

# MASTERARBEIT

## Einfluss des zweidimensionalen Spannungszustandes auf die Setzung des Schotters



**Bearbeitung:**  
Yi, Chenxu  
Geboren am 08.05.1993

**Betreuung:**  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler  
Dr.-Ing. Ulf. Gerber

### AUFGABE

Beschreibung der Grundlagen des Tragverhaltens von Schotter in einem Schüttkegel: Beschreibung der vertikalen Festigkeit in Abhängigkeit von der horizontalen Stützspannung, Beschreibung des Lamellenverfahrens.

Beschreibung der Grundlagen und Funktion des Messsystems zur Ermittlung des quasistatischen Spannungszustandes im Schüttkegel. Versuchsdurchführung unter einer quasistatischen Belastung, wobei die äußere Belastung, die äußere vertikale Verschiebung, sowie die inneren Spannungen zeitsynchronisiert aufzuzeichnen sind. Rechnerische Rekonstruktion des Experiments.

### THESEN

Die Arbeit beschäftigt sich besonders mit vertikalen und horizontalen Spannungszuständen und dem Ausnutzungsgrad im Sandkegel. Aus der Arbeit werden folgende Aussagen geschlussfolgert:

1. Die Festigkeit des Schüttkegels mit Rahmen ist größer als ohne Rahmen, weil der Rahmen eine höhere horizontale Stützspannung erzeugt.
2. Wenn der Sand in mehreren Phasen mit stufenweiser Belastung verdichtet wird, dann ist der Verdichtungseffekt besser.
3. Für die vertikale Spannung  $\sigma_z$  über R gilt:  $\sigma_z$  ist immer groß im Zentrum und klein im äußeren Bereich.
4. Für die horizontale Spannung  $\sigma_x$  über R gilt: Die Verteilungsformen von  $\sigma_x$  sind unter den verschiedenen Belastungen sehr unterschiedlich. Sie sind auch unterschiedlich von der Verteilungsform von  $\sigma_z$ .
5. Für den Ausnutzungsgrad gilt: Der Ausnutzungsgrad ist von der Belastung und dem Verdichtungsverfahren abhängig.
6. Die mit dem Lamellenverfahren berechneten Spannungen  $\sigma_{z,korr}$  passen gut zu den gemessenen Spannungen  $\sigma_{z,mess}$ .
7. Die photogrammetrische Aufzeichnung zeigt, dass das Fließen mehr in den oberen, als in den unteren Schichten auftritt. Die Messwerte spiegeln dieses Ergebnis aber nicht wieder. Die Genauigkeit der Messwerte der  $\sigma_x$  ist fragwürdig.

### MESSSYSTEM UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

39 FSR (force sensitive resistor) werden im Schüttkegel angelegt, sie dienen der Messung der vertikalen Spannung  $\sigma_z$  und der horizontalen Spannung  $\sigma_x$ . Eine runde Platte erzeugt die Belastung auf dem Sand. Die aktuellen Werte der Kräfte und Setzungen und die von den Sensoren gesammelten Daten werden über die Zeit im Computer protokolliert. Es wurden zwei Versuche durchgeführt: Im 1. Versuch wurde der Sandkegel in 3 Phasen mit stufigen Belastungen (0-5KN, 5-10KN, 10-15KN) gedrückt, im 2. Versuch wurde er einfach innerhalb einer Phase (0-15KN) gedrückt. Die Versuchsbedingungen in diesen 2 Versuchen waren gleich.

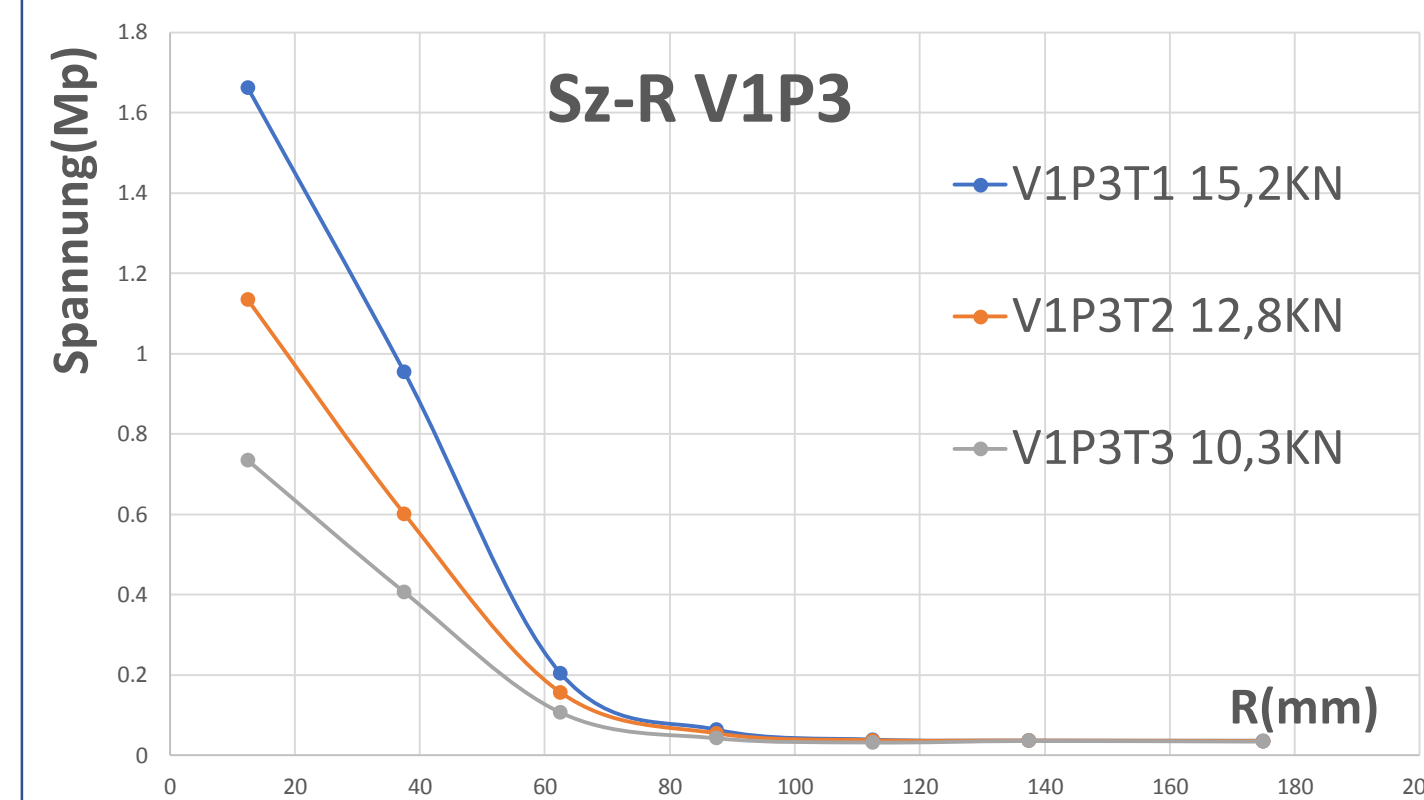
### DATENAUSWERTUNG

Die von den Sensoren gesammelten Daten sind elektrische Widerstandswerte. Aus den Widerständen werden Leitwerte und schließlich Spannungen abgeleitet. Die Beziehung zwischen Spannung und Leitwert wird mit einer logarithmischen Funktion beschrieben:  $\sigma = e^{(L-b)/a}$ . Die Parameter a und b werden so gewählt, dass mit diesen der gesamte Fehler der Messwerte und Ist-Werte der Kräfte minimiert werden kann.

Die gesammelten Daten sollen auf Genauigkeit bzw. Richtigkeit geprüft werden. Die unlogischen oder ungenauen Daten werden ignoriert.

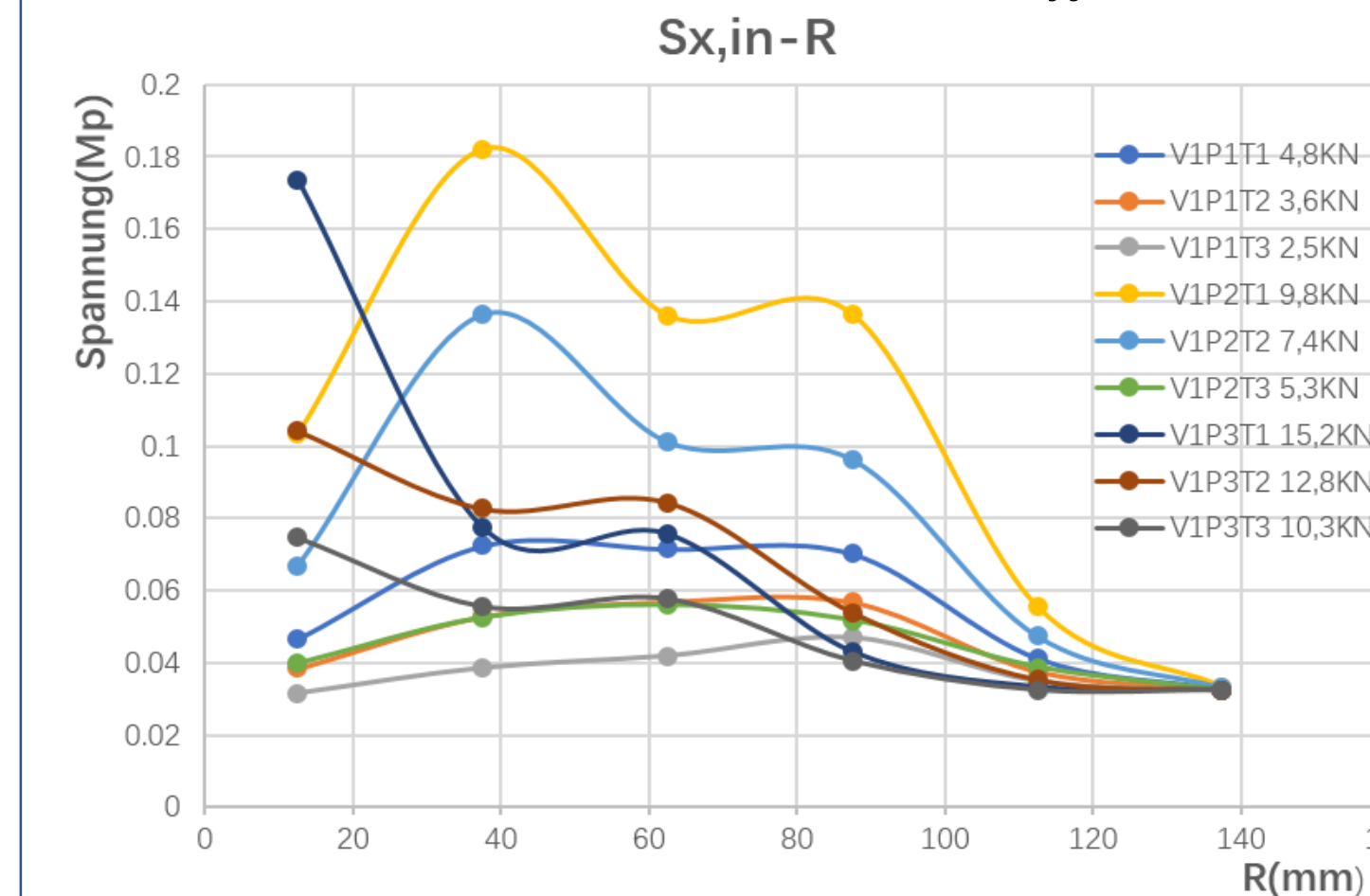
### DARSTELLUNG DER DATEN

#### 1. vertikale Spannung $\sigma_z$ über R



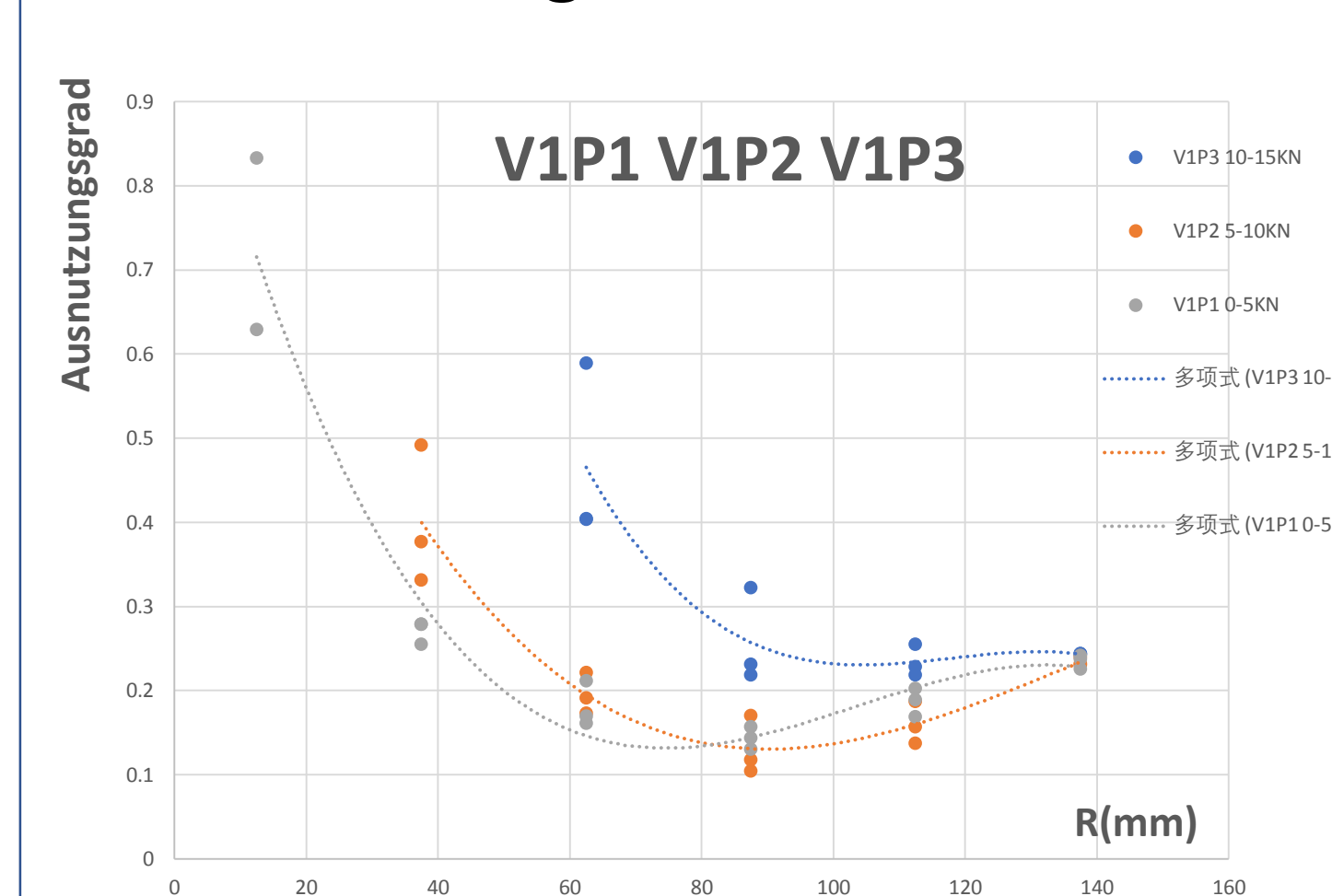
Die Trends der  $\sigma_z$  über R sind in den 2 Versuchen gleich. Die Spannungen sind im zentralen Bereich am größten, dann sinken sie sehr schnell bis zum 4. Kreisring. In den äußeren Kreisringen bleiben sie stabil.

#### 2. horizontale Spannung $\sigma_x$ über R



Die Trends der  $\sigma_x$  über R sind unter verschiedenen Belastungen unterschiedlich: 0-10KN:  $\sigma_x$  sind im 1. Kreisring klein, im 2. - 4. Kreisring sind sie größer, dann sinken sie bis zur Grenze. Diese Trends entsprechen nicht den Trends der  $\sigma_z$ .

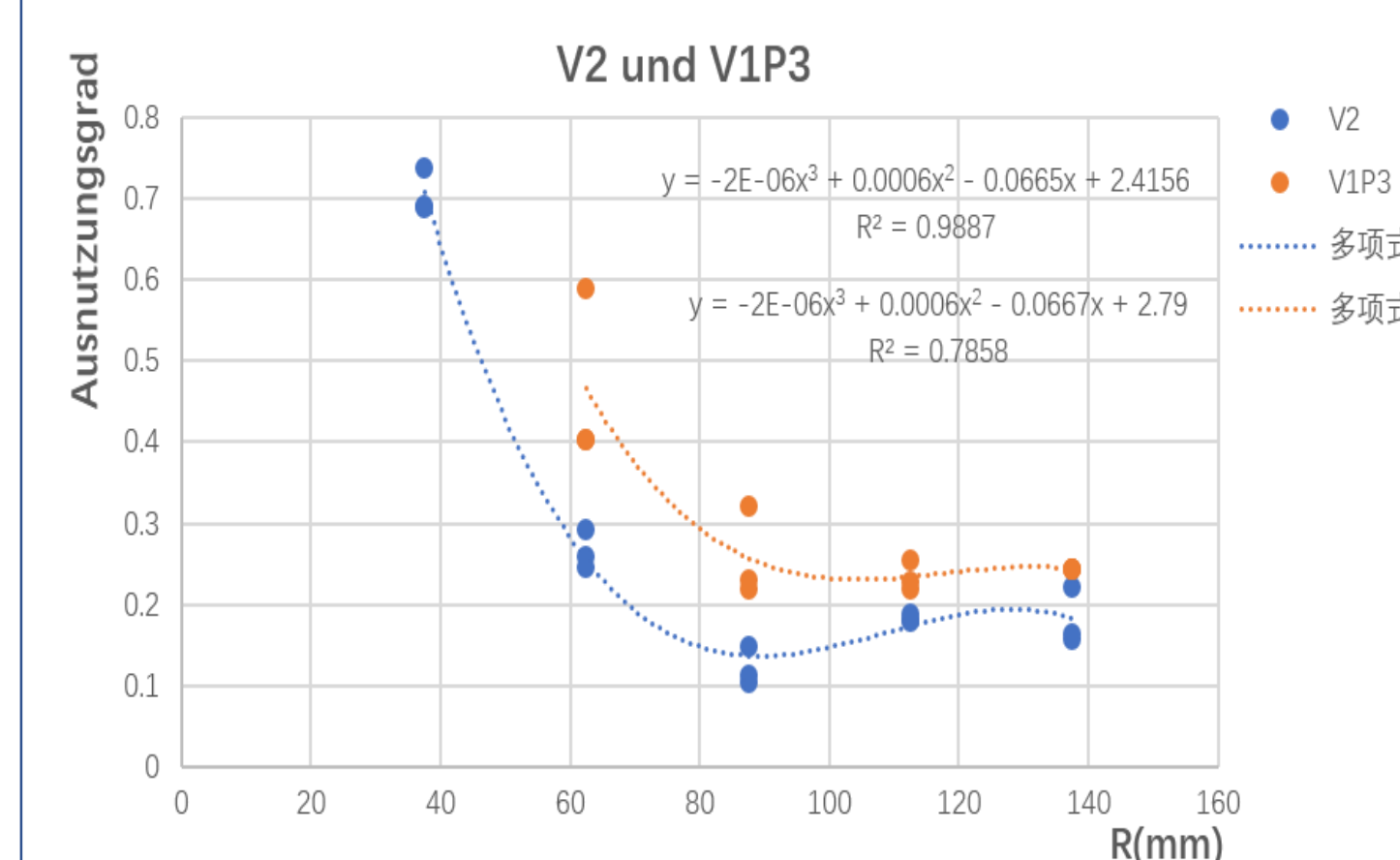
#### 3. Ausnutzungsgrad $\alpha$ über R



$$\alpha = \frac{\sigma_{z,vorh}}{\sigma_{z,zul}} = \frac{\sigma_{z,vorh}}{k \cdot \sigma_x}$$

$\alpha$  ist im inneren Bereich groß und im äußeren Bereich klein.

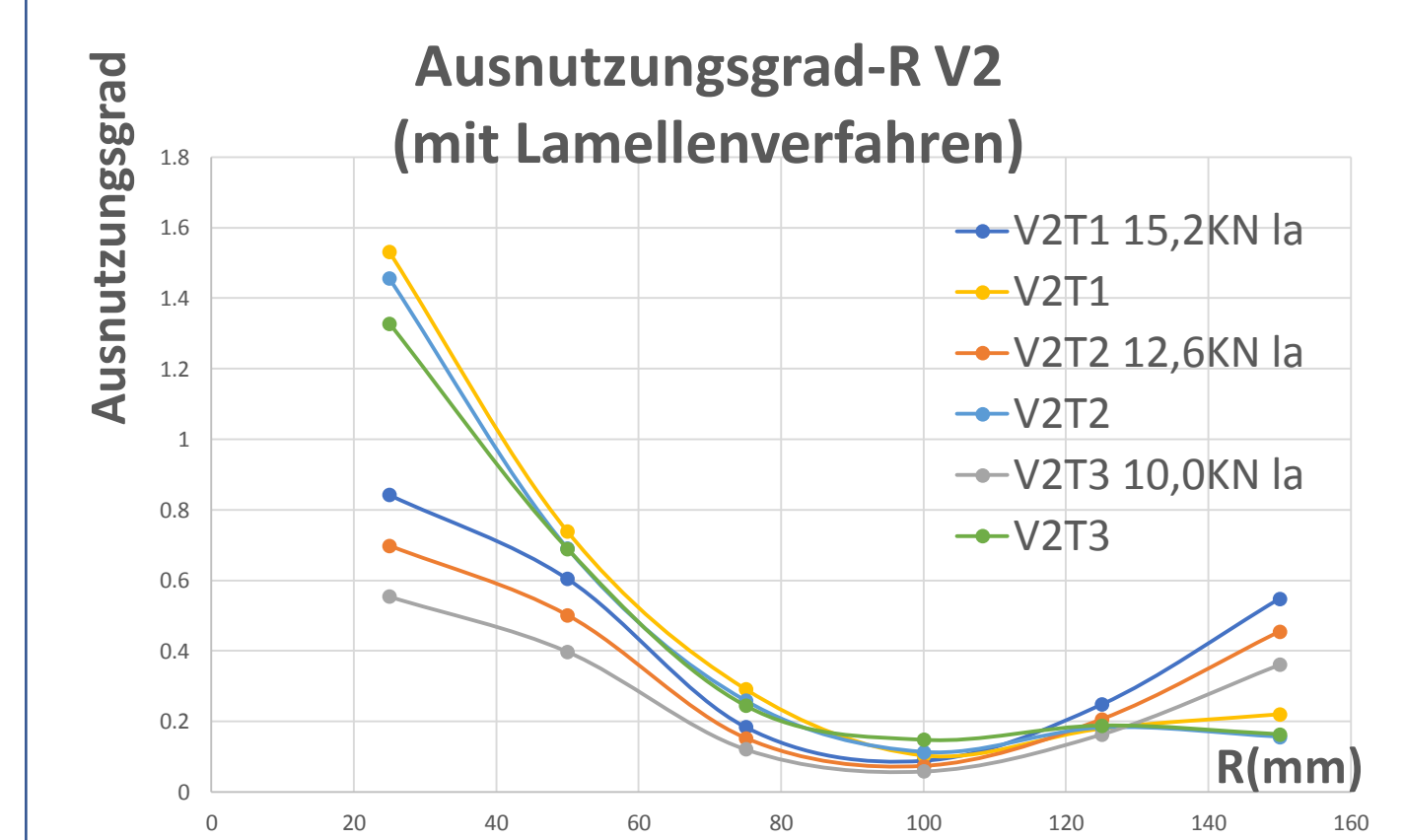
Wenn die wirkende Belastung steigt, wird der Ausnutzungsgrad im jeweils gleichen Kreisring größer, mehrere Kreisringe werden ausgenutzt.



Für Spannungen von gleicher Größe, aber verschiedener Wirkungsweise: Die Trendlinie von V1P3 liegt höher als V2: Die innere Struktur wird nicht stabiler, sondern lockerer, wenn der Sand mehrmals belastet wird. Diese Ergebnisse widersprechen der Erfahrung.

### LAMELLENVERFAHREN

Beim Lamellenverfahren wird der Sandkegel in einzelne senkrechte Lamellen eingeteilt, die Messwerte werden dabei korrigiert.



Die mit Lamellenverfahren berechneten  $\sigma_{z,la}$  stimmen gut mit  $\sigma_{z,ist}$  überein. Für den Ausnutzungsgrad  $\alpha$  gilt:  $\alpha_{la}$  sind im inneren Bereich kleiner als  $\alpha$ .

### FAZIT UND AUSBLICK

Das Fließen des Sandes wurde auch fotografisch dokumentiert: der Sand in der unteren Schicht befindet sich in einer vergleichsweise stabilen Lage, der Ausnutzungsgrad dort soll kleiner als 1 sein, die Messergebnisse und die Informationen aus der Fotodokumentation sind nicht widerspruchsfrei.

Das größte Problem besteht bei den Messwerten der  $\sigma_x$ . Sie werden mit auf vertikale Wände geklebten Sensoren gemessen. Diese Wände können die Bewegung des Sands verhindern. Der Abstand zwischen den innersten 2 bzw. 4 Wänden ist klein, sie wirken wie Löcher. Diese Wirkung hat großen Einfluss auf die horizontalen Spannungen. Für zukünftige Experimente sollten die Sensoren möglichst auf beweglichen Blättern positioniert werden. Die beweglichen Blätter haben einen kleineren Einfluss auf die Bewegung des Sands.