

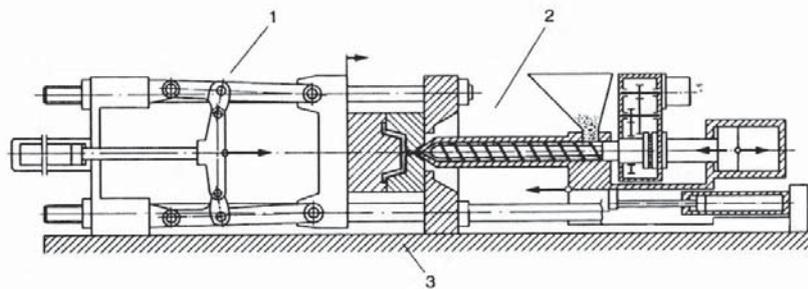
1. Einleitung

Sowohl beim Spritzgießen von Kunststoffen als auch bei der Extrusion von keramischen Massen werden Fördersysteme eingesetzt, die überwiegend aus einer Funktionseinheit von Schnecke und Zylinder bestehen. Dabei werden je nach Anwendungsfall die Schnecken- und Zylindergeometrien dem Druckaufbau, Drehmomentverlauf und Fließverhalten des zu fördernden Mediums angepasst. Neben der Reduktion der mechanischen und thermischen Beanspruchungen ist die Minimierung des Verschleißes der im Kontakt mit dem Fördermedium stehenden Materialoberflächen mit keramischen Werkstoffen Gegenstand intensiver Forschungsanstrengungen /REI85; REI87; SCH88; OBI92; LAK02; WAM02; WAM04a, b; WOE05/.

Durch ihre hohe Härte und chemische Beständigkeit erscheinen Keramiken für den Einsatz in den genannten Formgebungsprozessen besonders geeignet. Den positiven Eigenschaften stehen aber die keramiküblichen Merkmale wie eine geringe Bruchzähigkeit, ein zugspannungsabhängiges sowie statistisches und zeitabhängiges Festigkeitsverhalten durch unterkritisches Risswachstum gegenüber. Um den hieraus resultierenden Sofortbruch einer Keramikkomponente zu begegnen, wird im Rahmen dieser Arbeit als Lösungsansatz eine Kombination aus anwendungsnaher Kennwertermittlung, FEM-Auslegung (Finite-Element-Methode) und keramikgerechter Verbindungstechnik vorgestellt. Die letztgenannte umfasst geeignete kraft-, form- und stoffschlüssige Fügeverfahren, die die keramische Komponente in die meist metallische Funktionsumgebung integriert. Dabei ist an der Schnittstelle der Werkstoffpartner eine Adaption der mechanischen, chemischen und thermischen Eigenschaften unerlässlich. Das Beanspruchungskollektiv aus Eigen-, Verbund-, und Lastspannungen in der Fügeverbindung bestimmt dabei maßgeblich die Qualität und Zuverlässigkeit eines Metall-Keramik-Verbundes /MAI01/.

1.1 Baugruppen und Funktionsprinzip der Spritzgießeinheit

Das Spritzgießen ist in der Kunststoffverarbeitung das am häufigsten eingesetzte Formgebungsverfahren. Die Produktionsbandbreite umfasst Teile von 10^{-6} kg (Zahnräder) bis 10^2 kg (z.B. Mülltonnen, Erntekörbe) /MIC92/. Der prinzipielle Aufbau einer Spritzgießeinheit kann Bild 1.1 entnommen werden. Die Spritzgießeinheit setzt sich aus einer Schließeinheit und einer Spritzeinheit zusammen. Beide Komponenten werden in einem Maschinenbett gelagert.



Schematischer Aufbau einer Spritzgießmaschine
1 Schließeinheit, 2 Spritzeinheit, 3 Maschinenbett

Bild 1.1: Aufbau einer Spritzgießeinheit /SCH97/

Die für die vorliegende Untersuchung relevanten Bauteile befinden sich in der Spritzeinheit. Dies sind die Schnecke sowie der Zylinder mit Düsenkopf.

Die Aufgaben der Spritzeinheit können wie folgt zusammengefasst werden /SCH97/:

- **Einziehen:** Die Formmasse (Pulver oder Granulat) wird durch die Drehbewegung der Schnecke vom Einfülltrichter in den Zylinder gezogen.
- **Fördern:** Der Transport der Formmasse erfolgt durch Schneckenrotation zum Zylinderaustritt (Düsenkopf).
- **Plastifizieren:** Durch Wärmezufuhr und Friktion wird die Formmasse plastifiziert.
- **Dosieren:** Eine bestimmte Menge an Formmasse wird vor die Schneckenspitze gefördert. Durch den sich aufbauenden Druck wird die Schnecke zurückgedrückt. Ist das Volumen gefüllt, endet die rotatorische Schneckenbewegung.
- **Einspritzen:** Durch axiales Verschieben der Schnecke wird die plastifizierte Formmasse in die Kavität gespritzt. Die Schnecke wirkt dabei wie ein Kolben.

Einziehen, Fördern, Plastifizieren und Dosieren laufen parallel zueinander ab, während das Einspritzen einen Einzelvorgang darstellt. Nach dem Einspritzzyklus beginnt erneut der Dosierzyklus, der wiederum das Einziehen, Fördern und Plastifizieren der Masse umfasst. Das zentrale Element der Spritzeinheit ist die Schnecke. Bei der Verarbeitung von thermoplastischen Formmassen wird in der Regel eine Dreizohnschnecke eingesetzt, die in Einzugs-, Kompressions- und Meteringzone unterteilt ist. Moderne Universalschnecken besitzen eine Länge von $\sim 20-22 D_a$ /SCH97, MIC92/.

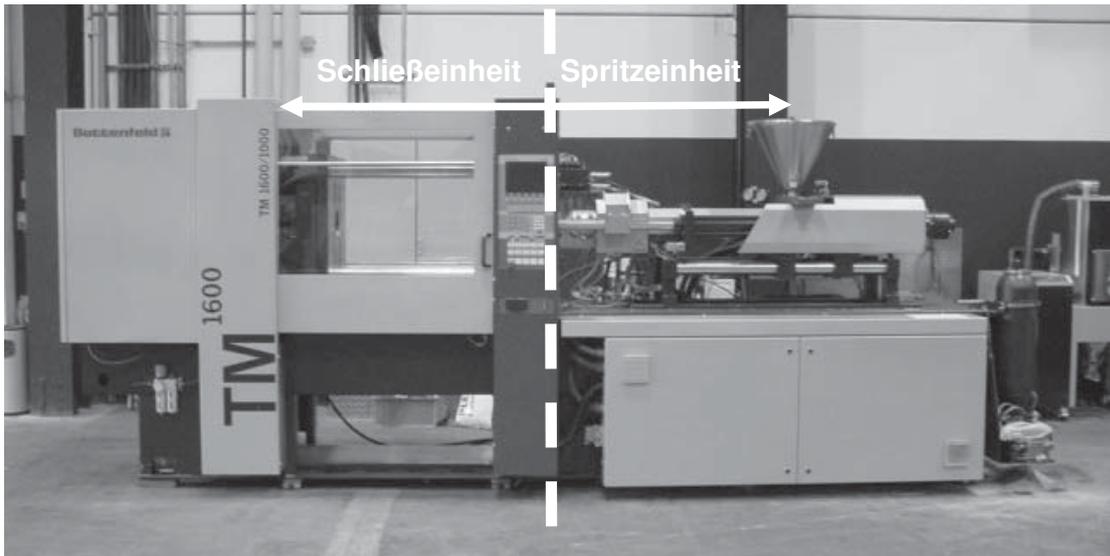


Bild 1.2: Spritzgießeinheit Fa. Battenfeld SGM „TM 1600/1000 B4“

Die Rückstromsperre stellt das „Schaltglied“ zwischen Dosier- und Einspritzmodus dar. Sie befindet sich am Ende der Schnecke. Beim Verarbeiten von Thermoplasten kommen i.d.R. so genannte Ringrückstromsperren zum Einsatz. Diese haben die Aufgabe, im Dosiermodus das Fördern der Formmasse in den Schneckenorraum (Meteringzone) zu gewährleisten. Zu Beginn des Einspritzzyklus setzt die translatorische Schneckenbewegung ein und der Ring der Rückstromsperre wird auf Grund des Einspritzdruckes gegen eine Dichtfläche gedrückt. So wird verhindert, dass der Kunststoff aus der Meteringzone zurückfließen kann. Dadurch wird die Kolbenwirkung der Schnecke während des Spritzvorgangs verbessert.

Der Zylinder hat in erster Linie die Aufgabe, die beim Spritzgießen entstehenden Drücke aufzunehmen und die Führung der innenlaufenden Schnecke zu gewährleisten. Das Spiel zwischen Schnecke und Zylinder beträgt üblicherweise $\sim 0,1$ mm. Eine weitere Aufgabe des Zylinders besteht darin, die zum Aufschmelzen benötigte Wärme in die Formmasse zu transportieren. Dazu werden widerstandsbeheizte Keramik- oder Glimmheizbänder von außen am Zylinder aufgebracht, die auch – je nach Länge der Spritzeinheit – über mehrere Temperaturzonen verteilt sein können. Der Vorteil einer möglichen Flüssigkeitstemperierung besteht darin, dass neben der Wärmezufuhr auch eine Wärmeabfuhr möglich ist. Sie kommt deshalb häufig bei Verarbeitung von temperaturempfindlichen Elastomeren und Duromeren zum Einsatz.

Der Düsenkopf sitzt am Ende des Zylinders und ist mit diesem axial verschraubt. Er besitzt einen konusartigen Übergang vom Schneckenaußendurchmesser auf den

Eintrittsdurchmesser der Einspritzdüse, welche ihrerseits mit dem Düsenkopf verschraubt ist und die Schnittstelle zum Formwerkzeug darstellt.

Der Verschleiß im tribologischen System Zylinder/Schnecke kann als komplexe Funktion der verschleißrelevanten Stoffdaten der Formmasse aufgefasst werden, die von der Änderung des Aggregatzustandes abhängen. Diese sind in Tabelle 1.1 zusammengefasst.

Tabelle 1.1: Verschleißrelevante Stoffdaten für das tribologische System Schnecke/Zylinder /VOL82/

	Stoffdaten der Spritzgieß-Formmasse
Thermische	Dichte, spezifische Wärme, Enthalpie, Wärmeleitfähigkeit, Kompressibilität, Ausdehnungskoeffizient, Porenanteil
Mechanische	Druckfließspannung, E-Modul
Rheologische	Scherviskosität, Dehnviskosität
Tribologische	Innere und äußere Reibung
Chemische	Polymerisationsgrad, Vernetzungsgrad, Struktur, Aufbau

1.2 Baugruppen und Funktionsprinzip der Extrudereinheit

Die historische Entwicklung des Extruders spiegelt den Aufschwung der Ziegelei-technik und Baukeramik in Deutschland wider. Mit der Entwicklung eng verbunden ist die Fa. Händle, die seit ihrer Gründung 1875 mit mehreren innovativen Neuentwicklungen maßgeblich den Aufschwung der Ziegeleiindustrie in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts beeinflusste /BEN95/. Als Meilensteine sind der Bau der ersten Ziegel- presse 1890 sowie der Bau der ersten Vakuumpresse 1933 zu nennen. Die Idee des Vakuumpressens kam ursprünglich aus Amerika, wurde aber von Händle weltweit zum ersten Mal in einer Produktionsmaschine umgesetzt. Die Vakuumtechnik erlaubt eine Erhöhung der Plastizität des Extrudats und wurde mit weiteren Maschinenent- wicklungen (Vakuumaggregate, Steifverpressungsaggregat) konsequent verbessert.

Der Extruder wird neben der Tonverarbeitung auch zur Formgebung von kerami- schen Formmassen wie z.B. Al_2O_3 , SiC, $BaTiO_3$ eingesetzt. Erzeugbare Formteile sind Rohre, Profile oder Filterstrukturen, die z.B. beim Dieselrußfilter oder in der Membrantechnik eingesetzt werden. Dabei werden die Formmassen durch ein Mundstück gepresst, welches die „Negativform“ des Presslings aufweist (Bild 1.3).

Der Extruder zur Extrusion keramischer Formmassen besteht im Wesentlichen aus einer Preßschnecke und einer Vorpresse, in welcher das zu extrudierende Gut homogenisiert und mit einem Vordruck beaufschlagt seitlich in die Preßschnecke geleitet wird.

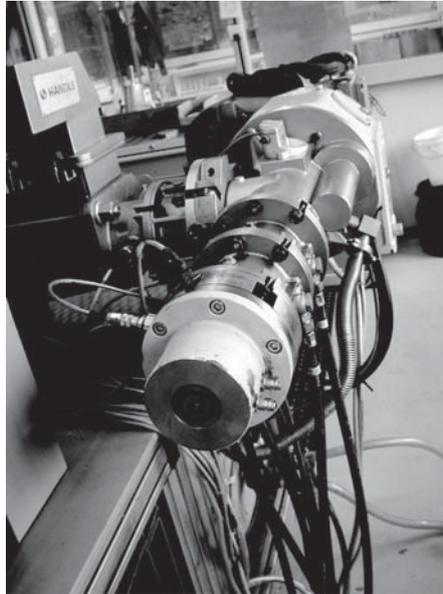


Bild 1.3: Laborextruder der Fa. Händle mit Rohrmundstück

Der im Rahmen dieser Arbeit eingesetzte Laborextruder gestattet die Messung des Drehmoments, Axialdrucks und des Radialdrucks während des Produktionsprozesses. Die Meßdaten bilden den Dateneingangssatz für die Auslegung keramischer Systemkomponenten wie z. B. der Schnecke oder des Zylinders. Si_3N_4

Das System von Schnecke/Zylinder und Mundstück kann nach Laenger /LAE90, LAE91, LAE92a, LAE92b/ funktional in Druckerzeuger (Schnecke/Zylinder) und Druckverbraucher (Mundstück) eingeteilt werden. Für einen möglichst hohen Durchsatz der Extrudereinheit ist das Kräftegleichgewicht zwischen Axialdruck, Reibungskoeffizient an der Schnecke und Schubspannungsverlauf der Masse im Zylinderwandbereich maßgeblich. Die schleichende Strömung im Schneckenkanal setzt sich aus einer Blockströmung mit ggf. plastischer Deformation des Extrudats zusammen /SCH82/. Das Auftreten plastischer Deformation der Formmasse hängt sehr stark vom Förderdruckanstieg über der Länge des Extruders ab. Druckintensive Extruder besitzen eine flach geschnittene Schnecke mit kleinem Schneckenkanalquerschnitt. Durchsatzintensive Extruder besitzen eine tief geschnittene Schnecke mit entsprechend großem Schneckenkanaldurchmesser /SCH82/. Eine plastische Deformation

der Formmasse tritt hauptsächlich bei den druckintensiven Extrudern auf. Im Gegensatz zum Spritzgießen erfährt die Extrudier-Formmasse keine Zustandsänderung während des Extrudierprozesses. Die für den Verschleiß relevanten Stoffdaten sind gleich mit den in Tabelle 1.1 genannten Stoffdaten. Die absoluten Werte für einzelne Eigenschaften, wie z.B. Dichte oder Viskosität können sich aber sehr deutlich unterscheiden, da es sich beim Extrudieren um plastische Massen handelt.

Bei dem in dieser Arbeit betrachteten Extruder handelt es sich um einen durchsatzintensiven Extruder. Es darf davon ausgegangen werden, dass im Inneren eine reine Blockströmung vorliegt. Um ein „Mitdrehen“ der Masse an der Zylinderwand zu verhindern, besitzen Extruder im Gegensatz zu den Spritzgießeinheiten einen Zylinder mit profilierter Innenkontur. Dadurch wird das Wandhaften der Masse unterstützt und ein größerer Durchsatz erzielt. Die Extrusion ist im Gegensatz zum Spritzgießen ein kontinuierlicher Prozeß.