

Stoffgesetze für die Verdichtung von Laub

Von Bernd Scheufler und Wilfried Mehrkens,
Braunschweig*)

Professor Dr.-Ing. Hans Jürgen Matthies zum 60. Geburtstag

DK 634.024:634.004.12:634.027

Zur Auslegung neuartiger Laubaufsammelmaschinen, die Laub aufnehmen und noch zusätzlich verdichten, ist es wichtig zu wissen, welche Verdichtungsfaktoren sich erzielen lassen und welche Drücke dabei auftreten. Bislang sind über derartige Untersuchungen keinerlei Ergebnisse bekannt geworden.

Im Rahmen dieser Arbeit ist experimentell untersucht worden, wie sich das Volumen einer bestimmten Laubmenge verändert, wenn es gehäckselt oder mit dem sogenannten Preßtopfverfahren verdichtet wird. Die mit diesen Ergebnissen erstellten Stoffgesetze sollen es dem Konstrukteur ermöglichen, Maschinen zu entwerfen, die in einem Arbeitsgang größere Mengen Laub aufnehmen und für den Transport verdichten, so daß sich die Wegezeiten erheblich verringern lassen.

1. Einleitung

Während der Herbstzeit jeden Jahres fallen große Mengen von Laub an, die in den kommunalen Anlagen teilweise beseitigt werden müssen. Eine nicht entfernte Laubdecke verhindert auf Rasenflächen eine ausreichende Belüftung des Bodens sowie den nötigen Luftzutritt für neu stattfindendes Wachstum.

Zur Bergung werden verschiedenartige Maschinen eingesetzt, die angewelktes Laub beispielsweise pneumatisch aufsaugen oder mit Bürsten auf sammeln und in aufgesattelten bzw. angehängten Behältern speichern. Dabei erweist es sich als erheblicher Nachteil, daß lose auf gesammeltes Laub wegen seiner geringen Dichte viel Transportraum erfordert. Durch Häckseln oder Verdichten des aufgenommenen Laubes besteht allerdings die Möglichkeit, wesentlich größere Mengen aufzunehmen, so daß ökonomischer gearbeitet werden kann.

2. Allgemeines zur Laubbeseitigung

Das Laub muß hauptsächlich dort beseitigt werden, wo ein gutes optisches Aussehen und eine einwandfreie Vegetation gewünscht werden. Das trifft besonders auf die Grünflächen und Beete von städtischen Anlagen sowie auf Verkehrswege und Plätze zu. Die zu reinigenden Flächen der Stadt Braunschweig sind als Beispiel in **Tafel 1** aufgeführt. Die Parkanlagen stellen hier den größten Flächenanteil. Insgesamt ergibt sich eine Fläche von etwa 125 ha, die von Laub zu reinigen ist.

*) *Dipl.-Ing. B. Scheufler ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies) der TU Braunschweig, Dipl.-Ing. W. Mehrkens war Student am gleichen Institut.*

	Rasenflächen	Wege und Plätze
Parkanlagen	500 000 m ²	10 000 m ²
Grünflächen von Krankenhäusern	300 000 m ²	30 000 m ²
sonstige Grünanlagen	400 000 m ²	10 000 m ²
Gesamtfläche	1200 000 m ²	50 000 m ²

Tafel 1. Von Laub zu reinigende Flächen der Stadt Braunschweig [1, 2].

In Voruntersuchungen wurde ermittelt, welche Laubmassen auf den zu reinigenden Flächen anfallen. Dabei wurden verschiedene baumbestandene Pflegeflächen untersucht. Bei engem Buchenbestand lag im Durchschnitt eine 6–10 cm dicke Schicht frischgefallenen Laubes auf dem Boden. Daraus ergibt sich eine Laubmasse von etwa 1,3 kg/m² bei einem Gutfeuchtegehalt von U = 55–60 %. Die Messungen bei Eichen- und Ahornbeständen ergaben Werte für die Laubmassen von 0,8–1,1 kg/m². Das Verhältnis der baumbestandenen Flächen zur gesamten von Laub zu kehrenden Fläche wird auf 1 : 3 geschätzt [1]. Danach ergibt sich eine durchschnittliche Laubmasse von etwa 0,3 kg/m².

Die Pflegeflächen sind oftmals nicht sehr groß und sie sind in der Regel über das gesamte Stadtgebiet verteilt. Das Laub wird deshalb größtenteils zu zentralen Komposthaufen transportiert, wo alle Gartenabfälle der Stadt gesammelt werden. Es fallen somit umfangreiche Transportarbeiten an, da das unverdichtete Laub große Ladekapazitäten erfordert.

Die zur Laubbeseitigung eingesetzten Maschinen sammeln das liegende Laub entweder mit Kehrbesen oder mit Saug-Druck-Gebläsen auf und speichern es in mitgeführten Behältern. Eine Verdichtung findet teilweise statt, indem das Laub von rotierenden Messern gehäckselt bzw. von nachgeführtem Laub zusammengepreßt wird.

Die Ausführungsform eines Laubaufsammlers mit Kehrbesen zeigt **Bild 1a**. Das Gerät wird zum Betrieb in die Dreipunkthydraulik eines Schleppers eingehängt. Angetrieben wird es von der Schlepperzapfwelle, und es kann bei einer Arbeitsbreite von 1,5 m insgesamt 2,2 m³ Laub aufnehmen. Für den Entleerungsvorgang lassen sich die Kippzylinder durch die Schlepperhydraulik betätigen.

Das **Bild 1b** zeigt einen Geräteträger mit Zusatzausrüstung für die Laubbergung. Ein Saug-Druck-Gebläse fördert das von einem Kehrbesen aufgelockerte Laub in einen 4 m³ fassenden Behälter. Die maximale Arbeitsgeschwindigkeit bei einer Aufnahmebreite von 1,9 m beträgt 5 km/h. Das Gerät eignet sich besonders zum Reinigen von großen Anlagen und Gehölzen.

Auf dem Markt wird noch eine Vielzahl anderer Geräteausführungen angeboten. Sie arbeiten nahezu alle nach ähnlichen Funktionsprinzipien und unterscheiden sich hauptsächlich in der Baugröße.

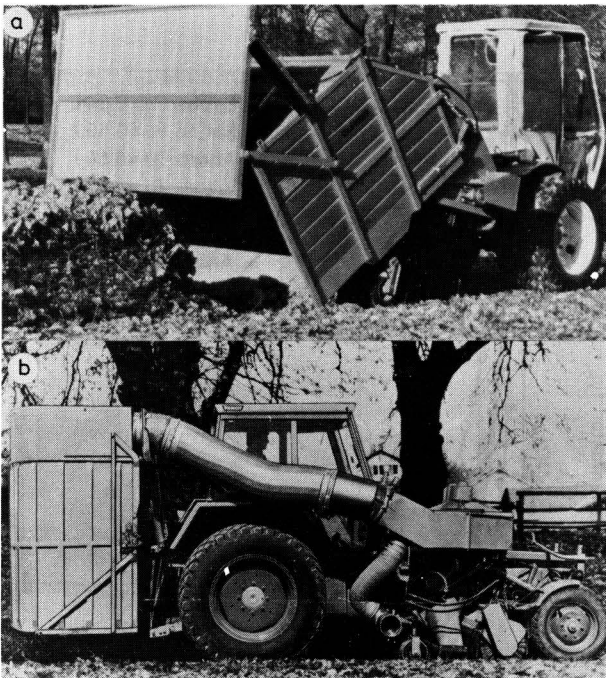


Bild 1. Maschinen zum Sammeln und Speichern von angelwetktem Laub.

- a Aufnahme und Fördern mit Kehrbesen [3]
 b Aufnahme und Fördern mit Saug-Druck-Gebläse [4]

3. Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde experimentell ermittelt, wie sich das Volumen einer bestimmten Laubmenge verändert, wenn es gehäckselt bzw. nach dem sogenannten Preßtopfverfahren verdichtet wird.

Zur Darstellung der Ergebnisse wurde ein Volumenfaktor f_V und ein Dichtefaktor f_D definiert. Der Volumenfaktor ergibt sich als Quotient aus dem verdichteten Laubvolumen V und dem Ausgangsvolumen V_0 :

$$f_V = \frac{V}{V_0} \quad (1)$$

Bei konstanter Laubmasse m_0 ist die Dichte ρ proportional zum Kehrwert des Volumens; der Dichtefaktor ist somit:

$$f_D = \frac{1}{f_V} = \frac{V_0}{V} = \frac{V_0}{m_0} \rho = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (2)$$

Als Versuchsgut wurde Buchen-, Eichen-, Eschen- und Ahornlaub mit unterschiedlichen Gutfeuchten verwendet.

3.1 Verdichten durch Häckseln des Laubes

Für die Zerkleinerung des Laubes wurde ein Exakthäcksler mit variabler Drehzahl und einstellbarem Vorschub benutzt, um gleichmäßiges Laubhäcksel verschiedener Schnittlängen l_H herzustellen.

In Bild 2 sind Haufen aus Buchenlaub gleicher Masse dargestellt. Im ungeschnittenem Zustand betrug das Ausgangsvolumen jeweils $V_0 = 30 \text{ dm}^3$, die Gutfeuchtigkeit $U = 59 \%$. Es ist deutlich zu erkennen, daß ein Häckseln des Laubes schon eine beträchtliche Volumenverminderung zur Folge hat. Beim kurz gehäckselten Laub vermindert sich das Volumen auf $V = 8,7 \text{ dm}^3$. Die bei den Versuchen ermittelten Volumen- und Dichtefaktoren sind im Bild 2 bei den entsprechenden Guthaufen eingetragen. Die Verdichtung infolge Eigengewicht des Laubes kann für diese Untersuchungen, die nur Anhaltswerte liefern sollen, vernachlässigt werden, zumal die Einfüllhöhe des Meßbehälters nicht sehr groß war.

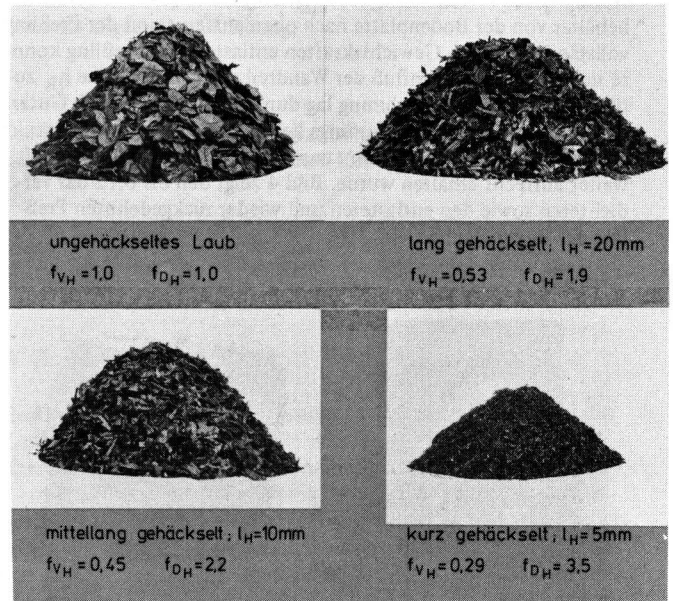


Bild 2. Haufwerke verschieden lang gehäckselten Buchenlaubes bei gleichem Ausgangsvolumen.

3.2 Verdichten durch Pressen des Laubes

Der Versuchsaufbau zur Ermittlung der Verdichtungsfunktionen ist in Bild 3 dargestellt. Zu Versuchsbeginn wird der rechteckige Preßbehälter a gleichmäßig mit losem Laub b befüllt und die Füllmasse durch Differenzwägung bestimmt. Dabei ergab sich für feuchtes Buchenlaub die größte Einfüllhöhe mit $\rho_0 = 30 \text{ kg/m}^3$. Bei Ahornlaub war sie am niedrigsten und betrug $\rho_0 = 29,1 \text{ kg/m}^3$. Die mit Gewichtsstücken c belastbare Druckplatte d senkt sich im Preßbehälter und drückt das Laub zusammen. Die Gewichtskräfte ließen sich stufenweise von $G_0 = 7,5 \text{ N}$ (Druckplatte allein) bis $G_{\text{max}} = 600 \text{ N}$ erhöhen. Dadurch wurde ein Maximaldruck von $0,12 \text{ bar}$ erreicht. Die Absenkung s der Druckplatte nach jeder Veränderung der Gewichtskräfte wurde 10 Sekunden nach Belastung gemessen, um den Einfluß zeitbedingter Setzungen oder Dehnungen auszuschließen. Der Volumenfaktor läßt sich somit errechnen zu:

$$f_{VP} = \frac{h_0 - s}{h_0} \quad (3)$$

wobei h_0 die Ausgangshöhe nach dem Einfüllen kennzeichnet.

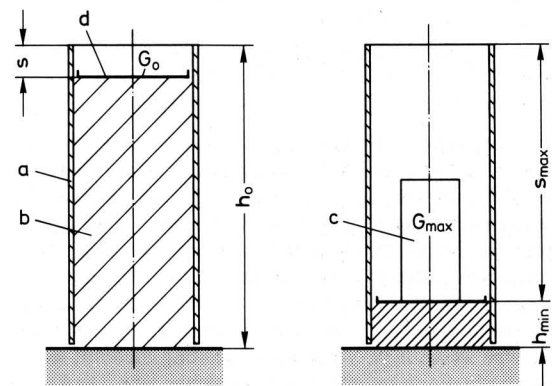


Bild 3. Versuchsanordnung zur Laubverdichtung; Querschnittsfläche des Preßbehälters $A_0 = 500 \text{ cm}^2$, Höhe des Preßbehälters $h_0 = 60 \text{ cm}$.

War die größte Gewichtskraft G_{\max} aufgebracht, wurde der Preßbehälter von der Bodenplatte nach oben entfernt und der Preßling vollständig von den Gewichtskräften entlastet. Der Preßling konnte sich so ohne den Einfluß der Wandreibung auf die Höhe h_R zurückdehnen. Die Rückdehnung lag durchschnittlich je nach Gutart zwischen 25 und 30 %. Allerdings ließ sie sich auf 8 % einschränken, wenn eine Preßkraft von etwa 5 % der maximalen Preßkraft weiter aufrecht erhalten wurde. Bild 4 zeigt den bis 0,12 bar verdichteten sowie den entlasteten und wieder rückgedehnten Preßling aus Buchenlaub.

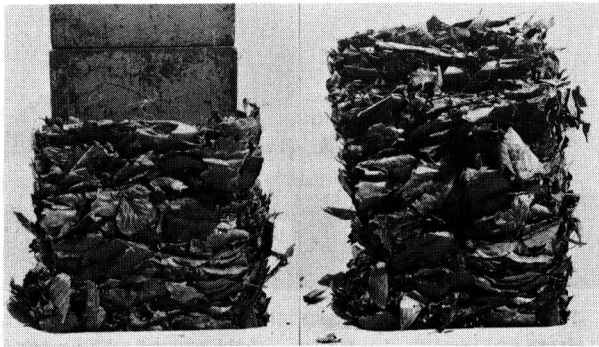


Bild 4. Preßling aus Buchenlaub.

links: maximal verdichtet
rechts: wieder entlastet

Mit den auf das Laub wirkenden Preßdrücken und den entsprechenden Absenkungen lassen sich die Funktionen der Verdichtung bzw. Volumenänderung erstellen. Die bei den Versuchen ermittelten Meßwerte sind in das Diagramm Bild 5 eingetragen. Die eingezeichneten Kurven charakterisieren den Zusammenhang zwischen dem Preßdruck p und dem Volumenfaktor $f_{V,p}$. Nach zunächst steilem Abfall beschreibt jede Kurve einen engen Bogen, der in einen flachen Auslauf übergeht. Im ersten Abschnitt bewirkt eine geringfügige Druckänderung eine große Volumenreduzierung, während im dritten Abschnitt auch ein starker Druckanstieg das Volumen nur noch sehr wenig vermindert. Dieser Sachverhalt läßt sich wie folgt erklären: Im ersten Abschnitt ist der Luftanteil am Gesamtvolumen verhältnismäßig groß, so daß sich die Volumenverminderung hauptsächlich auf die Luftverdrängung beschränkt. Bei weiterer Verdichtung müssen die Blätter in zunehmendem Maße gegeneinander verschoben und verformt werden; der Verdichtungswiderstand vergrößert sich. Liegen die Blätter eng aneinander, lassen sich auch mit großen Drücken nur noch geringe Volumenänderungen erzielen.

Zum Verdichten von Eschenlaub müssen die größten Preßdrücke aufgewendet werden. Die Kurve für den Volumenfaktor liegt über denen anderer Laubsorten mit gleicher Gutfeuchte. Das Eschenlaub hat schmale Blätter, so daß sie sich beim Befüllen des Preßbehälters schon enger aneinander legen und somit nur ein kleineres Luftvolumen einschließen, das sich beim Verdichten schon mit geringen Drücken verdrängen läßt.

Die Volumenfaktor-Kurven des feuchten Ahorn- und Buchenlaubs sowie die des Eichenlaubes liegen relativ dicht beieinander. Das Volumen des losen Ahornlaubes läßt sich bei gleichen Preßdrücken am meisten verringern. Die großen Blätter schließen nach dem Befüllen das größte Luftvolumen ein, das sich leicht verdrängen läßt. Alle Kurven für feuchtes Laub der verschiedenen Baumarten weisen im oberen Preßdruckbereich bereits nahezu horizontale Tangenten auf. Daraus ist zu schließen, daß sich eine wesentliche Volumenreduzierung auch mit sehr viel höheren Preßdrücken nicht mehr erreichen läßt. Die Kurve für trockenes Buchenlaub liegt über der des feuchten Laubes. Das bedeutet, die Volumenverminderung bei gleichen Drücken ist nicht so groß. Zurückführen läßt sich das darauf, daß das

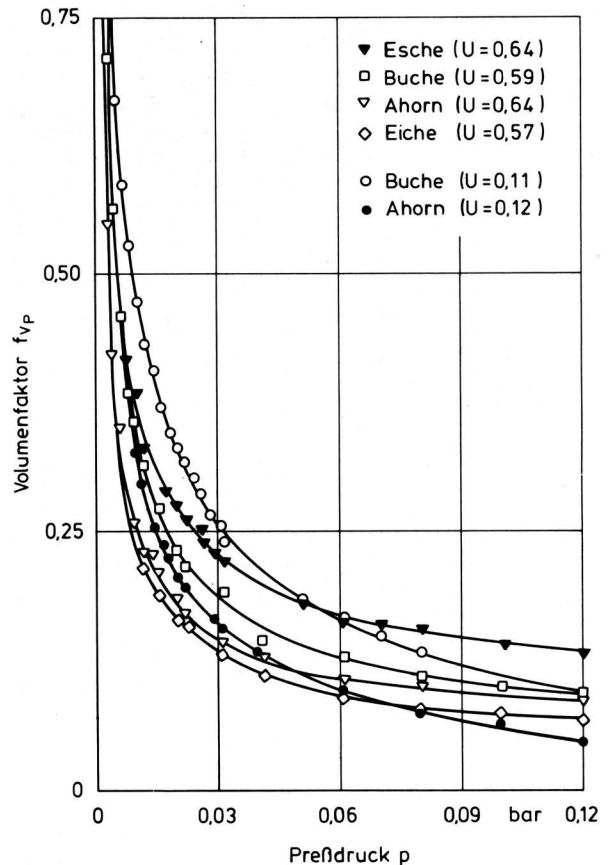


Bild 5. Volumenfaktoren ($f_V = V/V_0$) bei Verdichtung unterschiedlicher Laubarten.

trockene Buchenblatt biegesteifer und damit nicht so verformbar ist wie das feuchte Blatt. Beim trockenen Ahornblatt liegen die Verhältnisse genau umgekehrt. Das Ahornblatt ist etwa doppelt so groß wie das Buchenblatt. Die beim Verdichten auftretenden Kräfte können das Blatt leichter knicken und zerbröseln.

Bild 6 zeigt den Volumenfaktor für den Preßvorgang von gehäckseltem Buchenlaub. Aus den Verläufen geht hervor, daß mit abnehmender Häcksellänge bei gleichen Preßdrücken eine geringere Volumenverminderung erzielt wird. Es gelten hier die gleichen Erklärungen wie für Eschenlaub. Allerdings weisen die Kurven im Bereich des maximalen Preßdrucks noch keinen horizontalen Verlauf auf; d.h. bei weiterer Erhöhung des Preßdrucks ist noch eine Volumenverminderung möglich.

Bei den Volumenfaktoren des gehäckselten Gutes ist zu berücksichtigen, daß bereits eine Vorverdichtung durch den Häckselvorgang stattgefunden hat. Geht man davon aus, daß beispielsweise das mittellange Häckseln des Buchenlaubes eine Änderung des Volumens mit dem Volumenfaktor $f_{V,H} = 0,45$ ergibt und das verbliebene Volumen mit dem Preßtopfverfahren entsprechend dem Faktor $f_{V,p} = 0,15$ weiter herabgesetzt wird, so ergibt sich insgesamt eine Volumenminderung mit dem Faktor

$$f_{V,p} = f_{V,H} \cdot f_{V,p} \approx 0,068 \quad (4)$$

Als Vergleich zur Laubverdichtung ist mit diesem Preßtopfverfahren ein Verdichtungsversuch mit Heu durchgeführt worden. Die dabei ermittelte Verdichtungsfunktion zeigte einen prinzipiell ähnlichen Verlauf. Es liegt somit nahe, daß auch für die Laubverdichtung in diesem Druckbereich das Skatweitsche Potenzgesetz [5] gilt:

$$p = c \cdot \rho^n \quad (5)$$

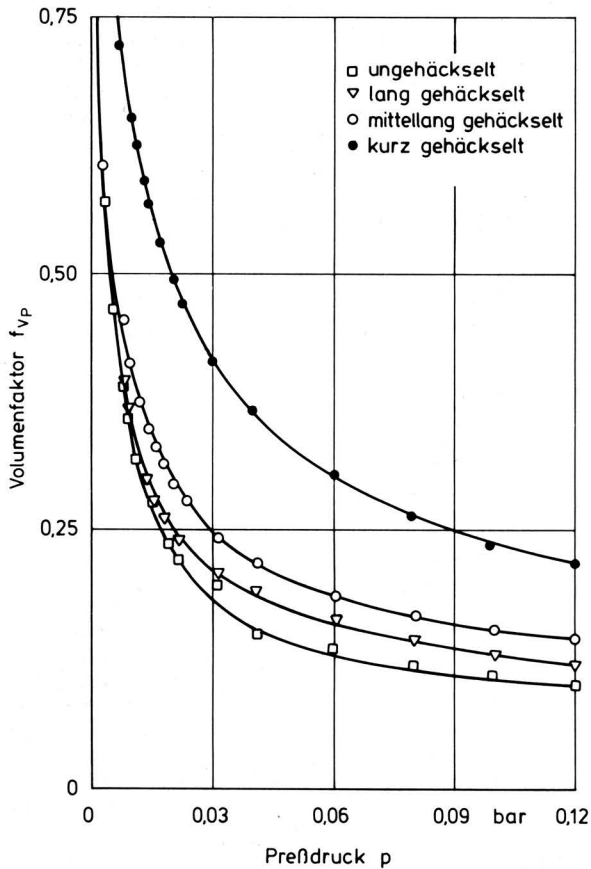


Bild 6. Volumenfaktoren ($f_V = V/V_0$) bei Verdichtung von Buchenlaub unterschiedlicher Häcksellänge.

Die Größen c und n sind spezifische Stoffwerte, die u.a. von der Gutfeuchte und der Häcksellänge abhängen.

Wird in Gl. (5) die Dichte ρ durch den hier eingeführten Dichtefaktor f_{Dp} ersetzt, so ergibt sich mit Gl. (2) die allgemeine Funktion für die Dichteänderung:

$$p = c \cdot \left(\frac{m_0}{V_0}\right)^n \cdot f_{Dp}^n = C \cdot f_{Dp}^n \quad (6)$$

Für die Funktion der Volumenänderung nach Bild 5 und 6 gilt dann die allgemeine Gleichung:

$$p = C \cdot f_{Vp}^{-n} \quad (7)$$

Die für die Laubverdichtung spezifischen Stoffwerte C und n lassen sich somit aus den eingezeichneten Kurvenverläufen bestimmen.

4. Zusammenfassung

Bei den derzeit angebotenen Laubaufsammelmaschinen wird das Laub nur wenig verdichtet. Das sich daraus ergebende große Transportvolumen verursacht umfangreiche und zeitaufwendige Transportfahrten. Zur Auslegung neuartiger Maschinen, die das gesammelte Laub noch zusätzlich verdichten, ist es wichtig zu wissen, welche Faktoren der Volumenverminderung sich erzielen lassen und welche Drücke dabei auftreten. Die hier beschriebenen Versuche ergaben, daß sich das Volumen des losen Laubes durch Häckseln um den Faktor 0,1 verringern läßt. Die Dichte steigt damit beispielsweise bei losem Buchenlaub von einer Anfangsdichte von etwa 30 kg/m^3 auf 300 kg/m^3 an.

Schrifttum

- [1] Ergebnisse einer Anfrage an das Stadtgartenamt Braunschweig.
- [2] Auszug aus dem Grünflächenbestandsverzeichnis der Stadt Braunschweig.
- [3] Prospekt der Firma Wiedenmann GmbH Maschinenfabrik, Rammingen.
- [4] Prospekt der Firma Fendt u. Co., Marktoberdorf.
- [5] Skalweit, H.: Kräfte und Beanspruchungen in Strohpressen. 4. Konstrukteur-Kursus, RKTL-Schrift 88, S. 33/35 Berlin: Beuth, 1938.

Auszüge aus wichtigen Patent-Auslegeschriften

Int. Cl.²: A 01 F 15/00
 Auslegeschrift 2640563
 Anmeldetag: 9.9.76
 Bekanntmachungstag: 10.5.79

Binevorrichtung an Rundballenpressen
 Anmelder: Gebr. Claas Maschinenfabrik GmbH,
 4834 Harsewinkel

Die Erfindung betrifft eine Binevorrichtung an Rundballenpressen für Erntegut mit einer vor der Einzugsöffnung der Presse mit ihrem Ausgabende entlang des Erntegutballens bewegbaren Leiteinrichtung für das Binematerial, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiteinrichtung (5; 7) über eine oder mehrere durch das einlaufende Bindematerial (9) angetriebene Steuerscheiben (13) in Abhängigkeit von der Einzugslänge des Bindematerials (9) mittelbar oder unmittelbar gesteuert ist.

