

# Variation des Prestonkoeffizienten in Abhängigkeit der Relativgeschwindigkeit im Polierprozess

Andreas Kelm\*, Rainer Boerret\*, Stefan Sinzinger\*\*

\*HTW Aalen, Beethovenstr.1 73430 Aalen, Germany

\*\*TU Ilmenau, Postfach 100565, 98684 Ilmenau, Germany

[mailto: Andreas.Kelm@htw-aalen.de](mailto:Andreas.Kelm@htw-aalen.de)

Die Abhängigkeit des Prestonkoeffizienten von der Relativgeschwindigkeit beeinflusst das Ergebnis der Politur mit Subaperturwerkzeugen wesentlich. Experimentell wird der Einfluss auf die praktische Politur aufgezeigt sowie eine Methode zur Bestimmung des variablen Reibungskoeffizienten vorgestellt.

## 1 Einführung

In der traditionellen Herstellung von Glaslinsen findet die Formgebung durch einen Schleifprozess statt. Zur Glättung der rauen Oberfläche sowie zur Beseitigung von Mikrorissen im Material folgt darauf normalerweise ein Vorpulierprozess. Anschließend können, bei Bedarf, verbleibende Fehler auf der Oberfläche mittels unterschiedlicher Verfahren der Korrekturpolitur beseitigt werden.

Diese Korrekturverfahren stellen durch ihren geringen Volumenabtrag einen hohen Kostenfaktor dar. Die Kontrolle und Optimierung der Vorpulitur ermöglicht die Minimierung des Korrekturprozesses und damit die Verringerung der Prozesszeiten.

Zur Beschreibung rotationssymmetrischer, aber nicht kugelförmiger Oberflächen dient die in DIN ISO 10110-12 beschriebene Asphärengleichung. Der Krümmungsradius einer Asphäre kann sich mit dem Abstand vom Mittelpunkt ändern, Werkzeuge mit vollflächigem Kontakt zur Oberfläche sind daher nicht geeignet. Zum Einsatz kommen Subaperturwerkzeuge deren Kontaktfläche wesentlich kleiner ist als der Durchmesser der zu polierenden Fläche.

Zur Politur der gesamten Oberfläche wird das Werkzeug über die Oberfläche geführt. Dabei ändert sich die Abtragsfunktion mit dem lokalen Krümmungsradius. Die Steuerung des globalen Abtrags auf der Oberfläche ist durch Anpassung der Verweilzeiten des Werkzeugs auf seinem Weg über die Fläche möglich.

## 2 Der Prestonkoeffizient

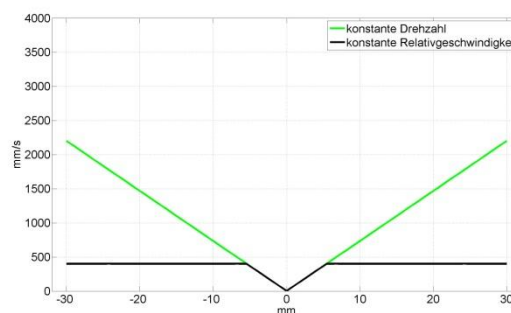
Bei der Vorpulitur von rotationssymmetrischen Oberflächen drehen sich das Werkstück und das Werkzeug. Die Relativgeschwindigkeit  $v_{rel}$  an der Kontaktfläche hängt damit vom Abstand der aktuellen Position des Werkzeugs zum Drehzentrum der Linse ab. Bei der Berechnung des Flächenabtrags sollte nach Preston der Einfluss unterschied-

licher Relativgeschwindigkeiten bei vollflächig aufliegenden Werkzeugen vernachlässigbar sein [1]. Basierend auf der Arbeit Prestons beschreibt der Prestonkoeffizient  $c_p$  den Zusammenhang zwischen dem Abtrag  $z$  und der Kraft  $F$ , der Auflagefläche  $A$  des Werkzeugs sowie der Relativgeschwindigkeit.

$$\frac{dz}{dt} = c_p \cdot \frac{F}{A} \cdot v_{rel} \quad (1)$$

Bei der Verwendung von Subaperturwerkzeugen ist diese Annahme nicht mehr haltbar, der in  $c_p$  enthaltene Reibungskoeffizient  $\mu$  ändert sich mit  $v_{rel}$ . Die Vernachlässigung dieses Einflusses führt zu signifikanten Fehlern im Polierprozess.

Zur Darstellung dieses Einflusses wird eine Politur mit einem Subaperturwerkzeug durchgeführt, wobei sich das Werkzeug mit konstantem Vorschub über die Oberfläche bewegt. Die Drehzahlen bleiben konstant bei 700 1/min, die Fläche besitzt einen Durchmesser von 64mm. Die grüne Kurve in Abb. 1 zeigt den Verlauf der Relativgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Abstands vom Drehpunkt der Fläche.



**Abb. 1** grün: Relativgeschwindigkeit bei Drehzahlen von 700 rpm für Werkstück und Werkzeug; schwarz: auf 0,4 m/s begrenzte Relativgeschwindigkeit

Durch Anpassung der Drehzahlen erfolgt bei einer zweiten Politur im selben Polierprozess die Begrenzung der Relativgeschwindigkeit auf 0,4 mm/s. Die schwarze Kurve in Abb. 1 zeigt den konstanten Verlauf der Relativgeschwindigkeit.

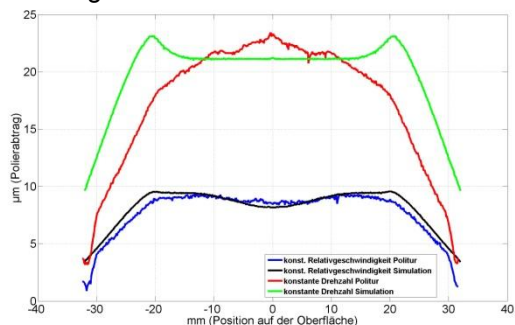
Lediglich im Mittenbereich ergibt sich prozessbedingt eine Abweichung. Die Anpassung der Verweilzeit mit Gl. 2 führt theoretisch zu konstantem Abtrag bei ideal kleinem Werkzeug [2].

$$\left| \frac{x}{v_{rel}(x)} \right| = const. \quad (2)$$

$x$  Position des Werkzeugs auf der Oberfläche

$v_{rel}(x)$  Relativgeschwindigkeit bei Punkt  $x$

Zum Vergleich der Ergebnisse findet zusätzlich eine Simulation mit konstantem  $c_p$  statt. Die grüne Kurve in Abb. 2 zeigt den simulierten Abtrag unter Verwendung der grünen Kurve aus Abb. 1, die schwarze Kurve Abb. 1 erzeugt den schwarzen Abtrag in Abb. 2. Während sich die grüne Kurve deutlich vom realen Abtrag unterscheidet, stimmt der blaue Abtrag in Abb. 2 sehr gut mit dem theoretischen Verlauf überein. Eine Erklärung ist die Variation des Prestonkoeffizienten mit der Relativgeschwindigkeit.



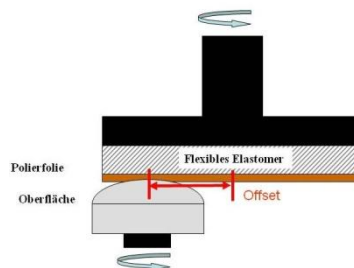
**Abb. 2** Abtrag der Polierversuche zur Bestimmung des Einflusses der Relativgeschwindigkeit auf das Abtragsverhalten.

### 3 Messung der Geschwindigkeitsabhängigkeit

Zur Bestimmung des Einflusses der Relativgeschwindigkeit auf den Prestonkoeffizienten wird der Reibungskoeffizient  $\mu$  zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück während des Polierprozesses bestimmt.

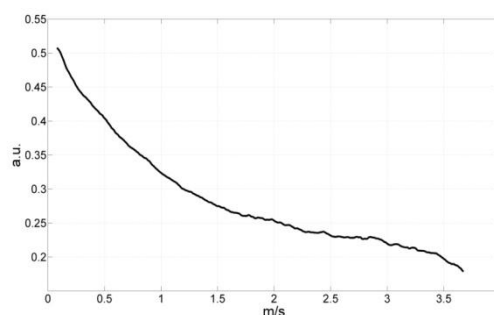
Mit der Annahme einer kleinen Kontaktfläche zwischen Werkzeug auf Werkstück und der positionsabhängigen Messung der elektrischen Leistungsaufnahme von Werkzeug- oder Werkstückspindel führt die Bestimmung der Torsionskraft über das anliegende wirksame Drehmoment zu dem ortsabhängigen Reibungskoeffizienten. Ein Beispiel eines Verlaufs des Reibungskoeffizienten ist in Abb. 4 zu sehen.

Messgrößen waren der Motorstrom und die Motorspannung eines Offsetwerkzeugs nach Abb. 3. Der Kontaktpunkt zwischen Werkstück und Werkzeug ist dabei aus der Mitte des Werkzeugs um den Offset  $d$  verschoben. Durch das Verfahren des Werkzeugs über die Oberfläche ändert sich die Relativgeschwindigkeit.



**Abb. 3** Prinzip Offsetwerkzeug

Abb. 4 zeigt die Auswertung der Messung des Motorstroms des Werkzeugs. Der Reibungskoeffizient  $\mu$ , und damit  $c_p$ , ändert sich um mehr als den Faktor zwei über den Bereich der Relativgeschwindigkeit von 0..3,5m/s.



**Abb. 4** Gemessener Reibungskoeffizient vs. Relativgeschwindigkeit

### 4 Zusammenfassung

Kann bei Verwendung von Vollflächenwerkzeugen im Polierprozess der Prestonkoeffizient als konstant angenommen werden, so spielt bei Subaperturwerkzeugen der Einfluss der Relativgeschwindigkeit eine wichtige Rolle. Die Bestimmung dieses Einflusses über die Messung des Motorstroms stellt eine elegante Möglichkeit zur quantitativen Messung sowie zur Überwachung des Polierprozesses während der Bearbeitung dar.

[1] Preston, F.W., "The Theory and Design of Plate Glass Polishing Machines", J.Soc. Glass Technology 11, 214-256 (1927)  
 [2] Kelm, A., Boerret, R., Sinzinger, S., "Simulation and analysis of the polishing process for aspheres", Proc. SPIE, Vol. 7426, 74260F (2009)