

BayFORREST-Forschungsvorhaben F129

Verfahren zur kontinuierlichen Charakterisierung von Rezyklaten bei der Aufbereitung von Kunststoffen aus Elektronikschrott

TH. SCHUBERT, G.W. EHRENSTEIN

Lehrstuhl für Kunststofftechnik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

1 Zusammenfassung

Für die Herstellung von Rezyklaten aus technischen Kunststoffen werden Bauteile i.a. demontiert, sortiert, zerkleinert und anschließend unter Zugabe von Hilfsstoffen mit einem Extruder aufbereitet. Aufgrund der Wirtschaftlichkeit wird oft auf aufwendige Prüfverfahren, die mit der Herstellung von Prüfkörpern und der Anwendung von Normprüfverfahren verbunden sind, verzichtet. Zudem stellen die Prüfverfahren nur eine Stichprobe aus einer größeren Charge dar und die Eigenschaften des Rezyklats können nachträglich kaum noch verändert werden. Aufgrund der inhomogenen Zusammensetzung, den schwankenden Eigenschaften und dem Wunsch nach möglichst vollständiger Dokumentation der Zusammensetzung oder von Schadstoffen sollten für Kunststoffrezyklate Prüfverfahren angewendet werden, die eine kontinuierliche Beschreibung wichtiger Kenngrößen ermöglichen.

In diesem Forschungsvorhaben werden die relevanten Kennwerte der gebrauchten Kunststoffe bestimmt und ein On-Line Verfahren zur Messung von Vergleichsgrößen mechanischer oder optischer Eigenschaften bei der Compoundierung aufgebaut.

In enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Anorganische und Analytische Chemie der Universität Erlangen-Nürnberg (AOC) und dem Institut für Wasserchemie und Chemische Balneologie der Technischen Universität München (TUM) werden Kriterien ermittelt, um aus den flammgeschützten Thermoplasten Werkstoffpools mit hochwertigen Eigenschaften ohne Schadstoffe oder als kritisch angesehene halogenierte Flammschützer wie PBDE zusammenzustellen (AOC).

Am Beispiel dieser Werkstoffe wird ein Verfahren entwickelt, mit dem ein Teilstrom aus der Aufbereitung kontinuierlich mechanisch geprüft und z. B. Zähigkeitsvergleichswerte für das Rezyklat angegeben werden können. Mit Grundlagenversuchen zur Prüfung der Farbe, Zusammensetzung und Schadstoffen direkt am Aufbereitungsextruder (TUM), können In-Line-Verfahren zur kontinuierlichen Prüfung dieser Eigenschaften konzipiert werden.

2 Stand der Technik zu Beginn der Forschungsarbeiten

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz sowie steigende Rohstoff- und Entsorgungskosten zeigen die zunehmende Bedeutung des werkstofflichen Recyclings von Kunststoffen. Gerade im Bereich der Elektronik sind durch die geplante IT-Verordnung (Verordnung über die Entsorgung von Geräten der Informationstechnik) konkrete Bestrebungen zu erkennen, die Hersteller von Geräten aus der Konsumelektronik zu einer Rücknahme, der von Ihnen hergestellten Produkte zu bewegen /1/.

Für großvolumige Gehäuseanwendungen finden v. a. Styrolpolymere sowie deren Blends Anwendung. Die herausragende Eignung dieser Werkstoffklasse zur Aufbereitung konnte in einem abgeschlossenen Forschungsvorhaben /2/ des Lehrstuhls für Kunststofftechnik gezeigt werden. Die allgemeine Akzeptanz von Rezyklaten ist heute noch gering. Dies ist mit der Tatsache zu erklären, dass Rezyklate heutzutage nicht ausreichend charakterisiert und klassifiziert werden. Oftmals wird zur Qualifizierung nur das Basispolymer und die Fließfähigkeit (MFI-/MVI-Wert) angegeben. Diese Werte für sich alleine sind jedoch nicht geeignet ein Rezyklat so zu qualifizieren, dass es als Konstruktionswerkstoff für neue Anwendungen eingesetzt werden kann. Als wichtige Merkmale für einen Konstruktionswerkstoff dienen die mechanischen Kennwerte wie Streckspannung, Elastizitätsmodul, Bruchspannung, Schlagzähigkeit und andere. Off-Line-Prüfungen zur Ermittlung dieser Kennwerte sind jedoch kostspielig und aufwendig durchzuführen, da zunächst mit z. T. aufwendigen Ver- und Bearbeitungsverfahren Probekörper hergestellt werden müssen, die anschließend in genormten Versuchen geprüft werden.

Flammgeschützte Kunststoffe aus gebrauchten Bauteilen werden derzeit kaum werkstofflich verwertet. Der Grund liegt in dem Bedenken, dass bei einer Verwertung von Kunststoffen mit bestimmter Flamm- schutzausrüstung (v. a. PBDE) durch Pyrolyse, Verbrennung oder selbst bei der werkstofflichen Verwertung gesundheitsschädliche Nebenprodukte entstehen könnten /3,4/. Die derzeit auf dem Markt befindlichen halogenfreien Flammenschutzsysteme werden jedoch ebensowenig einer Verwertung zugeführt, da sie sich nicht durch einfache und schnelle Methoden von den halogenhaltigen Kunststoffen unterscheiden lassen.

2.1 Bisher eingesetzte On-Line-Messverfahren zur Charakterisierung von Werkstoffen

In der Vergangenheit wurden bereits einige Verfahren zur On-Line-Analyse von Kunststoffen, die ursprünglich für die Aufbereitung von Kunststoffneuware entwickelt wurden eingesetzt /5,6/. Die Strangqualität dient hierbei bereits zur Qualitätsprüfung des späteren Regranulats. Die Stränge bzw. Extrusionsprofile können auf Eigenschaften wie Oberflächenbeschaffenheit, Glanz, Farbe und Blasenfreiheit kontinuierlich überwacht werden /7/. Strangbrüche lassen sich hierbei meist eindeutig auf Verunreinigungen durch Fremdmaterialien oder unzureichende Schmelzehomogenisierung zurückführen /7/.

Beim Compoundieren von Mahlgütern besteht das Problem, dass die meisten Qualitätsmerkmale eines Regranulats bisher nicht direkt gemessen werden können. Durch Prozessparameter wie etwa die Schneckendrehzahl, den Durchsatz, die Massetemperatur, den Massedruck, das Drehmoment oder den sog. spez. Energieumsatz wird versucht Rückschlüsse auf Qualitätsmerkmale des Rezyklats wie Homogenität, Dispergiergrad, Molmasse, Molmasseverteilung, Restgehalt flüchtiger Bestandteile zu ziehen /6/. Dies setzt die quantitative Kenntnis der Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern und den resultierenden Qualitätsmerkmalen voraus /8/.

2.2 Nachteile der genannten Verfahren

Alle aufgeführten und bisher in der Literatur erwähnten Verfahren haben Nachteile in der praktischen Umsetzung am Aufbereitungsextruder und im Aussagegehalt der Ergebnisse. Eine so durchgeführte Überwachung der Qualität des Granulatstrangs bietet keine gesicherte Aussage, dass das hergestellte Material den Anforderungen entspricht, es können lediglich grobe, heterogene Verunreinigungen detektiert werden, die beispielsweise zu einem Strangabriss bei der Verarbeitung führen.

Teilweise wird in einem vom Hauptschmelzestrom abgezweigten Nebenstrom gemessen, was die Übertragbarkeit auf die Gesamtheit des hergestellten Materials nicht sicherstellt. Ein weiterer gravierender Nachteil ist der hohe finanzielle Aufwand durch die notwendigen Investitionen für solche Prüfverfahren. Weiterhin sind teils spezielle Anforderungen an die Materialien gestellt wie beispielsweise eine hohe Transparenz oder bestimmte (meist dunkle) Einfärbungen können nicht gemessen werden.

3 Ziele des Projektes

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Entwicklung von In-Line-Messverfahren, die bereits während des Aufbereitungsprozesses eingesetzt werden können, so dass durch die Ermittlung von Kennwerten bereits in diesem Stadium die Notwendigkeit von anschließenden Prüfungen reduziert wird, Abb. 1.

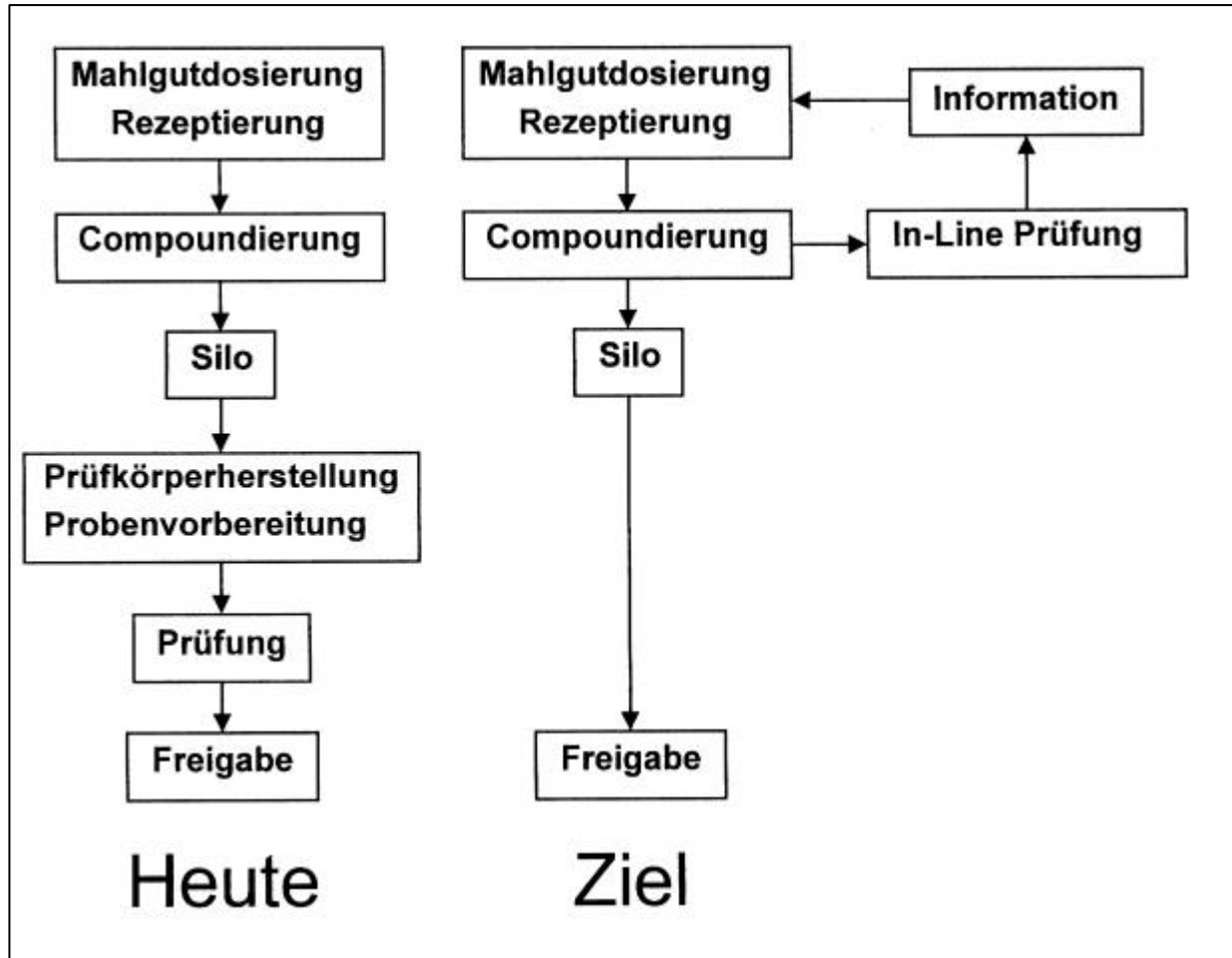


Abb. 1: *Verfahrensweise bei der Herstellung von Rezyklaten. Heute werden Rezyklate erst nach Ihrer Herstellung mittels Off-Line-Verfahren charakterisiert. Für bestimmte Prüfungen sind In-Line-Verfahren zu entwickeln, um die Produktion von minderwertigen Rezyklaten zu minimieren*

Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll nach einer Erhebung der anfallenden Mengen an flammgeschützten Kunststoffen festgestellt werden, inwieweit halogenhaltige und halogenfreie FR-Kunststoffe mit einer werkstofflichen Verwertung wieder einer neuen Anwendung zugänglich gemacht werden können.

Die Kompatibilität von halogenhaltig flammgeschützten und halogenfreien Kunststoffen sowie deren Kompatibilität untereinander, wird untersucht und bewertet, da die Kunststoffbauteile bei der Sortierung, aufgrund der bisher noch fehlenden schnellen Analysemethoden nicht nach Art des Flammeschutzmittels unterschieden werden können. Ziel ist, die PBDE-haltige Fraktion mit eindeutigen Kriterien (Anwendung, Dichte, Bruchverhalten, gegebenenfalls Identifikationsgeräten) gezielt auszuschleusen. Weiterhin sollen dem Konstrukteur Hinweise zur Konstruktion von Bauteilen mit diesen Werkstoffen gegeben werden.

4 Vorgehensweise im Forschungsprojekt

4.1 Recycling von Kunststoffen mit Flammschutzmitteln

Für die Untersuchungen werden flammgeschützte Kunststoffsorten (halogenierter und halogenfreier Flammenschutz), die in der Elektronikindustrie anteilmäßig am häufigsten eingesetzt werden, verwendet. Die Anwendungsgebiete sind z. B. TV-, Computer-, Telefon- und Schaltkastengehäuse. Neben gebrauchten, verschmutzten Teilen von unterschiedlichen Sammlern und Demonteuren werden für Vergleichsuntersuchungen auch Neumaterialien bzw. Produktionsabfälle z.T. ohne Flammschutz eingesetzt. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Anorganische und Analytische Chemie (AOC) der Universität Erlangen-Nürnberg werden Untersuchungen zur Kompatibilität von unterschiedlich flammgeschützten Kunststoffen durchgeführt. Neben möglichen unerwünschten Reaktionen zwischen den Flammschutzmitteln können auch die Verarbeitungstemperaturen für Werkstoffverunreinigungen im Gemisch zu hoch sein und dadurch das Rezyklat schädigen.

Der Lehrstuhl AOC ermittelt hierbei die Art und Menge des Flammhemmers und enthaltene Schadstoffe. Die Untersuchungen des LKT beinhalten definierte Mischungen mit bekannten Werkstoffen aus Produktionsabfällen zur Simulation des Recyclings von gebrauchten Bauteilen, die Klassifizierung nach möglichst einfachen Kriterien (Anwendung, Farbe, Dichte) und die gemeinsame Verarbeitung von Demontagebauteilen, für die meist der genaue Werkstofftyp nicht angegeben werden kann. Ziel ist, Trenn- und Sortierkriterien zu entwickeln, um Kunststoffe einer Sorte (z. B. SB oder PC/ABS) mit unterschiedlichem Flammschutz gemeinsam wiederzuverwerten. Mit den Ergebnissen ist es möglich, flammgeschützte Kunststoffe nach definierten Kriterien zu sortieren, in definierten Pools zu sammeln und diese unterschiedlichen Werkstoffgemische gezielt aufzubereiten. Die schadstoffhaltigen (PBDE, Cadmium) Bauteile werden nach obigen Kriterien aussortiert.

4.2 In-Line-Prüfung von Vergleichswerten mechanischer Eigenschaften

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass anhand einfacher Off-Line-Prüfungen des Extrusionsstrangs Zähigkeits- und Steifigkeitswerte, die dem Verlauf der Kennwerte aus den normgerechten Prüfungen der spritzgegossenen Proben (Biegeversuch, Schlagzähigkeit) entsprechen, für das Rezyklat nur sehr unsicher ermittelt werden können. Besonders die Zähigkeitskennwerte reagieren sensibel auf Werkstoffschädigungen und Verunreinigungen. Ziel ist daher, den Schmelzestrom zu teilen und zwei kompakte Profile in einer Düse herzustellen, an denen sowohl die Zähigkeit (zerstörend) als auch der Farbton geprüft werden kann. Somit können kontinuierlich für jede Zeit die kritischen Zähigkeitswerte und die Farbe angegeben und dokumentiert werden. Hierdurch können aufwendige und kostenintensive nachträgliche Off-Line Prüfungen reduziert werden. Das Messsystem ist so auszuführen, dass mit einem teilenden Werkzeug zwei Teilströme der Schmelze verzweigt und in Profildüsen abgekühlt werden, Abb. 2.

Die genaue Kalibrierung auf eine bestimmte Geometrie (v. a. des Schlagzähigkeitsstrangs) ist notwendig, damit alle im Rahmen der Zähigkeitsprüfung ermittelten Kraft- bzw. Verformungskennwerte in vergleichbare Spannungskennwerte umgerechnet werden können. Bei dem Strang, an dem die Farbmessung durchgeführt wird, ist lediglich eine bestimmte Breite einzuhalten, da der Messfleck des verwendeten Farbmessgerätes nicht beliebig klein gehalten werden kann. Die Dicke, kombiniert mit dem Grad der Einfärbung sollte so stark sein, dass man gesichert von einem opaken Material ausgehen kann.

Zur Bestimmung der Zähigkeitsvergleichswerte wird eine Vorrichtung in Anlehnung an die Zähigkeitsprüfung nach Izod (ISO 180-1982) verwendet. Durch das Abschlagen des Granulatstranges und der gleichzeitigen Messung der dazu benötigten Kraft (oder des Drehmomentes) können Aussagen zur Materialzähigkeit getroffen werden. Eine Rechneinheit wertet die Signale aus, bereitet Sie auf und gibt sie an ein zentrales Überwachungssystem weiter.

Als Anforderungen an eine Schlagzähigkeitsprüfung am Doppelschneckenextruder sind gegeben: Sicherstellung der nötigen Strangqualität, Sicherstellung und Bestimmung der Strangeometrie, möglichst kontinuierliche Prüfung, sowie eine genaue und v. a. schnelle Auswertung der Messergebnisse (mit geplanter Rückkopplung an die Dosierung). Der Extruderadapter, die Zahnradpumpe, das formgebende Werkzeug, die Kalibrierung, die Farbmessstation und die Strangabschlagvorrichtung mit Messsystem werden neu entwickelt, aufgebaut und an die Aufgabe angepasst. Mit Vergleichswerkstoffen, für die Off-Line die mechanischen Eigenschaften gemessen werden, wird der Versuchsaufbau für die Verfahrensaufgabe getestet und angepasst.

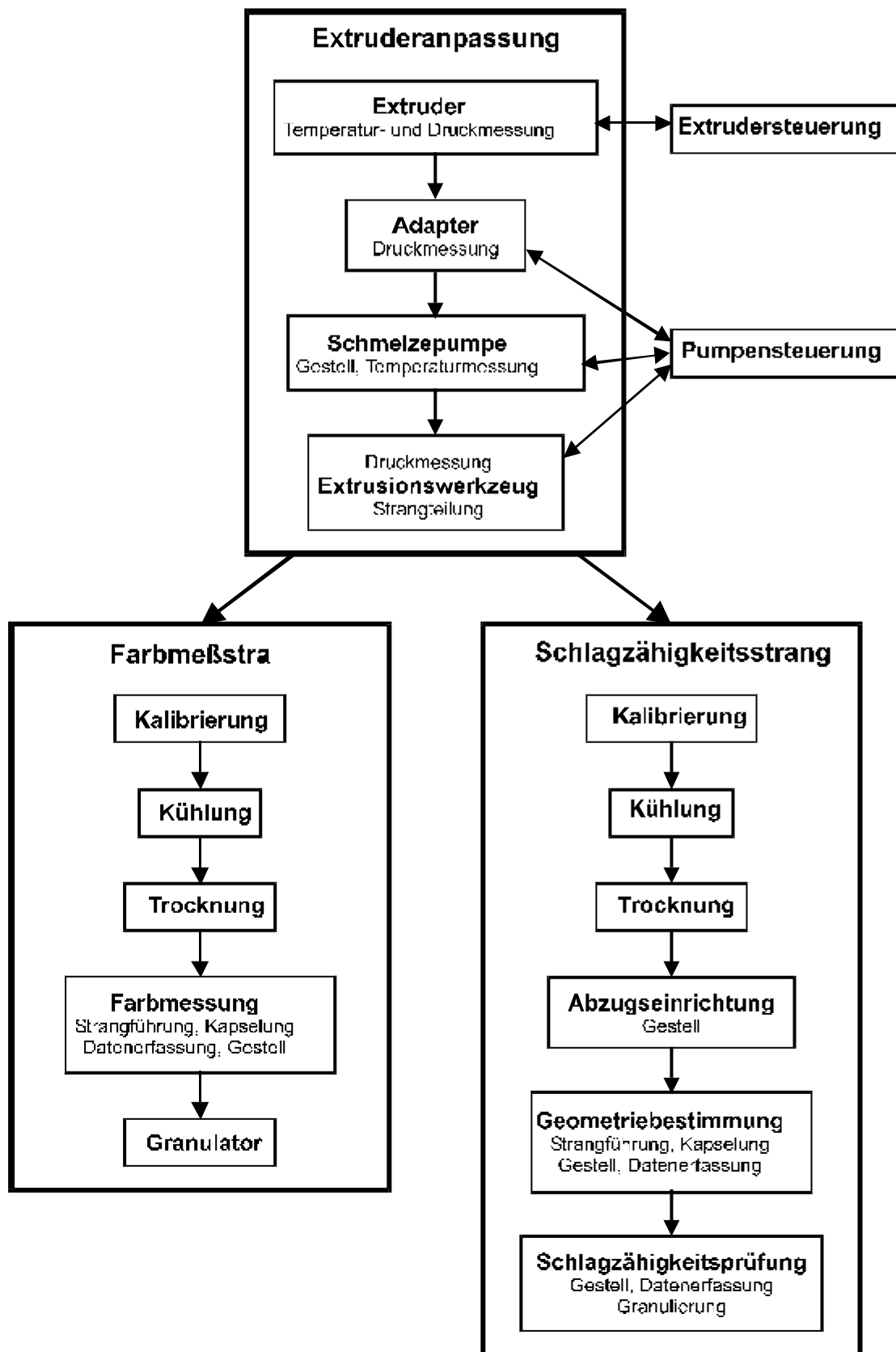


Abb. 2: Aufbau der Prüfanlage. Aus dem Schmelzestrom des Doppelschneckenextruders wird einer der im Werkzeug geteilten Stränge mittels einer Abschlagvorrichtung auf seine Zähigkeit hin überprüft. Am anderen Strang wird eine Bestimmung der Rezyklatfarbe durchgeführt.

4.3 Farbmessung/Färbung

Neben mechanischen Eigenschaften ist vor allem eine gleichmäßige und definierte Farbe ein entscheidendes Anwendungs- und auch Vermarktungskriterium für Rezyklate. Mit einer In-Line-Farbmessung können sowohl der Prozess nachgeregelt (z. B. Dosierung von Farbstoffen) als auch Fehlfärbungen ohne aufwendige Nachuntersuchungen erkannt werden. Gerade für Rezyklate, die meist aus Anwendungen mit unterschiedlicher Färbung zusammengestellt werden, können enge Farbkriterien ohne eine genaue und kontinuierliche Überprüfung nur schwer eingehalten werden.

Die Charakterisierung der Rezyklatfarbe wird mit einem umgebauten Off-Line Farbmessgerät durchgeführt. Off-line-Messungen dienen anfangs dazu, die notwendige Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Messung festzulegen und die wichtigsten Einflussparameter (Strangtemperatur, Messabstand etc.) bei der Untersuchung von Extrudaten aus Doppelschneckenextrudern zu bestimmen und zu bewerten. Aufgrund der Geometrie (z. B. dünner Strang => kleine Messfläche), wechselnder Temperatur, Oberflächenrauheit usw. sind vielfältige Einflussfaktoren zu beachten, die bei der bisher üblichen Prüfung von spritzgegossenen Probeplatten nicht zum Tragen kommen. Abschließend wird ein Konzept entwickelt, wie eine In-Line-Farbmessung an einen Doppelschneckenextruder zu adaptieren ist. Hierzu wird das Farbmessgerät direkt an die Aufbereitungsmaschine angebracht.

Einen entscheidenden Einfluss wird hier die örtliche Lage der Messung sein, da die Farbe von Kunststoffen in hohem Maße von der Temperatur abhängig ist. Die gemessenen Werte werden im L,a,b-Farbsystem aufgenommen und an eine Auswerteeinheit (Softwareinheit) weitergegeben. Diese übernimmt dann die Steuerung der Dosierwaagen, so dass die Zugabe des Farbmittels gesteuert werden kann und damit eine Regelung der Farbe erfolgen kann.

Als Anforderungen an eine kontinuierliche Farbmessstation können festgehalten werden: Konzeption als stationäre Anlage, Sicheres Einhalten des Messabstands, Kapselung zum Schutz vor Licht- und Umwelteinflüssen, Horizontale und vertikale Strangzentrierung, Trocknung des Extrusionsstranges und die Anpassung einer entsprechenden Software.

Die Adaption des Farbmessgerätes an den Aufbereitungsextruder zeigt Abb. 3. Berücksichtigt wurden hierbei die o. g. Punkte bzw. Anforderungen. Die Kapselung wird durch ein zweiteiliges Gehäuse realisiert, dies ist v.a. beim Anfahren der Anlage wegen der guten Zugänglichkeit von Vorteil. Die notwendige Strangzentrierung wird mittels Rollenpaaren realisiert. Die Trocknung des Extrusionsstrangs erfolgt durch ein vorgeschaltetes Kaltluftgebläse, das am Unterteil der Kapselung befestigt ist.

4.4 Darstellung ausgewählter Ergebnisse

4.4.1 Farbmessung

Die Online-Farbmessung ist eine Methode, bei der es möglich ist direkt eine Gebrauchseigenschaft eines Materials zu messen. Die Materialfarbe ist ein wichtiges Kriterium, das nicht nur den Werkstoff allein, sondern auch das daraus hergestellte Produkt qualifiziert.

Im Allgemeinen wird die Rezyklatfarbe im Off-Line-Verfahren nach der Produktion einer kompletten Charge gemessen. Hierzu wird aus der entsprechenden Charge eine Stichprobe entnommen. Aus diesem Granulat werden plättchenförmige Probekörper durch Spritzgießen hergestellt. Mittels eines fest installierten Messsystems wird dann die Farbe der hergestellten Platten bestimmt. Wird hierbei festgestellt, dass die festgestellte Farbe nicht mit den Spezifikationen übereinstimmt, ist die Charge zu verwerfen. Anderenfalls kann sie weiterverarbeitet werden.

In Vorversuchen wurde ein breites Flachband extrudiert, auf dem an verschiedenen Stellen gemessen werden konnte. Der Versuchsaufbau ließ die Messung der Strangtemperatur direkt vor der Farbmessung zu. Weiterhin konnte der Messabstand zum Profil gezielt geändert werden.

Das verwendete On-Line-Messgerät [®]Spectro-Pen, der Fa. Dr. Lange GmbH, Düsseldorf) ist ein mobiles Farbmessgerät und erlaubt es durch sein kompakte Bauweise in vielfältiger Weise eingesetzt zu werden. Für die vorliegende Messaufgabe musste das Standardgerät modifiziert werden. Das Gerät ist vom Hersteller nicht darauf ausgelegt, den Messzyklus in regelmäßigen Abständen auszulösen. Hierzu wurde eine entsprechende Software programmiert, die es erlaubt, regelmäßig in kurzen Abständen eine Messung auszulösen, die Messreihe ausreichend zu dokumentieren und die gemessenen Daten aufzubereiten. Weiterhin ist eine graphische Darstellung der Messdaten möglich.

Der Aufbau des Messsystems muss verschiedenen Kriterien genügen. An die Messstelle darf kein Fremdlicht gelangen. Dieses würde die auf Reflektion des ausgestrahlten Lichts basierende Messung empfindlich stören. Ein Kaltluftgebläse reinigt den Strang von anhaftendem Wasser aus der Wasserbadkalibrierung und anhaftenden Verunreinigungen aus der Produktionsumgebung.

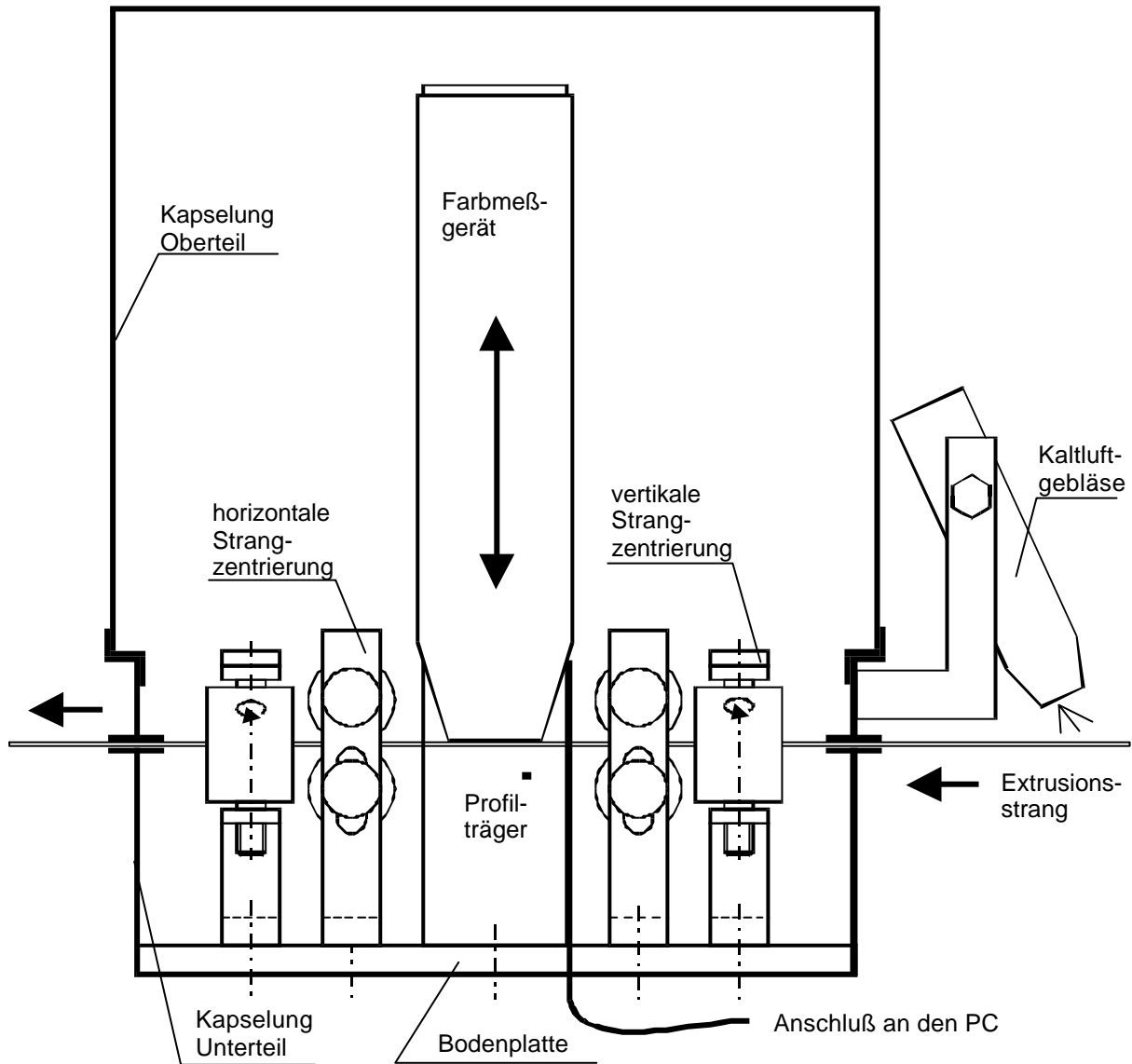


Abb. 3: Konzeption der Farbmessstation mit dem Farbmessgerät, den Strangzentrierungen, der Kapselung und der Strangtrocknung

4.4.2 Einfluss der Strangtemperatur

Durch Schwankungen in der Masstemperatur beim Extrudieren kann es auch folgend zu Schwankungen in der Strangtemperatur kommen. Den Einfluss einer erhöhten Strangtemperatur zeigt Abb. 4. Man erkennt deutlich, dass eine Temperaturerhöhung (hier 40°C) auch gleichzeitig den Effekt nach sich zieht, dass die gemessene Farbe sich deutlich verändert. Hieraus folgt, dass einerseits eine konstante Strangtemperatur eine wichtige Voraussetzung ist und andererseits möglichst bei Raumtemperatur gemessen werden muss, damit man einen realen Vergleichswert zum Endprodukt ziehen kann.

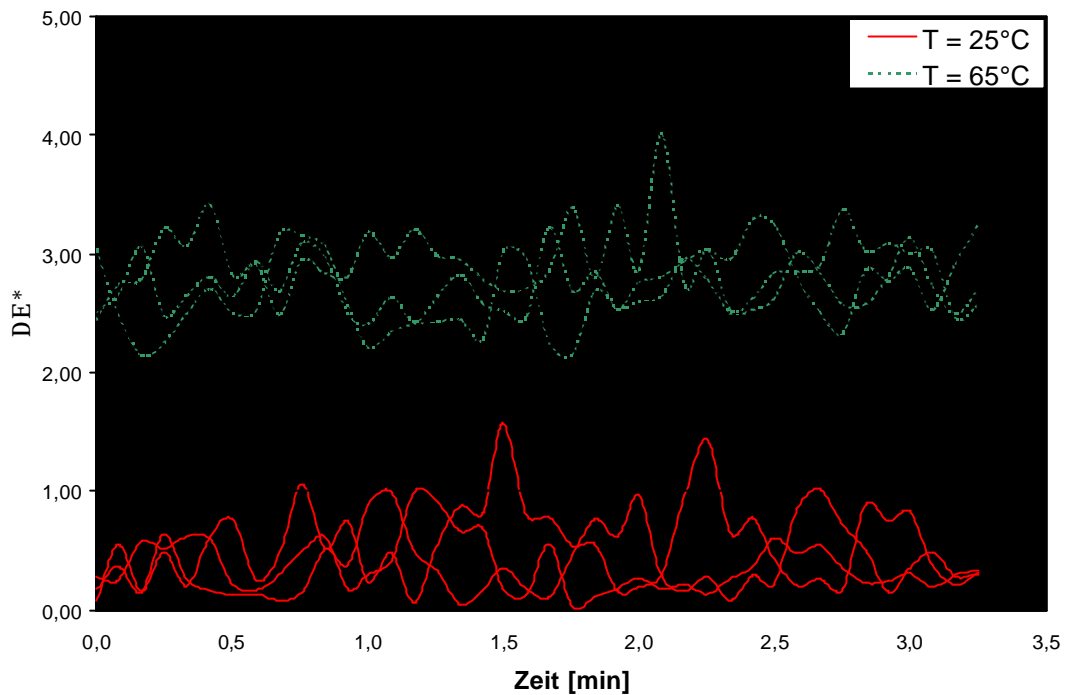


Abb. 4: Veränderung der Farbdifferenz DE^* über der Zeit bei zwei verschiedenen Mess-temperaturen. Material ABS, Farbe rot. Die Distanz d zwischen Messgerät und Extrusionsstrang beträgt 0 mm (Gerät aufliegend), die Extrusionsgeschwindigkeit beträgt 140 mm. Gemessen wurde jeweils dreimal.

4.4.4 Einfluss der Stranggeschwindigkeit

Auch bei einer Variation der Stranggeschwindigkeit lässt sich ein Einfluss auf die ermittelten Farbwerte erkennen. Auch hier ist eine Farbabweichung mit erhöhter Stranggeschwindigkeit zu erkennen, auch wenn sie weniger ausgeprägt ist, wie bei dem Einfluss der Strangtemperatur. Erklärbar ist dieser Effekt durch das Messverfahren, welches auf Reflexion beruht.

Ist die Geschwindigkeit des zu messendem Objektes zu hoch, kann der Empfänger nicht mehr das komplette Reflexionsbild aufnehmen, dass durch den Lichtblitz angeregt wurde. Folglich wird nicht die komplexe Reflexion zur Auswertung herangezogen, sondern vielmehr ein „verwischtes“ Signal, welches zu unten gezeigter Farbabweichung führt, Abb. 5.

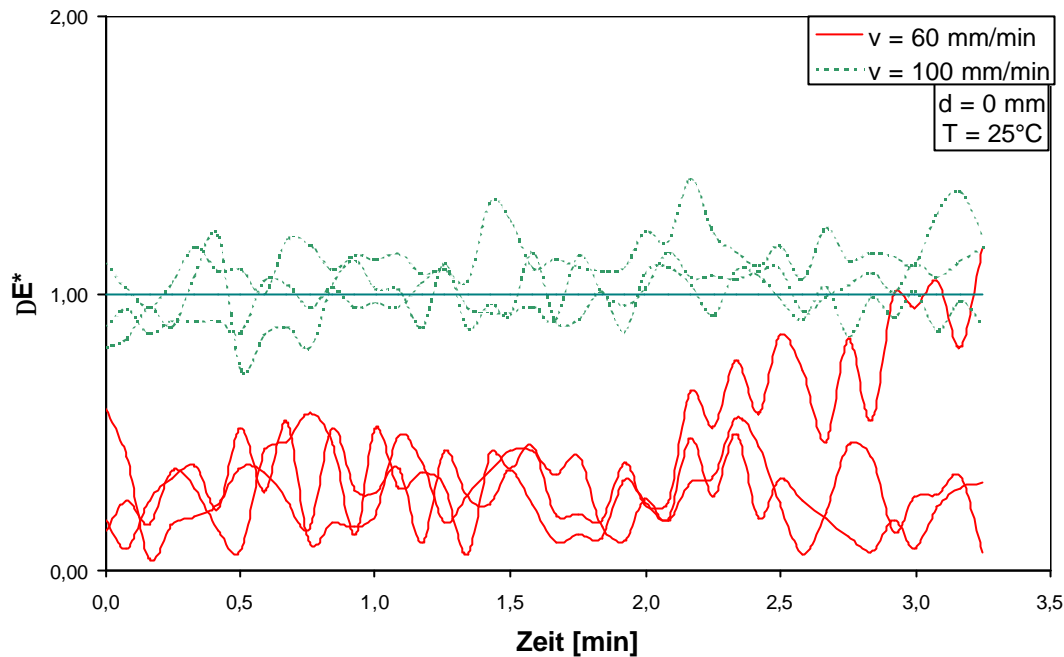


Abb. 5: Veränderung der Farbdifferenz DE^* über der Zeit bei zwei verschiedenen Stranggeschwindigkeiten. Material ABS, Farbe rot. Die Distanz d zwischen Messgerät und Extrusionsstrang beträgt 0 mm (Gerät aufliegend), die Temperatur des Stranges beträgt 25°C . Gemessen wurde jeweils dreimal.

4.4.5 Werkzeugkonstruktion und Auslegung

Um einen gleichmäßigen Ausstoß zu erzielen, muss zwischen dem Extruder und dem formgebenden Werkzeug eine Schmelzpumpe geschaltet werden. Diese hat zwei Aufgaben zu erfüllen. Erstens soll sie gewährleisten, dass ein gleichmäßiger Ausstoß gewährleistet wird. Gerade bei Doppelschneckenextrudern und speziell bei der Aufbereitung von Rezyklaten kann es durch einen nicht ganz konstanten Input zu Schwankungen im Ausstoß kommen. Um dies zu kompensieren, wird die Schmelzpumpe eingesetzt.

Ein weiterer positiver Effekt beim Einsatz einer solchen Pumpe ist die zusätzliche Homogenisierung des Materials, die aber hier nicht im Vordergrund steht. Die spezielle Werkzeugkonstruktion mit zwei parallelen Schmelzkanälen stellt hohe Anforderungen an die Prozessführung.

Das Werkzeug wird so ausgelegt, dass sich zwei gleichschnell laufende Schmelzkanäle ergeben, Abb. 6. Der eine Strang hat ein flaches Profil (ca. 10×1 mm), an ihm wird die Farbe bestimmt, der zweite Strang hat einen quadratischen Querschnitt (ca. 4×4 mm), er dient zur Überprüfung der Zähigkeit.

Wichtig ist hier die gleichmäßige Temperierung und die Einstellbarkeit des Schmelzflusses, damit sich keine Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Strängen ergeben.

4.4.6 Auslegung der Gesamtanlage

Die gesamte Prüfanlage wird ausgelegt wie in Abb. 7 gezeigt. Die beiden Prüfungen werden an getrennten Strängen durchgeführt und getrennt ausgewertet. Ein Computer wertet die ermittelten Daten aus und in einer ersten Ausbaustufe wird dann ein Signal generiert, das anzeigt, ob die ermittelten Werte innerhalb oder außerhalb eines vorgegebenen Toleranzintervalls liegen oder nicht. Mittels dieses Signals kann dann eine Weiche am Ende der Extrusionslinie angesteuert werden, Abb. 7.

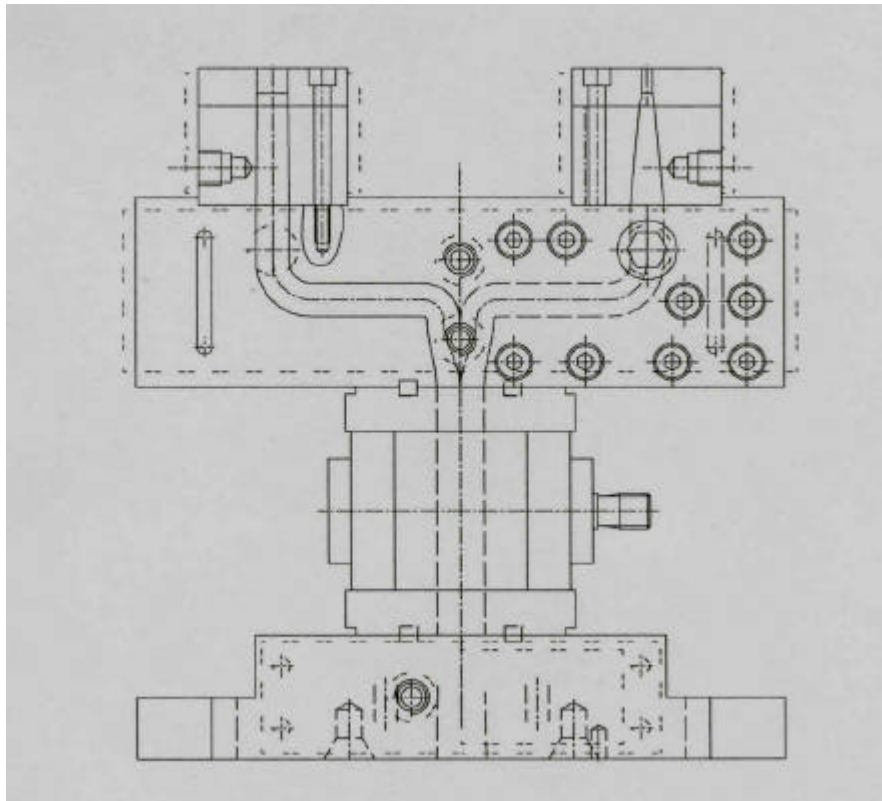


Abb. 6: Konstruktionszeichnung eines Verteilerwerkzeugs zur Erzeugung zweier gleichmässig laufender Extrusionsstränge mit integrierter Schmelzepumpe und Adapter für den Extruderanschluss

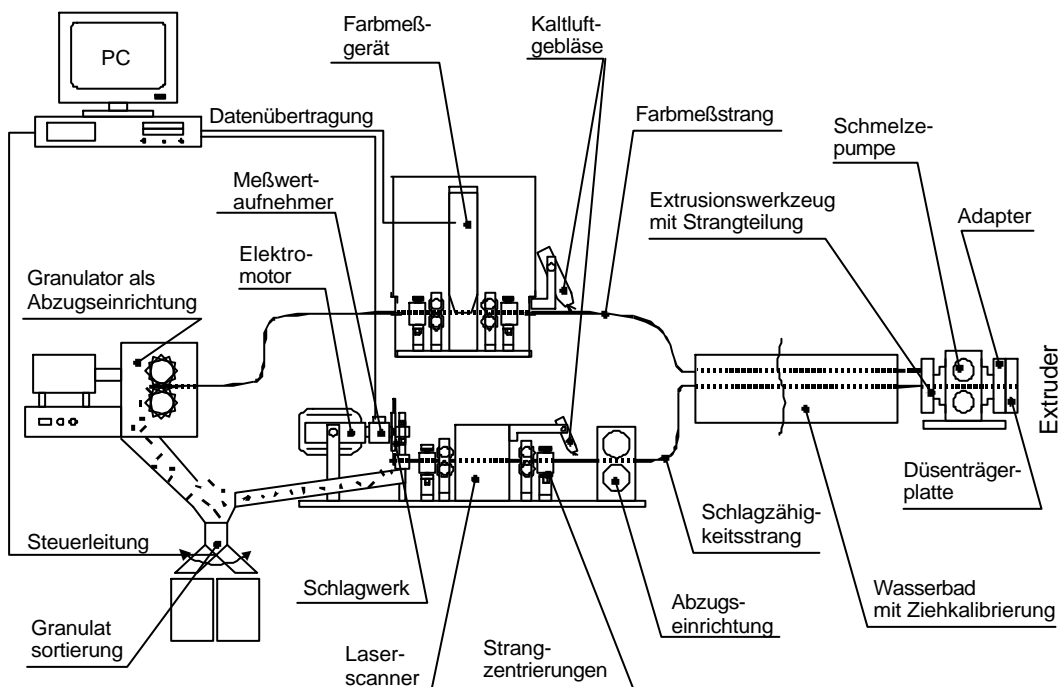


Abb. 7: Gesamtkonzeption der Prüfanlage zur On-Line-Prüfung von Kennwerten am Doppelschneckenextruder; von rechts: Extruderanschluss, Adaptionenplatten, Schmelzepumpe, Wasser-/Vakuumkalibrierung und die darauffolgenden Prüfeinrichtungen sowie die Abschließende Granulierung

Erste Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden bereits vorgestellt und fanden in der Industrie guten Anklang. Nach Aussagen von Industriepartnern wird eine schnelle Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse erwartet.

5 Ausblick auf die weitere Vorgehensweise

Ein wichtiger Schritt ist auch die Auslegung der richtigen Auswerteeinheit. Hier ist besonders auf die große Anzahl an detektierten Messwerten und deren Weiterverarbeitung in Echtzeit zu achten.

Die Anlage wird abschließend mit verschiedenen Materialien auf Ihre Leistungsfähigkeit hin getestet. Hierbei werden sowohl Neuware als auch Kunststoffe aus Altgeräten eingesetzt. Weiterhin wird ein Testlauf mit dem Prototypen der Laserplasmaspektroskopie der TU München durchgeführt. Mit all diesen Prüfungsergebnissen wird es möglich sein ein Rezyklat mit gesicherten Qualitätsmerkmalen herzustellen, das dann wieder gesichert in einem neuen Bauteil eingesetzt werden kann.

6 Literatur

- [1] Entwurf der IT-Geräte-Verordnung, Verordnung über die Entsorgung von Geräten der Informationstechnik, Stand 20.2.96.
- [2] Schubert, Th.; Schiebisch, J.; Ehrenstein, G.W. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben BayFORREST F67: Recycling von Kunststoffen in der Elektrotechnik, LKT Erlangen 1996.
- [3] ZVEI-Leitfaden: Vermeidung flammhemmender Zusätze in Kunststoffen, Frankfurt am Main. Dezember 1992.
- [4] Gareiß, B. Trends in der Polymerforschung, Presseinformation der BASF AG. Ludwigshafen, Oktober 1994.
- [5] Biegel, H. Kunststoffextrusion – Qualitätssicherung Strangbiegeprüfung am Extruder, Grundig Öko-Technologie Zentrum, Fürth 1993.
- [6] Fritz, H.-G.; Hertlein, T. Qualitätssensoren für die Kunststoffaufbereitungstechnik; Automatisierung in der Kunststoffverarbeitung; VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1987.
- [7] Mathes, G. Regranulieren von Kunststoffen und Kunststoffabfällen; Kunststoffe 79, 5/1989.
- [8] Ehrenstein, G.W.; Kuhmann, K. Recycling von Thermoplasten – Literaturrecherche; LKT Erlangen 1993.