotodioden stellen analoge Signale bereit. Da der Computer nur digitale Signale verarbeiten kann, müssen die analogen Signale digitalisiert werden. Diese Aufgabe erfüllt die Datenverarbeitungskarte. Um die Kapazität der Datenverarbeitungskarte gut ausnützen zu können, muss das Signal der Fotodiode mit Hilfe der Verstärkerschaltung umgewandelt werden.

5.2 Verschaltung am Anfang der Arbeit

Anfangs ist das von der Fotodiode bereitgestellte Signal mittels Spannungsfolgerschaltung verstärkt worden.

5.2.1 Aufbau der Schaltung

Spannungsfolgerschaltung

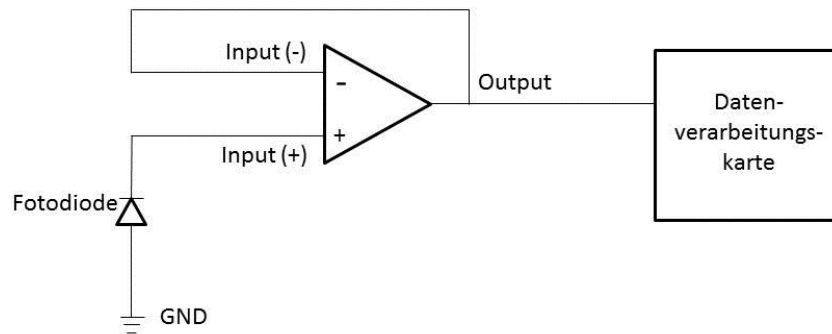


Abbildung 5-1: Spannungsfolger

Der negative Anschluss der Fotodiode ist geerdet. Der positive Anschluss der Fotodiode ist mit dem positiven Eingang [Input (+)] eines Operationsverstärkers verbunden. Der Ausgang des Operationsverstärkers (Output) ist mit dem negativen Eingang [Input (-)] kurzgeschlossen.

5.2.2 Nachteile der Schaltung

- Durch das Abdunkeln der Fotodiode wird nicht der gewünschte Wert von 0V angezeigt, stattdessen nähert sich der angezeigte Wert 0V an und springt anschließend auf 10,5V. Das Signal geht somit in Sättigung (siehe Kapitel 4.3).
- Des Weiteren reagiert diese Schaltung sehr empfindlich auf elektromagnetische Störimpulse (siehe Kapitel 4.2 und 4.9).

5.3 Verschaltung mit parallelem Widerstand

Um bei Verdunkelung der Fotodiode einen niedrigen Messwert zu erhalten und zu verhindern, dass das Signal in Sättigung geht, wird die Schaltung verändert.

Spannungsfollower mit Widerstand

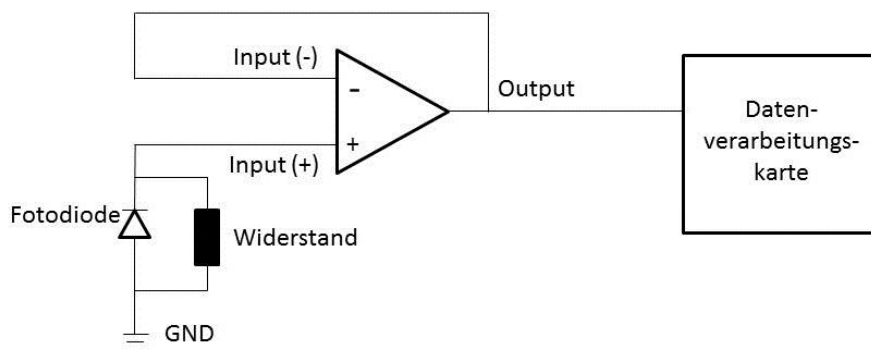


Abbildung 5-2: Spannungsfollower mit Widerstand

Die vorhandene Schaltung wird um einen, parallel zur Fotodiode, geschalteten Widerstand erweitert.

5.3.1 Wirkung der Schaltung

Mit Hilfe eines Widerstands wird eine Verbindung zwischen positivem OPV Eingang und Masseanschluss hergestellt. Zu beachten ist, dass der Widerstand so groß wie möglich gewählt wird, damit möglichst wenig Signalenergie verloren geht. Der Widerstand darf allerdings auch nicht zu groß dimensioniert werden, da er sonst keine Wirkung erzielt. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass der Widerstand möglichst nahe am Operationsverstärker verlötet wird, um nicht durch lange Kabel zusätzlich den Gesamtwiderstand zu erhöhen.

Beim Abdunkeln der Fotodiode stellt sich nun ein niedriger Messwert ein und das „in Sättigung Gehen“ des Signals wird verhindert. Wie bereits beschrieben, wirkt sich diese

Maßnahme auch positiv auf die Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischer Wellen und somit auf die Messung von Störimpulsen aus.

5.3.2 Nachteil der Schaltung

Wenngleich sich die Qualität des Messsignals verbessert hat, scheint dennoch Verbesserungspotential vorhanden zu sein.

5.4 Transimpedanzverstärker

Nachdem die Art der Verstärkerschaltung nachweislich großen Einfluss auf die Signalqualität nimmt, ist nach Möglichkeiten gesucht worden, die Schaltung noch besser zu gestalten. Diesbezügliches Grundwissen ist dem Kapitel 2.5 zu entnehmen.

Transimpedanzverstärker ermöglichen es, eine Spannungsquelle in Abhängigkeit von einem Stromfluss zu steuern. Es handelt sich bei dieser Art der Schaltung um einen sogenannten Strom/Spannungs- Wandler. [8]

Da im fotovoltaischen Betrieb der Fotodiode praktisch kein Dunkelstrom fließt und es möglich ist, bereits geringe Lichtintensitäten zu detektieren, scheint diese Art der Schaltung für die vorhandene Problemstellung die optimale Lösung zu sein. [10]

In dem hier vorliegenden Fall soll das einfallende Licht mittels Fotodiode möglichst direktproportional in einen Fotostrom umgewandelt werden. Die Transimpedanzverstärkerschaltung soll in weiterer Folge diesen variablen Stromfluss als variable Spannung für die Erfassung der Datenkarte bereitstellen.

Transimpedanzwandler

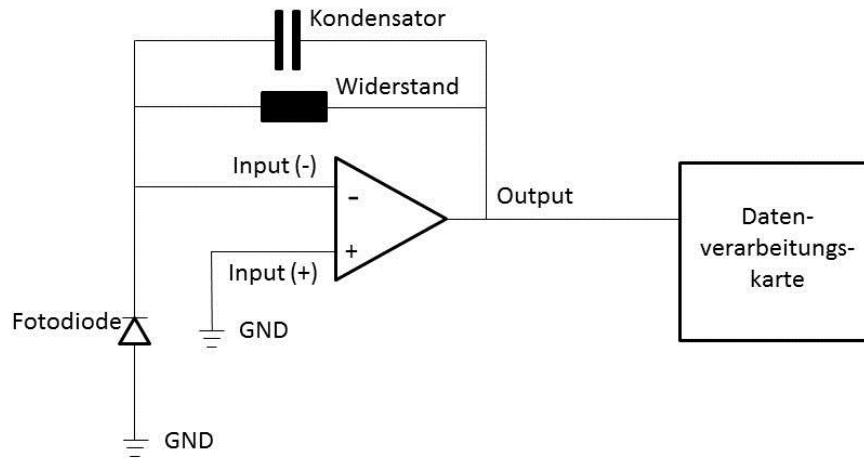


Abbildung 5-3: Transimpedanzverstärker

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, sind einige Veränderungen vorgenommen worden.

Der Input (+) Anschluss des OPV ist geerdet und der positive Anschluss der Fotodiode ist nun mit dem Input (-) Anschluss des OPV verbunden. Die Kurzschlussverbindung läuft über einen Widerstand, zu welchem ein Kondensator parallel geschaltet ist. Die Größe des Widerstands ist ausschlaggebend für die Amplitude des Messsignals.

Der Kondensator hat die Aufgabe Signalschwingungen zu dämpfen. [8]

5.4.1 Wirkung der Schaltung

Die nun gemessenen Daten sind qualitativ wesentlich besser zu interpretieren. Der Spannungsbereich der Datenverarbeitungskarte kann voll ausgenutzt werden (10V) [siehe Anhang].

5.4.2 Nachteile der Schaltung

Der Widerstand und der Kondensator müssen auf das zu messende Signal abgestimmt werden. Die Amplitude des Signals wird durch die Größe des Widerstands festgelegt. Darum muss der Widerstand so gewählt werden, dass die Maximalspannung des Messsignals unter 10V liegt. Diese Grenze ist durch die Datenerfassungskarte vorgegeben. Je größer der

Widerstand, desto größer die Maximalspannung und desto größer die Obergrenze des Grundrauschens. Ab einer Widerstandsgröße von ca. $1\text{k}\Omega$ entsteht ein schwankendes Signal (Zickzacksignal), welches durch das Parallelschalten eines Kondensators geglättet werden kann. Um das Signal nicht zu verfälschen, muss die Dimension des Kondensators ebenfalls sorgfältig gewählt werden. Mit Hilfe von Versuchen ist die optimale Abstimmung der Komponenten für das zu detektierende Licht ermittelt worden.

Die Störimpulse, welche bei der Schaltung (Kapitel 5.3) mit Hilfe eines Widerstands unterdrückt werden konnten, sind nun wieder messbar, jedoch im Vergleich zum Maximalsignal relativ gering (beide bis ca. 10V).

Die Ablagerungen auf der Innenseite des Kunststoffrohres haben wesentlichen Einfluss auf die Lichtstärke, beziehungsweise auf das Messsignal.

6 Zusammenfassung, Erkenntnisse und Ausblick

6.1 Zusammenfassung der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es gewesen, auf Basis einer vom TPT zur Verfügung gestellten Versuchsanlage zur Bestimmung der Geschwindigkeiten von Staubexplosionen, eine möglichst genaue Geschwindigkeitsmessung durchzuführen. Es ist danach gestrebt worden, die freigesetzte Lichtintensität über die Zeit bezüglich eines möglichst kleinen Bereiches des Versuchsraumes zu messen und in Form von Wertetabellen aufzuzeichnen. Somit sollte ein möglichst genaues Abbild des Verlaufes der Staubexplosion für weitere Untersuchungen zur Verfügung gestellt werden.

Zuerst ist die Anlage untersucht und die mit ihr erzielten Messergebnisse analysiert worden. Auf Basis des erhobenen Ist- Zustandes sind diverse Defizite der Anlage und des Messsystems sichtbar geworden. Durch eine Reihe von Modifikationen des Messsystems und der Durchführung einiger Umbauten, konnte die Qualität des Messsignals deutlich verbessert werden. Dies hat dazu geführt, dass das Messsignal einfacher zu interpretieren ist. Des Weiteren ist es durch die höhere Signalqualität möglich geworden, die Geschwindigkeitsmessung auf einen kleineren Bereich (Δs 120mm statt 400mm) zu beziehen.

6.1.1 Signalverbesserung

Um die Auswirkungen der Verbesserungsmaßnahmen deutlich zu machen, werden Staubexplosionen mit dem ursprünglichen und dem optimierten Messsystem gleichzeitig gemessen. Dies ermöglicht den direkten Vergleich der Messsignale.

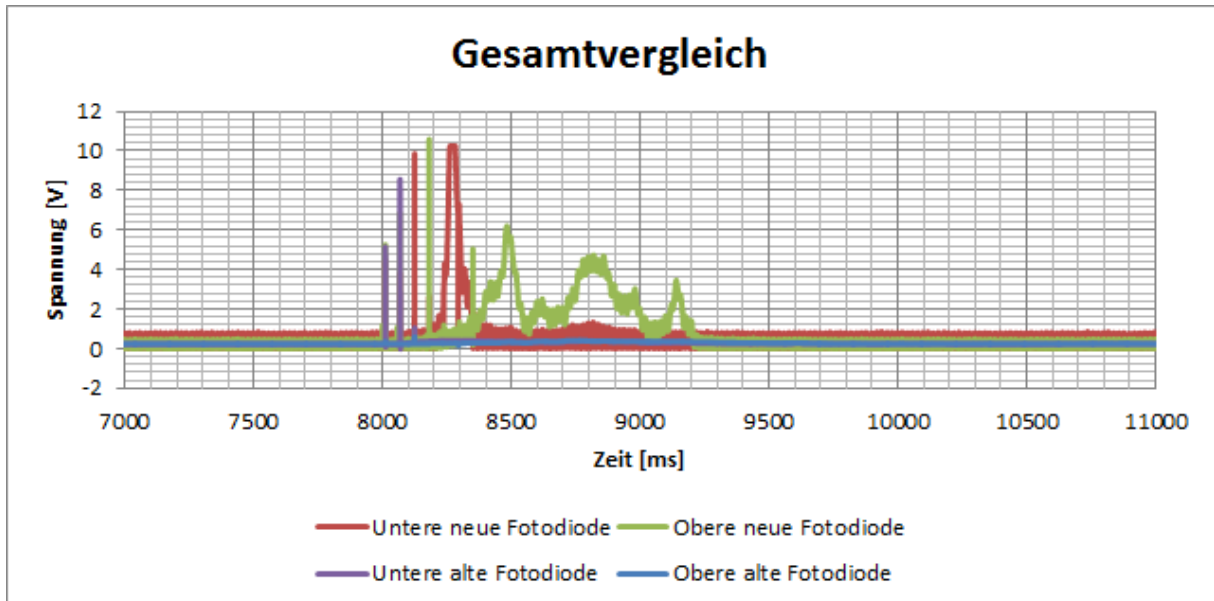


Abbildung 6-1: Gesamtvergleich

Der Unterschied zwischen den Messmethoden ist so eklatant, dass im direkten Signalvergleich aufgrund der Amplitudenunterschiede die Signale der ursprünglichen Messmethode konstant erscheinen. Aus diesem Grund werden die Messmethoden getrennt voneinander analysiert. Es ist festzuhalten, dass sich die untere Fotodiode des ursprünglichen und die untere Fotodiode des optimierten Messsystems auf derselben Höhe befinden. Die Zentren der Detektionsbereiche dieser beiden Fotodioden sind somit auf denselben Punkt des Versuchsraums ausgerichtet.

6.1.2 Ursprüngliches Signal

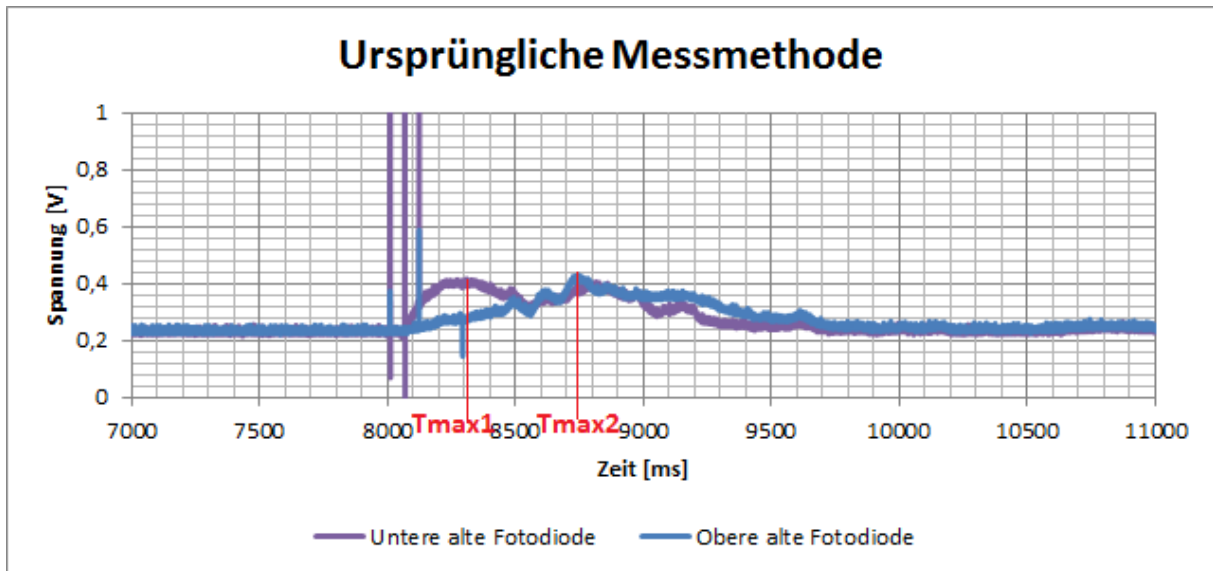


Abbildung 6-2: Ursprüngliche Messmethode

Die Signale verhalten sich so wie schon in Kapitel 3 analysiert. Es wird angenommen, dass der Zeitpunkt des Vorbeiziehens der Flammenfront an der Fotodiode zum Zeitpunkt des Signalmaximums erfolgt. Diese Annahme wird bei beiden Messungen getroffen. Die Zeitdifferenz der beiden Maxima beträgt 434ms. Die Fotodioden befinden sich in einem Abstand von 0,4m. Dies führt zu einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 0,921m/s.

Charakteristisch für die Messmethode sind die relativ schwachen Signalanstiege und die vergleichsweise niedrigen Signalmaxima. Es ergeben sich keine klaren Signalspitzen, welche die Interpretation des Messergebnisses vereinfachen würden.

6.1.3 Optimiertes Signal

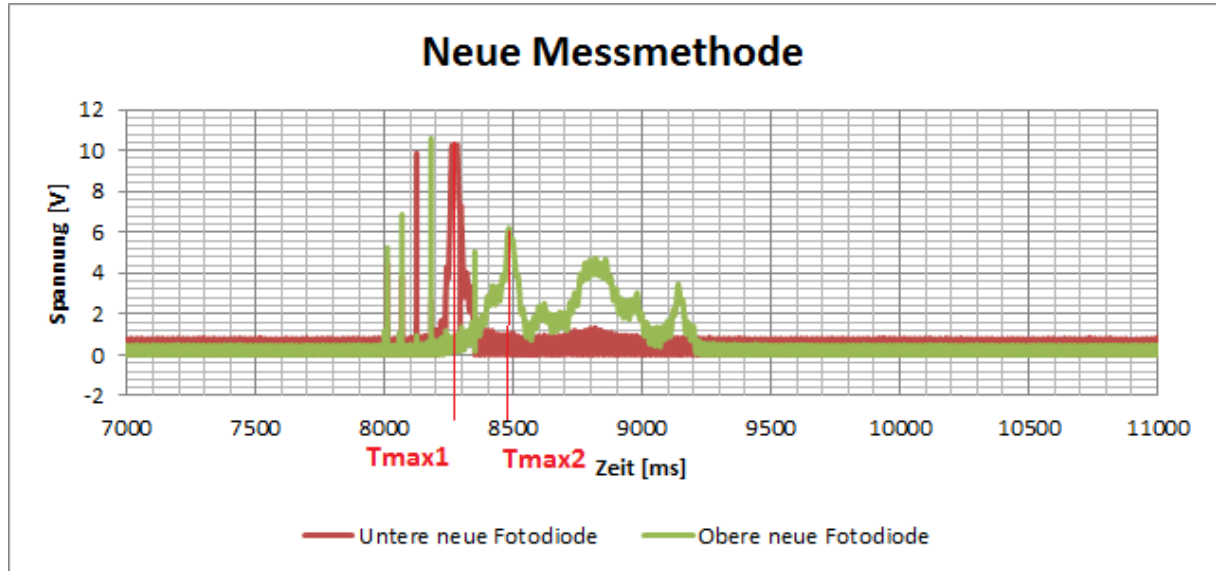


Abbildung 6-3: Neue Messmethode

Die Fotodioden sind in einem Abstand von 0,12m montiert und die Zeitdifferenz zwischen den Signalmaxima beträgt 212ms. Das ergibt eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 0,566m/s.

Verglichen zu der ursprünglichen Messmethode ergeben sich wesentlich klarere Signale. Dies liegt daran, dass sowohl Signalanstiege als auch Signalmaxima erheblich stärker ausgeprägt sind. Des Weiteren ist zu beachten, dass durch die bessere Signalqualität die Interpretation der Signale einfacher ist und dadurch der Abstand der Fotodioden verringert werden kann. Somit bezieht sich auch die errechnete Durchschnittsgeschwindigkeit auf eine kürzere Wegstrecke. Dies ermöglicht eine detailliertere Untersuchung des Verbrennungsvorganges.

6.2 Ausblick

Während der Arbeit mit der Versuchsanlage sind weitere Verbesserungsmöglichkeiten erkannt worden.

6.2.1 Sicherheit und Betriebssicherheit

6.2.1.1 Wasserbad im Fußteil

Bei der Durchführung der Staubexplosionsgeschwindigkeitsmessung wird das Versuchsmaterial nie vollständig verbrannt. Das kann dazu führen, dass sich unverbrannter Staub (z.B. im Fußteil) ansammelt. Dies birgt die Gefahr einer unkontrollierten Staubexplosion. Um dem entgegenzuwirken könnte der Fußteil mit Wasser befüllt werden, damit unverbrannter Staub in einem Wasserbad aufgefangen wird.

6.2.1.2 Staubspeicher vergrößern

Die in der Förderschnecke gespeicherte Staubmenge genügt bestenfalls für zwei Staubexplosionen. Danach muss die Förderschnecke ausgebaut und wieder befüllt werden. Es wäre eine große Arbeitserleichterung, wenn die Förderschnecke mehr Staub speichern könnte.

6.2.1.3 Verriegelung des Kopfteils

Der Verschluss der Kopfteilöffnung, durch welche die Förderschnecke in Position gebracht wird, ist nicht benutzerfreundlich. Bei nicht optimalem Verschließen der Öffnung ist es möglich, dass durch die Staubexplosion brennbarer Staub durch die Öffnung geblasen wird. Als Alternative würde sich ein Schraubverschlussystem (Hydrantenverschluss) oder ein Bajonettverschlussystem anbieten.

6.2.1.4 Befestigung der Fotodioden- Fassung

Die benutzte Kunststoffbefestigung, in welche die Fotodioden- Fassung gesteckt wird, erfüllt zwar die Anforderungen, sollte jedoch durch eine weniger filigrane Alternative ersetzt werden.

6.2.1.5 Blende der Rohrmontage

Die Öffnung der Rohrmontage ist mit einer Blende versehen, um die Lichtmenge, die zur Fotodiode gelangt, zu regulieren. Wäre die Öffnung mit einer stufenlos regelbaren Blende versehen, würde dies die Regulierung der Lichtmenge erheblich erleichtern.

6.2.1.6 Separate Stromversorgung der Zündeinrichtung

Da die Zündeinrichtung mit hohen Spannungen arbeitet und somit eine Gefahrenquelle darstellt, sollte die Zündeinrichtung mit einer eigenen, schaltbaren Stromquelle versehen werden. Dies hätte den Vorteil, dass man die Zündquelle nur bei Bedarf zuschalten kann.

6.2.1.7 Kabel mit Drahtschuhen versehen

Um das Arbeiten mit den elektrischen Kabeln zu erleichtern, sollten die Kabelverbindungen als Steckverbindungen ausgeführt werden.

6.2.1.8 Zündfunkenkabel

Wie beim Arbeiten mit der Zündeinrichtung aufgefallen ist, kann die Länge des elektrischen Kabels, mit welchem die Energie für den Zündfunken bereitgestellt wird, nicht beliebig verlängert werden. Um diesbezüglich mehr Handlungsspielraum zu haben, würde es sich anbieten das vorhandene Kabel durch ein längeres, mit einem besseren Leitwert, zu ersetzen.

6.2.1.9 Abgeschirmte Messkabel

Das Messsystem reagiert sehr sensibel auf elektromagnetische Wellen. Um die Beeinflussbarkeit des Messsystems zu verringern, scheint es sinnvoll, Kabel zu benutzen, welche über eine Abschirmung verfügen.

6.2.1.10 Zugentlastung von Stromkabel

Besonders dünne Kabel und Steckverbindungen sollten mit einer Zugentlastung ausgestattet sein, um Beschädigungen vorzubeugen.

6.2.1.11 Gemeinsames Gehäuse für Verstärkerschaltung und Netzteil

Da es sich um ein zusammenhängendes System handelt und die vorhandene Verbindung von Verstärkereinheit und Netzteil sehr filigran scheint, ist es praktikabler ein gemeinsames Gehäuse zu benutzen.

6.2.1.12 Spektralanalyse mittels RGB- Fotodiode

Fotodioden unterscheiden sich in ihrer spektralen Empfindlichkeit sehr stark voneinander. Um die passendste Fotodiode zur Bestimmung der Intensität einer Lichtquelle (Staubexplosion) einsetzen zu können, ist es notwendig, festzustellen welcher Wellenlängenbereich von der Lichtquelle am stärksten emittiert wird. Aus diesem Grund empfiehlt sich eine Spektralanalyse der Lichtquelle.

6.2.1.13 Anschlag für die Förderschnecke

Die Position des Austrages der Förderschnecke ist für eine gleichmäßige Staubverteilung im Versuchsraum ausschlaggebend. Vorhandene Markierungen ermöglichen es die Förderschnecke vor jedem Versuch in die gleiche Position bringen zu können. Die Anbringung eines Anschlages würde die vorhandenen Markierungen überflüssig machen und das Positionieren der Förderschnecke vereinfachen.

6.2.2 Weitere Verbesserung der Signalqualität

Das bereits vorhandene Signal könnte eventuell weiter verbessert werden.

6.2.2.1 Störimpulse

Wie bereits gezeigt worden ist, konnte bei der Impedanzwandlerschaltung eine starke Minderung der Störimpulse mit Hilfe eines parallelen Widerstands erreicht werden. Ähnliches könnte bei der Transimpedanzschaltung versucht werden. Wie sich dies auf die Signalqualität auswirkt, ist jedoch unklar.

6.2.2.2 Operationsverstärker

Der verwendete Operationsverstärker (TI TLE2022) ist ein Operationsverstärker für universelle Anwendungen.

Es gibt so genannte CV- OPV, CFA oder auch Strom/Spannungs- Wandler, welche sich für eine Transimpedanzwandlerschaltung besser eignen sollten. Grund dafür ist der stromgesteuerte invertierende Eingang [12]

Diese Operationsverstärker sollten in der Lage sein, ein noch niedrigeres Grundrauschen für die Datenerfassungskarte zu produzieren.

6.2.2.3 Betrieb mit negativer Vorspannung

Der gewählte fotovoltaische Betriebsmodus (siehe Kapitel 2) scheint für die Detektion der Staubexplosion gut geeignet zu sein. Nichtsdestotrotz sollte der Betriebsmodus mit negativer Vorspannung ebenfalls erprobt werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Kern, H., Explosible Dust/Air Mixtures, Dissertation, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2013
- [2] Hauptmanns, U., Prozess- und Anlagensicherheit, Springer Vieweg, Schönebeck (Elbe), 2013
- [3] Steen, H., Handbuch des Explosionsschutzes, WILEY-VCH, Weinheim, 2000
- [4] Han, O.S., Yashima, M., Matsuda, T., Matsui, H., Miyake, A., Ogawa, T., A study of flame propagation mechanisms in lycopodium dust clouds based on dust particles behavior, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 14 (2001), 153-160
- [5] Crowl, D.A., Understanding explosions, Center of Chemical Process Safety of the American Institute Chemical Engineers, New York, 2003
- [6] Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (Hrsg.), Ratgeber Anlagensicherheit, Universum Verlag, Wiesbaden, 2014
- [7] Plaßmann, W., Schulz, D. (Hrsg.), Handbuch Elektrotechnik, 6. Auflage, Springer Vieweg, Bad Nenndorf, Hamburg, 2013
- [8] Reisch, M., Elektronische Bauelemente, 2. Auflage, Springer, Kempten, 2007
- [9] Federau, J., Operationsverstärker, 6. Auflage, Springer Vieweg, Beckdorf- Nindorf, 2003
- [10] Hering, E., Schönfelder, G. (Hrsg.), Sensoren in Wissenschaft und Technik, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2012

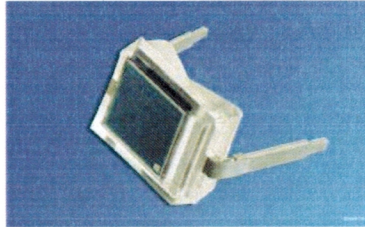
- [11] Wieser, G., Untersuchung der Flammenfortpflanzung in Staub/Luft- Gemischen unter reduzierten Druckbedingungen, Master Thesis, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2013
- [12] Tietze, U., Schenk, C., Gamm, E., Halbleiter- Schaltungstechnik, 14. Auflage, Springer Vieweg, Erlangen, 2012

8 Anhang

Datenblatt Fotodiode BPW 34

Silizium-PIN-Fotodiode mit erhöhter Blauempfindlichkeit; in SMT Silicon PIN Photodiode with Enhanced Blue Sensitivity; in SMT

BPW 34 B
BPW 34 BS



Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 350 nm bis 1100 nm
- Kurze Schaltzeit (typ. 25 ns)
- DIL-Plastikbauform mit hoher Packungsdichte

Anwendungen

- Lichtschranken für Gleich- und Wechsellichtbetrieb im sichtbaren Lichtbereich
- Industrieelektronik
- „Messen/Steuern/Regeln“

Features

- Especially suitable for applications from 350 nm to 1100 nm
- Short switching time (typ. 25 ns)
- DIL plastic package with high packing density

Applications

- Photointerrupters
- Industrial electronics
- For control and drive circuits

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code
BPW 34 B	Q62702-P945
BPW 34 BS	Q62702-P1601

Grenzwerte
Maximum Ratings

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	- 40 ... + 85	°C
Sperrspannung Reverse voltage	V_R	32	V
Verlustleistung, $T_A = 25\text{ °C}$ Total power dissipation	P_{tot}	150	mW

Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$, Normlicht A, $T = 2856\text{ K}$)
Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$, standard light A, $T = 2856\text{ K}$)

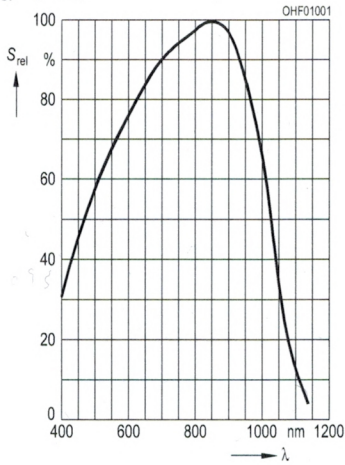
Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Fotoempfindlichkeit, $V_R = 5\text{ V}$ Spectral sensitivity	S	75	nA/lx
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\text{ max}}$	850	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10\%$ von S_{max} Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of S_{max}	λ	350 ... 1100	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	7.45	mm ²
Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche Dimensions of radiant sensitive area	$L \times B$ $L \times W$	2.73×2.73	mm × mm
Halbwinkel Half angle	φ	± 60	Grad deg.
Dunkelstrom, $V_R = 10\text{ V}$ Dark current	I_R	2 (≤ 30)	nA
Spektrale Fotoempfindlichkeit, $\lambda = 400\text{ nm}$ Spectral sensitivity	S_λ	0.2	A/W
Quantenausbeute, $\lambda = 400\text{ nm}$ Quantum yield	η	0.62	Electrons Photon
Leerlaufspannung, $E_v = 1000\text{ lx}$ Open-circuit voltage	V_O	390	mV

Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$, Normlicht A, $T = 2856\text{ K}$)

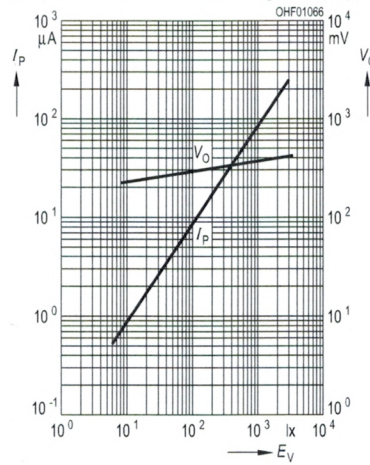
Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$, standard light A, $T = 2856\text{ K}$) (cont'd)

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Kurzschlußstrom Short-circuit current $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2, \lambda = 400\text{ nm}$	I_{SC}	7.4 (≥ 5.4)	μA
Anstiegs- und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_L = 50\ \Omega; V_R = 5\text{ V}; \lambda = 850\text{ nm}; I_p = 800\ \mu\text{A}$	t_r, t_f	25	ns
Durchlaßspannung, $I_F = 100\text{ mA}, E = 0$ Forward voltage	V_F	1.3	V
Kapazität, $V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}, E = 0$ Capacitance	C_0	72	pF
Temperaturkoeffizient von V_O Temperature coefficient of V_O	TC_V	- 2.6	mV/K
Temperaturkoeffizient von I_{SC} Temperature coefficient of I_{SC}	TC_I	0.18	%/K
Rauschäquivalente Strahlungsleistung Noise equivalent power $V_R = 10\text{ V}, \lambda = 400\text{ nm}$	NEP	1.3×10^{-13}	$\frac{\text{W}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
Nachweisgrenze, $V_R = 10\text{ V}, \lambda = 400\text{ nm}$ Detection limit	D^*	2.1×10^{12}	$\frac{\text{cm} \times \sqrt{\text{Hz}}}{\text{W}}$

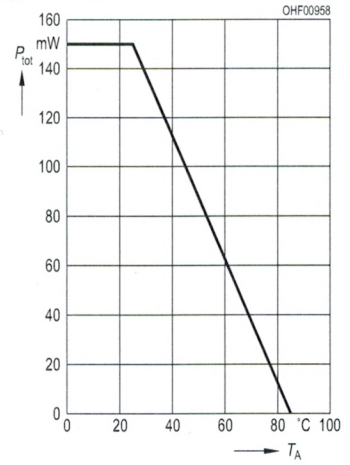
Relative Spectral Sensitivity
 $S_{rel} = f(\lambda)$



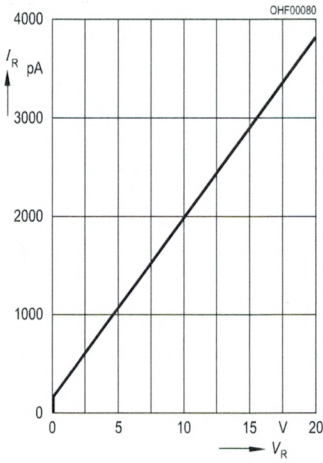
Photocurrent $I_P = f(E_V)$, $V_R = 5 V$
Open-Circuit Voltage $V_O = f(E_V)$



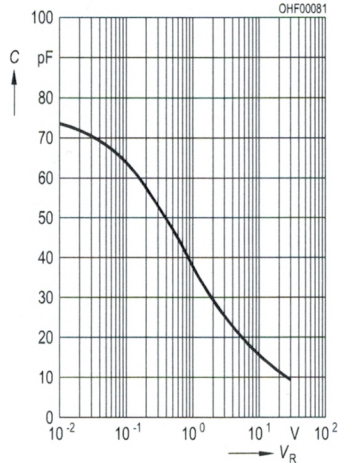
Total Power Dissipation
 $P_{tot} = f(T_A)$



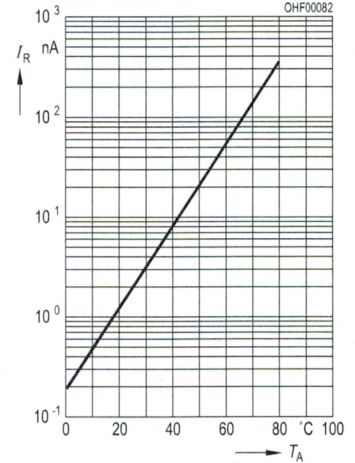
Dark Current
 $I_R = f(V_R), E = 0$



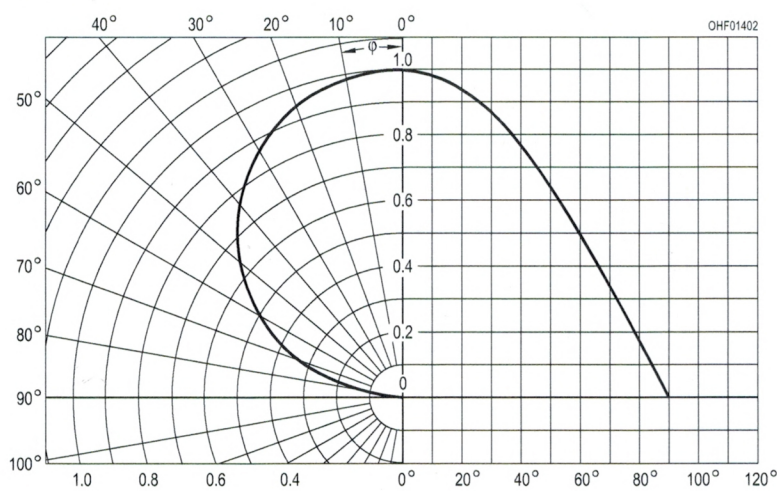
Capacitance
 $C = f(V_R), f = 1 MHz, E = 0$



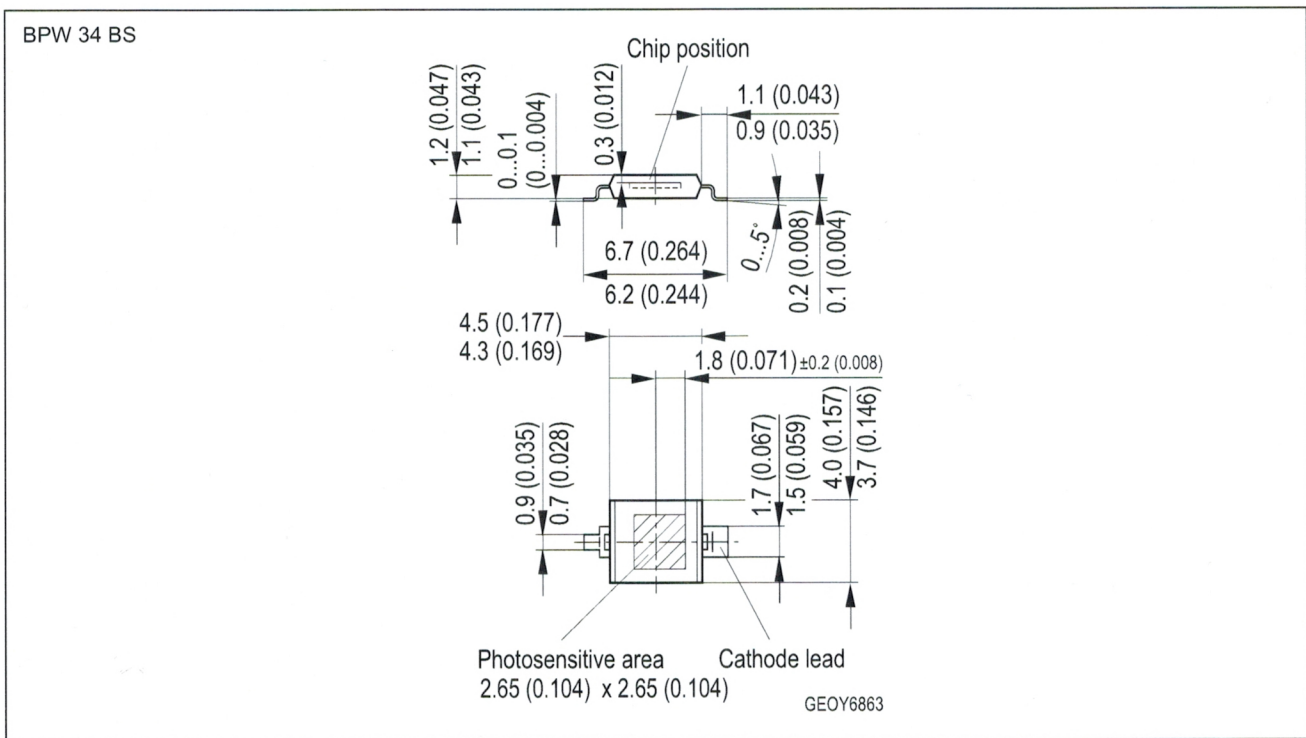
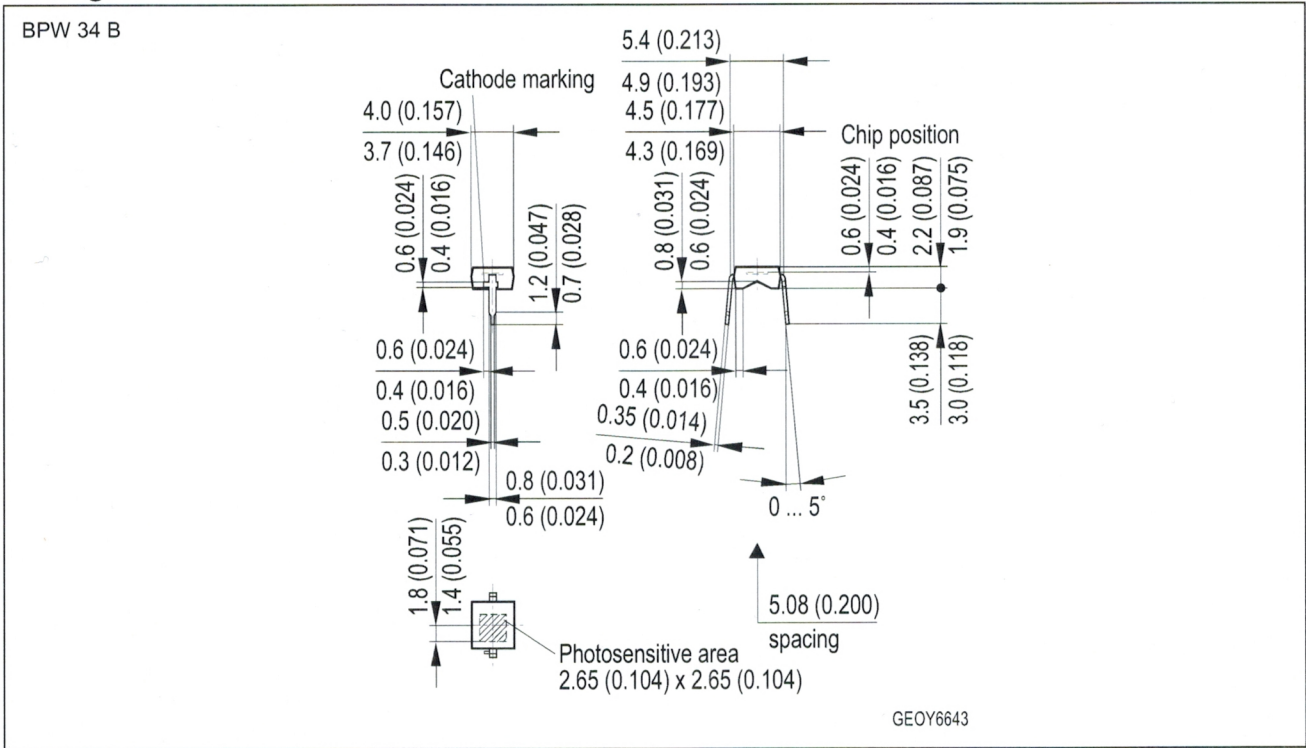
Dark Current
 $I_R = f(T_A), V_R = 5 V, E = 0$



Directional Characteristics
 $S_{rel} = f(\phi)$



Maßzeichnung
Package Outlines



Maße werden wie folgt angegeben: mm (inch) / Dimensions are specified as follows: mm (inch).

Published by OSRAM Opto Semiconductors GmbH & Co. OHG
Wernerwerkstrasse 2, D-93049 Regensburg

© All Rights Reserved.

Attention please!

The information describes the type of component and shall not be considered as assured characteristics. Terms of delivery and rights to change design reserved. Due to technical requirements components may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact our Sales Organization.

Packing

Please use the recycling operators known to you. We can also help you – get in touch with your nearest sales office. By agreement we will take packing material back, if it is sorted. You must bear the costs of transport. For packing material that is returned to us unsorted or which we are not obliged to accept, we shall have to invoice you for any costs incurred.

Components used in life-support devices or systems must be expressly authorized for such purpose! Critical components ¹, may only be used in life-support devices or systems ² with the express written approval of OSRAM OS.

¹ A critical component is a component used in a life-support device or system whose failure can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect its safety or effectiveness of that device or system.

² Life support devices or systems are intended (a) to be implanted in the human body, or (b) to support and/or maintain and sustain human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health of the user may be endangered.

Datenblatt Fotodiode SFH 213 FA

Silicon PIN Photodiode

Silizium-PIN-Fotodiode

Version 1.1

SFH 213, SFH 213 FA



SFH 213



SFH 213 FA

Features:

- Wavelength range ($S_{10\%}$) 400 nm to 1100 nm (SFH 213) and 750 nm to 1100 nm (SFH 213 FA)
- Short switching time (typ. 5 ns)
- 5 mm LED plastic package

Applications

- High speed photointerrupters
- Industrial electronics
- For control and drive circuits

Besondere Merkmale:

- Wellenlängenbereich ($S_{10\%}$) 400nm bis 1100nm (SFH 213) und 750 nm bis 1100 nm (SFH 213 FA)
- Kurze Schaltzeit (typ. 5 ns)
- 5 mm-Plastikbauform im LED-Gehäuse

Anwendungen

- Schnelle Lichtschranken
- Industrieelektronik
- Messen / Steuern / Regeln

Ordering Information

Bestellinformation

Type:	Photocurrent	Ordering Code
Typ:	Fotostrom	Bestellnummer
	$V_R = 5 \text{ V}$, Std. Light A, $E_V = 1000 \text{ lx}$ (SFH 213) $V_R = 5 \text{ V}$, $\lambda = 870 \text{ nm}$, $E_e = 1 \text{ mW/cm}^2$ (SFH 213 FA) I_P [μA]	
SFH 213	135 (≥ 100)	Q62702P0930
SFH 213 FA	90 (≥ 65)	Q62702P1671

Maximum Ratings ($T_A = 25\text{ °C}$)**Grenzwerte**

Parameter Bezeichnung	Symbol Symbol	Values Werte		Unit Einheit
		SFH 213	SFH 213 FA	
Operating and storage temperature range Betriebs- und Lagertemperatur	$T_{op}; T_{stg}$	-40 ... 100		°C
Reverse voltage Sperrspannung	V_R	20		V
Reverse voltage Sperrspannung ($t < 2\text{ min}$)	V_R	50		V
Total power dissipation Verlustleistung	P_{tot}	150		mW

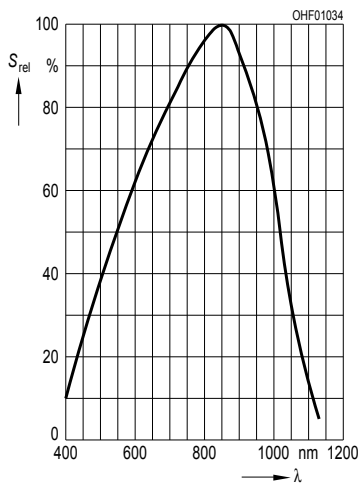
Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$)**Kennwerte**

Parameter Bezeichnung	Symbol Symbol	Values Werte		Unit Einheit
		SFH 213	SFH 213 FA	
Photocurrent Fotostrom ($E_v = 1000\text{ lx}$, Std. Light A, $V_R = 5\text{ V}$, $T = 2856\text{ K}$)	I_p	135 (≥ 100)		μA
Photocurrent Fotostrom ($V_R = 5\text{ V}$, $\lambda = 870\text{ nm}$, $E_e = 1\text{ mW/cm}^2$)	I_p		90 (≥ 65)	μA
Wavelength of max. sensitivity Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit	$\lambda_{S\text{ max}}$	850	900	nm
Spectral range of sensitivity Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit	$\lambda_{10\%}$	400 ... 1100	750 ... 1100	nm
Radiant sensitive area Bestrahlungsempfindliche Fläche	A	1.00		mm^2
Dimensions of radiant sensitive area Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche	L x W	1 x 1		mm x mm
Half angle Halbwinkel	φ	± 10		°

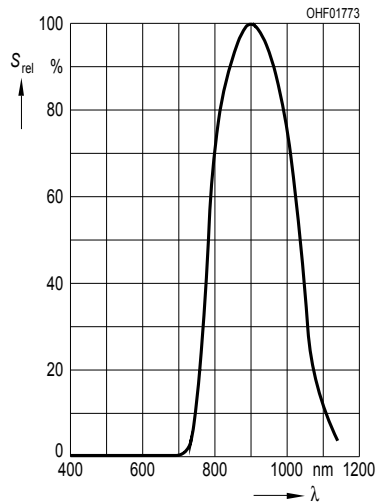
Parameter Bezeichnung	Symbol Symbol	Values Werte		Unit Einheit
		SFH 213	SFH 213 FA	
Dark current Dunkelstrom ($V_R = 20\text{ V}$)	I_R	1 (≤ 5)		nA
Spectral sensitivity of the chip Spektrale Fotoempfindlichkeit des Chips ($\lambda = 870\text{ nm}$)	$S_{\lambda\text{ typ}}$	0.65		A / W
Quantum yield of the chip Quantenausbeute des Chips ($\lambda = 870\text{ nm}$)	η	0.93		Electrons /Photon
Open-circuit voltage Leerlaufspannung ($E_v = 1000\text{ lx, Std. Light A}$)	V_O	430 (≥ 350)		mV
Open-circuit voltage Leerlaufspannung ($E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2, \lambda = 870\text{ nm}$)	V_O		380 (≥ 300)	mV
Short-circuit current Kurzschlussstrom ($E_v = 1000\text{ lx, Std. Light A}$)	I_{SC}	125		μA
Short-circuit current Kurzschlussstrom ($E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2, \lambda = 870\text{ nm}$)	I_{SC}		42	μA
Rise and fall time Anstiegs- und Abfallzeit ($V_R = 20\text{ V, } R_L = 50\ \Omega, \lambda = 850\text{ nm}$)	t_r, t_f	0.005		μs
Forward voltage Durchlassspannung ($I_F = 100\text{ mA, } E = 0$)	V_F	1.3		V
Capacitance Kapazität ($V_R = 0\text{ V, } f = 1\text{ MHz, } E = 0$)	C_0	11		pF
Temperature coefficient of V_O Temperaturkoeffizient von V_O	TC_V	-2.6		mV / K
Temperature coefficient of I_{SC} Temperaturkoeffizient von I_{SC} (Std. Light A)	TC_I	0.18		% / K

Parameter Bezeichnung	Symbol Symbol	Values Werte		Unit Einheit
		SFH 213	SFH 213 FA	
		Temperature coefficient of I_{SC} Temperaturkoeffizient von I_{SC} ($\lambda = 870 \text{ nm}$)	TC_I	
Noise equivalent power Rauschäquivalente Strahlungsleistung ($V_R = 20 \text{ V}$, $\lambda = 870 \text{ nm}$)	NEP	0.028		pW / Hz ^{1/2}
Detection limit Nachweisgrenze ($V_R = 20 \text{ V}$, $\lambda = 870 \text{ nm}$)	D^*	3.6e12		cm x Hz ^{1/2} / W

Relative Spectral Sensitivity
Relative spektrale Empfindlichkeit
 SFH 213 $S_{rel} = f(\lambda)$



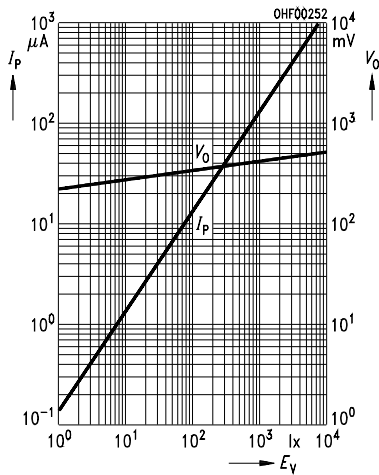
Relative Spectral Sensitivity
Relative spektrale Empfindlichkeit
 SFH 213 FA $S_{rel} = f(\lambda)$



Photocurrent / Open-Circuit Voltage

Fotostrom / Leerlaufspannung

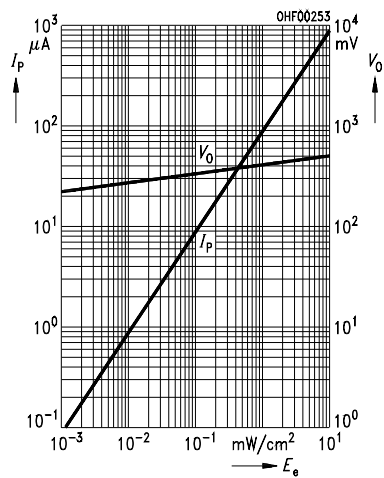
SFH 213 $I_p (V_R = 5 \text{ V}) / V_O = f(E_v)$



Photocurrent / Open-Circuit Voltage

Fotostrom / Leerlaufspannung

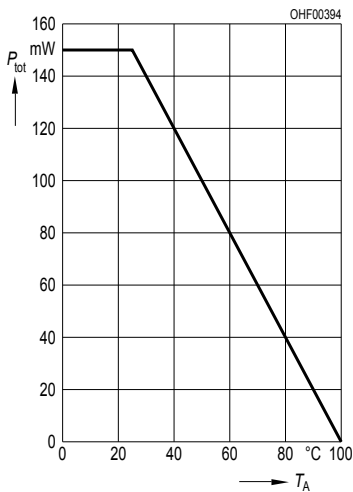
SFH 213 FA $I_p (V_R = 5 \text{ V}) / V_O = f(E_e)$



Total Power Dissipation

Verlustleistung

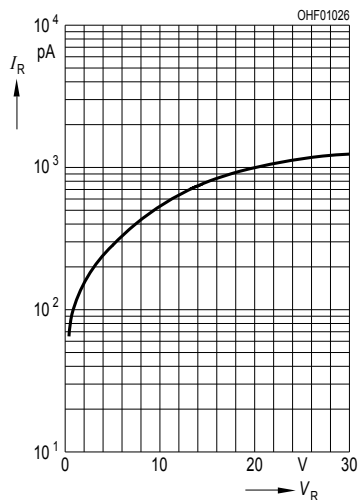
$P_{\text{tot}} = f(T_A)$



Dark Current

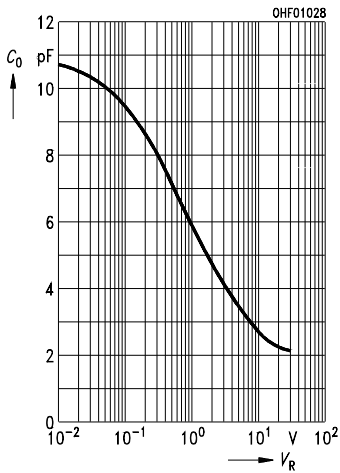
Dunkelstrom

$I_R = f(V_R), E = 0$



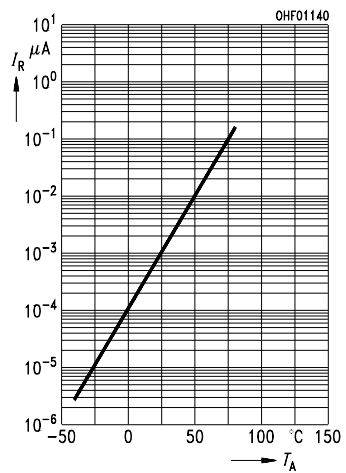
**Capacitance
Kapazität**

$C = f(V_R), f = 1 \text{ MHz}, E = 0$



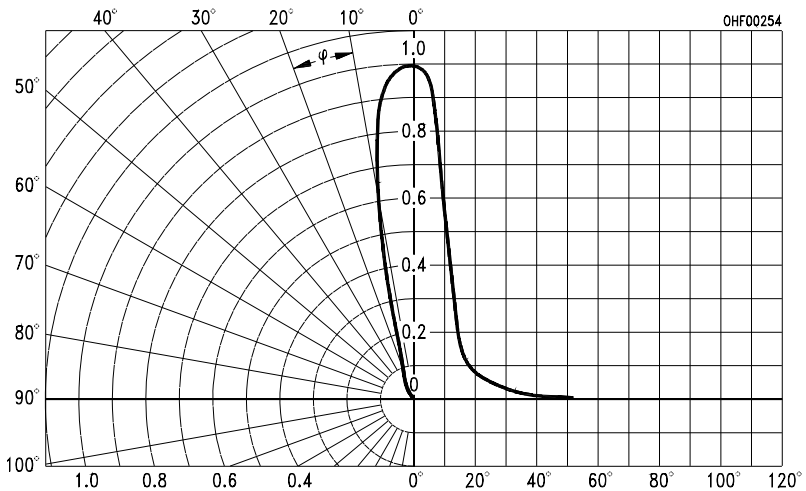
**Dark Current
Dunkelstrom**

$I_R = f(T_A), V_R = 20 \text{ V}, E = 0$

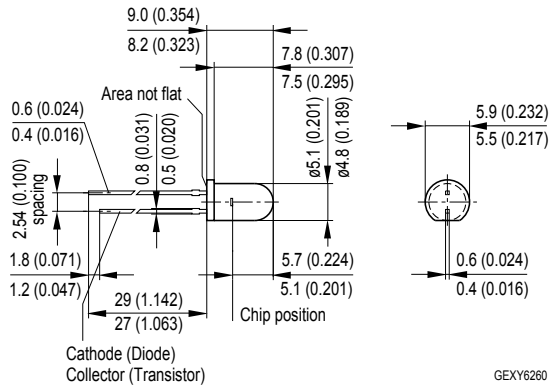


**Directional Characteristics
Winkeldiagramm**

$S_{rel} = f(\varphi)$



Package Outline Maßzeichnung



Dimensions in mm (inch). / Maße in mm (inch).

Package

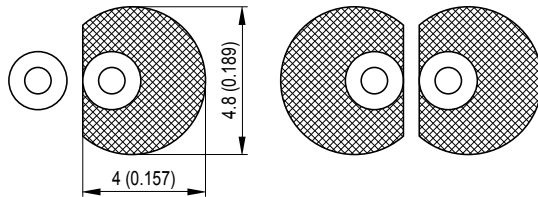
5mm Radial (T 1 3/4), Epoxy

Gehäuse

5mm Radial (T 1 3/4), Harz

Recommended Solder Pad
Empfohlenes Lötpadding

TTW Soldering / Wellenlöten (TTW)

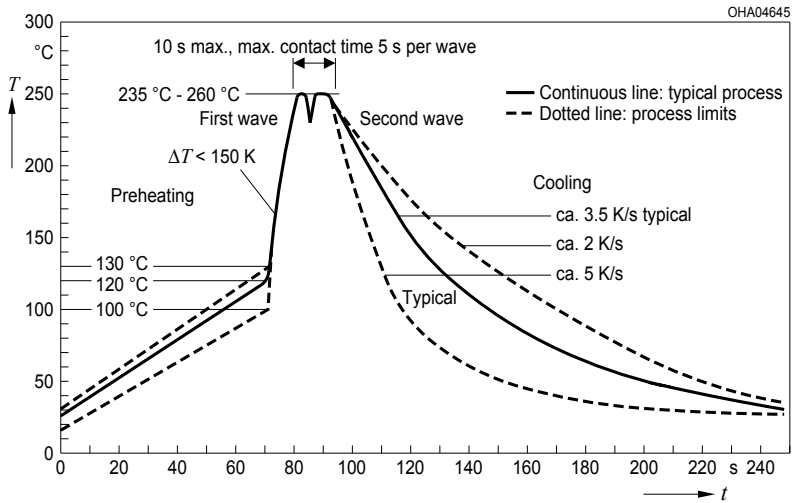


OHLPY985

Dimensions in mm (inch). / Maße in mm (inch).

TTW Soldering Wellenlöten (TTW)

IEC-61760-1 TTW / IEC-61760-1 TTW



Disclaimer

Attention please!

The information describes the type of component and shall not be considered as assured characteristics.

Terms of delivery and rights to change design reserved.

Due to technical requirements components may contain dangerous substances.

For information on the types in question please contact our Sales Organization.

If printed or downloaded, please find the latest version in the Internet.

Packing

Please use the recycling operators known to you. We can also help you – get in touch with your nearest sales office.

By agreement we will take packing material back, if it is sorted. You must bear the costs of transport. For packing material that is returned to us unsorted or which we are not obliged to accept, we shall have to invoice you for any costs incurred.

Components used in life-support devices or systems must be expressly authorized for such purpose!

Critical components* may only be used in life-support devices** or systems with the express written approval of OSRAM OS.

*) A critical component is a component used in a life-support device or system whose failure can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect its safety or the effectiveness of that device or system.

**) Life support devices or systems are intended (a) to be implanted in the human body, or (b) to support and/or maintain and sustain human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health and the life of the user may be endangered.

Disclaimer

Bitte beachten!

Lieferbedingungen und Änderungen im Design vorbehalten. Aufgrund technischer Anforderungen können die Bauteile Gefahrstoffe enthalten. Für weitere Informationen zu gewünschten Bauteilen, wenden Sie sich bitte an unseren Vertrieb. Falls Sie dieses Datenblatt ausgedruckt oder heruntergeladen haben, finden Sie die aktuellste Version im Internet.

Verpackung

Benutzen Sie bitte die Ihnen bekannten Recyclingwege. Wenn diese nicht bekannt sein sollten, wenden Sie sich bitte an das nächstgelegene Vertriebsbüro. Wir nehmen das Verpackungsmaterial zurück, falls dies vereinbart wurde und das Material sortiert ist. Sie tragen die Transportkosten. Für Verpackungsmaterial, das unsortiert an uns zurückgeschickt wird oder das wir nicht annehmen müssen, stellen wir Ihnen die anfallenden Kosten in Rechnung.

Bauteile, die in lebenserhaltenden Apparaten und Systemen eingesetzt werden, müssen für diese Zwecke ausdrücklich zugelassen sein!

Kritische Bauteile* dürfen in lebenserhaltenden Apparaten und Systemen** nur dann eingesetzt werden, wenn ein schriftliches Einverständnis von OSRAM OS vorliegt.

*) Ein kritisches Bauteil ist ein Bauteil, das in lebenserhaltenden Apparaten oder Systemen eingesetzt wird und dessen Defekt voraussichtlich zu einer Fehlfunktion dieses lebenserhaltenden Apparates oder Systems führen wird oder die Sicherheit oder Effektivität dieses Apparates oder Systems beeinträchtigt.

**) Lebenserhaltende Apparate oder Systeme sind für (a) die Implantierung in den menschlichen Körper oder (b) für die Lebenserhaltung bestimmt. Falls Sie versagen, kann davon ausgegangen werden, dass die Gesundheit und das Leben des Patienten in Gefahr ist.

Published by OSRAM Opto Semiconductors GmbH
Leibnizstraße 4, D-93055 Regensburg
www.osram-os.com © All Rights Reserved.

EU RoHS and China RoHS compliant product



此产品符合欧盟 RoHS 指令的要求；
按照中国的相关法规和标准，不含有毒有害物质或元素。

Datenblatt der Datenverarbeitungskarte NI USB 6009

NI USB-6008/6009

Busversorgtes multifunktionales USB-Datenerfassungsgerät

Français	Deutsch	日本語	한국어	简体中文
ni.com/manuals				

Die Geräte NI USB-6008 und NI USB-6009 sind mit acht Analogeingängen für die Schaltung gegenüber einem Bezugspotential, zwei Analogausgängen (AO) und 12 Digitalanschlüssen (DIO) sowie einem 32-Bit-Zähler mit Full-Speed-USB-Anschluss ausgestattet. In der vorliegenden Anleitung finden Sie Bedienungshinweise zu diesen Geräten.

Spezifikationen finden Sie in den Dokumenten *Gerätespezifikationen zum NI USB-6008* und *Gerätespezifikationen zum NI USB-6009* auf ni.com/manuals.

In der folgenden Tabelle werden die Geräte NI USB-6008 und NI USB-6009 einander gegenübergestellt.

Tabelle 1. Vergleich zwischen NI USB-6008 und NI USB-6009

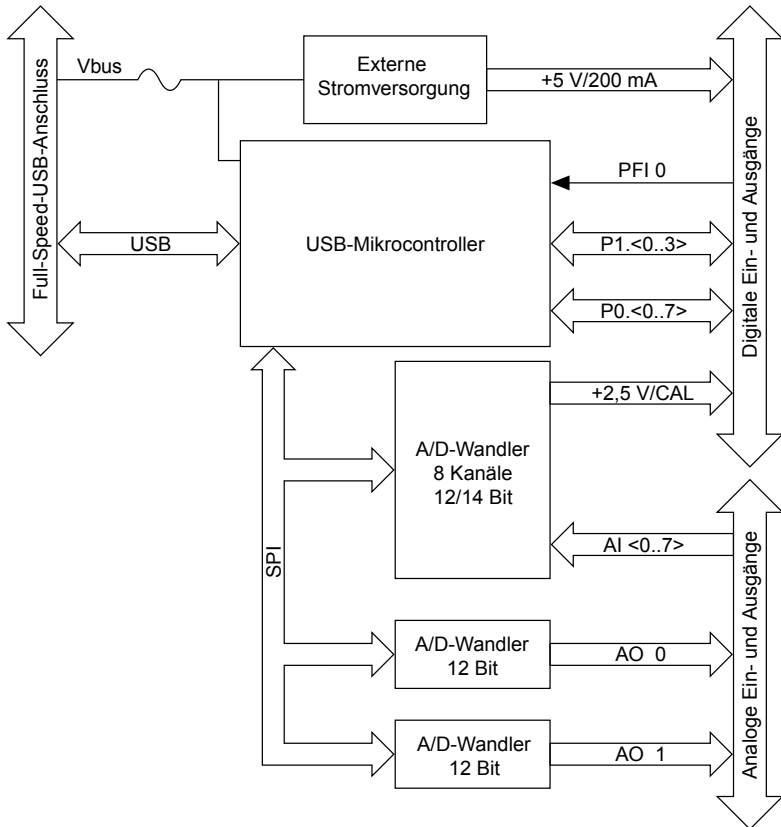
Komponente	NI USB-6008	NI USB-6009
Auflösung für analoge Erfassung	12 Bit bei differentieller Schaltung, 11 Bit bei Schaltung gegen Bezugspotential	14 Bit bei differentieller Schaltung, 13 Bit bei Schaltung gegen Bezugspotential
Maximale Sample-Rate für analoge Erfassung, ein Kanal ¹	10 kS/s	48 kS/s
Maximale Sample-Rate für analoge Erfassung, mehrere Kanäle (insgesamt) ¹	10 kS/s	48 kS/s
DIO-Konfiguration	Offener Kollektor ²	Jeder Kanal kann programmatisch als offener Kollektor oder für die aktive Ausgabe konfiguriert werden. ²

¹ systemabhängig

² Dieses Dokument folgt den NI-DAQmx-Namenskonventionen. "Open Drain" wird dabei als "offener Kollektor" bezeichnet und "Push-Pull" als "aktive Ausgabe".

In der nachfolgenden Abbildung ist der Aufbau von Geräten des Typs NI USB-6008/6009 dargestellt.

Abbildung 1. Blockschaltbild des NI USB-6008/6009



Sicherheitsrichtlinien

Im folgenden Abschnitt finden Sie wichtige Sicherheitshinweise, die bei der Inbetriebnahme und der Verwendung des NI USB-6008/6009 unbedingt zu beachten sind.



Achtung Verwenden Sie das NI USB-6008/6009 nur so, wie in der vorliegenden Bedienungsanleitung beschrieben ist. Beim falschen Umgang mit dem Gerät kann es zu Schäden kommen. Bei einem defekten Gerät sind die eingebauten Schutzmechanismen unter Umständen nicht wirksam. Alle defekten Geräte sollten daher zur Reparatur an National Instruments gesendet werden.



Achtung Soweit nicht anders beschrieben, dürfen keine Veränderungen am Gerät vorgenommen werden. Das Gerät darf nur zusammen mit dem in der Installationsanleitung aufgeführten Zubehör verwendet werden.



Achtung Das Gerät darf nicht an Orten genutzt werden, an denen Explosionsgefahr besteht oder an denen entzündliche Gase oder Dämpfe auftreten können. Wenn auf den Einsatz an einem solchen Ort nicht verzichtet werden kann, muss das Gerät mit einem vorschriftsmäßigen Schutzgehäuse versehen werden.

Elektromagnetische Verträglichkeit

Dieses Gerät wurde getestet und erfüllt alle in den Produktspezifikationen aufgeführten behördlichen Anforderungen für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Die Anforderungen sind so ausgelegt, dass schädigende Störungen im elektromagnetischen Umfeld, in dem das Gerät betrieben wird, auf ein vertretbares Maß reduziert werden.

Dieses Gerät ist für den Einsatz an Industriestandorten vorgesehen. Beeinflussungen durch das Gerät bei bestimmten Anschlussarten oder mit bestimmten Prüfobjekten können jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Das gilt ebenso für die Nutzung des Geräts in Wohn- und Geschäftsgebieten. Um Störungen im Radio- oder Fernsehempfang zu minimieren sowie unakzeptable Leistungsminderungen so weit wie möglich zu vermeiden, sollte das Gerät ausschließlich der Dokumentation entsprechend angeschlossen und genutzt werden.

Wenn Sie Änderungen am Produkt vornehmen, die nicht ausdrücklich von National Instruments genehmigt sind, kann im Rahmen der lokalen Gesetzgebung Ihre Betriebserlaubnis für das Gerät erlöschen.



Achtung Damit das Gerät die angegebene EMV-Leistung erzielt, müssen abgeschirmte Kabel und Zubehörteile verwendet werden.



Achtung Die Empfindlichkeit des Geräts für elektromagnetische Störungen kann sich durch Anschließen von Leitungen oder Verbinden des Geräts mit einem Prüfling erhöhen.



Achtung Beim Anschließen eines Prüflings an das Gerät können Funkstörungen auftreten, welche die vorgeschriebenen Höchstwerte überschreiten.



Hinweis Wenn Sie Änderungen am Produkt vornehmen, die nicht ausdrücklich von National Instruments genehmigt sind, kann im Rahmen der lokalen Gesetzgebung Ihre Betriebserlaubnis für das Gerät erlöschen.

Auspacken des Geräts



Achtung Erden Sie sich mit einem Erdungsband oder berühren Sie einen geerdeten Gegenstand, z. B. ein Computergehäuse, um das Gerät beim Auspacken vor elektrostatischen Entladungen zu schützen.

1. Halten Sie die Antistatikhülle an ein Metallteil des Computergehäuses.
2. Nehmen Sie das Gerät aus der Verpackung und prüfen Sie, ob sich eventuell Teile gelöst haben oder das Gerät anderweitig beschädigt ist.



Achtung Vermeiden Sie es, freiliegende Pins zu berühren.



Hinweis Schließen Sie keine Geräte an, die schadhaft erscheinen.

3. Nehmen Sie die anderen Komponenten und die Dokumentation aus der Verpackung.
Lagern Sie das Gerät, wenn es nicht genutzt wird, in der Antistatikhülle.

Inbetriebnahme des NI USB-6008/6009

Gehen Sie zur Inbetriebnahme des NI USB-6008/6009 wie folgt vor:



Hinweis Informationen dazu, welche anderen Betriebssysteme außer Windows unterstützt werden, erfahren Sie im Dokument *Getting Started with NI-DAQmx Base* auf ni.com/manuals.

1. Installieren Sie die Entwicklungsumgebung (sofern zutreffend) entsprechend der dazugehörigen Installationsanleitung.
2. Installieren Sie NI-DAQmx³.

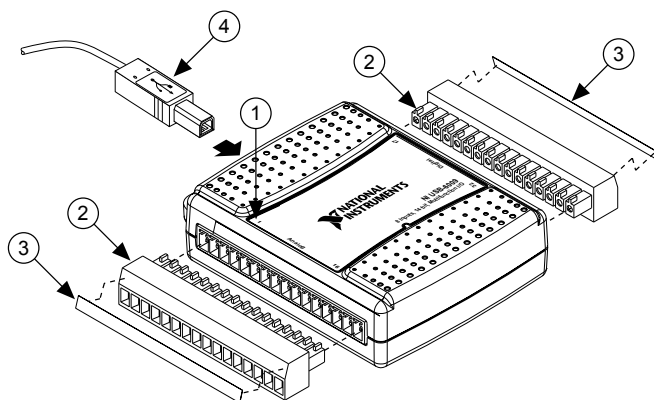


Hinweis Die NI-DAQmx-Software ist auf dem Datenträger in Ihrem Lieferpaket enthalten und steht zusätzlich auf ni.com/support zum Download bereit. Die Dokumentation zu NI-DAQmx kann nach der Installation der Software über **Start»Alle Programme»National Instruments»NI-DAQmx** geöffnet werden. Weitere Dokumentation von National Instruments ist auf ni.com/manuals verfügbar.

3. Befestigen Sie die 16-poligen Schraubklemmleisten entsprechend der folgenden Abbildung.

³ NI USB-6008/6009-Geräte werden von NI-DAQmx ab Version 7.5 unterstützt.

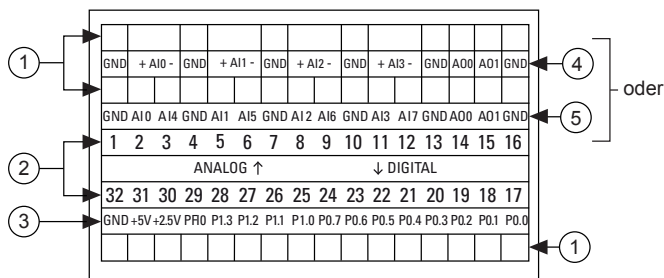
Abbildung 2. Gerätebeschriftungen



- | | |
|---|--------------------------|
| 1. Gerätebeschriftung mit Nummerierungsrichtung | 3. Beschriftungsstreifen |
| 2. Schraubklemmleiste | 4. USB-Kabel |

4. Bringen Sie die mitgelieferten Beschriftungsaufkleber an den Schraubklemmleisten an. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, gibt es leere Beschriftungsaufkleber und Aufkleber mit Pinnummern oder Signalbezeichnungen. Wählen Sie einen der Streifen aus und drehen Sie ihn so, dass er parallel zum Beschriftungsaufdruck für die jeweilige Seite lesbar ist. Kleben Sie ihn dann entsprechend der vorherigen Abbildung auf die Schrägeite der Schraubklemmleiste. Befestigen Sie die Beschriftung auf der anderen Seite ebenso.

Abbildung 3. Beschriftungsaufkleber für das NI USB-6008/6009



- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Selbst gewählte Beschriftung | 4. Beschriftung für die differentielle Erfassung von Analogsignalen |
| 2. Anschlussnummerbeschriftung | 5. Beschriftung für die Erfassung von Analogsignalen gegenüber einem Bezugspotential |
| 3. Beschriftung für Digitalsignale | |



Hinweis Der Steckverbinder kann nach Anbringen des Aufklebers nur noch in die passende Buchsenleiste eingesteckt werden (siehe den Aufdruck auf dem Gerät).

5. Schließen Sie das NI USB-6008/6009 über das mitgelieferte USB-Kabel an den Computer an.
6. Klicken Sie auf dem Desktop das Symbol **NI MAX** doppelt an, um den Measurement & Automation Explorer (MAX) zu öffnen.
7. Erweitern Sie **Mein System»Geräte und Schnittstellen** und sehen Sie nach, ob das NI USB-6008/6009 aufgeführt ist. Wird das Gerät nicht angezeigt, drücken Sie <F5>, um die Ansicht im MAX zu aktualisieren. Wenn das Gerät dann immer noch nicht angezeigt wird, informieren Sie sich auf der Website ni.com/support/daqmx über mögliche Fehlerursachen.
8. Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **NI USB-6008** oder **NI USB-6009** und wählen Sie **Selbsttest**. Mit dem Selbsttest wird kurz geprüft, ob das Gerät ordnungsgemäß angeschlossen ist. Nach Abschluss des Selbsttests wird eine Meldung darüber angezeigt, ob ein Fehler festgestellt wurde. Hilfe bei Problemen finden Sie unter ni.com/support/daqmx.



Achtung Damit das Gerät die angegebene EMV-Leistung erzielt, müssen abgeschirmte Kabel und Zubehörteile verwendet werden.

9. Nehmen Sie ein mehradriges abgeschirmtes Kabel mit einem Aderquerschnitt von 0,9 bis 1,5 mm² und entfernen Sie von jeder Ader etwa 6 mm Isolation. Stecken Sie die Adern dann in die Schraubklemmen und ziehen Sie die Schrauben mit einem Schraubendreher fest. Das Drehmoment sollte 0,22 Nm bis 0,25 Nm betragen. Die Pinbelegung des NI USB-6008/6009 und eine Beschreibung der einzelnen Signale finden Sie im Abschnitt [Pinbelegung und Signalbeschreibungen](#).

Verbinden Sie die Abschirmung des Kabels mit einem naheliegenden GND-Anschluss.



Hinweis Weitere Informationen zu Sensoren finden Sie auf der Website ni.com/sensors. TEDS-Sensoren (intelligente Sensoren, die dem Standard IEEE 1451.4 entsprechen) sind auf ni.com/teds beschrieben.

10. Klicken Sie zum Testen des Geräts im MAX mit der rechten Maustaste auf **NI USB-6008** oder **NI USB-6009** und wählen Sie **Testpanels**.

Klicken Sie zum Testen der Gerätefunktionen auf **Start**. Hinweise zur Bedienung des Testpanels erhalten Sie unter **Hilfe**. Klicken Sie zum Verlassen des Testpanels auf **Schließen**.

Verwenden des NI USB-6008/6009 in einer Anwendung

Der DAQ-Assistent kann zusammen mit zahlreichen Entwicklungsumgebungen von National Instruments genutzt werden, um Messkanäle und virtuelle Kanäle zu konfigurieren. In der folgenden Tabelle sehen Sie alle Programme von National Instruments, die eine Anleitung zum DAQ-Assistenten enthalten:

Tabelle 2. Methode zum Öffnen der Anleitung zum DAQ-Assistenten

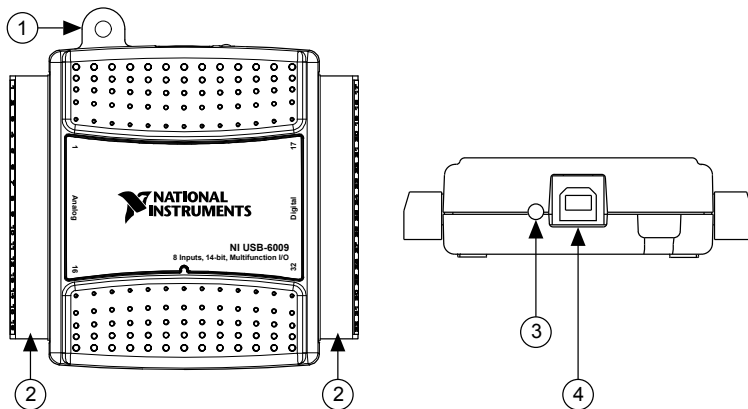
NI-Anwendung	Speicherort der Anleitung
LabVIEW	Wählen Sie Hilfe»LabVIEW-Hilfe und klicken Sie anschließend auf Erste Schritte mit LabVIEW»Erste Schritte mit DAQ»Messungen mit NI-DAQmx in LabVIEW .
LabWindows™/CVI™	Wählen Sie Help»Contents und klicken Sie anschließend auf Using LabWindows/CVI»Data Acquisition»Taking an NI-DAQmx Measurement in LabWindows/CVI .
Measurement Studio	Wählen Sie NI Measurement Studio Help»Getting Started with the Measurement Studio Class Libraries»Measurement Studio Walkthroughs»Walkthrough: Creating a Measurement Studio NI-DAQmx Application .
SignalExpress	Wählen Sie Hilfe»Messungen mit NI-DAQmx in SignalExpress .

Im Abschnitt [Weiterführende Informationen](#) finden Sie Angaben zu Programmierbeispielen für NI-DAQmx und NI-DAQmx Base.

Bestandteile

Das NI USB-6008/6009 ist mit einer USB-Buchse, einer Zugenlastungsöse, zwei Schraubklemmleisten und einer LED-Anzeige ausgestattet (vgl. Abbildung).

Abbildung 4. NI USB-6008/6009 - Draufsicht und Hinteransicht

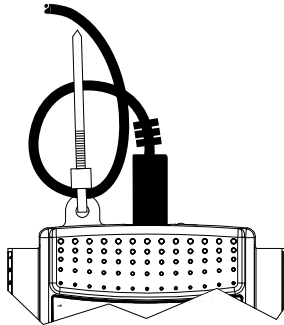


- | | |
|-------------------------------|----------------|
| 1. Zugenlastung für USB-Kabel | 3. LED-Anzeige |
| 2. Schraubklemmleiste | 4. USB-Buchse |

USB-Buchse und Zugentlastungsöse

Das NI USB-6008/6009 ist mit einem Full-Speed-USB-Anschluss ausgestattet. Für das USB-Kabel ist eine Zugentlastungsöse vorhanden, durch die Sie einen kleinen Kabelbinder führen können. Legen Sie das Kabel wie in der folgenden Abbildung dargestellt in eine Schlaufe und ziehen Sie den Kabelbinder daran fest.

Abbildung 5. Zugentlastungsöse des NI USB-6008/6009



LED-Anzeige

Das NI USB-6008/6009 hat eine grüne LED-Anzeige für den Gerätestatus (vgl. nachfolgende Tabelle). Wenn das Gerät mit dem USB-Anschluss des Computers verbunden ist, blinkt die LED fortlaufend. Dadurch wird angezeigt, dass das Gerät initialisiert ist und über die Verbindung mit Strom versorgt wird.

Tabelle 3. LED-Status/Gerätestatus

LED-Status	Gerätestatus
Ausgeschaltet	Nicht angeschlossen oder inaktiv
Eingeschaltet ohne Blinken	Angeschlossen, aber nicht initialisiert, oder der Computer ist im Standby-Modus. Damit das Gerät erkannt wird, muss auf dem Computer NI-DAQmx installiert sein.
Einmaliges Blinken	Funktioniert ordnungsgemäß

Schraubklemmleisten

Das NI USB-6008/6009 wird mit jeweils einer herausziehbaren Schraubklemmleiste für analoge und digitale Signale geliefert. Die Schraubklemmleisten haben 16 Anschlüsse und sind für Drähte mit einem Querschnitt von 0,9 bis 1,5 mm² vorgesehen. Die Auswahl der Beschriftungen für die Schraubklemmleisten ist im Schritt 4 des Abschnitts [Inbetriebnahme](#)

des NI USB-6008/6009 beschrieben. Die Pinbelegung des Geräts und eine Beschreibung der einzelnen Signale finden Sie im Abschnitt *Pinbelegung und Signalbeschreibungen*.

Sie können für das Gerät zusätzliche Schraubklemmleisten und Beschriftungsaufkleber bestellen. Entsprechende Informationen finden Sie im Abschnitt *Kabel und Zubehörteile*.

Firmware

Die Firmware des NI USB-6008/6009 wird beim Anschließen an einen Computer aktualisiert, auf dem NI-DAQmx installiert ist. NI-DAQmx überträgt automatisch die passende Firmware-Version auf das Gerät. Die Firmware-Version kann sich mit neuen NI-DAQmx-Versionen ändern.

Kabel und Zubehörteile

In der folgenden Tabelle sehen Sie, welche Kabel und Zubehörteile für das NI USB-6008/6009 verfügbar sind. Eine vollständige Liste der Zubehörteile mit Bestellinformationen finden Sie auf der `ni.com`-Produktseite des NI USB-6008 und NI USB-6009 auf der Registerkarte "Preise".

Tabelle 4. Kabel und Zubehörteile des NI USB-6008/6009

Zubehör	Artikelnummer	Beschreibung
Zubehörkit für das USB-6008/6009	779371-01	Vier zusätzliche Schraubklemmleisten mit Beschriftungsaufklebern und ein Schraubendreher
Zubehör zur Prototypenerstellung für Geräte der Serie USB-6000	779511-01	Nicht abgeschirmte Prüfplatine zum Erstellen von Signalaufbereitungsschaltungen und Prototypen. Es können bis zu zwei Zubehörteile pro Gerät verwendet werden.
Hi-Speed-USB-Kabel	184125-01, 184125-02	1 m und 2 m Länge



Achtung Zum Gewährleisten der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) darf dieses Gerät nur mit abgeschirmten Kabeln und Zubehörteilen eingesetzt werden. Bei der Arbeit mit ungeschirmten Kabeln oder Zubehörteilen sind die EMV-Spezifikationen nicht mehr gewährleistet – es sei denn, alle ungeschirmten Kabel und/oder Zubehörteile befinden sich in einem abgeschirmten Gehäuse mit ordnungsgemäß abgeschirmten Ein- und Ausgängen.

Pinbelegung und Signalbeschreibungen

In der nachfolgenden Abbildung ist die Pinbelegung des NI USB-6008/6009 dargestellt. Analogeingänge, die mit einem Bezugspotential arbeiten, sind als "AI x" gekennzeichnet und differentielle Analogeingänge als "AI x+/-". In der folgenden Tabelle finden Sie eine detaillierte Beschreibung für jedes Signal.

Abbildung 6. Anschlussbelegung des NI USB-6008/6009

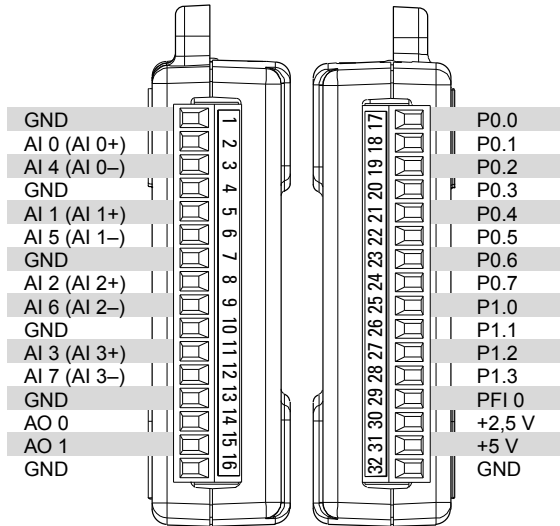


Tabelle 5. Signalbeschreibungen

Signalname	Bezugsanschluss	Richtung	Beschreibung
GND	—	—	Masse —Bezugspunkt bei der Schaltung gegen ein bekanntes Potential für die Erfassung und Ausgabe von Analog- und Digitalsignalen sowie für die +5-VDC-Stromversorgung und die +2,5-VDC-Spannung des Steckverbinders. Ausgabepunkt des Ruhestroms bei differentiellen Messungen.
AI <0..7>	Unterschiedlich	Eingang	Analoge Eingänge 0 bis 7 —Bei Messungen gegen ein Bezugspotential ist jeder Kanal ein analoger Spannungseingang. Bei der Messung in differentieller Schaltung sind AI 0 und AI 4 der positive und der negative Eingang für den differentiellen analogen Eingangskanal 0. Weitere Kanalpaare für differentielle Messungen sind AI <1, 5>, AI <2, 6> und AI <3, 7>. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt Analoge Erfassung .
AO <0, 1>	GND	Ausgang	Kanäle 0 und 1 zur Ausgabe von Analogsignalen —Stellt die Spannung für die Spannungsausgänge 0 und 1 bereit. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt Analoge Ausgabe .
P0.<0..7>	GND	Ein- oder Ausgang	Digital-I/O-Kanäle 0 bis 7 (Port 0) —Jeder dieser Anschlüsse kann als Ein- oder Ausgang konfiguriert werden. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt Digital-I/O .
P1.<0..3>	GND	Ein- oder Ausgang	Digital-I/O-Kanäle 0 bis 3 (Port 1) —Jeder dieser Anschlüsse kann als Ein- oder Ausgang konfiguriert werden. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt Digital-I/O .

Tabelle 5. Signalbeschreibungen (Fortsetzung)

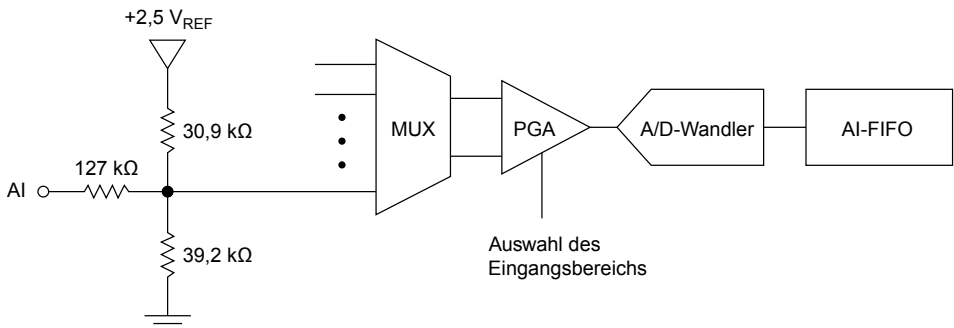
Signalname	Bezugsanschluss	Richtung	Beschreibung
PFI 0	GND	Eingang	PFI 0 —Dieser Anschluss kann entweder als Digital-Trigger oder als Zählereingang konfiguriert werden. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt <i>PFI 0</i> .
+2,5 V	GND	Ausgang	Externe +2,5-V-Bezugsspannung —Bezugsspannung für Fehlertests von ICs, bei denen formatierte Ausgangsdaten vor der Übertragung in den Eingang zurückgeführt werden, um Fehler in der Datenformatierung zu erkennen. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt <i>Externe +2,5-V-Bezugsspannung</i> .
+5 V	GND	Ausgang	+5-V-Spannungsquelle —Gibt eine +5-V-Spannung mit einem Strom bis zu 200 mA aus. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt <i>+5-Volt-Spannungsversorgung</i> .

Analoge Erfassung

Das NI USB-6008/6009 ist mit acht Analogeingängen ausgestattet, mit denen vier Messungen in differentieller Schaltung oder acht Messungen gegenüber einem Bezugspotential durchgeführt werden können.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Beschaltung eines Analogeingangs des NI USB-6008/6009 dargestellt.

Abbildung 7. Analogeingangsbeschaltung des NI USB-6008/6009



Die Beschaltung des Analogeingangs des NI USB-6008/6009 setzt sich hauptsächlich aus folgenden Blöcken zusammen:

- **MUX**—Das NI USB-6008/6009 ist mit einem integrierten A/D-Wandler ausgestattet. Der Multiplexer (MUX) führt jeweils einen Analogeingangskanal durch den Programmable-Gain-Verstärker (PGA).
- **PGA**—Der PGA arbeitet bei der Schaltung gegen ein Bezugspotential mit dem Verstärkungsfaktor 1. Bei differentieller Schaltung kann der Verstärkungsfaktor 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16 oder 20 lauten. Die Verstärkung wird automatisch anhand des Spannungsbereichs in der Messanwendung berechnet.
- **A/D-Wandler**—Der A/D-Wandler wandelt die anliegenden Analogspannungen in digitale Daten um.
- **AI-FIFO**—Das NI USB-6008/6009 kann A/D-Wandlungen an einer festen Sample-Anzahl und an fortlaufend eingehenden Samples durchführen, wobei die Samples einzeln oder blockweise umgewandelt werden können. Die eingehenden Analogdaten werden in einem FIFO gespeichert, so dass keine Daten verlorengehen.

Schaltungsarten und Signalquellen der Analogeingänge

Die Analogeingänge des NI USB-6008/6009 können gegen ein Bezugspotential oder differentiell geschaltet werden. In der nachfolgenden Tabelle werden die empfohlenen Schaltungsarten für erdfreie und geerdete Signalquellen zusammengefasst. In der Tabelle im Abschnitt *Pinbelegung und Signalbeschreibungen* finden Sie weitere Informationen zum Anschließen des Geräts für differentielle Messungen oder Messungen gegen Bezugsgröße.

Tabelle 6. Schaltungsarten der Analogeingänge

Schaltungsart	Erdfreie Signalquellen (nicht mit der Gebäudeerde verbunden)	Geerdete Signalquellen
Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> Nicht geerdete Thermoelemente Signalaufbereitung mit isolierten Ausgängen Batterien 	Plugin-Geräte mit nicht isolierten Ausgängen
Differentiell (DIFF)		
Gegenüber Erde (RSE)		<p style="text-align: center;">NICHT EMPFOHLEN</p> <p style="text-align: center;">Potentialdifferenz ($U_A - U_B$) wird zum Messsignal addiert.</p>

Erdfreie Signalquellen

Eine erdfreie Signalquelle ist nicht mit dem Erdungssystem des Gebäudes verbunden, sondern besitzt einen isolierten Potentialbezugspunkt. Zu den erdfreien Signalquellen gehören z. B. Ausgangsspulen von Transformatoren, batteriebetriebene Geräte, Ausgänge von optischen Isolatoren und Isolationsverstärker. Ein Gerät mit isoliertem Ausgang ist eine erdfreie Signalquelle.

Weitere Informationen finden Sie im Artikel *Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals*. Zum Öffnen dieses Artikels besuchen Sie ni.com/info und geben Sie den Infocode `rdfwn3` ein.

Kriterien für das differentielle Anschließen (erdfreie Signalquellen)

Alle Kanäle, die eine der folgenden Bedingungen erfüllen, sind differentiell anzuschließen:

- Die Anwendung arbeitet mit anderen Eingangsbereichen als ± 10 V.
- Eine geringe Signalamplitude macht eine größere Genauigkeit erforderlich.
- Die Leitungen zwischen Gerät und Signalquelle sind länger als 3 m.
- Für das Eingangssignal ist ein separater Erdungspunkt oder ein separates Rücksignal erforderlich.
- Die Signalleitungen befinden sich in einer störungsreichen Umgebung.
- Für das Signal sind die Analogkanäle AI+ und AI- verfügbar.

Rauschen und Gleichtaktstörungen lassen sich durch differentielle Schaltung unterdrücken. Differentiell geschaltete Eingangssignale können sich außerdem potentialfrei innerhalb der Arbeitsspannung des Geräts bewegen ("floaten").

Weitere Informationen zu differentiellen Schaltungen finden Sie im Abschnitt [Durchführen von differentiellen Messungen](#).

Kriterien für das Anschließen gegenüber Erde (erdfreie Signalquellen)

Eingänge sind gegenüber Erde (RSE) anzuschließen, wenn das Eingangssignal alle folgenden Bedingungen erfüllt:

- Das Eingangssignal kann einen gemeinsamen Bezugspunkt (GND) mit anderen Signalen haben.
- Ihre Anwendung arbeitet mit dem Eingangsbereich ± 10 V.
- Die Leitungen zwischen Gerät und Signalquelle sind kürzer als 3 m.

Für alle Signale, die diese Bedingungen nicht erfüllen, wird die differentielle Schaltung empfohlen, da das Signal dadurch weniger Störeinflüssen unterliegt.

Bei der Schaltung gegenüber einem Bezugspotential wird mehr elektrostatisches und magnetisches Rauschen in die Signalanschlüsse eingekoppelt als bei der differentiellen Schaltung. Die Kopplung ergibt sich aus Unterschieden im Signalweg. Magnetische Kopplung ist proportional zur Fläche zwischen den zwei Signalleitern. Elektrische Kopplung hängt davon ab, wie stark sich das elektrische Feld zwischen den zwei Leitern unterscheidet.

Bei dieser Art der Verbindung schaltet der PGA sowohl Gleichtaktstörungen im Signal als auch die Bezugspotentialdifferenz zwischen der Signalquelle und der Geräteerde aus.

Weitere Informationen zur Schaltung gegenüber einem Bezugspotential finden Sie im Abschnitt [Durchführen von Messungen gegenüber Erde](#).

Geerdete Signalquellen

Eine geerdete Signalquelle ist mit der Erdungsanlage eines Gebäudes verbunden. Sie hat bereits einen gemeinsamen Bezugspunkt mit dem Gerät – vorausgesetzt, der Computer ist an dasselbe Stromnetz wie die Signalquelle angeschlossen. In diese Kategorie fallen z. B. nicht isolierte Ausgänge von (Mess-)Geräten, die mit dem Stromnetz des Gebäudes verbunden sind.

Die Erdpotentialdifferenz zwischen zwei Messgeräten, die an dasselbe Stromnetz eines Gebäudes angeschlossen sind, liegt in der Regel zwischen 1 mV und 100 mV. Wenn Kabel in der Gebäudeinstallation nicht ordnungsgemäß angeschlossen sind, kann der Unterschied größer sein. Wenn eine geerdete Signalquelle falsch angeschlossen wird, kann sich diese Differenz als Messfehler bemerkbar machen. Folgen Sie der Anleitung für das Anschließen geerdeter Signalquellen, um die Erdpotentialdifferenz zu eliminieren.

Weitere Informationen finden Sie im Artikel *Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals*. Zum Öffnen dieses Artikels besuchen Sie ni.com/info und geben Sie den Infocode `rdfwn3` ein.

Kriterien für das differentielle Anschließen (geerdete Signalquellen)

Alle Kanäle, die eine der folgenden Bedingungen erfüllen, sind differentiell anzuschließen:

- Die Anwendung arbeitet mit anderen Eingangsbereichen als ± 10 V.
- Eine geringe Signalamplitude macht eine größere Genauigkeit erforderlich.
- Die Leitungen zwischen Gerät und Signalquelle sind länger als 3 m.
- Für das Eingangssignal ist ein separater Erdungspunkt oder ein separates Rücksignal erforderlich.
- Die Signalleitungen befinden sich in einer störungsreichen Umgebung.
- Für das Signal sind die Analogkanäle AI+ und AI- verfügbar.

Rauschen und Gleichtaktstörungen lassen sich durch differentielle Schaltung unterdrücken. Differentiell geschaltete Eingangssignale können sich außerdem potentialfrei innerhalb der Arbeitsspannung des Geräts bewegen ("floaten").

Weitere Informationen zu differentiellen Schaltungen finden Sie im Abschnitt [Durchführen von differentiellen Messungen](#).

Kriterien für das Anschließen gegenüber Erde (geerdete Signalquellen)

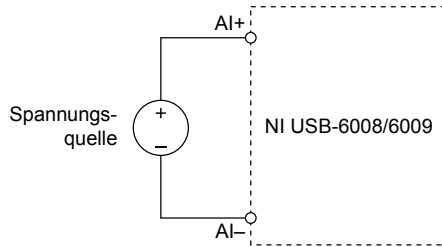
Verwenden Sie für geerdete Signalquellen nie die Anschlussart gegenüber Erde. Schließen Sie sie stattdessen differentiell an.

Wie in der Tabelle im Abschnitt [Schaltungsarten und Signalquellen der Analogeingänge](#) dargestellt, kann zwischen dem GND-Anschluss des NI-USB 6008/6009 und dem Bezugspotential der Signalquelle eine Potentialdifferenz vorliegen. Durch diese Potentialdifferenz werden bei dieser Schaltungsart Messfehler verursacht.

Durchführen von differentiellen Messungen

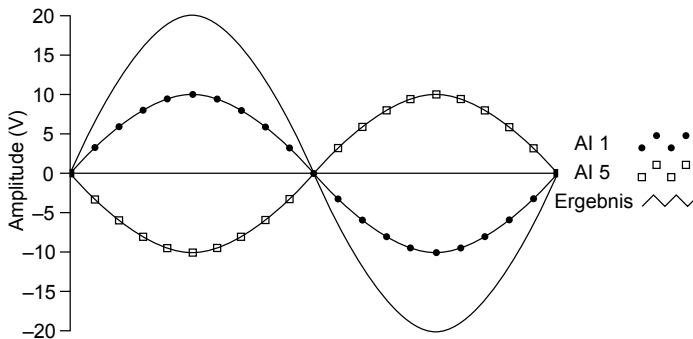
Bei differentiellen Signalen ist die positive Leitung mit AI+ und die negative Leitung mit AI- zu verbinden.

Abbildung 8. Differentielles Anschließen von Spannungen



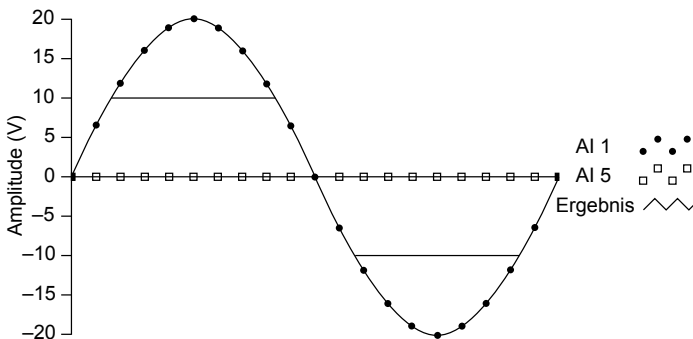
Bei differentieller Schaltung können Signale im Bereich von ± 20 V gemessen werden. Die Maximalspannung an jedem beliebigen Eingang ist daher ± 10 V gegenüber GND. Wenn Sie beispielsweise +10 V an AI 1 anlegen und -10 V an AI 5, gibt das Gerät +20 V aus.

Abbildung 9. Beispiel für eine differentielle 20-V-Messung



Wenn Sie ein Signal größer als ± 10 V an einen der Eingänge anschließen, wird das Ausgangssignal abgeschnitten.

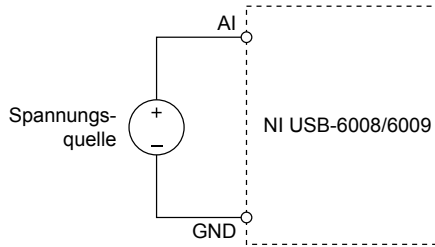
Abbildung 10. Abgeschnittenes Signal bei Überschreitung von ± 10 V



Durchführen von Messungen gegenüber Erde

Zum Anschließen von Signalen des NI USB-6008/6009 gegenüber Erde verbinden Sie die positive Ader mit dem gewünschten Analogeingang und die negative Ader mit dem GND-Anschluss, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 11. Anschließen von Signalen gegenüber Erde



Wenn die Schaltung gegenüber Erde ausgewählt ist und keine Signale an den Analogeingang angeschlossen sind, kann der Eingang aufgrund des integrierten Widerstandsteilers eine Spannung von etwa 1,4 V ausgeben. Das ist normal und hat bei ordnungsgemäßer Verdrahtung keinen Einfluss auf die Messung.

Digital-Trigger

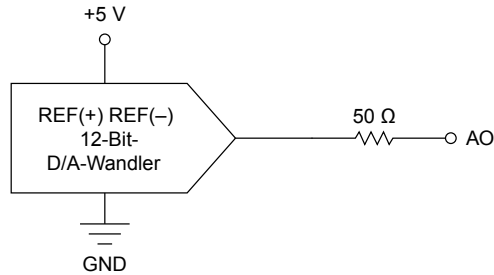
An PFI 0 kann für Tasks zur Erfassung von Analogsignalen ein digitaler Trigger angelegt werden. Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt [Verwenden von PFI 0 als Digital-Trigger](#).

Analoge Ausgabe

Das NI USB-6008/6009 ist mit zwei unabhängigen Analogausgängen ausgestattet, die Spannungen im Bereich von 0 V bis 5 V ausgeben können. Das Timing der Analogausgabe ist softwaregesteuert. GND ist der Bezugsanschluss für Analogausgänge.

In der folgenden Abbildung ist die Beschaltung eines Analogausgangs des NI USB-6008/6009 dargestellt.

Abbildung 12. Beschaltung eines Analogausgangs

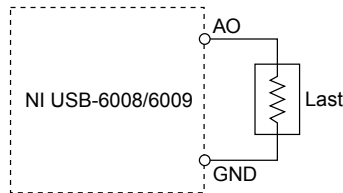


Das Kernstück der Schaltung für den Analogausgang des NI USB-6008/6009 ist der D/A-Wandler, der digitale Signaldaten in analoge Spannungen umwandelt. Jedem Analogausgang ist ein D/A-Wandler vorgeschaltet.

Anschließen von Lasten an den Analogausgang

Zum Anschließen von Lasten an das NI USB-6008/6009 verbinden Sie entsprechend der folgenden Abbildung die positive Ader der Last mit dem Analogausgang und die Ader mit GND.

Abbildung 13. Anschließen einer Last



Minimieren von Spannungsspitzen im Ausgangssignal

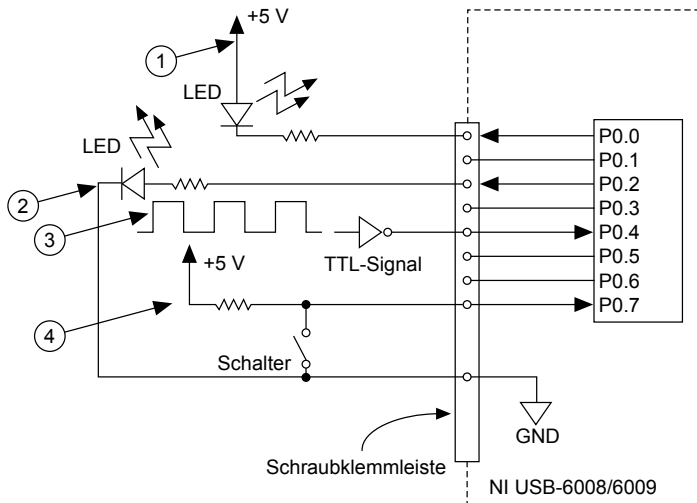
Wenn Sie ein Signal mit einem D/A-Wandler erzeugen, können Spannungsspitzen im Ausgangssignal auftreten. Diese Spannungsspitzen sind normal; sie werden durch Entladungen verursacht, wenn der Wandler von einer Spannung auf eine andere schaltet. Die größten Spannungsspitzen treten auf, wenn sich das höchstwertige Bit des D/A-Wandler-Codes ändert. Je nach der Frequenz und Art des Ausgangssignals lassen sich die Spitzen durch einen Entstörfilter entfernen, der einen Tiefpass enthält. Weitere Informationen zum Minimieren unerwünschter Spannungsspitzen finden Sie im KnowledgeBase-Artikel *Reducing Glitches on the Analog Output of MIO DAQ Devices*. Zum Öffnen dieses Artikels besuchen Sie ni.com/info und geben Sie den Infocode `exszek` ein.

Digital-I/O

Das NI USB-6008/6009 enthält zwei Ports mit insgesamt 12 Digitalanschlüssen. Port 0 umfasst acht Anschlüsse (P0.0..7) und Port 1 vier Anschlüsse (P1.0..3). GND ist der Masseanschluss für die digitalen Ports. Alle Anschlüsse können entweder als Ein- oder Ausgänge konfiguriert werden.

In der folgenden Abbildung sehen Sie ein Beispiel für die Verdrahtung der Digitalanschlüsse P0.0..7, die als digitale Ein- und Ausgänge konfiguriert sind. P1.0..3 können auf die gleiche Weise konfiguriert werden.

Abbildung 14. Beispiel für das Anschließen einer Last



1. P0.0, konfiguriert als digitaler Ausgang (offener Kollektor) zum Ansteuern einer LED
2. P0.2, konfiguriert als aktiver digitaler Ausgang zum Ansteuern einer LED
3. P0.4, konfiguriert als digitaler Eingang zum Empfangen eines TTL-Signals von einem Inverter
4. P0.7, konfiguriert als digitaler Eingang zum Empfangen eines 0- oder 5-Volt-Signals von einem Schalter



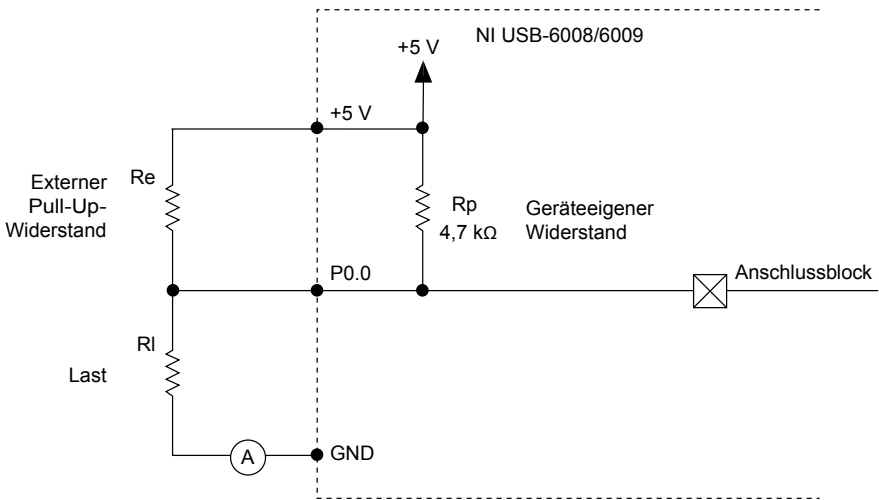
Achtung Wenn die maximal zulässige Ein- oder Ausgangsspannung überschritten wird, kann es zu Schäden am Gerät und am Computer kommen. National Instruments übernimmt keine Haftung für Schäden aufgrund unsachgemäßer Nutzung. Weitere Informationen finden Sie unter *Gerätespezifikationen zum NI USB-6008* oder *Gerätespezifikationen zum NI USB-6009*.

Angaben zu Quelle/Senke

Per Voreinstellung sind die Digitalanschlüsse des NI USB-6008/6009 mit einem Bipolartransistor mit freiem Kollektor-Ausgang ausgestattet, der mit Hilfe des 4,7-k Ω -Pull-

Up-Widerstands des Geräts mit 5 V betrieben werden kann. Durch Zuschalten eines Pull-Up-Widerstands an den Anschluss (vgl. Abbildung) können Sie den maximalen Quellstrom auf 8,5 mA pro Leitung erhöhen.⁴

Abbildung 15. Beispiel für das Anschließen eines Widerstands



Die Anschlüsse des NI USB-6009 können mit Hilfe der NI-DAQmx-API auch als aktive Ein- und Ausgänge konfiguriert werden, die eine Spannung von 3,3 Volt und einen Strom von $\pm 8,5$ mA zulassen. Weitere Informationen zum Konfigurieren der Digitalanschlüsse finden Sie im KnowledgeBase-Artikel *How Do I Configure My NI Device to be Open-Drain (Open Collector) or Push-Pull (Active Drive)?* Zum Öffnen dieses Artikels besuchen Sie ni.com/info und geben Sie den Infocode `ex52sp` ein.

Ermitteln des Werts des Pull-Up-Widerstands

Um den Wert des Widerstands zu ermitteln, der von außen zugeschaltet werden muss, gehen Sie wie folgt vor:

1. Schalten Sie einen Strommesser in Reihe mit der Last.
2. Fügen Sie ein Potentiometer zwischen dem Digitalausgang und der +5-Volt-Versorgung ein.
3. Schalten Sie P0.0 auf High.
4. Drehen Sie am Potentiometer, bis der Strommesser den gewünschten Strom anzeigt. Der Strom muss unter 8,5 mA liegen.
5. Entfernen Sie das Potentiometer und den Strommesser aus der Schaltung.
6. Messen Sie den Widerstand des Potentiometers. Der gemessene Widerstand ist der Idealwert für den Pull-Up-Widerstand.

⁴ In diesem Dokument werden NI-DAQmx-Namenskonventionen verwendet. "Open Drain" wird dabei als "offener Kollektor" bezeichnet und "Push-Pull" als "aktive Ausgabe".

7. Der tatsächliche Wert Ihres Widerstands sollte größer gleich dem Idealwert sein.
8. Schalten Sie den Widerstand anschließend in den Lastschaltkreis ein.

Schutz der Anschlüsse vor Spannungsspitzen und Überströmen

Zum Schutz des NI USB-6008/6009 vor Überspannungen, Unterspannungen, Überströmen und elektrostatischen Entladungen sollten Sie folgende Hinweise beachten:

- Als Ausgang konfigurierte Digitalanschlüsse dürfen nicht mit Signal- oder Masseleitungen verbunden werden. Ebenso wenig darf dem Anschluss eine Versorgungsspannung zugeführt werden.
- Beim Anschalten von Lasten an Digitalausgänge sollten die Spezifikationen beachtet werden. Die angegebenen Maximalströme des DAQ-Geräts dürfen nicht überschritten werden.
National Instruments bietet unterschiedliche Systeme zur Signalaufbereitung für digitale Schaltungen an, die mit hohen Strömen arbeiten.
- Als Eingang konfigurierte Digitalanschlüsse dürfen nicht mit Spannungen außerhalb des zulässigen Eingangsbereichs betrieben werden. Digitalanschlüsse haben einen kleineren Ein- und Ausgangsbereich als analoge Eingänge.
- Das DAQ-Gerät ist wie jedes andere elektrostatisch empfindliche Gerät zu behandeln. Erden Sie sich und die verwendeten Werkzeuge, bevor Sie das Gerät berühren oder Leitungen anschließen.

Einschaltzustände

Nach dem Starten und Zurücksetzen des Geräts sind alle Digitalanschlüsse hochohmige Eingänge. Das Gerät gibt also kein High- oder Low-Signal aus. Jeder Anschluss ist intern mit einem niederohmigen Pull-Up-Widerstand verbunden.

Statische Leitungen

Jeder Digitalanschluss des NI USB-6008/6009 kann als Ein- oder Ausgang für die statische Digital-I/O genutzt werden. Mit den statischen Digitalleitungen können Digitalsignale überwacht und gesteuert werden. Alle statischen Ein- und Ausgänge arbeiten mit Software-Timing.

PFI 0

PFI 0 kann entweder als Digital-Trigger-Eingang oder als Zählereingang konfiguriert werden.

Verwenden von PFI 0 als Digital-Trigger

Wenn ein Task zur analogen Erfassung erstellt wurde, können Sie PFI 0 als Digital-Trigger-Eingang konfigurieren. Bei aktiviertem Digital-Trigger wartet der Erfassungs-Task vor dem Beginn der Erfassung auf eine steigende oder fallende Flanke an PFI 0. Zur Verwendung von

"AI-Start-Trigger" (ai/Start Trigger) mit einer Digitalquelle geben Sie PFI 0 als Quelle an und wählen Sie die Flankenrichtung aus.

Verwenden von PFI 0 als Zähler

PFI 0 kann auch als Eingang für die Zählung digitaler Flanken konfiguriert werden. In diesem Modus werden alle Impulse mit fallender Flanke durch den 32-Bit-Zähler erfasst.

Informationen zur Timing-Genauigkeit und -Auflösung finden Sie in den Dokumenten *Gerätespezifikationen zum NI USB-6008* und *Gerätespezifikationen zum NI USB-6009* unter ni.com/manuals.

Externe Bezugs- und Versorgungsspannung

Das NI USB-6008/6009 gibt eine Bezugs- und eine Versorgungsspannung aus. Alle Spannungen beziehen sich auf GND.

Externe +2,5-V-Bezugsspannung

Mit Hilfe eines mehrstufigen Regler-, Verstärker- und Filterschaltkreises erzeugt das NI USB-6008/6009 eine nahezu ideale Versorgungsspannung für den A/D-Wandler. Die daraus resultierende +2,5-Volt-Bezugsspannung kann für Selbsttests des Geräts verwendet werden.

+5-Volt-Spannungsversorgung

Das NI USB-6008/6009 gibt eine Versorgungsspannung von 5 V mit einem Strom von 200 mA aus. Mit der Versorgungsspannung können angeschlossene Geräte betrieben werden.



Hinweis Wenn sich das Gerät im USB-Suspend-Modus befindet, sind alle Ausgänge deaktiviert.

Weiterführende Informationen

In diesem Abschnitt erfahren Sie, wo Sie Beispielprogramme und relevante Dokumentation zum NI USB-6008/6009 finden.

Beispielprogramme

NI-DAQmx und NI-DAQmx Base enthalten Beispielprogramme, die Ihnen den Einstieg in die Programmierung mit dem NI USB-6008/6009 erleichtern sollen. Sie können Beispiele beliebig ändern und in eigene Anwendungen einfügen. Ebenso können Sie von Beispielen ausgehend neue Anwendungen entwickeln.

NI-DAQmx

Beispiele zu Software von National Instruments finden Sie auf ni.com/info nach Eingabe des Infocodes `daqmexp`.

Mit der NI-DAQmx-Simulationsfunktion lassen sich Beispiele auch ohne angeschlossenes Gerät ausführen. Wie ein Gerät simuliert wird, ist im Measurement & Automation Explorer (MAX) unter **Hilfe»Hilfethemen»NI-DAQmx»MAX-Hilfe zu NI-DAQmx** beschrieben.

NI-DAQmx Base

Beispiele zu NI-DAQmx Base werden über **Start»Alle Programme»National Instruments»NI-DAQmx Base Examples** geöffnet.

Literaturhinweise

In jeder Entwicklungsumgebung und jedem Treiber von National Instruments wird beschrieben, wie Programme zum Durchführen von Messungen und zum Steuern von Messgeräten erstellt werden. Die folgenden Literaturhinweise gelten für NI-DAQmx 9.3 oder neuere NI-DAQmx-Versionen und (sofern zutreffend) für Entwicklungsumgebungen von National Instruments der Version 8.5 oder höher.

NI USB-6008/6009

Im Dokument *Schnellstartanleitung für NI USB-6008/6009*, das mit dem NI USB-6008/6009 geliefert wird, erfahren Sie, wie Sie die NI-DAQmx-Software installieren, das Gerät anschließen und das Gerät auf korrekte Funktionsweise prüfen.

Die Dokumente *Gerätespezifikationen zum NI USB-6008* und *Gerätespezifikationen zum NI USB-6009* enthalten Gerätespezifikationen und sind auf ni.com/manuals verfügbar.

NI-DAQmx

Die *Readme zu NI-DAQ* kann über das Windows-Startmenü aufgerufen werden und listet auf, welche Anwendungssoftware, Geräte und Entwicklungsumgebungen von dieser Version von NI-DAQmx unterstützt werden.

Die *Hilfe zu NI-DAQmx* kann über das Windows-Startmenü aufgerufen werden und enthält API-Übersichten, allgemeine Begriffsdefinitionen zur Messtechnik, eine Einführung in NI-DAQmx sowie allgemeine Anleitungen zum Erfassen oder Erzeugen von Daten, die unabhängig von der Entwicklungsumgebung gelten.

NI-DAQmx Base (Linux/Mac OS X/LabVIEW PDA 8.x)

Im Dokument *Getting Started with NI-DAQmx Base* wird die Installation von NI-DAQmx Base beschrieben und Sie erfahren, wie Sie ein unterstütztes Gerät anschließen und die Funktionsweise des Geräts auf einem Linux- oder Mac-Computer prüfen. Zum Öffnen des Dokuments unter Windows klicken Sie auf **Start»Alle Programme»National Instruments»NI-DAQmx Base»Documentation»Getting Started with NI-DAQmx Base**.

In der *NI-DAQmx Base Readme* werden alle von einer NI-DAQmx-Base-Version unterstützten Geräte aufgeführt. Zum Öffnen der Datei unter Windows wählen Sie **Start»Alle Programme»National Instruments»NI-DAQmx Base»DAQmx Base Readme**.

Die *NI-DAQmx Base VI Reference Help* enthält eine Übersicht über die NI-DAQmx-VIs und allgemeine Erklärungen zur Messtechnik. Zum Öffnen der Hilfe klicken Sie in LabVIEW auf **Hilfe»NI-DAQmx Base VI Reference Help**.

Die *NI-DAQmx Base C Function Reference Help* enthält eine Übersicht über die C-Funktionen für NI-DAQmx und allgemeine Erklärungen zur Messtechnik. Zum Öffnen der Hilfe unter Windows klicken Sie auf **Start»Alle Programme»National Instruments»NI-DAQmx Base»Documentation»C Function Reference Help**.



Hinweis Die gesamte Dokumentation zu NI-DAQmx Base für Linux wird unter `/usr/local/natinst/nidaqmxbase/documentation` installiert.



Hinweis Die gesamte Dokumentation zu NI-DAQmx Base für Mac OS X wird unter `/Applications/National Instruments/NI-DAQmx Base/documentation` installiert.

LabVIEW

Auf ni.com/gettingstarted erhalten Sie weitere Informationen zu LabVIEW.

In der *LabVIEW-Hilfe*, die in LabVIEW über **Hilfe»LabVIEW-Hilfe** geöffnet wird, finden Sie Informationen zu den Grundlagen der Programmierung mit dieser Entwicklungsumgebung, detaillierte Anleitungen zur Bedienung von LabVIEW sowie Hinweise zu den VIs, Funktionen, Paletten, Menüs und Werkzeugen des Programms. Informationen zu NI-DAQmx finden Sie über die Registerkarte **Inhalt** der *LabVIEW-Hilfe* unter folgenden Überschriften:

- **VI- und Funktionenübersicht »VIs und Funktionen für Mess-I/O »Palette "DAQmx - Datenerfassung"** —Enthält Beschreibungen der LabVIEW-VIs und -Funktionen von NI-DAQmx.
- **Eigenschaften und Methodenübersicht »NI-DAQmx-Eigenschaften** —Enthält Beschreibungen der Eigenschaften von NI-DAQmx.
- **Durchführen von Messungen**—Beschreibt, wie Messwerte in LabVIEW erfasst und ausgewertet werden, und enthält Definitionen der wichtigsten NI-DAQmx-Termini, allgemeine Informationen zur Messtechnik sowie Hinweise zur Messhardware von National Instruments.

LabWindows/CVI

Der Abschnitt **Data Acquisition** der *LabWindows/CVI Help* enthält den Abschnitt *Taking an NI-DAQmx Measurement in LabWindows/CVI*, in dem schrittweise das Erstellen eines Mess-Tasks mit Hilfe des DAQ-Assistenten beschrieben ist. Klicken Sie zum Öffnen der Hilfe in LabWindows/CVI auf **Help»Contents** und wählen Sie **Using LabWindows/CVI»Data Acquisition** aus. Das Buch enthält außerdem Verweise auf detailliertere Beschreibungen in der *Hilfe zu NI-DAQmx*.

Im Abschnitt **NI-DAQmx Library** der *LabWindows/CVI Help* finden Sie eine Beschreibung der NI-DAQmx-API von LabWindows/CVI einschließlich einer Übersicht über die einzelnen

NI-DAQmx-Funktionen. Zum Öffnen dieses Abschnitts klicken Sie in der *LabWindows/CVI Help* auf **Library Reference»NI-DAQmx Library**.

Measurement Studio

Wenn Sie Ihr von NI-DAQmx unterstütztes Gerät in Measurement Studio mit Hilfe von Visual C# oder Visual Basic .NET programmieren, können Sie interaktiv Kanäle und Tasks erstellen, indem Sie den DAQ-Assistenten vom MAX oder Visual Studio aus starten. Sie können den Konfigurationscode auf Grundlage Ihres Tasks oder Kanals in Measurement Studio erzeugen. Weitere Informationen zur Erzeugung von Programmcode finden Sie in der *Hilfe zum DAQ-Assistenten*.

Die *NI Measurement Studio Help* ist vollständig in die Hilfe zu Microsoft Visual Studio integriert. Zum Öffnen der Hilfe in Visual Studio wählen Sie **Measurement Studio»NI Measurement Studio Help**. Weitere Hinweise zum Entwickeln von Anwendungen mit NI-DAQmx finden Sie in folgenden Abschnitten der *NI Measurement Studio Help*:

- Anleitungen zum Erstellen von Anwendungen mit dem Measurement Studio Application Wizard oder dem DAQ-Assistenten finden Sie unter *Walkthrough: Creating a Measurement Studio NI-DAQmx Application*.
- Hilfe zu den Eigenschaften und Methoden von NI-DAQmx finden Sie unter *NationalInstruments.DAQmx Namespace* und *NationalInstruments.DAQmx.ComponentModel Namespace*.
- Grundsätzliche Informationen zu NI-DAQmx finden Sie unter *Using the Measurement Studio NI-DAQmx .NET Library* und *Developing with Measurement Studio NI-DAQmx*.
- Allgemeine Hilfe zur Programmierung in Measurement Studio finden Sie unter *Getting Started with the Measurement Studio Class Libraries*.

Zum Erstellen einer Anwendung in Visual Basic .NET oder Visual C# führen Sie folgende allgemeinen Schritte aus:

1. Klicken Sie in Visual Studio auf **File»New»Project**. Daraufhin öffnet sich das Dialogfeld "New Project".
2. Erweitern Sie unter "Project types" je nach verwendeter Programmiersprache den Knoten **Visual Basic** oder **Visual C#** und wählen Sie anschließend **Measurement Studio**.
3. Wählen Sie einen Projekttyp aus. In diesem Schritt fügen Sie DAQ-Tasks hinzu.

ANSI C ohne Entwicklungsumgebung von National Instruments

Die *Hilfe zu NI-DAQmx Help* enthält eine Übersicht über die NI-DAQmx-API und allgemeine Erklärungen zur Messtechnik. Klicken Sie zum Starten der Hilfedatei auf **Start»Alle Programme»National Instruments»NI-DAQmx»NI-DAQmx-Hilfe**.

Die *NI-DAQmx C Reference Help* beschreibt die Funktionen der NI-DAQmx Library, mit deren Hilfe Datenerfassungsgeräte von National Instruments in Anwendungen der Mess- und Automatisierungstechnik eingebunden und gesteuert werden. Klicken Sie zum Starten der Hilfedatei auf **Start»Alle Programme»National Instruments»NI-DAQmx»Text-Based Code Support»NI-DAQmx C Reference Help**.

.NET-Sprachen ohne Entwicklungsumgebung von National Instruments

Mit dem Microsoft .NET Framework haben Sie die Möglichkeit, NI-DAQmx-Anwendungen in Visual C# und Visual Basic .NET zu erstellen, ohne dass Sie dazu Measurement Studio brauchen. In der *Readme zu NI-DAQmx* finden Sie eine Liste der unterstützten Versionen.

Kurse

National Instruments bietet Softwareschulungen an, in denen Sie Ihre Kenntnisse über die Arbeit mit NI-Produkten vertiefen können. Informationen zu den Kursinhalten und zur Anmeldung finden Sie auf der Website ni.com/training.

Technische Unterstützung im Web

Weitere Unterstützung finden Sie auf der Website ni.com/support oder ni.com/examples.



Hinweis Zum Herunterladen dieser Beschreibungen besuchen Sie die Website ni.com/manuals.

Viele DAQ-Spezifikationen und DAQ-Anleitungen sind als PDF-Dateien verfügbar. Zur Anzeige der PDF-Dokumente benötigen Sie mindestens Adobe Reader 7.0 (mindestens PDF 1.6). Den Acrobat Reader können Sie auf der Adobe-Website unter www.adobe.de herunterladen. Die jeweils aktuelle Version der Handbücher finden Sie in der Produktbibliothek von National Instruments unter ni.com/manuals.

Support und Serviceleistungen weltweit

Die Website von National Instruments bietet verschiedene Ressourcen für den technischen Support. Unter ni.com/support erhalten Sie Zugriff auf Informationen zur Fehlersuche und Entwicklung von Anwendungen sowie Möglichkeiten zum Anfordern persönlicher technischer Unterstützung per E-Mail oder Telefon.

Die Seite ni.com/services enthält Informationen zur Lieferung sofort einsatzbereiter Systeme sowie zu Reparaturen, Garantieverlängerungen und anderen Serviceleistungen von National Instruments.

Auf ni.com/register können Sie Ihr Produkt von National Instruments registrieren. Die Produktregistrierung erleichtert den technischen Support und die Zusendung wichtiger Update-Informationen.

Anhand der Konformitätserklärung (DoC) wird bescheinigt, dass National Instruments unter Verwendung der Konformitätserklärungen der entsprechenden Hersteller die EU-Richtlinien zum Verbraucherschutz einhält. Mit der DoC werden elektromagnetische Verträglichkeit und Sicherheit unserer Produkte garantiert. Das Zertifikat zu Ihrem Produkt finden Sie auf ni.com/

certification. Wenn Ihr Gerät kalibrierbar ist, finden Sie auf ni.com/calibration das zugehörige Kalibrierzertifikat.

Die Adresse der Hauptniederlassung von National Instruments lautet:

11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504, USA. National Instruments unterhält Niederlassungen auf der ganzen Welt. Für telefonischen Support innerhalb der USA können Sie entweder auf ni.com/support eine entsprechende Anfrage einreichen oder die Telefonnummer 1 866 ASK MYNI (275 6964) anrufen. Um außerhalb der USA telefonischen Support anzufordern, wählen Sie auf der Webseite *Worldwide Offices* unter ni.com/niglobal Ihr Land aus. Die daraufhin geöffnete Webseite enthält aktuelle Kontaktinformationen, Telefonnummern des technischen Supports, E-Mail-Adressen sowie Informationen zu Veranstaltungen.

Weitere Informationen zu Marken von National Instruments finden Sie in den *NI Trademarks and Logo Guidelines* auf ni.com/trademarks. Sonstige hierin erwähnte Produkt- und Firmenbezeichnungen sind Marken oder Handelsnamen der jeweiligen Unternehmen. Nähere Informationen über den Patentschutz von Produkten/Technologien von National Instruments finden Sie unter **Hilfe** **Patente** in Ihrer Software, in der Datei `patents.txt` auf Ihrem Datenträger oder unter *National Instruments Patent Notice* auf der Website ni.com/patents. Informationen zu Endbenutzer-Lizenzverträgen (EULAs) und Rechtshinweisen von Drittanbietern finden Sie in der Readme zu Ihrem Produkt von National Instruments. Informationen zu den Global-Trade-Compliance-Richtlinien von National Instruments sowie zu Bezugsquellen für relevante HTS-Codes, ECCNs und andere Import-/Exportangaben finden Sie auf ni.com/legal/export-compliance unter der Überschrift *Export Compliance Information*. NI übernimmt jedoch weder ausdrücklich noch stillschweigend irgendeine Gewährleistung für die Richtigkeit oder Vollständigkeit der in diesem Dokument enthaltenen Informationen und haftet nicht für Fehler. Kunden aus US-Regierungsbehörden: Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen wurden auf private Kosten entwickelt und unterliegen den anwendbaren beschränkten Rechten und beschränkten Datenrechten, die in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014 und DFAR 252.227-7015 dargelegt sind.

© 2004—2015 National Instruments. Alle Rechte vorbehalten.

371303N-0113 Jul15

NI USB-6009

Busversorgtes multifunktionales USB-Datenerfassungsgerät

Die folgenden Angaben gelten für 25 °C (sofern nicht anders angegeben). Weitere Informationen zum NI USB-6009 finden Sie in der *Bedienungsanleitung für das NI USB-6008/6009* auf ni.com/manuals.

Analoge Erfassung

Analogeingänge

Differenziell	4
Gegen Bezugspotential	8, durch Software wählbar
Eingangsauflösung	
Differenziell	14 Bit
Gegen Bezugspotential	13 Bit
Maximale Sample-Rate (insgesamt)	48 kS/s, systemabhängig
Umwandlungsart	Stufenweise Annäherung
AI FIFO	512 Byte
Timing-Auflösung	41,67 ns (24-MHz-Zeitbasis)
Timing-Genauigkeit	100 ppm der tatsächlichen Sample-Rate
Eingangsbereich	
Differenziell	$\pm 20 \text{ V}^1$, $\pm 10 \text{ V}$, $\pm 5 \text{ V}$, $\pm 4 \text{ V}$, $\pm 2,5 \text{ V}$, $\pm 2 \text{ V}$, $\pm 1,25 \text{ V}$, $\pm 1 \text{ V}$
Gegen Bezugspotential	$\pm 10 \text{ V}$
Arbeitsspannung	$\pm 10 \text{ V}$
Eingangsimpedanz	144 k Ω

¹ $\pm 20 \text{ V}$ bedeutet, dass $|AI+ - (AI-)| \leq 20 \text{ V}$. AI+ und AI- müssen sich jedoch innerhalb $\pm 10 \text{ V}$ von GND befinden. Weitere Informationen dazu finden Sie im Abschnitt *Durchführen differentieller Messungen* in der *Bedienungsanleitung für das NI USB-6008/6009*.

Überspannungsschutz	±35 V
Trigger-Quelle	Software oder externer Digital-Trigger
Systemrauschen ²	
Differenziell	
±20-V-Bereich	5 mV _{eff}
±1-V-Bereich	0,5 mV _{eff}
Gegen Bezugspotential, ±10-V-Bereich	5 mV _{eff}

Tabelle 1. Absolute Genauigkeit über den gesamten Bereich (differenziell)

Bereich (V)	Typisch bei 25 °C (mV)	Maximum über Temperatur (mV)
±20	14,7	138
±10	7,73	84,8
±5	4,28	58,4
±4	3,59	53,1
±2,5	2,56	45,1
±2	2,21	42,5
±1,25	1,70	38,9
±1	1,53	37,5



Hinweis Eingangsspannungen dürfen den Arbeitsspannungsbereich nicht überschreiten.

Tabelle 2. Absolute Genauigkeit über den gesamten Bereich (gegen Bezugspotential)

Bereich (V)	Typisch bei 25 °C (mV)	Maximum über Temperatur (mV)
±10	14,7	138

Analoge Ausgabe

Analogausgänge	2
Auflösung	12 Bit
Maximale Ausgaberate	150 Hz, softwaregesteuert

² Bei der maximalen Sample-Rate gemessen.

Ausgangsbereich	0 V bis +5 V
Ausgangsimpedanz	50 Ω
Ausgangsstrom	5 mA
Einschaltpegel	0 V
Flankensteilheit	1 V/ μ s
Kurzschlussstrom	50 mA
Absolute Genauigkeit (ohne Last)	
Typisch	7 mV
Maximum (gesamter Skalenbereich)	36,4 mV

Digital-I/O

Digitale Leitungen	
P0.<0..7>	8 Leitungen
P1.<0..3>	4 Leitungen
Datenrichtung	Jeder Kanal kann als Ein- oder Ausgang konfiguriert werden.
Ausgangsschaltung ³	Jeder Kanal kann programmatisch als offener Kollektor oder für die aktive Ausgabe konfiguriert werden.
Kompatibilität	TTL, LVTTTL, CMOS
Absoluter maximaler Spannungsbereich	-0,5 V bis 5,8 V gegenüber GND
Pull-Up-Widerstand	4,7 k Ω auf 5 V
Einschaltzustand	Eingang

Tabelle 3. Digitalpegel

Pegel	Minimum	Maximum
Eingangs-Low-Pegel	-0,3 V	0,8 V
Eingangs-High-Pegel	2,0 V	5,8 V
Eingangsleckstrom	—	50 μ A
Ausgangs-Low-Pegel (I = 8,5 mA)	—	0,8 V

³ Dieses Dokument folgt den NI-DAQmx-Namenskonventionen. "Open Drain" wird dabei als "offener Kollektor" bezeichnet und "Push-Pull" als "aktive Ausgabe".

Tabelle 3. Digitalpegel (Fortsetzung)

Pegel	Minimum	Maximum
Ausgangs-High-Pegel, aktive Ausgabe (I = -8,5 mA)	2,0 V	3,5 V
Ausgangs-High-Pegel, offener Kollektor (I = -0,6 mA, nominal)	2,0 V	5,0 V
Ausgangs-High-Pegel, offener Kollektor (I = -8,5 mA, mit externem Pull-Up-Widerstand)	2,0 V	—

Externe Spannung

+5-V-Ausgang (maximal 200 mA)

Minimum +4,85 V

Typisch +5 V

+2,5-V-Ausgang (maximal 1 mA) +2,5 V

+2,5-V-Genauigkeit Maximal 0,25 %

Bezugstemperaturdrift Maximal 50 ppm/°C

Ereigniszähler

Zähleranzahl 1

Auflösung 32 Bit

Art der Messung Flankenzählung (fallende Flanke)

Zählrichtung Hochzählen

Pull-Up-Widerstand 4,7 kΩ auf 5 V

Maximale Eingangsfrequenz 5 MHz

Minimale High-Impulsbreite 100 ns

Minimale Low-Impulsbreite 100 ns

Eingangs-High-Pegel 2,0 V

Eingangs-Low-Pegel 0,8 V

Busanschluss

USB-Spezifikation USB 2.0 (Full Speed, 12 Mb/s)

Vorgaben für die Stromversorgung

USB, 4,10 VDC bis 5,25 VDC

Typisch	80 mA
Maximum	500 mA

USB-Suspend

Typisch	300 μ A
Maximum	500 μ A

Äußere Merkmale

Abmessungen

Ohne Schraubklemmleisten	63,5 mm \times 85,1 mm \times 23,2 mm (2,50 in. \times 3,35 in. \times 0,91 in.)
Mit Schraubklemmleisten	81,8 mm \times 85,1 mm \times 23,2 mm (3,22 in. \times 3,35 in. \times 0,91 in.)

Gewicht

Ohne Schraubklemmleisten	54 g
Mit Schraubklemmleisten	84 g

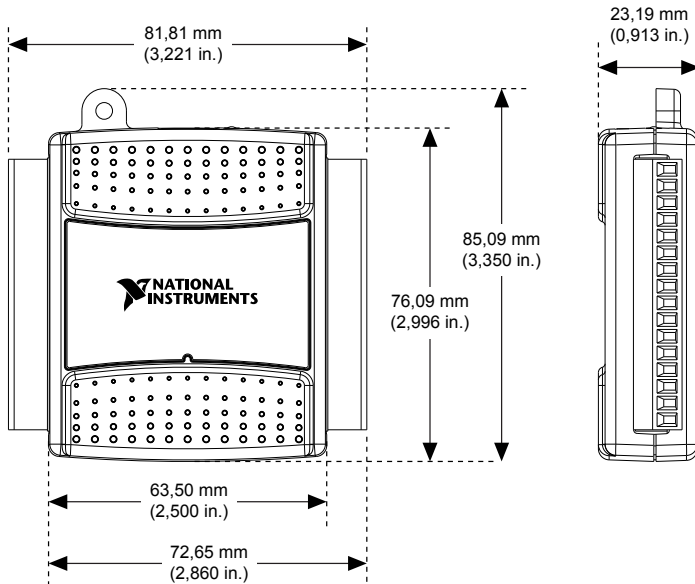
Ein- und Ausgangsanschlüsse	USB-B-Buchse, zwei 16-polige Schraubklemmleisten
-----------------------------	--

Leiterquerschnitt für den Schraubklemmanschluss	0,9 mm ² bis 1,5 mm ²
---	---

Drehmoment für Schraubanschlüsse	0,22 N \cdot m bis 0,25 N \cdot m (2,0 lb \cdot in. bis 2,2 lb \cdot in.)
----------------------------------	--

Zum Reinigen des Geräts ist ein trockenes Tuch zu verwenden.

Abbildung 1. Abmessungen des NI USB-6009



Sicherheitsspannungen

Schließen Sie nur Spannungen an, die sich in diesem Bereich befinden.

Kanal gegenüber GND

Maximal ± 30 V, Messkategorie I

Messkategorie I gilt für Messungen an Schaltungen, die nicht direkt mit dem Stromnetz verbunden sind, also keine Netzspannung führen. Das Stromversorgungsnetz ist definiert als Energieversorgungssystem für technische Geräte, das unter einer für den Menschen gefährlichen Spannung steht. In diese Kategorie fallen alle Spannungsmessungen in Nebenstromkreisen mit speziellen Schutzschaltungen. Dazu zählen Pegelmessungen sowie Messungen an speziellen Geräten, Bauteilen mit begrenzter Energie, Stromkreisen mit Niederspannungsquellen und elektronischen Schaltungen.



Achtung Verwenden Sie dieses Gerät nicht für Signale oder Messwerte in den Messkategorien II, III oder IV.

Umgebungsbedingungen

Temperatur (IEC 60068-2-1 und IEC 60068-2-2)

Betrieb	0 °C bis 55 °C
Lagerung	-40 °C bis 85 °C

Feuchtigkeit (IEC 60068-2-56)

Betrieb	5 % bis 95 % relative Luftfeuchtigkeit, nicht kondensierend
Lagerung	5 % bis 90 % relative Luftfeuchtigkeit, nicht kondensierend

Verschmutzungsgrad (IEC 60664)

2

Maximale Höhenlage

2.000 m

Nur für den Innengebrauch.

Sicherheit

Bei der Entwicklung dieses Produkts wurden die folgenden Sicherheitsstandards für elektrische (Labor-)Geräte für die Mess- und Automatisierungstechnik erfüllt:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



Hinweis Informationen zum UL-Zertifikat sowie zu anderen Sicherheitszertifikaten finden Sie auf dem Produktetikett oder im Abschnitt [Online-Produktzertifizierung](#).

Elektromagnetische Verträglichkeit

Das von Ihnen erworbene Produkt erfüllt folgende EMV-Sicherheitsstandards für elektrische Mess-, Regel- und Laboranlagen:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Klasse A (Funkstörungen); grundlegende Störfestigkeit
- EN 55011 (CISPR 11): Gruppe 1, Klasse A (Funkstörungen)
- DIN EN 55022 (CISPR 22): Funkstöreigenschaften - Grenzwerte und Messverfahren
- DIN EN 55024 (CISPR 24): Störfestigkeitseigenschaften - Grenzwerte und Prüfverfahren
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 22: Class A emissions

- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Hinweis In den USA sind Geräte der Klasse A laut FCC 47 CFR für die Nutzung an kommerziellen sowie an Leicht- und Schwerindustriestandorten vorgesehen. In Europa, Kanada, Australien und Neuseeland sind Geräte der Klasse A laut CISPR 11 nur für die Nutzung an Schwerindustriestandorten vorgesehen.



Hinweis Als Geräte der Gruppe 1 gelten laut CISPR 11 alle Geräte für Industrie, Wissenschaft oder Medizin, die nicht gezielt Hochfrequenzenergie für die Materialbehandlung oder für die Inspektion oder Analyse abgeben.



Hinweis Zusätzliche Informationen zu EMV-Erklärungen und -Zertifikaten finden Sie im Abschnitt [Produktzertifizierung](#).

CE-Zulassung

Das von Ihnen erworbene Produkt erfüllt die Mindestanforderungen der folgenden europäischen Richtlinien:

- 2014/35/EU; Niederspannungsrichtlinie (Sicherheit)
- 2014/30/EU; EMV-Richtlinie

Online-Produktzertifikate

Welche behördlichen Sicherheitsstandards Ihr Produkt außerdem erfüllt, ist in der Konformitätserklärung (DoC) zu Ihrem Produkt beschrieben. Zum Suchen nach Produktzertifikaten und Konformitätserklärungen zu Ihrem Produkt besuchen Sie ni.com/certification, geben Sie die Nummer des betreffenden Modells oder die Produktlinie ein und klicken Sie in der Spalte "Certification" auf den gewünschten Link.

Umwelt-Management

Wir legen großen Wert auf umweltfreundliche Planung und Herstellung unserer Produkte. Daher haben wir bestimmte gefährliche Stoffe aus unseren Produkten verbannt. Das kommt nicht nur der Umwelt, sondern auch Ihnen – unseren Kunden – zugute.

Auf der Webseite ni.com/environment mit dem Titel *Minimize Our Environmental Impact* erhalten Sie weitere Hinweise zum Engagement von National Instruments für den Umweltschutz. Dort finden Sie alle Umweltschutzvorschriften und -richtlinien, die National Instruments einhält, sowie weiterführende Informationen zum Thema.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE – Elektro- und Elektronik-Altgeräte)



EU-Kunden Dieses Zeichen bedeutet, dass Abfallprodukte gemäß der Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) getrennt vom Haushaltsabfall zu entsorgen sind. Alle Elektro- und Elektronik-Altgeräte müssen bei einer WEEE-Sammel- und Recycling-Einrichtung abgegeben werden. Sachgemäße Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten dient zum Schutz der Umwelt und des Menschen vor potentiell schädlichen Materialien, die in den Geräten verarbeitet sind. Durch Ihre Mitwirkung bei der ordnungsgemäßen Entsorgung der Elektro- und Elektronik-Altgeräte können natürliche Ressourcen geschont werden. Informationen zu den Sammel- und Recycling-Stellen in einem bestimmten Land finden Sie unter ni.com/environment/weee.

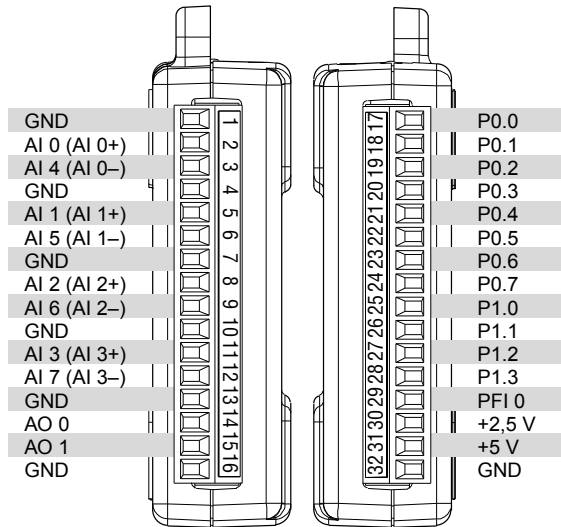
电子信息产品污染控制管理办法 (中国 RoHS)



中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令(RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

Pinbelegung des Geräts

Abbildung 2. Pinbelegung des NI USB-6009



Weitere Informationen zu Marken von National Instruments finden Sie in den *NI Trademarks and Logo Guidelines* auf ni.com/trademarks. Sonstige hierin erwähnte Produkt- und Firmenbezeichnungen sind Marken oder Handelsnamen der jeweiligen Unternehmen. Nähere Informationen über den Patentschutz von Produkten/Technologien von National Instruments finden Sie unter **Hilfe** » **Patente** in Ihrer Software, in der Datei `patents.txt` auf Ihrem Datenträger oder unter *National Instruments Patent Notice* auf der Website ni.com/patents. Informationen zu Endbenutzer-Lizenzverträgen (EULAs) und Rechtshinweisen von Drittanbietern finden Sie in der Readme zu Ihrem Produkt von National Instruments. Informationen zu den Global-Trade-Compliance-Richtlinien von National Instruments sowie zu Bezugsquellen für relevante HTS-Codes, ECCNs und andere Import-/Exportangaben finden Sie auf ni.com/legal/export-compliance unter der Überschrift *Export Compliance Information*. NI übernimmt jedoch weder ausdrücklich noch stillschweigend irgendeine Gewährleistung für die Richtigkeit oder Vollständigkeit der in diesem Dokument enthaltenen Informationen und haftet nicht für Fehler. Kunden aus US-Regierungsbehörden: Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen wurden auf private Kosten entwickelt und unterliegen den anwendbaren beschränkten Rechten und beschränkten Datenrechten, die in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014 und DFAR 252.227-7015 dargelegt sind.

© 2004—2015 National Instruments. Alle Rechte vorbehalten.

375296A-0113 Jul15