

---

# **BACHELORARBEIT**

---

Herr  
**Tao Zhang**

**Experimenteller Vergleich von  
Messverfahren für die Topo-  
grafiemessung gestrahlter  
Oberflächen**

Mittweida, 2021



Fakultät Ingenieurwissenschaften

---

# **BACHELORARBEIT**

---

## **Experimenteller Vergleich von Messverfahren für die Topo- grafiemessung gestrahlter Oberflächen**

Autor:

**Herr**

**Tao Zhang**

Studiengang:

**Elektro- und Informationstechnik**

Seminargruppe:

**EI17sA-BC**

Erstprüfer:

**Prof. Dr.-Ing. Renè Pleul**

Zweitprüfer:

**Prof. Dr.-Ing. Marco Gerlach**

Einreichung:

**Mittweida, 04.06.2021**

Verteidigung/Bewertung:

**Chemnitz, 2021**

Faculty of Engineering

---

# **BACHELOR THESIS**

---

## **Experimental comparison of measurement methods for the topography measurement of blasted surfaces**

author:

**Mr.**

**Tao Zhang**

course of studies:

**Electrical and Information Technology**

seminar group:

**EI17sA-BC**

first examiner:

**Prof. Dr.-Ing. Renè Pleul**

second examiner:

**Prof. Dr.-Ing. Marco Gerlach**

submission:

**Mittweida, 04.06.2021**

defence/ evaluation:

**Chemnitz, 2021**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Zhang, Tao:

Experimenteller Vergleich von Messverfahren für die Topografiemessung gestrahlter Oberflächen.

65 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,

Fakultät Elektro- und Informationstechnik, Bachelorarbeit, 2021

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Motivation</i>	1
1.2 <i>Hauptaufgaben</i>	1
1.3 <i>Kapitelübersicht</i>	2
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Grundlage der Oberflächenmessung</i>	3
2.1.1 Messverfahren	3
2.1.1.1 Taktiles Tastschnittmessverfahren [2]	4
2.1.1.2 Optisches Fokusvariationsmessverfahren [3]	5
2.1.1.3 Messsystem Confovis TOOLinspect [4]	5
2.1.2 Oberflächenkenngrößen zur Beschreibung der Oberflächeneigenschaft	8
2.1.2.1 2D-Oberflächenkenngrößen(Profil) [5]	8
2.1.2.2 3D-Oberflächenkenngrößen(Topografie) [6][7]	9
2.2 <i>Statistischer Test der Oberflächendaten</i>	12
2.2.1 Anderson-Darling-Test [8]	12
2.2.2 t-Test und F-Test [9]	13
2.3 <i>Software</i>	16
2.3.1 MountainsMap8.2	16
2.3.2 MATLAB	16
<b>3 Statistische Eigenschaft von Verteilung der gemessenen Oberflächen</b>	<b>17</b>
3.1 <i>Verarbeitung der Daten mit MATLAB</i>	17
3.2 <i>Analyse der Verteilungseigenschaft der Oberflächen</i>	18
<b>4 Einfluss von Messfeldgröße und Auflösung als Messgröße auf die Messergebnisse</b>	<b>21</b>

---

4.1	<i>Variation der Messfeldgröße .....</i>	21
4.2	<i>Variation der Auflösung.....</i>	28
<b>5</b>	<b>Vergleich der Topografiemessung mittels verschiedener Messverfahren</b>	<b>31</b>
5.1	<i>Verarbeitung der Daten mit Software MountainsMap .....</i>	31
5.2	<i>Datenanalyse für verschiedene Messverfahren.....</i>	34
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>37</b>
6.1	<i>Zusammenfassung .....</i>	37
6.2	<i>Ausblick .....</i>	37
<b>Literatur</b>	<b>.....</b>	<b>39</b>
<b>Anlagen</b>	<b>.....</b>	<b>41</b>
<b>Anlagen, Teil 1</b>	<b>.....</b>	<b>III</b>
<b>Anlagen, Teil 2</b>	<b>.....</b>	<b>X</b>
<b>Anlagen, Teil 3</b>	<b>.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b>		

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Grundaufbau eines induktiven Tastsystems für die Rauheitsmessung [2].....	4
Abbildung 2 Bauarten von Bezugsflächentastsysteme [2] .....	4
Abbildung 3 Fokusvariationsmessverfahren [3] .....	5
Abbildung 4 TOOLinspect Oberflächenmesssystem von Confovis GmbH [4] .....	6
Abbildung 5 Funktionsprinzip des Messsystems Confovis TOOLinspect [4] .....	7
Abbildung 6 Prinzip der Topographiebestimmung am Beispiel einer Kugelkappe (oben Schnittansicht, unten Draufsicht) [4] .....	7
Abbildung 7 AD-Test für Normalverteilung ( <a href="https://www.mathworks.com/help/stats/">https://www.mathworks.com/help/stats/</a> ) [8] .	12
Abbildung 8 Übersicht den Schritten des statistischen Tests [9].....	13
Abbildung 9 Schritte für F-Test [9] .....	14
Abbildung 10 Funktion von Varianz in Microsoft Excel .....	14
Abbildung 11 Funktion von F-kritisch in Microsoft Excel .....	14
Abbildung 12 Schritte für t-Test [9] .....	15
Abbildung 13 Funktion von Mittelwert in Microsoft Excel .....	15
Abbildung 14 Funktion von t-kritisch in Microsoft Excel .....	15
Abbildung 15 Sq-Wert von Stahl_4000_0,5mm und Wahrscheinlichkeitsdichtediagramm	18
Abbildung 16 originale Topografie von falschen Daten.....	19
Abbildung 17 neues Ausreißer-entferntes Wahrscheinlichkeitsdiagramm.....	19
Abbildung 18 Ergebnisse von F-Test der Oberfläche 4000_AlU auf Messfeldgröße .....	21
Abbildung 19 Ergebnisse von t-Test der Oberfläche 4000_AlU auf Messfeldgröße.....	22



---

Abbildung 20 Punkt(XY)-Diagramm erstellen .....	22
Abbildung 21 Darstellung der Höheparameter Sa und Sq von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße .....	23
Abbildung 22 Darstellung der Verteilungsparameter Ssk und Sku von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße .....	24
Abbildung 23 Darstellung der Höheparameter Sp, Sv und Sz von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße .....	25
Abbildung 24 Darstellung der Smr, Smc und Sxp von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße .....	27
Abbildung 25 Darstellung der Sal von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße .....	27
Abbildung 26 Funktion „Resampeln“ in MountainsMap8.2 .....	29
Abbildung 27 Topografien von taktilen(oben) und optischen(unten) Messverfahren.....	32
Abbildung 28 gleiche Bereich der Probe von taktilen(oben) und optischen(unten) Messverfahren .....	32
Abbildung 29 3D-Ansicht des gleichen Messfelds von taktilen(oben) und optischen(unten) Messverfahren .....	33
Abbildung 30 gleiche Auflösung von taktilen(link) und optischen(recht) Messverfahren ..	33
Abbildung 31 graphische Vergleich der Kenngrößen .....	35
Abbildung 32 Hauptmenü des MountainsMap8.2 .....	III
Abbildung 33 Analyseablauf des MountainsMap8.2 .....	IV
Abbildung 34 Extrahieren Schichten gemessener Oberfläche.....	IV
Abbildung 35 Funktion „3D-Ansicht“ in MountainsMap8.2 .....	V
Abbildung 36 Zeigen der 3D-Ansicht gemessener Oberfläche .....	V
Abbildung 37 Funktion „Ausrichten“ in MountainsMap8.2.....	V
Abbildung 38 Vorher/Nachher-Vergleich der Ausrichtung .....	VI

Abbildungsverzeichnis	V
Abbildung 39 Funktion „Ausreißer entfernen“ in MountainsMap8.2 .....	VI
Abbildung 40 Vorher/Nachher-Vergleich des Ausreißer-Entfernen .....	VI
Abbildung 41 Funktion „Nicht-gemessene Punkte ausfüllen“ .....	VII
Abbildung 42 Vorher/Nachher-Vergleich der Ausfüllung der Punkte .....	VII
Abbildung 43 Funktion „Bereich extrahieren“ in MountainsMap8.2 .....	VIII
Abbildung 44 Extrahieren kleinere Bereich .....	VIII
Abbildung 45 Funktion „Parametertabelle“ in MountainsMap8.2 .....	VIII
Abbildung 46 Fenster der Parameterauswahl .....	IX
Abbildung 47 Tabelle berechneten Parametern .....	IX
Abbildung 48 Ausgewählte Zahlenwert zur F-Verteilung 95% .....	X
Abbildung 49 Ausgewählte Zahlenwerte zur t-Verteilung für zweiseitigen Vertrauensbereich .....	XI

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Ergebnisse von AD-Test.....	17
Tabelle 2 neue Ausreißer-entfernte Ergebnisse von AD-Test .....	20
Tabelle 3 veränderte Auflösung in der Z-Achse in 1,5x1,5mm Messfeldgröße .....	30
Tabelle 4 Ergebnisse von F-test(oben) und t-Test(unten) der Oberfläche 4000_Aluminium auf Auflösung.....	30
Tabelle 5 zusammengestellte Daten von taktilen und optischen Messverfahren .....	34
Tabelle 6 berechnet t-Wert und kritische t-Wert .....	34

## Abkürzungsverzeichnis

**2D/3D**      zwei-/dreidimensional

**LED**        Light Emitting Diode

**ISO**        International Standardizing Organization

**DIN**        Deutsche Industrie Norm(en)

**Rpm**        Revolutions per minute



# 1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die Motivation sowie die Hauptaufgaben dieser Bachelorarbeit vorgestellt. Außerdem erfolgt eine Übersicht zu den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit.

## 1.1 Motivation

Wir kommen in unserem täglichen Leben mit verschiedenen Oberflächen in Kontakt. Die Eigenschaften dieser Oberflächen sind unterschiedlich: glatt, rau, uneben oder flach. So groß wie die verschiedenen Landformen auf der Erde, in denen wir uns befinden, so klein wie die Oberfläche jedes winzigen Objekts. Dies ist die intuitivste und äußerste Manifestation eines Objekts und auch das direkteste beobachtbare und wahrnehmbare Merkmal eines Objekts.

Die meisten natürlichen Oberflächen sind komplex und die Ursache der Bildung ist ebenfalls sehr zufällig, was die Messung, Inspektion und Analyse schwierig macht. Die technisch hergestellte Oberfläche wird mit standardisierter Verarbeitung künstlich hergestellt und kann einfach und schnell gemessen werden. Unterschiedliche Oberflächenbearbeitungsverfahren haben ihre eigenen Eigenschaften. Es gibt viele Methoden zur Messung technischer Oberflächen. Optische und taktile Methoden haben ihre eigenen Vor- und Nachteile, und es gibt auch Unterschiede bei den Messergebnissen. Würde also das Messen mit unterschiedlichen Verfahren für ein und dasselbe Teil einen Unterschied in den Werten der Oberflächenparameter bewirken? Wenn ja, beeinflussen die Unterschiede unsere Bewertung der Oberfläche und verursachen Fehler in der Interpretation der Ergebnisse? Wenn ja, wie groß wird der Fehler sein. Das wird in dieser Arbeit untersucht.

## 1.2 Hauptaufgaben

Auf der Grundlage der obigen Ausführungen sind folgende Aufgaben zu lösen:

- Analyse der statistischen Eigenschaften der Verteilung der Oberflächenmerkmale
- Variation von Messfeldgröße und Auflösung als Messgrößen und deren Einfluss auf die Messdaten
- Experimenteller Vergleich von den Messdaten zwischen taktilem Tastschnittmessverfahren und optischer Fokusvariationsmessverfahren

## 1.3 Kapitelübersicht

Die Bachelorarbeit besteht aus fünf Kapiteln.

Im Kapitel 2 werden der Stand der Technik und die Grundlagen der Oberflächenmessung vorgestellt, die verschiedene Messverfahren, 2D- und 3D-Oberflächenkenngrößen sowie statistische Prüfung, z.B. t-Test, F-Test und Anderson-Darling-Test. Außerdem wird Messgerät und verwendete Software dargestellt.

Anschließend werden die statistischen Eigenschaften wie Verteilungsmerkmale der gemessenen Daten im Kapitel 3 vorgestellt. Es wird mittels statistischem Anderson-Darling-Test überprüft, welche Oberflächenkenngrößen zu der Verteilung passen.

Im Anschluss im Kapitel 4 wird der Einfluss von Messbedingungen untersucht. Durch die Steuerung der Messgrößen kann man Messdaten beobachten und analysieren, ob die Messbedingungen einen Einfluss haben und wie groß dieser ist.

Im Kapitel 5 werden unterschiedliche Messverfahren mit den gleichen Messbedingungen verwendet um die Daten zu messen. Die gewonnenen Daten werden dann analysiert und verglichen, um festzustellen, ob das Messverfahren die Messung der Oberfläche beeinflusst.

Schließlich werden im Kapitel 6 die Resultate der einzelnen Kapitel der Bachelorarbeit noch einmal zusammengefasst. Auch wird der Ausblick in diesem Kapitel dargestellt.

## 2 Stand der Technik

In diesem Abschnitt wird der Stand der Technik zur Oberflächenmessung vorgestellt. Der Stand wird in drei Punkten dargestellt, nämlich der Grundlage der Oberflächenmessung, der Messgeräte und der Software, mit der die Daten zu analysieren sind, die sich aus den Berechnungen des Prinzips und der Geräte ergeben, der statistische Test, um die Daten zu testen.

### 2.1 Grundlage der Oberflächenmessung

Jedes Bauteil hat seine eigene spezielle technische Oberfläche. Diese Oberfläche bestimmt die Geometrie des Teils sowie die physikalischen und chemischen Eigenschaften seines Oberflächenrandbereichs bis zu einer Tiefe von 100  $\mu\text{m}$  [1]. Die kleinste für das menschliche Auge sichtbare Einheit ist genau 100 Mikrometer, der Durchmesser eines Haares. Man kann die Rauheit der Oberflächentextur direkt sehen und möglicherweise zwischen Oberflächen unterscheiden, die mit unterschiedlichen Verfahren oder mit demselben Verfahren, aber mit unterschiedlichem Behandlungsgrad hergestellt wurden, wie z. B. gestrahlte Oberflächen. Aber es ist nicht möglich, die Eigenschaften der Oberfläche deutlicher zu beobachten, also wird die Oberfläche mit Hilfe von präziseren Geräten beobachtet, die die Einheit auf 1 Mikrometer oder sogar 0,1 Mikrometer bzw. die Nanometerebene reduzieren. Mit diesen Geräten können die Oberflächenkenngößen gemessen werden. Mit diesen Daten wird dann durch statistische Berechnungen eine Serie von Oberflächenparametern ermittelt. Diese Oberflächenparameter können verwendet werden, um die Oberfläche eines Bauteils zu charakterisieren. Dies sind grundsätzliche Oberflächenmesstechniken und ihre Anwendungen.

#### 2.1.1 Messverfahren

Es gibt viele Gründe für Unterschiede in den Messdaten, und Unterschiede in den Messverfahren sind einer davon, wie z.B. taktiles Tastschnittmessverfahren und optisches Messverfahren.

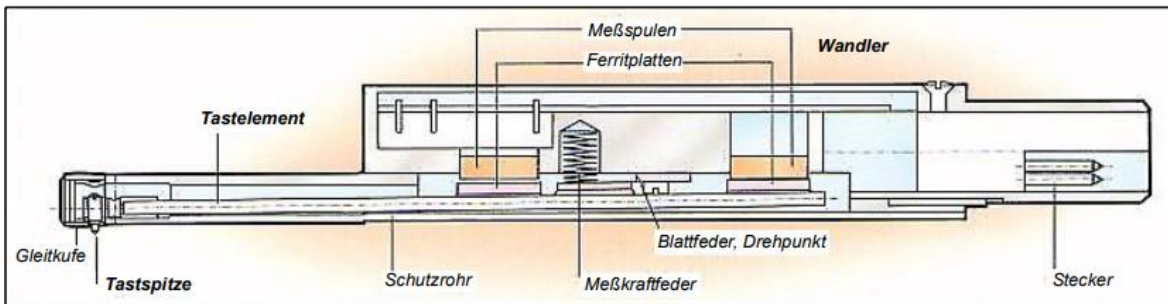
Bei dem Tastschnittmessverfahren wird mit einem Taster bzw. mit einer Tastnadel Kontakt mit der Oberfläche hergestellt und die Daten berechnet und ein Profil erzeugt. Das optische Verfahren nutzt das optische Prinzip zur Messung der Oberfläche mit Hilfe eines Lichtmikroskops. Die Messungen werden durch Variation der Brennweite auf der Z-Achse durchgeführt, jeder Messpunkt wird aufgezeichnet und abgebildet.



### 2.1.1.1 Taktiler Tastschnittmessverfahren [2]

Das Tastschnittmessverfahren ist eine früh entwickelte und gut erforschte Methode der Oberflächenprofilmessung. Das Tastschnittmessverfahren wird auch heute noch häufig eingesetzt. Die Verwendung von Tastern zur standardisierten Messung und der Eigenschaften von Oberflächen und Oberflächenkenngrößen ist in der industriellen Praxis gut etabliert.

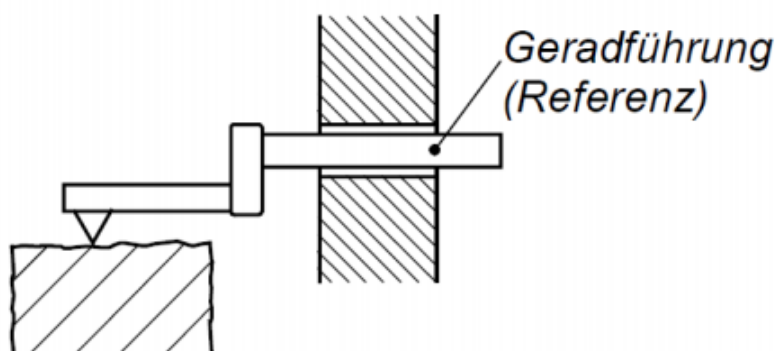
In Abbildung 1 wird es gezeigt, dass das taktile Tastsystem des Oberflächenmessgerätes im Wesentlichen aus einem Tastelement, einer Tastspitze und einem Wandler besteht.



**Abbildung 1 Grundaufbau eines induktiven Tastsystems für die Rauheitsmessung [2]**

Es gibt zwei allgemeine Arten von Tastsystemen, die die Oberfläche abtasten und das Gesamtprofil bestimmen, das Bezugsflächentastsystem und Kufentastsystem. Für die Untersuchungen in dieser Arbeit wird ein Bezugsflächentastsystem verwendet.

Bei den Bezugsflächentastsystemen wird eine hochpräzise mechanische Tastspitze verwendet, die die zu messende Prüflingsoberfläche berührt. Wenn sich die Tastspitze entlang der messenden Prüflingsoberfläche bewegt, führt die mikroskopische Unebenheit der Prüflingsoberfläche dazu, dass sich die Tastspitze auf und ab bewegt. Die Spitze muss die zu messende Oberfläche unter einem bestimmten Druck berühren, und der Radius der Spitze ist im Allgemeinen klein, weil dadurch eine bessere Messgenauigkeit erzielt werden kann. Damit kann die Oberflächenrauheit über eine festgelegte Messstrecke gemessen werden.



**Abbildung 2 Bauarten von Bezugsflächentastsysteme [2]**

Wenn die Tastspitze die Oberfläche berührt, werden die Oberflächendaten durch den Sensor zurückgesendet und Daten auf der X- und Z-Achse erzeugt. Dies stellt nur ein Profil dar. Der Tastspitze bewegt sich dann auf der Y-Achse und weitere Daten der X- und Z-Achse wird gemessen. Diese Daten sind parallel. Durch die Zusammenstellung dieser parallelen Profile entsteht eine 3D-Topografie.

### 2.1.1.2 *Optisches Fokusvariationsmessverfahren [3]*

Bei Fokusvariationsmessverfahren kann die Tiefeninformationen der Oberfläche durch die geringe Tiefenschärfe der Optik erhalten werden. Die Daten der Oberflächenrauheit können durch Analyse der Änderung des Abstands ermittelt werden. Durch die Beleuchtung der festen Probe mit moduliertem Weißlicht kann die Auflösung je nach gewähltem Objektiv auch horizontal oder vertikal eingestellt werden. Wenn der Brennpunkt geändert wird, ändert sich auch der Abstand von der Messfläche zur Optik. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Daten liefert kontinuierliche Tiefeninformationen. Die Abbildungsschärfe wird für jede Position auf der Oberfläche berechnet, und die Tiefe wird dann anhand der Änderung des Schärfevalues berechnet. Dadurch wird ein dreidimensionales Oberflächenbild erzeugt.

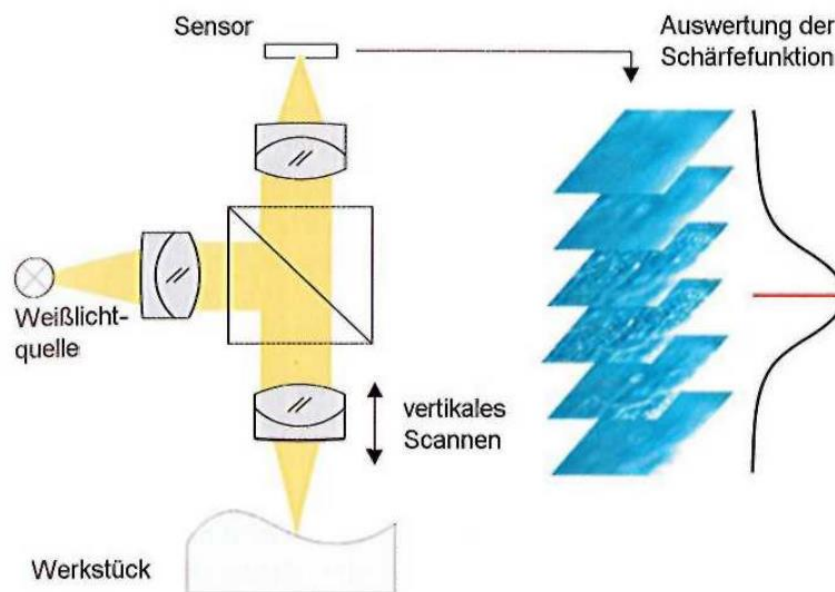


Abbildung 3 Fokusvariationsmessverfahren [3]

### 2.1.1.3 *Messsystem Confovis TOOLinspect [4]*

Confovis ist Systemanbieter von optische 3D-Oberflächenmesssystemen für den industriellen und forschungsnahen Einsatz. In dieser Arbeit wird das Messsystem TOOLinspect von Confovis, wie in Abbildung 4 gezeigt, verwendet.



**Abbildung 4 TOOLinspect Oberflächenmesssystem von Confovis GmbH [4]**

Mit zwei Messmodi Fokusvariation und Strukturierte Beleuchtung kann das Messsystem TOOLinspect die Messungen der Oberflächen machen. Im Messmodus Strukturierte Beleuchtung wird die Probe entlang der Z-Achse bewegt. Dann wird ein Gitter in definierten Abständen von Ebenen auf dieser Probe abgebildet. In Abbildung 5 werden die beiden LEDs abwechselnd scheinen. Ein Gittermuster wird dann durch die wechselseitige Beleuchtung des Gitters in Transmission und Reflexion erzeugt. Dieser Gittermuster ist bei jedem Beleuchtungswechsel um  $180^\circ$  phasenverschoben. Schließlich wird die beleuchtete Probe durch einen weiteren Strahlengang zum Bildsensor abgebildet.

Die Punktwolke der Oberfläche wird berechnet, nachdem alle Höhenebenen der Oberfläche durchfahren wurden. Alle Punkte, die sich in der Fokusebene mit der Höhe Z1 oder Z2 befinden, zeigen einen starken Kontrast, wie in Abbildung 6 gezeigt. „Gitter mit den Phasen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  werden deutlich in der Fokusebene des Objektivs abgebildet. Außerhalb der Fokusebene werden die Gitter jedoch nicht eindeutig abgebildet, so dass nur sehr geringe Kontraste zwischen den einzelnen Bildern berechnet werden können.“

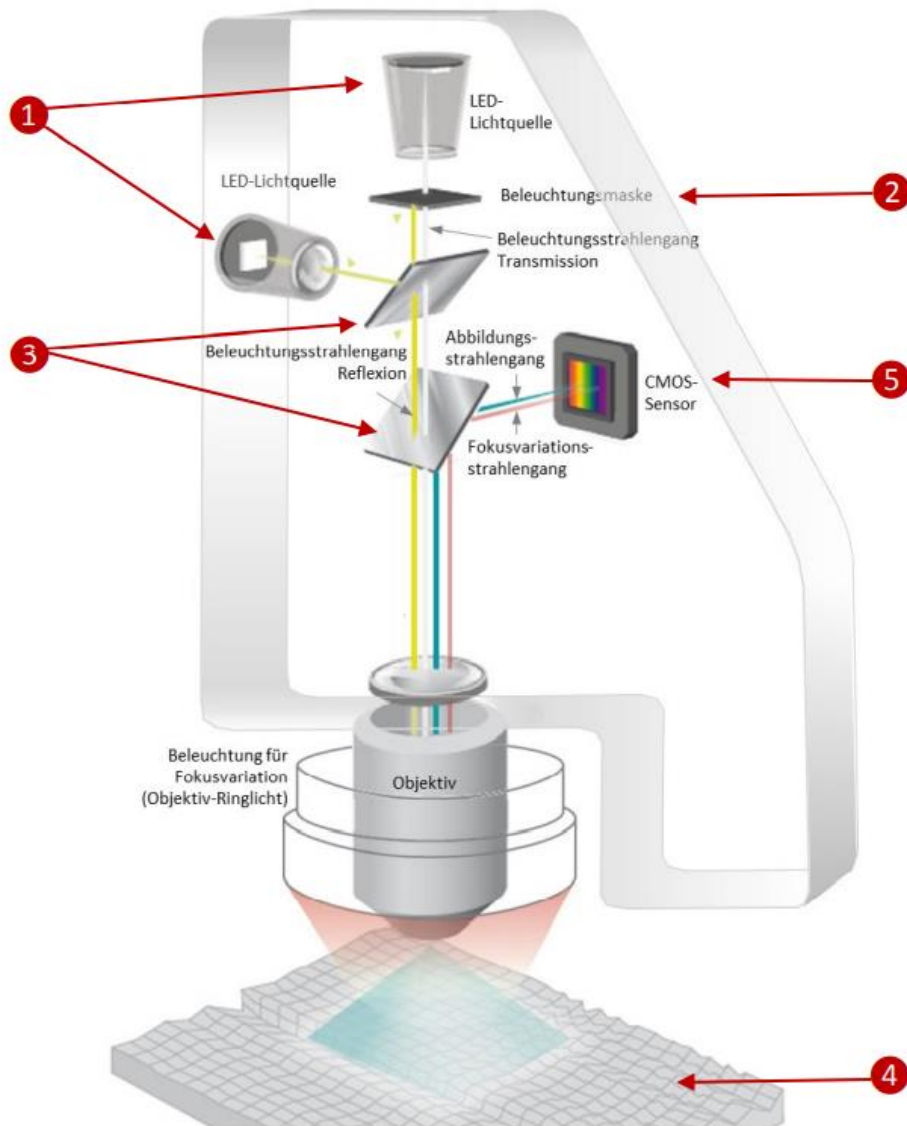


Abbildung 5 Funktionsprinzip des Messsystems Confovis TOOLinspect [4]

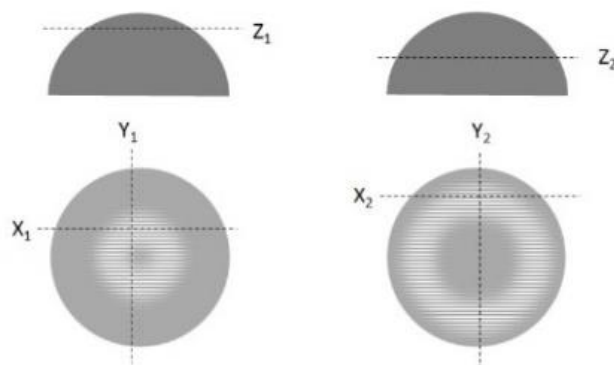


Abbildung 6 Prinzip der Topographiebestimmung am Beispiel einer Kugelkappe (oben Schnittansicht, unten Draufsicht) [4]

## 2.1.2 Oberflächenkenngrößen zur Beschreibung der Oberflächeneigenschaft

Die Oberflächenmesstechnik hat sich bis heute mit einer Vielzahl von Definitionen verschiedener Parameter entwickelt. Seit ca. 2000 werden ISO<sup>1</sup>-Normen zu den Oberflächenparametern hergestellt. In dieser Arbeit werden die Parameter von DIN<sup>2</sup> basierter internationaler Ebene sowie ISO-Normen oder europäische Normen(EN) verwendet.

Zunächst können die Oberflächenkenngrößen in 2D-Oberflächenkenngrößen und 3D-Oberflächenkenngrößen klassifiziert werden. Bei taktilen Tastschnittmessverfahren werden meist 2D-Oberflächenkenngrößen verwendet, während es sich bei optischen Messverfahren hauptsächlich um 3D-Oberflächenkenngrößen handelt. Als nächstes werden zunächst die 2D-Oberflächenkenngrößen eingeführt.

### 2.1.2.1 2D-Oberflächenkenngrößen(Profil) [5]

Die 2D-Oberflächenkenngrößen beschreiben hauptsächlich die geometrischen Eigenschaften des 2D-Profiles. Der wichtigste davon ist der Amplitudenkenngrößen, auch Höhenkenngrößen genannt. Diese Parameter ermöglichen es, die geometrischen Eigenschaften der Oberfläche zu visualisieren. Normalerweise werden die 2D-Oberflächenkenngrößen mit R bezeichnet.

**R<sub>p</sub>** - der Wert von der größten Spitze bis zur Mittelebene des Profils in einer Messstrecke

**R<sub>v</sub>** - der Wert vom tiefsten Tal bis zur Mittelebene des Profils in einer Messstrecke

Das p und v entsprechen den englischen Wörtern „peak“ und „valley“. Diese beiden Parameter beschreiben die Spitzen- und Tiefstwerte in einer Messstrecke.

**R<sub>z</sub>** - der Wert von der größten Höhe des Profils

**R<sub>t</sub>** - der Wert von der Gesamthöhe des Profils

Sowohl R<sub>z</sub> als auch R<sub>t</sub> beschreiben die Differenz zwischen dem höchsten und dem tiefsten Punkt des Profils. Sie unterscheiden sich dadurch, dass R<sub>z</sub> als Mittelwert der Differenz zwischen den Spitzen- und Tiefstwerten über mehrere Einzelmessstrecken

---

<sup>1</sup> Internationale Organisation für Normung

<sup>2</sup> Deutsches Institut für Normung

genommen wird.  $R_t$  wird als Differenz zwischen dem größten Spitzenwert und den kleinsten Tiefstwerten innerhalb einer Messstrecke genommen.

**Ra** - der arithmetischer Betragsmittelwert der Profilordinaten

Der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  ist der Parameter, der zur Beschreibung der Rauheit verwendet wird. Das kann die Oberflächenprofilhöhe beschreiben.

**Rq** - quadratischer Mittelwert der Profilordinaten

$R_q$  wird ebenfalls verwendet, um die durchschnittliche Höhe des Oberflächenprofils zu beschreiben. Und im Gegensatz zu  $R_a$  unterliegt dieser Parameter einer gewissen Störung beim Vorliegen von Extremwerten<sup>3</sup>. Andererseits kann  $R_q$  aber auch verwendet werden, um die Verteilung der Daten zu charakterisieren.

**Rsk** - die Schiefe des Profils

Die Schiefe symbolisiert die Richtung der Schiefe der Daten in der Verteilung und deren Grad. Wenn die Schiefe positiv ist, ist die Verteilung in eine positive Richtung verzerrt, was darauf hinweist, dass das Profil meist hohe Spitzen und relativ flache Talbereiche aufweist. Umgekehrt, wenn die Schiefe negativ ist, ist die Verteilung in eine negative Richtung verzerrt, was darauf hindeutet, dass das Profil meist tiefe Talsohlen und flachere Spitzen aufweist.

**Rku** - die Kurtosis des Profils

Die Kurtosis ist eine Maßzahl für die Steilheit bzw. Spitzigkeit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion, statistischen Dichtefunktion oder Häufigkeitsverteilung. Wenn der Kurtosis-Wert größer ist, bedeutet dies, dass die erhöhte Varianz durch extreme Unterschiede bei niedrigeren Häufigkeiten verursacht wird, die größer oder kleiner als der Mittelwert sind. Dies stellt einen größeren Abstand von der höchsten Spitze oder dem tiefsten Tal zur Mittellinie dar.

### **2.1.2.2 3D-Oberflächenkenngrößen(Topografie) [6][7]**

Die Definitionen der 3D-Oberflächenkenngrößen von Amplitudenkenngrößen folgen grundsätzlich den Definitionen der 2D-Oberflächenparameter. Der Unterschied besteht darin, dass die 3D-Oberflächenkenngrößen räumliche Kenngrößen sowie Volumenkenngößen und ähnliches einführen. Üblicherweise wird der 3D-Oberflächenparameter mit  $S$  bzw.  $V$  bezeichnet.

---

<sup>3</sup> besonders tiefe Täler oder hohe Spitzen in Profil

**Amplitudenkenngößen:**

**Sp** - der Wert von der höchsten Spitze der Topografie in einen Messbereich

**Sv** - der Wert vom tiefsten Tal der Topografie in einen Messbereich

**Sz** - Differenz zwischen dem Mittelwert des Gipfels jedes Einzelmessbereichs und dem Mittelwert des Tals jedes Einzelmessbereichs

**St** - Die Gesamthöhe des Messbereichs der Oberfläche, der Abstand vom niedrigsten Tal bis zur höchsten Spitze

**Sa** - mittlere arithmetische Abweichung der Oberfläche von der Mittelebene

**Sq** - mittlere quadratische Abweichung der Oberfläche von der Mittelebene

**Ssk** - Schiefe der Amplitudenverteilung

**Sku** - Kurtosis der Amplitudenverteilung

Die Kenngröße Ssk wird verwendet, um die Symmetrie des Materials im Gipfelbereich und Luft im Talbereich zu beschreiben. Gemäß dem 2D-Kenngößen repräsentieren positive Schiefe-Werte das Vorhandensein von schmalen Spitzen auf der Oberfläche. Umgekehrt repräsentiert ein negativer Schiefe-Wert einen höheren Materialanteil im Spitzenbereich, wodurch der plateauartige Bereich abgeflacht wird.

Die Kenngröße Sku kann die Ausbildung von Spitzen und Tälern, die aus dem Kernbereich des Mikrogebirges herausragen, durch einen Schätzwert bewerten.

Die beiden Kenngrößen Ssk und Sku beschreiben die Ausbildung der Gipfel gegenüber den Tälern.

**Räumliche Kenngrößen:**

Die Einführung des räumlichen Parameters ermöglicht eine bessere Darstellung der Oberfläche in der einen zusätzlichen Dimension, die auf den Amplitudenkenngößen basiert.

**Sal**<sup>4</sup> - der kürzeste Abstand vom Mittelpunkt zum Rand der Figur bei  $\hat{r} = 0,2$

---

<sup>4</sup> al=autokorrelation

$S_{al}$  ist der horizontale Abstand in Richtung des schnellsten Abfalls der Autokorrelationsfunktion zum angegebenen Wert  $\hat{r} = 0,2$ .  $S_{al}$  kann verwendet werden, um das Ausmaß zu beschreiben, in dem sich die Oberflächenhöhe stark verändert.

**Str** - die Stärke der Ausprägung einer Vorzugsrichtung auf der Oberfläche

Str ist das Verhältnis zwischen dem minimalen Autokorrelationsabstand und dem maximalen Autokorrelationsabstand. Str zeigt Isotropie und Anisotropie der Oberflächeneigenschaften an.

**Std** - die Richtung der Textur

Std ist ein Parameter, der die Richtung der Streifen auf der Oberfläche beschreibt.

### **Hybridkenngrößen:**

Die Hybridkenngrößen werden definiert, um den Anstieg der Gipfel und Täler und die Krümmung der Gipfel zu beschreiben.

**Sdq** - der mittlere quadratische Gradient der Messfläche

**Sdr** - der Anteil der Differenz zwischen Gesamtgrenzfläche und Messfläche an der gesamten Messfläche

### **Funktionale Kenngrößen:**

**Smr(c)** - der flächenhafte Materialanteil in der Schnitthöhe c

Smr beschreibt den Anteil des Materials, der nach dem Durchschneiden mit der Schnitthöhe c der Oberfläche verbleibt.

**Smc(mr)** - die Schnittebene c bei vorgegebenem Materialanteil mr.

Smc beschreibt die inverse Definition von Smr. Sie beschreibt die Höhe der abzufangenden Fläche bei einem festen Materialanteil mr.

**Sxp(p,q)** - der Extremwert der Spitzenhöhe

Sxp ist die Differenz zwischen den Schnittebene, wenn die zwei Materialanteilen p und q sind.

### **Volumenkenngrößen:**

Die Volumenkenngrößen bestehen aus der Integration der Materialanteilkurve.

**Vmp** - Materialvolumen in den Spitzen (peak)

**Vmc** - Materialvolumen im Kern (core)



**Vvc** - Leervolumen im Kern (void core)

**Vvv** - Leervolumen im Talbereich (void valley)

## 2.2 Statistischer Test der Oberflächendaten

Die statistische Prüfung der Daten ist ein notwendiger Schritt im Prozess der Oberflächennmessung und -auswertung. Wenn die erforderlichen Daten vorliegen, werden sie zusammengestellt. Diese Daten werden dann mit statistischen Methoden untersucht. In dieser Arbeit werden Anderson-Darling-Test für die Prüfung der Verteilung, t-Test für die Prüfung der Mittelwerte und F-Test für die Prüfung der Varianzwerte.

### 2.2.1 Anderson-Darling-Test [8]

Der Anderson-Darling-Test (im Folgenden als AD-Test bezeichnet) ist eine Prüfung der Verteilungseigenschaften der Daten. Die Verwendung des AD-Tests in MATLAB wird im Folgenden beschrieben.

Zunächst wird die Hypothese formuliert, wobei wir die Hypothese  $H_0$  verwenden: die Daten entsprechen einer Normalverteilung. Gemäß der gegebenen Anweisung von MATLAB, wie zeigt in Abbildung 7, zur Überprüfung der Normalität der Daten mit dem AD-Test kann gefolgert werden, dass, wenn der Wert von  $h$  logisch 0 ist, die Hypothese  $H_0$  gilt und die Daten mit den Merkmalen der Normalverteilung übereinstimmen. Umgekehrt, wenn der Wert von  $h$  logisch 1 ist, wird die Hypothese  $H_0$  abgelehnt und die Daten entsprechen statistisch nicht einer Normalverteilung. Dies kann in MATLAB durch die Programmierung mit den Anweisungen in der Abbildung 7 erreicht werden.

▼ Anderson-Darling Test for a Normal Distribution

Load the sample data. Create a vector containing the first column of the students' exam grades data.

```
load examgrades
x = grades(:,1);
```

Test the null hypothesis that the exam grades come from a normal distribution. You do not need to specify values for the population parameters.

```
[h,p,adstat,cv] = adtest(x)
```

```
h = logical
    0

p = 0.1854
adstat = 0.5194
cv = 0.7470
```

The returned value of  $h = 0$  indicates that `adtest` fails to reject the null hypothesis at the default 5% significance level.

**Abbildung 7 AD-Test für Normalverteilung (<https://www.mathworks.com/help/stats/>) [8]**

### 2.2.2 t-Test und F-Test [9]

Der t-Test und der F-Test sind übliche Tests zu einem Vergleich von zwei Grundgesamtheiten auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen ihnen. Der t-Test beschreibt eine Reihe von Hypothesentests unter Verwendung von Testvariablen aus der t-Verteilung. Im Allgemeinen werden t-Tests verwendet, um auf Unterschiede in den Mittelwerten zu testen, während F-Tests verwendet werden, um die Varianzen zu prüfen. Es beschreibt eine Reihe von Hypothesentests mit Testvariablen der F-Verteilung.

Ein klarer Schritt der Beurteilung der Datenverarbeitung ist in der Abbildung 8 zu sehen. Als erstes wird ein parametrischer Test durchgeführt, da es unbekannt ist, ob die beiden Grundgesamtheiten die gleiche Verteilungsparametern haben. Zweitens handelt es sich um einen Test für Erwartungswert und nicht um einen Vergleich der Streuung der Daten zwischen verschiedenen Gruppen, daher wird der Test für Erwartungswert gewählt. Dann ist es einfach, den F-Test zu wählen, weil in diesem Experiment die erhaltenen Daten Stichprobendaten und nicht die Gesamtdaten sind und die Varianz dieser Stichprobe unbekannt ist, so dass der F-Test gewählt und die Hypothese formuliert werden kann.

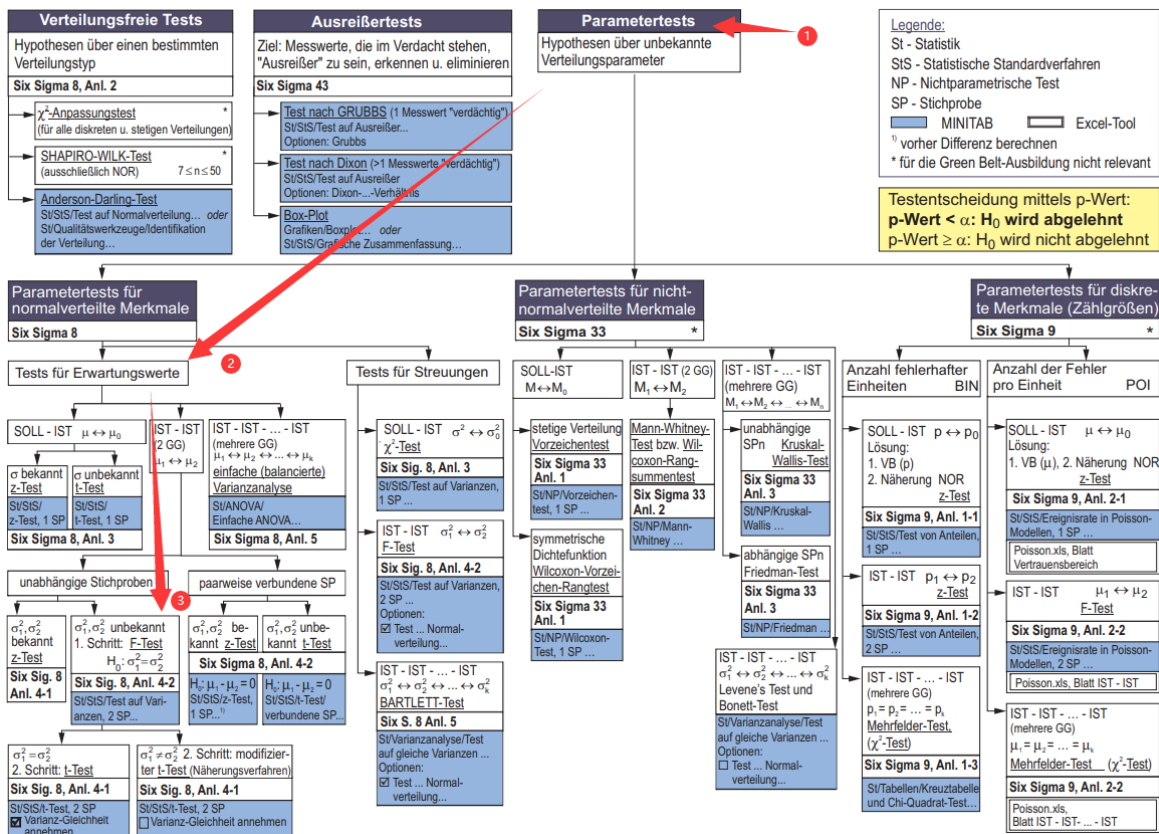


Abbildung 8 Übersicht den Schritten des statistischen Tests [9]

Wie in der Abbildung 9 gezeigt wird die Hypothese  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  formuliert. Wir verwenden dann die Funktion von Varianz in Microsoft Excel, um die Varianz der Daten für jede Gruppe mit unterschiedlichen Messbereichsgrößen zu ermitteln und diese zu dividieren  $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ . Es ist wichtig zu beachten, dass bei der Division immer der größere Wert durch den kleineren Wert geteilt wird. Der Wert, der sich aus der Division zwischen jeweils zwei der Datengruppen ergibt, wird als F-prüf bezeichnet. Der F-prüf wird mit dem F-kritisch verglichen, um festzustellen, ob sich die Varianz der beiden Datengruppen statistisch signifikant unterscheidet. Dieser F-kritisch kann durch Abfrage der Tabelle der F-Werte, die aus der F-Verteilung abgeleitet wurden, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, erhalten werden.

Test	H <sub>i</sub>	Testgröße	Ablehnung von H <sub>0</sub> , wenn	Bemerkung
IST-IST-Vergleich für Streuungen <b>F-Test</b> H <sub>0</sub> : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ bzw. $v = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 1$	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (v≠1)	$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$	wenn: $F \geq 1$ : $F > F_{f_1, f_2, 1 - \frac{\alpha}{2}}$	$f_1 = n_1 - 1$ $f_2 = n_2 - 1$ $F_{f_1, f_2, \alpha} = \frac{1}{F_{f_2, f_1, 1 - \alpha}}$ $F_{f_1, f_2, \frac{\alpha}{2}} = \frac{1}{F_{f_2, f_1, 1 - \frac{\alpha}{2}}}$ F → Tab. 6
	$\sigma_1^2 > \sigma_2^2$ (v>1)		$F > F_{f_1, f_2, 1 - \alpha}$	
	$\sigma_1^2 < \sigma_2^2$ (v<1)		$F < F_{f_1, f_2, \alpha}$	

Abbildung 9 Schritte für F-Test [9]

Oder wir können in Microsoft Excel mit einer Funktion, die sich auf die F-Verteilung bezieht, ermittelt werden. Die Funktionsformel lautet F.INV(Wahrscheinlichkeit, Freiheitsgrade 1, Freiheitsgrade 2).

Wir vergleichen die Größe des Wertes von F-prüf und F-kritisch. Wenn der Testwert kleiner als der kritische Wert ist, bedeutet dies, dass die Hypothese  $H_0$  gültig ist und sich die Varianz der beiden Datengruppen statistisch nicht unterscheidet, dann kann der t-Test zur weiteren Prüfung der Daten verwendet werden. Umgekehrt, wenn der Testwert größer als der kritische Wert ist, bedeutet dies, dass die Hypothese  $H_0$  abgelehnt wird und ein Unterschied zwischen den beiden Datengruppen besteht, und der modifizierte t-Test wird zum Testen der Daten verwendet.

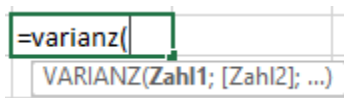


Abbildung 10 Funktion von Varianz in Microsoft Excel

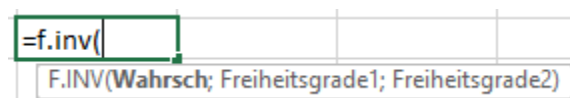


Abbildung 11 Funktion von F-kritisch in Microsoft Excel

In Abbildung 12 zeigt, wie wir die beiden t-Tests verwenden. Die Formel der beiden Werte von t-prüf ist gleich  $t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d}$ . Aber die Formel für die beiden  $S_d$  ist unterschiedlich. Für t-Test ist es  $S_d = \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \cdot \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}}$ . Für den modifizierten t-Test, wenn zwei Stichprobenanzahl gleich sind, ist es  $S_d = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$ . Auch hier ist es wichtig zu beachten, dass der Wert von t-Test positiv ist. Wenn wir also subtrahieren, ziehen wir den kleineren Wert vom größeren Wert ab.

IST-IST-Vergleich für Erwartungswerte ( $\sigma_1^2, \sigma_2^2$ unbekannt; $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ) <b>t-Test</b> Ho: $\mu_1 = \mu_2$ bzw. $d=0$ $d = \mu_1 - \mu_2$	$\mu_1 \neq \mu_2$ ( $d \neq 0$ )	$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d}$ mit	$ t  > t_{n_1+n_2-2; \frac{\alpha}{2}}$	$t \rightarrow$ Tab. 4-1 <u>Achtung:</u>
	$\mu_1 > \mu_2$ ( $d > 0$ )	$s_d = \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \cdot \frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}}$	$t_{pr} > t_{n_1+n_2-2; 1-\alpha}$	vorher $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ mit F-Test prüfen (bei Nichtablehnung der $H_0$ kann $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ angenommen werden)
	$\mu_1 < \mu_2$ ( $d < 0$ )	wenn $n_1 = n_2 = n: s_d = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}}$	$t < -t_{n_1+n_2-2; 1-\alpha}$	
IST-IST-Vergleich für Erwartungswerte ( $\sigma_1^2, \sigma_2^2$ unbekannt; $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ) <b>modifizierter t-Test</b> Ho: $\mu_1 = \mu_2$ bzw. $d=0$ $d = \mu_1 - \mu_2$	$\mu_1 \neq \mu_2$ ( $d \neq 0$ )	$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d}$ mit	$ t  > t_{f; 1-\frac{\alpha}{2}}$	<u>Näherungsverfahren:</u> Freiheitsgrad f auf ganzzahligen Wert runden $t \rightarrow$ Tab. 4-1 <u>Achtung:</u> Test wird angewendet, wenn $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ mit Hilfe eines F-Tests bestätigt wird
	$\mu_1 > \mu_2$ ( $d > 0$ )	mit $s_d = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$	$t > t_{f; 1-\alpha}$	
	$\mu_1 < \mu_2$ ( $d < 0$ )		$t < -t_{f; 1-\alpha}$	

Abbildung 12 Schritte für t-Test [9]

Nachdem der Testwert abgeleitet ist, wird er mit dem kritischen Wert verglichen. Wie für den F-Test gibt es t-kritisch. In Microsoft Excel kann man mit der Funktion T.INV(Wahrscheinlichkeit; Freiheitsgrade) der Wert von t-kritisch erhalten. Es gibt auch eine Tabelle von der t-Verteilung. Mit der Tabelle kann man auch t-kritisch finden. Wenn der Testwert kleiner als der kritische Wert ist, bedeutet dies, dass die beiden Datengruppen identisch sind und sich statistisch nicht unterscheiden. Das Gegenteil bedeutet, dass die beiden Gruppen von Daten unterschiedlich sind und ein Unterschied besteht.



Abbildung 13 Funktion von Mittelwert in Microsoft Excel

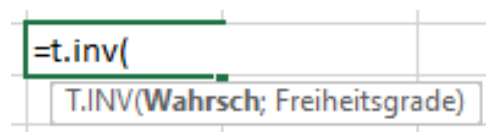


Abbildung 14 Funktion von t-kritisch in Microsoft Excel

## 2.3 Software

Normalerweise werden die Daten aus den Messungen im Textformat gespeichert. Mit einigen Oberflächenanalysesoftware ist es möglich, diese Daten als Diagramme oder 3D-Grafiken darzustellen. Dann können diese Daten bearbeitet und analysiert. In diesem Projekt werden MountainsMap und MATLAB zur Analyse der Daten verwendet.

### 2.3.1 MountainsMap8.2

MountainsMap ist eine Software von Digital Surf. Seit 1989 entwickelt Digital Surf Oberflächen-Imaging- & Messtechnik-Software für Profilometer und Mikroskope. Die Mountains®-Software wird verwendet um die Daten zu visualisieren, zu analysieren und über sie Berichte zu erstellen. Die Daten können mit allen Arten von Profilometern und Mikroskopen aufgenommen worden sein.

In dieser Arbeit verwenden wir MountainsMap8.2 um die Topografie zu verarbeiten. Mit den Funktionen, wie z.B. „Ausrichten“, „Bereich extrahieren“ oder „Ausreißer entfernen“ usw., können wir die Messfehler effektiv reduzieren und die Daten verbessern. Dann kann man die Messdaten besser analysieren.

### 2.3.2 MATLAB

MATLAB ist eine mathematische Software der amerikanischen Firma MathWorks für Datenanalyse, Deep Learning und andere Bereiche.

In dieser Arbeit wird MATLAB verwendet, hauptsächlich um die Verteilungseigenschaft zu analysieren. Mit APP „Distribution Fitter“ können die Daten an ein Bild angepasst werden. Dies kann uns helfen um die Verteilungseigenschaft der Daten besser zu beobachten.

### 3 Statistische Eigenschaft von Verteilung der gemessenen Oberflächen

In diesem Kapitel wird die Oberfläche untersucht, wie sich die Daten verteilen. Mittels AD-Test in MATLAB wird ein Programm geschrieben, um die gemessenen Daten zu prüfen. Durch die Analysierung vom Ergebnis der Prüfung werden die Verteilungseigenschaft der Oberfläche zusammengefasst.

#### 3.1 Verarbeitung der Daten mit MATLAB

Im ersten Schritt müssen die Messdaten in MATLAB importiert werden. Verwendet wird die Importfunktion von MATLAB, um die Daten durch Angabe von Optionen automatisch zu importieren. Die Verwendung dieser Funktion erleichtert den Import der Daten innerhalb des ausgewählten Dokuments. Das detaillierte Programm befindet sich im Abschnitt Anlage.

Nach dem Importieren der Daten wurde die Hypothese  $H_0$  getestet, dass die Daten normalverteilt ist, indem einfach ein Programm geschrieben wurde, um sie mit AD-Tests zu prüfen (das Programm befindet sich ebenfalls im Abschnitt Anlage). Schließlich wird der  $h$ -Wert jedes Parameters nach dem AD-Test in den Arbeitsbereich von MATLAB exportiert. Die Daten werden in Microsoft Excel zusammengestellt, um eine Tabelle zu erhalten, die alle Daten aufzeichnet, ob alle Kenngrößen der Normalverteilung entsprechen oder nicht, wie in der Tabelle gezeigt.

Material/Drehzahl/Ausschnitt	Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv	Sz	Sa	Smr	Smc	Sxp	Sal	Str	Std	Ssw	Sdq	Sdr	Vm	Vv	Vmp	Vmc	Vvc	Vvv
Alu_4000_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
Alu_4000_0,7mm	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_4000_1mm	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_4000_1,5mm	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Alu_6500_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_6500_0,7mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_6500_1mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_6500_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
Alu_9000_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_9000_0,7mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_9000_1mm	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Alu_9000_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_4000_0,5mm	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_4000_0,7mm	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Stahl_4000_1mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_4000_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_6500_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_6500_0,7mm	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_6500_1mm	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Stahl_6500_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_9000_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_9000_0,7mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_9000_1mm	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_9000_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 1 Ergebnisse von AD-Test

### 3.2 Analyse der Verteilungseigenschaft der Oberflächen

Tabelle 1 ist das Ergebnis des AD-Test für gemessene Daten. Die Zellen in der Tabelle, in denen der  $h$ -Wert mit 1 eingetragen ist, sind gelb hinterlegt. Wie oben erwähnt, bedeutet ein  $h$ -Wert von 1, dass die Hypothese abgelehnt wird, das heißt die Daten nicht normalverteilt sind. Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, dass die meisten der getesteten Parameter  $h$ -Werte von 0 ergaben, was bedeutet, dass sie alle den Eigenschaften einer Normalverteilung entsprechen. Es ist jedoch nicht immer der Fall, dass die Daten nicht einer Normalverteilung entsprechen, wenn der  $h$ -Wert 1 ist. Als Beispiel wurde der Kenngröße Sq in Stahl\_4000\_0,5mm für eine separate Analyse ausgewählt.

Wenn man sich die Daten ansieht, gibt es zunächst einen Wert, der sich deutlich von den anderen unterscheidet. Um diesen Unterschied visueller zu sehen wird, die Anwendung Distribution Fitter verwendet, um die Verteilung der Daten darzustellen. Ein Histogramm der Verteilung wird erzeugt bzw. eine Verteilungskurve wird wie gezeigt in Abbildung 15 angepasst. Das Bild zeigt, dass die Daten eindeutig nicht einer Normalverteilung entsprechen.

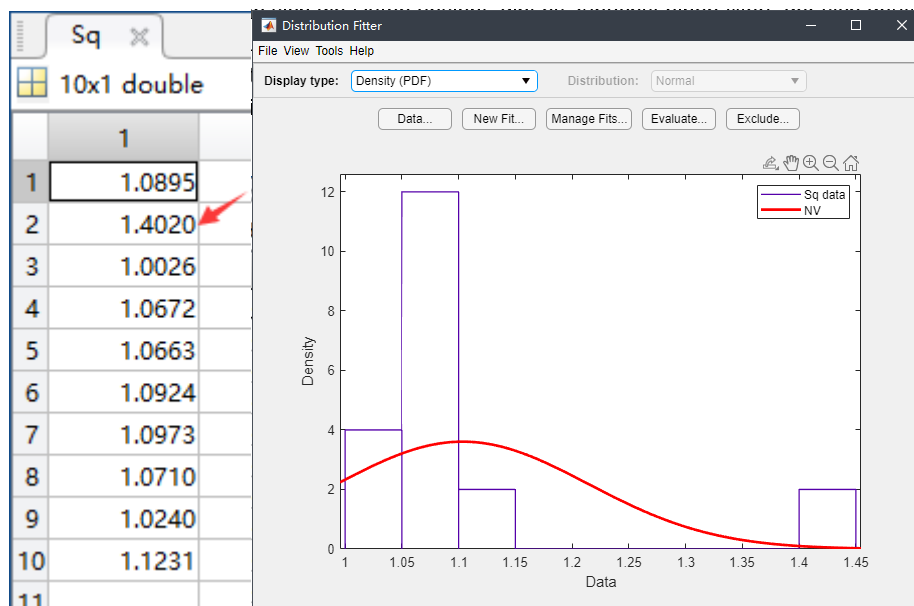
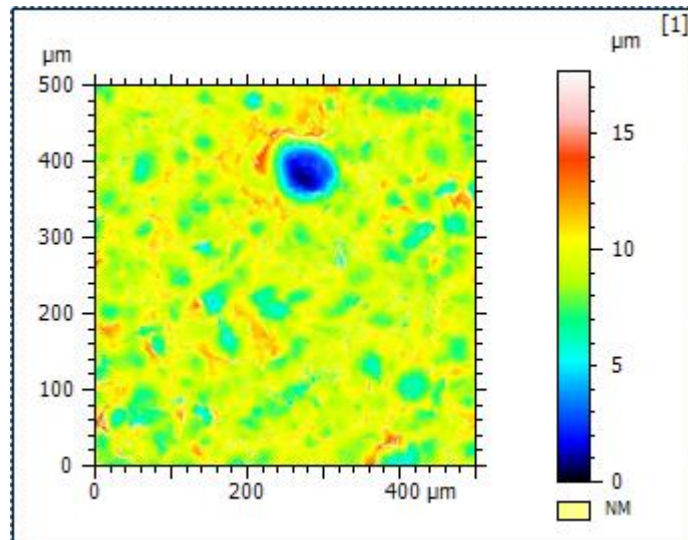


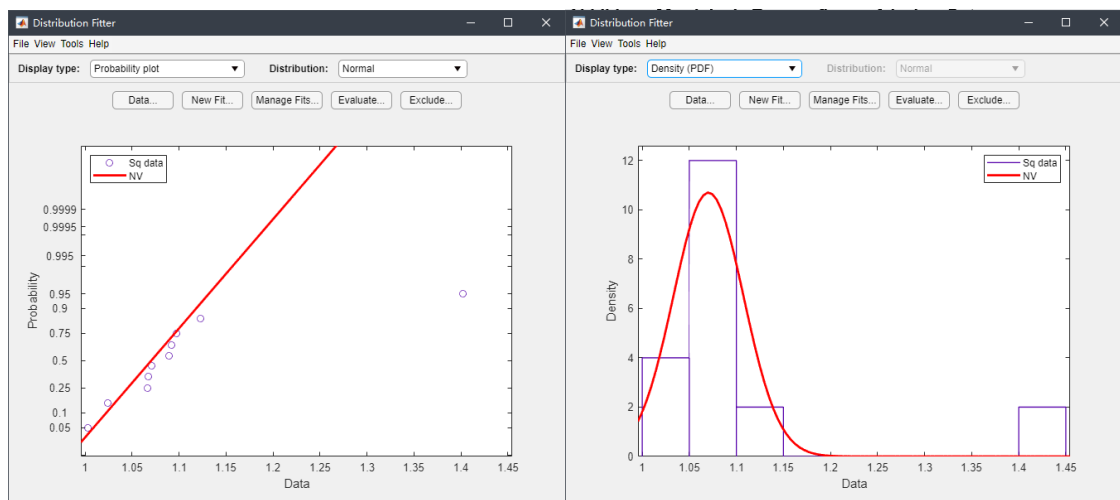
Abbildung 15 Sq-Wert von Stahl\_4000\_0,5mm und Wahrscheinlichkeitsdichtediagramm

Der Ausreißer wird in Daten gefunden und dann die originale Topografie wird in MountainsMap8.2 geladen. Ein Bild kann wie in der Abbildung 16 gezeigt erhalten werden. Aus dem blauen Teil des Bildes ist ersichtlich, dass es einen Ausreißer auf der Oberfläche gibt. Durch diesen einen Abweichungswert unterscheidet sich der Wert deutlich von den Werten der anderen Messbereiche.



**Abbildung 16 originale Topografie von falschen Daten**

Dieser Differenzwert wird ausgeschieden und die verbleibenden Daten werden für die Verteilung neu tabelliert und es ergibt sich ein neues Wahrscheinlichkeitsdiagramm wie gezeigt Abbildung 17. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung ist nun normal.



**Abbildung 17 neues Ausreißer-entferntes Wahrscheinlichkeitsdiagramm**

Die Ergebnisse des neuen Verteilungstests können auf der Grundlage des obigen Fehler-tests ermittelt werden. Wie aus der neuen Tabelle 2 ersichtlich, reicht es aus, dass die Amplitudenkenngößen von fast allen Messbereichen normalverteilt sind. Ssw und Smr haben jedoch hohe Ablehnungsrate. Deshalb werden diese Kenngößen nicht als ein Hauptmerkmal prüft und verglichen. Die meisten der übrigen Oberflächenkenngößen werden nicht abgelehnt. Daraus wird abgeleitet, dass die berechneten Oberflächenkenngößen mit einer Ausnahme von Ssw bzw. Smr eine Normalverteilung entsprechen.



Material/Drehzahl/Ausschnitt	Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv	Sz	Sa	Smr	Smc	Sxp	Sal	Str	Std	Ssw	Sdq	Sdr	Vm	Vv	Vmp	Vmc	Vvc	Vvv
Alu_4000_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
Alu_4000_0,7mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_4000_1mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_4000_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Alu_6500_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_6500_0,7mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_6500_1mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_6500_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
Alu_9000_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alu_9000_0,7mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Alu_9000_1mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Alu_9000_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_4000_0,5mm	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_4000_0,7mm	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Stahl_4000_1mm	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_4000_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_6500_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_6500_0,7mm	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_6500_1mm	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Stahl_6500_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_9000_0,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_9000_0,7mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_9000_1mm	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahl_9000_1,5mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 2 neue Ausreißer-entfernte Ergebnisse von AD-Test

# 4 Einfluss von Messfeldgröße und Auflösung als Messgröße auf die Messergebnisse

In diesem Kapitel wird der Einfluss von Messbedingungen auf die Messergebnisse besprochen, nachdem im vorherigen Kapitel die Verteilungseigenschaft der Oberfläche geprüft wird, dass normalverteilt ist. Die Messfeldgröße und die Auflösung werden als zwei Variationen einzeln untersucht. Mittels statistischer Prüfung werden die Messdaten geprüft, ob es große Unterschiede zwischen verschiedenen Messbedingungen gibt. Und durch die Analyse der Daten wird es besprochen, welche Messbedingung Vorteile hat.

## 4.1 Variation der Messfeldgröße

Wenn die Messfeldgröße als Variable gewählt wird, achten darauf, dass die Auflösung der Variablen gleichbleibt. Und die Untersuchung der Messfeldgröße wird mit Hilfe von Microsoft Excel realisiert.

Zuerst wird die Daten mit F-Test geprüft. In Microsoft Excel werden jeweils zwei Datensätze geprüft. Wir nehmen an, dass Nullhypothese  $H_0$  keinen statistischen Unterschied auf Varianz zwischen den beiden Datensätze hat. Nach der Berechnung der Varianz jedes der beiden Datensätze wird der größer Wert durch den kleineren Wert geteilt. Der berechnete Wert wird dann mit F-kritisch verglichen, was durch die Funktion F.INV erhalten wird. Wie in der Abbildung 18 gezeigt, sind die Werte in roter Schrift die kleinere Zahl, d.h. fast alle F-prüf, mit Ausnahme von Ssw und Smr, kleiner als F-kritisch, weil die beiden Kenngrößen nicht normalverteilt sind. Dann wird das Ergebnis ermittelt, dass die Varianz der ausgewählten Oberflächennenngrößen zwischen jeweils beiden Messfeldgrößen keinen statistischen Unterschied haben, gleich sind.

Sq	F-prüf	F-kritisch	Sak	F-prüf	F-kritisch	Stu	F-prüf	F-kritisch	Sp	F-prüf	F-kritisch	Sv	F-prüf	F-kritisch	Sz	F-prüf	F-kritisch	Sa	F-prüf	F-kritisch
0,7/0,5	2,33063194	3,1788931	0,7/0,5	1,50655778	3,1788931	0,5/0,7	5,62568984	3,1788931	0,7/0,5	2,03883438	3,1788931	1/0,5	2,06257705	3,29274584	0,7/0,5	1,561423	3,1788931	0,7/0,5	3,20055367	3,1788931
0,7/1	1,48845035	3,6766747	0,7/1	2,23422982	3,6766747	0,5/1	2,18027853	3,6766747	0,7/1	2,03760673	3,6766747	1/0,5	1,5362812	3,29274584	0,7/1	2,24434322	3,6766747	0,7/1	1,88084592	3,6766747
0,7/1,5	4,80883497	5,99877903	0,7/1,5	30,6244835	5,99877903	0,5/1,5	5,4706257	5,99877903	0,7/1,5	2,01505405	5,99877903	1/1,5	1,94182359	6,09421093	0,7/1,5	3,63516386	5,99877903	0,7/1,5	8,42181066	5,99877903
1/0,5	1,56791779	3,29274584	0,5/1	1,48300307	3,6766747	1/0,7	2,580262	3,29274584	1,5/0,5	1,0122976	3,63808851	0,7/0,5	1,34257781	3,1788931	0,5/1	1,43737041	3,6766747	1/0,5	1,70165649	3,29274584
1/1,5	3,23511308	6,09421093	0,5/1,5	20,3274537	5,99877903	1/1,5	2,50917142	6,09421093	1,5/1	1,0111921	4,12031173	0,7/1,5	1,26397667	5,99877903	0,5/1,5	1,32811247	5,99877903	1/1,5	4,47761715	6,09421093
0,5/1,5	2,06331806	5,99877903	1/1,5	13,7069532	6,09421093	1,5/0,7	1,02833329	3,63808851	1/0,5	1,00109327	3,29274584	1,5/0,5	1,0621856	3,63808851	1/1,5	1,61970251	6,09421093	0,5/1,5	2,63136055	5,99877903
Smc	F-prüf	F-kritisch	Sxp	F-prüf	F-kritisch	Sal	F-prüf	F-kritisch	Str	F-prüf	F-kritisch	Std	F-prüf	F-kritisch	Sdq	F-prüf	F-kritisch	Sdr	F-prüf	F-kritisch
0,7/0,5	3,41650246	3,1788931	0,7/0,5	1,55792052	3,1788931	0,5/0,7	4,69792122	3,1788931	0,5/0,7	1,31832532	3,1788931	0,7/0,5	1,72100402	3,1788931	0,7/0,5	1,24750891	3,1788931	0,7/0,5	1,05728119	3,1788931
0,7/1	2,03830305	3,6766747	0,7/1	1,83452648	3,6766747	0,5/1	4,38704031	3,6766747	0,5/1	1,39641813	3,6766747	0,7/1	1,41422283	3,6766747	0,7/1	2,21529361	3,6766747	0,7/1	2,29403386	3,6766747
0,7/1,5	5,56174917	5,99877903	0,7/1,5	5,032049	5,99877903	0,5/1,5	24,3194668	5,99877903	0,5/1,5	6,78998366	5,99877903	0,7/1,5	1,15366481	5,99877903	0,7/1,5	5,82282146	5,99877903	0,7/1,5	4,81005195	5,99877903
1/0,5	1,67615249	3,29274584	0,5/1	1,17754819	3,6766747	1/0,7	1,07086347	3,29274584	0,7/1	1,05923637	3,6766747	1,5/0,5	1,49177127	3,63808851	0,5/1	1,77573777	3,6766747	0,5/1	2,16971974	3,6766747
1/1,5	2,72862081	6,09421093	0,5/1,5	3,229978	5,99877903	1/1,5	5,54347921	6,09421093	0,7/1,5	5,15044621	5,99877903	1,5/1	1,22589579	4,12031173	0,5/1,5	4,6675902	5,99877903	1/1,5	4,54945384	5,99877903
0,5/1,5	1,62790727	5,99877903	1/1,5	2,74296886	6,09421093	0,7/1,5	5,17664422	5,99877903	1/1,5	4,86241442	6,09421093	1/0,5	1,21688261	3,29274584	1/1,5	2,6284649	6,09421093	1/1,5	2,09679331	6,09421093
Vm	F-prüf	F-kritisch	Vv	F-prüf	F-kritisch	Vmp	F-prüf	F-kritisch	Vmc	F-prüf	F-kritisch	Vvc	F-prüf	F-kritisch	Vvv	F-prüf	F-kritisch	Vvv	F-prüf	F-kritisch
0,5/0,7	1,21778657	3,1788931	0,7/0,5	3,27108397	3,1788931	0,5/0,7	1,21778651	3,1788931	0,7/0,5	1,06844821	3,1788931	0,7/0,5	2,76211724	3,1788931	0,5/0,7	1,4890484	3,1788931	0,5/0,7	1,8890484	3,1788931
0,5/1	1,133971238	3,6766747	0,7/1	1,90097974	3,6766747	0,5/1	1,13397124	3,6766747	0,7/1	2,21747935	3,6766747	0,7/1	1,97623789	3,6766747	0,5/1	3,55016565	3,6766747	0,5/1	3,55016565	3,6766747
0,5/1,5	4,018711127	5,99877903	0,7/1,5	5,26571502	5,99877903	0,5/1,5	4,01871113	5,99877903	0,7/1,5	14,3875653	5,99877903	0,7/1,5	5,89776882	5,99877903	0,5/1,5	5,97773619	5,99877903	0,5/1,5	5,97773619	5,99877903
1/0,7	1,073913047	3,29274584	1/0,5	1,72073584	3,29274584	1/0,7	1,07391305	3,29274584	0,5/1	2,07542053	3,6766747	1/0,5	1,39766435	3,29274584	0,7/1	2,38297364	3,6766747	1/0,7	2,38297364	3,6766747
1/1,5	3,54392686	6,09421093	1/1,5	2,7700006	6,09421093	1/1,5	3,54392686	6,09421093	0,5/1,5	13,4658519	5,99877903	1/1,5	2,98434154	6,09421093	0,7/1,5	4,01242904	5,99877903	1/1,5	4,01242904	5,99877903
0,7/1,5	3,300012854	5,99877903	0,5/1,5	1,60977678	5,99877903	0,7/1,5	3,30001285	5,99877903	1/1,5	6,48825224	6,09421093	0,5/1,5	2,13523479	5,99877903	1/1,5	1,68379078	6,09421093	0,5/1,5	1,68379078	6,09421093

Abbildung 18 Ergebnisse von F-Test der Oberfläche 4000\_Alu auf Messfeldgröße

Aufgrund des Ergebnisses der F-Test wird der t-Test als nächstes verwendet, um den Mittelwert zwischen jeweils beiden Datensätze zu überprüfen. Wir nehmen ebenfalls an, dass Nullhypothese  $H_0$  keinen statistischen Unterschied auf Mittelwert zwischen beiden Daten hat. Mit der Gleichung in 2.2.2 kann der Betrag von t-prüf als t-abs berechnet. Dann werden t-abs mit t-kritisch verglichen. Die Ergebnisse sind wie Abbildung 19 dargestellt, wobei t-abs für fast alle Kenngrößen außerdem Sz kleiner als t-kritisch sind. Das bedeutet, dass es keinen signifikanten statistischen Unterschied in den ausgewählten Kenngrößen zwischen beiden Datensätze gibt, mit Ausnahme Sz. Die Kombination der F-Test und t-Test zeigt, dass die Messfeldgröße fast keinen signifikanten Einfluss auf die Messdaten hat.

Sq	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Ssk	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Sku	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Sp	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Sv	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch
0.5-0.7	-1,1003124	1,1003124	2,10092204	0.5-0.7	0,93637793	0,93637793	2,10092204	0.5-0.7	0,15754563	0,15754563	2,10092204	0.5-0.7	-1,86983136	1,86983136	2,10092204	0.5-0.7	-2,48804628	2,48804628	2,10092204
0.5-1	-1,70526736	1,70526736	2,1199053	0.5-1	0,56380833	0,56380833	2,1199053	0.5-1	-0,53773502	0,53773502	2,1199053	0.5-1	-3,87758569	3,87758569	2,1199053	0.5-1	-4,02133242	4,02133242	2,1199053
0.5-1.5	-1,92411159	1,92411159	2,16036866	0.5-1.5	0,77009635	0,77009635	2,16036866	0.5-1.5	-0,52335184	0,52335184	2,16036866	0.5-1.5	-4,25489636	4,25489636	2,16036866	0.5-1.5	-5,87789673	5,87789673	2,16036866
0.7-1	-0,40099579	0,40099579	2,1199053	0.7-1	-0,43619251	0,43619251	2,1199053	0.7-1	-1,06461383	1,06461383	2,1199053	0.7-1	-1,35422317	1,35422317	2,1199053	0.7-1	-1,80949925	1,80949925	2,1199053
0.7-1.5	-0,45616103	0,45616103	2,16036866	0.7-1.5	-0,20238659	0,20238659	2,16036866	0.7-1.5	-1,3024383	1,3024383	2,16036866	0.7-1.5	-1,81335981	1,81335981	2,16036866	0.7-1.5	-3,33253634	3,33253634	2,16036866
1-1.5	-0,10186348	0,10186348	2,20098516	1-1.5	0,28105139	0,28105139	2,20098516	1-1.5	-0,07378619	0,07378619	2,20098516	1-1.5	-0,86629457	0,86629457	2,20098516	1-1.5	-1,26701159	1,26701159	2,20098516
Sz	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Sa	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Smc	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Sxp	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Sal	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch
0.5-0.7	-3,23112854	3,23112854	2,10092204	0.5-0.7	-1,15763543	1,15763543	2,10092204	0.5-0.7	-1,12520708	1,12520708	2,10092204	0.5-0.7	-1,34170153	1,34170153	2,10092204	0.5-0.7	-1,08293985	1,08293985	2,10092204
0.5-1	-6,81097965	6,81097965	2,1199053	0.5-1	-1,81912519	1,81912519	2,1199053	0.5-1	-1,45329998	1,45329998	2,1199053	0.5-1	-1,74579283	1,74579283	2,1199053	0.5-1	-2,14171032	2,14171032	2,1199053
0.5-1.5	-8,05530228	8,05530228	2,16036866	0.5-1.5	-2,15265855	2,15265855	2,16036866	0.5-1.5	-1,6467523	1,6467523	2,16036866	0.5-1.5	-1,56484534	1,56484534	2,16036866	0.5-1.5	-2,09049059	2,09049059	2,16036866
0.7-1	-2,66621052	2,66621052	2,1199053	0.7-1	-0,31214331	0,31214331	2,1199053	0.7-1	-0,04779452	0,04779452	2,1199053	0.7-1	-0,22976246	0,22976246	2,1199053	0.7-1	-2,02314171	2,02314171	2,1199053
0.7-1.5	-3,93000743	3,93000743	2,16036866	0.7-1.5	-0,3710171	0,3710171	2,16036866	0.7-1.5	-0,11305412	0,11305412	2,16036866	0.7-1.5	-0,1382794	0,1382794	2,16036866	0.7-1.5	-2,6664695	2,6664695	2,16036866
1-1.5	-2,25644128	2,25644128	2,20098516	1-1.5	-0,11775077	0,11775077	2,20098516	1-1.5	-0,09578975	0,09578975	2,20098516	1-1.5	0,08615177	0,08615177	2,20098516	1-1.5	-0,59049841	0,59049841	2,20098516
Str	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Std	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Sdq	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Sdr	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Vm	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch
0.5-0.7	-1,16631724	1,16631724	2,10092204	0.5-0.7	-0,07365449	0,07365449	2,10092204	0.5-0.7	-0,99915743	0,99915743	2,10092204	0.5-0.7	-0,84155726	0,84155726	2,10092204	0.5-0.7	0,1934021	0,1934021	2,10092204
0.5-1	-2,410874004	2,410874004	2,1199053	0.5-1	-0,31982008	0,31982007	2,1199053	0.5-1	-0,94288993	0,94288993	2,1199053	0.5-1	-0,9333952	0,933395195	2,1199053	0.5-1	-0,52856529	0,52856529	2,1199053
0.5-1.5	-4,283435194	4,283435194	2,16036866	0.5-1.5	-0,74375389	0,74375389	2,16036866	0.5-1.5	-1,84930267	1,84930267	2,16036866	0.5-1.5	-1,88335032	1,883350316	2,16036866	0.5-1.5	-0,5743342	0,5743342	2,16036866
0.7-1	-1,424171595	1,424171595	2,1199053	0.7-1	-0,20707474	0,20707473	2,1199053	0.7-1	0,15466192	0,15466192	2,1199053	0.7-1	-0,01257084	0,012570844	2,1199053	0.7-1	-0,74802949	0,74802949	2,1199053
0.7-1.5	-3,688497795	3,688497795	2,16036866	0.7-1.5	-0,56658002	0,56658002	2,16036866	0.7-1.5	-0,77324043	0,77324043	2,16036866	0.7-1.5	-0,86172312	0,861723117	2,16036866	0.7-1.5	-0,81465211	0,81465211	2,16036866
1-1.5	-2,32261651	2,32261651	2,20098516	1-1.5	-0,42551074	0,425510744	2,20098516	1-1.5	-1,27417057	1,27417057	2,20098516	1-1.5	-1,19654151	1,196541514	2,20098516	1-1.5	-0,06884273	0,06884273	2,20098516
Vv	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Vmp	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Vmc	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Vvc	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch	Vvv	t-prüfen	t-pr-abs	t-kritisch
0.5-0.7	-1,02748492	1,02748492	2,10092204	0.5-0.7	0,1934021	0,1934021	2,10092204	0.5-0.7	-1,22144265	1,22144265	2,10092204	0.5-0.7	-0,89067898	0,89067898	2,10092204	0.5-0.7	-1,14984261	1,14984261	2,10092204
0.5-1	-1,39219545	1,39219545	2,1199053	0.5-1	-0,52856529	0,52856529	2,1199053	0.5-1	-1,25012797	1,25012797	2,1199053	0.5-1	-1,15015932	1,15015932	2,1199053	0.5-1	-1,63112648	1,63112648	2,1199053
0.5-1.5	-1,59187668	1,59187668	2,16036866	0.5-1.5	-0,5743342	0,5743342	2,16036866	0.5-1.5	-1,35012404	1,35012404	2,16036866	0.5-1.5	-1,33305835	1,33305835	2,16036866	0.5-1.5	-1,20486819	1,20486819	2,16036866
0.7-1	-0,11242726	0,11242726	2,1199053	0.7-1	-0,74802949	0,74802949	2,1199053	0.7-1	0,04532952	0,04532952	2,1199053	0.7-1	-0,06421067	0,06421067	2,1199053	0.7-1	-0,50834224	0,50834224	2,1199053
0.7-1.5	-0,17245684	0,17245684	2,16036866	0.7-1.5	-0,81465211	0,81465211	2,16036866	0.7-1.5	-0,1460621	0,1460621	2,16036866	0.7-1.5	-0,15462946	0,15462946	2,16036866	0.7-1.5	-0,25178781	0,25178781	2,16036866
1-1.5	-0,09485974	0,09485974	2,20098516	1-1.5	-0,06884273	0,06884273	2,20098516	1-1.5	-0,27095964	0,27095964	2,20098516	1-1.5	-0,13058116	0,13058116	2,20098516	1-1.5	0,25617637	0,25617637	2,20098516

Abbildung 19 Ergebnisse von t-Test der Oberfläche 4000\_Alu auf Messfeldgröße

Trotz der Testergebnisse kann noch die Variation der Werte zwischen verschiedenen Messfeldgrößen verglichen. Mit der Funktion „Diagramm“ unter „Einfügen“ in Microsoft Excel kann ein Punkt(XY)-Diagramm erstellt werden. Anschließend werden die Daten ausgewählt. Wir verwenden die Messfeldgröße als X-Achse und die Messdaten als Y-Achse. Damit erhalten wir eine Kurve in Abhängigkeit von der Messfeldgröße. Wir fügen dann weitere Diagrammelemente hinzu, wie Trendlinien und Konfidenzintervalle usw. Dies ergibt ein Diagramm, das als Vergleich verwendet werden kann.

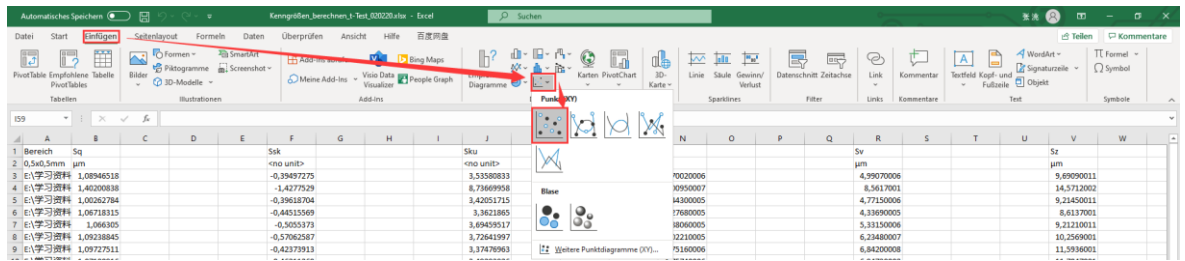
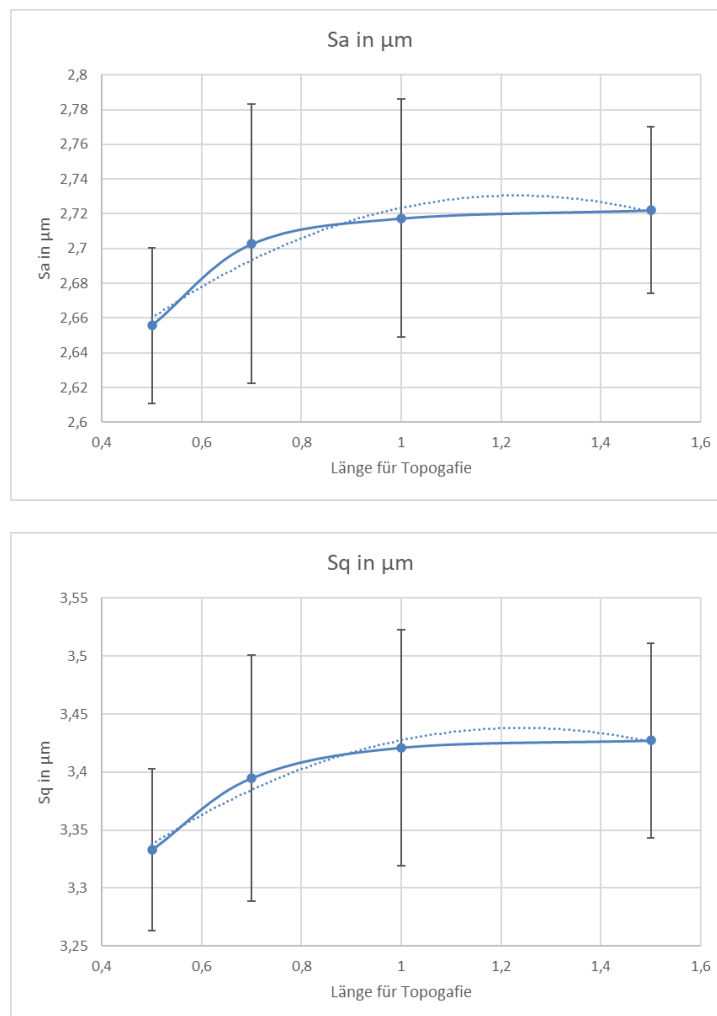


Abbildung 20 Punkt(XY)-Diagramm erstellen

Nach Erhalt der Darstellungen aller Parameter kann die Auswirkung unterschiedlicher Messfeldgrößen auf die Messdaten und die Gründe für die unterschiedlichen Daten analysiert werden.

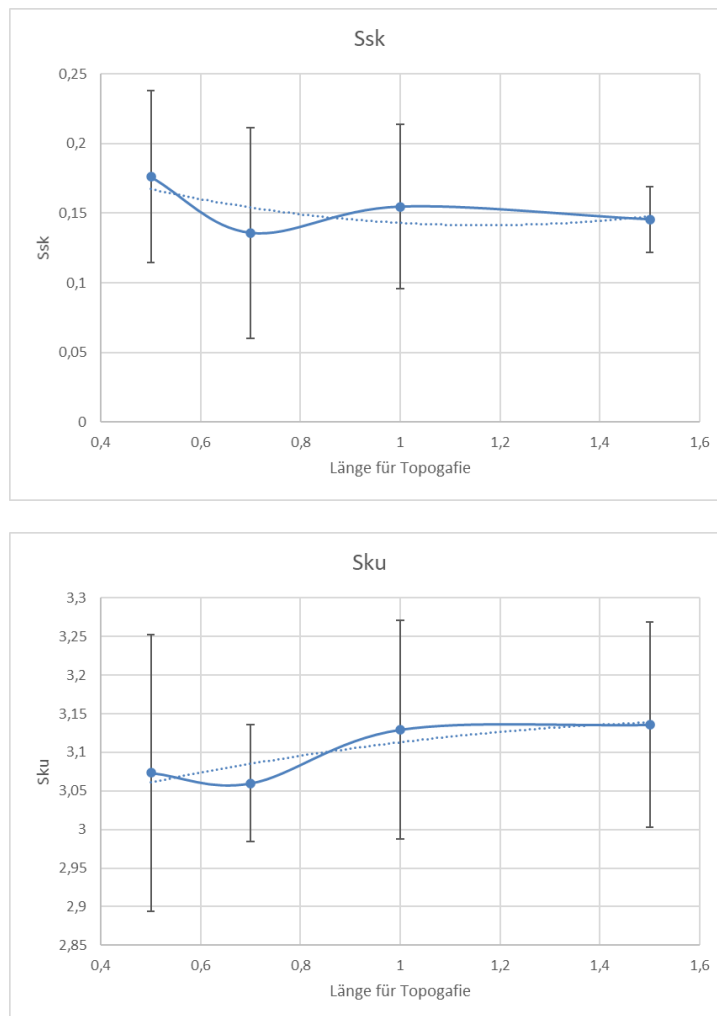
Zunächst die Höhenparameter  $S_a$  und  $S_q$ . In den Diagrammen haben  $S_a$  und  $S_q$  ähnliche Kurven, beide steigen allmählich an und flachen bei einer Messfeldgröße von  $1,5 \times 1,5$  mm ab. Das bedeutet, dass die Daten mit der Größe des Messfeldes zunehmen, sich aber schließlich bei einem bestimmten Wert stabilisieren. Der Grund dafür ist, dass mit zunehmender Größe des Messfeldes auch immer mehr Punkte gemessen werden. Nachdem die Anzahl der im Bereich abgedeckten Messpunkte zunimmt, nimmt der Einfluss bestimmter Extremwerte auf das Ganze mit zunehmender Grundzahl allmählich ab und tendiert schließlich zu einem stabilen Wert. Dieser Wert stellt die durchschnittliche Kennlinie über einen großen Bereich dar.



**Abbildung 21 Darstellung der Höheparameter  $S_a$  und  $S_q$  von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße**

Für die Parameter  $S_{sk}$  und  $S_{ku}$  gilt, dass diese beiden Parameter in gewissem Maße den Gesamtzustand der Oberfläche anzeigen. Die Kurve von Schiefe der Verteilung  $S_{sk}$  zeigt einen insgesamt abnehmenden Trend, der bei  $1,5 \times 1,5$  mm abflacht. Der Abfall von  $S_{sk}$  repräsentiert die Daten, die sich der Mittellinie oder dem Mittelwert der Verteilung nähern. Das bedeutet, dass sich die Verteilung der Normalverteilung annähert und die Messdaten ungefähr symmetrisch sind. Mit anderen Worten: Die Daten glätten den Einfluss der

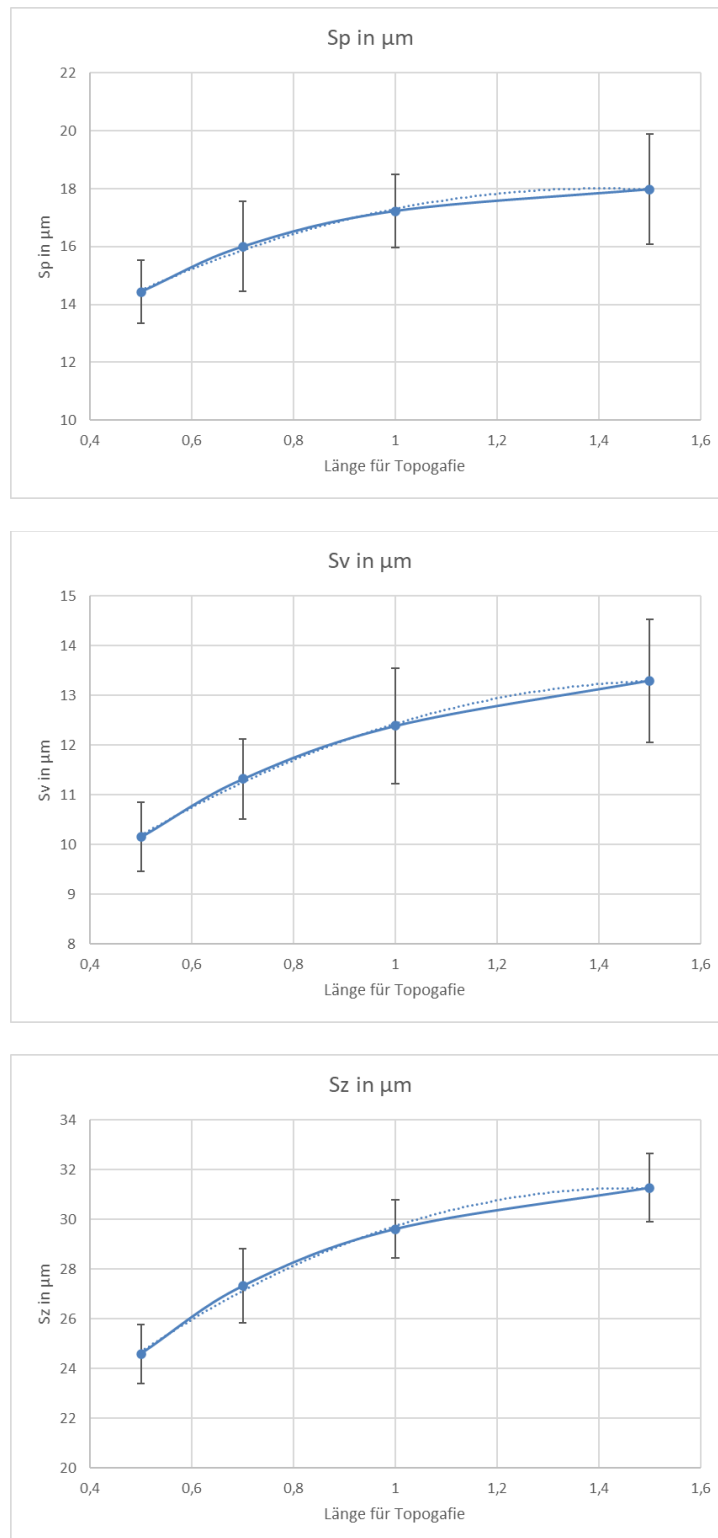
Extremwerte auf die Ssk-Werte in kleinen Messfeldern. Die Gesamtdaten werden durchschnittlicher. Die Kurve von Kurtosis der Verteilung Sku hingegen zeigt eine steigende Tendenz und wird bei 1,5x1,5 mm ebenfalls flach. Dies deutet darauf hin, dass die Extremwerte immer weniger Teil des Gesamtverhältnisses sind und mehr des Verhältnisses um den Mittelwert herum auftritt. Auch dies deutet darauf hin, dass der Einfluss der Extreme auf das Gesamtbild immer geringer wird und die Gesamtdaten tendenziell eher durchschnittlich sind.



**Abbildung 22 Darstellung der Verteilungsparameter Ssk und Sku von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße**

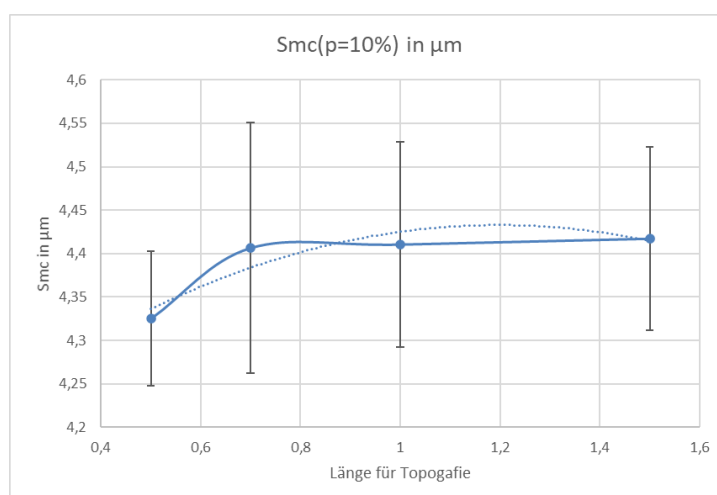
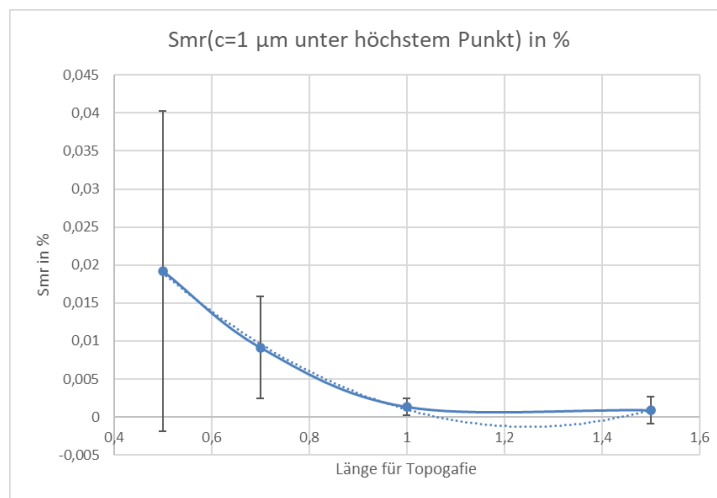
Die Höheparameter  $S_p$ ,  $S_v$  und  $S_z$  sind nicht ganz gleich wie bei den obigen Parametern. In der Grafik zeigen alle drei Parameter einen kontinuierlichen Aufwärtstrend. Der mögliche Grund dafür ist, dass die Vergrößerung des Messfeldes mehr Messpunkte bringt. In einer gegebenen Anzahl von Messfeld sind der Extremwert in dem zuvor kleinen Messfeld nicht mehr Extremwert, nachdem das Messfeld größer wird, und weitere ersetzen die ursprünglichen. Die Daten steigen also immer weiter an, bis der Messbereich einen bestimmten großen Bereich erreicht, bevor sie abflachen. Daher ist der Messbereich mit

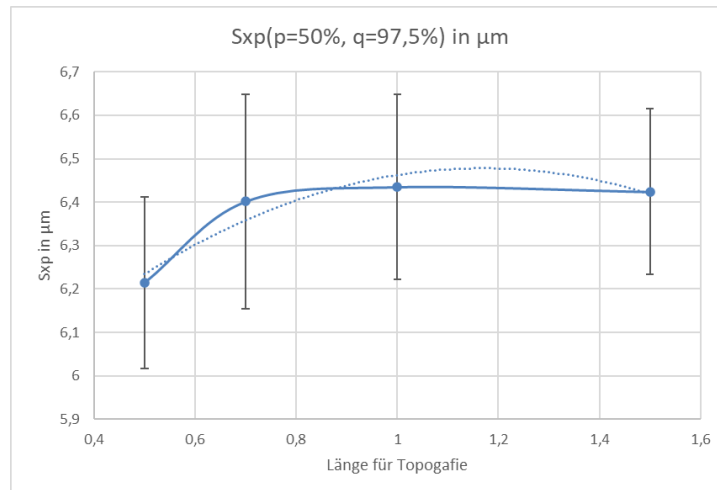
einer Größe von 1,5x1,5 mm im Vergleich zu anderen kleineren Messfeld umfassender, da er den größten Bereich hat und die meisten erhaltenen Extremwert abdeckt.



**Abbildung 23** Darstellung der Höheparameter Sp, Sv und Sz von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße

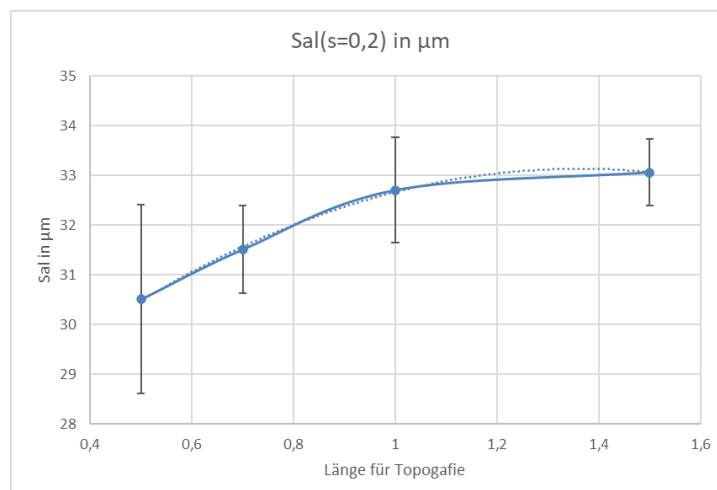
Für die Parameter  $S_{mr}$ ,  $S_{mc}$  und  $S_{xp}$  zeigt die Grafik eine Tendenz zur Abflachung. Der Wert des Parameters  $S_{mr}$  nimmt mit zunehmender Größe des Messfeldes ab. Da  $c=1\mu\text{m}$  unterhalb des höchsten Punktes angenommen wird, beziehen sich die Berechnungen auf den höchsten Punkt. Wenn der Messbereich klein ist, wie  $0,5 \times 0,5\text{mm}$ , ist  $S_{mr}$  deutlich höher als bei den anderen Messbereichsgrößen. Der Hauptgrund dafür ist, dass in dem kleinen Messbereich nicht genügend Messpunkte vorhanden sind und einzelne Extremwerte einen großen Anteil einnehmen können. Wenn sich der Messbereich vergrößert, erhöht sich die Anzahl der Messpunkte und die Extremwerte im Bereich haben nicht mehr einen hohen Anteil. Das bedeutet, dass kleine Messbereiche etwas kontingent sind, während große Messbereiche eher charakteristisch für die gesamte Oberfläche sind. Die Parameter  $S_{mc}$  und  $S_{xp}$  zeigen beide eine steigende Tendenz, und die beiden ähnlichen Kurven deuten darauf hin, dass sich die Daten mit zunehmender Anzahl von Messpunkten einem festen Mittelwert annähern. Die Gesamtchance wird reduziert. Dies deutet weiter darauf hin, dass der große Messbereich charakteristisch ist.





**Abbildung 24 Darstellung der  $S_{mr}$ ,  $S_{mc}$  und  $S_{xp}$  von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße**

Der Wert des Parameters  $Sal$  steigt langsam an in Abbildung 25, wenn die Größe des Messbereichs größer wird und der Bereich abflacht. Per Definition ist der  $Sal$ -Parameter die kürzeste Autokorrelationsfunktionslänge. Bei gleichem Autokorrelationsgrad  $s=0,2$  bedeutet eine Erhöhung des Wertes, dass das Bild weiter verschoben werden muss, um den Autokorrelationsgrad von 0,2 zu erreichen. Das bedeutet, dass das Bild unter einem großen Messbereich flacher und weniger wellenförmig ist als unter einem kleinen Messbereich. Dies liegt daran, dass der große Messbereich mehr Messpunkte abdeckt. Er ist repräsentativer im Vergleich zum kleinen Messbereich. Wenn extreme Messpunkte in den kleinen Messbereich einbezogen werden, dann werden die Werte vergrößert und der Gesamteffekt auf das Ganze wird verstärkt. Bei einem großen Messbereich hingegen wird er durch mehr andere Messpunkte neutralisiert, so dass sich der Einfluss in Grenzen hält.



**Abbildung 25 Darstellung der  $Sal$  von Alu 4000rpm in verschiedener Messfeldgröße**

Die Analyse, der aus den obigen Daten gezeichneten Diagramme zeigt, dass einige der Daten zwar ähnliche Konfidenzintervalle haben, was bedeutet, dass es keine signifikanten



numerischen Unterschiede in diesen Daten gibt. Allerdings bleiben die Konfidenzintervalle für die großen Messbereiche in einem vernünftigen Bereich und sind auch bei den kleinsten Konfidenzbereichen nicht viel größer als die anderen Messbereiche, was bedeutet je höher die Genauigkeit der Messdaten. Und der Trend, der in Verbindung mit den praktischen gewonnenen Messdaten aus der Grafik zeigt, dass ein großer Teil der Oberflächenmerkmalswerte mit zunehmender Messfläche allmählich zu einem stabilen Zustand tendieren. Ein großer Messbereich ist weniger anfällig für Extremwerte als ein kleiner Bereich, da mehr Messpunkte diese Extremwerte herausmitteln. Deshalb sind große Messbereiche stabiler und repräsentativer. Daher ist der große Bereich von 1,5x1,5 mm der stabilste und repräsentativste der vier Messbereiche.

## 4.2 Variation der Auflösung

Wenn die Auflösung als weitere Variable verwendet wird, dann muss die Größe des Messbereichs konstant bleiben. Aufgrund der Ergebnisse der obigen Diskussion über den Messbereich wurde 1,5x1,5mm als Messbereichstest gewählt. Das Prinzip der Änderung der Auflösung wird durch die Änderung des Abstands zwischen den Aufzeichnungsebenen erreicht. Wenn der Abstand zunimmt, werden weniger Punkte gemessen, d. h. die Auflösung nimmt ab. Umgekehrt, wenn der Abstand abnimmt, steigt die Anzahl der gemessenen Punkte und die Auflösung nimmt zu.

Mit der Funktion „Resampeln“<sup>5</sup> in MountainsMap8.2, wie in der Abbildung 26 gezeigt, kann die Auflösung auf den X- und Y-Achsen oder auf den Z-Achse verändert werden. Die Auflösung wird in der Z-Achse verändert. In dieser Arbeit wird die Auflösung auf Z-Achse mit verschiedener Größe aufgestellt.

Unter Beibehaltung der Auflösungen in der X- und Y-Achse wurden 0,1nm, 1nm, 10nm und 100nm als vier verschiedene Auflösungen in der Z-Achse gewählt. Die gemessenen Daten wurden in Excel importiert und organisiert, um die folgende Datentabelle 3 zu erhalten. Aufgrund von signifikantem Unterschied wird hier der Amplitudenkenngrößen zur Analyse ausgewählt.

---

<sup>5</sup> Sampeln von derselben Topografie nochmals

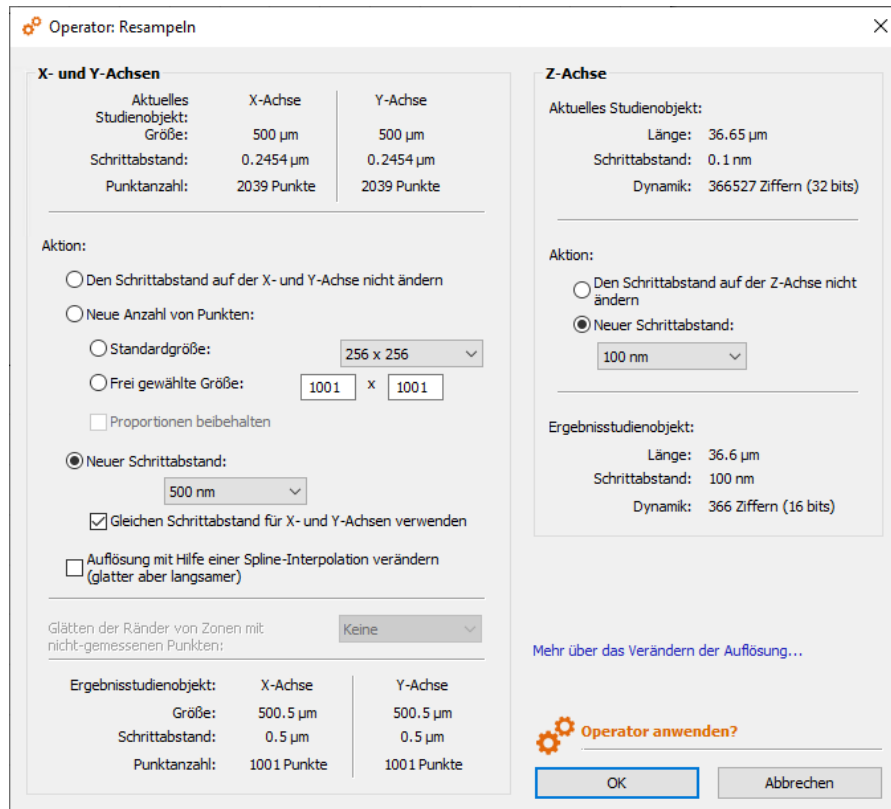


Abbildung 26 Funktion „Resampeln“ in MountainsMap8.2

In Tabelle 3 sind fünf Datensätze enthalten. Zuerst werden die Daten mit F-Test und t-Test überprüft. Die Nullhypothese  $H_0$  besteht, dass jeweils zwei beiden Datensätze keinen Unterschied haben. Die Ergebnisse wird wie Tabelle 4 gezeigt, dass alle F-prüf sowie t-prüf kleiner als F-kritisch und t-kritisch sind.  $H_0$  wird nicht abgelehnt und wir können sagen, dass es keinen signifikanten statistischen Unterschied auf Oberflächenkenngrößen für verschiedene Auflösungen gibt.

Der Vergleich der fünf Datensätze zeigt, dass die Änderung der Auflösung der Z-Achse keinen sehr signifikanten Einfluss auf die Werte hat. Bei den Kenngrößen  $S_p$ ,  $S_v$  und  $S_z$  beeinflusst jedoch die Auflösung der Z-Achse die Genauigkeit der Werte. Es ist zu erkennen, dass mit abnehmender Auflösung die Genauigkeit der Werte reduziert. Für jede zehnfache Erhöhung der Auflösung gibt es eine Nachkommastelle weniger und die Auswertung der Werte wird ungenau. Ein tausendfacher Unterschied zwischen minimaler und maximaler Auflösung ergibt einen Fehler von drei oder sogar vier Nachkommastellen. Solche Fehler werden vergrößert, wenn sie auf Mikron-Ebene beobachtet werden.

Eine Änderung der Auflösung auf der z-Achse hat also einen großen Einfluss auf die tiefenabhängigen Parameter  $S_p$ ,  $S_v$  und  $S_z$ . Bei niedrigen Auflösungen sind die Werte dieser drei Parameter mit Fehlern behaftet. Dies kann einfach verwendet werden, wenn ein schnelles Verständnis der Tiefenparameter erforderlich ist. Wenn jedoch präzise Messungen erforderlich sind, sollte eine hohe Auflösung gewählt werden.

als Messgröße auf die Messergebnisse

Auflösung	Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv	Sz	Sa
nm	µm	<no unit>	<no unit>	µm	µm	µm	µm
0,1	3,49113625	0,20893933	3,1044852	24,4946	18,4947	42,9893	2,77995348
1	3,49109643	0,20894307	3,10453331	24,494	18,495	42,989	2,77990345
10	3,49036514	0,20894707	3,10452991	24,49	18,49	42,98	2,77922519
100	3,4840321	0,20894544	3,10442935	24,4	18,5	42,9	2,77291759
0,1	3,44501419	0,1466417	2,99296761	21,1587	18,3342	39,4929	2,75684695
1	3,44493584	0,14664188	2,99296739	21,158	18,334	39,492	2,75677565
10	3,44453542	0,14666411	2,99343128	21,16	18,33	39,49	2,75627434
100	3,43684708	0,14663407	2,99333852	21,1	18,3	39,4	2,74907214
0,1	3,37359998	0,26618303	3,29762855	22,4218	16,9567	39,3785	2,67085061
1	3,37355403	0,26618266	3,29764926	22,422	16,956	39,378	2,67079819
10	3,37287301	0,26617774	3,29765186	22,42	16,95	39,37	2,67015426
100	3,36699274	0,26607144	3,29774864	22,4	16,9	39,3	2,66411394
0,1	3,33032877	0,13564757	3,06207094	19,0348	18,0058	37,0406	2,64834125
1	3,33027433	0,13564763	3,06207556	19,034	18,006	37,04	2,64828469
10	3,33067388	0,13562352	3,06158084	19,03	18,01	37,04	2,64878411
100	3,32665689	0,13563368	3,06509276	19	18	37	2,64363469
0,1	3,47591306	0,14540069	3,08303454	20,9914	18,3443	39,3357	2,76968441
1	3,47585141	0,14540051	3,08303527	20,991	18,344	39,335	2,76962394
10	3,47538962	0,14539541	3,08320836	20,99	18,34	39,33	2,76909727
100	3,47151473	0,14559945	3,08782748	21	18,3	39,3	2,76400899

Tabelle 3 veränderte Auflösung in der Z-Achse in 1,5x1,5mm Messfeldgröße

Sq	F-prüf	F-kritisch	Ssk	F-prüf	F-kritisch	Sku	F-prüf	F-kritisch	Sp	F-prüf	F-kritisch	Sv	F-prüf	F-kritisch	Sz	F-prüf	F-kritisch	Sa	F-prüf	F-kritisch
0,1/1	1,00003479	6,38823291	10/0,1	1,00004342	6,38823291	1/0,1	1,00013671	6,38823291	1/0,1	1,00013323	6,38823291	100/0,1	1,05142639	6,38823291	1/0,1	1,00011602	6,38823291	0,1/1	1,00006836	6,38823291
0,1/10	1,00915833	6,38823291	10/1	1,0003195	6,38823291	1/10	1,00131942	6,38823291	1/10	1,00037551	6,38823291	100/1	1,05044439	6,38823291	1/10	1,00287527	6,38823291	0,1/10	1,01089437	6,38823291
0,1/100	1,02941273	6,38823291	10/100	1,00251595	6,38823291	1/100	1,01061052	6,38823291	1/100	1,02218329	6,38823291	100/100	1,04837885	6,38823291	1/100	1,01629405	6,38823291	0,1/100	1,02134248	6,38823291
1/10	1,00912321	6,38823291	1/0,1	1,0001147	6,38823291	0,1/10	1,00118255	6,38823291	0,1/10	1,00024224	6,38823291	10/0,1	1,0029069	6,38823291	0,1/10	1,00275893	6,38823291	1/10	1,01082527	6,38823291
1/100	1,02337712	6,38823291	1/100	1,00248352	6,38823291	0,1/100	1,01047238	6,38823291	0,1/100	1,02204712	6,38823291	10/100	1,00197022	6,38823291	0,1/100	1,01617619	6,38823291	1/100	1,02127267	6,38823291
10/100	1,01412504	6,38823291	10/100	1,00247202	6,38823291	10/100	1,00927886	6,38823291	10/100	1,0217996	6,38823291	10/0,1	1,00093484	6,38823291	10/100	1,01338034	6,38823291	10/100	1,01033552	6,38823291
Sq	t-abs	t-kritisch	Ssk	t-abs	t-kritisch	Sku	t-abs	t-kritisch	Sp	t-abs	t-kritisch	Sv	t-abs	t-kritisch	Sz	t-abs	t-kritisch	Sa	t-abs	t-kritisch
0,1-1	0,00128723	2,30600414	0,1-1	1,9372E-05	2,30600414	0,1-1	0,00020523	2,30600414	0,1-1	0,00036143	2,30600414	0,1-1	0,0003544	2,30600414	0,1-1	0,0004526	2,30600414	0,1-1	0,00150973	2,30600414
0,1-10	0,0099229	2,30600414	0,1-10	2,5251E-05	2,30600414	0,1-10	0,00059799	2,30600414	0,1-10	0,00177587	2,30600414	0,1-10	0,00794478	2,30600414	0,1-10	0,00401024	2,30600414	0,1-10	0,0111486	2,30600414
0,1-100	0,13837045	2,30600414	0,1-100	0,00040557	2,30600414	0,1-100	0,02295465	2,30600414	0,1-100	0,03180577	2,30600414	0,1-100	0,06785227	2,30600414	0,1-100	0,05021953	2,30600414	0,1-100	0,16664495	2,30600414
1-10	0,00863283	2,30600414	1-10	4,4622E-05	2,30600414	1-10	0,00039268	2,30600414	1-10	0,00141437	2,30600414	1-10	0,00758878	2,30600414	1-10	0,00356455	2,30600414	1-10	0,00963498	2,30600414
1-100	0,13707701	2,30600414	1-100	0,00038619	2,30600414	1-100	0,02274809	2,30600414	1-100	0,03144131	2,30600414	1-100	0,06748688	2,30600414	1-100	0,04977102	2,30600414	1-100	0,16513015	2,30600414
10-100	0,12870871	2,30600414	10-100	0,00043083	2,30600414	10-100	0,02236192	2,30600414	10-100	0,03002219	2,30600414	10-100	0,05995954	2,30600414	10-100	0,04622807	2,30600414	10-100	0,1558929	2,30600414

Tabelle 4 Ergebnisse von F-test(oben) und t-Test(unten) der Oberfläche 4000\_Al u auf Auflösung

## 5 Vergleich der Topografiemessung mittels verschiedener Messverfahren

In diesem Kapitel werden die Daten aus derselbe Oberfläche mit taktilen Tastschnittmessverfahren und optischen Fokusvariationsmessverfahren verglichen. Aufgrund der Untersuchung im vorherigen Abschnitt wurde bei der Wahl der Messbedingungen versucht, große Messbereiche und eine hohe Auflösung zu wählen. Dies liegt daran, dass die auf diese Weise gemessenen Daten repräsentativer sind. Nachdem die beiden Messdaten mit taktilen und optischen Messverfahren gewonnen werden, wird es dann mit t-Tests geprüft, ob die Daten einen statistischen Unterschied haben. Dann vergleichen und analysieren wir die Daten.

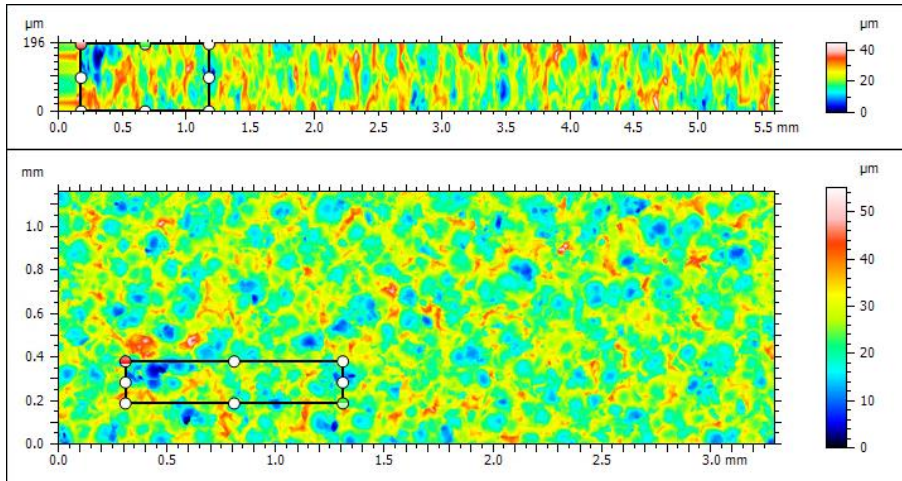
### 5.1 Verarbeitung der Daten mit Software MountainsMap

Die gleichen Proben wurden für die Durchführung des Experiments ausgewählt. In dieser Arbeit wurde eine mit 6500 rpm<sup>6</sup> für 10 Minuten sandgestrahlte Oberfläche aus Aluminium von Bernstein gewählt. Die Daten wurden mit zwei verschiedenen Messmethoden, im Tastschnittmessverfahren und im optischen Messverfahren, gemessen und anschließend in MountainsMap importiert, um die Daten zu verarbeiten.

Bei der Tastschnittmessverfahren wird die .txt-Datei importiert und eine Topografie erstellt. Bei dem optischen Messverfahren wird die Topografie durch den Import der .sur-Datei und die Bearbeitung, wie z. B. Ausrichten und Entfernen von Ausreißern, erstellt. Die Details der Operation befinden sich im Abschnitt Anlage am Ende der Arbeit. Die Topografie ist in der Abbildung 27 dargestellt.

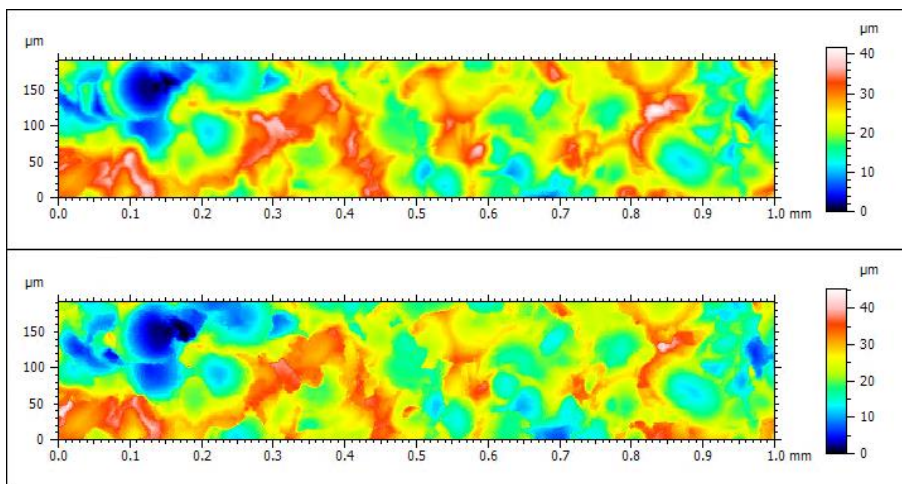
---

<sup>6</sup> Revolutions Per Minute



**Abbildung 27 Topografien von taktilen(oben) und optischen(unten) Messverfahren**

Um die Zuverlässigkeit beider Messdaten zu garantieren, wurden die gleichen Teile ausgewählt, die mit der gleichen Größe des Messbereichs und der gleichen Auflösung gemessen wurden. In dieser Arbeit wurde eine Messfeldgröße von 0,1924mmx1mm gewählt mit einer Auflösung von 0,5 Mikrometer auf der x-Achse und 2 Mikrometer auf der y-Achse. Für Messbedingung Auflösung kann es am höchsten nur 2 Mikrometer ausgewählt werden, weil die Topografie durch unvermeidbare mechanische Ursachen verzerrt wird, wie z.B. die falsche Ausrichtung der Sonde mit der Probe aufgrund von Vibrationen. Nachdem bestätigt wurde, dass die Messbedingungen korrekt sind, wird die Messung durchgeführt und die Amplitudenparameter werden ermittelt. Die Parameter wurden dann exportiert und die Daten zusammengestellt, um eine Tabelle mit den drei Gruppen von Steuerungsdaten wie unten gezeigt Tabelle 5 zu erhalten.



**Abbildung 28 gleiche Bereich der Probe von taktilen(oben) und optischen(unten) Messverfahren**

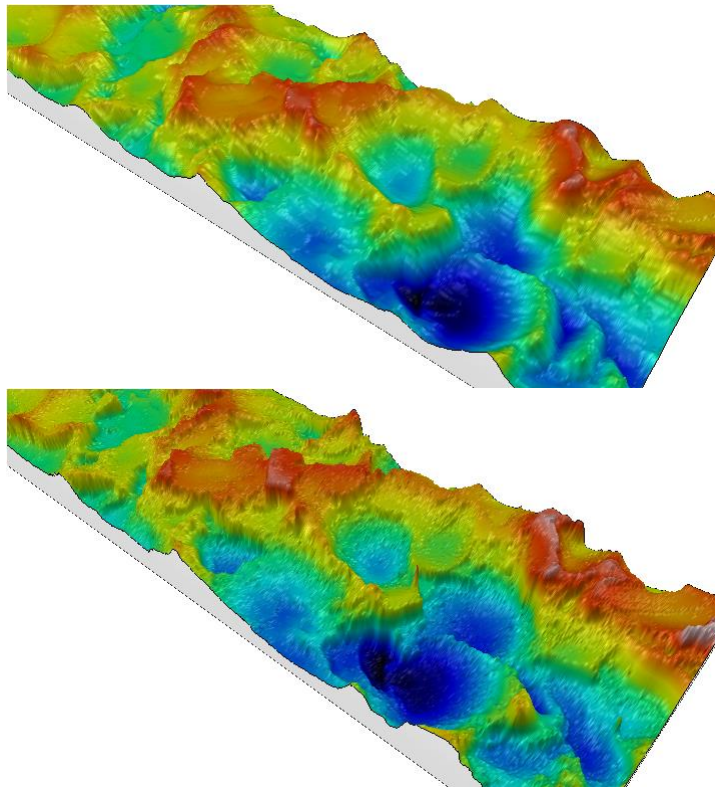


Abbildung 29 3D-Ansicht des gleichen Messfelds von taktilen(oben) und optischen(unten) Messverfahren

Studienobjekt-Infos				Studienobjekt-Infos			
Name:	6500_alu_2micro_3...gerichtet (LS-Ebene)			Name:	20x_Alu_6500rp... Uhrzeigersinn)		
Studienobjekt-Typ:	Oberfläche			Gemessen von:	Olympus 20x/0,6 NA		
<b>Achse: X</b>				Created on:	05.05.2021 12:49:44		
Länge:	5.600	mm		Messungsdauer:	1 m 0 s		
Größe:	11200	Punkte		Auflösung des Messgerätes:	100.0	nm	
Schrittabstand:	0.5000	µm		Studienobjekt-Typ:	Oberfläche		
Offset:	0.000	mm		<b>Achse: X</b>			
<b>Achse: Y</b>				Länge:	3.296	mm	
Länge:	196.0	µm		Größe:	6593	Punkte	
Größe:	99	Punkte		Schrittabstand:	0.5000	µm	
Schrittabstand:	2.000	µm		Offset:	49.30	mm	
Offset:	-196	µm		<b>Achse: Y</b>			
<b>Achse: Z</b>				Länge:	1.160	mm	
Schicht-Typ:	Topographie			Größe:	581	Punkte	
Länge:	44.57	µm		Schrittabstand:	2.000	µm	
Min.:	-21.98	µm		Offset:	-64.85	mm	
Max:	22.58	µm		<b>Achse: Z</b>			
Größe:	44565195	Ziffern		Schicht-Typ:	Topographie		
Schrittabstand:	0.0010	nm		Länge:	55.20	µm	
				Min.:	2.136	µm	
				Max:	57.34	µm	
				Größe:	552	Ziffern	
				Schrittabstand:	100.0	nm	

Abbildung 30 gleiche Auflösung von taktilen(link) und optischen(recht) Messverfahren

Taktill		Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv	Sz	Sa	Sal	Str	Std	Sdq	Sdr	Vm	Vv	Vmp	Vmc	Vvc	Vvv	Sk	Spk	Svk	Smr1	Smr2
Gruppe																								
1	7,070518	-0,17673	2,663738	20,05896	21,69334	41,7523	5,739169	0,042317	0,301156	72,74903	0,568571	13,80785	0,000238	0,009512	0,000238	0,006541	0,008676	0,000836	19,12028	4,558782	6,725443	8,947585	90,33401	
2	5,097078	0,05557	2,826729	18,34442	14,5528	32,89722	4,069992	0,032533	0,768502	113,4966	0,519966	11,6721	0,000228	0,006947	0,000228	0,004612	0,006371	0,000577	12,77414	4,717396	4,587588	11,44361	89,19629	
3	5,776753	0,122543	2,667715	21,88783	17,16429	39,05213	4,70072	0,040264	0,477699	128,747	0,529318	12,13867	0,000266	0,007866	0,000266	0,005474	0,007319	0,000546	15,84818	5,205172	4,271096	9,461174	92,24502	
Mittelwert	5,98145	0,000461	2,719394	20,09707	17,80348	37,90055	4,836627	0,038371	0,515786	104,9975	0,539285	12,53954	0,000244	0,008108	0,000244	0,005542	0,007455	0,000653	15,9142	4,827117	5,194709	9,950789	90,59177	
Varianz	1,005042	0,024669	0,008645	3,140033	13,05324	20,59771	0,710391	2,66E-05	0,055691	838,1176	0,000665	1,260883	3,85E-10	1,69E-06	3,85E-10	9,34E-07	1,34E-06	2,55E-08	10,07166	0,113484	1,782401	1,737327	2,373531	
Optisch		Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv	Sz	Sa	Sal	Str	Std	Sdq	Sdr	Vm	Vv	Vmp	Vmc	Vvc	Vvv	Sk	Spk	Svk	Smr1	Smr2
Gruppe																								
1	7,428939	-0,15885	2,649048	23,2	22,1	45,3	6,025472	0,041137	0,269422	76,98957	0,90721	26,76102	0,000251	0,010041	0,000251	0,006924	0,009176	0,000865	20,01668	4,819524	7,355591	9,260207	90,57376	
2	5,302828	0,018947	2,772637	19,4	14,1	33,5	4,248413	0,030044	0,670752	113,5089	0,822802	22,74227	0,000239	0,007064	0,000239	0,00484	0,00646	0,000603	13,46625	4,720017	4,7497	10,64091	89,06989	
3	5,903713	0,182084	2,603278	22,1	16,2	38,3	4,810337	0,041365	0,547213	128,7437	0,837739	23,79044	0,000274	0,008196	0,000274	0,005549	0,007651	0,000545	16,13159	5,102625	4,061271	10,23738	92,60218	
Mittelwert	6,211826	0,01406	2,674988	21,56667	17,46667	39,03333	5,028074	0,037515	0,495796	106,414	0,855917	24,43124	0,000254	0,008434	0,000254	0,005771	0,007762	0,000671	16,53818	5,016602	5,388854	10,04617	90,74861	
Varianz	1,201287	0,029077	0,007675	3,823333	17,20333	35,21333	0,825042	4,19E-05	0,042249	707,3742	0,002029	4,345555	3,13E-10	2,26E-06	3,13E-10	1,12E-06	1,85E-06	2,91E-08	10,85103	0,185253	3,019523	0,504006	3,142212	

Tabelle 5 zusammengestellte Daten von taktilen und optischen Messverfahren

## 5.2 Datenanalyse für verschiedene Messverfahren

Die Berechnungen wurden durchgeführt, nachdem alle drei Gruppen von Steuerungsdaten erhalten wurden. Mit den statistischen t-Test für verbundene Stichprobe wurde überprüft, weil die beiden Messverfahren auf dieselbe Stelle gemessen haben, ob es einen statistischen Unterschied zwischen der Tastschnittmessverfahren und der optischen Messverfahren gibt. Es wurde angenommen für die Nullhypothese  $H_0$ , dass die Mittelwerte der gemessenen Daten mit den beiden Messverfahren gleich sind, d. h., dass es keinen statistischen Unterschied zwischen den beiden Gruppen gibt.

Für die verbundene Stichprobe verwenden wir die Gleichung  $t = \frac{\bar{d}}{S_d} \sqrt{n}$  um der t-prüf zu berechnen. In dieser Gleichung sind  $d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$ ;  $d_i = x_{1i} - x_{2i}$  und

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}$$

$d$  ist die Differenz zwischen die beiden gemessenen Werte mit

taktilen Messverfahren und optischen Messverfahren auf dieselbe Stellen. Dann wird t-prüf mit t-kritisch vergleichen und die Ergebnisse wie unten Tabelle 6 gezeigt bekommen.

Nach der Tabelle ist es sichtbar, dass Hypothese für die Oberflächenkenngößen Sdq, Sdr, Vm und Vmp abgelehnt wird. Außer diesen vier Oberflächenkenngößen stimmen die übrigen Kenngößen mit der Hypothese überein. Das bedeutet, dass es keine signifikanten statistischen Unterschiede bei den meisten Kenngößen zwischen taktilen Messverfahren und optischen Messverfahren.

Taktill		Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv	Sz	Sa	Sal	Str	Std	Sdq	Sdr	Vm	Vv	Vmp	Vmc	Vvc	Vvv	Sk	Spk	Svk	Smr1	Smr2
Gruppe																								
1	7,070518	-0,17673	2,663738	20,05896	21,69334	41,7523	5,739169	0,042317	0,301156	72,74903	0,568571	13,80785	0,000238	0,009512	0,000238	0,006541	0,008676	0,000836	19,12028	4,558782	6,725443	8,947585	90,33401	
2	5,097078	0,05557	2,826729	18,34442	14,5528	32,89722	4,069992	0,032533	0,768502	113,4966	0,519966	11,6721	0,000228	0,006947	0,000228	0,004612	0,006371	0,000577	12,77414	4,717396	4,587588	11,44361	89,19629	
3	5,776753	0,122543	2,667715	21,88783	17,16429	39,05213	4,70072	0,040264	0,477699	128,747	0,529318	12,13867	0,000266	0,007866	0,000266	0,005474	0,007319	0,000546	15,84818	5,205172	4,271096	9,461174	92,24502	
Mittelwert	5,98145	0,000461	2,719394	20,09707	17,80348	37,90055	4,836627	0,038371	0,515786	104,9975	0,539285	12,53954	0,000244	0,008108	0,000244	0,005542	0,007455	0,000653	15,9142	4,827117	5,194709	9,950789	90,59177	
Varianz	1,005042	0,024669	0,008645	3,140033	13,05324	20,59771	0,710391	2,66E-05	0,055691	838,1176	0,000665	1,260883	3,85E-10	1,69E-06	3,85E-10	9,34E-07	1,34E-06	2,55E-08	10,07166	0,113484	1,782401	1,737327	2,373531	
Optisch		Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv	Sz	Sa	Sal	Str	Std	Sdq	Sdr	Vm	Vv	Vmp	Vmc	Vvc	Vvv	Sk	Spk	Svk	Smr1	Smr2
Gruppe																								
1	7,428939	-0,15885	2,649048	23,2	22,1	45,3	6,025472	0,041137	0,269422	76,98957	0,90721	26,76102	0,000251	0,010041	0,000251	0,006924	0,009176	0,000865	20,01668	4,819524	7,355591	9,260207	90,57376	
2	5,302828	0,018947	2,772637	19,4	14,1	33,5	4,248413	0,030044	0,670752	113,5089	0,822802	22,74227	0,000239	0,007064	0,000239	0,00484	0,00646	0,000603	13,46625	4,720017	4,7497	10,64091	89,06989	
3	5,903713	0,182084	2,603278	22,1	16,2	38,3	4,810337	0,041365	0,547213	128,7437	0,837739	23,79044	0,000274	0,008196	0,000274	0,005549	0,007651	0,000545	16,13159	5,102625	4,061271	10,23738	92,60218	
Mittelwert	6,211826	0,01406	2,674988	21,56667	17,46667	39,03333	5,028074	0,037515	0,495796	106,414	0,855917	24,43124	0,000254	0,008434	0,000254	0,005771	0,007762	0,000671	16,53818	5,016602	5,388854	10,04617	90,74861	
Varianz	1,201287	0,029077	0,007675	3,823333	17,20333	35,21333	0,825042	4,19E-05	0,042249	707,3742	0,002029	4,345555	3,13E-10	2,26E-06	3,13E-10	1,12E-06	1,85E-06	2,91E-08	10,85103	0,185253	3,019523	0,504006	3,142212	
t-Test																								
t-prüf	3,390772	0,488424	2,930073	1,688286	0,842056	0,8925	3,723253	0,816176	0,410968	1,003192	28,47136	21,36279	6,927904	2,728303	6,927904	2,573414	2,57549	1,863727	3,462576	2,009275	0,798925	0,203553	1,077028	
t-kritisch	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	4,302653	

Tabelle 6 berechnet t-Wert und kritische t-Wert

Zum weiteren Vergleich der Werte werden Grafiken dargestellt, wie Abbildung 31. Nach den Grafiken kann man sehen, dass die meisten gemessenen Kenngrößen mit dem optischen Messverfahren größer als die mit dem taktilen Messverfahren. Besonders die Kenngrößen Sdr, Sdq und Ssk haben einen großen Unterschied.

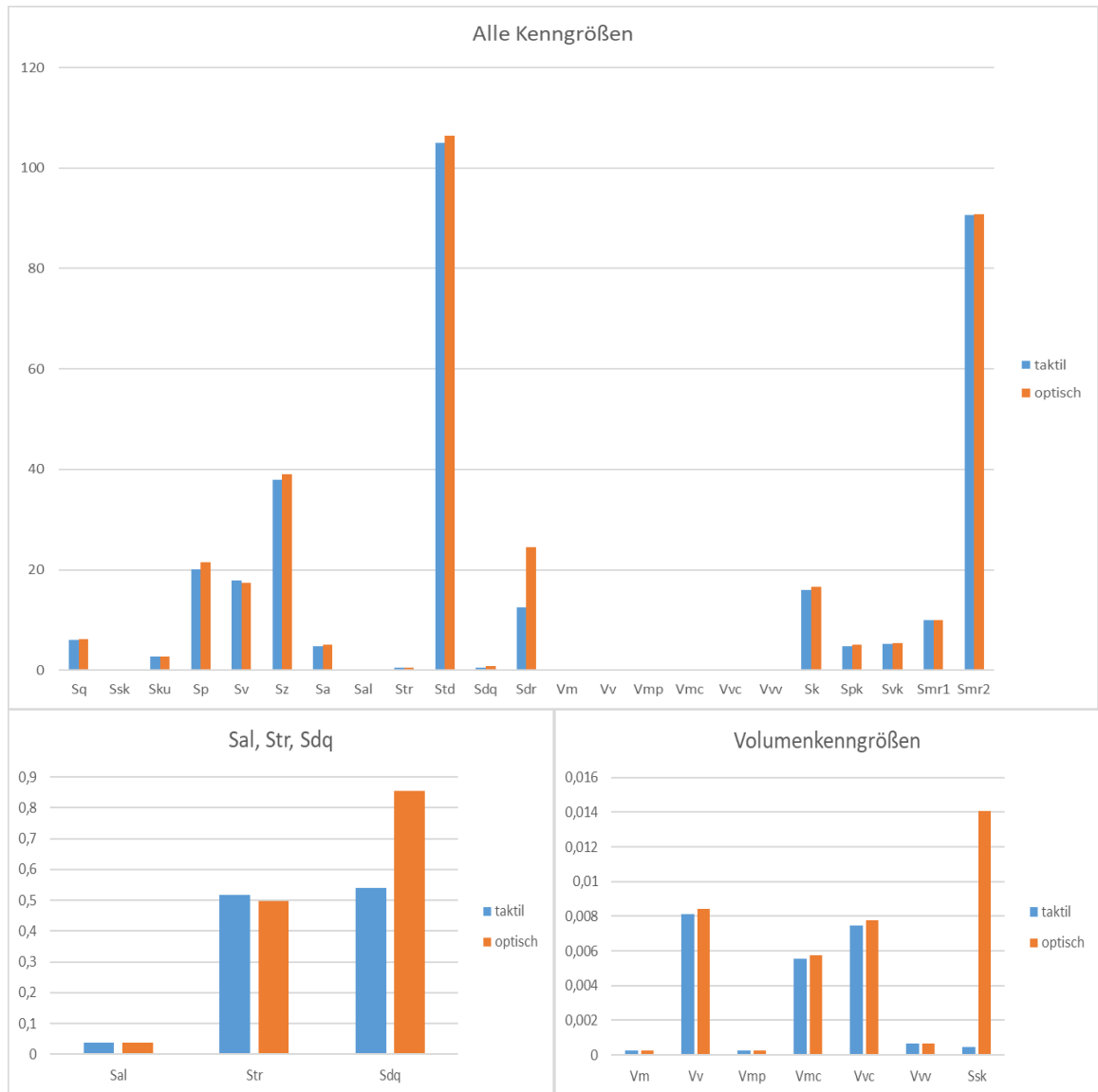


Abbildung 31 graphische Vergleich der Kenngrößen





## 6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Arbeit über die Ergebnisse zusammengefasst und den Ausblick dargestellt.

### 6.1 Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wurden die Hauptaufgabe gut gemacht.

Zuerst wird die Verteilungseigenschaft der Oberflächen als eine Voraussetzung geprüft. Mittels AD-Test in MATLAB wurde  $p$ -Wert für die Verteilung einfach berechnet. Durch die logischen Werte von  $p$ , 0 oder 1 ist, wurde es geprüft, ob die Oberfläche normalverteilt ist. Und die Ergebnisse zeigte, dass die gestrahlten Oberflächen die Normalverteilung haben.

Nachdem die Verteilungseigenschaft geprüft wurde, dann können F-Test und t-Test verwendet um die Daten zu prüfen, ob es einen Einfluss gibt, wenn die Messfeldgröße und die Auflösung als Messbedingungen werden. Durch die Berechnung in Microsoft Excel kann man sagen, es keinen signifikanten Unterschied zwischen verschiedenen Messfeldgrößen sowie Auflösungen. Aber den Unterschied gibt es noch durch die Grafiken, dass mit großen Messfeld oder hohen Auflösung die Daten repräsentativ.

Am Schluss wurde das Thema Vergleich zwischen verschiedenen Messverfahren gelöst. Mit der Messbedingungen, die bereits im vorherigen Abschnitt besprochen, wurde die Topografiemessung von beiden Messverfahren auf dieselbe Stelle gemacht. Dann wurde abhängiger t-Test benutzt um die Daten zu überprüfen, ob einen Unterschied die beiden Messverfahren haben. Den Testergebnisse zufolge gab es keinen signifikanten statistischen Unterschied. Beim anschließenden Vergleich der Kenngrößenwerte waren die mit dem optischen Messverfahren ermittelten Werte meist größer als die mit dem taktilen ermittelten.

An dieser Stelle sind alle Aufgaben für diese Arbeit abgeschlossen.

### 6.2 Ausblick

In dieser Arbeit gibt noch viele zu verbessern. Das Programm für AD-Test in MATLAB kann immer verbessert werden, um mehr Kenngrößen zu prüfen. Für die Messbedingung Messfeldgröße ist es noch wenige Datensätze. Wenn mehr Ausschnitte berechnet werden, dann kann man eine präzise Grafik darstellen, d.h. es besser zu beobachten, welches Messfeld der Beste ist.



## Literatur

- [1] Prof. Dr.-Ing. R. Pleul • Doz. Dr.-Ing. C. Beck: Charakterisierung technischer Oberflächen - Grundlagen, 2014
  
- [2] Doz. Dr.-Ing. habil. C. Beck • Prof. Dr.-Ing. R. Pleul: Messung technischer Oberflächen mit Tastschnittgeräten, 2014
  
- [3] M. Rahlves, J. Seewig(Hrsg.): Optische Messen technischer Oberflächen, 2009
  
- [4] Confovis GmbH: Gebrauchsanleitung für das Messsystem Confovis TOOLinspect, 2018
  
- [5] Prof. Dr.-Ing. R. Pleul • Doz. Dr.-Ing. C. Beck: Charakterisierung technischer Oberflächen - Grundlagen, 2014
  
- [6] Dr. R. Pleul: 3D-KenngrößenAbstract, Zugriff am 02.06.2021
  
- [7] Dr. R. Pleul: Flächenhafte Charakterisierung der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit, 2014
  
- [8] Anderson-Darling Test, online Quelle:  
[https://www.mathworks.com/help/stats/adt-est.html?s\\_tid=doc\\_ta#d123e121687](https://www.mathworks.com/help/stats/adt-est.html?s_tid=doc_ta#d123e121687), verfügbar am 03.06.2021
  
- [9] Morgenstern, C. u.a.: Six Sigma 8 Statistische Tests. Kursunterlagen der TEQ GmbH, 2010

- [10] Regina Storm: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle, 2001

# Anlagen

Teil 1 .....	A-III
Teil 2 .....	A-X
Teil 3 .....	A-XIII



# Anlagen, Teil 1

## Kenngrößenberechnung mit MountainsMap8.2

Zuerst braucht es eine Oberflächendatei im Format „.sur“, die kann durch Confovis Lichtmikroskop bekommen werden und dann in MountainsMap 8.2 zur Bearbeitung und Analyse geladen werden. In „Datei“ unter dem Menü wird der Option „Studienobjekt laden“ gewählt, danach die Oberflächendatei in das Arbeitsblatt hinzugefügt wird.

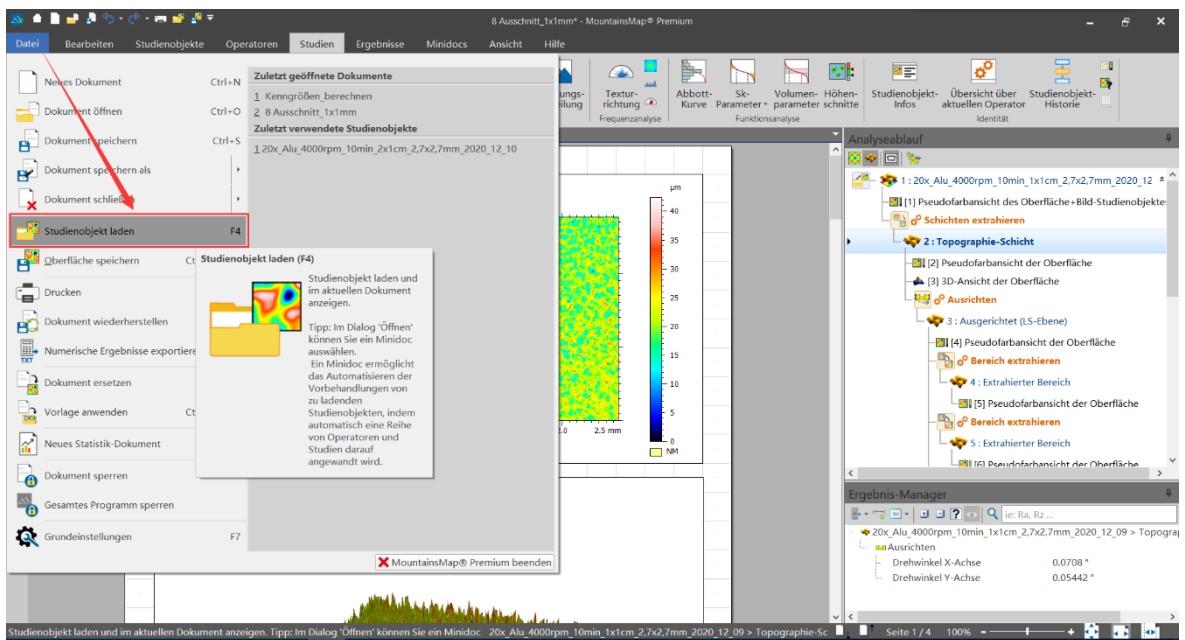


Abbildung 32 Hauptmenü des MountainsMap8.2

Ganz rechts auf dem Bildschirm wird die durchgeführten Abläufe angezeigt. Diese Analyseabläufe können im Format „.mnt“ gespeichert werden, was ist eine Prozesse-Datei, die kann in den gleichen Prozessen für verschiedene Oberflächendateien analysiert werden, ohne manuell wiederholen zu müssen.



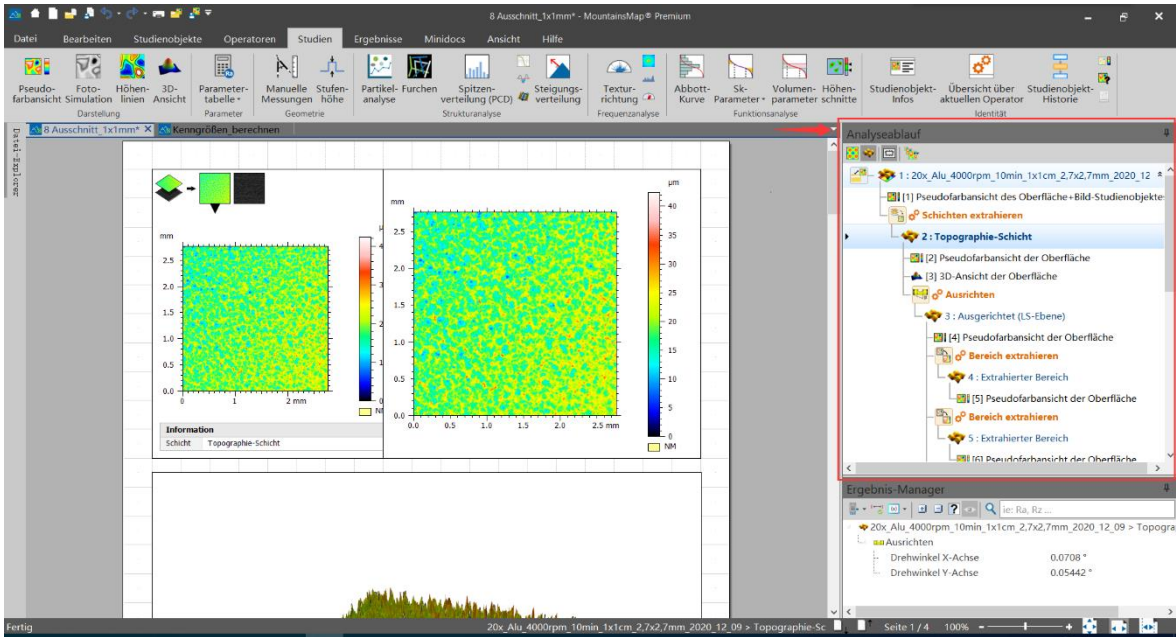


Abbildung 33 Analyseablauf des MountainsMap8.2

Als nächster Schritt erfolgt die Bearbeitung der Oberfläche. Die Auswahl der Schicht einer Oberfläche genießt die Priorität, dadurch werden die nachfolgenden Operationen übersichtlicher. Es wird erreicht mit der Option „Schichten extrahieren“ unter „Operatoren“, nach die zu bearbeitende Oberflächendatei ausgewählt wird. Damit wurde eine klarere Topografie extrahiert, die als nächstes bearbeitet wird.

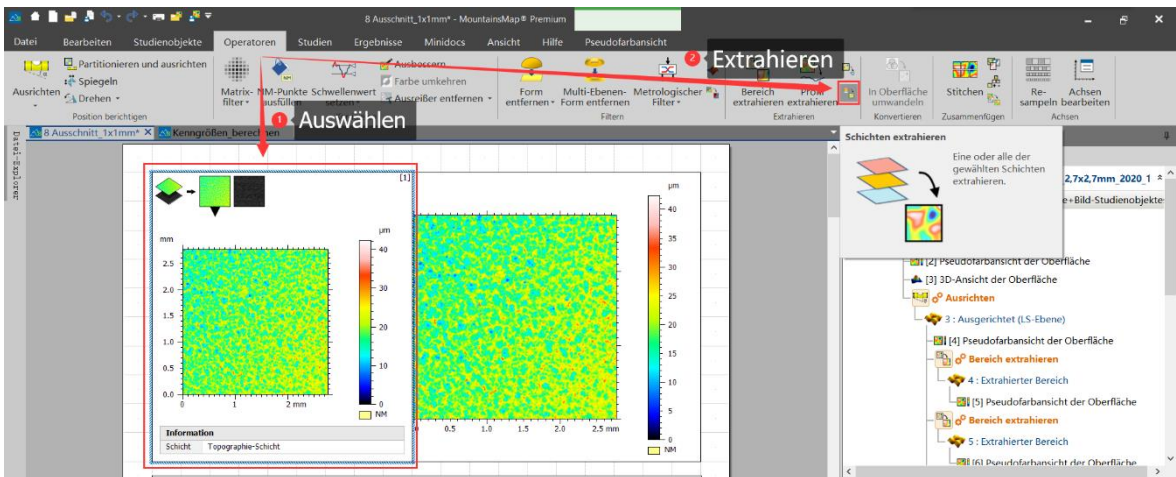


Abbildung 34 Extrahieren Schichten gemessener Oberfläche  
in MountainsMap8.2

Nachdem die Topografie erzeugt wurde, kann mit der Funktion „3D-Ansicht“ unter „Studien“ eine interaktive 3D-Echtzeitvisualisierung angezeigt werden. Diese Visualisierung ermöglicht eine visuellere Sicht der Rauheit der Oberfläche und ein erstes Verständnis der gemessenen Oberfläche.

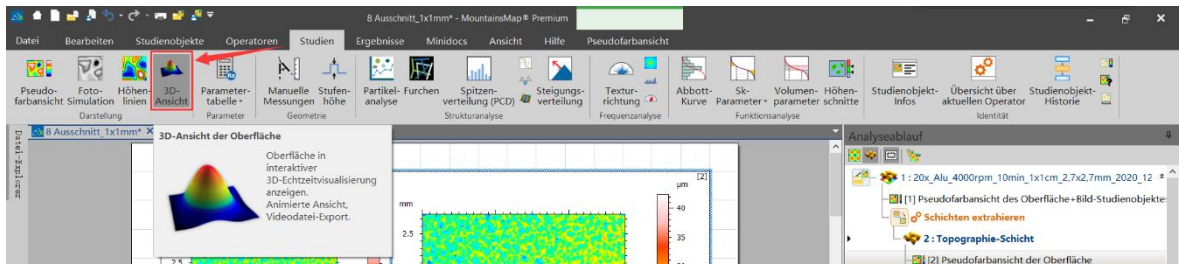


Abbildung 35 Funktion „3D-Ansicht“ in MountainsMap8.2

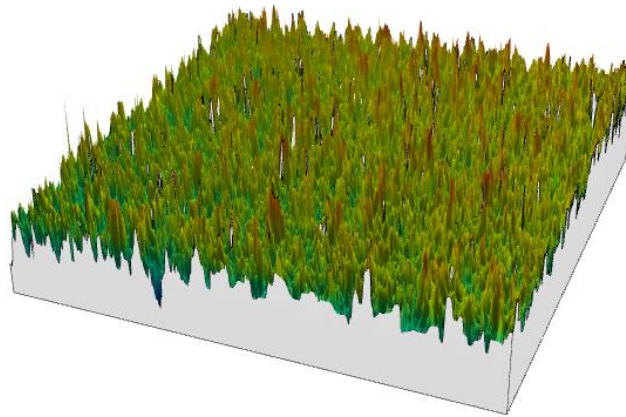


Abbildung 36 Zeigen der 3D-Ansicht gemessener Oberfläche

Anschließend wird einfache Bearbeitung der Oberfläche durchgeführt. Aufgrund des unvermeidlichen manuellen Fehlers, wie z.B., dass die Ebene schiefe ist, oder zu wenige Punkte gemessen werden usw., werden die Daten fehlen. Deshalb ist es notwendig, die Daten mit Hilfe von Funktionen und Algorithmus der Software so vollständig wie möglich zu machen.

Mit der Funktion „Ausrichten“ unter „Operatoren“ kann die allgemeine Neigung entfernt werden und die Oberfläche so kalibriert werden, dass sie möglichst horizontal ist.

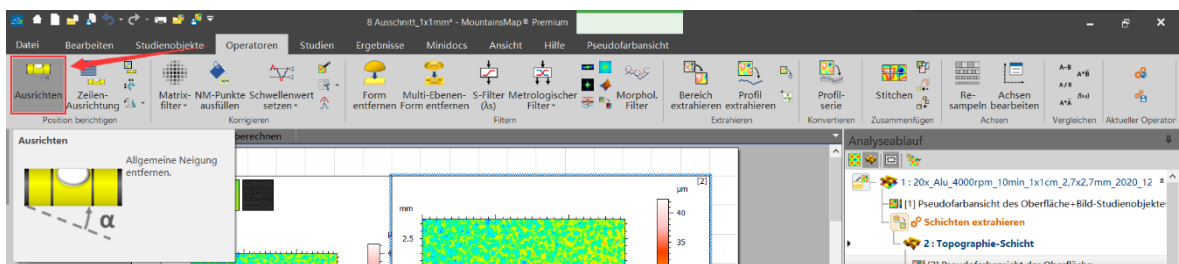


Abbildung 37 Funktion „Ausrichten“ in MountainsMap8.2

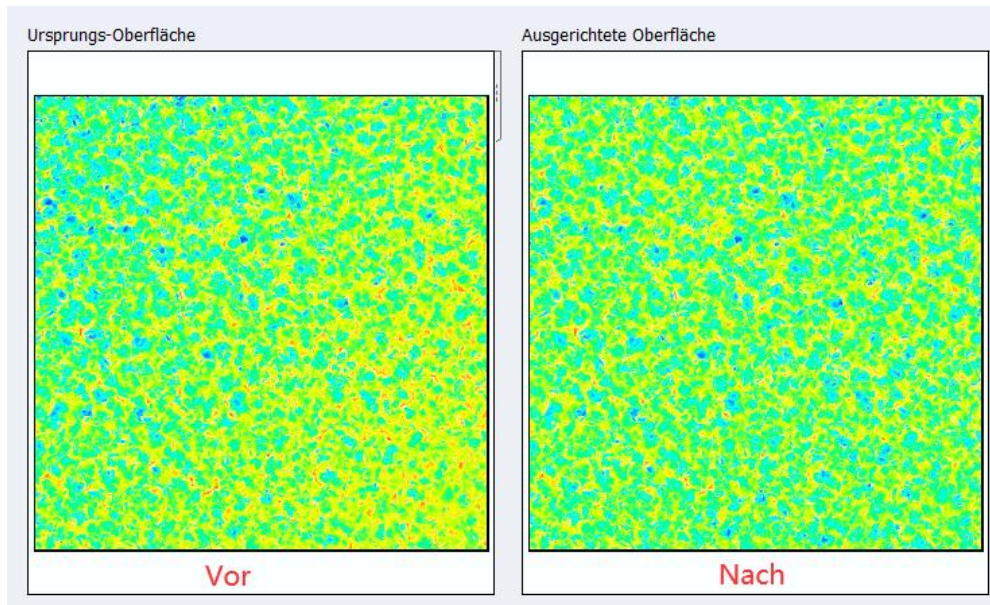


Abbildung 38 Vorher/Nachher-Vergleich der Ausrichtung

Die Funktion „Ausreißer entfernen“ kann am Rand liegende und isolierte Ausreißer entfernen. Sie werden in nicht gemessene Punkte sowie fehlende Punkte umgewandelt und können automatisch ersetzt werden.

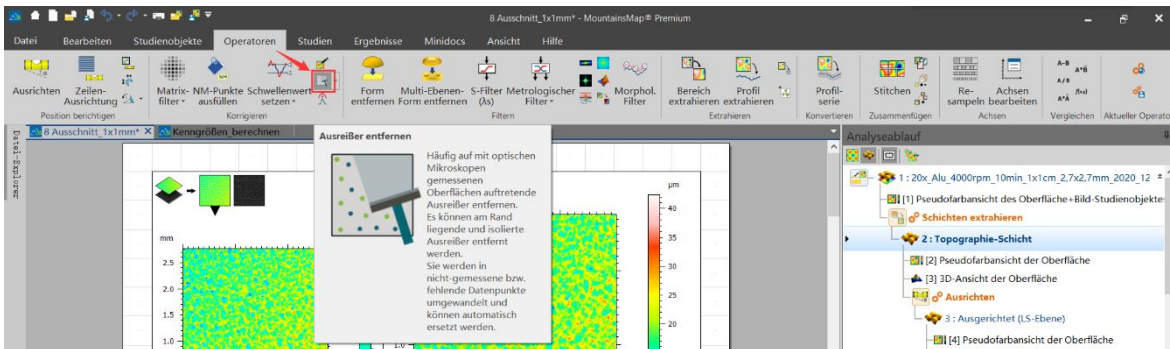


Abbildung 39 Funktion „Ausreißer entfernen“ in MountainsMap8.2

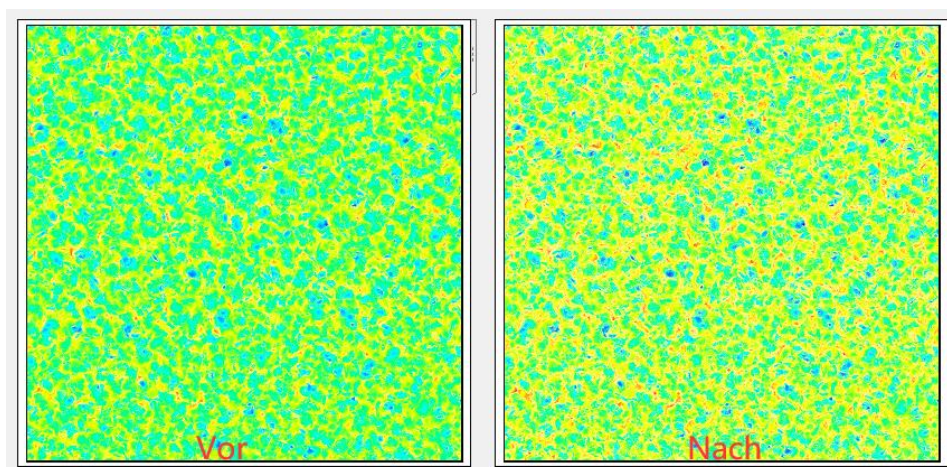
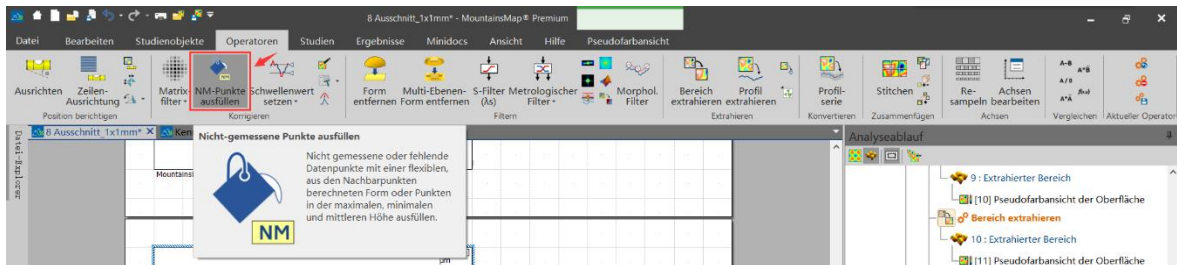
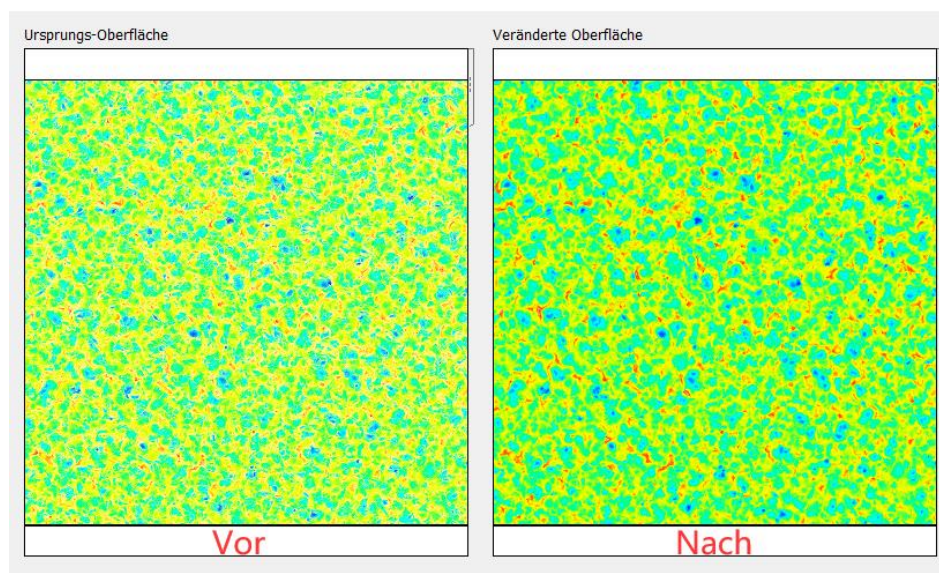


Abbildung 40 Vorher/Nachher-Vergleich des Ausreißer-Entfernen

Die Funktion „Nicht-gemessene Punkte ausfüllen“ unter „Operatoren“ kann dann ausgewählt werden, um die fehlende Datenpunkte aufgrund von Messfehlern mit einer flexiblen, aus den Nachbarpunkten berechneten Form oder Punkten in der maximalen, minimalen und mittleren Höhe auszufüllen, dadurch die Daten vollständiger werden.



**Abbildung 41 Funktion „Nicht-gemessene Punkte ausfüllen“  
in MountainsMap8.2**



**Abbildung 42 Vorher/Nachher-Vergleich der Ausfüllung der Punkte**

Nach der oben beschriebenen Bearbeitung kann die gesamte Oberfläche in mehrere kleinere unterteilt werden, um die einzelne kleine Oberfläche besser zu beobachten sowie mehrere Daten zu erhalten. Mit der Funktion „Bereich extrahieren“ kann man den Untersuchungsbereich extrahieren. Sowohl die Position des Abschnitts auch die Größe des Abschnitts können frei ausgewählt werden.

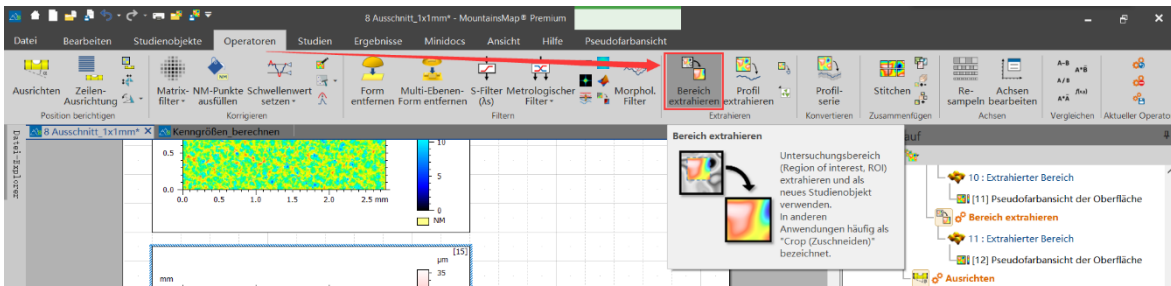


Abbildung 43 Funktion „Bereich extrahieren“ in MountainsMap8.2

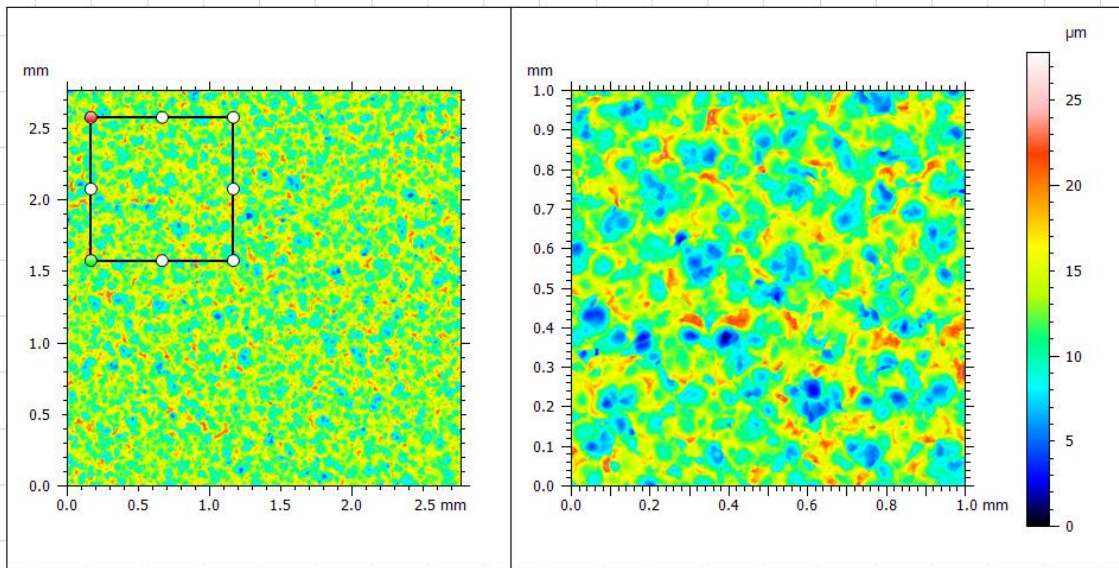


Abbildung 44 Extrahieren kleinere Bereich von gemessener Oberfläche

Schließlich können mit der Option „Parametertabelle“ die Kenngrößen berechnet und eine Tabelle erzeugt werden, dann es kann im Format „.csv“, die kann in Microsoft Excel geöffnet werden, für die weitere Analyse exportiert werden. In „Parameterauswahl“ Bildschirm können die zu verwendenden Kenngrößen ausgewählt werden. Danach wird eine Tabelle mit bereits berechneten Parametern angezeigt.

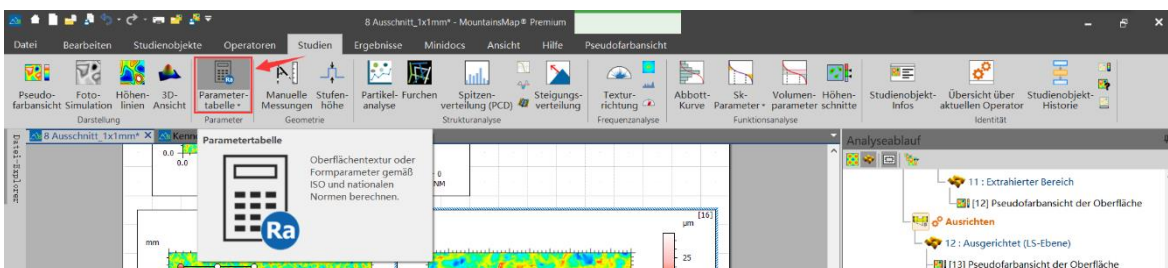


Abbildung 45 Funktion „Parametertabelle“ in MountainsMap8.2

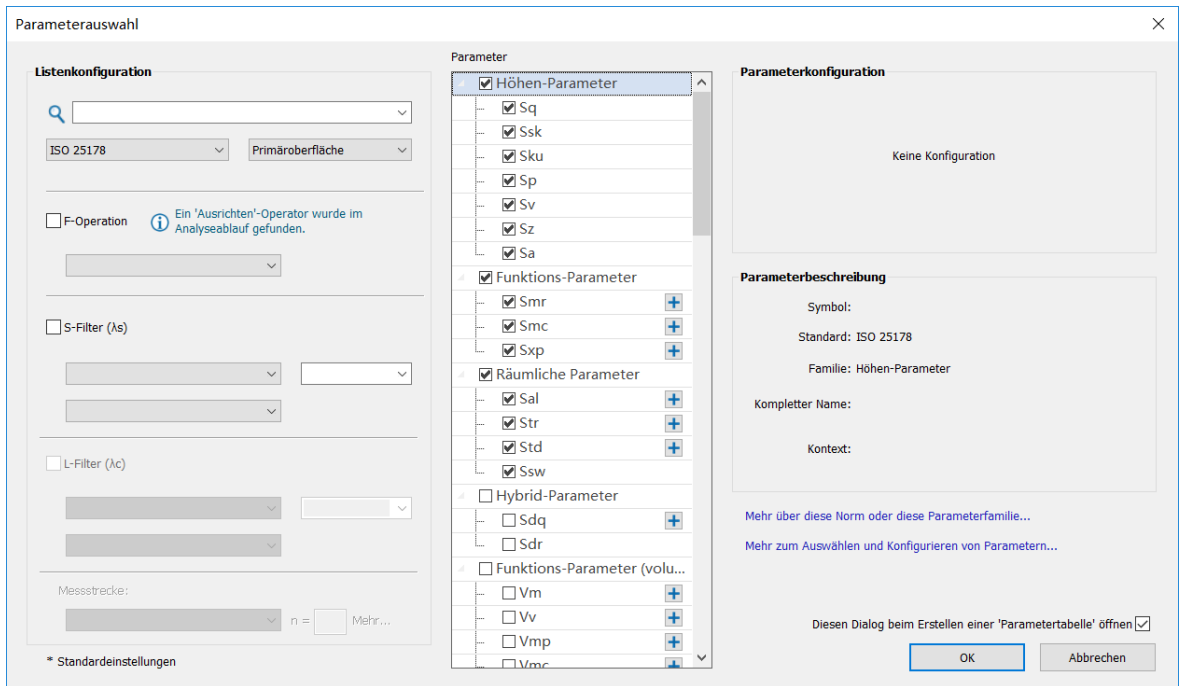


Abbildung 46 Fenster der Parameterauswahl

ISO 25178 - Primäroberfläche [17]			
F: [Analyseablauf] Ausgerichtet (LS-Ebene)			
S-Filter (As): Keine			
<b>Höhen-Parameter</b>			
Sq	3.347	µm	
Ssk	0.1172		
Sku	2.817		
Sp	15.70	µm	
Sv	12.11	µm	
Sz	27.81	µm	
Sa	2.694	µm	
<b>Funktions-Parameter</b>			
Smr	0.0001985	%	
Smc	4.324	µm	
Sxp	6.233	µm	
<b>Räumliche Parameter</b>			
Sal	0.03072	mm	
Str	0.8505		
Std	132.5	°	
Ssw	0.007079	mm	

Abbildung 47 Tabelle berechneten Parametern

# Anlagen, Teil 2

$n \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	50	60	100	$\infty$
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	252	253	254
2	18,5	19,0	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,62	8,59	8,58	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,75	5,72	5,70	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,50	4,46	4,44	4,43	4,41	4,37
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,81	3,77	3,75	3,74	3,71	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,58	3,51	3,44	3,38	3,34	3,32	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,08	3,04	3,02	3,00	2,98	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,86	2,83	2,80	2,79	2,76	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,13	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,70	2,66	2,64	2,62	2,59	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,10	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,57	2,53	2,51	2,49	2,46	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,47	2,43	2,40	2,38	2,35	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,02	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,38	2,34	2,31	2,30	2,26	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,31	2,27	2,24	2,22	2,19	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,25	2,20	2,18	2,16	2,12	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,19	2,15	2,12	2,11	2,07	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,15	2,10	2,08	2,06	2,02	1,96
18	4,41	3,56	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,11	2,06	2,04	2,02	1,98	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,15	2,07	2,03	2,00	1,98	1,94	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,04	1,99	1,97	1,95	1,91	1,84
21	4,33	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,01	1,97	1,94	1,92	1,88	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	1,98	1,94	1,91	1,89	1,85	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,38	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	1,96	1,91	1,88	1,86	1,82	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,35	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,94	1,89	1,86	1,84	1,80	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,92	1,87	1,84	1,82	1,78	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,90	1,85	1,82	1,80	1,76	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,88	1,84	1,81	1,78	1,74	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,87	1,82	1,79	1,77	1,73	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,95	1,85	1,81	1,77	1,75	1,71	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,02	1,93	1,84	1,79	1,76	1,74	1,70	1,62
35	4,12	3,27	2,87	2,64	2,48	2,37	2,29	2,22	2,16	2,11	2,04	1,96	1,88	1,79	1,74	1,70	1,68	1,64	1,56
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,74	1,69	1,66	1,64	1,59	1,51
45	4,06	3,20	2,81	2,58	2,42	2,31	2,22	2,15	2,10	2,05	1,97	1,90	1,81	1,71	1,66	1,63	1,60	1,55	1,47
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,03	1,95	1,87	1,78	1,69	1,63	1,60	1,58	1,52	1,44
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,65	1,59	1,56	1,53	1,48	1,39
70	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	2,23	2,14	2,07	2,02	1,97	1,89	1,81	1,72	1,62	1,57	1,53	1,50	1,45	1,35
80	3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,13	2,06	2,00	1,95	1,88	1,79	1,70	1,60	1,54	1,51	1,48	1,43	1,32
90	3,95	3,10	2,71	2,47	2,32	2,20	2,11	2,04	1,99	1,94	1,86	1,78	1,69	1,59	1,53	1,49	1,47	1,41	1,30
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,31	2,19	2,10	2,03	1,98	1,93	1,85	1,77	1,68	1,57	1,51	1,48	1,45	1,39	1,28
$\infty$	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,46	1,39	1,35	1,32	1,24	1,01

Abbildung 48 Ausgewählte Zahlenwert zur F-Verteilung 95%

Anzahl der Messwerte <i>m</i> ↙ <i>n</i>	Vertrauensniveau $P = (1 - \alpha) =$ 68,3 % (1 s-Grenzen)	Vertrauensniveau $P = (1 - \alpha) = 95 \%$ (2 s-Grenzen)	Vertrauensniveau $P = (1 - \alpha) =$ 99,73 % (3 s-Grenzen)
	<i>t</i>	<i>t</i>	<i>t</i>
3	1,32	4,30	19,21
5	1,15	2,78	6,62
6	1,11	2,57	5,51
8	1,08	2,36	4,53
10	1,06	2,26	4,09
15	1,04	2,15	3,67
20	1,03	2,09	3,45
30	1,02	2,05	3,28
50	1,01	2,01	3,16
100	1,00	1,98	3,08
200	1,00	1,97	3,04
» 200	1,00	1,96	3,00

Abbildung 49 Ausgewählte Zahlenwerte zur t-Verteilung für zweiseitigen Vertrauensbereich





## Anlagen, Teil 3

Importfile.m in MATLAB:

```
1. function Alu400005x05mm = importfile1(filename, dataLines)
2. %IMPORTFILE1 Import data from a text file
3. % ALU400005X05MM = IMPORTFILE1(FILENAME) reads data from text file
4. % FILENAME for the default selection. Returns the numeric data.
5. %
6. % ALU400005X05MM = IMPORTFILE1(FILE, DATALINES) reads data for the
7. % specified row interval(s) of text file FILENAME. Specify DATALINES as
8. % a positive scalar integer or a N-by-2 array of positive scalar
9. % integers for dis-contiguous row intervals.
10. %
11. % Example:
12. % Alu400005x05mm = importfile1("D:\Program Files\MATLAB\Bachelorar-
    beit\Alu_4000_0,5x0,5mm.csv", [3, Inf]);
13. %
14. % See also READTABLE.
15. %
16. % Auto-generated by MATLAB on 2021-04-21 23:04:03
17.
18. %% Input handling
19.
20. % If dataLines is not specified, define defaults
21. if nargin < 2
22.     dataLines = [3, Inf];
23. end
24.
25. %% Set up the Import Options and import the data
26. opts = delimitedTextImportOptions("NumVariables", 25, "Encoding", "UTF-8");
27.
28. % Specify range and delimiter
29. opts.DataLines = dataLines;
30. opts.Delimiter = ";";
31.
32. % Specify column names and types
33. opts.VariableNames = ["Var1", "Var2", "Var3", "Sq", "Ssk", "Sku", "Sp", "Sv", "Sz", "Sa", "Smrc1
    mUnterHchstemPunkt", "Smcp10", "Sxpp50Q975", "Sals02", "Strs02", "StdReferenzWin-
    kel0", "Ssw", "Sdq", "Sdr", "Vmp10", "Vvp10", "Vmpp10", "Vmcp10Q80", "Vvcp10Q80",
    "Vvvp80"];
34. opts.SelectedVariableNames = ["Sq", "Ssk", "Sku", "Sp", "Sv", "Sz", "Sa", "Smrc1mUnterHchstem-
    Punkt", "Smcp10", "Sxpp50Q975", "Sals02", "Strs02", "StdReferenzWin-
    kel0", "Ssw", "Sdq", "Sdr", "Vmp10", "Vvp10", "Vmpp10", "Vmcp10Q80", "Vvcp10Q80",
    "Vvvp80"];
35. opts.VariableTypes = ["string", "string", "string", "double", "double", "dou-
    ble", "double", "double", "double", "double", "double", "double", "double", "dou-
    ble", "double", "double", "double", "double", "double", "double", "double", "dou-
    ble", "double", "double", "double"];
36.
37. % Specify file level properties
38. opts.ExtraColumnsRule = "ignore";
39. opts.EmptyLineRule = "read";
40.
41. % Specify variable properties
```

```
42. opts = setvaropts(opts, ["Var1", "Var2", "Var3"], "WhitespaceRule", "pre-  
serve");  
43. opts = setvaropts(opts, ["Var1", "Var2", "Var3"], "EmptyFieldRule", "auto");  
44. opts = set-  
varopts(opts, ["Sq", "Ssk", "Sku", "Sp", "Sv", "Sz", "Sa", "Smrc1mUnter-  
Hchstempunkt", "Smcp10", "Sxpp50Q975", "Sals02", "Strs02", "StdRefer-  
enzWinkel0", "Ssw", "Sdq", "Sdr", "Vmp10", "Vvp10", "Vmpp10", "Vmcp10Q80", "Vvcpl  
0Q80", "Vvvp80"], "DecimalSeparator", ",");  
45. opts = set-  
varopts(opts, ["Sq", "Ssk", "Sku", "Sp", "Sv", "Sz", "Sa", "Smrc1mUnter-  
Hchstempunkt", "Smcp10", "Sxpp50Q975", "Sals02", "Strs02", "StdRefer-  
enzWinkel0", "Ssw", "Sdq", "Sdr", "Vmp10", "Vvp10", "Vmpp10", "Vmcp10Q80", "Vvcpl  
0Q80", "Vvvp80"], "ThousandsSeparator", ".");  
46.  
47. % Import the data  
48. Alu400005x05mm = readtable(filename, opts);  
49.  
50. %% Convert to output type  
51. Alu400005x05mm = table2array(Alu400005x05mm);  
52. end
```

## AD.mlx in MATLAB:

```
1. Sq=ans(:,1);
2. [hSq,p,adstat,cv] = adtest(Sq)
3.
4. Ssk=ans(:,2);
5. [hSsk,p,adstat,cv] = adtest(Ssk)
6.
7. Sku=ans(:,3);
8. [hSku,p,adstat,cv] = adtest(Sku)
9.
10. Sp=ans(:,4);
11. [hSp,p,adstat,cv] = adtest(Sp)
12.
13. Sv=ans(:,5);
14. [hSv,p,adstat,cv] = adtest(Sv)
15.
16. Sz=ans(:,6);
17. [hSz,p,adstat,cv] = adtest(Sz)
18.
19. Sa=ans(:,7);
20. [hSa,p,adstat,cv] = adtest(Sa)
21.
22. Smr=ans(:,8);
23. [hSmr,p,adstat,cv] = adtest(Smr)
24.
25. Smc=ans(:,9);
26. [hSmc,p,adstat,cv] = adtest(Smc)
27.
28. Sxp=ans(:,10);
29. [hSxp,p,adstat,cv] = adtest(Sxp)
30.
31. Sa1=ans(:,11);
32. [hSa1,p,adstat,cv] = adtest(Sa1)
33.
34. Str=ans(:,12);
35. [hStr,p,adstat,cv] = adtest(Str)
36.
37. Std=ans(:,13);
38. [hStd,p,adstat,cv] = adtest(Std)
39.
40. Ssw=ans(:,14);
41. [hSsw,p,adstat,cv] = adtest(Ssw)
42.
43. Sdq=ans(:,15);
44. [hSdq,p,adstat,cv] = adtest(Sdq)
45.
46. Sdr=ans(:,16);
47. [hSdr,p,adstat,cv] = adtest(Sdr)
48.
49. Vm=ans(:,17);
50. [hVm,p,adstat,cv] = adtest(Vm)
51.
52. Vv=ans(:,18);
53. [hVv,p,adstat,cv] = adtest(Vv)
54.
55. Vmp=ans(:,19);
56. [hVmp,p,adstat,cv] = adtest(Vmp)
57.
58. Vmc=ans(:,20);
59. [hVmc,p,adstat,cv] = adtest(Vmc)
60.
61. Vvc=ans(:,21);
62. [hVvc,p,adstat,cv] = adtest(Vvc)
63.
```

```
64. Vvv=ans(:,22);  
65. [hVvv,p,adstat,cv] = adtest(Vvv)
```

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 04.06.2021

Tao Zhang