



Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft

Masterarbeit



Automatische Beschickung eines
Prüfstandes für Hochofensinter

Benedikt Waidbacher, BSc

Februar 2022

Danksagung

Besonderer Dank gebührt meinem Betreuer Michael Denzel, der mich mit Rat und Tat beim Erstellen dieser Arbeit unterstützt hat. Des Weiteren danke ich meinem Freundeskreis, der immer für lustige und diskussionsreiche Abende zu haben war. Zuletzt danke ich meinen Eltern, die mich von klein auf unterstützt haben und mich zu dem Menschen geformt haben, der ich heute bin.



EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

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

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 27.02.2022

Unterschrift Verfasser/in
Benedikt Waidbacher

Kurzfassung

Hochfensinter besitzt stark heterogene Eigenschaften, welche dessen Bruchverhalten beeinflussen. Gegenwärtig bricht eine beträchtliche Menge der Sinterpartikel beim Transport in solch kleine Teile, dass sie für die Hochofenbeschickung unbrauchbar werden. Zur Analyse des Bruchverhaltens wurde in der Arbeitsgruppe Fördertechnik und Konstruktionslehre am Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft ein Prüfstand für Einzelpartikelprallversuche entwickelt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der automatischen Beschickung dieses Prüfstandes. Das Ziel ist es, ein System zu entwickeln, das Sinter, welchem dem Prüfstand als Schüttgut zugeführt wurde, vereinzelt, ausrichtet und anschließend automatisch in die Prüfvorrichtung lädt. Dies soll den Versuchsprozess beschleunigen und zeitgleich sicherstellen, dass die unförmigen Sinterpartikel vor der Versuchsdurchführung nicht beschädigt werden.

Zur Umsetzung dieser Ziele wird auf Basis einer Literaturrecherche eine Vorauswahl der benötigten Elemente getroffen. Diese werden in einer vom Prüfstand abgegrenzten Umgebung erprobt und nach erfolgreicher Funktionstestung dem System eingepflegt. Zur strukturierter Handhabung der Aufgabenstellung wird diese in Einzelproblemkreise aufgeteilt, welche sich mit der Vereinzelnung, der Beladung und sicherheitskritischen Problemen auseinandersetzen. Das so entwickelte System ist in der Lage, Versuchsreihen mit großer Probenanzahl schneller, sicherer und reproduzierbarer zu bewältigen als eine manuelle Beschickung es erlaubt.

Abstract

Iron ore sinter possesses strong heterogeneous characteristics which clearly influence the materials breakage behaviour. Up to now, a vast amount of sinter-particles break during handling and transport activities where the smaller fractions ($< 6,3\text{mm}$) finally are not suitable for the blast furnace process. For analysing the breakage behaviour of iron ore sinter, a test rig for rapid single particle impact tests with integrated fragment analysis was developed in the working group Conveying Technology and Design Methods at the Chair of Mining Engineering and Mineral Economics.

The present thesis deals with the automated particle feeding of the test rig. The aim of this work was to develop a device which will separate and align the single particles of a bulk of sinter, and finally load the separated items one after the other automatically into the test chamber of the air-cannon. To avoid damage of the automated particle-feeding device, every step of the process has to be controlled by implemented mechanical pathways as well as infrared- and laser sensors.

The overall aim of the effort was to speed up the testing with high reproducibility, while at the same time ensuring, that the unshaped sinter-particles will not be damaged before their testing procedure in the air-cannon. The outflow of a literature survey pinpointed a pre-selection of construction elements needed. These components have been produced and tested independently and have been attached to the existing test rig after confirmed accuracy. For better handling of the complex assignment, a breakdown to problem areas, dealing with particle separation, particle loading and controlling features, were implemented. In comparison to manual test rig loading, the finally constructed and implemented system was able to speed up the handling of test series with large sample quantities, to guarantee a sufficient reproducibility and to secure the testing procedure for essential parts against damage and brake downs.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung	2
2.1	Aufbau der Arbeit	2
3	Stand der Technik	3
3.1	Hochofensinter	3
3.2	Fördersysteme allgemein	4
3.2.1	Unstetigförderer	5
3.2.2	Stetigförderer	5
3.3	Förderungsgutvereinzelung	10
3.3.1	Trommelförderer:	10
3.3.2	Roboterarm (Pick & Place):	10
3.3.3	Wendelförderer:	12
3.4	Messtechnik	15
3.4.1	Optische Messsensoren	15
3.4.2	Ultraschall Sensoren	17
3.4.3	Lasersensoren	17
3.5	Automatische Beladung von Kanonen in Hinsicht auf die Tauglichkeit für den Prüfstand	19
4	Forschungsstrategie	22
5	Aufbau des Prüfstands	23
6	Vereinzelung der Partikel	24
6.1	Trommelförderer	24
6.2	"Pick and Place" Roboter	24
6.3	Wendelförderer	25
6.4	Steuerung des Wendelförderer	26
6.5	Funktionstest des Vereinzelungssystems	27
7	Beladung	28
7.1	Detektion der Sinterpartikel	28
7.2	Einsatz eines Infrarotsensors als Näherungssensor	29
7.3	Einsatz eines Infrarotsensors als Lichtschranke	31
7.4	Einweg-Lichtschranke	31
7.5	Verklebung der Sinterpartikel	34

7.6	Leitung und Positionierung der Partikel	34
8	Detektion der korrekten Mitnehmerposition	38
8.1	Detektion der Mitnehmerposition mittels eines Lasersensors	38
8.2	Messwertbereinigung	39
8.3	Funktion des Detektionsprogramms	40
8.4	Kalibration des Detektionsprogramms	41
9	Ergebnisse	44
9.1	Fehlstellung des Mitnehmers	44
9.2	Unterschreitung des Grenzwerts	45
9.3	Fehlmessungen	45
9.4	Vereinzelung und Beladung	45
10	Diskussion	47
10.1	Fehlmessungen	47
10.2	Fehlstellung des Mitnehmers und Unterschreitung des Grenzwerts	48
11	Zusammenfassung	49
12	Ausblick	51
12.1	Bruch des Mitnehmers	51
12.2	Rückholen des Mitnehmers	52
12.3	Fehlmessung des Lasersensors	53
12.4	Skalierung des Ladesystems	53
	Literaturverzeichnis	56
	Abbildungsverzeichnis	58
	Tabellenverzeichnis	59
	Anhang	60

1 Einleitung

Sei es die gusseiserne Pfanne oder der Stahl in unseren Autos, Eisenwerkstoffe spielen eine entscheidende Rolle in unserer Gesellschaft. Ihre Ausgangswerkstoffe sind metallhaltige Erze, Kohlenstoff und Zuschlagstoffe, die durch den Sinterprozess agglomeriert werden. Dieses Material wird Hochofensinter genannt und besitzt stark heterogene Eigenschaften. Das Bruchverhalten von Sinter ist für die Stahlindustrie von besonderem Interesse, da die Partikel häufig schon beim Transport brechen. Partikel, die kleiner als 5 mm sind, werden als Rückgut bezeichnet und eignen sich nicht für den Hochofen. Sie werden abgesiebt und nochmals dem Sinterprozess zugeführt. Im EU-Durchschnitt werden meistens pro Tonne Sinter etwa 60 kg Partikel abgesiebt [1].

Der Sinter erfährt Stoßbelastungen, wenn dieser mit der Schurrenwand oder anderen Partikel in Kontakt kommt [2].

Um die Entstehung von Rückgut zu minimieren, wird das Bruchverhalten von Hochofensinter analysiert. Dafür wurde am Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft – Arbeitsgruppe Fördertechnik und Konstruktionslehre ein eigener Prüfstand entwickelt. Mit diesem werden einzelne Partikel gewogen und mit einer Pressluftkanone auf eine Prallplatte geschossen. Der gebrochene Partikel wird im Anschluss analysiert. Es ist so möglich etwa einen Versuch pro Minute durchzuführen. Aufgrund der Heterogenität und variablen Form des Sinters, ist die Analyse einer großen Probenanzahl notwendig [2] [3].

Daher ist es nötig die Vereinzelung, Verwiegung und Beladung des Prüfstandes zu automatisieren.

2 Aufgabenstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Vereinzelung und die automatische Beladung eines Sinterprüfstandes zu planen, entwickeln, konstruieren und zu erproben. Die automatische Beschickung des Prüfstandes soll die Versuchsdurchführung beschleunigen. Die Randbedingungen sind:

- Der Maschine wird Sinter als Schüttgut zugeführt.
- Die Partikel sollen vereinzelt und gefördert werden.
- Die Beladung der Druckluftkanone soll automatisch erfolgen.

Damit es nicht vor dem Versuch schon zum Bruch kommt, müssen die Sinterpartikel so schonend wie möglich behandelt werden. Das System soll Partikelgrößen von 6,3–50 mm verarbeiten können. Weiters ist es notwendig, die automatische Beladung in die Maschinensteuerung zu implementieren und eventuell weitere Optimierungen vorzunehmen. Nach der Inbetriebnahme des Systems wird dieses durch die Durchführung einer Versuchsreihe getestet.

2.1 Aufbau der Arbeit

In **Kapitel 3** wird ein Überblick über den Stand der Technik gegeben. Grundlegendes Wissen über Hochofensinter, vorhandene Beladungskonzepte von Kanonen, Fördersysteme, Schüttgutvereinzelung und Messtechnik wird vermittelt.

Kapitel 4 beschreibt die gewählte Forschungsstrategie, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Kapitel 5 gibt eine Einführung in die Funktionsweise des Prüfstands.

Kapitel 6 widmet sich der Frage, wie die Vereinzelung und Beförderung der Partikel umgesetzt wurde und welche Probleme dabei aufgetreten sind.

In **Kapitel 7** wird die Beladung der Kanone und die Handhabung des Sinters während des Ladevorgangs betrachtet.

Kapitel 8 behandelt die Detektion des Mitnehmers, vor allem ob sich der Mitnehmer im regulären Zustand oder im Fehlzustand befindet.

Kapitel 9 ist der Inbetriebnahme des Ladesystems und der erhaltenen Ergebnissen gewidmet.

3 Stand der Technik

Grundlegendes Wissen in den Bereichen von Hochofensinter, automatische Beladung von Kanonen, Vereinzlung, Fördersysteme und Messtechnik werden in diesem Kapitel behandelt.

3.1 Hochofensinter

Zur Herstellung von Hochofensinter werden Feinerze und Zuschlagstoffe wie: Koksgrus, Kalkstein, Branntkalk und/oder Dolomit gemischt und in einer Sinteranlage zu Fertigsinter umgewandelt. Siehe Abb.: 1

Dafür wird die Mischung auf einem umlaufenden Band aufgetragen und durch einen Ofen geleitet. Hier wird von oben mit Gasfackeln die Mischung aufgeheizt, während an der Bandunterseite ein Unterdruck erzeugt wird. Das sorgt für eine Luftdurchströmung der Sintermischung. Durch das Erhitzen kommt es zum partiellen Aufschmelzen der Mischung und der Bildung eines Konglomerats. [4]

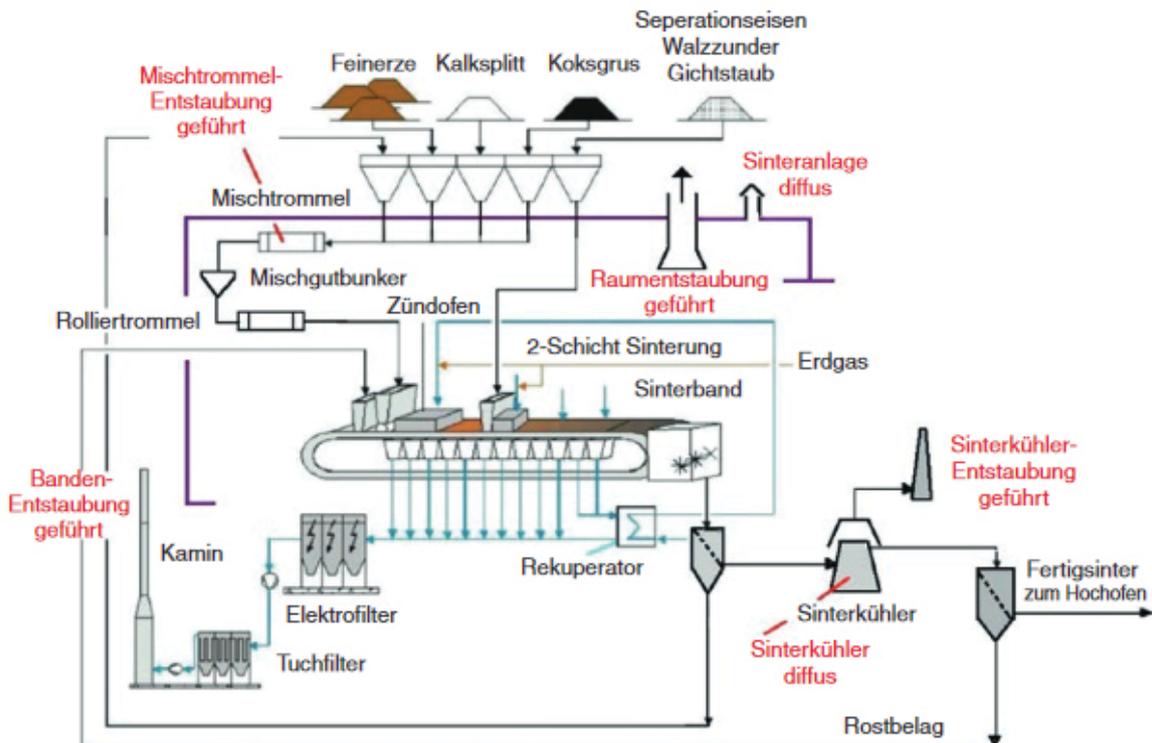


Abbildung 1: Prozessablauf einer Sinteranlage [4]

Nach dem Durchlaufen des Sinterprozesses haben sich Erz und Zuschlagstoffe zu einem sogenannten Sinterkuchen verbunden. Dieser wird gekühlt und mit Walzenbrechern in handhabbare Stücke zerkleinert und gesiebt. Partikel, die kleiner als 5 mm sind, werden abgeschieden und dem Prozess rückgeführt. [2]

Der restliche Sinter kann dem Hochofen zugeführt werden. Ein für den Hochofen oder für Prallversuche geeignetes Partikel kann man in Abb.: 2 sehen.

Die chemische Zusammensetzung und der Kornaufbau definieren wesentlich die Qualität des Sinters. Da diese Qualitätsanforderungen sehr engen Toleranzen unterliegen, produzieren die Unternehmen ein nahezu identisches Produkt. [4]



Abbildung 2: Sinterpartikel mit Bruchfragmenten [2]

3.2 Fördersysteme allgemein

Fördersysteme kann man allgemein in Stetigförderer und Unstetigförderer unterteilen. Bei Stetigförderern arbeitet das Gutaufnahmemittel kontinuierlich. Unstetigförderer hingegen haben eine aussetzende Arbeitsbewegung. [5]

Bei gleichem Eigengewicht benötigen Stetigförderer eine geringere Antriebsleistung um eine größere Fördermenge zu transportieren. Diese beiden Vorteile führen zu einer höheren Wirtschaftlichkeit. [6]

Das Fördergut kann in Stückgüter oder Schüttgüter unterteilt werden. Stückgüter sind einzeln fassbare Lasten wie z. B.: Ballen oder Kisten. Schüttgüter hingegen sind eine große Menge an Einzellasten. Beispiele dafür sind: Sand, Getreide oder Sinter. [6]

3.2.1 Unstetigförderer

Unstetigförderer lassen sich in sechs Hauptgruppen unterteilen [5]:

- Hebezeuge im Raum
- Flurförderer auf Horizontalflächen
- Regalbediengeräte in Vertikalflächen
- Seil- und Hängebahnen auf Kurven
- Aufzüge auf Geraden
- Kipper um einen Punkt

Diese Einteilung beruht auf der Hauptarbeitsbewegung des Gutaufnahmemittels. Eine detailliertere Einteilung lässt sich aus Abb.: 3 entnehmen. [5]

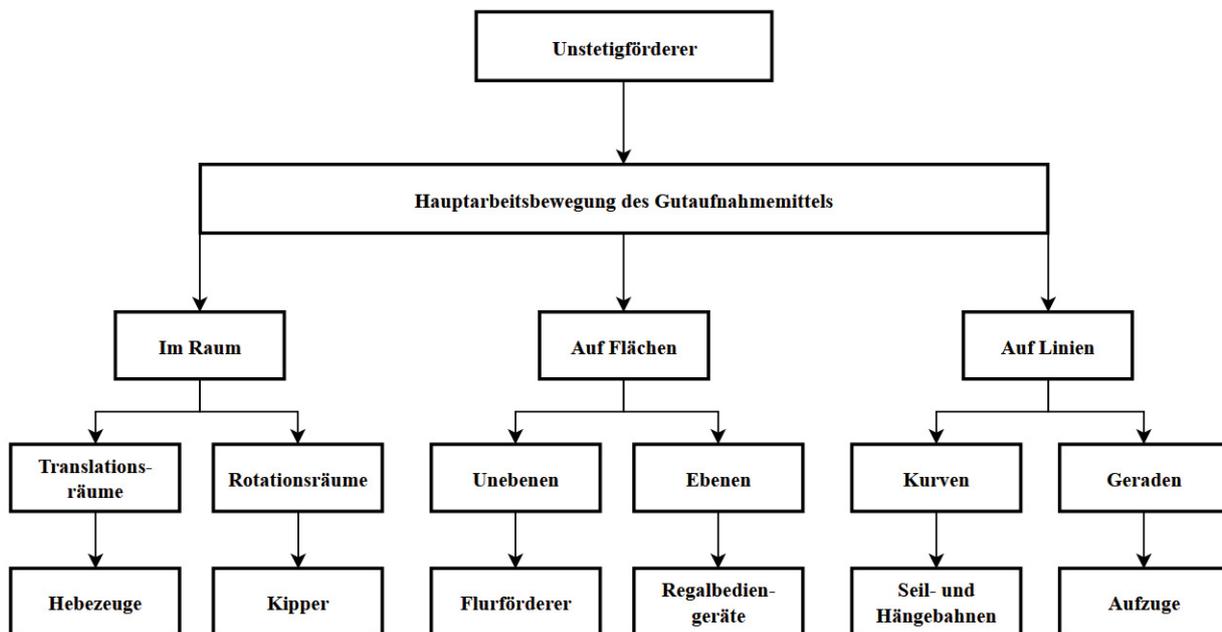


Abbildung 3: Einteilung der Unstetigförderer [5]

3.2.2 Stetigförderer

Stetigförderer ermöglichen eine waagrechte, schräge oder senkrechte Förderung von Stück- und Schüttgut. Sie werden nach Art der Kraftübertragung und dem Funktionsprinzip in vier Gruppen eingeteilt [6]:

1. Mechanische Stetigförderer mit Zugmittel
2. Mechanische Stetigförderer ohne Zugmittel
3. Schwerkraftförderer
4. Strömungsförderer

Sowohl die Schwerkraftförderer als auch die Strömungsförderer eignen sich nicht für die Anwendung in vorliegender Arbeit, weshalb nicht weiter auf sie eingegangen wird.

Mechanische Stetigförderer mit Zugmittel:

Bedeutende Ausführungen dieser Gruppe sind Bandförderer und Gliederförderer. Bei Bandförderern besteht das Zugmittel aus einem endlos umlaufendem Band. Abgestützt wird es von Tragrollen, Gleitbahnen oder einem Luftkissen. Um das Durchhängen zu verhindern und einen Reibschluss zu garantieren, werden die Förderbänder durch eine Spanntrommel vorgespannt. Es ist notwendig, den Förderer mit Abdeckungen vor dem Eindringen von Fremdkörpern zu schützen. Auf Basis des eingesetzten Gurtes unterscheidet man Gurtbandförderer, Stahlbandförderer und Drahtbandförderer. [6]

Gliederförderer bestehen aus Platten, Trögen, Kästen, Bechern, Gehängen oder Kratzer, die an einem endlosen Zugmittel angebracht sind. Einige der wichtigsten Bauarten sind:

Gliederbandförderer:

Das Tragorgan wird hierbei durch Stäbe, Platten oder Kästen gebildet. Das hohe Gewicht der Tragelemente bedingt, dass sie von Kettenrollen abgestützt werden. [6]

Gliederbandförderer:

Das Tragorgan wird hierbei durch Stäbe, Platten oder Kästen gebildet. Das hohe Gewicht der Tragelemente bedingt, dass sie von Kettenrollen abgestützt werden. [6]

Trogkettenförderer:

Das zu fördernde Schüttgut befindet sich in einer Förderrinne, dem Trog. An einer Kette sind Mitnehmer angebracht, die das Gut gleichmäßig vorwärtsbewegen. Aufgrund der Reibung zwischen Gut und Trog, muss dieser aus verschleißfestem Material gefertigt werden. Bei diesem Fördersystem besteht erhöhte Verstopfungsgefahr, weshalb der Trog mit abnehmbaren Deckeln ausgeführt werden sollte und das Schüttgut optimal dosiert werden muss. Mit der richtigen Wahl der Mitnehmer ist das Fördern auf starken Steigungen oder in der Vertikalen möglich. [6]

Kratzerförderer:

Kratzförderer und Trogkettenförderer sind sehr ähnlich. Der Unterschied besteht in der offenen Förderrinne. Das Einsatzgebiet von diesem Fördersystem ist der Transport von sperrigen Gütern wie Holzschnitzel und Drehspäne.

Da Kratzförderer eine offene Förderrinne haben, sind sie nur für eine horizontale und leicht ansteigende Förderung geeignet. [6]

Becherwerke:

Am Tragorgan sind Becher angebracht, die das Gut befördern. Je nach Ausführung des Systems können sie horizontal, schräg oder vertikal fördern. [6]

Mechanische Stetigförderer ohne Zugmittel:

Diese Fördersysteme transportieren das Gut ohne das Vorhandensein von Zugmitteln. Die drei bedeutendsten Bauarten sind Rollen-, Schnecken- und Schwingförderer. [6]

Rollenförderer:

Bestehen aus Rollenbahnen die das Fördergut in der Waagerechten transportieren. Falls es sich um einen angetriebenen Rollenförderer handelt, ist auch der Transport über leichte Steigungen möglich. Allerdings eignen sie sich ausschließlich für den Transport von Stückgütern (Pakete, Paletten etc.), weshalb nicht weiter auf sie eingegangen wird. [6]

Schneckenförderer:

Bestehen aus einer in einem Trog oder Gehäuse rotierenden Schnecke. Die Schnecke kann als Voll-, Band- oder Segmentschnecke ausgeführt sein. Schneckenförderer eignen sich nicht für den Transport von stark schleißenden Fördergütern. [6]

Schwingförderer:

Dieses System lässt sich nach zwei Arbeitsverfahren einteilen: dem Gleitprinzip und dem Mikrowurfprinzip. [7] Beide nutzen die Massenkräfte des Förderguts für den Transport. [6] Dabei stehen Fördergut und Förderorgan in direktem Kontakt. Neben dem Transport kommt dem Förderorgan noch weitere Aufgaben zu.

Zum Beispiel die Sortierung, Durchmischung oder Trocknung von Schüttgut. Das wird erreicht, indem Förderorgane mit Sieb- oder Belüftungsöffnungen eingesetzt werden. [7]

Im Folgenden sollen Schüttelrutschen und Schwingrinnen als Fördersysteme genauer betrachtet werden:

Schüttelrutschen eignen sich für den Transport von fein- bis grobstückigen Schüttgut in der Waagrechten oder über leichte Neigungen - bis 15° . [6]

Dabei wird das Gleitverfahren genutzt, siehe Abb.: 4. Das bedeutet, dass während des Transports permanent Kontakt zwischen Gut und Förderorgan besteht. [7]

Die Rinne wird mit einer Geschwindigkeit, bei der Reibschluss zwischen Rinne und Gut besteht, in die Förderrichtung bewegt. Im Anschluss wird, bei einer Geschwindigkeit bei der der Reibschluss aufgehoben wird, die Bewegungsrichtung der Rinne umgekehrt. Aufgrund der Massenkräfte bewegt sich das Gut weiter in Förderrichtung. Durch ständiges Wiederholen dieses Vorgangs entsteht der Förderprozess. [6]

Vorteil dieses Förderprinzips ist, das es sehr geräuscharm und schonend für das Fördergut ist. Allerdings lassen sich durch die hemmende Wirkung der Reibkräfte nur geringe Fördergeschwindigkeiten erreichen. [7]

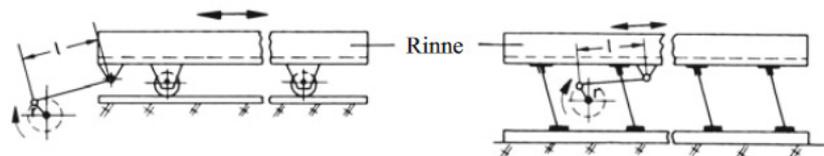


Abbildung 4: Förderprinzip der Schüttelrutsche [6]

Schwingrinnen nutzen das Mikrowurfprinzip, um das Schüttgut zu fördern, siehe Abb.: 5. Dabei bewegt sich die Rinne in Förderrichtung und führt zusätzlich eine Aufwärtsbewegung durch. Die Partikel werden dabei so stark nach oben beschleunigt, dass sie abheben und bis zum Aufschlag fliegen. [6]

Der große Vorteil des Mikrowurfprinzips besteht in der hohen erreichbaren Fördergeschwindigkeit. Da das Fördergut beim Transport vom Förderorgan abhebt, ist es keinen nennenswerten bewegungshemmenden Kräften ausgesetzt. Erst mit dem Wiederauftreffen auf der Förderbahn wird es abgebremst.

Nachteilig ist, dass durch den wiederholenden Aufschlag des Förderguts am Förderorgan eine sehr hohe Lärmentwicklung entsteht. Außerdem kann es durch den Aufprall zum Verschleiß des Fördergutes kommen. [7]

Die Wurfkennziffer Γ beschreibt die Gutbewegung. Mit ihr kann man ermitteln, ob es sich um Mikrowurf- oder Gleitförderung handelt. Sie setzt sich zusammen aus der maximalen Vertikalbeschleunigung über der Fallbeschleunigung. Ist $\Gamma < 1$ handelt es sich um Gleitför-

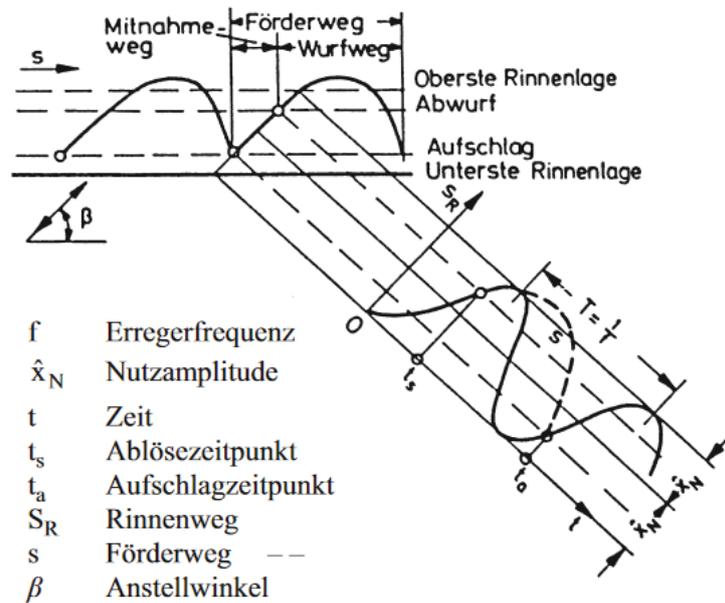


Abbildung 5: Förderprinzip der Schwingrinnen [6]

derung, bei $\Gamma > 1$ liegt Mikrowurfförderung vor. [6]

Bei der Mikrowurfförderung gilt, dass das Geschwindigkeitsoptimum bei $\Gamma = 3,3$ liegt, was einer minimalen Kontaktphase mit dem Förderorgan entspricht. In der Praxis wird dieser Zusammenhang meist ignoriert, was zu Folge hat, dass Mikrowurfförderer meist nicht im Geschwindigkeitsoptimum arbeiten. [8]

$$\Gamma = \frac{\hat{x}_N \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot \sin \beta}{g}$$

\hat{x}_N ... Nutzamplitude [mm]

f ... Erregerfrequenz [Hz]

β ... Anstellwinkel [°]

g ... Erdbeschleunigung [m/s^2]

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass neben dem Gleitprinzip und dem Mikrowurfprinzip auch noch das Haftgleit-Prinzip existiert. [8]

Da es allerdings eine Sonderform der Gleitförderung ist, welches nicht sonderlich relevant für diese Arbeit ist, wird nicht weiter darauf eingegangen.

3.3 Fördergutvereinzlung

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die möglichen Vereinzlungssysteme gegeben.

3.3.1 Trommelförderer:

Werden eingesetzt, um Schüttgut und Kleinteile wie: Stifte, Drahtbiegeteile, Federn etc. zu fördern und zu vereinzeln. Sie verursachen ca. 90 % weniger Vibrationen im Vergleich zu Wendelförderern, was zu einer schonenderen Förderung führt.

Mittels eines Trichters wird die Trommel des Förderers mit Schüttgut befüllt. Die Trommel rotiert und fördert das Gut nach oben, wo es auf einen Linearförderer fällt. Am Linearförderer (ein geradliniger Schwingförderer) kommt es durch Schikanen zur Entwirrung und Ausrichtung des Förderguts. Diese Führungen werden speziell auf das zu fördernde Schüttgut angepasst. Ein Trommelförderer ist in Abb.: 6 zu sehen. [9]

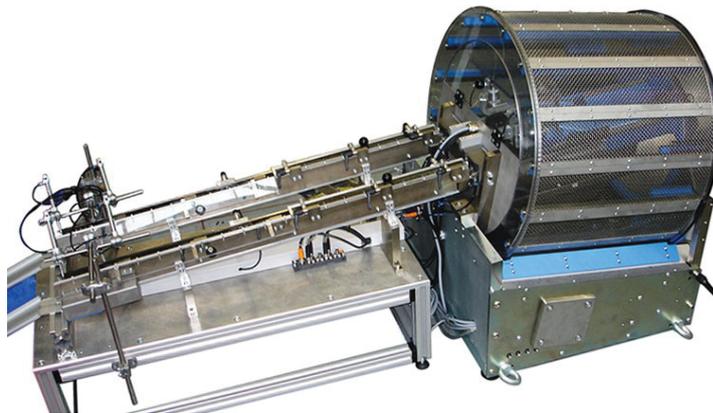


Abbildung 6: Trommelförderer der Firma MAFU Automation [9]

3.3.2 Roboterarm (Pick & Place):

"Pick & Place" bedeutet, dass ein Objekt von einem Roboterarm aufgehoben, orientiert und wieder abgelegt wird. Das kann dazu genutzt werden, um Gut zu sortieren, zu ordnen oder automatisch zu transportieren.

Eine Anwendungsweiterentwicklung stellt das "Pick and Pack" System dar. Dabei wird die Ablegebewegung so modifiziert, dass die Objekte in Behälter, Kisten oder Kartons geordnet werden. [10]

In Abb.: 7 sieht man einen 6-Achs-Roboter der Firma KUKA

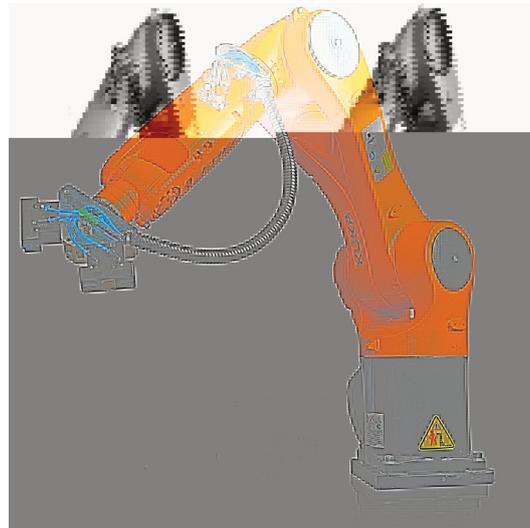


Abbildung 7: 6-Achs-Roboter der Firma KUKA [11]

Für Pick and Place Aufgaben in der Ebene eignen sich gut SCARA-Roboter (Selective Compliance Assembly Robot Arm). SCARA-Roboter besitzen meist vier Achsen in einem scheibenförmigen Arbeitsraum. Ist eine größere Bewegungsfreiheit notwendig, werden fünfsachsige Roboter eingesetzt. In sehr beengtem Raum, oder wenn es einen Höhenunterschied zwischen der Aufnahme- und der Ablageebene gibt, kommen sechssachsige Roboter zum Einsatz. [10]

Wichtig für die Vereinzelung von Partikel ist die Wahl des richtigen Greifers. Dieser muss dafür sorgen, dass das Gut nicht beschädigt wird, aber sicherstellen, dass es während dem Transport nicht herunterfällt.

Damit der Roboter die zu fördernden Objekte identifizieren kann ist eine moderne 3D-Bildverarbeitung, sowie eine komplexe Bahnplanungssoftware notwendig. [10]

Es kann auch "Conveyor Tracking" implementiert werden. Damit kann der Roboterarm mit einer externen Bewegung wie einem Förderband synchronisiert werden. [10]

Roboterarme bieten im Vergleich zu Vibrationswendelförderern und vergleichbaren Systemen eine weit flexiblere Arbeitsweise, sie sind allerdings weder schneller noch günstiger. [10]

3.3.3 Wendelförderer:

Wendelförderer bestehen aus einem Trog, in dem ein spiralförmiges Förderorgan eingebracht ist. Der Förderprozess kommt zustande, indem der Trog in Drehschwingung versetzt wird. Das Schüttgut wird an die Trogwand gefördert und mittels Mikrowurfprinzips, siehe Kap.: 3.2.2, die spiralförmige Wendel hinauf gefördert. Der mögliche Steigungswinkel liegt bei ca. 10°. Wendelförderer eignen sich primär für vertikale Förderung. [7]

In speziellen Konfigurationen können so Höhen bis zu 12 m überwunden werden. [8]

Eine schematische Darstellung eines Wendelförderers ist in Abb.: 8 zu sehen.

Sie bestehen grundsätzlich aus:

1. Fördertopf
2. Förderwendel
3. Angestellte Blattfedern
4. Elektromagnet
5. Grundplatte/Gegenmasse
6. Feder-/Dämpfungselemente

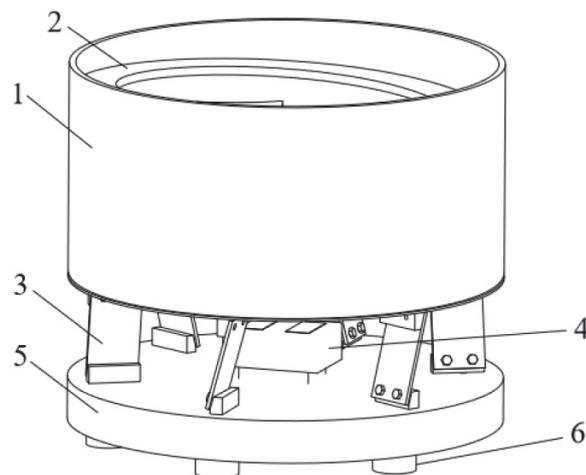


Abbildung 8: Schematische Darstellung eines Wendelförderers ergänzt nach [8]

Das Antriebsteil besteht aus Elektromagnet und Blattfederpakete die der Schwingungserzeugung dienen. Damit keine Schwingungen an die Umgebung abgegeben werden, steht der Förderer auf Gummipuffern. Ein detaillierter Prinzipaufbau eines Teilförderers ist in Abb. 9 dargestellt

Der Topf ist mit dem Antriebsteil lösbar verbunden. Die Partikelgröße des Schüttguts bestimmt den Durchmesser des Topfs. Dabei gilt, dass die größten Partikel nicht größer als $\frac{1}{6}$ des Topfbodendurchmessers sein sollen. Der Topf wird aus Edelstahl gefertigt. Ist der Durchmesser größer als 100 mm, wird Aluminium oder Polyamid eingesetzt. Wenn es gewünscht ist kann der Fördertopf auch ausgekleidet (z.B.: Teflon oder Förderbürstenmaterial) werden. Außen kann eine Beschichtung aus Anti-Dröhn-Material aufgebracht werden. [13]

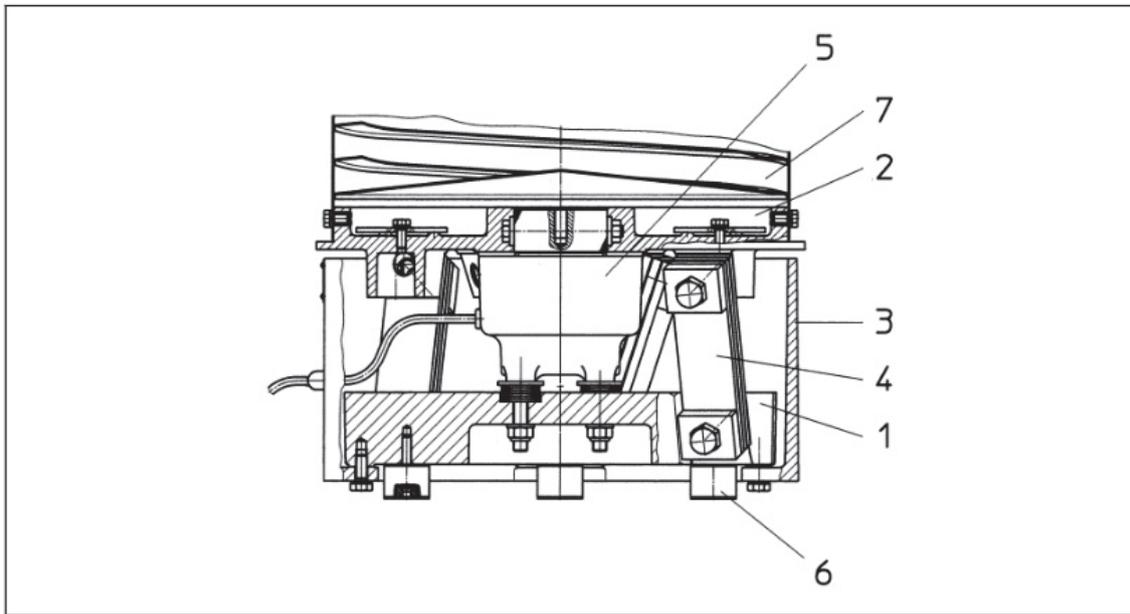


Abbildung 9: Aufbau des AViTEQ - Teilefördererantriebs: (1) Grundplatte, (2) Tragrings, (3) Mantel, (4) Blattfedern, (5) Elektromagnet, (6) Gummipuffer, (7) Topf [12]

Die Vereinzelung erfolgt durch Schikanen, siehe Abb.: 10. Diese sorgen dafür, dass falsch liegende Partikel entweder in den Topf zurückfallen oder richtig ausgerichtet werden. Die Fördergeschwindigkeit hängt davon ab, wie präzise das Ausrichten der Partikel erfolgt. Mit einfachen Schikanen ausrichtbare Teile können in einem nicht ausgekleideten Topf mit einer Geschwindigkeit bis zu 15 cm/s gefördert werden. Mittels eines Steuergeräts lässt sich die Fördergeschwindigkeit stufenlos regeln. [13]

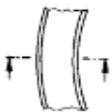
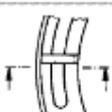
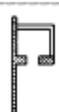
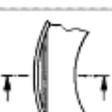
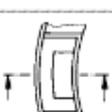
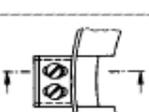
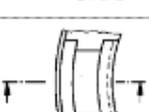
Benennung	Schikaneneinbau	Ausrichtbare Teile	Funktion
Abstreifer			Alle Arten Übereinanderliegende Teile werden abgestreift. Für dünne Scheiben siehe „Zur Topfmittle geneigte Wendel“.
Ausbruch			Alle Arten Bei nebeneinanderliegenden Teilen kann nur ein Teil passieren.
Zur Topfmittle geneigte Wendel			Angelaste Scheiben können nur mit oberliegender Fase passieren. Übereinanderliegende Teile rutschen ab.
Übertaufsicherung			Alle Arten Der Nachschubdruck der geförderten Teile wird durch Ändern der Förderrichtung gebrochen. Zuviel geförderte Teile fallen in den Topf zurück.
Einpendelschlitz			 Schaftlastige Teile pendeln in den Schlitz ein und werden, am Kopf hängend, weitergefördert.
Zunge			 Teile mit Boden können nur passieren, wenn der Boden unten liegt.
Konturendurchlaß			 Passieren können nur Teile, die auf der großen Fläche stehen.
Ausbruch, kombiniert mit übergreifendem Halter			 Teile können nur stehend passieren, liegende Teile fallen in den Topf zurück. Bedingung: $\frac{L}{D} \geq 1$
Wendelbreitenschieber			Alle Arten Gleiche Funktion wie „Ausbruch“, verstellbare Schieber erlauben ein einfaches Einstellen auf ähnliche Teile unterschiedlicher Abmessungen.
Schiene			 Teile können hängend passieren, wenn der Bund oben liegt.

Abbildung 10: Beispiele für Schikaneneinbau [13]

3.4 Messtechnik

3.4.1 Optische Messsensoren

Optische Sensoren basieren auf dem Prinzip der Streuung und/oder Reflexion von Licht, das im Anschluss wieder vom Sensor empfangen wird [14]. In diesem Kapitel wird ein Überblick über optische Sensoren gegeben.

Einweg-Lichtschraken:

Einweg-Lichtschraken senden meist Rot- oder Infrarotlicht aus, das von einem entfernten Empfänger detektiert wird. In der Regel besteht der Sender aus einer Laser- oder Leuchtdiode. Der Empfänger wiederum ist eine Photodiode. Wird der ausgesendete Lichtstrahl unterbrochen, so wird das vom Empfänger detektiert und die Lichtschranke schaltet. Sie eignen sich für undurchsichtige und spiegelnde Objekte. Der Detektionsbereich ist in Abb.: 11 ersichtlich. [14]

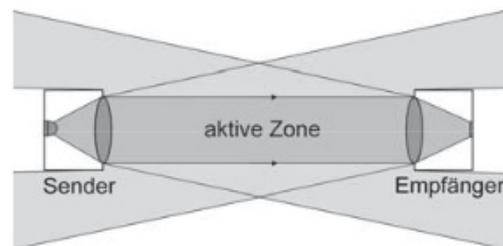


Abbildung 11: Aktive Zone einer Einweglichtschranke [14]

Werden mehrere Einweg-Lichtschraken übereinander angereiht, so spricht man von einem Lichtgitter. Das erlaubt die Detektion eines Objekts über einen größeren Bereich. Dieses System wird beispielsweise in der Sicherheitstechnik eingesetzt, um zu erkennen, ob sich eine Person in einen gefährlichen Bereich begibt. [14]

Reflexions-Lichtschraken:

Bei Reflexions-Lichtschraken befinden sich Sender und Empfänger im selben Gehäuse. Ein Lichtstrahl wird vom Sender ausgeschickt und nach dem Durchlaufen der Messstrecke von einem Retroreflektor wieder zurückgeworfen. Das reflektierte Licht wird vom Empfänger detektiert. Der Sensor schaltet, wenn der Lichtstrahl durch ein Objekt unterbrochen wird. Da Sender und Empfänger im selben Gehäuse sind, ist dieses Sensorsystem kompakter als eine Einweg-Lichtschrake und einfacher zu verkabeln. Es besitzt allerdings eine kürzere Reichweite. [14]

Zwei Bauarten sind von besonderer Bedeutung [14]:

- Sensor nach Autokollimationsprinzip
- Sensor mit Doppellinsen-System

Autokollimationslichtschranken haben zwischen Sender und Empfänger einen halbdurchlässigen Spiegel verbaut. Dieser reflektiert das Licht der LED. Lässt aber nach der Reflexion genügend Strahlung zum Empfänger hindurchtreten, um zuverlässig detektieren zu können. Etwa 50% des Sende- und Empfangslichtes geht am Spiegel verloren. Was ein Nachteil dieser Bauform ist. [14]

Auch beim Doppellinsen-System sind Sender und Empfänger im selben Gehäuse verbaut. Allerdings sind sie nebeneinander versetzt und um einen flachen Winkel zueinander gedreht. So wird sichergestellt, dass das reflektierte Licht detektiert werden kann. Allerdings entsteht dabei ein Blindbereich in Sensornähe, in dem kein Objekt erkannt werden kann. Die Funktionsweise beider Systeme ist in Abb.: 12 ersichtlich. [14]

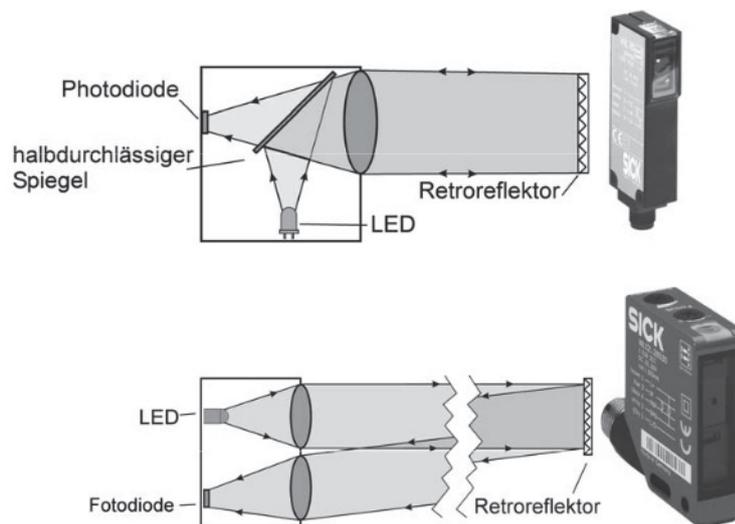


Abbildung 12: Funktionsprinzip Autokollimationslichtschranke und Doppellinsenlichtschranke [14]

3.4.2 Ultraschall Sensoren

Diese Art der Objekterkennung kann man in drei Kategorien einteilen [15]:

- Bildgebende Systeme
- Objektselektive Systeme
- Inspektionssystem

Diese Einteilung erfolgt nach Komplexität und dem erzielbaren Informationsgewinn.

Bei bildgebenden Systemen wird das zurückgeworfene Signal dazu genutzt, um die Geometrie des Objekts zu ermitteln. Die Auswertung der Bilder kann von einem komplexen Bildauswertesystem übernommen werden.

Objektselektive Systeme haben die Aufgabe, bestimmte Merkmale am Objekt zu erkennen und das Objekt einer Klasse zuzuordnen.

Inspektionssysteme vergleichen das empfangene Echo mit vorherigen Echos. Somit kann es eine Abweichung detektieren. [15]

Die Entfernungsmessung basiert auf dem Puls/Laufzeitprinzip. Dabei wird die zeitliche Differenz gemessen, die der Schall braucht, um nach dem Aussenden wieder zurück zum Sender zu kommen. Mit Hilfe der Schallgeschwindigkeit kann auf die Distanz geschlossen werden. Einfluss auf die Genauigkeit der Messung hat vor allem die Lufttemperatur. [16]

Ein Vorteil dieser Sensoren ist, dass sie einfach aufgebaut sind und eine hohe Langzeitstabilität besitzen. Das macht sie ideal für den Einsatz in rauen Bedingungen. Weiters generieren sie eine geringere Datenmenge als optische Systeme, was eine schnellere Signalverarbeitung zur Folge hat. [15]

3.4.3 Lasersensoren

Vom Sensor wird ein Lichtstrahl ausgesendet, der auf ein Objekt trifft. Dort bildet der Laser einen kleinen Messpunkt. Eine Photodiodenzeile agiert als Empfänger des Sensors und kann die Position des Punktes detektieren.

Abhängig von der Distanz zwischen Sensor und Objekt verändert sich der Einfallswinkel zwischen Sender und Empfänger. Auf Basis der Lichtverteilung auf der Photodiodenzeile kann der exakte Winkel ermittelt werden. Siehe Abb.: 13. Mittels des gemessenen Winkels

wird auf die Distanz zurückgerechnet. Dieses Verfahren wird Triangulation genannt. Die gemessene Distanz wird anschließend in einen proportionalen Strom umgewandelt und kann so weiterverarbeitet werden. Die Genauigkeit der Messung fällt mit steigender Distanz ab. [17]

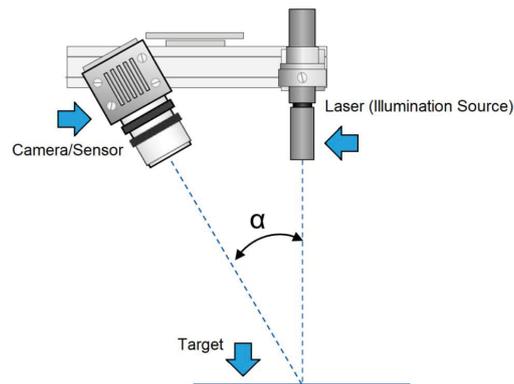


Abbildung 13: Triangulation eines Lasersensors [18]

Auch die Strahlform des Lasers beeinflusst die Genauigkeit der Messung. Die Firma Baumer bietet beispielsweise Sensoren mit drei unterschiedlichen Strahlformen an. Die in Abb.: 14 zu sehen sind [17]:

- Laser Point - für präzise Messungen auf kleine Objekte.
- Laser Line - für Messungen auf raue Oberflächen und farblich strukturierte Oberflächen
- Multi-spot - für Messungen mit über 600 Messwerten auf inhomogen glänzende oder sehr raue Oberflächen

Neben der Triangulation kann auch die Laufzeitmessung (Time of Flight) eingesetzt werden, um die Distanz zu ermitteln. Diese Messung funktioniert nach folgendem Prinzip: Der Sensor sendet ein Signal aus, beispielsweise einen Laserpuls. Das Signal bewegt sich so lange vorwärts, bis es auf ein Objekt trifft.

An diesem Objekt wird der Laserpuls reflektiert und eine bestimmte Zeit später wieder vom Sensor empfangen. Die Zeitdifferenz zwischen Aussenden und erneutem Empfangen des Laserpulses wird gemessen. Zusammen mit der bekannten Geschwindigkeit des Signals kann auf die Distanz zwischen Sensor und Objekt rückgerechnet werden. [17]

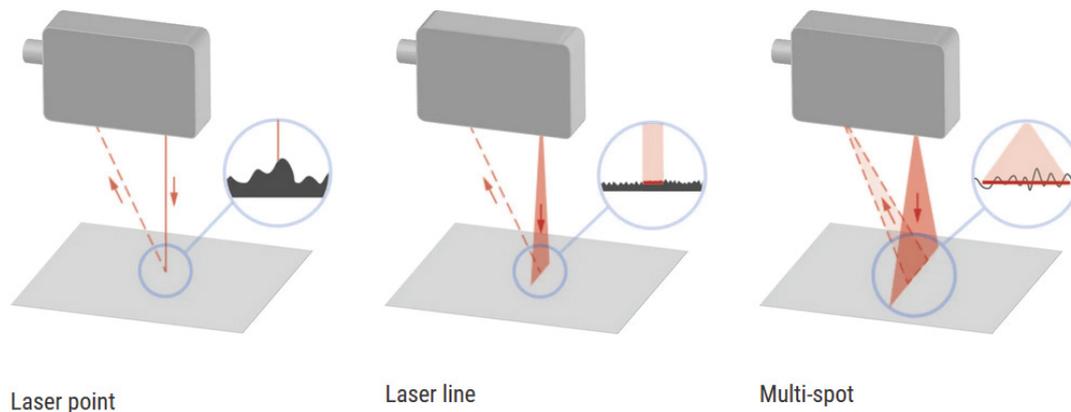


Abbildung 14: Strahlformen von Lasersensoren der Firma Baumer [17]

Über Folgemessungen kann weiter ermittelt werden, ob sich das Objekt dem Sender nähert (Laufzeit wird kleiner) oder entfernt (Laufzeit wird größer).

3.5 Automatische Beladung von Kanonen in Hinsicht auf die Tauglichkeit für den Prüfstand

Ein Bereich in dem seit langem an der automatischen Beladung von Kanonen geforscht wird, ist die Wehrtechnik. Dieser Forschungsbereich unterliegt strenger Geheimhaltung, doch ist mittlerweile einiges über ältere Ladesysteme bekannt. Im folgendem wird ein kurzer Überblick von automatischen Ladesystemen in Panzern gegeben.

Das manuelle Beladen von Panzerkanonen ist schwere Arbeit. Eine Kanone mit dem Innendurchmesser von 120 mm verwendet eine Patrone die etwa 8 kg schwer ist. [19] Die Beladung muss auch in Bewegung stattfinden können. In der Fahrt im offenem Gelände rollt, nickt und giert das Fahrzeug stark, was die Arbeit zusätzlich erschwert. [20]

Schon in den 1950er Jahren wurde versucht die Beladung durch ein automatisches Ladesystem (Autoloader) zu lösen. Der erste Panzer, der mit solch einem Ladesystem ausgestattet wurde, war ein T57. Unter der Kanone war ein Trommelmagazin angebracht, das acht Schuss fasste. Beim Ladevorgang wurde durch ein hydraulisches System die Hülse der abgefeuerten Patrone aus der Kammer gezogen und zeitgleich eine neue Patrone aus dem Magazin entnommen. Die leere Hülse konnte dann durch eine Öffnung im Turm ausgeworfen werden. Der Ansetzer (jener Teil des Ladesystems, welcher das Projektil in die Kanone bewegt), rammt im Anschluss die Patrone in den Lauf und aktivierte den Verschluss der

Kanone. Damit war der Ladevorgang abgeschlossen und die Kanone war feuerbereit. [21]
 Der Ladevorgang ist in Abb.: 15 zu sehen.

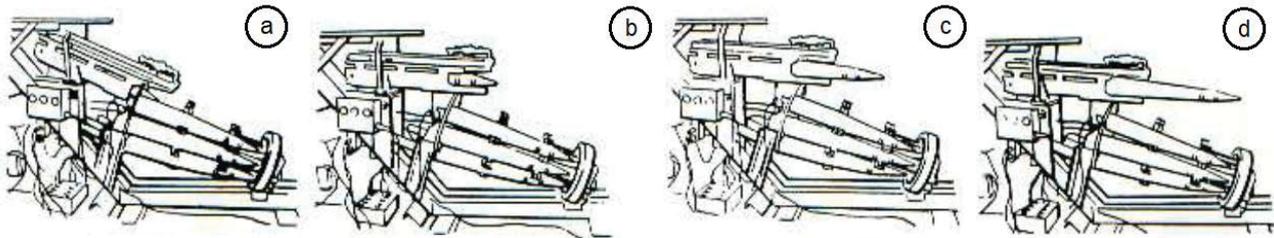


Abbildung 15: a) Entnahme der Patrone, b) Ausrichten der Kammer und Patrone, c) Rammvorgang, d) Ende des Rammvorgang - Patrone bewegt sich weiter in die Kammer [21]

Im Jahr 1983 wurde von der U.S. Armee die Entwicklung eines 120-mm-Autoloaders in Auftrag gegeben. Das Ergebnis war der TTB (Tank Test Bed) Autoloader. Zu sehen in Abb.: 16. [20]

Er setzte sich aus zwei wesentlichen Bestandteilen zusammen: dem Karussell und einer Transfereinheit. Das rotierende Karussell befand sich unter dem Turm und diente als Munitionslager für 44 Schuss. Die Transfereinheit, die auch den Ansetzer beinhaltete, konnte Patronen entnehmen und laden, bereits geladene Patronen wieder entfernen und Hülsen auswerfen. Für das Auswerfen befand sich eine kleine Tür auf der Rückseite des Turms. [20]

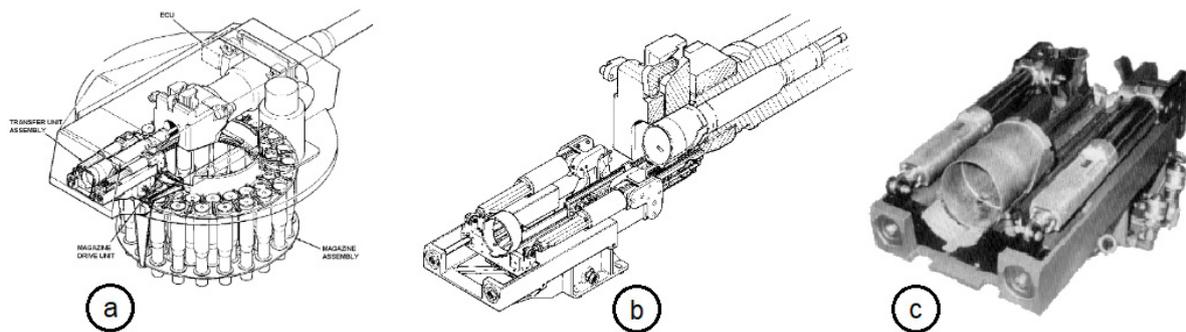


Abbildung 16: a) Zusammengesetztes TTB System, b) Die Transfereinheit in Ladestellung, c) Transfereinheit [20]

Eine moderne Variante des Autoloaders bietet die Firma Meggitt Defense Systems an. Jede Patrone befindet sich in einem Behälter, welche durch eine Kette miteinander verbunden sind. Das Ladesystem ist hinter dem Rückstoßbereich der Kanone verbaut. Die Munition befindet sich in einem separaten Fahrzeugteil, der durch eine explosionsgeschützte Tür

vom Crew-Raum abgetrennt ist. Wird eine Patrone ausgewählt, rotiert das Magazin die gewünschte Munition zur Ausgabestelle, wo eine elektrische Transfereinheit den Ladevorgang übernimmt. [22]

Ein großer Unterschied bei der Portionierung der Panzermunitionsbeladung und der Beladung des Prüfstandes ist das Gut. Im Gegensatz zu Panzergeschossen ist Sinter unförmig und unterschiedlich groß, was eine standardisierte Handhabung erschwert. Zu bedenken ist auch, dass sich die Munition bereits geordnet in einem Magazin befinden. Damit entfällt das Ordnen und die Vereinzelnung. Ein weiterer Vorteil des Magazins ist, dass man bei jedem Schritt der Beladung weiß, wie viele Patronen vorhanden sind und wo sie sich befinden. Da der Sinter in unterschiedlichen Größenklassen eingeteilt und ungleichförmig ist, wird es nicht möglich sein, solch ein Magazin zu verwenden.

Die oben genannten Ladesysteme beladen die Kanone von hinten und verschließen diese im Anschluss. Dieses Ladeprinzip ist beim Sinterprüfstand nicht möglich, da sich dort ein stationäres Druckluftsystem befindet.

4 Forschungsstrategie

Im Zuge vorliegender Arbeit wird eine Vereinzelung und Beladung unförmiger Partikel entwickelt. Die Forschungsstrategie sieht wie folgt aus (Abb.: 17).

Auf Basis der Literaturrecherche wird eine Vorauswahl der benötigten Elemente wie Sensoren und Fördersysteme getroffen. Der Betrieb des vorhandenen Prüfstandes wird aufrechterhalten. Daher werden Bauteile wie Sensoren in einem abgegrenzten System getestet. Das beinhaltet Tätigkeiten wie Verkabeln, Schreiben des Codes, Funktionstestung und Analyse der Ergebnisse.

Wenn die Funktion des getesteten Bauteils gegeben ist, wird dieses dem Prüfstand hinzugefügt und erneut getestet. Es ist darauf zu achten, dass sämtliche Änderungen am Prüfstand reversibel sein müssen. Im Falle eines fehlerhaften Bauteils wird so sichergestellt, dass der Betrieb aufrechterhalten bleibt.

Nachdem die fehlerfreie Funktion der einzelnen Elemente gegeben ist, können diese in den Maschinencode eingepflegt werden. Nachdem die benötigten Komponenten verbaut und programmiert sind, wird das Gesamtsystem getestet und die Funktionsfähigkeit geprüft.

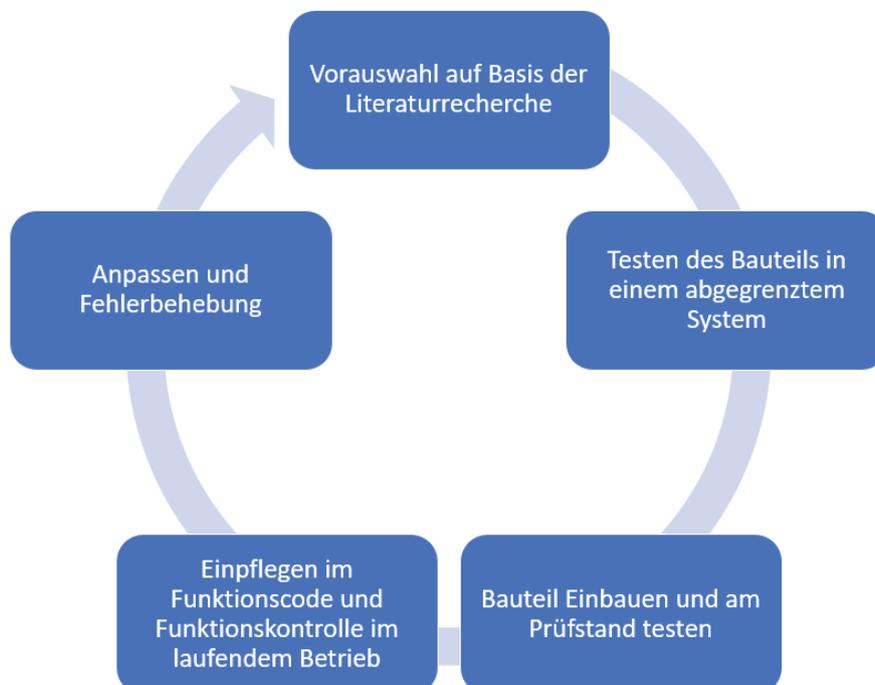


Abbildung 17: Schematische Darstellung der Forschungsstrategie

5 Aufbau des Prüfstands

Wie in Abb. 18 zu sehen ist, besteht der Prüfstand grundsätzlich aus der Partikelvereinzelung, der Wiegestation, der Druckluftkanone, dem Fallmodul und der Fragmentanalyse.

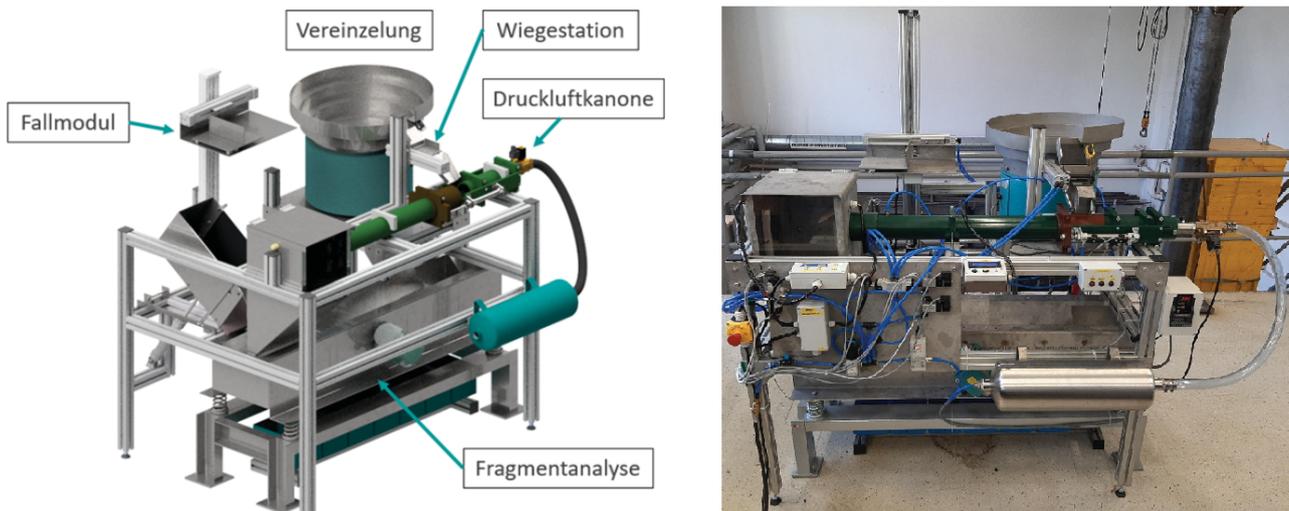


Abbildung 18: Prüfstand für Einzelpartikelbruchversuche [2] [3]

Soll ein manueller Versuch durchgeführt werden, muss ein Sinterpartikel aus einem Lagerfass entnommen werden und auf die Wiegestation gelegt werden. Die Messung des Gewichts braucht etwa zwei Sekunden und muss im Anschluss durch einen Knopfdruck bestätigt und gespeichert werden. Anschließend wird durch das Drücken der "Öffnen-Taste" der Verschluss der Kanone nach vorne bewegt. In den nun zugänglichen Mitnehmer wird der Sinterpartikel gelegt. Der Mitnehmer ist jenes Bauteil, dass sich im Kanonenrohr frei bewegen kann, durch die Druckluft beschleunigt wird, und so die Energie auf den Partikel überträgt.

Durch das Drücken der "Schließen-Taste" wird die Kanone wieder verschlossen und eine Kalibration der Fragmentanalyse startet automatisch. Nach zehn Sekunden Kalibration kann der Versuch durch das drücken der "Feuer Taste" durchgeführt werden. Der Prüfstand und alle zugehörigen Sensoren werden mit einem "Arduino" gesteuert. Dieser ist auf der Rückseite des Prüfstands in einem Schaltkasten verbaut und dient als zentrales Steuerelement.

Der Versuch nimmt im Regelbetrieb etwa eine Minute in Anspruch und soll durch die Automation beschleunigt und für den Bediener erleichtert werden. Zur leichteren Handhabung der Problemstellung wurden Einzelproblemkreise definiert: die Vereinzelung, die Beladung und die Detektion der Mitnehmerposition.

6 Vereinzlung der Partikel

In diesem Kapitel wird beschrieben, welches System zum Vereinzeln und zum Befördern der Partikel gewählt wurde.

Die erste Aufgabe des Systems ist es, das zugeführte Schüttgut zu vereinzeln. Wie in Kap.: 3.3 beschrieben, gibt es dafür mehrere Möglichkeiten. Im folgenden wird analysiert, welches System am geeignetsten dafür ist.

6.1 Trommelförderer

Eignen sich nicht für diese Anwendung, da bei der Rotation der Trommel die Partikel stark aneinander reiben bzw. aufeinanderstoßen. Dadurch könnten die Partikel bereits vor dem Versuch beschädigt werden. Besonders kritisch ist der Sturz auf den Linearförderer. Dieser ist mittig in der Trommel angebracht, was einen freien Fall von mehreren Zentimetern bedeutet. Falls das Partikel den Linearförderer nicht trifft, stürzt es bis zum Boden der Trommel und wiederholt den Vereinzlungsvorgang. Das hätte weitere Schädigungen des Partikels zur Folge. Ein Beispiel für einen Trommelförderer ist in Kap. 3.3.1 ersichtlich.

6.2 "Pick and Place" Roboter

Dieses System würde sich gut für Vereinzlung und Förderung eignen. Allerdings ergeben sich dabei mehrere Probleme: Erstens, das System ist äußerst komplex. Es benötigt neben dem Roboterarm eine Vielzahl an Sensoren, welche die für den Sortiervorgang notwendigen Daten generieren. Des Weiteren ist eine Software notwendig, die die Daten verarbeiten kann. Für diese Software müsste ein kompatibler Computer zu Verfügung gestellt werden, was Kosten und Komplexität des Systems weiter erhöhen würde.

Zweitens, da wir unterschiedliche Größenklassen an Sinter haben, könnte es notwendig sein, den Greifer zu wechseln.

Drittens, die hohen Kosten des Systems. Für ihren Preis bieten sie eine flexiblere Arbeitsweise als andere Förderer. Allerdings ist dieser Vorteil im Vergleich zu den Kosten nicht ausschlaggebend. In Kap. 3.3.2 ist ein Roboterarm zu sehen.

6.3 Wendelförderer

Für den in dieser Arbeit beschriebenen Prüfstand ist ein Wendelförderer am geeignetsten. Dieser hat den Vorteil, dass er das Schüttgut schonend vereinzelt und transportiert und die Kosten dabei verhältnismäßig gering bleiben. Die Lärmbelastung durch den Wendelförderer sollte einen vernachlässigbarer Nachteil sein.

Als Vereinzelnungs-/Fördersystem wurde der Schwingtopf TFH 400 der Firma Aviteq gewählt. Zu sehen in Abb.: 19.

Der Schwingtopf ist überkritisch abgestimmt, das bedeutet, dass die Eigenfrequenz des Schwingsystems kleiner als die Schwingfrequenz ist. Der Topf hat an der Basis einen Durchmesser von 400 mm und öffnet sich nach oben auf 630 mm. Der Förderer besitzt eine maximale Nutzlast von 15 kg. Die Eigenfrequenz des Systems ist ≤ 48 Hz und es besitzt eine Schwingzahl von 6000 min^{-1} .

Die Frequenz und damit die Fördergeschwindigkeit wird mittels der mitgelieferten VIBTRONIC-Steuerung eingestellt und erlaubt eine Regelung von 0 bis 100%. Weitere Details sind im Datenblatt, siehe Anhang, ersichtlich.



Abbildung 19: Schwingtopf TFH 400 der Firma Aviteq

6.4 Steuerung des Wendelförderer

Der Prüfstand wird mit einem zentralen Arduino Uno R3 Microcontroller gesteuert. Dieser wird auch zum Steuern des Schwingtopfs eingesetzt. Das bedeutet, der Arduino muss erkennen können, ob sich ein Partikel auf der Wiegestation befindet und dementsprechend den Schwingtopf ein- oder ausschalten.

Für diese Aufgabe kann die VIBTRONIC-Steuerung herangezogen werden. Diese besitzt einen Signal Ein- und Ausgang, welche bei Werksauslieferung mit einer Kabelbrücke kurzgeschlossen sind. Wird dieser Kurzschluss durch ein Relais ersetzt, kann der Schwingtopf durch einen externen Controller geschaltet werden. Die Gerätebeschreibung der Steuerung und Möglichkeiten diese zu Schalten sind im Anhang zu finden.

Der Aufbau dieses Systems und der notwendige Programmcode wurden in einem abgegrenzten Versuch getestet (siehe Abb.: 20).

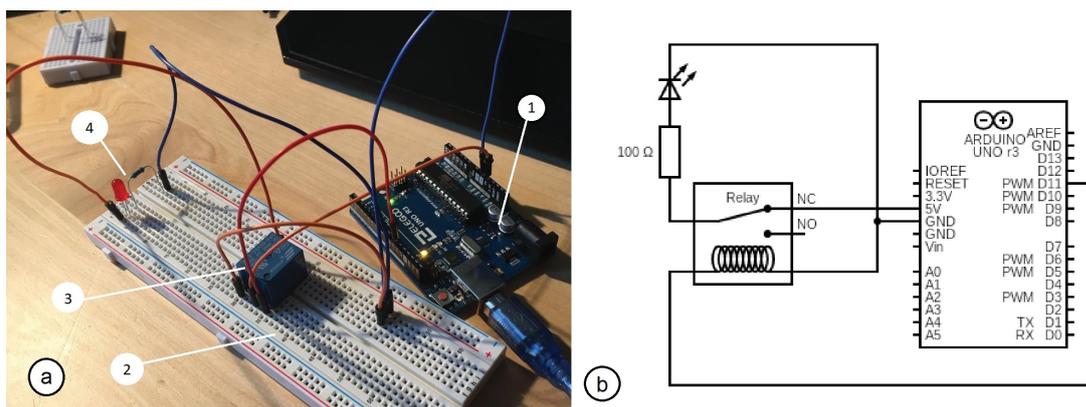


Abbildung 20: Test der notwendigen Bauteile, zur Steuerung des Schwingtopfes: a) Versuchsaufbau, b) Schaltplan des Versuchsaufbaus

In Abb.: 20 sind mehrere Bauteile zu sehen:

1. Ein Arduino Uno R3 - Steuerung der elektronischen Bauteile
2. Ein Steckbrett zur Befestigung der Bauteile
3. Ein Relais - Zum Schalten des Schwingtopfes
4. Eine Leuchtdiode mit vorgeschaltetem Widerstand - Als Ersatz für den Schwingtopf

Wird dem Versuchssystem Energie zugeleitet, soll die LED ausgeschaltet bleiben (der Schwingtopf steht). Erst nachdem der Arduino dem Relais das Schaltsignal gibt, wird der Strom-

kreis zur LED geschlossen und sie beginnt zu leuchten (der Schwingtopf läuft). Dieser Versuchsaufbau funktionierte problemlos. Um die ordnungsgemäße Funktion am Prüfstand festzustellen, wurde der Code mit derselben Verkabelung am Schwingtopf getestet. Auch hier funktionierten der Maschinencode und die Schaltung ohne Probleme.

6.5 Funktionstest des Vereinzlungssystems

Auch die Vereinzlung der unterschiedlichen Sinterpartikelgrößenklassen wurde getestet. Es stellte sich heraus, dass sowohl die Vereinzlung als auch die Beförderung sehr gut funktionierte. Die Befürchtung, dass der Sinter durch das Mikrowurfprinzip Schaden nehmen könnte, bestätigte sich nicht. Zur einfachen Beschickung des Prüfstands wurde der Schwingtopf hinter der Wiegestation positioniert.

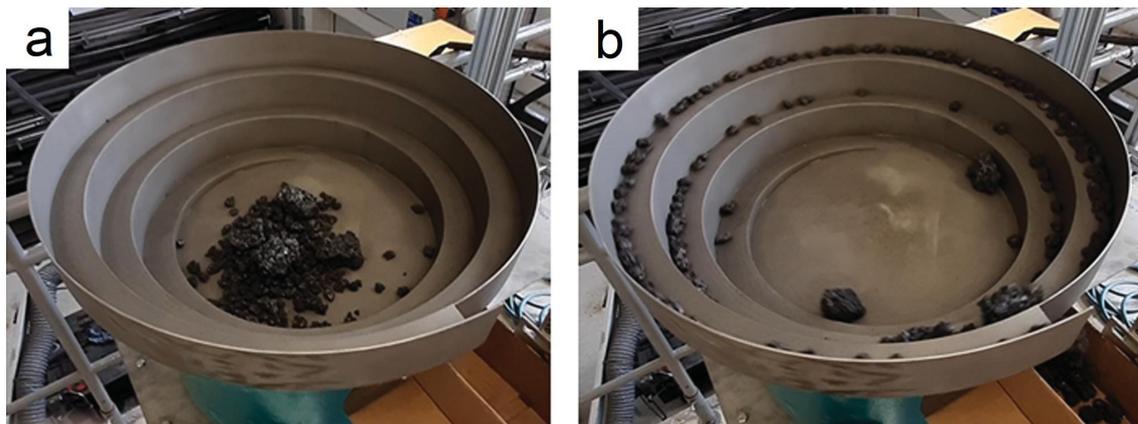


Abbildung 21: Vereinzlungsvorgang des Schwingtopfs: a) Schüttgutprobe, b) Vereinzelte Schüttgutprobe [3]

7 Beladung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie der Partikel vom Förderer in die Kanone gelangt, welche Sensoren notwendig waren und welche Probleme aufgetreten sind.

7.1 Detektion der Sinterpartikel

Nach der Vereinzelung des Guts folgt die Beladung der Kanone. Dies funktioniert nach folgendem Prinzip:

Vom Schwingtopf (1) fällt das Partikel auf eine Förderrutsche (2), die zur Wiegestation (3) des Prüfstandes führt (siehe Abb. 22). Dort wird der Partikel verwogen und anschließend auf eine Laderutsche (4) geschoben. Am Ende der Laderutsche fällt das Partikel in die offene Kanone. Der Verschluss verschließt das Kanonenrohr, und der Schussversuch wird durchgeführt.

Es ist wichtig, dass bei jedem Versuch nur ein einzelner Partikel getestet wird.

Um dies sicherzustellen, muss ein Detektionssystem am Prüfstand angebracht werden. Ziel ist es, mit diesem System den Schwingtopf zu steuern. Dieser soll so lange eingeschaltet bleiben, bis ein einzelner Partikel auf die Laderutsche fällt. Ist dies geschehen, soll durch das Abschalten des Schwingtopfs verhindert werden, dass weitere Partikel herunterfallen.



Abbildung 22: Weg des Sinterpartikels vom Schwingtopf zur Kanone: (1) Schwingtopf, (2) Förder-
rutsche, (3) Wiegestation, (4) Laderutsche

7.2 Einsatz eines Infrarotsensors als Näherungssensor

Die Wahl fiel auf den Infrarotsensor GP2Y0A41SK0F der Firma Sharp. Dieser funktioniert nach dem Prinzip einer Reflexions-Lichtschranke, siehe Kap.: 3.4, und hat einen Messbereich von 4 bis 30 cm. Er kann alle 16,5 ms eine Messung vornehmen, welche als analoges Signal ausgegeben wird. Mithilfe dieses Signals kann vom Arduino eine Distanz berechnet werden. Weitere Details befinden sich im Anhang.

Damit der Arduino den Infrarotsensor ansprechen kann, musste diesem eine spezifische Bibliothek, siehe [23], eingepflegt werden. Dieser Bibliothek liegt die Dokumentation bei, welche die nötigen Schritte erklärt, um mit dem Sensor Messungen vorzunehmen.

Als Erstes wurde versucht, mit dem Infrarotsensor den Sturz der Partikel am Ende des Schwingtopfs zu detektieren (siehe Abb. 23).

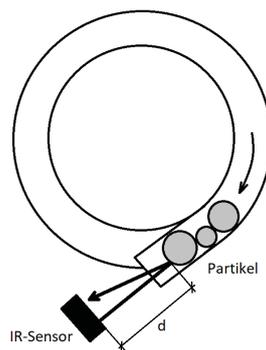


Abbildung 23: Skizze des Versuchsaufbaus mit einem Infrarotsensor

Die Idee hinter diesem Aufbau war, dass der Sensor die Distanz $[d]$ auf ein Partikel misst und diese als Variable $[d1]$ speichert. Nach einer einstellbaren Zeit misst der Sensor erneut und vergleicht den gemessenen Wert $[d]$ mit dem gespeicherten Vorwert $[d1]$. Ist der neue Wert $[d]$ kleiner als die Variable $[d1]$ kommt das Partikel dem Sensor und damit der Kante des Schwingtopfes näher. Der Wert $[d]$ wird nun als $[d1]$ gespeichert und der Messvorgang wird wiederholt. So lange d kleiner oder gleich $d1$ ist, bleibt der Schwingtopf eingeschaltet. Das Partikel wandert immer weiter nach vorne, bis es zum Sturz kommt. An diesem Punkt sollte der Wert $[d]$ größer sein als $[d1]$. Mit diesem Messwertsprung kann der Arduino feststellen, dass es zum Sturz gekommen ist und den Schwingtopf abschalten.

Dieses Verfahren wurde in einem abgegrenzten Versuch getestet (siehe Abb.: 24).

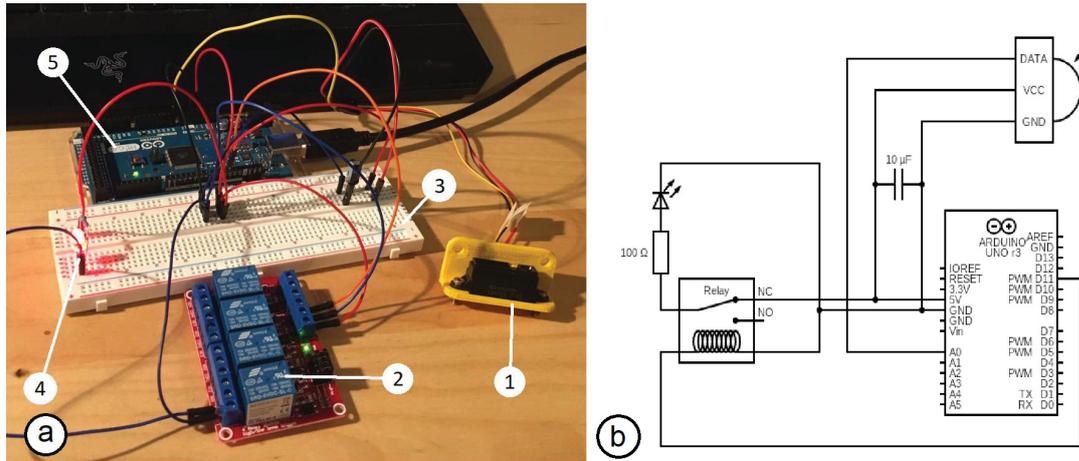


Abbildung 24: Testaufbau des Infrarotsensors: a) Versuchsaufbau, b) Schaltplan des Versuchsaufbaus

Die notwendigen Bauteile und die Verkabelung sind [24] entnommen. Der Versuchsaufbau in Abb.: 24 besteht aus:

1. Einem Infrarotsensor
2. Einem Relais - Zum Schalten des Schwingtopfes
3. Einem Steckbrett zur Befestigung der Bauteile
4. Einer Leuchtdiode mit vorgeschaltetem Widerstand - Als Ersatz für den Schwingtopf
5. Einem Arduino Uno R3 - Steuerung der elektronischen Bauteile

In Abb.: 24 sieht man, dass die LED (4) leuchtet (der Schwingtopf ist eingeschaltet). Wird ein Sinterpartikel vor den Sensor gehalten und immer näher gebracht, leuchtet die LED weiter. Wird im Anschluss das Partikel entfernt, schaltet der Arduino die LED ab. In diesem Versuchsaufbau funktionierte das System.

Als es jedoch am Prüfstand getestet wurde, kam es zu Problemen. Das System funktionierte annehmbar bei großen Partikeln (40 - 25 mm). Kleinere Partikel wurden oft nicht detektiert und es kam zu mehrfacher Beladung. Das lag an der Messgenauigkeit des Sensors. Dieser konnte nur Maße im cm Bereich ausgeben, weshalb abhängig von Größe und Orientierung, einige Partikel nicht erkannt wurden. Es war notwendig, eine neue Lösung zu finden.

7.3 Einsatz eines Infrarotsensors als Lichtschranke

Der zweite Ansatz war es, den Sensor nicht beim Schwingtopf anzubringen, sondern an der darunterliegenden Rutsche. Der Aufbau ist in Abb.: 25 zu sehen.



Abbildung 25: Sinterrutsche mit Infrarotsensor

Für diese Lösung wurde der Code verändert. Es wurde noch immer eine Distanz [d] ermittelt und mit dem Folgewert [d1] verglichen. Sind [d] und [d1] gleich ist der Schwingtopf eingeschaltet, ist [d1] größer oder kleiner als [d] wird er ausgeschaltet. Auch dieses System hatte Probleme. Zu kleine Partikel wurden nicht detektiert und damit der Schwingtopf nicht ausgeschaltet. Weiters konnte es vorkommen, dass Partikel die aktive Zone des Sensors übersprangen und nicht erkannt wurden.

Da beide Lösungsansätze mit dem Infrarotsensor GP2Y0A41SK0F nicht funktionierten, wurde entschieden, eine andere Detektionsmethode zu testen.

7.4 Einweg-Lichtschranke

Es wurde entschieden eine Einweg-Lichtschranke zu bauen und direkt unter der Kante des Schwingtopfs anzubringen. Der Aufbau und die verwendete Schaltung der Einweg-Lichtschranke wurden [25] entnommen.

Grundsätzlich besteht die Lichtschranke aus:

1. Einer Infrarot LED
2. Drei Fototransistoren
3. Einem Potentiometer
4. Drei 10 k Ω Widerständen
5. Zwei 220 Ω Widerständen
6. Einer Leuchtdiode
7. Einer Lochrasterplatine

Als Erstes wurde ein Stück Stahlblech mit den Abmessungen 180x10x1 mm in einen U-förmigen Träger gebogen und die Löcher für die LED und Fototransistoren eingebohrt. Dort wurden im Anschluss die LED und Transistoren eingeklebt.

Auf einer Lochrasterplatine wurden die Widerstände eingelötet. Die drei 10 k Ω Widerstände dienen als Vorwiderstände für die Fototransistoren, die zwei 220 Ω Widerstände sind die Vorwiderstände für die Infrarot LED und die Leuchtdiode. Diese Vorwiderstände sind notwendig, um den Strom zu begrenzen und so die Bauteile vor dem Durchbrennen zu schützen.

Die Fototransistoren und die Leuchtdiode wurden mit dem Arduino verbunden. Der Infrarot LED wurde ein Potenziometer vorgeschaltet. Potenziometer sind im Grunde regelbare Widerstände. Damit ist es möglich, den durch die LED fließenden Strom und somit die Leuchtintensität der Infrarot LED zu regeln.

Die Lochrasterplatine wurde zu ihrem Schutz in einem Gehäuse verbaut, an dem auch das Potenziometer und die Leuchtdiode angebracht wurden. Zu diesem Zeitpunkt wurden am Prüfstand bereits zwei ähnliche Lichtschranken zur Geschwindigkeitsmessung verwendet. Nach einigen Änderungen konnte der Code der Geschwindigkeitsmessung für die Einweglichtschranke herangezogen werden.

Die Einweg-Lichtschranke funktioniert nach folgendem Prinzip:

Die Infrarot-LED leuchtet auf die drei Fototransistoren (siehe Abb. 26). Wenn ein Fototransistor bestrahlt wird, leitet er elektrischen Strom zum Arduino. Empfängt der Arduino von allen Transistoren elektrischen Strom, ist das System für die Messung bereit und die Leuchtdiode wird eingeschaltet (das System ist einsatzbereit). Falls keiner oder nur einige

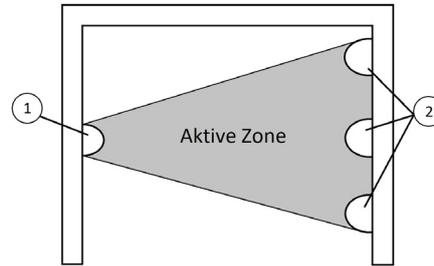


Abbildung 26: Schematische Darstellung der Einweg-Lichtschanke: (1) Infrarot LED, (2) Fototransistoren

der Transistoren bestrahlt werden, wird auf dem Display der Hauptsteuerung ein "Error" ausgegeben und angezeigt, welche Transistoren den Fehler verursachen (die Leuchtdiode leuchtet nicht). So können beschädigte Transistoren identifiziert und ausgewechselt werden. Im Fall, dass von allen Transistoren keine Infrarotstrahlung empfangen wird, muss man mittels Potenziometer den Widerstand herabsetzen und somit den Strom, der zur Infrarot LED fließt, erhöhen. Das hat eine Zunahme der Leuchtintensität zur Folge.

Solange alle drei Transistoren bestrahlt werden, bleibt der Schwingtopf eingeschaltet. Fällt nun ein Partikel in den aktiven Bereich des Sensors, wird die Infrarotstrahlung der LED verdeckt, was einen Signalabbruch an den Transistoren zur Folge hat. Der Arduino detektiert diesen Signalverlust und stellt den Schwingtopf ab. Es kann auch vorkommen, dass die Intensität der LED so gering eingestellt ist, dass kleine Bruchpartikel (ab ca. 2 mm Größe) die Schranke auslösen. Hier muss die Intensität stärker eingestellt werden.

Sowohl im Kleinversuch als auch bei der Testung am Prüfstand wurden die Partikel fehlerfrei detektiert. Die eingebaute Lichtschranke ist in Abb. 27 zu sehen.

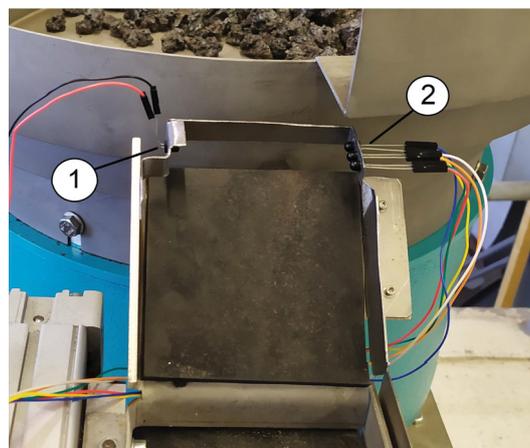


Abbildung 27: Am Prüfstand verbaute Lichtschranke: (1) Infrarot LED, (2) Fototransistoren

7.5 Verklemmung der Sinterpartikel

Ein Problem der Beladung war es, dass Partikel zwischen Schwingtopf und Förderrutsche eingezwickelt wurden (siehe Abb.: 28).

Als Lösungsansatz wurde die Dämpfungsmatte auf der Förderrutsche verlängert. Das behob das Problem der Verklemmung bei kleinen Partikeln, bei großen Partikeln funktionierte es nicht. Erst mit der höheren Positionierung des Schwingtopfes und damit der Erhöhung der Fallhöhe konnte das Problem beseitigt werden.

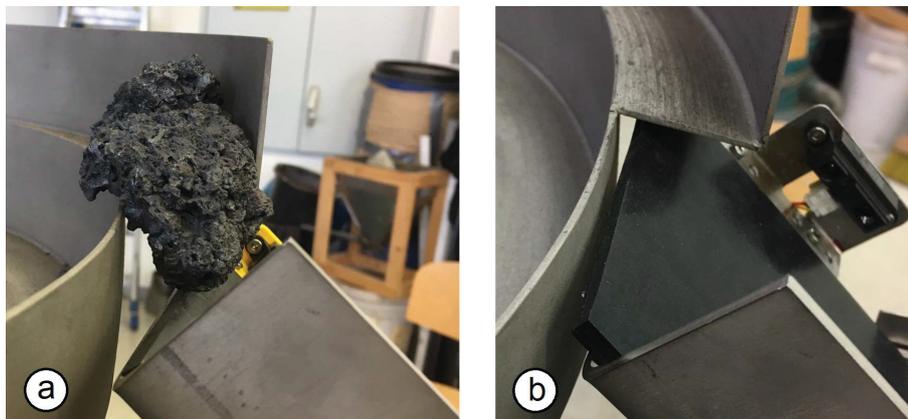


Abbildung 28: a) Zwischen Schwingtopf und Förderrutsche eingezwicktes Sinterpartikel, b) verlängerte Dämpfungsmatte

7.6 Leitung und Positionierung der Partikel

In Abb. 29 ist die offene Kanone abgebildet. Wichtige Bestandteile sind der Verschluss (1), die Laderutsche (2), der Lauf (3) und der Mitnehmer (4).

Bei der Beladung fällt ein Sinterpartikel von der Laderutsche in die Kanone und landet im Mitnehmer. Der Verschluss fährt über die Ladeöffnung und schließt die Kanone. Wird nun ein Prallversuch durchgeführt, wird der Mitnehmer mittels Druckluft beschleunigt und prallt am Ende der Kanone auf ein Federpaket. Der Sinterpartikel behält seine Geschwindigkeit bei und fliegt aus der Kanone heraus.

Bei diesem Vorgang kam es einige Male zu einem kritischen Problem. Der Sinterpartikel fiel in die Kanone und rollte vor den Mitnehmer in das Kanonenrohr. Würde die Kanone nun feuern, käme es zur Schädigung des Kanonenrohres, des Mitnehmers und eventuell des Federpakets. Um das Vorrollen zu verhindern, wurde ein Sperrblech einzubauen, das das Kanonenrohr beim Beladen verschließt.

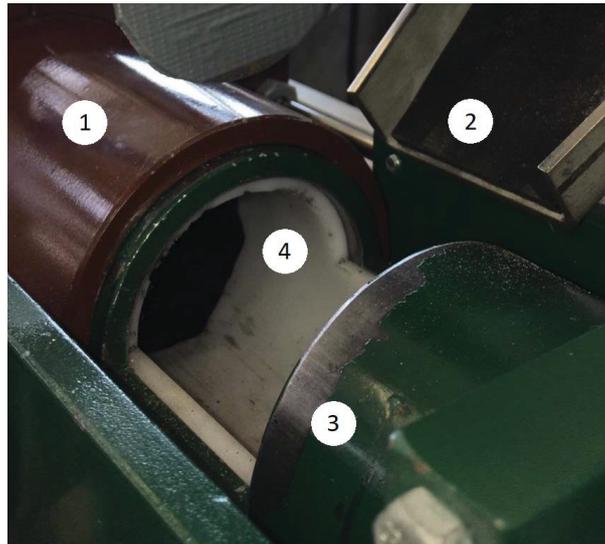


Abbildung 29: Blick in die offene Kanone: (1) Verschluss, (2) Laderutsche, (3) Lauf, (4) Mitnehmer

Der erste Lösungsansatz war es, das Sperrblech am vorderen Ende der Ladeöffnung anzubringen und bei der Beladung in die Kanone herabzulassen. Als Führungselement sollte eine Linearführung dienen, an der das Blech angeschraubt wäre. Das Problem dabei war, dass die Linearführung über dem Verschluss angebracht werden müsste, damit sie sich am Ende der Ladeöffnung befindet. Dafür wäre es notwendig gewesen, eine Aufhängung über dem Kanonenrohr zu bauen. Das würde die Zugänglichkeit zum Kanonenrohr behindern und somit die Wartungs- und Reparaturarbeiten verkomplizieren.

Zum Bewegen des Sperrblechs wäre ein weiterer Antrieb und möglicherweise Endlagensensoren notwendig gewesen, was das System stark verkompliziert hätte.

Eine weitere Idee war es, die Bewegung des Ausschiebers dazu zu nutzen, das Sperrblech in das Rohr hineinzuschwenken. Der Ausschieber ist ein pneumatischer Zylinder, der dazu dient, die Partikel von der Wiegeeinheit auf die Laderutsche zu schieben.

Um festzustellen, ob dies möglich war, wurden die Grobmaße des Systems ermittelt und eine simple Form für das Sperrblech entwickelt. Diese Geometrie wurde auf ein Stück Karton übertragen und ausgeschnitten. Der Prototyp wurde am Ausschieber angebracht und der Zylinder manuell betätigt. Käme es beim Testen der Vorrichtung zum Verklemmen, würde so nur der Karton Schaden nehmen. Es stellte sich heraus, dass die Sperrvorrichtung auf diese Art gut umsetzbar war. Der Test wurde nochmals mit einem als Holz und Draht gefertigten Prototypen wiederholt und für gut befunden.

Anschließend konnten das Sperrblech, die Aufhängung, das Leitblech und Prallblech aus Stahl gefertigt und montiert werden. Das Sperrsystem ist in Abb. 30 zu sehen, die Fertigungszeichnungen finden sich im Anhang vorliegender Arbeit.

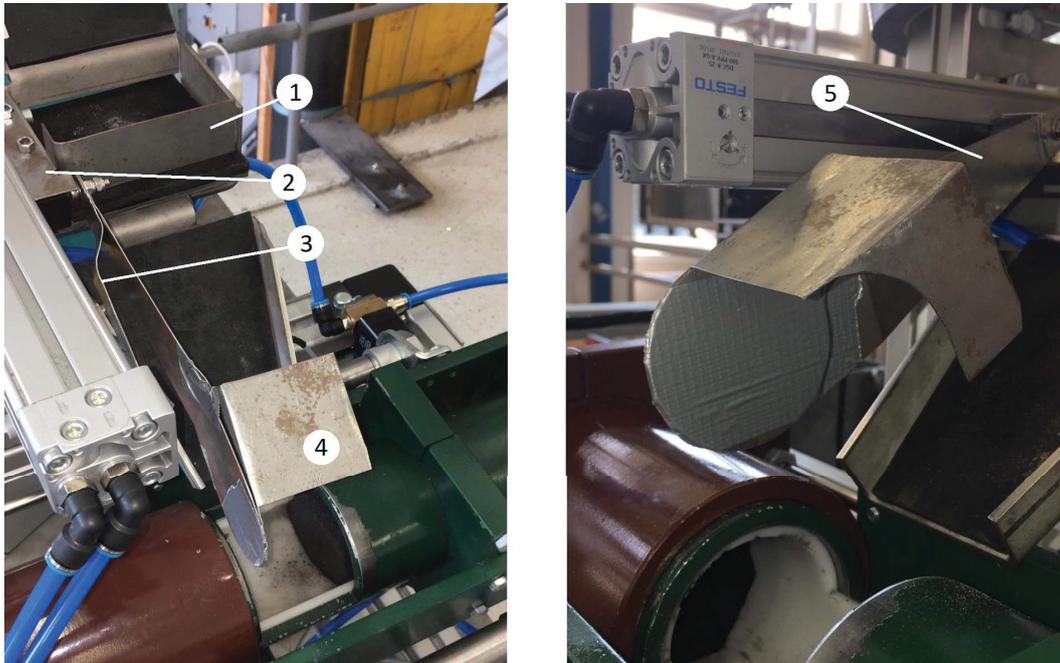


Abbildung 30: Aufbau des Sperrsystemprototypen: (1) Ausschieber, (2) Aufhängung, (3) Leitblech, (4) Prallblech, (5) Sperrblech

Sperrblech und Leitblech sind mittels einer Falzverbindung miteinander verbunden. Das Leitblech läuft in einer Leitvorrichtung und dient zum Heben und Senken des Sperrsystems. Die Leitvorrichtung (1) ist an der Laderutsche befestigt und kann in seiner Höhe verstellt werden. So kann sehr einfach die Höhe des eingefahrenen Sperrsystems eingestellt werden. Die Leitvorrichtung kann man in Abb.: 31 sehen.

Es wurde am Ende des Sperrblechs auch ein Prallblech angebracht, welches verhindert, dass Sinterpartikel über die Ladeöffnung springen können. Der Fertigungsplan befindet sich im Anhang.

Die Aufhängung besteht aus einem 1 mm dünnen Stahlblech welches sich bereits unter geringer Krafteinwirkung verbiegt. Dies dient der Sicherheit des Sperrsystems. Sollte es bei geschlossenem Verschluss ausgefahren werden, zum Beispiel durch manuelle Aktivierung, so verbiegt sich die Aufhängung und schützt das Sperrsystem vor Beschädigung.

Bei der Abwärtsbewegung der Sinterpartikel auf der Förderrutsche als auch auf der Laderutsche kam es öfters vor, dass die Partikel seitlich von der Rutsche fielen. Deshalb wurden sowohl an der Laderutsche als auch an der Förderrutsche Seitenschürzen (2) angebracht. Das fertig verbaute System ist in Abb.: 31 zu sehen.

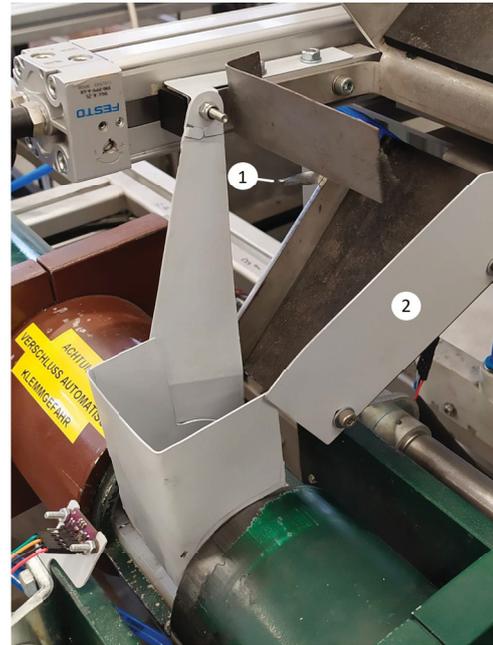
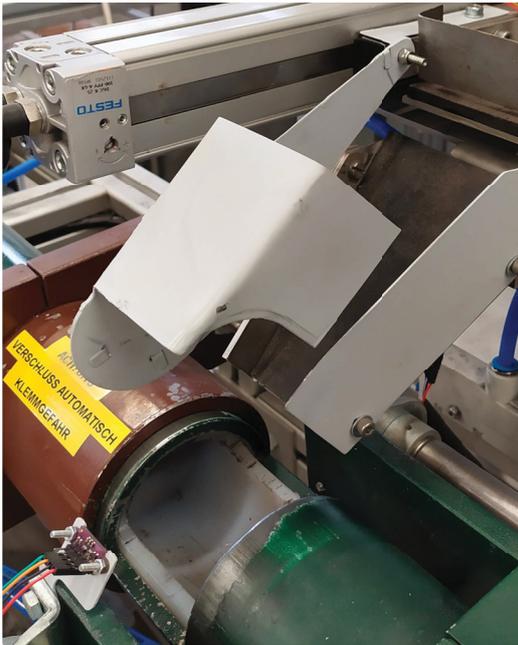


Abbildung 31: Sperrsystem eingefahren und ausgefahren: (1) Leitvorrichtung, (2) Seitenschürze

8 Detektion der korrekten Mitnehmerposition

In diesem Kapitel wird auf die Detektion des Mitnehmers eingegangen, warum dies notwendig ist und wie es realisiert wurde.

Bei der Durchführung der Prallversuche kam es einige Male vor, dass der aus Kunststoff gefertigte Mitnehmer brach und/oder in der Kanone stecken blieb. Der Prüfstand konnte dieses Problem nicht erkennen und hätte ohne externem Eingreifen, weitere Versuche durchgeführt. Dies hätte zu einer Beschädigung des Laufs und des Federpakets geführt.

Es musste also ein Sensor angebracht werden, mit dem ein solcher Fehler detektiert werden konnte. Da es nicht gewünscht war, den Lauf anzubohren und das Anbringen eines Sensors im Lauf nicht möglich war, fiel die Wahl auf einen externen optischen Sensor.

Es wurde der "Time of Flight" Laser Sensor VL53L0X der Firma STMicroelectronics gewählt. Das Funktionsprinzip von Lasersensoren kann dem Kapitel 3.4 entnommen werden. Weitere Informationen zum Sensor sind im Anhang zu finden.

8.1 Detektion der Mitnehmerposition mittels eines Lasersensors

Die grundsätzliche Idee war, den Sensor schräg über der Ladeöffnung anzubringen. Um zu detektieren, ob der Mitnehmer an der richtigen Position ist, wird vor dem Beladen eine Distanzmessung vorgenommen und der Messwert mit einem Grenzwert verglichen.

Ist der Messwert größer als der Grenzwert, wird die Maschine gestoppt und ein "Error" am Display angezeigt. In Abb. 32 ist die Kanone im Ladezustand (a) und im Fehlerzustand (b) ersichtlich.

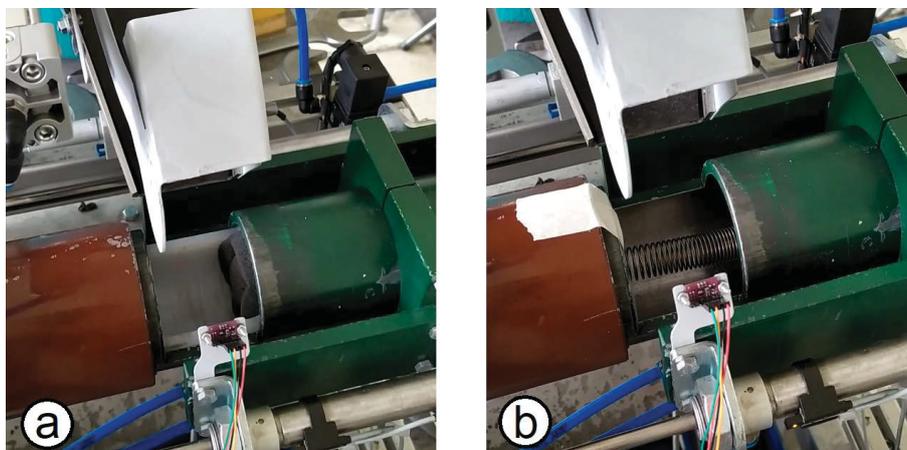


Abbildung 32: a) Mitnehmer im Normalzustand, b) Mitnehmer im Fehlerzustand

Vor dem Einbau wurde das Konzept in einem abgegrenzten Versuch getestet. Dafür wurde ein Stück Sinter 90 mm vor den Sensor platziert und Messungen durchgeführt. Die Messwerte wurden am "Serial Monitor" (eine Funktion des Arduino, die es erlaubt, Daten und Programmabläufe zu überwachen) angezeigt. Es stellte sich heraus, dass die Messwerte eine große Streuung aufwiesen. Um ausschließen zu können, dass diese Streuung durch die unregelmäßige Oberfläche des Sinterpartikels verursacht wurde, wurden Messungen auf ein Objekt mit glatter Oberfläche vorgenommen. Auch hier trat eine Streuung auf.

8.2 Messwertbereinigung

Um festzustellen, wie groß die Messwertstreuung des Sensors ist, wurden insgesamt 480 Einzelmessungen vorgenommen und analysiert. Es zeigte sich, dass die Messwerte zwischen 92 mm und 87 mm schwankten.

Bei einer Distanz von 90 mm wurde Folgendes gemessen:

- 87 mm - 20 Messwerte
- 88 mm - 125 Messwerte
- 89 mm - 147 Messwerte
- 90 mm - 124 Messwerte
- 91 mm - 60 Messwerte
- 92 mm - 4 Messwerte

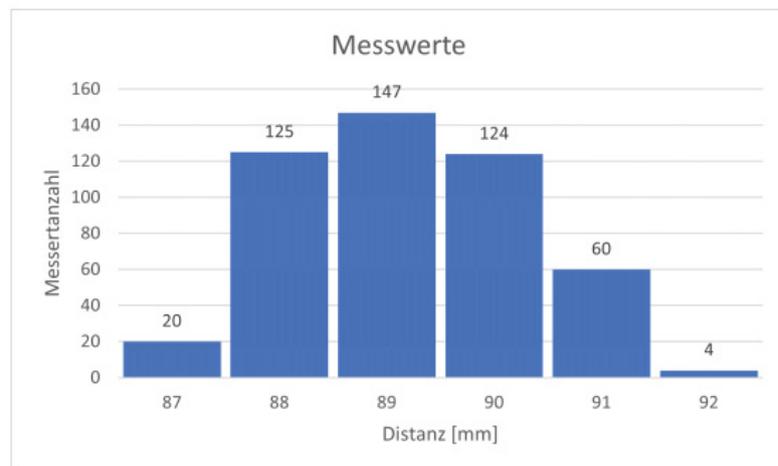


Abbildung 33: Auswertung der Testmessung

Die Messwerte wurden mittels eines Filters bereinigt. Zuerst sollte der Mittelwert als Messwert herangezogen werden. Dies war nicht ausreichend, denn hat man in einem Datensatz viele oder sehr hohe Ausreißer, so verändert sich der arithmetisch Mittelwert stark [26]. Daher wurde entschieden, einen Medianfilter zu implementieren.

Dafür muss der Datensatz der Größe nach sortiert sein. Bei Listen mit gerader Datenanzahl ist der Median der arithmetische Mittelwert der beiden in der Mitte liegenden Werte [26].

Wendet man den Filter auf die 480 Distanzwerte an, so erhält man als Median 89 mm. Der Mittelwert ist 89,1895 mm. In diesem Fall wären beide Methoden gut geeignet um die

Messfehler zu eliminieren. Es ist allerdings möglich, dass ein extremer Messfehler auftritt, da sehr lange und ungeschirmte Messleitungen verwendet werden und der eingesetzte Sensor nicht dem Industriestandard entspricht.

Für die Anwendung in dieser Arbeit wurde der Medianfilter von Schmidt und Dirksoet [27] herangezogen und im Code implementiert.

8.3 Funktion des Detektionsprogramms

Zur Ermittlung der gemessenen Distanzen an der Kanone wurde der Sensor am Prüfstand angebracht und über einen zweiten, nicht mit dem Prüfstand verbundenen Arduino gesteuert. Für den Messvorgang wurde ein Programm geschrieben, das 100 Messungen vornimmt und mittels Medianfilter bereinigt.

Die Distanz zwischen dem Lasersensor und dem Kanonenrohr liegt bei 103 mm. Je nachdem, ob der Mitnehmer sauber oder verschmutzt ist, liegt die gemessene Distanz bei 155 mm (sauber) bzw. 119 mm (verschmutzt).

Theoretisch ist die Distanz zwischen Sensor und Kanonenrohr größer als die Distanz zwischen Sensor und Mitnehmer.

Die Abweichung zwischen realen Distanzen und gemessenen Distanzen liegt grundsätzlich am Funktionsprinzip von Lasersensoren, siehe 3.4, und dabei beim Reflexionsvermögen/-verhalten der eingesetzten Materialien. Doch solange das System einen eindeutigen Unterschied zwischen den Distanzen von Sensor zu Mitnehmer und Sensor zu Kanonenrohr ermitteln kann, ist diese Abweichung nicht relevant.

Da sich der Messwert Sensor-Mitnehmer (155 mm bzw. 119 mm) bei zunehmender Verschmutzung immer mehr dem Wert Sensor-Kanonenrohr (103 mm) annähert, wurde ein Grenzwert definiert, der nicht unterschritten werden darf.

Der methodische Vorgang dafür war folgender:

Von dem Programm werden 50 Messungen durchgeführt und aus diesen Distanzen wird der Median $[d]$ gebildet. Anschließend wird die Differenz $[dif]$ zwischen d und dem Sollwert $[s]$ gebildet. Der Sollwert ist in diesem Fall die Distanz Sensor-Kanonenrohr (siehe Kap. 8.4 für genauere Definition).

Der definierte Grenzwert $[c]$ und die Differenz $[dif]$ werden verglichen. Tritt der Fall ein, dass $dif < c$ ist, soll das System den Versuchsablauf stoppen und einen Error ausgeben. Hier ein Beispiel:

- 4 mm - Der vordefinierte Grenzwert [c]
- 103 mm - Der vordefinierte Sollwert [s]

Es wird eine Messung vorgenommen und der Median d sei 119 mm. Daraus folgt eine Differenz von $dif = 16$ mm. Der Grenzwert von 4 mm wird nicht unterschritten und er Versuch fährt fort.

Eine weitere Messung wird vorgenommen und dieses Mal sei der Median 105 mm. Die Differenz ist damit $dif = 1$ mm. Der Versuch wird gestoppt. Nun ist zu prüfen, ob der Mitnehmer in einem Fehlzustand ist. Ist das nicht der Fall, so muss der Mitnehmer gereinigt werden.

Dieses System konnte bei den Tests den Mitnehmer problemlos überwachen. Da während der Versuche der Mitnehmer nie brach oder stecken blieb, wurde der Fehlerzustand beabsichtigt herbeigeführt (siehe Abb. 32, Blockade durch weißes Klebeband erzeugt), diesen Zustand konnte dann das Messsystem erkennen. Weiters wurden nie fehlerfreie Versuche durch das System unterbrochen. Im Fall, dass das Programm den Versuch fälschlicherweise stoppen würde, kann der "Error" durch einen Knopfdruck ignoriert und der Versuch fortgesetzt werden.

8.4 Kalibration des Detektionsprogramms

Kurz nach der Fertigstellung des Detektionssystems kam es zu einem Umbau am Prüfstand. Es wurde das Material des Mitnehmers geändert. Dies führte zu einem anderen Reflexionsverhalten und zu häufigen Fehlermeldungen. Es wurde ein Kalibrationsprogramm für den Sensor geschrieben.

Damit ist es jeder Zeit möglich, mit dem Lasersensor die Distanzen: Sensor - Kanonenrohr und Sensor - Mitnehmer neu zu messen, und auch innerhalb von wenigen Minuten möglich, zu kontrollieren, ob oder wie stark sich die Messwerte verändert haben. Diese Kontrolle ist aus folgenden Gründen wichtig:

- Das Material des Mitnehmers wurde geändert und dem Hauptprogramm müssen neue Werte eingepflegt werden.
- Der Mitnehmer ist stark verschmutzt/zerkratzt, er soll allerdings noch nicht gewechselt werden es ist so möglich, die Werte anzupassen.

- Es kommt im Betrieb mehrmals zu Fehlermeldungen und am Display des Prüfstands wird eine unerklärliche Differenz angezeigt. So kann schnell festgestellt werden, ob der Sensor beschädigt ist.

Das Detektionsprogramm funktioniert wie folgt:

Der Sensor nimmt 100 hintereinander ablaufende Messungen [xn] vor. Die erste Messung gibt den Wert x1 aus, der als Maximum [max] und Minimum [min] abgespeichert wird.

Im zweiten Durchlauf wird die Distanz x2 mit max und min verglichen. Ist x2 größer als max wird es als neues Maximum gespeichert. Wenn x2 kleiner min ist, wird x2 als neues Minimum gespeichert. Damit ist der zweite Messdurchlauf beendet.

Dieser Vorgang wird insgesamt 100-mal wiederholt. So erhält man das Maximum, Minimum und Mittelwert von insgesamt 100 Einzelmessungen.

Sollte das Maximum vom Sollwert, siehe Kap. 8, abweichen, so muss das Maximum als neuer Sollwert im Hauptprogramm eingetragen werden. Abb.: 34 zeigt einen Durchlauf des Kalibrationsprogramms.

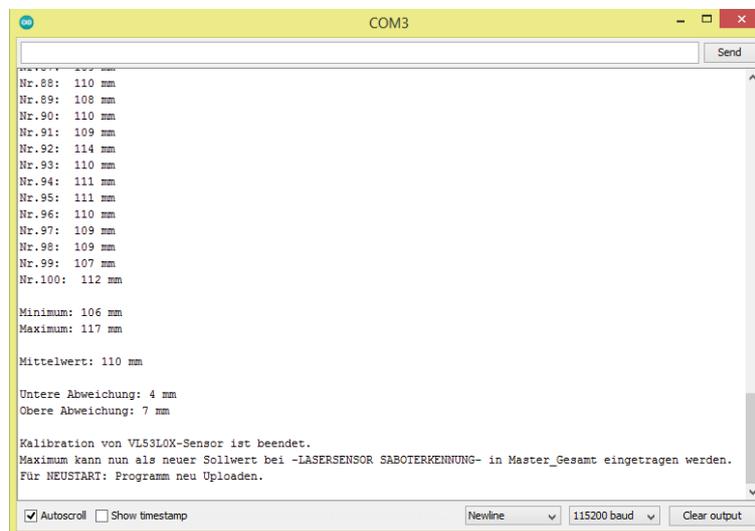


Abbildung 34: Abgeschlossener Kalibrationsablauf im "Serial Monitor" des Arduinos

Eine Alternative wäre es, statt des Maximalwerts den Median zu berechnen und diesen als Sollwert einzusetzen. Allerdings würde das möglicherweise zu ungenaueren Messergebnissen führen. Bei einer Messung auf das Kanonenrohr wurde als Minimum 106 mm und als Maximum 117 mm ermittelt. Der Median ist 111 mm.

Bei einer Sensordistanz von 119 mm wäre die Differenz:

- Sensormessung - Maximum = 2 mm
- Sensormessung - Median = 8 mm

Der Grenzwert sei 4 mm. Bei einer Differenz von 2 mm würde der Versuchsablauf gestoppt werden. Hingegen käme es bei den 8 mm Differenz zu keinem Stoppen. Da das Detektionssystem den Prüfstand vor Beschädigungen schützen soll, wird das Maximum als Sollwert herangezogen.

9 Ergebnisse

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Ergebnisse die Prüfung erbrachte.

Um die fehlerfreie Beladung des Gesamtsystems zu testen, wurde eine Versuchsreihe durchgeführt. Dabei wurden Partikel der Größe 25 - 40 mm verwendet. Die Versuchsreihe bestand aus insgesamt 100 Sinterproben. Es wurden jeweils 25 Versuche mit Partikelgeschwindigkeiten von 3.8 m/s, 5 m/s, 7 m/s und 10 m/s durchgeführt. Für jeden Geschwindigkeitswechsel musste das Hauptprogramm angepasst und erneut auf den Arduino hochgeladen werden. Weiters kam kein neuwertiger Mitnehmer zur Anwendung.

Vor Versuchsbeginn wurde der Mitnehmer gereinigt und der Lasersensor kalibriert. Von den 100 Einzelversuchen waren 94 problemlos und somit erfolgreich. Bei 6 Einzelversuchen traten Probleme auf, die in der unten stehenden Tabelle und den folgenden Unterpunkten 9.1 - 9.3 detailliert beschrieben werden:

Fehler	Häufigkeit	Behebung
Fehlstellung des Mitnehmers erkannt	1	Schmierung des Mitnehmers
Grenzwert von 4 mm unterschritten	1	Reinigung des Mitnehmers
Fehlmessung	4	Neustart des Systems

Tabelle 1: Aufgetretene Fehler, deren Häufigkeit und deren Behebung

9.1 Fehlstellung des Mitnehmers

Der Versuch wurde gestoppt, da sich der Mitnehmer nach einem der Schussversuche nicht in der Ladeposition befand. Es war notwendig, den Mitnehmer manuell in seine Ausgangsposition zurückzubewegen. Dafür wurde die Strom- und Druckluftzufuhr abgestellt. Im Anschluss konnte das Druckluftventil am Ende des Kanonenrohrs demontiert und der Mitnehmer aus dem Lauf entfernt werden. Sowohl der Lauf als auch der Mitnehmer wurden gereinigt und geschmiert. Danach wurde der Prüfstand wieder zusammengebaut und in Betrieb genommen.

9.2 Unterschreitung des Grenzwerts

Einer der Versuche wurde gestoppt, da der Grenzwert von 4 mm unterschritten wurde. Der Mitnehmer befand sich fehlerfrei in der Ladeposition. Die Schlussfolgerung war, dass die starke Verschmutzung des Mitnehmers zum Stoppen des Versuchs führte. Es wurde die Innenseite des Mitnehmers von Verschmutzungen befreit und entfettet. Anschließend konnte mit den Versuchen fortgefahren werden.

9.3 Fehlmessungen

Bei insgesamt 4 Versuchen kam es zu einer Fehlmessung. Das Programm stoppte den Versuch, obwohl der Mitnehmer in keinem Fehlzustand war. Am Display wurde als Differenz -6337 mm ausgegeben.

Da die Differenz berechnet wird, indem vom Messwert der Sollwert (in diesem Fall 103 mm) abgezogen wird, muss der Sensor einen Wert von -6234 mm ausgegeben haben. Das ließ eine Fehlmessung des Sensors vermuten. Der "Error" wurde überschrieben und ein weiterer Versuch durchgeführt. Es trat derselbe Fehler auf. Es wurde eine Differenz von -10606 mm gemessen.

Um ausschließen zu können, dass der Fehler durch eine verschmutzte Linse am Sensor hervorgerufen wurde, wurden sowohl die Sensorlinse als auch der Mitnehmer gereinigt. Es kam weiter zu Fehlmessungen. Um festzustellen, ob der Sensor beschädigt war, wurde das Kalibrationsprogramm auf den Arduino geladen und ausgeführt. Sowohl im Regel- als auch im Fehlzustand des Mitnehmers waren die Werte im nominellen Bereich, was auf die Fehlerfreiheit des Sensors hinwies.

Was auffällig wurde, war, dass dieser Fehler nach dem Ändern der Geschwindigkeit auftrat und nach erneutem Hochladen des Hauptprogramms wieder verschwand.

Es wurden sowohl der Prüfstand als auch der Laptop, welcher zum hochladen des Codes verwendet wurde, neu gestartet und im Anschluss das Programm neu hochgeladen. Nach dem kompletten Neustart des Systems trat dieser Fehler nicht mehr auf.

9.4 Vereinzlung und Beladung

Das Vereinzlungssystem funktionierte problemlos. Die Testpartikel wurden dem Schwingförderer als Schüttgut zugeführt und innerhalb weniger Minuten vereinzelt, ausgerichtet und ans Ende der Wendel gefördert. Auch beim Abschalten des Schwingförderers traten keinerlei Probleme auf. Die Lichtschranke detektierte die Partikel bei 100% der Versuche. Es kam zu keinen Doppelbeladungen oder zum Abschalten des Förderers, bevor ein Partikel aus der Förderwendel fiel.

Die Seitenschürzen sorgten dafür, dass keines der Partikel am Weg zur Ladeöffnung aus der Ladevorrichtung viel.

Die Funktion der Sperrvorrichtung war ebenfalls fehlerfrei. Das Sperrblech verhinderte bei allen Versuchen das Herausrollen der Partikel aus dem Mitnehmer. Das Prallblech sorgte dafür, dass keines der Sinterpartikel über die Ladeöffnung springen konnte.

10 Diskussion

In diesem Kapitel werden die angeführten Einzelproblemkreise zur Diskussion gestellt:

1. Die Vereinzelung
2. Die Beladung
3. Die Detektion der Mitnehmerposition

Beim Funktionstest des Prüfstands traten weder bei der Vereinzelung noch bei der Beladung Fehler auf. Basierend auf der Auswertung nach Tab. 1 kommt es bei der Detektion der Mitnehmerposition in 6% der Versuche zum Anhalten des Testbetriebs. Im Folgenden wird darauf eingegangen, wie die Gesamtfehleranfälligkeit der automatischen Beschickung zu diskutieren ist.

10.1 Fehlmessungen

4% der Gesamtfehleranfälligkeit ist auf die vier Fehlmessungen des Lasersensors zurückzuführen. Diese sind von besonderem Interesse, da dieser Fehler zuvor nie aufgetreten ist. Zwei mögliche Fehlerquellen werden dabei vermutet:

- In der Messleitung vom Sensor zum Arduino wurde eine Fehlspannung induziert, was zu einer fehlerhaften Signalverarbeitung führte.
- Es kam beim Hochladen des Hauptprogramms zu einem Fehler, was zu Problemen bei der Datenverarbeitung führte.

Zweites wird als wahrscheinlicher angesehen, da die Induktion einer Fehlspannung in einer der Messleitungen schon bei der Systemerprobung aufgetreten wäre. Dass dieses Fehlmessproblem ausschließlich nach dem erneuten Hochladen des Hauptprogramms auftrat, spricht sehr stark für einen Fehler beim Hochladen des Codes. In dem Fall, dass solch eine Fehlmessung auftritt, sollte sowohl der Arbeitscomputer als auch der Prüfstand neu gestartet werden.

10.2 Fehlstellung des Mitnehmers und Unterschreitung des Grenzwerts

Das Anhalten eines Versuchs aufgrund der Fehlstellung des Mitnehmers trägt mit 1% zur Gesamtfehleranfälligkeit bei. Da das Detektionssystem in solch einem Fall den Versuchsablauf stoppen muss, ist dies als Erfolg zu betrachten. Es zeigt, dass der entwickelte Notstopp den Prüfstand vor Beschädigungen durch Folgeversuche schützt.

Die 1% Fehleranfälligkeit, welche durch das Unterschreiten des Grenzwerts von 4 mm auftrat, ist in einem akzeptablen Bereich. Wie in Kap. 8 beschrieben ist, war mit dem Auftreten solch eines Fehlers zu rechnen.

Es gilt allerdings zu bedenken, dass sich der Zustand des Mitnehmers mit fortschreitender Versuchsanzahl verschlechtert und somit die Anzahl der Verklemmungen und der Grenzwertunterschreitungen zunehmen wird. Falls der Versuchsablauf regelmäßig durch diese Probleme behindert wird, muss die Kanone grundlegend gereinigt und der Mitnehmer gewechselt werden. Anschließend ist es notwendig, mit dem Kalibrationsprogramm die Distanzwerte zu kontrollieren und gegebenenfalls anzupassen.

Eine Fehlerfreiheit bei 94% der Versuche ist zufriedenstellend. Der Prüfstand kann ohne externem Eingreifen als den Schüttgut zugeführten Sinter vereinzeln, fördern, automatisch in die Druckluftkanone laden, Einzelpartikelbruchversuche durchführen und beim Auftreten von Problemen den Versuchsprozess stoppen. Somit ist die automatische Beschickung des Sinterprüfstands als Erfolg zu betrachten.

11 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird beschrieben, wie die Beschickung eines Prüfstands [3] zur Durchführung von Einzelpartikelprallversuchen automatisiert wird. Der Prüfstand dient der Analyse des Bruchverhaltens von Hochofensinter womit zukünftig die Entstehung von Rückgut während des Transports und der Lagerung minimieren soll [2] [28] [29]. Es sollen Partikel in der Größe von 6,3-50 mm getestet werden.

Die Randbedingungen sind (Siehe Kap.: 2):

- Der Maschine wird Sinter als Schüttgut zugeführt.
- Die Partikel sollen vereinzelt und gefördert werden.
- Die Beladung der Kanone soll automatisch erfolgen.

In einer Literaturrecherche werden mögliche Förder-, Vereinzlungs- und Beladungssysteme sowie die notwendige Messtechnik erhoben. Auf dieser Basis werden die verwendeten Systemkomponenten ausgewählt.

Für die Vereinzlung und Förderung der Sinterpartikel wurde ein Schwingtopf eingesetzt, welcher mittels des zentralen Arduinos gesteuert wird.

Von der Abwurfkante des Schwingtopfs fallen die Partikel auf die Wiegestation. Damit sichergestellt wird, dass pro Versuch nur ein einzelner Sinterpartikel getestet wird, wurde unter dem Schwingtopf eine Lichtschranke installiert. Fällt ein Partikel durch die aktive Zone der Lichtschranke, stoppt der Schwingtopf.

Nach dem Wiegen wird der Sinterpartikel in die Kanone geladen. Damit die Partikel bei diesem Vorgang im Mitnehmer landen und nicht in das Kanonenrohr rollen, wurde ein Sperrblech am Ausschieber angebracht. Dieses klappt bei der Beladung in die Ladeöffnung hinein und verhindert, dass die Partikel den Mitnehmer verlassen. Das Sperrsystem wurde zusätzlich mit einem Prallblech und Seitenschürzen versehen. Damit wird sichergestellt, dass die Sinterpartikel beim Beladen nicht von der Laderutsche fallen.

Da bei den Prallversuchen der Mitnehmer mehrmals brach oder stecken blieb, war der Einbau eines Detektionssystems unabdingbar. Dafür wurde an der Ladeöffnung ein "Time of Flight" Lasersensor angebracht. Dieser misst vor der Beladung die Distanz zum Mitnehmerhintergrund. Insgesamt werden 50 Messungen vorgenommen und mittels Medianfilter

bereinigt. So werden einzelne Fehlmessungen eliminiert. Mit dem Median und einem vordefinierten Sollwert wird eine Differenz berechnet. Fällt diese Differenz unter einen Grenzwert, wird der Versuch gestoppt.

Um den Sensor kalibrieren zu können, wurde ein Kalibrationsprogramm entworfen. Dieses nimmt 100 Messungen vor und listet die Distanzwerte skaliert auf. Aus diesem Datensatz werden Minimum, Maximum und Mittelwert ermittelt. So ist es schnell und einfach möglich, einen neuen Sollwert zu definieren. Weiters kann mit diesem Programm kontrolliert werden, ob Minimum und Maximum stark von ihren Standardwerten abweichen, es also zu Messfehlern kommt.

Für die finale Erprobung der automatischen Beschickung wurde eine Versuchsreihe mit 100 Einzelproben durchgeführt. Dabei wurde eine Störanfälligkeit des Systems von 6% festgestellt. So wurde bewiesen, dass das System erfolgreich die Vereinzelung, Förderung und Ausrichtung von Schüttgut, die automatische Beladung der Druckluftkanone und das automatische Stoppen des Versuchs beim Auftreten von Problemen handhaben kann.

Vor allem bei Testreihen mit einer hohen Einzelprobenanzahl ist dies von Vorteil. Sowohl manuelle als auch automatische Versuche dauern etwa eine Minute. Allerdings sinken bei der manuellen Durchführung von Einzelpartikelprallversuchen mit steigender Versuchszahl die Aufmerksamkeit und die Konzentration. Somit erhöhen sich die Versuchsdauer, die Unfallgefahr und die Fehlerhäufigkeit. Durch die Verwendung einer automatischen Beladung werden diese Probleme beseitigt und die Reproduzierbarkeit und Qualitätskonstanz werden erhöht.

12 Ausblick

In diesem Kapitel wird auf weitere mögliche Optimierungen der automatischen Beladung eingegangen.

In den folgenden Punkten wird Potenzial zur Verbesserung der automatischen Beladung gesehen:

- Bruch des Mitnehmers
- Rückholen des Mitnehmers
- Fehlmessung des Lasersensors
- Skalierung des Ladesystems

12.1 Bruch des Mitnehmers

Im Moment ermittelt der Lasersensor, ob sich der Mitnehmer in einer Fehlposition befindet. Als Fehlposition gelten ein im Lauf feststeckender oder gebrochener Mitnehmer.

Durch seine Form besitzt der Mitnehmer vier Kerben, siehe Abb. 35. Kam es bei der Versuchsdurchführung zum Bruch, geschah dies meist an einer dieser Kerben.

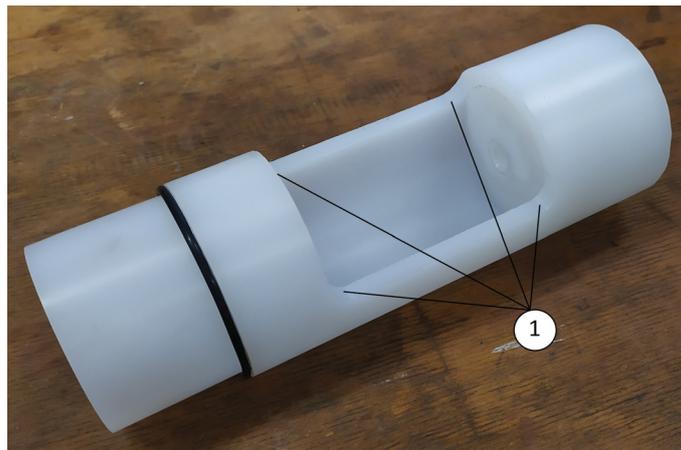


Abbildung 35: Unverwendeter Mitnehmer: (1) Kerben

Da der Sensor mittig in den Mitnehmer misst, sollte ein Bruch an der hinteren Kerbe vom System problemlos erkannt werden. Ein Bruch an der vorderen Kerbe würde unter folgenden Bedingungen nicht erkannt werden:

- Beim Zurückholen in die Ausgangsposition dürfte sich das beschädigte Bauteil nicht in der Kanone verklemmen.
- Der gebrochene Mitnehmer müsste weiterhin perfekt konzentrisch im Lauf liegen.

Der Eintritt einer oder beider Bedingungen ist sehr unwahrscheinlich. Bei Versuchen, bei denen der Mitnehmer an der vorderen Kerbe brach, blieb dieser in der Kanone stecken. Es ist also nicht sehr wahrscheinlich, dass dieses Problem nicht erkannt wird. Sollte dies allerdings der Fall sein, muss der Lasersensor so positioniert werden, dass er vor der vorderen Kerbe misst. Dies könnte durch den beengten Raum problematisch sein.

12.2 Rückholen des Mitnehmers

Mit fortschreitender Prüfdauer verschleißt der Mitnehmer zunehmend. Das führt dazu, dass sich der Mitnehmer immer schwerfälliger in den Ausgangszustand zurückholen lässt. Da der Lasersensor mittig an der Ladeöffnung angebracht ist, könnte bei einem nur teilweise zurückgezogenen Mitnehmer der Fehlzustand nicht erkannt werden, siehe Abb. 36.

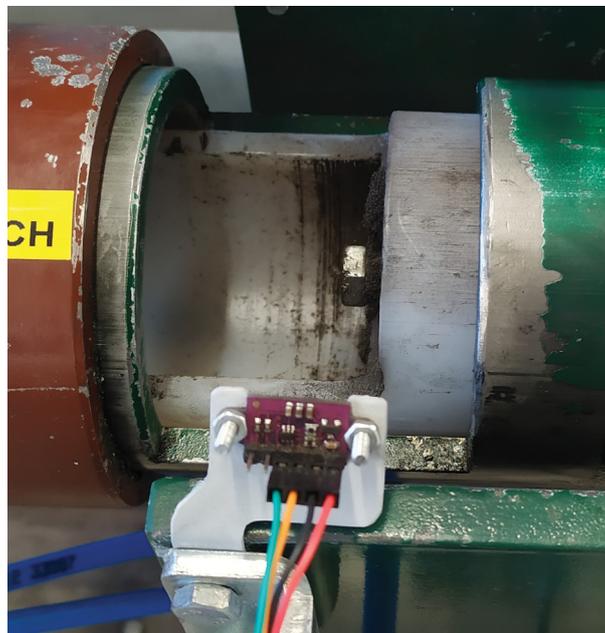


Abbildung 36: Nicht vollständig zurückgezogener Mitnehmer

In diesem Fall würde der Prüfstand weitere Versuche durchführen. Momentan wird dieser Fehler vermieden, indem der Bediener des Prüfstands in regelmäßigen Abständen (besonders bei einem schwergängigen Mitnehmer) die Kanone und Mitnehmer reinigt und

schmieren muss. Eine Präzisierung des Detektionssystems könnte mit einem zweiten Sensor am hinteren Ende der Ladeöffnung erreicht werden. Dies würde allerdings zu einer erhöhten Komplexität und Fehleranfälligkeit des Beschickungssystems führen.

12.3 Fehlmessung des Lasersensors

Während der abschließenden Testung der automatischen Beladung kam es viermal zu einer Fehlmessung. Da dieser Fehler ausschließlich während dieser Versuchsreihe auftrat und nach einem Neustart des Systems verschwand, wird ein Fehler beim Updaten des Programms vermutet.

Es ist allerdings auch denkbar, dass es sich um eine induzierte Spannung in der Messleitung handelt. Sollte dieser Fehler zukünftig öfters auftreten, so könnte es notwendig sein, die Kabel zwischen dem Arduino und dem Lasersensor durch geschirmte Kabel zu ersetzen.

12.4 Skalierung des Ladesystems

Wie in Kap. 2 beschrieben, hätte es möglich sein sollen, Partikel bis 50 mm zu testen. Wie sich herausstellte, war die Partikelklasse 40-50 mm aufgrund ihrer geometrisch undefinierten Form teilweise zu groß für den Lauf der Kanone. Daher wurde diese Klasse nicht weiter berücksichtigt.

Falls diese Partikel in Zukunft getestet werden sollen, muss am Prüfstand ein größerer Lauf angebracht werden. Bei der automatischen Beladung sollte es nur notwendig sein, die Sperrvorrichtung in ihrer Größe anzupassen. Die restlichen Systeme sollten ebenfalls für größere Partikel einsetzbar sein.

Literatur

- [1] BAT - reference document IED 2010/75/EU, 2012.
- [2] M. Denzel und M. Prenner. „Minimierung des Sinterzerfalls mittels DEM“. In: *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* 166.2 (2021), S. 76–81. ISSN: 1613-7531. DOI: 10.1007/s00501-021-01081-7.
- [3] M. Denzel, M. Prenner und N. Sifferlinger. „Development of an automated single particle impact tester for iron ore sinter“. In: *Minerals Engineering* 175 (2022), S. 107291. ISSN: 08926875. DOI: 10.1016/j.mineng.2021.107291.
- [4] K. Hegemann und R. Guder. *Roheisenerzeugung. Hüttenwerks- und Gasreinigungsanlagen*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019. 350 S. ISBN: 978-3-658-25405-6.
- [5] M. Scheffler. *Grundlagen der Fördertechnik - Elemente und Triebwerke*. Fördertechnik und Baumaschinen. Wiesbaden und s.l.: Vieweg+Teubner Verlag, 1994. 340 S. ISBN: 978-3-322-96882-1. DOI: 10.1007/978-3-322-96881-4.
- [6] R. Griemert und P. Römisch. *Fördertechnik. Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen*. 13., vollständig überarbeitete Auflage. Lehrbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020. 378 S. ISBN: 978-3-658-31127-8.
- [7] T. Risch. *Zweidimensionale Bewegungsformen in der Vibrationsfördertechnik*. Dissertation. Technische Universität Chemnitz, 2011.
- [8] N. Dallinger. *Die Diskrete Elemente Methode als Simulationsmethode in der Vibrationsfördertechnik*. Dissertation. Technische Universität Chemnitz, 2017.
- [9] MAFU Automation. *MAFU Drum Basisgerät mit abnehmbarer Trommel*. URL: <https://www.mafu.de/index.php/de/trommeltechnologie.html> (besucht am 15.06.2021).
- [10] Yaskawa Europe GmbH. *Pick & Place*. URL: https://www.yaskawa.at/anwendungsberichte/anwendungen/application/pick-place_a10963 (besucht am 15.06.2021).
- [11] KUKA AG. *6-Achs-Roboter ready2_grip*. URL: <https://www.directindustry.de/prod/kuka-ag/product-17587-1873643.html> (besucht am 15.06.2021).
- [12] AViTEQ Vibrationstechnik GmbH. *Betriebsanleitung für AViTEQ Teilefördererantriebe der Baureihe: TF.. und TFH..* URL: <https://www.aviteq.com/download/> (besucht am 10.02.2022).
- [13] AViTEQ Vibrationstechnik GmbH. *Geräte zum Ordnen und Zuführen von Teilen*. URL: <https://www.aviteq.com/produkte/foerdertechnik/teilefoerderer/?type=ftp%3A%2F%2Fsecuredcode...> (besucht am 15.06.2021).

- [14] E. Hering, R. Martin und R. Bergmann, Hrsg. *Photonik. Grundlagen, Technologie und Anwendung ; mit 50 Tabellen*. 1. Aufl. Berlin: Springer, 2006. 523 S. ISBN: 3-540-23438-1.
- [15] H. Tränkler, Hrsg. *Sensortechnik. Handbuch für Praxis und Wissenschaft*. 2., völlig neu bearb. Aufl. Technik. Tränkler, Hans-Rolf (Hrsg.) Berlin: Springer Vieweg, 2014. 1596 S. ISBN: 978-3-642-29941-4.
- [16] H. Winner u. a., Hrsg. *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. 3., überarbeitete und ergänzte Auflage. ATZ / MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015. 1216 S. ISBN: 978-3-658-05733-6.
- [17] Baumer GmbH. *Funktionsweise und Technologie von optischen Distanzsensoren*. URL: https://www.baumer.com/de/de/service-support/funktionsweise/funktionsweise-und-technologie-von-optischen-distanzsensoren/a/Know-how_Function_optical-distance-sensors (besucht am 19.06.2021).
- [18] Movimed. *What is Laser Triangulation*. URL: <https://www.movimed.com/knowledgebase/what-is-laser-triangulation/> (besucht am 19.06.2021).
- [19] R. P. Hunnicutt. *Abrams. A History Of The American Main Battle Tank. Volume 2*. Novato: Presidio Press, 1991. 320 s. ISBN: 0-89141-388-X.
- [20] A. Sharoni und L. Bacon. „Ammunition Loading Systems for Future Tanks“. In: *ARMOR* March-April; 2 (1995), S. 18–22. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Ammunition-Loading-Systems-for-Future-Tanks-Sharoni-Bacon/fed10044b5e65e0097fb8c71254bf564519b0c66> (besucht am 15.06.2021).
- [21] R. P. Hunnicutt. *FIREPOWER. A history of the american heavy tank*. ECHO POINT Books & MEDIA, 2017. ISBN: 1635615038.
- [22] Meggitt Defense Systems. *Compact autoloader*. URL: <https://meggittdefense.com/product/compact-autoloader/> (besucht am 15.06.2021).
- [23] guillaume-rico. *Arduino Infra Red Sharp Lib*. URL: <https://github.com/guillaume-rico/SharpIR> (besucht am 23.06.2021).
- [24] Benne de Bakker. *How to use a SHARP GP2Y0A21YK0F IR Distance Sensor with Arduino*. URL: <https://www.makerguides.com/sharp-gp2y0a21yk0f-ir-distance-sensor-arduino-tutorial/> (besucht am 23.06.2021).
- [25] W. Andrews. *Arduino playground. Geeky projects for the experienced maker*. San Francisco: No Starch Press, 2017. 348 S. ISBN: 1-59327-744-X. URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=4845684>.

- [26] L. Fahrmeir u. a. *Statistik. Der Weg zur Datenanalyse*. 8. Aufl. 2016. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016. 581 S. ISBN: 9783662503720. URL: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1576240>.
- [27] P. Schmidt und Dirksoet. *MedianFilter*. URL: <https://github.com/daPhoosa/MedianFilter/blob/master/examples/MedTest/MedTest.ino> (besucht am 06.12.2021).
- [28] M. Denzel und M. Prenner. *25. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2021 : "Computer-simulation, Organisation, Virtualisierung, Innovation, Digitalisierung" : am 22. und 23. September 2021 in Magdeburg : herausgegeben als Begleitband zur gleichnamigen Fachtagung*. 2021. DOI: 10.25673/36794.
- [29] Michael Denzel und Michael Prenner. „Partikelbruchvorhersage an einem dynamischen Übergabesystem und Vergleich mit einer herkömmlichen Schurre mittels DEM“. In: *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* 167.2 (2022), S. 66–75. ISSN: 1613-7531. DOI: 10.1007/s00501-022-01197-4.
- [30] AViTEQ Vibrationstechnik GmbH. *Betriebsanleitung für Steuerung VIBTRONIC® SRA(E)...*-1. URL: <https://www.aviteq.com/download/> (besucht am 10.02.2022).
- [31] Sharp Corporation. *GP2Y0A41SK0F. Distance Measuring Sensor Unit Measuring distance : 4 to 30 cm Analog output type*. URL: <https://global.sharp/products/device/lineup/selection/opto/haca/diagram.html> (besucht am 10.02.2022).
- [32] AZ-Delivery Vertriebs GmbH. *VL53L0X Time of Flight Sensor Datenblatt*. URL: <https://www.az-delivery.de/products/vl53l0x-time-of-flight-tof-laser-abstandssensor> (besucht am 10.02.2022).

Abbildungsverzeichnis

1	Prozessablauf einer Sinteranlage [4]	3
2	Sinterpartikel mit Bruchfragmenten [2]	4
3	Einteilung der Unstetigförderer [5]	5
4	Förderprinzip der Schüttelrutsche [6]	8
5	Förderprinzip der Schwingrinnen [6]	9
6	Trommelförderer der Firma MAFU Automation [9]	10
7	6-Achs-Roboter der Firma KUKA [11]	11
8	Schematische Darstellung eines Wendelförderers ergänzt nach [8]	12
9	Aufbau des AViTEQ - Teilefördererantriebs: (1) Grundplatte, (2) Tragrings, (3) Mantel, (4) Blattfedern, (5) Elektromagnet, (6) Gummipuffer, (7) Topf [12] .	13
10	Beispiele für Schikaneneinbau [13]	14
11	Aktive Zone einer Einweglichtschranke [14]	15
12	Funktionsprinzip Autokollimationslichtschranke und Doppellinsenlichtschranke [14]	16
13	Triangulation eines Lasersensors [18]	18
14	Strahlformen von Lasersensoren der Firma Baumer [17]	19
15	a) Entnahme der Patrone, b) Ausrichten der Kammer und Patrone, c) Rammvorgang, d) Ende des Rammvorgang - Patrone bewegt sich weiter in die Kammer [21]	20
16	a) Zusammengesetztes TTB System, b) Die Transfereinheit in Ladestellung, c) Transfereinheit [20]	20
17	Schematische Darstellung der Forschungsstrategie	22
18	Prüfstand für Einzelpartikelbruchversuche [2] [3]	23
19	Schwingtopf TFH 400 der Firma Aviteq	25
20	Test der notwendigen Bauteile, zur Steuerung des Schwingtopfes: a) Versuchsaufbau, b) Schaltplan des Versuchsaufbaus	26
21	Vereinzelungsvorgang des Schwingtopfes: a) Schüttgutprobe, b) Vereinzelte Schüttgutprobe [3]	27
22	Weg des Sinterpartikels vom Schwingtopf zur Kanone: (1) Schwingtopf, (2) Förderrutsche, (3) Wiegestation, (4) Laderutsche	28
23	Skizze des Versuchsaufbaus mit einem Infrarotsensor	29
24	Testsaufbau des Infrarotsensors: a) Versuchsaufbau, b) Schaltplan des Versuchsaufbaus	30
25	Sinterrutsche mit Infrarotsensor	31
26	Schematische Darstellung der Einweg-Lichtschranke: (1) Infrarot LED, (2) Fototransistoren	33



27	Am Prüfstand verbaute Lichtschranke: (1) Infrarot LED, (2) Fototransistoren	33
28	a) Zwischen Schwingtopf und Förderrutsche eingezwicktes Sinterpartikel, b) verlängerte Dämpfungsmatte	34
29	Blick in die offene Kanone: (1) Verschluss, (2) Laderutsche, (3) Lauf, (4) Mitnehmer	35
30	Aufbau des Sperrsystemprototypen: (1) Ausschieber, (2) Aufhängung, (3) Leitblech, (4) Prallblech, (5) Sperrblech	36
31	Sperrsystem eingefahren und ausgefahren: (1) Leitvorrichtung, (2) Seitenschürze	37
32	a) Mitnehmer im Normalzustand, b) Mitnehmer im Fehlerzustand	38
33	Auswertung der Testmessung	39
34	Abgeschlossener Kalibrationsablauf im "Serial Monitor" des Arduinos . . .	42
35	Unverwendeter Mitnehmer: (1) Kerben	51
36	Nicht vollständig zurückgezogener Mitnehmer	52
37	Technische Daten des AViTEQ Teilefördererantriebs [12]	60
38	Technische Daten der AViTEQ Schwingtopfsteuerung [30]	61
39	Minimalklemmenbelegung [30]	61
40	Externe Ein-/Ausschaltung [30]	62
41	Datenblatt des Sharp Corporation Infrarotsensors GP2Y0A41SK0F [31] . . .	63
42	Datenblatt des Infrarotsensors GP2Y0A41SK0F [31]	64
43	Datenblatt des Lasersensor VL53L0X [32]	65

Tabellenverzeichnis

1	Aufgetretene Fehler, deren Häufigkeit und deren Behebung	44
---	--	----

Anhang

In den nachfolgenden Tabellen sind die technischen Daten der Antriebe benannt:

Antrieb Netzfrequenz: 50 Hz	TFH 160...	TFH 160... S50	TFH 280...	TFH 280... S50	TFH 400...	TFH 400... S50	TF 600SF-2..	
Nutzgewicht (Soll) ^{1), 3)}	1,3 kg	1,3 kg	3,5 kg	6,5 kg	11,0 kg	24,3 kg	26,0 kg	
Nutzgewicht (max)	2,5 kg	3,5 kg	6,0 kg	9,5 kg	15,0 kg	25,0 kg	30,0 kg	
Topfbefestigungs- durchmesser	160 mm	160 mm	280 mm	280 mm	400 mm	400 mm	600 mm	
Zulässiger oberer Topfdurchmesser	160...260 mm	160...260 mm	280...430 mm	280...450 mm	400...630 mm	400...650 mm	600...950 mm	
Luftspalt	≈ 0,6...0,7 mm	≈ 0,8 mm	≈ 0,8 mm	≈ 1,0...1,2 mm	≈ 0,8...0,9 mm	≈ 1,0...1,2 mm	≈ 3,0...3,5 mm	
Eigenfrequenz (Soll)	≤ 98 Hz	≤ 48 Hz	≤ 98 Hz	≤ 48 Hz	≤ 98 Hz	≤ 48 Hz	≥ 55 Hz	
Nennstrom (max) bei...								4)
240 V Netzspannung	0,6 A	0,6 A	3,0 A	3,0 A	5,2 A	5,2 A	7,2 A	
230 V Netzspannung	0,6 A	0,6 A	3,0 A	3,0 A	5,2 A	5,2 A	7,2 A	
110 V Netzspannung	1,2 A	-	5,5 A	-	-	-	-	
Vibratorspannung bei...								
240 V Netzspannung	210 V	198 V						
230 V Netzspannung	210 V	198 V						
110 V Netzspannung	100 V	-	100 V	-	-	-	-	
Anschlagsspannung bei...								
240 V Netzspannung	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	
230 V Netzspannung	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	
110 V Netzspannung	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	. 2)	
Schwingbreite mit zu- gehöriger Steuerung...	≈ 0,7 ^{-0,1} mm	≈ 1,1 ^{-0,1} mm	≈ 0,8 ^{-0,1} mm	≈ 1,1 ^{-0,1} mm	≈ 1,0 ^{-0,1} mm	≈ 1,3 ^{-0,1} mm	≈ 1,6 ^{-0,1} mm	5)
	0,6 ^{-0,1} mm	0,9 ± 0,1 mm	0,7 ^{-0,1} mm	0,9 ± 0,1 mm	0,7 ^{-0,1} mm	0,9 ± 0,1 mm	1,0 ± 0,1 mm	6)
Schwingzahl	6.000 min ⁻¹	3.000 min ⁻¹	6.000 min ⁻¹	3.000 min ⁻¹	6.000 min ⁻¹	3.000 min ⁻¹	3.000 min ⁻¹	

Tabelle 3-2 Betriebsdaten, 50 Hz-Netz

¹⁾ Prüfnutzgewicht, Standardabstimmung mit Kegeltopf

²⁾ Kein Anschlagbetrieb

³⁾ Standardabstimmung

⁴⁾ Als Messgeräte sind aufgrund des nicht -sinusförmigen Strom- und Spannungsverlaufes nur Dreheisen- oder true RMS Messgeräte zulässig!

⁵⁾ Gemessen am Topfauslauf, Standard Kegeltopf

⁶⁾ Gemessen an einer Topfbefestigungsschraube am Umfang

Abbildung 37: Technische Daten des AViTEQ Teilefördererantriebs [12]

	SRA(E)-C50...-1	SRA(E)-C100...-1
Netzfrequenzen	50 oder 60 Hz	
Schwingzahl beim 50Hz-Netz	3.000 min ⁻¹ (50 Hz)	6.000 min ⁻¹ (100 Hz)
Schwingzahl beim 60Hz-Netz	3.600 min ⁻¹ (60 Hz)	7.200 min ⁻¹ (120 Hz)
Netzspannungen (Ausgangsspannungsbereich)	105...115 V (20...100 V) 220...240 V (40...210 V)	
Ausgangsstrom	0,05...6,0 A	
Maximale Verlustleistung	15 W	
Sanftanlauf	0,3 s oder 1,0 s (werksseitig einstellbar)	
Sollwert	Potenziometer 10 kOhm (linear), 0-10 V DC, 0-20 mA, 4-20 mA (wählbar)	
Statusrelais	Wechsler 250V AC / 30 V DC, 1,0 A	
Freigabeeingang	Schließer oder +24 V DC, invertierbar	

Abbildung 38: Technische Daten der AViTEQ Schwingtopfsteuerung [30]

Mindestklemmenbelegung

Die Mindestklemmenbelegung eines Magnetantriebes für spannungsgeregelten Betrieb ohne externe Führungsgröße (Details siehe Kapitel 4.2.3) zeigt Bild 4.05.

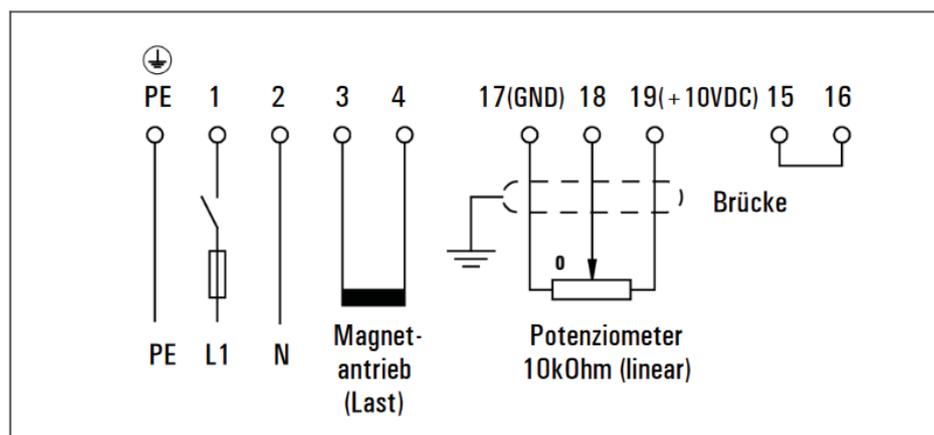


Bild 4.05 Mindestklemmenbelegung mit Netzeingang (Klemmen PE, 1 und 2) Magnetantrieb (Klemmen 3 und 4) und Schwingbreiteneinsteller (Klemmen 17, 18 und 19)

Abbildung 39: Minimalklemmenbelegung [30]

Externe Ein-/Ausschaltung

Ist keine externe Ein-/Ausschaltung (Freigabeschaltung) erwünscht, so müssen die Klemmen 15 und 16 durch eine Drahtbrücke verbunden werden, damit der Magnetvibrator angesteuert werden kann.

Die Steuerung kann alternativ über einen Schalter (Relais), einen Optokoppler oder ein Gleichspannungssignal extern ein- oder ausgeschaltet werden. Die zugehörigen Möglichkeiten für die Klemmenbelegung zeigt siehe Bild 4.10 auf der nachfolgenden Seite.

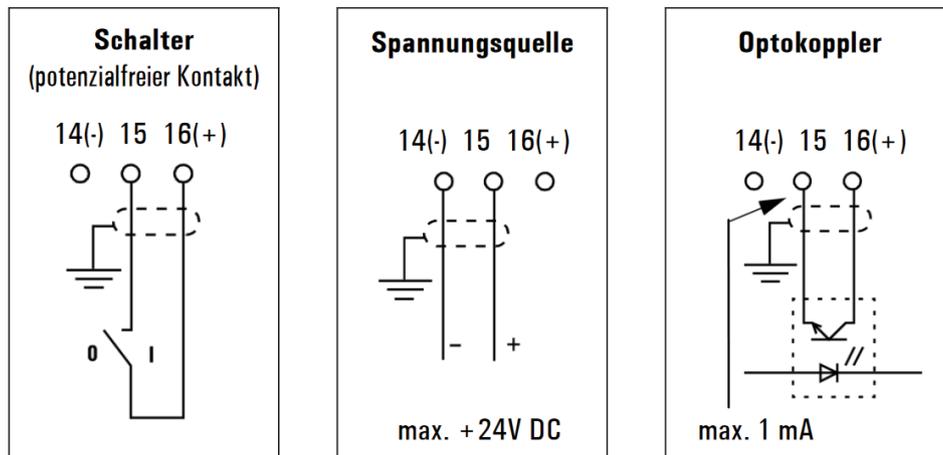


Bild 4.10 Möglichkeiten der externen Ein-/Ausschaltung

Beachten Sie zwingend die maximal zulässige Belastung von 1 mA, um eine Beschädigung der Steuerung zu verhindern!

Abbildung 40: Externe Ein-/Ausschaltung [30]

GP2Y0A41SK0F

Distance Measuring Sensor Unit
 Measuring distance : 4 to 30 cm
 Analog output type



■Description

GP2Y0A41SK0F is a distance measuring sensor unit, composed of an integrated combination of PSD (position sensitive detector), IR-LED (infrared emitting diode) and signal processing circuit. The variety of the reflectivity of the object, the environmental temperature and the operating duration are not influenced easily to the distance detection because of adopting the triangulation method. This device outputs the voltage corresponding to the detection distance. So this sensor can also be used as a proximity sensor.

■Agency approvals/Compliance

1. Compliant with RoHS directive (2002/95/EC)

■Applications

1. Cleaning robot
2. Personal robot
3. Sanitary

■Features

1. Distance measuring sensor is united with PSD, infrared LED and signal processing circuit
2. Short measuring cycle (16.5ms)
3. Distance measuring range : 4 to 30 cm
4. Package size (29.5 × 13.0 × 13.5mm)
5. Analog output type

Abbildung 41: Datenblatt des Sharp Corporation Infrarotsensors GP2Y0A41SK0F [31]

■ **Absolute maximum ratings**

(Ta=25°C, Vcc=5V)

Parameter	Symbol	Ratings	Unit	Remark
Supply voltage	Vcc	-0.3 to +7	V	-
Output terminal voltage	Vo	-0.3 to Vcc+0.3	V	-
Operating temperature	Topr	-10 to +60	°C	-
Storage temperature	Tstg	-40 to +70	°C	-

■ **Operating supply voltage**

Symbol	Rating	Unit	Remark
Vcc	4.5 to 5.5	V	-

■ **Electro-optical Characteristics**

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Measuring distance range	ΔL	(Note 1)	4	-	30	Cm
Output terminal voltage	Vo	L=30cm (Note 1)	0.25	0.4	0.55	V
Output voltage difference	ΔVo	Output change at L change (30cm → 4cm) (Note 1)	1.95	2.25	2.55	V
Average supply current	Icc	L=30cm (Note 1)	-	12	22	mA

※L : Distance to reflective object

(Note 1) Using reflective object : White paper

(Made by Kodak Co., Ltd. gray cards R-27 · white face, reflective ratio ; 90%)

■ **Timing Chart**

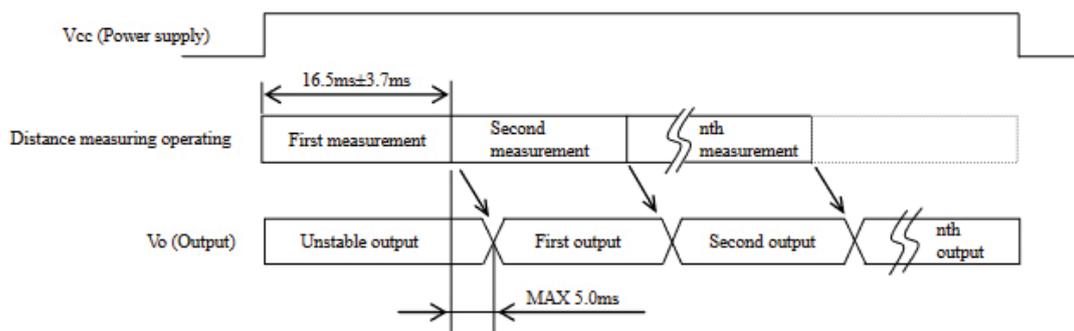


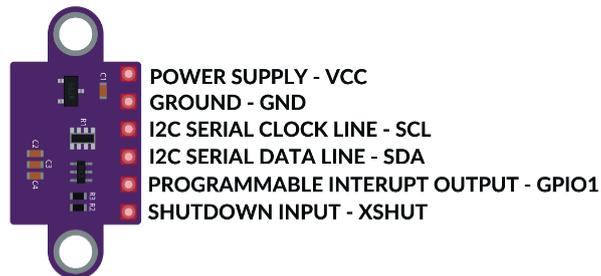
Abbildung 42: Datenblatt des Infrarotsensors GP2Y0A41SK0F [31]

1. Specifications

Operating Voltage Range	2.7V to 5VDC
Operating Current Range	10mA to 40mA
Power Consumption	20 mW
Laser Wavelength	940nm
Measurement Range	From 40mm to 4,000mm
Resolution	+/-1mm
Field of View	15° - 27°
Interface	I ² C
Mounting Holes Diameter	3mm
Operating Temperature Range	-20°C to +70°C
Dimensions	13mm x 18mm x 2mm (0.5in x 0.7in x 0.08in)

The default I2C address for the VL53L0X is 0x29, but it can be changed, if multiple sensors are used. Each sensor has its own dedicated I2C address that can be set through software.

2. Pinout



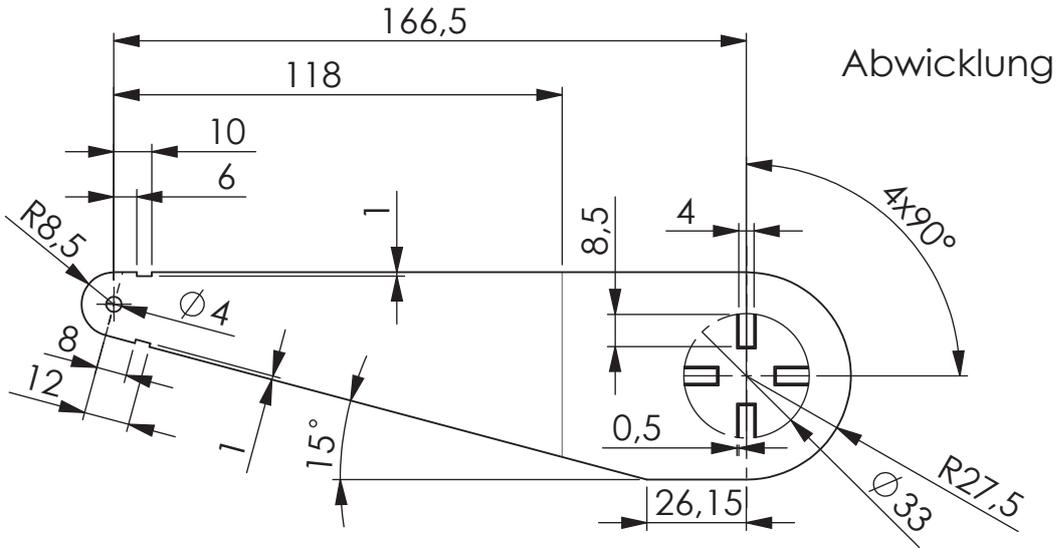
Pin	Description
VCC	This is the main 2.6V to 5.5V power supply connection. The SCL and SDA level shifters pull the I2C lines high to this level.
GND	The ground (0V) connection for power supply. The I2C control source must also share a common ground with this board.
SDA	The ground (0V) connection for power supply. The I2C control source must also share a common ground with this board.
SCL	Level-shifted I2C clock line: HIGH is VIN, LOW is 0V
XSHUT	This pin is an active-low shutdown input; the board pulls it up to VCC to enable the sensor by default. Driving this pin low puts the sensor into hardware standby. This input is not level-shifted.
GPIO1	Programmable interrupt output (VDD logic level). This output is not level-shifted.

Abbildung 43: Datenblatt des Lasersensor VL53L0X [32]

001 ✓ (Ra 6,3) (Ra 12,5)

F

F

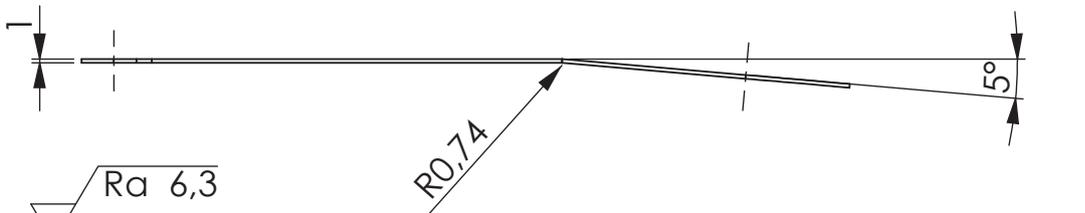


E

E

D

D

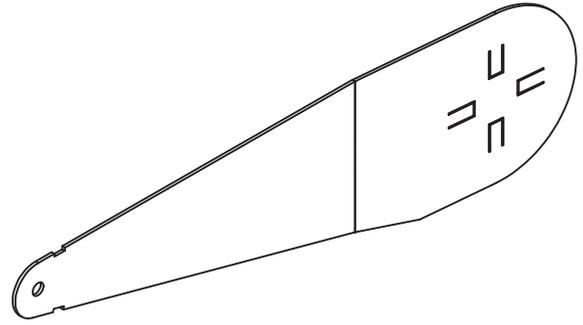


C

C

B

B



BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
PROJEKTIONSMETHODE 1

EIGENTÜMER:
MONTANUNIVERSITÄT
LEOBEN

AUSGABEDATUM:
25.02.2022

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN
Toleranzklasse: m

Fertigungszeichnung

	NAME	SIGNATUR	DATUM
GEZEICHNET	B. Wai		25.02.22
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			

BENENNUNG:
Sperrblech

MASSTAB: 1:2

ZEICHNUNGSNR.
001

BLATT 1 VON 1

A

A

4

3

2

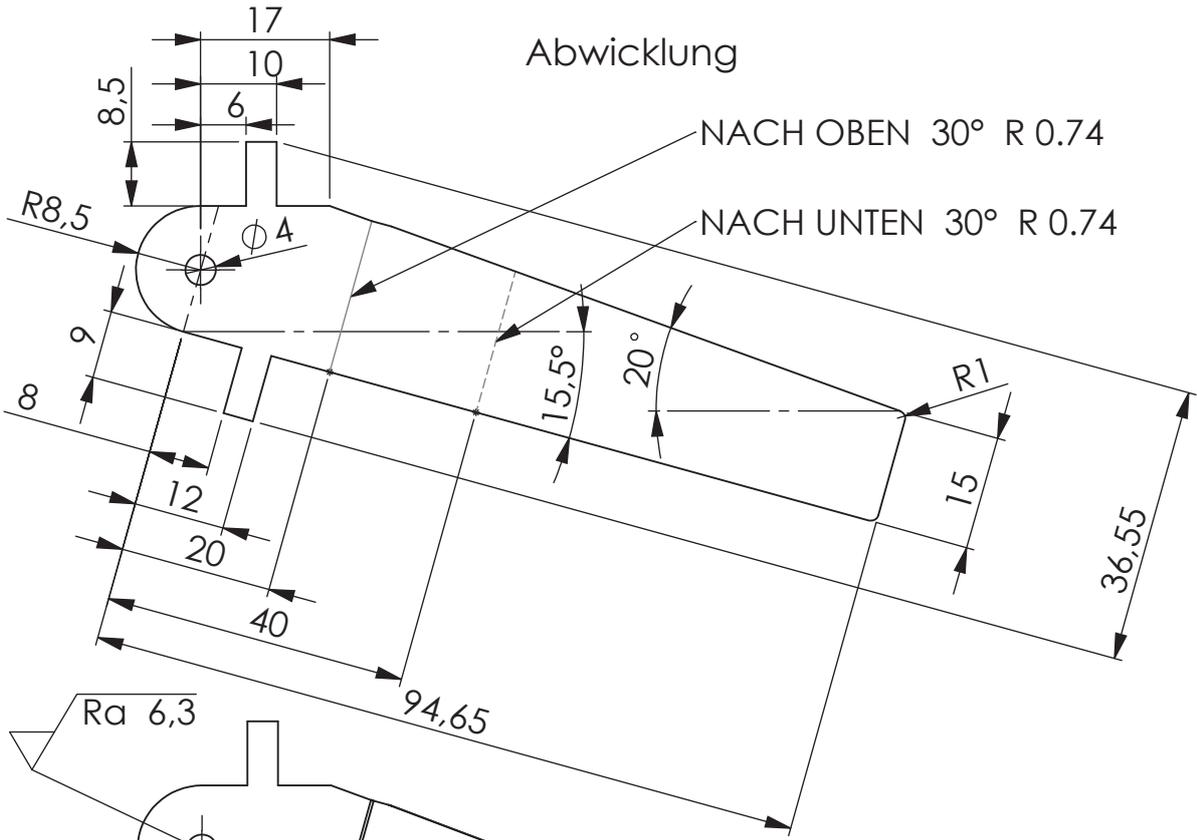
1

002

✓ (Ra 6,3)

F

F



E

E

D

D

C

C

B

B

BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER

EIGENTÜMER:

AUSGABEDATUM:

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

Toleranzklasse: m

PROJEKTIONSMETHODE 1

MONTANUNIVERSITÄT
LEOBEN

25.02.2022

Fertigungszeichnung

GEZEICHNET

NAME
B. Wai

SIGNATUR

DATUM
25.02.22

BENENNUNG:

Leitblech

GEPRÜFT

NAME

SIGNATUR

DATUM

ZEICHNUNGSNR.

002

GENEHMIGT

NAME

SIGNATUR

DATUM

MASSTAB: 1:1

A4

A

A

4

3

2

1

003

✓ (Ra 12,5)

F

E

D

C

B

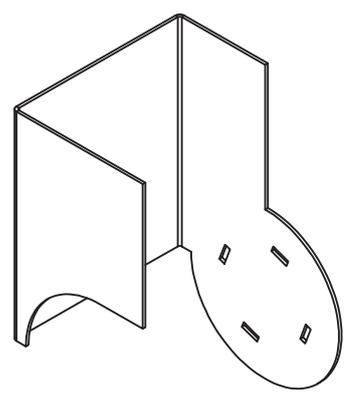
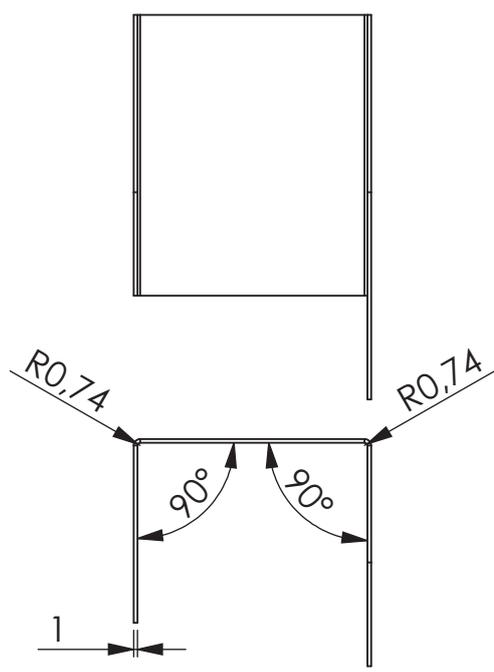
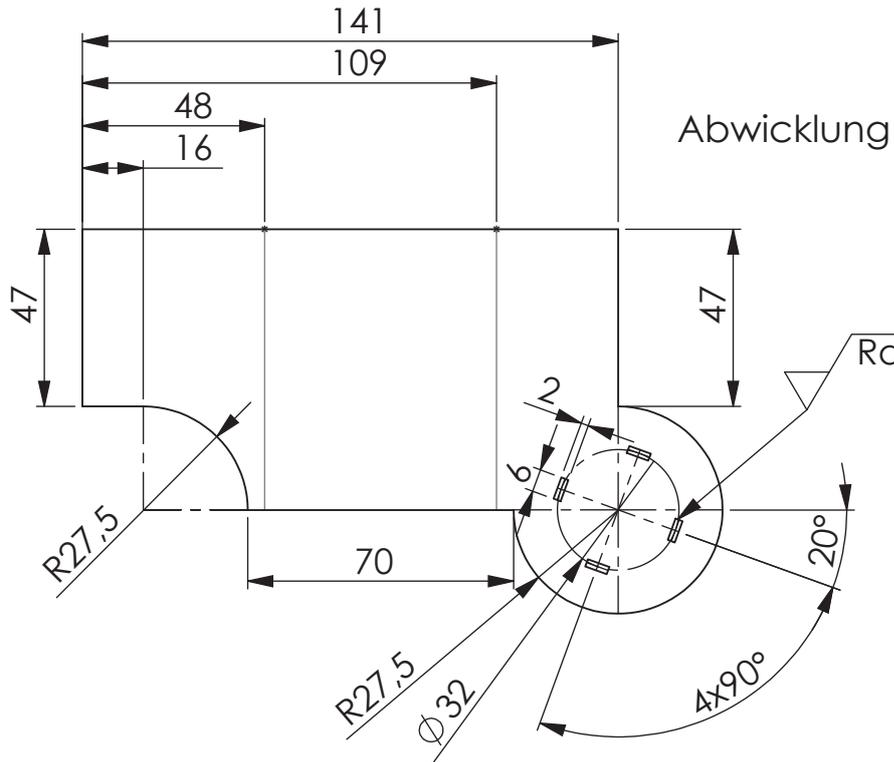
F

E

D

C

B



BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
PROJEKTIONSMETHODE 1

EIGENTÜMER:
MONTANUNIVERSITÄT
LEOBEN

AUSGABEDATUM:
25.02.2022

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN
Toleranzklasse: m

Fertigungszeichnung

	NAME	SIGNATUR	DATUM
GEZEICHNET	B. Wai		25.02.22
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			

BENENNUNG:
Prallblech

MASSTAB: 1:2

ZEICHNUNGSNR.
003

BLATT 1 VON 1

4

3

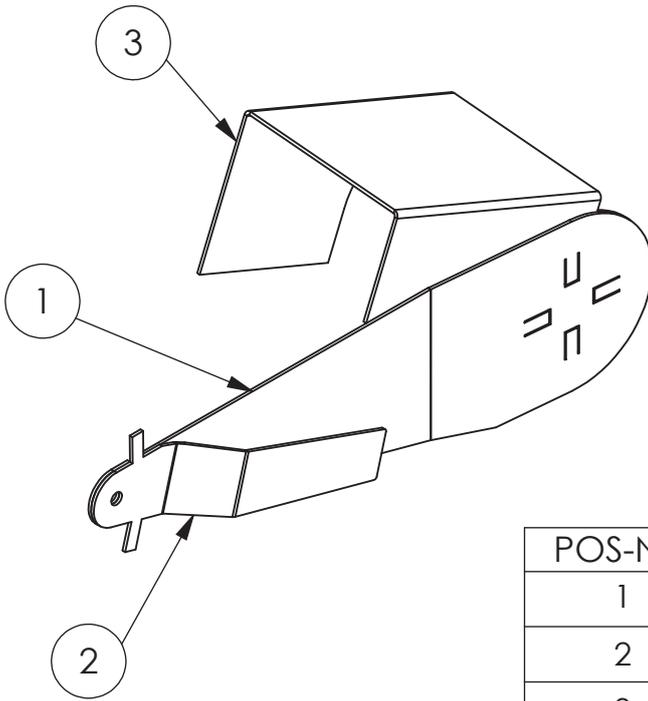
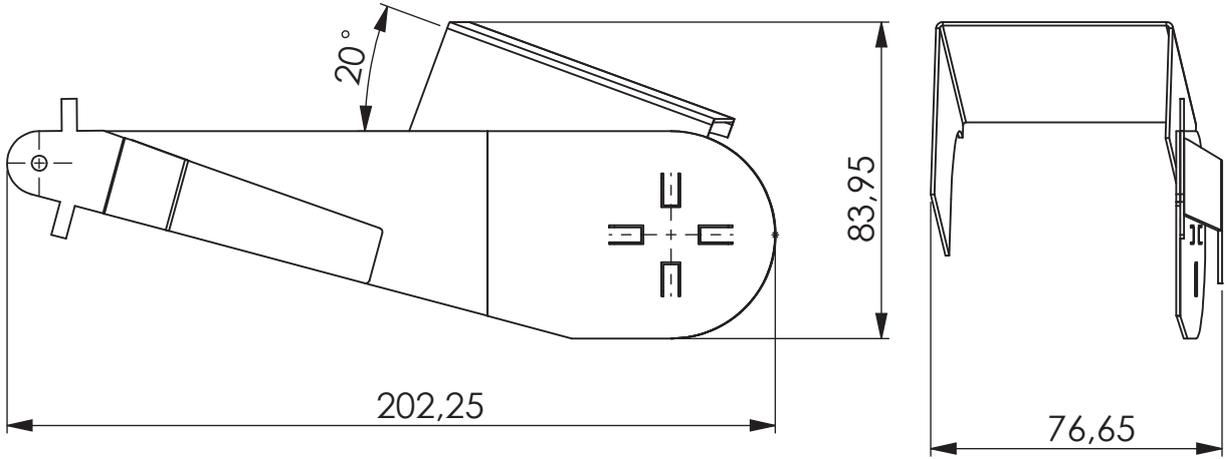
2

1

A

A

004



POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
1	Sperrblech	1
2	Leitblech	1
3	Prallblech	1

BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
PROJEKTIONSMETHODE 1

EIGENTÜMER:
**MONTANUNIVERSITÄT
LEOBEN**

AUSGABEDATUM:
25.02.2022

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN
xxxxxxx

Zusammenstellungszeichnung

	NAME	SIGNATUR	DATUM
GEZEICHNET	B. Wai		25.02.22
GEPRÜFT			
GENEHMIGT			

BENENNUNG:
Sperrvorrichtung

ZEICHNUNGSNR.
004

MASSTAB:1:5

BLATT 1 VON 1

A4