



### 3.1 Volumenberechnung

Für die Volumenmessung von Probenbereichen bietet das Programm mehrere Meßmethoden an:

- „Seifenfilm“,
- „Oben deckend“ und
- „Schnittebene“.

#### 3.1.1 Seifenfilm

Bei der **Seifenfilm**-Methode (**Anlage 2, Bild 1**) wird die Kontur der Eindruckoberfläche in Form eines Polygons berechnet. Die Oberfläche des gewählten Bereichs wird dann durch ein innerhalb der Kontur verspanntes Gitternetz simuliert. Das dabei entstandene, unter der Netzebene liegende Volumen wird aus dem errechneten Oberflächenmodell ermittelt. Liegen Teile der Oberfläche höher als das außen begrenzende Polygon (Graue Flächenanteile **Anlage 2, Bild 1**), führen die Berechnungen mit dieser Methode zu Ungenauigkeiten. Es wird je nach Anwendungsfall ein zu kleines Volumen ermittelt.

#### 3.1.2 Oben deckend

Die Methode „**Oben deckend**“ legt die Gitternetzebene immer oberhalb der Oberfläche des digitalen Oberflächenmodells an (**Anlage 2, Bild 2**). Diese Methode berechnet bei den untersuchten Härteeindrücken ein zu großes Volumen, da die Ränder der Härteeindrücke meist überhöht sind.

#### 3.1.3 Schnittebene

Hierbei wird eine Schnittebene deckungsgleich auf das Oberflächenmodell gelegt. Da die Oberfläche des erzeugten digitalen Oberflächenmodells nicht immer exakt horizontal ausgerichtet ist, muss dies computertechnisch durch Kippung der Bildebene in X- und Y-Richtung korrigiert werden. Gleichzeitig wird die Schnittebene in Z-Richtung angepasst. Danach kann das Volumen unterhalb der exakt auf den Eindruckkanten aufliegenden Netzebene berechnet werden (**Anlage 2, Bild 3**). Diese Methode erscheint für die vorliegende Untersuchung als die am besten geeignete.

Die Ergebnisse der verschiedenen Volumenmessungen der untersuchten Härteeindrücke sind in **Anlage 3, Tabelle I**, eine graphische Darstellung der Messergebnisse ist in **Anlage 4, Bild 1** wiedergegeben.

#### 3.1.4 Berechnung aus Geometrie der Vickerspyramide

Der zur Härteprüfung nach Vickers eingesetzte Prüfdiamant hat gemäß DIN 50133 eine festgelegte Geometrie. Die Norm schreibt eine Pyramide mit quadratischer Grundfläche und einen Flächenwinkel von  $136^\circ \pm 5^\circ$  (Vickers-Pyramide) vor. Mit diesen Angaben kann eine Volumenberechnung des Härteeindrucks aus den Eindruckdiagonalen durchgeführt werden. Die zur Berechnung erforderliche Länge der Eindruckdiagonalen wurde für die verschiedenen Prüfkräfte aus den REM-Stereobildern ermittelt. Vermessen wurde jeweils die REM-Aufnahme mit einem Kippwinkel von  $0^\circ$ . Die danach berechneten Volumina sind in **Anlage 3, Tabelle I** den Ergebnissen der Auswertung der Stereo-Bildpaare gegenübergestellt. Eine graphische Darstellung dieser Messergebnisse ist in **Anlage 4, Bild 1** zusammen mit der Auswertung der Stereo-Bildpaare dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Werten der Methode „Schnittebene“. Die aus der Geometrie der Vickerspyramide errechneten Volumina liegen grundsätzlich über denen der Auswertung aus Stereo-Bildpaaren. Dies ist auf eine konkave Grundfläche der Vickerspyramide (**Anlage 5, Bilder 1 – 3**) zurückzuführen.

### **3.2 Profilmessung**

#### **3.2.1 Stereo Bildauswertung**

Zur Bestimmung des Tiefenprofils wird in der Oberflächenansicht jeweils eine Messstrecke entlang der Eindruckdiagonalen gelegt (**Anlage 6; Bild 1**). Nach Festlegung der Messstrecke wird eine Profillinie als senkrechter Schnitt durch die Oberfläche berechnet und graphisch dargestellt (**Anlage 6, Bild 2**). Aus dem Tiefenprofil kann nach Festlegung der Nulllinie die Eindrucktiefe ermittelt werden.

Die Messergebnisse sind in Anlage 3, Tabelle II wiedergegeben. Eine graphische Darstellung dieser Messergebnisse ist in Anlage 4, Bild 2 dargestellt.

#### **3.2.2 Berechnung aus Geometrie des Vickerspyramide**

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei der zur Härteprüfung eingesetzten Vickerspyramide um einen regelmäßigen Prüfkörper. Die zur Ermittlung des Volumens (3.1.4) erforderlichen Rechenschritte liefern u. a. die Eindrucktiefe (Höhe der Pyramide). Die Berechnungen sind in **Anlage 3, Tabelle II** den Ergebnissen der Auswertung der Stereo-Bildpaare gegenübergestellt. Eine graphische Darstellung dieser Messergebnisse ist in **Anlage 4, Bild 2** zusammen mit der Auswertung der Stereo-Bildpaare dargestellt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Werten der Stereo-Bildpaare.

### **4. Zusammenfassung**

Zur Vermessung von Vickers-Härteeindrücken sind im Raster-Elektronen-Mikroskop durch Verkippen der Probenebene Stereo-Bildpaare aufgenommen worden.

Eine spezielle 3D-Rekonstruktions-Software errechnet aus den Bildpaaren ein digitales dreidimensionales Oberflächenmodell der Härteeindrücke. Spezielle Messroutinen ermöglichen anschließend die Vermessungen des Oberflächenmodells. Im vorliegenden Fall wurden sowohl Volumen als auch die Tiefen der einzelnen Vickers-Härteeindrücke vermessen.

Voraussetzung für eine genaue Berechnung ist die exakte Kalibrierung der Pixelgröße der Stereo-Bildpaare und die Einhaltung der Geräteparameter. Während die Pixelgröße anhand eines Eichstandards exakt bestimmt werden konnte, ist die exakte Ermittlung von Kippwinkel und Arbeitsabstand im REM mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet. Möglichkeiten zur exakteren Bestimmung der Geräteparameter werden derzeit geprüft.

In Ergänzung zur Methode der 3D-Rekonstruktion aus Stereo-Bildpaaren wurden Volumen und Eindrucktiefe aus der Geometrie der zur Härteprüfung eingesetzten Vickerspyramide berechnet. Danach ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit der Methode „Schnittebene“