

# kaloMAX NT II S



## Bedienungsanleitung

Version 2.1



## **Herstelleradresse und Kontaktdaten**

BAQ GmbH

Hermann-Schlichting-Str. 14

D-38110 Braunschweig

Tel.: +49 5307 / 95102 - 0

Fax: +49 5307 / 95102 - 20

Mail: [info@baq.de](mailto:info@baq.de)

**Made in Germany**

## Copyright

Diese Bedienungsanleitung enthält eine Vielzahl von Inhalten, darunter Texte, Grafiken und Diagramme, die dem Urheberrecht unterliegen und Eigentum der BAQ GmbH sind. Diese Unterlagen sind ausschließlich für den Betrieb und die Wartung der gelieferten Prüfgeräte bestimmt. Die Vervielfältigung, Verbreitung oder Modifikation dieser Inhalte ist ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Rechteinhabers strengstens untersagt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Sicherheit und Haftung.....</b>	<b>6</b>
1.1	Allgemeines.....	6
1.2	Sicherheitshinweise .....	6
1.3	Haftung.....	7
1.4	Bestimmungsgemäße Verwendung .....	7
<b>2</b>	<b>Lieferumfang .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Technische Daten .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Einführung in das Kalottenschleifverfahren .....</b>	<b>10</b>
4.1	Schichtdickenmessung .....	10
4.2	Voraussetzungen für die Schichtdickenmessung .....	12
4.3	Bestimmung von Verschleißraten .....	13
4.4	Anzuwendende Normen .....	16
<b>5</b>	<b>Inbetriebnahme .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Allgemeine Hinweise zur Bedienung .....</b>	<b>18</b>
6.1	Bedienelemente.....	18
6.2	Die Menüs .....	20
6.3	Texteingabe .....	20
6.4	Zahleingabe.....	21
6.5	Das Messfenster.....	21
6.6	Option abnehmbarer Schraubstock .....	22
6.7	Option Laserpointer .....	22
6.8	Option Einstelllehre.....	23
<b>7</b>	<b>Schleifparameter.....</b>	<b>25</b>
7.1	Schleifparameter ändern .....	25
7.2	Eingabebereich.....	26
<b>8</b>	<b>Durchführung einer Messung .....</b>	<b>27</b>

<b>9</b>	<b>Auswertung der Kalotten.....</b>	<b>31</b>
9.1	Schichtdickenmessung auf ebener beschichteter Probe .....	31
9.2	Schichtdickenmessung auf zylindrischer beschichteter Probe .....	32
9.3	Bestimmung von Verschleißraten auf ebenen Proben .....	33
9.3.1	Profilometrische Auswertung.....	33
9.3.2	Lichtmikroskopische Auswertung .....	34
<b>10</b>	<b>Beispielmessungen .....</b>	<b>35</b>
<b>11</b>	<b>Parameterverwaltung .....</b>	<b>36</b>
11.1	Schleifparameter speichern .....	36
11.2	Schleifparameter laden.....	36
11.3	Schleifparameter löschen .....	36
<b>12</b>	<b>Systemeinstellungen .....</b>	<b>37</b>
12.1	Konfiguration.....	37
12.2	Sprache.....	37
12.3	Werkseinstellungen.....	38
12.4	Softwareupdate.....	38
12.5	Fehlerprotokoll auf USB kopieren .....	38
12.6	Info .....	38
<b>13</b>	<b>Wartung und Support.....</b>	<b>39</b>
13.1	Reinigung .....	39
13.2	Sicherungen .....	39
13.3	Austausch der Antriebswelle .....	39
13.4	Entsorgung .....	39
<b>14</b>	<b>Anhang 1: Lizenzinformationen .....</b>	<b>40</b>
<b>15</b>	<b>Anhang 2: Bestellinformationen .....</b>	<b>41</b>

# 1 Sicherheit und Haftung

## 1.1 Allgemeines

Die vorliegende Bedienungsanleitung enthält wichtige Informationen und Sicherheitshinweise für einen einwandfreien und gefahrlosen Betrieb des kaloMAX NT II S. Studieren Sie diese vor der Inbetriebnahme des Prüfgeräts ausführlich. Nur Personen, die die Bedienungsanleitung vollständig gelesen und verstanden haben, sollten das kaloMAX NT II S verwenden. Daher sollte die Bedienungsanleitung allen diesen Personen zugänglich sein.

Unser Service-Team ([service@baq.de](mailto:service@baq.de)) freut sich über Ihre Anregungen zur Verbesserung dieser Bedienungsanleitung und steht Ihnen gerne für umfassende Unterstützung bei Fragen, die über den Inhalt dieser Anleitung hinausgehen, zur Verfügung.

## 1.2 Sicherheitshinweise

- Lesen Sie dieses Handbuch vor der Inbetriebnahme des kaloMAX NT II S sorgfältig durch.
- Bewahren Sie die Bedienungsanleitung zum Nachschlagen auf.
- Beachten Sie alle Sicherheits- und Warnhinweise, die auf dem kaloMAX NT II S angezeigt werden.
- Stellen Sie das kaloMAX NT II S immer auf einer ebenen Fläche auf.
- Betreiben Sie das kaloMAX NT II S nur in Bereichen, die elektrisch nicht als gefährlich eingestuft sind.
- Das kaloMAX NT II S darf nicht in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden.
- Das kaloMAX NT II S darf nicht von Kindern oder Personen verwendet werden, die unter dem Einfluss von Alkohol, Drogen oder Arzneimitteln stehen.
- Personen, die nicht mit der Bedienungsanleitung vertraut sind, dürfen das Gerät nur unter Aufsicht bedienen.
- Das kaloMAX NT II S darf keinen mechanischen Belastungen, z.B. durch Stöße oder Erschütterungen, ausgesetzt sein.
- Die Stromversorgung der IEC-Eingangsbuchse muss über das mitgelieferte IEC-Netzkabel an eine Erdung angeschlossen werden.
- Das kaloMAX NT II S muss mit Sicherungen ausgestattet sein, die in diesem Handbuch spezifiziert sind und der Versorgungsspannung entsprechen.
- Jede Ersatz-Netzleitung muss eine gleichwertige Spezifikation wie die mitgelieferte haben.
- Das kaloMAX NT II S darf nicht mit beschädigten Kabeln verwendet werden.

- Beim Betrieb des kaloMAX NT II S sollten Sie lose Kleidung oder Schmuckstücke, die sich verfangen können, entfernen und sich vor beweglichen Teilen in Acht nehmen.
- Vermeiden Sie bei der Reinigung oder Verwendung des kaloMAX NT II S unbedingt das Einatmen von Lösungsmitteldämpfen.
- Das kaloMAX NT II S muss vor Nässe geschützt werden.
- Versuchen Sie nicht, das kaloMAX NT II S an der Welle anzuheben.

### 1.3 Haftung

Das kaloMAX NT II S wurde komplett von BAQ gemäß den neuesten technologischen Standards und den geltenden Sicherheitsvorschriften entwickelt und hergestellt und verließ die Produktionsstätte in einwandfreiem Zustand. Der Betreiber trägt die Verantwortung dafür, dass alle Sicherheitshinweise in dieser Bedienungsanleitung beachtet werden. Gewährleistungs- und Haftungsansprüche infolge von Personen- und/oder Sachschäden können nicht geltend gemacht werden, wenn sie auf einer oder mehreren der folgenden Ursachen beruhen:

- Verwendung des kaloMAX NT II S zu einem anderen Zweck als in dieser Bedienungsanleitung beschrieben.
- Nichtbeachtung der in dieser Bedienungsanleitung beschriebenen Informationen bzgl. Nutzung, Wartung, Reinigung und Funktionskontrolle des Prüfgerätes samt Zubehör.
- Eigenmächtige Veränderungen oder Umbauten des Prüfgerätes und/oder des Zubehörs.
- Austausch fehlerhafter Komponenten durch nicht-Original-BAQ-Ersatzteile.
- Verwendung von Zubehör, dass nicht explizit von BAQ empfohlen wurde.
- Beschädigung des Prüfgerätes durch die Einwirkung von Fremdkörpern durch Unfälle, Vandalismus und höherer Gewalt.

Alle Angaben in der vorliegenden Bedienungsanleitung wurden nach bestem Wissen und Gewissen verfasst. Die BAQ GmbH übernimmt keinerlei Gewähr für die Vollständigkeit bzw. Richtigkeit und schließt jede Haftung aus.

### 1.4 Bestimmungsgemäße Verwendung

Das kaloMAX NT II S darf nur bestimmungsgemäß, entsprechend der in der vorliegenden Bedienungsanleitung beschriebenen Angaben, verwendet werden. Das kaloMAX NT II S dient ausschließlich zum Schleifen von Kalotten zur Messung der Schichtdicke oder Bestimmung von Verschleißraten. Es darf nur in technisch einwandfreiem Zustand und von geschultem Fachpersonal betrieben werden.

## 2 Lieferumfang

### Lieferumfang:

- 1 Grundgerät kaloMAX NT II S
- 2 Universeller Schraubstock zur Probenaufnahme
- 3 IEC-Netzkabel
- 4 Handbuch



*Abbildung 1: kaloMAX NT II S mit Laserpointer*

### Optionales Zubehör:

- a1 Abnehmbarer Schraubstock
- a2 Verbrauchsmaterial
- a3 Kugeln unterschiedlicher Durchmesser (Stahl und Hartmetall)
- a4 Diamantsuspensionen unterschiedlicher Körnung (0,5 µm; 1,0 µm etc.)
- a5 Einkanalpipette
- a6 Staubschutzhülle
- a7 Laserpointer
- a8 Einstelllehre + Adapter zur Einstellung bestimmter Auflagekräfte
- a9 Slurry AG1 zur Bestimmung von Verschleißraten + Referenzprobe
- a10 Glaspipetten mit Gummistopfen zur reproduzierbaren Dosierung von Slurry AG 1
- a11 Softwarepakete inkl. Auswertesoftware kaloSOFT
- a12 Mikroskope



Alle Artikel inkl. Bestellnummern sind im Anhang 2: Bestellinformationen aufgelistet.



Bitte überprüfen Sie umgehend nach Erhalt der Ware den Lieferumfang auf Vollständigkeit.



### 3 Technische Daten

*Tabelle 1: Technische Daten des kaloMAX NT II S*

<b>Abmessungen</b>	300 x 295 x 235 mm (B x T x H)		
<b>Gewicht</b>	6,75 kg		
<b>Anzeige</b>	3.5"-TFT-LCD Farbdisplay 480 x 640 Pixel		
<b>Spannungsversorgung</b>	85 – 264 VAC, 47 – 63 Hz Sicherungen: 5x20, 2 A t/250 V		
<b>Drehzahl Antriebswelle</b>	30 – 1000 U <sub>w</sub> /min		
<b>Schleifdauer</b>	5 – 9999 s		
<b>Kugeldurchmesser</b>	12 – 40 mm		
<b>Neigung Probenebene</b>	60°		
<b>Positionierbereich Kreuztisch</b>	25 x 25 mm		
<b>Spannbereich Proben</b>	Scheibe rechteckig: 4 – 50 mm Scheibe rund: 4 – 50 mm Welle: Ø 3 – 20 mm (an Probengeometrie angepasste Spannprofile auf Anfrage)		
<b>Speicher</b>	2 GB RAM, 32 GB eMMC-Flash-Memory		
<b>Temperaturbereiche</b>	Lagerung:	-20°C bis 70°C	-4°F bis 158°F
	Betrieb:	-15°C bis 60°C	5°F bis 140°F
<b>Luftfeuchtigkeit</b>	max. 90 %, nicht kondensierend		
<b>Umgebung</b>	Geeignet für den Einsatz in Innenräumen		
<b>Anschlüsse</b>	USB-C (Softwareupdates) Netzeingangsbuchse		
<b>Sprachen</b>	Deutsch, Englisch		

## 4 Einführung in das Kalottenschleifverfahren

### 4.1 Schichtdickenmessung

Mit den Schichtdickenmessgeräten der kaloMAX-Familie wird die Schichtdicke per Kalottenschleifverfahren gemessen. Eine lose zwischen Antriebswelle und Probe aufliegende gehärtete Stahlkugel mit exakt definiertem Durchmesser wird durch die motorisch angetriebene Welle in Rotation versetzt (vgl. Abbildung 2).



*Abbildung 2: Messprinzip Kalottenschliff*

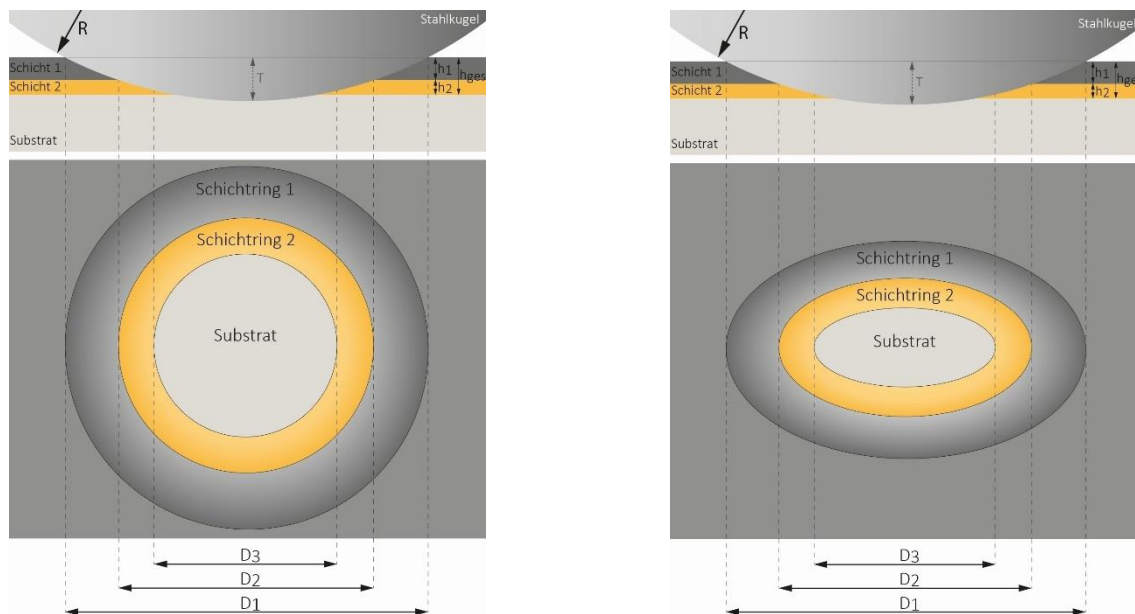
Die Kugel dient dabei als Träger für ein Abrasivmittel (Diamantsuspension, Diamantpaste o.ä.). Dadurch wird eine Vertiefung in die Probe geschliffen – die sogenannte Kalotte. Die Schleifdauer beträgt je nach Schichttyp (Dicke und Verschleißfestigkeit) wenige Sekunden bis einige Minuten. Wird das Schichtsystem der eingespannten Probe durchgeschliffen (Schlifftiefe > Schichtdicke), ist jede einzelne Schicht unter dem Mikroskop als konzentrischer Ring (ebene Probe) bzw. Ellipse (zylindrische Probe) zu erkennen (vgl. Abbildung 3).



*Abbildung 3: Kalotten auf ebener (links) und zylindrischer Probe (rechts)*

Mit dem Kalottenschleifverfahren lassen sich sowohl Einzel- als auch Mehrlagenschichten analysieren. Da der Durchmesser der gehärteten Stahlkugel sehr groß im Vergleich zu den Schichtdicken ist, wird das Schichtsystem unter einem sehr flachen Winkel angeschliffen, wodurch die Schicht gewissermaßen verbreitert wird (der Durchmesser der einzelnen Ringe ist typischerweise ca. um den Faktor 200 größer als die Schichtdicke).

Dies ist neben der enormen Zeitersparnis ein wesentlicher Vorteil des Kalottenschleifverfahrens z.B. gegenüber dem Querschliff, da die Genauigkeit der Messung durch die „Schichtverbreiterung“ erheblich verbessert wird und die Auswertung mit einem normalen Auflichtmikroskop erfolgen kann. Abbildung 4 verdeutlicht das Prinzip des Verfahrens anhand eines Zweischichtsystems.



*Abbildung 4: Schichtdickenbestimmung auf ebener (links) und zylindrischer Probe (rechts)*

Da der Durchmesser der Stahlkugel sehr genau bekannt ist, können sämtliche Schichtdicken durch einen einfachen geometrischen Zusammenhang berechnet werden. Dazu müssen lediglich die Durchmesser (ebene Probe) bzw. die langen Diagonalen (zylindrische Probe) bestimmt werden. Anschließend können alle vorhandenen Schichtdicken entsprechend folgender Formel berechnet werden:

$$h = \frac{(D^2 - d^2)}{8 \cdot R} \quad (1)$$

mit: D: äußerer Durchmesser (eben) bzw. äußere Diagonale (zylindrisch)  
d: innerer Durchmesser (eben) bzw. innere Diagonale (zylindrisch)  
R: Kugelradius (i.d.R. 15 mm)  
h: Schichtdicke  
T: Schlifftiefe

Da die zu messenden Schichtdicken im µm-Bereich liegen, sind die eingeschliffenen Kugelkalotten dennoch sehr klein. Um klar zu erkennende Grenzen zu erhalten, wurde beim kalOMAX NT II S besonderer Wert auf die Führung der Kugel auf der Antriebswelle und auf die Lagerung der Welle gelegt, so dass die Kugel während des Schleifvorganges keine senkrechten oder waagrechten Bewegungen ausführt.

## 4.2 Voraussetzungen für die Schichtdickenmessung

Grundlage für eine bestmögliche Messgenauigkeit ist zunächst ein optimaler Rundlauf der Kugel während des Schleifprozesses. Höhengschlag oder seitliche Bewegungen der Kugel würden die Größe der Kalotte und somit auch die Messergebnisse verfälschen. Aus diesem Grund werden bei BAQ sog. Traktionsringe als Kontaktfläche für die Kugel verwendet. Diese werden im fertig montierten Zustand während der Rotation bei hoher Drehzahl mit einer speziellen Vorrichtung angeschliffen. Im Vergleich zu einer reinen Stahlwelle werden dadurch sowohl Höhengschlag als auch die seitliche Bewegung der Kugel auf ein Minimum reduziert, sodass dieser Einfluss auf das Messergebnis vernachlässigbar ist.

Die Grundvoraussetzung bei der Auswertung der Kalotten unter dem Mikroskop ist zunächst, dass sich die übereinanderliegenden Schichtringe/-ellipsen bzw. die unterste Schicht und das Substrat optisch unterscheiden lassen. Nur so können die zur Schichtdickenberechnung erforderlichen Durchmesser auch bestimmt werden.



Je nach Beschichtung und Substrat kann eine alternative Beleuchtung dazu führen, dass sich Schicht und Substrat besser unterscheiden lassen (z.B. Ringlicht statt standard-Auflicht).



In einigen Fällen kann kurzes Ätzen der Kalotte dazu führen, dass sich Schicht und Substrat unterscheiden lassen.

Des Weiteren hängt die Messgenauigkeit davon ab, mit welcher Genauigkeit die Durchmesser  $D$  und  $d$  bestimmt werden können (siehe Gleichung 1). Wie folgende Abbildung zeigt, hat vor allem die Oberflächenrauheit der Probe einen wesentlichen Einfluss darauf, mit welcher Genauigkeit  $D$  und  $d$  durch den Anwender festgelegt werden können.

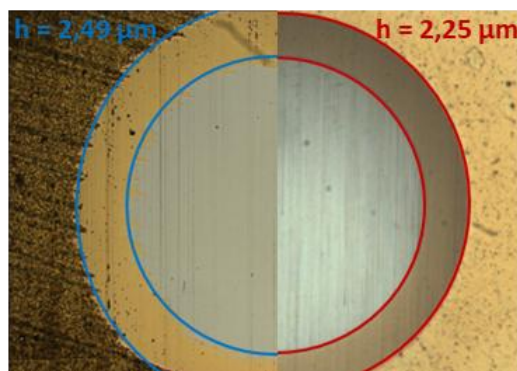


Abbildung 5: Einfluss der Oberflächenrauheit

Wie bei allen Messverfahren zur Schichtdickenmessung gilt auch für den Kalottenschleif: je geringer die Oberflächenrauheit der Probe, desto besser die Messgenauigkeit. Der Vorteil des

Kalottenschleifverfahrens gegenüber anderen Verfahren besteht jedoch darin, dass der Anwender direkt sieht, wie das Messergebnis zustande kommt und dieses somit sehr gut beurteilen kann.



Laut DIN EN ISO 26423 sollte die Oberflächenrauheit der Schicht und/oder des Substrates 20 % der Schichtdicke nicht überschreiten.

### 4.3 Bestimmung von Verschleißraten

Für eine tribologisch orientierte Schichtentwicklung oder zur Qualitätssicherung von Verschleißschutzschichten ist die Prüfung der Verschleißbeständigkeit von Schichten eine notwendige Forderung.

In einer Kooperation des Fraunhofer Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik und der Firma BAQ GmbH wurde das Verfahren des Kalottenschliffs gemäß DIN EN 1071-2 (Norm inzwischen zurückgezogen und ersetzt durch DIN EN ISO 26423:2016-11) speziell auf die Anwendung für dünne Schichten modifiziert. Es wurde ein Verfahren entwickelt um die Verschleißbeständigkeit von dünnen Schichten ( $\mu\text{m}$ -Bereich) zu prüfen.

Mit dem kaloMAX NT II S kann das abrasive Verschleißverhalten von Werkstoffen und Schichten untersucht werden. Auf eine 100Cr6 Stahlkugel mit einem Durchmesser von 30 mm, die sich gegen eine Probe dreht (vgl. Abbildung 2), wird mit einer Glaspipette eine Suspension (Abrasivmittel) aufgegeben.

Hierbei wird die Kugelkalotte ausschließlich nur in die Schicht eingeschliffen, ohne bis zum Substrat durchzudringen (vgl. Abbildung 6). Die eingeschliffene Kalotte ist über die Tiefe und Breite profilometrisch oder mikroskopisch zu vermessen.

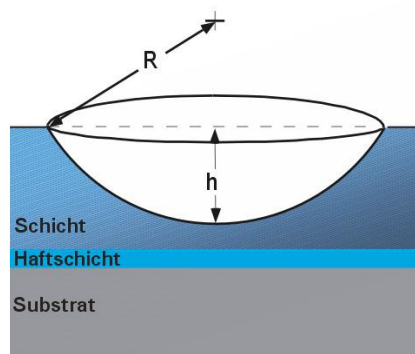


Abbildung 6: Schlifftiefe bei der Verschleißmessung

Es kann eine abrasivmittelspezifische Verschleißrate aus Kalottenvolumen (berechnet aus der Tiefe bzw. dem Durchmesser der Schleifkalotte und dem Kugeldurchmesser), Auflagekraft und Schleifweg berechnet werden.



Die Messparameter Auflagekraft, Schleifgeschwindigkeit und Schleifweg müssen konstant gehalten werden, wenn Verschleißraten miteinander verglichen werden sollen.

Die Verschleißrate kann bis zu einer minimalen Schichtdicke ca. 1 µm bestimmt werden. Diese Untergrenze ist im Wesentlichen durch die Kürze der Schleifdauer bestimmt.

### Klimatische Einflüsse auf tribologische Prozesse

Wie bei jedem tribologischem Vorgang haben Umgebungstemperatur und Luftfeuchte einen Einfluss auf den Reibungs- und Verschleißvorgang. Dies gilt selbstverständlich auch für die Verschleißprüfung mittels Präzisionsverschleißtester.

Am Fraunhofer-IST wurden ausführliche Messungen zum Verschleißverhalten von Schichten unter verschiedenen klimatischen Bedingungen (Temperatur und Luftfeuchte) durchgeführt.

Das in Abbildung 7 dargestellte Diagramm zeigt den ermittelten Verschleiß einer reinen Kohlenstoffschicht (DLC) und einer Metall-Kohlenstoffschicht (Ti-C:H) in Abhängigkeit von der Luftfeuchte. Diese Daten sollen dem Kunden die Information geben, dass je nach zu prüfendem Schichtsystem eine mehr oder weniger ausgeprägte Abhängigkeit des Verschleißes von der Luftfeuchte vorliegt.

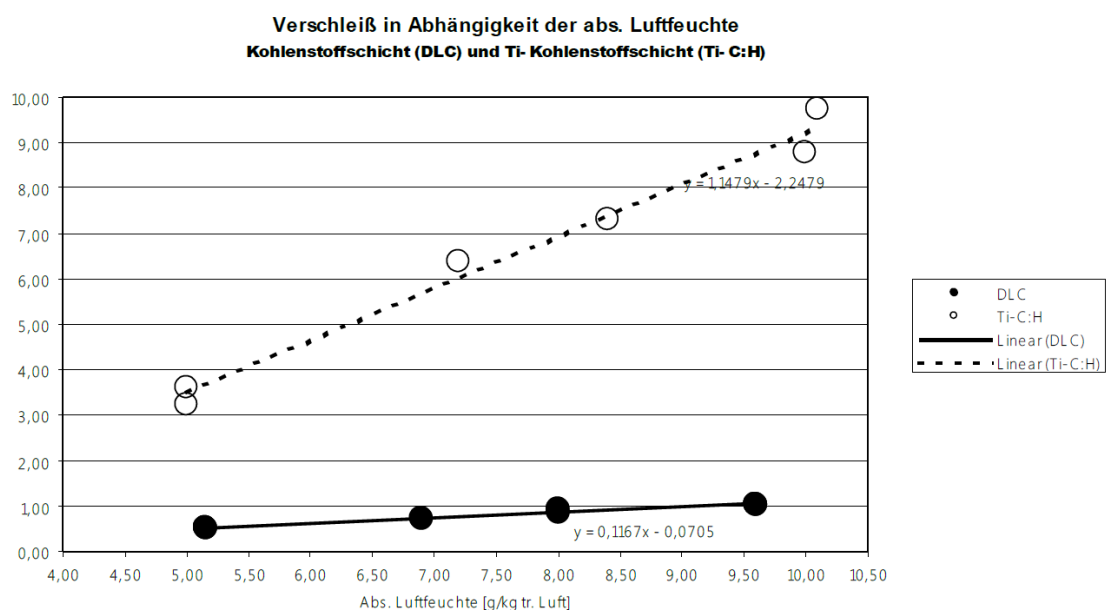


Abbildung 7: Verschleißraten in Abhängigkeit von der Luftfeuchte

**Suspension (inkl. Handhabung)**

Die lieferbare Suspension (Slurry AG1) ist eine spezielle Entwicklung für die Verschleißprüfung an dünnen Schichten. Aufgrund von charakteristischen Eigenschaften dieses Abrasivmittels lassen sich zum einen homogene (ohne ausgeprägte Furchenbildung) Verschleißkalotten an dünnen Schichten erzielen. Darauf basiert die Quantifizierung des Verschleißvolumens (Vv). Zum anderen sind wegen der geringen Abrasivität des Mittels Verschleißmessungen im  $\mu\text{m}$ -Bereich möglich. Die Viskosität gewährleistet, dass die Suspension sich während der Verschleißmessung nicht über die Kugel verteilt, sondern im Bereich der Reibspur entlang des Kugelumfangs haften bleibt. Weiterhin gewährleistet sie ein ausgewogenes Verhältnis von Schmierung und Verschleißprozess.

Um reproduzierbare und vergleichbare Messergebnisse zu erhalten, ist es unerlässlich, eine Suspension mit gleichbleibenden Eigenschaften zu verwenden. Es wird deshalb empfohlen, die als Zubehör erhältliche Suspension Slurry AG1 zu verwenden. Zusätzlich ist eine Referenzprobe erhältlich. Auf dieser werden im Fraunhofer IST unter konstanten klimatischen Bedingungen Messungen durchgeführt und ein Protokoll erstellt. Die Referenzprobe ermöglicht es, die Qualität der Suspension auch später zu überprüfen.

Damit bei der Suspension (Slurry AG1) möglichst lange gleichbleibende Eigenschaften erhalten bleiben, ist auf Folgendes unbedingt zu achten:

- Die Flasche nur kurzzeitig (schützt vor Feuchtigkeitsaufnahme) öffnen um Abrasivmittel in die Pipette zu füllen.
- Das Abrasivmittel regelmäßig mit einem sauberen und trockenen Rührstab umrühren.
- Der Aufbewahrungsort soll so gewählt werden, dass das Mittel nicht in der Nähe von Wärmequellen (z.B. Heizung, Sonneneinstrahlung) gelagert wird.
- Es ist zu empfehlen, dass sich der Anwender ein Referenzmaterial (z.B. Standardschicht) einrichtet. An dieser Probe sollte in regelmäßigen Abständen die Verschleißrate gemessen werden, um den "Zustand" der Suspension zu überprüfen. Verändert sich im Laufe der Zeit die Viskosität der Suspension, so ist dies meistens begleitet von höheren Verschleißraten.

**Aufstellungsort**

Zur Messung der Verschleißrate sollte das kaloMAX NT II S idealerweise in einem klimatisierten Raum aufgestellt und betrieben werden. Ist ein derartiger Raum nicht vorhanden sollte der Aufstellungsort nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt werden:

- Der Aufstellungsort sollte möglichst stabile klimatische Verhältnisse besitzen.  
(empfehlenswert ist ein separater Raum)
- Das Gerät sollte nicht in der Nähe von Wärmequellen (z.B. Heizung) oder an Fensterfronten (Sonneneinstrahlung, Zugluft) aufgestellt werden.
- Es sollte auch kein Ort ausgewählt werden an dem häufig Zugluft auftritt (z.B. Türbereich).

**4.4 Anzuwendende Normen**

Das Kalottenschleifverfahren unterliegt der folgenden internationalen Norm:

- DIN EN ISO 26423:2016-11      Hochleistungskeramik - Bestimmung der Schichtdicke mit dem Kalottenschleifverfahren

Durch die Einhaltung dieser Richtlinie können Sie sicherstellen, dass ihre Messungen den anerkannten Industriestandards entsprechen und somit verlässliche Ergebnisse liefern.



## 5 Inbetriebnahme

Das kaloMAX NT II S muss so aufgestellt werden, dass während des Schleifvorgangs keine Erschütterungen oder Vibrationen auftreten. Die Stromversorgung erfolgt über ein Weitbereichsnetzteil mit einem Eingangsspannungsbereich von 85 – 264 V und einer Frequenz von 47 – 63 Hz.



Aufgrund von CE-Vorschriften sind auf dem Typenschild nur Bereiche angegeben, die oben und unten um jeweils 10 % eingeschränkt sind.

Zum Betrieb werden Kugeln (meistens aus gehärtetem Stahl) mit geeignetem Durchmesser und ein Abrasivmittel (z.B. Diamantsuspension) benötigt. Bei größeren Stahlkugeln ist die eingeschliffene Kalotte flacher, d.h. die unter dem Mikroskop auszumessenden Durchmesser unterscheiden sich stärker. Daraus ergibt sich eine höhere Messgenauigkeit. Auf der anderen Seite ist bei gleicher Tiefe das ausgeschliffene Volumen größer. Dies hat zur Folge, dass die Schleifdauer etwas ansteigt, da die Flächenpressung mit zunehmender Schlifftiefe immer geringer wird. Ein Kugeldurchmesser von 30 mm ist meist ein guter Kompromiss.

Die verwendete Diamantsuspension muss in Ihrer Körnung zu Schichtart und -dicke passen. Eine gröbere Körnung führt aufgrund der höheren Abrasivität in der Regel zu einer geringeren Schleifdauer. Im Gegenzug wird jedoch das Schliffbild unsauberer. In der Regel sind Diamantsuspensionen mit Körnungen zwischen 0,5 µm und 3 µm gut geeignet.

## 6 Allgemeine Hinweise zur Bedienung

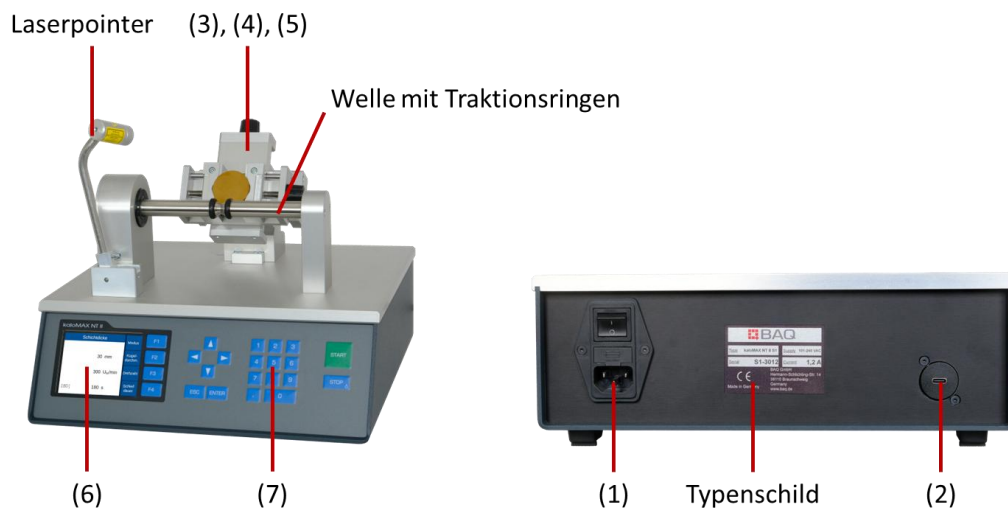


Abbildung 8: Aufbau, Anschlüsse und Bedienelemente

### 6.1 Bedienelemente

**Einschalter/Sicherungen (1)** Der Netzschalter befindet sich an der Rückseite des Gerätes. An dieser Stelle sind auch die Sicherungen zu finden (5x20, 2 A t/250 V).

**USB-C Buchse (2)** Auf der Rückseite des Gerätes befindet sich eine USB-C Buchse. Diese kann für Softwareupdates genutzt werden. Dazu wird ein USB-Stick mit der Updatedatei (ggf. mithilfe eines Adapters USB-A ↔ USB-C) in die Buchse gesteckt und das Update über den Menüpunkt Software update ausgeführt wird.

**Probenaufnahme (3)** Die zu prüfenden Teile werden in den Schraubstock eingespannt. Die auf den Spannbacken montierten Spannprofile können zur besseren Aufnahme von runden Proben gedreht werden. Bei Beschädigungen können sie einfach ausgetauscht werden.



An die Probengeometrie angepasste Spannprofile sind auf Anfrage erhältlich.

**Kreuztisch (4)** Die Probenaufnahme ist auf einem Kreuztisch montiert, mit dem sich die zu prüfenden Teile im Bereich 25 x 25 mm positionieren lassen.

**Verschiebblock (5)**

Die Anpassung an unterschiedliche Kugeldurchmesser und/oder Probendicken erfolgt durch die Verschiebung der gesamten Einheit Probenaufnahme/Kreuztisch nach Lösen des Feststellhebels auf der Rückseite.

**Display (6)**

Auf dem Display werden die aktuell eingestellten Parameter dargestellt. Nach dem Einschalten des Gerätes sind immer die zuletzt aktuellen Parameter aktiv. Nach dem Start des Motors läuft die eingestellte Zeit in der Anzeige rückwärts bis null.

**Tastatur (7)**

Das kaloMAX NT II S wird über die in die Frontplatte integrierte Tastatur gesteuert. Dabei haben die verschiedenen Tasten die folgenden Funktionen:



Mit dieser Taste wird die aktuelle Funktion verlassen. Man gelangt in den übergeordneten Menüpunkt. Geänderte Einstellungen werden nicht übernommen.



Mit dieser Taste wird die Bearbeitung in einem Feld abgeschlossen oder ein untergeordneter Menüpunkt ausgewählt.



Funktionstaste



Funktionstaste



Funktionstaste



Funktionstaste



Mit dieser Taste wird der Schleifvorgang gestartet.



Wird diese Taste während des Schleifvorgangs gedrückt, wird dieser sofort beendet.

**Cursortasten**

Mit diesen Tasten werden Menüpunkte ausgewählt und der Cursor in den Eingabefeldern verschoben.

Die Zifferntasten dienen der Eingabe von Zahlenwerten.

## 6.2 Die Menüs

Ein Menü besteht aus einer Liste verfügbarer Menüpunkte, wobei der aktive farbig hinterlegt ist (vgl. Abbildung 9). Mit den Cursortasten ▲ und ▼ kann der aktive Menüpunkt angewählt werden. Mit ENTER wird der aktive Menüpunkt ausgewählt und es wird entweder ein Fenster oder ein Untermenü geöffnet. Durch ESC gelangt man zurück ins vorige Menü.

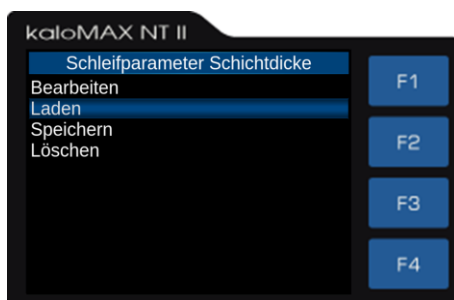


Abbildung 9: Die Menüs

## 6.3 Texteingabe

Beim Speichern der Schleifparameter sind Eingaben im Klartext erforderlich. In diesem Fall wird das Texteingabefenster geöffnet.



Abbildung 10: Texteingabe

Im oberen, weiß hinterlegten Feld (im folgenden Textfeld genannt) wird der eingegebene Text angezeigt, in den darunter liegenden Reihen sind die Zeichen dargestellt, die ausgewählt werden können. Das Leerzeichen ist durch [ ] dargestellt. Der Cursor wird mit den Cursortasten durch die Zeichenfelder bewegt. Mit ENTER wird das angewählte Zeichen ausgewählt und in das Textfeld übernommen.

Mit F1 wird zwischen Groß- und Kleinbuchstaben gewechselt, F2 löscht das letzte Zeichen im Textfeld. Mit F4 (Ok) wird die Texteingabe beendet und der eingetragene Text steht zur Verfügung. ESC bzw. F3 (Abbruch) beenden die Texteingabe ohne Speicherung.

## 6.4 Zahleingabe

Zur Eingabe von Zahlen wird das Zahleingabefenster geöffnet. Im weiß hinterlegten Feld wird die eingegebene Zahl angezeigt. Mit den Cursortasten ◀ und ▶ kann die Schreibmarke im Feld verschoben werden. Mit F2 (←) wird das Zeichen links von der Schreibmarke gelöscht. Die Eingabe der Ziffern und des Dezimaltrennzeichens erfolgt mit Hilfe der entsprechenden Tasten.

Mit F4 (Ok) oder der ENTER-Taste wird die Eingabe beendet und der Wert übernommen. F3 (Abbruch) oder ESC beenden die Eingabe, ohne dass der eingetragene Wert gespeichert wird.

## 6.5 Das Messfenster

Im Messfenster kann zunächst der Messmodus über die Funktionstaste F1 eingestellt. Hier kann zwischen Schichtdicke und Verschleiß gewählt werden. Abhängig vom aktiven Messmodus werden unterschiedliche Parameter und Einheiten angezeigt (vgl. Abbildung 11).

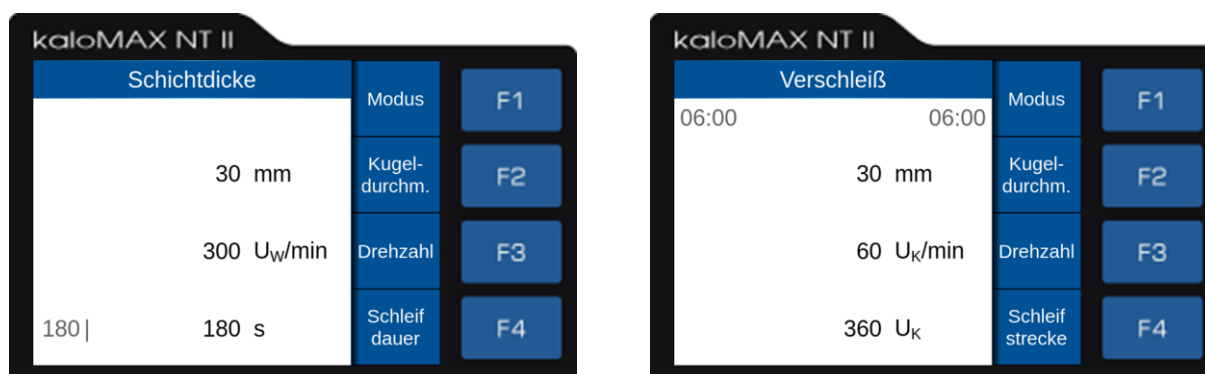


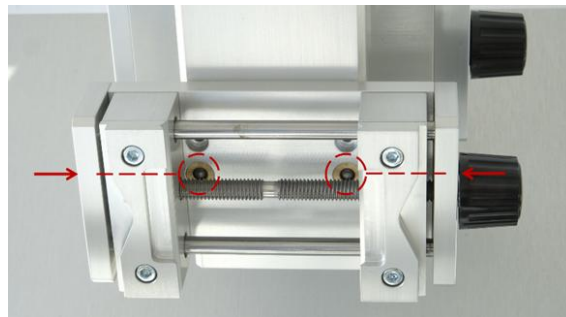
Abbildung 11: Messfenster Schichtdicke (links) und Verschleiß (rechts)

In beiden Fällen kann der Durchmesser der verwendeten Kugel über die Funktionstaste F2 eingestellt werden. Mit der Funktionstaste F3 kann jeweils die Drehzahl geändert werden. Der Hauptunterschied ist, dass im Schichtdickenmodus über die Funktionstaste F4 eine Schleifdauer in s eingegeben werden kann, während im Verschleißmodus stattdessen eine Schleifstrecke in m eingegeben wird. Im letzteren Fall wird daraus die Schleifdauer berechnet und als zusätzliche Information unterhalb des Messmodus angezeigt.

Durch Drücken der Taste START wird der Schleifvorgang gestartet. Dieser kann jederzeit durch Drücken der STOP-Taste gestoppt werden.

## 6.6 Option abnehmbarer Schraubstock

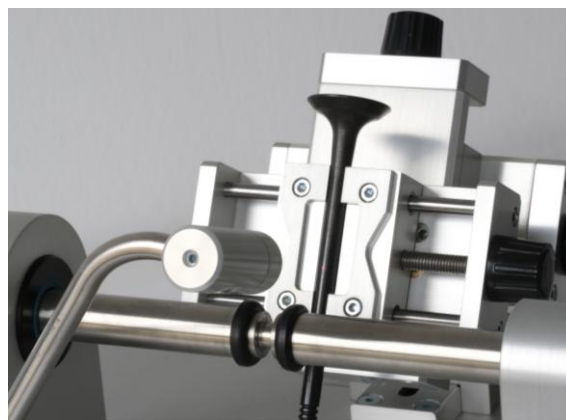
Der Schraubstock kann mit der eingespannten Probe vom Kreutztisch abgenommen werden, um die geschliffene Kalotte unter einem Mikroskop auszuwerten. Dadurch wird, unabhängig von der Probengeometrie sichergestellt, dass die Kalotte immer senkrecht zum Mikroskop ausgerichtet ist. Bei der Schichtdickenmessung kann so mithilfe des abnehmbaren Schraubstocks auch festgestellt werden, ob die Schicht schon durchgeschliffen ist. Soll noch weiter geschliffen werden, wird der Schraubstock wieder aufgesetzt. Die Präzisionsführungen sorgen dafür, dass die Kalotte an exakt derselben Stelle weitergeschliffen wird. Beim Abnehmen und Aufsetzen des Schraubstocks ist darauf zu achten, dass dieser nicht verkantet wird und sich keine Partikel auf der Rückseite des Schraubstocks befinden. Zum Abnehmen sollte er außen, auf der Linie der beiden Führungen angefasst werden (vgl. Abbildung 12).



*Abbildung 12: abnehmbarer Schraubstock*

## 6.7 Option Laserpointer

Für das kaloMAX NT II S besteht die Möglichkeit durch einen Laserpointer den Punkt auf der Probe anzuzeigen, an dem die Kalotte geschliffen wird. Dies ist sowohl bei sehr kleinen Proben hilfreich als auch bei Proben bei denen an bestimmten Stellen geschliffen werden soll. Darüber hinaus vereinfacht der Laserpointer bei zylindrischen Proben die Einstellung auf den höchsten Punkt über der Mittelachse des Zylinders (vgl. Abbildung 13), um symmetrische Kalotten zu erhalten.



*Abbildung 13: Laserpointer*

Zur Verwendung des Laserpointers muss der Punkt, an dem die Kalotte geschliffen werden soll, räumlich immer an derselben Stelle sein. Daher muss zunächst der Abstand zwischen Probe und Welle, der gleichzeitig die Auflagekraft festlegt, auf einen bestimmten Wert eingestellt werden. Dazu kann u.a. die sog. Einstelllehre verwendet werden. Diese wird wie in Abbildung 14 dargestellt zunächst gegen die Antriebswelle geschoben. Anschließend wird die eingespannte Probe durch Verschieben der gesamten Einheit bis an die Scheibe der Einstelllehre bewegt.



*Abbildung 14: Verwendung der Einstelllehre (hier: inkl. Adapter für 0,2N)*

Ist der definierte Abstand eingestellt, kann in der Folge der Messpunkt vom Laserpointer angezeigt werden, indem dieser an den seitlichen Anschlag geklappt wird.

#### **Justierung des Laserpointers:**

Sollte der Laserpointer die Messstelle nicht mehr korrekt anzeigen, kann der Laserpointer manuell justiert werden. Dazu wird empfohlen zunächst eine Kalotte in eine beliebige Probe zu schleifen (vorher muss unbedingt der Abstand zwischen Probe und Welle mithilfe der Einstelllehre eingestellt werden). Anschließend wird der Laserpointer durch das Justieren der Schrauben am Laserkopf und dem Fuß auf der Grundplatte auf die geschliffene Kalotte eingestellt.

## **6.8 Option Einstelllehre**

Um unabhängig von der Probengeometrie und -dicke eine konstante Auflagekraft einzustellen, kann die sog. Einstelllehre verwendet werden. Dies ist vor allem für die Messung von Verschleißraten essentiell, da diese nur miteinander vergleichbar sind, wenn die entsprechenden Kalotten mit identischen Parametern geschliffen wurden.

Mithilfe der Einstelllehre und den ebenfalls optional erhältlichen Adaptern sind folgende Auflagekräfte mit einer 30 mm Stahlkugel einstellbar:

- Einstelllehre ohne Adapter: 0,54N
- Einstelllehre mit Adapter 0.4: 0,40N
- Einstelllehre mit Adapter 0.3: 0,30N
- Einstelllehre mit Adapter 0.2: 0,20N



*Abbildung 15: Einstelllehre mit Adaptern*

Zur Einstellung der jeweiligen Auflagekraft, wird bei Bedarf zunächst der entsprechende Adapter auf die Einstelllehre gesetzt. Anschließend wird die Einstelllehre bis zum Anschlag gegen die Welle des kaloMAX NT II S geschoben und hier festgehalten. Daraufhin wird der gesamte Verschiebblock des Gerätes inkl. Kreutztisch, Probenaufnahme und der in den Schraubstock eingespannten Probe bis zum Anschlag gegen die Scheibe der Einstelllehre geschoben, sodass die Probenoberfläche direkten Kontakt mit der Scheibe der Einstelllehre hat. In diesem Zustand wird der Verschiebblock und somit auch die Probe fixiert (vgl. Abbildung 16).



*Abbildung 16: Verwendung der Einstelllehre (hier mit Adapter)*

Durch die Verwendung der Einstelllehre wird so sichergestellt, dass die Probenoberfläche einen definierten Abstand zur Welle des kaloMAX NT II S hat. Somit wird eine definierte Auflagekraft der Kugel auf der Probe erreicht.



Werden verschiedene Proben mit der gleichen Dicke untersucht, muss die Einstellung der Auflagekraft nur einmal erfolgen.



## 7 Schleifparameter

Für das Schliffbild der Kalotte spielen die Schleifparameter eine wesentliche Rolle. Für einen Schleifvorgang müssen folgende Parameter eingegeben werden:

- Durchmesser der Kugel
- Drehzahl
- Schleifdauer oder -strecke

Die Einheiten der Schleifparameter können in den Systemeinstellungen festgelegt werden (vgl. Kapitel 12.1). Des Weiteren können bestimmte Parameterkombinationen abgespeichert und später wieder geladen werden (vgl. Kapitel 11).

Die geeigneten Schleifparameter, sowohl für die Schichtdickenmessung als auch bei der Messung der Verschleißrate, muss jeder Nutzer selbst entsprechend seinen Anforderungen experimentell ermitteln. Sie hängen vor allem von der vorliegenden Schichtdicke und/oder der Verschleißbeständigkeit der zu prüfenden Probe ab.



Als Orientierung bei der Schichtdickenmessung können die im Kapitel 10 verwendeten Schleifparameter der Beispielkalotten dienen.

### 7.1 Schleifparameter ändern

Die aktuellen Parameter können direkt im Messfenster (vgl. Kapitel 6.5) über die Funktionstasten F2, F3 und F4 oder über das Menü **Schleifparameter Schichtdicke (bzw. Schleifparameter Verschleiß) / Bearbeiten** geändert werden. Die Einheiten, in der Drehzahl und Strecke angegeben werden, ist in der Systemkonfiguration festgelegt (vgl. Kapitel 12.1).

## 7.2 Eingabebereich

Die Schleifparameter können innerhalb folgender Grenzen eingestellt werden:

*Tabelle 2: Eingabebereiche der Schleifparameter*

<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Kugel- $\varnothing$	[mm]	12	40
Drehzahl	Kugelumdrehungen [ $U_K$ /min]	15	590
	Wellenumdrehungen [ $U_W$ /min]	30	1000
	Schleifgeschwindigkeit [m/min]	1,4	55,8
Schleifstrecke	Anzahl der Kugelumdrehungen [ $U_K$ ]	13	9200
	Anzahl der Wellenumdrehungen [ $U_W$ ]	20	15000
	Schleifweg [m]	1,2	870
Schleifdauer	[s]	5	9999

Die Angaben in der Tabelle wurden für Kugeln mit 30 mm Durchmesser festgelegt. Da bei der Umrechnung von den Einheiten, die Wellenumdrehungen beinhalten, zu den anderen Einheiten, Gerätekonzanten in die Berechnung eingehen, ist der Umrechnungsfaktor von Gerät zu Gerät verschieden. Daher kann es passieren, dass die in dieser Tabelle angegebenen Werte beim Umschalten zwischen den Einheiten über- oder unterschritten werden.



Beim Wechsel zwischen verschiedenen Einheiten kann es zu Rundungsfehlern kommen.

## 8 Durchführung einer Messung

Damit die Schichtdicke bzw. die Verschleißrate mit einer möglichst hohen Genauigkeit bestimmt werden kann, ist ein sauberes Schliffbild der Kalotte erforderlich. Dieses hängt von folgenden Faktoren ab:

- Verwendetes Abrasivmittel
- Drehzahl
- Schleifdauer/Schleifweg
- Kugeldurchmesser
- Auflagekraft der Kugel

Das kaloMAX NT II S wird mit dem Einschalter auf der Rückseite des Gerätes gestartet. Daraufhin kann direkt mit den Messungen begonnen werden.

### **Schritt 1: Probeneinspannung und -positionierung**

Zunächst wird die Probe in den Schraubstock eingespannt und bei Bedarf gereinigt. Daraufhin wird die Auflagekraft eingestellt. Wie in der Prinzipskizze (vgl. Abbildung 2) zu erkennen ist, wird das Eigengewicht der Kugel von der Antriebswelle und der Probe aufgenommen. Je größer der Abstand der Probe von der Welle ist, umso größer ist bei einem bestimmten Kugeldurchmesser die Kraft auf die Probe. Nach der Einstellung der Auflagekraft kann die Probe mit dem Kreuztisch so positioniert werden, dass die Kalotte an der gewünschten Stelle geschliffen wird.

### **Schritt 2: Wahl der Schleifparameter**

Die Schleifparameter Kugeldurchmesser, Drehzahl und Schleifdauer (Schichtdicke) bzw. Schleifstrecke (Verschleiß) werden eingestellt. Diese können direkt im Messfenster über die Funktionstasten F2, F3 und F4 oder über das Menü **Schleifparameter Schichtdicke (bzw. Schleifparameter Verschleiß) / Bearbeiten** festgelegt werden. Des Weiteren können auch gespeicherte Parameterkombinationen geladen werden (vgl. Kapitel 11).

**Schritt 3: Auflegen der Kugel**

Die Kugel wird gereinigt und anschließend zwischen Probe und Traktionsringe des kaloMAX NT II S gelegt.



Für jede Suspension sollte eine andere Kugel verwendet werden.

**Schritt 4: Zugabe Abrasivmittel**

Es wird eine kleine Menge des Schleifmittels (meistens Diamantsuspension) auf die Kugel gegeben. Die Diamantsuspensionen können mit der Einkanalpipette dosiert werden (ca. 20 µl), Slurry AG1 wird hingegen mit einer Glaspipette mit Gummistopfen dosiert.



Bei der Schichtdickenmessung kann es vorteilhaft sein, während des Schleifprozesses weitere Tropfen an Diamantsuspension hinzuzugeben. Dazu können mit der Einkanalpipette einfach weitere Tropfen auf die rotierende Kugel gegeben werden.



Für jede Suspension sollte eine separate Pipettenspitze verwendet werden.

**Schritt 5: Schleifprozess**

Der Schleifprozess wird über START gestartet. Die Zeit in der Anzeige läuft rückwärts bis auf null. Anschließend kann die Probe gereinigt und zur Auswertung unter das Mikroskop gelegt werden.



Während des Schleifvorgangs dürfen weder die Kugel noch die Antriebswelle berührt werden.

**Besonderheiten bei der Messung der Verschleißrate:**

In die Berechnung der Verschleißrate gehen neben dem ausgeschliffenen Kalottenvolumen, auch die zur Probenoberfläche senkrechte Komponente der Auflagekraft und der Schleifweg ein. Es können nur Verschleißraten miteinander verglichen werden, wenn die entsprechenden Kalotten mit den identischen Parametern geschliffen wurden. Dies betrifft insbesondere:

a) Auflagekraft:

Die Auflagekraft kann nicht direkt gemessen werden. Sie hängt ab vom Kugelgewicht, dem Durchmesser, dem Anstellwinkel der Probe und dem Abstand der Probe von der Welle. Es ist deshalb sinnvoll, diese Größen für eine Versuchsreihe konstant zu halten. Die

Probenoberfläche sollte parallel zur Oberseite des Schraubstockes liegen. Der Anstellwinkel beträgt dann 60°.

Da es sich bei der Messung der Verschleißrate um eine vergleichende Messung handelt, muss immer die identische Auflagekraft verwendet werden. Dies kann durch die Verwendung der Einstelllehre gewährleistet werden (vgl. Kapitel 6.8).

b) Schleifparameter:

Den geeigneten Schleifweg (oder die Anzahl der Kugel- bzw. Wellenumdrehungen) und damit auch die Messzeit muss jeder Nutzer selbst entsprechend seinen Anforderungen experimentell ermitteln. Er hängt im Wesentlichen von der zur Verfügung stehenden Schichtdicke und der Verschleißbeständigkeit der zu prüfenden Schicht ab. Wichtig ist, dass Schleifwege ermittelt werden, bei denen die erzeugten Kalottentiefen nicht größer sind als die Schichtdicke der Funktionsschicht.

Als Orientierung zur Einstellung der Messparameter können Erfahrungen des Fraunhofer Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik an Hartstoffschichten dienen (vgl. Tabelle 3). Sie gelten jedoch nur für diese speziell entwickelten Schichtsysteme. Für verschiedene Schichtsysteme wurde folgende Kalottentiefen ermittelt (20°C, 50 %rel. Feuchte entspricht 7,3 [g/kg tr. Luft] bei 1013mbar).

*Tabelle 3: Schleifparameter und Verschleißraten verschiedener Schichtsysteme*

<b>Schichtsystem</b>	<b>Kugelumdrehungen</b> <b>[U<sub>K</sub>]</b>	<b>Schleifweg*</b> <b>[m]</b>	<b>Drehzahl</b> <b>[U<sub>K</sub>/min]</b>	<b>Kalottentiefe</b> <b>[μm]</b>	<b>Verschleißrate</b> <b>[m<sup>3</sup> · m<sup>-1</sup> · N<sup>-1</sup> · 10<sup>-15</sup>]</b>
Kohlenstoffschichten (DLC)	540	50,89	60	0,7	0,8
Metall-Kohlenstoffschicht: Ti-C:H	180	16,96	60	1,1	6,2
Metall-Kohlenstoffschicht: W-C:H	180	16,96	60	0,8	3,3

\* gilt für die Verwendung von Kugeln mit einem Durchmesser von 30 mm

Die direkte Angabe des Schleifweges hat praktische Vorteile gegenüber der Einstellung der Anzahl der Kugel- oder Wellenumdrehungen. Die Umrechnung Kugelumdrehungen → Schleifweg wird im Gerät erledigt. Der Kugeldurchmesser muss eingegeben werden. Die

geometrischen Größen des Gerätes (Abstand der Auflagepunkte, Durchmesser der Welle im Auflagepunkt) werden automatisch berücksichtigt.

c) Abrasivmittel:

Zur Dosierung der Suspension Slurry AG1 wird eine saubere Glaspipette mit Gummistopfen verwendet. Die Suspension ist vor dem Einfüllen mit einem Rührstab umzurühren. Die Suspension ist nicht vom Flaschenboden anzusaugen, sondern aus dem mittleren Bereich der Füllmenge. Anschließend ist das überflüssige Abrasivmittel von der Pipette zu entfernen.

Für jede Messung wird nun ein Tropfen der Suspension benötigt. Dies gilt für alle angegebenen Messzeiten. Es ist ein leichter Druck auf den Gummisauger auszuüben, bis sich ein Suspensionstropfen bildet. Der Tropfen sollte dann durch sein Eigengewicht von der Pipette abreißen. Damit soll gewährleistet werden, dass sich stets Tropfen vergleichbarer Masse bilden. Dabei ist darauf zu achten, dass sich keine Luftblasen im Tropfen befinden. Ist dies der Fall ist die Kugel zu säubern und ein neuer Tropfen ist aufzubringen

## 9 Auswertung der Kalotten

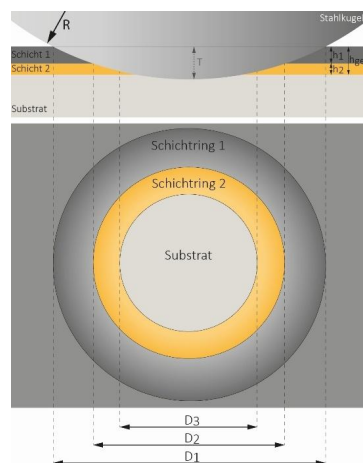
Das Kalottenschleifverfahren ermöglicht die Schichtdickenmessung von Ein- und Mehrlagenschichten sowie die Bestimmung von Verschleißraten auf Proben unterschiedlicher Geometrie. Aufgrund der „Schichtverbreiterung“ durch den Kalottenschliff, kann die Auswertung mit einem normalen Auflichtmikroskop (z.B. GSX-600) erfolgen. Als Auswertesoftware wird kaloSOFT empfohlen.



Weitere Informationen über das GSX-600 und kaloSOFT auf [www.baq.de](http://www.baq.de)

### 9.1 Schichtdickenmessung auf ebener beschichteter Probe

Damit die Schichtdicke der zu prüfenden Beschichtung bestimmt werden kann, muss die Schlifftiefe größer als die Schichtdicke sein. In diesem Fall ist jede einzelne Schicht unter dem Mikroskop als sog. Schichtring sichtbar und kann ausgemessen werden.



#### Bezeichnungen

h: gesuchte Schichtdicke

R: Kugelradius

T: gesamte Eindringtiefe

t: Eindringtiefe in das Substrat

D: äußerer Kalottendurchmesser

d: innerer Kalottendurchmesser

*Abbildung 17: Schichtdickenmessung auf einer ebenen Probe*

Die gesamte Eindringtiefe der Kugel beträgt:

$$T = R - \sqrt{R^2 - D^2/4} \quad (1)$$

Die Eindringtiefe der Kugel im Substrat ist:

$$t = R - \sqrt{R^2 - D^2/4} \quad (2)$$

Damit ergibt sich die Schichtdicke aus der Differenz:

$$h = T - t \quad (3)$$

$$h = \sqrt{R^2 - d^2/4} - \sqrt{R^2 - D^2/4} \quad (4)$$

Bei dünnen Schichten und nur wenig ins Substrat eingeschlifften Kalotten sind die Durchmesser D und d sehr klein gegenüber dem Kugelradius R. Damit vereinfacht sich Gleichung 4 zu:

$$h = \frac{D^2 - d^2}{8 \cdot R} \quad (5)$$

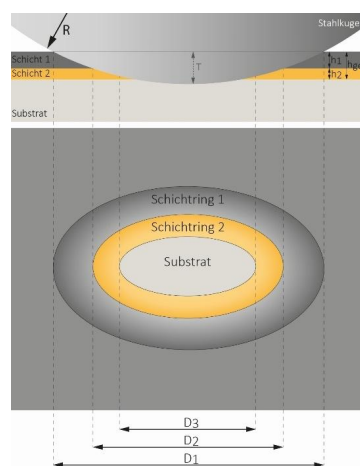
An Gleichung 5 ist zu erkennen, dass die Genauigkeit der Schichtdickenmessung mit dem Kalottenschleifverfahren von der Genauigkeit abhängt, mit der die Durchmesser D und d bestimmt werden können, da der Fehler von R unter 1‰ liegt. Das sorgfältige Ausmessen der beiden Durchmesser ist auch wichtig, da die beiden Größen quadratisch in die Schichtdickenberechnung eingehen. Zur Erzielung einer hohen Genauigkeit wird empfohlen, die Schlifftiefe so zu wählen, dass  $D \approx 2 \cdot d$ .



Weitere Informationen zur Betrachtung der Messgenauigkeit beim Kalottenschleifverfahren auf [www.baq.de](http://www.baq.de)

## 9.2 Schichtdickenmessung auf zylindrischer beschichteter Probe

Wird die Kalotte in eine zylindrische Probe geschliffen, ergeben sich Ellipsen anstelle der Ringe. Die Schichtdicke wird mit der gleichen Formel berechnet wie bei ebenen Proben. D und d müssen dazu unbedingt auf der Längsachse der Ellipse bestimmt werden. Die folgende Abbildung verdeutlicht das Prinzip anhand eines Zweischichtsystems:



### Bezeichnungen

h: gesuchte Schichtdicke

R: Kugelradius

T: gesamte Eindringtiefe

t: Eindringtiefe in das Substrat

D: äußerer Kalottendurchmesser

d: innerer Kalottendurchmesser

*Abbildung 18: Schichtdickenmessung auf einer zylindrischen Probe*



### 9.3 Bestimmung von Verschleißraten

Nachdem eine Kalotte in eine Beschichtung bzw. Oberfläche geschliffen wurde, kann diese anschließend mit einem Profilometer (Kalottentiefe) oder einem Mikroskop (Kalottendurchmesser) ausgewertet werden.

#### 9.3.1 Profilometrische Auswertung

Werden die Kalotten mit einem Profilometer vermessen (Bestimmung der Kalottentiefe), sollte mit der Abtastnadel quer zur Schleifrichtung und entlang der Mittellinie (tiefster Punkt der Kalotte) gemessen werden (vgl. Abbildung 19).

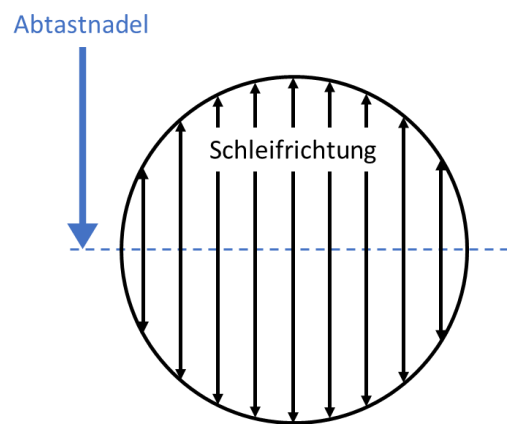


Abbildung 19: Messung der Kalottentiefe mit einem Profilometer

Für die Berechnung des Verschleißvolumens wird eine ideale Kugelkappe vorausgesetzt. Das Kalotten- bzw. Verschleißvolumen ( $V_V$ ) lässt sich bei einer ebenen Probe über nachfolgende Formel berechnen:

$$V_V = \frac{\pi}{3} \cdot h^2 \cdot (3r - h) \quad (6)$$

mit:  $V_V$  = Verschleißvolumen [ $\text{m}^3$ ]  
 $h$  = Kalottentiefe [ $\text{m}$ ]  
 $r$  = Kugelradius [ $\text{m}$ ]

Anschließend kann die Verschleißrate  $V_r$  berechnet werden:

$$V_r = \frac{V_V}{\text{Schleifweg} \cdot \text{Auflagekraft}} \quad (7)$$

Der Schleifweg ( $s$ ) ergibt sich aus dem Kugelumfang und der Anzahl der Kugelumdrehungen  $n$ :

$$s = 2\pi \cdot r \cdot n \quad (8)$$

Damit errechnet sich die Verschleißrate nach folgender Formel:

$$V_r = \frac{V_V}{s \cdot F_K} \quad (9)$$

mit:  $V_r$  = Verschleißrate [ $m^3 \cdot m^{-1} \cdot N^{-1} \cdot 10^{-15}$ ]  
 $V_V$  = Verschleißvolumen [ $m^3$ ]  
 $s$  = Schleifweg [m]  
 $F_K$  = Auflagekraft [N]



Mit der Einstellehre (ohne Adapter) wird eine Auflagekraft ( $F_K$ ) von 0,54 N eingestellt.



Die Einheit der Verschleißrate ist in  $m^3 \cdot m^{-1} \cdot N^{-1} \cdot 10^{-15}$  anzugeben. Das "Kürzen" der Einheiten ist nicht sinnvoll, da dann nicht mehr die Einzelgrößen erkennbar sind.

### 9.3.2 Lichtmikroskopische Auswertung

Wird die Kalotte mit Hilfe eines Mikroskops ausgemessen, so ist der Kalottendurchmesser zu bestimmen. Aus dem mikroskopisch ermittelten Kalottendurchmesser wird die Kalottentiefe bestimmt. Hierbei wird eine ideale Kugelkappe zugrunde gelegt. Die Kalottentiefe errechnet sich aus:

$$h = r - \sqrt{r^2 - D^2/4} \quad (10)$$

mit:  $h$  = Kalottentiefe [m]  
 $r$  = Kugelradius [m]  
 $D$  = Kalottendurchmesser [m]

Der Volumenverschleiß bzw. der Schleifweg ergeben sich aus den Gleichungen (6) bzw. (8). Damit ergibt sich wiederum eine Verschleißrate von:

$$V_r = \frac{V_V}{s \cdot F_K} \quad (9)$$

mit:  $V_r$  = Verschleißrate [ $m^3 \cdot m^{-1} \cdot N^{-1} \cdot 10^{-15}$ ]  
 $V_V$  = Verschleißvolumen [ $m^3$ ]  
 $s$  = Schleifweg [m]  
 $F_K$  = Auflagekraft [N]

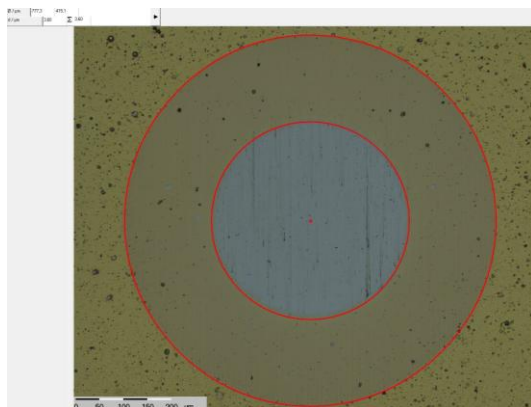


Mit der Einstellehre (ohne Adapter) wird eine Auflagekraft ( $F_K$ ) von 0,54 N eingestellt.

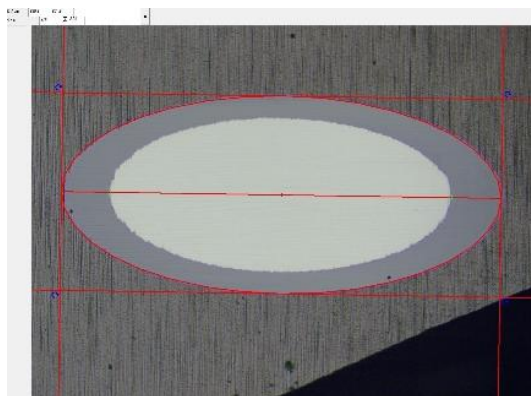


Die Einheit der Verschleißrate ist in  $m^3 \cdot m^{-1} \cdot N^{-1} \cdot 10^{-15}$  anzugeben. Das "Kürzen" der Einheiten ist nicht sinnvoll, da dann nicht mehr die Einzelgrößen erkennbar sind.

## 10 Beispielmessungen



**Beschichtung:** TiN  
**Abrasivmittel:** 0,5 µm Diamantsuspension  
**Drehzahl:** 300 U/min  
**Schleifdauer:** 120 s  
**Kugel-Ø:** 30 mm  
**D = 777,3 µm; d = 415,1 µm**  
**Schichtdicke:** 3,60 µm



**Beschichtung:** AlTiN  
**Abrasivmittel:** 0,5 µm Diamantsuspension  
**Drehzahl:** 100 U/min  
**Schleifdauer:** 180 s  
**Kugel-Ø:** 30 mm  
**D = 839,6 µm; d = 651,6 µm**  
**Schichtdicke:** 2,34 µm

### Weitere Beispielpalotten:



## 11 Parameterverwaltung

In vielen Fällen ist es sinnvoll, für bestimmte Proben ermittelte Parameterkombinationen zu speichern, um sie für spätere Prüfungen wieder abrufen zu können.

### 11.1 Schleifparameter speichern

Um eine Parameterkombination zu speichern, werden zunächst die gewünschten Parameter im Messfenster eingestellt. Diese aktuellen Schleifparameter können daraufhin im Menüpunkt **Schleifparameter Schichtdicke (bzw. Schleifparameter Verschleiß) / Speichern** unter einem frei definierbaren Namen gespeichert werden.

### 11.2 Schleifparameter laden

Unter dem Menüpunkt **Schleifparameter Schichtdicke (bzw. Schleifparameter Verschleiß) / Laden** werden sämtliche gespeicherte Parameterkombinationen aufgelistet. Mit den Cursortasten ▲ und ▼ wird der gewünschte Datensatz in der Liste angewählt und mit ENTER geladen. Nach der Rückkehr ins Messfenster werden die entsprechenden Parameter angezeigt.

### 11.3 Schleifparameter löschen

Sofern eine gespeicherte Parameterkombination nicht mehr benötigt wird, kann der entsprechende Datensatz unter dem Menüpunkt **Schleifparameter Schichtdicke (bzw. Schleifparameter Verschleiß) / Löschen** gelöscht werden. Mit den Cursortasten ▲ und ▼ wird aus der Liste der gespeicherten Datensätze der gewünschte angewählt und mit ENTER gelöscht.

## 12 Systemeinstellungen

Wird im Hauptmenü **System** gewählt, öffnet sich ein Untermenü, das folgende Unterpunkte beinhaltet:

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| ▪ Konfiguration:                    | Einstellung der Einheiten für die Schleifparameter<br>Drehzahl und Strecke |
| ▪ Sprache:                          | Auswahl der Sprache  |
| ▪ Werkseinstellungen:               | Zurücksetzen auf Werkseinstellungen  |
| ▪ Software update:                  | Installation eines Softwareupdates per USB-Stick                           |
| ▪ Fehlerprotokoll auf USB kopieren: | Fehlerprotokoll wird auf USB-Stick übertragen                              |
| ▪ Info:                             | Anzeige der Systeminformationen  |

### 12.1 Konfiguration

In der Konfiguration können die Einheiten für die Schleifparameter Geschwindigkeit und Strecke festgelegt werden.

#### Geschwindigkeit

Folgende Einheiten können zur Angabe der Geschwindigkeiten ausgewählt werden:

- Kugelumdrehungen [1/min]
- Schleifgeschwindigkeit [m/min]
- Wellenumdrehungen [1/min]

#### Strecke

Folgende Einheiten können zur Angabe der Strecken ausgewählt werden:

- Anzahl Kugelumdrehungen
- Schleifweg [m]
- Anzahl Wellenumdrehungen

### 12.2 Sprache

In dem Menüpunkt **System / Sprache** kann die Sprache ausgewählt werden. Mit den Cursortasten ▲ und ▼ wird die gewünschte Sprache angewählt, die mit ENTER oder F4 (Ok) aktiviert wird.

## 12.3 Werkseinstellungen

In dem Menüpunkt **System / Werkseinstellungen** können die aktuellen Schleifparameter auf die Standardwerte zurückgesetzt werden.



Gespeicherte Parameterdatensätze bleiben stets erhalten.

## 12.4 Softwareupdate

Im Laufe des Produktlebenszyklus kann es immer wieder Softwareupdates für das kaloMAX NT II S geben. Um ein Softwareupdate aufzuspielen, muss ein USB-Stick mit der neuen Softwareversion in die USB-Buchse des kaloMAX NT II S gesteckt werden (bei Bedarf unter Verwendung eines Adapters USB A ↔ USB C). Anschließend kann das Softwareupdate unter dem Menüpunkt **System / Software-Update** durchgeführt werden. Dabei sind ggf. weitere Angaben auf dem Display zu befolgen.



Nach dem Update fährt das Gerät automatisch herunter. Schalten Sie den Kippschalter erst auf ‚OFF‘, wenn das Display schwarz ist, da sonst die Stromzufuhr unterbrochen und der Updateprozess gestört werden kann.

## 12.5 Fehlerprotokoll auf USB kopieren

Das kaloMAX NT II S erfasst automatisch systemkritische Fehler und speichert diese in einer sog. Error-Log-Datei. Solche Fehler können auch geräteintern auftreten, sodass sie nicht auf dem Display angezeigt werden. Die Error-Log-Datei dient ausschließlich der Fehlersuche durch BAQ. Um die Datei an BAQ zu senden, kann sie unter dem Menüpunkt **System / Fehlerprotokoll kopieren (USB)** auf einen USB-Stick übertragen und anschließend per E-Mail an [service@baq.de](mailto:service@baq.de) geschickt werden.

## 12.6 Info

Unter dem Menüpunkt **System / Info** werden die Systeminformationen angezeigt. Dazu gehören die Seriennummer des Gerätes, die Versionsnummern der Software und des Kernels sowie die Platinenrevision.

## 13 Wartung und Support

### 13.1 Reinigung

Die Reinigung des kaloMAX NT II S kann z.B. mit einem mit Isopropylalkohol getränkten Tuch erfolgen. Dabei ist darauf zu achten, dass keine Flüssigkeiten in das Innere des kaloMAX NT II S gelangen können. Die Oberseite ist nicht komplett abgedichtet.

Die Traktionsringe des Gerätes sollten stets gereinigt werden, sobald Staubpartikel oder Flüssigkeiten (z.B. durch den Kontakt mit Suspension) bemerkbar sind. Dazu kann die Welle in Rotation versetzt werden und es kann vorsichtig ein mit Isopropylalkohol getränktes und fusselfreies Tuch gegen die Traktionsringe gedrückt werden.



Zur Reinigung dürfen keine scharfkantigen Gegenstände, aggressive Chemikalien oder Scheuermittel verwendet werden.

### 13.2 Sicherungen

In der Netzanschlusseinheit befinden sich 2 Sicherungen 1 A träge (2-polige Absicherung).

### 13.3 Austausch der Antriebswelle

Sind die Traktionsringe auf der Antriebswelle beschädigt, ist es am einfachsten, die komplette Welleneinheit auszutauschen da die Traktionsringe auf exakten Rundlauf geschliffen sind. Dies kann nur an der ausgebauten Welle erfolgen. Zum Ausbau wird die Abdeckung auf der linken Seite abgeschraubt. Dann kann nach Lösen der Befestigungsschrauben auf beiden Seiten der Welle die komplette Einheit mit Lagern nach links herausgezogen werden.

### 13.4 Entsorgung



Das kaloMAX NT II S darf nicht über den Haus-, Gewerbe- oder Industriemüll entsorgt werden. Bitte beachten Sie die örtlichen Entsorgungsmethoden oder kontaktieren Sie uns bezüglich der ordnungsgemäßen Entsorgung von Elektronikgeräten.

## 14 Anhang 1: Lizenzinformationen

Die im Produkt integrierte Firmware beinhaltet Software, die unter der GNU General Public License (GPL) oder unter der GNU Lesser General Public License (LGPL) lizenziert ist. Gemäß den Bestimmungen der GPL oder LGPL wird dem Endbenutzer auf Anfrage eine Kopie des Quellcodes zur Verfügung gestellt, der der GPL bzw. der LGPL unterliegt. Dieser Code wird OHNE JEGLICHE GARANTIE bereitgestellt, was auch die MARKTFÄHIGKEIT oder die EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK betrifft. Das Angebot, den Quellcode auf Anfrage zur Verfügung zu stellen endet 3 Jahre nach Lieferung unseres Produkts an den Kunden. Wenden Sie sich in diesem Zusammenhang bitte an die BAQ GmbH.



## 15 Anhang 2: Bestellinformationen

### Gerät und Gerätezubehör

<i>Artikel-Nr.</i>	<i>Beschreibung</i>
60-102	Kalottenschleifgerät kaloMAX NT II S zur Schichtdicken- und Verschleißmessung mit Probeneinspannung für 1 Probe und Justiermöglichkeit in drei Achsen
55-101	Option abnehmbarer Schraubstock für kaloMAX II und kaloMAX NT II
60-110	Option Laserpointer für kaloMAX NT II
60-111	Option Einstelllehre für kaloMAX NT II
60-120	Adapter für Einstelllehre zum Einstellen geringerer Auflagekräfte 0,2N, 0,3N, 0,4N
60-114	Staubschutzhaube für Kalottenschleifgerät kaloMAX NT II
55-200-50	Einkanalpipette (10 -100 µm) inkl. 10x Pipettenspitzen zum Dosieren von Schleifsuspension

## Softwarepakete

<b>Artikel-Nr.</b>	<b>Beschreibung</b>
70-100-02	<p>kaloSOFT Messsystem zur Bestimmung der Schichtdicke (Einzelschichten und Schichtsysteme) auf ebenen und zylindrischen Oberflächen mit Projektverwaltung und Dokumentation.</p> <p>Lieferumfang:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kaloSOFT Software zum Ausmessen von Kalotten</li> <li>- USB 3.0 Farbkamera, 2,4 MP (1936 x 1216 Pixel), 126 fps, 1/2,3", C-Mount Anschluss für Mikroskop, hochwertiges Anschlusskabel mit Verschraubung an der Kamera (3 m)</li> <li>- Leistungsfähiger Mini-PC inkl. MS Windows 11 Pro</li> <li>- 24" LED-Monitor, 1920 x 1200 Pixel, 16:10</li> </ul> <p>MS Windows Betriebssystem inkl. aktueller Updates, Kamera-Treiber und BAQ-Auswertesoftware betriebsfertig installiert.</p>
70-100-03	<p>kaloSOFT Messsystem - Aufpreis für 3,2 MP Kamera</p> <p>USB 3.0 Farbkamera, 3,2 MP (2064 x 1544 Pixel), 53 fps, Sensor: 1/1,8"</p>
70-100-04	<p>kaloSOFT Messsystem - Aufpreis für 5,1 MP Kamera</p> <p>USB 3.0 Farbkamera, 5,1 MP (2464 x 2064 Pixel), 66 fps, Sensor: 1/1,8"</p>
70-100-10	<p>kaloSOFT Option – Innenradius</p> <p>Zusätzliche Bestimmung der Schichtdicke in Innenradien</p>
70-100-11	<p>kaloSOFT Option – Kugel</p> <p>Zusätzliche Bestimmung der Schichtdicke auf Kugeln</p>
70-100-12	<p>kaloSOFT Option – zweifach gekrümmte Oberfläche</p> <p>Zusätzliche Bestimmung der Schichtdicke auf zweifach gekrümmten Oberflächen mit unterschiedlichen Radien</p>
70-100-20	<p>kaloSOFT Option – Verschleiß Ebene</p> <p>Zusätzlich Bestimmung von Verschleißkoeffizienten aus der Vermessung von Kalotten auf ebenen Flächen</p>
70-100-21	<p>kaloSOFT Option – Verschleiß Zylinder</p> <p>Zusätzlich Bestimmung von Verschleißkoeffizienten aus der Vermessung von Kalotten auf zylindrischen Flächen</p>

### Mikroskope und Zubehör

<i>Artikel-Nr.</i>	<i>Beschreibung</i>
GSX-400	<p>Auflichtmikroskop GSX-400 auf Stativsäule (ohne Objektive!)</p> <p>Grob- und Feintrieb mit coax. Bedienung, Auflösung 2 µm, Hub 25 mm</p> <p>LED-Beleuchtung mit konstanter Farbtemperatur</p> <p>4-fach Objektivrevolver</p> <p>Okulare GF-Pw 10x/20, Brille</p> <p>C-Mount Anschluss für Kamera</p> <p>Stativfuß mit eingebauter Stromversorgung</p> <p>Positioniertisch mit 70x50 mm Verfahrweg und Nonius in x-Richtung</p> <p>Abstand der optischen Achse bis zur Stativsäule: 125 mm</p> <p>Maximale Probenhöhe: 170 mm</p>
GSX-600	<p>Auflichtmikroskop GSX-600 auf großer Stativsäule (ohne Objektive!)</p> <p>Grob- und Feintrieb mit coax. Bedienung, Auflösung 2 µm, Hub 25 mm</p> <p>LED-Beleuchtung mit konstanter Farbtemperatur</p> <p>4-fach Objektivrevolver</p> <p>Okulare GF-Pw 10x/20, Brille</p> <p>C-Mount Anschluss für Kamera</p> <p>Stativfuß mit eingebauter Stromversorgung</p> <p>Positioniertisch mit 70x50 mm Verfahrweg und Nonius in x-Richtung</p> <p>Abstand der optischen Achse bis zur Stativsäule: 125 mm</p> <p>Maximale Probenhöhe: 370 mm</p>
OBJ-MPLFLN-05X	OLYMPUS MPLFLN-5X Objektiv 5X/N.A. 0.15 AA 20mm
OBJ-MPLFLN-10X	OLYMPUS MPLFLN-10X Objektiv 10X/N.A. 0.3 AA 11mm
OBJ-MPLFLN-20X	OLYMPUS MPLFLN-20X Objektiv 20X/N.A. 0.45 AA 3,1mm
OBJ-MPLFLN-50X	OLYMPUS MPLFLN-50X Objektiv 50X/N.A. 0.80 AA 1mm
OBJ-MPLN-05X	OLYMPUS Objektiv 5X/N.A. 0.1 AA 20mm
OBJ-MPLN-10X	OLYMPUS Objektiv 10X/N.A. 0.25 AA 10,6mm
OBJ-MPLN-20X	OLYMPUS Objektiv 20X/N.A. 0.4 AA 1,3mm gefedert
OBJ-MPLN-50X	OLYMPUS Objektiv 50X/N.A. 0.75 AA 0.21mm, gefedert

## Mikroskope und Zubehör

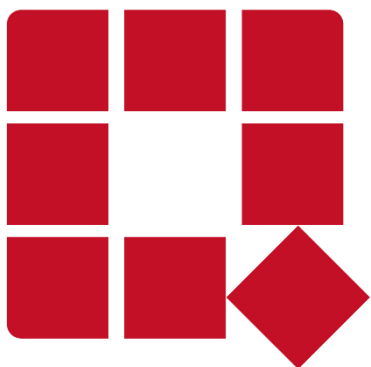
<i>Artikel-Nr.</i>	<i>Beschreibung</i>
OBJ-MIK-02	<p>Objektmikrometer zur Kalibrierung der Mikroskopvergrößerung bei Verwendung einer Videokamera</p> <p>Glasträger: 76mm x 26mm</p> <p>Skalenteilung: 1mm in 0.01mm</p> <p>Kreise: Ø 0.07mm, 0.15mm, 0.6mm und 1.5mm</p>
OBJ-MIK-01-Z	<p>Objektmikrometer inkl. DAkkS-Kalibrierschein</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Skala 70 mm, alle 10 mm, 7 Teilstriche</li> <li>- Skala 10 mm, 30 ... 31 mm alle 0,1 mm, 10 Teilstriche</li> <li>- Skala 10 mm, 30 ... 40 mm alle 1,0 mm, 9 Teilstriche</li> <li>- Skala 2 mm, 34 ... 34,1 mm alle 0,01 mm, 10 Teilstriche</li> <li>- Skala 2 mm, 34,1 ... 36 mm alle 0,1 mm, 19 Teilstriche</li> </ul> <p>DAkkS-DKD Kalibrierung für Objektmikrometer mit Gesamtteilungslänge 70 mm (0,5 mm-Teilung), 10 mm (0,1 mm-Teilung) und 2 mm (0,05 mm und 0,1 mm Teilung) im Strichmittelverfahren mit einer angestrebten Messunsicherheit von <math>U = 1 \mu\text{m} + 1 \times 10 \text{ (hoch 6)} \times L</math> inkl. Kalibrierschein</p>
OBJ-MIK-01-P	<p>Objektmikrometer inkl. Prüfschein</p> <p>zur Kalibrierung der Mikroskopvergrößerung bei Verwendung einer Videokamera</p> <p>70/0,5; 10/0,1; 2/0,01</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Teilungslänge 70mm</li> <li>- Teilstrichabstand 0,5mm</li> <li>- in der Teilungsmitte auf 10mm Teilstrichabstand 0,1mm;</li> <li>Teilungsmitte auf 2mm Teilstrichabstand 0,01mm</li> </ul>

### Verbrauchsmaterialien

<i>Artikel-Nr.</i>	<i>Beschreibung</i>
55-200-01B	Ein Satz Verbrauchsmaterial zur Schichtdickenmessung bestehend aus: Diamantpaste monokristallin, Korngröße 0,25µm, 5 g in Spritze, Diamantsuspension polykristallin, Korngröße 0,5 µm, ca. 50 ml, Diamantsuspension polykristallin, Korngröße 1,0 µm, ca. 50 ml, 6 Stk. Stahlkugeln Ø 30 mm, komplett in Kunststoffbox
55-200-30	Diamantsuspension polykristallin 0,5 µm; ca. 50 ml
55-200-31	Diamantsuspension polykristallin 1,0 µm; ca. 50 ml
55-200-32	Diamantsuspension polykristallin 3,0 µm; ca. 50 ml
55-200-20	Diamantpaste monokristallin 0,25 µm 5g
55-200-21	Diamantpaste monokristallin 0,25 µm 10g
55-200-22	Diamantpaste monokristallin 1,0 µm 10g
55-200-23	Diamantpaste monokristallin 2,0 µm 10g
55-200-1030	Stahlkugeln Ø 30 mm 10 Stk. In Plastikbox
55-200-1020	Stahlkugeln Ø 20 mm 10 Stk.
55-200-1015	Stahlkugeln Ø 15 mm 10 Stk.
55-200-1030-HM	Hartmetallkugeln Ø 30 mm 10 Stk
60-112	Schleifsuspension Slurry AG1 für kaloMAX NT II Spezielle Schleifsuspension zur reproduzierbaren und vergleichbaren Bestimmung von Verschleißkoeffizienten, inkl. Referenzprobe ca. 50ml
60-117	Spezielle Glaspipette (3 Stk.) mit Gummistopfen zur reproduzierbaren Dosierung von Slurry AG1 zur Verschleißmessung

**Reparatur und Ersatzteile**

<b><i>Artikel-Nr.</i></b>	<b><i>Beschreibung</i></b>
R-KM-W-01	Welle für kaloMAX II / kaloMAX NT II inklusive Montageanleitung Bei Bestellung bitte die Seriennummer Ihres Gerätes angeben!
R-KM-W-02	Welle für kaloMAX II / kaloMAX NT II inklusive Lager Umbau durch die BAQ GmbH



**BAQ GmbH**

Hermann-Schlichting-Str. 14  
38110 Braunschweig  
Deutschland

Tel: +49 5307 / 95102 - 0  
Fax: +49 5307 / 95102 - 20  
Mail: [info@baq.de](mailto:info@baq.de) / [service@baq.de](mailto:service@baq.de)  
Web: [www.baq.de](http://www.baq.de)