



Technische Hochschule
Ingolstadt

Bachelorarbeit

System zur kamerabasierten Erkennung von Deformationen an Lastanschlagsmitteln durch Bildanalyse

**zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Engineering**

vorgelegt von
Georg Matthias Wichmann

Studiengang: Mechatronik mit Schwerpunkt Produktionsmechatronik
Fakultät: Elektro- und Informationstechnik

Ausgabetermin: 18.08.2021

Abgabetermin: 18.01.2022

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Georg Passig

Zweitprüfer: Prof. Dr. Rudolf Gregor

Für das benötigte Bildmaterial hat mir die Firma Bauer Maschinen GmbH ihre Haken aus der Lackiererei zur Verfügung gestellt. Insbesondere für die Überlassung von Haken zur gezielten Deformation möchte ich mich an dieser Stelle bedanken. Prof. Dr. -Ing. G. Passig stand mir für fachliche Fragen und Denkanstößen zur Seite. Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Eltern und Bruder, die mich auch durch die Tiefen dieser Arbeit getragen haben. Bei meiner Frau und meinen beiden Kindern möchte ich mich für die Geduld und die zeitliche Entbehrung bedanken.

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ingolstadt den,

Georg Wichmann

Inhaltsverzeichnis

Glossar	II
Akronyme	1
1 Problemstellung	2
2 Wahl des Verfahrens	3
3 Informationen zur Technik	5
3.1 Ausstattung	5
3.2 Software	5
3.3 Material	6
4 Deformationserkennung durch Bildanalyse	7
4.1 Idealisierung und Vereinfachung der Problemstellung	7
4.2 Abstraktion	7
4.2.1 Kompensation der Hakenposition	8
4.2.2 Interpretation des Histogramms der Winkel	9
4.2.3 Die Nebenmaxima	9
4.3 Bestimmen des Öffnungswinkels	11
4.4 Bestimmung des Grenzwinkels	11
4.5 Kategorisieren der Haken	14
4.5.1 Der nicht verbogene Haken	14
4.5.2 Der deformierte Haken	14
4.6 Anwendung auf produktiv genutzte Haken	15
5 Das System zur Deformationserkennung	18
5.1 Physikalischer Prüfaufbau	18
5.2 Der Algorithmus	19
6 Kritische Betrachtung und Ausblick	21
7 Fazit	23
8 Anhang	24
8.1 Histogramme	24
8.2 Algorithmus Halcon Code	27
Abbildungsverzeichnis	30
Literaturverzeichnis	31

Glossar

Arm Bezeichnet die beiden geraden Teilstücke nach der Krümmung, an denen die Last hängt. Abbildung 0.1 veranschaulicht dies.

Grenzwinkel Der Grenzwinkel β ist der maximale Öffnungswinkel α der Haken, bevor diese als defekt gelten. Er wird vom Prüfer aufgrund von Vorgaben festgelegt.

Öffnungswinkel Als Öffnungswinkel α wird der Winkel zwischen dem Rumpf und einem Arm des Hakens bezeichnet, welcher als Abweichung in Grad zum Hauptmaximum angegeben wird.

Rumpf Ist das mittlere gerade Stück eines S-Haken. Abbildung 0.1 veranschaulicht dies. Der Rumpf wird im Histogrammen als Hauptmaximum b sichtbar.

Spitze Bezeichnet eine der beiden Enden des Hakens. Abbildung 0.1 veranschaulicht dies.

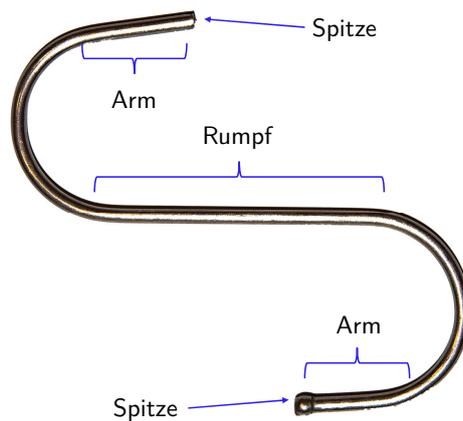


Abbildung 0.1: Bezeichnung der Teile eines S-Hakens

Akronyme

BG Berufsgenossenschaft.

ca. zirka.

DGUV Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V..

ROI region of interest.

v.l.n.r. von links nach rechts.

z.B. zum Beispiel.

1 Problemstellung

Die vorliegende Arbeit entsteht aus der Anforderung heraus, dass alle Anschlagsmittel für Lasten einer regelmäßigen Prüfpflicht unterliegen. Neben der Funktionsprüfung spielt die Sichtprüfung eine entscheidende Rolle, da diese mögliche Beschädigungen aufdecken soll. Zu den Anschlagsmitteln zählen neben Karabinern, Schäkeln, Rundschlingen, Ketten auch S-Haken. S-Haken sind bedingt durch ihre Bauart nur noch selten im Einsatz. Ihr Vor- und Nachteil zugleich ist das Fehlen einer Sicherung vor versehentlichem Aushängen der Last. Diese Einfachheit, ohne bewegliche Teile, macht S-Haken als Lastanschlagsmittel zu einem idealen Betriebsmittel für Lackierprozesse. Hier wären Löcher und kleinteilige bewegliche Bauteile durch Strahlgut, Reinigungsmittel und dem Lack selbst problematisch. Doch für einen sicheren Einsatz ist eine Prüfung der Haken unerlässlich. Bereits ein geringes Aufbiegen der Haken, über die Elastizitätsgrenze hinaus, kann für die Sicherheit problematisch werden. Ein versehentliches Herausrutschen steigt, mit größer werden des Öffnungswinkels der Hakenarme.

Aufgabe ist es nun, ein Verfahren zu finden, mit dem sich Anschlagsmittel im allgemeinen und S-Haken im besonderen auf Deformation prüfen zu lassen. Das System soll mit seinem Verfahren gleichermaßen einfach wie bedienerunabhängig sein. Jedoch dürfen Verunreinigungen wie z.B. Lackanhaftungen keine Rolle spielen. Das ist insofern von Bedeutung, weil sich gerade Lackanhaftungen wie sie in einem Lackierprozess entstehen nur sehr schwer bis gar nicht entfernen lassen. Diese Lackschichten können mehrere Millimeter stark sein und den Haken so in seinen äußeren Abmessungen verändern.

2 Wahl des Verfahrens

Zur Prüfung der Haken stehen verschiedene Möglichkeiten zur Wahl. Um jedoch regelmäßig Anwendung zu finden muss es sich um ein Verfahren handeln, das gleichermaßen einfach und vom Anwender nicht beeinflussbar ist. Das Schulen der Benutzer ist bei allen Verfahren unumgänglich, jedoch je nach Verfahren unterschiedlich aufwändig.

Profilblick auf Haken

Eine Möglichkeit besteht darin alle Haken, auf einer waagerechten Stange, aufzuhängen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass nur Haken eines Typs aufgereiht werden. Mit einer Betrachtung der Haken im Profil werden Haken mit größeren Ausreißern auffallen. Von Vorteil ist der sehr einfache Prüfaufbau, der oftmals schon in der Produktion zur Lagerung der Haken gegeben ist. Voraussetzung ist, dass genügend Haken gleichen Typs und Bauart vorhanden sind. Auch sollte sichergestellt sein, dass genügend gute Haken darunter sind. Diese grobe Abschätzung ist nachteilhaft, da sie stark vom subjektiven Eindruck des Prüfenden abhängig ist. Zu bedenken ist auch der hohe Aufwand an Schulung der Prüfenden. Schließlich entscheidet ihr Können und Wissen über die Qualität der Prüfung. Insbesondere in Grenzbereichen könnte dies zu dem unvorteilhaften Umstand führen, Haken trotz Deformationen als gut zu interpretieren. Schwierigkeiten werden hier entstehen, wenn Lackanhaftungen oder ungleiche Längen des Rumpfes hinzukommen. Somit ist die Prüfung der Haken auf einer waagerechten Stange ungeeignet.

Prüfung mit Schablonen

Ein alternatives Prüfverfahren ist, dass man die Haken durch eine Schablone fallen lässt. Das Verfahren, ist ähnlich dem vorangegangenen, einfach und relativ kostengünstig. Schablonen haben den Nachteil, dass sie nur eine geringe Toleranz aufweisen dürfen, um ein gutes Prüfergebnis liefern zu können. Zu Schwierigkeiten führen jedoch kleinere Ungenauigkeiten in der Fertigung der Haken, wie Längenunterschiede im Rumpf und den Armen. Problematisch werden auch kleinste Abweichungen des Öffnungswinkels der Haken. Hier wären eventuell mehrere Schablonen nötig, um den gesamten tolerierten Bereich von Öffnungswinkeln abzudecken. Sobald Lackanhaftungen hinzukommen sind Schablonen ebenfalls unbrauchbar, da sich die Abmessungen der Haken somit verändert haben. Auch dieses Verfahren ist somit als unbrauchbar einzustufen.

Industrielle Bildverarbeitung

Ein Prüfverfahren besteht darin, nicht physisch am Bauteil zu messen und aus dessen Ergebnis eine Prüfentscheidung abzuleiten, sondern dies rein digital an Bildern der Prüflinge zu tun. Gegenüber den Verfahren mit Schablone und Profilblick ist dieser Prüfungsaufbau aufwändiger und auch in der

Anschaffung teurer. Für das Verfahren mit industrieller Bildverarbeitung spricht, dass es prüflingsunabhängig ist und somit auch für unterschiedlichste Anschlagsmittel zum Einsatz kommen kann. Es ist nahezu unabhängig vom Können des Prüfers. Die Entscheidung lässt sich bei Bedarf jederzeit mit dem Bild reproduzieren.

3 Informationen zur Technik

Für die Arbeit wird folgende Technik verwendet, die aus Ausstattung, Software und Material besteht.

3.1 Ausstattung

Kamera: Zur Erstellung der Aufnahmen kommt eine 2 Megapixel Kamera von ELP zum Einsatz. Verbaut ist darin ein CMOS OV2710 Sensor mit einer Diagonalen von 1/2,7 Inch. Die Kamera ist mit der Sensorebene in einer Höhe von 51,50 cm über der Bildfläche montiert.

Objektiv: Als Optik kommt ein Objektiv mit M12 Schraubanschluss, einer festen Blende, einem Zoombereich von 2,8 bis 12 mm Brennweite und manuellem Fokus sowie Fixierschrauben für Zoom und Fokus zum Einsatz. Das Zoomobjektiv ist für diese Arbeit auf 6.1 mm Brennweite eingestellt.

Stativ: Um die Kamera auf die gewünschte Höhe über dem Leuchttisch zu bekommen, kommt ein Manfrotto Fotostativ zum Einsatz. Dabei ist die Mittelstange umgedreht und es sind jeweils die oberen Fußauszüge ausgefahren.

Leuchttisch: Als Gegenlichtquelle kommt ein AGPTEK A4 LED-Leuchttisch mit den Maßen 35,7 cm x 23,5 cm zum Einsatz. Für die Aufnahmen ist der Leuchttisch auf die höchste Helligkeitsstufe gestellt.

Abschattung: Zur Abschattung des Versuchsaufbaus wird ein schwarzer Jeansstoff verwendet. Dieser reicht bis etwa 1 m über die Bildfläche und schattet den Versuchsaufbau von 3 Seiten ab. Auf eine Abschattung von oben und vorne konnte aufgrund des Standortes verzichtet werden.

3.2 Software

Python: Zur Erstellung der Aufnahmen und der Kalibrierung wird ein Python Code verwendet. Die genutzte Python Version ist 3.8 aus dem Oktober 2019 zusammen mit Spyder in der Version 4.1.5.

Open CV: Für die Generierung der Aufnahmen und das Kalibrieren der Aufnahmen wird das Python Paket CV2 in der Version 4.4.0 verwendet.

Halcon: Die Bildverarbeitung erfolgt in Halcon von der Firma MVtec in der Version 20.11.0.2 mit der Studentenlizenz.

3.3 Material

S-Haken: Für die Erstellung der Versuchsreihen mit unterschiedlichen Deformationen dienen S-Haken von Swatowot mit einem Durchmesser von 3 mm, einem Aufhängepunkt Abstand von 9 cm und einer Hakenöffnungsweite von 3 cm.

S-Haken aus Produktion 16 mm: Zur Prüfung des Algorithmus an real verwendeten Haken dienen, S-Haken direkt aus der Produktion von der Bauer Maschinen GmbH mit einem Durchmesser von 16 mm, einem Aufhängepunkt Abstand von 18 cm und einer Hakenöffnungsweite von 4,2 cm.

S-Haken aus Produktion 5 mm: Ebenfalls zur Prüfung des Algorithmus an real verwendeten Haken dienen S-Haken direkt aus der Produktion von der Bauer Maschinen GmbH mit einem Durchmesser von 5 mm, einem Aufhängepunkt Abstand von 18 cm und einer Hakenöffnungsweite von 4,2 cm.

4 Deformationserkennung durch Bildanalyse

Eine Möglichkeit über Mittel der Bildanalyse an eine gut, schlecht Entscheidung zu gelangen ist, das Trainieren eines Algorithmusses. Dies wird meist mit einer Vielzahl von Aufnahmen gemacht, die im Vorfeld gelabelt werden. Dabei müssen für jeden Randfall aus der Merkmalsebene eine Aufnahme eines Hakens vorhanden sein. Mindestens je eine Aufnahme für gut und schlecht im Neuzustand und mit Lackablagerungen. Dazu kommen noch Aufnahmen, die um den Grenzwinkel β herum liegen und diesen im Training abdecken. Da diese Haken so nicht vorliegen, scheidet der Weg über Deep Learning aus. Die sehr begrenzte Menge an Haken, die zur Verfügung steht, lässt sich jedoch als Prüfmenge für eine analytischen Ansatz verwenden.

4.1 Idealisierung und Vereinfachung der Problemstellung

Unter der Annahme, dass Lackanhaftungen die Haken nicht maßgeblich und vor allem nicht den Öffnungswinkel verändern, können diese vernachlässigt werden. Desweiteren kann davon ausgegangen werden, dass die Dimensionen für die Betrachtung des Öffnungswinkels unberücksichtigt bleiben können. Diese Idealisierung macht es möglich, für die weitere analytische Betrachtung einfache S-Haken aus dem Baufachhandel zu verwenden. Diese Haken haben den Vorteil, dass die maximale Belastungsgrenze weit unter denen in der Produktion verwendeten liegt. Die geringeren Belastungsgrenzen dieser Haken ermöglicht es in einem Versuchsaufbau unterschiedliche Deformationen zu erzeugen. Angenommen werden dabei folgende möglich Belastungszenarien im Zweidimensionalen:

- Überlastung
- Belastung einer Spitze
- Nach innen gebogener Arm z.B. nach Verklemmen
- Belastung beider Spitzen
- Flächenlast auf einem Arm
- Flächenlast auf beiden Armen

Versuchsreihen zeigen, dass dabei drei Varianten der Deformation entstehen. Abbildung 4.1 zeigt an je einem Beispiel die Deformationsvarianten im zweidimensionalen, die weiter untersucht werden.

4.2 Abstraktion

Für den nächsten Schritt werden von den Haken Aufnahmen im Gegenlichtverfahren angefertigt, da dieses die Umriss der Haken besonders kontrastreich hervorhebt. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Winkel des Strahlengangs hinreichend klein ist und somit keinen Einfluss auf die Kante hat (siehe Kapitel 5 *Das System zur Deformationserkennung*). In weiteren Schritten lässt sich nun aus der Kante eine Kontur ableiten. Zunächst wird jetzt zu jedem Punkt der Kontur eine Tangente gebildet. Für diese

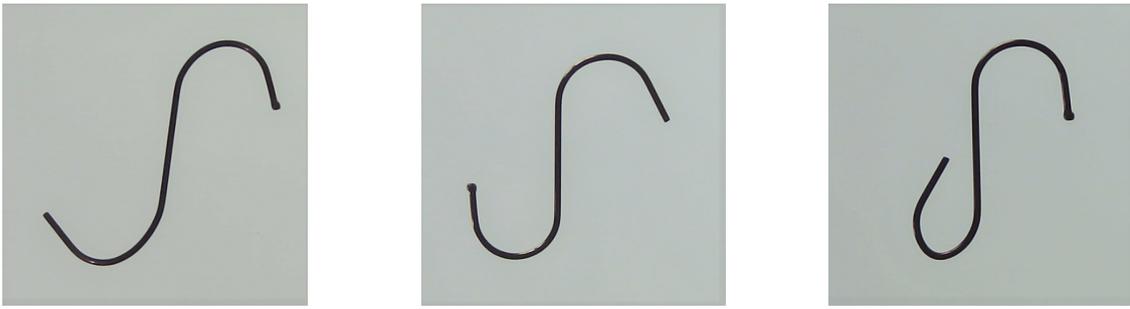


Abbildung 4.1: Varianten der Deformation: v.l.n.r. Überlastung, Belastung einer Spitze, Verklemmung eines Arms

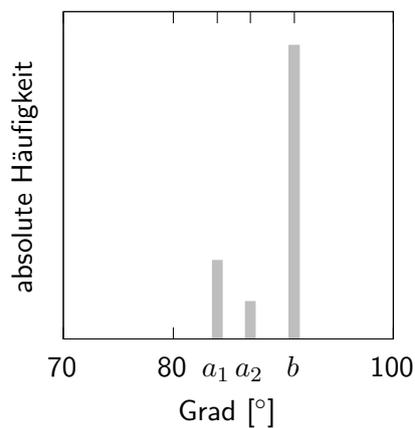


Abbildung 4.2: Idealisiertes Histogramm der Winkel

Tangenten können Richtungsvektoren bestimmt werden. In der weiteren Betrachtung ist die Richtung der Vektoren unerheblich. Alle Vektoren mit einem Winkel τ im Intervall $180^\circ < \tau \leq 360^\circ$ lassen sich durch den inversen Vektor darstellen und somit alle Winkel im Intervall von $0^\circ \leq \tau \leq 180^\circ$ abbilden. Zur einfacheren Interpretation werden die ermittelten Winkel in 180 Klassen mit einer Breite von 1° eingeteilt. Damit entsteht das Histogramm der Winkel mit absoluter Häufigkeit. Die Abbildung 4.2 zeigt einen Ausschnitt des Histogramms der Winkel eines S-Hakens in idealisierter Form. Das Rauschen wird zugunsten der Übersichtlichkeit weggelassen.

4.2.1 Kompensation der Hakenposition

Nötig wird die Kompensation, um reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Für die Kompensation bestehen mehrere Ansätze. Denkbar ist, dass immer exakt gleiche Positionieren der Haken in den Aufnahmen, dies ist praktisch jedoch kaum umsetzbar. Praktikabler ist die Kompensation in der Abstraktionsebene des Histogramms. Im Histogramm genügt bereits ein einfaches Verschieben des Histogramms um eine einheitliche Darstellung zu erzielen. Dabei wird das Histogramm soweit verschoben, dass das Hauptmaximum b immer auf 91° liegt.

4.2.2 Interpretation des Histogramms der Winkel

Zur Veranschaulichung der nachfolgend beschriebenen Bestandteile des Histogramms soll Abbildung 4.3 dienen. Das komplette Histogramm ist im Anhang als Abbildung 8.1 zu sehen.

Das Hauptmaximum

Das Hauptmaximum b entsteht durch die vielen ähnlichen Winkel der Tangenten entlang des Rumpfes des S-Hakens. Da der Rumpf länger ist als beide Hakenarme zusammen, ist auch bei exakt gleichen Öffnungswinkeln der Arme sichergestellt, dass sich das Hauptmaximum auf den Rumpf bezieht. Dies liegt an der deutlich kleineren Länge der Arme ohne Krümmung im Vergleich zum Rumpf.

Die charakteristischen Nebenmaxima

Sie heben sich markant von dem Rauschen ab und entstehen durch die Arme der Haken. Diese sind oft nicht gänzlich parallel zum Rumpf. So können bis zu zwei Nebenmaxima a_1 und a_2 entstehen. Wenn gilt:

$$\alpha_1 \neq \alpha_2$$

und die Tangente der Arme nicht parallel zur Tangente des Rumpfes sind.

Für die weitere Betrachtung ist der relative Abstand zum Hauptmaximum von entscheidender Bedeutung. Ausführlich beleuchtet wird dies im Abschnitt 4.3 *Bestimmen des Öffnungswinkels*.

Rauschen

Das Rauschen ist auf die Krümmungen und Ecken der Haken zurückzuführen. Je ungleichmäßiger die Oberfläche ist, desto größer dieses Rauschen. Das Rauschen ist von 0° bis 81° ; 87° bis 89° und von 93° bis 180° zu finden.

4.2.3 Die Nebenmaxima

Das Histogramm eines S-Haken zeigt charakteristischerweise zwei Nebenmaxima. Die sich deutlich vom Rauschen abheben und als charakteristische Nebenmaxima benannt sind. Diese entstehen durch die Tangentenwinkel entlang der Armkonturen. Angenommen, dass zu jedem Arm ein Nebenmaximum gehört, müssten sich bei Änderung der Winkel der Arme dies durch ein Verschieben der Nebenmaxima im Histogramm zeigen. Darüber hinaus würde ein einfacher Stab im Histogramm kein Nebenmaximum aufweisen.

Schaut man sich die Abbildung 4.5 an, bestätigt sich die Annahme, dass ein einfacher Stab im Histogramm kein markantes Nebenmaximum aufweist. Dies untermauert die Annahme, dass die Nebenmaxima bei S-Haken durch die Arme entstehen. Vergleicht man die beiden Histogramme der Abbildungen 4.3 und 4.4 miteinander, ist deutlich zu erkennen, dass das Nebenmaximum a_1 sich vom Hauptmaximum b entfernen. Diese Charakteristik lässt sich für eine Beurteilung der Haken nutzen.

Die vollständigen Histogramme der Abbildungen lassen sich im Anhang von Abbildung 8.1 bis Abbildung 8.3 finden.

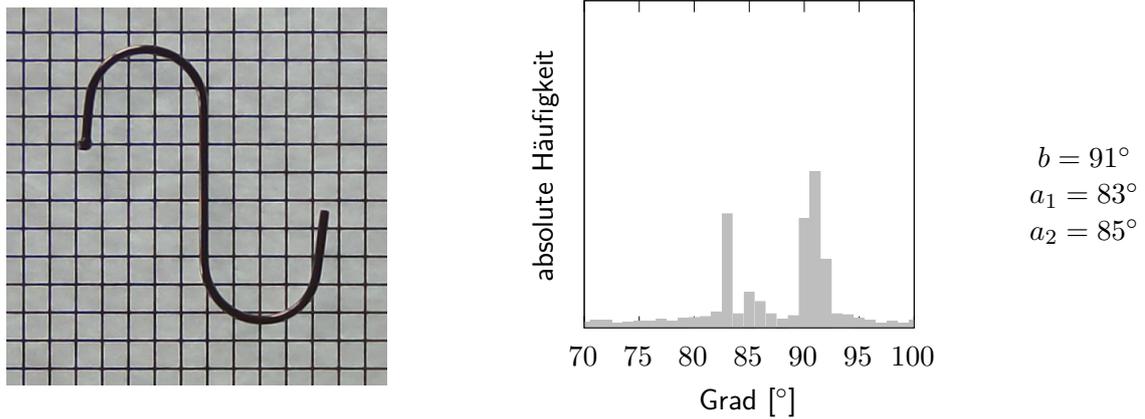


Abbildung 4.3: S-Haken nicht deformiert und zugehöriges Histogramm

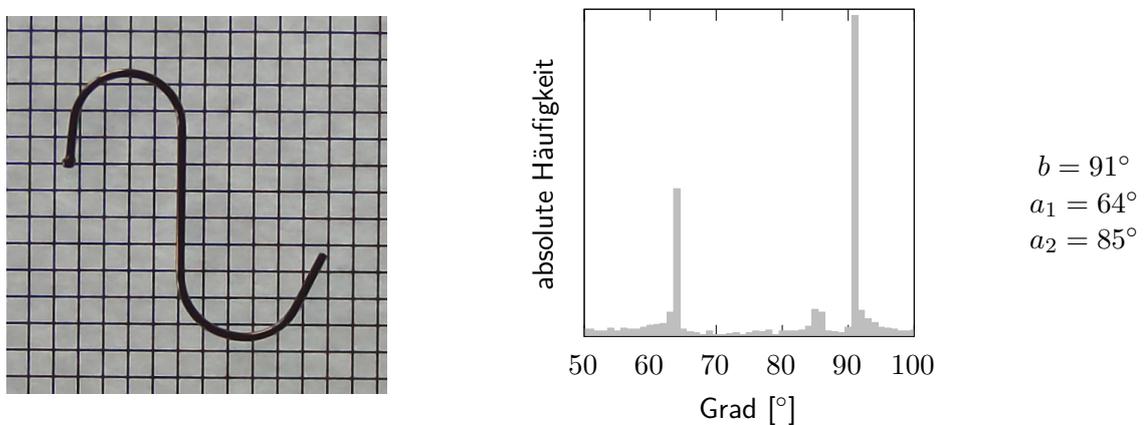


Abbildung 4.4: S-Haken deformiert und zugehöriges Histogramm

Lage der Nebenmaxima

Ob sich das Nebenmaximum eines Arms links vom Hauptmaximum b befinden und somit im Intervall $[0^\circ, 91^\circ[$ liegt oder rechts vom Hauptmaximum b und somit im Intervall $]91^\circ, 180^\circ]$ hängt zum einen von der Lage des Hakens in der Aufnahme ab und zum anderen von der Biegung des Arms. Sind beide charakteristischen Nebenmaxima nur in einem Intervall zu finden sind sie einseitig. Zur Veranschaulichung wird die Aufnahme eines S-Hakens (Abbildung 4.6 links) in die XY-Koordinatenebenen gelegt. Vereinfacht wird angenommen, dass der Rumpf des Hakens in der Aufnahme parallel zur Y-Achse ist. Es wird nun an den Arm 1 eine Tangente angelegt und ihr Winkel a_1 bestimmt. Dasselbe wird mit dem Arm 2 wiederholt. Dabei kann festgehalten werden, dass

$$a_1 < 90^\circ$$

$$a_2 > 90^\circ$$

ist. Wird nun dieser Haken in Achsrichtung seines Rumpfes gedreht (Abbildung 4.6 rechts), ist zu beobachten, dass

$$a_1 > 90^\circ$$

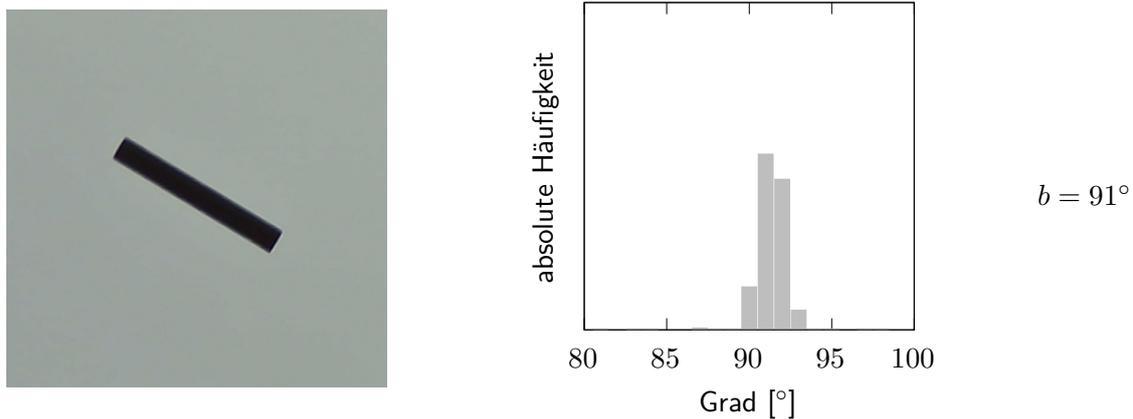


Abbildung 4.5: Einfacher Stab und zugehöriges Histogramm

$$a_2 < 90^\circ$$

ist. Diese Eigenschaft lässt sich im Weiteren zur Bestimmung des Öffnungswinkels insoweit nutzen, als das nur der relative Abstand zum Hauptmaximum b von Bedeutung ist.

4.3 Bestimmen des Öffnungswinkels

Der Öffnungswinkel eines S-Haken wird als Winkel in Grad, zwischen Rumpftangente und Armtangente, angegeben. Zusammenfassend aus den vorangegangenen Abschnitten lässt sich folgern, dass der Öffnungswinkel sich als Differenz von a_n und b bestimmen lässt. Mathematisch lässt sich das wie folgt darstellen. Für die Bestimmung des Öffnungswinkels gilt, dass das Hauptmaximum b definiert ist durch:

b ist gleich dem Winkel an dem das Histogramm der Winkel die maximale absolute Häufigkeit aufweist.

Die charakteristischen Nebenmaxima a_1 und a_2 sind definiert durch:

a_n ist gleich dem Winkel, an dem das Histogramm der Winkel die zweit- oder dritthöchste absolute Häufigkeit aufweist, mit $n = [1; 2]$. Dann lassen sich die Öffnungswinkel α_n mit der Gleichung

$$|b - a_n| = \alpha_n \quad \text{mit} \quad n = [1; 2] \quad (4.1)$$

bestimmen. Wobei n gleich der Anzahl charakteristischer Nebenmaxima ist. Nachvollziehen lässt sich das an Abbildung 4.2, welche ein idealisiertes Histogramm eines nicht deformierten Hakens zeigt.

Auf die Abbildung 4.4 angewendet kommt man für a_1 zu einem Öffnungswinkel von $\alpha_1 = 27^\circ$. Dieser Wert lässt sich leicht plausibilisieren, da der linke Arm sichtbar weniger als 45° aufgebogen ist, was einer Diagonalen des im Hintergrund liegenden Rasters entsprechen würde. Ein Messen mittels Geodreieck und Stift wird einen ebenfalls das Ergebnis bringen von $\alpha_1 = 27^\circ$.

4.4 Bestimmung des Grenzwinkels

Die Ermittlung des Grenzwinkels ist unter zu Hilfenahme statistischer Mittel möglich. Dabei kann angenommen werden, dass der Öffnungswinkel von neuen Haken um den wahren Öffnungswinkel herum streut. Die Streuung der Öffnungswinkel ist normalverteilt, wodurch sich der Mittelwert als beste

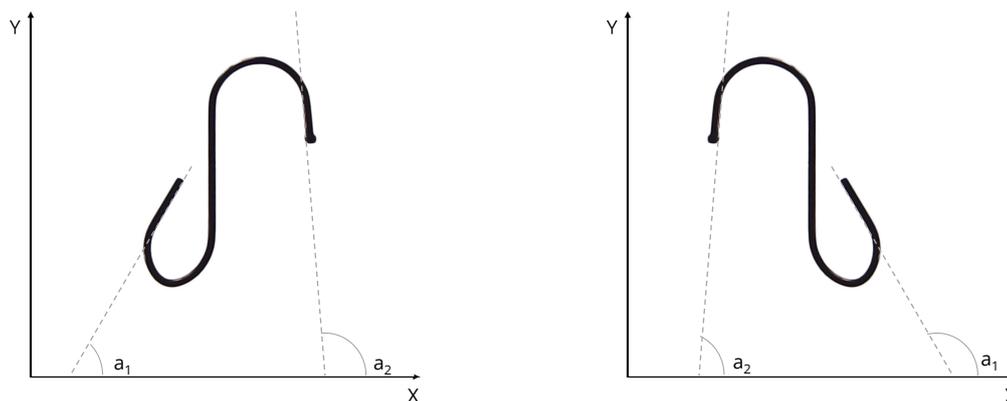


Abbildung 4.6: S-Haken und Spiegelung in XY-Koordinatenebene

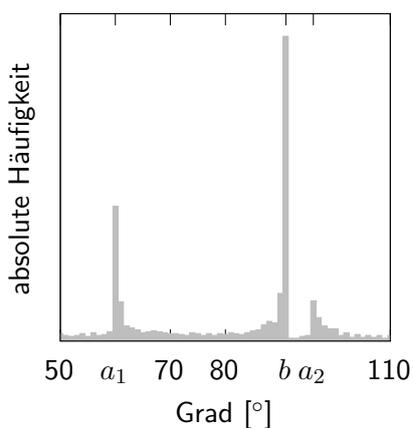


Abbildung 4.7: Histogramm zu Abbildung 4.6 links

Näherung des wahren Öffnungswinkels ergibt. Eine zufällige Stichprobe aus 58 Haken hat nachfolgende Tabelle ergeben. Dabei stellt der 0° Öffnungswinkel die Parallelität der Hakenarme mit dem Rumpf dar. Es ist hierbei eine Klassifizierung vorgenommen, deren Klassenmitte als Öffnungswinkel angegeben ist.

Nötig wird dieses Vorgehen, da für die verwendeten S-Haken keine Informationen bezüglich der Öffnungsweite und dem Öffnungswinkel vorliegen. Hier ließe sich sonst die Bestimmung des Mittelwerts für den Öffnungswinkel durch Herstellerinformationen abkürzen.

Wird diese absolute Häufigkeitsverteilung in eine Summenhäufigkeit in Prozent überführt, ergibt sich folgende Tabelle 4.1 und Wahrscheinlichkeitsnetz (Abbildung 4.8).

In die erhaltene Punktwolke (Abbildung 4.8) lässt sich eine „beste“ Gerade legen. Die Abweichungen der Punkte erscheinen zufällig, so dass die Normalverteilungsannahme gehalten werden kann.¹

Die beste Näherung des wahren Öffnungswinkels ist der Mittelwert

$$\bar{x} = 7,1^\circ \pm 0,12^\circ$$

bei einem Vertrauensniveau von 95%. Von dem wahren Öffnungswinkel kann angenommen werden, dass dieser als gut anzusehen ist, da seine Ermittlung mit neuen Haken erfolgt ist. Die Standardab-

¹Timischl, 2012, Seite 142.

Öffnungswinkel in Grad [°]	Absolute Häufigkeit	Summenhäufigkeit in [%]
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	1	1,72
5	0	1,72
6	10	18,97
7	29	68,97
8	17	98,28
9	1	100
10	0	100

Tabelle 4.1: Absolute Häufigkeitsverteilung und prozentuale Summenhäufigkeit

weichung s beträgt

$$s = 0,45$$

für diese Stichprobe. Um nun nahezu alle als gut zu erwartenden Haken einzuschließen kann das Intervall

$$[x - 2s; x + 2s]$$

angesetzt werden. Dieses umfasst einen Anteil von ca. 95% aller nicht deformierten Haken. Für die verwendeten Haken bedeutet dies, dass das Intervall

$$[6^\circ; 8^\circ]$$

als gut erachtet werden kann.

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. macht für die maximale Aufweitung von Haken eine konkrete Vorgabe, so müssen „[...] bleibende Verformung des Hakenkörpers, z. B. Aufweitung des Hakenmauls um mehr als 10% oder Verdrehung [...]“² der Benutzung entzogen werden.

Wendet man diese Vorgabe auf \bar{x} an ergibt sich ein Grenzwinkel der die BG-Vorgaben erfüllt von:

$$\beta = 7,81^\circ \pm 0,12^\circ$$

Da die für die Arbeit verwendeten Haken bereits stark streuen, wird an dieser Stelle der Grenzwinkel auf ganze Grad gerundet. Womit der Grenzwinkel

$$\beta = 8^\circ$$

für diesen Hakentyp definiert ist.

Sollten die Werte für Öffnungswinkel bzw. die Distanz Arm - Rumpf wie in diesem Fall nicht vorliegen und auch nicht hinreichend neue Haken, ist es denkbar auch Haken, die zuvor von einem sackkundigen Prüfer als gut befunden wurden, zu verwenden. Alternative Möglichkeiten zur Bestimmung des Grenzwinkels könnten sein, dass durch einen sachkundigen Prüfer entsprechende Vorgaben gemacht werden.

²Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., 2020, Seite 23.

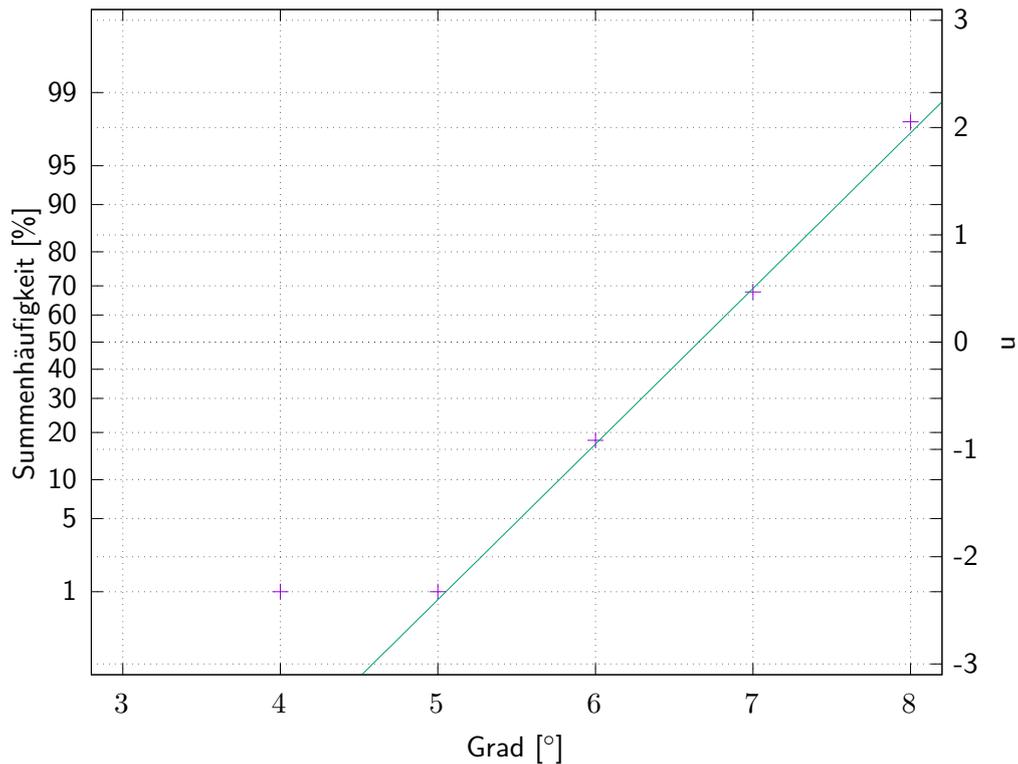


Abbildung 4.8: Wahrscheinlichkeitsnetz der Öffnungswinkel

4.5 Kategorisieren der Haken

4.5.1 Der nicht verbogene Haken

Damit S-Haken als nicht verbogen gelten, müssen diese mehrere Kriterien erfüllen. Für die charakteristischen Nebenmaxima muss gelten

$$a_1 \wedge a_2 \in [0^\circ, 91^\circ[\quad \text{oder} \quad a_1 \wedge a_2 \in]91^\circ, 180^\circ] \quad (4.2)$$

und sind somit einseitig. Für die Öffnungswinkel des Hakens muss gelten

$$\alpha_1 \wedge \alpha_2 \leq \beta \quad (4.3)$$

Dann kann der Haken als nicht verbogen eingeordnet werden. Die Abbildung 4.3 zeigt einen solchen Haken, der die Kriterien erfüllt und korrekterweise somit als nicht deformiert eingestuft wird.

4.5.2 Der deformierte Haken

Haken, deren Nebenmaxima nicht einseitig sind und somit das Kriterium (4.2) nicht erfüllen, haben einen Arm, der zum Rumpf hin eingebogen ist, siehe hierzu Abbildung 4.7. S-Haken, die das Kriterium (4.3) nicht erfüllen, haben einen oder zwei Arme die deutlich aufgebogen sind, meist nach Überlastung oder falscher Benutzung.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen exemplarisch die entstehenden Histogramme bei unterschiedlichen Deformationen. Abbildung 4.9 zeigt einen S-Haken nach Überlastung. Hier entfernen sich

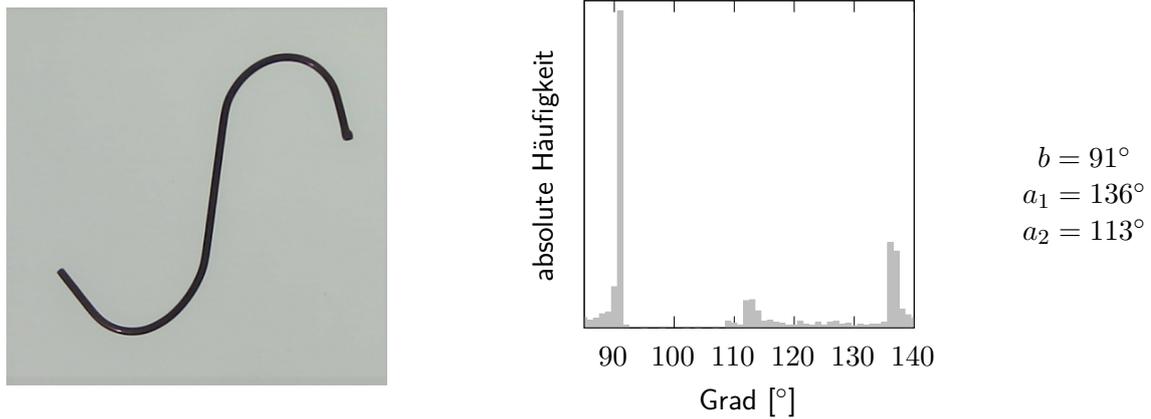


Abbildung 4.9: Überlasteter S-Haken und zugehöriges Histogramm

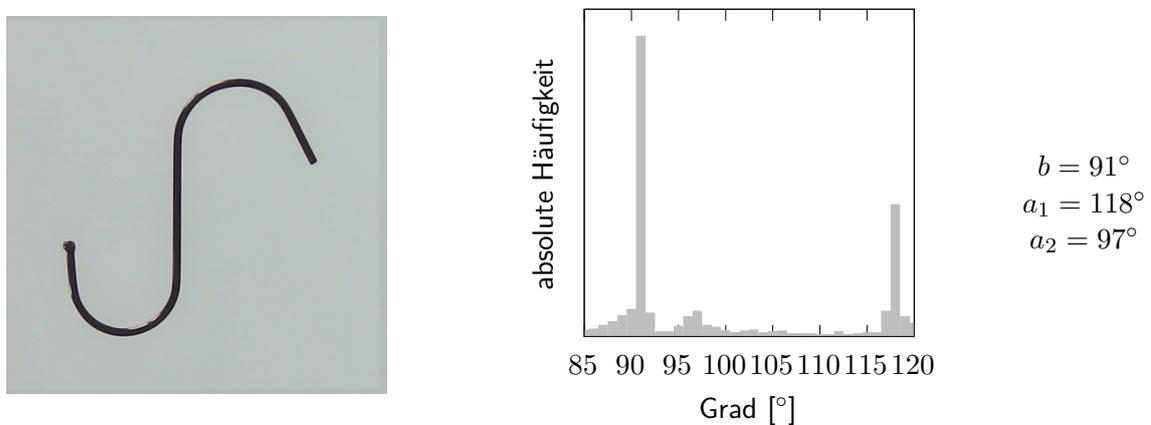


Abbildung 4.10: Belastung einer Spitze S-Haken und zugehöriges Histogramm

beide Nebenmaxima vom Hauptmaximum und der Öffnungswinkel beider Arme steigt. Abbildung 4.10 hingegen bildet einen S-Haken ab, welcher an einer Spitze belastet wurde. Dadurch entsteht die Deformation auch nur auf einem Arm. So vergrößert sich auch nur der Öffnungswinkel α_1 . Beide Haken haben gemeinsam, dass sie das Kriterium 4.3 nicht und 4.2 erfüllen. Somit korrekterweise als defekt einzustufen sind. Anders als bei den Haken, die einen Arm eingebogen haben (Abbildung 4.11). Diese können das Kriterium 4.3 erfüllen, jedoch die Anforderung der Einseitigkeit (Kriterium 4.2) nicht. Der in Abbildung 4.11 exemplarisch gezeigte Haken erfüllt jedoch beide Kriterien nicht.

4.6 Anwendung auf produktiv genutzte Haken

Die theoretisch gefundenen Merkmale zur Beurteilung von S-Haken soll im nächsten Abschnitt an unterschiedlich produktiv genutzte S-Haken angewendet und überprüft werden. Da der Öffnungswinkel von nicht deformierten Haken fehlt, wird an dieser Stelle keine Unterscheidung zwischen deformiert und nicht deformiert vorgenommen. Dies könnte jedoch leicht mit Festlegung von β für den jeweiligen Hakentyp erreicht werden.

Eine gleichmäßige Lackbeschichtung ohne Blasen oder Tropfen wie in Abbildung 4.12 zeigt wie zu

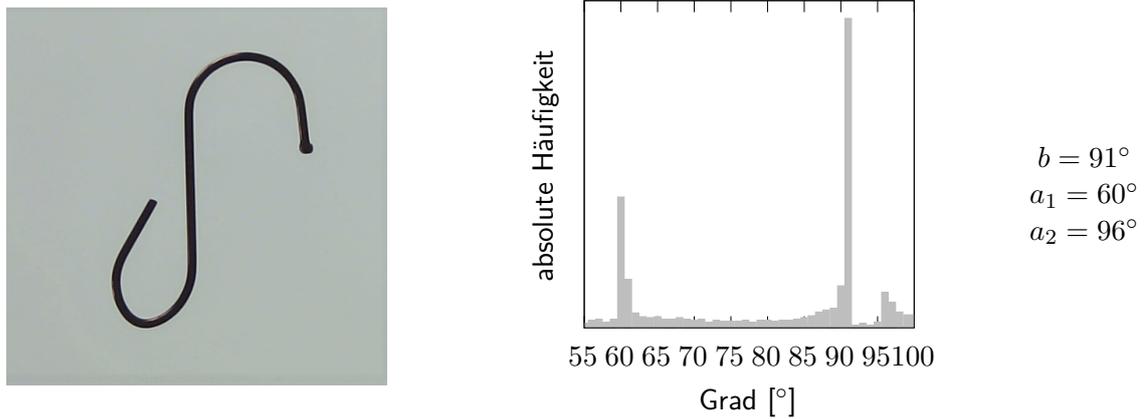


Abbildung 4.11: Verklebten des S-Haken Arms und zugehöriges Histogramm

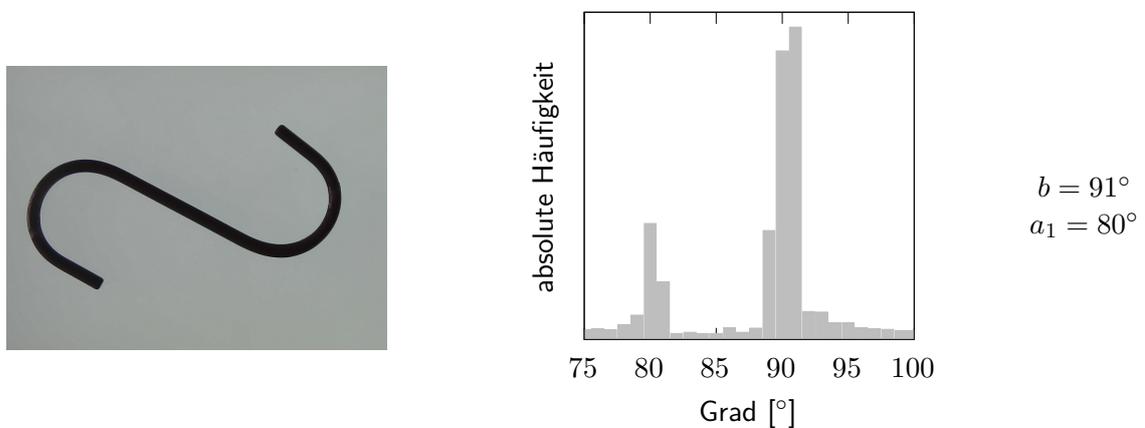


Abbildung 4.12: Produktiv genutzter Haken mit Lack

erwarten ein Histogramm ohne übermäßiges Rauschen (das komplette Histogramm im Anhang Abbildung 8.6). Da ein Arm nahezu parallel zum Rumpf ist, lässt sich dieser nicht im Histogramm sehen. Der zweite Arm, welcher bereits um 11° aufgebogen ist, lässt sich deutlich als Nebenmaximum a_1 bei 80° erkennen. Die Hakenspitzen der Arme, welche eine gerade Fläche mit einem Winkel von etwa 90° zum Rumpf haben, lassen sich im Verhältnis zum Rest nicht erkennen und gehen somit im Rauschen unter. Anders bei dem Haken in Abbildung 4.13. Hier ist im Histogramm 8.8 zwischen 160° und 180° eine kleine Häufung zu erkennen, welche sich vom Rauschen abhebt. Hier lassen sich die beiden fast geraden Flächen der Hakenspitzen im Histogramm als Häufung erkennen.

Die Abbildung 4.14 zeigt einen Haken, welcher vermutlich bereits durch Überlastung aufgebogen wurde (das komplette Histogramm im Anhang Abbildung 8.7). Hier lässt sich jedoch erkennen, dass trotz verhältnismäßig kurzer Arme mit gerader Strecke eine deutliche Häufung bei a_1 aufweisen. Zurückzuführen lässt sich das auf die Arme mit fast identischem Winkel. Dass die Arme nahezu in gleichem Maße aufgebogen wurden, lässt die Vermutung der Überlastung reifen.

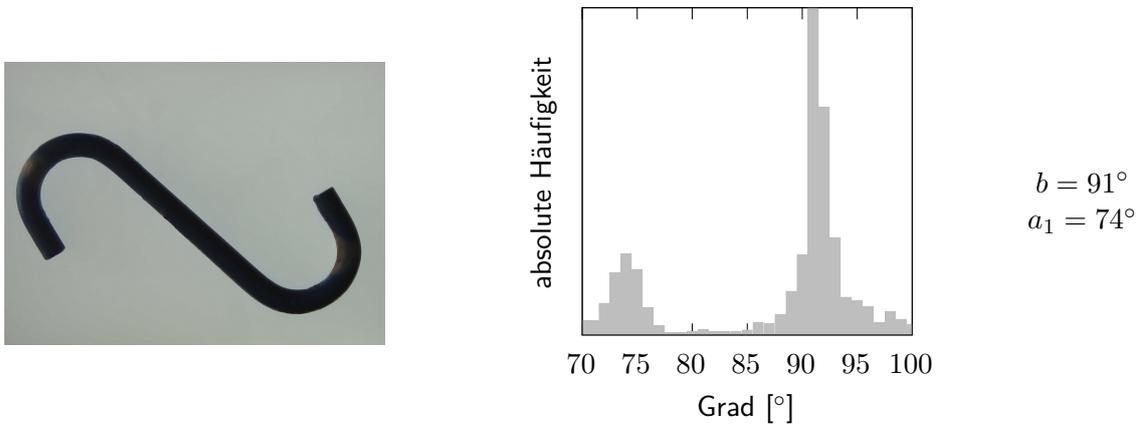


Abbildung 4.13: Produktiv genutzter Haken mit Lack

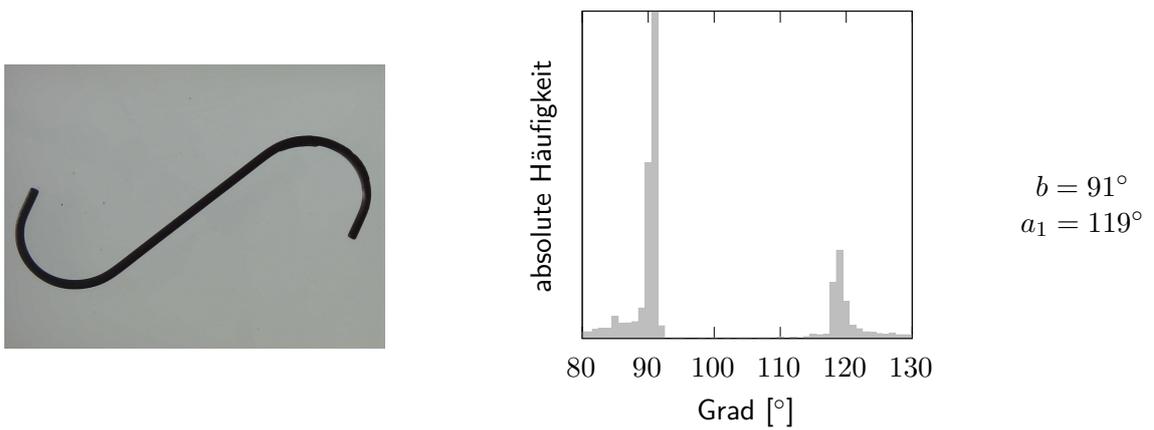


Abbildung 4.14: Produktiv genutzter Haken mit Lack

5 Das System zur Deformationserkennung

Um die Deformationserkennung mittels digitaler Bildverarbeitung zu ermöglichen, bedarf es eines Systems zur Generierung der Rohdaten. Dazu wird unter anderem ein physikalischer Prüfaufbau benötigt, als auch ein entsprechender Algorithmus zur Erzeugung der Datengrundlage und Bildanalyse. Das nachfolgende Kapitel gliedert sich daher in zwei Abschnitte, die diese beiden Kernelemente des Systems einzeln betrachten.

5.1 Physikalischer Prüfaufbau

Die Mittel der digitalen Bildverarbeitung benötigen als Ausgangsmaterial immer Aufnahmen. Für die Bildanalyse sollte eine möglichst gleichbleibende Aufnahmesituation bestehen. Nachfolgender Prüfaufbau ermöglicht dies. Damit die Aufnahmen möglichst kontrastreich werden ist ein Gegenlichtverfahren gewählt, das die Kanten des Prüflings hervorhebt. Auf einen möglichst parallelen Strahlengang ist im Interesse der Messgenauigkeit zu achten. Die Kamera ist mit der Sensorebene parallel zur Ebene des Leuchttisches, sowie mittig über dieser positioniert. Da Streu- bzw. Seiten- und Auflicht negative Einflüsse haben, z.B. durch Reflexionen auf Prüflingen, ist dies ebenfalls zu vermeiden. Dies lässt sich unter anderem durch Abschatten des Prüfaufbaus verhindern.

Die Abbildung 5.1 zeigt den verwendeten Aufbau. Dabei ist die Sensorebene in einer Höhe von 51,50 cm über dem Leuchttisch angebracht und über diesem zentriert. Die Verwendung eines Objektivs mit 6,1 mm Brennweite und eines 1/2,7 Zoll Sensors ermöglicht eine Fläche von ca. 70 cm x 23 cm zu fotografieren. Die nutzbare Fläche als region of interest (ROI) beträgt dabei ca. 31 cm x 20 cm. So ist der maximal mögliche Winkel der Lichtstrahlen 18°. Da die verwendeten Haken nur eine maximale Ausdehnung von ca. 10 cm aufweisen und diese nach Augenmaß mittig in der Aufnahme

¹Für die Erstellung dieser Aufnahme wurde der Versuchsaufbau von vorne und von oben beleuchtet.

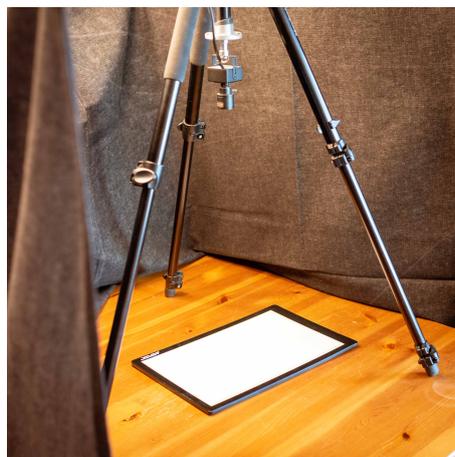


Abbildung 5.1: Versuchsaufbau¹

platziert werden verbessert sich der Winkel auf 6° . Da die Materialstärke der verwendeten S-Haken 3 mm beträgt ist mit einer Fehlmessung von ca. 0,3 mm zu rechnen. Bei Ausnutzung des ROI ist bei diesen Haken einem Fehler von 0,97 mm systemseitig zu erwarten. Gegen störende Lichtquellen ist der verwendete Prüfaufbau von drei Seiten verschlossen. Ein Lichteinfall von oben kann durch den gewählten Standort ausgeschlossen werden.

5.2 Der Algorithmus

Auf die Erstellung der Aufnahmen wird hier nicht näher eingegangen. Der Algorithmus ist für Aufnahmen konzipiert, die bereits kalibriert sind. Wichtig ist die Kalibrierung, um Verzerrungen zu korrigieren, welche sonst zu fehlerhaften Winkelinterpretationen führen. Der Algorithmus ist in Halcon von MVtec entwickelt und wird hier zur besseren Verständlichkeit im Listing 5.1 in einem Pseudoprogrammcode dargestellt. Allgemein notwendige Programmschritte sind hier nur der Vollständigkeitshalber aufgeführt und können in einer Umsetzung jedoch aus mehreren Schritten im Programmcode bestehen. Die Programmschritte für die eigentliche Beurteilung der Haken sind zugunsten der besseren Verständlichkeit auf die inhaltlichen Schritte reduziert und besteht im echten Programmcode aus vielen zum Teil verschachtelten Abfragen und Berechnungen. Der vollständige Halcon Programmcode ist im Anhang im Listing 8.1 zu finden.

In den Zeilen 11 bis 14 wird das Foto für die eigentliche Verarbeitung vorbereitet. Die Zeilen 15 bis 22 entnehmen dem Foto die Kante des Hakens und generieren daraus ein Histogramm. Dabei wird für jeden Punkt auf der Kante eine Tangente berechnet, aus der dann wiederum ein Winkel abgeleitet werden kann. Diese Winkel werden dann in einem Histogramm mit 180 Klassen und einer Klassenbreite von 1° übertragen. Mit der Zeile 23 wird das Histogramm verschoben, so dass die Hakenorientierung in der Aufnahme irrelevant wird. Im nächsten Schritt wird in dem Histogramm nach lokalen Maxima gesucht und in Zeile 26 dann auf die charakteristischen Nebenmaxima reduziert. Hier wird mit der Bedingung gearbeitet, dass es jeweils das 2 bzw. 3 größte Maximum des Histogramms ist. Dabei müssen diese jedoch größer sein als das Rauschen. Zeile 27 bestimmt die Öffnungswinkel α_1 und α_2 , wenn vorhanden. Anschließend wird in Zeile 29 und 31 auf die beiden im Abschnitt 4.5 gefunden Kriterien 4.2 und 4.3 geprüft. Die Zeilen 32 bis 39 werden die Teilergebnisse aus Zeile 29 und 31 zu einer Entscheidung zusammengeführt und als Farbe, rot gleich durchgefallen, grün gleich bestanden, ausgegeben.

```

1 # Parameterfestlegung
2 Rauschen <- 10 # reduziert die gefunden Maxima im Rauschen
3 NebenmaximaMin <- 30 # Mindestgröße für ein charakteristisches Nebenmaximum
4 #
5 Einlesen Images (Dateipfad, Imageliste)
6 # Größe des ersten Images ermitteln
7 Image gröÙe ermitteln (Imageliste, ImageGröße)
8 Fenster anpassen (ImageGröße)
9 ROI festlegen (Image, ROI)
10 for counter <- alle Bilder der Imageliste
11   Image lesen (Image, Imageliste[counter])
12   Image schwarz weiß umwandeln (Image, ImageSW)
13   Image Weichzeichnen (ImageSW, ImageW)
14   Image auf ROI reduzieren (ImageW, ROI, ImageROI)
15   Kantenfindung (ImageROI, ImageKante)
16   Kanten länge (ImageKante, LängeKante)
17   Kanten auswählen (LängeKante, MindestlängeKante, LängeKanteAuswahl)
18   # Winkel für jeden Punkt der Kante ermitteln
19   Kanten Winkel (LängeKanteAuswahl, Winkel)
20   # Winkel auf 0 bis Pi reduzieren

```

```
21 Winkel reduzieren (Winkel, Pi, WinkelReduziert)
22 Histogramm erstellen (WinkelReduziert, 180, Histo) # 180 Histogramm Klassen
23 Histogramm verschieben (Histo, HistoVerschoben)
24 Finden Nebenmaxima (HistoVerschoben, Rauschen, NebenmaximaMin, Nebenmaxima)
25 # Reduzierung auf die beiden größten Nebenmaxima, wenn vorhanden
26 Finden charakteristischer Nebenmaxima (Nebenmaxima, Maxima)
27 Öffnungswinkel bestimmen (Maxima, Öffnungswinkel)
28 # Prüfung des Öffnungswinkels auf Grenzwertüberschreitung Rückgabe nur gut
    oder schlecht
29 Prüfung Öffnungswinkel (Öffnungswinkel, Ergebnis1)
30 # Prüfung auf Einseitigkeit Rückgabe nur gut oder schlecht
31 prüfen Einseitigkeit (Öffnungswinkel, Ergebnis2)
32 if Ergebnis1 = gut und Ergebnis2 = gut
33     # Prüfung bestanden
34     Image darstellen (Image, grün, 'Prüfung bestanden')
35     Stop()
36 else
37     # Prüfung nicht bestanden
38     Image darstellen (Image, rot, 'Prüfung nicht bestanden')
39     Stop()
```

Listing 5.1: Pseudocode des Algorithmusses zur Hakenbeurteilung²

Zur Erstellung eines Prototypen müsste insbesondere in den Zeilen 35 und 39 eine Anpassung erfolgen, z.B. die Anforderung einer Usereingabe oder das Auslösen einer Sortierung. Das Einlesen der Aufnahme in Zeile 11 müsste ebenfalls bei einem Prototypen entsprechend angepasst werden. Hier wird zurzeit aus einem Dateiordner gelesen, was für die Erstellung der Arbeit von Vorteil war.

²Die Zeilen 1 bis 23 im Listing 5.1 sind Codeschnipsel aus Vorlesungsunterlagen bzw. während der Bachelorarbeit, in Zusammenarbeit mit Prof. Dr.-Ing. Georg Passig, entstanden.

6 Kritische Betrachtung und Ausblick

Systembedingt lässt sich aktuell nicht beurteilen, ob beide Arme zum Rumpf hin eingebogen sind. Hier wird es zu einer fehlerhaften Beurteilung des Hakens kommen. Aufgrund der anzunehmenden geringen Häufigkeit dieses Fehlers ist im Rahmen dieser Arbeit darauf nicht weiter eingegangen worden. Schwierigkeiten bereitet dem System ebenfalls, wenn beide Arme Tangenten parallel zueinander sind. Das lässt sich zwar begrenzt abfangen, indem nicht zwangsweise zwei charakteristische Nebenmaxima erwartet werden, macht das System aber für eine Fehlinterpretationen anfällig. Eine mögliche Optimierung wäre hier, die Haken entlang des Rumpfes nochmals in zwei einzelne Bereiche (Abbildung 6.1) zu unterteilen, welche separat beurteilt werden. Dadurch würden mehrere Ergebnisse (Haken gesamt, Haken „linker Arm“, Haken „rechter Arm“) entstehen. Diese könnten dann miteinander verglichen werden und zu einem Gesamtergebnis zusammengeführt werden. Die Anforderung der DGUV, dass auch auf Verdrehung zu prüfen ist, lässt sich mit dem System ohne weitere Aufnahme noch nicht realisieren. Hier wäre eine Betrachtung aus einer Ebene senkrecht zur aktuellen Aufnahmeebene notwendig. Diese würde eine Art Stab zeigen, wenn der Haken keine Torsionsverformungen aufweist. Damit würde sich im Histogramm ein einzelnes Maximum wie in Abbildung 4.5 zeigen. Alternativ könnten auch Haken, die mit Auflicht erstellt wurden, beurteilt werden. Dabei wäre die entstehende Schattenzeichnung zu analysieren. Für eine direkte Implementierung des Algorithmusses in einen Prototyp fehlt noch die Einbettung in eine Umgebung mit Userinteraktion und die Generierung von Aufnahmen. Diese sind im Rahmen der Arbeit mit einem Python Code in Verbindung mit Open CV entstanden und auch in diesem kalibriert worden. Die größte Schwäche des aktuellen Algorithmusses ist noch das Fehlen einer Selbstprüfung. Hier wäre z.B. eine Überprüfung auf die Rechtwinkligkeit des ROIs denkbar. Damit könnte sichergestellt werden, dass nach der Kalibrierung keine Veränderungen mehr am Prüfaufbau vorgenommen wurden.

Erste Versuche mit anderen Haken bzw. Karabinerhaken zeigen vielversprechende Charakteristiken, welche sich mit leichten Anpassungen des Systems ebenfalls zur Beurteilung dieser nutzen lassen sollten. Weiter vielversprechende Kandidaten sind Schäkkel oder Ketten. Das System bietet sich für zwei Gruppen von Anwendern auf Grund seiner Einfachheit und der geringen Beeinflussung durch den Bediener an. Hier sind zum einen sachkundige Prüfer. Bei denen das Verfahren zwar keine Prüfung durch einen Sachkundigen ersetzt, aber diesen dabei erheblich unterstützen kann um sich z.B. nur

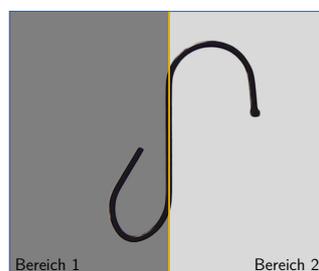


Abbildung 6.1: Hakenteilung in zwei Bereiche

auf die gut befundeten Haken konzentrieren zu können. Das System ermöglicht es auch Mitarbeitern routinemäßig engmaschig Anschlagsmittel, ohne Prüffachkenntnisse, auf Deformation zu prüfen. Eine interessante weitere Möglichkeit könnte bei Anpassung auf Karabinerhaken auch der Einsatz im Bereich des Industrielletterns, der Höhen- und Bergrettung und nicht zuletzt dem Bergsport sein, da hier sehr engmaschige Kontrollen auf der Tagesordnung stehen.

Damit das System nutzbar wird und weiter reift, müsste es nun als Prototyp umgesetzt werden. Denkbar wäre eine Umsetzung auf einem Raspberry Pi mit integrierter Kamera und einem kleinen Touchdisplay. Für die Bildanalyse könnte entweder die mit erheblichen Lizenzgebühren verbundene Codeexport aus Halcon heraus vorgenommen oder beispielsweise mit Python und Open CV nachprogrammiert werden. Für die Umsetzung auf den Prototyp sind vermutlich noch mal 160 bis 320 Mannstunden Arbeitszeit anzusetzen.

7 Fazit

Das System zur kamerabasierten Erkennung von Deformationen an Lastanschlagsmitteln durch Bildanalyse ist in der Lage bedienerunabhängig Deformationen im zweidimensionalen zu erkennen. Anforderungen wie ein Erkennen von Deformationen auch bei Verschmutzung z.B. durch Lackschichten sind damit realisierbar. Zudem ist das System in der Lage, mit unterschiedlichen räumlichen Ausdehnungen der Haken klar zu kommen. Mit dem Grenzwinkel wurde ein leicht zu bestimmender Parameter gefunden, welcher das Anpassen des Systems auf andere S-Haken oder Anschlagsmitteln ermöglicht. Ein großer Vorteil des Systems ist, dass es sich theoretisch ohne einen Prüfling auf später zu prüfende Prüflinge anpassen lässt. Für S-Haken im speziellen würde nur der wahre Wert für den im Produktionsprozess angepeilten Öffnungswinkel genügen um das System auf diesen Hakentyp an zu passen. Vorversuche mit Karabinerhaken und einseitig geschlossene S-Haken zeigen, dass das System grundsätzlich auch auf diese Hakentypen angewendet werden kann. Dazu sind allerdings weitere Anpassungen nötig.

8 Anhang

8.1 Histogramme

Nach stehend alle zuvor abgebildeten Histogramme nochmal in voller Breite von 0° bis 180° .

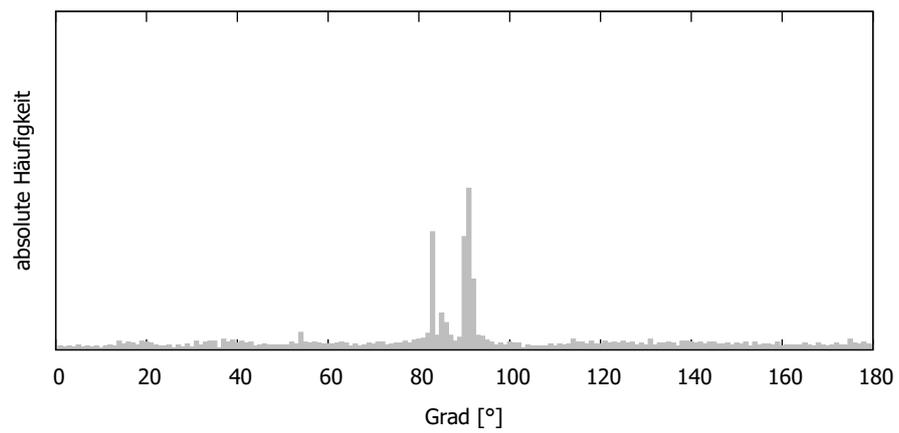


Abbildung 8.1: Histogramm eines nicht deformierten S-Hakens

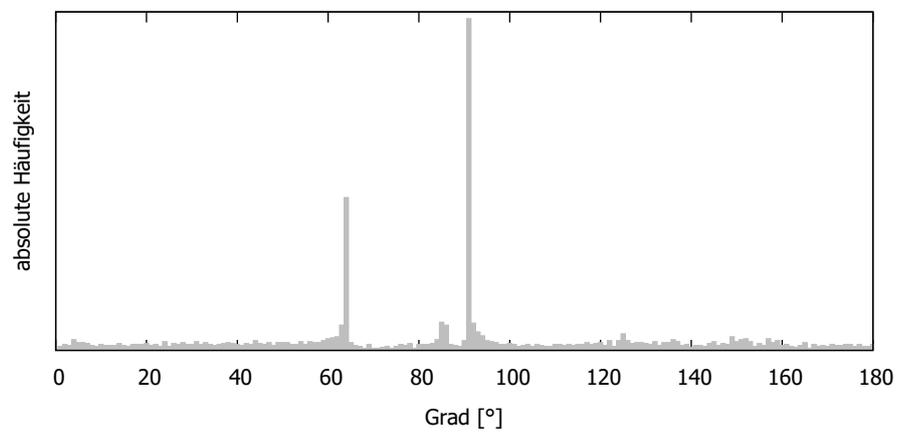


Abbildung 8.2: Histogramm eines deformierten S-Hakens

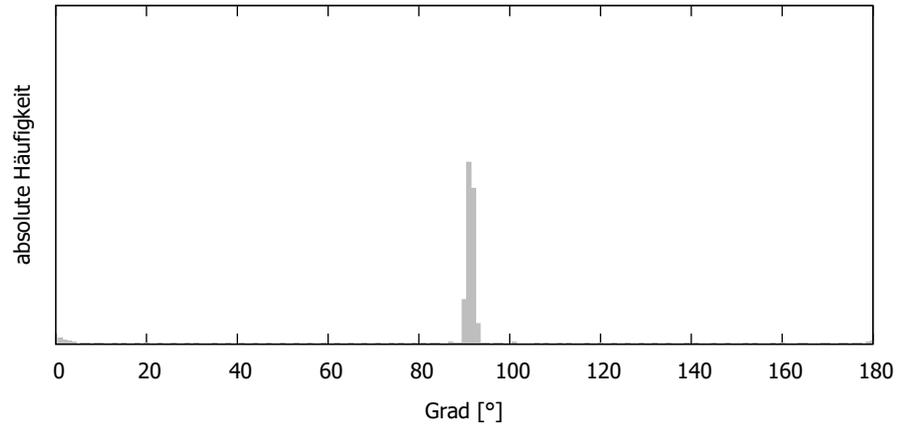


Abbildung 8.3: Histogramm eines Stabes

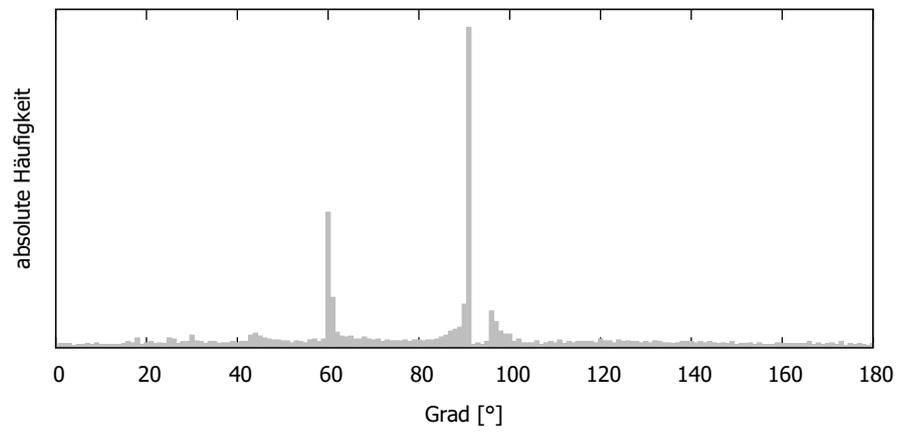


Abbildung 8.4: Histogramm eines S-Hakens mit eingebogenem Arm

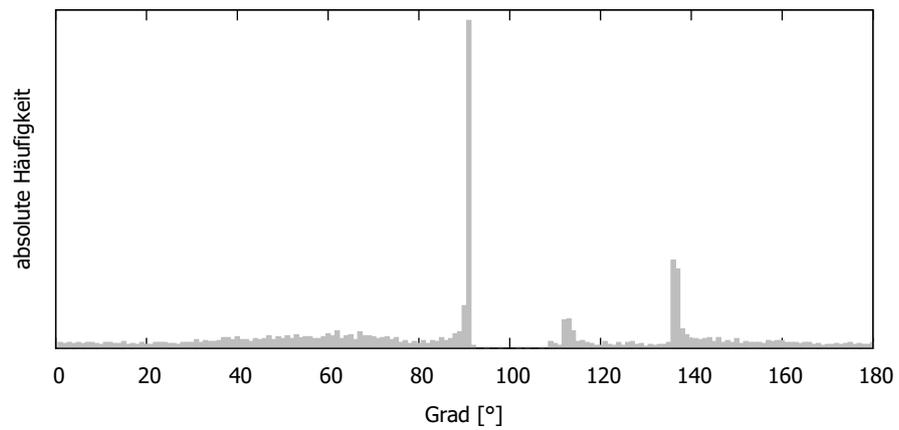


Abbildung 8.5: Histogramm eines überlasteten S-Hakens

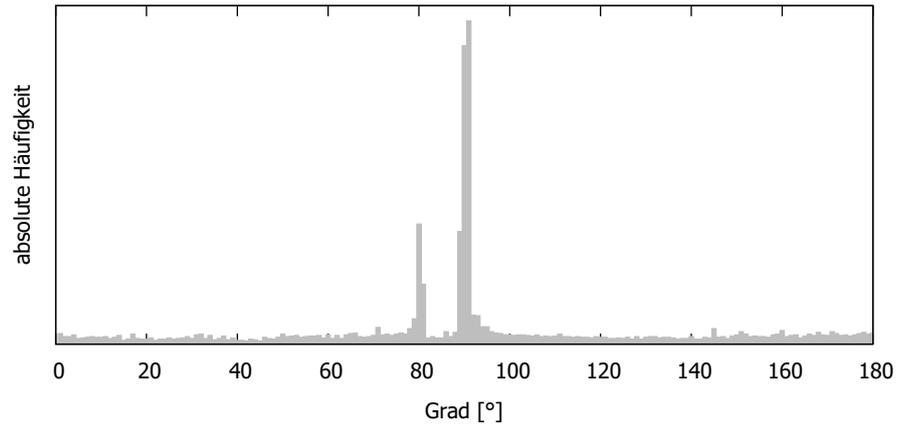


Abbildung 8.6: Histogramm eines produktiv genutzten S-Hakens

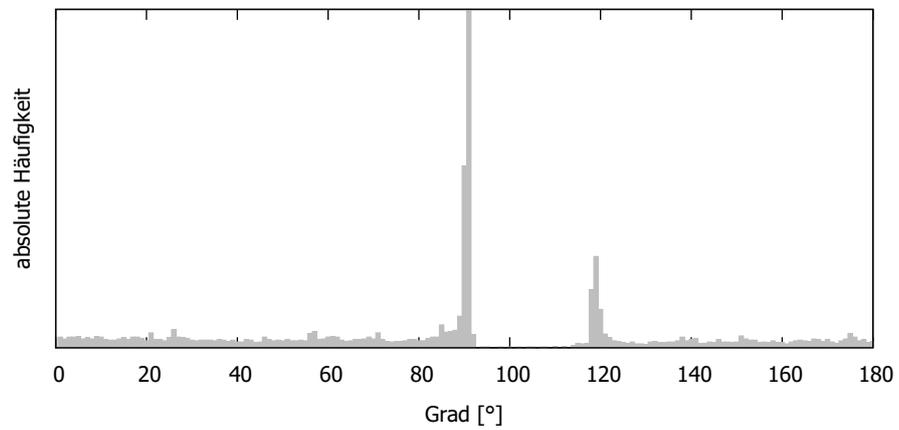


Abbildung 8.7: Histogramm eines produktiv genutzten S-Hakens

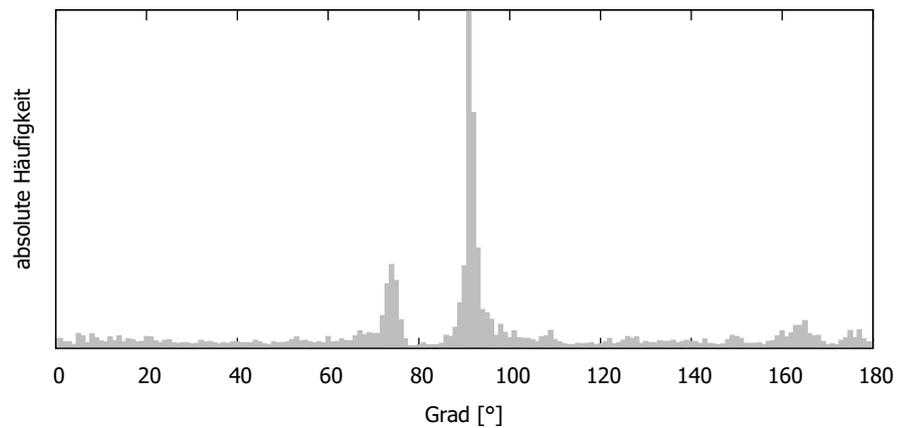


Abbildung 8.8: Histogramm eines produktiv genutzten S-Hakens

8.2 Algorithmus Halcon Code

```

1 list_files ('M:/Halcon/CallibriertLinksEinbiegen', ['files','recursive'], Files)
2 * passendes Fenster erstellen
3 read_image (Image, Files[0])
4 get_image_size (Image, Width, Height)
5 dev_close_window ()
6 dev_open_window (0, 0, Width/2, Height/2, 'black', WindowHandle)
7
8 * ROI automatisch festlegen
9 rgb1_to_gray (Image, GrayImage)
10 binary_threshold (GrayImage, Region, 'max_separability', 'light', UsedThreshold)
11 closing_rectangle1 (Region, RegionClosing, 15, 15)
12 erosion_rectangle1 (RegionClosing, RegionErosion, 41, 41)
13 fill_up (RegionErosion, ROI)
14
15 dev_update_off ()
16 * für alle Bilder nacheinander
17 for INum := 0 to |Files|-1 by 1
18     read_image (Image, Files[INum])
19     rgb1_to_gray (Image, GrayImage)
20     smooth_image (GrayImage, ImageSmooth, 'deriche2', 0.5)
21     reduce_domain (ImageSmooth, ROI, ImageReduced)
22     edges_sub_pix (ImageReduced, Edges, 'canny', 1, 10, 30)
23     length_xld (Edges, Length1)
24     select_contours_xld (Edges, SelectedContours, 'contour_length', 100,
25     99999999, -0.5, 0.5)
26     union_adjacent_contours_xld (SelectedContours, UnionContours, 100, 10, '
27     attr_keep')
28     get_contour_angle_xld (UnionContours, 'abs', 'mean', 7, Angles)
29     tuple_fmod (Angles, 3.1415, Anglesmod)
30     tuple_histo_range (Anglesmod, 0, 3.1415, 180, Histo, BinSize)
31     gen_region_histo (Historegion, Histo, Height/2, Width/2, 1)
32     *Bewertung
33     tuple_max (Histo, Max)
34     tuple_find (Histo, Max, Indices)
35     tuple_concat (Histo, Histo, HistoDouble)
36     tuple_concat (HistoDouble, Histo, HistoTriple)
37     tuple_select_range (HistoTriple, Indices[0]-90+180, Indices[0]+89+180,
38     Histoshift)
39     gen_region_histo (HistoregionShift, Histoshift, Height/2, Width/2, 1)
40     zoom_region (HistoregionShift, RegionZoom, 3, 2)
41
42     *Histogramm verlängern
43     tuple_concat (Histoshift, Histoshift, HistoshiftDoubl)
44     *Tuple mit allen Maxim
45     tuple_gen_const (181, 0, Maxima)
46     *Maxima alle lokalen Maxima finden
47     for RNum := 0 to 179 by 1
48         if (HistoshiftDoubl[RNum] < HistoshiftDoubl[RNum+1])
49             if (HistoshiftDoubl[RNum+2] < HistoshiftDoubl[RNum+1])
50                 Maxima[RNum+1] := HistoshiftDoubl[RNum+1]
51             endif
52         endif
53     endfor
54     *Parameter Rauschen
55     Rauschen := 20
56     *Parameter Grenzwert
57     Grenzwert := 9
58     *Nebenmaxima finden
59     HistoshiftDoubl[0] := HistoshiftDoubl[180]

```

```

57 tuple_max (Maxima, Maxmal)
58 tuple_find (Maxima, Maxmal, Index)
59 Hauptmaximum := Index
60 Maxima[Index] := 0
61 tuple_max (Maxima, Maxmal)
62 tuple_find (Maxima, Maxmal, Index)
63 NebenmaxA := Index
64 GutA := 0
65 GutB := 0
66 if (Maxmal > Rauschen)
67   Alpha := Hauptmaximum - NebenmaxA
68   if (Alpha < 0)
69     Alpha := Alpha * (-1)
70   endif
71   if (Alpha < Grenzwert)
72     GutA := 2
73   endif
74   Maxima[Index] := 0
75   tuple_max (Maxima, Maxmal)
76   tuple_find (Maxima, Maxmal, Index)
77   NebenmaxB := Index
78   if (Maxmal > Rauschen)
79     Alpha := Hauptmaximum - NebenmaxB
80     if (Alpha < 0)
81       Alpha := Alpha * (-1)
82     endif
83     if (Alpha < Grenzwert)
84       GutB := 2
85     endif
86   else
87     GutB := 1
88   endif
89 else
90   *Fals Haken Arme gleich Rumpf hier die Wertung auf Gut
91   GutA := 1
92   GutB := 1
93 endif
94 *Einseitigkeit sicherstellen
95 if (GutA = 2)
96   if (GutB = 2)
97     if (NebenmaxA < Hauptmaximum)
98       if (NebenmaxB < Hauptmaximum)
99         GutA := 1
100        GutB := 1
101      endif
102    else
103      if (NebenmaxB > Hauptmaximum)
104        GutA := 1
105        GutB := 1
106      endif
107    endif
108  else
109    GutA := 1
110  endif
111 endif
112 *Schlussbewertung vornehmen
113 if (GutA = 1)
114   if (GutB = 1)
115     dev_set_color ('green')
116   else
117     dev_set_color ('red')

```

```
118     endif
119     else
120         dev_set_color ('red')
121     endif
122     *Anzeige
123     dev_clear_window ()
124     dev_display (GrayImage)
125     dev_set_draw ('margin')
126     dev_display (ROI)
127     dev_set_draw ('fill')
128     set_tposition (WindowHandle, 24, 12)
129     write_string (WindowHandle, Files[INum])
130
131     dev_display (RegionZoom)
132     dev_display (UnionContours)
133         dev_set_colored (12)
134     stop ()
135
136 endfor
```

Listing 8.1: Algorithmus zur Hakenbeurteilung kompletter Halcon Code¹

¹Die Zeilen 1 bis 37 im Listing 8.1 sind Codeschnipsel aus Vorlesungsunterlagen bzw. während der Bachelorarbeit, in Zusammenarbeit mit Prof. Dr.-Ing. Georg Passig, entstanden.

Abbildungsverzeichnis

0.1	Bezeichnung der Teile eines S-Hakens	II
4.1	Varianten der Deformation: v.l.n.r. Überlastung, Belastung einer Spitze, Verklebung eines Arms	8
4.2	Idealisiertes Histogramm der Winkel	8
4.3	S-Haken nicht deformiert und zugehöriges Histogramm	10
4.4	S-Haken deformiert und zugehöriges Histogramm	10
4.5	Einfacher Stab und zugehöriges Histogramm	11
4.6	S-Haken und Spiegelung in XY-Koordinatenebene	12
4.7	Histogramm zu Abbildung 4.6 links	12
4.8	Wahrscheinlichkeitsnetz der Öffnungswinkel	14
4.9	Überlasteter S-Haken und zugehöriges Histogramm	15
4.10	Belastung einer Spitze S-Haken und zugehöriges Histogramm	15
4.11	Verkleben des S-Haken Arms und zugehöriges Histogramm	16
4.12	Produktiv genutzter Haken mit Lack	16
4.13	Produktiv genutzter Haken mit Lack	17
4.14	Produktiv genutzter Haken mit Lack	17
5.1	Versuchsaufbau	18
6.1	Hakenteilung in zwei Bereiche	21
8.1	Histogramm eines nicht deformierten S-Hakens	24
8.2	Histogramm eines deformierten S-Hakens	24
8.3	Histogramm eines Stabes	25
8.4	Histogramm eines S-Hakens mit eingebogenem Arm	25
8.5	Histogramm eines überlasteten S-Hakens	25
8.6	Histogramm eines produktiv genutzten S-Hakens	26
8.7	Histogramm eines produktiv genutzten S-Hakens	26
8.8	Histogramm eines produktiv genutzten S-Hakens	26

Literaturverzeichnis

DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG E.V., DGUV (Herausgeber), 2020. *DGUV Regel 109-017: Betreiben von Lastaufnahmemitteln und Anschlagmitteln im Hebezeugbetrieb* **online**Berlin: DGUV [besucht am 2022-01-04]. Abgerufen unter: <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-regeln/3920/betreiben-von-lastaufnahmemitteln-und-anschlagmitteln-im-hebezeugbetrieb>.

TIMISCHL, Wolfgang, 2012. *Qualitätssicherung: statistische Methoden*. 4., [aktualisierte] Auflage. München: Hanser. ISBN 978-3-446-43238-3.