

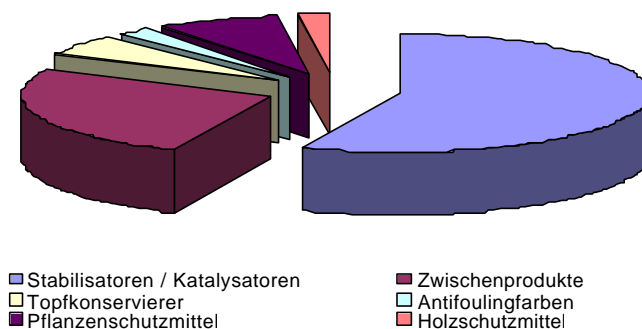
## Neue zinnfreie Katalysatoren als Alternativen zu DBTL und aminischen Verbindungen in modernen lösemittelhaltigen Polyurethan-Klarlacksystemen

Dietmar Oberste und Dr. Andreas Steinert

Borchers GmbH, Langenfeld

Im High-End-Bereich hochwertiger Automobil- und Industrielacke werden heute immer höhere Anforderungen an leistungsstarke Beschichtungssysteme gestellt, den Wert der beschichteten Güter zu steigern, die Haltbarkeit des Produktes zu verbessern, in kürzeren Zeit-Intervallen weiterverarbeitet werden zu können und dabei die Umwelt nicht oder nur minimal zu belasten. Einen großen Teil dieser Ansprüche können die heute verfügbaren leistungsfähigen 1K- und 2K-Polyurethan-Lacksysteme - insbesondere im Automobilbereich - bereits erfüllen, jedoch stellt der Wunsch nach Reduzierung des Energiebedarfs und des Umwelteintrags auch an diese Beschichtungssysteme immer höhere Anforderungen. Der Wunsch nach Reduzierung des VOC-Anteils und die fortschreitende Entwicklung von „High-Solid“-Systemen mit vergleichbarer Qualität erfordern niedrigviskose Bindemittel, die vornehmlich durch Reduzierung der Molmassen von Polyol- und Isocyanat-Komponente realisierbar sind. Hieraus ergibt sich häufig das Problem, dass diese Systeme verlängerte Aushärtungszeiten aufweisen. Diese Nachteile können jedoch durch die Wahl geeigneter Katalysatoren weitestgehend ausgeglichen werden. Neben tertiären Aminen wurden in der Vergangenheit überwiegend zinnbasierte Verbindungen, insbesondere Dibutylzinn-dilaurat (DBTL), als Reaktionsbeschleuniger für 1K- und 2K-Polyurethan-Lacksysteme eingesetzt (Abb. 1):

Verwendungsspektrum der zinnorganischen Verbindungen (März 2000)



Quelle: „Produktion und Verwendung zinnorganischer Verbindungen in Deutschland“;

Bericht des Umweltbundesamtes und des Bundesinstitutes für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Berlin, Juni 2000

Aus der Graphik ist ersichtlich, dass der größte Teil zinnorganischer Verbindungen als Stabilisatoren und Katalysatoren im Kunststoff- und Lackbereich verwendet wird.

Bedingt durch bei der DBTL-Herstellung in Nebenreaktionen mitemstehende Verunreinigungen triorganischer Zinn-Verbindungen mit hohem toxikologischem Potential und der noch nicht vollständig geklärten immunotoxischen Wirkpotenz der Dibutyl-Zinnverbindungen ist man heute bestrebt, zinnhaltige Katalysatoren wie DBTL in vielen industriellen Anwendungsbereichen durch risikolosere Alternativen zu ersetzen.

Für die Additiv- und Lackhersteller ergab sich hieraus die Notwendigkeit, für 1K- und 2K-Polyurethan-Beschichtungen geeignete alternative Katalysatoren mit vergleichbaren Eigenschaftsprofilen zu entwickeln. Lange schon sind weniger bedenkliche Metallverbindungen, insbesondere bestimmte Metallcarboxylate, als Katalysatoren für die Polyurethanreaktion bekannt, sie bewirken im Vergleich zu DBTL jedoch andere Lackeigenschaften, z. B. bzgl. der Trocknungszeiten, der Filmhärte, Verfärbung, der Beständigkeit oder Lagerstabilität.

## Neue Katalysatoren für die moderne und leistungsfähige PUR-Fahrzeuglackierung

Der vorliegende Artikel will Möglichkeiten aufzeigen, mit einer neu entwickelten Produktreihe zinnfreier Metallcarboxylat-Katalysatoren in lösemittelhaltigen Polyurethan-Klarlacksystemen ein in großen Anwendungsbereichen mit DBTL vergleichbares Eigenschaftsprofil zu erreichen. Er stellt die unter dem Produktnamen **Borchi<sup>â</sup> Kat** vertriebene Produktreihe mit individuellen Katalysatoren und Alternativprodukten zu DBTL vor, beschreibt Ihre wichtigsten anwendungstechnischen Eigenschaften und ihre Leistungsunterschiede zum DBTL-katalysierten System.

**Borchi<sup>â</sup> Kat 22** und **Borchi<sup>â</sup> Kat 24** sind lösemittelfreie Einmetallkatalysatoren basierend auf Zink- und Bismutcarboxylaten. Sie zeichnen sich durch spezifische, zum DBTL verschiedene Eigenschaftsbilder aus und bieten damit dem Anwender die Möglichkeit, gezielt für ihn wichtige Lackeigenschaften zu unterstützen. Hierbei ist es gelungen, durch ein spezielles Fertigungsverfahren und durch gezielte chemische Modifizierung das Produkt **Borchi<sup>â</sup> Kat 24** im Hinblick auf seine Aktivität als Polyurethankatalysator zu optimieren und zugleich das Gefährdungspotential für den Anwender gegenüber anderen üblichen Bismutcarboxylatkatalysatoren signifikant zu senken.

**Borchi<sup>â</sup> Kat VP 0243**, **Borchi<sup>â</sup> Kat VP 0244** und **Borchi<sup>â</sup> Kat VP 0245** sind Mischkatalysatoren, bei denen verschiedene Basismetalle so miteinander kombiniert wurden, dass sich neue katalytische Eigenschaften ergeben und sie zudem in vielen Systemen zu DBTL vergleichbare Reaktivität und ein in weiten Bereichen ähnliches Eigenschaftsprofil besitzen. Hierbei wurden **Borchi<sup>â</sup> Kat VP 0243** und **VP 0244** insbesondere für die Verwendung in Klarlacksystemen entwickelt, **Borchi<sup>â</sup> Kat VP 0245** wird zum Einsatz in pigmentierten Lacken empfohlen.

## Vergleich der Katalysatorsysteme

Eines der wichtigsten Einsatzgebiete für Polyurethankatalysatoren im Lackbereich ist die Automobil-OEM und -reparaturlackierung. Die dort relevanten Polyurethansysteme müssen mit geringstmöglichem Energieaufwand und Verarbeitungszeiten unter Berücksichtigung höchster ökologischer Anforderungen einsetzbar sein und dabei bestmögliche Lack- und Filmeigenschaften bieten. Dies kann durch Verwendung moderner niedrigviskoser Bindemittel- und Lacksysteme und durch forcierte Trocknung der applizierten Beschichtung erreicht werden. Hierzu sind jedoch verhältnismäßig hohe Temperaturen erforderlich, die im Automobilbereich je nach Substrat bei 60°C bis 130°C liegen. Hier wird heute verstärkt nach Wegen gesucht, diese Temperaturen deutlich unter 100°C absenken zu können.

Die im Anschluss vorgestellten Arbeiten an einem 2K-PUR-Klarlack auf Basis eines modernen kommerziellen Hydroxyacrylates zeigen Versuchsergebnisse, welche diesen Bestrebungen Rechnung tragen. Die forcierte Trocknung wurde bei 80°C durchgeführt, eine Temperatur, die von der Industrie heute angestrebt wird. Mit verschiedenen anderen modernen Lacksystemen, die während der Entwicklungsarbeiten parallel untersucht wurden, aber hier aus Platzgründen nicht mehr vorgestellt werden können, erhielten wir vergleichbare Ergebnisse.

## Durchführung der Versuche

Zur Beurteilung der anwendungstechnischen Eigenschaften und der Aktivität der Katalysatoren wurden diese in dem genannten Modellsystem miteinander und jeweils mit dem unkatalysierten System und dem DBTL-katalysierten System verglichen. Neben der Verarbeitungszeit (*Pot-Life*), gemessen als Verdopplung der anfänglichen Auslaufzeit im DIN-Becher 4 mm, wurden die Oberflächen- und die Durchtrocknung mittels Sandtrocknung nach DIN 53150 und Nadelsputrtrocknung in Anlehnung an ASTM 5895 geprüft. Außerdem wurden die Filmhärten der Systeme nach forcierter Trocknung (bei 30 Min. / 80°C) und Raumtemperaturtrocknung entsprechend der Pendel-Dämpfungsprüfung nach König (DIN 53157) bestimmt. Für beide Bestimmungen wurden die Lacke mit einer definierten Nassfilmschichtdicke von 100 µm auf Glas appliziert. Ein Vergleich der Trocknungsergebnisse bei 80°C und Raumtemperatur erlaubt eine Beurteilung des Temperatureinflusses auf die Aktivität der verschiedenen Katalysatoren. Zur Bestimmung der Lagerstabilität der katalysierten Lacksysteme wurden die Katalysatoren in die Stammlackkomponente eingebracht und für 14 Tage bei 50°C gelagert. Anschließend wurde der Härter zugesetzt und diese Lacke erneut hinsichtlich aller Prüfparameter untersucht, um mögliche lagerungsbedingte Änderungen der Katalysatoraktivität zu erfassen.

Das Klarlacksystem wurde mit den Katalysatoren Borch<sup>i</sup> Kat 22, Borch<sup>i</sup> Kat 24, Borch<sup>i</sup> Kat VP 0243 und VP 0244 im Vergleich zu DBTL und dem unkatalysierten Lack geprüft. Zur genaueren Dosierung wurden alle Katalysatoren vor Verwendung mit Butylacetat auf 10 % der Lieferform verdünnt. Tab. 1 zeigt die verwendete Prüfrezepitur, welche sich stark an eine in der Praxis verwendete Richtrezepitur der Bayer Polymers AG anlehnt.

Tab. 1: 2K-PUR-Klarlackrezepitur (Bayer Polymers AG, geringfügig verändert)

<b>Komponenten:</b>	<b>Gew.-%:</b>
Desmophen A 870, 70% BAC	51.15
Baysilone OL 17, 10% in Xylol	0.53
Baysilone 3468, 10% in MPA	0.53
Tinuvin 292, 10% in BAC	5.33
Tinuvin 1130, 10% in BAC	10.67
<i>Katalysator</i> , 10% in BAC	0.15
MPA / Solvesso 100 (1:1)	10.02
Butylglycolacetat (BGA)	2.13
Desmodur N 3390, 90% in BAC	19.49
Total	100.00
<b>Technische Daten:</b>	
Verarbeitungsfestkörper	ca. 55%
Verarbeitungsverviskosität	ca. 25 s
Trocknungsbedingungen	10' / RT
Forcierte Trocknung	30' / 80°C

Die Formulierung wurde für alle Prüfsysteme einheitlich hergestellt. Einen Tag vor Beginn der Prüfungen wurden die Katalysatorlösungen zu den Stammkomponenten der Klarlacke dosiert und gut eindispersiert, um eine optimale Wirksamkeit der Katalysatoren im System zu ermöglichen. Anschließend wurden die Stammkomponenten gesplittet, ein Teil wurde zur Prüfung der

Lagerstabilität für 14 Tage in den Trockenschrank verbracht, der andere Teil wurde sofort den entsprechenden Tests unterzogen.

## Versuchsergebnisse

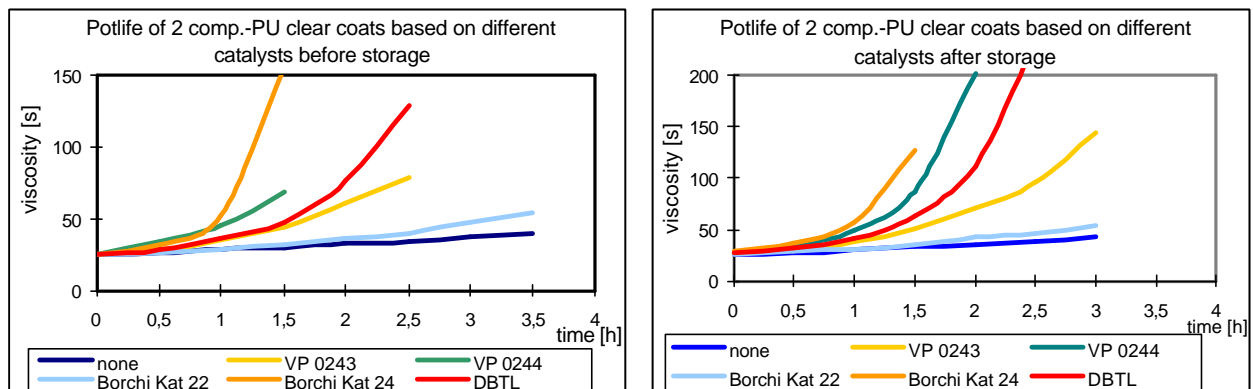
Die *Pot-Life*-Messungen im DIN-Becher 4 mm ergaben abhängig vom verwendeten Katalysator eine Verarbeitbarkeit der Klarlacksysteme zwischen 1 und 3 Stunden. Auch nach Lagerung für 14 Tage bei 50°C konnte bei allen hier geprüften Lacken keine signifikante Veränderung der Verarbeitungszeiten beobachtet werden.

Im geprüften System waren Borch<sup>®</sup> Kat 24 und Borch<sup>®</sup> Kat VP 0244 im Vergleich zu DBTL stärker reaktiv, woraus sich jeweils kürzere Verarbeitungszeiten ergaben, wohingegen Borch<sup>®</sup> Kat 22 eine nahezu doppelt so lange Verarbeitungszeit des Lackes zuließ. Borch<sup>®</sup> Kat VP 0243 zeigte eine zu DBTL recht ähnliche Charakteristik (vergl. Tab. 2 und Abb. 2).

Tab. 2: *Pot-Life*-Zeiten der Klarlacksysteme vor und nach Lagerung (14 Tage bei 50°C)

Katalysator	Ohne	Borch <sup>®</sup> Kat VP 0243	Borch <sup>®</sup> Kat VP 0244	Borch <sup>®</sup> Kat 22	Borch <sup>®</sup> Kat 24	DBTL
vor Lagerung	> 4,0 h	ca. 1,75 h	ca. 1,25 h	3,0 h	1,0 h	1,5 h
nach Lagerung	> 4,0 h	ca. 1,75 h	ca. 1,25 h	3,0 h	1,0 h	ca. 1,25 h

Abb. 2 zeigt die Entwicklung der Lackviskositäten vor (links) und nach Lagerung (rechts).



Die katalysatorspezifische Betrachtung des Viskositätsanstiegs der Prüflacke offenbart weitere wichtige Informationen zu ihrer Aktivität. In der folgenden Abb. 3 sind daher die Viskositätsverläufe der mit DBTL, Borch<sup>®</sup> Kat 24, Borch<sup>®</sup> Kat VP 0243 und Borch<sup>®</sup> Kat VP 0244 katalysierten Lacke einander gegenübergestellt:

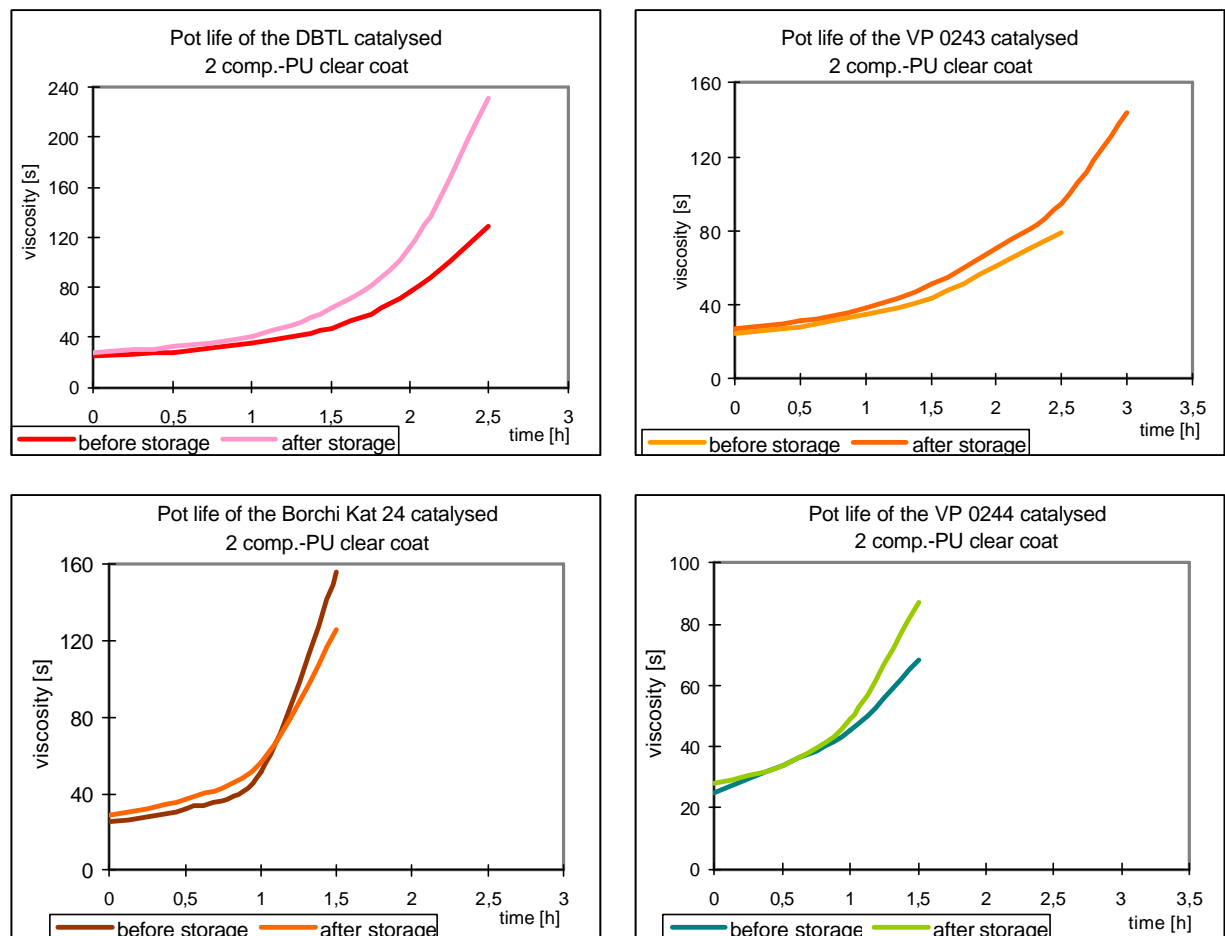


Abb. 3: Viskositätsverhalten der Klarlacksysteme mit den verschiedenen Katalysatoren

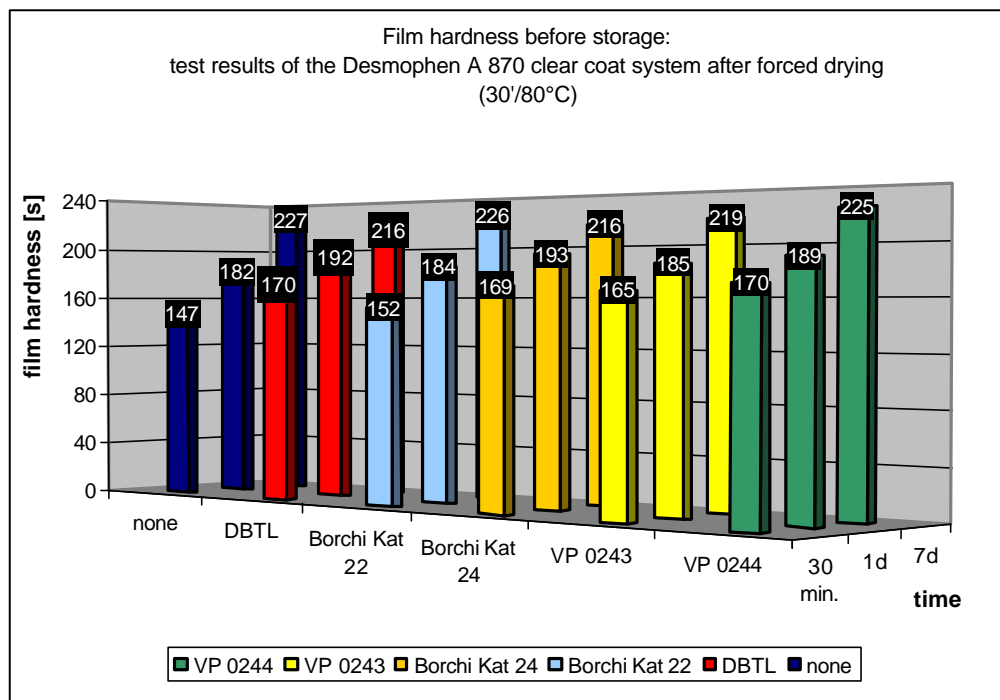
Die Abbildung zeigt für den mit DBTL katalysierten Lack zunächst eine langsame Zunahme der Viskosität bis ca. 1,5 Stunden, danach jedoch einen deutlich steileren Anstieg der Kurve. Nach Lagerung ist nochmals eine signifikante Reaktivitätszunahme des Systems zu beobachten, was in der Praxis eine Reduzierung der Verarbeitungszeit zur Folge hat. Das mit Borch<sup>®</sup> Kat 24 katalysierte Muster weist zu Anfang eine langsame Viskositätszunahme bis ca. 1 Stunde nach Härterzugabe auf (*Pot-Life*), nach Erreichen der doppelten Auslaufviskosität wird eine schnell verlaufende weitere Vernetzung beobachtet. Demgegenüber charakterisiert sich das Verhalten des Borch<sup>®</sup> Kat VP 0243 durch eine sehr viel gleichmäßigere katalytische Aktivität mit gemäßigttem Viskositätsanstieg über den ganzen Beobachtungszeitraum. Borch<sup>®</sup> Kat VP 0244 zeigt ebenfalls ein eher gleichmäßiges Reaktivitätsprofil, jedoch eine höhere Aktivität, was sich in einer größeren Steigung der Viskositätskurve ausdrückt. Beide Katalysatoren werden über den Zeitraum der Lagerung in ihrer Aktivität nur gering beeinflusst.

Ein weiteres Beurteilungskriterium ist die Entwicklung der Filmhärte nach forcierter Trocknung (30 min. bei 80°C), welche insbesondere für eine erforderliche schnelle Weiterverarbeitung einen wichtigen Parameter darstellt, und die nach einer Woche bestimmte Endhärte des Lackes. Im Zuge der gewünschten Absenkung der Einbrenntemperatur von heute ca. 130°C auf möglichst unter 100°C muss die Filmhärte entsprechender Lacksysteme nach forcierter Trocknung entsprechend schnell aufgebaut werden. Zudem müssen die Lacke bei Katalysatoreinsatz in ihrer Endhärte vergleichbar

harte Filme ergeben wie unkatalysierte Systeme, was gegenwärtig mit Katalysatoren nur teilweise möglich ist.

Unsere Untersuchungen ergaben gerade in diesem Punkt, dass das mit DBTL katalysierte Lackmuster zwar eine deutlich höhere Anfangshärte nach forcierter Trocknung aufbaut, aber eine geringere Endhärte erreicht als der unkatalysierte Lack. Dieses Phänomen, welches sich auch in der folgenden Abb. 4 darstellt, ist nach unseren Beobachtungen kein Einzelfall.

Andererseits konnten die durchgeführten Versuche auch belegen, dass der mit Borchi® Kat VP 0244 formulierte Lack die sehr hohe Anfangshärte eines katalysierten Systems erreicht und zugleich die hohe Endhärte eines unkatalysierten Lackes. In etwas verminderter Form konnte dies auch für das mit Borchi® Kat VP 0243 katalysierte System beobachtet werden.



**Abb. 4:** Filmhärteentwicklung der Klarlacksysteme nach forcierter Trocknung

Der am stärksten reaktive Katalysator Borchi® Kat 24 zeigt ein dem DBTL nahezu identisches Verhalten in der Filmhärteentwicklung mit sehr hoher Anfangshärte in den ersten 24 Stunden, aber geringerer Endhärte nach 1 Woche, während der mit dem vergleichsweise gemäßigten Borchi® Kat 22 formulierte Lack dem unkatalysierten System analoge Filmhärten ausbildet.

Die hier beschriebenen Testergebnisse der Lacksysteme vor Lagerung können in Allgemeinen auch auf die Ergebnisse nach Lagerung übertragen werden, was die folgende Abb. 5 belegt. Überraschenderweise erreicht in unserer Prüfung der mit DBTL hergestellte Lack nun eine höhere Endhärte als das unkatalysierte Muster. Die mit Borchi® Kat VP 0244 und Borchi® Kat VP 0243 formulierten Lacke zeigen nahezu gleichbleibend hohe Filmhärten und beweisen damit erneut ihre sehr gute Lagerstabilität. In ähnlicher Weise gilt dies auch für die beiden anderen Produkte Borchi® Kat 22 und 24, welche ebenfalls ein gleichbleibendes Eigenschaftsbild nach Lagerung präsentieren.

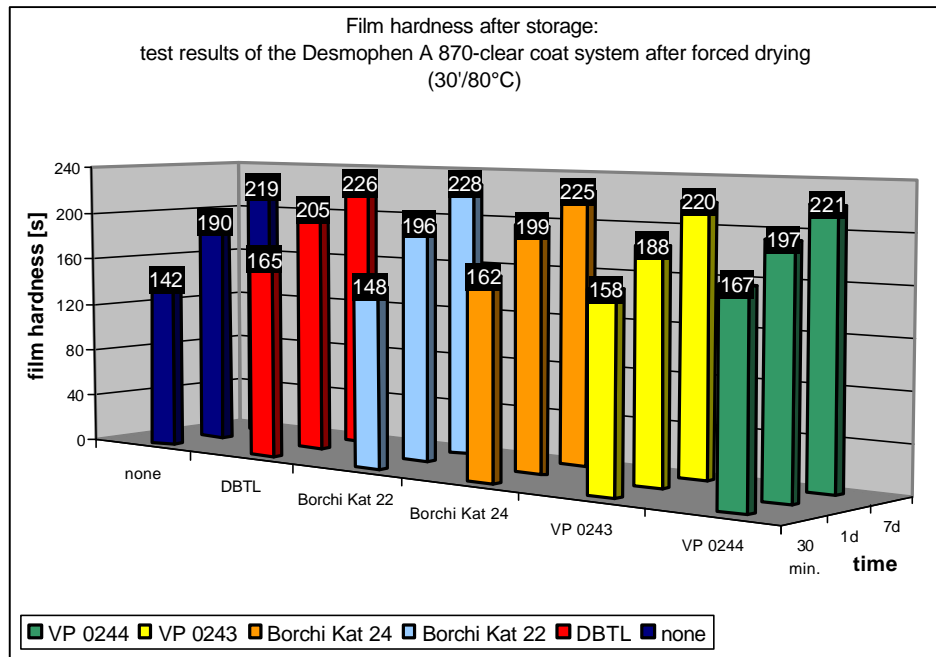


Abb. 5: Filmhärteentwicklung der Testsysteme nach Lagerung für 14 Tage bei 50°C (forcierte Trocknung)

Bei Raumtemperaturtrocknung ergab sich ein etwas anderes Bild, dargestellt in der folgenden Abb. 6. Hier erreichten die mit Borchi® Kat 22, Borchi® Kat 24 und DBTL katalysierten Filme höhere Anfangsfilmhärten gegenüber dem unkatalysierten Lack, während vergleichbare Endfilmhärten von Borchi® Kat 22 und Borchi® Kat VP 0243 erreicht wurden. Die anderen Systeme wiesen niedrigere Werte auf. Borchi® Kat 22 erwies sich damit als am besten geeigneter Katalysator zur Erzielung möglichst hoher Filmhärten bei Raumtemperaturtrocknung.

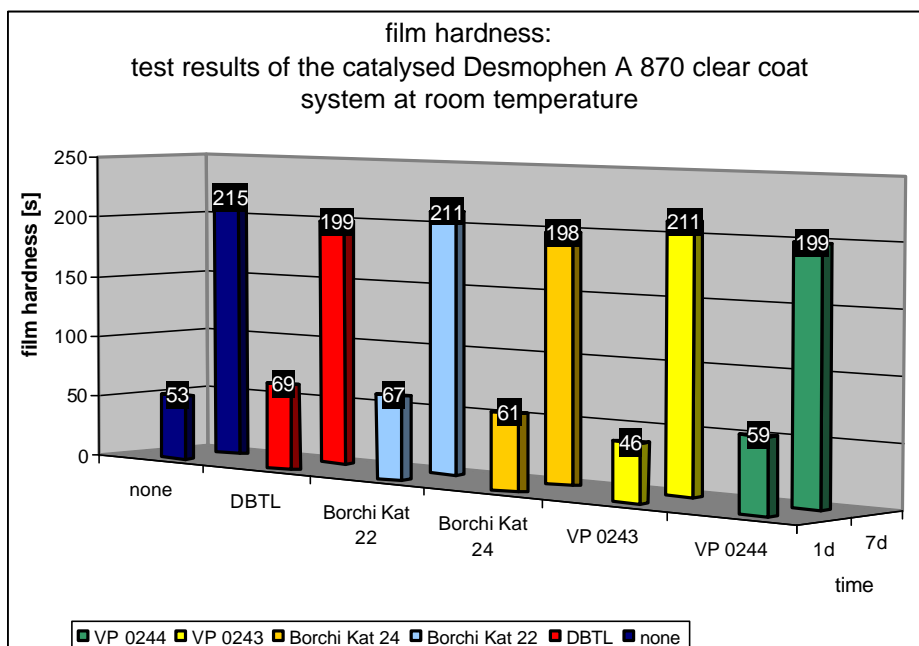


Abb. 6: Filmhärteentwicklung der Klarlacksysteme bei Raumtemperaturtrocknung

Nach 14-tägiger Lagerung bei 50°C erhielten wir in unserer Untersuchung bei den bei Raumtemperatur getrockneten Lackfilmen keine signifikant anderen Profile der Filmhärten. Insbesondere Borch<sup>®</sup> Kat 22 zeigte auch hier sehr konstante Werte, für die anderen Katalysatoren ergaben sich etwas geringere Filmhärten.

Eine weitere wichtige anwendungstechnische Eigenschaft der Lacksysteme ist durch ihr Oberflächen- und Durchtrochnungsverhalten gegeben, welche wir mit Hilfe der Sandtrochnung/ Trockengrad 1 nach DIN 53150 und des Drying-Recorders untersuchten. Für die mit forcierter Trochnung arbeitenden Anwender weniger relevant, ist dieser Aspekt umso wichtiger für den Autoreparaturlackierer. Dieser hat nicht die Möglichkeit, mit entsprechend hohen Temperaturen forciert zu trochnen, benötigt aber dennoch eine möglichst schnelle Klebfreiheit, Belastbarkeit und Weiterverarbeitbarkeit der beschichteten Werkstücke.

In der Untersuchung zeigten alle katalysierten Systeme im Vergleich zum unkatalysierten Klarlack deutlich kürzere Trochnzeiten sowohl vor als auch nach Lagerung des Lackes. Mit DBTL und Borch<sup>®</sup> Kat 24 konnte eine Halbierung der Trochnzeiten (TG 1) der Oberflächentrochnung erzielt werden, wobei beide Systeme beinahe identische Eigenschaften zeigten. Die anderen drei Prüfmuster zeigten eine gegenüber den schnellen Systemen geringfügig langsamere Trochnung, dafür zeigten sie jedoch nach Lagerung gar keine oder nur minimale Veränderungen (Abb. 7).

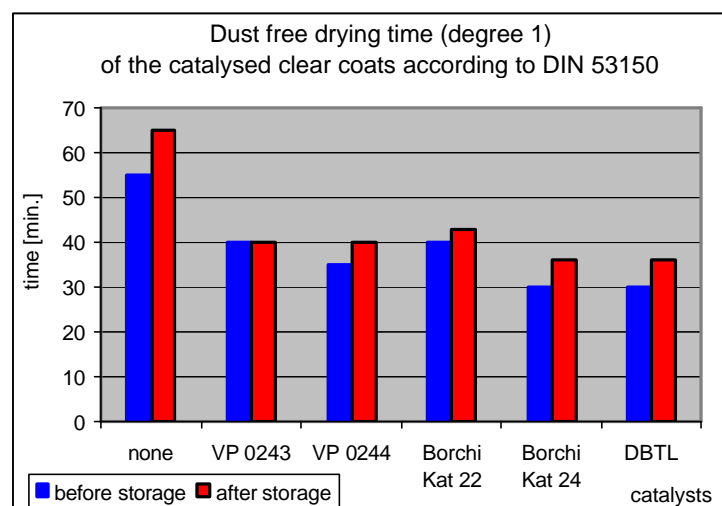


Abb. 7: Oberflächentrocknung TG 1 (Sandtrochnung) der Klarlacksysteme vor und nach Lagerung entsprechend DIN 53150

Die Durchtrochnung der Lacksysteme wurde mit Hilfe des Drying-Recorders in Anlehnung an ASTM 5895 untersucht. Auch hier konnte eine signifikante Verkürzung der unkatalysiert erforderlichen Trochnzeiten festgestellt werden, wobei alle Systeme vergleichbare Werte von ca. 4 Stunden erreichten und damit die Trochnzeiten des Referenzsystems wiederum nahezu halbierten (vergl. Abb. 8). Auch in der Durchtrochnung der bei 50°C gelagerten Proben wurden gleichbleibende Werte gemessen. Einzig das mit Borch<sup>®</sup> Kat 22 beschleunigte System zeigte hiervon abweichende etwas längere Trochnzeiten, wodurch nochmals die im Vergleich gemäßigte katalytische Aktivität des Produktes bestätigt werden konnte.

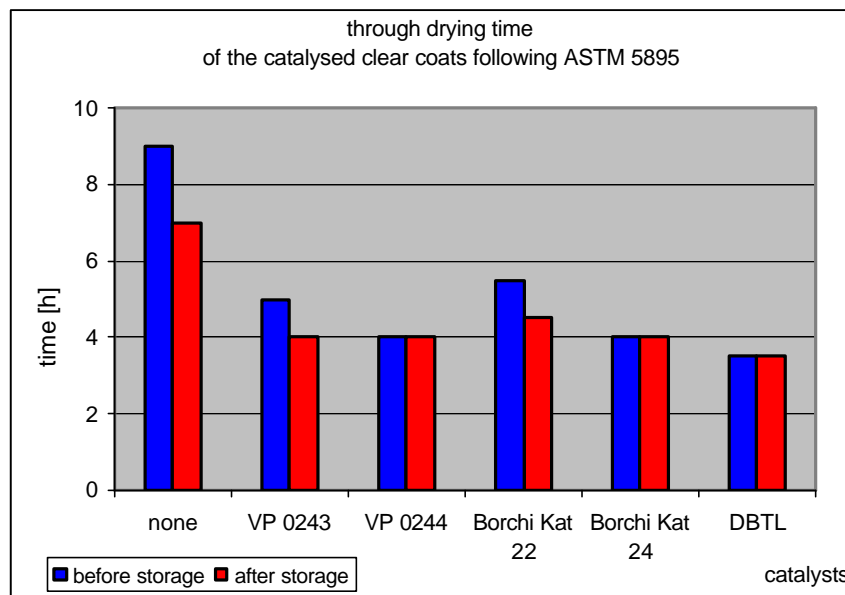


Abb. 8: Tiefentrocknung der Klarlacksysteme mittels Nadelspurmethode vor und nach Lagerung

## Zusammenfassung

Unter der Maßgabe der Zeit- und Kosteneinsparung müssen heutige 1K- und 2K-Polyurethan-Beschichtungssysteme für industrielle Bereiche und Automobilanwendungen immer größere Anforderungen erfüllen. Ein wesentlicher Aspekt des Forderungskataloges ist die Absenkung der Einbrenntemperatur bei forcierter Trocknung der Systeme auf unter 100°C, welche den Einsatz leistungsstarker Katalysatoren erforderlich macht. Die heute zumeist verwendeten Zinn-basierten Produkte werfen toxikologische Bedenken auf, aminische Verbindungen sind durch hohe erforderliche Einsatzmengen, Geruch und Verfärbungs- und Vergilbungsprobleme benachteiligt.

Ziel dieser Arbeit war es deshalb, alternative Metallcarboxylatkatalysatoren auf Basis moderner, für die Verwendung als Polyurethankatalysator in Lackanwendungen optimierter Einmetallcarboxylate und neu entwickelter Kombinationsprodukte mit modifizierten katalytischen Eigenschaften im Vergleich zu Dibutylzinn-dilaurat (DBTL) zu untersuchen. Hierbei sollten die wichtigsten anwendungstechnischen Parameter – Verarbeitungszeit und Viskositätsentwicklung, Filmhärte sowie Oberflächen- und Tiefentrocknung - am Beispiel eines Automobil-OEM und –Reparaturklarlackes bestimmt und für die einzelnen Katalysatoren miteinander verglichen werden. Die Prüflacke wurden jeweils bei Raumtemperatur und unter erhöhter Temperatur gehärtet, wobei bewusst moderate Einbrennbedingungen (30 min. bei 80°C) gewählt wurden, um dem gewünschten Bestreben nach Temperaturreduzierung in der Lackhärtung Rechnung zu tragen.

Unsere Versuche konnten zeigen, dass es dem Verarbeiter möglich ist, durch geeignete Auswahl eines Metallcarboxylatkatalysators das Eigenschaftsbild des DBTL nachzustellen und dadurch vergleichbare Lackeigenschaften zu erhalten. Zugleich besteht die Möglichkeit, durch Wahl des Produktes gezielt individuell gewünschte Lackeigenschaften einzustellen. So steht dem Anwender mit Borchi® Kat 24 ein Produkt zur Verfügung, welches über eine sehr starke katalytische Aktivität verfügt und insbesondere bei zügiger Weiterverarbeitung seine Dominanz ausspielen kann. Zugleich wird aber dennoch ein dem DBTL analoger Filmhärteaufbau erzeugt und auch die ermittelten Trocknungscharakteristika waren nahezu identisch. Borchi® Kat 22 ist demgegenüber ein gemäßigt reaktiver Katalysator, der eine lange Verarbeitungszeit gewährleistet und durch seine konstante Reaktivität und Lagerstabilität und seine sehr hohen Filmhärten – sowohl unter Einbrennbedingungen als auch bei Raumtemperaturtrocknung – punkten kann. Er empfiehlt sich damit insbesondere im

Bereich der Autoreparaturlackierung. Die beiden Kombinationsprodukte Borch<sup>®</sup> Kat VP 0243 und VP 0244 erreichten gegenüber DBTL nur gering abweichende *Pot-Life*-Zeiten und bieten damit annähernd gleiche Verarbeitungsbedingungen. Hierbei war für beide Produkte ein sehr gleichmäßiges Reaktionsverhalten und eine ausgezeichnete Lagerstabilität erkennbar. Borch<sup>®</sup> Kat VP 0244 erwies sich im geprüften System als das Produkt höherer Reaktivität, was sich in den kürzeren *Pot-Life*-Zeiten und dem steileren Viskositätsanstieg widerspiegelt. Zugleich konnte mit Borch<sup>®</sup> Kat VP 0244 eine dem DBTL analoge Filmhärteentwicklung beobachtet werden unter beiden geprüften Härtungsmethoden. Borch<sup>®</sup> Kat VP 0243 zeigte etwas geringere Filmhärten bei forcierter Trocknung, konnte jedoch unter Raumtemperaturbedingungen höchste Endhärten erreichen. Die geprüften Katalysatorsysteme bieten somit dem Anwender ein breites Spektrum an Möglichkeiten, sein Lacksystem individuell auf die Anforderungen und die ihm zur Verfügung stehenden Härtungsmöglichkeiten einzurichten.