



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 288 260 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) H 01 B 15/00
B 02 C 15/00

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD H 01 B / 333 265 5 (22) 03.10.89 (44) 21.03.91

(71) siehe (73)

(72) Christoph, Peter, DE; Rauer, Lothar, Dr.-Ing. Dipl.-Ing., DE; Folgner, Thomas, Dr.-Ing. Dipl.-Ing., DE; Höffl, Karl, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing., DE; Weiß, Peter, Dipl.-Ing., DE; Butusow, Viktor, Dipl.-Ing., SU; Weißbach, Eckhard, Dipl.-Ing., DE; Winnig, Karl-Heinz, DE; Schink, Dietrich, Dr.-Ing. Dipl.-Ing., DE; Auerbach, Jochen, Dr. oec. Dipl.-Ing. oec., DE

(73) VEB Kombinat Metallaufbereitung Halle, Herzbergstraße 35-39, O - 1130 Berlin, DE

(74) siehe (73)

(54) Verfahren zur selektiven Zerlegung von Verbundwerkstoffen

(55) Verfahren; Aufbereitung; Elektroschrott; Elektronikschrott; Verbundwerkstoffe; Wertstoffrückgewinnung; Zerlegung; Einsatzbedingungen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren für die selektive Zerlegung von Verbundwerkstoffen der Elektrotechnik/Elektronik. Sie ist vorzugsweise anwendbar für die Freilegung integrierter metallischer Komponenten, wie für Leiterplatten unterschiedlichen Bestückungsgrades, für Kabel u. a. m. Ziele der Erfindung sind vereinfachte Anlagenstambäume, verminderte spezifische Energieaufwendungen für die Wertstoffrückgewinnung aus Elektroschrott oder Elektronikschrott sowie das Schaffen optimaler Bedingungen für die Weiterbehandlung und die gegebenenfalls erforderliche Deponie anfallender Rückstände. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß vorzerkleinertes Aufgabematerial einem Walzenspalt aufgegeben, in diesen eingezogen und durch kombiniert wirkende Druck- und Scherkräfte beansprucht wird, wobei als Richtwerte für die Beanspruchungsgeschwindigkeit im Walzenspalt eine Größe von maximal 1 m/s und für die Beanspruchungshöhe etwa gleich große Beträge von Druck-, Scher- und Zugspannung einzuhalten sind.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur selektiven Zerlegung von Verbundwerkstoffen, vorzugsweise zur Zerlegung von Verbundwerkstoffen der Elektrotechnik und der Elektronik, wie Leiterplatten unterschiedlichen Bestückungsgrades und Kabel, **gekennzeichnet dadurch**, daß grob vorzerkleinertes Aufgabematerial den zwischen rotierenden Walzen oder zwischen einem umlaufenden Drehteller und darauf abrollenden Rotationskörpern gebildeten Arbeitsspalten aufgegeben und beim ein- oder mehrmaligen Einziehen in den Arbeitsspalt infolge gleichzeitig wirkender Druck-, Zug- und Scherkräfte derart mechanisch beansprucht wird, daß bei Beanspruchungsgeschwindigkeiten von maximal 1,0m/s im Arbeitsspalt aufgabegutabhängige Beanspruchungen in einer Höhe von etwa

$$/\tau_{\text{Zug}}/ = / \tau_{\text{Druck}}/ = / \tau_{\text{gesamt}}/$$

gewährleistet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Drehteller als Mahlschüssel genutzt wird und die Oberflächen der Walzen, Mahlschüsseln und/oder Rotationskörper in glatter oder in profilierter Form angewendet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß zwischen den Umfangsgeschwindigkeiten der Walzen oder zwischen der Umfangsgeschwindigkeit der Rotationskörper und der entsprechenden Drehgeschwindigkeit der Abrollspur auf dem Drehteller eine Differenz von wenigstens 0,5% der maximal auftretenden Geschwindigkeit vorgesehen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß die mechanische Beanspruchung des Aufgabematerials im jeweiligen Arbeitsspalt mit einem pneumatischen und/oder auf Schwerkraftbasis arbeitenden Austragssystem als Transport- und Aufgabetechnik für eine nachgeschaltete und die spezifischen Eigenschaften des Aufgabematerials berücksichtigende Sortiereinrichtung kombiniert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß dem Aufgabematerial körniges mineralisches Material, vorzugsweise Kalkstein, Glasbruch und/oder Quarzsand, bis zu einem Anteil von maximal 5Ma.-% des Gesamtdurchsatzes zugemischt werden.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur selektiven Zerlegung von Verbundwerkstoffen der Elektrotechnik/Elektronik, insbesondere zur Zerlegung von Leiterplatten mit unterschiedlichem Bestückungsgrad und Kabeln. Sie kommt zum Einsatz bei der Aufarbeitung von Produktionsabfällen und Recycling-Material unter der Zielstellung der kostengünstigen Rückgewinnung der metallischen Inhaltsstoffe.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Es sind mehrere Verfahren für die Gewinnung wiederverwendungsfähiger Produkte aus Abprodukten oder Altmaterial der Elektro-Industrie bekannt.

Sie beruhen

- auf der Anwendung mechanischer Belastungen, beispielsweise in Form des Zerschneidens, Abreibens oder Schälens der Isolierstoffsichten von Kabeln zur Freilegung der zu gewinnenden metallischen Komponenten und ihrer anschließenden Abtrennung,
- auf der thermischen Zerlegung in Form des Kälteversprödens vor der gezielten mechanischen Beanspruchung, in Form des pyrolytischen Zersetzens der brennbaren Anteile von Verbundwerkstoffen oder in Form von Veraschungsprozessen, bei denen die metallischen Bestandteile aus den Veraschrückständen gewonnen werden sowie
- auf der chemischen Auflösung einzelner Komponenten von Verbundwerkstoffen.

So ist aus den DE-OS 2328448 und 2449303 die Auflösung der Isoliermaterialien von Kabelabfällen mit Hilfe von methylhaltigen Lösungsmitteln bekannt. Pyrolytische Verfahren wurden bereits zur Entfernung organischer Beschichtungen von Aluminiumschrott auf einem bewegten Rost gemäß der DE-OS 3141423, zum Abbrennen von Verunreinigungen auf Metalloberflächen bei Wiederverwendung der Verbrennungsgase gemäß DE-OS 3612892 und als Vorbehandlungsmaßnahme bei der Aufbereitung von Abfall-Stoffgemischen zur Aufspaltung in mineralstoffärmere und -reichere Fraktionen gemäß DE-OS 3330577 vorgeschlagen.

Pyrometallurgische Verfahren und Vorrichtungen im engeren Sinne wurden bereits vorgeschlagen:

in der DE-OS 3612553 zur thermischen Vorbehandlung metallhaltiger Abprodukte bei Temperaturen bis 1000°C mit nachfolgender selektiver hydrometallurgischer Abtrennung einzelner Metallkomponenten, in der DD 264716 zur Stufenverarbeitung von Batterien, Leiterplatten und elektronischen Bauelementen durch pyrolytische Zersetzung bei 450 bis 650°C und nachfolgender Elektrolyse der Pyrolseschlacke, in der DE-AS 2539105 für die gemeinsame Verbrennung von

metallhaltigen Abfallstoffen und das damit gekoppelte Ausschmelzen der metallischen Anteile, in der DE-OS 2410320 für das Abschmelzen brennbarer Schichten auf Metallen und in der DE-OS 2108008 für das Verbrennen von Kunststoff-/Metall-Gemischen mit Überführung des Metalls in ein weiterverwendbares Flugstaubkonzentrat.

Für spezielle Anwendungsfälle wird mit der DD 200528/1 für kupferbeschichtete Leiterplatten ihr Einsatz als minderwertiger Kupferschrott für das Umschmelzen im Drehflammpfen vorgesehen. Die DD 258 141 sieht vor, vorzerkleinertes kupferhaltiges Leiterplattenmaterial bei Gastemperaturen von 700 bis 800°C im Gemisch mit Zuschlagstoffen dem Abgassystem eines Schachtofens aufzugeben, eine Nachverbrennung der Abgase in einem Wärmetauscher durchzuführen und die naßentstaubten festen kupferhaltigen Rückstände metallurgisch aufzuarbeiten.

Bekannt ist außerdem mit der DE-AS 2243 194 die Rückgewinnung von Metallen durch Verhüttung aufbereiteter Rückstände, wobei vorzerkleinertes Metall und Reduktionsmittel bzw. Brennstoff in pelletierter Form dem metallurgischen Ofen bei Arbeitstemperaturen von wenigstens 800°C zugeführt werden.

Der aus verschiedenen Anwendungsfällen der an sich bekannten Kälteversprödung, beispielsweise für Kabel und andere Materialien entsprechend US 4251 034 vor einer Prall- oder Schlagzerkleinerung, gemäß DD 265 084 erweitert auf vorwiegend plattige Materialien, stehen Probleme der wirtschaftlichen Kälteerzeugung und der Verfügbarkeit kaltzäher Werkstoffe für die Ausrüstungen in entsprechenden Aufbereitungsanlagen entgegen.

Bekannt ist ebenfalls für vorzerkleinerte Materialien die Anwendung hydrometallurgischer Verfahren im Zusammenhang mit Voranreicherungsstufen, wie Schwimm-Sink-Scheidung, die für metallbeschichtete Plastiklamine in der US 3335 966 beschrieben wurde. Mit der DE-AS 2635 201 wird darüber hinaus die hydrometallurgische Auflösung von metallischen Überzugsschichten von Grundmetallen bei gleichzeitiger Abtrennung von Isoliermaterialresten vorgeschlagen.

Die Direktkombination von integrierenden metallauflösenden Laugungseffekten in geeigneten Reagenzien und Aufschwimmen der metallfreien Kunststoffkomponente macht die DE-OS 2117 434 bekannt.

Mit allen bisher genannten Lösungsvorschlägen sind die nachfolgend aufgeführten Nachteile verbunden:

- Die für die Anwendung der vorgeschlagenen Vorrichtungen und/oder Verfahren zu nutzenden Einrichtungen und technologischen Voraussetzungen verursachen hohe Betriebskosten und erhebliche Investitionsgrößen.
- Es müssen mitunter dauerhafte und die nachfolgende metallurgische Verarbeitung der gewonnenen Metalle ungünstig beeinflussende chemische Veränderungen, wie Cl^- - oder H_2 -Einlagerungen hingenommen werden.
- Das Isoliermaterial, wie Kabelisolierungen, wird einer stoffwirtschaftlichen Zweitnutzung weitgehend entzogen.
- Die bekannten Verfahren bewirken zusätzliche Umweltbelastungen durch den unvermeidlichen Anfall flüssiger, staub- oder gasförmiger Abprodukte.

Mehrfach wurde auch schon vorgeschlagen, die aufzubereitenden metallhaltigen Rückstände speziellen Beanspruchungen mit einer Zielrichtung zu unterwerfen, eine mehr oder weniger vollständige Freilegung der enthaltenen Metalle zu erreichen und dabei die Nachteile anderer Aufbereitungsverfahren zu vermeiden.

So ist es beispielsweise bekannt, entsprechend der DE-OS 2556 267 in einem festeingestellten Spalt Kabelisolierungen mittels umlaufender Walzen abzuschleifen oder abzureißen oder durch intensive Verschleißbeanspruchung entsprechend DE-OS 2608 739 im vorgewärmten Medium die erweichten Isolierschichten von Kabeln zu entfernen.

In einer industriellen Kabelaufbereitungsanlage werden gemäß DD-AP 110 136 vorzerkleinerte Schrottkabel durch wiederholte Druckstöße, beispielsweise in Kugel- oder Hammermühlen, so lange beansprucht, bis die Isolierungen durch fortschreitenden Verschleiß und örtliche plastische Verformung aufreißen und schließlich vom eingebundenen Metall getrennt werden. Bei dieser Verfahrensweise sind spezifische Energieverbräuche bis zu 260 kWh/t bei der Kabelzerlegung nicht ungewöhnlich. Im Vergleich mit den Zerkleinerungsbedingungen, wie sie beispielsweise für mittelharte Gesteine in modernen Mahlanlagen vorliegen, aus denen spezifische Energieverbräuche von maximal 20 kWh/t resultieren, wird die Unvertretbarkeit der angewendeten Schrottkabelaufbereitung deutlich. Mit der DE-OS 3304 391 wurde auch vorgeschlagen, Kabelisolierungen durch unter hohem Druck auftreffende Wasserstrahlen abzutrennen. Speziell für Kabelschrott wurde mit der DE-OS 2914 184 angeregt, Kabel endlicher Länge zwischen Walzen derart einzuziehen, daß die Isolierung bis über die Fließgrenze hinaus beansprucht wird und aufreißt. Dazu wurden verschiedene Konstruktionslösungen, wie profilierte Walzen mit oder ohne Abstufungen entsprechend US 3822 615 und 4753 001, Walzenschrägstellung entsprechend SU 1314 409 sowie Aufschlitzen oder zusätzliches Einkerbieren der Isolierschichten mit feststehenden oder umlaufenden Schneidwerkzeugen entsprechend SU 892 552 oder DE-OS 2607 943 vorgeschlagen.

Zum bekanntesten Stand der Technik der Elektronik- und/oder Leiterplattenschrott-Aufbereitung gehört auch, Metall-/Kunststoff-Verbundwerkstoffe durch mehrstufige Prall- und/oder Schneidzerkleinerung soweit in der Korngröße zu reduzieren, daß mit physikalischen Methoden eine metallangereicherte Fraktion aus dem zerkleinerten Schrott abtrennbar wird (DE-OS 3340 165). Damit wird auch der Lehrmeinung entsprochen, daß für elastische und zähe Stoffe Prall- und Schneidzerkleinerungsmaschinen besonders gut geeignet sind (vgl. ADOLPHI: „Grundzüge der Verfahrenstechnik“, S. 28).

Nach den bisher vorherrschenden Auffassungen ist nur durch mehrstufige Zerkleinerung abzusichern, daß die genügend große Zahl metallfreier Teilchen vorliegt und bei begrenztem Masseausbringen ein gefordertes Wertstoffausbringen sichergestellt wird. Die Feinzerkleinerung des duroplastischen Basismaterials, wie es vor allem bei Leiterplattenschrott zu verzeichnen ist, führt wegen der damit verbundenen örtlichen Feinstaub- und Wärmeentwicklung einerseits und infolge der bestehenden Deponieschwierigkeiten für die derzeit stoffwirtschaftlich nicht nutzbaren feinteiligen Duroplaste andererseits zu solchen Problemen, die durch das Arbeiten mit mehreren Feinzerkleinerungsstufen und mit immer intensiverer Aufmahlung nicht abgebaut werden.

Es ist einzuschätzen, daß die bisher praktizierte Feinzerkleinerung, beispielsweise von Leiterplattenschrott, auf Korngrößen von weniger als 0,2 mm sowohl wegen des erforderlichen Zerkleinerungsaufwandes und wegen der zunehmenden Staubexplosionsgefährdung erhebliche Schwierigkeiten bereitet.

In den verwendeten Zerkleinerungsmaschinen findet eine komplexe Teilchenbeanspruchung statt, ohne daß bei gleichzeitiger Teilchenerwärmung mit ihrem aus der Temperaturabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften abgeleiteten nachteiligen Folgen die erforderliche Aufhebung des Kraft- und Formschlusses zwischen Basis- und Beschichtungsmaterial erreicht wird. Lediglich aus der Aufbereitung von hochfesten elastischen Verbundwerkstoffen, wie Reifenschrott, ist bekannt, daß Werkstoffbeanspruchungen vorgeschlagen und erprobt wurden, bei denen mehrfach aufeinanderfolgende Druck- und Scherbeanspruchungen beim hochelastischen Reifengummi den Form- und Kraftschluß zwischen Gummi und eingelagerten Faserwerkstoffen entsprechend DD 251 313 aufheben.

Zusammengefaßt ist einzuschätzen, daß nach dem Stand der Technik für die Aufbereitung von Verbundwerkstoff-Abfällen der Elektrotechnik/Elektronik mit dem Ziel der wirtschaftlichen Zerlegung und der Rückgewinnung möglichst vieler Nutzkomponten ein universell anwendbares Verfahren nicht bekannt ist. Die Hauptmängel bisher unterbreiteter Vorschläge bestehen in der unkritischen Übertragung technischer Lösungen der Mineralaufbereitung auf die Sekundärrohstoffnutzung, in der unterlassenen energiesparenden Auflösung des Werkstoffverbundes vor oder während der Zerkleinerung und in nicht tragfähigen Entsorgungskonzepten für die bei der Verbundwerkstoff-Aufbereitung entstehenden Rückstände.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht in der Bereitstellung eines Verfahrens für die selektive Zerlegung von Verbundwerkstoffen der Elektrotechnik und Elektronik, insbesondere von Leiterplatten unterschiedlichen Bestückungsgrades und Kabeln, mit dem vereinfachten Anlagenstammbäumen, verminderten Energieaufwendungen für die Werkstoff-Rückgewinnung und technisch beherrschbare Deponielösungen für anfallende Rückstände erreicht werden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die technische Aufgabe zugrunde, ein Verfahren für die selektive Zerlegung von Verbundwerkstoffen der Elektrotechnik/Elektronik, insbesondere von Leiterplatten unterschiedlichen Bestückungsgrades und Kabeln, derart zu schaffen, daß durch neue auf das spezifische Aufgabegut abgestimmte verfahrenstechnische Kombinationen unter Verwendung bekannter maschinentechnischer Lösungen sowohl die Aufhebung des Form- und Kraftschlusses zwischen den unterschiedlichen Werkstoffkomponenten als auch eine energetisch vorteilhafte Zerkleinerung des Einsatzgutes auf das notwendige Maß erreicht wird. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß grob vorzerkleinertes Aufgabematerial den zwischen rotierenden Walzen oder zwischen einem umlaufenden Drehteller und darauf abrollenden Rotationskörpern gebildeten Arbeitsspalten aufgegeben wird. Das Aufgabegut wird beim ein- oder mehrmaligen Einziehen in den Arbeitsspalt infolge gleichzeitig wirkender Druck-, Zug- und Scherkräfte derart mechanisch beansprucht, daß bei Beanspruchungsgeschwindigkeiten von maximal 1,0 m/s im Arbeitsspalt aufgabegutabhängige Beanspruchungen in einer Höhe von etwa

$$|\tau_{\text{Zug}}| = |\tau_{\text{Druck}}| = |\tau_{\text{gesamt}}|$$

gewährleistet werden.

Dies wird durch die Wahl der Anpreßkraft der Walzen oder Rotationskörper erreicht, womit sowohl Lagefixierung als auch elastische Verformung des Aufgabegutes zu sichern ist. Die Einstellung erfolgt vorteilhafterweise so, daß der Betrag der auf das Aufgabegut ausgeübten Druckspannung gleich dem Betrag der entstehenden Zugspannung ist, wobei die den Kraftschluß im Werkstoffverbund aufhebende Scherbelastung τ_{gesamt} des elastisch verformten Aufgabegutes in Abhängigkeit von geometrischen Bedingungen der an sich bekannten Zerkleinerungsmaschine so bemessen wird, daß sie etwa der im Walzenspalt wirkenden Normalspannung entspricht. Erfindungswesentlich ist auch, daß der Drehteller als Mahlschüssel genutzt wird. Dabei hat sich als vorteilhaft erwiesen, die Oberflächen der verwendeten Mahlschüsseln, Walzen und/oder Rotationskörper in glatter oder in profilierter Form anzuwenden. In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, zwischen den Umfangsgeschwindigkeiten der Walzen oder zwischen der Umfangsgeschwindigkeit der Rotationskörper und der entsprechenden Drehgeschwindigkeit der Abrollspur auf dem Drehteller eine Differenz von wenigstens 0,5% der maximal auftretenden Geschwindigkeit einzuhalten.

Weiterhin ist für die Erfindung kennzeichnend, die mechanische Beanspruchung des Aufgabematerials im jeweiligen Arbeitsspalt mit einem pneumatischen und/oder auf Schwerekraftbasis arbeitenden Austragssystem zu verbinden, das gleichzeitig als Transport- und Aufgabetechnik für eine nachgeschaltete und die spezifischen Eigenschaften des Aufgabematerials berücksichtigende Sortiereinrichtung wirksam ist. Vorzugsweise werden als Sortiereinrichtungen an sich bekannte technische Systeme zur Auftrennung des zerkleinerten Aufgabematerials nach den Sortiermerkmalen Korngröße und/oder Kornrohddichte verwendet.

Zum Wesen der Erfindung gehört es auch, daß dem Aufgabematerial körniges mineralisches Material, vorzugsweise Kalkstein, Glasbruch und/oder Quarzsand, bis zu einem Anteil von maximal 5 Ma.-% des Gesamtdurchsatzes zugemischt werden. Neben der Erhöhung der Wirksamkeit von Scherkräften im durch die Zerkleinerungswerkzeuge beanspruchten Mahlgut wirken die vorgesehenen Zusätze bedarfsweise einer Agglomerationsneigung entgegen, wie sie beispielsweise bei feinteiligen organischen Isolationswerkstoffen beobachtet werden kann.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll nachstehend mit zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Dazu zeigt die

Tabelle 1: Ergebnisse von Leiterplatten-Zerkleinerungsversuchen bei Variation der Austrags- und Klassierbedingungen.

Beispiel 1

Das Ausführungsbeispiel 1 bezieht sich auf die Leiterplatten-Zerkleinerung in einer Versuchswälzmühle, in der bei Beanspruchungsbedingungen mit $\tau_{\text{Druck}} = 6 \text{ MPa}$, $\tau_{\text{gesamt}} = 5 \text{ MPa}$ und $n_{\text{Mahlbahn}} = 1 \text{ m/s}$ vorzerkleinerte unbestückte Leiterplatten durchgesetzt wurden. Dabei wurde erreicht, daß bei konstanten Zerkleinerungsbedingungen allein die Variation der Drehzahl des Sichters im inneren Mahlgutkreislauf zwischen 0 (Versuch 1) und 405 1/min (Versuch 3) mit der Zwischenstufe 185 1/min (Versuch 2) bei Förderluftdurchsätzen von 400 m³/h (Versuch 1) und 240 m³/h (Versuche 2 und 3) ausreichte, um im Zerkleinerungsprodukt den Anteil der Fraktion +0,16 mm von 3,3 Ma.-% über 21,0 Ma.-% auf 56,7 Ma.-% steigen zu lassen.

Das bei einstufiger Wälzzerkleinerung erreichte Zerkleinerungsergebnis läßt sich in gleicher Weise auf die Metallabtrennung übertragen, weil bereits mit einfacher Luftstrahlsichtung ohne extreme Aufwendungen für die Abscheidung feinsten metallfreier Stäube aus Leiterplatten-Grundmaterial hohe Abtrennraten der plattig durch die Scherbeanspruchung vom Basiswerkstoff getrennten Kupferbeschichtung möglich sind.

Beispiel 2

Das Ausführungsbeispiel 2 betrifft die Verarbeitung von auf ca. 15...20mm Einzelkorngröße vorzerkleinerten Kupfer- und Aluminiumkabeln mit Plast- und Gummiumhüllung.

Bei ähnlichen Belastungsbedingungen wie im Beispiel 1 wurden die genannten Kabelstücke aufgegeben und bei Mahlbahngeschwindigkeiten um 0,5m/s in einer Wälzmühle beansprucht. Der Schlupf zwischen der Drehgeschwindigkeit der angetriebenen Mahlschüssel und der Umfangsgeschwindigkeit der auf die Mahlschüssel gedrückten Rotationskörper in der entsprechenden Abrollspur betrug etwa 0,6% der Drehgeschwindigkeit der Mahlschüssel. Beim Betrieb der Mahlanlage ohne Sichter und Förderluft wurde das beanspruchte Aufgabegut, bestehend aus zerquetschten Isolationsmaterialstücken und leicht verformten Leitermaterialanteilen im Schwarkraftaustrag aus der Mahlanlage abgeführt. Im Ergebnis der nachträglichen mechanischen Trennung des Mahlgutes in Einzelfractionen war festzustellen, daß ca. 90 Ma.-% der metallischen Anteile bereits nach dem einmaligen Mahlanlagendurchlauf aufgeschlossen vorlag, während der Rest die Kreislaufführung erforderte. Beim Betrieb mit Trägerluft im Umfang von etwa 400m³/h wurden etwa 90 Ma.-% der freigelegten nichtmetallischen Komponente in das Abgassystem der Versuchsanlage ausgetragen, wobei eine Sichtung des abgeführten Feststoff-/Luft-Gemisches nicht erfolgte.

Die gesamte Metallfraktion sowie etwa 10 Ma.-% unvollständig aufgeschlossener Kabelstücke gelangten in den Schwarkraftaustrag. Der spezifische Elektroenergieaufwand für die erprobten Verfahrensstufen betrug etwa 30kWh/t Aufgabematerial.

Sowohl bei den Aufschlußversuchen mit Leiterplatten als auch bei der Kabelzerlegung wurde gefunden, daß die Verwendung körniger und gegebenenfalls im Aufbereitungsprozeß bei der Zerlegung der Verbundwerkstoffe weiter zerkleinerter mineralischer Produkte, wie Kalkstein, Glasbruch oder Quarzsand, die Aufschlußergebnisse verbesserte und vor allem unerwünschte Agglomerationserscheinungen beim durch die mechanische Beanspruchung erwärmten und teilweise erweichten Isolationsmaterial verhinderte.

Es ist einzuschätzen, daß es mittels der gleichzeitigen Druck- und Scherbeanspruchung im Walzenspalt möglich ist, die selektive Zerlegung von Verbundwerkstoffen der Elektrotechnik/Elektronik vorteilhaft durchzuführen und dabei mit etwa 15 bis 20% der spezifischen Energieaufwendungen bekannter Zerlegungstechniken und erheblich reduzierten Anlagenumfängen sowohl handhabungssichere Metallfraktionen abzutrennen als auch relativ grobkörnige nichtmetallische Produkte zu erzeugen. Dabei spielt für die Festlegung der Korngrößenverteilung im metallabgereicherten Zerkleinerungsgut die Hauptrolle die beabsichtigte Verwendung dieses Anfallstoffes für nachfolgende Verarbeitungsprozesse oder als kostengünstig und ohne Schäden für die Umwelt zu lagerndes Deponiegut.

Tabelle 1: Ergebnisse von Leiterplatten-Zerkleinerungsversuchen in einer Versuchswälzmühle bei Variation der Austrags- und Klassierbedingungen

d _K mm	Durchgangssummen-- Häufigkeit in Ma.-%		
	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
+0,036	80,4	85,6	80,9
+0,045	77,0	82,3	76,3
+0,050	75,6	79,5	71,7
+0,080	70,7	66,6	48,6
+0,090	67,9	57,0	32,2
+0,130	56,7	21,0	3,3
+0,200	51,7	12,2	1,7
+0,315	32,0	2,5	—
+0,500	14,6	—	—

Versuchsbedingungen:

Versuch	Luftmenge	Drehzahl des Sichters 1/min
	m ³ /h	
Versuch 1	400	0
Versuch 2	240	185
Versuch 3	240	405