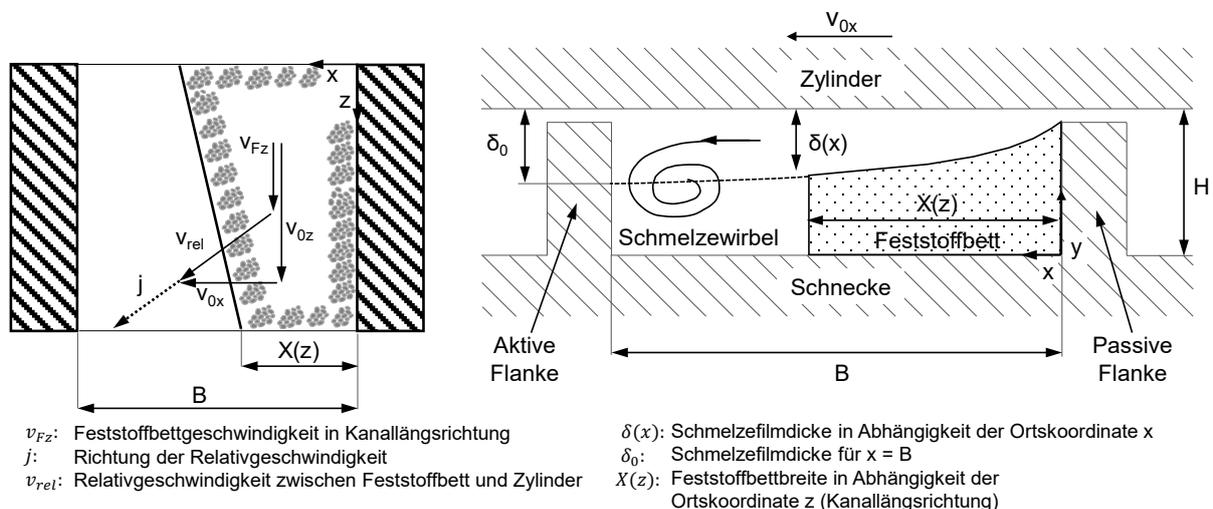




Florian Brüning, M.Sc.

## Mechanik des Feststoffbets in Einschneckenextrudern

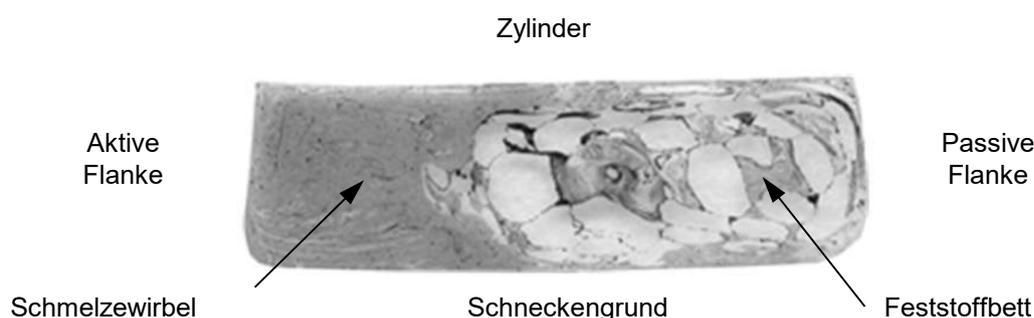
Neben dem Fördern und Homogenisieren ist die Aufgabe eines Einschnecken-Plastifizierextruders, die zu verarbeitenden Kunststoffe vom festen in den schmelzeförmigen Zustand zu überführen. Dabei wird der als Granulat, Pulver oder Mahlgut vorliegende Kunststoff unter Einwirkung von Wärmeleitung durch den Zylinder sowie durch Dissipation aufgeschmolzen, um den Schmelzeanteil entlang des Schneckenkanals kontinuierlich zu erhöhen. Ziel ist einerseits, den Kunststoff rechtzeitig vollständig aufzuschmelzen, um innerhalb der verbleibenden Verfahrenslänge ein nachfolgendes thermisches und stoffliches Homogenisieren der erzeugten Schmelze gewährleisten zu können. Andererseits sollte das vollständige Aufschmelzen bezogen auf die Schneckenlänge nicht zu früh erfolgen, da die Schmelze sonst thermisch geschädigt wird. Nur so können in den Nachfolgeeinrichtungen des Extruders qualitativ einwandfreie Produkte hergestellt werden. Um die benötigte Aufschmelzlänge rechnerisch vorhersagen zu können, sind in der Vergangenheit eine Vielzahl von Modellen entwickelt worden. Hierbei wird meist angenommen, dass sich zwischen dem kompaktierten Feststoff und beheiztem Zylinder ein Schmelzefilm bildet, der bei ausreichender radialer Dicke vom Schneckensteg abgeschabt wird und in den sogenannten Schmelzewirbel fließt. Der Ort, an dem sich erstmalig ein solcher Schmelzewirbel ausbildet, wird Ort der Schmelzewirbelbildung (OSW) genannt. Wesentlich für die Modellierung des Aufschmelzens ist die Interaktion zwischen dem Feststoffbett, dem Schmelzefilm am Zylinder und dem Schmelzewirbel sowie dem Schneckenkanal und Zylinder. Diese Modellvorstellung nach Maddock/Tadmor ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Links: Schematische Darstellung des Verlaufs der Feststoffbettbreite in Kanallängsrichtung. Rechts: Schematische Darstellung des Feststoffbets im Kanalquerschnitt.

Obwohl dieses Modell nach Maddock/Tadmor allgemein anerkannt ist und meist zu hinreichend genau berechneten Aufschmelzlängen führt, so gibt es doch zwei theoretische Schwachstellen, die bisher nicht behoben werden konnten. Zum einen ist dies die Frage, wie sich die Geschwindigkeit des Feststoffbettes in Kompressionszonen von Einschneckenextrudern verändert, wenn die Gültigkeit des Aufschmelzmodells nach Maddock/Tadmor vorausgesetzt wird. Gegenwärtig wird die Feststoffbettgeschwindigkeit in Kanallängsrichtung einmalig am OSW berechnet und dann als invariant angenommen. Zum anderen stellt sich die Frage, wann der Gültigkeitsbereich dieses Modells in Abhängigkeit der Prozessparameter endet und stattdessen ein disperses Aufschmelzmodell angenommen werden muss, weil das Feststoffbett aufgrund der von außen einwirkenden Kräfte zerbrochen ist.

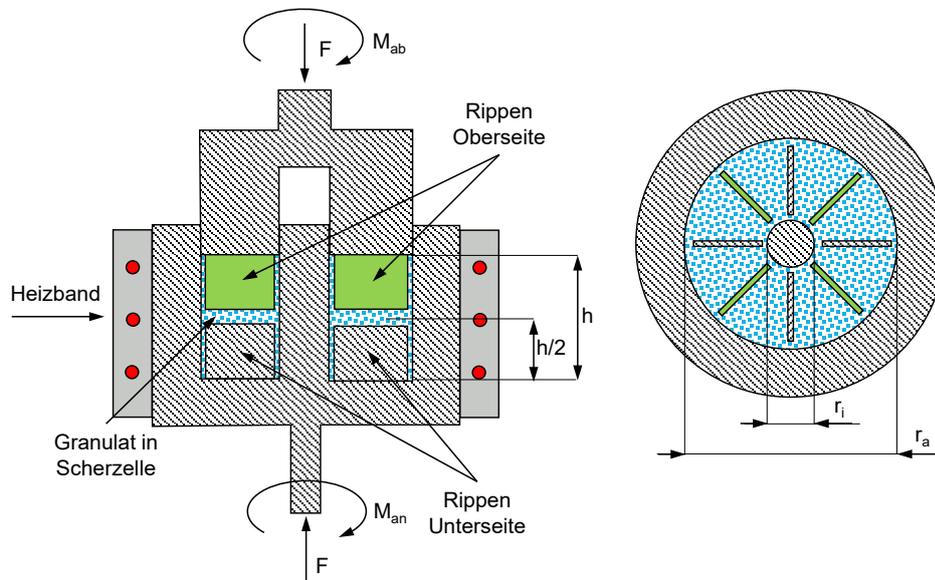
Da die Geschwindigkeit des Feststoffbetts experimentell schwierig zu ermitteln ist, wird in diesem Forschungsvorhaben ein anderer Weg gewählt: Für die Auslegung einer Plastifizierschnecke ist die genaue Kenntnis der tatsächlich vorliegenden Feststoffbettgeschwindigkeit zweitrangig, solange das simulativ vorhergesagte Aufschmelzverhalten dem des realen Prozesses entspricht. Deswegen soll im Rahmen dieses Forschungsprojekts ein bestehender Ansatz für eine variable Feststoffbettgeschwindigkeit wieder aufgegriffen werden. Es bietet sich an, die Geschwindigkeit des Feststoffbettes, ausgehend von dem Wert, der sich am OSW ergibt, so anzupassen, dass der berechnete Aufschmelzverlauf möglichst gut mit experimentellen Werten übereinstimmt. Voraussetzung für das geplante Vorgehen ist die korrekte Bestimmung der Feststoffbettbreite in Extrusionsversuchen. Hierfür gibt es am KTP zwei in der Vergangenheit erfolgreich eingesetzte Methoden, die beide verwendet werden sollen. Einerseits ist dies die Dead-Stop-Methode, bei der dem zu verarbeitendem Polymer ein Kontrastmittel (z. B. Ruß) hinzugegeben wird, sodass nachträglich angefertigte Schliffbilder, siehe folgende Abbildung, normal zur Kanallängsrichtung eine Aussage über das Verhältnis von Feststoffbettbreite zum Schmelzeanteil zulassen.



*Schliffbild aus dem Schneckenkanal*

Andererseits kann das Feststoffbett mithilfe von Druckmessungen detektiert werden, weil über dem Feststoffbett und dem Schmelzewirbel quer zum Kanal unterschiedliche Druckgradienten vorliegen und gemessen werden können. Zusätzlich schwankt das Drucksignal über dem Feststoffbett stärker, da die Druckübertragung von den noch als Feststoff vorliegenden Granulatkörnern weniger gleichmäßig ist als von der plastifizierten Schmelze.

Zur Bestimmung der Festigkeit eines Feststoffbetts wird in diesem Forschungsvorhaben ein spezieller Prüfstand konzipiert, welcher es erlaubt, Kunststoff-Granulate in unterschiedlichen Sinter-Zuständen herzustellen und in-situ zu prüfen. Dazu wird eine Ringscherzelle konstruiert und mit einer Beheizung sowie Rippen ausgestattet. Hiermit kann die Schüttgutprobe bei variierenden Verweilzeiten, Drücken und Temperaturen gesintert werden. Nach Ablauf der Zeit wird die gesinterte Probe in einem quasistatischen Torsionsversuch auf ihre Schubfestigkeit geprüft. Diese Konstruktion ist schematisch in der folgenden Abbildung dargestellt.



*Ringscherzelle zur Bestimmung von Schüttgutfestigkeiten.*

Schließlich kann die Schubfestigkeit in Abhängigkeit der Einflussgrößen Druck, Temperatur, Zeit und Granulatdurchmesser geprüft und modelliert werden.

Die experimentellen Untersuchungen werden von numerischen Simulationen begleitet, in denen die Strömung aus Feststoffbett und Schmelzewirbel mithilfe von user-defined-functions (UDF) als einkomponentige, aber zweiphasige Strömung abgebildet wird. Hiermit ist es möglich, den Aufschmelzverlauf in einem Einschneckenextruder numerisch zu simulieren.

### **Danksagung**

Dieses Forschungsvorhaben wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Forschungsprojektes SCHO 551/43-1 unterstützt und finanziert. Wir danken der DFG für ihre Unterstützung.