

Ergebnisinterpretation von Papieranalysen

1) Aufgabenstellung

Im Auftrag des WWF Deutschland (kurz: WWF) konzipierte das Johann Heinrich von Thünen-Institut (kurz: vTI) einen Blindtest mit 15 Papierproben (im Labormaßstab erstellte Papiere definierter Zusammensetzung), die von zwei Laboren (Integrated Paper Services – kurz: IPS, Technische Universität Darmstadt, kurz: TUD) auf die darin enthaltenen Hölzer¹ untersucht wurden. Die Ergebnisse mit Daten zu einzelnen Proben beider Labore und die Basisdaten des Blindtests des vTI liegen vor. Der Auftraggeber bat das vTI darum, ihn erst nach Bekanntmachung der Laborergebnisse über die Zusammensetzung der Proben zu informieren.

Der Bericht von Dr. Helge Hedden interpretiert die vorliegenden Ergebnisse hinsichtlich der Frage, inwiefern Tropenhölzer² in Papier erkannt werden können.

2) Auswertung

Die Auswertung der vorliegenden Labordaten, gemessen an den Basisdaten des Blindtests ergab folgende Ergebnisse³.

Faserspuren

Von beiden Laboren wurden Fasern⁴ von Hölzern identifiziert, die gemäß der Basisdaten nicht enthalten waren⁵ (Ausnahme altpapierhaltige Proben⁶). Vornehmlich wurden vereinzelte Fasern in den Proben identifiziert:

Pappel	TUD: B, G, K, M, Q	IPS: B, G, K, L, M
Ahorn	TUD: M	IPS: B, G, H, L, M
Birke ⁷	TUD: C	IPS: H, F, P
Buche	TUD: -	IPS: P
gNHZ ⁸	TUD: -	IPS: K, M

¹ Der Begriff „Hölzer“ steht in diesem Text stellvertretend für Holzarten und Gattungen.

² Mit Tropenhölzern sind in diesem Text Bintangor, Durian, Gerutu, Kasai und Red Meranti gemeint.

³ Von den Laboren wurde angemerkt, dass die Proben eine starke Faserbeschädigung aufwiesen. IPS wies darauf hin, dass der Mahlgrad höher gewesen sei, als es im industriellen Maßstab üblich ist.

⁴ Der Begriff „Faser“ steht in diesem Text stellvertretend für alle Arten von Zellen im Holzgewebe.

⁵ Eine mögliche Begründung für diese Abweichung können Verunreinigungen sein, da beide Labore nicht unter Reinstbedingungen arbeiten.

⁶ IPS untersuchte im Gegensatz zur TUD auch die altpapierhaltigen Proben (A, D, I) auf einzelne Hölzer. Dass Kiefer beim Nadelholzanteil den größten Prozentsatz ausmacht, hängt von der Altpapierzusammensetzung ab. Safdari et al. (2011) fanden in eigenen Altpapieruntersuchungen ebenfalls heraus, dass Kiefer unter den Nadelhölzern auch bei ihren Proben am häufigsten vorkommt. Die in den Proben A, D und I gefundenen Faserspuren können durch das Altpapier eingebracht worden sein.

⁷ Birke und Buche werden aufgeführt, da sie in den dazugehörigen Proben gemäß der Basisdaten nicht enthalten waren.

⁸ gNHZ steht als Abkürzung für gebleichter Nadelholzzellstoff.

Stroh	TUD: B, J	IPS: -
Amber ⁹	TUD: B	IPS: -

Von beiden Laboren wurden in jeweils fünf Proben Faserspuren von Pappel identifiziert, wobei vier der Proben deckungsgleich sind. Das verbliebene Probenpaar (Q/L) war zudem in der Zusammensetzung identisch. Faserspuren von Ahorn wurden vermeintlich in fünf Proben von IPS identifiziert, während dies von TUD in einer Probe festgestellt wurde.

Unbekannte Holzanzahl

Die Laborergebnisse der Proben wurden bezüglich der festgestellten Anzahl unbekannter Hölzer ausgewertet (Spalten TUD und IPS).

Probe A	TUD: k.A.	IPS: mind. 4	IST: 4
Probe B	TUD: wahrscheinlich 2	IPS: mind. 3	IST: 4
Probe C	TUD: wahrscheinlich 1	IPS: mind. ¹⁰ 1	IST: 1
Probe D	TUD: k.A.	IPS: 0	IST: 0
Probe E	TUD: wahrscheinlich 2	IPS: mind. 3, 4 wahrscheinlich	IST: 4
Probe F	TUD: wahrscheinlich 3 ¹¹	IPS: mind. 4	IST: 4
Probe G	TUD: 0	IPS: 0	IST: 0
Probe H	TUD: wahrscheinlich 3	IPS: 1 ¹²	IST: 1
Probe I	TUD: k.A.	IPS: 1 ¹³	IST: 1
Probe J	TUD: wahrscheinlich 3 ¹⁴	IPS: mind. 4	IST: 5
Probe K	TUD: 0	IPS: 0	IST: 0
Probe L	TUD: wahrscheinlich 1	IPS: mind. 3	IST: 5
Probe M	TUD: wahrscheinlich 3	IPS: 1 ¹⁵	IST: 1
Probe P	TUD: wahrscheinlich 3	IPS: mind. 3	IST: 5
Probe Q	TUD: wahrscheinlich 3	IPS: mind. 3	IST: 5

Die Aussagen der Labore sind mit Unsicherheiten behaftet, wie die Angaben „wahrscheinlich“ oder „mindestens“ (engl. „at least“) verdeutlichen. Der Unterschied wird in der Weise verstanden, dass bei „wahrscheinlich“ die genannte Anzahl unbekannter Hölzer dem angegebenen Wert am ehesten entspricht, aber davon nach oben oder unten abweichen kann. Der Begriff „mindestens“ wird in der Weise verstanden, dass der angegebenen Zahl die Untergrenze der als sicher wahrgenommenen, unbekanntem Hölzer entspricht. Es wird gleichzeitig nicht ausgeschlossen, dass eventuell weitere Hölzer in den Proben enthalten sind.

Wenn die Proben A, D und I (Altpapier) nicht berücksichtigt werden, dann liegt IPS in acht bis zehn¹⁶ der verbleibenden zwölf Proben näher an der Anzahl unbekannter Hölzer als TUD.

⁹ „1 Faser ähnlich Amber“

¹⁰ „We could not be certain if any other types were present.“

¹¹ „... und 1 Gefäßzelle ohne Zuordnung“

¹² „It could not be determined if any other types were present.“

¹³ „... we could not determine if any other types were present.“

¹⁴ „... und 1 Gefäßzelle ohne Zuordnung“

¹⁵ „It could not be determined if any other types were present.“

¹⁶ In Abhängigkeit der Probenbewertungen von P und Q.

Fasererkennung

Eine weitere Auswertung der Laborergebnisse befasst sich mit der Frage, inwiefern vorhandene Hölzer (außer Tropenhölzer) nicht erkannt bzw. vorhandene Hölzer fehlerhaft tituliert wurden.

Eiche:

TUD erwähnte die Eiche in keiner Probe, obwohl sie in den Proben B, D, G, K, L und M enthalten war.

IPS konnte Eiche in keiner Probe einwandfrei identifizieren, da die vorhandenen Faserfragmente nicht ausreichten. Für die Proben B, L und M wurde die Vermutung in einem Textzusatz geäußert, dass Eiche enthalten sein könnte. Für die Probe D wurde ebenfalls die Möglichkeit in Betracht gezogen, dass enthaltene Fasern der Eiche zugerechnet werden könnten¹⁷. Es wurde jedoch Eukalyptus ausgewiesen, der aber ggf. auch aus dem deinkedpulp-Anteil stammen konnte. In den Proben G und K wurden alternativ Eiche und Eukalyptus ausgewiesen, da das Labor keine eindeutigen Hinweise auf eines der beiden Hölzer auffand. In der Probe Q wurde kein Hinweis auf Eiche geliefert, obwohl sie enthalten war.

Der Grund für die Schwierigkeiten bei der Erkennung von Eiche und ihre Abgrenzung zu Eukalyptus ist laut IPS der hohe Zerstörungsgrad der Fasern in den Proben. Bei den Laubhölzern sind mit Fasern insbesondere die Gefäßelemente als Bausteine der Gefäße gemeint. Sie verfügen im Gegensatz zu den für den Papierhersteller interessanten Libriformfasern und Fasertracheiden über relativ deutliche und konstante Identifikationsmöglichkeiten wie z.B. Gefäßdurchbrechungen, Verdickungen, Tüpfelung und Thyllen (Ilvessalo-Pfäffli 1995 S. 44, Isenberg 1967, S. 156). Grundsätzlich sind Gefäßelemente von Eiche selten und schwer im Zellstoff zu finden; zudem liegen große Frühholzgefäßelemente nur als Fragmente vor (Parham und Gray 1982, S. 162, 164).

Akazie und Eukalyptus:

TUD bestimmte in der Probe E Akazie, die aber nicht enthalten war. In den Proben B und F wurden jeweils Akazie und Eukalyptus bestimmt, obwohl sie nicht enthalten waren. Die genannten Proben enthielten ausschließlich oder teilweise vier Tropenhölzer. Ein Grund für diese Bestimmung kann die Verwendung von Färbungsmitteln sein.¹⁸

IPS wies Akazie aus, wenn sie enthalten war. Eukalyptus wurde ebenfalls als solcher erkannt.¹⁹

Anmerkung: Beide Labore stellten im Blindtest eine hohe Zerstörung bei Gefäßzellen fest. IPS wies darauf hin²⁰, dass dieser Grad der Faserzerstörung ungewöhnlich hoch sei. Eine

¹⁷ Die Gefäßelemente von tropischen Gattungen (auch das Plantagenholz Eukalyptus) können denen aus dem Frühholzbereich von ringporigen Hölzern stark ähneln (Ilvessalo-Pfäffli 1995 S. 44, 254).

¹⁸ „Bei der Anfärbung mit Alexander sind viele Spindelzellen eines Laubholz Zellstoffes rot angefärbt statt wie erwartet violett. Wahrscheinlich sind dies Spindelzellen von Akazie.“

¹⁹ Die Thematik Eiche / Eukalyptus wird unter dem Punkt Eiche beschrieben.

Identifizierung wurde dadurch erschwert. Isenberg (1967, S. 150) weist darauf hin, dass die Faseridentifikation durch morphologische, chemische oder mechanische Einflüsse erschwert wird oder sich nicht immer durchführen lässt. Das Problem der vielfältigen Behandlungsmöglichkeiten von Fasermaterial und einer damit einhergehenden Verminderung von eindeutigen Bestimmungsinformationen wird ebenfalls von Parham und Gray (1982, S. 25) angemerkt. Safdari et al. (2011) weisen auf die Bedeutung der Gefäßzellen hin. Wegen Gefäßdurchbrechungen, spiraligen Verdickungen und Tüpfelung sind sie für eine Identifikation am aussagekräftigsten. Audenaert und Taylor (1976) beschreiben die Gefahr der Zerstörung von Gefäßzellen, da diese Zellen über ein großes Lumen und relativ dünne Zellwände verfügen.

Tropenholzerkennung

Die abschließende Analyse befasst sich mit der Identifizierung von tropischen Laubhölzern.

TUD hielt das Vorhandensein von Tropenhölzern in den Proben B, C, E, F, H, J, L, M, P und Q für möglich. Das entspricht exakt den Proben, die Tropenhölzer enthielten (ausgenommen altpapierhaltige Proben A und I). Konkrete Hinweise wurden nicht genannt. Da vom TUD in den genannten Proben mindestens ein unbekanntes Holz festgestellt wurde, wird die Möglichkeit von Tropenholz nicht ausgeschlossen. Das Vorhandensein von Tropenholz wird aber auch nicht bestätigt.

IPS fand in zwölf Proben (A, B, C, E, F, H, I, J, L, M, P und Q) jeweils mindestens eine unbekannte Holzart. Das entspricht exakt den Proben, die Tropenhölzer enthielten (inklusive altpapierhaltige Proben A und I). Auch IPS setzte in einer ersten Fassung der Ergebnisdarstellung die unbekanntes Hölzer („unknown“) nicht mit Tropenholz gleich. In der schriftlichen Zusammenfassung wurde die Existenz von Tropenholz als möglich angesehen. Jedoch wurde in elf Proben (bis auf Probe B²¹) immer der Hinweis ergänzt, dass die vorgefundene Anatomie von einigen Fasern Dipterocarpaceen ähnelt. Dieser Hinweis auf die Dipterocarpaceen ist zutreffend, da in jeder der zwölf Tropenholzproben mindestens eine Dipterocarpaceae enthalten war (Red meranti – Gattung Shorea, Gerutu – Gattung Parashorea). Darüber hinaus wurde für die Proben A, C, H, M, P und Q der Hinweis gegeben, dass einige der gefundenen Merkmale auf die Gattung Shorea schließen lassen²². Bis auf Probe A trifft dieses Aussage zu, da Red Meranti in den Proben C, H, M, P und Q enthalten war. IPS revidierte in einer überarbeiteten Ergebnisdarstellung seine Aussage hinsichtlich der Terminologie. Die unbekanntes Hölzer der genannten Proben wurden als „unknown tropical“ klassifiziert.²³

Anmerkung: Es gibt kein Merkmal, das die tropischen Laubhölzer eindeutig als tropisch kennzeichnet. Oftmals bieten aber Merkmalskombinationen Hinweise zum Vorliegen tropisch

²⁰ „Normally in commercial papermaking, hardwoods are not heavily refined and this level of vessel damage was not evident in any of the commercial samples that WWF has submitted for analysis [...]“

²¹ Für Probe B wurde keine diesbezügliche Aussage getroffen. Vielmehr wurde darauf hingewiesen, dass die großen Gefäße in der Probe schwer beschädigt waren.

²² Gefäßelemente der Gattung Shorea sind, groß, dickwandig und mit Tüpfeln versehen, die stark in Größe und Form variieren. Außerdem liegen vasizentrische Tracheiden vor (Ilvessalo-Pfäffli 1995, S. 176, 260).

²³ Anmerkung: bei Analysen von industriell hergestellten Papieren weist IPS in den Prüfberichten MTH (mixed tropical hardwood) aus. Im Fall der im Labormaßstab erstellten Prüfblätter war dies nicht möglich, da das Charakteristikum (große Zahl verschiedener Arten) industriell hergestellter Papiere in den untersuchten Proben nicht vorlag.

beheimateter Hölzer (trommel-/fassartige bis längliche Gefäßelemente, breitflächig getüpfelte Gefäßelemente, hoher Parenchymanteil, Faseraufbau - Ilvessalo-Pfäffli 1995, S. 59). Dass die Tropenhölzer nicht eindeutig konkreten Gattungen zugeordnet werden konnten (Ausnahmen: Plantagenhölzer Akazie und Eukalyptus sowie z.T. Shorea), liegt am fehlenden Wissen. Zwar gibt es Beschreibungen einzelner Gattungen (Acacia, Albizzia, Anthocephalus, Eucalyptus, Gmelina, Musanga, Shorea z.B. in Ilvessalo-Pfäffli 1995, S. 244ff.), jedoch reicht dieses Wissen noch nicht aus, um alle Hölzer in Papieren mit Anteilen von Mixed Tropical Hardwood (MTH) zu bestimmen. MTH kann beispielsweise rund 100 verschiedene Holzarten beinhalten.

3) Ergebnisinterpretation

- Altpapier wurde im Blindtest von beiden Laboren richtig identifiziert. Für TUD sind optische Aufheller das wesentliche Charakteristikum zur Bestimmung von Altpapier. IPS identifiziert hingegen Altpapier anhand der vielfältigen und charakteristischen Faserzusammensetzung (Nadelholz / Laubholz, gebleicht / ungebleicht, mechanisch / chemisch aufgeschlossen).
- Die von beiden Laboren im Einzelfall bzw. in Spuren beschriebenen Fasern von Hölzern, die nicht in den Proben enthalten waren (z.B. Pappel, Ahorn), können vernachlässigt werden. Wahrscheinlich hängen diese Befunde damit zusammen, dass in allen diesen Proben europäische Holzarten enthalten waren, die in ihrem Aussehen im Einzelfall den Fasern der Pappel oder des Ahorns ähneln können. TUD weist auf diesen Sachverhalt in der schriftlichen Ergänzung zu den Untersuchungsergebnissen hin²⁴. Vergleichbare Aussagen werden von Safdari et al. (2011) beim Vergleich der Gattungen *Betula* und *Alnus* sowie *Populus* und *Carpinus* gemacht. In der industriellen Praxis sind Spuren von Faserunreinigungen kommerzieller Zellstoffe nicht ungewöhnlich (Parham und Gray 1982, S. 1).
- Die Mengenverhältnisse der unterschiedlichen Hölzer in den einzelnen Proben wurden nur von IPS bestimmt. Zwar sind den Ergebnissen nach exakte Aussagen augenblicklich nicht möglich, dennoch werden die Verhältnisse näherungsweise bestimmt, so dass eine grobe Aussage möglich ist.
- Von TUD wird das Vorhandensein von Tropenhölzern nicht eindeutig bestätigt. Stattdessen wurden die diesbezüglichen Holzarten als „unbekannt“ ausgewiesen. TUD stufte aber das Vorhandensein von Tropenhölzern als „möglich“ ein. IPS bestätigt das Vorhandensein von Tropenhölzern durch den Begriff „unknown tropical“ und vermutete die tropische Familie der Dipterocarpaceae in den Proben. Die Faserzusammensetzung und das Erscheinungsbild seien laut IPS für Tropenhölzer typisch, was durch Ilvessalo-Pfäffli (1995, S. 59) ebenfalls beschrieben wird. Der Begriff Mixed Tropical Hardwood (MTH) wurde hingegen richtigerweise vermieden, da dafür in den Proben zu wenige (maximal fünf) verschiedene Tropenhölzer enthalten waren.
- Die Differenzierung von „unknown tropical“ und Plantagenhölzern (Akazie, Eukalyptus) gelang IPS fehlerlos. TUD bestimmte in zwei Proben Plantagenarten (Akazie, Eukalyptus), die aber nicht in den Proben enthalten waren.

²⁴ „Jede Baumart hat aber sehr vielfältige Gefäßzellen, [...]. Eine zusätzliche Erschwernis sind Ähnlichkeiten mit anderen Gattungen.“

Fazit der Ergebnisinterpretation:

Labore mit versierten Mitarbeitern sind in der Lage, Altpapier und die weltweit gängigen Holzgattungen für die Zellstoffproduktion zu identifizieren. In der industriellen Papierherstellung werden Hölzer genutzt, die in ausreichend verfügbaren Mengen zur Verfügung stehen. Sie stammen für gewöhnlich aus Wirtschaftswäldern oder Plantagen. Ihre Vielfalt ist deshalb in der Regel auf relativ wenige Hölzer begrenzt. Wie der Blindtest gezeigt hat, lassen sich die bekannten Laubhölzer (eingeschränkt Eiche) sowie Plantagenhölzer (Akazie, Eukalyptus) von versierten Mitarbeitern auch unter erschwerten Bedingungen (hoher Mahlgrad) identifizieren.

Neben den Wirtschaftswäldern und Plantagen liefern aber auch Urwälder Rohstoffe zur Papiererzeugung. Solche Papiere zeichnen sich durch eine große Vielfalt an verarbeiteten Holzarten aus – Mixed Tropical Hardwood (MTH). MTH kann von Laboren ebenfalls festgestellt werden (große Anzahl verschiedener Arten, charakteristische Merkmale von Tropenhölzern). Dies trifft auch zu, wenn MTH anteilig im Papier enthalten ist. Im Versuch wurde MTH durch maximal fünf Tropenholzarten simuliert. Zwar können aufgrund der heute noch begrenzten Morphologiekenntnisse nur vereinzelt Gattungen aus MTH identifiziert werden, jedoch gibt das Erscheinungsbild bei der Faseranalyse den Labormitarbeitern eindeutige Hinweise auf MTH. Mixed Tropical Hardwood kann bereits heute von erfahrenen Mitarbeitern in Laboren bestätigt werden. Ein Grund für die Sicherheit von IPS im Vergleich zu TUD ist die Existenz einer dortigen Referenzdatenbank von etwa 40 tropischen Hölzern. Dagegen verfügte die TUD zum Zeitpunkt des Blindtests noch nicht über eine vergleichbare Referenzdatenbank.

Die Identifikation einzelner Tropenholzgattungen ist augenblicklich nur im Ausnahmefall möglich. Um zukünftig gesicherte Aussagen hinsichtlich einzelner Tropenholzgattungen in industriell hergestellten Papieren tätigen zu können, ist weitere Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Holzfaserbestimmung notwendig.

Literaturverzeichnis:

Audenaert, Taylor (1976): The exterior morphology of vessel elements. IAWA Bulletin Nr. 1, S. 9-12

Ilvessalo-Pfäffli (1995): Fiber Atlas. Identification of Papermaking Fibers. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 400 S.

Isenberg (1967): Pulp and Paper Microscopy. The Institute of Paper Chemistry. Appleton, Wisconsin, 395 S.

Parham, Gray (1982): The Practical Identification of Wood Pulp Fibers. Tappi Press, 212 S.

Safdari, Sigarody, Ahmed (2011): Identification of fibers of woody and non-woody plant species in pulp and papers. Pak. J. Bot., 43(4): 2127-2133