

Förderaktivität des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF):

**Förderschwerpunkt "Integrierter Umweltschutz im Bereich der
Holzwirtschaft"**

**Vorhaben: "Recycling von Holzwerkstoffen durch das Verfahren der
Thermohydrolytischen Spaltung"**

FKZ: 0339859

Abschlußbericht

Antragsteller:

**Pfleiderer Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG
Geschäftsbereich Holzwerkstoffe -
Forschung und Entwicklung
Westring 19-21
59759 Arnsberg**

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
1.1	Aufgabenstellung	3
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.4	Stand von Wissenschaft und Technik	7
1.4.1	Mechanische Zerkleinerung	9
1.4.2	Das Reholz [®] -Verfahren	9
1.4.3	Das Retro-Verfahren	10
1.4.4	Das Retro-Amino-Verfahren	11
1.4.5	Thermohydrolytischer Aufschluß	11
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	18
1.5.1	Institut für Forstbotanik der Universität Göttingen	18
1.5.2	Firma AMF, Apen	18
1.5.3	Firma Maier, Bielefeld	18
2.	Ergebnisdarstellung	19
2.1	Erzielte Ergebnisse	19
2.1.1	Ausarbeitung eines kontinuierlichen Aufschlußprozesses	19
2.1.2	Aufschlußoptimierung	26
2.1.3	Trocknungsanalyse	45
2.1.4	Analyse des Recyclingmaterials	49
2.1.5	Herstellen von Holzwerkstoffen	59
2.2	Fortschreibung des Verwertungsplanes	64
2.3	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	69
2.4	Veröffentlichung der Ergebnisse	69
2.4.1	Durchgeführte Veröffentlichungen	69
2.4.2	Geplante Veröffentlichungen	69

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Das Ziel des Projektes war es, eine kontinuierlich arbeitende Pilotanlage zum Recycling von gebrauchten Holzwerkstoffen mit einer Aufschlußkapazität von 8000 t/a im Werk Rheda zu installieren. Anhand dieser Anlage sollten verfahrenstechnische Parameter ermittelt und optimiert werden. Hierzu waren insbesondere die folgenden Arbeitsschritte notwendig:

- Ausarbeitung der Verfahrenstechnik für einen kontinuierlichen Aufschlußprozess
- Verfahrenstechnische Optimierung der Anlage und des Prozesses
- Analyse der erhaltenen Recyclingspäne
- Aufschluß von Gebrauchtholz bzw. von Altmöbeln und stoffliche Verwertung derselben
- Herstellung von Holzwerkstoffen unter Verwendung von Aufschlußgut (Recyclingspan)
- Produktionskostenminimierung
- Produktoptimierung, Eigenschaftsverbesserung von Holzwerkstoffen durch Recyclingspan
- Einsparung von Bindemittel, Kostensenkung, Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit
- Ausweitung der Prozeßmöglichkeiten, Synergiepotentiale

Weiterhin wurde durch das im Vorhaben entwickelte Recyclingverfahren der Thermohydrolytischen Spaltung die umweltfreundliche Entsorgung von Holzwerkstoffen angestrebt. Dadurch sollte das Vorhaben zur Umsetzung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und der TA- Siedlungsabfall dienen und einen Beitrag zur Lösung der Abfallproblematik bei Holzwerkstoffen leisten.

1.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die bislang bekannte und in der Holzwerkstoffindustrie praktizierte Möglichkeit der Wiederverwertung von Gebrauchtsanplatten besteht darin, die Platten mechanisch zu zerkleinern und die Zerkleinerungsprodukte bei der Produktion von neuen Spanplatten in bestimmten Anteilen mit zu verwenden. Die Spanplattenindustrie kann aufgrund der hierbei erzielten kubischen Spanform nur zwischen 3 bis max. 7 % Recyclingspäne den mit Harnstoff-Formaldehyd-Harz gebundenen Spanplatten beimischen.

Die grundlegenden Arbeiten zum "Holzwerkstoffrecycling durch Thermohydrolytische Spaltung" wurden bei Pfeleiderer etwa zu Beginn der 90er Jahre begonnen und zu einem

brauchbaren Batch- oder einem Chargen-Verfahren entwickelt. Primäres Ziel dieser Arbeiten war die Wiedergewinnung hochwertiger Späne und Fasern aus Gebrauchtholzwerkstoffen zur Wiederverwendung in neuen Holzwerkstoffen. Zur Durchführung dieser Arbeit im Labormaßstab standen uns zwei verschiedene Aufschlußbehälter zur Verfügung. Ein Aufschlußbehälter mit einem maximalen Aufschlußdruck von 2,5 bar befindet sich am Forstbotanischen Institut der Universität Göttingen. Der andere Aufschlußbehälter mit einem maximalen Aufschlußdruck von 4 bar wurde von der Pfeleiderer Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG im Werk Rheda-Wiedenbrück installiert.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß

- ein Recycling von Gebrauchtholzwerkstoffen durch Thermohydrolytische Spaltung möglich ist,
- im Gegensatz zum mechanischen Recycling die ursprüngliche Spanform erhalten bleibt,
- ein hochwertiger Gebrauchtspan entsteht, der ohne Nachteile infolge Erhalt der ursprünglichen optimalen Spanform in der Produktion neuer Holzwerkstoffe eingesetzt werden kann.

Aus den Forschungsaktivitäten konnten zum Batch-Verfahren folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Span- und Faserplatten können durch das Pfeleiderer Dampfaufschlußverfahren technisch und wirtschaftlich unter Erhalt der guten Spanform wiederverwertet werden.
- Das Verfahren leistet somit einen bedeutenden Beitrag zur Lösung der generellen Abfallproblematik bei Alt- und Gebrauchtmebeln.
- Das Verfahren entspricht dem heutigen Verständnis von Ökologie und Ökonomie.
- Der Pfeleiderer Dampfaufschluß entspricht weiterhin allen gesetzlichen Rahmenbedingungen in hervorragender Weise.
- Wertvolle Ressourcen im Bereich von Holz und Bindemittel können eingespart werden, und schädliche Umwelteinwirkungen anderer Verfahren werden vermieden.
- „Last but not least“ bietet der wirtschaftliche Aspekt die Möglichkeit, Kosteneinsparungen zu erreichen und so zur Wettbewerbsfähigkeit in sich immer mehr globalisierenden Märkten beizutragen.

Nachdem das Verfahren für den Chargen-Betrieb optimiert war, zeigten die Kostenkalkulationen und die Betrachtung der technischen Parameter schon sehr bald, daß deutlich höhere Potentiale geschöpft werden könnten, wenn es gelingen würde, den Prozeß kontinuierlich auszuführen.

Nachteilig bei den heute in der Branche bereits teilweise installierten diskontinuierlichen Kochern sind neben den relativ langen Aufschlußzeiten (1 Stunde Zykluszeit pro Charge) der zu hohe Energieverbrauch. Für das kontinuierliche Aufschlußverfahren konnte nach ersten Berechnungen nachgewiesen werden, daß etwa ein Drittel des Energieverbrauchs diskontinuierlicher Anlagen für den Aufschlußprozess notwendig ist und weiterhin kürzere Aufschlußzeiten erreicht werden können.

Insgesamt läßt sich ein kontinuierliches Aufschlußverfahren auch wesentlich günstiger in die heute ohnehin überwiegend kontinuierlich laufende Spanplattenfertigung integrieren. Wenn kontinuierlich aufgeschlossen wird, ist das Einbringen des aufgeschlossenen Materials in die Trockner einfacher und auch energetisch günstiger, denn es findet kein Abkühlen statt. Die Wärme bleibt im aufgeschlossenen Material, die Trocknung braucht weniger Energie. Es gibt damit auch kein unkontrolliertes „Abdampfen“ vom heißen Spangut mit der Folge, daß formaldehydhaltige Dämpfe irgendwo anfallen und abgesaugt werden müssen. Die Stoffströme fließen kontrolliert vom Aufschlußreaktor in den Trockner, dessen Abgase ohnehin über Nachverbrennung etc. "saubergehalten" werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Grundlegende Zielstellung des Forschungsprojektes war es, das Recyclingverfahren der Thermohydrolytischen Spaltung mittels einer kontinuierlich geführten Prozeßtechnologie durchzuführen und somit gegenüber dem diskontinuierlichen Aufschlussprozess Energie einzusparen und die beim Aufschlussprozeß entstandenen Emissionen vollständig zu erfassen. Hierzu wurde von der Pfeleiderer Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG ein Anlagenkonzept entwickelt. Aufbauend darauf wurde eine entsprechende Projektierung (Anlagenkonfiguration) durchgeführt und der Bau der Funktionsmusteranlage geplant.

Es wurde ein Antrag auf Genehmigung einer Versuchsanlage im Sinne §2 Abs. 3 der 4. BImSchV in Verbindung mit §19 BImSchG für die kontinuierlich arbeitende Funktionsmusteranlage beim Staatlichen Umweltamt Bielefeld gestellt. Nach Erhalt des Genehmigungsbescheides wurde mit dem Bau der Funktionsmusteranlage begonnen. Durch den Genehmigungsbescheid wurden für die Versuchsdurchführung folgende Versuchsstufen festgelegt:

- **Stufe I:** Verfahrensoptimierung mittels UF-Harz-gebundener Rohspanplatten
- **Stufe II:** Verfahrensoptimierung mittels melamin-beschichteter Spanplatten
- **Stufe III:** Recycling von gebrauchten Spanplatten

Begleitend zur Optimierung des Aufschlußprozesses wurden die erzielte Spanqualität und der Einfluss auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften von Spanplatten mit Recyclingmaterial untersucht.

1.4 Stand von Wissenschaft und Technik

Bei der Verwertung von Produktionsrückständen der Holzwerkstoffherstellung und von gebrauchten Holzwerkstoffen können grundsätzlich zwei Verwertungsschienen unterschieden werden:

- I. Thermische Verwertung
- II. Stoffliche Verwertung

Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz soll bei der Verwertung von Abfällen die umweltverträglichere Verwertungsart den Vorrang erhalten. Dabei schließt eine stoffliche Verwertung die thermische Verwertung nicht aus.

Durch eine sinnvolle Kombination dieser beiden Verwertungsarten können die Vorteile des jeweiligen Verfahrens genutzt werden. So könnten gebrauchte Holzwerkstoffe bzw. Holzwerkstoffteile, für die eine stoffliche Verwertung zu kostenaufwendig ist, der thermischen Verwertung zugeführt werden. Durch die stoffliche Verwertung besteht die Möglichkeit, die thermische Verwertungsschiene zu entlasten und gleichzeitig die Rohstoffbasis der Industrie zu erweitern. Die stoffliche bzw. thermische Verwertung gebrauchter Holzwerkstoffe ermöglicht es der Holzwerkstoffindustrie, die Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes bezüglich einer ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft zu erfüllen.

Heute können bei der stofflichen Verwertung von Produktionsresten der Holzwerkstoffherstellung und von gebrauchten Holzwerkstoffen die Verfahrenstypen der mechanischen Zerkleinerung, des chemisch-thermischen Aufschlusses und des thermohydrolytischen Aufschlusses unterschieden werden. Ziel dieser Verfahren ist es, das Rohstoffpotential der o. g. Materialien (Gebrauchtmöbel, zuschnittbedingter Abfall und Ausschuß der Holzwerkstoffindustrie) für die Produktion neuer Holzwerkstoffe zu nutzen. In Übersicht 1 (S. 8) sind die bislang wichtigsten Verfahren einer stofflichen Verwertung von Holzwerkstoffen zusammengefaßt.

I. Mechanische Zerkleinerung

- 1.1 **REHOLZ® – Verfahren**, Möller, A., Herrlich, S. (1994):
Plattenförmiger oder geformter Holzwerkstoff.
(EU P 0664738)
- 1.2 **Retro – Verfahren**, Roffael, E., Kharazipour, A., Nonninger, K. (1994):
Verfahren zur Herstellung von Holzspan- und -faserplatten.
(EP 0700762 A2, vgl. DE 4428119)
- 1.3 **Retro - Amino – Verfahren**, Kharazipour, A., Nonninger, K. (1997):
Holzwerkstoffe, enthaltend aminoplasthaltige Gebraucht-, Rest bzw. Abfallholzwerkstoffe, sowie Verfahren zu ihrer Herstellung und Verfahren zur Verwertung von Gebraucht-, Rest- und Abfallholzwerkstoffen.
(DE - OS 19751326 A1)

II. Thermohydrolytischer Aufschluß

- 2.1 **Sandberg – Verfahren**, Sandberg, G. (1963):
Verfahren zur Wiedergewinnung von Spanmaterial aus mit ausgehärteten Bindemitteln durchsetzten Abfällen, Sägespänen usw. zur Herstellung von Spanplatten und ähnlichen geleimten oder gepreßten Erzeugnissen.
(DE - AS 1201045)
- 2.2 **Pfleiderer – Verfahren**, Anonymus (1992):
Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen.
(EP 0581039, siehe auch DE - OS 4224629 bzw. DE - 4244918 C2)
- 2.3 **WKI – Verfahren**, Michanickl, A., Boehme, C. (1995):
Verfahren zur Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffreststücken, Altmöbeln, Produktionsrückständen, Abfällen und anderen holzwerkstoffhaltigen Materialien.
(EP 0697941 B1, siehe auch DE - OS 19509152 A1)

III. Chemischer Aufschluß

- 3.1 Roffael, E., Dix, B. (1993):
Ablauge aus chemisch-thermischem Aufschluß von bereits verarbeiteten bindemittelhaltigen Span- und Faserplatten, Verfahren zu ihrer Herstellung und ihre Verwendung als Streckmittel für Holzwerkstoff-Bindemittel.
(DE - PS 4334422)

Übersicht 1: Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen

1.4.1 Mechanische Zerkleinerung

Bei der mechanischen Zerkleinerung von Gebrauchtspanplatten sind mehrere Verfahrenstechniken zu unterscheiden. Die Gemeinsamkeit dieser Verfahren besteht darin, daß die Zerkleinerung der Gebrauchtspanplatten auf rein mechanischem Wege erfolgt. Deshalb kann eine solche Vorgehensweise auch als „Trocken-Aufschlußverfahren“ bezeichnet werden.

Eine Möglichkeit der mechanischen Zerkleinerung besteht darin, die Gebrauchtspanplatten so zu zerkleinern, daß dabei einzelne Späne entstehen. Das erhaltene Spanmaterial kann dann in bestimmten Anteilen bei der Herstellung neuer Spanplatten eingesetzt werden. Nachteilig wirkt sich dabei aus, daß bei der rein mechanischen Zerkleinerung ein großer Teil der Holzstruktur zerstört wird und aufgrund dieser Tatsache große Mengen an Staub entstehen, der nur noch thermisch verwertet werden kann. Weiterhin sind die so gewonnenen Späne durch eine meist kubische Spanform gekennzeichnet, die deutlich von der Spangeometrie frischer Späne abweicht. Deshalb kann die Spanplattenindustrie auf diese Weise durchschnittlich nur etwa 4 % an alten mit UF-Harz gebundenen Spanplatten ihrem Spanmaterial beimischen. Eine weitere Erhöhung des Anteils an rein mechanisch recyceltem Spanmaterial würde zu Qualitätseinbußen bei den neuen Spanplatten - insbesondere zu Festigkeitsverlusten und einer erhöhten Formaldehydabgabe - führen.

1.4.2 Das Reholz® - Verfahren

Eine weitere Möglichkeit der mechanischen Zerkleinerung ist das von der Firma Möller-Holztechnik GbR Dresden angemeldete Reholz® - Verfahren. Dabei werden die anfallenden Gebrauchtspanplatten (Gebrauchtmöbel) einschließlich ihrer Beschichtung, Kunststoffen etc. unter Anwendung einer speziellen patentierten (EU P 0664738) Schneidevorrichtung zu flächigen, schlanken Plättchen zerkleinert. Diese Plättchen sind durch eine Dicke von etwa 2 mm, eine Breite von ca. 15 mm und eine Länge von ungefähr 40 mm gekennzeichnet. Nach der Zerkleinerung werden unerwünschte Bestandteile wie metallische oder anorganische Verunreinigungen von der Gutfraktion getrennt. Die Plättchen werden ohne Trocknung nach der Zugabe von PF-Harz und Harnstofflösung als Formaldehydfänger ähnlich der Oriented-Structural-Board-Technik (OSB) zu einem neuen Holzwerkstoff verarbeitet.

Nachteilig erweist sich bei diesem Recyclingwerkstoff seine grobe Struktur, die zu relativ geringen Festigkeitseigenschaften bei relativ hoher Rohdichte führt. Die Oberfläche von Reholz[®] ist aufgrund der Plättchengröße und der Tatsache, daß Beschichtungen und Kantenmaterialien der eingesetzten Gebrauchtmöbel beim Recyclingprozeß nur in geringem Umfang von der Gutfraktion getrennt werden können, unebener als konkurrierende Holzwerkstoffe, wodurch eine Beschichtung und der Einsatz in der Möbelproduktion nicht möglich ist. Aufgrund dieser Fakten wird der Einsatz des Recyclingwerkstoffes Reholz[®] wohl überwiegend auf die Bauindustrie beschränkt bleiben.

1.4.3 Das Retro-Verfahren

Das Retro-Verfahren wurde von Roffael et al. 1994 entwickelt (OS DE 44 28 119 A1, EP 0700762 A2). Bei diesem Verfahren werden alte Holzwerkstoffe, die formaldehydhaltige, hydrolysierbare Bindemittel enthalten, mechanisch zu Holzspänen zerkleinert. Diese „Retrospäne“ werden anschließend in Deck- und Mittelschichtspäne fraktioniert, mit kondensierten Tanninen beleimt und anteilig (10 bis 15 Prozent) mit UF-Harz beleimten frischen Spänen gemischt und verpreßt. Aufgrund der während des Preßvorganges herrschenden hohen Temperatur und Feuchte wird das den „Retrospänen“ anhaftende „alte“ UF-Harz durch Hydrolyse gespalten, wobei Formaldehyd freigesetzt wird. Dieses Formaldehyd vernetzt *in situ* mit den kondensierten Tanninen zum Tanninformaldehydharz, welches nun als Bindemittel für die aus den Gebrauchtschanplatten stammenden Späne wirkt.

Mit dem Retro-Verfahren ist es somit möglich, sowohl die Holzkomponente als auch das Bindemittel der Altspanplatten einer stofflichen Verwertung zuzuführen. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens zeigt sich darin, daß die aus den Altspanplatten gewonnenen Späne nicht getrocknet werden müssen, wodurch man Energie einspart und die Emissionen beim Trocknen verringert. In Labor- und Betriebsversuchen (Conti –Anlage) konnte gezeigt werden, daß ein Zusatz von bis zu 15 Prozent von mit Tannin beleimten „Retrospänen“ bei der Herstellung von UF-Harz-gebundenen Spanplatten zu keiner negativen Beeinflussung der mechanisch-technologischen Eigenschaften führt.

1.4.4 Das Retro-Amino-Verfahren

Aufbauend auf das Retro-Verfahren wurde von Kharazipour et al. 1997 das Retro-Amino-Verfahren (DE – OS 19751326 A1) entwickelt. Durch dieses Verfahren können aminoplasthaltige Gebraucht-, Rest- oder Abfallholzwerkstoffe in beschichteter bzw. unbeschichteter Form einer stofflichen Verwertung zugeführt werden..

Entsprechend dem Retro-Verfahren werden auch beim Retro-Amino-Verfahren die alten Holzwerkstoffe, die formaldehydhaltige hydrolysierbare Bindemittel enthalten, mechanisch zu „Retrospänen“ mit einer definierten Teilchengröße zerkleinert. Nach der Zerkleinerung wird eine aminogruppen-haltige Substanz in Mengen von 1 bis 20 Gewichtsprozenten auf die „Retrospäne“ aufgebracht. Dabei werden bevorzugt wäßrige Lösungen der aminogruppen-haltigen Substanz (des Amids, z.B. des Harnstoffs) eingesetzt. Die Konzentration der Amidlösung und die verwendete Menge sind vorzugsweise so aufeinander abzustimmen, daß gebrauchssübliche beleimte Feuchten erreicht werden. Anschließend werden die mit der aminogruppen-haltigen Substanz versetzten „Retrospäne“ mit Aminoplastharz beleimten Frischspänen gemischt und in üblicher Weise zu neuen Holzwerkstoffen verarbeitet. Aufgrund der während des Preßvorganges herrschenden hohen Temperatur und Feuchte wird das den „Retrospänen“ anhaftende „alte“ Bindemittel durch Hydrolyse gespalten, wobei Formaldehyd freigesetzt wird. Dieses Formaldehyd vernetzt *in situ* mit der aminogruppen-haltigen Substanz zum Aminoplastharz, welches nun als Bindemittel für die aus den Gebrauchtspanplatten stammenden Späne wirkt. Durchgeführte Versuche zeigen, daß auf diese Weise Holzwerkstoffe mit bis zu 50 Gewichtsprozenten an Gebraucht- bzw. Abfallholzwerkstoffen ohne Qualitätseinbußen hergestellt werden können.

1.4.5 Thermohydrolytischer Aufschluß

Für den hydrolytischen Aufschluß von gebrauchten Holzwerkstoffen bzw. Produktionsrückständen der Holzwerkstoffherstellung sind mehrere Verfahren bekannt. Die Grundlage für diese Verfahren bildet die Tatsache, daß bei der Spanplattenherstellung zu rund 90 Prozent Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF-Harz) als Bindemittel eingesetzt werden. Die Verfahren nutzen die geringe Hydrolysebeständigkeit der UF-Harze und der Leime auf der Basis von Harnstoff, um die Bindungen zwischen den einzelnen Spänen durch die Einwirkung von

Wasserdampf und Druck zu lösen. Eine solche Vorgehensweise kann als „Thermohydrolytische Spaltung“ bezeichnet werden.

Die Gemeinsamkeit der Verfahren besteht darin, daß die Gebrauchtspan- bzw. Gebraucht-faserplatten in einem Vorbehandlungsschritt zu Bruchstücken mit Abmessungen von einigen Zentimetern vorgebrochen werden (mechanische Zerkleinerung). Anschließend können Fremdmaterialien wie Metall- oder Kunststoffteile von den Bruchstücken getrennt werden. Der eigentliche Aufschluß der Holzwerkstoffbruchstücke erfolgt dann durch Thermohydrolytische Spaltung.

Dabei werden die Bruchstücke einer gesättigten Wasserdampf-atmosphäre unter hohem Druck und hoher Temperatur ausgesetzt. Unter diesen Bedingungen erfolgt die Hydrolyse des UF-Harzes, bei der das Bindemittel in seine beiden Komponenten Harnstoff und Formaldehyd bzw. Harnstoff-Formaldehyd-Verbindungen gespalten wird und so die einzelnen Späne freigelegt werden. Die benötigte Aufschlußzeit bei der Thermohydrolytischen Spaltung kann dadurch verkürzt werden, daß vorgewärmte oder gedämpfte oder mit Wasser vorgequollene Bruchstücke für den Aufschluß verwendet werden. Nach dem Aufschluß der Holzwerkstoffe können weitere Fremdmaterialien wie z.B. Beschichtungsteile von den Spänen bzw. Fasern getrennt werden. Das erhaltene Recyclingmaterial kann mit handelsüblichen Bindemitteln zu neuen Holzwerkstoffen verleimt werden. Auf diese Weise können Holzwerkstoffe aus 100 Prozent recyceltem Material oder aus einem Gemisch von frischem und recyceltem Material hergestellt werden.

Der Vorteil des Verfahrens der Thermohydrolytischen Spaltung besteht insbesondere für die Spanplattenherstellung darin, daß die Geometrie der Späne beim Aufschluß nicht oder nur sehr geringfügig verändert wird, wodurch diese gegenüber Frischspänen als gleichwertig angesehen werden können. Nachteilig kann sich bei den Verfahren, die nach dem Prinzip der Thermohydrolytischen Spaltung arbeiten, die Tatsache auswirken, daß durch eine Dampfbehandlung nicht das gesamte Bindemittel von den Spänen entfernt werden kann, wodurch bei der notwendigen Trocknung der Recyclingspäne die Formaldehydemissionen aus dem Trockner erhöht werden.

Es hat sich gezeigt, daß für einen Thermohydrolytischen Aufschluß nur mit UF-Harz gebundene Holzwerkstoffe geeignet sind. Bei Spanplatten, die mit Melamin-modifizierten

UF-Harzen (MUF) gebunden sind, ist die Thermohydrolytische Spaltung stark eingeschränkt, da sich diese Bindemittel nicht vollständig hydrolisieren lassen. Für mit Phenolharz und mit polymeren Diisocyanaten (PMDI) gebundene Spanplatten ist das Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung nicht geeignet, da diese Bindemittel durch eine Dampfbehandlung nicht aufgelöst werden können.

Im Einzelnen wurden im Vorfeld des Forschungsvorhabens die folgenden Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung unterschieden:

- I. Verfahren von Sandberg (1963)
- II. Batch-Verfahren der Pfeleiderer AG (1992)
- III. WKI-Verfahren (1994)

1.4.5.1 Das Sandberg-Verfahren

Das von Sandberg bereits 1963 angemeldete Verfahren (DE OS 12 01 045) wurde ursprünglich dazu entwickelt, um die bei der Spanplattenherstellung anfallenden Zuschnitts- und Besäumungsreste sowie Schleifstaub als Rohstoff für die Produktion zurückzugewinnen. Dazu werden die mit einem hydrolisierbaren Bindemittel wie UF-Harz gebundenen Spanplatten der Einwirkung von Dampf unterworfen, der unter Überdruck steht.

Sandberg ging davon aus, daß ein Druck von 1 bis 5 bar bei einer Einwirkungszeit von 0,5 bis 4 Stunden besonders vorteilhaft ist. Unter diesen Verfahrensparametern wird das Bindemittel hydrolisiert und die Späne aus dem Spanplattenverband freigegeben. Die auf diese Weise erhaltenen Recyclingspäne weisen nach der Dampfbehandlung eine Feuchte von weniger als 10 Prozent auf und können ohne Nachtrocknung der Neuproduktion von Spanplatten zugeführt werden. Das erhaltene Recyclingmaterial wird in Mengen von bis zu 30 Prozent den frischen Spänen vor der Beileimung beigemischt, ohne daß die mechanisch-technologischen Eigenschaften der hergestellten Spanplatten beeinträchtigt werden.

Das Sandberg-Verfahren wurde bereits industriell angewendet. Dabei konnten in einem einzigen Spanplattenwerk durch das betriebsinterne Recycling 25 t Spanmaterial pro Tag der Produktion zugeführt werden. Aufgrund der gegenüber den anderen Verfahren der

Thermohydrolytischen Spaltung verlängerten Druckbeaufschlagung während des Aufschlußprozesses konnte sich das Sandberg-Verfahren aus ökonomischen Gründen industriell nicht durchsetzen.

1.4.5.2 Das Pfeiderer-Batch-Verfahren

Das von der Pfeiderer AG 1992 und 1993 angemeldete Verfahren (DE OS 42 24 629, EP 05 81 039), für welches ein europäisches Patent erteilt wurde, arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip wie das Sandberg-Verfahren.

Das Kreislaufschema des Pfeiderer-Batch-Verfahrens ist auf Seite 15 dargestellt (Abb. 1).

Durch das Pfeiderer-Batch-Verfahren ist es möglich, gebrauchte Holzwerkstoffe, insbesondere Span- und MDF-Platten aus Gebrauchtmöbeln sowie Produktionsrückstände und den Ausschuß der Holzwerkstoffproduktion einer stofflichen Verwertung zuzuführen.

Dabei wird das anfallende Material zunächst zu Bruchstücken mit einer Kantenlänge von ca. $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ ($5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ bis $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$) vorgebrochen. Da durch das Vorbrechen eine größere Oberfläche für die Wechselwirkung mit dem Wasser beim Vorquellen und mit dem Wasserdampf beim Aufschluß erreicht wird, können so für einen industriellen Aufschlußprozeß vertretbare Vorquell- und Aufschlußzeiten erreicht werden. Das Vorbrechen und die bessere Raumausnutzung im Aufschlußbehälter führen zu einer höheren Effizienz des Aufschlußverfahrens. Eine Mindestbruchstückgröße von etwa $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ ist jedoch erforderlich, damit die nach dem Aufschluß flächig vorliegende Beschichtung gut vom erhaltenen Spanmaterial getrennt werden kann.

Um ein optimales Aufschlußergebnis unter wirtschaftlich vertretbaren Aufschlußzeiten zu erreichen ist es notwendig, die Holzwerkstoffbruchstücke in Wasser vorzuquellen, bis sie eine bestimmte Mindestmenge an Wasser aufgenommen haben. Für einen optimalen Aufschluß (möglichst kurze Aufschlußzeit) ist eine aufgenommene Wassermenge von 70 bis 80 Prozent des Eigengewichts der Holzwerkstoffbruchstücke (lutro, bei einer Ausgleichsfeuchte der Platten von 5 bis 8 Prozent) notwendig.

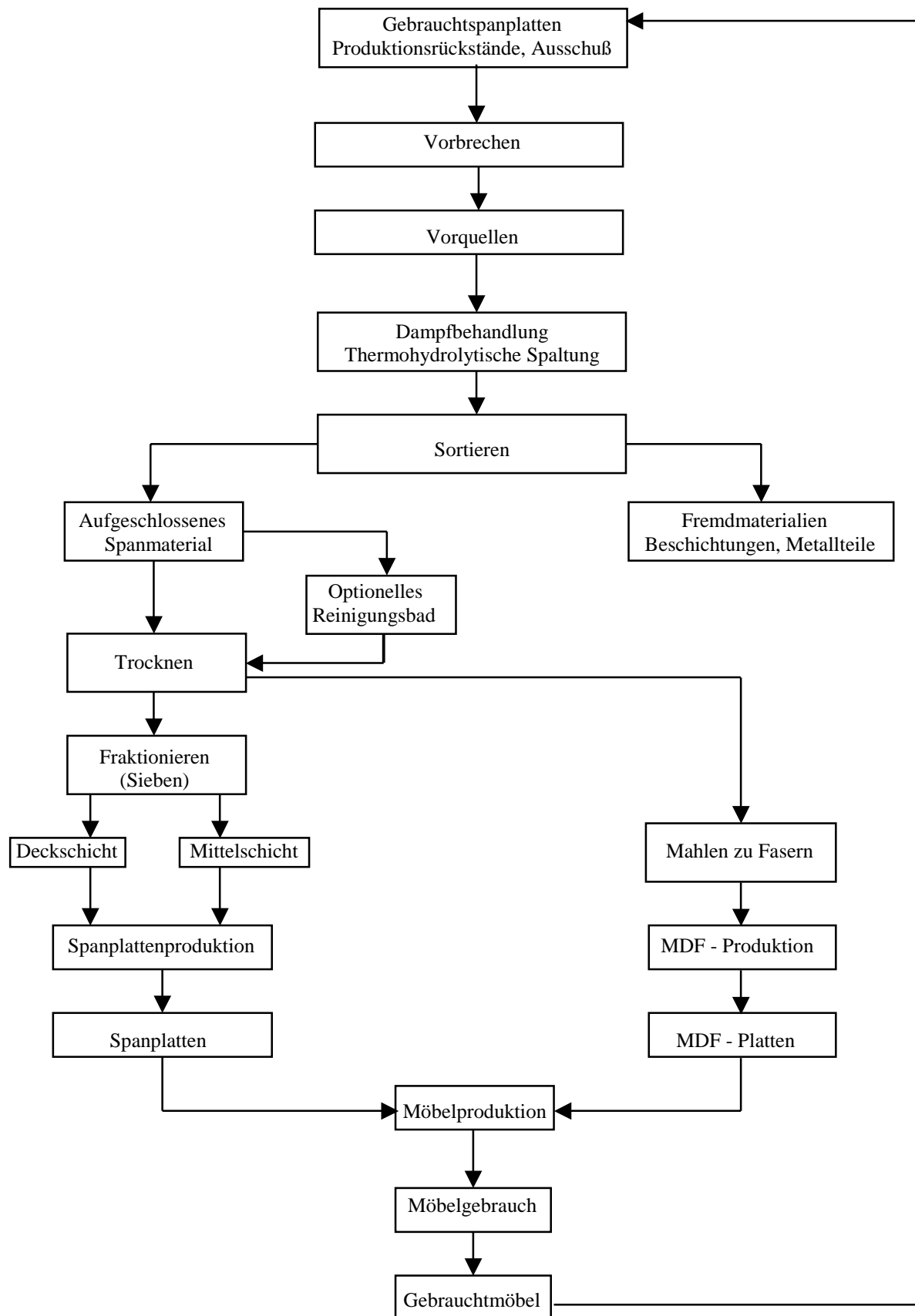


Abb. 1: Kreislaufschema des Pfeiderer – Dampfaufschlußverfahrens

Im folgenden Verfahrensschritt werden die vorgequollenen Bruchstücke in einem Druckaufschlußbehälter durch die Zufuhr von Wasserdampf und den Aufbau eines bestimmten Druckes über eine definierte Druckhaltezeit thermohydrolytisch aufgeschlossen. Dabei werden die Bindungen des UF-Harzes soweit gespalten, daß die einzelnen Späne getrennt voneinander vorliegen. Die Aufschlußbedingungen können hinsichtlich Aufschlußdruck, Druckaufbauzeit, Druckhaltezeit und Entspannzeit (Druckabbauzeit) variiert werden. Patentrechtlich ist das Verfahren bei Aufschlußtemperaturen zwischen 120°C und 180°C und einem damit verbundenen Aufschlußdruck zwischen 2 und 11 bar geschützt.

Nach dem Aufschluß werden Fremdmaterialien (Metallteile, Beschichtungen) vom erhaltenen Spanmaterial getrennt. Durch das Pfeleiderer – Verfahren gewonnene Recyclingspäne können nach erfolgter Trocknung und Fraktionierung in Deck- und Mittelschicht mit handelsüblichen Bindemitteln zu Recyclingspanplatten verpreßt werden.

Mit den nach dem Pfeleiderer – Verfahren erhaltenen Recyclingspänen können aufgrund ihrer optimalen Spanform ohne Qualitätseinbußen deutlich höhere Anteile an recyceltem Material bei der Spanplattenherstellung eingesetzt werden als dies bei rein mechanischer Zerkleinerung möglich ist. Unter Laborbedingungen konnten mit Mischungsverhältnissen bis hin zu 100 Prozent Substitution von Frisch- durch Recyclingspan keine negativen Beeinflussungen der mechanisch-technologischen Eigenschaften der Spanplatten festgestellt werden.

1.4.5.3 Das WKI-Verfahren

Das sog. WKI-Verfahren wurde von Michanikl und Boehme am Wilhelm-Klauditz-Institut in Braunschweig entwickelt. Entsprechend dem Sandberg- bzw. Pfeleiderer-Verfahren basiert auch das WKI-Verfahren auf der Grundidee der Dampfbehandlung und der damit verbundenen Hydrolyse des UF-Harzes. Für dieses Verfahren wurden durch die „Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.“ Schutzrechte angemeldet (DE OS 195 09 152 A1, EP 0 697 941 B1).

Die Holzwerkstoffe werden beim Recyclingprozeß zunächst zu Bruchstücken mit einer Kantenlänge von 10 bis 20 cm zerkleinert. Diese Bruchstücke werden anschließend in einen Wechseldruckbehälter gefüllt. Im folgenden Verfahrensschritt werden die Holzwerkstoff-

stücke mit einer Tränk- bzw. Imprägnierlösung imprägniert und vorgequollen, bis sie mindestens 70 Prozent ihres Eigengewichtes an Imprägnierlösung aufgenommen haben.

Zum Binden des beim Aufschluß freiwerdenden Formaldehyds können der Imprägnierlösung Chemikalien wie Ammoniak oder Harnstoff zugesetzt werden. Soll der Imprägniervorgang beschleunigt werden, kann am Imprägnierbehälter vor dem Einbringen der Imprägnierlösung ein Unterdruck (Vakuum von ca. 200 mbar) angelegt bzw. der Imprägnierlösung weitere nicht näher definierte Stoffe zugesetzt werden. Im Anschluß an den ca. 30 Minuten dauernden Imprägniervorgang wird die überschüssige Imprägnierlösung abgepumpt. Der Aufschluß erfolgt nun durch Erwärmen der Holzwerkstoffstücke auf eine Temperatur von 80°C bis 120°C. Bei einer Aufschlußtemperatur von 110°C wird eine Aufschlußzeit von 20 Minuten angegeben. Abschließend wird das erhaltene Spanmaterial in einem Trommelsieb von Beschichtungs- und Beschlagsmaterialien getrennt.

Im Jahr 1997 wurde von der Nolte GmbH & Co. KG, Germersheim eine industrielle Anlage zum Recycling von Gebrauchtsanplatten nach dem WKI – Verfahren errichtet.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

1.5.1 Institut für Forstbotanik der Universität Göttingen

Für die Optimierung der kontinuierlich arbeitenden Anlage wurden am Institut für Forstbotanik folgende Arbeiten durchgeführt:

- Analyse der nach dem Aufschluß erhaltenen Späne und Fasern
- Analyse der Bindemittelabbauprodukte
- Trocknung der erhaltenen Recyclingspäne und -fasern unter praxisnahen Bedingungen und unterschiedlichen Temperaturen
- Chemische Analyse der bei der Trocknung des Recyclingmaterials entstehenden Dämpfe wie Formaldehyd, Ammoniak und Ameisen- und Essigsäure
- Ermittlung des Lignin- und des Stickstoffgehaltes der Recyclingspäne und -fasern
- Untersuchung der Auswirkung verschiedener Aufschlußzeit und -druck auf die Recyclingspäne und -fasern mit Hilfe der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen (REM)

1.5.2 Firma AMF, Apen

In Zusammenarbeit mit der Firma AMF wurde der Aufbau und die Konzeption der Aufschlußschnecken geplant. Die Herstellung der Aufschlußschnecken erfolgte durch die Firma AMF.

1.5.3 Firma Maier, Bielefeld

Die Planung der Brecher- und Siebanlage erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma Maier, welche die entsprechenden Anlagen auch herstellte.

2 Ergebnisdarstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse

2.1.1 Ausarbeitung eines kontinuierlichen Aufschlußprozesses

Für den kontinuierlich geführten Thermohydrolytischen Aufschluß wurde zunächst folgendes Anlagenkonzept entwickelt und die Projektierung der Funktionsmusteranlage wie folgt durchgeführt (Abb. 2, S. 20). In Abbildung 3 (S. 21) ist das ursprünglich geplante Fließbild mit den entsprechenden Stoffströmen dargestellt.

2.1.1.1 Anlagenbeschreibung laut ursprünglicher Planung

Bei einer Recyclinganlage für den Thermohydrolytischen Aufschluß von gebrauchten Holzwerkstoffen sowie Produktionsrückständen und Ausschuß der Holzwerkstoffindustrie nach dem Pfeleiderer-Dampfaufschluß-Verfahren müssen entsprechend der verfahrenstechnischen Vorgehensweise grundsätzlich vier verschiedene Prozeßstufen unterschieden werden. Dabei kann das Aufschlußverfahren zunächst in einen Vorbrech- und den folgenden Vorquellprozeß unterteilt werden. Im Anschluß daran erfolgt im eigentlichen Aufschlußprozeß der Thermohydrolytische Aufschluß der Holzwerkstoffe. Für den erneuten Einsatz des erhaltenen Recyclingmaterials bei der Herstellung von Holzwerkstoffen ist es weiterhin notwendig, dieses nach dem Aufschluß in einer vierten Prozeßstufe zu sortieren. Für die einzelnen Prozeßstufen wurde zunächst eine entsprechende Verfahrenstechnik entwickelt (Abb. 2, S. 20) und die dafür notwendigen Maschinenbestandteile geplant und installiert.

Für den eigentlichen Aufschlußprozeß muß das Ausgangsmaterial in der ersten Prozeßstufe zunächst vorzerkleinert werden. Dieser Vorbrechprozeß wurde mit einem langsam laufenden Grobbrecher (Fa. Maier/Bielefeld) durchgeführt, dessen Bestückung durch eine Aufgabereinheit (Kipptisch bzw. Schaufellader) erfolgte. Der beim Brechen entstehende Staub wurde abgesaugt und über eine Filteranlage geleitet.

Im Anschluß an das Vorbrechen wurden aus den Holzwerkstoffen freigesetzte metallische Verunreinigungen mittels eines Überbandmagneten (Fe) bzw. einer nachgeschalteten Suchspule (Fe, Ne) von den Bruchstücken getrennt. Diese Trennung vor den weiteren Teilprozessen war notwendig, damit die Verunreinigungen im Prozeßverlauf nicht erwärmt werden müssen, wodurch die Kapazität erhöht und der Energieverbrauch verringert wird.

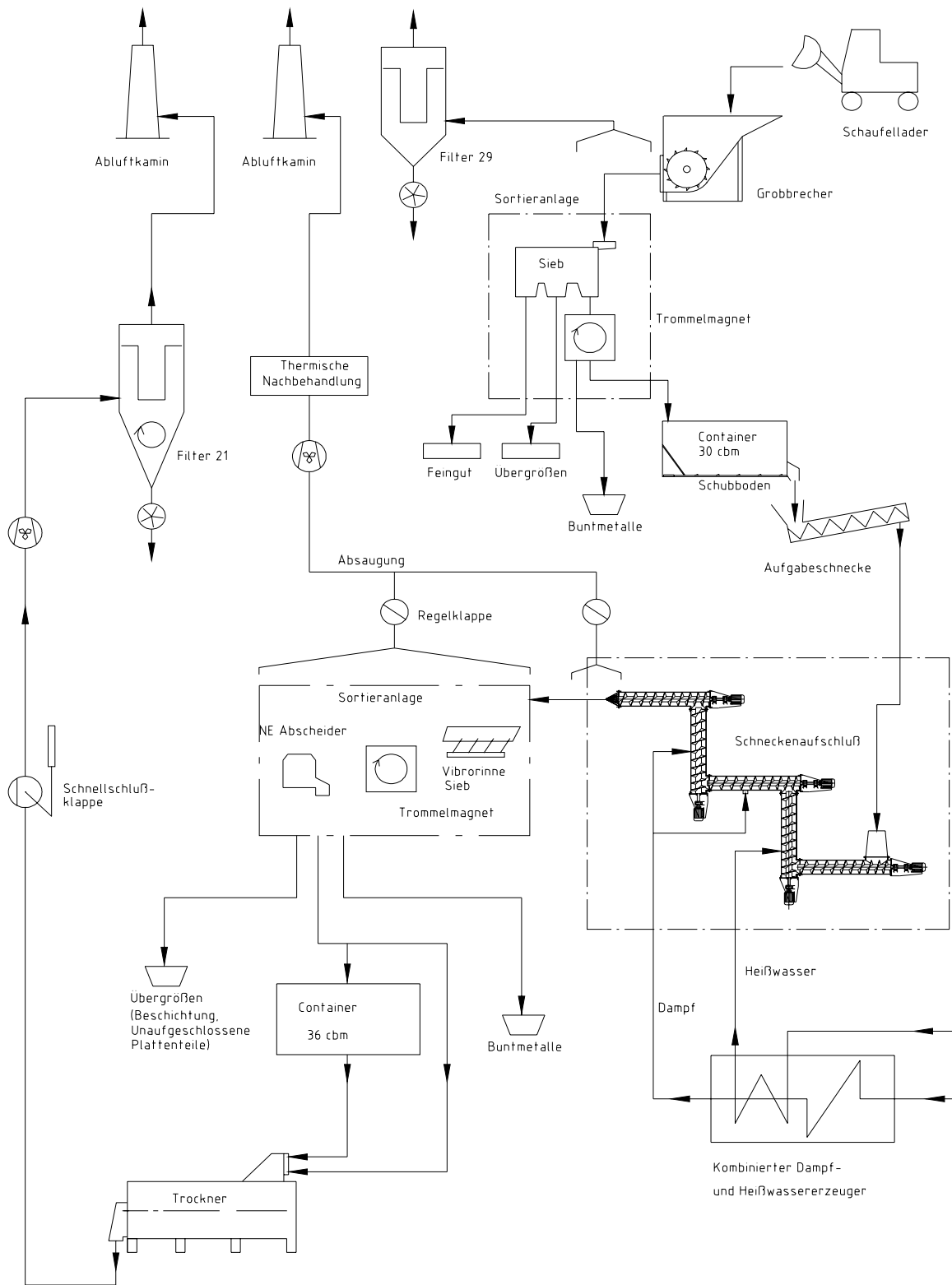


Abb. 2: Ursprünglich geplantes Schema für das kontinuierliche Aufschlußverfahren der Pfeleiderer AG im Werk Rheda-Wiedenbrück

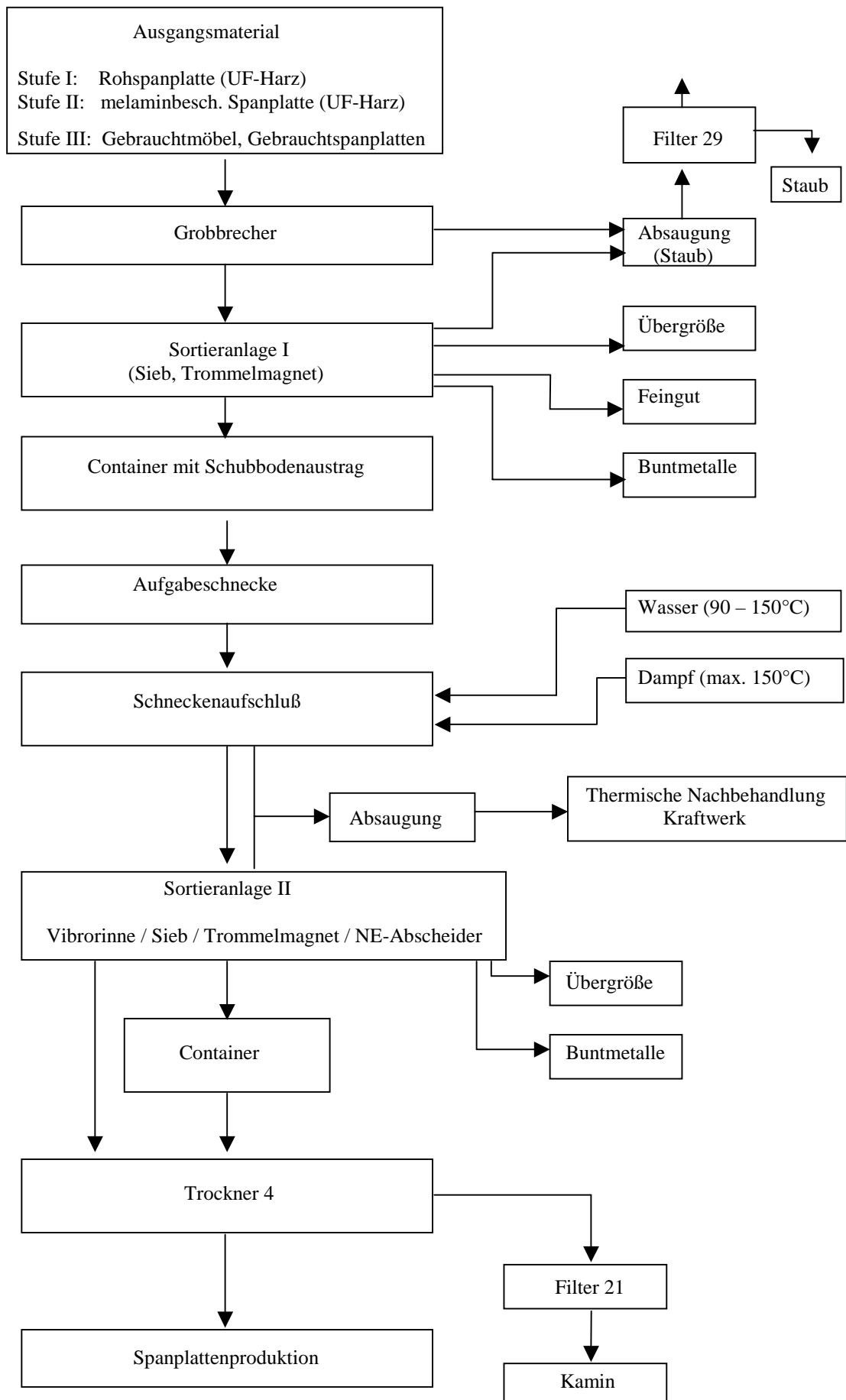


Abb. 3: Ursprünglich geplantes Fließbild und Stoffströme

Das nach dem Vorbrechen erhaltene Material wurde anschließend über eine Siebeinrichtung geführt, wobei Bruchstücke mit Übergröße von der Gutfraktion, die dem folgenden Teilprozeß zugeführt wurde, abgetrennt wurden. Das auf diese Weise erhaltene Material wurde über eine Aufgabeschnecke dem folgenden Teilprozeß der Vorquellung zugeführt. Um die Vorquellung und den folgenden Thermohydrolytischen Aufschluß kontinuierlich durchführen zu können, wurde eine Prozeßtechnologie entwickelt, bei der mehrere baugleiche und druckdichte Rohrschnecken hintereinander geschaltet worden sind. In den ersten beiden Schnecken sollte unter der Zugabe von Wasser (vorzugsweise 90 bis 150°C) das Vorquellen der Spanplattenbruchstücke erfolgen. Die beim Vorquellprozeß aufgenommene Wassermenge sollte durch die Wahl der Vorschubgeschwindigkeit und der dadurch bedingten Verweilzeit der Spanplattenstücke im Wasser stufenlos geregelt werden.

Der eigentliche Aufschlußprozeß der vorgequollenen Plattenstücke erfolgte unter der Zufuhr von Wasserdampf und dem damit verbundenen Aufbau eines bestimmten Druckes (max. 4 bar, 150°C) im zweiten Teil des Rohrschneckensystems (3. und 4. Aufschlußschnecke). Auch dabei bestand wiederum die Möglichkeit, durch die Einstellung der Vorschubgeschwindigkeit der Schnecken die Verweilzeit im druckbeaufschlagten Zustand stufenlos zu steuern. Der Aufbau des Rohrschneckensystems nach einer Modulbauweise (Einsatz mehrerer baugleicher Rohrschnecken und Elektromotoren) ermöglichte über mehrere unabhängig voneinander steuerbare Elektromotoren durch die Anpassung der Vorschubgeschwindigkeit eine grundlegend stufenlose Einstellung der Prozeßparameter. Nach dem eigentlichen Aufschluß wurden freigesetzte Verunreinigungen mittels eines Trommelmagneten (Fe) bzw. einer nachgeschalteten Suchspule (Fe, Ne) vom erhaltenen Aufschlußmaterial getrennt und dieses einem Vibrorinnen-Sieb zugeführt. Durch dieses Sieb wurden nicht aufgeschlossene Holzwerkstoffteile und das nach dem Aufschluß flächig vorliegende Beschichtungsmaterial von den Recyclingspänen getrennt. Die Recyclingspäne wurden möglichst schnell der Trocknung zugeführt und auf eine definierte Endfeuchte getrocknet.

2.1.1.2 Geplante Anlagenkapazität und Betriebszeiten (Funktionsmusteranlage)

Für die Funktionsmusteranlage wurde ein Durchsatz von 1 Tonne Recyclingspan (atro) pro Stunde geplant. Die Betriebszeit der Anlagenteile sollte 24 Stunden pro Tag bei 340 Arbeitstagen pro Jahr betragen.

2.1.1.3 Absaugung Recyclinganlage

Das Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung ist dadurch gekennzeichnet, daß während des Recyclingprozesses das UF-Harz des Ausgangsmaterials teilweise durch Hydrolyse gespalten wird. Das dabei freigesetzte Formaldehyd entweicht vom Span und sollte am Ende der 5. Aufschlußschnecke zusammen mit dem anstehenden Wasserdampf abgesaugt werden. Um die Emission der Recyclinganlage zu minimieren, ist laut Genehmigungsbescheid des Staatlichen Umweltamtes Bielefeld eine thermische Nachbehandlung der Abluft vorgesehen. Da die Zusammensetzung der Abluft der Recyclinganlage annähernd der der Pressenabluft (Conti-Roll-Anlage, hochbelasteter Teil) entspricht, wurde die Absaugleitung von der Recyclinganlage an die bereits bestehende Rohrleitung Presse – Kesselhaus angebunden und die Abluft dem Kesselhaus zur Nachverbrennung zugeführt.

An der Recyclinganlage wird hauptsächlich der austretende Wasserdampf und das beim Aufschluß freigesetzte Formaldehyd mit einem geringen Anteil Falschlufft, der bedingt ist durch die in der Spanplatte eingeschlossene Luft und konstruktionsbedingte Spalte, abgesaugt. Das abgesaugte Volumen beträgt ca. 700 m³/h. Da hiervon der größte Teil auf Wasserdampf entfällt, wird das Volumen durch Kondensation an der nicht isolierten Rohrwandung der Absaugleitung bis zur Anbindung Rohrleitung Presse-Kesselhaus bereits um ca. 1/5 reduziert. Die Kondensation sollte das Anhaften von Verschmutzungen verhindern. Das Kondensat wurde durch die steigende Rohrleitung zur Recyclinganlage zurückgeführt und der 1. Aufschlußschnecke als Prozeßwasser zum Vorquellen zugeführt.

Bei Vermischung mit dem Hauptstrom der Pressenabsaugung kühlt der Dampf von ca. 99°C auf die Mischtemperatur von ca. 55°C ab und kondensiert dabei fast vollständig, so daß nur der geringe Anteil Falschlufft in die Kesselanlage gefördert werden muß. Dadurch wurde die Pressenabsaugung in ihrer Leistung nicht beeinträchtigt.

2.1.1.4 Arbeitsschutz und Sicherheitseinrichtungen

In Absprache mit dem Staatlichen Amt für Arbeitsschutz Paderborn (Herr Eichelmann) und dem TÜV-Hannover/Sachsen-Anhalt (Herr Köker) wurden die für die Funktionsmusteranlage notwendigen Arbeitsschutz- und Sicherheitseinrichtungen festgelegt.

Alle Aggregate und maschinellen Einrichtungen entsprachen den Bestimmungen des Gerätesicherheitsgesetzes und den Unfallverhütungsvorschriften. Die elektrischen Anlagen sowie entsprechende Einrichtungen in Aufstellungsräumen wurden nach den VDE-Vorschriften 0100 bzw. 0113 installiert.

Nach Auskunft des TÜV Paderborn ist das Aufschlußschneckensystem kein Druckbehälter und fällt somit nicht unter die Vorschriften der Druckbehälterverordnung. Trotzdem wurden die Rohrtröge aus Sicherheitsgründen vorsorglich einer Prüfung nach der Druckbehälterverordnung unterzogen.

Bei der Optimierung des Verfahrens bestand die Möglichkeit, daß sowohl am Einfüllstutzen als auch am Spanauslaß des Aufschlußschneckensystems Wasserdampf austritt. Aufgrund dieser Tatsache werden beide Bereiche mit Sicherheitseinrichtungen ausgestattet (Siehe 2.1.2.2.4, S. 36), die bei einem unkontrollierten Wasserdampfaustritt:

1. den Gefahrenbereich abschließen (unzugänglich machen) und
2. die Wasserdampfungzufuhr schließen.

Da es sich bei der Hydrolyse von UF-Harz um keine exotherme Reaktion handelt, besteht nach dem Schluß der Dampfungzufuhr keine Gefahr einer weiteren Selbsterwärmung des Aufschlußsystems.

2.1.1.5 Ausgangsmaterial

Zielstellung des Verfahrens der Thermohydrolytischen Spaltung ist es, gebrauchte Holzwerkstoffe einer stofflichen Verwertung zuzuführen. Demzufolge wird das Ausgangsmaterial jetzt und in Zukunft beim industriellen Einsatz des Verfahrens überwiegend aus gebrauchten Möbeln und anderen Inneneinrichtungs- und Ausbauprodukten bestehen.

Da es sich bei der durchgeführten Maßnahme um eine Funktionsmusteranlage zur verfahrenstechnischen Optimierung handelte, wurde für die Optimierungszwecke das Ausgangsmaterial nach Genehmigungsbescheid des Staatlichen Umweltamtes Bielefeld wie folgt charakterisiert:

Stufe I : Verfahrensoptimierung	UF-Harz-gebundene Rohspanplatten aus Produktionsrückständen und Ausschuß Werk Rheda - EAK-Nr.: 030103
Stufe II : Verfahrensoptimierung	UF-Harz-gebundene melaminbeschichtete Spanplatten aus Produktionsrückständen und Ausschuß Werk Rheda - EAK-Nr.: 030103
Stufe III : Recycling von Möbeln	Gebrauchtmöbel und Gebrauchtspanplatten EAK-Nr.: 200107 170201 030103

2.1.2 Aufschlußoptimierung

Bei der geplanten Funktionsmusteranlage handelte es sich um eine Anlage zur Ermittlung verfahrenstechnischer und fördertechnischer Werte (Anzahl und Ausführung der Schneckenförderer bezüglich Anordnung, Verweildauer, Durchsatzleistung, Antriebsleistung und Drehzahlen, sowie erforderlichem Druckabbau und Druckaufbau). Die Ermittlung der notwendigen und optimalen Aufschlußbedingungen war eine weitere Aufgabe der Funktionsmusteranlage.

Ein wichtiger Meilenstein bei der Projektdurchführung war zu prüfen, ob mit der erarbeiteten Anlagenkonfiguration ein kontinuierlicher Aufschluss von Holzwerkstoffen nach dem Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung möglich ist. Voraussetzung hierfür ist die Bildung dynamischer Produktstopfen innerhalb des Schneckensystems, welche den druckbeaufschlagten Bereich zum Ein- bzw. Auslaß hin abgrenzen. Die ersten Aufschlußoptimierungen dienten der Prüfung dieser notwendigen technischen Voraussetzung. Für die ersten Optimierungsversuche wurden zunächst Harnstoff-Formaldehyd-Harz-gebundene Rohspanplatten aus Produktionsrückständen und Ausschuß des Werkes Rheda-Wiedenbrück (Stufe I Genehmigungsbescheid) eingesetzt.

2.1.2.1 Brecheranlage

Für den Aufschlußprozeß ist es notwendig, das Ausgangsmaterial zu Bruchstücken mit einer Kantenlänge von ca. 120 mm aufzubereiten. Hierzu wurde eine Brecheranlage der Firma Maier, Bielefeld, mit Metallausschleusung geplant und installiert. Die Brecheranlage wurde auf dem vorhandenen Holzplatz errichtet. In Anlage 1 ist der Anlagenaufstellplan dieses Anlagenbestandteils dargestellt. Aus dem Aufstellplan ist der Aufbau der Brecheranlage ersichtlich.

2.1.2.1.1 Technische Daten

- **Kipptisch:** Kippvorrichtung für Spanplattenstapel in verlängerter Ausführung
Breite: ca. 3060 mm
Länge: ca. 6500 mm
Höhe: ca. 3600 mm
Ausgelegt für Plattenstapel bis ca. 500 mm Höhe
Plattform mit hydraulischer Kippvorrichtung
Hydraulisch betätigte Plattenvereinzier
- **Brecher:** Maier Großbrecher MGB 160/4000
Austauschbare Austragsroste und Brecherleisten zur Veränderung der Endmaterialgröße

Höhe: 3400 mm
Breite: 4500 mm
Trichtervolumen: ca. 20m³
Rotordurchmesser: 610 mm
Drehzahl: ca. 24 U/min
Antriebsleistung: 160 kW
- **L-Bandförderer:** Mit VA-Zone für die Installation eines Überbandmagneten im Bereich der Antriebsstation
Achsabstand: 19.500 mm
Nutzbreite: 1.150 mm
Steigung: 34°
Antriebsleistung: 5,5 kW
- **Elektr. Überbandmagnetabscheider:**

Magnetleistung: 6 kW
Antriebsleistung: 3 kW
Ansprunghöhe: 400 mm
- **Sortierband:** Mit Holztrog zur Installation einer Metallsuchspule
Achsabstand: 12.000 mm
Nutzbreite: 1.000 mm
Antriebsleistung: 4 kW
- **Suchspule mit Ausschleusklappe:**

Metallsuchgerät Alutron als Tunnelsuchspule, Typ Alutron 2,2C
Die motorisch betätigte Ausschleusklappe wird durch Signale der Suchspule geschaltet.

- **Steigband:** Länge: 9.500 mm
Nutzbreite: 1.060 mm
Antriebsleistung: 5,5 kW

- **Sieb:** Typ ARSM 322, Fa. Allgaier
Antriebsleistung 7,5 kW

- **Absaugung mit Filtereinheit**

Filter 1R25-90/20, Fa. Lübke
Ventilator Typ L090/250-6-R, Fa. Lübke
Antriebsleistung 75 kW

- **Brandschutz:** Funkenmeldezentrale CC702 +2, Fa. Gre Con
Funkenmelder und Wasserlöschung

2.1.2.1.2 Funktion und Arbeitsweise

Die Beschickung des Brechers erfolgt mittels Radlader bei Gebrauchtspanplattenteilen bzw. mittels Kipptisch bei Ausschußspanplatten. Das zerkleinerte Material wird mit einem Austragsband (L-Förderer) vom Brecher abtransportiert und auf ein weiteres Band übergeben. In der Wurfparabel erfolgt durch einen dort angeordneten Überbandmagneten die Fe-Ausschleusung (Eisen-Metall-Ausschleusung).

Das folgende Band ist mit einer Suchspule ausgerüstet, durch welche eine Separationsklappe zur Ausschleusung von NE-Metallen (Nicht-Eisen-Metallen) angesteuert wird. Das Material wird schließlich einer Siebeinrichtung zugeführt, in der das Überkorn abgeschieden wird.

Weiterhin erfolgt eine Absiebung des beim Brechen entstehenden Staubes. Die Brecheranlage ist mit einer Absaugung ausgestattet, damit entstehender Staub über einen Filter abgeschieden werden kann. Damit werden die staubförmigen Emissionen der Brecheranlage reduziert.

Das erhaltene vorgebrochene Material wird auf dem Holzplatz zwischengelagert und mittels Container der Hydrolyseanlage zugeführt.

2.1.2.1.3 Optimierte Parameter des Vorbrechprozesses

Die Optimierung der Bruchstückgröße erfolgte unter Verwendung von definiertem Ausgangsmaterial (Ausschußplatten, Rheda). Dieses wurde über den Kipptisch dem Brecher zugeführt. Durch Variation der Laufgeschwindigkeit der Brecherwelle und des Abstandes der Brechleisten erfolgte die Optimierung des Vorbrechprozesses.

Optimierte Brecherparameter:	Drehzahl Welle:	24 U/min
	Abstand Brecherleisten:	Außen: 239 mm Innen: 104 mm

2.1.2.2 Schneckenaußschlußanlage

Ausgehend von der ursprünglich geplanten Verfahrens- und Anlagentechnik der Schneckenaußschlußanlage (2.1.1.1, S. 19) erfolgte nach der Installation der verschiedenen Anlagenbestandteile die Optimierung der einzelnen Prozeßparameter.

2.1.2.2.1 Vorquellung

Das vorgebrochene Ausgangsmaterial wurde mittels Radlader in den Schubbodencontainer der Funktionsmusteranlage gefüllt. Über eine Aufgabeschnecke mit folgendem Einfallschacht wurde zunächst das Aufschlußschneckensystem beschickt. In Schnecke 2 wurde dem Material Wasser mit bestimmter Temperatur und Menge zugesetzt. Über die Verweilzeit innerhalb dieses Bereiches des Schneckensystems, welche durch die Drehzahl bestimmt wurde, sollte die Wasseraufnahme reguliert werden. Die Versuche zeigten, daß das Vorquellen innerhalb des Schneckensystems grundsätzlich möglich ist, jedoch die Regelung der Zudosierung der optimalen Wassermenge Probleme bereitet. Wurde Wasser im Überschuß zur Verfügung gestellt, führte dies zum Aufschwimmen der Bruchstücke im Einfallschacht, wodurch kein Material mehr nachgeführt werden konnte.

Aufgrund dieser Tatsache sahen wir es als notwendig an, den Quellprozeß außerhalb des Aufschlußschneckensystems durchzuführen. Grundlegende Voraussetzung war es, das Vorquellen auch kontinuierlich durchführen zu können. Zur Realisierung dieses Anspruches wurde ein "Vorquelltauchförderer" geplant und installiert (Abb. 4, S. 30).

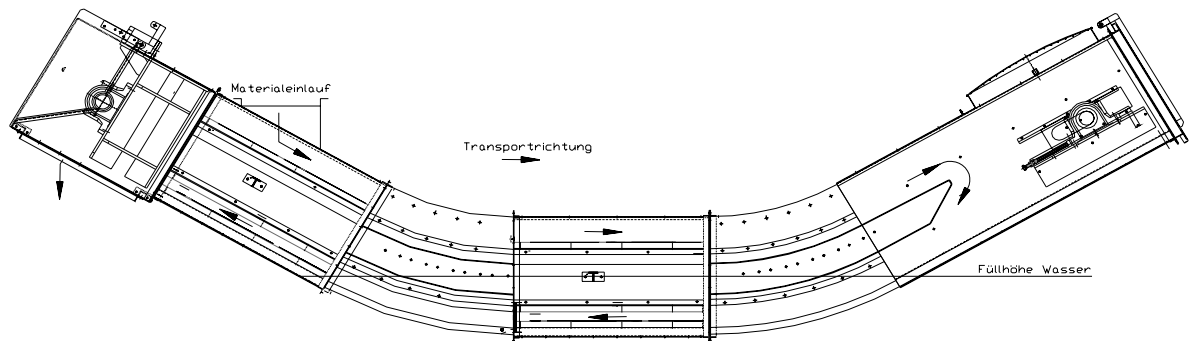


Abb. 4: Konstruierter und installierter Vorquell-Trogkettenförderer

Das Bruchmaterial wurde mittels Austragsschnecke am Schubbodencontainer dem Tauchförderer zugeführt. Dieser wurde im Untertrum vollständig mit Wasser geflutet. Aufgrund der Konstruktionsweise des Förderers muß das Material zwangsweise durch das Wasser gezogen werden.

Über die Wassertemperatur und die Laufgeschwindigkeit des Förderers konnte die von den Bruchstücken aufgenommene Wassermenge zielgerichtet variiert werden. Um einen optimalen Aufschlußprozeß durchführen zu können, ist für das Verfahren eine aufgenommene Wassermenge von ca. 30 - 40 Prozent des Ausgangsgewichtes der Bruchstücke als optimal anzusehen.

Der Wasserstand im Förderer wird über einen Initiator überwacht, so daß nur das von den Bruchstücken aufgenommene Wasser nachgespeist wurde.

Die Optimierung des Vorquellprozesses führte zu den folgenden Verfahrensparametern:

- Wassertemperatur Zulauf : 80°C
- Verweilzeit im Wasser : 3 min.
- Aufgenommene Wassermenge : 30 – 40 % des Ausgangsgewichtes (lutro)

2.1.2.2.2 Beschickung des Aufschlußschneckensystems

Die ursprüngliche Beschickung des Aufschlußschneckensystems mittels Förderschnecke und folgenden Fallschacht erwies sich als nicht zweckgemäß, da die Bruchstücke im Fallschacht bei einem kurzzeitigen Stillstand der Anlage nachquollen und somit zu einer Brückenbildung führten.

Deshalb wurde die Aufgabeschnecke durch einen Trogkettenförderer ersetzt. Das Material wird durch die Mitnehmer des Förderers unmittelbar über das Schneckenblatt von Aufschlußschnecke 1 gezogen, so daß dieses immer mit Material gefüllt war. Überschüssiges Material wurde über eine Rückführschnecke wieder dem Schubbodencontainer zugeführt. Durch diese Konstruktion konnte eine Brückenbildung bei dem Befüllen des Aufschlußschneckensystems ausgeschlossen werden.

2.1.2.2.3 Das Aufschlußschneckensystem

Die ursprüngliche Planung sah ein Aufschlußschneckensystem von 5 Stück baugleichen Rohrschneckenförderern (Abb. 5, S. 31) vor.

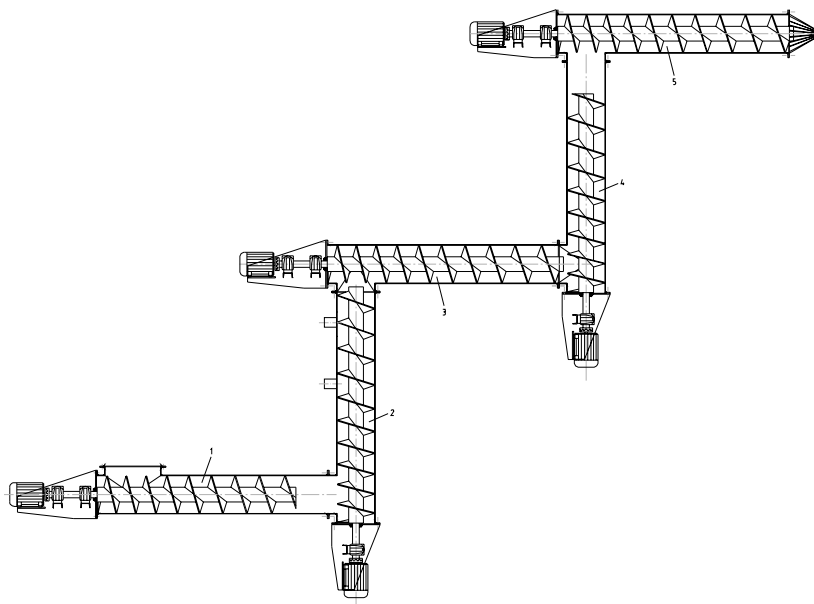


Abb. 5: Ursprünglich geplantes Aufschlußschneckensystem

Die Aufschlußschnecken wurden als Abzugs- und Stopfschneckenförderer mit stirnseitigem Auslauf und vorgeflanschten Rohrstutzen zwecks Stopfenbildung ausgelegt. Der Produktstopfen sollte den Überdruck in der 3. und 4. Aufschlußschnecke abfangen. In der 3. und 4. Aufschlußschnecke wurde das Produkt mit Wasserdampf (max. 4 bar, 150°C) beaufschlagt. Die 5. Aufschlußschnecke diente als Austragschnecke und hatte austragsseitig einen Stutzen mit variablem Querschnitt (Federblende), mit dem die erforderliche Stopfenbildung zum endgültigen Druckabschluß erzielt werden sollte.

Die Aufschlußschnecken waren durch folgende technische Daten gekennzeichnet:

Leistungsdaten:

Fördergut : Geschredderte Spanplatten
Körnung : 0 - max. 120 × 120 mm
Schüttgewicht : ca. 300 kg/m³
Feuchte : 10 - 100 %
Temperatur : 80 - 150°C
Förderleistung : 1 t atro/h (regelbar über Frequenzsteuerung)

Druckbereich:

Medium : Wasserdampf
Druck : max. 4 bar (absolut)
Temperatur : max. 150°C

Technische Daten:

Mantelrohr : 457 × 10 mm
Länge : 25.000 mm
Stirnflansche : DIN 2573 NW 450
Einlaufstutzen : DIN 2573 NW 450
Antriebsschild : mit 2facher Lagerung

Schneckenflügel-Ø : 406 mm
Steigung : 200-250 mm
Rohrwelle : 159 × 14,2 mm
Schneckenflügel : 15 mm dick

Antrieb:

SEW Getriebemotor
P = 4 kW; n = 5,6 U/min; 400 V; 50 Hz; IP 54
mit Kaltleiterfühler für beidseitige Frequenzsteuerung

Werkstoff: St 37

Durch die Einstellung der Drehzahlen einzelner Schnecken wurde zunächst versucht, im Bereich zwischen Schnecke 1 und 2 bzw. zwischen Schnecke 4 und 5 einen Produktstopfen aufzubauen, welcher einen Druckaufbau in den Schnecken 3 und 4 ermöglichen sollte. Weiterhin wurde zum endgültigen Druckabschluß am Spanauslaß der Schnecke 5 eine Federblende installiert. In den Aufschlußschnecken 3 und 4 erfolgte die Zufuhr von Wasserdampf und somit der Aufbau eines bestimmten Druckes. In verschiedenen Versuchsreihen wurde der Druck kontinuierlich soweit erhöht, bis die Produktstopfen innerhalb des Schneckensystems diesen nicht mehr Stand hielten.

Ausgehend von der ursprünglich geplanten Verfahrenstechnik haben zahlreiche Optimierungsversuchen gezeigt, daß an der Funktionsmusteranlage Umbaumaßnahmen erfolgen mußten, um einen kontinuierlichen Recyclingbetrieb zu gewährleisten. Nach mehrmaliger Änderung der Anordnung und Optimierung der Drehzahlen der Aufschlußschnecken und des beaufschlagten Druckes wurde das o. g. Ziel des Druckabschlusses durch die Bildung dynamischer Produktstopfen innerhalb des Aufschlußschneckensystems erreicht.

Dabei zeigte sich, daß die ausgelegte Antriebsleistung der Aufschlußschnecken von 4 KW zur druckdichten Stopfenbildung nicht ausreichte. Deshalb wurden die Aufschlußschnecken mit einem Antrieb von 7,5 KW ausgestattet.

In den Optimierungsarbeiten wurde festgestellt, daß die für einen vollständigen Aufschluß notwendige Verweilzeit im Schneckensystem länger war als ursprünglich geplant. Aufgrund dieser Tatsache konnte mit den 5 Aufschlußschnecken nicht der gewünschte Durchsatz Recyclingmaterial (1t at/h) erreicht werden. Um die Recyclingspanmenge von 1t/h herzustellen, wurde eine 6. Aufschlußschnecke installiert. Somit konnte die Drehzahl im Schneckensystem insgesamt erhöht und die Durchsatzleistung entsprechend gesteigert werden. Der Druckaufbau im Schneckensystem erfolgte durch die Einleitung von Wasserdampf in Aufschlußschnecke 2, 3 und 4.

Die Optimierungsversuche im "Hand-Betrieb" zeigten, daß zum vollständigen automatischen Betrieb der Funktionsmusteranlage einerseits eine automatische Regelung der Drehzahl von Aufschlußschnecke 2 in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme von Aufschlußschnecke 1 und andererseits eine Regelung der Drehzahl von Aufschlußschnecke 6 in Abhängigkeit von

der Leistungsaufnahme von Aufschlußschnecke 5 notwendig ist (Abb. 6, S. 34). Nur so bestand die Möglichkeit, die Bildung der dynamischen Produktstopfen und deren Dichtheit zu gewährleisten. Weiterhin wurde festgestellt, daß Aufschlußschnecke 6 zum Materialaustrag mit einer minimalen und maximalen Drehzahl gesteuert werden muß.

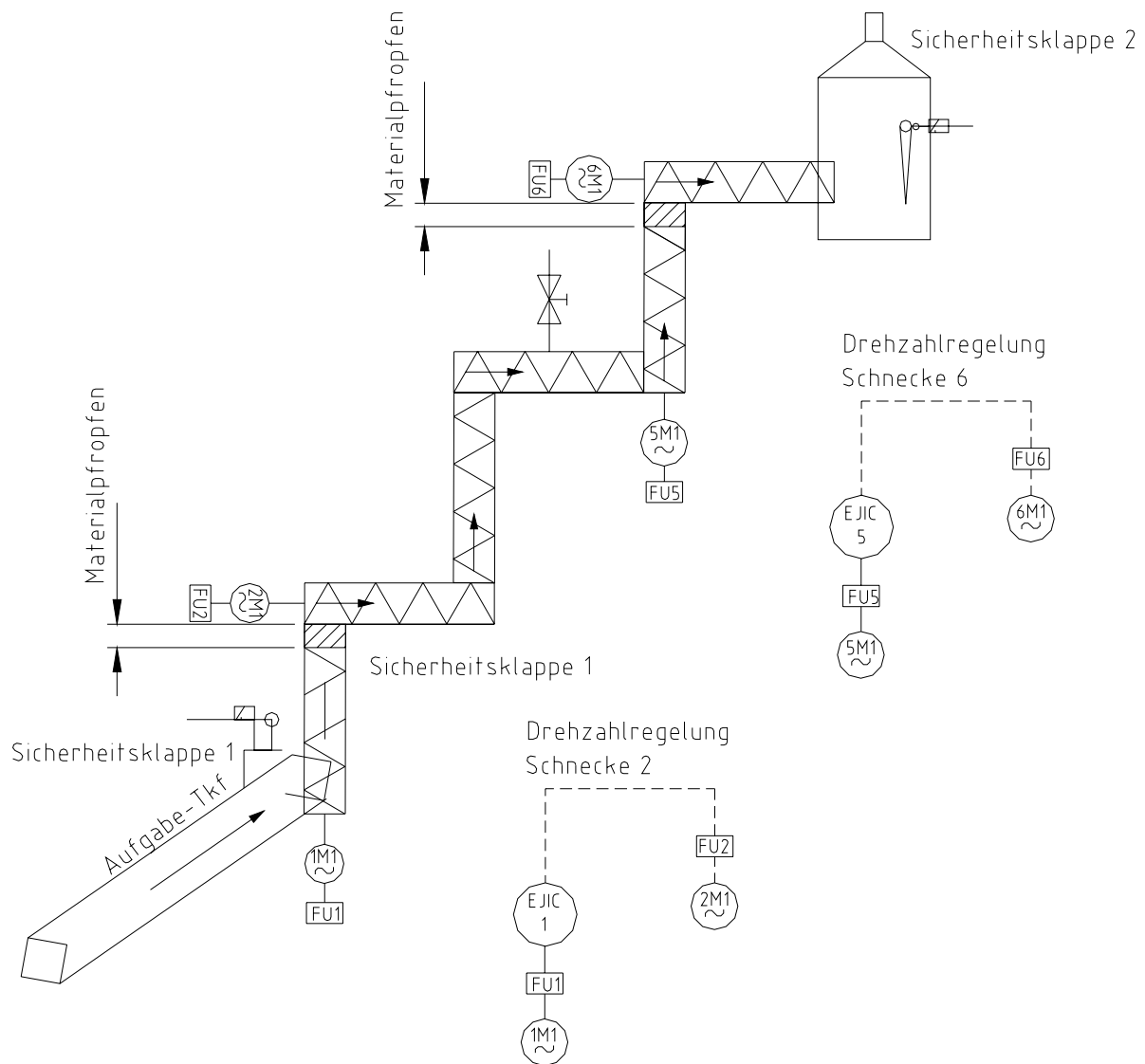


Abb. 6: Regelung der Dichtheit der dynamischen Produktstopfen

Durch Optimierung der Regelparameter (Leistungsaufnahme Schnecke 5, min. und max. Drehzahl von Schnecke 6) wurde ein "Automatik-Betrieb" der Funktionsmusteranlage erreicht. Nach Abschluß der Optimierungsarbeiten wurden die folgenden Betriebsparameter als optimal angesehen:

Aufschlußschnecke 1: Drehzahl: 7,12 U/min
Stromaufnahme_{Soll}: 12 A
Produktstopfen_{Länge}: 280 mm

Aufschlußschnecke 2: Drehzahl: 0,87 – 6,73 U/min
Druck: 2,8 bar (absolut)
Temperatur: 125°C

Die Drehzahl von Schnecke 2 wird über die Stromaufnahmen von Schnecke 1 geregelt. Bei Überschreitung des Sollwertes wird die Drehzahl von Schnecke 2 erhöht, bei Unterschreitung des Sollwertes entsprechend verringert.

Aufschlußschnecke 3: Drehzahl: 6,73 U/min
Druck: 3,2 bar (absolut)
Temperatur: 130°C

Aufschlußschnecke 4: Drehzahl: 6,73 U/min
Druck: 3,2 bar (absolut)
Temperatur: 130°C

Aufschlußschnecke 5: Drehzahl: 6,73 U/min
Temperatur: 130°C
Produktstopfen_{Länge}: 320 mm

Aufschlußschnecke 6: Drehzahl: 1,02 – 5,1 U/min
Stromaufnahme_{Soll}: 11 A
Temperatur: 110°C

Die Drehzahl von Schnecke 6 wird über die Stromaufnahmen von Schnecke 5 geregelt. Bei Überschreitung des Sollwertes wird die Drehzahl von Schnecke 6 erhöht, bei Unterschreitung des Sollwertes entsprechend verringert.

Mit den optimierten Aufschlußparametern wurde ein Durchsatz von 1 Tonne_{atro} pro Stunde Recyclingspan erreicht. Das Recyclingmaterial war durch eine Feuchte von ca. 50 Prozent gekennzeichnet.

2.1.2.2.4 Arbeitsschutz und Sicherheit

Im Bereich des Einfalls von Ausflußschnecke 1 und am Materialauslaß von Aufschlußschnecke 6 ist insbesondere bei Betriebsstörungen ein plötzliches Austreten von Wasserdampf und heißem Material möglich. Aufgrund dieser Tatsache sind beide Bereiche mit Sicherheitseinrichtungen ausgestattet (Abb. 7, S. 36), die bei einem unkontrollierten Wasserdampfaustritt:

1. den Gefahrenbereich abschließen (unzugänglich machen) und
2. die Wasserdampfzufuhr über ein Pneumatikventil schließen.

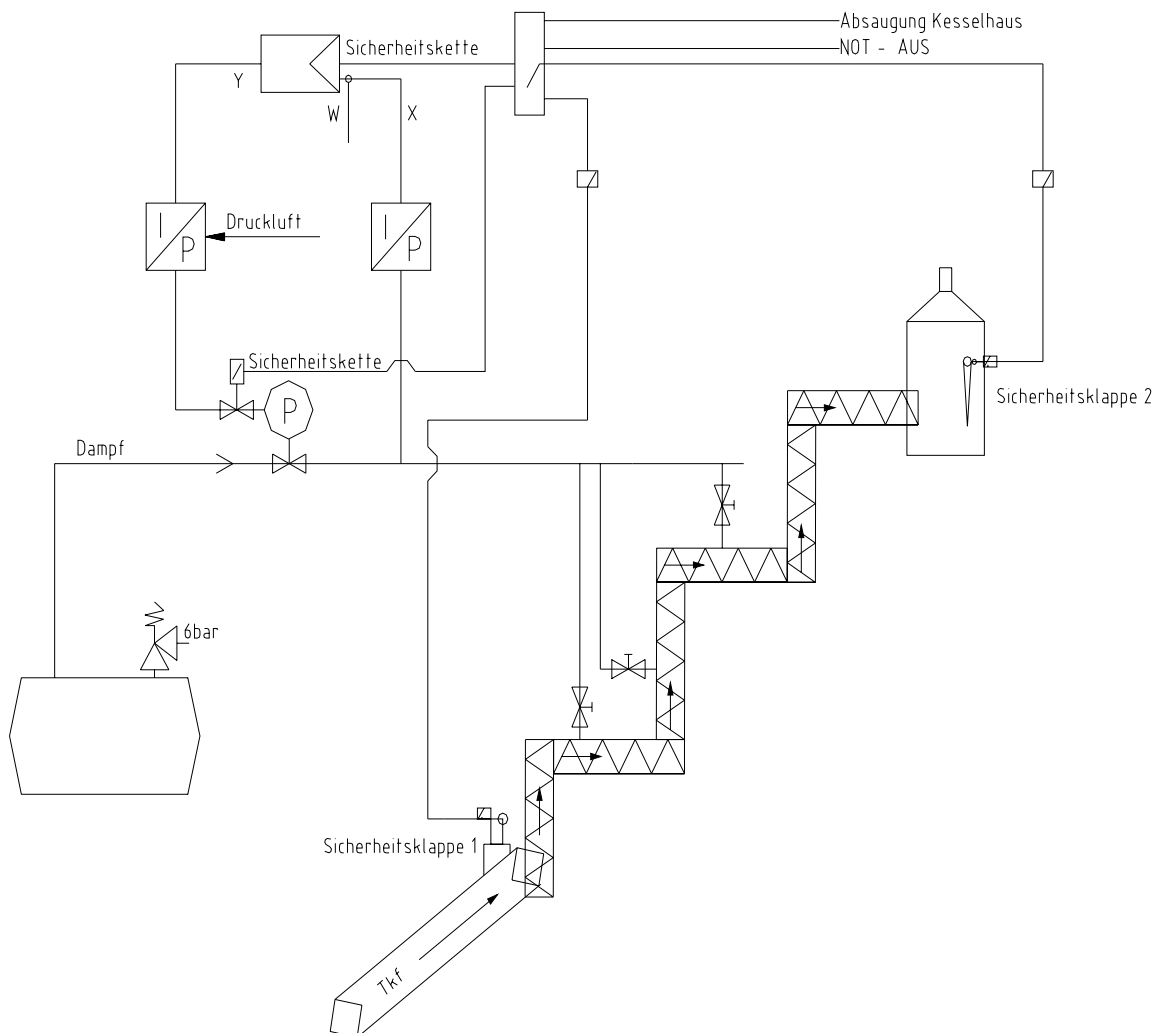


Abb. 7: Sicherheitseinrichtungen, Sicherheitsklappe 1 und 2 mit Endschalter

2.1.2.2.5 Das Siebssystem

Nach dem eigentlichen Aufschluß wurden freigesetzte metallische Verunreinigungen mittels Magneten (Fe) vom Spanmaterial getrennt und das Recyclingmaterial letztlich einem Vibrorinnen-Sieb zugeführt, durch das nicht aufgeschlossene Holzwerkstoffteile und das nach dem Aufschluß flächig vorliegende Beschichtungsmaterial von den Recyclingspänen getrennt wurden.

Die optimale Lochung des Siebbleches wurde in verschiedenen Siebversuchen ermittelt (Langloch 8×6 mm). Da beim Thermohydrolytischen Aufschluß Holzinhaltstoffe (z. B. Holzsäuren) freigesetzt werden, wurde die Vibrorinne mit einer speziellen Lackierung (Grundierung mit 2K-Füllgrund auf Polyurethanbasis, Deckanstrich mit Oldodur adn) ausgestattet, um eine Korrosion zu vermeiden.

2.1.2.2.6 Anbindung Trockner

Um eine Abkühlung des Recyclingmaterials nach dem Aufschluß zu vermeiden, wurde unmittelbar nach der Vibrorinne ein Trogkettenförderer installiert, welcher den Span unmittelbar der Trocknung zuführt. Somit wurde eine Eingangstemperatur des Spanes in den Trockner von ca. 60 - 80°C gewährleistet.

2.1.2.3 Endgültiges Anlagenkonzept

Grundsätzlich konnte gezeigt werden, daß das optimierte Anlagenkonzept zum kontinuierlichen Recycling verfahrenstechnisch und maschinell durchführbar ist. Durch zahlreiche, reproduzierbare Versuche wurde die Funktionalität der Funktionsmusteranlage nachgewiesen.

Die Anlage 2 zeigt den endgültigen Anlagenaufstellplan der optimierten Schnecken-aufschlußanlage. Die optimierten Aufschlußparameter sind aus 2.1.2 (S. 26) ersichtlich.

2.1.2.3.1 Anlagenbestandteile

Die Schneckenaufschlußanlage zur Thermohydrolytischen Spaltung ist aus den folgenden Einzelmaschinen aufgebaut (Siehe Aufstellplan Schneckenaufschluß, Anlage 2):

- 1 Kombiniertes Dampf- und Heißwassererzeuger
- 2 Schubbodencontainer 1
- 3 Ausstragsschnecke 1
- 4 Vorquell-TKF
- 5 Rückführschnecke
- 6 Aufschlußschneckensystem (bestehend aus Aufschlußschnecken 1, 2, 3, 4, 5, 6)
- 7 Vibrorinne
- 8 Abzugsförderer
- 9 Permanentmagnet
- 10 Absauganlage

2.1.2.3.2 Technische Beschreibung und Funktion der Anlagenbestandteile

- **Dampf- und Heißwassererzeuger**

Der Prozeßdampf- und Heißwassererzeuger dient zur Erzeugung der für die Thermohydrolyse notwendigen Medien Dampf und Heißwasser. Die Beheizung erfolgt mit Dampf aus dem Betriebsnetz. Der Prozeßdampf- und Heißwassererzeuger wird mit Speisewasser aus einer eigenständigen Wasseraufbereitungsanlage versorgt. Über die Steuerung des Dampf- und Heißwassererzeugers können die Parameter Dampfdruck und Wassertemperatur zur Versorgung der Hydrolyseanlage geregelt werden.

Leistung: 2,5 t/h Dampf, 4 bar (Ü)
2,5 t/h Heißwasser 151,8°C

- **Schubbodencontainer**

Der Schubbodencontainer dient nach dem Befüllen auf dem Holzplatz zunächst zum Transport des gebrochenen Materials zur Hydrolyseanlage. Ist der Container ordnungsgemäß auf dem Gestell an der Hydrolyseanlage abgestellt, wird das Material durch den im Container integrierten Schubboden in die Austragsschnecke gefördert.

Gerüst: Schweißkonstruktion mit verspannten Seitenwänden in offener Containerbauform
Verspannte Schleißböden aus 8 mm Blech (NAXTRA)
Auswurfstelle mit verspannter Klappe/Pendelklappe

Antrieb: Der Antrieb der Schubbodensegmente erfolgt über Hydraulikzylinder

Schubboden: Verspannter Schleißboden aus 8 mm Blech (NAXTRA) mit aufgeschweißten Gegenhaltern
Schubrechen als geschweißte Profilstahlkonstruktion

- **Austragsschnecke**

Die Austragsschnecke transportiert das mit dem Schubboden aus den Container ausgetragene Material in den Vorquell-Trogkettenförderer.

Schnecke: Stahlrohr \varnothing 168 mit aufgeschweißten Schneckenflügeln
Außendurchmesser der Schnecke 500 mm

Antrieb: Stirnradtriebemotor, Leistung 5,5 kW
Kraftübertragung mittels elastischer Klauenkupplung

- **Vorquell-TKF**

Im Vorquell-TKF wird das Material vorgequollen und anschließend der Aufschlußschnecke 1

zugeführt. Dabei wird das Material im Überschuß transportiert. Somit wird gewährleistet, daß der Einfall von Aufschlußschnecke 1 immer vollständig gefüllt ist. Das im Überschuß transportierte Material wird der Rückführschnecke zugeführt.

TKF 500

- **Rückführschnecke**

Die Rückführschnecke transportiert das durch den Aufgabe-TKF im Überschuß geförderte Material in den Schubbodencontainer zurück.

Länge : 6900 mm

Trog-Ø: 520 mm

Rohrwelle: 220 mm

Antrieb: SEW Getriebemotor, P = 7,5 kW

- **Aufschlußschneckensystem (Aufschlußschnecke 1 – 6)**

Im Aufschlußschneckensystem (Aufschlußschnecke 1 bis 6) erfolgt unter der Zugabe von Wasserdampf der Thermohydrolytische Aufschluß der Spanplatten.

- **Vibrorinne**

Die Vibrorinne dient zum Trennen von aufgeschlossenen Spanmaterial und Grobgut (unaufgeschlossene Holzwerkstoffe, Beschichtungsteile usw.).

Typ: Maier Vibro-Sieb-Rinne VR 1200/3600

Antrieb: 2 × 1,7 kW, 400 V, 50 Hz

- **Abzugs-TKF**

Der Abzugs-TKF transportiert das aufgeschlossene Spanmaterial in den Beschick-Förderer von Trockner 4. Im Reversierbetrieb kann das aufgeschlossene Spanmaterial durch eine Auslaßklappe in eine Mulde gefördert werden.

TKF 300, Einstrangförderer

- **Absauganlage**

Das Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung ist dadurch gekennzeichnet, daß während des Recyclingprozesses das UF-Harz des Ausgangsmaterials teilweise durch Hydrolyse gespalten wird. Das dabei freigesetzte Formaldehyd entweicht vom Span und wird am Ende von Aufschlußschnecke 6 zusammen mit dem anstehenden Wasserdampf abgesaugt und einer thermischen Nachbehandlung im Kesselhaus zugeführt.

2.1.2.3.3 Betriebsbeschreibung

In der Abbildung 8 (S. 42) ist das endgültige Fließbild zur erarbeiteten und optimierten Anlagentechnik dargestellt.

Auf dem Holzplatz wird der Schubbodencontainer mittels Radlader mit vorgebrochenem Material beschickt, anschließend mittels LKW zur Hydrolyseanlage transportiert und auf das Untergestell abgestellt.

Der Austrag des gebrochenen Materials aus dem Container erfolgt durch einen im Container integrierten Schubboden. Durch diesen wird das Material in die Austragsschnecke transportiert und von dieser dem Vorquell-TKF zugeführt.

Innerhalb des Vorquell-TKF's erfolgt der Vorquellprozeß. Dabei wird das Material durch Wasser mit bestimmter Temperatur transportiert. Das Wasser wird während des Transportes von den Bruchstücken aufgenommen. Um ein optimales Aufschlußergebnis unter

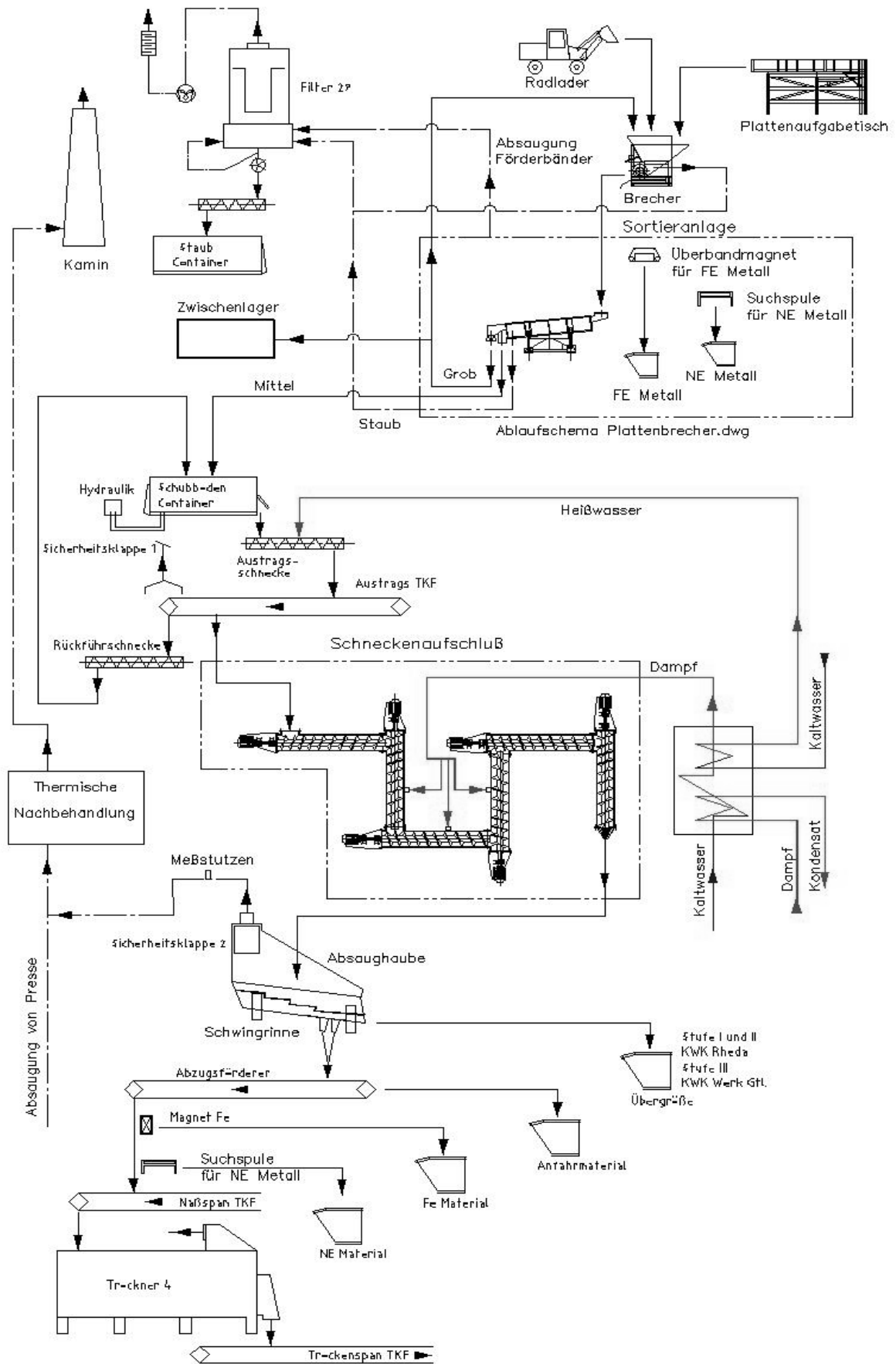


Abb. 8: Endgültig erarbeitetes und optimiertes Verfahrensfließbild

wirtschaftlich vertretbaren Aufschlußzeiten zu erreichen, ist es notwendig, daß die Holzwerkstoffbruchstücke beim Quellprozeß ca. 30 bis 40 Prozent ihres Eigengewichts (lutro, bei einer Ausgleichsfeuchte der Platten von 5 bis 8 Prozent) an Wasser aufnehmen.

Um den folgenden thermohydrolytischen Aufschluß kontinuierlich durchführen zu können, wurde eine Prozeßtechnologie entwickelt, bei der sechs baugleiche und druckdichte Rohrschnecken (Aufschlußschneckensystem bestehend aus Aufschlußschnecke 1, 2, 3, 4, 5, 6) hintereinander geschaltet sind. Das Material wird durch den Vorquell-TKF der Aufschlußschnecke 1 zugeführt.

Zur Gewährleistung einer kontinuierlichen und konstanten Beschickung des Aufschlußschneckensystems wird vom Vorquell-TKF Material im Überschuß transportiert. Von der Aufschlußschnecke 1 nicht aufgenommenes Material wird durch die Rückführschnecke wieder in den Schubbodencontainer 1 gefördert.

Der eigentliche Aufschlußprozeß der vorgequollenen Plattenstücke erfolgt unter der Zufuhr von Wasserdampf (in Aufschlußschnecke 2, 3 und 4) und dem damit verbundenen Aufbau eines bestimmten Druckes. Dabei besteht wiederum die Möglichkeit, durch die Einstellung der Vorschubgeschwindigkeit der einzelnen Schnecken die Verweilzeit im druckbeaufschlagten Zustand stufenlos zu steuern.

Die Steuerung des Dampfdruckes in der Versorgungsleitung der Hydrolyseanlage erfolgt am Dampferzeuger. Durch ein Handventil in der Dampfleitung der Aufschlußschnecken 2, 3 und 4 kann die Dampfzufuhr und somit der Dampfdruck innerhalb der einzelnen Aufschlußschnecken geregelt werden.

Das Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung ist dadurch gekennzeichnet, daß während des Recyclingprozesses das UF-Harz des Ausgangsmaterials teilweise durch Hydrolyse gespalten wird. Das dabei freigesetzte Formaldehyd entweicht teilweise vom Span und wird am Ende der 6. Aufschlußschnecke zusammen mit dem anstehenden Wasserdampf abgesaugt und einer thermischen Nachbehandlung zugeführt.

Nach dem eigentlichen Aufschluß wird das erhaltene Material einem Vibrorinnen-Sieb zugeführt. Durch dieses Sieb werden nicht aufgeschlossene Holzwerkstoffteile und das nach

dem Aufschluß flächig vorliegende Beschichtungsmaterial von den Recyclingspänen getrennt.

Das erhaltene Grobgut wird in einer Grobgutmulde gesammelt und der Verbrennung zugeführt. Die Recyclingspäne werden mit dem Abzugsförderer dem Trockner 4 zugeführt und dort auf eine definierte Endfeuchte getrocknet. Es besteht die Möglichkeit, den Abzugsförderer reversieren zu lassen und das Recyclingmaterial in eine Mulde zu fahren. Dies ist im Anfahrbetrieb notwendig, um noch nicht vollständig aufgeschlossenes Spanmaterial auszuschleusen. Das Anfahrmaterial wird der thermischen Verwertung zugeführt.

2.1.3 Trocknungsanalyse

2.1.3.1 Technikumsversuch

Um die Zusammensetzung der Abluft der Funktionsmusteranlage und der Trocknerabluft annähernd bestimmen zu können, wurde in einem Laborversuch unter Anwendung der praxisüblichen Trocknungsbedingungen (Trocknungstemperatur: 150°C, Trocknungszeit: 22 Minuten) thermohydrolytisch aufgeschlossenes Spanmaterial getrocknet und die dabei entstehende Abluft auf Formaldehyd- und Ammoniakgehalt analysiert. Zur Analyse wurde Recyclingmaterial eingesetzt, welches bei 4 bar Aufschlußdruck unter verschiedenen Aufschlußzeiten im Batch-Verfahren im Technikum hergestellt wurde.

2.1.3.1.1 Formaldehydemission

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Formaldehydemission bei der Trocknung des Recyclingmaterials sind in Tab. 1 (S. 46) zusammengefaßt. Gegenüber Frischspan ist das Recyclingmaterial bei beiden Aufschlußvarianten durch eine deutlich erhöhte Formaldehydemission gekennzeichnet. Diese starke Erhöhung ist überwiegend auf einen weiteren hydrolytischen Abbau des UF-Harzes und der damit verbundenen Freisetzung von Formaldehyd beim Trocknungsprozeß zurückzuführen. Demgegenüber kann unter Beachtung der Emission bei Frischspan die Bildung von Formaldehyd aus der Holzkomponente des Recyclingmaterials bei der Trocknung als gering angesehen werden.

Es ist weiterhin zu erkennen, daß bei verlängerter Aufschlußzeit (15 Minuten) die Formaldehydemission gegenüber den optimierten Aufschlußbedingungen (10 Minuten) deutlich reduziert wird. Dieses Verhalten ist die Folge einer verstärkten Hydrolyse des UF-Harzes bei verlängerter Aufschlußzeit. Dabei wird beim Aufschlußprozeß aus dem UF-Harz mehr Formaldehyd freigesetzt. Da Formaldehyd gasförmig ist und vom Span entweicht, ist der Recyclingspan bei verlängerter Aufschlußzeit durch einen geringeren Formaldehydgehalt gekennzeichnet. Aufgrund dieser Tatsache kann beim folgenden Trocknungsprozeß weniger Formaldehyd emittiert werden.

Material	Formaldehydemission auf feuchtes Material in g/kg	Formaldehydemission auf entnommenes Volumen in mg/Nm ³
Frischspan	0,0025	2,38
Recyclingspan Aufschlußzeit 10 min	0,2065	220,05
Recyclingspan Aufschlußzeit 15 min	0,0915	98,3

Tab. 1: Formaldehydemission bei der Trocknung des Recyclingmaterials (Aufschlußdruck: 4 bar) in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen

2.1.3.1.2 Ammoniakemission

In Tab. 2 (S. 47) sind die Ergebnisse der Ammoniakemission von thermohydrolytisch aufgeschlossenem Spanmaterial im Labormaßstab dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, daß das Recyclingmaterial gegenüber dem Frischspan durch eine erhöhte Ammoniakemission gekennzeichnet ist. Die Ammoniakemission bei frischem Spanmaterial ist durch die produktionstechnisch bedingte Zugabe von ca. 1 Prozent Harnstoff auf den Frischspan vor der Trocknung zu erklären. Dieser Harnstoff wird beim Trocknungsprozeß teilweise thermisch zersetzt, wobei Ammoniumverbindungen gebildet und emittiert werden. Die Erhöhung der Ammoniakemission beim Recyclingspan ist auf die thermische Zersetzung von Harnstoff, der bei der Hydrolyse des UF-Harzes gebildet wird, zurückzuführen.

Weiterhin ist bei verlängerter Aufschlußzeit (15 min) eine gegenüber den optimierten Aufschlußbedingungen (10 min) erhöhte Ammoniakemission festzustellen. Die Ursache dafür liegt in der bei verlängerter Aufschlußzeit verstärkten Hydrolyse des UF-Harzes. Dabei wird mehr Harnstoff gebildet, der auf dem Recyclingspan verbleibt und beim Trocknungsprozeß unter der Bildung von Ammoniak und anderen Ammoniumverbindungen zersetzt wird.

Material	Ammoniakemission auf feuchtes Material in mg/kg	Ammoniakemission auf entnommenes Volumen in mg/Nm ³
Frischspan	3,8	3,8
Recyclingspan Aufschlußzeit 10 min	8,65	8,25
Recyclingspan Aufschlußzeit 15 min	11,9	12,8

Tab. 2: Ammoniakemission bei der Trocknung des Recyclingmaterials (Aufschlußdruck: 4 bar) in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen

2.1.3.2 Analyse der Trocknerabluft (Produktionsversuch)

Aufbauend auf die Ergebnisse der Technikumsversuche wurde im industriellen Maßstab eine Analyse der Trocknerabluft durchgeführt. Hierfür wurde Recyclingmaterial unter optimierten Aufschlußbedingungen hergestellt und direkt einem definierten Trockner zugeführt. Da die Kapazität des Trockners nicht vollständig mit Recyclingspan ausgelastet werden konnte, wurde ein entsprechender Anteil Frischspan zugesetzt. Als Kontrollversuch wurde der Trockner mit 100 Prozent Frischspan gefahren.

Trocknungsparameter: indirekt beheizter Trockner
Heizmedium Wasserdampf 10 bar
Abluftvol.: ca. 7.800 m³/h
Endfeuchte: 0,6 %
Spantemp.: 100°C
Haubentemp.: 104°C

Kontrollmessung: Frischspanmenge (100%): 2.400 Kg/h

Versuchsmessung: Frischspanmenge (70%): 1.600 Kg/h
Recyclingspananteil (30%): 800 Kg/h

Die Ergebnisse des Produktionsversuches zur Trocknungsanalyse sind in der Tabelle 3 (S. 48) dargestellt.

	ohne Recyclingspan	mit Recyclingspan
	mg/m ³	mg/m ³
Formaldehyd	2,6	54
Acetat	21	29
Formiat	4,3	7,0
Salzsäure	2,0	1,5
Ammonium	27	29
Gesamt C	190	180

Tab. 3: Emission bei der Trocknung von Recyclingspänen (Produktionsversuch)

Die erhaltenen Ergebnisse des Produktionsversuches bestätigen die bereits im Labormaßstab erhaltenen Ergebnisse. So wurde insbesondere die Formaldehydemission bei der Trocknung von thermohydrolytisch aufgeschlossenen Spanmaterial erhöht. Bei einer anteiligen Auslastung des Trockners mit 30 Prozent Recyclingspan wird mit einer Formaldehydemission von 54 mg/m³ der zulässige Grenzwert der TA-Luft (20 mg/m³) deutlich überschritten.

Schlußfolgernd ist bei einer Industrieanlage zur Thermohydrolytische Spaltung mit einem definierten Trockner für den Hydrolysespan und erhöhtem Spandurchsatz die Trocknerabluft einer thermischen Nachverbrennung zuzuführen, um somit die Emission zu reduzieren und den Grenzwert der TA-Luft einzuhalten.

2.1.4 Analyse des Recyclingmaterials

Zur Charakterisierung der Wirkung verschiedener Aufschlußparameter auf die Holz- bzw. Bindemittelkomponente des Ausgangsmaterials wurde im Batch-Verfahren definiertes Ausgangsmaterial aufgeschlossen und hinsichtlich der folgenden Parameter analysiert.

- Formaldehydgehalt
- Harnstoffgehalt
- Pentosangehalt
- Ligningehalt

2.1.4.1 Formaldehydgehalt

Beim Recyclingverfahren der Thermohydrolytischen Spaltung verbleiben auf dem Recyclingspan formaldehydhaltige Bindemittelabbauprodukte. Der Einsatz von Recyclingspänen bei der Spanplattenproduktion führt deshalb zu einer Veränderung der Formaldehydabgabe der Spanplatten. Die Kenntnis über die Wirkung der Aufschlußparameter bei der Thermohydrolytischen Spaltung auf den Hydrolysegrad des Bindemittels des Ausgangsmaterials ist deshalb von enormer Bedeutung.

Der Hydrolysegrad des Bindemittels kann durch den Gesamtformaldehydgehalt des Recyclingmaterials charakterisiert werden, da das beim Aufschluß und der anschließenden Trocknung freigesetzte Formaldehyd gasförmig ist und vom Spanmaterial entweicht. Demgegenüber sind Harnstoff und Harnstoff-Formaldehyd-Verbindungen fest und verbleiben auf dem Recyclingmaterial. Den Formaldehydgehalt der Recyclingspäne in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen und vom durchgeführten Waschprozeß gibt die Abbildung 9 (S. 50) wieder.

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass der Formaldehydgehalt des Recyclingmaterials mit zunehmender Aufschlußdauer abnimmt. Weiterhin besteht durch das Waschen der Recyclingspäne die Möglichkeit, deren Formaldehydgehalt durch das Entfernen von Harnstoff-Formaldehyd-Verbindungen deutlich zu reduzieren. Eine Erhöhung des Aufschlußdruckes führt bei gleicher Aufschlußzeit zu einer Verringerung des Formaldehydgehaltes.

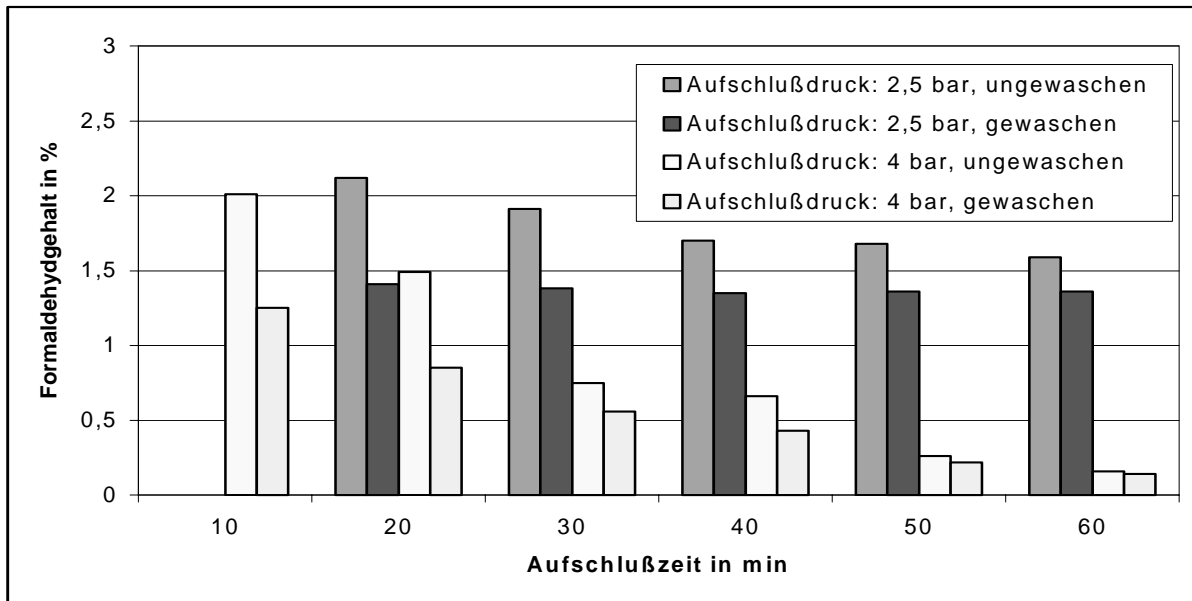


Abb. 9: Formaldehydgehalt des Recyclingmaterials in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen und vom Waschprozeß

Durch die Einstellung bestimmter Aufschlußparameter (Aufschlußdruck, Aufschlußzeit) bei der Thermohydrolytischen Spaltung kann somit der Formaldehydgehalt der Recyclingspäne zielgerichtet beeinflusst werden. Bei hohem Aufschlußdruck (4 bar) und langer Aufschlußzeit (60 min) kann eine fast vollständige Hydrolyse des UF-Harzes des Ausgangsmaterials erreicht werden.

2.1.4.2 Harnstoffgehalt

Beim hydrolytischen Abbau von UF-Harzen entstehen neben dem entweichenden Formaldehyd vor allem Harnstoff- bzw. Harnstoff-Formaldehyd-Verbindungen. Diese Harnstoffverbindungen können einerseits auf dem Recyclingspan verbleiben. Andererseits unterliegt der Harnstoff selbst einer thermohydrolytischen Zersetzung und bildet dabei flüchtige Ammoniumverbindungen. Aufgrund dieser Tatsache läßt sich der Abbau von Aminoplasten auch durch die freigesetzte Menge an Ammoniak und anhand des Reststickstoffs der Recyclingspäne feststellen.

Um die Wirkung der Aufschlußbedingungen bei der Thermohydrolytischen Spaltung auf die Harnstoffkomponente des Bindemittels der Ausgangsplatte zu ermitteln, wurden unter

verschiedenen Aufschlußbedingungen Recyclingspäne hergestellt und deren Harnstoffgehalt bestimmt. Die dabei erhaltenen Ergebnisse sind aus der Abbildung 10 (S. 52) ersichtlich. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muß beachtet werden, dass bei der Herstellung der Ausgangsspanplatten vor der Beleimung ca. 1 Prozent Harnstoff auf atro Span zugegeben wurde.

Die durchgeführten Untersuchungen lassen erkennen, dass bei einem Aufschlußdruck von 4 bar eine Verlängerung der Aufschlußzeit zu einem geringeren Harnstoffgehalt im Recyclingmaterial führt. Diese Verringerung kann durch eine thermische Zersetzung des Harnstoffs während des Aufschlußprozesses und der folgenden Trocknung erklärt werden. Bei einem Aufschlußdruck von 2,5 bar wurde durch eine Verlängerung der Aufschlußzeit von 20 auf 30 Minuten auch eine Reduzierung des Harnstoffgehaltes festgestellt.

Gegenüber dem Aufschluß bei 4 bar zeigte jedoch eine weitere Verlängerung der Aufschlußzeit keine weitere Auswirkung auf den Harnstoffgehalt. Aufgrund der geringeren Harnstoffgehalte bei 4 bar Aufschlußdruck kann davon ausgegangen werden, dass beim Recyclingprozeß unter Anwendung eines höheren Aufschlußdruckes bei gleicher Aufschlußzeit mehr Harnstoff thermisch zersetzt wird.

Unter optimierten Aufschlußbedingungen verbleibt jedoch ein Großteil des Harnstoffs des alten Bindemittels auf dem Recyclingspan. Die Untersuchungen zeigen weiterhin die Möglichkeit, durch das Waschen des Recyclingmaterials Harnstoff bzw. Harnstoff-Formaldehyd-Verbindungen vom Span abzulösen und dadurch dessen Harnstoffgehalt zu reduzieren.

Da bei 4 bar Aufschlußdruck im gewaschenen Spanmaterial gegenüber 2,5 bar bei gleicher Aufschlußzeit geringere Harnstoff- und deutlich geringere Formaldehydgehalte festgestellt wurden, kann die Schlußfolgerung gezogen werden, daß bei der Anwendung eines höheren Aufschlußdruckes infolge einer verstärkten Hydrolyse mehr niedermolekulare Verbindungen gebildet werden, da nur diese durch einen Waschprozeß vom Spanmaterial abgelöst werden können.

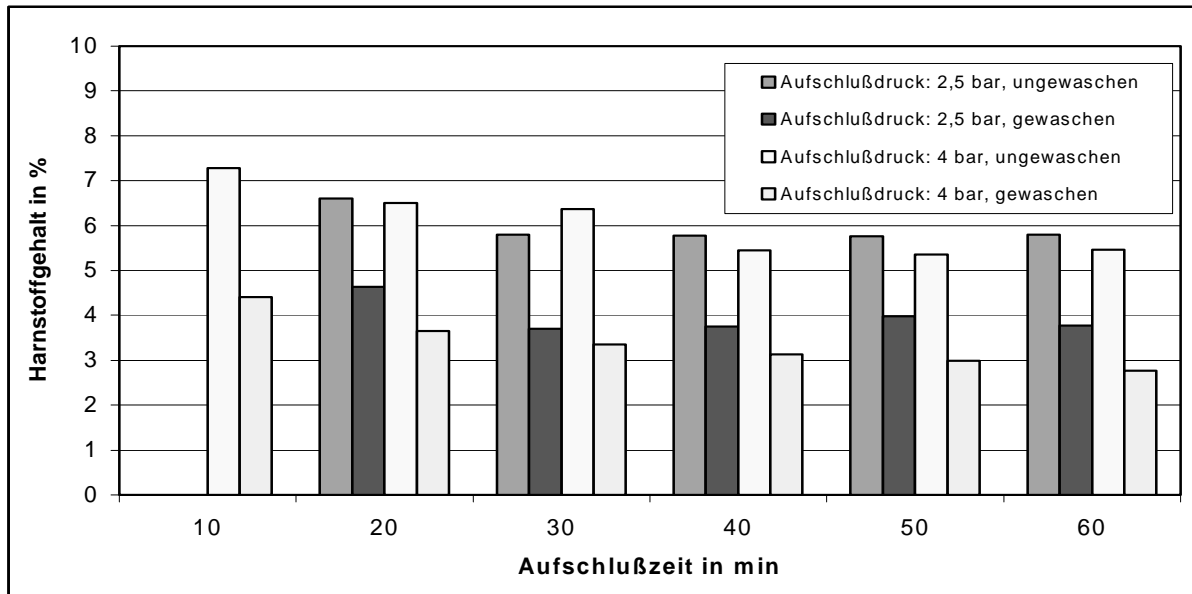


Abb. 10: Harnstoffgehalt des Recyclingmaterials in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen und vom Waschprozeß

2.1.4.3 Pentosengehalt

Der Pentosengehalt der Recyclingspäne in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen und vom durchgeführten Waschprozeß ist in der Abbildung 11 (S. 53) dargestellt. Im Ausgangsmaterial für den Aufschluß wurde ein Pentosengehalt von 9,0 Prozent nachgewiesen.

Die Prozesse einer hydrothermischen Behandlung des Holzes werden von einer ständigen Hydrolyse von Holzbestandteilen begleitet. Unter der Einwirkung von Druck und Temperatur werden die Acetylgruppen der Hemicellulosen abgebaut. Dabei entstehen organische Säuren (überwiegend Essig- und Ameisensäure), welche die Hydrolyse des Holzes weiter vorantreiben. Die Hemicellulosen sind in der Regel die durch einen Säureangriff am meisten gefährdeten Bestandteile des Holzes. Bereits in Anwesenheit geringer Wassermengen können thermohydrolytische Umsetzungen im Holz, in besonderem Maße an Pentosen, stattfinden.

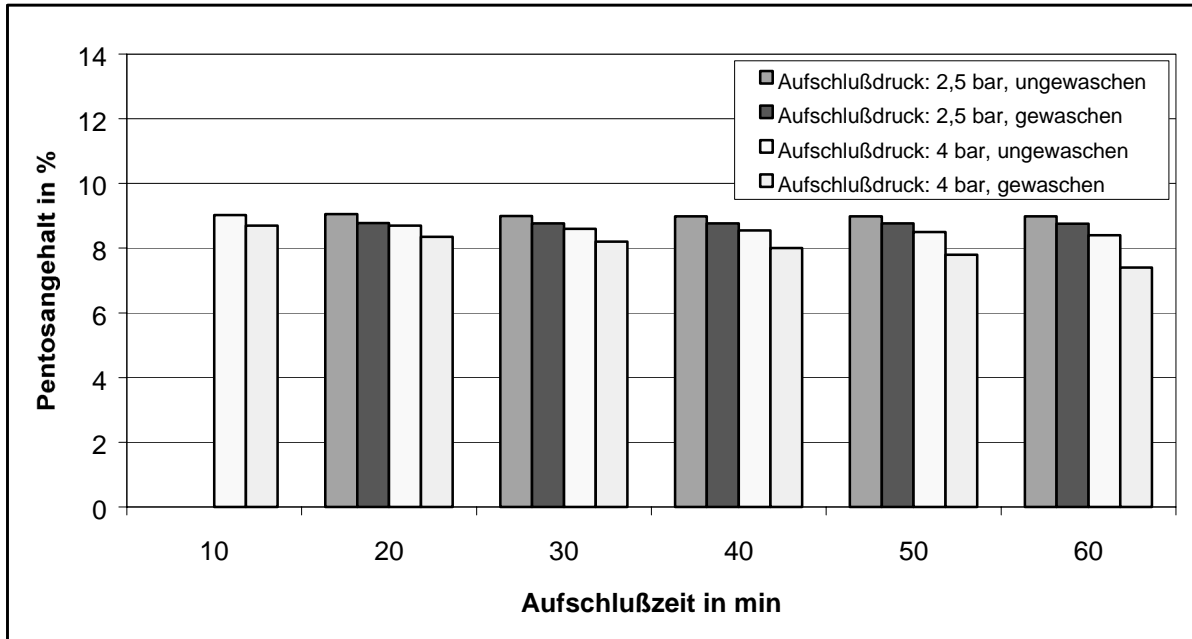


Abb. 11: Pentosengehalt des Recyclingmaterials in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen und vom Waschprozeß

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß bei einem Aufschlußdruck von 2,5 bar der Pentosengehalt des Recyclingmaterials bei einer Aufschlußzeit von bis zu 60 Minuten konstant bleibt. Der Waschprozeß bei 2,5 bar Aufschlußdruck bewirkt unabhängig von der Aufschlußzeit eine geringfügige Verringerung des Pentosengehaltes gegenüber dem ungewaschenen Material. Dieses Ergebnis führt zu der Schlußfolgerung, daß während des Aufschlußprozesses Pentosen aus dem Holzgefüge gelöst werden und auf dem Recyclingspan verbleiben. Beim folgenden Waschprozeß werden diese Pentosen vom Recyclingspan gelöst und gelangen ins Waschwasser.

Bei 4 bar Aufschlußdruck zeigt bereits das ungewaschene Recyclingmaterial mit verlängerter Aufschlußzeit eine Verringerung des Pentosengehaltes, die nur durch einen Abbau von Pentosen während des Aufschlußprozesses erklärt werden kann. Die erhaltene Verringerung des Pentosengehaltes bei 4 bar Aufschlußdruck kann durch die mehrfache thermische Behandlung des Holzes bei hohem Feuchtegehalt, einerseits beim Preßvorgang während der Herstellung der Spanplatten und andererseits beim Recyclingprozeß unter relativ langer Aufschlußzeit und einer damit verbundenen erleichterten Hydrolyse der Hemicellulosen erklärt werden. Im gewaschenen Recyclingmaterial wird unter Anwendung der gleichen Aufschlußzeit bei 4 bar Aufschlußdruck ein gegenüber 2,5 bar Aufschlußdruck verringerter Pentosengehalt festgestellt.

Ein Recyclingprozeß unter höherem Aufschlußdruck bei gleicher Aufschlußzeit führt somit zu einer stärkeren Beeinträchtigung des Holzgefüges. Bei der Anwendung der optimierten Aufschlußbedingungen (2,5 bar Aufschlußdruck und 20 min Aufschlußzeit bzw. 4 bar Aufschlußdruck und 10 min Aufschlußzeit) wurden im Recyclingmaterial nahezu identische Pentosangehalte nachgewiesen. Diese Tatsache führt zu der Schlußfolgerung, daß eine Erhöhung des Aufschlußdruckes bis zu 4 bar beim Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung aufgrund der damit verbundenen verkürzten Aufschlußzeit hinsichtlich des Hemicellulosegehaltes keine stärkere Beeinträchtigung des Holzgefüges bewirkt.

2.1.4.4 Ligningehalt

Der Ligningehalt der Recyclingspäne in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen und vom durchgeführten Waschprozeß ist in der Abbildung 12 (S. 54) dargestellt. Die erhaltenen Ergebnisse lassen keine eindeutige Aussage über die Wirkung der Aufschlußbedingungen auf das Holzgefüge des Recyclingspanes zu. Es zeigt sich jedoch die Tendenz, daß durch die Verlängerung der Aufschlußzeit bei beiden Aufschlußdrücken der Ligningehalt geringfügig reduziert wird. Das Waschen des Recyclingmaterials führte zu einer Verringerung des Ligningehaltes.

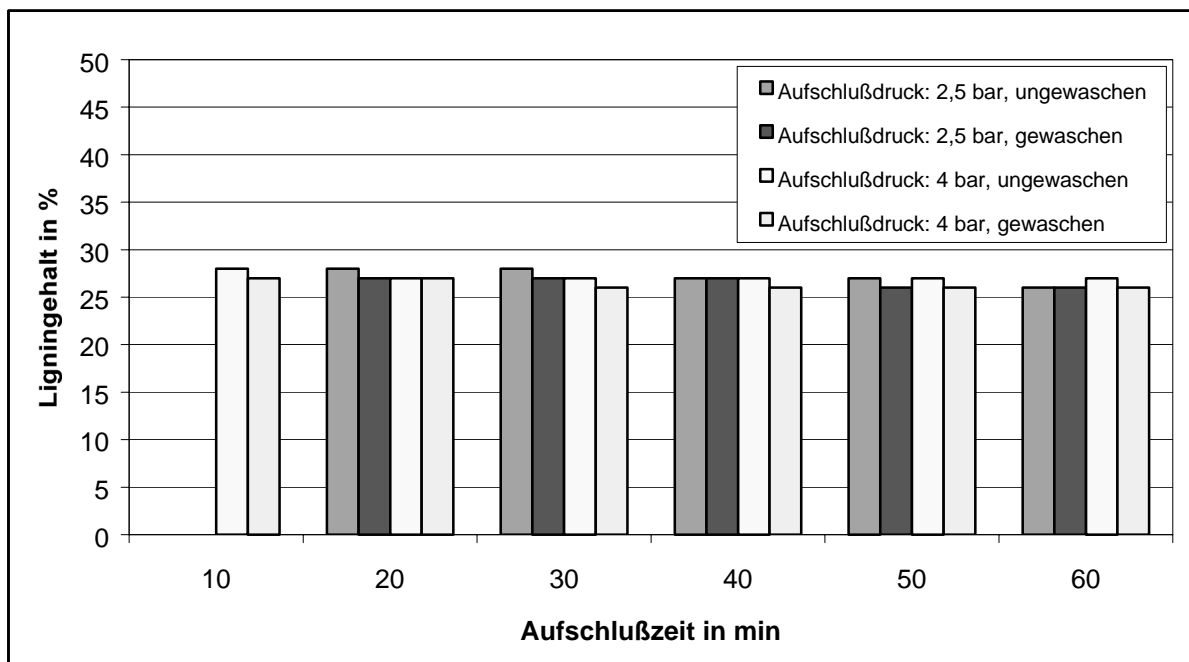


Abb. 12: Ligningehalt des Recyclingmaterials in Abhängigkeit von den Aufschlußbedingungen und vom Waschprozeß

2.1.4.5 Analyse von kontinuierlich aufgeschlossenem Spanmaterial

2.1.4.5.1 Chemische Analyse

Das definierte Ausgangsmaterial wurde unter Anwendung der optimierten Aufschlußbedingungen (vgl. 2.1.2, S. 35) in der Funktionsmusteranlage aufgeschlossen und anschließend analysiert. Die dabei erhaltenen Ergebnisse sind in der Tabelle 4 (S. 55) dargestellt.

Probenbezeichnung	ges. HCHO %	ges. HCHO (atro) %	Harnstoff (atro) %	Feuchte (Chem.) %
Span feucht, 07.08.2002	1,7	3,0	8,4	44,2
Span trocken, 07.08.2002	2,3	2,4	6,7	6,9
Span feucht, 08.08.2002	1,8	3,0	7,9	39,6
Span trocken, 08.08.2002	2,3	2,7	7,8	7,0

Tab. 4: Analyseergebnisse von kontinuierlich aufgeschlossenem Spanmaterial

Die Ergebnisse zeigen, daß der Aufschlußprozeß beim kontinuierlichen geführten Verfahren gegenüber dem Batch-Verfahren bei der Anwendung annähernd gleicher Aufschlußparameter chemisch identisch verläuft. Durch den Trocknungsprozeß werden ca. 10 bis 20 Prozent des Gesamtformaldehyds des aufgeschlossenen Spanmaterials ausgetrieben. Diese Tatsache bestätigt nochmals die bei der Trocknungsanalyse erhaltenen Ergebnisse (vgl. 2.1.3.2, S 47).

2.1.4.5.2 Siebanalyse

Zur Charakterisierung der Wirkung des Aufschlußprozesses, insbesondere der mechanischen Beanspruchung im Aufschlußschneckensystem, auf die Zusammensetzung der Spanfraktion wurden Siebanalysen des unter optimierten Aufschlußbedingungen hergestellten Recyclingmaterials durchgeführt. Die Abbildungen 13 und 14 (S. 56) zeigen die erhaltenen Ergebnisse. Gegenüber Frischspan kann sowohl beim Deckschichtmaterial als auch beim Mittelschichtmaterial keine wesentliche Verschiebung innerhalb der einzelnen Fraktionen festgestellt werden. Hieraus kann der Schluß gezogen werden, daß die mechanische

Beanspruchung beim kontinuierlich geführten Aufschlußprozeß innerhalb des Schneckensystems zu keiner wesentlichen Zerkleinerung des Spanmaterials führt.

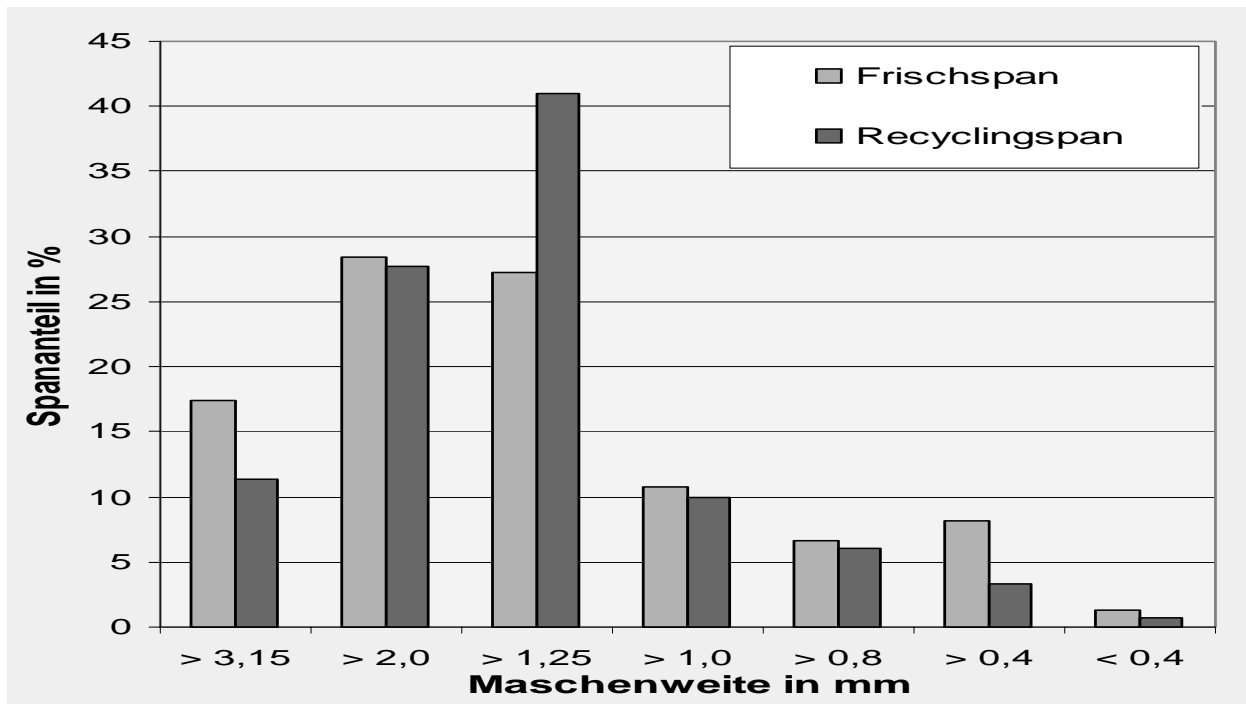


Abb. 13: Siebanalyse Mittelschicht

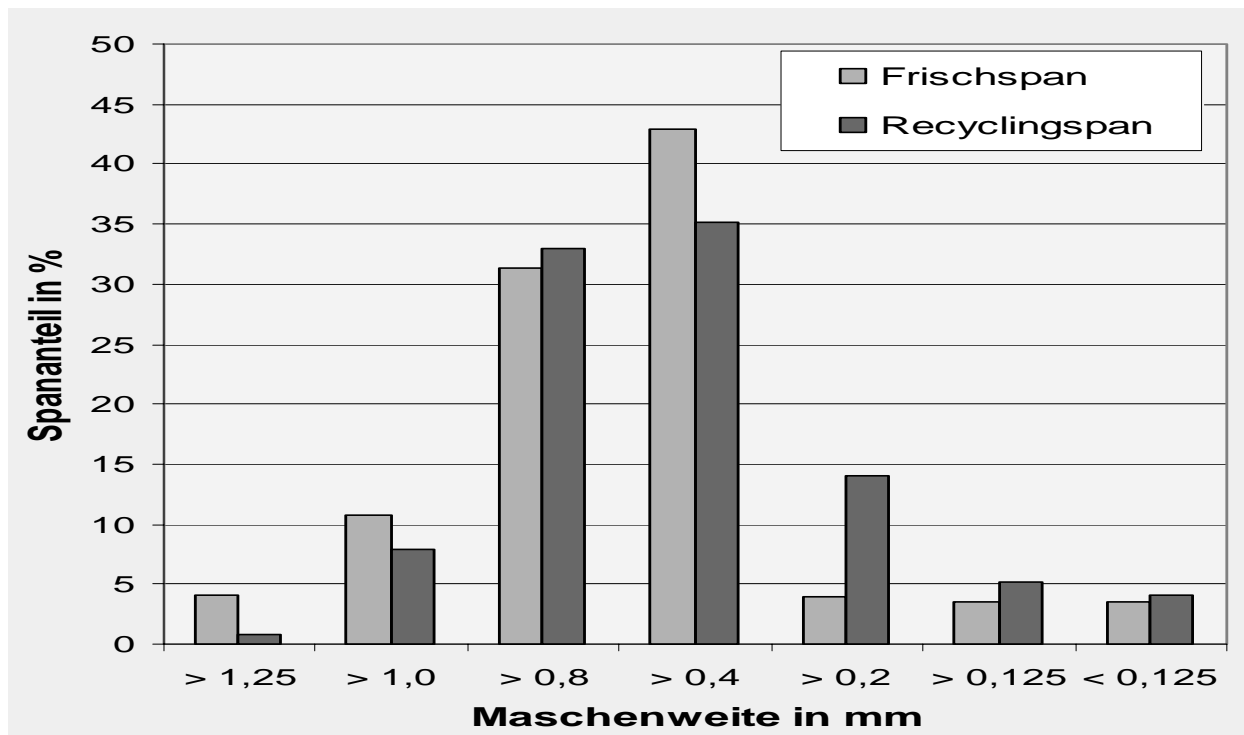


Abb. 14: Siebanalyse Deckschicht

2.1.4.5.3 Untersuchung der Auswirkung der mechanischen Beanspruchung beim kontinuierlich geführten Recyclingprozeß auf die Recyclingspäne mit Hilfe rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen (REM)

Im Zuge eines Recyclingprozesses nach dem Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung unterliegen die Recyclingspäne chemischen, physikalischen und morphologischen Veränderungen. Diese lassen sich sehr gut anhand von REM-Aufnahmen der Mittelschichtspäne charakterisieren.

Die Abbildungen 16 und 17 zeigen die REM-Aufnahmen von thermohydrolytisch aufgeschlossenen Mittelschichtspänen. Der Span in Abbildung 16 wurde im Batch-Verfahren, der Span in Abbildung 17 im kontinuierlich geführten Aufschlußprozeß unter optimierten Aufschlußbedingungen hergestellt.

Um einen Vergleich zu frischem Spanmaterial zu erhalten, wurde in der Abbildung 15 die REM-Aufnahme eines frischen Mittelschichtspanes aus der laufenden Produktion dargestellt.

Die Aufnahmen zeigen, daß das optische Erscheinungsbild von kontinuierlich hergestellten Recyclingspänen dem des Frischspanes und des Recyclingspanes aus dem Batch-Verfahren entspricht. Die einzelnen Holzzellen des Recyclingmaterials sind bei beiden Varianten deutlich erkennbar.

Deshalb kann davon ausgegangen werden, daß das Recyclingmaterial hinsichtlich seiner Qualität weitgehend mit Frischspan vergleichbar ist. Der kontinuierlich geführte Recyclingprozeß führt zu keiner wesentlichen mechanischen Beanspruchung des Spanmaterials.

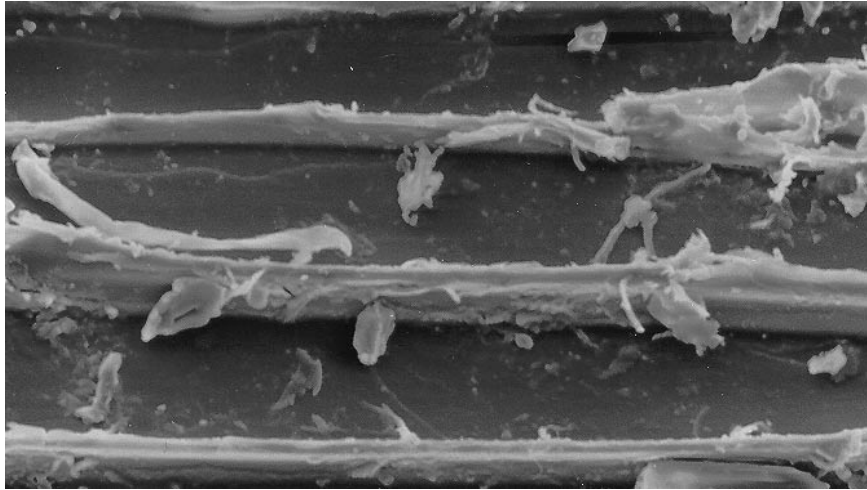


Abb. 15: REM-Aufnahme der Oberfläche eines frischen Mittelschichtspanes
600fache Vergrößerung

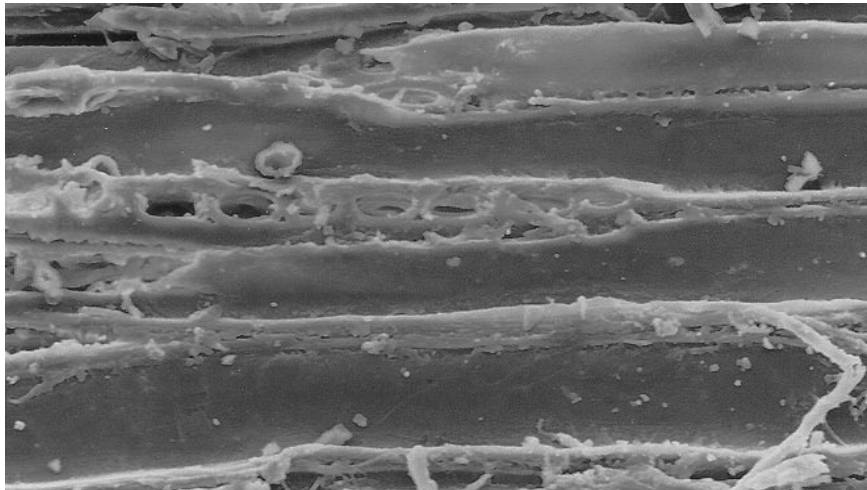


Abb. 16: REM-Aufnahme der Oberfläche eines RI-Mittelschichtspanes
Batch-Verfahren, 600fache Vergrößerung

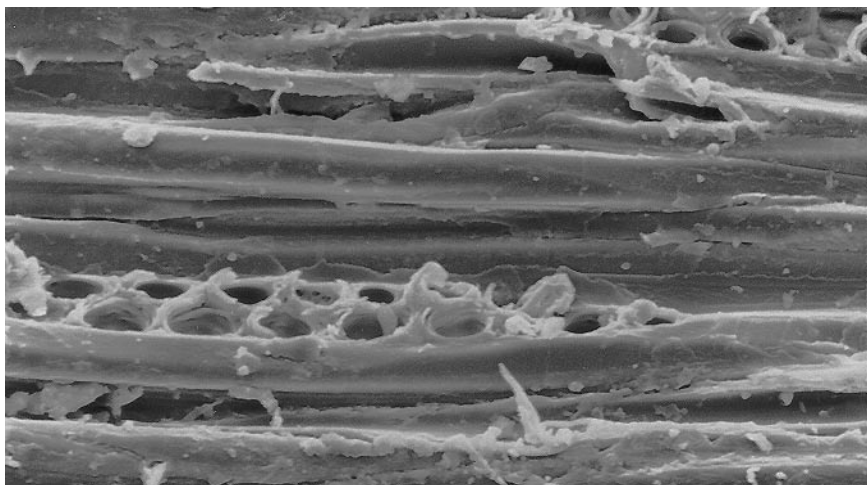


Abb. 17: REM-Aufnahme der Oberfläche eines RI-Mittelschichtspanes
Kontinuierlicher Aufschluß, 600fache Vergrößerung

2.1.5 Herstellen von Holzwerkstoffen unter Verwendung von Thermohydrolytisch aufgeschlossenem Spanmaterial

Zur Charakterisierung der Qualität der erhaltenen Recyclingspäne wurden unter Verwendung von Recyclingspänen Spanplatten hergestellt und nach DIN-Normen auf ihre mechanisch-technologischen Eigenschaften geprüft.

Für die Herstellung von Spanplatten wurde das Ausgangsmaterial vorgebrochen und unter definierten Aufschlussbedingungen kontinuierlich thermohydrolytisch aufgeschlossen. Das erhaltene Recyclingmaterial wurde getrocknet, in Deck- und Mittelschichtspäne separiert und für die Spanplattenherstellung eingesetzt

2.1.5.1 Technikumsversuche

2.1.5.1.1 Herstellung von Holzwerkstoffen unter Verwendung von 100 Prozent thermohydrolytisch aufgeschlossenem Spanmaterial

In Tabelle 5 (S. 60) sind die mechanisch-technologischen Eigenschaften ausgewählter Versuchsreihen aus 100 Prozent Recyclingmaterial dargestellt.

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass bei der Verwendung von 100 Prozent vollständig kontinuierlich aufgeschlossenem Spanmaterial, wie dies bei den Versuchsreihen R1 bis R3 der Fall ist, mit den Kontrollplatten aus 100 Prozent Frischspan vergleichbare mechanisch-technologische Eigenschaften erreicht werden.

Demgegenüber führt eine Verkürzung der Verweilzeit im druckbeaufschlagten System und dem dadurch bedingten unvollständigen Aufschluss (Versuchsreihe R4) zu einer Verringerung der Festigkeitseigenschaften der hergestellten Spanplatten. Durch eine Verlängerung der Verweilzeit im druckbeaufschlagten Zustand des Systems (Versuchsreihe R5) konnte keine Verbesserung der mechanisch-technologischen Eigenschaften der Spanplatten erreicht werden.

Versuchsreihe	Ausgangsmaterial	Aufschlussbedingungen		Rohdichte kg/m ³	Querzugfestigkeit N/mm ²	Abhebefestigkeit N/mm ²		Quellwerte %		Perforatorwert in mg HCHO/ 100 g atro Platte
		Druck in bar	Verweilzeit min			OS	RS	2h	24h	
Kontrolle	Frischspan			695	0,61	1,26	1,28	22,07	30,58	2,2
R1	18 mm unbeschichtet	2	18	700	0,66	1,45	1,64	8,59	21,40	3,0
R2	18 mm unbeschichtet	2,5	15	699	0,62	1,67	1,80	8,34	23,54	2,7
R3	18 mm unbeschichtet	3	12	698	0,61	1,51	1,58	7,91	26,50	2,7
R4	18 mm unbeschichtet	3	6	695	0,53	1,04	1,22	8,31	19,55	3,1
R5	18 mm unbeschichtet	3	15	702	0,59	1,51	1,47	7,52	27,50	1,9

Tab. 5: Mechanisch-technologische Eigenschaften von dreischichtigen, 19 mm dicken Spanplatten aus 100 Prozent thermohydrolytisch aufgeschlossenen Spanmaterial

Die angegebenen Ergebnisse sind Mittelwerte aus der Prüfung der fünf Spanplatten pro Versuchsreihe.

Beleimungsparameter: DS 11 % Festharz BASF K 345 auf atro Span
MS 8 % Festharz BASF K 345 auf atro Span

Pressparameter: Presstemperatur 190°C
Presszeit 9 sec./mm Plattendicke

2.1.5.1.2 Herstellung von Holzwerkstoffen unter Verwendung von verschiedenen Anteilen thermohydrolytisch aufgeschlossenem Spanmaterial

Bei einem industriellen Einsatz des Recyclingverfahrens der Thermohydrolytischen Spaltung bei der Spanplattenproduktion wird nur ein bestimmter Anteil an Recyclingspänen eingesetzt werden. Deshalb wurden Versuchsreihen ,die durch verschiedene Gemischanteile von Frisch- und Recyclingspänen gekennzeichnet waren, hergestellt und auf ihre mechanisch-technologischen Eigenschaften überprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 (S. 62) dargestellt.

Das Recyclingmaterial wurde unter den optimierten Aufschlußbedingungen (vgl. 2.1.2.2.3, S. 35) in der Funktionsmusteranlage hergestellt.

Es ist zu erkennen, daß bei der Verwendung von 100 Prozent Recyclingmaterial (V1) mit der Kontrolle aus 100 Prozent Frischspan vergleichbare mechanisch - technologische Eigenschaften erreicht werden. Diese Tatsache bestätigt nochmals die unter 2.1.5.1.1 erhaltenen Ergebnisse.

Bei der Verwendung von 5 bis 20 Prozent Recyclingspäne werden ebenfalls mit der Kontrolle vergleichbare Festigkeitseigenschaften erzielt. Es ist jedoch zu erkennen, daß mit dem Zusatz von Recyclingmaterial verringerte Quellwerte bei der 2- und 24-stündigen Quellung erreicht werden. Diese Tatsache bestätigt die im Vorfeld des Forschungsvorhabens im Batch-Verfahren erhaltenen Ergebnisse. Die mechanische Beanspruchung der Späne im Schneckensystem hat keinen Einfluß auf die Quelleigenschaften daraus hergestellter Spanplatten.

Die Perforatorwerte aller unter Verwendung von Recyclingspänen hergestellten Versuchsreihen sind gegenüber der Kontrolle verringert. Diese Tatsache ist auf eine Vernetzung des freien Formaldehyds mit dem den Recyclingspänen anhaftenden Bindemittelreste des alten Bindemittels zu erklären. Es kann der Schluß gezogen werden, daß durch den Zusatz von thermohydrolytisch aufgeschlossenem Spanmaterial der Perforatorwert der hergestellten Platten reduziert werden kann.

Versuchsreihe	Ausgangsmaterial	Spangemisch		Rohdichte kg/m ³	Querzugfestigkeit N/mm ²	Abhebefestigkeit N/mm ²		Quellwerte %		Perforatorwert in mg HCHO/ 100 g atro Platte
		Frischspan in %	Recyclingspan in %			OS	RS	2h	24h	
Kontrolle	Frischspan	100	0	726	0,73	1,77	1,93	20,88	24,06	6,77
V1	Recyclingsp.	0	100	716	0,73	1,49	1,57	20,05	22,58	4,93
V2	Gemisch	95	5	724	0,61	1,54	1,73	21,33	24,90	4,00
V3	Gemisch	90	10	710	0,68	1,64	1,73	20,61	23,30	4,29
V4	Gemisch	85	15	724	0,77	1,82	1,78	18,69	21,81	4,12
V5	Gemisch	80	20	716	0,78	1,67	1,76	18,97	22,12	4,10

Tab. 6: Mechanisch-technologische Eigenschaften von dreischichtigen, 19 mm dicken Spanplatten aus einem Gemisch thermohydrolytisch aufgeschlossenen Spanmaterials und Frischspänen

Die angegebenen Ergebnisse sind Mittelwerte aus der Prüfung der fünf Spanplatten pro Versuchsreihe.

Beleimungsparameter: DS 11 % Festharz BASF K 345 auf atro Span
MS 8 % Festharz BASF K 345 auf atro Span

Pressparameter: Presstemperatur 190°C
Presszeit 9 sec./mm Plattendicke

2.1.5.2 Produktionsversuche

Um die Übertragbarkeit der in den Technikumsversuchen erhaltenen Ergebnisse auf den industriellen Maßstab zu prüfen, wurden mehrere Betriebsversuche auf der Conti-Roll-Anlage im Werk Rheda durchgeführt.

Für die Betriebsversuche war es aufgrund des Durchsatzes der Funktionsmusteranlage notwendig, das Recyclingmaterial zwischenzulagern. Das unter optimierten Aufschlußbedingungen hergestellte (vgl. 2.1.2.2.3, S. 35) und getrocknete Recyclingmaterial wurde über eine definierte Linie der Spanhalle dem Produktionsprozeß über Schubboden und Austragsschnecke zudosiert. Es wurden Spanplatten mit verschiedenen Anteilen thermohydrolytisch aufgeschlossener Späne hergestellt. Die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Versuchsreihe vom 08.08.2002 sind aus Tabelle 7 (S. 63) ersichtlich.

Herstellungsbedingungen: Plattendicke 38 mm

Beimung: MS: 7,5 % FH, DS: 9,6 % FH

Versuchs-Nr. / Uhrzeit	Spangemisch		Rohdichte Kg/m ³	Perforator in mg HCHO/ 100 g atro Platte	Querzugfestigkeit N/mm ²	Abhebefestigkeit N/mm ²	Quellung %	
	Frischspan in %	Recycling in %					2 h	24 h
835 / 11,30	85	15	623	6,3	0,41	0,98	5,58	19,72
836 / 12,00	80	20	619	6,1	0,37	0,93	5,38	19,89
837 / 12,30	80	20	613	6,0	0,35	0,86	5,48	19,81

Tab. 7: Mechanisch-technologische Eigenschaften industriell hergestellter Spanplatten

Die erhaltenen Ergebnisse bestätigen die Technikumsversuche. Grundsätzlich kann aus den durchgeführten Versuchen geschlußfolgert werden, dass durch den kontinuierlichen thermohydrolytischen Aufschluss nach dem oben beschriebenen Verfahren hochwertiges Recyclingspanmaterial hergestellt werden kann. Die mechanisch-technologischen Eigenschaften der unter Verwendung von Recyclingmaterial hergestellten Spanplatten zeigen, daß diese mit Spanplatten aus Frischspänen vergleichbare Festigkeitseigenschaften erreichen.

2.2 Fortschreibung des Verwertungsplanes

Aufbauend auf die erhaltenen Ergebnisse soll eine Produktionsanlage zur kontinuierlichen Thermohydrolytischen Spaltung am Standort Rheda geplant werden. Für die Auslegung der optimalen Kapazität dieser Anlage ist es zunächst notwendig, das Aufkommen an Gebrauchtspanplatten in einem entsprechenden Einzugsgebiet zu ermitteln. Die Kapazität wird voraussichtlich zwischen 5 und 10 Tonnen Recyclingspan (atro) pro Stunde liegen.

Mit der Produktionsanlage sollen kurz-, mittel- und langfristig folgende wirtschaftliche Ziele erreicht werden:

- Verringerung der Produktionskosten
- Verbesserung der Eigenschaften von Holzwerkstoffen
- Ökonomische und umweltfreundliche Entsorgung von Holzwerkstoffen
- Minimierung der Prozeßenergie durch Energieverbrauchsoptimierung

Mit der beim kontinuierlichen Prozeß nachgewiesenen Energieeinsparung wird eine neue, ökologisch und ökonomisch besonders günstige Form des stofflichen Recyclings für Alt - und Gebrauchtmöbel aus Span- und Faserplatten entstehen.

Ferner können die bei der Span- und Faserplattenfabrikation entstehenden Produktionsrückstände, z. B. Besäumungsreste, eine stofflich sinnvolle und ökologisch vertretbare Verwertung finden.

Aus dem Aufschlußverfahren der Thermohydrolytischen Spaltung von Gebraucht- und Altholzwerkstoffen sind bereits einige neue innovative Produkte entstanden (Abb. 18, S. 65). Diese Produktentwicklung soll in langfristigen Forschungszusammenarbeiten mit entsprechenden Universitäten und unseren Lizenznehmern durch begleitende Feldversuche mit potentiellen Anwendern gefördert und weitergeführt werden.

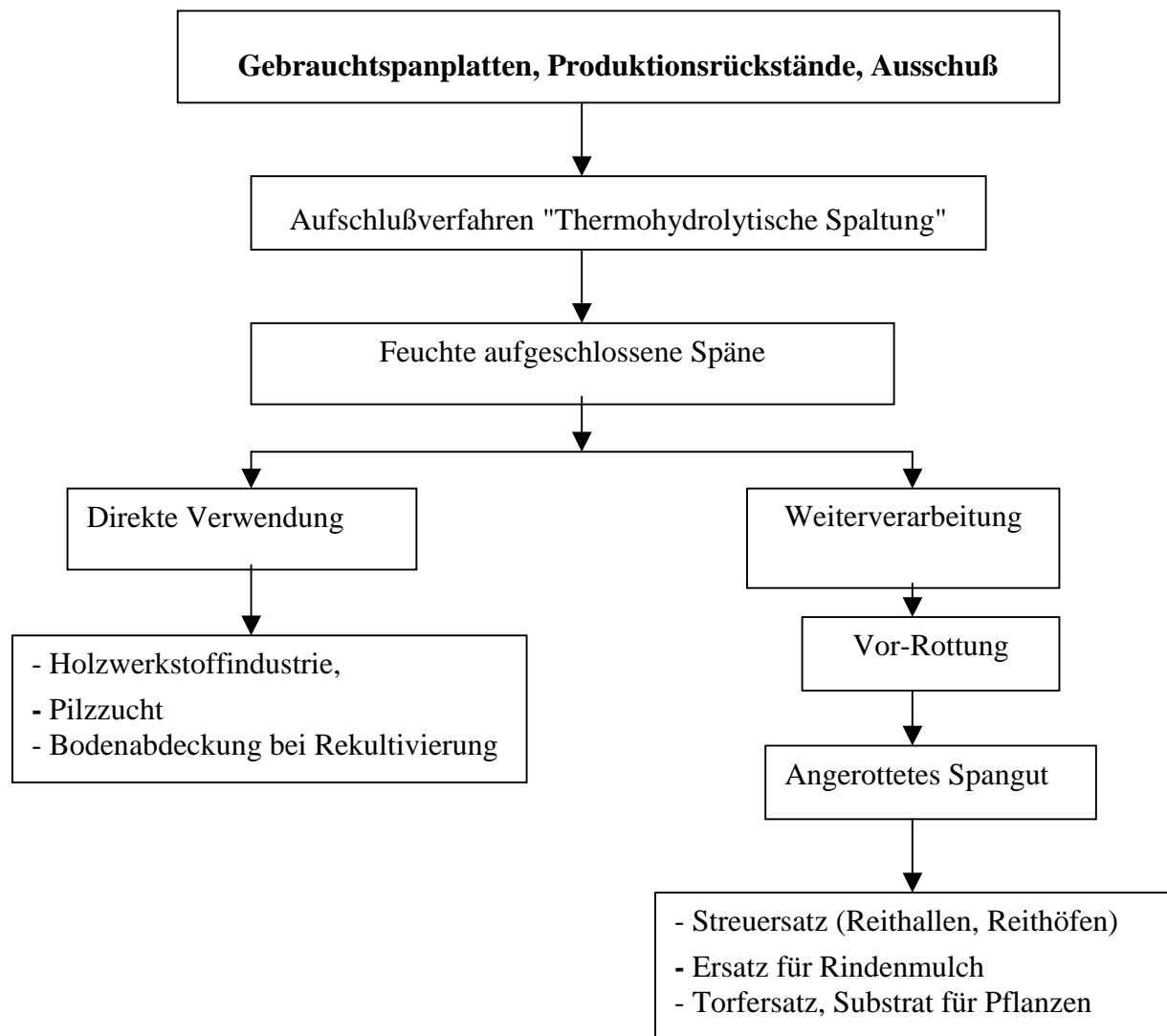


Abb. 18: Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland

- **Feuchte Späne / Rohspäne**

Gegenüber den frischen Holzspänen bzw. Holzfasern aus Rohholz zeichnet sich der Recyclingspan durch eine überdurchschnittliche Wasseraufnahme und Wasserhaltefähigkeit aus. Durch die Auswahl spezieller Aufschlußtemperaturen und -zeiten können die Lignin- bzw. die Hemizellulosestruktur gelockert werden, womit die Eigenschaften für die jeweiligen Verwendungszwecke gezielt verbessert werden können (z. B. Verkürzung der Rottezeit bei einer Kompostierung).

- **Direkte Verwendung**

Die wichtigsten Produktgruppen bei der direkten Verwendung von feuchten Spänen sind:

- Substrate für die Pilzzucht und
- stoffliche Direktverwertung in Holzwerkstoffen

- **Weiterverarbeitetes („veredeltes“) Spangut**

Als erste Veredelungsstufe sind bereits aufgeschlossene Späne in Kompostieranlagen zu Torfkultursubstrat – Ersatzstoffen aufbereitet worden. Diese Produkte können für viele Anwendungen im Pflanzenbau eingesetzt werden, z.B. als

- Torfersatz direkt für die Pflanzenanzucht
- Reithallenstreu
- Ersatz für Rindenmulch bei der Bodenabdeckung

- **Nutzen für diese Anwendergruppen**

Die Güteigenschaften der durch das Verfahren gewonnenen Späne ermöglichen erstmals den unbedenklichen Einsatz im Garten- und Zierpflanzenbau.

Die Neuartigkeit des thermohydrolytischen Verfahrens geht insofern tatsächlich weit über die ursprüngliche Intention einer Rückgewinnung von Rohspänen für erneute Holzwerkstoffproduktion hinaus, indem zur Verfügung gestellt wird:

- a) **ein echtes Kultursubstrat**

Ungelöst ist die Suche des gewerblichen Gartenbaus und der Substrat- und Erdenindustrie schon seit langem nach einem Torfsubstitut, das in Eigenschaften und Verfügbarkeit eine grundsätzliche Ablösung ermöglicht. Nach vorliegenden Gutachten und Forschungsergebnissen (Humboldt Universität Berlin) verfügen die recyclysierten Holzspäne und -fasern potentiell über die benötigten physikalischen und chemischen Eigenschaften. Die Restharnstoffkonzentration bis ca. 5 % atro Span kann zudem die im Pflanzenbau

kostenintensiven Düngemittel ersetzen. Anders als bei Biomüll sind Homogenität und Reinheit garantiert. Das sterile Spangut verhindert bei entsprechender Verpackungstechnologie einen unerwünschten Schimmelpilzbefall. Auch der unter dem natürlichen Rohholz liegende Restgehalt an Formaldehyd bewirkt eine zusätzlich desinfizierende Funktion, die wiederum im Gartenbau zur Kostenersparnis führt. Bei einem jährlichen Aufkommen von über 2 Mio. m³ an Gebrauchtmöbeln und Gebrauchtholzwerkstoffen kann darüber hinaus eine ausreichende und stabile Bedarfsdeckung für den gewerblichen Garten- und Zierpflanzenbau sowie für private Verbraucher zugesagt werden.

b) ein Substrat für Pilzzüchter

Mit den thermohydrolytisch aufgeschlossenen Spänen wird den Pilzzüchtern ein optimales Substrat offeriert: durch die thermische Behandlung ist das Holz teilaufgeschlossen und steril. Die Harnstoffreste sind eine optimale N-Quelle. Versuche haben gezeigt, dass auf diesem Substrat Austernpilze und andere lignivore Pilze mit hoher Betriebssicherheit und guten Ausbeuten kultiviert werden können. Anstelle der bisherigen Kosten von ca. 250 Euro pro Tonne Stroh-Substrat, das eine Kontaminationsrate von 30 – 50 % aufweist, kann mit dem ein Substrat für ca. 50 Euro angeboten werden.

Für die Veredelung als Substrat für Austernpilze und andere Baumpilze verfügen wir über ein Zertifikat über die lebensmittelrechtliche Unbedenklichkeit von auf diesem Substrat gezüchteten Austernpilzen. Neben Pilzzuchtbetriebe besteht hier auch eine Nachfrage von Hobbypilzzüchtern an vorgefertigten Pilzsubstraten.

c) ein Substrat allgemein für den Gartenbau

Für eine Nutzung in Gartenbau weisen die thermohydrolytisch aufgeschlossenen Späne mehrere Faktoren auf:

- ✓ Die Restharnstoffkonzentration kann je nach Einsatz im Verfahrensprozeß gesteuert werden - kostenintensiver Düngemittelzusatz im Pflanzenbau entfällt.
- ✓ Anders als bei Biomüll sind Homogenität und Reinheit garantiert.

- ✓ Das sterile Spangut verhindert bei entsprechender Verpackungstechnologie einen unerwünschten Schimmelpilzbefall. Auch der unter dem natürlichen Rohholz liegende Restgehalt an Formaldehyd bewirkt eine zusätzlich desinfizierende Funktion, die wiederum im Gartenbau zur Kostenersparnis führt.
- ✓ Bei einem jährlichen Aufkommen von über 2 Mio. m³ an Gebrauchtmöbeln aus Spanplatten könnte darüber hinaus eine ausreichende und stabile Bedarfsdeckung für den gewerblichen Garten- und Zierpflanzenbau sowie für private Verbraucher (Kleingärtner, Blumenerden u.ä.) zugesagt werden.

d) ein Verfahren für das stoffliche Recycling von Gebrauchtmöbeln

Ein eigenständiges Marktsegment für Altmöbel und Gebrauchtholzwerkstoffe gibt es gegenwärtig nicht. Altmöbel und Gebrauchtholzwerkstoffe werden als Teil der Sperrmüll- und Baustellenabfall-Fraktion durch kommunale und private Entsorgungsbetriebe erfaßt und einer Altholzverwertung (Deponie/Verbrennung) zugeführt.

Mit erfolgreichem Abschluß dieses Projektes ist die Grundlage geschaffen für ein neues eigenständiges Marktsegment „Altmöbel, Gebrauchtholzwerkstoffe“. Nach Erhebungen in NRW beträgt das Aufkommen ca. 50 kg / E *a.. Allein im Ballungsraum Rheda-Wiedenbrück kann mit einem jährlichen Aufkommen von ca.100.000 t Gebrauchtmöbeln sowie 100.000 t industriellen Spanplattenabfällen gerechnet werden. Bei solchen Mengen wird es auch für die Entsorger lohnend sein, die Altmöbel sortiert an die jeweiligen Unternehmen zu liefern.

e) Einstreu für Reithallen

Als Einstreu für Reithallen und Reiterhöfe löst dieses Erzeugnis (thermohydrolytisch aufgeschlossene Späne) das Problem allergischer Staubbelastung bei Pferd und Mensch durch die bisher üblichen Rohholzspäne. Der Kostenvorteil gegenüber derzeitig üblichem Wässern bzw. dem Einbau von Befeuchtungsanlagen beruht auf der Staubfreiheit dieses neuartigen Materials.

Dieses interessante Marktsegment muß noch erschlossen werden. Erste Recherchen bestätigen, dass ein alternatives Produkt zu herkömmlichen Holzspäne große Chancen besitzt.

2.3 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Uns ist keine Stelle bekannt, die sich mit der Entwicklung eines kontinuierlich geführten Recyclingprozesses nach dem Verfahren der Thermohydrolytischen Spaltung beschäftigt.

2.4 Veröffentlichung der Ergebnisse

2.4.1 Durchgeführte Veröffentlichungen

a) Vorträge

- Statusseminar „Integrierter Umweltschutz im Bereich der Holzwirtschaft“, 22. – 24. Januar 2002 in Göttingen
- Fachtagung „Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie“, 21. – 22. März 2002 in Göttingen

b) Fachliteratur

- Holzzentralblatt 18.02.2002, Holzwerkstoffe recyceln durch Wasserdampf
- VDI-Nachrichten, 07.12.2001, Nr. 29, Alte Späne für neue Platten

c) Presse

- Neue Westfälische 27.12.2001, Spanplatten neu aufmöbeln, Pfeleiderer errichtet Versuchsanlage

2.4.2 Geplante Veröffentlichungen

a) Vorträge

- Symposium „Holz Innovativ“, 09. – 10.04.2003 in Rosenheim
- Fachtagung „9. Duisburger Recyclingtage“, 2003

b) Schlußbericht

- Veröffentlichung über UB/TIB Hannover