



Trabant 601 S, 1990, DM Verkehrszentrum H1
Inv.-Nr. 1990-938

Foto: Susanne Brunner



Wartburg 353 W, 1986, DM Verkehrszentrum H1
Inv.-Nr. 1993-750

Foto: Susanne Brunner



Wartburg 353 W, Kopfstütze
Inv.-Nr. 1993-750

Foto: Susanne Brunner



ICE-V, 1982, Armlehne
Inv.-Nr. 2006-326

Foto: Susanne Brunner



Elektroauto Pöhlmann EL, 1986
Inv.-Nr. L 1989-2

Foto: Susanne Brunner



IBM 729 V, 1960, Walze
Inv.-Nr. 77525

Foto: Susanne Brunner

Polyurethan-Elastomere

Konservierungswissenschaftliche Materialuntersuchung
zur Erhaltung von Trabant und Wartburg

1 Polyurethane - innovative Alleskönner in musealen Sammlungen

Polyurethane sind ein vielfältiges Material. Ihre Verwendung reicht von weichen oder harten Schäumen über dünne Folien bis hin zu gummielastischen bis harten Vollstoffen [UHLIG, S.20 ff]. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts finden Polyurethane breite und stetig wachsende Anwendung [AG DT. KUNSTSTOFFINDUSTRIE, Bd. VIII B; BÜTHE, S. 7 ff]. Ihre leichte Verarbeitbarkeit spricht für das Material: Gegossen, gespritzt oder geschäumt können Polyurethane bei schneller Abbindezeit eine Vielfalt an Formen, Härten und Dichten annehmen [UHLIG 2006, S.54 ff]. In technischen Sammlungen finden sich Polyurethan-Elastomere vor allem in Fahrzeugen, an technischen Geräten und in Sportzubehör. Sie bilden einen beträchtlichen Anteil an Sammlungsgütern, deren Produktion weiterhin andauert.¹ PUR-Elastomere verdanken ihre gummiartige Konsistenz ihrem Aufbau aus Hart- und Weichsegmenten, deren Strukturen aus teilkristallinen und amorphen Bereichen bestehen. Daher können sie sich verformen und dehnen und kommen bei Entlastung wieder in den ursprünglichen Zustand zurück. Sie werden als geschlossenzellige Schaumstoffe oder Vollstoffe in beliebigen Härten und Schichtstärken produziert. Wie alle Kunststoffe haben Polyurethan-Elastomere im Vergleich zu traditionellen Materialien eine relativ kurze Lebensdauer.² In den letzten Jahren sind sie aufgrund ihrer gravierenden Schadensphänomene ins Zentrum der Aufmerksamkeit von Konservatoren geraten. Ihre Alterung zeigt sich im Verlust der Kohäsion, in weißen Ausblühungen an der Oberfläche, an Einschlüssen im Inneren des Materials und Farbveränderungen (s. Fotos Titelblatt). Das ehemals elastische und glatt-glänzende Material wird aufgrund von Reaktionen mit Feuchtigkeit, Sauerstoff und Licht matt, brüchig, spröde und zerfällt oder wird klebrig bis flüssig. Oft können nur noch deformierte und farbveränderte Bruchstücke geborgen werden. Nicht zuletzt entstehen säurehaltige Abbauprodukte, deren Dämpfe umliegende Materialien schädigen können, z.B. Metalle [SAWITZKY].

2 Stand des Wissens

Bisherige Konservierungswissenschaftliche Arbeiten über Polyurethanelastomere beschäftigen sich mit Kunst- und Designobjekten. Geforscht wird in Bezug auf die konservatorische Praxis hinsichtlich geeigneter Ersatzmaterialien, Konservierungsmittel oder das Verhalten bei künstlicher Alterung [BRUNNER; FRÖHLICH; GRÄNER; KESSLER, VAN OOOSTEN; LANGENBACHER; LUTZ; u.a.³]. Im Bereich des technischen Kulturguts findet das Material bisher wenig Beachtung.⁴ Vielfältige Zusammensetzungen und Verarbeitungsweisen sowie Produktionsfehler führen zu uneinheitlichen Schadensprozessen. Jeder verwendete Bestandteil der Rezeptur beeinflusst chemische und physikalische Prozesse, die zur Materialalterung führen. Demzufolge ist keine allgemeingültigen Empfehlungen zur Erhaltung möglich. Die Erforschung der Materialien und die Analyse der Bestandteile sowie die Dokumentation der Schäden bilden einen Grundstock für das Verstehen der Alterungsprozesse von Polyurethan-Elastomeren. Derzeit zeichnet sich die präventive Konservierung als geeignete Erhaltungsmaßnahme ab. Die breit gefächerte Anwendung und die Materialvielfalt stellen Restauratoren jetzt und in der Zukunft vor das Problem der Erhaltung.

1 Die globale Produktion von Polyurethan-Elastomeren ist von 1985 bis 2000 von 297 000 t auf rund 1,5 Mio t gestiegen, davon entfielen 4 % auf die Schuhindustrie, 8 - 15 % auf Überzugsmaterialien und der größte Anteil, 18-22 % auf die Automobilindustrie, RANDALL, LEE 2002, S. 13, 108

2 bis zu 20 - 30 Jahre; Kunststoffe allgemein 5 - 35 Jahre, SHASHOUA 2008, S. 3

3 sowie aktuelle Forschung am Deutschen Bergbau-Museum Bochum unter Elena Gómez-Sánchez

4 Deutsches Bergbau-Museum: Schuhsohlen Bergmannschuhe; Deutsches Museum: iBook, Radios

3 Zielsetzung

Trotz ihrer großen Bedeutung spielen PUR-Elastomere bei vielen Exponaten zunächst eine untergeordnete Rolle, handelt es sich doch meist um kleine Bauteile: Kunstleder, Stoßstangen, Antirutsch-Beschichtung oder elastische Bänder an Geräten. Daher ist Museen oftmals nicht bewusst, wo diese in ihrer Sammlung vorkommen. Zumal der Werkstoff optisch nicht leicht von Gummi oder PVC zu unterscheiden ist, so lange er stabil ist. Mit Ausnahme von wenigen Objekten⁵ ist weitgehend unbekannt und nicht dokumentiert, wo im Deutschen Museum Polyurethan-Elastomere vorhanden sind⁶.

Die Bewerberin strebt in einem fünfmonatigen Scholar an, ausgehend von drei Automobilen der DDR, Trabant 601 (Inv.-Nr. 1990-0319), 601 S (1990, Inv.-Nr. 1990-938) und Wartburg 353 W Limousine (1986, Inv.-Nr. 1993-750), die Verwendung und Bedeutung von Polyurethan-Elastomeren im Automobilbau zu erforschen. Im Vergleich mit weiteren Fahrzeugen der 1980er Jahre, wie den Prototypen Uni-Car (1981, Inv.-Nr. 2004-353) oder Elektroauto Pöhlmann EL (1986, Inv.-Nr. L 1989-2), wird die dringende Erhaltung der geschädigten Objekte thematisiert. Darüber hinaus werden Vergleichsobjekte aus Polyurethan-Elastomeren hinzugezogen, um die kulturhistorische Bedeutung des Materials in Deutschland in den Jahren 1950 bis 1990 in einer Materialdatenbank festzuhalten. Vergleichende Objekte stammen aus den Bereichen Schienenverkehr, Rollsport, Chemie, Informatik, Bergbau und Mikroelektronik des Deutschen Museums. Die PUR-Elastomere sollen mittels naturwissenschaftlichen Methoden analysiert und in ihrer Zusammensetzung klassifiziert werden, u.a. Unterscheidung zwischen Polyether- und -esterurethan sowie Identifikation von Isocyanat, Weichmacher, Füllstoff und Pigment. Die Schädigung der Materialien soll dokumentiert werden. Hintergrundrecherchen zu den Objekten und produzierenden Firmen⁷ binden die Ergebnisse in einen kulturhistorischen Kontext ein. Das vorliegende Projekt zielt darauf ab, Kuratoren und Konservatoren für das Material zu sensibilisieren. Zum Anderen bilden die Untersuchungen den Grundstock für weitere Forschung, der sich die Autorin in einer Promotion widmen will. Aufbauend auf die Ergebnisse des Scholars sollen Erhaltungskonzepte für die Materialgruppe PUR-Elastomere entwickelt werden.

4 Eigene Vorarbeiten und Kompetenzen

Die Bewerberin hat sich für die Auswahl intensiv mit den Objekten des Deutschen Museums in Ausstellung und mit der Datenbank *Museum Plus* beschäftigt. Eine makroskopische Begutachtung ergab eine Auswahl von geschädigten Objekten. Der Schwerpunkt wurde auf Sammlungsgruppen aus den Abteilungen Schienen- und Landverkehr, Bergbau, Chemie, Informatik und Mikroelektronik gelegt. Die zeitliche Eingrenzung liegt zwischen 1950 und 1990, die Herstellung in Deutschland. Der Austausch mit den betreffenden Kuratoren sowie Vermerke in der Datenbank erbrachten weitere Objekte mit Handlungsbedarf. An Hand von Übereinstimmungen in Hersteller, Baujahr oder Anwendung wurden Vergleichsobjekte ohne Schädigung in den Sammlungen des DM sowie anderer Museen herangezogen.

Im Rahmen des Studiengangs Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft an der Technischen Universität München mit Schwerpunkt auf moderne Materialien und Kunststoffe erlernte die Be-

5 Untersucht wurde ein iBook (KÖPPEN), Radios (ELSÄSSER, SAWITZKI) und die Kunststoffschule (BRUNNER)

6 *Museum Plus*, insgesamt 12 Treffer bei der Suche nach Polyurethan, PUR und Elastomere, aufgerufen am 21.9.2017

7 wichtigste deutsche Firmen: IG Farben, Bayer, BASF, WAENTIG 2008, S. 301 f

werberin einen sicheren Umgang mit degradierten Kunststoffen und kann makroskopisch die gängigsten Kunststoffe erkennen.⁸ FTIR-Analysen können selbstständig vorgenommen werden⁹. In einigen Projekten und nicht zuletzt in ihrer Diplomarbeit beschäftigte sich die Bewerberin mit Polyurethan-Elastomeren.¹⁰ Am Deutschen Bergbau-Museum Bochum wurden Kompetenzen über die künstliche Alterung erworben, über Schadensklassifizierungen sowie Analysen und Tests bezüglich der chemischen Zusammensetzungen und mechanischen Eigenschaften von Polyesterurethan-Elastomeren.

5 Vorgehensweise

5.1 Untersuchung geschädigter Fahrzeuge der 1980er Jahre aus Halle 1, Verkehrszentrum

Die Wartburgstadt war seit 1899 ein wichtiger Industriestandort mit Schwerpunkt Fahrzeugbau. Die Werke in Eisenach produzierten Wartburg-Wagen bis zur Schließung 1991. Wartburg 353 war der zweite Fahrzeugtyp der DDR und wurde ab 1966 produziert, als direkter Konkurrent des schon ab 1957 in Zwickau konzipierten Trabant 601 [BÖHLKE, NAGLER 2011, S. 50; SIEM 2003, S. 28]. Die begrenzten Rohstoffe, Produktionsstätten und -zeitspannen machen die vorletzten Zweitakter der DDR Wartburg und Trabant zu spannenden Untersuchungsobjekten. Ihre baugleichen Kopfstützen bestehen aus formgegossenem, geschlossenzelligem Polyurethan-Elastomer. Das Material zeigt Schäden in Form von Glanzverlust und weißen Ausblühungen auf. Analysen und Recherchen sollen Aufschluss über Materialzusammensetzung, -geschichte, -verwendung und den Erhaltungszustand geben. Das Uni-Car 1981 ist eins von weltweit vier produzierten Prototypen, an dem viele Polyurethan-Elastomere verwendet wurden und die heute in teilweise stark geschädigtem Zustand sind: 2014 wurden die originalen Außenspiegel abgebaut, da ihr Material zu zerfließen begann - vermutlich PUR-Elastomer. Die Lenkermanschette des Elektroauto-Prototyps Pöhlmann von 1986 weist weiße Ausblühungen auf. Vermutlich gibt es weitere Bauteile aus Polyurethan-Elastomer, wie Armstützen, Armaturen und Lenkräder. Die Schadensphänomene werden fotografisch dokumentiert und beschrieben.

5.2 Materialanalyse mit FTIR und py-GC/MS

Im ersten Schritt werden die Objekte mittels FTIR auf Polyurethan-Elastomere untersucht. Dies geschieht mit geringer Probennahme oder gänzlich berührungsfrei.¹¹ Mittels der Anregung durch Infrarotstrahlung können charakteristische Molekülbindungen in den Proben identifiziert werden. So lassen sich die Produkte einteilen in Polyesterurethane oder Polyetherurethane. Es kann ausgesagt werden, ob zyklische Weichmacher enthalten sind und wie stark der Grad der Schädigung ist. Die Ergebnisse werden in *Museum Plus* dokumentiert und dienen als natürlich gealterte Referenzproben für die Spektrendatenbank des Museums.

Im zweiten Schritt wird aus der PUR-Materialdatenbank (s. 5.3) eine begrenzte Auswahl von ca. 5-10 Ob-

8 Beschäftigung mit den zwei Editionen der Kunststoffschule des DM (Inv.-Nr. 2006-63, 1998-229), Dozentin an der TUM über die Kunststoffschule, dabei Erstellen einer eigenen Kunststoffsammlung für Studenten zum Erkennen von Kunststoffen.

9 Studienprojekt 2014 über FTIR an Kunststoffen, <https://www.rkk.ar.tum.de/index.php?id=321>, aufgerufen am 4.10.2017

10 Restaurierungsarbeiten des Objekt-Möbels von GAETANO PESCE: *Il Piede (Up 7)*, aus PUR-Schaum und -Elastomer; Teilnahme am Workshop *Conservation treatments on PUR-foam* mit Thea Van Oosten und Anna Lagàna, Future Talks 2013; Diplomarbeit über die Erhaltung von Bergmannschuhen und deren degradierten Schuhsohlen aus Polyesterurethan-Elastomer am Deutschen Bergbau-Museum Bochum

11 Falls technisch möglich, werden berührungsfreie Reflexionsmessungen durchgeführt, oder ATR-Messungen mit ca. 25 mm² großen Proben.

jekten getroffen. Mit py-GC/MS-Analyse soll die Zusammensetzung genauer untersucht werden. Eine ca. 1 mm² große Probe (meist reicht die schon gemessene FTIR-Probe) wird graduell erhitzt und die gasförmigen abgeschiedenen Bestandteile in einer Trennsäule entnommen. Die so erhaltenen sehr leichten Bestandteile werden im Massenspektrometer ionisiert und anhand der charakteristischen Isotopenmuster kann auf Struktur- und Summenformeln der Substanz geschlossen werden. Bei den PUR-Elastomeren kann so die Art des verwendeten Ethers, Esters, der Isocyanate (meist TDI oder MDI) sowie farbgebende organische Zusätze und Weichmacher identifiziert werden.¹² Zusätzlich kann die Untersuchung mit dem Röntgenfluoreszenz-Gerät des DM Aufschluss über mineralische und metallische Anteile der Proben geben, z.B. Füllstoffe und Pigmente. Die Dokumentation der Rezepturen hilft beim Verständnis von Produktion und Abbaumechanismen der PUR-Elastomere und somit bei der Erforschung der Erhaltung.

5.3 PUR-Materialdatenbank

Eine Hintergrundrecherche der Objekte soll Hinweise auf die Produktionszeit und die Hersteller der verwendeten PUR-Elastomere liefern: Wann wurden die Objekte hergestellt und von welchen Firmen? Wie sah die Produktion aus, welche Rohstoffe wurden verwendet? Der Zusammenhang zwischen Herstellungszeit, Produktionsfirmen und Materialkomposition wird hergestellt, sowie Einflüsse bei der Herstellung auf die Alterung herausgestellt. Die Bibliotheksbestände werden zur Literaturrecherche herangezogen.¹³ Die Ergebnisse werden in einer PUR-Materialdatenbank dargestellt. Darin aufgeführt werden neben den typischen Anwendungsbereichen auch Erkennungsmerkmale und die zeitliche Einordnung der Materialien. Ziel ist es, einen Überblick über die übliche Verwendung zu erhalten um die Erkenntnisse auf andere Objekte anwenden zu können. Wo dies sinnvoll ist, werden vergleichend Polyurethan-Elastomere anderer Abteilungen in die Untersuchungen einbezogen, mindestens die bereits untersuchten Objekte.¹⁴

5.4 Publikation und weitere Forschung

Die Autorin strebt an:

- Publikation in der Publikationsreihe des DM
- Verwendung der Ergebnisse für die Vorlesung an der TUM
- Präsentation der Ergebnisse in der Präsentationsreihe des DM im Wintersemester 2018 / 2019 und auf der Future-Talks-Konferenz 2019
- Projektantrag für ein Stipendium zur Durchführung einer Doktorarbeit am Deutschen Museum aufbauend auf die im Scholar erarbeiteten Erkenntnisse

6 Kooperation mit anderen Wissenschaftlern

- Dr. Frank Steinbeck (Kuratorin Land- und Straßenverkehr) begrüßt und unterstützt die Untersuchung der Automobilen sowie ggf. Objekte aus der Gruppe Rollschuhe & Rollbretter
- Dr. Susanne Rehn-Taube (Kuratorin Chemie-Departments) ist Hauptansprechpartnerin für die Erstellung

12 CDS ANALYTICAL; HILTZ 2015; DEL GAUDIO 2016

13 Tagungsbände Polyurethan; BASF-Veröffentlichungen; Literatur zu Trabant und Wartburg

14 iBook, Radios, Kunststoffschule (Zahnriemen und Folie aus PUR-Elastomer), Kunststoffsammlung (PUR-Elastomer-Riegel)

der PUR-Materialdatenbank, gibt Zugang zu Bd. VIII der Kunststoffschule

- Dr. Marisa Pamplona (M. A. Christina Elsässer, Dr. Elke Cwiertnia) betreuen die konservierungswissenschaftlichen Untersuchungen, führen py-GC/MS- und RFA-Analysen durch
- Dr. Elena Gómez-Sánchez vom Deutschen Bergbau-Museum Bochum verfügt über Expertise auf dem Gebiet der PUR-Elastomere¹⁵
- Anja Teuner (Kuratorin Rechenggeräte sowie stellvertretend Nachrichtentechnik und Mikroelektronik, bis zum Amtsantritt des nachfolgenden Kurators) stimmt der Probennahme und evtl. Sicherungsmaßnahmen von IBM, D2-Telefon, Radios und iBook zu
- Dr. rer. nat. Thorsten Allscher (IBR) stellt die Kunststoff-Probensammlung von 1985 zur Verfügung
- Julia Sawitzky, Scholar-Bewerberin, untersucht Kunststoffe in Kontakt mit Metallen; ein Austausch der Analyseergebnisse und Schadensphänomene ist sinnvoll, da die angrenzenden Metalle Einfluss auf die Alterung der PUR-Elastomere nehmen können

7 Literatur

- AG DT. KUNSTSTOFFINDUSTRIE (Hg.): *Die Kunststoffschule, Bd. VIII Polyurethane*, Frankfurt a. M. 1955
- ABROMEIT, KATRIN; FRÖHLICH, REGINA; GOMEZ-SANCHEZ, ELENA; KUNZ, SIMON: *ILKAR Project*, 10th IRUG conference, Barcelona 2012
- BÖHLKE, PETER; NAGLER, JÜRGEN: *Wartburg, Alle Modelle 1953-1991*, München 2011
- BRUNNER, SUSANNE; FRÖHLICH, REGINA; LUTZ, LUISE: *Restaurierung des Objektmöbels // Piede von GAETANO PESCE*; unveröffentlichte Projektarbeiten, TUM, 2009 - 2011
- BÜTHE, INGOLF: *Polyurethane, Spezialkunststoffe für Industrie und Handwerk - Verarbeitung, Eigenschaften, Anwendung*, Bd. 186 *Werkstoffe, Kontakt & Studium*, Ehningen 1989
- CDS ANALYTICAL (Hg.): *Pyrolysis-GC/MS of Polyurethanes - Application information using advanced sample handling technology*
- DEL GAUDIO, ISABELLA: *Degradation of Polyester urethane objects in indoor environment*, Masters' Thesis, Università di Bologna, 2016
- ELSÄSSER, CHRISTINA: *Kunststoffe in sieben Radiogeräten - von Produktion zu Prävention*; MA-thesis TUM 2016; Fortführung im Scholar am Deutschen Museum 2016
- GRANER, SUSANNE; LUTZ, LUISE: *Waving the flag - the Conservation and exhibition of the seating combination Leonardo by studio 65*, in: *Future Talks* 2013, S. 49-54
- HILTZ, JOHN A.: *Analytical pyrolysis gas chromatography / mass spectrometry (py-GC/MA) of poly(ether urethane)s, poly(ether urea)s and poly(ether urethane-urea)s*, in: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 113, May 2015, p. 248-258
- KESSLER, KATRIN; VAN OOSTEN, THEA: *Polyurethane rubbers and Pratt chairs*, IRUG 7, New York 2006
- KÖPPEN, JANINE: *Untersuchung zur Materialität und Konservierung zweier Apple iBooks*, BA-thesis, TUM; <http://www.rkk.ar.tum.de/index.php?id=316>, aufgerufen am 9.10.2017
- LANGENBACHER, JULIA: *Technologie, Alterung und Restaurierung von Polyurethan-Elastomere am Beispiel der Skulptur Wurfeisen und Zwille (Entwurf Hafenstraße), 1990 von Olaf Metzger*, Dipl.-Arbeit Stuttgart, 2011
- SAWITZKI, JULIA: *Eigenschaften von Polyesterurethanmodifikationen am Beispiel von drei Radios des Deutschen Museums München*, unveröffentlichte Projektarbeit TUM 2016
- SHASHOUA, YVONNE: *Conservation of Plastics, materials science, degradation and preservation*, Oxford 2008
- SIEM, GERHARD: *Trabant*, Ulm 2003
- UHLIG, KONRAD: *Polyurethan Taschenbuch*, München 2006
- WAENTIG, FRIEDERIKE: *Plastics in Art, a study from the conservation point of view*, Petersberg 2008

15 ILKAR-Projekt 2012; Betreuung DEL GAUDIO 2016 (MS); aktuell Projekt über natürlich und künstlich gealterte Polyesterurethan-Elastomere mit chemischen, thermischen und mechanischen Prüfmethode