

Ein László Moholy-Nagy Gemälde auf *Trolit*, einem historisch-frühen Cellulosenitrat-Kunststoff 2016

Zusammenfassung: Es wurde über lange Zeit angenommen, dass das Kunststoff-Substrat von László Moholy-Nagy`s Gemälde *Tp 2* (1930) in der Sammlung des Solomon R. Guggenheim Museums ein Phenolformaldehyd-Halbzeug namens *Trolitan* gewesen sei. Neuerliche Untersuchungen, die eine Kombination von Mikroskopie und instrumenteller Analyse nutzten, brachten zu Tage, dass der Kunststoff tatsächlich Cellulosenitrat (Nitrocellulose) ist, der mit hohen Anteilen Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) gefüllt worden war. Wenn man dies zusammen mit weiteren Informationen aus dem Archiv betrachtet, deutet diese Charakterisierung darauf hin, dass das verwendete Material eher als der industriell-hergestellte Kunststoff *Trolit* angesprochen werden sollte, der in derselben Fabrik wie *Trolitan* produziert worden war: Die Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff-Fabriken (RWS) in Troisdorf, Deutschland. Diese erste analytische Beschreibung von *Trolit* gestattet neue Einsichten in Moholy-Nagy`s unkonventionelle Materialauswahlen, betont den bemerkenswert guten Erhaltungszustand dieses Kunstwerks und zeigt die Wichtigkeit auf, dass man unbedingt wissenschaftliche Analytik benutzen sollte, um historische Kunststoffmaterialien korrekt zu identifizieren, als sich auf tradierte Namen zu verlassen.

Schlagworte: Cellulosenitrat, *Trolit*, Moholy-Nagy, Bauhaus, FTIR, GCMS, SEM-EDS, Raman Spektroskopie

Einleitung

Diese vorliegende Studie ist Teil einer ersten Tiefenuntersuchung von Material und Maltechniken, die von dem in Ungarn geborenen Bauhaus-Künstler László Moholy-Nagy (1895-1946) ver- und angewendet wurden. Ein besonderer Schwerpunkt wird bei dieser Untersuchung auf die Verwendung von industriellen Materialien durch den Künstler gelegt mit dem Ziel, über die besten Konservierungsstrategien für die unkonventionellen Kunstwerke zu informieren. Diese wissenschaftliche Studie an Moholy-Nagy`s Materialien wirft auch ein Licht auf den innovativen Gebrauch industrieller Produkte in der modernen Kunst. Hier zeigen wir analytische Ergebnisse von einem Gemälde auf, *Tp2* (Abb. 1), das von Moholy-Nagy geschaffen wurde, als er 1930 in Berlin lebte.

Der rechteckige blaue Kunststoffträger hat eine hoch-glänzende glatte Oberfläche auf der bemalten Seite. Das Aussehen und die Bearbeitungsmöglichkeiten dieses Kunststoffs sind grundsätzliche Aspekte dieser Arbeit, wobei der sichtbare Kunststoff den Hintergrund des Gemäldes darstellt, und der Künstler hat Linien in den Kunststoffträger eingeritzt als Teil der Komposition. Der exzellente Erhaltungszustand dieses Kunstobjekts wurde lange der Kunststoff-Rezeptur zugeordnet. Gemäß den Museums-Aufzeichnungen wurde der Kunststoff-Träger historisch als *Trolitan* oder *Bakelite* beschrieben, beides relativ stabile Phenol-Formaldehyd-Harze. Im Gegensatz zu diesen Aufzeichnungen hat diese Analyse den Kunststoff-Träger als einen aus Cellulosenitrat (CN)

identifiziert. Dieses Ergebnis ist überraschend, weil doch bekannter Weise CN-Kunststoffe einem starkem Abbau unterliegen. Es wurde deswegen eine umfassende Charakterisierung unternommen, um einen tieferen Einblick in die Gründe für die offensichtliche Stabilität dieses üblicherweise labilen historisch-frühen Kunststoffes zu finden und zusätzlich die besten Lagerbedingungen für dieses Kunstwerk festzulegen. Außerdem führt die Kenntnis über Moholy-Nagy`s Kunststoff-Auswahl zu einem besseren Verständnis seiner künstlerischen Arbeitsweise.

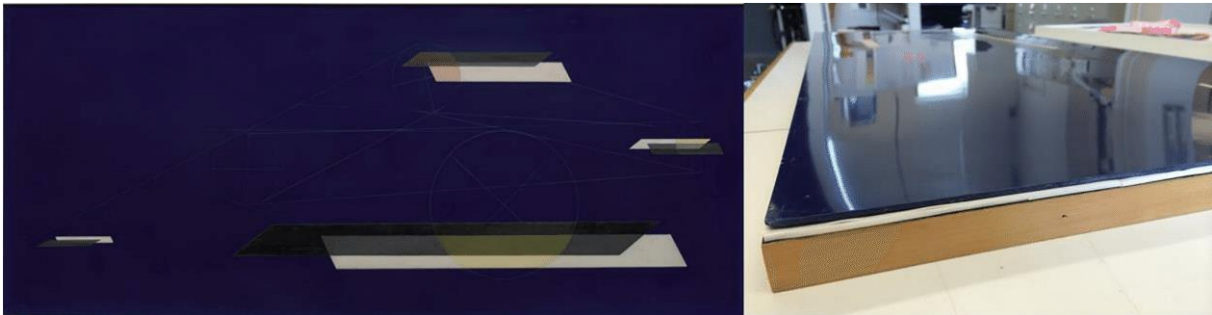


Abb. 1: Tp 2, 1930. Öl mit eingeritzten Linien auf Trolit, 24 ¼ x 56 ¾ inches (61,5 x 144,3 cm), Solomon R. Guggenheim Museum, New York, Solomon R. Guggenheim Founding Collection; gespendet. ©2014 Artists Right Society, New York, / VG Bild-Kunst, Bonn (linkes Bild), übliche Fotografie von Tp 2

Methoden

Scanning Elektronen-Mikroskopie (SEM) mit Energie-dispersiver Röntgen-Spektroskopie (SEM-EDS) wurde angewendet an einer polierten unbeschichteten Querfläche bei 20 kV Beschleunigungsspannung, wobei ein Hitachi-3400-N-II Gerät im schwachen Vakuum (90 Pa) mit einem Oxford-x-gängigen Energie-dispersiven Spektrometer zum Einsatz kam.

Fourier-Transform-Infrarot-Spektren wurden aufgenommen am Original (ohne Vorbehandlung) mit einem kleinen tragbaren Bruker Alpha Fußabdruck-FTIR-Spektrometer in der Auflichtmethode mit Reflexions-Sammlung im Spektralbereich von $375 - 7500 \text{ cm}^{-1}$ mit einem Messbereichsdurchmesser von 6 mm und einem Messabstand von 15 mm zum Spektrometer. 256 Scans wurden durchgeführt mit einer Auflösung von 4 cm^{-1} .

Schnittproben wurden zusätzlich mit einem Bruker Tensor-27-Spektrometer von 4000 bis 400 cm^{-1} bei einer Auflösung von 4 cm^{-1} (Durchführung von 128 Scans) untersucht.

Zusätzlich wurden mit einem Jobin-Yvon-Horiba-Labram-300-Konfokal-Raman-Mikroskop ($\lambda_{\text{exc}} = 633 \text{ nm}$) Raman-Spektren aufgenommen; alle FTIR- und Raman-Parameter sind schon früher veröffentlicht worden [1].

Zusätzlich zu den bereits publizierten Parametern [2] erfolgte eine Pyrolyse-Gas-Chromatographie-Untersuchung mit einem Massenspektrometer als Detektor (Py-GCMS) mit folgenden

Modifikationen: Verwendet wurde ein Varian-3800-Gaschromatograph mit einer Restek-Rxi-5ms-Säule (mit 300°C Ofentemperatur am Ende und einer Heizzeit von 10 Minuten) und ein Saturn-2200-Ionenfallen-Massenspektrometer. Das Massenspektrometer wurde bei 210°C im Scan-Modus betrieben (m/z -Verhältnis von 40-600). Die Probengröße betrug ca. 10-20 µg. Die Inhaltsstoffe wurden durch Vergleich mit der NIST-Datenbasis (v. 20d) identifiziert und durch Analyse der Standards.

Ergebnisse

Die anfänglichen zerstörungsfreien Untersuchungen mit der Reflexions-FTIR-Methode ergaben die Erkenntnis, dass der Kunststoffträger Gipsgefülltes CN war; um aber mehr Einblick in die Materialstruktur zu gewinnen, wurde ein kleines Teil von der Rückseite des Kunstwerks entfernt.

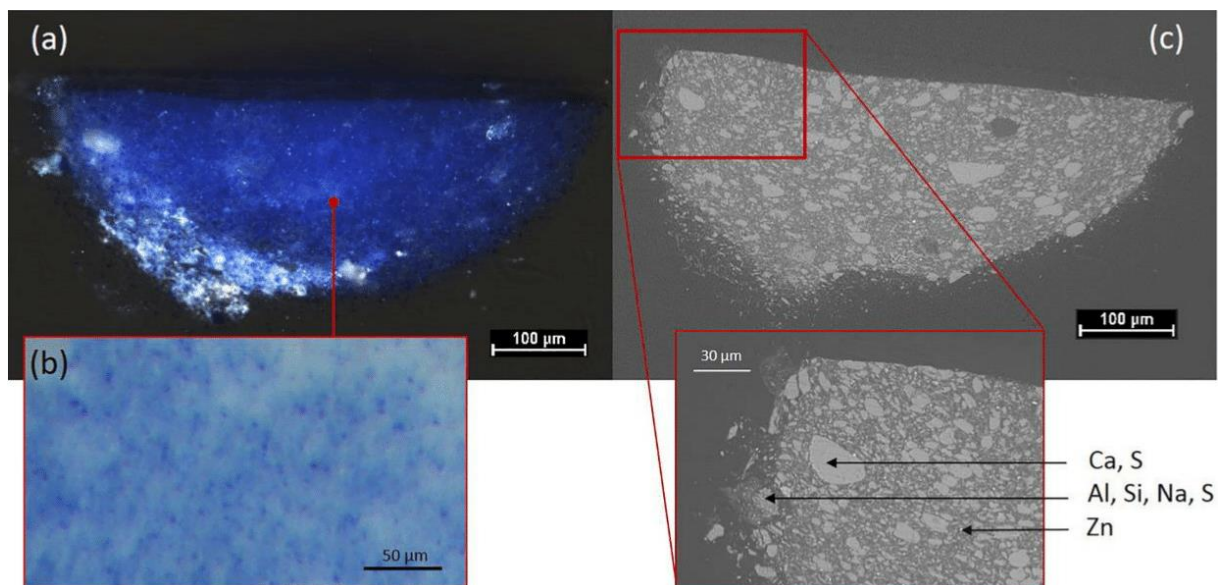


Abb. 2: Fragment des Tp 2-Kunststoffträgers: (a) polierte Querschnittsausschnitt; (b) Detail des unpolierten Fragments, durch das Mikroskop beobachtet; (c) Scanning-Elektronenmikroskop-(SEM)-Aufnahme des Querschnitts mit Details, die verschiedene Partikel mit deren Element-Inhalten zeigen

Betrachtet mit Vergrößerung (Abb. 2a und b) zeigt eine Kunststoff-Mikroprobe blaue Partikel in einer Matrix, die reichlich mit weißen Partikeln gefüllt ist. SEM und EDS (Abb. 2c) lässt erkennen, dass die weißen Partikel Calcium- und Schwefel-reich in der Größenordnung 1 bis 50 µm sind. Agglomerate kleinerer Partikel, reich an Aluminium, Schwefel, Silizium und Natrium korrespondieren zu dem blauen Pigment. Zusätzlich wurden einige Zink-reiche Partikel (ca. 1µm) beobachtet und der Gegenwart von Zinkoxid zugeordnet.

Transmissions-FTIR erlaubte die weitere Charakterisierung des Kunststoffträgers (Abb. 3a). Banden von CN werden bestätigt durch eine gute Übereinstimmung mit einem Referenzspektrum (IRUGISR00066) [3,4]. Zusätzlich sind Banden vorhanden, die zu Calciumsulfat-dihydrat

(Gips) passen. Während keine Banden für Kampfer (ein üblicher Weichmacher für historisch-frühe CN-Kunststoffe) beobachtet werden können, lassen einige schwache Peaks, einschließlich eines starken Peaks bei 1492 cm^{-1} , auf die mögliche Gegenwart eines Organophosphats schließen, eine Erkenntnis, die durch die Pyrolyse-GCMS-Ergebnisse (Abb. 3b) unterstützt wird.

Das Pyrogramm zeigt die Gegenwart organischer Additive einschließlich Dibutylphthalat, Tributylphosphat, gemischte Phenyl- und Kresylphosphate und sowohl eines kleinen Anteils Diacetin und Diethyldiphenylharnstoff.

Analysen bei niedrigeren Pyrolysetemperaturen (350 °C) lassen vermuten, dass das in Abb. 3b beobachtete Phenol und Kresol analytische Artefakte sind, die durch den Abbau von Phenyl/Kresylphosphaten gebildet wurden; obwohl die Anwesenheit kleiner Mengen dieser Komponenten im Kunststoff nicht komplett ausgeschlossen werden kann.

Die Raman-Spektren der blauen Partikel zeigen die charakteristischen Banden des Pigments Ultramarin ($\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_4$) (Abb. 3c) [5].

Diskussion

Die Daten, die in den Abbildungen 2-3 präsentiert werden, belegen, dass der *Tp2*-Träger aus hoch mit Gips gefülltem und mit synthetischem Ultramarin und Zinkoxid pigmentierten CN besteht. Die Kombination dieser Materialien wird in der historisch-frühen technischen Literatur als gut-geeignete Mischung beschrieben, farblich-gesättigte und durchsichtige Nitrocellulose-Platten herzustellen [6]. Es wurden auch Weichmacher im Kunststoff identifiziert, die auch als Brandverzögerer [4] wirken.

Obwohl bekannt ist, dass CN einem autokatalytischen Abbau unterliegt und/oder organische Additive verliert [7], befindet sich *Tp2* in einem bemerkenswert guten Zustand. Das einzige Zeichen einer anhaltenden molekularen Veränderung ist der stechend-scharfe Geruch, möglicherweise ein Hinweis auf die Emission niedermolekularer Additive oder ihrer Abbauprodukte aus dem Kunststoff.

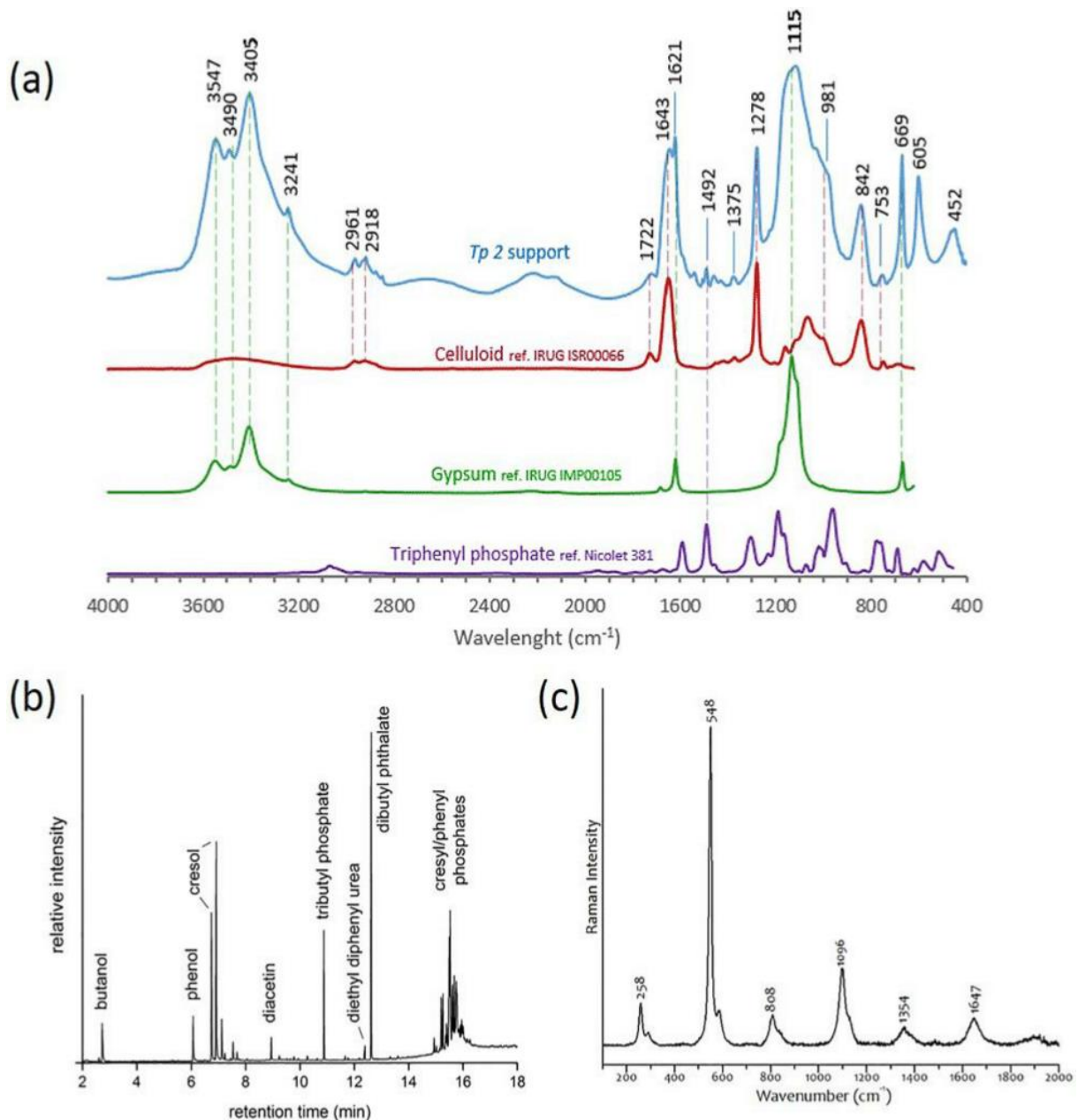


Abb. 3: Analyse des Tp2-Kunststoffträgers: (a) FTIR-Spektrum und vergleichbare Referenzspektren [3]; (b) Pyrogram (gesamtes Ionen-Chromatogramm) bei 550°C; (c) Raman-Spektrum der blauen Partikel (Pigment als Ultramarin-Blau identifiziert)

Der exzellente Erhaltungszustand von Tp2 kann auf zwei Faktoren der Materialrezeptur zurückgeführt werden. Als erstes hat sich Zinkoxid als stabilisierend für CN durch Neutralisation von sauren Abbauprodukten erwiesen [8-10]. Zum Zweiten wird allgemein akzeptiert, dass hochgefülltes Material eine verbesserte thermische Stabilität und mechanische Stärke im Vergleich zu ungefülltem Kunststoff hat [4]. Weichmacher, die aromatische Ringe beinhalten, wie Triphenyl- und Trikresylphosphat, sind ebenfalls bekannt, Kunststoffsubstrate zu stabilisieren [7]. In CN-Klebstoffen wurde zum Beispiel beobachtet, dass Phthalat-Weichmacher die Widerstandskraft gegen thermische und photochemische Zersetzung erhöhen [11]. Diese Beobachtungen lassen

vermuten, dass die Materialzusammensetzung von *Tp2* seine Langzeitstabilität begünstigt.

Trolit war eine Familie von Kunststoffprodukten, die in 1920er Jahren für die Elektroindustrie von RWS in Troisdorf, Deutschland, entwickelt wurde (Abb. 4).

RWS patentierte zwei Methoden, die die Haupt-Grundlage für die Entwicklung von *Trolit*-Kunststoffen legte [12,13]; sie zeigen viel Gemeinsamkeiten mit der Rezeptur von *Tp2*. Die erste Methode beinhaltet den erhöhten Einsatz von Weichmachern und großer Mengen an Füllstoffen, um Cellulosenitrat-basierte Kunststoffe besser verarbeitbar bei verringertem Schrumpf zu machen. Folgt man der Entwicklung dieser beiden Patente, so erkennt man, dass zwei Kunststoffe unter ähnlichem Namen hergestellt und vermarktet wurden: *Trolit F*, ein hochgefülltes CN, erstmals produziert im Jahre 1920, und *Trolit W*, ein Celluloseacetat, in den Markt eingeführt 1923.

Die Maße von *Tp2* ($24\frac{1}{2} \times 56\frac{3}{4}$ inches) stimmen perfekt mit den Maßen von CN-Platten überein, die damals die Standardgröße für industriellen und dekorativen Gebrauch waren [7,14].

Eine Anzahl weiterer Kunststoffe, inklusive *Trolitan*, wurden später in Troisdorf (Abb. 5) produziert [15,16]. Eine komplette Übersicht über die Verwendung von Kunststoffen durch Moholy-Nagy in Verbindung zur historisch-frühen Produktion von Kunststoffen mit ihren Handelsnamen wird in dem demnächst erscheinenden Ausstellungskatalog *Shape of Things to Come* publiziert werden.

Moholy-Nagy wusste sicherlich, dass der Kunststoff, den er für *Tp2* nutzte, den Handelsnamen *Trolit* hatte, wie er es in seinen Schreiben erwähnte [18]. Tatsächlich widerspiegeln sich oft in den Titeln seiner Werke die Namen des Trägermaterials; dabei ist es denkbar, dass „Tp“ sich auf „Trolit poliert“ oder „Trolit Platte“ bezieht. Außerdem wurden Platten, ähnlich dem Material der Trägerplatte von *Tp2*, von Moholy-Nagy für den Träger des Wand-Dekorations-Designs als Teil der Ausstellung des *Deutschen Werkbundes* auf dem *Salon des Artists* in Paris 1930 benutzt [Abb. 6]; sie wurden in damaligen Pressenotizen als *Trolit* beschrieben [19]. Dennoch bleibt unklar, ob Moholy-Nagy wusste, dass *Trolit* chemisch unterschiedlich von dem üblicherweise benutzten *Bakelite* war, weil der Künstler doch in der nicht-veröffentlichten Korrespondenz mit dem Guggenheim Museum in einem Brief von 1930 [20] den Begriff „Trolitbild“ benutzt, möglicherweise *Tp2* bezeichnend, während er sich auf „das Bakelite Bild *Tp2*“ in einem anderen Brief von 1941 [21] bezieht.



Abb. 4: Anzeigen für Trolit der RWS Firma von 1926 (oben) und 1928 (unten), Quelle: Troisdorfer Kunststoff-Museum e.V.

Die lange gedankliche Verbindung von *Tp2* mit Phenolformaldehyd-Harzen kann auch dem Fakt geschuldet sein, dass das tief-blau gefärbte Trägermaterial mit seinem guten Erhaltungszustand nicht oft mit CN gedanklich verbunden wird. Ein weiterer Faktor kann die Konfusion über historische Markennamen sein, die dem Trägermaterial in einer speziellen Ausgabe des Journals *Telehor* zugeschrieben wurden, die dem Werk von Moholy-Nagy gewidmet war [22]. Dort wurde der Träger von *Tp2* als „Trolite“ benannt mit einer bemerkenswert Unterschiedlichkeit in der Beschreibung des Trägermaterials innerhalb der vier Sprachen, in die die Veröffentlichung übersetzt wurde (Abb. 5). All diese Übersetzungen beziehen sich auf das CN-Material „Trolit“ oder „Trolite“, aber zugleich wurde eine irrtümliche Übersetzung nach „Trolitan“ zum gleichen Punkt gemacht, die zur Falschbezeichnung als Phenolformaldehyd-Harz beitrug.

Produkt	Kunststoff-Typ	Beginn der Produktion	Schreibweise in Moholy-Nagy`s Briefen und der <i>Telehor</i> -Ausgabe [18, 22]
<i>Trolit</i>	Trolit F: hoch-gefülltes Cellulosenitrat	1920	Trolit Trolite
	Trolit W: Cellulose-acetat	1923	Trolithe Trolitem
<i>Trolon</i>	Phenolformaldehyd-Harz	1924	
<i>Trolitan</i>	Halbzeug aus PF-Harz	1925	
<i>Trolitul</i>	Polystyrol für Spritzguß	1929	

Abb. 5: Zusammenstellung von Kunststoffen, die in Troisdorf in den 1920iger Jahren produziert wurden [15,16] und die falsche Schreibweise von Trolit in der Literatur

Zusammenfassung/Ausblick

Unsere Forschung hat die Charakterisierung des Kunststoffträgermaterials von *Tp2* ergeben, einem Moholy-Nagy Gemälde von 1930. Das Kunstwerk wurde gefertigt mit einem hoch-gefüllten Cellulosenitrat-Material, das *Trolit* genannt wurde und bei der RWS in Troisdorf produziert worden war. Diese und andere Erkenntnisse erweitern das gegenwärtige Wissen über Moholy-Nagy`s Arbeitsweisen und die Ausprägung neuer industrieller Produkte in signifikanter Weise und sie liefern wesentliche Informationen, die es dem Guggenheim ermöglichen, seine Konservierungsstrategie für *Tp2* zu optimieren. Diese neuen Erkenntnisse unterstreichen auch die Notwendigkeit und den Nutzen, wenn man wissenschaftliche Analyse mit Kunstgeschichte und Archiv-Recherche kombiniert, um Moholy-Nagy`s Medien zu identifizieren und zu interpretieren.



Abb. 6: Das Foto des Raumes, der von Moholy-Nagy in der 1930-Ausstellung in Paris gestaltet wurde, zeigt eine Serie von langen Trolit-Kunststoff-Wand-Platten. Foto: Bauhaus-Archiv, Berlin, unbekannter Fotograf © 2014, Artists Right Society, New York

Danksagungen

Diese Forschung wurde ermöglicht durch eine großzügige Spende von der Andrew-W.-Mellon-Stiftung. Wir danken Dr. F. Pozzi für die Raman-Analytik. Wir danken Herrn Dr. V. Hofmann, der uns die relevanten historischen Informationen und die Dokumentation über die Kunststoffe aus Troisdorf bereitgestellt hat. Diese Arbeit nutzte die EPIC-Einrichtung (NUANCE Center-Northwestern University), die wiederum Unterstützung von dem MRSEC-Programm (NSF DMR-112162) vom Material Research Center erhalten hatte, das Nanoscale Science and Engineering Center

(NSF EEC-0647560), das International Institute for Nanotechnology und den Bundesstaat Illinois, vertreten durch das International Institute für Nanotechnolgy.

Literatur

1 – 22

DEUTSCHES REICH



AUSGEBEN
AM 23. MAI 1924

REICHSPATENTAMT
PATENTSCHRIFT

— № 396051 —
KLASSE 39b GRUPPE *12/OK*
(L 51410 IV 39b¹)

Dr. Gustav Leysieffer in Troisdorf.

Verfahren zur Herstellung von unentflammaren, plastischen Massen aus den Estern
oder Äthern der Zellulose.

Patentiert im Deutschen Reiche vom 28. September 1920 ab.

Es ist bekannt, daß die Entflammbarkeit von Zelluloid durch Gips herabgesetzt wird. Gegenstände aus derartigen Stoffen können aber überall da keine Verwendung finden, wo unbedingte Sicherheit gegen Entflammung gefordert wird, z. B. bei Isolationsstücken der Elektrotechnik, bei Formstücken, die in der Beleuchtungsindustrie Verwendung finden usw.

Die Erfindung betrifft plastische Massen aus Zelluloseestern und Zelluloseäthern sowie anderen Derivaten der Zellulose, welche dadurch unentflammbar gemacht sind, daß man einer Mischung von Nitrozellulose mit Kalziumsulfat noch einen anorganischen oder organischen Stoff zusetzt, der an sich die Brennbarkeit von plastischen Massen aus Zellulosederivaten herabzusetzen pflegt, wie z. B. Bromammonium, Phosphorsäureester, organische Chlorverbindungen u. dgl., man erhält eine Masse, die auch in der nicht leuchtenden Flamme eines Bunsenbrenners nicht mehr entflammt werden kann bzw. nach dem Entfernen aus der Flamme sofort erlischt. Das Wesentliche an dieser Wirkung ist aber der Gehalt an Kalziumsulfat, da bei Fehlen dieses Stoffes auch bei Zusatz größerer Mengen der oben erwähnten

Präparate eine Unentflammbarkeit nicht erreicht werden kann.

Beispiel:

Zur Herstellung einer unentflammaren Masse mischt man z. B. 20 g Nitrozellulose mit 55 g Kalziumsulfat, fügt 6 g Triphenylphosphat zu und verarbeitet das Gemenge ebenfalls unter Zusatz von plastifizierenden Mitteln zu einer plastischen Masse. Diese ist auch in der nicht leuchtenden Flamme des Bunsenbrenners nicht mehr zu entflammen und erlischt sofort nach dem Herausnehmen aus ihr.

PATENT-ANSPRUCH:

Verfahren zur Herstellung von unentflammaren, plastischen Massen aus den Estern oder Äthern der Zellulose bzw. ihrer Derivate oder deren Zellulosederivaten, dadurch gekennzeichnet, daß man diese mit Kalziumsulfat und ferner mit solchen anorganischen oder organischen Verbindungen vermischt, die an sich die Entflammbarkeit von Massen aus Zellulosederivaten herabzusetzen pflegen.